

吴树雄 编著

电焊条选用 指南

第三版



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心



SAF

OERLIKON

多年来致力于焊接与切割产品和设备的欧洲领先公司

中国核电、水电、石油化工、锅炉和运输行业主要项目的供应商

沙福、奥利康独立开发和生产特殊的焊接材料，如：铬钼钢、双相不锈钢、镍基合金、高强度钢等焊材

沙福、奥利康同样以先进可靠的半自动和自动焊接与切割设备著称于世



ISBN 7-5025-4518-2



9 787502 545185 >

法国SAF公司上海代表处

地址：上海肇嘉浜路777号青松城616室

邮编：200032

电话：021-6443 1160, 6443 8969, 6443 5512

传真：021-6443 5897

E-mail: safvinct@uninet.com.cn

ISBN 7-5025-4518-2/TH · 120 定价：44.00元



电 焊 条 选 用 指 南

第 三 版

吴树雄 编著

化 学 工 业 出 版 社

工业装备与信息工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电焊条选用指南/吴树雄编著. —3 版. —北京: 化学工业出版社, 2003.7

ISBN 7-5025-4518-2

I. 电… II. 吴… III. 焊条-基本知识 IV. TG422.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 056905 号

电焊条选用指南

第三版

吴树雄 编著

责任编辑: 任文斗

文字编辑: 韩庆利

责任校对: 郑捷

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

中国纺织出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 21 $\frac{3}{4}$ 字数 534 千字

2003 年 10 月第 3 版 2003 年 10 月北京第 8 次印刷

ISBN 7-5025-4518-2/TH·120

定 价: 44.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

京工商广临字 2003·003 号

第二版前言

随着科学技术的发展、焊接已成为重要的金属加工工艺之一，广泛用于各个工业部门，在经济建设中占有重要地位。在各种电弧焊接方法中，手工电弧焊发展最早，应用范围也最广，可以说，在工业的各个领域中很难找到一个不使用电焊条的部门。

电焊条是一种使用量大、品种繁多的工业用消耗材料，目前国产焊条品种已超过 300 种。随着新钢种的不断涌现，焊条品种还将不断增多。此外，科学技术的发展，对焊接结构的质量，实际上也就是对电焊条的质量要求越来越高。

电焊条对焊接结构的质量影响极大。本书试图在钢材、焊条、焊接工艺三者有机结合的基础上，从应用的角度来阐述电焊条的选择和使用，希望能对生产现场的设计工作者、焊接技术人员及广大焊工有所帮助。

《电焊条选用指南》于 1989 年出版，又于 1994 年修订出版，受到广大读者欢迎。从该书问世至今，国内外焊接材料取得了令人瞩目的发展，尽管 CO₂ 气保焊丝、药芯焊丝在制造业中得到广泛使用，使电焊条在焊接材料中所占比重逐渐减少，但我国的电焊条行业伴随着改革开放，仍取得了长足的发展。此外，我国连续焊条的发明及推广应用，将引起焊接材料领域的重大变革，展现出电焊条将重现昨日辉煌的前景。

这期间，我国的《碳钢焊条》、《低合金钢焊条》、《不锈钢焊条》等国家标准及国外焊条标准相继修订；《全国焊接材料统一产品样本》（1996）新版本问世，又增添了许多焊条新品种。为了能更全面及时地反映这些标准变化及最新科技成果，故对《电焊条选用指南》一书作了全面修改。同时，结合生产实际需要，增加了“焊接条件对焊缝性能的影响”、“阀门堆焊焊条”及“连续焊条”等章节，以便更好地满足生产、科研的需要。

本书编写过程中，曾得到甘肃省机械工程学会焊接分会郑承炎高级工程师、冶金部钢铁研究总院尹士科高级工程师的大力支持。修订再版时，尹士科先生又提供了由他主编的即将付印的《世界焊接材料手册》书稿及国外资料，中国焊接材料质量检测中心李春范、吴振祥高级工程师提供了许多技术资料。此外，还得到了侯立尊、杨翔云、郑汉强高级工程师的大力帮助。谨表示感谢。

在编写本书时，对所引用重要参考文献的作者及提供有益帮助的各位同志，一并表示感谢。

由于编者水平有限，又缺乏经验，书中难免有不少缺点和错误，欢迎批评指正。

吴树雄

1996 年 1 月

第三版前言

《电焊条选用指南》自 1996 年出版第二版以来，受到了广大读者的热烈欢迎。时隔 7 年，国内外的经济、技术均发生了许多变化。由于焊接机械化、自动化的不断发展，电焊条在整个焊接材料构成中所占比重正逐渐减少。工业发达国家中，焊条所占比重已不足 50%，日本甚至已降到 20% 以下，而我国现在约为 75% 左右，焊条年产量达到 100 万吨，成为世界第一焊条生产大国。

目前我国焊条生产的主要问题，仍然是产品质量和品种发展，一些专用焊条或对质量有较高要求的焊条仍需从国外进口。在焊条的研究上，具有我国自主知识产权的基础技术相当缺乏。焊条生产企业对产品开发的投入严重不足，缺乏技术创新能力，加上目前国内高等院校及科研机构对焊条研究的淡出，使这种技术上的“底气不足”矛盾在一段时期内将更为突出。

随着国内改革开放的深入发展及我国加入世界贸易组织（WTO），为了适应我国与国外技术合作及经济交流的迫切需要，书中增加了对国外焊条的性能及发展动向的介绍，介绍了《堆焊焊条》、《铝及铝合金焊条》等最新标准，选列了国际标准化组织（ISO）及欧盟（EN）等国外标准资料，借以对我国的焊条研究及开发提供借鉴。此外，还增加了“管道焊接用焊条”及“镍基合金焊条”等内容，以便更好地满足生产、科研的需要。

本书第三版编写过程中，尹士科、徐斌、马大卫、王增新、陶玉慧、王松海、颜何智、张楷林、李美珍、王正娥、姚玉碧、阮国钰、陈义岗、李颖、张海琳及匡金秀等给予了大力支持，提供了相关技术资料，协助及参与编写工作，在此致以衷心感谢。

作为已从事焊条研制及生产 40 多年的焊接工作者，作者谨以本书及《焊丝选用指南》（与尹士科合著）献给我国的焊接材料行业，衷心祝愿她发展得更为强大，更好地服务于我国的现代化建设。

吴树雄

2003 年 3 月

内 容 提 要

本书系统地介绍了电焊条的基本知识, 各类焊条的型号、牌号的编制方法及其性能和应用范围, 并从钢材、焊条及焊接工艺三者结合的应用角度介绍了各类焊条的选择及使用知识, 还介绍了 1996 年以来国内外焊条标准的最新变化和最新科研成果以及当前焊条研制和发展动向, 而且结合我国进入 WTO 和改革开放后经济迅猛发展的实际, 大量介绍了国外著名厂商的各类焊条的典型性能。该书内容新颖、信息量大、实用性强, 是一部颇具参考价值的工具书。

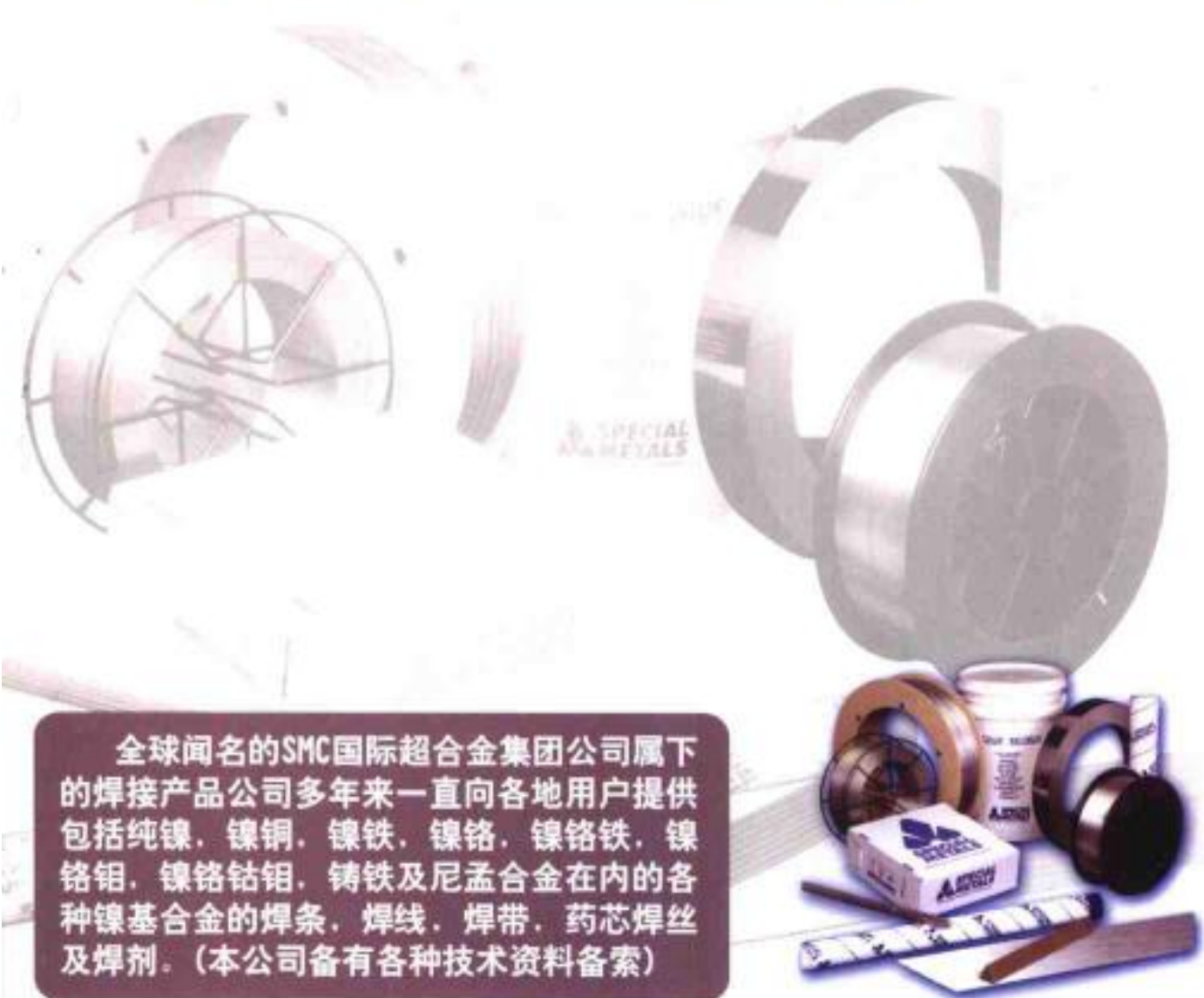
本书可供焊接结构设计人员、焊接工艺技术人员、焊条研发人员、广大焊工及电焊条购销人员阅读, 也可作为高等学校、中等专业学校、技工学校焊接专业的辅助教材和电焊工的培训教材。

镍基合金焊材+质量+性能+技术服务+库存

只有



做得到!



全球闻名的SMC国际超合金集团公司属下的焊接产品公司多年来一直向各地用户提供包括纯镍、镍铜、镍铁、镍铬、镍铬铁、镍铬钼、镍铬钴钼、铸铁及尼孟合金在内的各种镍基合金的焊条、焊线、焊带、药芯焊丝及焊剂。(本公司备有各种技术资料备案)

SMC国际超合金集团焊接产品公司(A/P)

中国上海南京西路1266号恒隆广场 1802-1804室 邮编 200040

Tel: 86-21-62881808x222

Fax: 86-21-32290052

<http://www.smc-wpc.com>

86-21-62882398x098

Mobile: (86) 13801967442

e-mail: dma@iawpc.com

*1998年本公司将INCO ALLOY INTERNATIONAL兼并, 联合组成今天的Special Metals Corporation (在国内称为 SMC 超合金集团), 以下是该集团属下焊接产品公司所使用的主要注册商标:

INCONEL® INCOLOY® INCOFLUX® INCO-CORED® INCO-WELD® MONEL®
 NDUR-ALL™ NI-ROD® NILO® NIMONIC® DURANICKEL® 686CPT® 725NDUR®
 ® TRADE MARK OF SPECIAL METALS CORPORATION

PLA 65/103



HYUNDAI

韩国现代焊接材料株式会社

实力雄厚 全身心投入 为您服务

韩国现代焊接材料株式会社是您的最佳选择

焊接材料主要产品系列：电焊条、实芯焊丝、药芯焊丝、埋弧焊丝、埋弧焊剂
焊接设备主要产品：氩弧焊机、气体保护焊机、埋弧焊机、点焊机、焊接机器人等



中国总部·上海代表处

上海市徐汇区漕宝路80号上海光大会展中心D805室·邮编：200235

电话：(021)64082562/64325030/64325129/64325920 传真：(021)64082554 E-mail:cswoo@hdweld.co.kr

大连代表处

地址：大连市人民路26号中国人寿大厦2112室

电话：0411-2654798 2650999×2112

传真：0411-2593748

邮编：116001

广州代表处

地址：广州市天河北路5-9号正升大厦1207室

电话：020-87556077 87556078

传真：020-87552595

邮编：510075

目 录

第一章 电焊条概论	1
一、电焊条的发展.....	1
二、电焊条的组成.....	3
三、电焊条的分类.....	7
四、电焊条的型号和牌号.....	12
五、电焊条的制造.....	40
第二章 电焊条的使用性能及其检测	44
一、电焊条的使用性能.....	44
二、电焊条使用性能的检测.....	45
第三章 电焊条的现场质量管理	55
第四章 电焊条的需用量	63
第五章 焊接条件对焊缝性能的影响	68
第六章 各种电焊条的选择和使用	72
一、选择电焊条的基本要点.....	72
二、低碳钢电焊条.....	74
三、低合金高强度钢电焊条.....	89
四、铝和铬铝耐热钢电焊条.....	119
五、不锈钢电焊条.....	129
六、低温钢电焊条.....	158
七、堆焊电焊条.....	167
八、铸铁电焊条.....	190
九、铜、铝、镍及其合金电焊条.....	200
第七章 值得发展和推广使用的电焊条	217
一、低尘焊条.....	217
二、铁粉焊条.....	221
三、高韧性焊条.....	223
四、难吸潮焊条.....	225
五、高效不锈钢焊条.....	226
六、专用焊条.....	227
七、连续焊条.....	229
第八章 国内外电焊条研究开发的最新进展	234
第九章 国内外电焊条标准	253
一、国内外电焊条标准对照.....	253
二、国外标准中电焊条型号分类方法要点（摘录）.....	254
三、国内外电焊条型号对照.....	280

四、国内外电焊条牌号对照.....	285
五、日本电焊条标准摘录.....	294
六、各船级社对低碳钢及低合金钢船用焊条的性能要求.....	303
七、电焊条新旧型号对照.....	305
附录 1 填充金属的选用	311
附录 2 焊接材料的分类	329
部分公司产品简介	333
参考文献	338

第一章 电焊条概论

现在，电弧焊接在造船、建筑、石油化工、桥梁、车辆、机械、核反应堆等多个领域中被广泛地采用，不仅用于制造新的产品，就连各种产品的修理，也几乎不可能脱离焊接。当前，焊接作为一种加工工艺获得了飞速发展，新的焊接方法不断出现。虽然气焊、电弧焊、接触焊、气体保护焊、埋弧焊、电子束焊等焊接方法都被广泛应用，但手工电弧焊因方法简单、灵活方便，仍作为最基本的焊接方法活跃在各个工业领域中。

焊接材料一般包括焊条、焊丝、焊剂、焊粉及焊料，具体分类如图 1-1 所示。

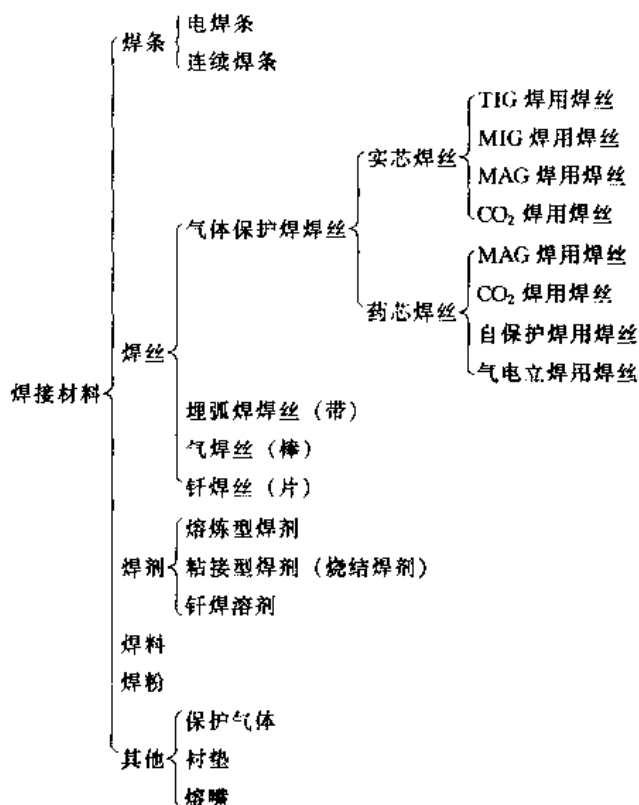


图 1-1 焊接材料分类

就大多数国家而言，电焊条的生产在焊接材料生产中所占的比重仍处于领先地位。电焊条的消耗量很大，在工业比较发达的国家，电焊条产量约占钢产量的 0.2%~0.4%，由于各种高效焊接工艺的不断发展和制造业中广泛采用气体保护焊，使实芯焊丝及药芯焊丝的用量快速增长，而电焊条在整个焊接材料产量中的比重正逐步减少，目前约占 20%~50%。我国由于焊接自动化和新的焊接设备及工艺方法应用尚处于全面推广应用阶段，因而手工焊及电焊条占的比重更大些，目前电焊条的产量约占钢产量的 0.6%左右，占全部焊接材料产量的 75%左右。

因此，正确地选择和使用电焊条就显得非常重要。

一、电焊条的发展

1892 年俄罗斯人斯拉维扬诺夫研究成功了现行的金属电弧焊接法的实用化方案。特别

是1904年瑞典人奥斯卡·克杰尔贝格 (Oscar Kjellberg) 建造了世界上第一个焊条厂——ESAB公司的OK焊条厂。同期, 欧美各国对焊条的药皮作用都分别进行了大量的研究, 1910年瑞典发明矿物型厚药皮焊条, 1919年美国发明用纸缠在焊芯上, 提出了纤维素型焊条的初型, 1921年英国人提出用大理石-萤石制造焊条药皮。

开始, 焊条全是手工沾制, 1917年欧洲依·纳·乔内斯发明用机械压制焊条, 1927年美国开始用机械大量生产焊条。随着冶金工业和机械工业的不断发展, 尤其是第二次世界大战以来, 焊条生产得到了很大发展, 出现了许多新的药皮类型及焊条品种, 性能也进一步完善。1964年日本研制成功“无害”焊条, 20世纪70年代又开发了低尘焊条、超低氢焊条和难吸潮焊条等, 把焊条质量提高到一个新的水平。

日本、美国和西欧等工业发达国家, 在过去15~20年中, 完成了强强联合和资产重组, 组建了许多跨国公司。例如, 日本伯乐·蒂森公司, 包含德国蒂森 (Thyssen)、比利时苏多凯 (SOUKOKAY)、奥地利伯乐 (BÖHLER)、德国UTP等著名焊材企业; 液化空气集团由法国沙福 (SAF)、瑞士奥利康 (Oerlikon) 及意大利富乐 (FRO) 三家组成规模庞大的国际集团——ALW; 美国ITW集团也包含了几家著名焊材公司的品牌, 如合伯特 (HOBART)、麦凯 (MCKAY)、三角 (TRI-MARK)。而且这些集团公司通过产品重组, 使集团中各子公司的优质名牌产品为整个集团公司所用, 充分发挥了产品优势, 提升了产品竞争力。

我国的电焊条制造始于1949年, 开始是采用半机械气动焊条压涂机, 后来研制了螺旋式连续压涂机, 并有了切丝机、送丝机等生产附属设备。所生产的焊条主要以氧化矿物型为主的低碳结构钢电焊条。1956年以后开始大量采用机器制造焊条, 焊条品种也逐步扩大, 钛铁矿型、钛型、钛钙型和低氢型等类型焊条相继出现。目前, 全国除西藏外, 各省、自治区及直辖市都有了不同规模的焊条厂, 有些焊条厂从国外引进了生产设备、制造工艺和配方技术, 有力地推动了焊条行业技术水平的提高。

在产量规模上, 经过近几年的资产重组及强强联合, 已形成了年产焊条10万吨以上的天津大桥、天津金桥及四川大西洋三个大型焊条生产企业集团。年产焊条1万吨以上的企业有15家。中国台湾天泰、美国林肯、日本神钢也先后在中国内地建立了焊材生产基地。2001年全国焊条产量已超过100万吨, 占世界焊条总产量1/4以上, 成为世界第一焊条生产大国, 历年电焊条产量见表1-1。各类焊条的构成比例大致为: 普通结构钢焊条约87%, 低氢型结构钢焊条约7.5%, 不锈钢焊条约1.4%。在焊条品种上, 也由解放初期的仿制发展到独立研制各类焊条, 基本能满足从一般机械到高压容器、舰艇、海洋平台等重要工程建设的需要。目前正式列入焊接材料统一产品样本的焊条品种已超过300种, 各种类型焊条的品种变化见表1-2。我国还以独创的“先涂后切”工艺成批生产了直径为 $\phi(1.0\sim 1.4)$ mm的特细焊条。

在产品质量上, 从过去只能用于一般焊接结构到基本上能满足国内各项重大建设项目的配套, 并且每年还能有10万吨焊条出口。船用焊条已取得了中国CCS、英国LR、美国ABS、挪威NV及日本NK等国际知名船级社的认可。碳钢焊条、低合金钢焊条及不锈钢焊条标准自1985年起已等效采用相应的美国标准 (ANSI/AWS A5.1) 等。这些都标志着我国的焊条质量已达到或接近国际水平, 电焊条行业已成为国民经济中一个重要的、不可缺少的配套部门。

当然, 我国虽然是一个焊条生产大国, 但不是焊条生产强国。各焊条厂忙于降成本、拼价格, 产品开发投入少、普通焊条多, 致使专用焊条品种少, 质量一直未能有重大突破。—

些质量要求高的焊条还需依靠进口。加上高等院校大都退出普通焊材的研究领域，科研单位也减少了常规焊材开发的投入，使量大面广的焊材研究和生产水平与国外的差距进一步加大。近来，面对加入世界贸易组织（WTO）后的新形势，我国焊条行业中有影响的企业已经开始意识到形势的严峻，积极联合国内各方面力量，确立以实现技术创新、提高产品的技术含量为目标，加强企业技术中心建设，建立新型的技术创新运行机制，以促使企业长期稳定、健康发展。

表 1-1 历年电焊条产量 /万吨

年份	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
产量	31.0	38.6	51.7	45.9	37.7	40.7	47.6	55.1	62.5	63.7
年份	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001			
产量	60	60	72	82	88	90	100			

表 1-2 各种类型焊条的品种变化

年 份	品 种										合计
	结构钢	耐热钢	不锈钢	堆 焊	低温钢	铸 铁	镍及镍合金	铜及铜合金	铝及铝合金	特殊用途	
1977	40	18	34	52	4	12	2	3	3	6	164
1987	94	24	48	58	4	17	5	4	3	6	263
1996	107	27	55	63	7	20	7	6	4	7	303

注：按全国统一产品样本统计。

二、电焊条的组成

简单地说，电焊条就是在金属丝（即焊芯）表面涂上适当厚度药皮的手弧焊用的熔化电极。

焊条的外形如图 1-2 所示。为了便于引弧，焊条的引弧端应倒角，露出焊芯金属；为了使焊钳与焊芯保持良好接触，应把夹持端处的药皮仔细地清理干净。对于低氢型焊条，焊缝的头部容易产生气孔，为了便于引弧及防止气孔，可按图 1-3 所示对焊条的引弧端进行特殊加工处理，图（a）、（b）所示为减小引弧端处焊芯截面，提高电流密度，使电弧容易产生，并增加保护作用，图（c）所示为在引弧端处涂一层引弧剂（主要由石墨、有机物等组成），以便于引弧。

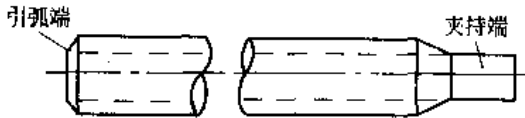


图 1-2 焊条的外形

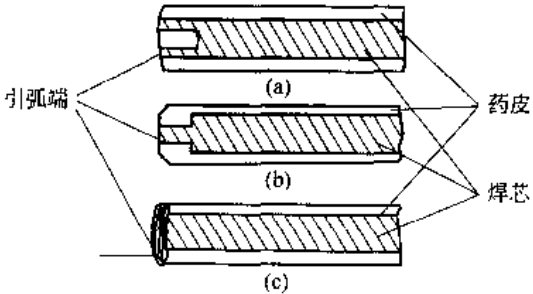


图 1-3 低氢焊条的引弧端加工

普通焊条的断面形状，如图 1-4 所示，图（b）、（c）所示为特殊的断面形状，图（b）所示为一种双层药皮焊条，主要是为了改善低氢焊条的工艺性能，两层药皮按不同成分配方。例如，某厂生产的双层药皮的 J427 焊条，其药皮配方：第一层药皮的配方为大理石 46%，石英

砂 9%，钛铁 15%，硅铁 3%，锰铁 2%；第二层药皮的配方为萤石 18%，大理石 7%。图 1-4 (c) 所示的焊芯为一空心管，外面包覆药皮，管子中心填充合金剂或涂料，这种产品已在含有多量合金粉的耐磨堆焊焊条中采用。

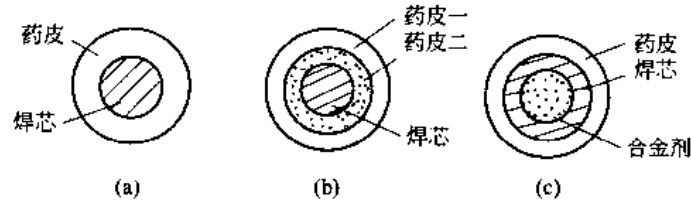


图 1-4 焊条的断面形状

各种焊条的药皮都有一定的厚度，通常用“药皮质量系数”来表示焊条药皮在焊条中所占的质量比例。

$$\text{药皮质量系数 } K(\%) = \frac{\text{药皮质量}}{\text{带药皮的这部分焊芯质量}} \times 100\%$$

一般药皮质量系数为 35%~55%，随焊条药皮类型及使用目的而异，对于为提高焊接效率而在药皮中加入大量铁粉的高效铁粉焊条或通过药皮掺合金的某些堆焊焊条，药皮质量系数可在 100% 以上。

下面叙述焊芯和药皮的作用及组成。

(一) 焊芯

焊芯的作用主要是导电，在焊条端部形成电弧。同时，焊芯靠电弧热熔化后，冷却形成具有一定成分的熔敷金属。

目前，焊条的品种已有几百种，但用于制造焊条的焊芯种类不过数十种。为了保证熔敷金属具有所需的合金成分，一般可通过两种掺合金方法来达到：一种是利用低碳钢芯，通过药皮来过渡，这种方法主要用在低碳钢焊条、低合金钢焊条及堆焊焊条等；另一种是利用合金芯，再通过药皮来补充少量合金元素，这种方法主要用在不锈钢焊条、有色金属焊条及高合金钢焊条。当然，这种区分也不是绝对的，利用低碳钢芯，同样可以制成不锈钢焊条。但无论在什么样的情况下，焊芯的成分都直接影响熔敷金属的成分和性能，因此，要求焊芯尽量减少有害元素的含量。随着冶金工业的发展，对焊芯中有害元素含量的控制要求越来越严格，除了通常的 S、P 外，有些焊条已要求焊芯控制 As、Sb、Sn 等。

通常各种电焊条所用的焊芯见表 1-3。常用焊芯的化学成分（见表 1-4）。

表 1-3 各种电焊条所用的焊芯

电焊条种类	所用焊芯	电焊条种类	所用焊芯
低碳钢焊条	低碳钢焊芯(H08A等)	堆焊用焊条	低碳钢或合金钢芯
低合金高强度钢焊条	低碳钢或低合金钢焊芯	铸铁焊条	低碳钢、铸铁、非铁合金焊芯
低合金耐热钢焊条	低碳钢或低合金钢焊芯	有色金属焊条	有色金属焊芯
不锈钢焊条	不锈钢或低碳钢焊芯		

焊芯除了铸造焊芯外，一般可在平炉、转炉或电炉中冶炼，也可用高频炉熔化某些合金，铸成钢锭后热轧，再拉拔到所需的尺寸切断而成。

焊条国标中规定的各种焊条的基本尺寸见表 1-5，每根焊芯的质量见表 1-6。

表 1-4 常用焊芯的化学成分

/%

钢 号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其 他	S	P
								≤	
H08A	≤0.10	0.30~0.60	≤0.03	≤0.20	≤0.30			0.030	0.030
H08E	≤0.10	0.30~0.60	≤0.03	≤0.20	≤0.30			0.020	0.020
H08C	≤0.10	0.30~0.60	≤0.03	≤0.10	≤0.10			0.015	0.015
H08MnA	≤0.10	0.80~1.10	≤0.07	≤0.20	≤0.30			0.030	0.030
H10Mn2	≤0.12	1.50~1.90	≤0.07	≤0.20	≤0.30			0.035	0.035
H08Mn2Si	≤0.11	1.70~2.10	0.65~0.95	≤0.20	≤0.30			0.035	0.035
H08MnSi	≤0.11	1.20~1.50	0.40~0.70	≤0.20	≤0.30			0.035	0.035
H10MnSiMo	≤0.14	0.90~1.20	0.70~1.10	≤0.20	≤0.30	0.15~0.25		0.035	0.035
H08MnMoA	≤0.10	1.20~1.60	≤0.25	≤0.20	≤0.30	0.30~0.50	Ti ^① 0.15	0.030	0.030
H08Mn2MoA	0.06~0.11	1.60~1.90	≤0.25	≤0.20	≤0.30	0.50~0.70	Ti ^① 0.15	0.030	0.030
H08CrMoA	≤0.10	0.40~ 0.70	0.15~ 0.35	0.80~1.10	≤0.30	0.40~ 0.60		0.030	0.030
H0Cr14	≤0.06	0.30~0.70	0.30~0.70	13.00~ 15.00	≤0.60			0.030	0.030
H00Cr21Ni10	≤0.03	1.0~2.50	≤0.60	19.50~ 22.00	9.00~ 11.00			0.020	0.030
H0Cr21Ni10	≤0.06	1.0~2.50	≤0.60	19.50~ 22.00	9.00~ 11.00			0.020	0.030
H0Cr21Ni10Nb	≤0.08	1.0~2.50	≤0.60	19.00~ 21.50	9.00~ 11.00		Nb10×C%≈ 1.0	0.020	0.030
H00Cr19Ni12Mo2	≤0.03	1.0~2.50	≤0.60	18.00~ 20.00	11.00~ 14.00	2.00~3.00		0.020	0.030
H0Cr19Ni12Mo2	≤0.06	1.0~2.50	≤0.60	18.00~ 20.00	11.00~ 14.00	2.00~3.00		0.020	0.030
H1Cr24Ni13	≤0.12	1.0~2.50	≤0.60	23.00~ 25.00	12.00~ 14.00			0.020	0.030
H1Cr26Ni21	≤0.15	1.0~2.50	0.20~0.59	25.00~ 28.00	20.00~ 22.00			0.020	0.030
H1Cr20Ni10Mn6	≤0.10	5.0~7.0	0.20~0.60	20.00~ 22.00	9.00~ 11.00			0.020	0.030

① Ti 为加入量。

注：本表摘自 GB/T 3429—1994、GB 4241—1984。

表 1-5 各种焊条的基本尺寸

/mm

焊 条 直 径		焊 条 长 度	
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
1.6	±0.05	200~250	±2.0
2.0、2.5		250~300	
3.2、4.0、5.0		350~450	
6.0(5.8)、8.0		500 650	

注：对于重力焊条，焊条长度可达 700 mm、900 mm；对于特细焊条，焊条直径可为 φ0.8、φ1.0、φ1.2、φ1.4 mm。

表 1-6 每根焊芯的质量

焊芯尺寸(直径×长度)/mm	质 量/g	焊芯尺寸(直径×长度)/mm	质 量/g
1.6×200	3.0	4.0×400	39.2
2.0×250	6.1	5.0×400	61.5
2.5×300	11.3	5.8×400	82.4
3.2×350	21.8		

(二) 药皮

焊条药皮又可称为涂料，把它涂到焊芯上主要是为了便于焊接操作以及保证熔敷金属具有一定的成分和性能。药皮的主要作用是：

(1) 保证电弧的集中、稳定，使熔滴金属容易过渡；

(2) 在电弧的周围造成一种还原性或中性的气氛，以防止空气中的氧和氮等进入熔敷金属；

(3) 生成的熔渣均匀地覆盖在焊缝金属表面，减缓了焊缝金属的冷却速度，并获得良好的焊缝外形；

(4) 保证熔渣具有合适的熔点、黏度、密度等，使焊条能进行全位置焊接或容易进行特殊的作业，如向下立焊等；

(5) 药皮在电弧的高温作用下，发生一系列冶金化学反应，除去氧化物及 S、P 等有害杂质，还可加入适当的合金元素，以保证熔敷金属具有所要求的力学性能或其他特殊的性能（如耐蚀、耐热、耐磨等）。

此外，在焊条药皮中加入一定量的铁粉，可以改善焊接工艺性能或提高熔敷效率。

焊条药皮可以采用氧化物、碳酸盐、硅酸盐、有机物、氟化物、铁合金及化工产品等上百种原料粉末，按照一定的配方比例进行混合而成。各种原料根据其在焊条药皮中的作用，可分成下列几类。

(1) 稳弧剂 使焊条容易引弧及在焊接过程中能保持电弧稳定燃烧。作为稳弧剂的材料大都是含有一定量的低电离电位元素的物质，如金红石、二氧化钛、钛铁矿、还原钛铁矿、钾长石、水玻璃（含有钾、钠等碱土金属的硅酸盐），此外还有铝镁合金等。

(2) 造渣剂 焊接时能形成具有一定物理化学性能的熔渣，保护焊接熔池及改善焊缝成形。熔渣的碱度对焊接工艺性能及焊缝金属理化性能均有很大的影响。主要的造渣剂大都是碳酸盐、硅酸盐、氧化物及氟化物，如大理石、萤石、白云石、菱苦土、长石、白泥、云母、石英砂、金红石、二氧化钛、钛铁矿、还原钛铁矿、铁砂及冰晶石等。有些材料对熔渣的黏度、流动性影响很大，可以起到稀渣的作用，如萤石、冰晶石、锰矿等。

(3) 脱氧剂 通过焊接过程中进行的冶金化学反应，以降低焊缝金属中的含氧量，提高焊缝性能。主要是含有对氧亲和力大的元素的铁合金及金属粉，如锰铁、硅铁、钛铁、铝铁、镁粉、铝镁合金、硅钙合金及石墨等。

(4) 造气剂 在电弧高温作用下，能进行分解，放出气体，以保护电弧及熔池，防止周围空气中的氧和氮的侵入。常用的造气剂有碳酸盐及有机物，如大理石、白云石、菱苦土、碳酸钡、木粉、纤维素、淀粉及树脂等。

(5) 合金剂 用来补偿焊接过程中合金元素的烧损及向焊缝过渡合金元素，以保证焊缝金属获得必要的化学成分及性能等。常用各种铁合金及金属粉作为合金剂，如锰铁、硅铁、

铬铁、钼铁、钒铁、铌铁、硼铁、金属锰、金属铬、镍粉、钨粉、稀土硅铁等。

(6) 增塑润滑剂 增加药皮粉料在焊条压涂过程的塑性、滑性及流动性，以提高焊条的压涂质量，减少偏心度。这些材料通常都具有一定的吸水后膨胀的特性或具有一定的弹性、滑性，如云母、合成云母、滑石粉、白土、二氧化钛、白泥、木粉、膨润土、碳酸钠、海泡石、绢云母、藻朊酸盐及 CMC 等。

(7) 黏结剂 使药皮粉料在压涂过程中具有一定的黏性，能与焊芯牢固地粘接，并使焊条药皮在烘干后具有一定的强度。主要的黏结剂有水玻璃（钾、钠及锂水玻璃）及酚醛树脂等。

当然，以上仅是根据每种材料的主要作用进行简单的分类，实际上，一种材料同时可以具备几种作用。例如，大理石在电弧高温作用下分解为 CaO 及 CO_2 ， CO_2 起保护作用， CaO 可以造渣，因此，大理石主要起造气剂和造渣剂的作用。再如，锰铁主要是脱氧剂，但除了脱氧外，多余的锰将渗入焊缝，起合金剂的作用，同时，作为脱氧产物的 MnO 又可以造渣。

常用材料在焊条药皮中的作用见表 1-7。

表 1-7 常用材料在焊条药皮中的作用

材料名称	主要成分	稳定电弧	造渣	脱氧	氧化	气体保护	掺合金	增塑润滑	药皮粘接
大理石	CaCO_3	○	△		△	○			
萤石	CaF_2		○						
金红石	TiO_2	○	○						
二氧化钛	TiO_2	○	○					△	
钛铁矿	TiO_2, FeO	○	○		△				
长石	$\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{R}_2\text{O}$	○	○						
云母	$\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3$		○					○	
锰铁	Mn		△	○			○		
硅铁	Si		△	○			○		
钛铁	Ti		△	○					
金属铬	Cr						○		
镍粉	Ni						○		
木粉、淀粉	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$			△		○		△	
钾水玻璃	$\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	○	△						○
钠水玻璃	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	○	△						○

注：○—主要的作用；△—次要的作用。

三、电焊条的分类

电焊条的分类方法很多，可以从不同角度对电焊条进行分类。从焊接冶金角度，按熔渣的碱度可将焊条分为酸性焊条和碱性焊条；按焊条药皮的主要成分可将焊条分为钛钙型焊条、钛铁矿型焊条、低氢型焊条、铁粉焊条等。从标准化角度，可按照焊条的特点（如熔敷金属抗拉强度、化学组成类型等），将焊条分成许多类型及不同等级，从而确定焊条的各种型号。从用途角度，又可将焊条分为结构钢焊条、耐热钢焊条及不锈钢焊条等十大类。现将各种分类方法分别叙述如下。

（一）按熔渣的碱度分类

在实际生产中通常将焊条分为两大类——酸性焊条和碱性焊条（又称低氢型焊条）。它

们主要是根据熔渣的碱度，亦即熔渣中酸性氧化物和碱性氧化物的比例来划分，当熔渣中酸性氧化物占主要比例时为酸性焊条，反之即为碱性焊条。

从焊接工艺性能来比较，酸性焊条电弧柔软，飞溅小，熔渣流动性和覆盖性均好，因此，焊缝外表美观，焊波细密，成形平滑；碱性焊条的熔滴过渡是短路过渡，电弧不够稳定，熔渣的覆盖性差，焊缝形状凸起，且焊缝外观波纹粗糙，但在向上立焊时，容易操作。

酸性焊条的药皮中含有较多的氧化铁、氧化钛及氧化硅等，氧化性较强，因此在焊接过程中使合金元素烧损较多，同时由于焊缝金属中氧和氢含量较多，因而塑性、韧性较低，酸性焊条一般均可以交直流两用。典型的酸性焊条是 J422。

碱性焊条的药皮中含有多量的大理石和萤石，并有多量的铁合金作为脱氧剂和渗合金剂，因此药皮具有足够的脱氧能力。再则，碱性焊条主要靠大理石等碳酸盐分解出二氧化碳作保护气体，与酸性焊条相比，弧柱气氛中氢的分压较低，且萤石中的氟化钙在高温时与氢结合成氟化氢 (HF)，从而降低了焊缝中的含氢量，故碱性焊条又称为低氢型焊条。但由于氟的反电离作用，所以为了使碱性焊条的电弧能稳定燃烧，一般只能采用直流反接（即焊条接正极）进行焊接，只有当药皮中含有多量稳弧剂时，才可以交直流两用。用碱性焊条焊接时，由于焊缝金属中氧和氢含量较少，非金属夹杂物也少，故具有较高的塑性和冲击韧性。一般焊接重要结构（如承受动载荷的结构）或刚性较大的结构以及可焊性较差的钢材均采用碱性焊条。典型的碱性焊条是 J507。

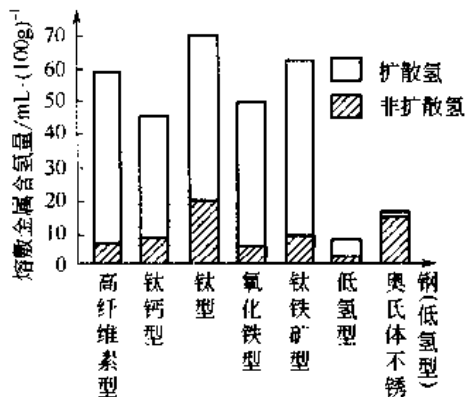


图 1-5 熔敷金属中的含氢量

酸性焊条与碱性焊条工艺性能比较见表 1-8。常温时，每 100 g 熔敷金属中的扩散氢含量，碱性焊条为 1~10 mL，酸性焊条则为 17~50 mL。各类焊条熔敷金属中的含氢量如图 1-5 所示。

各种焊条焊缝金属的含氧量（从焊缝金属中非金属氧化物 FeO、MnO、SiO₂ 折算的总氧量）分别为：纤维素型、氧化钛型、钛铁矿型为 0.06%~0.100%；氧化铁型为 0.100%~0.130%；低氢型为 0.028%~0.040%。

酸性焊条与碱性焊条工艺性能比较见表 1-8。常温时，每 100 g 熔敷金属中的扩散氢含量，碱性焊条为 1~10 mL，酸性焊条则为 17~50 mL。各类焊条熔敷金属中的含氢量如图 1-5 所示。

表 1-8 酸性焊条与碱性焊条工艺性能比较

酸性焊条	碱性焊条
(1) 药皮组分氧化性强	(1) 药皮组分还原性强
(2) 对水、锈产生气孔的敏感性不大，焊条在使用前经 150~200℃ 烘干 1 h，若不受潮，也可不烘干	(2) 对水、锈产生气孔的敏感性大，要求焊条使用前经 (300~400)℃ × 1~2 h 再烘干
(3) 电弧稳定，可用交流或直流施焊	(3) 由于药皮中含有氟化物，恶化电弧稳定性，须用直流施焊，只有当药皮中加稳弧剂后，方可交直流两用
(4) 焊接电流较大	(4) 焊接电流较小，较同规格的酸性焊条小 10% 左右
(5) 可长弧操作	(5) 须短弧操作，否则易引起气孔及增加飞溅
(6) 合金元素过渡效果差	(6) 合金元素过渡效果好
(7) 焊缝成形较好，除氧化铁型外，熔深较浅	(7) 焊缝成形尚好，容易堆高，熔深较深
(8) 熔渣结构呈玻璃状	(8) 熔渣结构呈岩石结晶状
(9) 脱渣较方便	(9) 坡口内第一层脱渣较困难，以后各层脱渣较容易
(10) 焊缝常、低温冲击性能一般	(10) 焊缝常、低温冲击性能较高
(11) 除氧化铁型外，抗裂性能较差	(11) 抗裂性能好
(12) 焊缝中含氢量高，易产生白点，影响塑性	(12) 焊缝中扩散氢含量低
(13) 焊接时烟尘少	(13) 焊接时烟尘多，且烟尘中含有害物质较多

(二) 按焊条药皮的主要成分分类

焊条药皮由多种原料组成，按照药皮的主要成分可以确定焊条的药皮类型。例如，药皮中以钛铁矿为主的称为钛铁矿型；当药皮中含有 30% 以上的二氧化钛及 20% 以下的钙、镁的碳酸盐时，就称为钛钙型。惟有低氢型例外，虽然它的药皮中主要组成为钙、镁的碳酸盐和萤石，但却以焊缝中含氢量最低作为其主要特征而予以命名。对于有些药皮类型，由于使用的黏结剂分别为钾水玻璃（或以钾为主的钾钠水玻璃）或钠水玻璃，因此，同一药皮类型又可进一步划分为钾型和钠型，如低氢钾型和低氢钠型。前者可用于交直流焊接电源，而后者只能使用直流电源。

焊条药皮类型分类见表 1-9。

表 1-9 焊条药皮类型分类

药皮类型	药皮主要成分	焊接电源
钛型	氧化钛 $\geq 35\%$	直流或交流
钛钙型	氧化钛 30% 以上, 钙、镁的碳酸盐 20% 以下	直流或交流
钛铁矿型	钛铁矿 $\geq 30\%$	直流或交流
氧化铁型	多量氧化铁及较多的锰铁脱氧剂	直流或交流
纤维素型	有机物 15% 以上, 氧化钛 30% 左右	直流或交流
低氢型	钙、镁的碳酸盐和萤石	直 流
石墨型	多量石墨	直流或交流
盐基型	氯化物和氟化物	直 流

注：当低氢型药皮中含有多量稳弧剂时，可用于交流或直流。

以低碳钢焊条为例，表 1-10 列出典型焊条药皮配方举例，表 1-11 列出各种焊条熔渣的化学成分，表 1-12 列出各种焊条药皮的化学成分。从上述各表可以看出，由于药皮配方组分不同，致使各种药皮类型焊条的焊接工艺性能、焊接熔渣的特性以及焊缝金属力学性能均有很大差别。各种药皮类型焊条的特点将在第六章中详细阐述。至于石墨型药皮，主要用于铸铁焊条及部分堆焊焊条；而盐基型药皮，多用于铝及铝合金等有色金属焊条。

表 1-10 典型焊条药皮配方举例

药皮材料名称	药皮类型及焊条牌号						
	钛型	钛钙型	钛铁矿型	氧化铁型	纤维素型	低氢型	铁粉钛型
	J421	J422	J423	J424	J425	J427	J421Fe
钛铁矿			32		26		
赤铁矿				33			
金红石	34	28			6		17
二氧化钛	8	8			10	5	4
石英			13			2	
长石	14	9	12				
花岗石				32			
白泥	12	14	11		4		5
云母	8	8	8				4

续表

药皮材料名称	药皮类型及焊条牌号						
	钛型	钛钙型	钛铁矿型	氧化铁型	纤维素型	低氢型	铁粉钛型
	J421	J422	J423	J424	J425	J427	J421Fe
萤石						22	
大理石	8	14	17		8	48	3
白云石		6					
中碳锰铁	8.5	13	19	30	5.5	3.5	高碳5
硅铁						3	
钛铁						16	
木粉	3	1.5			24		
淀粉	2			5			3
锰粉					12		
铁粉							60

注：焊芯均为H08A，黏结剂为水玻璃。

表 1-11 各种焊条熔渣的化学成分

/%

药皮类型	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaF ₂	碱度 BL
钛型	23.4	37.7	10.0	6.9	11.7	3.7	0.5	2.2	2.9		-2.0
钛钙型	25.1	30.2	3.5	9.5	13.7	8.8	5.2	1.7	2.3		-0.9
钛铁矿型	29.2	14.0	1.1	15.6	26.5	8.7	1.3	1.4	1.1		-0.1
氧化铁型	40.4	1.3	4.5	22.7	19.3	1.3	4.6	1.8	1.5		-0.7
纤维素型	24.7	17.5	5.5	11.9	14.4	2.1	5.8	3.8	4.3		-1.3
低氢型	24.1	7.0	1.5	4.0	3.5	35.8		0.8	0.8	20.3	0.9

注：碱度计算公式

$$BL = 6.05CaO + 4.8MnO + 4.0MgO + 3.4FeO - 6.31SiO_2 - 4.97TiO_2 - 0.2Al_2O_3$$

此外，对于药皮中含有多量铁粉的焊条，可以称为铁粉焊条。这时，按照相应焊条药皮的主要成分，又可分为铁粉钛型、铁粉钛铁矿型、铁粉钛钙型、铁粉氧化铁型及铁粉低氢型等，构成了铁粉焊条系列。

表 1-12 各种焊条药皮的化学成分

/%

化学成分	药皮类型及焊条牌号					
	钛型	钛铁矿型	纤维素型	低氢型	铁粉氧化铁型	
	J421	J423	J425	J427	J424Fe	
焊条药皮	SiO ₂	19.14	24.88	11.50	4.90	24.26
	TiO ₂	42.90	11.45	13.20		3.25
	Al ₂ O ₃	4.50	3.40	2.01	3.64	3.14

续表

化 学 成 分		药皮类型及焊条牌号				
		钛 型	钛铁矿型	纤维素型	低氢型	铁粉氧化铁型
		J421	J423	J425	J427	J424Fe
焊 条 药 皮	CaCO ₃	4.97	5.91		49.30	0.23
	CaF ₂				17.95	
	Fe ₂ O ₃	0.77	9.02	0.86	1.77	1.86
	FeO	0.47	10.96	1.53		2.96
	MgO	3.61	2.36	5.20	0.10	2.15
	Mn	9.21	11.64	8.31	1.55	9.76
	Fe	1.67	2.80	1.63	16.17	45.28
	C	0.77	0.24	0.93	1.06	0.48
	Si	0.14	0.09	0.72	4.67	
	K ₂ O	2.38	1.90		0.76	1.07
	有机物	6.20		25.0		1.32
	H ₂ O	1.09		6.03	0.41	1.01
	水 玻 璃	SiO ₂	5.40	3.67	10.76	6.31
Na ₂ O		1.71	2.11	4.51	4.12	1.53
K ₂ O		0.96		7.81		1.76

(三) 按焊条的用途分类

按用途进行焊条的分类，具有较大的实用性。我国现行的焊条分类方法，主要是根据焊条国家标准和原机械工业部编制的《焊接材料产品样本》按照焊条的用途进行分类。

通常，焊条按用途可分为十大类，表 1-13 列出焊条大类的划分。各大类按主要性能的不同还可分为若干小类，如结构钢焊条又可分为低碳钢焊条、普低钢焊条、低合金高强钢焊条等。有些焊条同时可以有多种用途，有些不锈钢焊条如 A102，既可用于焊接不锈钢构件，又可用作堆焊焊条，堆焊某些在腐蚀环境中工作的零件表面，此外还可作为低温钢焊条，用于焊接某些在低温下工作的结构。

表 1-13 焊条大类的划分

焊 条 大 类	代 号		焊 条 大 类	代 号	
	拼音	汉字		拼音	汉字
结构钢焊条	J	结	铸铁焊条	Z	铸
钎及钎钎耐热钢焊条	R	热	镍及镍合金焊条	Ni	镍
铬不锈钢焊条	G	铬	铜及铜合金焊条	T	铜
铬镍不锈钢焊条	A	奥	铝及铝合金焊条	L	铝
堆焊焊条	D	堆	特殊用途焊条	TS	特
低温钢焊条	W	温			

注：焊条牌号的标注以拼音为主，如 J422。

四、电焊条的型号和牌号

对于一种电焊条，通常可以用型号及牌号来反映其主要性能特点及类别。焊条型号是以焊条国家标准为依据，反映焊条主要特性的一种表示方法。型号应包括以下含义：焊条，焊条类别，焊条特点（如熔敷金属抗拉强度、使用温度、焊芯金属类型、熔敷金属化学组成类型等），药皮类型及焊接电源。例如焊条型号 E4315，表示焊条；熔敷金属抗拉强度大于 43 kgf/mm² (420 MPa)；焊条适用于全位置焊接；该焊条药皮类型为低氢钠型，可采用直流反接电源。不同类型焊条的型号表示方法也不同。

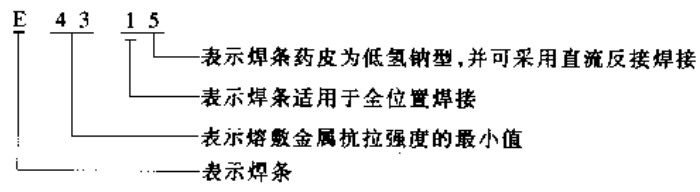
焊条牌号是对焊条产品的具体命名，由焊条厂制定，如普通钛钙型低碳钢焊条，上海产的“上焊-12A”；天津产的“T-50”；兰州产的“CH-422”。一个焊条牌号在长期使用中，往往随着产品质量的好坏与企业的声誉相联系，但众多的牌号又给用户在选用中带来不便，因此，从 1968 年起，焊条行业开始采用统一牌号，凡属于同一药皮类型，符合相同焊条型号，性能相似的产品统一命名为一个牌号，如上述各厂生产的钛钙型低碳钢焊条，统一命名为 J422 (结 422)。目前，随着市场经济的深入发展，为了闯名牌，加强产品竞争力，有些厂又陆续开始编制自己的产品牌号，有的则在统一牌号前面冠以企业名称代号，如同为 J422 (E4303)、A102 (E308-16) 焊条，(自贡)大西洋公司分别称为 CHE42 及 CHS102，(上海)上焊公司分别称为 SH.J422 及 SH.A102 焊条。而(锦州)锦泰公司则称为 KT-42 及 JS-308。但不管是焊条厂自定的牌号，还是全国焊接材料行业统一牌号，都必须在产品样本或标签上注明该产品是“符合国标”、“相当国标”或不加标注(即与国标不符)，以使用户结合产品性能要求，对照标准去选用。每种焊条产品只有一个牌号，但多种牌号的焊条可以同时对应于一种型号。

现将焊条的型号和牌号划分分别叙述如下。

(一) 电焊条型号划分

(1) 碳钢焊条型号划分 根据 GB/T 5117—1995《碳钢焊条》标准规定，碳钢焊条型号按熔敷金属的抗拉强度、药皮类型、焊接位置和焊接电流种类划分，见表 1-14。碳钢焊条型号编制方法如下：字母“E”表示焊条；前两位数字表示熔敷金属抗拉强度的最小值，单位为 kgf/mm² (1 kgf/mm² = 9.81 MPa)；第三位数字表示焊条的焊接位置，“0”及“1”表示焊条适用于全位置焊接(即可进行平、立、仰、横、焊)，“2”表示焊条适用于平焊及平角焊，“4”表示焊条适用于向下立焊；第三位和第四位数字组合时表示焊接电流种类及药皮类型；在第四位数字后面附加“R”表示耐吸潮焊条，附加“M”表示对吸潮和力学性能有特殊规定的焊条，附加“-1”表示冲击性能有特殊规定的焊条。

碳钢焊条型号举例：



碳钢焊条熔敷金属化学成分和冲击吸收功应符合表 1-15 及表 1-16 规定，焊缝金属探伤要求见表 1-17，低氢型焊条药皮含水量和熔敷金属扩散氢含量应符合表 1-18。

表 1-14 碳钢焊条型号划分

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类	力学性能			
				σ_b /MPa	$\sigma_{11.2}$ /MPa	δ_5 /%	
E43 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 43 \text{ kgf/mm}^2$ (420 MPa)							
E4300	特殊型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接	≥ 420	≥ 300	≥ 22	
E4301	钛铁矿型						
E4303	钛钙型						
E4310	高纤维钠型						
E4311	高纤维钾型						
E4312	高钛钠型						
E4313	高钛钾型						
E4315	低氢钠型						
E4316	低氢钾型						
E4320	氧化铁型						平角焊
E4322		平	交流或直流正、反接				
E4323	铁粉钛钙型	平、平角焊	交流或直流正、反接	≥ 420	≥ 330	≥ 22	
E4324	铁粉钛型					≥ 17	
E4327	铁粉氧化铁型					交流或直流正接	≥ 22
E4328	铁粉低氢型					交流或直流反接	≥ 22
E50 系列——熔敷金属抗拉强度 $\geq 50 \text{ kgf/mm}^2$ (490 MPa)							
E5001	钛铁矿型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接	≥ 490	≥ 400	≥ 20	
E5003	铁钙型						
E5011	高纤维钾型						
E5014	铁粉钛型						
E5015	低氢钠型						
E5016	低氢钾型						
E5018	铁粉低氢型	平、平角焊	交流或直流反接	≥ 490	365~500	≥ 22	
E5018M						直流反接	≥ 24
E5023	铁粉钛钙型	平、平角焊	交流或直流正、反接	≥ 490	≥ 400	≥ 17	
E5024	铁粉钛型						
E5027	铁粉氧化铁型					交流或直流正接	≥ 22
E5028	铁粉低氢型					平、立、仰、立向下	交流或直流反接
F5048							

注：1. 焊接位置栏中文字含义，平—平焊，立—立焊，仰—仰焊，横—横焊，平角焊—水平角焊，立向下—立向下焊。

2. 直径不大于 4.0 mm 的 E5014、E5015、E5016 和 E5018 焊条及直径不大于 5.0 mm 的其他型号的焊条可适用于立焊和仰焊。

3. E4322 型焊条适宜单道焊。

表 1-15 碳钢焊条熔敷金属化学成分

/%

焊条型号	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Mn, Ni, Cr, Mo, V 总量
E4300, E4301, E4303, E4310, E4311, E4312, E4313, E4320, E4322, E4323, E4324, E4327, E5001, E5003, E5010, E5011	—			0.035	0.040	—				—
E5015, E5016, E5018, E5027	—	1.60	0.75			0.30	0.20	0.30	0.08	1.75
E4315, E4316, E4328, E5014, E5023, E5024	—	1.25	0.90							1.50
E5028, E5048	—	1.60	—							1.75
E5018M	0.12	0.40~1.60	0.80	0.020	0.030	0.25	0.15	0.35	0.05	—

注：表中单值均为最大值。

表 1-16 碳钢焊条熔敷金属冲击吸收功

焊条型号	夏比 V 形缺口冲击吸收功/J \geq	试验温度/℃
	5 个试样中 3 个值的平均值	
E××10, E××11, E××15, E××16, E××18, E××27, E5048	27	-30
E××01, E××28, E5024-1		-20
E4300, E××03, E××23	27	0
E5015-1, E5016-1, E5018-1		-6
	5 个试样中的平均值	
E5018-M	67	-30
E4312, E4313, E4320, E4322, E5014, E××24	—	—

注：1. 在计算 5 个试样中 3 个试样的平均值时，5 个值中的最大值和最小值应舍去，余下的两个值不小于 27 J，另一个值不小于 20 J。

2. 用 5 个试样的值计算平均值，这 5 个值中要有 4 个值不小于 67 J，另一个值不小于 54 J。

表 1-17 碳钢焊条焊缝金属探伤要求

焊条型号	焊缝金属射线探伤底片要求
E××01, E××15, E××16, E5018, E5018M, E4320, E5048	1 级
E4300, E××03, E××10, E××11, E4313, E5014, E××23, E××24, E××27, E××27	2 级
E4312, E4322	—

表 1-18 低氢型焊条药皮含水量和熔敷金属中扩散氢含量

焊条型号	药皮含水量/%		熔敷金属扩散氢含量/mL·(100g) ⁻¹	
	正常状态	吸潮状态	甘油法	色谱法或水银法
E××15, E××15-1, E××16, E××16-1, E5018, E5018-1, E××28, E5048	≤0.60	—	≤8.0	≤12.0
E××15R, E××15-1R, E××16R, E××16-1R, E5018R, E5018-1R, E××28R, E5048R	≤0.30	≤0.40	≤6.0	≤10.0
E5018M	≤0.10	≤0.40	—	≤4.0

(2) 低合金钢焊条型号划分 根据 GB/T 5118—1995《低合金钢焊条》标准规定,低合金钢焊条型号按熔敷金属的力学性能、化学成分、药皮类型、焊接位置和焊接电流种类划分。低合金钢焊条的化学成分和力学性能分别见表 1-19 (a)、(b)。低合金钢焊条型号编制

表 1-19 (a) 低合金钢焊条的化学成分

焊条型号		熔敷金属化学成分/%																							
		C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Nb	W	B	Cu											
碳 钢 焊 条	E5010-A1	0.12	0.60	0.035	0.035	0.40	—	0.40~ 0.65	—	—	—	—	—												
	E5011-A1																								
	E5003-A1																								
	E5015-A1																								
	E5016-A1																								
	E5018-A1																								
	E5020-A1																								
	E5027-A1																								
铬 钼 钢 焊 条	E5500-B1	0.05~ 0.12	0.90	0.35	0.35	0.60	—	0.40~ 0.65	—	—	—	—	—												
	E5503-B1																								
	E5515-B1																								
	E5516-B1																								
	E5518-B1																								
	E5515-B2																								
	E5515-B2L																								
	E5516-B2																								
	E5518-B2																								
	E5518-B2L																								
	E5500-B2-V	0.05~ 0.12	1.00	0.35	0.35	0.60	—	0.80~ 1.50	—	—	—	—	—												
	E5515-B2-V																								
	E5515-B2-VNb																								
	E5515-B2-VW																								
	E5500-B3-VWB																								
	E5515-B3-VWB																								
	E5515-B3-VNb																								
	E6000-B3													0.05~ 0.12	0.90	0.35	0.35	0.60	—	2.00~ 2.50	0.90~ 1.20	—	—	—	—
	E6015-B3L																								
	E6015-B3																								
E6016-B3																									
E6018-B3																									
E6018-B3L																									
E5515-B4L																									
E5516-B5	0.07~ 0.15	0.40~ 0.70	0.35	0.35	0.60	—	0.40~ 0.60	1.00~ 1.25	0.05	—	—	—													

续表

焊条型号		熔敷金属化学成分/%																						
		C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Nb	W	B	Cu										
镍 钢 焊 条	E5515-C1	0.12	1.25	0.035	0.035	0.60	2.00~ 2.75	—	—	—	—	—	—	—										
	E5516-C1					0.60																		
	E5518-C1					0.80																		
	E5015-C1L	0.05				0.40~ 1.25	0.03								0.03	0.50	3.00~ 3.75	0.15	0.35	0.05	—	—	—	—
	E5016-C1L															0.50								
	E5018-C1L															0.50								
	E5516-C2	0.12				0.40~ 1.25	0.03								0.03	0.60	3.00~ 3.75	0.15	0.35	0.05	—	—	—	—
	E5518-C2															0.80								
	E5015-C2L															0.50								
	E5016-C2L	0.05				0.40~ 1.25	0.03								0.03	0.50	3.00~ 3.75	0.15	0.35	0.05	—	—	—	—
	E5018-C2L															0.50								
	E5515-C3	0.12				0.40~ 1.25	0.03								0.03	0.80	0.80~ 1.10	0.15	0.35	0.05	—	—	—	—
	E5516-C3															0.80								
	E5518-C3															1.10								
	镍 铜 焊 条	E5518-NM				0.10	0.80~ 1.25								0.02	0.03	0.60	0.80~ 1.10	0.05	0.40~ 0.65	0.02	—	—	—
E6015-D1		0.12	1.25~ 1.75	0.035	0.035	0.60	—	—	0.25~ 0.45	—	—	—	—											
E6016-D1	1.75		0.80			0.40~ 0.65																		
E6018-D1	0.80		0.40~ 0.65																					
E5515-D3	1.00~ 1.75		0.60			0.25~ 0.45																		
E5516-D3	0.60		0.25~ 0.45																					
E5518-D3	0.80		0.25~ 0.45																					
E7015-D2	1.65~ 2.00		0.60			0.25~ 0.45																		
E7016-D2	0.15	0.60	0.25~ 0.45																					
E7018-D2	0.80	0.25~ 0.45	0.80																					
所有其他低合金钢焊条	E××03-G	—	≥1.00	—	—	≥0.80	≥0.50	≥0.30	≥0.20	≥0.10	—	—	—	—										
	E××10-G																							
	E××11-G																							
	E××13-G																							
	E××15-G																							
	E××16-G																							
	E××18-G																							
	E5020-G																							
	E6018-M	0.10	0.60~ 1.25	0.03	0.03	0.80	1.40~ 1.80	0.15	0.35	0.05	—	—	—	—										
	E7018-M		0.75~ 1.70			1.40~ 2.10	0.35	0.25~ 0.50																
	E7518-M		1.30~ 1.80			1.25~ 2.50	0.40	0.30~ 0.55																
	E8518-M		1.30~ 2.25			1.75~ 2.50	0.30~ 1.50	0.20~ 0.30																
	E8518-M1		0.80~ 1.60			3.00~ 3.80	0.65	—																
	E5018-W	0.12	0.40~ 0.70	0.025	0.025	0.40~ 0.70	0.20~ 0.40	0.15~ 0.30	—	0.08	—	—	—	0.30~ 0.60										
	E5518-W		0.50~ 1.30	0.035	0.035	0.35~ 0.80	0.40~ 0.80	0.45~ 0.70	—	—	—	—	0.30~ 0.75											

注：1. 焊条型号中的“××”代表焊条的不同抗拉强度等级（50、55、60、70、75、80、85、90及100）。

2. 表中单值除特殊规定外，均为最大百分比。

3. E5518-NM型焊条含铅不大于0.05%。

4. E××××-G型焊条只要1个元素符合表中规定即可，当有-40℃冲击功≥54J要求时，该焊条型号标志为E××××-GM。

表 1-19 (b) 低合金钢焊条的力学性能

焊条型号	熔敷金属力学性能				焊条型号	熔敷金属力学性能			
	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV} /J		σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV} /J
E5010-A1	≥490	≥390	≥22	—	E5515-C1	≥540	≥440	≥17	≥27(-60℃)
E5011-A1	≥490	≥390	≥22	—	E5516-C1	≥540	≥440	≥17	≥27(-60℃)
E5003-A1	≥490	≥390	≥20	—	E5518-C1	≥540	≥440	≥17	≥27(-60℃)
E5015-A1	≥490	≥390	≥22	≥27(常温)	E5015-C1L	≥490	≥390	≥22	≥27(-70℃)
E5016-A1	≥490	≥390	≥22	≥27(常温)	E5016-C1L	≥490	≥390	≥22	≥27(-70℃)
E5018-A1	≥490	≥390	≥22	≥27(常温)	E5018-C1L	≥490	≥390	≥22	≥27(-70℃)
E5020-A1	≥490	≥390	≥22	—	E5516-C2	≥540	≥440	≥17	≥27(-70℃)
E5027-A1	≥490	≥390	≥22	—	E5518-C2	≥540	≥440	≥17	≥27(-70℃)
E5500-B1	≥540	≥440	≥16	—	E5015-C2L	≥490	≥390	≥22	≥27(-100℃)
E5503-B1	≥540	≥440	≥16	—	E5016-C2L	≥490	≥390	≥22	≥27(-100℃)
E5515-B1	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E5018-C2L	≥490	≥390	≥22	≥27(-100℃)
E5516-B1	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E5515-C3	≥540	440~540	≥22	≥27(-40℃)
E5518-B1	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E5516-C3	≥540	440~540	≥22	≥27(-40℃)
E5515-B2	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E5518-C3	≥540	440~540	≥22	≥27(-40℃)
E5515-H2L	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E5518-NM	≥540	≥440	≥17	≥27(-40℃)
E5516-B2	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E6015-D1	≥590	≥490	≥15	≥27(-30℃)
E5518-B2	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E6016-D1	≥590	≥490	≥15	≥27(-30℃)
E5518-B2L	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E6018-D1	≥590	≥490	≥15	≥27(-30℃)
E5500-B2-V	≥540	≥440	≥16	≥27(常温)	E5515-D3	≥540	≥440	≥17	≥27(-30℃)
E5515-B2-V	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E5516-D3	≥540	≥440	≥17	≥27(-30℃)
E5515-B2-VNb	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E5518-D3	≥540	≥440	≥17	≥27(-30℃)
E5515-B2-VW	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E7015-D2	≥690	≥590	≥15	≥27(-30℃)
E5515-B3-VWB	≥540	≥340	≥17	≥27(常温)	E7016-D2	≥690	≥590	≥15	≥27(-30℃)
E5515-B3-VNb	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E7018-D2	≥690	≥590	≥15	≥27(-30℃)
E6000-B3	≥590	≥490	≥14	≥27(常温)	E××××-E	—	—	—	≥54(-40℃)
E6015-B3L	≥590	≥490	≥15	≥27(常温)	E6018-M	≥590	≥490	≥22	≥27(-50℃)
E6015-B3	≥590	≥490	≥15	≥27(常温)	E7018-M	≥690	≥590	≥18	≥27(-50℃)
E6016-B3	≥590	≥490	≥15	≥27(常温)	E7518-M	≥740	≥640	≥18	≥27(-30℃)
E6018-B3	≥590	≥490	≥15	≥27(常温)	E8518-M	≥830	≥740	≥15	≥27(-50℃)
E6018-B3L	≥590	≥490	≥15	≥27(常温)	E8518-M1	≥830	≥740	≥15	≥68(-20℃)
E5515-B4L	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E5018-W	≥490	≥390	≥22	≥27(-20℃)
E5516-B5	≥540	≥440	≥17	≥27(常温)	E5518-W	≥540	≥440	≥17	≥27(-20℃)

方法与碳钢焊条基本相同，但后缀字母为熔敷金属的化学成分分类代号，并以短划“-”与前面数字分开，如还具有附加化学成分时，附加化学成分直接用元素符号表示，并以短划“-”与后面缀字母分开。表 1-20 为各类低合金钢焊条熔敷金属主要性能简表。

低合金钢焊缝射线探伤要求见表 1-21，低合金钢焊条药皮含水量和熔敷金属中扩散氢含量应符合表 1-22 规定，低合金钢焊条预热温度、层间温度及焊后热处理温度见表 1-23。

低合金钢焊条型号举例：

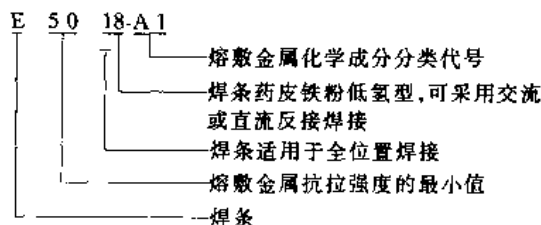


表 1-20 各类低合金钢焊条熔敷金属主要性能

熔敷金属 类型	焊条型号	熔敷金属主要成分 /%						熔敷金属力学性能						
		C	Mn	Ni	Cr	Mo	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /kgf·mm ⁻²	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	冲击试验			
											冲击功 A _{KV} /J	冲击功 A _{KV} /J		
碳-钼钢焊条	E50××-A1	≤0.12				0.40~0.65	490	50	390	40	22			
	E50××-B1	0.05~0.12			0.40~0.65									
	E55××-B2L	≤0.05			1.00~1.50	0.40~0.65	540	55	440	45	16~17			
	E55××-B2	0.05~0.12			2.00~2.50	0.90~1.20	590	60	530	54	14			
	E55××-B3L	≤0.05			1.75~2.25	0.40~0.65								
	E60××-B3	0.05~0.12			0.40~0.65	1.00~1.25	540	55	440	45	16			
铬-钼钢焊条	E55××-B4L	≤0.05												
	E55××-B5	0.07~0.15			0.40~0.65									
	E55××-C1	≤0.12		2.00~2.75			490	50	390	40	22			
	E50××-C1L	≤0.05					540	55	450	45	16			
	E55××-C2	≤0.12		3.00~3.75			490	50	390	40	22			
	E50××-C2L	≤0.05												
镍-钼钢焊条	E55××-C3	≤0.12		0.80~1.10	0.15		540	55	440~540	45~55	22			
	E5518-NM	≤0.10		0.80~1.10	0.05	0.35			440	45	16			
	E60××-D1	≤0.12	1.25~1.75			0.40~0.65	590	60	530	54	14			
	E55××-D3	≤0.12	1.00~1.75			0.25~0.45	540	55	440	45	16			
	E70××-D2	≤0.15	1.65~2.00			0.25~0.45	690	70	590	60	13			
	E××××-G	—	≥1.00	≥0.50	≥0.30	≥0.20							无要求	
所有其他低合金 钢焊条	E××××-E	—	≥1.00	≥0.50	≥0.30	≥0.20							54(-40℃)	
	E6018-M		0.60~1.25	1.40~1.80	≤0.15	≤0.35	590	60	530	54	22			
	E7018-M		0.75~1.70	1.40~2.10	≤0.35	0.25~0.50	690	70	590	60	18			
	E7518-M		1.30~1.80	1.25~2.50	≤0.40	0.25~0.50	740	75	640	65	18			
	E8518-M		1.30~2.25	1.75~2.50	0.30~0.50	0.30~0.55	830	85	740	75	16			
	E8518-M1		0.80~1.60	3.00~3.80	≤0.65	0.20~0.30								
	E5018-W		0.40~0.70	0.20~0.40	0.15~0.30	Ca 0.30~0.60	490	50	390	40	22			
	E5518-W		0.50~1.30	0.40~0.80	0.45~0.70	Ca 0.30~0.75	540	55	440	45	16			
			≤0.12											

注：1. 焊条型号中“×××”表示熔条的不同药皮类型，E×××××中前两位“××”表示熔条的不同抗拉强度等级（50、55、60、70、75、80、85、90及100）。
 2. 表中力学性能的单个值除特殊规定外，均为最大百分比。
 3. E×××××-C型焊条只要一个元素符合表中规定即可，当有-40℃冲击性能要求≥54J时，该焊条型号标志为E×××××-E。
 4. σ_b 表示抗拉强度， $\sigma_{0.2}$ 表示屈服强度， δ_5 表示屈服强度， A_{KV} 表示V形缺口冲击吸收功，以后各表均相同。

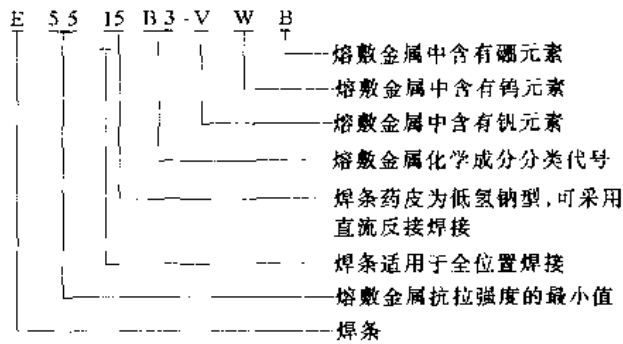


表 1-21 低合金钢焊缝射线探伤要求

焊条型号	射线探伤要求	焊条型号	射线探伤要求
E××15-×、E××16-×、E××18-×、E5020-×	I级	E××00-×、E××03-×、E××10-×、E××11-×、E××13-×、E5027-×	II级

表 1-22 低合金钢焊条药皮含水量和熔敷金属中扩散氢含量

焊条型号	药皮含水量/%		熔敷金属扩散氢含量/mL·(100 g) ⁻¹	
	正常状态	吸潮状态	甘油法	色谱法或水银法
E5015-×、E5016-×、E5018-×、E5515-×、E5516-×、E5518-×	≤0.30	—	≤6.0	≤10.0
E5015-×R、E5016-×R、E5018-×R、E5515-×R、E5516-×R、E5518-×R		≤0.40	—	—
E6015-×、E6016-×、E6018-×	≤0.15	—	≤4.0	≤7.0
E6015-×R、E6016-×R、E6018-×R		≤0.25	—	—
E7015-×、E7016-×、E7018-×、E7515-×、E7516-×、E7518-×、E8015-×、E8016-×、E8018-×	—	—	≤4.0	≤7.0
E8515-×、E8516-×、E8518-×、E9015-×、E9016-×、E9018-×、E10015-×、E10016-×、E10018-×	—	—	≤2.0	≤5.0
E8515-M1、E××××-E	≤0.10	—	—	≤4.0

表 1-23 低合金钢焊条预热温度、层间温度及焊后热处理温度

焊条型号	预热及层间温度/℃	热处理温度/℃
E5010-×、E5011-×、E5015-×、E5016-×、E5018-×、E5020-×、E5027-×、E5515-×、E5516-×、E5518-×、E6015-×、E6016-×、E6018-×、E7015-×、E7016-×、E7018-×、E7515-×、E7516-×、E7518-×、E8015-×、E8016-×、E8018-×、E8518-×、E8516-×、E8518-×	90~110	620±15
E5003-×、E5500-×、E5503-×、E5510-×、E5511-×、E5513-×、E6010-×、E6011-×、E6013-×、E7010-×、E7011-×、E7013-×	160~220	620±15
E5515-B2L、E5510-B2、E5511-B2、E5513-B2、E5515-B2、E5516-B2、E5518-B2、E5518-B2L、E5511-B2、E5513-B2		690±15
E5500-B2-V、E5515-B2-V、E5515-B2-VW、E5515-B2-VNb、E5515-B3-VNb	250~300	730±15
E5515-B3-VWB	320~360	760±15
E6000-B3、E6015-B3L、E6015-B3、E6016-B3、E6018-B3、E6018-B3L、E5515-B4L、E5515-B5	160~200	690±15
E5018-W、E5516-C3、E5518-C3、E5518-NM、E5518-W、E6018-M、E7018-M、E7518-M、E8518-M	90~110	—
E8518-M1	110~140	—

注：本表中的后缀字母“×”代表除 B2、B3、B4、B5、C3、M、M1、NM、W 以外的所有后缀字母（A1、B1 等）。

(3) 不锈钢焊条型号划分 这类焊条通常用于铬含量大于 10.50%、镍含量小于 50% 的

耐腐蚀钢或耐热钢的焊接, 根据 GB/T 983 1995《不锈钢焊条》的规定, 不锈钢焊条型号根据熔敷金属的化学成分、药皮类型、焊接位置及焊接电流种类划分, 见表 1-24。不锈钢

表 1-24 不锈钢焊条型号划分

焊条型号	熔敷金属主要化学成分/%					力学性能				
	C	Cr	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%	热处理		
E209	0.06	20.5~24.0	9.5~12.0	1.5~3.0	Mn 4.0~7.0, N 0.10~0.30, V 0.10~0.30	690	15			
E219		19.0~21.0	5.5~7.0	0.75	Mn 8.0~10.0, N 0.10~0.30, V 0.10~0.30	620				
E240		17.0~19.0	4.0~6.0		Mn 10.5~13.5, N 0.10~0.30	690				
E307	0.04~0.14	18.0~21.5	9.0~10.7	0.5~1.5		590	30			
E308	0.08	18.0~21.0	9.0~11.0	0.75		550	35			
E308H	0.04~0.08					9.0~11.0			0.75	550
E308L	0.04					9.0~12.0			2.0~3.0	520
E308Mo	0.08					9.0~12.0			2.0~3.0	550
E308MoL	0.04									520
E309	0.15									
E309L	0.04			0.75	520					
E309Nb	0.12	22.0~25.0	12.0~14.0	2.0~3.0	Nb 0.70~1.00	550	25			
E309Mo						540				
E309MoL						550				
F310	0.08~0.20	25.0~28.0	20.0~22.5	0.75		620	10			
E310H	0.35~0.45					620				
E310Nb	0.12	25.0~28.0	20.0~22.0	2.0~3.0	Nb 0.70~1.00	550	25			
E310Mo						550				
E312	0.15	28.0~32.0	8.0~10.5	0.75		660	22			
E316	0.08	17.0~20.0	11.0~14.0	2.0~3.0		520	30			
E316H	0.04~0.08					490				
E316L	0.04					550				
E317	0.08	18.0~21.0	12.0~14.0	3.0~4.0		520	25			
E317L	0.04					520				
E317MoCu	0.08					2.0~2.5			Cu 2	540
E317MoCuL	0.04					540				
E318	0.08	17.0~20.0	11.0~14.0	2.0~3.0	Nb 8×C~1.00	550	30			
E318V				2.0~2.5	V 0.30~0.70	540				
E320	0.07	19.0~21.0	32.0~36.0	2.0~3.0	Nb 8×C~1.00	550	25			
E320LR	0.03					Nb 8×C~0.40			520	
E330	0.18~0.25	14.0~17.0	33.0~37.0	0.75		620	10			
E330H	0.35~0.45					620				
E330MoMnWNb	0.20	15.0~17.0	33.0~37.0	2.0~3.0	Mn 3.5, Nb 1.0~2.0, W 2.0~3.0	590	25			
F347	0.08	18.0~21.0	9.0~11.0	0.75	Nb 8×C~1.00	520				
E349	0.13		8.0~10.0	0.35~0.65	Nb 0.75~1.20, V 0.10~0.30, Ti 0.15, W 1.25~1.75	690				
E383	0.03	26.5~29.0	30.0~33.0	3.2~4.2	Cu 0.6~1.5	520	30			
E385		19.5~21.5	24.0~26.0	4.2~5.2	Cu 1.2~2.0	520				

续表

焊条型号	熔敷金属主要化学成分/%					力学性能		
	C	Cr	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%	热处理
E410	0.12	11.0~13.5	0.7	0.75		450	20	a
E410NiMo	0.06	11.0~12.5	4.0~5.0	0.40~0.70		760	15	b
E430		15.8~18.0	0.6	0.75		450		c
E502 ^①	0.10	4.0~6.0	0.4	0.45~0.65		420	20	d
E505 ^②		8.0~10.5		0.85~1.20				
E630	0.05	16.0~16.75	4.5~5.0	0.75	Cu 3.25~4.00, Nb 0.15~0.30	930	7	e
E16-8-2	0.10	14.5~16.5	7.5~9.5	1.0~2.0		550	35	
E16-25MoN	0.12	14.0~18.0	22.0~27.0	5.0~7.0	N \geq 0.1	420	30	
E7Cr ^③	0.10	6.0~8.0	0.40	0.45~0.65		420	20	d
E5MoV ^④	0.12	4.5~6.0		0.40~0.70	V 0.10~0.35	540	14	f
E9Mo ^⑤	0.15	8.5~10.0		0.70~1.00		590	16	g
E11MoVNi	0.19	9.5~11.5	0.60~1.00	0.60~0.90	V 0.20~0.40	730	15	g
E11MoVN _i W		9.5~12.0	0.40~1.10	0.80~1.10	V 0.20~0.40, W 0.40~0.70			
E2209	0.04	21.0~23.5	8.5~10.5	2.5~3.5	N 0.08~0.20	690	20	
E2553	0.06	24.0~27.0	6.5~8.5	2.9~3.9	N 0.10~0.25, Cu 1.5~2.5	760	15	

① 焊条型号将放入下次修订的 GB/T 5118《低合金钢焊条》中，而从本标准删除。

注：1. 表中化学成分的单值为最大值，力学性能为最小值。

2. 焊条型号中的字母 L 表示碳含量较低，H 表示碳含量较高，R 表示碳、磷、硅含量较低。

3. 热处理栏中的字母表示的内容为：

a—试件在 730~760℃ 保温 1 h，以不超过 60℃/h 的速度随炉冷至 315℃，然后空冷；

b—试件在 595~620℃ 保温 1 h，然后空冷；

c—试件在 760~790℃ 保温 2 h，以不超过 55℃/h 的速度随炉冷至 595℃，然后空冷；

d—试件在 840~870℃ 保温 2 h，以不超过 55℃/h 的速度随炉冷至 595℃，然后空冷；

e—试件在 1025~1050℃ 保温 1 h 后空冷到室温，随后再加热到 610~630℃，保温 4 h，进行沉淀硬化处理，然后冷到室温；

f—试件在 740~760℃ 保温 4 h，然后空冷；

g—试件在 730~750℃ 保温 4 h，然后空冷。

焊条型号编制方法如下：字母“E”表示焊条，“E”后面的数字表示熔敷金属化学成分分类代号，如有特殊要求的化学成分，该化学成分用元素符号表示，放在数字的后面；短划“-”后面的两位数字表示药皮类型、焊接位置及焊接电流类型。不锈钢焊条分类见表 1-25。

表 1-25 不锈钢焊条分类

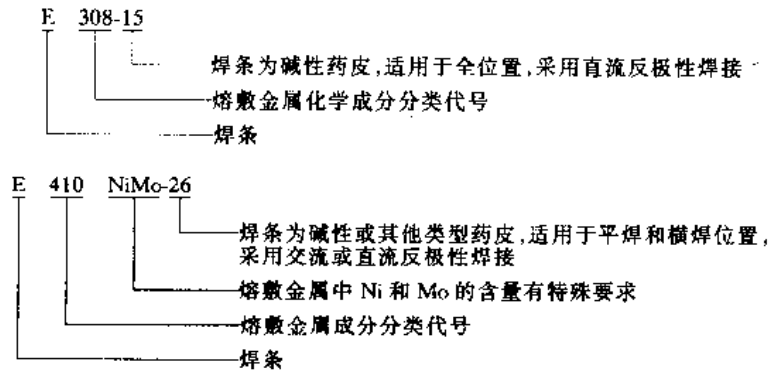
焊条类型	焊接电流	焊接位置	焊条类型	焊接电流	焊接位置
E×××(×)-15	直流反接	全位置	E×××(×)-16	交流或直流反接	全位置
E×××(×)-25		平焊、横焊	E×××(×)-17		平焊、横焊
			E×××(×)-26		

与 GB 983—1985 中原来型号表示方法相比，原来型号直接以熔敷金属中碳、铬、镍平均含量来表示，而现在则改为以代号表示，如 A102 焊条原来型号为 E0-19-10 型，现则表示

为 E308 型, 该代号与美国、日本等工业发达国家的不锈钢材的牌号相同, 世界上大多数工业国家都是将不锈钢焊条型号与不锈钢材代号相一致, 这样有利于焊条的选择和使用, 也便于进行国际交往。

需要指出的是 GB/T 983—1995 中新增加的 (17) 药皮类型, 是药皮类型 (16) 的变型, 用硅铝酸盐 (如石英、云母或长石等) 来代替部分 TiO_2 , 并相应减少碳酸盐的含量。因此, 一般习惯上药皮 (16) 称为钛钙型、金红石碱性或石灰氧钛型, 而药皮 (17) 称为金红石型、金红石酸性或钛酸性。药皮 (17) 焊接手感好, 电弧爽, 挺度好, 但因熔渣凝固稍慢, 故立焊操作性稍逊于药皮 (16)。药皮 (17) 熔化系数比药皮 (16) 约大 20%~30%, 且药皮发红开裂倾向小。由于药皮 (17) 氧化性较强, 故 Mn 的烧损多, 而熔渣碱度小, 故渗硅严重, 焊缝金属中含 Si 0.7%~0.9%, 而药皮 (16) 仅为 0.3%~0.5%。

不锈钢焊条型号举例:



(4) 堆焊焊条型号划分 根据 GB/T 984—2001《堆焊焊条》的规定, 堆焊焊条型号按熔敷金属化学成分及药皮类型划分, 其型号编制方法如下: 型号第一字“E”表示焊条; 第二字“D”表示堆焊; 型号中第三字至倒数第三字表示焊条特点, 用拼音字母或化学元素符号表示堆焊焊条的分类, 见表 1-26, 型号中最后二字用数字表示药皮类型和焊接电源, 并用短划“-”与前面符号分开, 见表 1-27; 如在同一基本型号内有几个分类时, 可用字母 A、B、C 等标志, 再细分可加注数字, 如 A1、A2 等。

表 1-26 熔敷金属化学成分及分类代号

型号分类	熔敷金属化学组成类型	型号分类	熔敷金属化学组成类型
EDT××-××	特殊型	EDD××-××	高速钢
EDP××-××	普通低中合金钢	EDZ××-××	合金铸铁
EDR××-××	热强合金钢	EDCrC××-××	高铬铸铁
EDCr××-××	高铬钢	EDCoCr××-××	钴基合金
EDMn××-××	高锰钢	EDW××-××	碳化钨
EDCrMn××-××	高铬锰钢	EDNi××-××	镍基合金
EDCrNi××-××	高铬镍钢		

对于碳化钨管状焊条, 其型号中第一字母“E”表示焊条; 第二字母“D”表示焊条用于表面耐磨堆焊; 后面用元素符号“WC”表示碳化钨管状焊条, 其后用数字 1、2、3

表示芯部碳化钨粉粒化学成分分类代号（见表 1-28）；短划“-”后面的粒度或是用通过筛网和不通过筛网的两个目数表示，以斜线“/”相隔，或是只用通过筛网的一个目数表示（见表 1-29）。

表 1-27 堆焊焊条型号中药皮类型和焊接电源的数字表示

焊条型号	药皮类型	焊接电源	焊条型号	药皮类型	焊接电源
ED××-00	特殊型	交流或直流	ED××-16	低氢钾型	交流或直流
ED××-03	钛钙型		ED××-08	石墨型	
ED××15	低氢钠型	直流			

表 1-28 碳化钨粉粒的化学成分

型号	C	Si	Ni	Mo	Co	W	Fe	Th
WC1	3.6~4.2	≤0.3	≤0.3	≤0.6	≤0.3	≥94.0	≤1.0	≤0.01
WC2	6.0~6.2					≥91.5	≤0.5	
WC3	由供需双方商定							

表 1-29 碳化钨粉粒的粒度及质量分数

型号	粒度分布	质量分数(EWC1,EWC2)
EDWC×-12/30	1.70 mm~600 μm(-12目/+30目)	≥60%
EDWC×-20/30	850~600 μm(-20目/+30目)	
EDWC×-30/40	600~425 μm(-30目/+40目)	
EDWC×-40	<425 μm(-40目)	
EDWC×-40/120	425~125 μm(-40目/+120目)	

- 注：1. 焊条型号中的“×”代表“1”或“2”或“3”。
2. 允许通过（“-”）筛网的筛上物≤5%，不通过（“+”）筛网的筛下物≤20%。

具体堆焊焊条型号可参见表 1-30。

堆焊焊条型号举例：

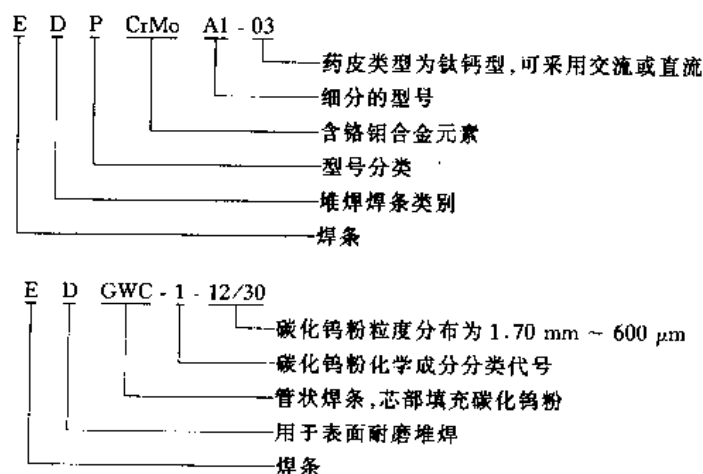


表 1-30 堆焊焊条型号

焊条型号	熔敷金属化学成分/%											堆焊金属硬度 HRC (HB)		
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	Co	Fe		B	其他元素 总量
EDPMn2-x-x ^①	0.20	3.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22
EDPMn3-x-x ^①	0.20	4.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28
EDPMn4-x-x ^①	0.20	4.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.00	30
EDPMn5-x-x	0.20	5.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40
EDPMn6-x-x	0.45	6.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50
EDPCrMoA0-x-x	0.04~0.20	0.50~2.00	1.00	0.50~3.50	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	—
EDPCrMoA1-x-x ^①	0.25	—	—	2.00	—	1.50	—	—	—	—	—	—	2.00	22
EDPCrMoA2-x-x ^①	0.50	—	—	3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30
EDPCrMoA3-x-x	0.50	—	—	2.50	—	2.50	—	—	—	—	—	—	—	40
EDPCrMoA4-x-x	0.30~0.60	—	—	5.00	—	4.00	—	—	—	—	—	—	—	50
EDPCrMoA5-x-x	0.50~0.80	0.50~1.50	—	4.00~8.00	—	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—
EDPCrMnSiA1-x-x	0.30~1.00	2.50	1.00	3.50	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	50
EDPCrMnSiA2-x-x	1.00~2.00	0.50~2.00	—	3.00~5.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EDPCrMnSiVAD-x-x	0.10~0.30	—	—	1.80~3.80	1.00	1.00	—	0.35	—	—	—	—	—	—
EDPCrMoVA1-x-x	0.30~0.60	—	—	8.00~10.00	—	3.00	—	0.50~1.00	—	—	—	0.20~0.40	—	—
EDPCrMoVA2-x-x	0.40~0.65	—	—	4.00~5.00	—	2.00~3.00	—	4.00~5.00	—	—	—	0.50~0.90	—	—
EDPCrSiA-x-x	0.35	—	1.80	6.50~8.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EDPCrSiB-x-x	1.00	0.80	1.50~3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EDPCrMnMo-x-x	0.60	2.50	1.00	2.00	—	1.00	—	—	—	—	—	—	—	40,45 ^②
EDRCrW-x-x	0.25~0.55	—	—	2.00~3.50	—	—	7.00~10.00	—	—	—	—	—	1.00	48
EDRCrMoWV-A1-x-x	0.50	—	—	5.00	—	2.5	—	1.00	—	—	—	—	—	55
EDRCrMoWV-A2-x-x	0.30~0.50	—	—	5.00~6.50	—	2.00~3.00	2.00~3.50	1.00~3.00	—	—	—	—	—	—
EDRCrMoWV-A3-x-x	0.70~1.00	—	—	3.00~4.00	—	3.00~5.00	4.50~6.00	1.50~3.00	—	—	—	—	1.50	50

续表

焊条型号	熔敷金属化学成分/%											其他元素总量	堆焊金属硬度 HRC (HB)
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	Co	Fe		
EDRCrMoWCo-A-x ^①	0.08~0.12	0.30~0.70	0.80~1.60	2.00~4.20	—	3.80~6.20	5.00~8.00	0.50~1.10	—	12.70~16.30	—	—	52~58 ^②
EDRCrMoWCo-B-x ^①	0.08~0.12	0.30~0.70	0.80~1.60	1.80~3.20	—	7.80~11.20	8.0~12.20	0.40~0.80	—	15.70~19.30	—	—	62~66 ^②
EDCr-AJ-x ^①	0.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40
EDCr-A2-x ^①	0.20	—	—	10.00~16.00	6.00	2.50	2.00	—	—	—	—	2.50	37
EDCr-B-x ^①	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.00	45
EDMn-A-x ^①	1.10	11.00~16.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(170)
EDMn-B-x ^①	—	11.00~18.00	—	—	—	2.50	—	—	—	—	—	—	—
EDMn-C-x ^①	—	12.00~16.00	1.30	2.50~5.00	2.50~5.00	—	—	—	—	—	—	—	—
EDMn-D-x ^①	0.50~1.00	15.00~20.00	—	4.50~7.50	—	—	—	0.40~1.20	—	—	—	—	—
EDMn-E-x ^①	—	17.00~21.00	—	3.00~6.00	1.00	—	—	—	—	—	—	1.00	—
EDMn-F-x ^①	0.80~1.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EDCrMn-A-x ^①	0.25	6.00~8.00	1.00	12.00~14.00	—	—	—	—	—	—	—	—	38~48
EDCrMn-B-x ^①	0.80	11.00~18.00	1.30	13.00~17.00	0.50~2.00	2.00	—	—	—	—	—	4.00	20
EDCrMn-C-x ^①	1.10	12.00~18.00	2.00	12.00~18.00	6.00	4.00	—	—	—	—	—	3.00	28
EDCrMn-D-x ^①	0.50~0.80	24.00~27.00	1.30	9.50~12.50	—	—	—	—	—	—	—	—	210
EDCrNi-A-x ^①	0.18	0.60~2.00	4.80~6.40	15.00~18.00	7.00~9.00	—	—	—	—	—	—	—	(270~320)
EDCrNi-B-x ^①	—	0.60~5.00	3.80~6.50	14.00~21.00	6.50~12.00	3.50~7.00	—	—	—	—	—	2.50	37
EDCrNi-C-x ^①	0.20	2.00~3.00	5.00~7.00	18.00~20.00	7.00~10.00	—	—	—	—	—	—	—	—
EED-A-x ^①	0.70~1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EED-B1-x ^①	0.50~0.90	0.60	0.80	3.00~5.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EED-B2-x ^①	0.60~1.00	0.40~1.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EED-C-x ^①	0.30~0.50	0.60	0.80	3.00~5.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EED-D-x ^①	0.70~1.00	—	—	3.80~4.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
													55

续表

焊条型号	熔敷金属化学成分/%											堆焊金属硬度 HRC (HB)					
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	Co	Fe		B	其他元素 总量			
EDZ-A0-x-x	1.50~3.00	0.50~2.00	1.50	4.00~8.00		1.00							1.00				
EDZ-A1-x-x	2.50~4.50			3.00~5.00		3.00~5.00											55
EDZ-A2-x-x	3.00~4.50	1.50	2.50	26.00~34.00		2.00~3.00							3.00				60
EDZ-A3-x-x	4.80~6.00			35.00~40.00		4.20~5.80											
EDZ-B1-x-x	1.50~2.20						8.00~10.00						1.00				50
EDZ-B2-x-x	3.00			4.00~6.00			8.50~14.00						3.00				60
EDZ-E1-x-x	5.00~6.50	2.00~3.00	0.80~1.50	12.00~16.00					Ti:4.00~7.00								
EDZ-E2-x-x	4.00~6.00	0.50~1.50	1.50	14.00~20.00				1.50					1.00				
EDZ-E3-x-x	5.00~7.00	0.50~2.00	0.50~2.00	18.00~28.00		5.00~7.00	3.00~5.00										
EDZ-E4-x-x	4.00~6.00	0.50~1.50	1.00	20.00~30.00			2.00	0.50~1.50	4.00~7.00								
EDZCr-A-x-x	1.50~3.50	1.50~3.00	1.50	28.00~32.00	5.00~8.00												
EDZCr-B-x-x		1.00		22.00~32.00													40
EDZCr-C-x-x	2.50~5.00	8.00	1.00~4.80	25.00~32.00	3.00~5.00								7.00				45
EDZCr-D-x-x	3.00~4.00	1.50~3.50	3.00	22.00~32.00									2.00				48
EDZCr-A1A-x-x	3.50~4.50	4.00~6.00	0.50~2.00	20.00~25.00		0.5											
EDZCr-A2-x-x	2.50~3.50	0.50~1.50	0.50~1.50	7.50~9.00													
EDZCr-A3-x-x	2.50~4.50	0.50~2.00	1.00~2.50	14.00~20.00		1.5											
EDZCr-A4-x-x	3.50~4.50	1.50~3.50	1.50	23.00~29.00		1.00~3.00			Ti:1.20~1.80								
EDZCr-A5-x-x	1.50~2.50		2.0	24.00~32.00	4.00	4.00											
EDZCr-A6-x-x	2.50~3.50		1.00~2.50	24.00~30.00		0.50~2.00											
EDZCr-A7-x-x	3.50~5.00	0.50~1.50	0.50~2.50	23.00~30.00		2.00~4.50											
EDZCr-A8-x-x	2.50~4.50		1.50	30.00~40.00		2.0											

续表

焊条型号	熔敷金属化学成分/%											堆焊金属硬度 HRC (HB)		
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	Co	Fe		B	其他元素 总量
EDCoCr-A-x-x ^①	0.70~1.40			25.00~32.00			3.00~6.00							40
EDCoCr-B-x-x ^①	1.00~1.70			25.00~33.00			7.00~9.50						4.00	44
EDCoCr-C-x-x ^①	1.70~3.00	2.00	2.00	23.00~32.00			11.00~19.00							53
EDCoCr-D-x-x ^①	0.20~0.50			24.00~29.00	2.00~4.00	4.50~6.50	9.50						7.00	28~35
EDCoCr-E-x-x	0.15~0.40	1.50					0.50						1.00	—
EDW-A-x-x	1.50~3.00	2.00	4.00				40.00~50.00						—	—
EDW-B-x-x	1.50~4.00	3.00		3.00	3.00	7.00	50.00~70.00						3.00	60
EDTV-x-x	0.25	2.00~3.00	1.00			2.00~3.00		5.00~8.00				0.15	—	(180)
EDNiCr-C	0.50~1.00		3.50~5.50	12.00~18.00	余量									—
EDNiCrFeCo	2.20~3.00	1.00	0.60~1.50	25.00~30.00	10.00~33.00	7.00~10.00	2.00~4.00							—

① 这类焊条各测定点的硬度值与平均值的偏差不应超出 \pm HRC4 (\pm HB30)。

② 经热处理的硬度值, 热处理规范在说明书中规定。

注: 1. 若存在其他元素, 也应进行分析, 以确定是否符合“其他元素总量”一栏的规定。

2. 化学成分的单值均为最大值。硬度的单值均为最小平均值。

3. 各测定点的硬度值与平均值的偏差不应超出平均值的 \pm 15%。

GB/T 984—2001 标准与 GB 984—1985 标准相比，主要是参照美国 AWS A5.13 标准，增加了一些新的堆焊焊条型号。新旧标准型号变动及与美国标准型号的对照见表 1-31。

表 1-31 新旧标准型号变动及与美国标准型号的对照

GB 984—1985	GB/T 984—2001	AWS A5.13draft—1999	GB 984—1985	GB/T 984—2001	AWS A5.13draft—1999
—	EDPCrMo-A0	EFe1	—	EDZ-E3	EFeCr-E3
—	EDPCrMo-A4	EFe3	—	EDZ-E4	EFeCr-E4
EDPCrMnSi	EDPCrMnSi-A1	EFe5	—	EDZCr-A1A	EFeCr-A1A
—	EDPCrMnSi-A2	EFe4	—	EDZCr-A2	EFeCr-A2
—	EDPCrMoV-A0	EFe2	—	EDZCr-A3	EFeCr-A3
EDMn-A	EDMn-A	EFeMn-A	—	EDZCr-A4	EFeCr-A4
EDMn-B	EDMn-B	EFeMn-B	—	EDZCr-A5	EFeCr-A5
—	EDMn-C	EFeMn-C	—	EDZCr-A6	EFeCr-A6
—	EDMn-D	EFeMn-D	—	EDZCr-A7	EFeCr-A7
—	EDMn-E	EFeMn-E	—	EDZCr-A8	EFeCr-A8
—	EDMn-F	EFeMn-F	—	EDCoCr-E	ECoCr-E
EDCrMn-B	EDCrMn-B	EFeMnCr	—	EDNiCr-C	ENCr-C
EDD-B	EDD-B1	—	—	EDNiCrFeCo	ENiCrFeCo
—	EDD-B2	EFe6	—	EDWC1	EWC1
—	EDZ-A0	EFe7	—	EDWC2	EWC2
—	EDZ-E1	EFeCr-E1	—	EDWC3	EWC3
—	EDZ-E2	EFeCr-E2			

(5) 铸铁焊条型号划分 根据 GB/T 10044—2002 《铸铁焊条及焊丝》标准规定，铸铁焊条型号根据熔敷金属的化学成分及用途划分。首字母“E”表示焊条，字母“Z”表示用于铸铁焊接；在“EZ”后面用熔敷金属主要化学元素符号或金属类型代号表示，见表 1-32；再细分时用数字表示。

铸铁焊条型号举例：

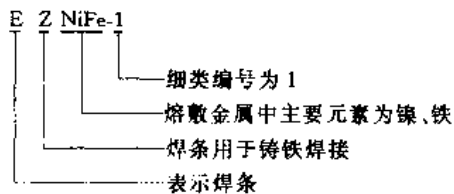


表 1-32 铸铁焊条类别及型号

类别	名称	型号
铁基焊条	灰铸铁焊条	EZC
	球墨铸铁焊条	EZCQ
镍基焊条	纯镍铸铁焊条	EZNi
	镍铁铸铁焊条	EZNiFe
	镍铜铸铁焊条	EZNiCu
	镍铁铜铸铁焊条	EZNiFeCu
其他焊条	纯铁及碳钢焊条	EZFe
	高钒焊条	EZV

铸铁焊条熔敷金属化学成分应符合表 1-33 规定。纯铁及碳钢焊条焊芯化学成分见表 1-34。

(6) 铝及铝合金焊条型号划分 根据 GB/T 3669—2001 《铝及铝合金焊条》标准规定，铝及铝合金焊条型号根据焊芯的化学成分和焊缝金属力学性能划分。这种型号表示方法与美国 AWS A5.3/A5.3M 1999 《铝及铝合金焊条规程》完全一致。铝及铝合金焊条与 GB 3669—1983，标准中的型号对照及型号划分，见表 1-35。

表 1-33 铸铁焊条熔敷金属化学成分

/%

型号	C	Si	Mn	S	P	Fe	Ni	Cu	Al	V	球化剂	其他元素总量	
EZC	2.0~4.0	0.2~6.5	≤0.75	≤0.10	≤0.15	余量	—	—	—	—	—	—	
EZCQ	3.2~4.2	3.2~4.2	≤0.80										0.04~0.15
EZNi-1	≤2.0	≤2.5	≤1.0	≤0.03	—	≤8.0	≥90	—	—	—	—	≤1.0	
EZNi-2		≤4.0	≤2.5				≤0.03						≥85
EZNi-3													1.0~3.0
EZNiFe-1		45~60	≤2.5				≤1.0						
EZNiFe-2		余量	33~45				1.0~3.0						
EZNiFeMn							≤1.0						10~40
EZNiCu-1		0.35~	≤0.75				≤2.3						≤0.025
EZNiCu-2	0.55	50~60	35~45										
EZNiFeCu	≤2.0	≤2.0	≤1.5	≤0.03	余量	45~60	4~10	—	—	—	—		
EZV	≤0.25	≤0.70	≤1.50	≤0.04		—	—					8~13	

表 1-34 纯铁及碳钢焊条焊芯化学成分

/%

型号	C	Si	Mn	S	P	Fe	Ni	Cu	Al	V	球化剂	其他元素总量
EZFe-1	≤0.04	≤0.10	≤0.60	≤0.010	≤0.015	余量	—	—	—	—	—	—
EZFe-2	≤0.10	≤0.03		≤0.030	≤0.030		—	—	—	—	—	

表 1-35 铝及铝合金焊条型号对照及型号划分

型 号		焊芯化学组成类型
GB/T 3669—2001	GB 3669—1983	
E1100	TAl	Al≥99.0%
E3003	TAlMn	Mn 约 1.0%~1.5% 的铝锰合金
E4303	TAlSi	Si 约 5% 的铝硅合金

铝及铝合金焊条焊芯化学成分和焊接接头抗拉强度应符合表 1-36 的要求,弯曲试焊弯曲后在表面任何方向上都不应有裂纹或大于 3.0 mm 的其他外表缺陷。

表 1-36 铝及铝合金焊条焊芯化学成分和焊接接头抗拉强度

焊条 型号	焊芯化学成分/%										抗拉 强度 σ_b /MPa	
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Be	其他			Al
	Si+Fe		0.05~ 0.20	0.05	—	0.10	—	0.0008	0.05	0.15		
E1100	0.95	0.05~ 0.20									0.05	—
E3003	0.6	0.7	1.0~1.5	—	0.10	—	0.0008	0.05	0.15	余量	≥95	
E4303	4.5~6.0	0.8	0.30	0.05	0.05	0.20	—	—	—	—	—	

注:表中单值除规定外,其他均为最大值。

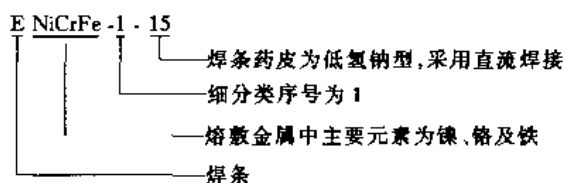
(7) 镍及镍合金焊条型号划分 根据 GB/T 13814—1992《镍及镍合金焊条》标准规定, 镍及镍合金焊条型号根据熔敷金属化学成分、药皮类型及电流种类划分, 见表 1-37。

表 1-37 镍及镍合金焊条型号划分

型 号	药皮类型	电流种类	型 号	药皮类型	电流种类
ENi-0	03	交流	ENiMo-7	15	直流
	15	直流		16	交流或直流
	16	交流或直流		15	直流
ENi-1	03	交流	ENiCrMo-0	16	交流或直流
	15	直流	ENiCrMo-1	15	直流
	16	交流或直流		16	交流或直流
ENiCu 7	15	直流	ENiCrMo-2	15	直流
	16	交流或直流	16	交流或直流	
ENiCrFe-0	15	直流	ENiCrMo-3	15	直流
	16	交流或直流		16	交流或直流
ENiCrFe-1	15	直流	ENiCrMo-4	15	直流
	16	交流或直流		16	交流或直流
ENiCrFe-2	15	直流	ENiCrMo-5	15	直流
	16	交流或直流		16	交流或直流
ENiCrFe-3	15	直流	ENiCrMo-6	15	直流
	16	交流或直流		16	交流或直流
ENiCrFe-4	15	直流	ENiCrMo-7	15	直流
	16	交流或直流		16	交流或直流
ENiMo-1	15	直流	ENiCrMo-8	15	直流
	16	交流或直流		16	交流或直流
ENiMo-3	15	直流	ENiCrMo-9	15	直流
	16	交流或直流		16	交流或直流

注: 药皮类型中, 03 表示焊条为钛钙型药皮; 15 表示焊条为低氢钠型碱性药皮; 16 表示焊条为低氢钾型碱性药皮。

镍及镍合金焊条型号举例:



镍及镍合金焊条熔敷金属的化学成分应符合表 1-38 规定, 熔敷金属的抗拉强度及伸长率应符合表 1-39 要求。对于直径 2.0 mm 的焊条应做两个横向正弯试验; 对于直径 2.5~5.0 mm 的焊条应做三个横向侧弯试验。每个试样弯曲表面的裂纹条数和单个裂纹长度应不超过表 1-40 的规定, 但长度为 0.4 mm 以下的裂纹和试样棱角上的裂纹不计。

焊缝射线探伤检验的试样焊接位置应符合表 1-41 规定, 在平焊位置试验的焊件应先进行焊缝射线探伤检验 (焊缝射线探伤检验结果应符合 GB 3323 中 II 级要求), 然后再加工拉伸和弯曲性能试验的试样。

镍及镍合金焊条化学分析试验用母材采用 GB 700 中规定的低碳钢, 或与试验焊条熔敷金属化学成分相当的镍及镍合金。射线探伤检验、拉伸及弯曲试验用母材采用与试验焊条熔敷金属化学成分相当的镍及镍合金。如母材化学成分与试验焊条熔敷金属化学成分不相当时, 应先用试验焊条在坡口面及垫板面堆焊隔离层, 隔离层厚度加工后不少于 3 mm。

表 1-38 镍及镍合金焊条熔敷金属化学成分

型号	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni ^①	Co	Al	Ti	Cr	Nb+Ta	Mo	V	W	其他元素总量
ENi-0	0.06	2.5	4.5	0.015	0.015	1.5	—	≥92	—	0.5	1.5	—	2.5	—	—	—	—
ENi-1	0.10	0.75	0.75	0.03	0.02	1.25	0.25	—	—	1.0	1.0~4.0	—	—	—	—	—	—
ENiCu-7	0.15	4.0	2.5	0.02	—	1.5	余量	62~69	—	0.75	1.0	④	—	—	—	—	—
ENiCrFe-0	0.06	6.0	7.0	0.015	0.015	—	—	—	—	0.5	—	15.0~20.0	—	—	—	—	—
ENiCrFe-1	0.08	3.5	11.0	—	—	0.75	—	≥62	—	—	—	—	1.5~4.0	—	—	—	—
ENiCrFe-2	—	1.0~3.5	12.0	0.03	0.02	—	—	—	—	—	—	—	0.5~3.0 ^②	0.5~2.5	—	—	—
ENiCrFe-3	0.10	5.0~9.5	10.0	—	0.015	—	0.50	≥59	②	—	1.0	—	1.0~2.5 ^③	—	—	—	—
ENiCrFe-4	0.20	1.0~3.5	12.0	—	0.02	1.0	—	≥60	—	—	—	—	1.0~3.5	1.0~3.5	—	—	—
ENiMo-1	0.07	1.0	4.0~7.0	—	—	—	—	—	2.5	—	—	1.0	—	26.0~30.0	0.60	—	—
ENiMo-3	0.12	—	—	—	0.03	—	—	—	—	—	—	2.5~5.5	—	23.0~27.0	—	1.0	0.50
ENiMo-7	0.02	1.75	2.0	0.04	—	0.2	—	—	1.0	—	—	1.0	—	26.0~30.0	—	—	—
ENiCrMo-0	—	1.0~5.0	4.0~8.0	—	0.015	0.75	1.5~2.5	余量	②	—	—	13.0~17.0	1.5~5.5	3.0~7.5	—	—	—
ENiCrMo-1	0.05	1.0~2.0	18.0~21.0	—	0.03	1.0	—	—	2.5	—	—	21.0~23.5	1.75~2.50	5.5~7.5	—	1.0	—
ENiCrMo-2	0.05~0.15	—	17.0~20.0	—	—	—	—	—	0.5~2.5	—	—	20.5~23.0	—	8.0~10.0	—	0.2~1.0	—
ENiCrMo-3	0.10	1.0	7.0	0.03	0.02	0.75	—	≥55	②	—	—	20.0~23.0	1.5~4.15	—	—	—	—
ENiCrMo-4	0.02	—	—	—	0.03	0.2	0.50	—	2.5	—	—	14.5~16.5	—	15.0~17.0	0.35	3.0~4.5	—
ENiCrMo-5	—	—	4.0~7.0	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ENiCrMo-6	0.10	2.0~4.0	10.0	0.03	0.02	1.0	—	≥55	—	—	—	12.0~17.0	0.5~2.0	5.0~9.0	—	1.0~2.0	—
ENiCrMo-7	0.015	1.5	3.0	0.04	0.03	0.2	—	—	2.0	—	0.70	14.0~18.0	—	14.0~17.0	—	0.5	—
ENiCrMo-8	0.07	0.5~1.7	2.0	0.015	0.02	0.5	—	68~78	5.0	—	—	13.0~17.0	0.2~0.8	8.5~11.0	—	—	—
ENiCrMo-9	0.02	1.0	18.0~21.0	0.04	0.03	1.0	1.5~2.5	余量	—	—	—	21.0~23.5	0.5	6.0~8.0	—	1.5	—

① 镍含量包括附带的钴。

② 钴—有要求时最大为 0.12。

③ 钼—有要求时最大为 0.30。

④ 铌—有要求时最大为 2.5。

注：1. 在对表中规定的化学元素进行分析时，如果发现存在其他元素，则应进一步分析，分析结果不应超过其他元素总量。
2. 表中所列单个值，除有其他规定，均为最大值。

表 1-39 镍及镍合金焊条熔敷金属的抗拉强度及伸长率

型 号	熔敷金属拉伸试验		型 号	熔敷金属拉伸试验	
	抗拉强度 σ_b /MPa ($\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$)	伸长率 δ_5 /%		抗拉强度 σ_b /MPa ($\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$)	伸长率 δ_5 /%
ENi-0	410 (42)	20	ENiCrMo-0	620 (63)	20
ENi-1			ENiCrMo-1		
ENiCu-1	480 (50)	30	ENiCrMo-2	650 (66)	
ENiCrFe-0	550 (56)		ENiCrMo-3	760 (77)	30
ENiCrFe-1			ENiCrMo-4	690 (70)	25
ENiCrFe-2			ENiCrMo-5	620 (63)	35
ENiCrFe-3			ENiCrMo-6		
ENiCrFe-4	650 (66)	20	ENiCrMo-7	690 (70)	25
ENiMo-1	690 (70)	25	ENiCrMo-8	620 (630)	
ENiMo-3			ENiCrMo-9		
ENiMo-7	760 (77)				

表 1-40 裂纹条数和裂纹长度允许值

型 号	焊条直径/mm	裂纹条数/条	裂纹长度/mm
ENi-0	2.0,2.5,3.2、 4.0,5.0	3 4	3.2
	ENi-1	2.0,2.5,3.2 4.0,5.0	
ENiCu-7		2.0,2.5,3.2 4.0,5.0	3 4
	ENiCrFe-3		2
ENiCrFe-0、ENiCrFe-1、ENiCrFe-2、ENiCrFe-4、ENiMo-1、ENiMo-3、 ENiMo-7、ENiCrMo-0、ENiCrMo-1、ENiCrMo-2、ENiCrMo-3、ENiCrMo- 4、ENiCrMo-5、ENiCrMo-6、ENiCrMo-7、ENiCrMo-8、ENiCrMo-9	2.0,2.5,3.2 4.0,5.0	3	

表 1-41 镍及镍合金焊条的焊接位置

型 号	焊条直径/mm	焊 接 位 置		
		射线探伤检验	拉伸及弯曲试验	熔敷金属化学成分分析
ENi-0	2.0,2.5,3.2	立焊	平焊	平焊
	4.0,5.0	平焊		
ENi-1	2.0,2.5,3.2	立焊		
	4.0,5.0	平焊		
ENiCu-7	2.0,2.5,3.2	立焊		
	4.0,5.0	平焊		
ENiCrFe-0	2.0,2.5,3.2	立焊		
	4.0,5.0	平焊		
ENiCrFe-1	2.0,2.5,3.2	立焊		
	4.0,5.0	平焊		
ENiCrFe-2	2.0,2.5,3.2	立焊		
	4.0,5.0	平焊		
ENiCrFe-3	2.0,2.5,3.2	立焊		
	4.0,5.0	平焊		

续表

型 号	焊条直径/mm	焊 接 位 置		
		射线探伤检验	拉伸及弯曲试验	熔敷金属化学成分分析
ENiCrFe-4	2.0,2.5,3.2 4.0,5.0	立焊 平焊	平焊	平焊
ENiMo-1	2.0,2.5,3.2 4.0,5.0	平焊		
ENiMo-3				
ENiMo-7				
ENiCrMo-0				
ENiCrMo-1				
ENiCrMo-2				
ENiCrMo-4				
ENiCrMo-5				
ENiCrMo-7				
ENiCrMo-8				
ENiCrMo-9				
ENiCrMo-3	2.0,2.5,3.2 4.0,5.0	立焊 平焊		
ENiCrMo-6	2.0,2.5,3.2 4.0,5.0	立焊 平焊		

(8) 铜及铜合金焊条型号划分 根据 GB/T 3670—1995《铜及铜合金焊条》标准规定，铜及铜合金焊条的型号根据熔敷金属的化学成分划分。编号方法如下：首字母“E”表示焊条，“E”后面的字母直接用元素符号表示型号分类，同一分类中有不同化学成分要求时，用字母或数字表示，并以短划“-”与前面的元素符号分开。

铜及铜合金焊条熔敷金属的化学成分见表 1-42，熔敷金属的力学性能见表 1-43。

表 1-42 铜及铜合金焊条熔敷金属的化学成分

/%

型 号	Cu	Si	Mn	Fe	Al	Sn	Ni	P	Pb	Zn	成分 合计	
ECu	>95.0	0.5	3.0	f	f	—	f	0.30	0.02	f	—	
ECuSi-A	>93.0	1.0~2.0		—								
ECuSi-B	>92.0	2.5~4.0		—								
ECuSn-A	余量	f	f	f	f	5.0~7.0	f	—	—	f	—	
ECuSn-B		7.0~9.0										
ECuAl-A2		1.5	f	0.5~5.0	6.5~9.0	f	—	—	—	f	—	
ECuAl-B		2.5~5.0		7.5~10.0								
ECuAl-C		1.0	2.0	1.5	6.5~10.0	—	0.5	0.020	0.02	f	—	
ECuNi-A		0.5	2.5	2.5	Ti 0.5	—	9.0~11.0 29.0~33.0					
ECuNi-B		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ECuAlNi		1.0	2.0	2.0~6.0	7.0~10.0	f	1.0~2.5	—	—	—	f	—
ECuMnAlNi					5.0~7.0							

注：表中所示单个值均为最大值，ECuNi-A 和 ECuNi-B 类硫含量应小于 0.015%，字母 f 表示微量，Cu 元素中允许含有 Ag。

表 1-43 铜及铜合金焊条熔敷金属的力学性能

型 号	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 /%	型 号	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 /%
ECu	170	20	ECuAl-B	450	10
ECuSi-A	250	22	ECuAl-C	390	15
ECuSi-B	270	20	ECuNi-A	270	20
ECuSn-A	250	15	ECuNi-B	350	20
ECuSn-B	270	12	ECuAlNi	490	13
ECuAl-A2	410	20	ECuMnAlNi	520	15

铜及铜合金焊条熔敷金属的化学成分分析、拉伸和弯曲试验的试件制备均应在平焊位置焊接。熔敷金属各焊道堆敷宽度为焊条直径的 1.5~2.5 倍，第 1~3 层用小电流进行焊接，从第 4 层起按表 1-44 的规定控制层间温度。焊接时为了防止变形，试板应置于适当的夹具中夹紧。

铜及铜合金焊条的新旧型号对照见表 1-45。

表 1-44 铜及铜合金焊条预热及层间温度的控制

型 号	预热及层间温度/℃	型 号	预热及层间温度/℃
ECu	400~600	ECuNi-A (B) (C)	16~150
ECuSi-A (B)	16~70	ECuAlNi	95~200
ECuSn-A (B)	200~300	ECuMnAlNi	16~150
ECuAl-A2 (B)	95~200		

表 1-45 铜及铜合金焊条的新旧型号对照表

GB 3670—1983	GB/T 3670—1995	AWS A 5. 6—1984	JIS Z3231—1989
TCu	ECu	ECu	DCu
—	ECuSi-A	—	DCuSiA
TCuSi	ECuSi-B	ECuSi	DCuSiB
TCuSnA	ECuSn-A	ECuSn-A	DCuSnA
TCuSnB	ECuSn-B	ECuSn-C	DCuSnB
—	ECuAl-A2	ECuAl-A2	—
—	ECuAl-B	ECuAl-B	—
TCuAl	ECuAl-C	—	DCuAl
—	ECuNi-A	—	DCuNi-1
—	ECuNi-B	ECuNi	DCuNi-3
—	ECuAlNi	ECuNiAl	DCuAlNi
TCuMnAl	ECuMnAlNi	ECuMnNiAl	—

(二) 电焊条牌号划分

焊条牌号是根据焊条的主要用途及性能特点来命名的。一般可分为十大类，如结构钢焊条（包括低合金高强钢焊条）、耐热钢焊条、不锈钢焊条等（见表 1-13）。各大类焊条按主要性能不同再分成若干小类。焊条牌号通常以一个汉语拼音字母（或汉字）与三位数字表

示，拼音字母（或汉字）表示焊条各大类，后面的三位数字中，前面两位数字表示各大类中的若干小类，第三位数字表示各种焊条牌号的药皮类型及焊接电源，该数字的含意是根据原国家标准 GB 980—1976 中的有关内容来确定的。虽然焊条国标已参照国际标准进行修订，但焊条牌号因沿用已久，已为广大用户及焊工所熟悉，故不便更改。焊条牌号中第三位数字的含意见表 1-46，其中盐基型主要用于有色金属焊条（如铝及铝合金焊条等），石墨型主要用于铸铁焊条及部分堆焊焊条中。例如，J507（结 507）焊条，“J”（结）表示结构钢焊条，牌号中前两位数字表示熔敷金属抗拉强度最低值为 50 kgf/mm^2 （490 MPa），第三位数字“7”表示其药皮类型为低氢钠型，直流反接电源。按照国标 GB/T 5117—1995，它应符合 E5015 型要求。又如，A102（奥 102）焊条，“A”（奥）表示奥氏体不锈钢焊条，熔敷金属化学组成为 0Cr19Ni9 型，药皮类型为钛钙型，交直流电源。当熔敷金属中含有某些主要元素时，也可在焊条牌号后面加注元素符号，如 J507MoV、D547Mo 焊条。当药皮中含有多量铁粉，熔敷效率大于 105% 时，焊条牌号后面可加注“Fe”，当熔敷效率为 130% 以上时，在“Fe”后还要加注两位数字（以效率的 1/10 表示），如 J502Fe16，表示熔敷金属抗拉强度大于 50 kgf/mm^2 （490 MPa）的铁粉钛钙型焊条，其熔敷效率为 160% 左右。对于某些具有特殊性能的焊条，也可在焊条牌号的后面加注拼音字母，如 J507XG、J507RH 焊条。表示该焊条具有某些特殊性能的字母符号的意义见表 1-47。用于铸铁焊补的某些镍及镍合金焊条，则在铸铁类型牌号中列出，某些不锈钢焊条主要用于堆焊，在编制中列在堆焊焊条牌号的类型中。

表 1-46 焊条牌号中第三位数字的含意

焊条牌号	药皮类型	焊接电源种类	焊条牌号	药皮类型	焊接电源种类
□××0	不属已规定的类型	不规定	□××5	纤维素型	直流或交流
□××1	氧化钛型	直流或交流	□××6	低氢钾型	直流或交流
□××2	钛钙型	直流或交流	□××7	低氢钠型	直流
□××3	钛铁矿型	直流或交流	□××8	石墨型	直流或交流
□××4	氧化铁型	直流或交流	□××9	盐基型	直流

注：“□”表示焊条牌号中的拼音字母或汉字，××表示牌号中的前两位数字。

表 1-47 各字母符号的意义

字母符号	表示的意义	字母符号	表示的意义
D	底层焊条	RH	高韧性超低氢焊条
DF	低尘焊条	LMA	低吸潮焊条
Fe	高效铁粉焊条	SL	渗铝钢焊条
Fe15	高效铁粉焊条，焊条名义熔敷效率 150%	X	向下立焊用焊条
G	高韧性焊条	XG	管子用向下立焊焊条
GM	盖面焊条	Z	重力焊条
R	压力容器用焊条	Z16	重力焊条，焊条名义熔敷效率 160%
GR	高韧性压力容器用焊条	CuP	含 Cu 和 P 的抗大气腐蚀焊条
H	超低氢焊条	CrNi	含 Cr 和 Ni 的耐海水腐蚀焊条

各类电焊条牌号分类编制方法如下。

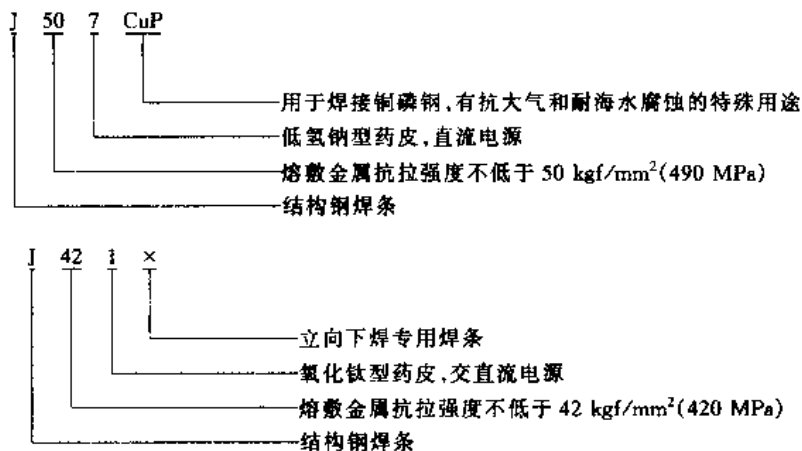
1. 结构钢焊条（包括低合金高强钢焊条）

- (1) 牌号前加“J”(或“结”字)表示结构钢焊条。
 (2) 牌号前两位数字,表示焊缝金属抗拉强度等级,其系列见表 1-48。

表 1-48 焊缝金属抗拉强度等级

焊条牌号	焊缝金属抗拉强度等级		焊条牌号	焊缝金属抗拉强度等级	
	/MPa	/kgf·mm ⁻²		/MPa	/kgf·mm ⁻²
J42×	420	43	J70×	690	70
J50×	490	50	J75×	740	75
J55×	540	55	J85×	830	85
J60×	590	60	J10×	980	100

- (3) 牌号第三位数字,表示药皮类型和焊接电源种类(见表 1-46)。
 (4) 药皮中铁粉含量约为 30%或熔敷效率为 105%以上,在牌号末尾加注“Fe”字,当熔敷效率≥130%,在“Fe”字后再加注二位数字(以效率的 1/10 表示)。
 (5) 结构钢焊条有特殊性能和用途的,则在牌号后面加注起主要作用的元素或主要用途的拼音字母(一般不超过两个)。
 (6) 牌号举例:



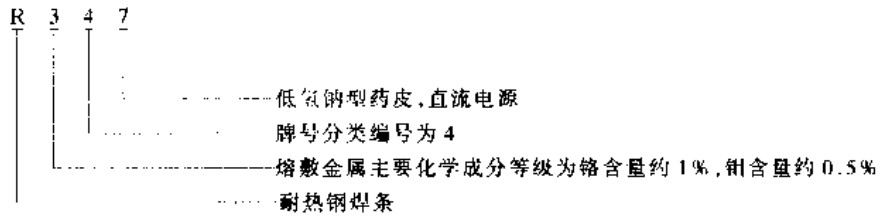
2. 钼和铬钼耐热钢焊条

- (1) 牌号前加“R”(或“热”字),表示钼和铬钼耐热钢焊条。
 (2) 牌号第一位数字,表示熔敷金属主要化学成分组成等级,参见表 1-49。

表 1-49 耐热钢焊条熔敷金属主要化学成分组成等级

焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成等级	焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成等级
R1××	含 Mo 量约为 0.5%	R5××	含 Cr 量约为 5%,含 Mo 量约为 0.5%
R2××	含 Cr 量约为 0.5%,含 Mo 量约为 0.5%	R6××	含 Cr 量约为 7%,含 Mo 量约为 1%
R3××	含 Cr 量约为 1%~2%,含 Mo 量约为 0.5%~1%	R7××	含 Cr 量约为 9%,含 Mo 量约为 1%
R4××	含 Cr 量约为 2.5%,含 Mo 量约为 1%	R8××	含 Cr 量约为 11%,含 Mo 量约为 1%

- (3) 牌号第二位数字,表示同一熔敷金属主要化学成分组成等级中的不同牌号,对于同一组成等级的焊条,可有十个牌号 0、1、2、…、9 顺序编排,以区别铬钼之外的其他成分的不同。
 (4) 牌号第三位数字,表示药皮类型和焊接电源种类(见表 1-46)。
 (5) 牌号举例:

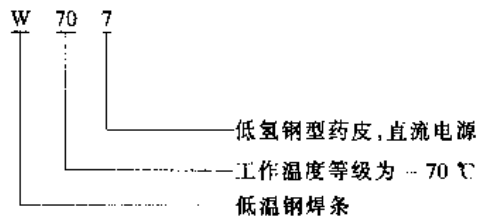


3. 低温钢焊条

- (1) 牌号前加“W” (或“温”字), 表示低温钢焊条。
- (2) 牌号前两位数字, 表示低温钢焊条工作温度等级, 参见表 1-50。
- (3) 牌号第三位数字, 表示药皮类型和焊接电源种类 (见表 1-46)。
- (4) 牌号举例:

表 1-50 低温钢焊条工作温度等级

焊条牌号	工作温度等级/℃
W60×	-60
W70×	-70
W80×	-80
W90×	-90
W10×	-100
W19×	-196
W25×	-253



4. 不锈钢焊条

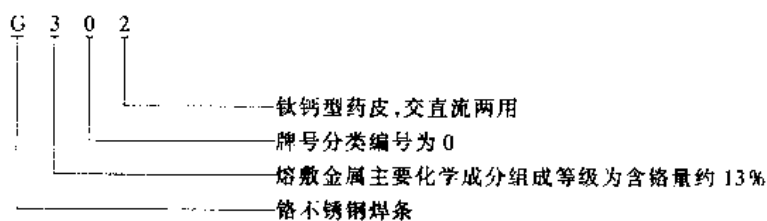
- (1) 牌号前加“G” (或“铬”字) 或“A” (或“奥”字), 分别表示铬不锈钢焊条或奥氏体铬镍不锈钢焊条。
- (2) 牌号第一位数字, 表示熔敷金属主要化学成分组成等级, 参见表 1-51。

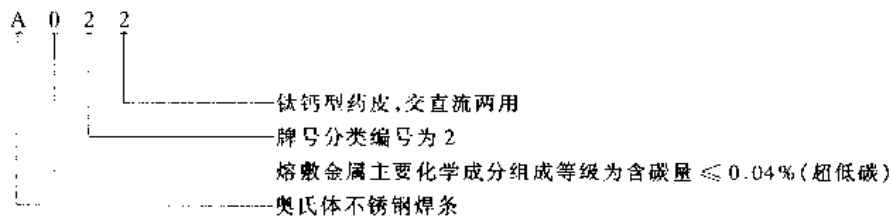
表 1-51 不锈钢焊条熔敷金属主要化学成分组成等级

焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成等级	焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成等级
G2××	含 Cr 量约为 13%	A4××	含 Cr 量约为 26%, 含 Ni 量约为 21%
G3××	含 Cr 量约为 17%	A5××	含 Cr 量约为 16%, 含 Ni 量约为 25%
A0××	含 C 量 ≤ 0.04% (超低碳)	A6××	含 Cr 量约为 16%, 含 Ni 量约为 35%
A1××	含 Cr 量约为 19%, 含 Ni 量约为 10%	A7××	铬锰氮不锈钢
A2××	含 Cr 量约为 18%, 含 Ni 量约为 12%	A8××	含 Cr 量约为 18%, 含 Ni 量约为 18%
A3××	含 Cr 量约为 23%, 含 Ni 量约为 13%	A9××	待发展

(3) 牌号第二位数字, 表示同一熔敷金属主要化学成分组成等级中的不同牌号。对同一组成等级焊条, 可有 10 个牌号, 按 0、1、2、…、9 顺序排列, 以区别镍铬之外的其他成分。

- (4) 牌号第三位数字, 表示药皮类型和焊接电源种类 (见表 1-46)。
- (5) 牌号举例:





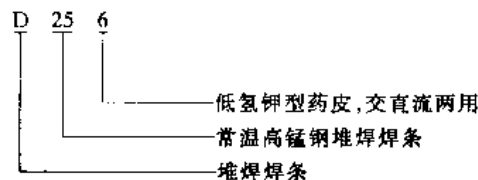
5. 堆焊焊条

- (1) 牌号前加“D”（或“堆”字），表示堆焊焊条。
- (2) 牌号的前两位数字表示堆焊焊条的用途或熔敷金属的主要成分类型等，见表 1-52。

表 1-52 堆焊焊条牌号的前两位数字含意

焊条牌号	主要用途或主要成分类型	焊条牌号	主要用途或主要成分类型
D00×~09×	不规定	D60×~69×	合金铸铁堆焊焊条
D10×~24×	不同硬度的常温堆焊焊条	D70×~79×	碳化钨堆焊焊条
D25×~29×	常温高锰钢堆焊焊条	D80×~89×	钴基合金堆焊焊条
D30×~49×	刀具工具用堆焊焊条	D90×~99×	待发展的堆焊焊条
D50×~59×	阀门堆焊焊条		

- (3) 牌号第三位数字表示药皮类型和焊接电源种类（见表 1-46）。
- (4) 牌号举例：



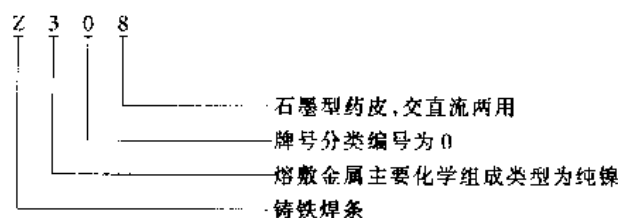
6. 铸铁焊条

- (1) 牌号前加“Z”（或“铸”字），表示铸铁焊条。
- (2) 牌号第一位数字，表示熔敷金属主要化学成分组成类型。第一位数字的含意见表 1-53。

表 1-53 铸铁焊条牌号第一位数字的含意

焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成类型	焊条牌号	熔敷金属主要化学成分组成类型
Z1××	碳钢或高钒钢	Z5××	镍铜合金
Z2××	铸铁(包括球墨铸铁)	Z6××	铜铁合金
Z3××	纯镍	Z7××	待发展
Z4××	镍铁合金		

- (3) 牌号第二位数字，表示同一熔敷金属主要化学成分组成类型中的不同牌号，对同一成分组成类型焊条，可有 10 个牌号，按 0、1、2、…、9 顺序排列。
- (4) 牌号第三位数字，表示药皮类型及焊接电源种类（见表 1-46）。
- (5) 牌号举例：



7. 有色金属焊条

(1) 牌号前加“Ni”（或“镍”字）；“T”（或“铜”字）；“L”（或“铝”字），分别表示镍及镍合金焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条。

(2) 牌号第一位数字，表示熔敷金属化学成分组成类型。第一位数字的含意见表 1-54。

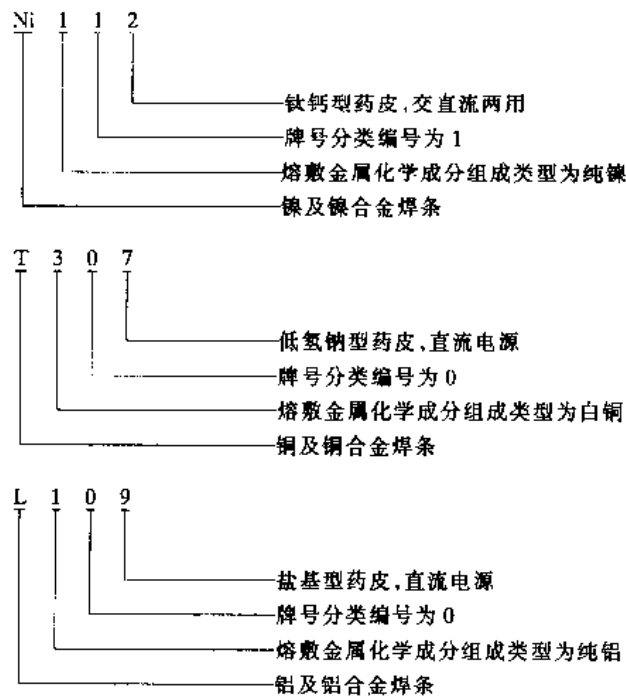
表 1-54 有色金属焊条牌号第一位数字的含意

焊条牌号		熔敷金属化学成分组成类型	焊条牌号		熔敷金属化学成分组成类型	焊条牌号		熔敷金属化学成分组成类型
镍及镍合金焊条	Ni1××	纯镍	铜及铜合金焊条	T1××	纯铜	铝及铝合金焊条	L1××	纯铝
	Ni2××	镍铜合金		T2××	青铜合金		L2××	铝硅合金
	Ni3××	因康镍合金		T3××	白铜合金		L3××	铝锰合金
	Ni4××	待发展		T4××	待发展		L4××	待发展

(3) 牌号第二位数字，表示同一熔敷金属化学成分组成类型中的不同牌号，对于同一成分组成类型焊条，可有 10 个牌号，按 0、1、2、…、9 顺序排列。

(4) 牌号第三位数字表示药皮类型和焊接电源种类（见表 1-46）。

(5) 牌号类型：



8. 特殊用途焊条

(1) 牌号前加“TS”（或“特”字），表示特殊用途焊条。

(2) 牌号第一位数字，表示焊条的用途。第一位数字的含义见表 1-55。

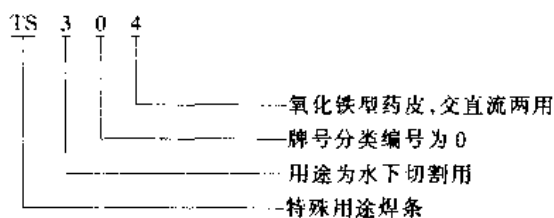
表 1-55 特殊用途焊条牌号第一位数字的含义

焊条牌号	熔敷金属主要成分及焊条用途	焊条牌号	熔敷金属主要成分及焊条用途
TS2××	水下焊接用	TS5××	电渣焊用管状焊条
TS3××	水下切割用	TS6××	铁锰铝焊条
TS4××	铸铁件焊补开坡口用	TS7××	高硫堆焊焊条

(3) 牌号第二位数字，表示同一用途中的不同牌号，对同一类型焊条，可有 10 个牌号，按 0、1、2、…、9 顺序排列。

(4) 牌号第三位数字，表示药皮类型及焊接电源种类（见表 1-46）。

(5) 牌号举例



五、电焊条的制造

电焊条的制造工艺流程如图 1-6 所示。下面以最常用的 J422 焊条为例，简要介绍电焊条的制造工艺。

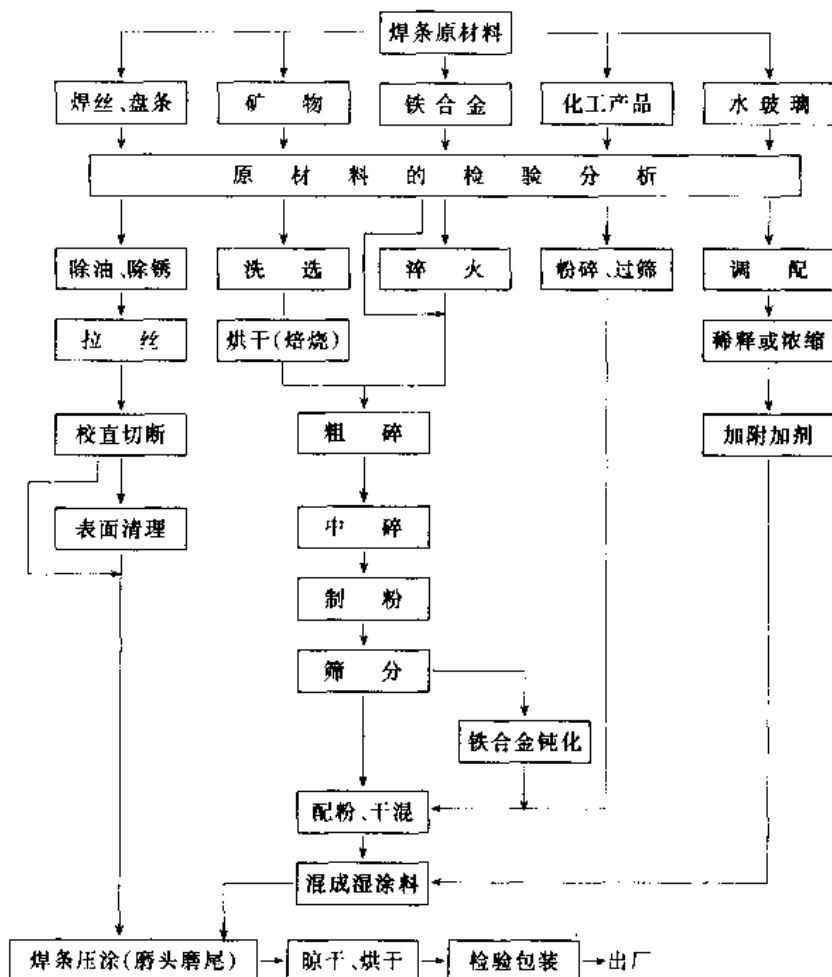


图 1-6 电焊条制造工艺流程

电焊条的制造工艺过程主要包括三部分，即焊芯加工、涂料制备及焊条压涂。

目前焊条厂使用的盘条外径多为 $\phi 6.5 \text{ mm}$ 。经剥壳、酸洗去除盘条表面氧化皮后，在拉丝机上拉拔到所需要的直径 [$\phi(2 \sim 6) \text{ mm}$]，再在校直切断机上按要求的长度进行校直

和切断。

块状的铁合金和矿石先经破碎机破碎成 20 mm 左右的小块，然后用雷蒙式磨粉机、球磨机或辊式粉碎机磨成粒度为 60~325 目的细粉。

将各种焊条药皮用粉料（矿石、铁合金及化工产品等）按焊条配方比例进行配料，可以用人工称重或电子计算机控制电子秤进行自动称量。配好的料在搅拌机中进行干混使之均匀，然后徐徐倒入适量的水玻璃（作为黏结剂），搅拌成具有一定黏性的涂料，即可送到压涂机上压制焊条。

焊条压涂机是一种联合设备，它的作用就是将拌好的湿涂料压涂到焊芯上，并对焊条夹持端及引弧端进行加工，使之具有焊条的外形。焊条压涂机有两种：一种为螺旋式压涂机，它是通过螺旋轴旋转时产生的推力，将涂料挤压出来，由于螺旋式压涂机的推力较小，因此要求涂料有较好的滑性和塑性，通常用来生产 J421、J422 等焊条；另一种是油压式压涂机，活塞的推力为 1000 kN 或 2000 kN，目前最高的可达 4500 kN，涂料在粉缸中要承受 80~100 MPa 的压力，由于压力高，这种设备可用来压涂各种类型的焊条，如 J507、A102 等。用机器压涂焊条，每 1 min 可压涂 500~1000 根，目前大型设备最高可达 1200 根以上。

在焊条压涂过程中要随时检查焊条的药皮外径、偏心度及外观质量。对于用可以导磁的焊芯制成的焊条，使用电磁式偏心仪，可以不损伤焊条表皮质量而直接测出焊条的偏心值。对于不锈钢焊条，也可用专门的偏心仪来测量。

为了便于施工现场管理，防止发生用错焊条的现象，应在焊条药皮上印字或在夹持端用油漆着色。

压涂出来的焊条可以经过自然干燥（或低温晾干）后送高温干燥炉进行烘干，也可直接进入连续式烘干炉直接烘干。烘干炉的热源可用热风循环或电热（电阻丝直接加热或远红外加热），也可通过柴油或天然气燃烧来加热。烘干温度与时间随焊条的种类而异，一般酸性结构钢焊条烘干温度为 200~250 ℃，碱性焊条为 350 ℃ 左右，对于超低氢或高强钢焊条烘干温度可高达 450 ℃。

上述焊条制造工艺是目前国内外大量采用的，即钢丝拉成一定规格后，经调直切断成一根一根的焊芯，再送压制机去压涂成焊条，这种工艺可称为“先切后涂”工艺。它的不足之处是当压涂力不均匀时，焊条偏心不稳定，尤其是对小直径焊条，钢丝直径细小，刚度不足，送丝不顺利，造成压涂困难。近年来，国内发明了“先涂后切”焊条制造工艺，即拉拔到一定规格的焊丝，送调直机校直后不经切断而直接由两个送丝轮连续地送到压制机去压涂，压涂出来后通过圆盘切割机或链条切断机切割成一定长度的电焊条湿坯，再经过磨头、磨尾、烘干制成焊条成品，其特点是焊条同心度好且稳定，可连续生产。由于发明并采用了这种工艺，为特细焊条 [直径为 $\phi(0.6\sim 1.4)$ mm] 的生产开辟了一条新路。

烘干的焊条进行外观挑选后包装。焊条的药皮对潮湿空气非常敏感，药皮受潮的焊条其焊接工艺性能及焊缝金属的性能均受到显著影响，轻者电弧不稳，飞溅增大，严重的使焊缝产生气孔，甚至产生裂缝。此外，在运输过程中的冲击、震动，也易造成焊条药皮损伤，因此对焊条的包装质量应给予足够的重视。

经过烘干、挑选的焊条先进行小包装（镍基及特殊焊条 1 kg 为一小包装，其他焊条 5 kg 为一小包装），可用塑料袋或纸盒，也有用塑料桶或铁桶的。然后每 20 kg 或 50 kg 作为一大包装，装入衬有防潮纸的木箱或纸箱、钙塑箱。

近年来出现的最新焊条包装形式为抗吸潮的真空包装，这种包装物只要不被戳破（这从

外观很易发现), 就能放置很长时间不吸潮, 焊条拆封后可直接施焊, 不需要再烘干。即使打开包装后, 焊条的吸潮速度也非常慢, 只要仍放在包装物内, 接触大气 4~8 h 后才需要再烘干, 这主要取决于焊条对周围介质的吸潮敏感性及用户可接受的扩散氢或药皮水分的最大量。

真空包装具有以下特点。

(1) 由于是真空包装, 焊条开封后不需要再烘干, 并可减少预热, 就可节省工时及降低能耗。

(2) 打开包装后, 焊条吸潮很慢, 暴露在大气中数小时内不需要再烘干, 改善了工作条件。

(3) 熔敷金属中扩散氢含量很低, 降低了冷裂倾向。

国外许多厂商均已推出了真空包装的焊条, 以法国沙福 (SAF) 公司为例, 该公司牌号上标有 SAFDRY 的带真空包装的低合金高强钢、耐热钢及不锈钢焊条的品种多达 20 多种。SAFDRY 焊条扩散氢含量比较见表 1-56。为了避免在大气中长时间吸潮, 因此, 每个真空包装中的焊条容量均较少, 仍以沙福公司焊条为例, 表 1-57 为普通包装与真空包装的比较。

表 1-56 SAFDRY 焊条扩散氢含量比较

焊 条	打开包装后的扩散 氢含量/ $\text{mL}\cdot(100\text{g})^{-1}$	在 27℃、相对湿度 80%、风速 $<0.5\text{ m/s}$ 环境中暴露后的扩散氢量/ $\text{mL}\cdot(100\text{g})^{-1}$	
		4 h	8 h
SAFDRY 48	3.0	4.5	5.2
SAFDRY CDS5sc	2.5	3.3	4.0
SAFDRY 430	2.7	3.7	4.7
SAFDRY 54	2.5	2.8	3.5
20 种焊条总的范围	2.7~3.2	3.3~4.5	3.5~5.4

注: 扩散氢测定方法符合 ISO 3690 (1997) 标准。

表 1-57 普通包装与真空包装的比较

类 别	焊条规格/mm	每根质量/g	普通 包 装		真 空 包 装	
			/根·包 ⁻¹	/g·包 ⁻¹	/根·包 ⁻¹	/g·包 ⁻¹
低合金钢焊条	φ2.5×350	19.0	205	3895	28	532
	φ3.2×450	40.6	140	5684	22	893.2
	φ4.0×450	59.6	95	5662	18	1073
	φ5.0×450	91.0	60	5460	26	2366
不锈钢焊条	φ2.0×300	10.7	320	3424	70	749
	φ2.5×300	17.1	215	3676.5	30	513
	φ3.2×350	31.8	135	4293	22	700
	φ4.0×350	52.9	70	3703	18	952

每个包装物的表面应按国标规定, 标明标准号、焊条型号及焊条牌号, 制造厂名及商标, 规格及净重或根数, 生产批号及检验号, 以及某些特殊专业协会的认可标志 (如船用标志) 等。

J422 焊条包装数据见表 1-58; J421Fe 细焊条包装数据见表 1-59。

根据国标规定, 焊条须按批作焊缝金属的理化性能及焊条外观质量检查, 合格后方可出厂。通常要进行下列检查 (具体可参见第二章有关内容)。

表 1-58 J422 焊条包装数据

焊条直径/mm	焊条外径/mm	焊条长度/mm	每根质量/g			药皮质量系数/%	每千克焊条根数(大约数)
			焊条	焊芯	药皮		
2.0	3.2~3.4	300	10.4	7.3	3.1	45.8	96
2.5	4.0~4.2	300	16.8	11.5	5.3	47.2	60
3.2	5.0~5.2	350	31	21.8	9.2	44.8	32
4.0	6.2~6.4	400	56	39	17	45.9	18
5.0	7.6~7.8	400	84.5	61.5	23	40	12
5.8	8.8~9.0	400	113.4	82.4	31	39.8	9

注：习惯上把焊条的焊芯直径称为“焊条直径”。

表 1-59 J421Fe 细焊条包装数据

焊条直径/mm	焊条外径/mm	焊条长度/mm	每根质量/g			药皮质量系数/%	每千克焊条根数(大约数)
			焊条	焊芯	药皮		
1.0	2.4~2.6	250	3.2	1.5	1.7	114	313
1.2	2.7~2.9	250	4.4	2.2	2.2	106	226
1.4	3.0~3.1	250	6.0	3.0	3.0	106	166
1.6	3.2~3.3	250	7.9	3.9	4.0	106	127
1.8	3.5~3.6	300	11.2	6.0	5.2	92	90
2.0	3.8~3.9	300	13.7	7.4	6.3	91	73

- (1) 偏心度 一般要求不大于 5% (对直径 $\phi 3.2$ mm、 $\phi 4$ mm 焊条)。
- (2) 药皮耐潮性 在水中浸泡 4 h 药皮不开裂、不脱落。
- (3) 药皮强度 焊条从 0.5~1 m 高度自由落下, 药皮不能有严重损坏, 破裂只允许在焊条两端, 总长度不大于 30 mm (不锈钢焊条为 40 mm)。
- (4) 焊条外观 药皮上不允许有影响焊接质量的裂纹、气泡、竹节、擦伤及破头等缺陷。
- (5) 焊接工艺性能 要求电弧稳定, 焊缝无气孔、裂缝等缺陷。
- (6) 焊缝金属的化学成分及力学性能 要求符合说明书规定。
- (7) 其他性能 耐腐蚀性能、效率等。

第二章 电焊条的使用性能及其检测

一、电焊条的使用性能

所谓电焊条的使用性能，就是使用该焊条时所能满足焊接要求的程度，它包括工艺性能、焊接性和效率三方面，现分别作一介绍。

(一) 工艺性能

焊条的工艺性能，是指焊条能否容易地进行焊接作业。焊接中从观察电弧的发生状态，熔渣的流动状态，熔滴的过滤情况，到焊接后观察熔渣的清除及焊缝的外观等，通过整个焊接作业所表现出的难易程度，来评定工艺性能的好坏。

工艺性能的判断，除了焊条的本身性能外，还受下列因素的影响：焊工的技术；电焊机的特性；使用的焊接工具；母材的材质、板厚、接头的种类等；焊接电流、焊接速度、焊接姿势及其他焊接条件等。因此要准确地评价焊条的工艺性能是十分困难的。

在评定焊条的工艺性能时，应固定焊工、电焊机、其他焊接工具、试验材料、焊接条件等因素。作为焊条本身的操作性能，应观察下列项目。

- (1) 电弧的发生 开始引弧的难易；再引弧性（断弧后重新引弧的难易）。
- (2) 电弧的状态 稳弧性，包括持续性（有否断弧、喘息等）和集中性；吹力大小。
- (3) 熔融状态 套筒形状；药皮熔化的均匀性。
- (4) 熔渣 流动性；清除的难易；覆盖的均匀性。
- (5) 飞溅 发生的状态（粒子的大小及数量）；清除的难易。
- (6) 焊缝外观 焊波的粗细；成形（堆高）。
- (7) 气体和烟尘的发生状态（发生量及烟尘成分）。

(二) 焊接性（又称可焊性）

通过焊接，被焊件能否得到充分的连接以及焊接接头满足结构使用要求的程度称为焊接性。

也就是说，焊接时不产生气孔、凹痕，裂纹或焊接不良等缺陷，容易得到具有足够的强度、塑性及缺口韧性的接头，或容易满足某些特殊的性能要求（如耐热、耐蚀及耐磨等），则表示具有良好的焊接性。但是，对于各种焊接缺陷的产生及焊接接头的强度、塑性等性能，还要受到母材的材质与板厚、焊接接头的设计、焊接施工方法等因素的很大影响。因此，对于焊条的焊接性的评定要进行具体的分析。

(三) 效率

焊条的效率是在焊接施工中使人工和材料等费用降低的特别重要的问题。根据 GB 3731—1983《涂料焊条效率、金属回收率和熔敷系数的测定》规定，一般测定下列项目，以比较焊条的效率。

(1) 名义焊条效率 R_N 焊条在标准规范下熔敷的焊缝金属质量与按焊芯名义直径计算所熔化的焊芯质量之比。即

$$R_N = \frac{\text{熔敷焊缝金属质量}}{\text{所熔化焊芯的名义质量}} \times 100 (\%)$$

(2) 实际焊条效率 R_E 焊条在标准规范下熔敷的焊缝金属质量与所熔化的焊芯实际质量之比。即

$$R_E = \frac{\text{熔敷焊缝金属质量}}{\text{所熔化焊芯的实际质量}} \times 100 (\%)$$

(3) 焊条金属回收率 R_G 焊条在标准规范下熔敷的焊缝金属质量与被试验焊条的总质量之比, 即

$$R_G = \frac{\text{熔敷焊缝金属质量}}{\text{试验焊条总质量}} \times 100 (\%)$$

(4) 熔敷效率 R_D 焊条在标准规范下熔敷的焊缝金属质量与所熔化的焊条总质量之比, 也称为该焊条的熔敷率。即

$$R_D = \frac{\text{熔敷焊缝金属质量}}{\text{所熔化焊条的总质量}} \times 100 (\%)$$

(5) 熔敷系数 D 焊条在标准规范下, 单位电流、单位时间内所熔敷的焊缝金属质量。即

$$D = \frac{\text{熔敷焊缝金属质量}}{\text{焊接电流} \times \text{燃弧时间}} [\text{g}/(\text{A} \cdot \text{min})]$$

此外, 在实际工作中还可测定下列项目。

(1) 焊条熔化速度 单位时间内熔化的焊条长度 (或质量)。即

$$\text{焊条熔化速度} = \frac{\text{熔化的焊条长度 (或质量)}}{\text{燃弧时间}} (\text{mm}/\text{min} \text{ 或 } \text{g}/\text{min})$$

(2) 熔化系统 单位电流、单位时间所熔化的焊条质量。即

$$\text{熔化系数} = \frac{\text{熔化的焊条质量}}{\text{焊接电流} \times \text{燃弧时间}} [\text{g}/(\text{A} \cdot \text{h})]$$

(3) 熔敷速度 单位时间内熔敷的焊缝金属质量。即

$$\text{熔敷速度} = \frac{\text{熔敷焊缝金属质量}}{\text{燃弧时间}} (\text{g}/\text{min})$$

(4) 焊缝的运条比 在不损害焊缝外观的前提下, 一根焊条所能焊接的焊缝长度对所熔化的焊条长度的比值。即

$$\text{焊缝的运条比} = \frac{\text{一根焊条所能焊的焊缝长度}}{\text{所熔化的焊条长度}}$$

二、电焊条使用性能的检测

根据焊条国家标准的有关规定, 应按各种焊条的使用要求, 对下列项目进行检测。

- (1) 焊条尺寸及药皮外观检验。
- (2) 焊条偏心度检验。
- (3) 药皮强度检验。
- (4) 药皮耐潮性试验。
- (5) 焊接工艺性能检验。
- (6) 焊缝射线探伤试验。
- (7) T形接头角焊缝试验。
- (8) 焊接烟尘发生量的测定。
- (9) 焊缝金属化学成分分析
- (10) 力学性能试验。

- (11) 硬度试验。
- (12) 扩散氢含量测定。
- (13) 铁素体含量测定。
- (14) 耐腐蚀性能试验。
- (15) 焊条药皮含水量测定。
- (16) 焊条效率测定。
- (17) 焊条药皮吸潮试验。
- (18) 焊条耗电量测定。

本节就某些检测方法作一简要叙述。

(一) 焊条药皮强度检验方法

将水平放置的焊条自由落到厚度不小于 14 mm 水平放置的光滑平整钢板上，试验时焊条的落下高度为 0.5~1.0 m。受检焊条的药皮破裂只允许在焊条两端，且总长度不大于 30 mm，不锈钢焊条破裂总长度不大于 40 mm。

(二) 焊条药皮耐潮性检验方法

将焊条浸在 15~25 ℃ 水中 4 h 后观察，药皮不应有胀开和剥落现象。

(三) 焊条偏心度检验方法

偏心度计算公式如下 [参见图 2-1(a)]。

$$\begin{aligned} \text{焊条偏心度} &= \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{2}(T_1 + T_2)} \times 100 (\%) \\ &= \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{2}(D + d)} \times 100 (\%) \end{aligned}$$

式中 T_1 ——焊条断面药皮层最大厚度与焊芯直径之和；

T_2 ——同一断面药皮层最小厚度与焊芯直径之和；

D, d ——焊条外径及焊芯直径。

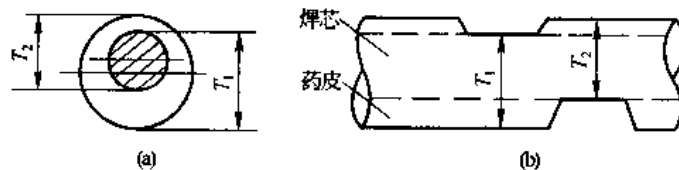


图 2-1 焊条偏心的测量

焊条偏心度在焊条制造厂内通常用偏心仪进行测量。偏心仪上的读数值即为焊条偏心值 $T_1 - T_2$ ，对于用户，可将焊条中部的相邻两个部位的药皮刮去 [如图 2-1(b)所示]，用测量精度为 0.01 mm 的测量工具分别测量 T_1 、 T_2 ，再按上式计算。当然，这种测量由于不易找准药皮层的最大厚度，存在一定误差。

(四) 焊接工艺性能试验方法

1. 电弧稳定性试验

可以用焊条断弧长度、平均断弧次数，也可采用示波器测定 1/1000 s 断弧率来表示电弧稳定性。

(1) 焊条断弧长度测定 是将焊条固定在支架上，与下面钢板间隔 2 mm，用碳棒引弧，

待电弧燃烧拉长自然熄灭后，测定焊条端与钢板上熔敷金属顶点之间距 l ，如图 2-2 所示。

(2) 平均断弧次数测定 采用交流电源，在较低的空载电压下施焊，观察焊接一根焊条时所产生的断弧及“喘息”次数。

$$\text{平均断弧次数} = \text{断弧次数} + 0.5 \times \text{“喘息”次数}$$

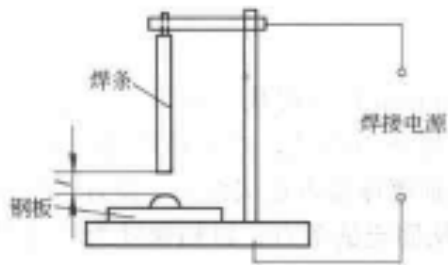


图 2-2 电弧长度测定示意



图 2-3 1/1000 s 断弧波形

(3) 1/1000 s 断弧率测定 适用于碱性交直流两用焊条 (E \times 16 型)，焊条用交流电源施焊，用示波器以 200 mm/s 速度拍片，拍片长度约 350~400 mm，观察电压曲线波形，燃弧电压 $U_{\text{燃}} \geq 2U_{\text{电}}$ (电弧电压) 者即为产生 1/1000 s 断弧，如图 2-3 所示，并按下式计算 1/1000 s 断弧率。

$$1/1000 \text{ s 断弧率} = \frac{1/1000 \text{ s 断弧半波数}}{\text{测定的半波总数}} \times 100 (\%)$$

试验表明，对碱性交直流焊条，1/1000 s 断弧率与平均断弧次数两者之间有良好的对应关系 (见图 2-4)，而断弧长度的数据却显得非常分散。

示波器拍摄的电弧电压曲线波形，如图 2-5 所示。

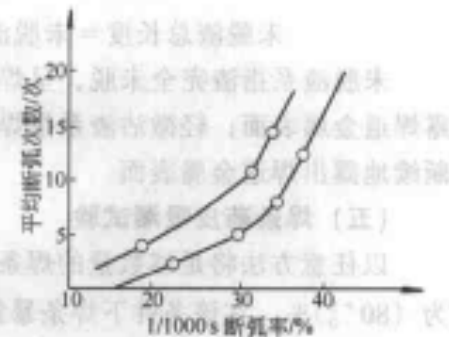
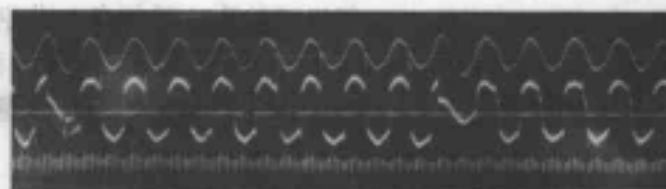
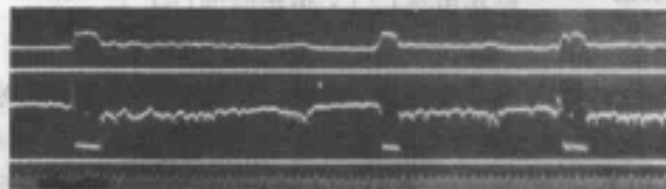


图 2-4 1/1000 s 断弧率与平均断弧次数的关系 (六)



(a) 交流



(b) 直流

图 2-5 示波图形

近年来，还开发使用电弧分析仪来测定交流断弧次数、断弧时间概率分布等熔滴过渡特性，该仪器与示波器相比，具有分辨率高，使用方便等优点，数据可直接由打印机打出。

2. 再引弧试验

将焊条焊接到一定长度时，停弧后约数秒 (通常分别为 3 s、5 s、7 s)，将焊条端部套筒轻轻接触钢板，观察再引弧情况。若连续三次能再引弧，则延长停弧时间继续试验 (一般不超过 30 s)，到不能再引弧为止。

3. 焊接工艺性能试验

在两块等厚度钢板上进行 T 形接头角焊, 在焊接过程中观察电弧燃烧、焊条熔化、熔渣形成及覆盖、飞溅大小及焊缝成形等情况, 冷却后除去熔渣, 检查焊缝表面质量。再破坏焊缝, 观察焊缝断口质量 (主要检查是否存在气孔、夹渣、裂纹等缺陷)。并检查角焊缝的凸度及两焊脚长度之差。

4. 焊缝脱渣率

试验在 400 mm × 100 mm × 12 mm 的两块钢板对接坡口内焊接, 坡口角度为 $70^{\circ} \pm 1^{\circ}$, 钝边为 1 mm, 不留间隙, 手工施焊, 采用单道焊, 焊条不摆动, 焊道长度 250 mm 左右。试板烧焊后, 立即将焊道朝下平置于锤击平台上, 保证落球锤击在试板中心位置, 将重 2 kg 的铁球置于 1.3 m 高的支架上。焊后 1 min, 使铁球从固定的落点, 以初速度为零的自由落体状态锤击试板中心。酸性焊条连续锤击 5 次, 碱性焊条连续锤击 10 次。然后检查并测量脱渣长度, 按下式计算脱渣率。

$$\text{脱渣率} = \frac{\text{焊道总长度} - \text{未脱渣总长度}}{\text{焊道总长度}} \times 100 (\%)$$

$$\text{未脱渣总长度} = \text{未脱渣长度} + \text{严重沾渣长度} + 0.2 (\text{轻微沾渣长度})$$

未脱渣系指渣完全未脱, 呈焊后原始状态; 严重沾渣系指渣表面脱落, 仍有薄渣层, 不露焊道金属表面; 轻微沾渣系指焊道侧面有沾渣, 焊道部分露出焊道金属, 或渣表面脱落, 断续地露出焊道金属表面。

(五) 焊条药皮吸潮试验

以任意方法将足够数量的焊条放在恒温恒湿箱内, 箱中应保持温度为 $(27 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 和湿度为 $(80 \pm 5)\%$, 在该条件下焊条暴露最少 9 h, 然后取出焊条, 按焊条药皮含水量测定方法 [见本节 (十三)] 测定药皮含水量。

(六) 熔化系数测定

试板尺寸为 280 mm × 50 mm × 20 mm, 每组试验取 3 根焊条, 分别在 3 块试板上试焊, 焊条剩余长度约 50 mm。焊前测量焊条长度, 焊接时准确记录焊接电流和焊接时间。焊后将剩余焊条头去掉药皮, 用细砂纸擦亮, 测量剩余焊芯长度和称量质量, 称量精度为 0.01 g, 按下式计算熔化系数。

$$\text{熔化系数} = \frac{\text{焊前焊芯质量}(\text{g}) - \text{焊后焊芯质量}(\text{g})}{\text{焊接电流}(\text{A}) \times \text{焊接时间}(\text{h})} [\text{g}/(\text{A} \cdot \text{h})]$$

(七) 焊条效率测定

试板尺寸为 280 mm × 50 mm × 20 mm, 每组试验取 3 根焊条, 分别在 3 块试板上试焊, 焊条剩余长度约 50 mm, 焊前测量焊条长度和称量试板质量, 焊后再称量试板质量, 将剩余焊条头去掉药皮, 用细砂纸擦亮, 测量焊后焊芯长度和称量试板质量, 称量精度为 0.01 g, 按下式计算焊条效率。

$$\text{焊条效率} = \frac{3 \text{ 根焊条熔敷金属质量}(\text{g})}{3 \text{ 根熔化焊芯的总质量}(\text{g})} \times 100 (\%)$$

$$\text{熔敷金属质量}(\text{g}) = \text{焊后试验质量}(\text{g}) - \text{焊前试板质量}(\text{g})$$

$$\text{熔化焊芯总质量}(\text{g}) = \frac{\text{焊条长度}(\text{mm}) \times \text{焊后焊芯质量}(\text{g})}{\text{焊后焊芯长度}(\text{mm})} - \text{焊后焊芯质量}(\text{g})$$

(八) 焊条耗电量测定

试板尺寸为 280 mm × 50 mm × 20 mm, 每组试验用 3 根焊条, 分别在 3 块试板上施焊, 焊条

剩余长度约 50 mm，焊接前后分别称量试板质量，增加质量即为熔敷金属质量。准确测量焊接时所用耗电量，测量精度为 0.1 kW·h，按下式计算耗电量。

$$\text{耗电量} = \frac{3 \text{ 根焊条耗电量(kW}\cdot\text{h)}}{3 \text{ 根焊条熔敷金属质量(g)}} \times 1000 \text{ (kW}\cdot\text{h/kg)}$$

(九) 焊接烟尘发生量测定方法

采用抽气捕尘法，即在容积约 0.12 m³ (φ500 mm×600 mm) 的测尘装置中 (见图 2-6) 进行焊接，以 15 L/min 的抽气速度将所有烟尘收集到集尘滤膜上，分别测定滤膜上的烟尘质量及焊条熔化量。发尘量按下式计算。

$$\text{发尘量} = \frac{1 \text{ 根焊条所产生的烟尘质量}}{1 \text{ 根焊条所熔化的质量}} \text{ (g/kg)}$$

(十) 焊缝金属力学性能试验

焊缝金属力学性能试板按图 2-7 和表 2-1 制备。试板应先定位焊，并预热到 (110 ± 15)℃，层间温度应控制在 110~180℃ 之间。每一焊道在射线探伤区至少有一个熄弧点和起弧点，同一焊道的焊接方向不应改变，不同焊道的焊接方向可以交替进行。

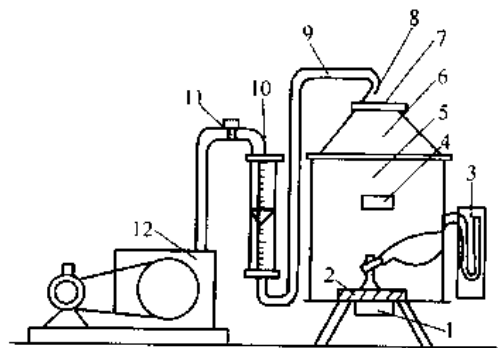
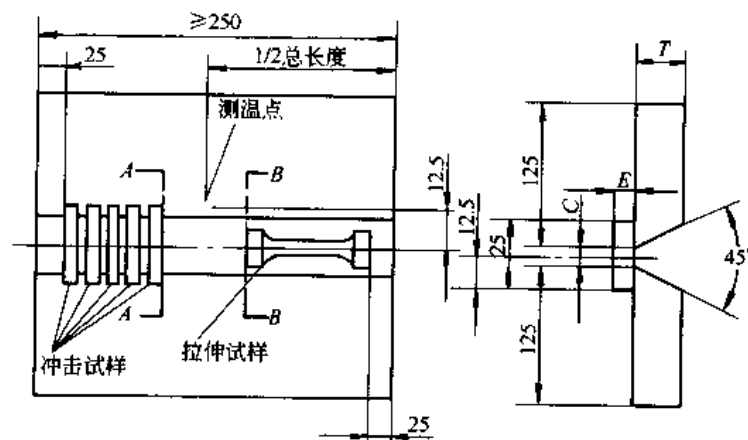
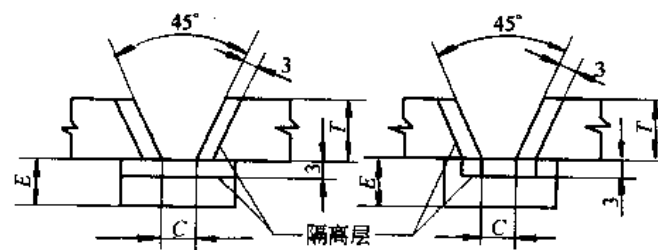


图 2-6 测尘装置示意

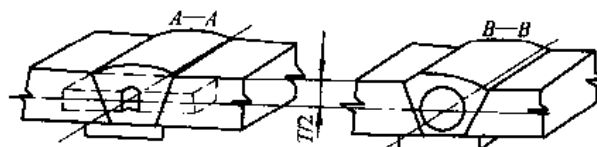
1—冷却水；2—试板；3—U形水压机；4—观察孔；5—筒体；6—大锥体；7—滤纸和钢网；8—小锥体；9—胶管；10—LZB-25 转子流量计；11—二通活塞；12—真空泵



(a) 试样位置及试板尺寸



(b) 试板坡口加工



(c) 冲击试样位置

(d) 拉伸试样位置

图 2-7 焊缝金属力学性能试板制备

表 2-1 焊缝金属力学性能试板制备

焊条直径/mm	最小板厚 T/mm	根部间隙 C/mm	垫板厚 E/mm	全摆动焊层 /层	不全摆动焊层		
					焊层/层	每层焊道数/道	焊层数/层
2.0、2.5	12	6	6	—	—	—	—
3.2				1	2~顶层	2	5~7
4.0	10	1~2	3~顶层	7~9			
5.0、5.6		13	12	1~3	4~顶层		6~8
6.0、6.4	1~3			4~顶层	9~11		
8.0	32						10~12

- 注:1. 力学性能试验的试板同时也是射线探伤试验的试板。
 2. 直径 2.0 mm 和 2.5 mm 焊条的射线探伤试验试板厚度可为 6.0 mm。
 3. 记录直径 2.0 mm 和 2.5 mm 焊条焊道数和焊层数。

除碱性焊条外, 其他类型焊条的熔敷金属拉伸试样 (见图 2-8 和表 2-2) 应在 $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ 保温 46~50 h 或在 $(250 \pm 10)^\circ\text{C}$ 保温 6~8 h 作去氢处理。

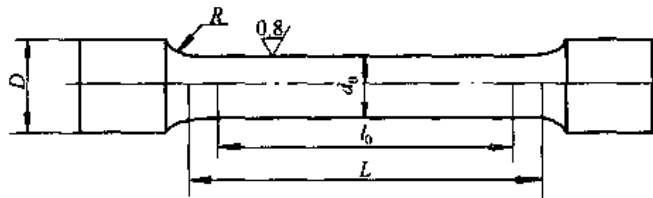


图 2-8 熔敷金属拉伸试样

表 2-2 熔敷金属拉伸试样各部尺寸

焊条直径	d_0	D	R (最小)	l_0	L
≤ 3.2	6 ± 0.1	12	5	30	36
≥ 4.0	10 ± 0.2	16	10	50	60

注: 用引伸仪测量屈服强度时, 可以增加试样长度, 但测量伸长率的标距不能改变。

熔敷金属拉伸试验应按 GB 2652—1989《焊缝(及堆焊)金属拉伸试验法》进行。

焊缝金属冲击试验应按 GB 2650—1989《焊接接头冲击试验法》进行。冲击试样要作成 V 形缺口 (见图 2-9)。计算五个冲击试样的冲击吸收功的平均值时, 最大值和最小值应舍去, 余

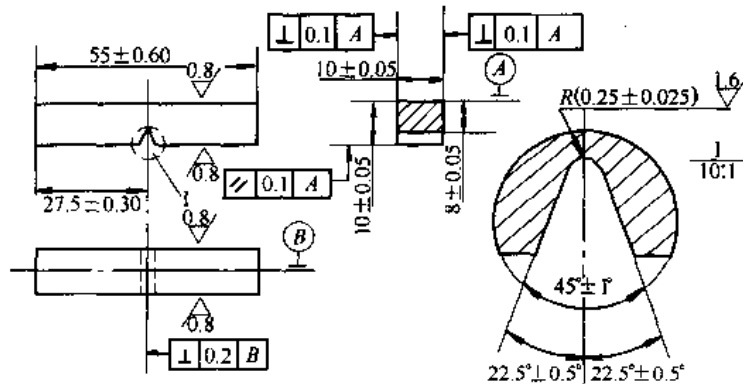


图 2-9 夏比 V 形缺口冲击试样

下的三个值计算平均值。冲击试验温度按有关焊条国家标准要求确定。低温冲击试验的试样冷却介质通常采用干冰，或在酒精中倒入液氮来获取低温。

在试板焊接时，焊接电流、运条方法、层间温度、焊接输入热等因素对焊缝金属力学性能都有一定影响。因此，需根据焊条的型号、规格正确选择焊接规范及精心施焊。

(十一) 焊缝金属硬度试验

在厚约 16 mm 的钢板上，于平焊位置进行堆焊（见图 2-10），至少堆焊四层，堆焊层表面加工后，按 GB 230—1983《金属洛氏硬度试验法》测定 10HRC 点，或按 GB 231—1984《金属布氏硬度试验法》测定 5HB 点。

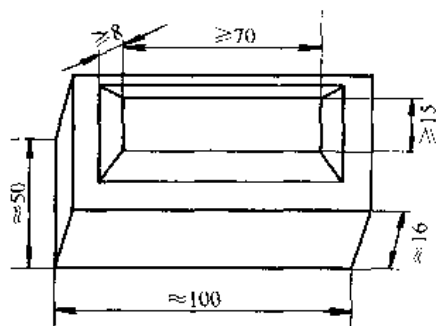


图 2-10 堆焊试样

(十二) 扩散氢含量测定方法

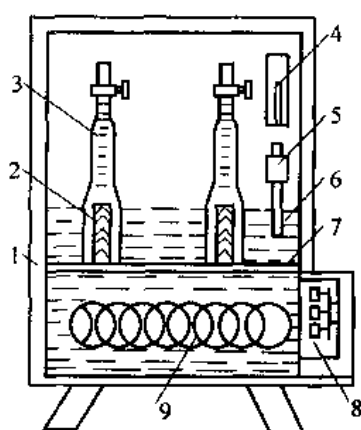


图 2-11 扩散氢测定装置示意

1—恒温收集箱；2—试样；3—收集器；4—温度计；5—水银触点温度计；6—恒温甘油浴；7—收集器支撑板；8—恒温控制器；9—加热电阻丝

可以用色谱法、水银法（IIW 法）及甘油法测定熔敷金属扩散氢含量，目前最常用的是甘油法（见图 2-11）。熔敷金属中扩散氢含量测定应按 GB/T 3965—1995《电焊条熔敷金属中扩散氢测定方法》进行。

甘油法测氢就是将预先经过烘干的被测焊条按说明书规定的最大电流在经过去氢处理的试样（100 mm × 25 mm × 12 mm）上焊接，焊缝长约 115 mm，停焊后 2 s 内将试样置于冰水中摆动冷却 10 s，取出后，用机械方法除去引弧板及引出板，除去飞溅和熔渣，放入酒精中洗 3~5 s 去水，吹干后迅速放入精确到 0.02 mL 或 0.05 mL 的气体收集器中，试件焊完后到进入收集器内，不得超过 90 s。

甘油恒温槽中甘油温度保持 $(45 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，试样放置 72 h 后读取收集器中气体量，并对试样上熔敷金属进行称重。

按下式计算出 0°C 时每 100 g 熔敷金属中扩散氢含量 H_{GL} 。

$$H_{GL} = V_0 = \frac{\rho V T_0}{T P_0 W} \times 100 \text{ (mL/100g)}$$

式中 V_0 ——收集的气体体积换算成标准状态下每 100 g 熔敷金属中气体的体积数，mL；

V ——收集气体的体积数，mL；

W ——熔敷金属质量，g；

p_0 ——标准大气压， $P_0 = 1.01 \text{ kPa}$ ；

p ——实验室气压，kPa；

T_0 ——273 K；

T ——恒温收集箱中环境温度，K。

采用气相色谱法测定扩散氢是 20 世纪 70 年代末出现的方法，该方法既克服了水银法的毒害问题，又解决了甘油法测氢精度低的缺点，是一种很有前途的测氢方法。气相色谱法是将与甘油法相似的操作程序制备好的试样，放入收集器内，通氩气 30 s，以置换出收集器内的空气，从试件焊完到放入收集器内，应在 120 s 内完成，然后将装有试样的收集器置于 45°C 恒温箱内，存放 72 h，收集扩散氢气体，72 h 后将收集器接入预先校正过的气相色谱

仪，测出氢气量，并按下式计算出单位质量熔敷含量扩散氢含量 H_{GC} 。

$$H_{DM} = H_{GC} - V_0 = \frac{V_{GC}}{W} \times 100 \text{ (mL/100g)}$$

式中 V_{GC} ——收集的氢含量换算成标准状态下的体积，mL；

W ——熔敷金属质量，g。

标准规定，当采用甘油法测出的扩散氢量小于 2 mL/100 g 时，只能采用气相色谱法测定；当采用甘油法测定的扩散氢量大于 2 mL/100 g 时，须经下列公式换算之后才能作为熔敷金属的含氢量 H_{DM} 。

$$H_{DM} = \frac{H_{GL} + 1.73}{0.79}$$

式中 H_{DM} ——熔敷金属含氢量，mL/100 g；

H_{GL} ——用甘油法测出的扩散氢量，mL/100 g。

大量试验表明，色谱法的测定的结果与水银法相当，如图 2-12 所示。

扩散氢的含量有时也用 ppm (10^{-6}) 来表示，ppm 与 mL/100 g 的换算关系如下。

$$1 \text{ ppm} = 0.9 \text{ mL/100 g}$$

(十三) 焊条药皮含水量测定方法

将同一包装中的 3 根焊条中部的药皮取下混合后，取出约 4 g 药皮作为试样，放于镍舟（也可用磁舟代替）中，放到炉温为 900~980 °C、氧气流量为 200~250 mL/min 的加热管中加热 30 min，此时药皮中的所有水分（包括结晶水）均进入水分吸收系统中装有无水高氯酸镁的 U 形管，然后将 U 形管称重，即可算出焊条药皮含水量。水分测定装置如图 2-13 所示。

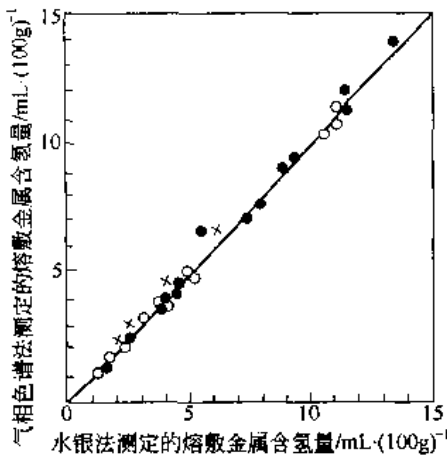


图 2-12 气相色谱法与水银法测氢值比较
●—手工焊；○—埋弧焊；×—气体保护焊

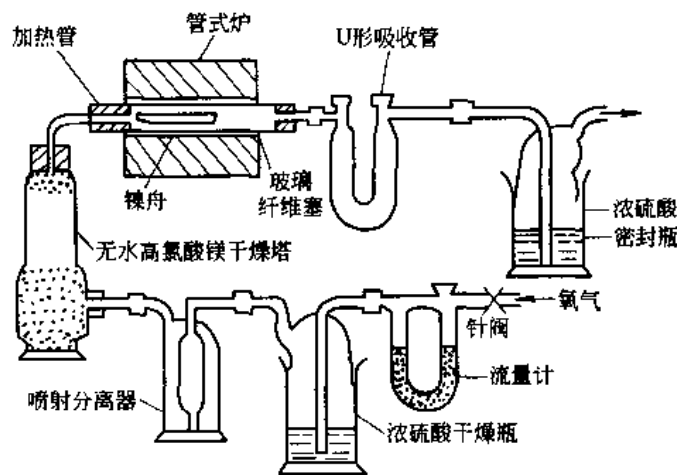


图 2-13 焊条药皮含水量测定装置

焊条药皮含水量按以下公式计算。

$$\text{含水量} = \frac{A - B}{\text{试样质量}} \times 100 (\%)$$

式中 A ——实际试验时 U 形吸收管的增质量，g；

B ——空白值，g。

(十四) 熔敷金属铁素体含量的测定方法

可以用金相割线法和磁性法测量。

金相割线法就是在 12~16 mm 钢板上进行平焊位置堆焊，堆焊至少 5 层，焊缝长度不小于 100 mm，宽度不小于 20 mm，从试样长度方向中段截取金相试样，尺寸为 10~20 mm，垂直于焊接方向的横断面是金相观察面，不得在起弧和灭弧处取样，应以试样最后焊道中部作为观察部位，如图 2-14 所示。金相试样应进行研磨和抛光（机械抛光和电解抛光），抛光后的试样，可以采用化学方法或电解方法显示铁素体，然后在放大 500 倍或 1000 倍的显微镜下，用带刻度的测微目镜测量铁素体的相对含量，一般选择不少于 10 个有代表性的视场，取其平均值作为该试样测量结果。

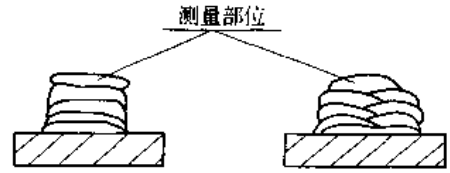


图 2-14 金相测量部位

通常，铁素体含量可用磁性检测仪进行测量，这是基于铁素体有磁性、奥氏体无磁性的原理。为保证测量结果的精度和重复性，应采用标准方法对铁素体检测仪进行标定。

各种测定方法测得的铁素体量比较结果如图 2-15 所示。

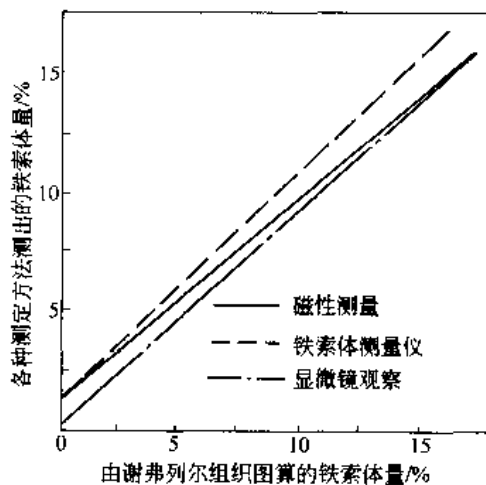


图 2-15 各种铁素体测量方法的比较

(十五) 熔敷金属耐腐蚀性能试验

检验奥氏体、奥氏体-铁素体不锈钢焊条熔敷金属的晶间腐蚀倾向，通常按 GB 4334.5—1984《不锈钢硫酸-硫酸铜腐蚀试验方法》进行。

用作电焊条的晶间腐蚀试验。试样一般可以做力学性能试验的试板（采用与焊条相应钢号的钢板）上焊后直接制取，试样尺寸为长约 80~100 mm，宽 10 mm，厚约 3 mm。

将试样放入带有 1~2 个蛇形（或球形）回流冷凝器的玻璃烧瓶内，腐蚀溶液的配制：将 100 g 硫酸铜（GB 665—1978，分析纯）溶解于 700 mL 蒸馏水或去离子水中，再加入 100 mL 硫酸（GB 625—1977，优级纯），用蒸馏水或去离子水稀释至 1000 mL，配制成硫酸-硫酸铜溶液。然后于试验前在烧瓶底部加入一层铜屑。试样彼此不能接触，试样间以一层 10 mm 左右的铜屑隔离，以保证试样和铜屑全面接触，允许放几层同一钢种的试样，但不得超过 5 层。然后倒入配置好的溶液，溶液面应高出铜屑 20 mm 以上，接通冷却水，加热到沸腾，沸腾保持中等程度，不允许冷凝器发热，若因故中途中断沸腾，试样应从反应器中取出洗涤并干燥，待下次在原溶液中继续沸腾，直至总沸腾累计时间达到 16 h 为止。然后将试样取出，冲洗干净并烘干进行弯曲试验，弯曲 90°的试样在 10 倍放大镜下观察弯曲外表面，评定有无因晶间腐蚀而产生的裂纹。试样不能进行弯曲评定或裂纹难以判定时，则采用金相法观察。

对于焊后需进行敏化处理的试样，通常的敏化处理制度为 $(650 \pm 10)^\circ\text{C} \times 2 \text{ h}$ ，然后再按硫酸-硫酸铜腐蚀试验方法进行晶间腐蚀试验。对于用超低碳（碳含量在 0.04% 以下）或含稳定化元素（如钛或铌）不锈钢焊条焊接的试样，腐蚀试验前通常要进行敏化处理。

(十六) 焊条抗裂性试验

焊条的抗裂性能，是焊条的主要使用性能之一。焊条的抗裂性能除与焊缝金属的化学成

分、扩散氢含量及焊接冶金因素等有关外，还与焊接工艺参数、操作工艺、焊工技能、环境温度及焊接结构的刚性大小、接头形式等有关。

焊条的抗裂性能试验是以碳钢和低合金钢焊条作为主要对象，可参照有关国家标准进行，最常用的试验方法有 GB 4675.1—1984《斜 Y 形坡口焊接裂纹试验方法》、GB 4675.3—1984《T 形接头焊接裂纹试验方法》、GB 4675.4—1984《压板对接（FISCO）焊接裂纹试验方法》等。

第三章 电焊条的现场质量管理

(一) 电焊条的保管

1. 仓库中的管理

进厂的焊条必须按国家标准要求进行复验，只有检验合格的焊条才能办理入库手续。在仓库里，焊条应按品种、规格及进货的先后次序分垛堆放，库房内要保持通风、干燥（室温宜 $10\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度小于 50% ）。堆放时最好不要直接放在地面上，要用木板垫高（一般约 200 mm ），并与墙保持一定距离，以达到上下、左右空气畅通，防止受潮。搬运过程要轻拿轻放，防止包装物损坏。

2. 施工中的管理

焊条在领用、再烘干时都必须仔细核对牌号，分清规格，作好记录。当焊条端头有油漆着色或药皮上印有字时，要仔细核对，防止用错。不同牌号的焊条不能混在同一炉中烘干，如果使用时间较长或在野外施工，最好用焊条保温筒。

(二) 焊接前的再烘干

出厂的焊条都已经过高温烘干和用防潮材料（如塑料袋、纸盒等）加以包装，通常可以防止药皮吸潮。但实际上，由于种种原因，焊条在保管过程中总要吸附一部分潮气。焊条药皮的吸潮，受贮存环境空气的温度、湿度以及药皮中有机物含量，黏结剂（水玻璃等）的含量及质量的影响。此外，药皮的配方组成和制造工艺对吸潮性也有很大影响。图 3-1 所示为包装状态下焊条长期保管时的吸潮情况。图 3-2 所示为环境气氛与吸潮量的关系。

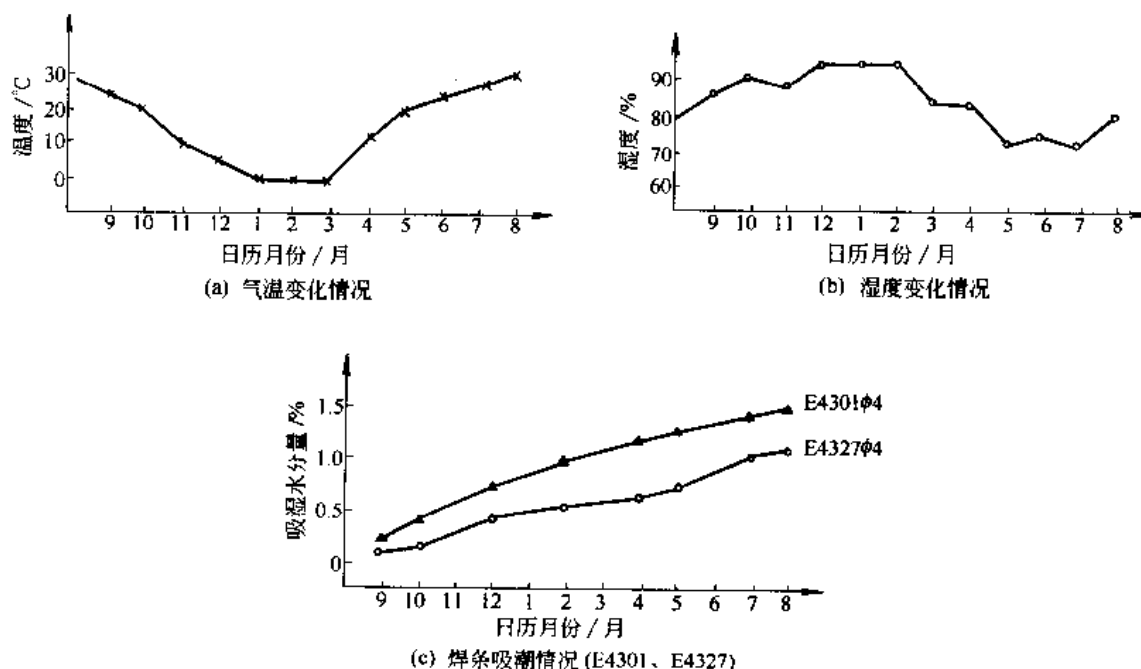


图 3-1 在包装状态下长期（1 年）保存时的吸潮量变化

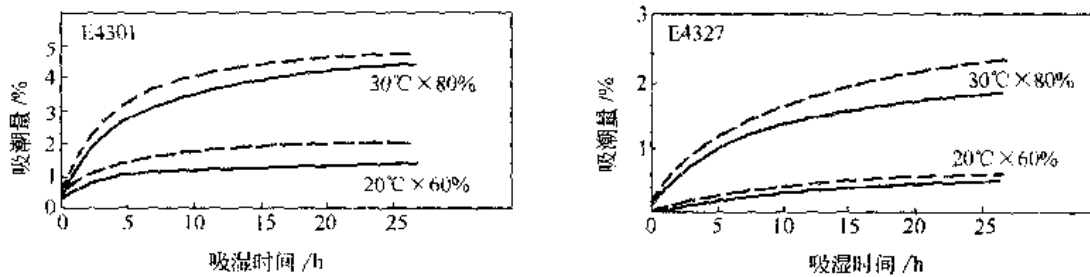


图 3-2 环境气氛与吸潮量的关系

E4301 —— φ4; - - - φ5 E4327 - - - φ5; - - - φ7

焊条的吸潮情况，除了可以在试验室中测定药皮的含水量外，在现场也可以从下列方面加以判断。

- (1) 先检查焊条的包装情况，包装破损时，往往焊条吸潮严重。
- (2) 检查焊条的制造日期，制造后长期存放的焊条表面容易出现白霉状的斑痕。
- (3) 将几根焊条放在手中滚动，吸潮后的焊条失去了清脆的金属声。
- (4) 观察焊芯表面，看是否有锈迹。

(5) 在焊接操作中，受潮焊条的工艺性能会出现下列变化：同一电流值时，电弧吹力变大，熔深增加；飞溅数量增多，颗粒变大；对钛铁矿型及钛钙型焊条，熔渣覆盖不良，且焊缝成形变差；对低氢型焊条，熔渣的内面（指与焊缝接触的一面）出现许多小孔。

当用吸潮严重的焊条施焊时，将影响焊接工艺性能（如产生气孔、增加飞溅等）和焊缝金属的力学性能。这对碱性焊条影响将更大。其药皮吸潮，不但使焊缝容易产生气孔，而且使焊缝金属中的扩散氢含量也增加，从而降低了抗裂性。药皮吸潮量与扩散氢含量的关系如图 3-3 所示。

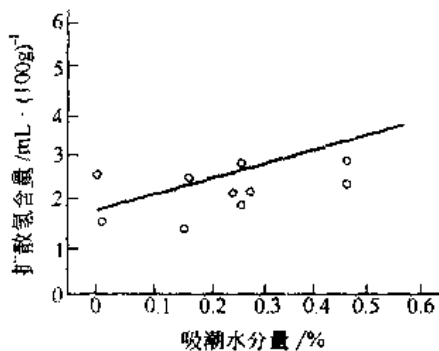


图 3-3 药皮吸潮量与扩散氢量的关系

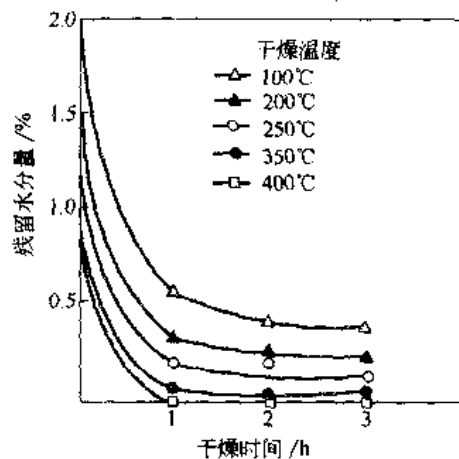


图 3-4 J507 焊条烘干时的脱水曲线

焊条使用前应按说明书规定进行再烘干，并应现烘现用。通过再烘干，可去除焊条药皮的吸附水分。脱水量主要取决于再烘干温度及时间。图 3-4 所示为 J507 焊条的再烘干脱水曲线。一般再烘干不能超过 3 次，以免药皮变质及开裂而影响焊接质量。假如单是药皮受潮（没有发生焊芯严重生锈、药皮变质或焊接时药皮成块脱落），则使用前经过再烘干，还可以

保持焊条原有的性能。焊条的再烘干温度主要是根据药皮类型来确定。烘干温度过高可能会造成药皮中碳酸盐的分解、有机物的变质以及铁合金氧化等，从而影响焊接工艺性能及焊缝金属力学性能。因此，烘干时要小心从事。从图 3-5 可以看出再烘干温度对焊缝性能及成分的影响。焊条通常在烘箱中烘干。不宜用气焊枪或喷炬急躁加热，因为这样做一方面焊条加热不均匀，另外也容易引起药皮开裂或变质等现象。

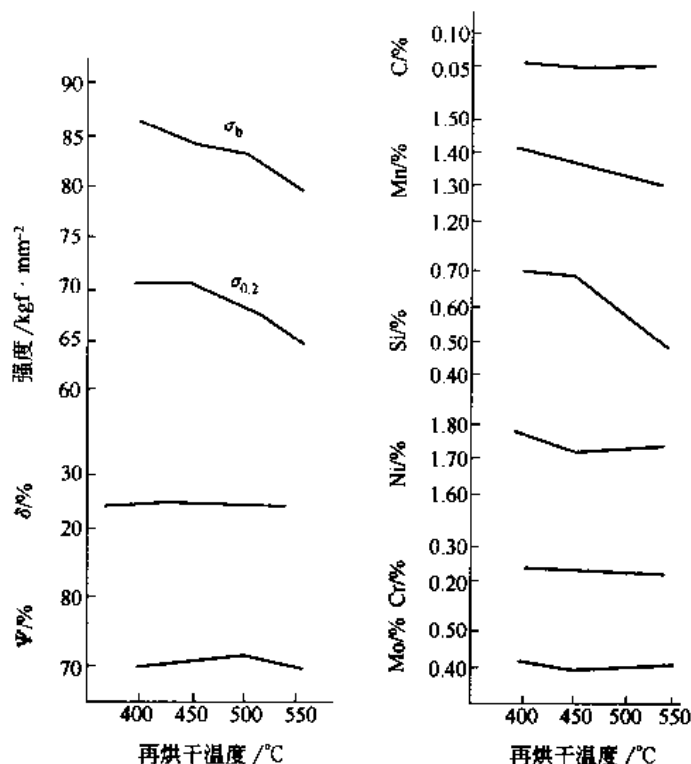


图 3-5 再烘干温度对焊缝性能及成分的影响 (80 公斤级焊条)

注: $1 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2} = 9.8 \text{ MPa}$

生产实践和试验研究表明，不同类型焊条的烘干温度是不同的。即使烘干温度不超过引起药皮中碳酸盐分解的温度，即在 485 °C 以下，也并不是所有焊条的烘干温度都是越高越好。对于低氢型焊条，在允许范围内，适当提高烘干温度有好处，可以减少药皮中的吸潮水分，降低熔敷金属中的扩散氢含量，消除焊缝金属气孔。但是，对于 J422 之类的酸性焊条，最高烘干温度不应超过 250 °C，否则会因药皮中的有机物变质，减弱气体保护作用，反而会使焊缝产生气孔。作者在进行铁粉钛型焊条研究中，曾作过如下试验：将焊条先在 320 °C 烘干 1 h，施焊时发现焊缝表面出现大量气孔，但若将此焊条在水中浸一下，立即施焊，则发现焊缝前半段气孔消失，而后半段因焊条表面吸附水分的蒸发，又开始出现气孔。推测其原因是，刚刚浸了水的酸性焊条药皮中含氢、氧量较高，在焊接过程中产生大量气体（主要是 CO、H₂），焊接熔池在不断的沸腾中容易使气体逸出，而不致产生气孔。当药皮含水量过低时，熔池变得平静，产生的气体来不及逸出而形成气孔。因此，希望药皮保持一定的含水量。对于低氢型焊条，由于药皮中含有大量脱氧剂，焊缝中含氧量较低，且药皮中不含有机物及带结晶水的原料，又经过较高温度的烘干，药皮中含水分很少，因此，焊接时熔池中产生气体量少，熔池比较平静。而当药皮含水量多时，

熔池中产生的气体较多，但因熔池沸腾不强烈，气泡上浮慢，就容易产生气孔。不同烘干温度时不同类型焊条的气孔倾向如图 3-6 所示。焊条烘干温度对熔敷金属扩散氢量及气孔量的影响如图 3-7 所示。

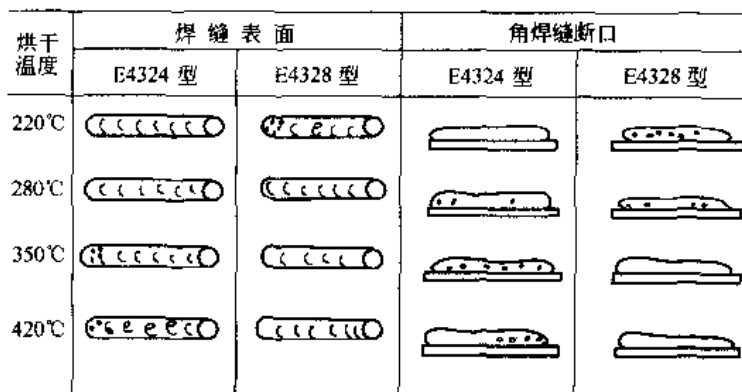


图 3-6 不同烘干温度时不同类型焊条的气孔倾向

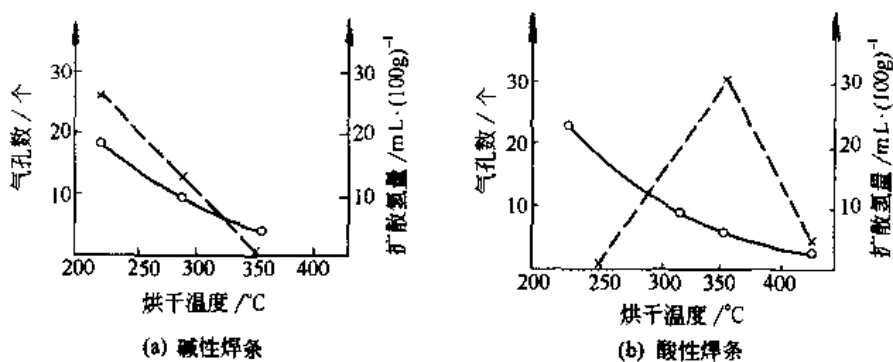


图 3-7 焊条烘干温度对熔敷金属扩散氢量及气孔量的影响

×—气孔个数；○—扩散氢量

此外，对于有些管道用纤维素焊条，某些生产厂商在产品说明书中规定，打开包装（镀锌铁皮筒）后，焊条就可直接使用，不准进行再烘干。因为厂商在调制焊条配方时，已将焊条药皮中所含水分对电弧吹力的影响一并考虑在内。若进行再烘干，则势必降低药皮的含水量，亦即减弱了电弧吹力，同时破坏了弧焊过程中的冶金反应平衡，最终将影响焊接质量。同样，对于钛酸性不锈钢焊条，也有类似情况。有一类所谓低水分不锈钢焊条，为了降低焊缝气孔敏感性，要求焊前经 280~350℃ 烘干。而另一类所谓高水分不锈钢焊条，要依靠药皮中一定的含水量，使熔池形成沸腾，促进溶解气体的逸出。这类焊条，一般焊前不需进行再烘干，否则可能会造成焊条后半段产生气孔。因此，焊条使用前必须认真阅读说明书，按厂方要求认真进行再烘干。

再烘干后的焊条，一般应随烘随用，最好立即放在焊条保温筒内，以免再次吸潮。在露天大气中存放的时间，对于普通低氢型焊条，一般不应超过 4~8 h，对于抗拉强度在 60 kgf/mm² (590 MPa) 以上的低氢型高强度钢焊条应在 1.5 h 以内。

某焊接施工公司的高强度钢构件用焊条管理标准见表 3-1。对于在高湿度环境中施焊或焊接高强度钢用焊条要进行严格管理，再烘干后的使用时间要严格控制。在这种情况下，使用难吸潮焊条就更为有效。

表 3-1 高强度钢构件用焊条管理标准

结构	钢材抗拉强度 /kgf·mm ⁻²	焊 条	烘干条件		保存温度 /℃	大气中可存 放时间/h	备 注
			温度 /℃	时间 /min			
桥梁	60	E6016	300~400	45~75	120	4	允许再烘干 2次
	70~80	70~80 kgf/mm ² 级低氢 焊条	380~450	45~75	120	1.5	
水压 管道	60	E6016	300~350	60	100	3	扩散氢在 2 mL/100 g 以下
	70	70 kgf/mm ² 级低氢焊条	350~400	60~75	150	2	
	80	80 kgf/mm ² 级低氢焊条	350~400	60~75	150	1	烘干 1~2 次

注：1 kgf/mm² = 9.81 MPa。

各类焊条的再烘干规范见表 3-2。

表 3-2 各类焊条再烘干规范

电 焊 条 类 型		要烘干的 吸湿度/%	烘干温度 /℃	保温时间 /min	
低碳钢	钛型 J421	≥3	150~200	30~60	
	钛钙型 J422	≥2	150~200	30~60	
	钛铁矿型 J423	≥3	150~200	30~60	
	纤维素型 J425	≥6	70~120	30~60	
	低氢型 J426、J427	≥0.5	300~350	30~60	
高强度钢、 耐热钢、低温 钢	高强度钢 J507、J557 等	≥0.5	300~350	30~60	
	高强度钢 J607~J107 及超低氢	—	350~430	60	
	耐热钢(低氢型)	≥0.5	350~400	60	
	低温钢(低氢型)	≥0.5	350~400	60	
不锈钢	铬不锈钢	低氢型	≥1	300~350	30~60
		钛钙型	≥1	200~250	30~60
		低氢型	≥1	200~300	30~60
	奥氏体不锈钢	钛钙型	≥1	150~250	30~60
		钛酸型	≥0.7	280~350	60
堆焊	钛钙型	≥2	150~250	30~60	
	低碳钢芯	低氢型	≥0.5	300~350	30~60
	合金钢芯	低氢型	≥1	150~250	30~60
	石墨型	≥1.5	70~100	30~60	
铸铁	石墨型 Z208、Z308 等	≥1.5	70~120	30~60	
	低氢型 Z116 等	≥0.5	300~350	30~60	
铜、镍及其 合金	低氢型	≥1	300~350	30~60	
	钛钙型	≥1	200~250	30~60	
	石墨型	≥1	120~150	30	
铝及其合金	盐基型		150	60	

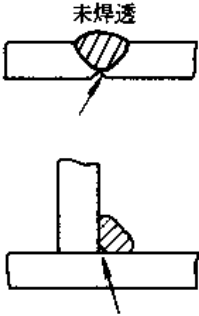
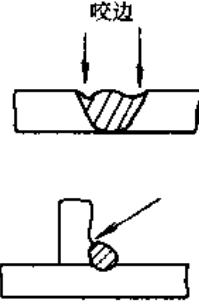
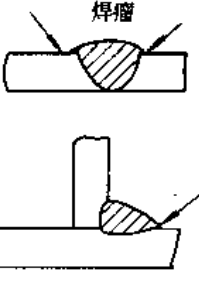
(三) 焊接接头的常见缺陷及预防措施



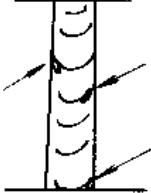
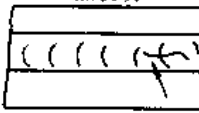


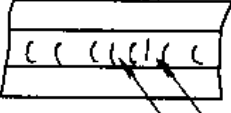
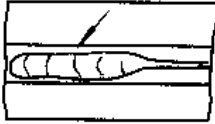


焊接接头质量的好坏，往往与焊接规范的选择、焊条的质量、母材金属和焊条的匹配是

否恰当等有很大的关系。此外，作业环境和焊件表面的清洁状况也是影响焊接质量的重要因素。当然，操作者的技术水平和对工作的责任心是更为重要的因素。



造成焊接接头缺陷的原因是多方面的。有些缺陷（如咬边、夹渣等）的原因比较容易判断，一经查明也比较容易采取相应措施予以消除。可是对于诸如气孔、裂纹等缺陷，其产生原因就比较复杂。仅裂纹就有冷裂纹、热裂纹之分。其产生部位可在焊缝根部，在焊道下，在焊趾处，在弧坑处及在热影响区等处。影响产生裂纹的原因很多，有焊缝金属化学成分因素；有焊缝金属显微组织因素；有扩散氢含量的影响；也有因焊接过程中产生的热应力、结构刚性拘束引起的拘束应力及焊接接头不均匀的组织转变引起的组织应力等因素的综合影响。既要考虑产品结构的设计，母材、焊条的选用及匹配是否合理；也要探讨焊接工艺的制订，焊接规范的选择，焊条的质量管理等因素是否有不当之处。只有通过观察分析并辅之以必要的检测、试验手段，真正查明缺陷的产生原因，才能采取综合的有效措施去解决。这些问题在有关焊接论著中都有详细论述，本章仅从电焊条使用角度对焊接接头的常见缺陷及预防措施作一简要说明，见表 3-3。

表 3-3 常见缺陷及预防措施

缺 陷	原 因	措 施
<p>未焊透</p> 	<p>(1)坡口角度太小,钝边太厚</p> <p>(2)焊接速度太快</p> <p>(3)焊接电流太小</p> <p>(4)运条方法不当</p>	<p>(1)加大坡口角度,减小钝边厚度,增加根部间隙</p> <p>(2)降低焊接速度</p> <p>(3)在不影响熔渣覆盖的前提下加大电流,短弧操作,使焊条保持近于垂直的角度</p> <p>(4)掌握正确的运条方法</p>
<p>咬边</p> 	<p>(1)焊接电流过大</p> <p>(2)运条方法不当</p> <p>(3)焊接速度过快</p> <p>(4)电弧太长</p> <p>(5)焊条选择不当</p>	<p>(1)减少焊接电流</p> <p>(2)掌握正确的运条方法</p> <p>(3)降低焊接速度</p> <p>(4)短弧操作</p> <p>(5)根据焊接条件选择合适的焊条型号和直径</p>
<p>焊瘤</p> 	<p>(1)焊接电流过小</p> <p>(2)焊接速度太慢</p> <p>(3)电弧过大</p> <p>(4)运条方法不正确</p> <p>(5)焊条选择不当</p>	<p>(1)调整合适焊接电流</p> <p>(2)加快焊接速度</p> <p>(3)短弧操作</p> <p>(4)正确掌握运条方法</p> <p>(5)根据焊接条件选择合适的焊条型号和直径</p>

缺陷	原因	措施
焊缝外观不良	(1)焊接电流过大或过小 (2)焊接速度不当使熔渣覆盖不良 (3)运条方法不当 (4)焊接接头过热 (5)焊条选择不当	(1)调整合适电流 (2)掌握正确运条方法 (3)调整焊接速度 (4)避免焊接过热 (5)根据焊接条件、母材及板厚选择合适的焊条型号和直径
夹渣 	(1)前一层焊道的熔渣清理不净 (2)焊接速度过慢,熔渣前淌 (3)坡口角度过小 (4)焊条角度和运条不当	(1)仔细清理熔渣 (2)稍微提高焊接电流,加快焊速 (3)加大坡口角度,增加根部间隙 (4)正确掌握运条方法
气孔  	(1)电流过大 (2)电弧过大 (3)焊接区表面有油、锈等污物 (4)焊条过潮 (5)焊接接头冷却速度过快 (6)母材含硫过高 (7)焊条选择不当 (8)引弧方法不当	(1)使用适当的电流 (2)短弧操作 (3)清理焊接区表面 (4)焊前将焊条烘干 (5)摆动、预热等,以降低冷却速度 (6)使用低氢型焊条 (7)选择气孔敏感性小的焊条 (8)采用引弧板或用回弧法操作
热裂纹  	(1)接头刚度过大 (2)母材含硫过高 (3)根部间隙过大	(1)采用低氢型焊条 (2)使用含锰高的低氢焊条,使用含碳、硅、硫、磷低的焊条 (3)保持合适的间隙,收弧时要把弧坑填满
冷裂纹  	(1)母材中含合金元素量高 (2)接头刚度过大 (3)接头冷却速度过快 (4)焊条吸潮	(1)预热,使用低氢焊条,使用碳当量低、韧性好、抗裂性好的焊条 (2)预热,正确安排焊接顺序 (3)进行预热或后热,控制层间温度,选择合适的焊接规范 (4)焊前焊条烘干,选用难吸潮焊条或超低氢焊条
烧穿 	(1)坡口形状不良 (2)焊接电流过大 (3)焊接速度过慢 (4)母材过热 (5)电弧过长	(1)减小根部间隙及加大钝边高度 (2)使用较小的电流或选用电弧吹力小的焊条 (3)适当加快焊接速度 (4)避免接头过热 (5)短弧操作
变形  	(1)焊接接头设计不当 (2)接头下部过热 (3)焊接速度过慢 (4)焊接顺序不当 (5)缺乏约束的条件	(1)设计时预先考虑到接头的膨胀、收缩 (2)使用小电流、选用熔深浅的焊条 (3)适当加快焊接速度 (4)正确安排焊接顺序 (5)使用夹具等进行充分约束,但必须注意防止产生裂缝

续表

缺陷	原因	措施
<p>凹坑</p> 	<ul style="list-style-type: none"> (1)焊条吸潮 (2)焊接区表面脏物太多 (3)焊条过热发红 (4)母材含硫过高 (5)母材的碳、锰过高 	<ul style="list-style-type: none"> (1)焊前焊条烘干 (2)清除表面油、锈、油漆等污物 (3)使用小电流、避免焊条过热 (4)使用低氢型焊条 (5)使用碱度高的焊条
<p>飞溅</p> 	<ul style="list-style-type: none"> (1)电流过大 (2)焊接时产生磁偏吹 (3)碱性焊条错用正极性 (4)焊条吸潮 (5)电弧过大 	<ul style="list-style-type: none"> (1)使用合适的电流 (2)尽量防止磁偏吹 (3)改用反接(即焊条接正极) (4)焊前焊条烘干 (5)用短弧施焊

第四章 电焊条的需用量

在进行焊接施工时，正确地估计焊条的需用量是相当重要的，假如需用量估计不正确，当实际使用量比预计数大时，将造成工程预算经费的不足，有时甚至会影响到工程的正常进行。反之，当预计数过多时，将造成仓库积压。因此，必须正确地计算焊条的需用量。这里介绍的是计算低碳钢焊条需用量的大致标准。

(一) 对接接头

对于对接接头，由于V形、X形、U形等坡口形式不同，焊条的使用量也不同，但不管是什么样的坡口形式，各种形式焊缝的余高基本上是相近的。

每米焊缝的焊条需用量

$$W = \frac{(A+B)L\rho}{R_G} \text{ (g)}$$

式中 A ——坡口横截面积， mm^2 ；

B ——余高横截面积， mm^2 ；

L ——焊缝长度， m ；

ρ ——焊缝金属的密度， g/mm^3 ；

R_G ——焊条的金属回收率。

例如，对于低碳钢焊条，设 $B=0.2A$ ， $\rho=7.85 \times 10^{-3} \text{ g}/\text{mm}^3$ ， $R_G=0.55$ （考虑到低碳钢焊条夹持端部分 50 mm 舍去；用不含铁粉的普通焊条），则得每米焊缝的焊条需用量

$$W = \frac{(A+0.2A) \times 1000 \times 7.85 \times 10^{-3}}{0.55} \approx 17.1A \text{ (g)}$$

对于坡口角度为 α 、板厚为 t (mm)、根部间隙为 s (mm) 的 V 形对接接头（见图 4-1），则

$$W = 17.1 \left(t^2 \times \tan \frac{\alpha}{2} + st \right) \text{ (g)}$$

因此，在单面焊接 [见图 4-1(b)] 时，每米焊缝的焊条需用量

$$W = 0.0171 \left(t^2 \times \tan \frac{\alpha}{2} + st \right) \text{ (kg)}$$

在双面焊接 [见图 4-1(c)] 时，对于背面打底焊，一般每米焊缝使用焊条约为 0.6 kg，故

$$W = 0.0171 \left(t^2 \times \tan \frac{\alpha}{2} + st \right) + 0.6 \text{ (kg)}$$

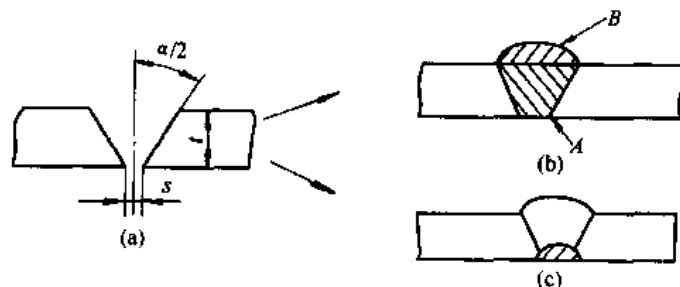


图 4-1 V 形对接接头

对于 X 形对接接头 (见图 4-2), 每米焊缝的焊条需用量

$$W = \underbrace{0.0171 \left(t_1^2 \times \tan \frac{\alpha}{2} + s t_1 \right)}_{\text{图 4-2(b) 部分}} + \underbrace{0.0171 \left(t_2^2 \times \tan \frac{\beta}{2} + s t_2 \right)}_{\text{图 4-2(b) 部分}} + \underbrace{0.6}_{\text{图 4-2(c) 部分}}$$

$$= 0.0171 \left[\left(t_1^2 \times \tan \frac{\alpha}{2} + t_2^2 \times \tan \frac{\beta}{2} \right) + s(t_1 + t_2) \right] + 0.6$$

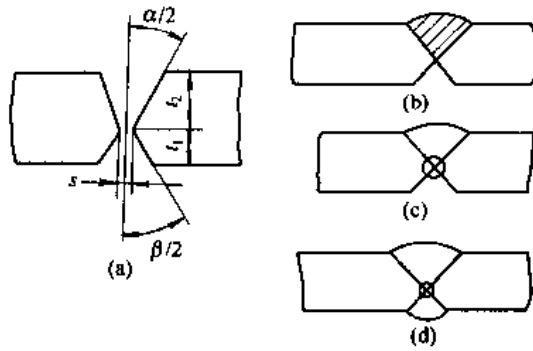


图 4-2 X 形对接接头

(二) 等边直角焊缝

每米等边直角焊缝 (见图 4-3) 的焊条需用量

$$W = \frac{l^2 L \rho K}{2 R_G \times 1000} \text{ (kg)}$$

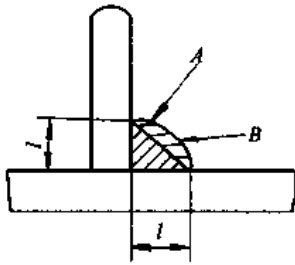


图 4-3 等边直角焊缝

式中 l ——焊脚长度, mm;
 L ——焊缝长度, mm;
 ρ ——焊缝金属的密度, 一般 $\rho = 7.85 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$;
 K ——焊缝高度系数, $K = (A + B)/A = 1.2$;
 R_G ——焊条金属回收率, $R_G = 0.55$ 。

代入数据可得

$$W = \frac{l^2 \times 1000 \times 7.85 \times 10^{-3} \times 1.2}{2 \times 0.55 \times 1000} = 0.00856 l^2$$

按上述公式计算的角焊时焊条需用量见表 4-1。

表 4-1 每米等边直角焊的焊条需用量 (估算)

焊脚/mm	焊条需用量/kg	焊脚/mm	焊条需用量/kg
3	0.077	8	0.548
4	0.137	9	0.693
5	0.214	10	0.856
6	0.308	11	1.036
7	0.419	12	1.232

为了保险起见, 最好以比图纸上规定的焊脚尺寸大 1 mm 的数值作为实际的焊缝尺寸来计算。此外, 对于高效铁粉焊条及不锈钢焊条等应参照其焊条的技术资料或通过实测来确定它的金属回收率, 再来计算焊条需用量。

图 4-4 和图 4-5 所示分别为对接焊缝和角焊缝时每米焊缝的焊条需用量。

V 形对接接头单面焊时焊条需用量估算见表 4-2。

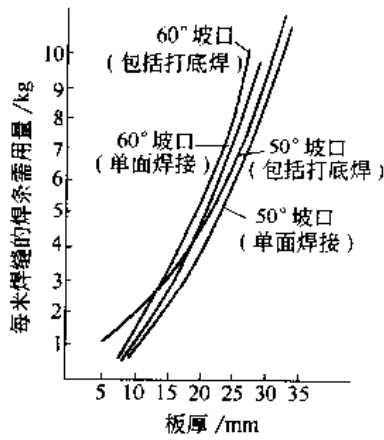


图 4-4 每米对接焊缝的焊条需用量

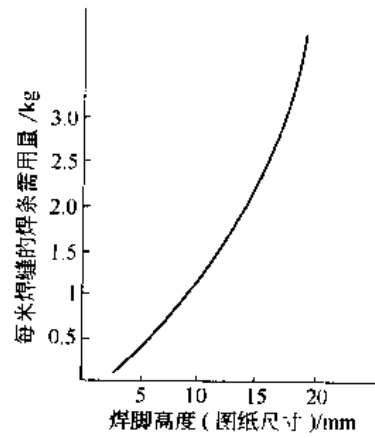


图 4-5 每米角接焊缝的焊条需用量

表 4-2 V形对接接头单面焊时每米焊缝的焊条需用量 (估算)

板厚 t /mm	α /°	s /mm	c /mm					板厚 t /mm	α /°	s /mm	c /mm				
			0	1	2	3	4				0	1	2	3	4
6	45	0	0.22	0.15	0.09	0.05	0.02	6	90	0	0.51	0.36	0.24	0.13	0.05
		1.0	0.29	0.24	0.18	0.16	0.10			1.0	0.60	0.44	0.31	0.22	0.15
		1.5	0.35	0.27	0.22	0.18	0.15			1.5	0.64	0.49	0.36	0.25	0.18
		2.0	0.38	0.31	0.27	0.22	0.20			2.0	0.67	0.53	0.40	0.29	0.24
		2.5	0.42	0.36	0.31	0.27	0.24			2.5	0.73	0.56	0.44	0.35	0.27
		3.0	0.47	0.40	0.35	0.31	0.27			3.0	0.76	0.62	0.49	0.38	0.31
		4.0	0.55	0.49	0.44	0.40	0.36			4.0	0.85	0.69	0.56	0.47	0.40
		4.0	0.55	0.49	0.44	0.40	0.36			4.0	0.98	0.89	0.80	0.73	0.65
	50	0	0.24	0.16	0.11	0.05	0.04	9	45	0	0.47	0.38	0.29	0.22	0.15
		1.0	0.32	0.25	0.20	0.16	0.11			1.0	0.60	0.51	0.42	0.35	0.27
		1.5	0.36	0.29	0.24	0.18	0.16			1.5	0.67	0.56	0.47	0.40	0.35
		2.0	0.42	0.35	0.27	0.24	0.20			2.0	0.72	0.64	0.55	0.47	0.40
		2.5	0.45	0.38	0.33	0.27	0.24			2.5	0.80	0.69	0.60	0.53	0.47
		3.0	0.49	0.42	0.36	0.31	0.29			3.0	0.85	0.76	0.67	0.60	0.53
		4.0	0.58	0.51	0.45	0.40	0.36			4.0	0.98	0.89	0.80	0.73	0.65
		4.0	0.58	0.51	0.45	0.40	0.36			4.0	1.05	0.93	0.84	0.75	0.67
	60	0	0.29	0.20	0.13	0.07	0.04	60	0	0.54	0.42	0.33	0.24	0.16	
		1.0	0.38	0.29	0.22	0.16	0.13		1.0	0.67	0.55	0.45	0.36	0.29	
		1.5	0.42	0.33	0.25	0.20	0.16		1.5	0.73	0.62	0.51	0.44	0.36	
		2.0	0.47	0.38	0.31	0.24	0.20		2.0	0.80	0.67	0.58	0.49	0.42	
		2.5	0.51	0.42	0.35	0.29	0.25		2.5	0.85	0.75	0.63	0.56	0.49	
		3.0	0.55	0.45	0.38	0.33	0.29		3.0	0.93	0.80	0.71	0.62	0.55	
		4.0	0.64	0.54	0.47	0.42	0.36		4.0	1.05	0.93	0.84	0.75	0.67	
		4.0	0.64	0.54	0.47	0.42	0.36		4.0	1.12	1.04	0.91	0.80	0.71	
70	0	0.36	0.25	0.16	0.09	0.04	70	0	0.67	0.53	0.40	0.29	0.20		
	1.0	0.44	0.33	0.24	0.18	0.13		1.0	0.80	0.65	0.53	0.42	0.33		
	1.5	0.49	0.38	0.29	0.22	0.16		1.5	0.85	0.71	0.60	0.49	0.40		
	2.0	0.53	0.42	0.39	0.25	0.22		2.0	0.93	0.78	0.65	0.55	0.45		
	2.5	0.56	0.45	0.36	0.31	0.25		2.5	0.98	0.84	0.73	0.62	0.53		
	3.0	0.62	0.51	0.42	0.35	0.29		3.0	1.05	0.91	0.78	0.67	0.58		
	4.0	0.69	0.55	0.51	0.44	0.38		4.0	1.18	1.02	0.87	0.75	0.64		
	4.0	0.69	0.55	0.51	0.44	0.38		4.0	1.31	1.15	1.00	0.80	0.76		

续表

板厚 t /mm	α /(°)	s /mm	c /mm					板厚 t /mm	α /(°)	s /mm	c /mm					
			0	1	2	3	4				0	1	2	3	4	
19	70	0	3.58	3.22	2.87	2.55	2.24	22	50	2.5	3.98	3.69	3.42	3.16	2.93	
		1.0	3.85	3.49	3.14	2.82	2.51			3.0	4.14	3.85	3.58	3.33	3.07	
		1.5	3.93	3.62	3.27	2.95	2.64			4.0	4.45	4.16	3.89	3.64	3.40	
		2.0	4.13	3.76	3.42	3.09	2.78			60	0	3.96	3.62	3.27	2.96	2.65
		2.5	4.25	3.89	3.55	3.22	2.91				1.0	4.24	3.93	3.58	3.27	2.96
		3.0	4.40	4.02	3.67	3.35	3.04				1.5	4.44	4.07	3.74	3.42	3.13
		4.0	4.65	4.29	3.95	3.62	3.31				2.0	4.58	4.24	3.91	3.58	3.27
	90	0	5.13	4.60	4.09	3.64	3.20		2.5		4.75	4.40	4.05	3.75	3.24	
		1.0	5.38	4.87	4.36	3.91	3.45		3.0		4.89	4.55	4.22	3.89	3.58	
		1.5	5.53	5.00	4.51	4.04	3.60		4.0		5.22	4.85	4.53	4.20	3.91	
		2.0	5.65	5.13	4.64	4.16	3.73		70	0	4.80	4.38	3.98	3.58	3.22	
		2.5	5.80	5.23	4.78	4.31	3.87			1.0	5.13	4.69	4.29	3.89	3.53	
		3.0	5.93	5.40	4.91	4.44	4.00			1.5	5.27	4.85	4.44	4.05	3.69	
		4.0	6.20	5.67	5.18	4.71	4.27			2.0	5.44	5.00	4.60	4.22	3.84	
45	0	2.84	2.60	2.35	2.12	1.91	2.5	5.58		5.16	4.75	4.36	4.00			
	1.0	3.16	2.91	2.63	2.44	2.22	3.0	5.75		5.31	4.91	4.53	4.15			
	1.5	3.31	3.05	2.82	2.58	2.36	4.0	6.05		5.64	5.22	4.84	4.47			
	2.0	3.47	3.22	2.98	2.75	2.53	90	0	6.87	6.25	5.67	5.13	4.60			
	2.5	3.62	3.38	3.13	2.91	2.69		1.0	7.18	6.56	5.98	5.44	4.91			
	3.0	3.78	3.53	3.29	3.05	2.84		1.5	7.33	6.73	6.15	5.58	5.07			
	4.0	4.09	3.84	3.60	3.36	3.14		2.0	7.49	6.87	6.29	5.74	5.22			
50	0	3.20	2.91	2.65	2.38	2.15		2.5	7.67	7.04	6.45	5.91	5.38			
	1.0	3.51	3.24	2.96	2.71	2.45		3.0	7.80	7.20	6.62	6.05	5.53			
	1.5	3.67	3.27	3.11	2.85	2.62		4.0	8.11	7.51	6.93	6.63	5.84			
	2.0	3.82	3.55	3.27	3.02	2.85										

第五章 焊接条件对焊缝性能的影响

为了得到优良的焊缝性能，除了正确选择与母材成分、性能要求相适应的焊条外，选用合理的焊接施工条件也是至关重要的，焊接施工条件包括焊接线能量、层间温度、焊条直径及焊接位置等，它是焊接时影响焊缝组织和性能的又一重要因素。焊接线能量集中反映了焊接电流、电压和焊接速度（包括运条方式）的综合影响，它是决定焊缝金属冷却速度的主要环节之一；层间温度（通常还包括预热温度，后热温度）对焊缝冷却速度（常用 800~500℃ 的冷却时间来表示）也有着重要影响；焊条直径的大小和焊接位置的变化主要影响焊接线能量，同时也影响焊缝中各晶区的组成比例。此外，焊接结构在焊后通常要进行消除应力处理，其规范也会影响到焊缝金属的组织 and 性能。因此，焊接施工工艺条件选择得是否合理，将直接影响到焊缝金属的显微组织和性能。由于各种钢材的化学成分不同，焊缝的组织 and 性能有很大差异，因此，一般要通过作工艺评定试验来确定合理的焊接施工条件。

本章仅以焊接施工条件对 C-Mn 钢焊缝（C<0.1%、Si 0.3%、Mn 1.4%）组织和性能的影响为例作一简述，但所表述的各种影响趋势基本上对各类低合金钢都有指导意义。

（一）焊接线能量的影响

分别采用 6 kJ/cm、10 kJ/cm、22 kJ/cm 和 43 kJ/cm 的线能量施焊，焊接线能量的改变是依靠改变焊速和采用摆动方式来实现的，焊接线能量对力学性能的影响如图 5-1 所示。试验结果表明，随着焊接线能量的增加，焊缝金属的屈服点和抗拉强度均呈下降趋势，且屈服比明显下降。对冲击性能的影响，若以冲击吸收功 100 J 和 28 J 作为上平台和下平台冲击吸收功，则由图 5-1 (a) 可见，线能量太大或太小均对提高焊缝韧性不利。

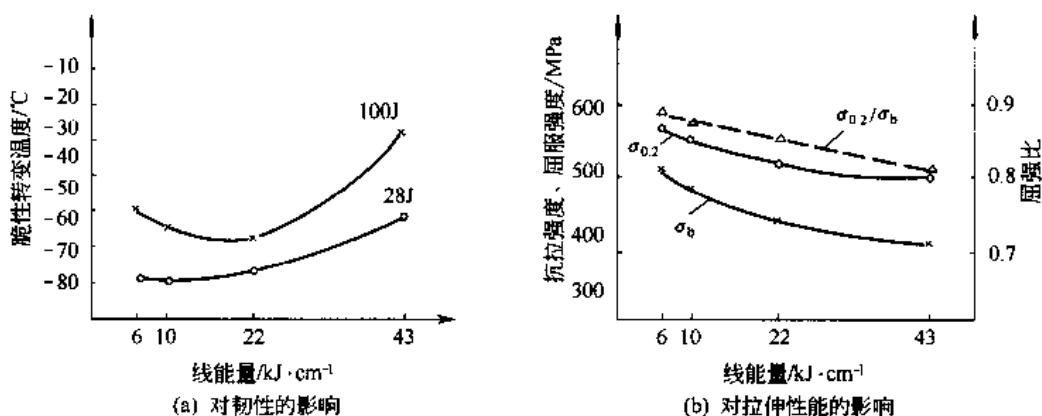


图 5-1 焊接线能量对力学性能的影响

从每层焊道数多少来比较，每层两道的情况下，焊缝中心线处韧性最高，这时冲击缺口位于两道焊缝的搭接区，该区全部发生了重结晶，无柱状晶区存在；在每层三道时，焊缝中心线处韧性偏低，因为这时冲击缺口位置约有 25% 的柱状晶存在，无柱状晶的搭接位置约在缺口两侧 3 mm 处，该处的冲击韧性要高于中心线处，如图 5-2 所示。

作者曾以 R407 焊条进行不同线能量试验，在同样试板及焊接规范条件下，采用线状焊或摆动焊及不同的焊速，分别得到 4 层 4 道，4 层 8 道，8 层 15 道的焊缝，焊缝金属力学性

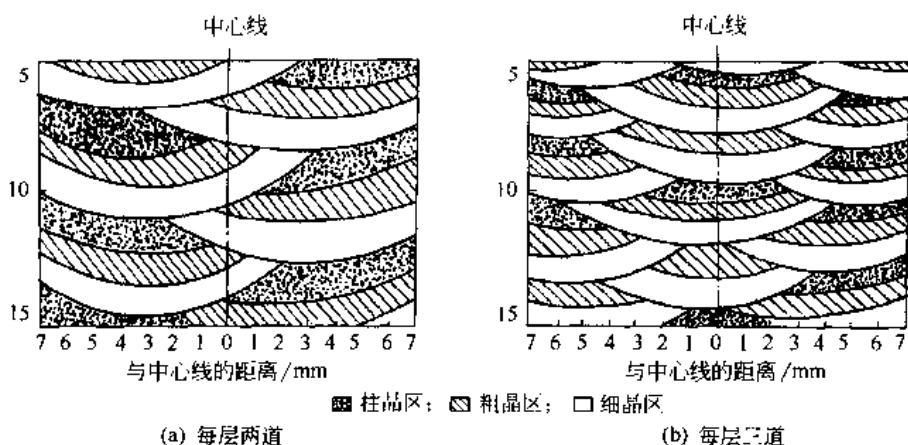


图 5-2 不同施焊工艺的搭接情况

能试验结果见表 5-1。可见，从整个焊接接头考虑，低合金钢要提高冲击韧性，以采用常规的窄道焊工艺施焊为宜。

表 5-1 焊接线能量对力学性能的影响

试验焊缝	线能量/ $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	σ_b/MPa	$\delta_5/\%$	A_{KV}/J
8 层 15 道	23.0	563	658	21.8	77~154/141
4 层 8 道	32.5	572	675	17.2	73~109/89
4 层 4 道	46	577	663	16.0	20~38/33



(二) 层间温度的影响

分别采用 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的层间温度进行施焊，采用将热电偶插入正在凝固的焊缝金属中的方法来测定 $800\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷却时间，在上述 4 个层间温度的条件下，其 $t_{8/5}$ （即 $800\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷却时间）分别为 4 s、6 s、8 s 和 10 s。

试验表明，随着层间温度的提高，盖面焊道的硬度有所下降，焊缝金属的屈服点、抗拉强度和屈强比均呈下降趋势。若以冲击吸收功为 100 J 时的温度作为脆性转变温度，则随层间温度的增加，焊缝金属的脆性转变温度在下降，即表示焊缝的冲击韧性得到改善。其原因可用焊缝中柱状晶区减少，重结晶区增加这一变化来解释。尽管这时的晶粒尺寸较大，却仍能表现出良好的韧性。当然，如果晶粒尺寸进一步长大，将有可能导致焊缝韧性的降低。层间温度对焊缝力学性能的影响如图 5-3 所示。

(三) 焊条直径的影响

分别采用直径为 $\phi 3.2\text{ mm}$ 、 $\phi 4.0\text{ mm}$ 、 $\phi 5.0\text{ mm}$ 和 $\phi 6.0\text{ mm}$ 的焊条进行施焊，此时，层间温度为 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，线能量分别为 7 kJ/cm 、 11 kJ/cm 、 15 kJ/cm 和 18 kJ/cm ，测定 $800\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷却时间分别为 5 s、7 s、9 s 和 10 s。

试验发现，焊条直径的变化对焊缝硬度的影响不明显，随着焊条直径的增大，焊缝金属的屈服点和抗拉强度均有所下降，但不明显。这与提高层间温度的影响不一致，其原因可能

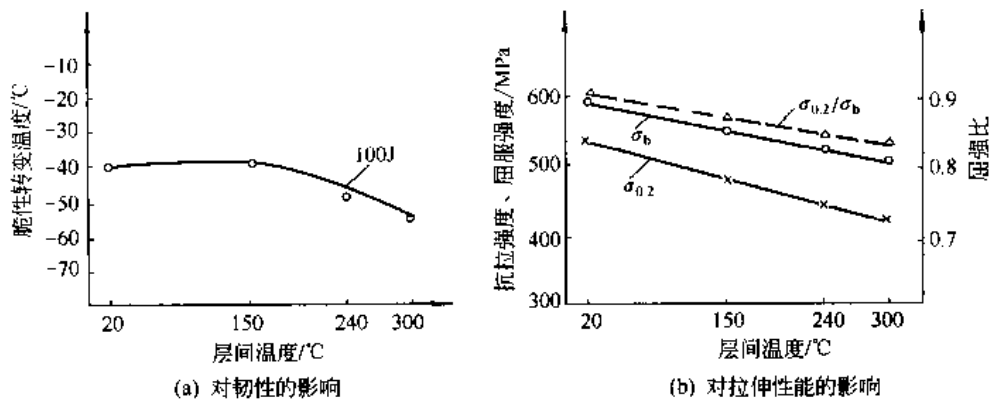


图 5-3 层间温度对力学性能的影响

是对重结晶区的尺寸有不同的影响所致，提高层间温度时，柱状晶区的尺寸减小，重结晶区尺寸增大；而增大焊条直径时，柱状晶区的面积在增加，这些柱状晶区具有较高的硬度，因而避免了焊缝强度的急剧下降。若以冲击吸收功 100 J 和 28 J 的温度作为脆性转变温度，则随焊条直径的增加，脆性转变温度逐渐提高，即焊缝的冲击韧性在逐渐下降，其原因仍可用焊缝中柱状晶数量的增多来解释。焊条直径对力学性能的影响如图 5-4 所示。

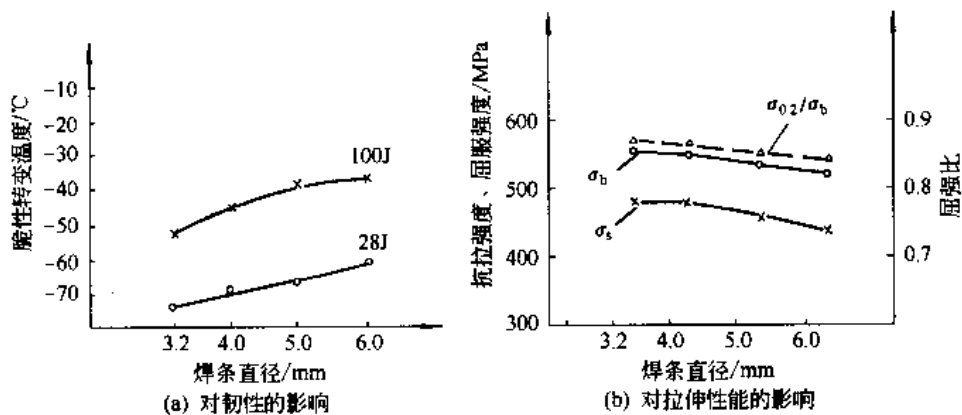


图 5-4 焊条直径对力学性能的影响

(四) 焊接位置的影响

试验时将焊接位置分为平焊和向上立焊两种，对应每一位置又有全摆动和有限摆动之分，全摆动是每层焊一道，有限摆动每层焊两道，层间温度为 200 °C，焊接规范参数和冷却时间 $t_{8/5}$ 及冲击试验结果见表 5-2。

表 5-2 不同焊接位置对韧性的影响

焊接位置	位置符号	每层道数	层数	线能量 $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$	$t_{8/5}/\text{s}$	脆性转变温度/°C	
						100 J	28 J
平焊	2F	2	6	22	13	-58	-69
	1F	1	6	43	34	-27	-50
立焊	2V	2	4	34	22	-32	-58
	1V	1	5	39	30	-35	-65

试验表明，焊接位置不同对焊缝硬度值没有造成明显的差别，对焊缝金属的拉伸性能影响也不大，但在有限摆动的情況下，焊缝的抗拉强度和屈服点普遍略高于全摆动。进行焊缝

冲击性能试验发现，平焊并作有限摆动时的焊缝韧性最高，立焊并作有限摆动时的韧性稍次，但它优于全摆动条件下的立焊和平焊焊缝的冲击韧性。探讨出现这种韧性差别的原因，一是在有限摆动情况下，焊道相对较薄，线能量小，重结晶区所占比例大，尽可能地减少了柱状晶区；二是重结晶区的晶粒比较小，可见焊接位置的不同，主要还是反映出线能量的影响。

(五) 消除应力处理的影响

对不同含碳量 (0.045% ~ 0.145%) 及含锰量 (0.6% ~ 1.8%) 的焊缝金属进行了消除应力处理试验，处理规范是 580 °C × 2 h。

试验发现，消除应力处理使焊缝的屈服点、抗拉强度和屈强比均有所下降，亦即普通 C-Mn 系焊缝遭到了全面软化。对冲击韧性的影响表明，消除应力处理引起了脆性转变温度的改变，并与碳、锰的含量有密切关系，当 C、Mn 含量低时，消除应力处理对提高韧性有好处；而 C、Mn 含量高时，消除应力处理反而对韧性有害。其原因可能是消除应力处理过程中，随着含 C 量的增加、渗碳体的析出量增加、渗碳体尺寸增大，尤其是厚度的增大将导致脆性转变温度升高。含 C 量处于中等水平时，消除应力处理对脆性转变温度影响不大、且含 Mn 量为 1.4%、含 C 量为 0.07% ~ 0.09% 时得到最佳韧性。消除应力处理时间对脆性转变温度的影响如图 5-5 所示，可以看出，消除应力处理时间在 2 h 以内时，随着时间的增加，脆性转变温度（相对于 28 J 和 100 J）有上升趋势，进一步增加消除应力处理时间，脆性转变温度表现出下降的趋势。电镜观察表明，经 100 h 消除应力处理后，析出的碳化物变得更加粗大并接近于球形。

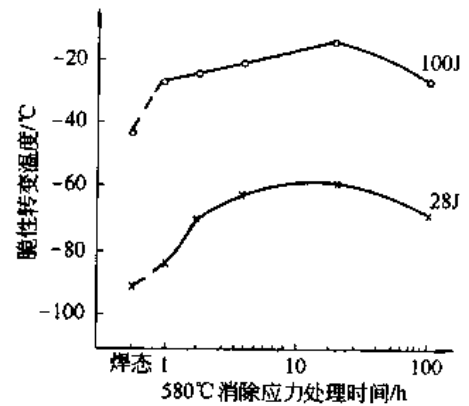


图 5-5 消除应力处理时间对韧性的影响

第六章 各种电焊条的选择和使用

一、选择电焊条的基本要点

电焊条的种类繁多，每种焊条均有一定的特性和用途。即使同一类别的焊条，由于不同的药皮类型，所反映出的使用特性也是不同的。加之被焊工件的理化性能、工件条件（结构形状及刚度）、施工条件的不同，还要考虑生产效率及经济性等因素，这些势必给焊条的选择带来一定的困难。因此，有必要确定一些原则，供选择焊条之用。在实际工作中，除了要认真了解各种焊条的成分、性能及用途等资料外，还必须结合被焊工件的状况、施工条件及焊接工艺等，并参照下列各条原则，予以综合考虑，才能正确地选择焊条。

（一）考虑工件的物理、力学性能和化学成分

（1）从等强度的观点出发，选择满足力学性能要求的焊条，或结合母材的焊接性，改用不等强度而韧性好的焊条，但需改变焊缝结构形式，以满足等强度、等刚度的要求。

（2）使熔敷金属的合金成分符合或接近母材。

（3）当母材化学成分中碳或硫、磷等有害杂质较高时，应选择抗裂性和抗气孔能力较强的焊条，如低氢型焊条等。

必须说明，焊接构件对力学性能和化学成分的要求并不是均衡的，有的焊件可能偏重于强度、韧性等方面的要求，而对化学成分不一定要求与母材一致，如选用结构钢焊条时，首先应侧重考虑焊缝金属与母材间的等强度，或焊缝金属的高韧性；有的焊件又可能偏重于化学成分方面的要求，如对于耐热钢、不锈钢焊条的选择，通常侧重于考虑焊缝金属与母材化学成分的一致；有时也可能对两者都有严格的要求，因此在选择焊条时，应分清主次，综合考虑。

（二）考虑工件的工作条件和使用性能

（1）工件在承受动载荷和冲击载荷情况下，除了要求保证抗拉强度、屈服强度外，对冲击韧性、塑性均有较高的要求。此时应选用低氢型、钛钙型或氧化铁型焊条。

（2）工件在腐蚀介质中工作时，必须分清介质种类、浓度、工作温度以及腐蚀类型（一般腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀等），从而选择合适的不锈钢焊条。

（3）工件在受磨损条件下工作时，必须区分是一般磨损还是冲击磨损，是金属间磨损还是磨料磨损，是在常温下磨损还是在高温下磨损等。还应考虑是否在腐蚀介质中工作，以选择合适的堆焊焊条。

（4）处在低温或高温下工作的工件，应选择能保证低温或高温力学性能的焊条。

（三）考虑工件的复杂程度、刚度大小、焊接坡口制备和焊接部位等

（1）形状复杂或大厚度的工件，由于其焊缝金属在冷却收缩时产生的内应力大，容易产生裂纹。因此，必须采用抗裂性好的焊条，如低氢型焊条、高韧性焊条或氧化铁型焊条。

（2）焊接部位所处的位置不能翻转时，必须选择能进行全位置焊接的焊条。

（3）因受条件限制而使某些焊接部位难以清理干净时，就应考虑选用氧化性强，对铁锈、氧化皮和油污反应不敏感的酸性焊条，以免产生气孔等缺陷。

(四) 考虑施焊工件条件

没有直流焊机的地方就应选用交直流两用的焊条。某些钢材（如珠光体耐热钢）需进行焊后热处理，以消除残余应力。但受设备条件限制或本身结构限制而不能进行热处理时，应选用与母材金属化学组成不同的焊条（如奥氏体不锈钢焊条），以免进行焊后热处理。此外，还应根据施工现场条件，如野外操作、焊接工作环境等，来合理选用焊条。

(五) 考虑改善焊接工艺和保证工人身体健康

在酸性焊条和碱性焊条都可以满足的地方，鉴于碱性焊条对操作技术及施工准备要求高，故应尽量采用酸性焊条。对于在密闭容器内或通风不良场所焊接时，应尽量采用低尘低毒焊条或酸性焊条。

(六) 考虑经济性

在保证使用性能的前提下，尽量选用价格低廉的焊条。根据我国的矿藏资源，应大力推广钛铁矿型焊条。对性能有不同要求的主次焊缝，可采用不同焊条，不要片面追求焊条的全面性能。要根据结构的工作条件，合理选用焊条的合金系统，如对在常温下工作，用于一般腐蚀条件的不锈钢，就不必选用含铌的不锈钢焊条。

(七) 考虑效率

对焊接工作量大的结构，有条件时应尽量采用高效率焊条，如铁粉焊条、高效率不锈钢焊条及重力焊条等，或选用底层焊条、立向下焊条之类的专用焊条，以提高焊接生产率。

图 6-1 所示为碳钢和低合金钢焊接时选用焊条的一般原则。

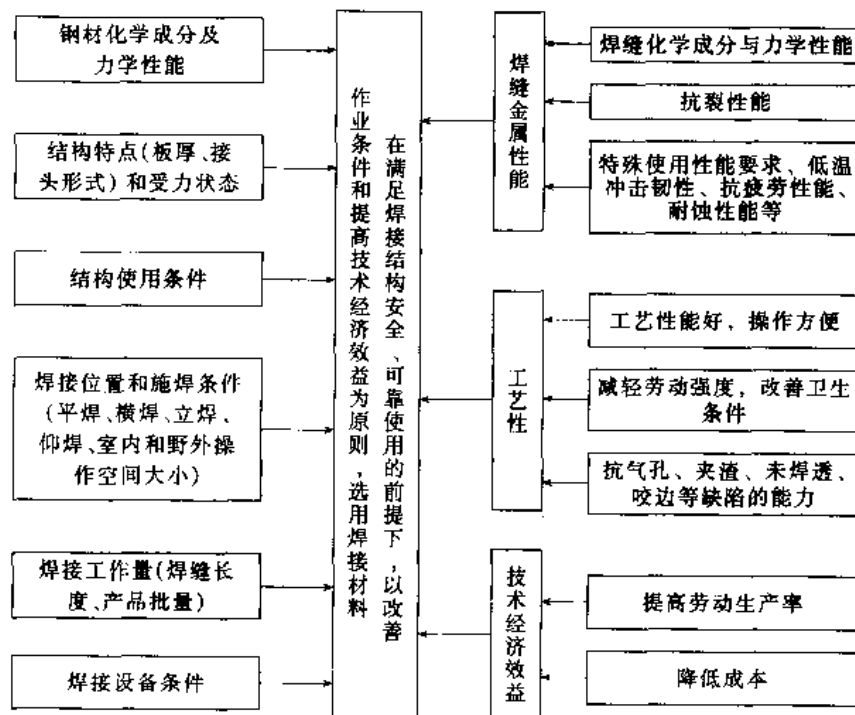


图 6-1 碳钢和低合金钢焊接时选用焊条的一般原则

需要指出的是，在实际工作中，对于碳钢及低合金钢焊条的选用，有些技术文件中仅仅列出了焊条的型号，如 E7015-G，E8016-G 等，而没有明确焊条的具体牌号，这可能会使某些焊接工艺人员或焊材购销人员产生一些困惑。因为在焊条标准中之所以设定“G”这种类型，主要是为了适应焊条研制、生产单位的发展需要，不致因为标准中某些型号化学成分的

限制，而无法开发一些新品种。例如，对于以考核熔敷金属强度及韧性为主的碳钢及低合金高强钢焊条，虽然规定了锰钼型及镍钼型熔敷金属化学组成类型，但实际上，不仅是通过加入 Mn、Mo、Ni 可以达到所规定的强度、韧性指标，还可加入 Cr、V、Nb 及 Ti、B 等合金元素，这样就出现了如 J507NiTiB/E5015G、J857G/E8515-G 之类的“G”型焊条。但对于同一强度等级带“G”的焊条，可以有许多牌号。如 E5515-G 型焊条，相对应的焊条牌号有 J557、J557XG、J557Mo 及 J557MoV 等，此时，用户可能会无所适从，难以选择。因此必须仔细了解各种焊条的特性，如 J557XG 主要用于管子立向下焊，J557Mo 及 J557MoV 由于所含合金元素的量及种类不同，反映在其熔敷金属的低温韧性及抗回火性能的区别。因此，必须在了解焊条特性的基础上，结合被焊母材的化学成分、产品结构及热处理要求等因素去选用。

二、低碳钢电焊条

(一) 焊条药皮类型及一般特性

低碳钢焊条用来焊接抗拉强度为 $40 \sim 50 \text{ kgf/mm}^2$ (约 $400 \sim 500 \text{ N/mm}^2$) 的钢板、型钢、钢管及钢棒等各种压延钢材和各种铸锻钢材。低碳钢焊条根据其药皮组成、电源种类、焊接位置等，可分为多种药皮类型。随着药皮类型的不同，焊条的工艺性能、焊接性、经济性及效率等均不相同，因此在选用焊条时，要充分考虑各类焊条药皮类型的特点。

此外，在各类焊条药皮中还可加入 15% ~ 60% 的铁粉，以改善焊接工艺性能或提高熔敷效率，这将在铁粉焊条一节中专门叙述。

国产碳钢焊条的成分、性能和用途见表 6-1。常用各类焊条工艺性能的比较见表 6-2。各类焊条冶金性能的综合比较见表 6-3。

各种焊条药皮类型的一般特性叙述如下。

1. E4301、E5001 型焊条

这两种焊条为钛铁矿型，药皮中含钛铁矿大于或等于 30%，其熔渣流动性良好，电弧吹力稍强，熔深较深，渣覆盖良好，脱渣容易，飞溅一般，焊波整齐。这类药皮可变幅度较大，可配制出具有不同工艺性能特点的焊条，适用于全位置焊接，焊接电源为交流或直流正、反接，主要用于焊接较重要的低碳钢结构。

2. E4303、E5003 型焊条

这两种焊条为钛钙型，药皮中含 30% 以上的氧化钛和 20% 以下的钙或镁的碳酸盐矿。其熔渣流动性良好，脱渣容易，电弧稳定，熔深适中，飞溅少，焊波整齐。这类焊条适用于全位置焊接，尤其适合于角接平焊、立角焊，焊接电源为交流或直流正、反接，主要用于焊接较重要的低碳钢结构。E4303 型焊条是目前国内应用最广的一种低碳钢焊条，代表牌号为 J422。

3. E4323 型焊条

该焊条为铁粉钛钙型，其熔敷效率高，适用于平焊、平角焊。药皮类型及工艺性能与 E4303 型基本相似，焊接电源与 E4303 一样。这类焊条主要用于焊接较重要的低碳钢结构。

4. E4310 型焊条

该焊条为高纤维素钠型，药皮中含 30% 左右的纤维素及其他材料，如氧化钛、锰铁及钠水玻璃等。焊接时有机物在电弧区分解产生大量的气体，保护熔敷金属。电弧吹力大，为强喷射性电弧，熔深较深，熔化速度快，熔渣薄而脆，脱渣容易，飞溅一般，焊缝外形较

表 6-1 国产碳钢焊条的成分、性能和用途

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%				力学性能			
			C	Mn	Si	σ_s /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv}/J	
J420G	E4300 (-)	管道用全位置焊条,交直流两用,抗气孔性好。用于工作温度小于450℃、工作压力3.9~19 MPa的高温、高压电站碳钢管道的焊接	≤0.12	≤0.05	≤0.2	≥490	≥372	≥25	≥78(0℃)	
J421	E4313 (E6013)	交直流两用,可全位置焊,工艺性能好,再引弧容易。用于焊接低碳钢结构,尤适于薄板小件及短焊缝的间断焊和要求表面光洁的盖面焊	≤0.12	0.30~0.60	≤0.35	≥420	≥330	≥17	≥47(0℃)	
J421X	E4313 (6013)	立向下专用焊条,交直流两用,工艺性能好,成形美观,易脱渣,引弧和再引弧容易。用于一般船用碳钢及镀锌钢焊接,尤适于薄板及间断焊	≈0.08	≈0.50	≈0.25	≥420	≥330	≥17	≥72(室温)	
J421Fe	E4313 (E6013)	高效铁粉焊条,交直流两用,可全位置焊,工艺性能好,飞溅小,成形美观,再引弧容易。用于一般船用碳钢结构,尤适于薄板及短焊缝的间断焊和追求表面光洁的盖面焊	≤0.12	0.30~0.60	≤0.35	≥420	≥330	≥27	50~75(常温)	
J421Fe13	E4324 (6024)	熔敷效率125%~135%的铁粉焊条,交直流两用,工艺性能好,飞溅小,成形美观。用于一般低碳钢结构,尤适于薄板及短焊缝的间断焊和追求表面光洁的盖面焊	0.08	0.45	*0.17	474	372	26	71	
J421Fe16	E4324 (E6024)	熔敷效率155%~165%的铁型药皮铁粉焊条,交直流两用,适于平焊、平角焊,再引弧容易,飞溅小,成形美观。用于一般低碳钢结构和追求表面光洁的盖面焊	≤0.12	0.30~0.60	≤0.35	≥420	≥330	≥17	50~75(常温)	
J421Fe18	E4324 (E6024)	熔敷效率180%的铁型药皮高效铁粉焊条,工艺性能好,电弧稳定,飞溅小,脱渣容易,焊道美观,引弧性能好,焊接速度快,烟尘小。适于船体结构低碳钢和相应等级的普通低碳钢的平焊、平角焊	0.07	0.40	0.20	480	340	22	70	
J421Z	E4324 (6024)	铁型药皮药皮的重力焊碳钢焊条,交直流两用,焊道厚度可通过选择焊条的直径和改变焊缝的长度来控制	≤0.12	0.30~0.70	≤0.25	420~490	≥330	≥17	50~75(常温)	
J422	E4303 (-)	铁钙型药皮的碳钢焊条,焊接工艺性能好,电弧稳定,焊道美观,飞溅小,交直流两用,可全位置焊。用于焊接重要的低碳钢结构和强度等级低的低合金钢	≤0.12	0.30~0.60	≤0.25	≥420	≥330	≥22	≥27(0℃)	
J422Y	E4303 (-)	铁钙型药皮的碳钢焊条,主要用于空载电压36V电源,交直流两用,焊接工艺性好。在低电压下焊接薄板低碳钢和强度等级低的低合金钢	0.08	0.45	0.15	481	382	28	79	
J422GM	E4305 (-)	铁钙型药皮的盖面焊专用焊条,良好的焊接工艺性能和力学性能,再引弧、脱渣容易,焊缝表面光洁,交直流两用,可全位置焊。适用于海上平台、船舶、车辆、工程机械等盖面焊缝的焊接	≤0.12	0.30~0.60	≤0.25	≥420	≥330	≥22	≥27(0℃)	
			≤0.12	0.30~0.60	≤0.25	≥420	≥330	≥22	≥27(0℃)	

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%					力学性能			
			C	Mn	Si	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J		
J420Fe	E4303 (-)	钛钙型药皮的铁粉焊条,交直流两用,可全位置焊。适用于较重要的低碳钢结构的焊接	≤ 0.12	0.30~0.60	≤ 0.25	≥ 490	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(0^\circ\text{C})$		
J422Fe13	E4323 (-)	熔敷效率125%~135%的钛钙型药皮高效铁粉焊条,交直流两用。适用于较重要的低碳钢结构的平焊和平角焊	≤ 0.12	0.30~0.60	≤ 0.25	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(0^\circ\text{C})$		
J422Fe16	E4323 (-)	熔敷效率155%~165%的钛钙型药皮高效铁粉焊条,交直流两用,电弧稳定,焊缝美观。适用于较重要的低碳钢结构的平焊和平角焊	0.06	0.46	0.15	480	410	26	60		
J422Fe18	E4323 (-)	铁粉钛钙型药皮高效焊条,熔敷效率达180%,交直流两用,电弧稳定,焊缝美观。适用于较重要的低碳钢结构的平焊和平角焊	≤ 0.12	0.30~0.60	≤ 0.55	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(0^\circ\text{C})$		
J422Z	E4323 (-)	钛钙型药皮的重力焊条,熔敷效率达150%以上,焊缝厚度可通过选择焊条直径和改变焊缝的长度来控制。适用于碳钢和其他相应等级钢结构的角焊缝焊接	0.07	0.48	0.16	475	405	27	65		
J423	E4301 (E6019)	钛铁矿型药皮的碳钢焊条,交直流两用,成本低廉,平焊、平角焊工艺性能较好,立焊性能精次于J422焊条。可焊接较重要的低碳钢结构	≤ 0.12	0.30~0.60	≤ 0.25	420~490	≥ 330	≥ 22	55~95(0^\circ\text{C})		
J424	E4320 (E6020)	氧化铁型药皮的碳钢焊条,交直流两用,熔深大,熔化速度快,由于焊条中含锰量较高,抗热裂性能较好。适于平焊和平角焊。可焊接较重要的低碳钢结构	≤ 0.12	0.35~0.60	≤ 0.20	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(0^\circ\text{C})$		
J424Fe14	E4327 (6027)	铁粉氧化铁型药皮的低合金钢焊条,熔敷效率为140%左右,交直流两用,电弧稳定,熔深大,熔化速度快,由于焊条中含锰量较高,抗热裂性能较好,适于平焊和平角焊。可焊接较重要的碳钢结构	0.06	0.46	0.14	477	391	29	100		
J424Fe16	E4327 (6027)	铁粉氧化铁型药皮高效焊条,熔敷效率为155%~165%,交直流两用,电弧吹力大,熔深大,熔化速度快,由于焊条中含锰量较高,抗热裂性能较好,适于平焊和平角焊。可焊接较重要的碳钢结构	≤ 0.12	0.50~0.90	≤ 0.25	≥ 420	≥ 330	≥ 22	100(常温)		
J424Fe18	E4327 (6027)	铁粉氧化铁型药皮高效焊条,熔敷效率达180%,交直流两用,电弧稳定,熔深大,熔化速度快,由于焊条中含锰量较高,抗热裂性能较好,适于平焊和平角焊。可焊接较重要的碳钢结构	0.08	0.70	0.12	470	373	29	$\geq 27(-30^\circ\text{C})$		
			0.08	0.62	0.11	465	360	29	92		
			≤ 0.12	0.50~0.90	≤ 0.25	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(-30^\circ\text{C})$		
			0.07	0.50	0.10	460	350	30	90		
			≤ 0.12	0.50~0.90	≤ 0.25	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(-30^\circ\text{C})$		
			0.08	0.58	0.12	473	365	28	85		

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%				力学性能			
			C	Mn	Si	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV} /J	
J425	E4311 (-)	纤维碱性药皮的立向下焊专用碳钢管条,交直流两用,立向下焊时成形美观,焊接效率高,焊条摆动不宜过宽,电弧长度要适宜。适用于薄板结构的对接、角接及搭接缝,如电站烟道、风道、变压器的油箱、船体和车辆外板的低碳钢结构	≤ 0.20	0.30~0.60	≤ 0.30	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(-30^\circ\text{C})$	
J425G	E4310 (E6010)	高纤维碱性药皮的立向下焊条,适用于管道现场环焊缝全位置立向下焊接,采用直流反极性,底层焊时可单面焊双面成形,焊接速度快。用于各种碳钢管的环缝对接	≤ 0.12	0.30~0.60	≤ 0.20	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(-30^\circ\text{C})$	
J426	E4316 (E6010)	低氢钾型碱性药皮的碳钢管条,具有良好的力学性能和抗裂性能,交直流两用,可全位置焊,交流施焊时,在性能稳定性方面稍次于直流焊接。用于焊接重要的低碳钢和合金钢的结构,如 09Mn2 等	≤ 0.12	≤ 1.25	≤ 0.90	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(-30^\circ\text{C})$	
J426X	E4316 (E6010)	低氢钾型碱性药皮交直流两用立向下焊条,具有良好的焊接工艺性能,在施焊过程中从上向下进行焊接,波纹均匀,成形美观。用于碳钢和合金钢结构的立向下角焊缝的焊接	0.08	0.70	0.30	471	399	33	210	
J426H	E4316 (-)	低氢钾型碱性药皮的碳钢管条,扩散氢含量极低,塑性、低温韧性及抗裂性良好,交直流两用,可全位置焊。用于重要的碳钢和合金钢结构的焊接	≤ 0.12	≤ 1.25	≤ 0.90	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(-30^\circ\text{C})$	
J426DF	E4316 (-)	低氢钾型碱性药皮的低尘碳钢管条,具有良好的力学性能和抗裂性能,交直流两用,可全位置焊,焊接时的烟尘发生量及烟尘中可溶性氟化物含量较低。用于密闭容器及通风不良工作场地的焊接;焊重要的低碳钢和合金钢,如 09Mn2 等	≤ 0.12	≤ 1.25	≤ 0.90	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(-30^\circ\text{C})$	
J426Fe13	E4328 (-)	铁粉低氢钾型药皮的碳钢管条,熔敷效率 130% 左右,交直流两用,可全位置焊,药皮含有铁粉。用于重要的低碳钢和合金钢,如 09Mn2 等	≤ 0.12	≤ 1.25	≤ 0.90	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(-30^\circ\text{C})$	
J427	E4315 (-)	低氢钾型碱性药皮的碳钢管条,采用直流反接,可全位置焊,具有优良的塑性、韧性及抗裂性能。用于重要的低碳钢和合金钢,如 09Mn2 等	0.06	0.64	0.41	471	389	33	221	
J427X	E4315 (-)	低氢钾型碱性药皮向下焊条,具有良好的焊接工艺性能,在施焊过程中从上向下进行焊接,焊缝波纹均匀,成形美观。适用于碳钢和合金钢结构的立向下角焊缝的焊接	≤ 0.12	≤ 1.25	≤ 0.90	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(-30^\circ\text{C})$	
J427Ni	E4315 (-)	低氢钾型碱性药皮的碳钢管条,采用直流反接,可全位置焊,焊缝金属具有优良的低温冲击韧性。适用于低碳钢的焊接,如船舶用钢、锅炉、桥梁、压力容器及其他低温下承受动载荷的结构等	≤ 0.12	0.50~0.85	≤ 0.50	≥ 420	≥ 330	≥ 22	$\geq 27(-40^\circ\text{C})$	
			0.05	0.70	Si 0.30 Ni 0.30	464	393	32	210	

注:熔敷金属化学成分及力学性能栏中如分为上下两组数据,上一组为保证值,参照标准要求;下一组取自有代表性的生产厂的产品样本,作为典型性能可供参考。

表 6-2 常用各类焊条工艺性能的比较

焊条牌号	药皮类型	熔渣特性	焊 条 工 艺 性 能							
			电弧稳定性	焊缝成形	脱渣性	焊接位置	熔敷系数	飞溅	熔深	发尘量/g·kg ⁻¹
J421	高钛钾型	酸性短渣	好	美观	好	全位置	一般	少	较浅	5~8
J422	钛钙型	酸性短渣	较好	美观	好					
J423	钛铁矿型	酸性(介于长、短渣之间)	较好	整齐	一般	全位置	较高	一般	一般	6~9
J424	氧化铁型	酸性长渣	一般	整齐	一般(有粘渣)	适于平焊,立、仰焊有困难	高	较多	较深	8~12
J425	纤维素型	酸性短渣	一般	焊波较粗	渣薄易脱	全位置	高	较多	较深	
J426	低氢钾型	碱性短渣	较差(短弧)	焊波较高纹粗	一般(底层困难)	全位置	一般	一般	稍浅	14~20
J427	低氢钠型		一般(短弧)							11~17

表 6-3 各类焊条冶金性能的综合比较

焊条牌号	药皮类型及渣系	熔敷金属主要成分/%			熔敷金属中气体及杂质含量/%					熔敷金属力学性能			氧化物、硫酸盐夹杂物总量/%	抗热裂性	抗气孔性
		C	Si	Mn	N	O	H/mL·(100g) ⁻¹	S	P	σ_b /N·mm ⁻²	δ /%	A_{kv} /J			
J421	钛型 TiO ₂ -SiO ₂	0.07	0.15	0.3	0.025	0.06	25	0.018	0.02	440	20	98	0.109	较差	大电流或焊接含Si、S较高的钢材时,气孔敏感性强,对铁锈、水分不大敏感
	Al ₂ O ₃	0.10	0.30	0.55	0.03	0.08	30	0.030	0.032	490	28	147			
J422	钛钙型 TiO ₂ -SiO ₂	0.07	0.10	0.35	0.024	0.06	25	0.015	0.02	440	20	123	0.131	尚好	
	CaO	0.09	0.20	0.60	0.03	0.10	30	0.030	0.030	490	30	196			
J423	钛铁矿型 TiO ₂ -FeO	0.07	<0.10	0.4	0.025	0.08	24	0.016	0.022	420	20	123	0.134	尚好	
	MnO-SiO ₂	0.10		0.5	0.03	0.11	30	0.028	0.033	480	30	196			
J424	氧化铁型 FeO-MnO	0.08	<0.10	0.5	0.02	0.10	26	0.018	0.020	430	25	110	0.203	较好	
	SiO ₂	0.10		0.8	0.025	0.12	30	0.025	0.035	470	30	160			
J425	纤维素型	0.08	0.10	0.3	0.01	0.06	30	0.016	0.02	430	20	98	~0.10	较好	氢白点敏感性强,对铁锈、水分等不大敏感
		0.10	0.25	0.55	0.02	0.09	40	0.022	0.030	490	28	147			
J426	低氢钾型 CaO-CaF ₂	0.07	0.35	0.7	0.01	0.025	4~7	0.010	0.015	460	22	245	0.028	良好	对铁锈、水分很敏感,引弧处及长弧焊时易出气孔,直流正接焊时也易出气孔
	SiO ₂	0.10	0.45	1.0	0.022	0.035		0.020	0.025	510	32	368			
J427	低氢钠型 CaO-CaF ₂	0.07	0.35	0.7	0.007	0.025	3~6	0.010	0.015	460	24	270	0.090	良好	
	SiO ₂	0.10	0.45	1.0	0.02	0.035		0.020	0.025	510	35	390			

平,并略显粗糙。通常限制采用大电流焊接。这类焊条适用于全位置焊接,特别是立焊和仰焊,也可进行向下立焊,可用于打底焊,焊接电源为直流反接,主要用于焊接一般的低碳钢结构,如管道的焊接等,也可用于镀锌板焊接。

5. E4311、E5011型焊条

这两种焊条为高纤维素钾型。药皮在 E4310 型的基础上添加了少量的钙与钾的化合物。其电弧稳定，焊接电源为交流或直流反接。当采用直流反接时，熔深比 E4310 略浅，其他工艺性能与 E4310 相似，适用于全位置焊接。这类焊条主要用于焊接一般的低碳钢结构。

6. E4312 型焊条

该焊条为高钛钠型，一般称之为“钛型”或“金红石型”，药皮中含氧化钛 30% 左右，还含有少量的有机物锰铁、硅酸盐及钠水玻璃等。其电弧稳定，再引弧容易，熔深较浅，渣覆盖良好，脱渣容易，焊波整齐、光滑，适用于全位置焊接，焊接电源为交流或直流正接，但熔敷金属的塑性及抗裂性较差。这类焊条主要用于焊接一般的低碳钢结构、薄板结构，也可用于盖面焊。

7. E4313 型焊条

该焊条为高钛钾型，药皮在 E4312 型的基础上采用钾水玻璃作黏结剂，电弧比 E4312 稳定，工艺性能、焊缝成形比 E4312 好，更适合焊接坡口焊缝。这类焊条适用于全位置焊接，有时也可进行向下立焊，焊接电源为交流或直流正、反接，在交流低空载电压时可以满意地操作，主要用于焊接一般的低碳钢结构，薄板结构，也可用于盖面焊。

8. E5014 型焊条

该焊条为铁粉钛型，药皮在 E4313 型的基础上添加了铁粉，其熔敷效率较高，适用于全位置焊接。焊缝表面光滑，焊波整齐，脱渣性很好，多数情况下渣能自行脱落，角焊缝略凸。焊接电源为交流或直流正、反接。这类焊条主要用于焊接一般的低碳钢结构。

9. E4324、E5024 型焊条

这两种焊条为铁粉钛型，药皮与 E5014 型的相似，但铁粉量比 E5014 型多，药皮也比它厚。其熔敷效率高，一般在 130% 以上，高的可达 180%，适宜平焊、平角焊。飞溅少，熔深浅，焊缝表面光滑。焊接电源为交流或直流正、反接。这类焊条主要用于焊接一般的低碳钢结构，并广泛用作重力焊。

10. E4320 型焊条

该焊条为氧化铁型，药皮中含有较多的氧化铁和锰铁脱氧剂。电弧吹力大，熔深较深，电弧稳定，再引弧容易，熔化速度快，渣覆盖好，脱渣性好，焊缝致密并略带凹度，飞溅稍大。这类焊条不宜焊薄板，而适用于平焊及平角焊，焊接电源为交流或直流正接，主要用于焊接重要的低碳钢结构。

11. E4322 型焊条

该焊条为氧化铁型，药皮及工艺性能基本上与 E4320 型的相似，但焊缝较凸，不均匀。这类焊条适用于高速焊、单道焊，焊接电源为交流或直流正、反接，主要用于焊接低碳钢的薄板结构。

12. E4327、E5027 型焊条

这两种焊条为铁粉氧化铁型，药皮在 E4320 型的基础上添加了大量铁粉。其熔敷效率很高，一般在 130% 以上，电弧吹力大，焊缝表面光滑，飞溅少，脱渣好，焊缝稍凸。这类焊条适用于平焊、平角焊，焊接电源为交流或直流正接，可采用大电流焊接，主要用于焊接重要的低碳钢结构。

13. E4315、E5015 型焊条

这两种焊条为低氢钠型，药皮的主要组成物是碳酸盐矿和萤石。其碱度较高，熔渣流动性好，焊接工艺性能一般，焊波较粗，角焊缝略凸，熔深适中，脱渣性较好，焊接时要求焊

条干燥，并采用短弧焊。这类焊条可全位置焊接，焊接电源为直流反接，其熔敷金属具有良好的抗裂性和力学性能，主要用于焊接重要的低碳钢结构及与焊条强度相当的低合金钢结构，也被用于焊接高硫钢和涂漆钢。代表牌号为 J427、J507。

14. E4316、E5016 型焊条

这两种焊条为低氢钾型，药皮在 E4315 和 E5015 型的基础上添加了稳弧剂，如铝镁合金或钾水玻璃等，其电弧稳定，工艺性能好，焊接位置与 E4315 和 E5015 型焊条相似，焊接电源为交流或直流反接。这类焊条的熔敷金属具有良好的抗裂性和力学性能，主要用于焊接重要的低碳钢结构，也可焊接与焊条强度相当的低合金钢结构。代表牌号为 J426、J506。

15. E5018 型焊条

该焊条为铁粉低氢型，药皮在 E5015 和 E5016 型的基础上添加了 25%~40% 的铁粉，其药皮较厚，熔敷效率一般为 110% 左右，焊接电源为交流或直流反接，焊接时应采用短弧。这类焊条适用于全位置焊接，但角焊缝较凸，焊缝表面平滑，飞溅较少，熔深适中，熔敷效率较高，主要用于焊接重要的低碳钢结构，也可焊接与焊条强度相当的低合金钢结构。该类焊条工艺性能优良，熔敷效率比 E5015 及 E5016 高，发展较快，有部分代替这两种焊条的趋势。

16. E5048 型焊条

该焊条为铁粉低氢型，具有良好的向下立焊性能。其他方面与 E5018 型焊条一样。

17. E4328、E5028 型焊条

这两种焊条为铁粉低氢型药皮与 E5016 型焊条相似，而且添加了大量的铁粉，药皮很厚，熔敷效率很高，一般在 130% 以上，高的可达 200%，只适用于平焊、平角焊。焊接电源为交流或直流反接。这类焊条主要用于焊接重要的低碳钢结构，也可焊接与焊条强度相当的低合金钢结构。

各国根据自己的资源及使用习惯，选用的药皮类型有所不同。美国主要使用钛型、高纤维素型和低氢型焊条，为了提高熔敷效率，在钛型和低氢型焊条药皮内加入一定量铁粉。欧洲主要采用钛型、钛钙型和低氢型焊条，但北欧采用低氢型焊条的比例较高，而且和美国一样，为提高熔敷效率也多加铁粉。日本广泛使用钛铁矿型、钛钙型及低氢型焊条。我国钛钙型焊条（如 J422）的消耗量最大，要占全部焊条产量的 80% 以上；低氢型焊条的使用量也正随低合金钢的广泛应用而不断增加。随着国内铁粉生产和供应情况的好转，也已开始在钛钙型、低氢型焊条中加入不同数量的各种铁粉，以改善焊接工艺性能及提高熔敷效率。

(二) 根据各种具体情况选择焊条

1. 根据母材板厚选择焊条

随着母材板厚的增加，使焊接接头的冷却速度加快，因而促使焊缝金属硬化，此外接头内的残余应力也增大。因此，当母材的板厚增加时，应选择熔敷金属抗裂性好、力学性能优良的焊条，如低氢型焊条（J426、J427 等）。一般可以参照表 6-4 来选择。

2. 根据接头种类和焊接位置选择焊条

(1) 平对接焊和船形焊 可参照按板厚选择焊条的要求进行。

(2) 横角焊 对于单层焊接，当焊脚长度小于 10.5 mm 时，可以参照表 6-5 来选择焊条直径和药皮类型；对于多层焊接，可根据按板厚选择焊条的方法，比较焊条的工艺性能、

焊缝形状等，对焊条的直径和药皮类型进行适当的组合。

表 6-4 根据母材板厚选择焊条

焊条牌号	板厚/mm			
	10	20	30	40
J-421	————			
J-422		————	-----	
J-423		————	-----	
J-425		————	-----	
J-424		————	-----	
J-426		————	-----	————
J-427		————	-----	————
J-422Fe		————	-----	
J-427Fe		————	-----	

注：“-----”表示厚板焊接时，1~3层最好采用低氢型焊条。

表 6-5 根据焊脚长度来选择焊条

焊条牌号	焊条直径/mm	焊脚高度/mm											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
J421	φ2		————	————									
	φ2.5		————	————	————								
	φ3.2			————	————	————							
	φ4				————	————	————						
J422	φ2.5			————	————	————							
	φ3.2				————	————	————						
	φ4					————	————	————					
J427	φ5						————	————	————				
	φ6							————	————	————			
J422 Fe	φ4							————	————	————			
	φ5								————	————	————		
	φ6									————	————	————	

(3) 向下立焊的对接焊和角焊 向下立焊时希望采用熔渣黏度较大并具有短渣特性的焊条，因此选用 J421、J425 较合适，最好应选择专门用于向下立焊的 J421X、J425X 和 J426X 焊条。当板厚小于 6 mm 时，可采用 J421X 或 J425X 焊条；板厚大于 6 mm 时，最好采用 J426X 焊条。

(4) 立、横、仰焊的对接焊和角焊 可参照按板厚选择焊条的方法，但这时只限于选用能进行全位置焊接的焊条，直径在 5 mm 以下。

(5) 打底焊 当不能进行背面焊接或希望省略背面焊接工序时，焊第一道焊缝时应采用专门的底层焊条（如 J505）。

3. 根据使用性能选择焊条（见表 6-6）

4. 综合选择

根据上述各项选择焊条的要点，可以参照表 6-7 进行选择。

(三) 焊条使用要点

1. 坡口形状和尺寸

使用低碳钢焊条焊接时坡口的标准形状和尺寸可以参照表 6-8 和表 6-9。

表 6-6 根据使用性能选择焊条

使用性能的因素		J423	J422	J425	J421	J426, J427	J422Fe	J427Fe	J424Fe		
焊接性	抗裂性	C	D	C	E	A	D	A	C		
	抗气孔能力	B	C	E	D	A ^①	D	A ^①	D		
	抗凹坑性	B	B	E	C	A	C	A	C		
	塑性	C	B	C	D	A	D	C	B		
	韧性	C	B	B	D	A	D	A	C		
焊接工艺性能	操作的难易	平焊	薄板 ($t < 6$ mm)	D	B	E	A	E	C	E	—
			中板 ($t = 6 \sim 25$ mm)	A	B	E	A ^②	C	A ^③	C	B
			厚板 ($t > 25$ mm)	A	B	E	A	C	B	C	B
		横角焊	单层	C	A	F	C	E	B	C	A
			多层	A	A	E	A	B	C	B	C
		立焊	向上立焊	B	A	C	D	C	—	—	—
			向下立焊	—	—	B	A	—	—	—	—
	仰焊	C	A	C	C	B	—	—	—		
	焊缝外观	平焊	B	A	E	A	C	A	C	B	
		横角焊(单层)	C	A	E	C	E	A	C	A	
		立焊	B	A	C	A ^④	A	—	—	—	
		仰焊	C	A	C	C	B	—	—	—	
	电弧稳定性	B	B	C	A	D	A	C	A		
	熔深	C	C	C	F	C	D	C	C		
	飞溅	C	B	F	B	B	A	B	B		
脱渣性	C	B	C	A	A ^⑤	B	B ^⑤	A			
咬边	C	A	D	A	B	B	B	B			
生产效率	熔化速度	C	D	C	E	E	B	E	A		
	运条比	C	B	E	B	E	A	E	A		

① 引弧端气孔除外；② 在向下立焊接时；③ 坡口中第一层除外；④ 最上层焊接时。

注：A—优良；B—良好；C—较好；D—一般；E—稍差；F—差；—不能。

表 6-7 低碳钢焊条的选择标准

接头形式	板厚 /mm	焊接位置			
		平焊	横角焊	向下立焊	立、横、仰焊
对接	<2	J421 $\phi 2, \phi 2.5$		J421 $\phi 2, \phi 2.5$	J421 $\phi 2, \phi 2.5$
	2~3.2	J421 } $\phi 2.5, \phi 3.2$ J422 }		J421, $\phi 2.5, \phi 3.2$	J421 } $\phi 2.5, \phi 3.2$ J422 }
	3.2~6	J421 } $\phi 3.2, \phi 4$ J422 } J423 }		J421X } $\phi 3.2, \phi 4$ J425 }	J421 } $\phi 3.2, \phi 4$ J422 } J423 }
	6~12	J422 } $\phi 4, \phi 5$ J423 } J424 }		J426X $\phi 4$	{ J422 } $\phi 4$ J423 } J424 }
	12~25	J422 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J423 } J424 } J426 } J427 } J422Fe } J427Fe }		J426X $\phi 4, \phi 5$	J423 } $\phi 4, \phi 5$ J422 } J426 } J427 }

续表

接头形式	板厚 /mm	焊接位置			
		平 焊	横 角 焊	向 下 立 焊	立、横、仰焊
对接接头	25~35	J427 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J427Fe } (1~3层) J422 } $\phi 5, \phi 6$ J423 } (3层以上)		J426X $\phi 4, \phi 5$	J427 $\phi 4, \phi 5$ J422 } $\phi 4, \phi 5$ J423 }
	>35	J427 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J427Fe }			J427 $\phi 4, \phi 5$
角 接 接 头	<2	J421 $\phi 2, \phi 2.5$	J421 $\phi 2, \phi 2.5$	J421 $\phi 2, \phi 2.5$	J421 $\phi 2, \phi 2.5$
	2~3.2	J421 } $\phi 2.5, \phi 3.2$ J422 }	J421 } $\phi 2.5, \phi 3.2$ J422 }	J421 $\phi 2.5, \phi 3.2$	J421 } $\phi 2.5, \phi 3.2$ J422 }
	3.2~6	J421 } $\phi 3.2, \phi 4$ J422 } $\phi 3.2, \phi 4$ J423 }	J421 } $\phi 3.2, \phi 4$ J422 } $\phi 3.2, \phi 4$ J423 }	J421X } $\phi 3.2, \phi 4$ J425 } $\phi 3.2, \phi 4$ J426X }	J421 } $\phi 3.2, \phi 4$ J422 } $\phi 3.2, \phi 4$ J423 }
	6~25	J422 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J423 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J427 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J422Fe } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J427Fe }	J422 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J423 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J427 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J422Fe } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J427Fe }	J426X $\phi 4, \phi 5$	J422 } $\phi 4, \phi 5$ J423 } $\phi 4, \phi 5$ J426 } $\phi 4, \phi 5$ J427 }
	25~35	J427 } $\phi 4, \phi 5$ (1~3层) J427Fe } $\phi 4, \phi 5$ (1~3层) J422 } $\phi 5, \phi 6$ (3层以上) J423 } $\phi 5, \phi 6$ (3层以上) J422Fe }	J427 } $\phi 4, \phi 5$ (1~3层) J427Fe } $\phi 4, \phi 5$ (1~3层) J422 } $\phi 5, \phi 6$ (3层以上) J423 } $\phi 5, \phi 6$ (3层以上) J422Fe }	J426X $\phi 4, \phi 5$	J427 $\phi 4, \phi 5$ (1~2层) J422 } $\phi 4, \phi 5$ (3层以上) J423 }
	>35	J427 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J427Fe } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J426 }	J427 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J426 } $\phi 4, \phi 5, \phi 6$ J427Fe }		J426 } $\phi 4, \phi 5$ J427 }

表 6-8 板厚大于 6 mm 时的标准坡口

焊接方法	6~12 mm	12 mm 以上
单面焊		
双面焊		

2. 保存和再烘干

焊条要存放在干燥的仓库内，将焊条拿到施工现场时，最多只能拿去半天所使用的焊条数量。低氢型焊条焊前必须烘干。烘干之后要放入施工现场附近的保温筒（箱）中（100~

150 ℃), 每次取少量供使用, 这样可使熔敷金属中扩散氢量在较低的水平上。即使是非低氢型焊条, 在使用前进行烘干, 对确保良好的焊接工艺性能和提高 X 射线合格率也是有益的。各类焊条的再烘干条件可参照各种牌号焊条的相应说明或参照表 3-2。

表 6-9 板厚 1.6~4.5 mm 时的标准坡口


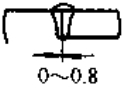
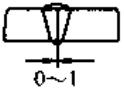
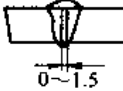
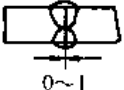
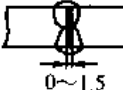
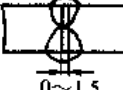









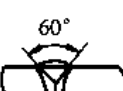
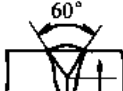
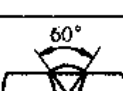
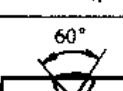
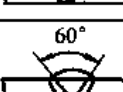
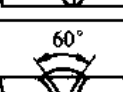

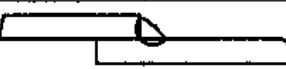



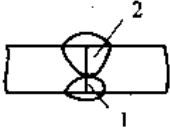

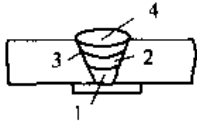
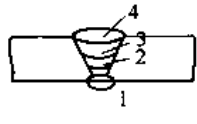
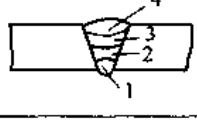
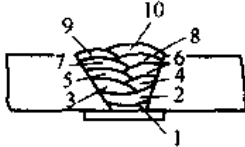
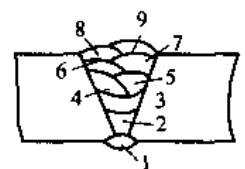
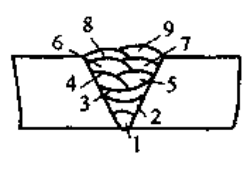
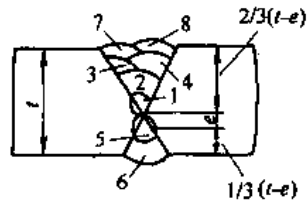
接头形状	焊接姿势	焊接方法	板厚/mm			
			1.6	2.6	3.2	4.5
	平焊	单面焊				
		双面焊	—			
	立向上	单面焊				
	立向下	单面焊				
	平焊	单面焊	—	—		
	立向上	单面焊	—	—		
	立向下	单面焊	—	—		
	平焊	搭接				
	水平	T形角焊				
	立向下	T形角焊				


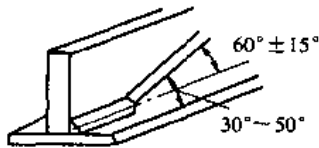
表 6-10 多层焊方法举例

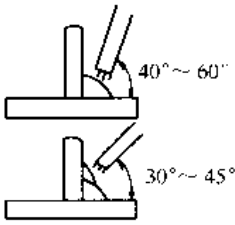
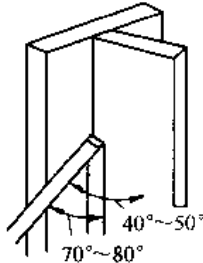
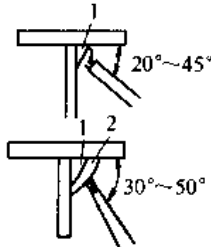
板厚/mm	多层焊方法	焊接方法	
4~6		双面焊	根据板的厚度, 使用 $\phi 3.2$ mm 或 $\phi 4$ mm 焊条直接焊接
		单面焊	第一道用 $\phi 3.2$ mm 焊条, 第二道以后使用 $\phi 4$ mm 焊条

板厚 /mm	多层焊方法	焊接方法	
6~12		单面焊	第一道用 $\phi 4$ mm 焊条, 第二道以后采用较大直径的焊条。若采用 $\phi 4$ mm 焊条, 最后一道可采用摆动焊接
		双面焊 (清根)	第一道用 $\phi 4$ mm 焊条, 第二道以后采用较大直径的焊条。为了减小变形, 第二或第三道焊完后, 先进行背面焊接
		单面焊 (打底焊)	第一道用底层焊条 J425 或 J505($\phi 3.2$ mm) 进行单面焊双面成形, 第二道以后用 $\phi 4$ mm 焊条或较大直径的焊条
12~16		单面焊	与板厚 6~12 mm 的焊接方法一样, 但是当焊缝宽度超过焊条直径 3 倍时, 焊缝应进行多层多道焊
		双面焊 (清根)	与板厚 6~12 mm 的焊接方法一样, 但是当焊缝宽度超过焊条直径 3 倍时, 焊缝应进行多层多道焊
		双面焊 (打底焊)	
		双面焊 (清根)	第一道用 $\phi 4$ mm 焊条, 第二道以后用较大直径的焊条。为了减少变形, 正面一侧第四道焊完后, 先进行背面焊接

注: 1、2、...10 为焊道顺序号。

表 6-11 角焊时焊条应保持的角度

焊接位置	保持角度	焊接方法
船形焊		焊条沿坡口中心线进行直线或摆动焊接
横角焊		当焊脚长度在 10 mm 以下时, 可按左图所示的保持角度, 使焊条端部与母材轻轻接触进行焊接; 也可采用重力焊及接触焊接法

焊接位置	保持角度	焊接方法
横角焊		第一道焊缝,采用深熔焊条(如J424等);第二道以后的焊缝使用焊缝外观好的焊条。多层焊时应注意母材的熔合及上下层焊道间的重叠
立角焊		保持如左图所示的焊条角度进行直线或摆动焊接
仰角焊		与横角焊的多层焊接的操作方法一样

3. 焊接操作

在中、厚板对接焊时,要根据板厚进行多层焊。焊接操作随焊条种类、直径及运条速度而异。多层焊方法举例见表 6-10。通常在焊接 1~3 道时,采用较小直径的焊条;以后各道,为了提高焊接生产效率,可采用较大直径的焊条。

在各种焊接位置下进行角焊及平焊时,焊条应保持的角度可分别参照表 6-11 和图 6-2。

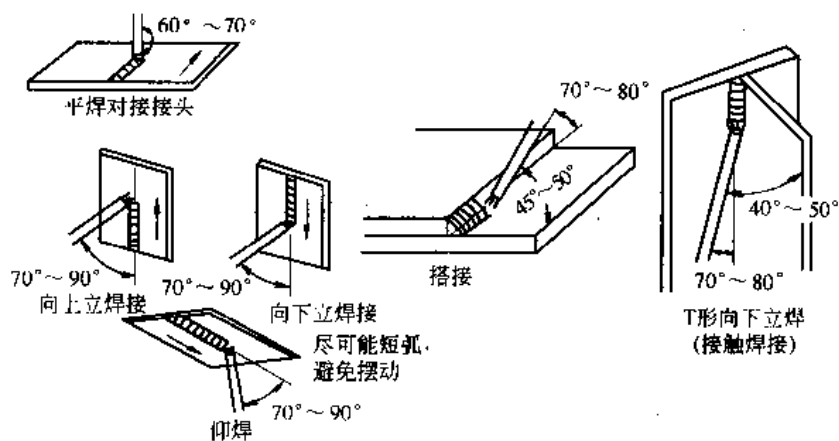


图 6-2 焊条应保持的角度

为了减少焊接变形,可按图 6-3 所示的各种焊接顺序进行焊接。

4. 焊接电流

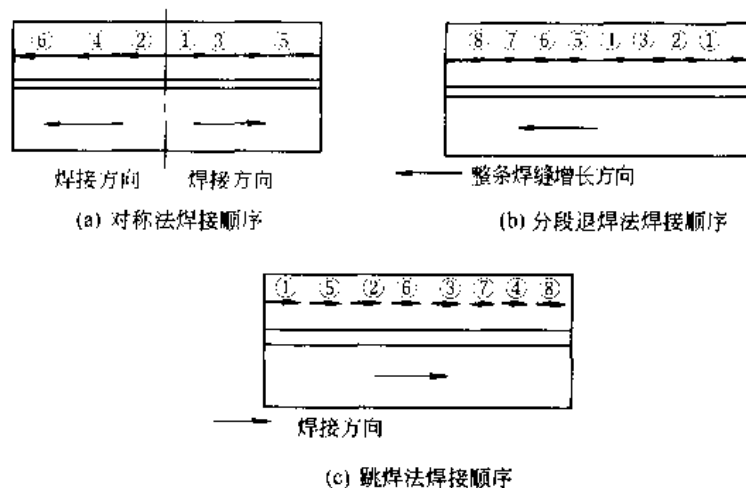


图 6-3 各种焊接顺序 (①、②、…、⑧为焊道顺序号)

应该根据焊条制造厂推荐的焊接电流范围, 结合被焊工件的大小及板厚等因素来选择合适的电流, 不应盲目地为追求焊接效率而过分加大电流。当使用电流过大时, 容易造成焊缝外观不良、咬边和气孔。对于厚板或焊接性差的钢材还容易产生裂缝。但当使用电流太小时, 也容易造成夹渣及未焊透等缺陷。

几种焊条的标准焊接电流见表 6-12。工件如经预热, 可比正常电流减少 5%~15%; 采用直流时可比交流小 10%左右; 立、仰焊比平焊电流小 10%~15%左右。

表 6-12 几种焊条的标准焊接电流

焊条牌号	焊接位置	焊条直径/mm					
		2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	6.0
J421	平焊	40~70	55~85	80~130	150~190	180~230	230~300
	立、横、仰焊	35~65	50~85	70~100	110~160	140~200	
J422	平焊	40~70	65~90	100~140	150~210	200~260	260~320
	立、横、仰焊	35~65	50~85	80~130	120~170	150~210	
J423	平焊		50~85	80~130	150~200	180~250	250~310
	立、横、仰焊		40~70	60~110	130~170	150~200	
J424	平、立、横焊		50~85	80~120	150~200	190~250	250~310
J425	平焊	30~50	40~70	70~110	110~155	155~200	190~240
	立、横、仰焊	25~45	30~65	55~105	90~140	150~195	
J426	平焊		55~85	90~130	130~180	180~240	250~300
J427	立、横、仰焊		50~80	80~115	110~170	150~210	
J422Fe	平焊			110~150	150~230	220~320	270~340
J427Fe	平焊				150~200	190~250	250~320

5. 单面焊双面成形的打底焊

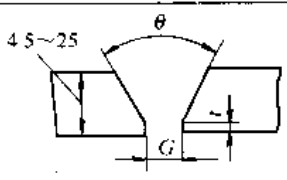
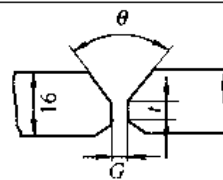
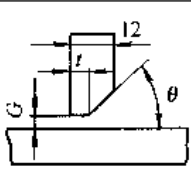
采用一般焊条进行打底焊时, 由于熔渣对焊缝背面保护不良, 焊缝容易产生气孔, 且背面成形不良, 故需要清根后在背面重新焊接; 或者沿接缝背面预置垫板 (参见表 6-10 中的“单面焊接”)。若采用单面焊双面成形的打底焊, 就可获得具有质量优良、焊缝成形美观的打底焊道。用于单面焊双面成形的底层焊条与一般焊条相比, 应该具有下列特点:

(1) 优良的电弧稳定性;

- (2) 好的熔渣流动性及脱渣性；
- (3) 美观的焊缝背面成形。

此外，进行单面焊双面成形焊接时，除要求焊工有熟练的操作技术，适宜的焊接电流及正确的运条方法外，还必须有合适的坡口形式及焊条直径（参见表 6-13）。常用的底层焊条有 J425、J505 等。

表 6-13 打底焊时合适的坡口形式及焊条直径

坡口形式		V 形	X 形	单边 V 形
				
t/mm		0~1	0~1	0~1
$\theta/(\text{°})$		60~70	60~70	35~50
G/mm		1.5~3.5	2.0~4.0	2.5~3.5
焊接位置及 焊条直径	平焊	3.2, 4.0	3.2, 4.0	3.2
	立焊	3.2, 4.0	3.2, 4.0	3.2
	仰焊	3.2	3.2, 4.0	3.2
	横角焊	—	—	3.2

6. 各类焊条的使用注意要点

(1) J421、J422、J423、J424、J422Fe 焊条 按照一般使用焊条的操作方法，不会发生什么特殊问题，但必须注意以下几点：要保持适当弧长，通常为 2~3 mm，过长易产生气孔、咬边、恶化焊缝质量；焊条摆动宽度一般只能相当焊条直径的 3 倍，最多不得超过 4 倍；避免使用过大的焊接电流，否则易产生气孔和咬边。这类焊条焊前一般不必烘干。

(2) J425 焊条 由于纤维素型焊条以气体保护为主，药皮薄，生成的熔渣少，故在使用操作上与熔渣保护型焊条稍有区别。首先是焊条药皮不能形成套筒，所以电弧长度要控制得稍长，一般为 3~4 mm，以免焊条端部与熔池“粘住”；其次是焊条药皮易过热，引起有机物的挥发、烧损，使药皮的保护作用变坏，因此，应尽量避免使用大电流。通常使用的电流要比熔渣保护型焊条低 10%~15%。

(3) J426、J427、J427Fe 焊条 低氢型焊条由于具有和其他药皮类型不同的成分，因此操作时要特别注意以下几点：当采用直流电源时，必须用反接法（即焊条接正极），焊接时尽可能采用短弧操作，最好使焊条保持与母材接近垂直的角度；引弧时，由于气体保护不足，空气中的氮侵入熔池，同时由于引弧处金属温度较低，气体不易逸出，因此引弧处往往容易产生气孔，最好采用引弧板或用回弧法操作，即顺焊接方向距起始点 10~20 mm 处引弧，然后再把电弧拉回到起始点正常施焊，这样可以保证引弧处的焊接质量；焊接坡口表面要彻底清除掉油污、锈蚀、油漆及氧化皮等污物；焊条施焊前必须在 300~350℃ 烘干 0.5~1 h，对于高强钢用焊条烘干温度可提高到 400~430℃，对于交直流两用的低氢型焊条（如 J426 等），采用交流电源时，焊机空载电压应在 70 V 以上，以保证电弧稳定燃烧。

(4) J421X 等立向下焊条 该类专用焊条虽然熔渣的黏度和表面张力较大，熔渣及铁水不易下淌，但在施焊时还必须掌握合适的角度。焊条的保持角度如图 6-4 所示。焊接时，尽量用短弧操作，最好使焊条端部与母材保持轻轻接触。可以使用在平焊时所选用的电流。

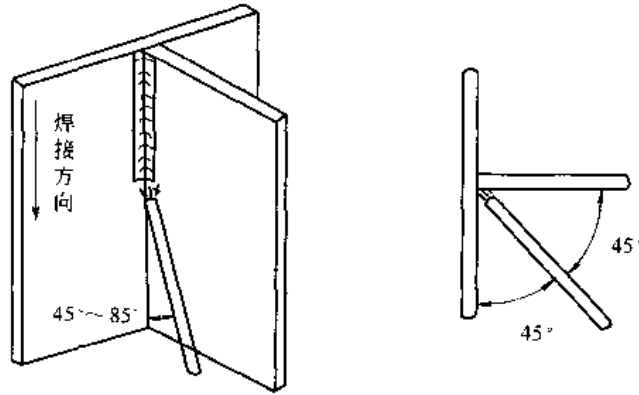


图 6-4 向下立角焊时焊条的保持角度

三、低合金高强度钢电焊条

普通低合金钢中，除了碳以外，还含有少量的诸如 Mn、Si、V、Mo、Ti、Al、Nb、Cu、B、P、RE 等合金元素。钢中有了一种或几种这样的元素后，钢的性能就发生变化，可得到一般碳钢所没有的特殊性能，并且具有良好的焊接性，适于制造各种各样的设备。目前，低合金钢已广泛用于制造万吨以上的远洋货轮和油轮、大跨度桥梁、高压锅炉、大型化工容器、海上采油设施、钻井架、输油管线及其他各种金属结构。

低合金钢大致可以分成四类，即高强度钢、耐蚀钢、低温钢及耐热钢。为叙述方便，本节着重介绍低合金结构钢（包括耐蚀钢）用的焊条，至于低温钢及耐热钢用焊条均另作介绍。

（一）低合金高强度钢的种类及其焊接

低合金高强度钢品种繁多，通常按钢材的屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 分级（这一点与焊接材料以抗拉强度大小分类不同）。通常可分成 30 kgf/mm²、35 kgf/mm²、40 kgf/mm²、45 kgf/mm²、50 kgf/mm²、55 kgf/mm²、60 kgf/mm²、70 kgf/mm²、80 kgf/mm² 等九个级别。例如，16Mn 钢的 $\sigma_{0.2}$ 为 35 kgf/mm² (343 MPa)，就称为 35 公斤级的低合金高强度钢。常用的低合金高强度钢见表 6-14，某些低合金高强度钢的化学成分见表 6-15。HQ 系列低碳调质钢的化学成分及力学性能见表 6-16。

表 6-14 常用低合金高强度钢

强度等级 $\sigma_{0.2}$ /kgf·mm ⁻²	交货状态	钢号	碳当量 ^① C _e /%	强度等级 $\sigma_{0.2}$ /kgf·mm ⁻²	交货状态	钢号	碳当量 ^① C _e /%		
30	热 轧	09Mn2(Cu) ^②	0.36	45	正 火	15MnVN(Cu)	0.43		
		09Mn2Si	0.35			14MnVTiRE	0.41		
		09MnV	0.28	50	正火+回火	18MnMoNb	0.55		
		12Mn	0.35			14MnMoV(Cu)	0.50		
35	热 轧	16Mn(Cu)	0.39	55	正 火	14MnMoVB	0.47		
		16MnRE	0.39			60	调 质	12Ni3CrMoV	0.65
		14MnNb	0.31	12MnCrNiMoVCu	0.58				
40	热 轧	15MnV(Cu)	0.40	70	调 质	14MnMoNbB	0.55		
	正 火	15MnTi(Cu)	0.38			80	调 质	12Ni5CrMoV	0.67
		14MnMoNb	0.44						

$$\textcircled{1} C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mn + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

② 代表 09Mn2 和 09Mn2Cu 两种牌号，其余同。

注：1 kgf/mm² = 9.81 MPa。

表 6-15 常用低合金高强度钢的化学成分

/%

钢号	C	Mn	Si	V	Ti	Nb	Cu	Mo	RE	P	其他
09MnV	≤0.12	0.8~1.2	0.2~0.55	0.04~0.12						≤0.045	
09Mn2	≤0.12	1.4~1.8	0.2~0.55							≤0.045	
14MnNb	0.12~0.18	0.80~1.20	0.2~0.55			0.015~0.050				≤0.045	
09MnCuPTi	≤0.12	1.0~1.5	0.2~0.5		≤0.03		0.2~0.4			0.05~0.12	
12MnPRE	≤0.16	0.6~1.0	0.2~0.55						≤0.2	0.07~0.12	
14MnNb	0.12~0.18	0.8~1.2	0.2~0.55			0.015~0.05				≤0.045	
16Mn	0.12~0.20	1.2~1.6	0.2~0.55							≤0.045	
16MnRE	0.12~0.20	1.2~1.6	0.2~0.55						0.02~0.2	≤0.045	
16MnPNbRE	≤0.14	0.8~1.2	0.2~0.55			0.015~0.05			0.02~0.2	0.06~0.12	
15MnV	0.12~0.18	1.2~1.6	0.2~0.55	0.04~0.12	0.12~0.2					≤0.045	
14MnVTiRE	≤0.18	1.3~1.6	0.2~0.55	0.04~0.10	0.09~0.16				0.02~0.2	≤0.045	
15MnVN	0.12~0.2	1.3~1.7	0.2~0.55	0.1~0.2						≤0.045	N 0.01~0.02
14MnMoV	0.10~0.18	1.2~1.6	0.2~0.5	0.05~0.15				0.4~0.65		≤0.04	
18MnMoNb	0.17~0.23	1.35~1.65	0.17~0.37			0.025~0.05		0.45~0.65		≤0.04	
14MnMoVB	0.10~0.16	1.1~1.7	0.17~0.37					0.30~0.60	0.15~0.20	≤0.04	B 0.0015~0.006
X60, X65	≤0.12	1.00~1.30	0.15~0.40			0.02~0.05			RE/S 2.0~2.5	≤0.03	

表 6-16 HQ 系列低碳调质钢的化学成分及力学性能

钢号	主要化学成分 /%							板厚 δ /mm	力学性能				
	C	Mn	Ni	Cr	Mo	V	其他		σ _{0.2} /MPa	σ _b /MPa	δ ₅ /%	A _{kv}	
HQ60	≤0.16	0.90~1.50	≤0.60	≤0.30	≤0.30	≤0.10	—	≤16 21~50	≥451	588~706	≥20	-5 -10	≥47
HQ70		0.30~1.00	≤0.60	≤0.40	B≤0.006		≤16 21~75	≥617 ≥598	686~833 666~813	≥17	-15 -20	≥39	
HQ80		0.60~1.20	0.40~1.50	0.40	0.30		Co 0.15~0.60 B≤0.006	≤16 21~100	≥686 ≥666	784~931	≥16	-15 -20	≥35
HQ100		0.70~1.50	~0.80	~0.60	Co 0.15~0.50		≤32	≥882	951~1127	≥13	-25	≥27	

σ_{0.2} = 30~40 kgf/mm² 级的低合金高强度钢，一般以热轧或正火状态使用，钢材组织为

铁素体+珠光体。这类钢含有少量的合金元素，冶炼、轧制工艺简单，成本低廉，且塑、韧性好，碳当量低，焊接性好。特别是 30 kgf/mm² 级的几个钢种，碳当量很低，热影响区的淬硬倾向仅比低碳钢稍大。焊接时一般不需要采用特殊工艺措施。

$\sigma_{0.2} \geq 45$ kgf/mm² 的低合金高强度钢，又可分为 $\sigma_{0.2} = 45 \sim 55$ kgf/mm² 的正火钢（一般经正火或正火+回火处理，母材组织为细晶粒铁素体+珠光体或贝氏体）和 $\sigma_{0.2} = 60 \sim 100$ kgf/mm² 的低碳、中碳调质钢（母材组织为贝氏体或低碳回火马氏体）两类。这两类钢一般都具有优良的综合力学性能，用于要求高强度、高韧性、高塑性及在低温或动载荷下工作的重要焊接结构。这两类钢焊接时在热影响区易出现硬而脆的马氏体组织，硬度明显增高，塑、韧性降低，抗应力腐蚀性能恶化。此外，焊接接头容易出现冷裂缝（包括延迟裂缝）。因此焊接时必须采取严格的工艺措施，如选择合适的焊条且严格烘干，适当提高预热及层间温度，必要时采用后热（去氢处理）；封底焊时采用强度较低而韧性好的焊条等。

此外，当低合金钢中含有一定量的某些合金元素时，可以发展成许多具有一定抗腐蚀性能的耐蚀钢种，如具有一定耐大气、耐海水腐蚀的、用于集油箱、桥梁、石油井架及港口工程的 08MnP、15MnV、16MnCu、10MnPnBRE 等；具有耐硫化氢腐蚀的、用于石油化工工业的抗含硫原油、含硫汽油腐蚀的 12AlMoV、12SiMoVNb 等；具有抗高温高压氢、氮、氨腐蚀的、用于合成氨系统的 10MoWVNb 等；具有抗碳酸氢铵腐蚀的化肥工业用的 20Al2VRE 等；具有良好耐腐蚀抗氧化性能的、可部分代替 Cr-Mo 耐热钢的 10MoWVNb、14MoWVTiBRE（无铬 8 号）等。

（二）低合金高强度钢焊条种类及主要性能

在焊接低合金高强度钢时，很重要的一个问题是强度高的钢材容易产生裂缝（主要是冷裂缝）。随着钢材强度的提高，冷裂缝倾向也随之增大。为了防止产生裂缝，必须采取预热、层间保温及后热等工艺措施。正因为这样，钢材强度越高，越希望采用熔敷金属扩散氢含量低、韧性高及抗裂性好的焊条。通常，除了抗拉强度为 50 kgf/mm²（490 MPa）的某些普低钢还使用钛铁矿型或钛钙型焊条外，其余的低合金高强度钢用的焊条几乎都是低氢型焊条，并越来越强调降低熔敷金属的扩散氢含量，希望采用超低氢、高韧性焊条。

国内低合金高强度钢焊条的成分、性能和用途见表 6-17。耐候钢及其他低合金耐蚀钢焊条的成分、性能和用途见表 6-18。由于每种焊条的型号已反映出国家标准对该焊条熔敷金属的成分及性能要求，故表中列出了该焊条具有代表性的成分、性能实例，以便于读者比较，这样更能反映出某些焊条的性能特点（如高韧性等）。

（三）低合金高强度钢焊条的选用

焊条的选用，必须根据母材的化学成分、力学性能、接头的裂纹敏感性、焊后是否热处理以及耐腐蚀、耐高温、耐低温等使用条件进行综合考虑，并经工艺评定试验符合要求后予以确定。

首先要满足焊缝金属与母材等强度以及其他力学性能指标符合规定的要求。值得注意的是，焊缝金属的强度超过母材过多时，可能引起不良后果，这一点往往容易被忽略。经验证明，如果焊缝强度超过母材过多且塑性差时，可能造成冷弯角小，甚至出现横向裂纹。因此，焊缝强度等于或稍高于母材即可。按等强度要求选择焊条强度等级时，应考虑板厚、接头形式、坡口形状及焊接线能量等因素的影响，这些因素对焊缝稀释率和冷却速度即焊缝金属的化学成分和接头的组织都有影响，并因此而影响最终的焊缝金属力学性能。

对于一些在腐蚀介质中工作的低合金钢，则主要根据焊缝金属的耐腐蚀性能来选择焊

表 6-17 国内低合金高强度钢焊条的成分、性能和用途

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	低合金化学成分/%							力学性能					
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J		
50 及 55 公斤级 钢 焊 条	J501Fe	E5014 (E7014)	铁粉氧化钛型药皮焊条,交直流两用,熔敷效率为110%,可进行全位置焊。用于碳钢和低合金钢,如16Mn等船舶、车辆及机械结构的焊接	≤0.12	≤1.25	≤0.90	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥17	≥27 (0℃)
				0.08	0.80	0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	530	430
	J502	E5003 (—)	钛钙型药皮的碳钢焊条,交直流两用,可全位置焊。主要用于16Mn等低合金钢结构的焊接	≤0.12	≤1.60	≤0.30	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥20	≥27 (0℃)
				0.07	0.70	0.20	—	—	—	Mo0.26	—	—	—	530	430	26
	J502Fe	E5003 (—)	钛钙型药皮的铁粉碳钢焊条,交直流两用,可全位置焊。适于碳钢及相应强度等级钢结构的焊接	≤0.12	≤1.25	≤0.90	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥20	≥27 (0℃)
				0.07	0.90	0.50	—	—	—	—	—	—	—	571	494	29
	J503	E5001 (—)	钛铁矿型碳钢焊条,交直流两用,平焊和平角焊。工艺性能较好,立焊工艺性能稍次于J502焊条。适用于低合金钢结构的焊接,如16Mn	≤0.12	0.50~ 0.90	≤0.30	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥20	≥27 (0℃)
				0.07	0.68	0.21	—	—	—	Mo0.24	—	—	—	521	424	26
	J504Fe	E5027 (—)	铁粉氧化钛型药皮碳钢焊条,交直流两用,电弧稳定,飞溅小,成形美观,适用于平焊和平角焊。适用于低碳钢及低合金钢,如船用钢ZC1、ZC2及16Mn等	≤0.12	≤1.25	≤0.50	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥22	≥27 (-30℃)
				0.07	0.81	0.26	—	—	—	Mo0.15	—	—	—	530	434	24
	J505	E5001 (—)	高纤维素钾型药皮立向下焊专用焊条,交直流两用,下行焊时,铁水及熔渣不下淌,电弧吹力大,熔深大,底层焊可双面成形,焊接效率高。用于碳钢及低合金钢(如16Mn、15MnVN等)管道的焊接	≤0.12	0.40~ 0.60	≤0.20	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥20	≥27 (-30℃)
				0.08	0.50	0.15	—	—	—	Mo0.50	—	—	—	530	430	25
J505G	E5010-G 7010	高纤维素钾型药皮的立向下焊低合金钢焊条,采用直道反接,适合同场环焊缝全位置立向下焊,底层焊可双面成形,焊接速度快。用于低合金钢管的环缝对接焊	≤0.20	≤1.00	≤0.20	—	—	—	—	—	—	≥490	≥390	≥22	≥27 (-30℃)	
			0.08	0.50	0.15	—	—	0.50	—	—	—	—	530	430	25	70
J505MoD	E5011 (—)	纤维素钾型药皮底层焊条,交直流两用,电弧穿透力大,不易产生气孔,夹渣等焊接缺陷,不互多层焊和盖面焊。作底层焊时,应挑弧焊以免铁水下淌。专用于厚壁容器及管道的底层焊底,提高工效和改善工作条件	≤0.20	0.40~ 0.70	≤0.20	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥20	≥27 (-30℃)	
			0.13	0.50	0.11	—	—	—	Mo0.50	—	—	—	537	471	28	71

续表

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能			
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV} /J	
50及55公斤级钢焊条	J506	E5016 (E7016)	低氢钾型碱性焊条,具有良好的力学性能和抗裂性能,交直流两用,可全位置焊。交流施焊时,在工艺性能方面次于直流焊接。用于中碳钢和低合金钢的焊接,如16Mn,09Mn2Si等	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.75	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 22	≥ 47 (-30℃)
				0.08	1.20	0.40	—	—	—	—	—	—	550	440	30
50及55公斤级钢焊条	J506X	E5016 (E7016)	低氢钾型碱性交直流两用立向下角焊缝专用焊条,具有良好的焊接工艺性能,在施焊过程中从上向下进行焊接,焊缝波纹均匀,成形美观。适用于船体结构的立向下角焊缝的焊接	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.75	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
				0.08	1.10	0.40	—	—	—	—	—	—	558	473	28
50及55公斤级钢焊条	J506H	E5016-1 (E7016-1)	低氢钾型碱性的超低氢焊条,扩散氢含量极低,塑性、低温韧性、抗裂性良好,交直流两用,可全位置焊。用于重要的碳钢和低合金钢结构的焊接	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.70	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 22	≥ 27 (-46℃)
				0.07	1.31	0.37	—	—	—	—	—	—	541	435	30
50及55公斤级钢焊条	J506D	E5016 (E7016)	低氢钾型碱性底层焊条,交直流两用,可全位置焊,打底焊时单面焊双面成形,电弧稳定,焊缝成形美观。专用于底层打底焊接,提高工作效率,改善焊工工作条件,但不宜作多层焊	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.65	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
				0.08	1.20	0.60	—	—	—	—	—	—	540	460	25
50及55公斤级钢焊条	J506DF	E5016 (—)	低氢钾型碱性的低尘焊条,交直流两用,可全位置焊,具有良好的力学性能和抗裂性能,焊接时的烟尘发生量及烟尘中可溶性氟化物含量较低。适用于密闭容器及通风不良工作场所的焊接,用于中碳钢和低合金钢的焊接	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.75	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
				0.08	1.20	0.43	—	—	—	—	—	—	547	462	25
50及55公斤级钢焊条	J506GM	E5016 (E7016)	低氢钾型碱性的盖面焊条,交直流两用,具有良好的焊接工艺性能和力学性能,脱渣容易,成形美观。用于碳钢、低合金钢的压力容器、石油管道、造船等盖面焊缝的焊接	≤ 0.09	≤ 1.60	≤ 0.60	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
				0.07	1.15	0.52	—	—	—	—	—	—	554	478	26

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							力学性能				
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV} /J	
50 及 55 公 斤 级 钢 焊 条	J506LMA	E5018 (E7018)	低氢钾型药皮碱性低吸潮焊条,交直流两用,可全位置焊,飞溅小,脱渣容易,成形美观,工艺性能良好。药皮具有耐吸潮性能,焊条使用前经350℃×2h烘干后,在相对湿度较高(80%)的环境中使用时,8h内药皮含水量仍满足使用要求,焊缝的抗裂性能较好,熔敷效率为120%左右。用于焊接重要的碳钢、低合金钢及刚性较大的船舶结构	≤0.12	≤1.60	≤0.75	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥22	≥27 (-30℃)
				0.10	1.20	0.40	—	—	—	—	—	—	548	460	27
	J506Fe	E5018 (E7018)	铁粉低氢钾型药皮碱性焊条,交直流两用,可全位置焊,药皮含有铁粉。用于碳钢及低合金钢的焊接,如16Mn、16MnR等	≤0.12	≤1.60	≤0.75	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥22	≥27 (-30℃)
				0.05	1.10	0.30	—	—	—	—	—	—	543	468	32
	J506Fe-1	E5018-1 (E7018-1)	铁粉低氢钾型药皮碱性焊条,交直流两用,可全位置焊,药皮含有铁粉,工艺性能良好,具有良好的塑性和韧性。用于碳钢及低合金钢的焊接,如16Mn、16MnR等	≤0.12	≤1.60	≤0.70	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥23	≥27 (-46℃)
				0.07	1.50	0.40	—	—	—	—	—	—	150	440	30
	J506R	E5016-G (E7016-G)	低氢钾型药皮的低合金钢高韧性焊条,具有良好的力学性能和较高的低温冲击韧性,焊接工艺优良,脱渣容易,交直流两用,可全位置焊。用于低温高韧性材料,适用于采油平台、船舶和高压容器等重要结构	≤0.10	≤0.15	≤0.50	—	≤0.70	—	—	—	≥490	≥390	≥22	≥53 (-40℃)
				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
J506RH	E5016-G (E7016-G)	低氢钾型药皮的低合金钢高韧性低氢焊条,电弧稳定,焊缝具有优良韧性、韧性和抗裂性能。用于E36、DE36、A537等低合金钢重要结构,如海洋平台、船舶和高压容器等	≤0.10	≤1.60	≤0.50	—	0.35~ 0.80	—	—	—	≥490	≥410	≥22	≥34 (-40℃)	
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
J506RK	E5016-G (E7016-G)	低氢钾型药皮的低合金钢高韧性焊条,具有良好的力学性能和较高的低温冲击韧性。在引弧端引起弧处焊缝金属保护良好,焊接工艺优良,脱渣容易,交直流两用,可全位置焊。用于低温高韧性材料,适用于采油平台、船舶和高压容器等重要结构	≤0.10	≤0.85	≤0.40	—	≤0.50	—	—	—	≥490	≥390	≥22	≥34 (-40℃)	
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

续表

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能					
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J			
50 及 55 公斤级 钢焊条	J506Ni LMA	E5015-G (E7015-G)	耐吸潮超低合金钢焊条,具有优良的塑性、低温韧性,焊条经 400℃×1h 烘干后,在相对湿度≥80% 的环境中停放 4h,药皮内含水量仍满足使用要求。用于较重要的碳钢、低合金钢,如采用平台、船舶和高压容器等的焊接	≤0.12	≥1.00	≤0.50			≤0.60				≥490	≥390	≥22	≥27 (-45℃)	
				0.07	1.10	0.40		0.45					550	440	30	100	
	J506FeNi	E5018-G (E7018-G)	铁粉低氢钠型药皮的核电工程用低合金钢焊条,具有良好的抗裂和低温冲击韧性,焊接工艺优良,交直流两用,可全位置焊。用于核电工程主管道等焊接结构以及化工容器、储罐、船舶的焊接	≤0.10	0.80~ 1.75	0.50~ 0.60		≤0.30	≤0.30		V≤0.04 Cr≤0.03		≥500	≥420	≥22	≥27 (-46℃)	
				≤0.12	≤1.60	≤0.75					≥490	≥400	≥22	≥47 (-30℃)			
	J507	E5015 (E7015)	低氢钠型药皮碱性焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的塑性、韧性及抗裂性能。可焊接中碳钢和某些低合金钢,如 09Mn2Si、16Mn、09Mn2V 等	0.08	1.10	0.45							550	440	30	100	
				≤0.12	≤1.60	≤0.75					500~570	410~440	24~34	≥27 (-30℃)			
	J507H	E5015 (E7015)	低氢钠型药皮碱性超低氢焊条,具有良好的塑性、韧性及抗裂性能,扩散氢含量很低,电弧稳定,脱渣容易,飞溅小,成形良好,采用直流反接,可全位置焊。用于重要的低合金钢焊接结构	≤0.12	≤1.60	≤0.75								≥490	≥400	≥22	≥27 (-30℃)
				0.06	1.20	0.60					552	446	27	93			
	J507D	E5015 (E7015)	低氢钠型药皮碱性的底层焊专用焊条,采用直流反接,可全位置焊,单面焊双面成形,采用适当工艺操作,可避免产生气孔和夹渣等缺陷。专用于管道及厚壁容器的打底焊	≤0.12	≤1.60	≤0.75								490~540	410~430	23~28	≥27 (-30℃)
				0.07	1.15	0.35											110

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能			
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J	
50 及 55 公 斤 级 钢 焊 条	J507DF	E5015 (E7015)	低氢钠型药皮碱性的低尘焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的力学性能和抗裂性能,焊接时烟尘量 ≤ 10 g/kg,烟尘中可燃性氟化物含量 $\leq 10\%$,比一般低氢焊条低,适于密闭容器及通风不良场所焊接。可焊接中碳钢和低合金钢,如09Mn2Si、16Mn、09Mn2V等	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.75	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
				0.08	1.07	0.42	—	—	—	—	—	—	546	440	26
	J507XG	E5015 (—)	低氢钠型药皮碱性管道立向下焊条,采用直流反接,具有良好的力学性能和抗裂性能,焊接效率高,适于壁厚 ≤ 9 mm管道立向下焊及立向下角焊,也可用于厚度 > 9 mm管道立向下打底焊。可焊接中碳钢和相应强度等级的低合金钢	≤ 0.12	0.80~ 1.30	≤ 0.75	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
				0.08	1.20	0.46	—	—	—	—	—	550	440	30	110
	J507Fe	E5018 (E7018)	铁粉低氢钠型药皮碱性焊条,采用直流反接,可全位置焊,焊缝成形美观,飞溅少,熔深适中。用于焊接重要的低碳钢和相应强度等级的低合金钢结构,如16Mn等	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.75	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
0.06				1.10	0.40	—	—	—	—	—	552	477	28	103	
J507TiB LMA	E5015-G (E7015-G)	低氢钠型超低氢难吸潮低合金钢焊条,采用直流反接,熔敷金属中含有Ti、B元素,具有优异的低温冲击韧性和断裂韧性。用于船舶、桥梁、高压管道、压力容器、锅炉、海洋工程及其他重要焊接结构	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.60	—	—	—	—	Ti 0.02~ 0.04 B 0.002~ 0.005	≥ 490	≥ 410	≥ 22	≥ 47 (-40℃)	
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 47 (-30℃)
J507R	E5015-G (E7015-G)	低氢钠型的高韧性低合金钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,焊后经620℃ $\times 10$ h消除应力处理,其抗拉强度不低于490 MPa。用于压力容器的焊接,也用其他低合金钢重要结构,如16Mn、16MnR等	≤ 0.12	≥ 1.60	≤ 0.70	—	≤ 0.70	—	—	—	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 47 (-30℃)	
											490~570	390~470	24~34	100~200	

续表

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能			
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J	
50	J507NiTiB	E5015-G (E7015-G)	低氢钠型的高韧性低合金钢焊条,熔敷金属含Ni-Ti-B元素,具有优异的低温冲击韧性,工艺性好,采用直流反接,可全位置焊。用于船舶、锅炉、压力容器、工程机械、海洋工程结构及其他重要焊接结构	≤0.12	≤1.60	≤0.60	—	0.35~ 0.65	—	Ti 0.02~ 0.04 B 0.002~ 0.004	≥490	≥410	≥24	≥47 (-40℃)	
	J507GR										490~570	410~460	26~34	80~190	
55	J507RH	E5015-G (E7015-G)	低氢钠型的超低氢高韧性低合金钢焊条,具有良好的塑性、低温韧性和抗裂性,工艺性良好,采用直流反接,可全位置焊。用于船舶、桥梁、高压管道、压力容器、锅炉、海上平台及其他重要焊接结构	≤0.10	≤1.60	≤0.50	—	0.35~ 0.80	—	—	≥490	≥410	≥22	≥47 (-40℃)	
	J507FeNi	E5018-G (E7018-G)		0.08~ 1.30	0.80~ 1.30	≤0.65	—	1.20~ 2.00	—	—	≥490	≥390	≥22	≥53 (-40℃)	
55	J555	E5510-G (8010)	铁粉低氢型药皮低合金钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有较低的扩散氢含量和优良的低温冲击韧性。用于中碳钢、低温钢压力容器,如16MnDR等	0.05	1.15	0.58	—	1.34	—	—	555	428	30	170	
				≤0.12	≤1.20	≤0.50	—	—	—	≥540	≥440	≥17	≥27 (-30℃)		
55	J556	E5516-G (E8016-G)	高纤维蒙钾型药皮的立向下焊低合金钢焊条,交直流两用,下行时,铁水及熔渣不下滴,电弧吹力大,熔深大,底层焊可双面成形,焊接速度快。用于低合金钢管的焊接	≤0.12	≥1.00	0.30~ 0.70	—	—	—	—	≥540	≥440	≥17	≥27 (-30℃)	
				0.07	1.25	0.53	—	—	—	605	510	27	143		
55	J556RH	E5516-G (E8016-G)	低氢钾型药皮的超低氢高韧性焊条,交直流两用,可全位置焊,焊缝具有优良的塑性和抗裂性。用于海洋采油平台、船舶、压力容器等低合金钢重要焊接结构	≤0.12	≥1.00	0.30~ 0.70	—	≤0.85	—	—	≥540	≥440	≥17	≥34 (-40℃)	
				0.07	1.25	0.35	—	0.58	—	621	539	28	157		

50 及 55 公斤级 钢 焊 条

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能				
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J		
50 及 55 公 斤 级 钢 焊 条	J556XG	E5516-G (E8016-G)	低氢钾型药皮管子立向下焊低合金钢焊条,交流两用,良好的力学性能和抗裂性,并有低尘、高效的特点。用于中碳钢和相应强度等级的低合金钢,适于壁厚 ≤ 9 mm 圆管立向下焊及角焊,立向下对接焊	≤ 0.12	≥ 1.00	≤ 0.70	—	—	—	—	—	—	≥ 540	≥ 440	≥ 17	≥ 27 (-30℃)
				0.07	1.10	0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	560	472
	J556Cu CrMo	E5516-G (E8016-G)	低氢钾型药皮的耐海水腐蚀低合金钢焊条,交流两用,可全位置焊,含有Cu、Cr、Mo元素,具有优良的耐海水冲刷腐蚀和力学性能。用于在海水中使用的钢结构	≤ 0.10	0.50~ 1.30	0.20~ 1.00	0.10~ 0.45	0.10~ 0.45	≤ 0.40	Cr 0.40~ 1.20	—	—	≥ 540	≥ 440	≥ 17	≥ 27 (0℃)
				≤ 0.12	≥ 1.00	0.30~ 0.70	—	—	—	—	—	—	—	≥ 540	≥ 440	≥ 17
	J557	E5515-G (E8015-G)	低氢钠型药皮低合金钢焊条,采用直流反接,可全位置焊。用于中碳钢和15MnTi、15MnV等低合金钢	0.07	1.10	0.50	—	—	—	—	—	—	588	490	27	80
				≤ 0.12	1.00~ 1.75	≤ 0.60	—	—	0.40~ 0.65	—	—	—	—	≥ 540	≥ 440	≥ 17
	J557Mo	E5515-D3 (E8015-D3)	低氢钠型药皮低合金钢焊条。采用直流反接,可全位置焊。用于中碳钢和15MnTi、15MnV等低合金钢	0.07	1.10	0.50	—	—	—	—	—	—	587	473	27	52
				≤ 0.10	0.80~ 1.30	≤ 0.25	—	—	0.20~ 0.35	V 0.03~ 0.05	—	—	—	≥ 540	≥ 440	≥ 17
	J557MoV	E5515-G (E8015-G)	低氢钠型药皮低合金钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有优良的塑、韧性。主要用于大型水轮机壳现场装焊,也用于抗裂性要求较高的15MnTi、15MnV等低合金钢焊接结构	0.07	0.09	0.20	—	—	—	—	—	—	580	460	25	80
				≤ 0.12	0.80~ 1.40	≤ 0.90	—	—	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 17
高效 铁 粉 焊 条	J501Fe15	E5024 (E7024)	铁粉钛型药皮的高效焊条,熔敷效率为150%左右,交流直流两用,电弧稳定,飞溅小,焊缝成形美观,适于平焊、平角焊。用于机车车辆、船舶、锅炉等结构焊接	0.08	0.80	0.40	—	—	—	—	—	550	440	22	50	
				≤ 0.12	1.40	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 490	≥ 400	≥ 17

续表

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能						
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	Akv /J				
高效 铁粉 焊条	J501Fe18	E5024 (E7024)	铁粉氧化钛型高效率碳钢焊条,熔敷效率达180%,适于平焊、平角焊位置的焊接。适于低碳钢以及普通船用A级、D级钢的焊接	≈0.10	≈0.80	≈0.5	—	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥23	≥47 (0℃)	
				0.07	0.91	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	537	469	27
	J501Z	E5024 (E7024)	铁粉钛型药皮重力焊碳钢焊条,与J501Fe一样,熔敷效率达150%以上,施焊时焊缝厚度可通过选择焊条直径和改变焊缝的长度来控制。适于碳钢和某些低合金钢的平角焊	≤0.12	≤1.25	≤0.90	—	—	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥17	≥27 (0℃)
				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	J502Fe16	E5023 (—)	铁粉钛钙型药皮的高效碳钢焊条,交直流两用,适用于平焊和平角焊,熔敷效率达160%左右,效率高,工艺性能好。适用于碳钢等相应强度等级钢的焊接	≤0.12	≤1.25	≤0.90	—	—	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥22	≥27 (0℃)
				0.06	0.70	0.20	—	—	—	—	Mo 0.30	—	—	—	—	537	471	24
	J502Fe18	E5023 (E7023)	铁粉钛钙型药皮的高效焊条,交直流两用,适用于平焊和平角焊,熔敷效率达180%。适用于碳钢等相应强度等级钢的焊接	≤0.12	≤1.25	≤0.90	—	—	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥22	≥27 (0℃)
				0.07	0.68	0.22	—	—	—	—	Mo 0.28	—	—	—	—	531	469	25
	J504Fe14	E5027 (E7027)	铁粉氧化钛型药皮高效率碳钢焊条,交直流两用,熔敷效率为140%左右,电弧稳定,熔深大,熔化速度快,由于焊缝中含锰量较高,抗热裂性较好,是平焊和平角焊专用焊条。可焊接重要的碳钢及低合金钢结构	≤0.12	0.50~ 1.10	≤0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥22	≥27 (-20℃)
				0.08	1.01	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	538	461	26
	J506Fe16	E5028 (E7028)	铁粉低氢钾型碱性药皮焊条,交直流两用,适用于平焊和平角焊,熔敷效率可达160%左右。用于碳钢及低合金钢的平焊和平角焊,如16Mn等	≤0.12	≤1.60	≤0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥22	≥27 (-20℃)
				0.07	1.30	0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	560	430	30
J506Fe18	E5028 (E7028)	铁粉低氢钾型高效率焊条,交直流两用,熔敷效率达180%左右。用于碳钢及低合金钢的平焊和平角焊	≤0.10	≤1.60	≤0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥22	≥27 (-20℃)	
			0.08	1.10	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	549	461	27	91

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能				
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV} /J		
高效铁粉焊条	J507Fe16	E5028 (E7028)	铁粉低氢钠型碱性药皮焊条,采用直流反接,当空载电压大于70V时,也可采用交流电源施焊,熔敷效率达160%,具有良好的塑性,适于平焊和单角焊。适用于碳钢及低合金钢结构焊接,如16Mn等	≤0.12	≤1.60	≤0.75	—	—	—	—	—	—	≥490	≥400	≥23	≥27 (-20℃)
				0.07	1.10	0.36	—	—	—	—	—	—	—	568	472	29
60及100公斤级焊条	J606	E6016-G (E9016-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,交流两用,可全位置焊,交流焊时,工艺性能稳定性稍次于直流焊。用于中碳钢及相应强度等级低合金高强度钢,如15MnVN	≤0.12	1.25~1.75	≤0.60	—	—	—	0.25~0.45	—	—	≥590	≥490	≥15	≥27 (-50℃)
				0.07	1.50	0.45	—	—	0.32	—	—	—	—	660	540	22
60及100公斤级焊条	J606RH	E6016-G (-)	压力容器用590 MPa级无裂纹钢使用的低氢钾型超低氢高韧性焊条,具有良好的冲击韧性和抗裂性,采用直流反接,可全位置焊。用于压力容器、桥梁、水电站下降管及海洋工程等焊接结构,与CF60钢良好匹配	≤0.10	≥1.00	≤0.80	—	0.60~1.20	0.10~0.40	—	—	—	≥610	≥490	≥17	≥47 (-40℃)
				≤0.12	1.25~1.75	≤0.60	—	—	0.25~0.45	—	—	—	—	≥590	≥490	≥15
60及100公斤级焊条	J607	E6015-D1 (E9015-D1)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊。用于碳钢及相应强度等级的低合金钢,如15MnVN	0.07	1.50	0.45	—	—	0.30	—	—	—	660	550	22	60
				≤0.10	≥1.00	≤0.80	—	1.20~1.45	—	—	—	—	—	≥590	≥490	≥15
60及100公斤级焊条	J607Ni	E6015-G (E9015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的抗热裂性。用于相应强度等级并具有再热裂纹倾向的钢,如核反应堆壳体、锅炉汽包、化工容器等	0.06	1.45	0.41	—	1.45	—	—	—	—	641	562	27	82
				≤0.10	≥1.00	≤0.80	—	0.60~1.20	0.10~0.40	—	—	—	—	≥610	≥490	≥15
60及100公斤级焊条	J607RH	E6015-G (E9015-D3)	压力容器用590 MPa级无裂纹钢用超低氢焊条,具有良好的冲击韧性和抗裂性,采用直流反接,可全位置焊。用于压力容器、桥梁、水电站下降管及海洋工程等焊接结构,与CF60钢良好匹配	0.06	1.18	0.41	—	1.18	0.18	—	—	—	652	518	25	100
				≤0.15	1.65~2.00	≤0.60	—	—	0.25~0.45	—	—	—	—	≥690	≥590	≥15
60及100公斤级焊条	J707	E7015-D2 (E10015-D2)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,焊件在必要时可预热和焊后热处理。用于焊接15MnMoV、14MnMoVB、18MnMoNb等低合金钢	0.07	1.68	0.15	—	—	0.42	—	—	—	750	620	20	60
				≤0.10	≥1.00	≤0.80	—	0.60~1.20	0.10~0.40	—	—	—	—	≥610	≥490	≥15

续表

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能				
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV} /J		
60 及 100 公 斤 级 焊 条	J707Ni	E7015-G (E10015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的综合力学性能,与J707相比,低韧性和抗裂性显著提高。用于焊接相应强度等级低合金钢,如14MnMoVB、WEL-TEN70等	≤0.10	≥1.00	≤0.60	—	1.80~ 2.20	0.40~ 0.60	Cr ≥0.20	≥690	≥590	≥15	≥27 (-40℃)		
		E7015-G (E10015-G)	低氢钠型超低碳韧性焊条,采用直流反接,可全位置焊,焊接工艺良好,焊接接头的冷弯及抗裂性良好,具有良好的韧、韧性。用于船体结构,也用于 $\sigma_{0.2} \geq 590$ MPa级高强度钢重要结构	0.07	1.50	0.45	—	1.60	0.45	0.40	750	630	24	80		
	J707RH	E7015-G (E10015-G)	低氢钠型超低碳韧性焊条,采用直流反接,可全位置焊,焊接工艺良好,焊接接头的冷弯及抗裂性良好,具有良好的韧、韧性。用于船体结构,也用于 $\sigma_{0.2} \geq 590$ MPa级高强度钢重要结构	≤0.10	1.20~ 1.60	0.30~ 0.60	—	1.40~ 2.00	0.25~ 0.50	Cr 0.08~ 0.20	≥690	≥590	≥15	≥34 (-50℃)		
		E7015-G (E10015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,焊接工艺良好,具有良好的低温韧性和抗裂性。用于15MnMoVN钢的各种工程机械	0.05	1.37	0.37	—	1.82	0.25	0.10	747	632	24	70		
	J757	E7515-G (E11015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,焊接工艺良好,具有良好的低温韧性和抗裂性。用于15MnMoVN钢的各种工程机械	0.05~ 0.10	0.90~ 1.35	0.20~ 0.40	—	0.50~ 0.90	0.30~ 0.60	W 0.2~0.5 Ti 0.02~ 0.06	≥690	≥590	≥16	≥27 (-50℃)		
		E7515-G (E11015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊。用于抗拉强度相当于740MPa的低合金高强度钢焊接结构	≤0.20	≥1.00	≤0.60	—	—	≤1.00	—	≥740	≥640	≥13	≥27 (室温)		
	J757Ni	E7515-G (E11015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的综合力学性能,尤其是具有较高的低温冲击韧性和优良的抗裂性能。用于焊接相应强度等级高强度钢,如14MnMoNbB、WEL-TEN80等钢	0.08	1.40	0.45	—	—	0.50	—	820	680	20	80		
		E7515-G (E11015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的综合力学性能,尤其是具有较高的低温冲击韧性和优良的抗裂性能。用于焊接相应强度等级高强度钢,如14MnMoNbB、WEL-TEN80等钢	≤0.20	≥1.00	≤0.60	—	2.00~ 2.60	0.40~ 0.70	Cr ≥0.20	≥740	≥640	≥3	≥27 (-40℃)		
	J807	E8015-G (E11015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有优良的工艺性能和抗裂性能。用于焊接14MnMoNbB钢及相应的其他低合金钢	0.06	1.30	0.30	—	2.20	0.30	0.40	820	690	21	80		
		E8015-G (E11015-G)	低氢钠型超低碳韧性焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的工艺性能,综合力学性能,低温冲击韧性和抗裂性。用于相应强度等级的低合金钢结构,如WES HW70, ASTM A514, A517, CF80等	≤0.09	≥2.00	≤0.40	—	—	0.80~ 1.00	—	≥780	≥690	≥13	≥27 (室温)		
J807RH	E8015-G (E11015-G)	低氢钠型超低碳韧性焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的工艺性能,综合力学性能,低温冲击韧性和抗裂性。用于相应强度等级的低合金钢结构,如WES HW70, ASTM A514, A517, CF80等	0.07	1.82	0.36	—	—	0.89	—	824	721	18	70			
J807RH	E8015-G (E11015-G)	低氢钠型超低碳韧性焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的工艺性能,综合力学性能,低温冲击韧性和抗裂性。用于相应强度等级的低合金钢结构,如WES HW70, ASTM A514, A517, CF80等	≤0.10	1.30~ 1.80	≤0.50	—	1.40~ 2.00	0.30~ 0.60	Cr ≤0.60	≥785	≥685	≥15	≥34 (-40℃)			

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能							
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J					
60 及 100 公 斤 级 焊 条	J857	E8515-G (E12015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊。用于抗拉强度相当于830 MPa的低合金高强度钢结构	≤0.15	≥1.00	0.40~ 0.80	—	—	—	0.60~ 1.20	—	—	≥830	≥740	≥12	≥27 (室温)			
				0.10	1.60	0.60	—	—	0.80	—	—	900	780	18	80				
	J857Cr	E8515-G (E12015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊。用于抗拉强度相当于830 MPa的低合金高强度钢结构,如14CrMnMoVB, 30CrMo, 35CrMo钢	≤0.15	≥1.00	≤0.60	—	—	—	0.50~ 1.00	Cr:0.70 ~1.1 V:0.05~ 0.15	—	—	≥830	≥740	≥12	≥27 (室温)		
				0.12	1.76	0.52	—	—	0.65	Cr:0.80 V:0.11	—	—	—	—	910	770	18	78	
	J857CrNi	E8515-G (E12015-G)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有优良的工艺性、低温韧性和抗裂性。用于E级钢制造的列车车钩缺陷的焊补和抗拉强度相当于830 MPa的低合金高强度钢结构,如WEL-TEN80、WEL-TEN80C等	≤0.10	1.30~ 2.25	≤0.60	—	—	—	1.75~ 2.50	0.30~ 0.55	Cr:0.30~ 1.50 V≤0.05	—	—	≥830	≥740	≥12	≥27 (-50℃)	
				≤0.20	1.40~ 2.00	0.40~ 0.80	—	—	0.80~ 1.20	—	—	—	—	—	—	≥880	≥780	≥12	(室温)
	J907	E9015-G (-)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊。用于抗拉强度相当于830 MPa的低合金高强度钢结构	0.07	1.76	0.60	—	—	—	—	1.10	—	—	—	972	—	17	70	
				≤0.15	≥1.00	≤0.80	—	—	0.50~ 1.00	Cr:0.70~ 1.10 V:0.05~ 0.15	—	—	—	—	—	≥880	—	≥12	(室温)
	J907Cr	E9015-G (-)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊。用于抗拉强度相当于830 MPa的低合金高强度钢结构,如14CrMnMoVB, 30CrMo, 35Mo钢	0.10	1.70	0.35	—	—	—	—	0.80	—	—	—	—	≥780	—	16	72
				≤0.20	≥1.00	0.80	—	—	0.30~ 0.60	—	—	—	—	—	—	≥980	≥980	≥12	≥27 (室温)
	J107	E10015-G (-)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊。用于抗拉强度相当于980 MPa的低合金高强度钢结构	0.09	2.30	0.72	—	—	—	—	0.52	—	—	—	1047	930	15	54	
				≤0.15	≥1.00	0.70	—	—	0.40~ 0.80	Cr:1.50 ~2.20 V:0.08~ 0.16	—	—	—	—	—	≥980	≥880	≥12	≥27 (室温)
J107Cr	E10015-G (-)	低氢钠型低合金高强度钢焊条,采用直流反接,可全位置焊。用于抗拉强度相当于980 MPa的低合金高强度钢结构,如30CrMnSi, 35CrMo钢等	0.11	2.20	0.58	—	—	—	—	0.64	—	—	1051	950	15	50			
			≤0.15	≥1.00	0.70	—	—	0.40~ 0.80	Cr:1.50 ~2.20 V:0.08~ 0.16	—	—	—	—	—	≥980	≥880	≥12	≥27 (室温)	

注:化学成分和力学性能如分上、下两组数值,则上一组为参照国标要求的保证值,下一组为取自生产厂产品样本的典型性能数据。

表 6-18 耐候钢及其他低合金耐蚀钢焊条的成分、性能和用途

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							力学性能			
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J
耐候钢焊条	J502CuP	— (—)	钛钙型药皮的低合金钢焊条,交直流两用,可全位置焊,焊缝金属具有耐大气和耐海水腐蚀的性能。适用于铜磷系(如 10MnPNbRe、08MnP、09MnCuPTi)结构钢的焊接	≤ 0.30 0.07	0.50~ 0.90	≤ 0.30	0.20~ 0.50	—	—	P 0.06~ 0.12	≥ 590 510~ 550	≥ 345	≥ 16 18~ 22	$\geq 35-85$ (整滴)
	J502NiCu	E5003-G (—)	钛钙型药皮的低合金钢焊条,交直流两用,可全位置焊,焊缝金属具有耐大气腐蚀的性能。用于耐候钢铁路机车车辆的焊接,如日产 SPA 钢、国产 09MnCuPTi 钢等	≤ 0.10	0.30~ 0.60	≤ 0.30	0.15~ 0.40	0.20~ 0.50	—	Cr 0.06~ 0.15	540 490~ 550	≥ 390 390~ 440	≥ 20 24~ 26	≥ 27 (0℃) 80~ 150
	J502WCu	E5003-G (—)	钛钙型药皮的低合金耐候钢专用焊条,交直流两用,可全位置焊,焊缝金属具有耐大气腐蚀的性能。用于耐候钢铁路车辆的焊接,如 09MnCuPTi 钢等	≤ 0.12	0.50~ 0.90	≤ 0.30	0.20~ 0.50	—	—	W 0.20~ 0.50	≥ 490 490~ 550	≥ 390 390~ 410	≥ 20 22~ 30	≥ 27 (0℃) 50~70
	J502CuCrNi	E5003-G (—)	钛钙型药皮的低合金钢焊条,交直流两用,可全位置焊,具有耐大气腐蚀的性能。用于耐大气腐蚀及近海工程的焊接结构,如耐候钢车辆、铰链及铜铝低合金钢的焊接	≤ 0.10	0.45~ 0.75	≤ 0.30	0.10~ 0.30	0.30~ 0.50	—	Cr 0.25~ 1.45	≥ 490 510~ 570	≥ 390 410~ 490	≥ 22 22~ 28	≥ 27 (0℃) 50~70
	J506WCu	E5016-G (—)	低氢钾型药皮的低合金耐候钢专用焊条,交直流两用,可全位置焊,具有良好的力学性能和抗裂性。适于耐大气腐蚀钢,如 09MnCuPTi,也用于其他低合金钢,如 16Mn 等	≤ 0.12	0.60~ 1.20	≤ 0.35	0.20~ 0.50	—	—	W 0.20~ 0.50	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 30 (-20℃)
	J506NiCu	E5016-G (—)	低氢钾型药皮的耐候钢焊条,具有优良的抗大气腐蚀、抗裂及良好的塑、韧性。交直流两用,可全位置焊。用于碳钢及耐候钢焊接,如车辆、近海工程结构、桥梁等	≤ 0.12	0.50~ 1.20	≤ 0.70	0.20~ 0.40	0.20~ 0.50	—	—	≥ 490 490~ 590	≥ 390 390~ 470	≥ 22 23~ 30	≥ 27 (-20℃) 60~ 110

类别	牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							力学性能			
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J
耐 候 钢 焊 条	J506NiCu	E5016-G (-)	低氢钾型药皮的低合金焊条,交直流两用,可全位置焊,具有良好的耐大气腐蚀性。用于耐大气腐蚀的近海工程,如耐候钢车箱、塔架及钢铁低合金钢的焊接结构	≤ 0.10	0.45~ 1.00	≤ 0.50	0.10~ 1.30	0.15~ 0.50	—	Cr 0.20~ 1.45	≥ 490	≥ 390	≥ 24	≥ 47 (-30℃)
	J507NiCu	E5015-G (E7015-G)	低氢钠型药皮的耐候钢焊条,具有优良的抗大气腐蚀性、抗裂性及良好的塑性、韧性,采用直流反接,可全位置焊。用于碳钢及500 MPa级耐候钢,如车辆、近海工程结构、桥梁等	≤ 0.12	0.50~ 1.20	≤ 0.70	0.20~ 0.40	0.20~ 0.50	—	—	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
	J507NiCuP	E5015-G (E7015-G)	低氢钠型药皮的低合金钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,焊接工艺性能良好。用于耐海水和耐大气腐蚀的10MnSiCu、09MnCuPTi钢及其他相应钢种的焊接	≤ 0.12	0.60~ 1.60	≤ 0.45	0.40~ 0.60	0.55~ 0.75	—	P 0.06~ 0.10	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
	J507WCu	E5015-G (-)	低氢钠型药皮的低合金耐候钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的抗裂性和力学性能。用于耐大气腐蚀的15MnCuCr、09MnCuPTi钢及其他低合金钢,如16Mn等	≤ 0.12	0.60~ 1.20	≤ 0.35	0.20~ 0.50	—	—	W 0.20~ 0.50	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
	J507CuP	E5015-G (-)	低氢钠型药皮低合金钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,焊缝具有抗大气、耐海水腐蚀的性能。用于铜磷系抗大气、耐海水腐蚀的低合金钢,如09MnCuTi、08MnP等	≤ 0.12	0.80~ 1.30	≤ 0.50	0.20~ 0.50	—	—	P 0.06~ 0.12	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
				0.08	1.10	0.40	0.35		0.08		550	420	25	80

续表

类别	牌号	型号GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							力学性能			
				C	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{1V} /J
渗铝钢	J507SLA/B	E5015-G (E7015-G)	低氢钠型药皮渗铝钢专用焊条,采用直流正接,可全位置焊,J507SLA焊前不去除坡口表面和两侧渗铝层。用于厚度为8mm以下的低碳或低合金钢表面渗铝钢(至少一方为渗铝钢)	≤ 0.12	≤ 1.20	≤ 0.50	—	—	≤ 0.30	V ≤ 0.30 Al ≤ 0.055	≥ 490	≥ 345	≥ 20	≥ 27 (室温)
	J557SLA/B	E5515-G (E8015-G)	低氢钠型药皮渗铝钢专用焊条,采用直流正接,短弧操作,可全位置焊,J557SLA焊前不去除坡口表面和两侧渗铝层,而J557SLB焊前去除渗铝层。用于焊接工作温度在540℃以下,在硫化氢、硫、氧、磷、氮及氢、氟腐蚀介质下使用的渗铝钢,如锅炉管道、石油精炼设备、化肥设备和蒸汽管道等	≤ 0.12	0.50~ 0.90	≤ 0.50	—	—	≥ 0.20	Cr~ 0.08 Al ≤ 0.055	≥ 540	≥ 440	≥ 17	≥ 49 (室温)
其他耐蚀钢焊条	J507Mo	E5015-G (E7015-G)	低氢钠型药皮抗硫化氢腐蚀的低合金钢焊条,工艺性能较好,采用直流反接,可全位置焊。用于含铜、钒或低钒等元素的抗腐蚀钢,如12MoVAI	≤ 0.12	≤ 0.90	≤ 0.60	—	0.40~ 0.65	0.40~ 0.65	V ≤ 0.20	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
	J507MoNb	E5015-G (-)	低氢钠型药皮抗硫化氢腐蚀的低合金钢焊条,工艺性能较好,采用直流反接,可全位置焊,具有良好的塑性、韧性和抗裂性。用于石油化工用钢,如12SiMoVNb、15MoV。对抗硫化氢及氢、氧、氟介质腐蚀具有良好的综合性能	≤ 0.12	0.60~ 1.20	≤ 0.65	—	0.30~ 0.60	0.30~ 0.60	Nb 0.30~ 0.15	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
	J507MoW	E5015-G (-)	低氢钠型药皮的低合金钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,工艺性能良好。用于中温、高压、耐氢、氧、氟介质腐蚀的焊接,如12SiMoVNb	≤ 0.12	0.60~ 1.20	≤ 0.65	—	—	0.40~ 0.65	W0.45 ~0.7 V0.07 ~0.15	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27 (-30℃)
	J507MoWNB	E5015-G	低氢钠型药皮低合金钢焊条,采用直流反接,可全位置焊,工艺性能良好。用于中温、高压、耐氢、氧、氟介质腐蚀条件的焊接结构,如12SiMoVNb等	≤ 0.10	≥ 0.85	≤ 0.45	—	—	0.40~ 0.45	W0.15 Nb0.02 B0.001 或 Nb0.02 B0.001	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27 (室温)
				0.08	0.60	0.35	—	—	0.45		528	429	27	180

条。耐腐蚀用低合金钢焊条的选用见表 6-19。

表 6-19 耐腐蚀用低合金钢焊条的选用

类	钢号	焊条	类	钢号	焊条
耐大气腐蚀	09Mn2Cu	J423CuP	耐硫化氢腐蚀	15AlMoV	J507MoNb(耐蚀 72)
	16MnCu	J502CuP		12SiMoVNb	
	10MnSiCu	J507CuP	耐氢、氮、氨腐蚀	DTo	J350(抗腐 50)
	09MnCuPTi	J506WCu		10MoWVNb	J507MoW(抗腐 06)
	10PCuRE			12SiMoVNb	J507MoNb(耐蚀 72)
	09Cu		Cr18Mn8Ni5N	新 A717	
	08MnPRE		耐化肥、碳酸氢铵及其他腐蚀	20A12VRE	不锈钢或低合金钢焊条
	10NiCuP	J507NiCuP		08WVSn	J507WV
	15MnVCu	J507Cu		09CuWSn	J506WCu
	10MnPNbRE	J507CuP		15MoVAl	J507Mo(抗腐 02)
耐海水腐蚀	10CrAl	J507CrNi	渗铝钢	抗腐 03 或 A312、J507SL(A/B)	
	10CrMoAl				
耐硫化氢腐蚀	12AlMoV	J507Mo(抗腐 02)	抗氧化耐蚀	15Al3MoWTi	A917
	12Cr2AlMoV	抗腐 23(750℃回火)或其他焊条		10MoWVNb	J507MoW(抗腐 06)
				14MoWVTiBRE	08MoWTiBRE 专用焊条

对于同一强度等级的酸性焊条和碱性焊条的选用，主要取决于焊接件的结构形状（简单或复杂）、钢板厚度、工作条件（静载荷或动载荷）和钢材的抗裂性能等方面。通常对要求塑性好、冲击韧性高、低温性能好、抗裂能力强，选用低氢型焊条。如无直流电源，可选用交直流两用碱性焊条。根据目前所得的经验，对于 30 公斤级的 09Mn2、09Mn2Si、09MnV 钢等，可以选用强度相同的酸性焊条；对于 35~40 公斤级的 16Mn、15MnV 等钢，当板厚小于 20 mm 时，可选用酸性焊条，当板厚大于 20 mm 或结构刚度较大时，能否选用酸性焊条要根据试验结果来确定。对于强度等级更高的低合金钢，应该采用低氢焊条或超低氢高韧性焊条。

对于低碳钢与普通低合金钢，或低合金钢与低合金钢之间的异种钢焊接，一般按低匹配原则，即按强度等级较低的钢材选用焊条，焊缝的塑性不应低于较低塑性的母材。

在焊条合金系统选择上，主要是在保证等强度的前提下，重点考虑焊缝金属冲击韧性的要求。对于强度等级 490 MPa 以下的焊条，只要保证焊缝含有 1.2%~1.6% Mn，而不再需要添加其他的合金元素就可满足强度要求。当要求低温下具有优良的冲击及断裂韧性时，也可添加 0.5% 左右的 Ni 或微量 Ti、B（Ti 约为 0.03%；B 约为 0.003%）；对于强度等级 590~680 MPa 的焊条，其焊缝通常有两个成分系统，即 Mn-Mo 系和 Mn-Ni-Mo 系。对低温韧性要求较高的，宜采用后者，通常 Mn 含量为 1.0%~1.4%，Mo 含量约为 0.2%~0.4%；根据对低温韧性的要求，可加入不同数量的 Ni，多在 0.5%~2.0% 之间，也可再加入少量的 Cr(≤0.4%)，以得到良好的综合性能；对于强度等级在 780 MPa 以上的焊条，其焊缝成分多为 Mn-Ni-Cr-Mo 系，也有的是 Mn-Ni-Mo 系。在 Mn-Ni-Cr-Mo 系焊缝中，Mn 和 Mo 的含量可适当减少，加入适量的 Ni(1.5%~2.5%) 和 Cr(0.2%~0.6%) 后，既可改善焊缝的低温韧性，又可起强化作用。

中碳钢焊接时, 由于钢材含碳量较高, 增大了发生焊接裂纹的倾向。所以应选用低氢焊条或使焊缝金属具有良好塑性及韧性的焊条, 并应进行预热和缓冷处理。

铸钢焊接时, 因一般含碳量较高, 且厚度大, 形状复杂, 极易产生焊接裂纹, 特别是当铸钢中合金元素含量较多时, 就更为突出。所以, 在施焊中应特别注意, 一般应选用低氢焊条, 并采取预热和选择合适的焊接工艺等措施。

当采用重力焊方法焊接低合金钢时, 可选用重力焊条。

低合金高强度钢焊条的选用参见表 6-20。

表 6-20 低合金高强度钢焊条的选用

类别或屈服强度等级/MPa	钢号	型号	牌号			
热轧正火钢	295 09Mn2, 09Mn2Si, 09MnV, 09MnVCu	E4301, E4303, E4315, E4316	J423, J422, J427, J426			
	345 16Mn, 16MnR, 16MnCu, 14MnNb	E5001, E5003, E5015, E5016, E5015-G, E5018, E5028	J503, J502, J507, J506, J507GR, J507RH, J506Fe, J507Fe, J506Fe1, J507Fe16			
	395 15MnV, 15MnVCu, 15MnVRE, 16MnNb	E5001, E5003, E5015, E5016, E5015-G, E5515-G, E5516-G	J503, J502, J507, J506, J507GR, J507RH, J557, J557Mo, J557MoV, J556			
	440 15MnVN, 15MnVNCu, 15MnVTiRE	E5515-G, E5516-G, E6015-D1, E6015-G, E6016-D1	J557, J557Mo, J557MoV, J556, J607, J607Ni, J607RH, J606			
	490 18MnMoNb, 14MnMoV, 14MnMoVCu, 18MnMoNbg, 18MnMoNbR	E6015-D1, E6015-G, E6016-D1, E7015 D2, E7015, E7015-G	J607, J607Ni, J607RH, J606, J707, J707Ni, J707R, J707NiW			
低碳调质钢	490 WCF60, WCF62, HQ60	E6015, E6015-G				
	590 HQ70A, HQ70B 14MnMoVN, 14MnMoNRE 12MnNiCrMoA	E7015, E7015-D2, E7015-G	J707, J707Ni, J707RH, J707NiW			
				690 12Ni3CrMoV 15MnMoVNRE, QJ70, 14MnMoNbB	E8015-G E7515-G, E8015-G, E8515-G	65C-1 专用焊条 J757Ni, J807, J807RH, J857CrNi, J857Cr
	880 HQ100	E10015-G	J107, J956, J107G			
	中碳调质钢	35CrMoA, 30CrMnSiA	E9015-G, E10015-G, E5518-B2	J907Cr, J107Cr, R306Fe		
		35CrMoVA	E5515-B2-VNb, E8515-G, E10015-G	R337, J857Cr, J107G		
34CrNi3MoA		E2-11MoVNiW-15, E8515-G	R817, J857Cr, J857CrNi			
40Cr		E10015-G	J107Cr			
40CrMnSiMoVA		E10015-G	J107Cr, HT-2(专用焊条), HT-3(专用焊条)			
30CrMnSiNi2A			HT-3(专用焊条), HT-4(专用焊条)			

(四) 焊接施工注意要点

各种低合金高强度钢由于所含的合金元素不同, 焊接性差异很大。 $\sigma_{0.2} = 30 \sim 40 \text{ kgf/}$

mm² (290~390 N/mm²) 的普通低合金钢, 由于碳当量低, 塑性及韧性好, 焊接性好, 一般不需要采取特殊的工艺措施。 $\sigma_{0.2} \geq 45 \text{ kgf/mm}^2$ (440 N/mm²) 的低合金高强度钢, 其热影响区容易出现硬而脆的马氏体组织, 硬度明显增加, 塑性、韧性降低, 抗应力腐蚀性能恶化, 冷裂纹倾向较大。因此, 对每种钢必须制定具体的焊接工艺, 这里就通用的施工注意要点作一介绍。

(1) 尽量采用低氢型焊条, 只有在强度较低或耐大气腐蚀之类的抗拉强度在 60 kgf/mm² (590 N/mm²) 以下的薄板焊接时才可选用其他类型焊条。

可以按照水银法测出的扩散氢含量对焊条进行分类。1982年通过的 ISO-3690 附件 II 规定, 当采用水银法测氢时, 如果熔敷金属中的扩散氢含量 (H_{DM}) 低于 15 mL/100 g, 则这类焊条属于限氢焊条。限氢焊条又可分为三类, 即中氢、低氢和超低氢。当 H_{DM} 大于 15 mL/100 g 时, 则属于非限氢焊条, 又称高氢焊条。按含氢量对焊条的分类如下 (II W 法)。

高氢型焊条: $H_{DM} > 15 \text{ mL/100 g}$ 。

中氢型焊条: $H_{DM} = 10 \sim 15 \text{ mL/100 g}$ 。

低氢型焊条: $H_{DM} = 5 \sim 10 \text{ mL/100 g}$ 。

超低氢型焊条: $H_{DM} \leq 5 \text{ mL/100 g}$ 。

此外, 有的焊条厂按甘油法测氢结果对焊条进行分类, 如日本神户制钢所规定 $H_{DM} = 3.5 \sim 5 \text{ mL/100 g}$ 为低氢型焊条, $H_{DM} = 1.0 \sim 2.5 \text{ mL/100 g}$ 为极低氢型焊条, $H_{DM} = 0.3 \sim 1.2 \text{ mL/100 g}$ 为超低氢型焊条。但目前国际上通用的是按照水银法测氢数值对焊条进行分类。

对于超低氢型焊条, 最好采用色谱法或水银法 (II W 法) 测定扩散氢含量。因甘油法测定精度低, 所以不宜采用。用超低氢型焊条焊接时, 焊件的预热温度可比用低氢型焊条时降低 25~50 ℃。

(2) 为了避免产生延迟裂纹, 应该尽量减少焊缝金属中的含氢量, 因此焊条使用前必须进行充分烘干, 以去除焊条在保管过程中吸收的潮气。对于低氢焊条一般再烘干温度为 300~400 ℃, 最高可达 450 ℃, 焊缝金属强度越高, 裂纹倾向越大, 对扩散氢含量的限制越严, 因此焊条再烘干温度也应选择上限。烘干温度太高, 容易引起焊条药皮中铁合金氧化及大理石分解而影响焊接质量。一般只允许再烘干两次, 多次烘干容易引起药皮开裂, 造成焊接时药皮成块脱落。包装开封后 4 h 即需再烘干, 最好在使用过程中将烘过的焊条放在手提式保温筒中, 随用随取。

(3) 预热有防止冷裂纹、降低冷却速度、减小焊接应力的作用, 与适当的焊接线能量配合还可控制焊接接头的显微组织与性能。对于常用的低合金高强度钢, 可以按下列经验公式确定预热温度。

$$T = 1440 \times P_C (\%) - 392 (\text{℃})$$

$$P_C = C + \frac{\text{Si}}{30} + \frac{\text{Mn}}{20} + \frac{\text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{60} + \frac{\text{Cr}}{20} + \frac{\text{Mo}}{15} + \frac{\text{V}}{10} + 5B + \frac{t}{600} + \frac{[\text{H}]_D}{60}$$

式中 C、Si、Mn——钢中元素的含量, %;

t ——板厚, mm;

$[\text{H}]_D$ ——扩散氢含量 (用甘油法测定), mL/100 g。

层间温度通常应等于或略低于预热温度, 以保持预热的作用, 并促进焊缝和热影响区中

氢的逸出。

如果预热、层间温度不合适，有时会产生氢致延迟裂纹，故应根据板厚和钢种等施工条件的不同来选择，一般来讲，强度等级越高，要求的预热、层间温度也越高。当使用气体火焰进行预热或去除焊接部位水分时，必须加热到 100℃ 以上，否则，在 100℃ 以下加热反而有可能吸附水分。

(4) 焊后热处理可以消除焊接部位的残余应力，改善焊接接头性能（主要是改善塑性、韧性），同时还可加速扩散氢的逸出，减少产生延迟裂纹的倾向。焊后热处理的温度不能超过调质钢等钢材的回火温度，一般为 580~620℃，具体温度根据钢材的材质来确定，保温时间可按每 25 mm 板厚保温 1 h 来确定。

(5) 线能量对焊缝金属的组织 and 性能有着较大的影响，这已为越来越多的焊接试验及施工实践所证实，焊接线能量过大，有时会引起力学性能（特别是屈服强度 $\sigma_{0.2}$ ）下降，在薄板焊接及强度级别高的钢种焊接时，这种倾向更为明显。所以，强度等级越高，焊接工艺中对线能量的控制要求也越严，尤其是对强度等级在 60 公斤级以上的低合金高强钢，从整个接头性能考虑，最好采用常规的窄焊道工艺施焊，以不摆动为宜。当然，不推荐太快的焊速施焊，因为它会造成大量的硅和氧过渡到焊缝，使焊缝韧性下降；但也不允许焊速太慢，那样会引起晶粒粗大，导致韧性大幅度下降。

(6) 厚板高强度钢焊接工艺要点如下：

预热带宽度为板厚的 5~6 倍；

要注意定位焊的裂纹，一般定位焊可选用强度稍低于母材的塑性、韧性好的低氢型焊条，定位焊焊缝长度约 40~60 mm，不宜太短；

厚板管接头的第一层焊肉要稍厚些；

要保持一定的预热和层间温度；

焊接要对称进行，以减小局部应力；

焊后作后热处理时，温度约为 200~250℃，保温 2~5 h，要覆盖缓冷；

引弧不应在坡口外非焊接处进行，以免产生裂纹；

为避免在焊缝引弧处出现气孔，可在焊条头部钻孔，孔深 10~15 mm，并涂引弧剂，使电流密度增大，熔渣覆盖均匀；

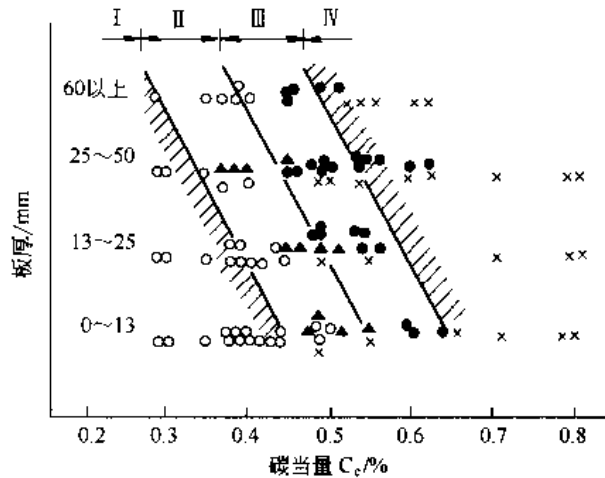
室外作业时风速不宜过高，如果风速超过 3 m/s 时，要采取防风措施。

图 6-5 所示为一般标准使用的实例，根据碳当量与板厚确定焊接条件。表 6-21 列出了 HQ 系列钢种的预热温度和最大焊接线能量。

(五) 中、高碳钢的焊接

一般把碳含量在 0.3% 以下的碳素钢称为低碳钢，含碳量在 0.3%~0.6% 的碳素钢称为中碳钢，含碳量在 0.6% 以上的碳素钢称为高碳钢。

中、高碳钢含碳量较高，在焊接高温作用下，由于快速冷却，容易引起金属的硬化及焊接热影响区的裂纹，因此，应尽量选用性能与钢材相近而韧性较高的超低氢高韧性焊条，在仅要求实现完整连接而不要求焊缝与母材等强度的场合，可采用含碳量和强度均较低、塑性较高的 J426、J427 等焊条，以减少接头刚性，防止焊接裂纹。在要求焊缝与母材等强度的情况下，则可采用 J507 等相应强度等级的低氢焊条。若采用奥氏体不锈钢焊条（如 A302、A307、A402 或 A407 等）来焊接中、高碳钢，利用奥氏体焊缝金属塑性好、溶氢量大的特点，可降低预热温度，甚至不预热也不会产生焊接裂纹。有时也可在中、高碳钢的坡口表面



$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{5} + \frac{Cr}{4} + \left(\frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \right)$$

代 号	焊接性分类	预 热/℃		消除应力退火
		普通焊条	低氢焊条	
○	I—优	不要	不要	不要
▲	II—良	40~100	不要	任意
●	III—可	>150	40~100	希望
×	IV—差	150~200	>100	必须

图 6-5 根据碳当量与板厚确定焊接条件

表 6-21 HQ 系列钢种的预热温度和最大焊接线能量

钢 号	板厚 δ /mm	预热温度/℃			层间温度 /℃	最大线能量 J·cm ⁻¹
		手工焊	气保焊	埋弧焊		
HQ60	6 ≤ δ < 13	不预热	不预热	不预热	≤150	≤30 000
	13 ≤ δ < 26	40~75	15~30	25	≤200	≤45 000
	26 ≤ δ < 50	75~125	25	25	≤200	≤55 000
HQ70	6 ≤ δ < 13	50	25	50	≤150	≤25 000
	13 ≤ δ < 19	75	50	50	≤180	≤35 000
	19 ≤ δ < 26	100	50	75	≤200	≤45 000
	26 ≤ δ ≤ 50	125	75	100	≤220	≤48 000
HQ80	6 ≤ δ < 13	50	50	50	≤150	≤25 000
	13 ≤ δ < 19	75	50	75	≤180	≤35 000
	19 ≤ δ < 26	100	75	100	≤200	≤45 000
	26 ≤ δ ≤ 50	125	100	125	≤220	≤48 000
HQ100	25	≥150	≥150	—	≤150	≤35 000

堆焊一层含碳量很低 ($C \leq 0.03\%$)、强度低、塑性好的纯铁过渡层, 然后再用与母材强度相匹配的焊条填满坡口, 也可有效地防止焊接裂纹的出现。焊接时可参照低合金高强度钢的焊接施工注意要点进行焊接。具体焊接实例如下。

(1) 含碳 0.7% 的同种钢材的焊接 先在焊接区预热 350℃, 用 J807 焊条在坡口面上隔离层堆焊两层, 焊后立即进行 650℃ 后热, 空冷。然后用 J427 或 J507 焊条直接连续焊接即可, 不必预热。如图 6-6(a) 所示。

(2) 中碳钢 (45) 与低碳钢 (Q235) 的焊接 (I) 先在 45 钢坡口面预热 300℃, 然后

用 J427 或 J507 焊条进行焊接, 焊后进行 650 ℃ 后热并缓冷。如图 6-6 (b) 所示。

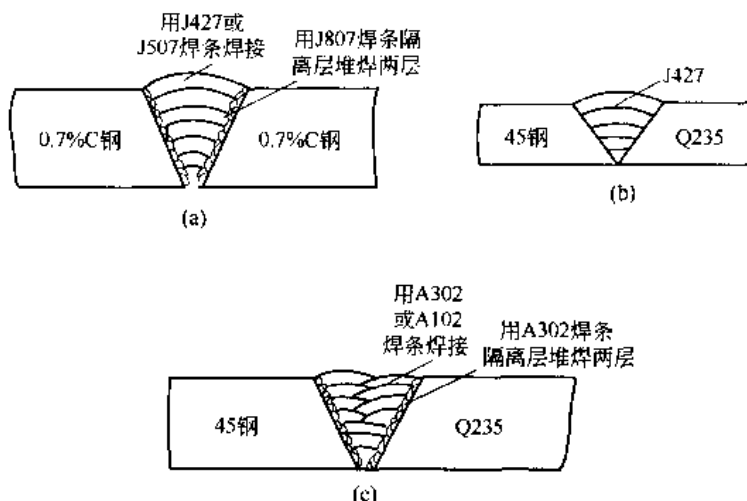


图 6-6 中、高碳钢焊接实例

(3) 中碳钢 (45) 与低碳钢 (Q235) 的焊接 (II) 在无预热情况下, 用 A302 或 A312 焊条在 45 及 Q235 钢的坡口面上堆焊两层隔离层, 然后再用 A302 或 A102 焊条进行对接焊。如图 6-6 (c) 所示。

(六) 管道用钢的焊接

随着石油天然气及石油化工工业的发展, 以“西气东输”工程为标志, 我国已进入长输管道建设的高峰时期。长输油气管道越来越向大口径、高压力输送方向发展。长输管道下向焊技术自 20 世纪 80 年代初引进以来, 已发展成为一种国内远距离管道建设大部分设计指定必须采用的焊接工艺方法。

与传统的“向上焊”工艺相比, 下向焊技术具有下列优点。

- (1) 焊缝质量好, 由于采用多层多道焊, 接头的综合性能优良, 不易产生较大的焊接缺陷。
- (2) 焊接速度快, 效率高。比向上焊提高焊接生产率 30% ~ 50%, 焊条消耗量减少 10% ~ 20%。
- (3) 操作技术单一, 易于掌握, 焊工培训工作量及费用较少。
- (4) 成本低。

按美国石油学会 (API) 分类的管道用钢及其性能见表 6-22。

表 6-22 API 管道用钢及其性能

API 分 类钢号	化 学 成 分 / %						力 学 性 能				
	C	Mn	Si	S	P	其他	$\sigma_{0.2}$		σ_b		$\delta / %$
							/ksi	/MPa	/ksi	/MPa	
A	0.22	0.90	0.35	0.04	0.05		30.0	207	48.0	331	26
B	0.27	1.15					35.0	241	60.0	413	23
X42	0.28	1.25					42.0	289	60.0	413	23
X46	0.30	1.35					46.0	317	63.0	434	22
X52	0.30	1.35					52.0	358	66.0	455	21

续表

API 分 类钢号	化学成分/%						力学性能				
	C	Mn	Si	S	P	其他	$\sigma_{0.2}$		σ_b		δ /%
							/ksi	/MPa	/ksi	/MPa	
X56	0.26	1.35					56.0	386	71.0	489	20
X60	0.26	1.35				V 0.02 Ti 0.03	60.0	413	75.0	517	19
X65	0.26	1.40					65.0	448	77.0	530	18
X70	0.23	1.60					70.0	482	82.0	565	18
X80	0.26	1.40	0.35				80.0	550	90.0	620	18
X100	0.26	1.40	0.35				100.0	688	110.0	757	18

注：表中化学成分数值均为最大值，力学性能均为最小值。

1. 焊接管道钢用下向焊焊条

在管道建设中，随着输送压力的不断提高和油气管道钢管强度的不断增加，对大口径长距离管道，正越来越多采用半自动和自动焊接工艺，但对一些中、小口径管道，或在山区施工不便的场合，以及管子的封底焊，还是大量采用手工焊条，主要是纤维素型立下向焊条（如 E6010）及铁粉低氢型立下向焊条（如 E7048）。

纤维素下向焊焊条的药皮中含有 30%~50% 的有机物（纤维素），具有极强的造气功能。焊接时在电弧热的作用下可以分解出大量的 CO 和 CO₂ 气体，在保护电弧和熔池金属的同时，显著增加了电弧吹力，保证了熔滴在全位置焊接时向熔池的稳定过渡；还可以阻止铁液和液态熔渣的下淌，同时还有较大的熔透能力和优异的填充间隙性能；对管子的对口间隙要求不很严格，焊缝背面成形好，气孔敏感性小，容易获得高质量的焊缝，因此特别适合打底焊。管道用纤维素下向焊条和低氢型下向焊条及其典型性能分别见表 6-23、表 6-24。

表 6-23 管道用纤维素下向焊条及其典型性能

生产厂	牌 号	AWS 型号	熔敷金属化学成分/%				力学性能			
			C	Si	Mn	其他	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	A_{kv} /J
中国	CHE425GX	E4310(GB) E6010	≤0.12	≤0.20	0.3~0.6		≥330	≥420	≥22	≥27 (-30℃)
	J505G	E8011-G	≤0.20	≤0.20	≥1.00		≥440	≥540	≥17	≥27 (-30℃)
伯乐 (奥地利)	FOX CEL	E6010	0.12	0.14	0.5		450	520	26	110 (-20℃)
	FOX CEL75	E7010-P1	0.14	0.14	0.7		480	550	23	85 (-20℃)
	FOX CEL85	E8010-P1	0.14	0.10	0.7	Ni 0.6	490	570	24	100 (-20℃)
	FOX CEL90	E9010-G	0.17	0.15	0.9	Ni 0.8	610	650	21	75 (-20℃)

续表

生产厂	牌 号	AWS 型号	熔敷金属化学成分/%				力学性能			
			C	Si	Mn	其他	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	A_{KV} /J
合伯特 (美国)	PM 60	E6010	0.06	0.20	0.40		421	524	26	46 (-29℃)
	PM 70	E7010-P1	0.10	0.40	0.85	Ni 0.55 Mo 0.10	490	600	26	47 (-34℃)
	PM 80	E8010-P1	0.13	0.12	0.53	Ni 0.65 Mo 0.10	524	634	23	41 (-29℃)
	PM 90	E9010-G	0.16	0.26	1.00	Ni 0.75 Mo 0.17	547	672	25	58 (-29℃)
	PM 60 PM70 PM80 PM90									
	PIPEMASTER PRO-60	E6010	0.08	0.15	0.45		413	496	27.5	-29/68
	PIPEMASTER PRO-70	E7010-P1	0.10	0.10	0.50	Ni 0.05 Mo 0.30	482	579	25	-34/48
	PIPEMASTER PRO-80	E8010-P1	0.13	0.12	0.53	Ni 0.05 Mo 0.35	499	592	23	-29/43
神钢 (日本)	KOBE-6010S	E6010	0.12	0.15	0.51		430	510	27	63 (-29℃)
	KOBE-7010S	E7010-P1	0.14	0.10	1.01		470	570	30	61 (-29℃)
	KOBE-8010S	E8010-P1	0.15	0.12	1.05		520	620	28	54 (-29℃)

表 6-24 管道用低氢型下向焊条及其典型性能

生产厂	牌 号	AWS 型号	熔敷金属化学成分/%				力学性能			
			C	Si	Mn	其他	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	A_{KV} /J
中 国	J507XG	E7015	0.08	0.46	1.20		440	550	30	100 (-30℃)
	J556XG	E8016-G	≤ 0.12	≤ 0.70	≥ 1.00		≥ 440	≥ 540	≥ 17	≥ 27 (-30℃)
	CHE607GX	E8015-G	0.08	0.30	1.30	Nb ≤ 0.08 V ≤ 0.06	510	610	24	180 (-20℃)
伯 乐 (奥地利)	FOX BVD85	E8018-G	0.04	0.4	0.9	Ni 0.9	510	560	27	85 (-40℃)
	FOX BVD90	E9018-G	0.04	0.4	1.2	Ni 2.1	600	650	27	95 (-40℃)
	FOX BVD100	E10018-G	0.07	0.4	1.2	Ni 2.3	670	730	24	70 (-50℃)
神钢(日本)	KOBE-78VS	E7048	0.06	0.56	1.18		490	580	30	100 (-29℃)
	KOBE-88VS	E8018-G	0.06	0.55	1.20	Ni 0.53 Mo 0.12	510	620	30	120 (-20℃)
	KOBE-98VS	E9018-G	0.06	0.61	1.27	Ni 1.17 Mo 0.18	560	660	24	130 (-20℃)

2. 管道手工下向焊接技术

按照焊接顺序，通常将管道焊接各层焊道称为根焊、热焊、填充焊及盖面焊。根焊（也称打底焊）和热焊道均为单道焊，而填充焊则可能是多层多道焊，这与管道的壁厚有关。

随着输送压力的不断提高和油气管道钢管强度的不断增加，手工下向焊技术经历了全纤维素型下向焊→混合型下向焊→复合型下向焊的发展过程。

全纤维素型下向焊工艺使用纤维素下向焊条，操作灵活，抗风性能好，适应性强，能保证良好的根部焊透，焊速快，熔渣及铁水凝固快，脱渣好。但对于大口径、厚壁钢管的焊接来说，劳动强度较高，焊接效率较低。

低氢型下向焊条具有通常低氢型焊条抗冷裂性及冲击韧性优良的特点，但抗风能力弱，熔化速度较慢。因此，除在寒冷地区或强度级别较高，且管壁较厚的大口径管道中，全部采用低氢型下向焊条外，一般都和纤维素下向焊条混合使用，即用纤维素型焊条打底焊、热焊，低氢型焊条填充焊、盖面焊的混合型手工下向焊技术。

复合型下向焊是指打底焊及热焊采用纤维素焊条下向焊方法，填充焊及盖面焊采用酸性焊条或碱性焊条向上焊方法的焊接工艺。

若用上向焊进行根焊不能连续焊接，只能采用灭弧法施焊，速度太慢，而且缺陷多，因此采用下向焊进行根焊和热焊，以获得良好的根焊质量和速度。而用上向焊进行填充和盖面，利用其焊层厚的特点，减少焊接遍数，提高整体焊接速度，亦即将两种焊接方法优势互补。其主要应用于壁厚较大的管道。各类管道下向焊接用焊条的选用见表 6-25。

表 6-25 管道下向焊接用焊条的选用

API 钢号	适用焊道	纤维素型下向焊条	只用低氢型焊条	纤维素型+低氢型 混合工艺
		下向焊工艺		
A、B X42 X46 X52	根焊	E6010 E7010-P1	E7048	E6010
	热焊			E7010-P1
	填充及盖面			E7048
X56	根焊	E6010	E7048	E6010
	热焊	E7010-P1		E7010-P1
	填充及盖面	E7010-P1		E7048
X60	根焊	E6010	E7048 E8018-G	E6010
	热焊	E7010-P1		E7010-P1
	填充及盖面	E7010-P1 E8010-P1		E7048 E8018-G
X65	根焊	E7010-P1	E8018-G	E7010-P1
	热焊	E8010-P1		E8010-P1
	填充及盖面	E8010-P1		E8018-G
X70	根焊	E7010-P1	E8018-G	E7010-P1
	热焊	E8010-P1		E8010-P1
	填充及盖面	E8010-P1 E9010-G		E8018-G

续表

API 钢号	适用焊道	纤维素型下向焊条	只用低氢型焊条	纤维素型 + 低氢型混合工艺
		下向焊工艺		
X80	根焊	E7010-P1	E9018-G	E7010-P1
	热焊	E8010-P1		E8010-P1
	填充及盖面	E9010-G		E9018-G

注：本表 E8018-G、E9018-G 系指适用于管道焊接的低氢型下向焊条。

3. 焊接施工技术要求要点

(1) 对于根焊，必须根据管道直径及壁厚选择焊条直径、焊接速度和焊接电流。管径小于 250 mm、壁厚在 8 mm 以下的管道，可采用 $\phi 3.2$ mm 焊条。对于管径较大、壁厚较厚的管道可采用 $\phi 4$ mm 焊条进行根焊。根焊时采用直拉式运条，不摆动。只有当间隙过大或熔孔过长时，才可作往返运条，以防止热输入过大而烧穿。焊条与管子接近垂直位置。

(2) 热焊的目的在于加强根焊，并通过输入热量使焊道保持较高温度而防止根焊焊道产生裂纹、开裂等缺陷，一般均要求两焊道间隔时间不能超过 10 min。这一点对高强度钢种的管道钢管尤其重要。热焊时采用直线往复运条，焊接速度要快，并保证坡口边缘熔合良好，热焊之前必须进行彻底清根。

(3) 预热有利于和加速氢气逸出，从而降低焊道下产生裂纹的敏感性，此外还能减少热影响区的硬化。预热温度取决于钢材的化学成分和管壁厚度（见图 6-7）。当壁厚超过 20mm 时，任何情况下都必须预热。

实践表明，150℃ 就能达到预热目的。对于碳含量较高或强度级别较高的钢种，预热温度应提高到 200℃ 左右。而对于薄壁管，管端加热到 50~100℃ 即可。

(4) 层间温度影响熔敷金属在凝固和冷却期间发生的金相过程，因而在一定程度上也影响到焊接接头的力学性能和氢的逸出速度，因此，推荐层间温度保持在 $(100 \pm 30)^\circ\text{C}$ 。而当采用熔敷金属抗拉强度 > 620 MPa（如 E9010-G 等）纤维素焊条时，层间温度应保持在 $(150 \pm 20)^\circ\text{C}$ 左右。

(5) 焊条直径的选择取决于钢管的直径和壁厚。根焊时，对管径小于 250mm、壁厚小于 8 mm 的钢管，推荐用 $\phi 3.2$ mm 焊条；对管径和壁厚更大的钢管，可用 $\phi 4.0$ mm 焊条。热焊及填充焊时，可采用直径较大的 $\phi 4.0$ 或 $\phi 5.0$ mm 焊条。

(6) 焊条的角度在下向焊时有着十分重要的意义，它既影响到根焊时焊道背面的保护情况及单面焊双面成形时焊道背面的微凸，同时它也影响到靠近垂直位置时熔渣和铁水的下淌，从而影响焊接操作的顺利进行。不同焊道焊接时推荐的焊条角度如图 6-8 所示。

(7) 焊接电流的大小直接影响焊接质量。电流过小，易使根焊时背面保护不足产生气孔，电弧吹力不够，使 5~7 点位置熔滴金属不易吹到熔池中，造成大颗粒飞溅。电流过大，

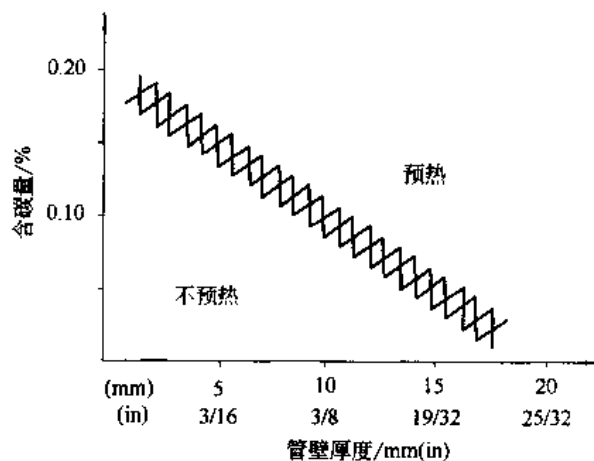


图 6-7 预热取决于管壁厚度和碳含量

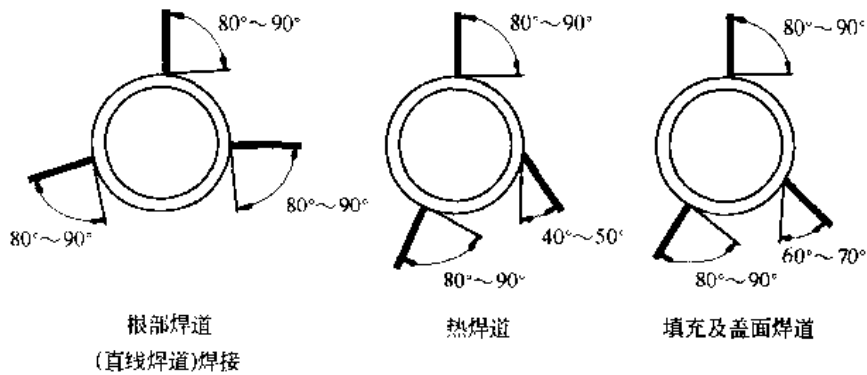


图 6-8 不同焊道焊接时推荐的焊条角度

使电弧吹力过强，影响焊缝成形，且使 2~5 点位置的熔渣及熔池温度过高，造成熔渣及铁水下淌，且因熔敷金属过热，而容易使盖面焊道出现密集气孔。下向焊接常用焊接工艺参数见表 6-26。

表 6-26 下向焊接常用焊接工艺参数

焊道	下向焊条规格		电源极性	电流/A	电压/V	焊速/cm·min ⁻¹
	类型	直径/mm				
根焊	纤维素型	φ3.2 或	正接	70~90	25~30	10~15
	低氢型	φ4.0		90~120	22~26	13~18
热焊	纤维素型	φ4.0	反接	90~120	22~26	20~30
	低氢型					
填充焊	纤维素型	φ4.0	反接	120~150	25~30	20~30
	低氢型					
盖面焊	纤维素型	φ4.0	反接	120~140	25~30	20~25
	低氢型					


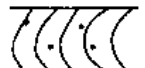
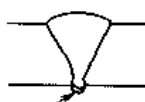
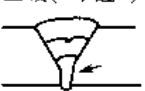

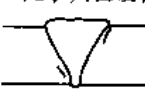

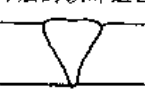
(8) 焊条的烘干，目的是去除药皮中多余的水分，以防止气孔产生及减少扩散氢含量。这对于低氢型下向焊条是十分必要的。焊前要求经 (300~350)℃ × 2 h 烘干，并保持在 100~150℃ 的焊条保温筒内，随用随取。但是对于纤维素型下向焊条，由于其电弧吹力除了靠药皮中的大量纤维素分解为气体外，还要借助于药皮中各组成物的水分在电弧高温下引起的爆破，以增加电弧挺度，因此，保持药皮中较高的水分对纤维素下向焊条是十分重要的。所以，焊条应保存在密闭的贮存条件下，避免受到阳光长期照射和温度的过大变化。一旦焊条包装被打开，应尽可能及时用完，不允许将焊条重新烘干，这一点与常规的酸性焊条概念不同，务必注意。

(9) 根部焊道不能凸起，以免后续焊接时，在两侧易引起夹渣，要用研磨机将焊道磨成微凹状，焊道收弧处要磨成坡状。当采用低氢型下向焊条进行根焊时，应尽量保持短弧，最好保持焊条与坡口表面直接接触，并避免形成“熔孔”，以防止产生密集气孔。焊接电流过大就会引起这一问题。

(10) 纤维素下向焊条只能用直流电进行焊接操作，焊机必须具有陡降的外特性；外拖推力电流大；适当提高静外特性的推力拐点，以达到小熔滴过渡。

管道焊接缺陷的产生原因及防治见表 6-27。用纤维素焊条采用立向下焊工艺时每米焊缝的焊条消耗量见表 6-28。

表 6-27 管道焊接缺陷的产生原因及防治

缺 陷	原 因	防 治
密集气孔 可在焊缝表面看到 	焊接时焊条摆动太大或未控制 母材过热(增大了薄壁钢管焊缝产生密集气孔的危险) 焊条药皮的含水量过低	焊条波形前进宽度不得超过 2 倍焊条直径,摆动不能超过 2 倍焊条直径 按照管壁厚度的变化选用相应直径的焊条和电流强度 将焊条保存在密闭容器内
针孔 在焊缝表面不能看到 	在焊接熔敷金属时延迟了脱氧过程 焊条涂料的含水量过低或过高	避免被熔敷金属的过渡倾覆
缩孔 几乎只在直线焊道的余高中存在,如焊道截面并非减少 	根部间隙过窄,因过度稀释而阻碍脱气 母材的化学组成:含铝量高通常有利于形成缩孔	根部间隙宽度不小于 1 mm 尤其对于含铝量为 0.040% 的钢种来说,应遵照最佳根部间隙宽度 1.5 mm 的规定,如果说焊接缺陷继续存在,则使用直径较小的焊条
熔渣夹杂物 通常发生在坡口表面和直线焊道区域(“车迹”) 	在两层焊道之间没有充分清除干净 直线焊道研磨情况不良 焊条操作控制不正确 电流强度过低	使用旋转钢丝刷将每层焊道清除干净 在涂敷热焊道之前充分地研磨根部焊道 改善焊条的操作控制情况 提高焊接电流强度
熔合不足(冷焊缝) 	坡口表面熔化程度不足 电流强度过低 坡口表面受污染和/或被氧化	选择匹配焊条直径和焊接位置的电流强度 恰当地把坡口表面清除干净
焊道下裂纹 几乎只在硬化 HAZ 中发生 	氢气、应力、硬化结构的共同作用的结果	预热管材,以便有利于氢气逸出,增大热量输入也是有利的 避免移动管道 在焊接根部焊道期间要预计到值得重视的硬化,因此,热焊道必须在完成根部焊道之后立即进行
由机械应力引起的裂纹 裂纹通常出现在根部焊道区 	在焊接根部焊道期间和/或涂敷热焊道之前移动管道 边缘补偿过大,导致根部横截面减小,并增大了形成裂纹的危险	尤其在焊接根部焊道期间避免移动钢管 参见关于最大补偿的有关标准和技术规格,然而应将边缘补偿保持为最小补偿量
咬边 咬边焊接缺陷发生在根部焊道和外层封顶焊道区 	焊接电流强度过大 焊接操作不正确	选择匹配焊条规格的正确焊接电流强度

续表

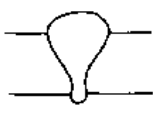
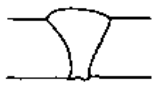

缺陷	原因	防治
焊缝增强过多 	焊条操作控制不正确	选择匹配接头宽度的焊接电流强度 当用户涂敷最后一道填充焊道时,要预留所需外层封顶焊道焊缝增强层的余量(例如,通过另外涂敷焊道或研磨掉过高的填充焊道层)
直线焊道内陷 	焊接电流强度过大 接头准备不充分,根部间隙过大	选择匹配根部焊道接头的正确的焊接电流强度
起弧标记 	在接头的左右起弧引起局部硬化,有产生硬化裂纹的危险	在坡口内起弧

表 6-28 用纤维素焊条采用立向下焊工艺时每米焊缝的焊条消耗量

壁厚 ≤ 20mm						壁厚 > 20mm				
管壁厚度		焊条消耗/kg				管壁厚度		焊条消耗/kg		
/英寸	/mm	φ3.2 mm	φ4 mm	φ5 mm 或 φ5.5 mm	消耗总计	/英寸	/mm	φ4 mm	φ5 mm 或 φ5.5 mm	消耗总计
11/64	4.36	0.35			0.35	13/16	20.63	0.45	2.60	3.50
13/64	5.16	0.45			0.45	7/8	22.22	0.45	3.05	3.50
1/4	6.35	0.25	0.37		0.62	15/16	23.81	0.45	3.55	4.00
5/16	7.93		0.45	0.50	0.95	1	25.40	0.45	4.05	4.50
3/8	9.52		0.45	0.80	1.25	当管壁厚度大于 20 mm 时,建议采用上述坡口形式				
1/2	12.70		0.45	1.50	1.95					
5/8	15.88		0.45	2.50	2.95					
11/16	17.46		0.45	3.05	3.50					
3/4	19.04		0.45	3.65	4.10					
13/16	20.63		0.45	4.25	4.70					
7/8	22.22		0.45	4.95	5.40					
15/16	23.81		0.45	5.75	6.20					
1	25.40		0.45	6.45	6.90					

安装管道的公司对于填充焊道和盖面焊焊道焊接可选用不同规格的焊条,但是通常的实地焊接是使用 φ5.5 mm 焊条焊接管壁厚度大于 12mm 左右的钢管

注:焊条长度为 350 mm,消耗量中包括 70 mm 焊条夹持端损耗。

四、钼和铬钼耐热钢电焊条

耐热钢在高温下具有化学稳定性和足够的抗蠕变性能及持久强度，并有抗气体侵蚀能力，广泛用于电站锅炉、石油化工、核动力等部门。按化学成分和显微组织不同，可分为珠光体耐热钢、马氏体耐热钢、铁素体耐热钢和奥氏体耐热钢。这里主要介绍用来焊接珠光体耐热钢和马氏体耐热钢的焊条。

(一) 耐热钢的种类

耐热钢是能在高温下长期工作、并有足够的强度和抗氧化能力、抗特定介质条件下的脆化及抗中子辐照脆化的钢。珠光体耐热钢是低合金耐热钢，含有不同数量的 Cr、Mo、W、V、Nb 等合金元素，以适应不同的工作温度。常用珠光体耐热钢和马氏体耐热钢的化学成分及推荐采用的焊条见表 6-29。各种用途下的工作温度与适用的钢种如图 6-9 所示。

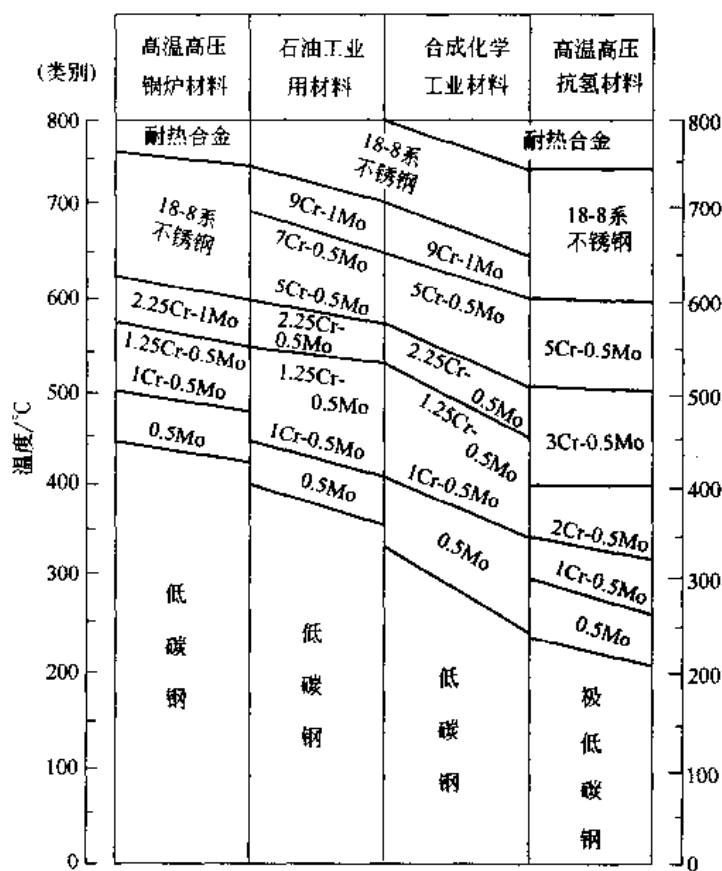


图 6-9 各种用途下的工作温度与适用的钢种

只含钼的耐热钢，在 500℃ 左右长期工作会发生石墨化现象，使钢材的强度、塑性显著降低，故近来已逐步为 Cr-Mo 耐热钢所代替。随着 Cr 含量的增加及向钢中添加强烈形成碳化物元素 V、Nb、Ti、W、B 等，可以防止石墨化和珠光体球化现象的产生，进一步改善耐热钢的高温性能。

Cr-Mo 钢是在高温高压下工作的压力容器的代表钢种，石油精炼的脱硫反应塔、热交换器等压力容器均使用 Cr-Mo 钢。这种钢材长期使用会发生回火脆化及韧性降低等问题。一般这种现象是长期在 375~575℃ 温度范围内工作时出现。而石油精炼时，反应塔压力容器的操作温度通常为 400~800℃，正处于这个脆化温度区。为了确保安全，在抗回火脆性，

表 6-29 常用珠光体耐热钢和马氏体耐热钢的化学成分及推荐采用的焊条

/%

类	钢号	C	Mn	Si	Cr	Mo	W	V	Ti	B	推荐用焊条
珠 光 体 耐 热 钢	16Mo	0.13~0.19		0.20~0.40	—						R102、R107、R106
	12CrMo	≤0.15	0.40~0.70		0.40~0.70	0.40~0.55	—	—	—	—	R200、R202、R207
	15CrMo	0.12~0.18		0.17~0.37	0.80~1.10						R302、R307
	12Cr1MoV	0.08~0.15			0.90~1.20	0.25~0.35	—	0.15~0.30	—	—	R310、R312、R317、R316Fe
	12Cr2MoWVB		0.45~0.65	0.45~0.75	1.60~2.10	0.50~0.65	0.30~0.55	0.28~0.42	0.08~0.18	0.008	R347
	12Cr3MoVSiTB	0.09~0.15	0.50~0.80	0.60~0.90	2.50~3.00	1.00~1.20	—	0.25~0.35	0.22~0.38	0.005~0.011	R417
	ZG20CrMoV	0.18~0.25	0.40~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20	0.50~0.70	—	—	—	—	R317、R327
	ZG15Cr1Mo1V	0.14~0.20			1.20~1.70	1.00~1.20	—	—	—	—	R327、R337
	Cr2.5Mo	≤0.15	0.40~0.70	0.17~0.50	2.0~2.50	0.90~1.10	—	—	—	—	R400、R402、R417、R406Fe
	1Cr5Mo		≤0.60	≤0.50	4.00~6.00	0.50~0.60					R507、A402、A407
马 氏 体 耐 热 钢	1Cr9Mo1	≤0.15	0.30~0.60	0.50~1.00	8.00~10.00	0.90~1.10	—	—	—	—	R707、A402、A407
	1Cr13		≤0.60	≤0.60	12.00~14.00						G202、G207
	2Cr13	0.16~0.24									G207
	1Cr11MoV	0.11~0.18		≤0.50	10.00~11.50	0.50~0.70		0.25~0.45			R802、R807

特别是在低温韧性方面，对耐热钢及配套的焊接材料均提出了更高的要求。在实验室中，通常作脆化促进热处理试验（即步冷试验），以再现操作时的回火脆性。在此比较了在脆化促进热处理试验前后 Cr-Mo 钢的 V 形冲击试验韧性值。对回火脆化的敏感性以图 6-10 所示的 ΔvTr_{40} [冲击值达 40 ft·lbf (54J) 时对应温度的偏移量] 或 ΔvTr_s (试样中脆性断面面积达 50% 时对应温度的偏移量) 来表示。最近对 Cr-Mo 钢焊缝金属提出的要求见表 6-30。

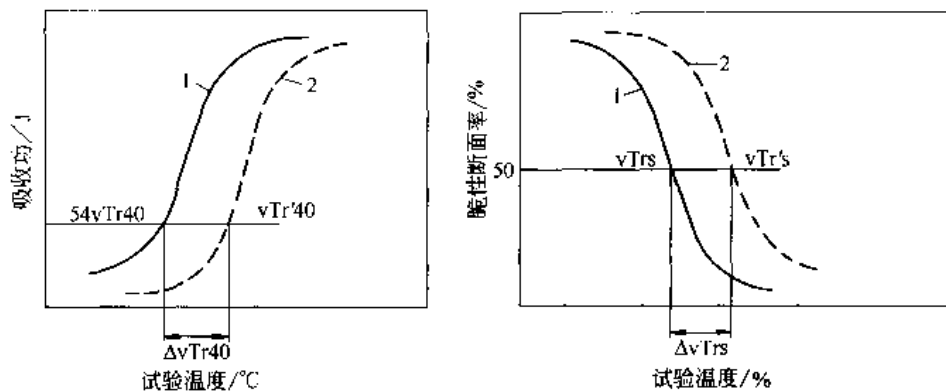


图 6 10 回火脆化敏感性表示法

1—消除应力热处理；2—消除应力热处理 + 脆化促进热处理

表 6-30 Cr-Mo 钢焊缝金属的低温韧性及抗回火脆性的性能要求

吸收功	抗回火脆性
$A_{KV}(-29^{\circ}\text{C})$ 最小值 ≥ 35 ft·lbf (47J)	$vTr_{40} \leq -40^{\circ}\text{C}$
$A_{KV}(-29^{\circ}\text{C})$ 平均值 ≥ 40 ft·lbf (54J)	$vTr'_{40} \leq -29^{\circ}\text{C}$
	$vTr_{40} + (1.5 \sim 3)\Delta vTr_{40} \leq 10 \sim 38^{\circ}\text{C}$

注： vTr_{40} 为消除应力处理后 40 ft·lbf 时的转变温度； vTr'_{40} 为消除应力处理加脆化促进热处理后 40 ft·lbf 的转变温度； ΔvTr_{40} 为 vTr_{40} 与 vTr'_{40} 的差值，表示脆化量。

最新研究资料表明，钢及焊缝金属中的杂质（P、Sn、Sb、As 等）对金属的回火脆性有很大影响（见图 6-11）。通过试验，得出下列关系式。

$$\bar{X} = (10P + 5Sb + 4Sn + As) / 100 \quad (\text{ppm})(\text{ppm 即 } 10^{-6})$$

$$\bar{J} = (Mn + Si)(P + Sn) \times 10^4 \quad (\%)$$

$$P_E = C + Mn + Mo + \frac{Cr}{3} + \frac{Si}{4} + 3.5(10P + 5Sb + 4Sn + As) \quad (\%)$$

式中 P_E ——回火脆性成分参数。

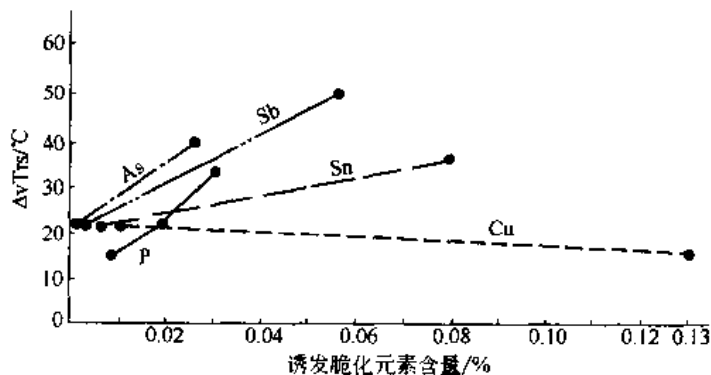


图 6-11 杂质对 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 焊缝金属回火脆性的影响

试验发现，这些杂质在脆化温度偏析于晶界，减弱了晶界强度，冲击试验时使韧性降低，成为回火脆化的主要原因。因此，为了确保优良的抗回火脆性，要严格限制 P、Sn、Sb、As 等有害杂质的含量。

日本近年研制出用于焊接 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 钢的 CMA-106N 焊条，其熔敷金属化学成分和力学性能分别见表 6-31、表 6-32。

表 6-31 CMA-106N 熔敷金属化学成分 /%

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Sn	Sb	As	N	\bar{X} /ppm	\bar{j} /%
0.12	0.31	0.75	0.006	0.005	0.15	2.35	1.00	0.002	0.003	0.002	0.025	8	85

注：1 ppm = 10^{-6} 。

表 6-32 CMA-106N 熔敷金属力学性能

焊后热处理 /℃ × h	试验 温度	$\sigma_{0.2}$ N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	σ_b N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	δ /%	Ψ /%	回火脆性/℃		
						vTr40	vTr'40	vTr40 + 2.5ΔvTr'40
690 × 8	室温	510 (52.3)	650 (66.1)	28	74	-79	-63	39
690 × 28	室温	470 (48.0)	610 (62.2)	27	73	-82	-60	27
	454 ℃	370 (38.1)	470 (47.5)	27	70			

(二) 耐热钢焊条种类及其主要性能

低合金耐热钢焊条有低氢型焊条、钛铁矿型焊条及钛钙型焊条。通常，钛铁矿型和钛钙型焊条的焊道成形比低氢型焊条美观，特别是钛钙型焊条，不易产生咬边，操作容易，广泛用于焊接小直径薄壁管和要求表面光滑的盖面焊缝。低氢型焊条抗裂性（高温裂纹，低温裂纹）优良，并有优良的韧性和塑性。而铁粉低氢型焊条的熔敷速度快，焊接效率高。从合金元素过渡方式看，绝大多数低合金耐热钢焊条的主要合金成分都由药皮中过渡的，但近年来，也开发出一些主要合金成分（Cr、Mo）由焊芯过渡的耐热钢焊条，这种焊条的焊缝韧性更好，并且稳定。

耐热钢要在高温下长期工作，为了保证耐热钢的高温性能，就要在其中加入较多的合金元素（如 Cr、Mo、V、Nb 等），而这些元素又给焊接工作带来种种困难。焊缝金属由于碳和合金元素的共同作用，容易形成淬硬组织，抗裂性较差，因此，不论从提高焊接接头的抗裂纹能力，还是从满足力学性能考虑，都要求采用低氢型焊条。只有在一些小直径薄壁管及一些管道经氩弧焊打底后作盖面焊时才可选用其他类型焊条（如 R302、R310 等）。

耐热钢焊条一般可按钢种和构件的工作温度来选用，通常选用熔敷金属化学成分及力学性能与母材相同或接近的电焊条。如果焊缝金属成分与母材相差很大，其接头在长期高温工作后，因成分不均匀，会使接头的持久强度明显下降。相反，焊缝金属的化学成分和母材相接近，就会减少因扩散而使接头高温性能变坏的倾向。除成分应与母材基本一致外，同时应力求使焊缝金属的力学性能与母材相接近，尤其是高温性能。但焊缝金属的强度不宜选得过高，否则塑性变差，接头冷弯角降低，甚至造成裂纹。此外还应防止热裂纹发生，并且焊缝金属的含碳量一般应不大于 0.14%，目前已研制成功含碳量约为 0.04% 的耐热钢焊条，其焊缝金属的韧性及抗裂性均有明显提高。

各种低合金耐热钢焊条的成分、性能和用途见表 6-33。各种钼和铬钼耐热钢焊条熔敷

表 6-33 低合金耐热钢焊条的成分、性能和用途

牌号	型号 GB/T (AWS)	特 征 和 用 途	熔敷金属化学成分/%						熔敷金属力学性能				热处理规范
			C	Mn	Si	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	Akv /J		
R102	E5003-A1 (-)	铁钙型含钼 0.5% 的珠光体耐热钢焊条, 工艺优良, 交直流两用, 全位置焊, 焊前预热至 90~110℃。用于工作温度在 510℃ 以下的锅炉管道(如 15Mo) 氩弧焊打底后的盖面焊, 也用于焊接一般的低合金高强度钢	≤0.12	≤0.60	≤0.40	0.40~0.65	—	≥490	≥390	≥20	60 (常温)		
R106Fe	E5018-A1 (E7018-A1)	低氢型含钼 0.5% 的珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 全位置焊, 焊前预热至 90~110℃。用于工作温度在 510℃ 以下的锅炉管道(如 15Mo), 也用于一般的低合金高强度钢	≤0.12	0.50~0.90	≤0.50	0.40~0.65	—	≥490	≥390	≥22	47 (常温)		
R107	E5515-A1 (E7015-A1)	低氢型含钼 0.5% 的珠光体耐热钢焊条, 直流反接, 全位置焊, 焊前预热至 90~110℃。用于工作温度在 510℃ 以下的锅炉管道(如 15Mo), 也用于一般的低合金高强度钢	≤0.12	0.50~0.90	≤0.50	0.40~0.65	—	≥490	≥390	≥22	47 (常温)		(620±15)℃ ×1h 回火
R200	E5500-B1 (-)	特殊型含铬、钼分别为 0.5% 的珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 全位置焊, 具有良好的抗气孔及塑性, 可满足高压管道焊接的各种技术要求, 焊前预热至 160~200℃。用于工作温度在 510℃ 以下的珠光体耐热钢(如 12CrMo) 和蒸汽及过热器管道等	≤0.12	0.50~0.90	≤0.50	0.40~0.65	Cr: 0.40~0.65	≥540	≥440	≥16	—		
R202	E5503-B1 (-)	铁钙型含铬、钼分别为 0.5% 的珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 全位置焊, 焊前预热至 160~200℃。用于工作温度在 510℃ 以下的珠光体耐热钢(如 12CrMo) 和蒸汽及过热器管道等	≤0.12	0.50~0.90	≤0.50	0.40~0.65	Cr: 0.40~0.65	≥540	≥440	≥16	—		
R207	E5515-B1 (E8015-B1)	低氢型含铬、钼分别为 0.5% 的珠光体耐热钢焊条, 直流反接, 全位置焊, 焊前预热至 90~100℃。用于工作温度在 510℃ 以下的铬钼珠光体耐热钢(如 12CrMo) 和高温、高压管道、化工容器等相应的钢种	≤0.12	0.50~0.90	≤0.50	0.40~0.65	Cr: 0.40~0.65	≥540	≥440	≥17	≥27		
R302	E5503-B2 (-)	铁钙型含铬 1.0%、钼 0.5% 的珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 全位置焊, 焊缝成形美观, 焊前预热至 150~250℃。用于工作温度在 520℃ 以下的含铬 1.0%、钼 0.5% 的珠光体耐热钢(如 15CrMo) 的锅炉受热面管子氩弧焊打底焊后的盖面焊	≤0.12	≤0.90	≤0.50	0.40~0.60	Cr: 1.00~1.50	≥540	≥440	≥16	—		
R306Fe	E5518-B2 (E8018-B2)	低氢型含铬 1.2%、钼 0.5% 的珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 短弧操作, 全位置焊, 焊接时预热和层间温度为 160~250℃。用于含铬 1%、钼 0.5% 的珠光体耐热钢(15CrMo), 如工作温度在 520℃ 以下的锅炉受热面管子和工作温度在 520℃ 以下的蒸汽管道、高压容器等, 也用于 30CrMnSi 铸钢件的焊接	≤0.12	0.50~0.90	1.00~1.50	0.40~0.65	—	≥540	≥440	≥20	47 (常温)		(690+15)℃ ×1h 回火
R307	E5515-B2 (E8015-B2)	低氢型含铬 1.2%、钼 0.5% 的珠光体耐热钢焊条, 直流反接, 全位置焊, 焊前预热温度为 160~250℃。用于工作温度在 520℃ 以下的含铬 1%、钼 0.5% 的珠光体耐热钢(15CrMo), 如锅炉管道、高压容器、石化设备等, 也用于 30CrMnSi 铸钢件的焊接	≤0.12	0.50~0.90	0.80~1.50	0.40~0.65	—	≥540	≥440	≥22	47 (常温)		

牌号	型号 GB/T (AWS)	特 征 和 用 途	熔敷金属化学成分/%						熔敷金属力学性能				
			C	Mn	Si	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J	热处理 规范	
R307H	E5515-B2 (E8015-B2)	超低碳低合金耐热钢焊条,熔敷金属具有高韧性、优异抗裂性等特点,直流反接,短弧操作,全位置焊,工艺性好。用于工作温度在 520℃ 以下的低合金耐热钢(1Cr0.5Mo、15CrMo、1.25Cr0.5Mo 等),如加氢反应器、换热器等高压容器及锅炉管道的焊接	≤ 0.12	0.50~ 1.05	1.00~ 1.50	0.40~ 0.65	Ni ≤ 0.20 Cu ≤ 0.020	450~ 685	≥ 275	≥ 22	57 (10℃)		
R310	E5500-B2-V (-)	特殊型含铬 1.2%、钼 0.5%、钒的珠光体耐热钢焊条,交直流两用,全位置焊,具有良好的抗气孔及冷弯塑性,焊前预热至 250~300℃。用于工作温度在 540℃ 以下的珠光体耐热钢(如 12CrMoV),如高温高压锅炉管道、石油裂化设备、高温合成化工机械设备等	≤ 0.12	≤ 0.90	1.00~ 1.50	0.40~ 0.65	V 0.10~ 0.35	≥ 540	≥ 440	≥ 16	—		
R312	E5503-B2-V (-)	钛钙型含铬 1.2%、钼 0.5%、钒的珠光体耐热钢焊条,交直流两用,全位置焊,焊前预热至 250~300℃。用于 540℃ 以下的珠光体耐热钢(如 12CrMoV),如锅炉管道手工电弧焊打底后的盖面焊	≤ 0.12	≤ 0.90	1.00~ 1.50	0.40~ 0.65	V 0.10~ 0.35	≥ 540	≥ 440	≥ 16	—		
R316Fe	E5515-B2 (E8015-B2)	低氢钾型含铬 1.2%、钼 0.5%、钒的珠光体耐热钢焊条,交直流两用,全位置焊,焊前预热至 250~300℃。用于工作温度在 580℃ 以下的珠光体耐热钢(12CrMoV)锅炉受热面管子、工作温度在 540℃ 以下的蒸汽管道、石油裂化设备、高温合成化工设备等,也用于相应强度等级的低合金钢结构	≤ 0.12	0.50~ 0.90	1.00~ 1.50	0.40~ 0.65	V 0.10~ 0.35	≥ 540	≥ 440	≥ 17	≥ 47 (常温)	(730± 15)℃ ×2 h 回火	
R317	E5515-B2-V (-)	低氢钠型含铬 1%、钼 0.5%、钒的珠光体耐热钢焊条,直流反接,全位置焊,焊前预热至 250~300℃。用于工作温度在 540℃ 以下的珠光体耐热钢(如 12CrMoV),如高温高压锅炉管道、石油裂化设备、高温合成化工机械等	≤ 0.12	0.50~ 0.90	1.00~ 1.50	0.40~ 0.65	V 0.10~ 0.35	≥ 540	≥ 440	≥ 17	47 (常温)		
R327	E5515-B2-V W (-)	低氢钠型含铬、钼、钒的珠光体耐热钢焊条,直流反接,全位置焊,焊前预热至 250~300℃。用于工作温度在 570℃ 以下的珠光体耐热钢(如 15CrMoV 等)	≤ 0.12	0.70~ 1.10	1.00~ 1.50	0.70~ 1.00	V 0.20~ 0.35 W 0.25~ 0.50	≥ 540	≥ 440	≥ 17	47 (常温)		
R337	E5515-B2-V Nb (-)	低氢钠型含铬、钼、钒、铌的珠光体耐热钢焊条,直流反接,全位置焊,焊前预热至 250~300℃。用于工作温度在 570℃ 以下的珠光体耐热钢(如 15CrMoV 等)	≤ 0.12	0.50~ 1.00	1.00~ 1.50	0.70~ 1.00	V 0.15~ 0.40 Nb 0.10~ 0.25	≥ 540	≥ 440	≥ 17	47 (常温)		

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%						熔敷金属力学性能			
			C	Mn	Si	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J	热处理 规范
R340	E5500-B3-V WB (-)	特殊型含铬、钼、钨、钒的珠光体耐热钢焊条, 直流反接, 全位置焊, 焊前预热至 250~300℃。用于工作温度在 570℃ 以下的珠光体耐热钢 (如 15CrMoV 等)	≤0.12	0.50~ 0.90	1.50~ 2.50	0.30~ 0.80	V 0.20~0.60 W 0.20~0.60 B 0.001~ 0.003	≥540	≥440	≥17	—	(760± 15) ×1h 回火
R347	E5515-B3-V WB (-)	低氢钠型含铬、钼、钨、钒的珠光体耐热钢焊条, 直流反接, 全位置焊, 焊前预热至 320~360℃。用于工作温度在 620℃ 以下的珠光体耐热钢结构, 如高温高压汽轮机、锅炉管道等	≤0.12	0.50~ 0.90	1.50~ 2.50	0.30~ 0.80	V 0.20~0.60 W 0.20~0.60 B 0.001~ 0.003	≥540	≥440	≥17	47 (常温)	(730± 15)℃ ×2h 回火
R400	E6000-B3 (-)	特殊型含铬 2.5%、钼 1% 的珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 全位置焊, 焊前预热至 160~200℃。用于 Cr2.5Mo 类珠光体耐热钢结构, 如 550℃ 以下工作的高温高压管道、石油裂化设备、合成化工机械设备等	≤0.12	0.50~ 0.90	2.00~ 2.50	0.90~ 1.20	—	≥590	≥490	≥14	≥27 (常温)	(690± 15)℃ ×1h 回火
R402	E6003-B3 (-)	钛钙型含铬 2.5%、钼 1% 的珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 全位置焊, 焊前预热至 160~200℃。用于工作温度在 550℃ 以下的高温高压管道氩弧焊打底后的盖面焊	≤0.12	≤0.90	2.00~ 2.50	0.90~ 1.20	—	≥590	≥490	≥14	27 (常温)	(690± 15)℃ ×1h 回火
R406Fe	E6018-B3 (E9018-B3)	低氢型含铬 2.5%、钼 1% 的珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 全位置焊, 焊前预热至 160~200℃。用于 Cr2.5Mo 类珠光体耐热钢结构, 如 550℃ 以下工作的高温高压管道、石油裂化设备、合成化工机械设备等	≤0.12	0.50~ 0.90	2.00~ 2.50	0.90~ 1.20	—	≥590	≥490	≥15	47 (常温)	(690± 15)℃ ×1h 回火
R407	E6015-B3 (E9015-B3)	低氢钠型含铬 2.5%、钼 1% 的珠光体耐热钢焊条, 直流反接, 全位置焊, 焊前预热 200~300℃。用于 Cr2.5Mo 类珠光体耐热钢结构, 如 550℃ 以下工作的高温高压管道、石油裂化设备、合成化工机械设备等	≤0.12	0.50~ 0.90	2.00~ 2.50	0.90~ 1.20	—	≥590	≥490	≥15	47 (常温)	(730± 15)℃ ×2h 回火
R417	E5515-B3-V Nb (-)	低氢钠型含铬 2.5%、钼 1% 的珠光体耐热钢焊条, 交直流两用, 全位置焊, 焊前预热至 160~200℃。用于 Cr2.5Mo 类珠光体耐热钢结构, 如 550℃ 以下工作的高温高压管道、石油裂化设备、合成化工机械设备等	≤0.12	0.50~ 0.90	2.40~ 3.00	0.70~ 1.00	V 2.00~2.50 Nb 0.35~ 0.65	≥590	≥490	≥15	47 (常温)	(730± 15)℃ ×2h 回火
R427	E5515-B3-V Nb (-)	低氢钠型含铬、钼、钨、钒的耐热钢焊条, 直流反接, 短弧操作, 全位置焊, 焊前预热和层间温度为 300~400℃。用于工作温度在 620℃ 以下的 12Cr2MoWVB 和 12Cr3MoVSiTiB 耐热钢结构, 如高温高压锅炉中的蒸汽管道、过热器管道等	≤0.12	0.50~ 0.90	2.40~ 3.00	0.80~ 1.10	V 0.20~0.40 W 0.30~0.55 Nb 0.10 ~0.25	≥540	≥440	≥17	27 (常温)	(730± 15)℃ ×2h 回火

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%						熔敷金属力学性能				热处理规范
			C	Mn	Si	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J		
R507	E5MoV-15 (E8015-B6)	低氢钠型含钼 5%、钼的珠光体耐热钢焊条,具有高温抗氢腐蚀性,直流反接,短弧操作,全位置焊,焊前预热至 300~400℃(整个焊接过程中必须保持此温度)。用于 Cr5Mo 类珠光体耐热钢结构,如 400℃ 的高温抗腐蚀管道	≤ 0.12	0.50~0.90	4.50~6.00	0.40~0.70	V 0.10~0.35	≥ 520	—	≥ 14	—	—	(740~760)℃ ×4 h 回火
R517A	— (-)	低氢钠型含铬、钼、钒、铌的珠光体耐热钢焊条,直流反接,短弧操作,全位置焊,焊前预热至 250~350℃。用于工作温度在 650℃ 以下的 10Cr5MoWVTiB 等耐热钢,如高温高压锅炉再热蒸汽管道等	≤ 0.12	0.50~0.80	5.0~6.0	0.60~0.80	V 0.25~0.40 W 0.25~0.45 Nb 0.04~0.14	≥ 590	—	≥ 14	—	—	—
R707	E9Mo-15 (E8015-B8)	低氢钠型 Cr9Mo 耐热钢焊条,直流反接,短弧操作,全位置焊,焊前预热至 300~400℃。用于 Cr9Mo 耐热钢及过热器蒸汽管道等	≤ 0.15	0.50~1.00	8.50~10.00	0.70~1.00	—	≥ 590	—	≥ 16	—	—	—
R717	— (-)	低氢钠型含铬 9%、钼 1%、钒 0.8%、铌的贝氏体的马氏体耐热钢焊条,直流反接,短弧操作,全位置焊,焊接时焊件预热和层间温度为 300~400℃,焊后须经 730~750℃ 回火处理。用于工作温度在 600~650℃ 的 Cr9MoNiV 耐热钢,如蒸汽管道和过热器蒸汽管道等	≤ 0.12	0.60~1.20	8.00~9.50	0.80~1.10	V 0.15~0.40 Ni 0.40~1.00 Nb 0.02~0.08	≥ 590	—	≥ 16	—	—	—
R717A	— (-)	低氢钠型耐热钢焊条,直流反接,短弧操作,全位置焊,焊前焊件须预热至 250~350℃。用于 Cr9Mo 类耐热钢,如高温高压锅炉过热器蒸汽管道及石油精炼设备的加热器管道等	≤ 0.08	0.50~1.00	8.50~10.00	0.80~1.10	Ni 0.50~0.80	≥ 690	—	≥ 15	—	—	(730~750)℃ ×4 h 回火
R802	E11MoVNi-16 (-)	钛钙型 Cr11MoNiV 耐热钢焊条,交直流两用,全位置焊,焊前焊件须预热至 350~400℃。用于工作温度在 565℃ 以下的 1Cr11MoV 耐热钢	≤ 0.15	0.50~1.00	9.50~11.50	0.60~0.90	V 0.20~0.40 Ni 0.60~0.90	≥ 730	—	≥ 15	—	—	—
R807	E11MoVNi-15 (-)	低氢钠型 Cr11MoNiV 耐热钢焊条,直流反接,全位置焊,焊前焊件须预热至 350~400℃,用于工作温度在 565℃ 以下的 1Cr11MoV 耐热钢,如高压汽轮机的变速级叶片等	≤ 0.15	0.50~1.00	9.50~11.50	0.60~0.90	V 0.20~0.40 Ni 0.60~0.90	≥ 730	—	≥ 15	—	—	—
R817	E11MoVNi-15 W-15 (-)	低氢钠型 Cr11MoNiVW 耐热钢焊条,直流反接,全位置焊,焊前焊件须预热至 350~450℃。用于工作温度在 580℃ 以下的 Cr11MoNiVW 类耐热钢过热器及蒸汽管道等	≤ 0.19	0.50~1.00	9.50~12.00	0.80~1.10	V 0.20~0.40 Ni 0.40~1.10 W 0.40~0.70	≥ 730	—	≥ 15	—	—	—
R827	— (-)	低氢钠型 Cr11MoNiV 耐热钢焊条,直流反接,全位置焊,焊前焊件须预热至 350~400℃。用于工作温度在 565℃ 以下的 Cr11MoV、Cr11MoNiV 耐热钢结构,如过热器及蒸汽管道、高压汽轮机的变速级叶片等	≤ 0.19	0.50~1.00	9.50~12.00	0.80~1.10	V 0.20~0.40 Ni 0.40~1.10	≥ 730	—	≥ 15	—	—	—

金属的高温瞬时性能见表 6-34。

铬钼耐热钢焊条的选用见表 6-35。

表 6-34 钼和铬钼耐热钢焊条熔敷金属的高温瞬时性能

焊条牌号	试验温度 /℃	抗拉强度 σ_b /N·mm ⁻²	伸长率 δ_5 /%	断面收缩率 Ψ /%	热处理规范
R207	450	514	21.3	73.1	700℃×2h回火
	500	452	23.0	74.0	
R307	450	535	20.0	75.1	700℃×2h回火
	500	497	22.7	75.0	
R317	500	515	21.3	78.0	720℃×4h回火
	550	456	21.3	79.8	
R327	570	470	16.8	69.0	730℃×5h回火
R337	570	440	18.5	89.0	730℃×5h回火
R407	500	443	21.0	77.2	740℃×4h回火
	570	417	24.7	81.0	

表 6-35 铬钼耐热钢焊条的选用

类别	钢种	钢号		焊条型号	焊条牌号	预热及层间温度 /℃	热处理规范 /℃	
		中国	相当 ASTM					
珠光体耐热钢	0.5Mo	15Mo	A204 Gr. A. B. C	E5003-A1	R102	100~200	650~700	
			A335Gr. P1	E5015-A1	R107			
			A336C1. F1	E5018-A1	R106Fe			
	0.5Cr-0.5Mo	12CrMo	A387Gr. 2	E5053-B1	R202	200~250		
			A335Gr. P2	E5500-B1	R200			
	1Cr-0.5Mo	15CrMo	A387Gr. 12	E5503-B2	R302	250~300		
			A387Gr. 11	E5515-B2	R307 R307H			
	1Cr-Mo	20CrMo	A335Gr. P11	E5515-B1	R207	250~300		
			A213Gr. T11	E5515 B2	R307 R307H			
	1Cr-0.5Mo-V	12Cr1MoV		E5500-B2-V	R310	250~350		710~750
				E5503-B2-V	R312			
				E5515-B2-V	R317			
	15Cr1MoV		E5515-B2-VW	R327	300~350	710~730		
			E5515-B2-VNb	R337		680~720		
	20Cr1MoV		E5515-B2-V	R317				
2.25 Cr-1Mo	Cr2.5Mo	A387 Gr. 22 A335 Gr. P22 A213 Gr. T22 A336 C1. F22 A182 Gr. F22	E6000-B3	R400	250~300	710~750		
			E5515-B2-V	R406Fe				
			E6015-B3	R407				
3 Cr-1MoVSiTB	12Cr3MoVTiB	A542Type C. Cl. 40	E5515-B3-VNb	R417Fe. R427	250~350	750~770		
0.5MoVWSiBRE	12MoWSiBRE		E5515-B2-V E5515-B2-VW	R317 R327				
2 Cr-MoWVTiRE	12Cr2MoWVTiB		E5500-B3-VWB E5515-B3-VWB	R340 R347	250~350	1000~1030正火 +760~780回火		
1 Cr-Mo-V	2G15Cr1MoV	A289 Gr. C24	E5515-B2-VW	R327	300~350	710~750		
	2G20CrMoV		E5515-B2-VNb	R337				

续表

类别	钢种	钢号		焊条型号	焊条牌号	预热及层间温度/℃	热处理规范/℃	
		中国	相当 ASTM					
马氏体耐热钢	5Cr-0.5Mo	Cr5Mo	A387 Gr. 5 A335 Gr. P5	E5MoV-15 (E8015-B6)	R507	250~350	740~760	
	5Cr-MoWVTiB	Cr5MoWVTiB	A335 Gr. C5	—	G106			
	7Cr-1Mo	Cr7Mo		E9Mo-15 (E8015-B8)	R707 R717A	300~400	730~750	
	9Cr-1Mo	Cr9Mo	A387 Gr. 9					
	9Cr-1Mo-No-V	Cr9MoNiV	A213 Gr. T91 A387 Gr. 91 A335 Cr. P91	— (E9015-H9)	R717			
	11Cr-MoV	1Cr11MoV			E11MoVNi-16 E11MoVNi-15 E11MoVNiW-15	R802 R807 R817	300~400	680~720
		1Cr11MoNiVW	A351					
	12Cr-1MoV	1Cr12MoVW	(AISI Type 422)		E11MoVNiW-15 E11MoVNi-15	R817 R827	350~450	740~760
		2Cr12MoV			E11MoVNi-15	R827		

注: 1. G106 为非标准焊条, 其化学成分 (%) 为 $C \leq 0.12$, $Mn 0.5 \sim 0.8$, $Si \leq 0.7$, $Cr 5.0 \sim 6.5$, $Mo 0.6 \sim 0.8$, $V 0.25 \sim 0.40$, $W 0.25 \sim 0.45$, $B < 0.005$, $S, P \leq 0.03$ 。

2. E××××-B× 为 AWS 型号。

(三) 耐热钢焊条的使用注意要点

低合金耐热钢焊条使用时的一般注意事项基本上可参照低合金高强度钢焊接施工注意要点。这里仅提出应特别注意的地方。

1. 预热和焊后热处理

低合金耐热钢由于含有一定量的碳和合金元素, 所以焊接时有一定的淬硬倾向。在较大拘束应力作用下, 容易产生冷裂纹, 可焊性较差。因此, 焊前工件必须进行预热, 并保持一定的层间温度。其预热温度可参照相同强度等级的低合金高强度钢, 也可参照表 6-36 的预热温度。预热的方法对小型工件可进行整体预热, 而对大型工件可进行局部预热。坡口两侧的加热宽度应为板厚的 5 倍以上。焊后, 为了加速扩散氢的逸出, 消除残余应力及改变焊接接头热影响区的组织, 降低焊缝硬度及获得良好的力学性能必须进行焊后热处理。由于珠光体和马氏体耐热钢具有形成延迟裂纹的倾向, 因此, 热处理必须在焊后立即进行, 但经中间热处理或去氢处理的焊件除外。珠光体耐热钢回火温度比低碳钢要高, 保温时间也长, 但回火温度一般不能超过母材调质时的回火温度。焊后热处理规范要严格控制, 注意防止回火脆性和再热裂纹。表 6-36 为低合金耐热钢的预热及焊后热处理规范。加热及冷却速度每小时在 $200 \times \frac{25}{t}$ ($^{\circ}C$) (t 为板厚, mm) 以下, 最大不超过 $200^{\circ}C/h$ 。

在异种耐热钢焊接时, 过去常以满足高级钢方面性能的要求来选用焊条, 但施工条件要求严格且容易产生缺陷, 所以现在改为以低级钢方面为主来选用焊条。异种耐热钢焊接用焊条的选择可参见表 6-37。通常, 合金元素含量高的一侧焊接性较差, 所以应按此钢种选定预热温度及焊后热处理规范。

对于淬硬倾向较大的 Cr5Mo、Cr9Mo 等钢种, 在焊后不能进行热处理的部位, 可选用塑性、韧性好的铬镍奥氏体钢焊条, 如 A302、A402 等焊条进行焊接。

表 6-36 低合金耐热钢的预热及焊后热处理规范

钢种	预热温度/℃	焊后热处理		钢种	预热温度/℃	焊后热处理	
		温度/℃	保温时间/h· (25 mm) ⁻¹			温度/℃	保温时间/h· (25 mm) ⁻¹
16Mo	100~200	650~700	2	ZG20CrMoV	350~400	680~720	2
12CrMo	150~250	650~700	2	ZG15Cr1MoV	350~400	680~720	2
15CrMo	150~250	690~730	2	Cr2.5Mo	200~350	710~760	2
12Cr1MoV	200~300	710~750	2	Cr5Mo	300~350	730~780	2
12Cr2MoWVB	250~300	760~780	2	Cr9Mo	300~400	730~780	2
13Cr3MoVSiTiB	300~350	740~760	2	Cr12WMoV	400~450	720~760	2
13SiMnWVB	250~300	740~760	2				

表 6-37 异种耐热钢焊接用焊条的选择

钢种	碳钢	0.5Mo	1Cr-0.5Mo	2.25Cr-1Mo	5Cr-0.5Mo	Cr18Ni9	Cr18Ni9Ti	Cr18Ni9Mo
5Cr-0.5Mo	J507	R107	R307	R407	R507	A302	A302	A302、A312
	200~300 620	200~300 620	200~300 690	200~300 690	250~350 750	150~250 720	150~250 720	150~250 720
2.25Cr-1Mo	J507	R107	R307	R407		A302	A302	A302、A312
	150~250 620	150~250 620	150~250 690	200~300 690		150~250 720	150~250 720	150~250 720
1Cr-0.5Mo	J507	R107	R307					
	100~200 620	100~200 620	150~225 690					
0.5Mo	J507	R107						
	100 620	100~200 620						

注：上面数字为焊条牌号；
中间数字为预热温度，℃；
下面数字为回火温度，℃。

2. 焊接

为了防止合金元素的氧化烧损，应适当选用小电流，短弧操作。焊缝的余高是造成焊接接头应力集中的原因之一，因此应加以限制。一般，板厚在 12 mm 以下时，余高不大于 1.5 mm；板厚 12~25 mm 时，余高不大于 2.5 mm；板厚大于 25 mm 时，余高不大于 3 mm。此外要控制焊接线能量范围，适当减薄每层焊缝的厚度。线能量的大小是左右抗裂性和力学性能的重要因素，施焊时应予注意，既不能过大，也不能过小。线能量过大时，焊缝金属韧性降低。但过于小的线能量也会使韧性降低，这是因为焊接时，前一道焊缝受到后一道焊缝的热循环作用，促使晶粒细化，韧性提高；当线能量过小时，则受热影响的区域变窄，因而不足以使晶粒充分细化，造成韧性降低。

此外，在马氏体耐热钢焊接时，要充分注意到弧坑裂纹问题。发生在马氏体耐热钢焊缝中的弧坑裂纹呈龟裂状。弧坑裂纹常常是导致整个焊接工作失败的主要原因，因此手弧焊时，在收弧处要用快速的多次“点弧焊”手法来填满弧坑，以避免弧坑裂纹。

五、不锈钢电焊条

(一) 不锈钢的种类和性质

由于不锈钢具有优良的耐蚀性、抗氧化性、耐热性及良好的力学性能和加工性能，因

此，广泛用于石油化工、医疗器械、食品机械和原子能工业等。

不锈钢是以铬为主加元素的钢，大致可分为高铬型不锈钢和高铬镍型不锈钢。高铬型不锈钢主要含铬（大于12%），它对硝酸之类的氧化性酸具有一定的耐蚀性，但对硫酸、盐酸等非氧化性酸却无耐蚀能力。若在高铬型不锈钢中再加入一定数量的镍，则又能在非氧化性酸中显示出优良的耐蚀性能，于是发展成了高铬镍型不锈钢。此外，为了节约合金元素镍及获得某些特殊的性能，还发展了Cr-Mn-N型和Cr-Mn-Ni-N型不锈钢。

根据不锈钢的显微组织，又可分为铁素体型、马氏体型、奥氏体型、奥氏体+铁素体型和沉淀硬化型不锈钢。

高铬型不锈钢包括马氏体型不锈钢和铁素体不锈钢两大类，同时存在马氏体和铁素体的双相钢称为半马氏体（或半铁素体）型不锈钢。高铬镍型不锈钢则包括奥氏体型不锈钢和奥氏体-铁素体双相不锈钢。通常所指的双相不锈钢，若未加说明，一般是指奥氏体-铁素体双相不锈钢。严格地说，按照相比例的多少，可分为以奥氏体为基体的奥氏体-铁素体双相不锈钢（一般铁素体含量为5%~20%）和目前常用的双相钢，多是以铁素体为基体组织（一般铁素体占50%~70%，奥氏体占50%~30%），应称为铁素体双相不锈钢，它们含有较高的铬（18%~28%）和较低的镍（一般4%~10%）。

表6-38列出了部分常用不锈钢的主要化学成分。对于高铬镍型不锈钢，除了采用标准的钢号标志符号外（如0Cr18Ni9），也可采用较简单的两位数字符号来表示，如18-8、25-13等。其中第一位数字表示钢中的平均含铬量，而第二位数字则表示平均含镍量。如18-8钢，表示该不锈钢中平均含铬量为18%，平均含镍量为8%以上。某些工业发达国家（如美国、日本等）习惯以三位数字来表示不锈钢的牌号，如3××为铬镍不锈钢系列，4××为铬不锈钢系列，具体钢号举例可参见图6-12、图6-13及图6-14中数字。

以Cr13不锈钢为代表的马氏体不锈钢，在常温下，具有马氏体组织。在这种马氏体不锈钢中，有含碳量不同的1Cr13、2Cr13、3Cr13钢，有稍许增加含铬量且添加少量的镍和钒

表 6-38 部分常用不锈钢的主要化学成分

/%

类别	钢号	相当 AISI 钢号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	其 他					
铁 素 体 型	0Cr13	410S	≤0.08	≤0.6	≤0.8	12~14	—	—	—	—					
	1Cr14S		≤0.15			13~15				S 0.2~0.4					
	1Cr17	430	≤0.12	≤0.8		16~18				—					
	1Cr28	446	≤0.15	≤1.0		27~30				—	≤0.2				
	1Cr17Ti		≤0.12	≤0.8		16~18				—	5×C%~0.8				
	1Cr25Ti			≤1.0		24~27				—	5×C%~0.8				
	1Cr17Mo2Ti	434	≤0.10	≤0.8		16~18				—	1.6~1.9	≤7×C%			
马 氏 体 型	1Cr13	410	0.08~0.15	≤0.6	≤0.8	12~14	—	—	—	—					
	2Cr13	420	0.16~0.24								—	0.5~1			
	3Cr13Mo		0.28~0.35								—	—			
	1Cr17Ni2	431	0.11~0.17								≤0.8	16~18	1.5~2.5	—	
	2Cr13Ni2		0.2~0.3								≤0.5	0.8~1.2	12~14	1.5~2	—
	9Cr18MoV		0.85~0.95								≤0.8	≤0.8	17~19	—	1~1.3

续表

类别	钢号	相当 AISI 钢号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	其他																																																						
奥氏体 型	00Cr18Ni10	304L	≤0.03	≤1.0	≤2.0	17~19	8~12	—	—	—																																																						
	0Cr18Ni9	304	≤0.06				—				—	—	—																																																			
	1Cr18Ni9	302	≤0.12											—	—	—	—																																															
	0Cr18Ni9Ti	321	≤0.08															—	—	—	5×C% - 0.7																																											
	1Cr18Ni9Ti		≤0.12																		—	—	—	5(C% - 0.02) - 0.8																																								
	1Cr18Ni11Nb	347	≤0.10																					—	—	17~20	9~13	—	Nb 8×C% - 1.5																																			
	00Cr17Ni14Mo2	316L	≤0.03																							—	—		16~18	12~16	—	—																																
	0Cr18Ni12Mo2Ti		≤0.08																										—	—			—	—	1.8~2.5	5×C% - 0.7																												
	1Cr18Ni12Mo2Ti		≤0.12																																—	—	16~19	11~14	—	5(C% - 0.02) - 0.8																								
	00Cr17Ni14Mo3		≤0.03																																		—	—		16~18	12~16	—	—																					
	0Cr18Ni12Mo3Ti		≤0.08																																					—	—			—	—	2.5~3.5	5×C% - 0.7																	
	1Cr18Ni12Mo3Ti		≤0.12																																											—	—	16~19	11~14	—	5(C% - 0.02) - 0.8													
	00Cr18Ni14Mo2Cu2		≤0.03																																													—	—		17~19	12~16	1.2~2.5	—	Cu 1~2.5									
	0Cr18Ni18Mo2Cu2Ti		≤0.07																																																—	—	17~19	17~19	1.8~2.2	≥7×C%	Cu 1.8~2.2							
	0Cr23Ni13	309S	≤0.08																																																		1.5~2.5	≤1.5	22~24	12~15	—	—	—					
	0Cr25Ni20	310S																																																					24~26	19~22								
	1Cr20Ni14Si2		≤0.2																																																				1.5~2.5	≤1.5				19~22	12~15	—	—	—
	1Cr25Ni20Si2																																																											24~27	18~21			
0Cr23Ni28Mo3Cu3Ti		≤0.06	≤1.0	≤2.0	22~25	26~29		2.5~3	0.4~0.7	Cu 2.5~3.5																																																						
1Cr17Mn6Ni5N	201	≤0.15			5.50~7.50	16~18	3.5~5.5	—	—	—	N≤0.25																																																					
1Cr18Mn8Ni5N	202	≤0.15			7.5~10	17~19	4~6				—	—	—	N≤0.25																																																		
沉淀硬化型	0Cr17Ni4Cu4Nb	630			≤0.07	≤1.00	≤1.00							15.5~	3.0~	—	—	—																																														
														17.5	5.0																																																	
0Cr17Ni7Al	631	≤0.09			≤1.00									≤1.00	16.0~				6.50~	—	—	—	Al 0.75~1.50																																									
															18.0				7.50				Cu≤0.50																																									

元素以改善力学性能的 1Cr17Ni2、9Cr18MoV 不锈钢，以及添加硫和硒以改善切削性能的 1Cr14S 不锈钢。

以 Cr17 不锈钢为代表的铁素体不锈钢，在常温下具有铁素体组织。这类铁素体不锈钢，有含铬量为 16%~18% 的 1Cr17、1Cr17Ti 不锈钢。在 Cr13 型不锈钢中，在控制含碳量的前提下，可添加少量铝元素来抑制淬火硬化性，并改善焊接性，如 Cr13Al 不锈钢。当含铬量提高到 20%~25% 时，则可明显提高该钢在高温下的抗氧化性，特别是对含硫气体的耐腐蚀性，如 1Cr25Ti 不锈钢。铁素体不锈钢和马氏体不锈钢的系统分别如图 6-12、图 6-13 所示。

Cr18Ni9 不锈钢是基本的铬镍奥氏体型不锈钢，这类钢即使从高温中缓慢冷却下来也还保持着奥氏体组织。18-8 钢具有耐大气腐蚀及各种酸腐蚀的作用，通常在低于 700~750℃ 的温度下使用。少许增加些镍，能获得稳定的奥氏体组织，且可改善冷加工性能；而大幅度增加镍和铬含量，就可得到耐热性明显改善的 Cr25Ni13、Cr25Ni20 不锈钢等。同时，为了

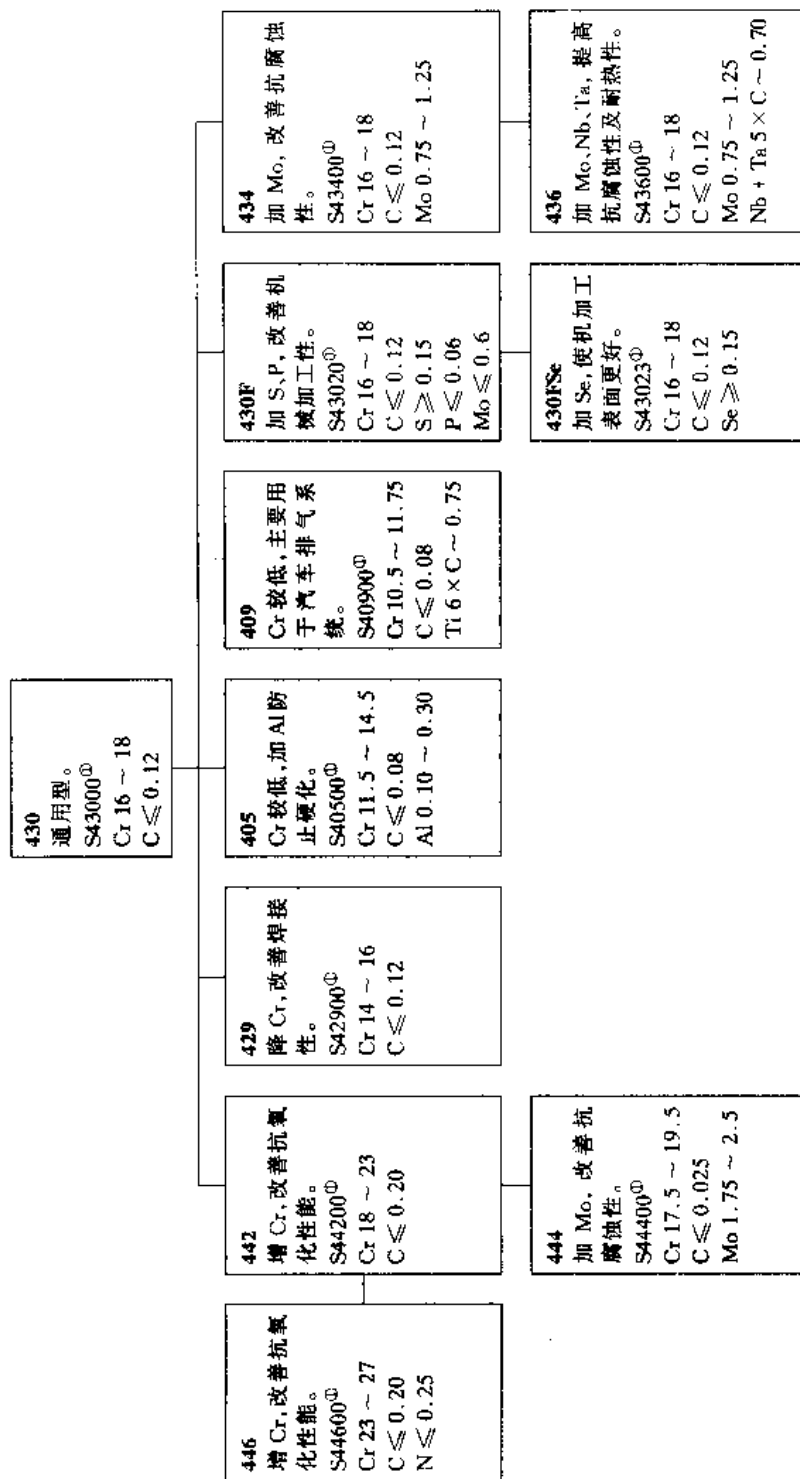


图 6-12 铁素体不锈钢系统
Ⓛ ASTM-SAE 统一数字系统的钢号。

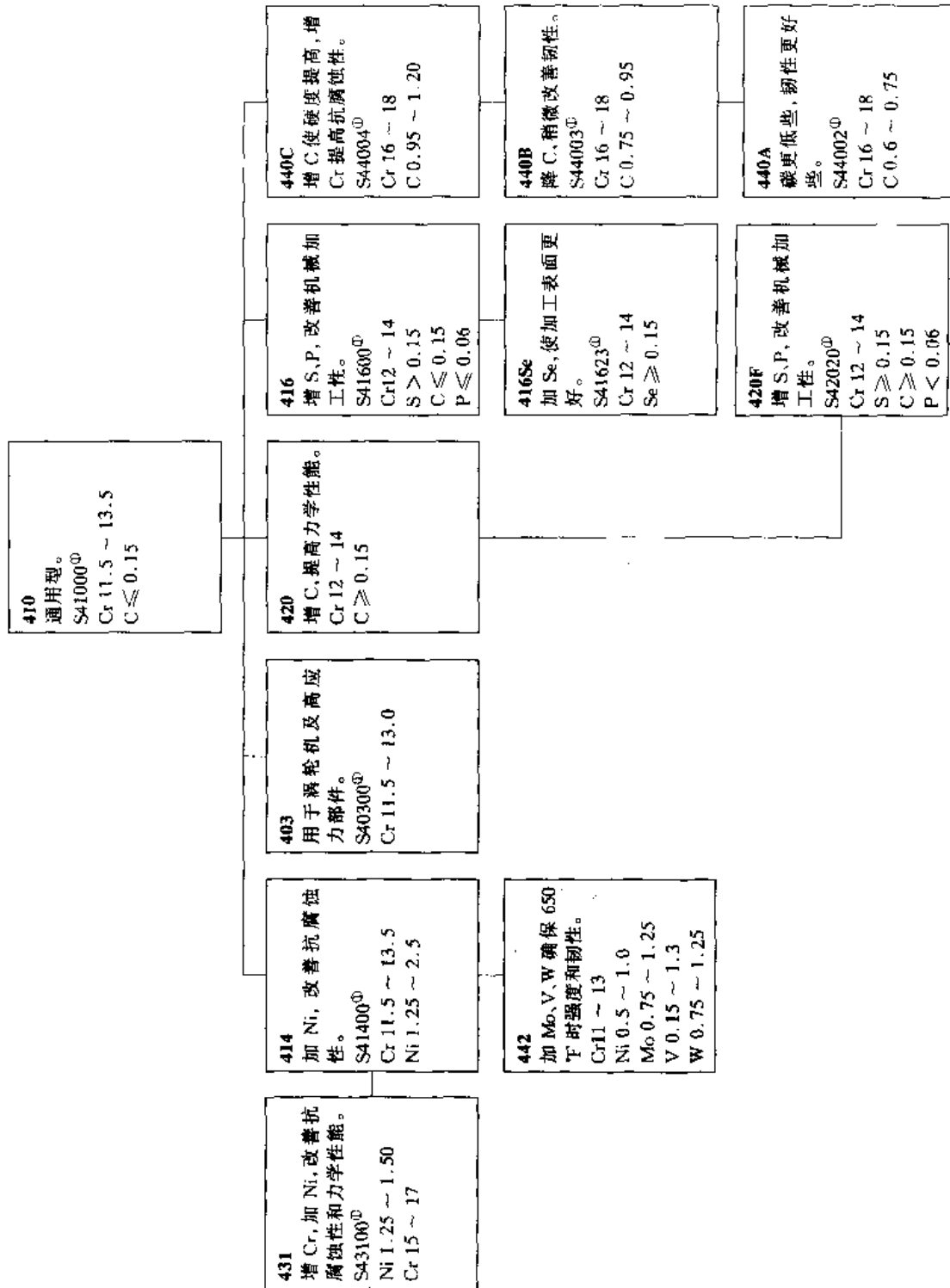
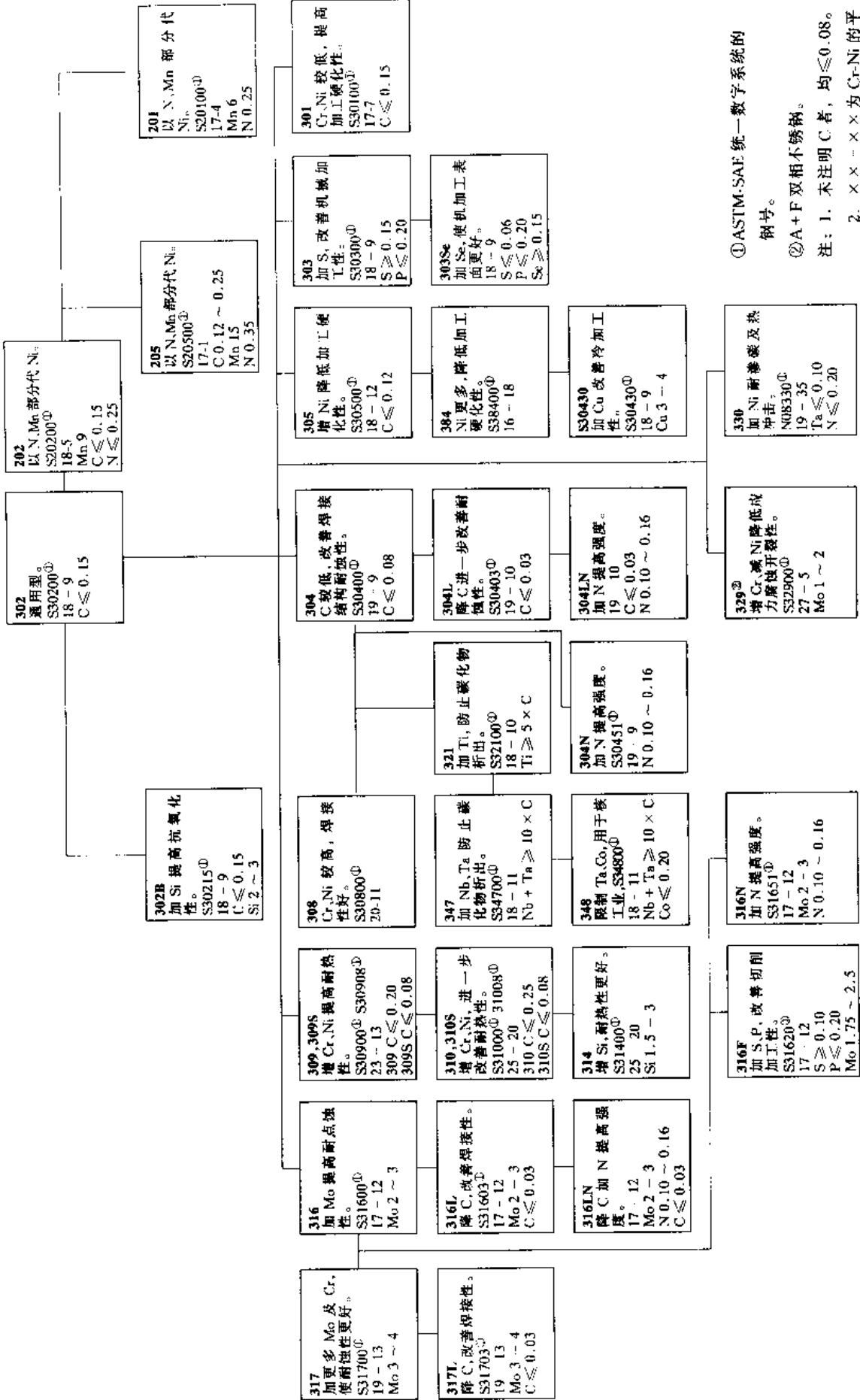


图 6-13 马氏体不锈钢系统
① ASTM-5AE 统一数字系统的钢号。



① ASTM, SAE 统一数字系统的钢号。
② A+F 双相不锈钢。
注: 1. 未注明 C 者, 均 ≤ 0.08。
2. × × × × × 为 Cr-Ni 的平
均含量。

图 6-14 奥氏体不锈钢系统

增强对还原性酸的耐蚀性，可添加钼和铜，如 Cr18Ni12Mo2Ti、Cr18Ni12Mo2Cu2 不锈钢。为了防止晶间腐蚀，可大大降低含碳量 ($C \leq 0.03\%$)，如 00Cr18Ni10、00Cr18Ni12Mo2Ti 超低碳不锈钢。为了同一目的而添加钛或铌，如 1Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni11Nb 稳定化奥氏体不锈钢等。25-20 属于不起皮热强钢，通常用于 1000~1150℃ 以下的气体介质中。有些不锈钢除了在各种不同的液态或气态酸性介质中具有抗腐蚀的能力外，在高温时也有较高的抗氧化（形成氧化皮）能力（如 Cr25 钢在 1000~1100℃ 温度下不起皮），并且在高温时能保持足够的强度（1Cr18Ni9Ti 钢在 600~650℃ 下，Cr18Ni12Mo3Ti 钢在 700~800℃ 以下）。

可以向不锈钢中添加不同的合金元素以获得所要求的性能，各种合金元素在不锈钢中的作用见表 6-39。奥氏体不锈钢系统如图 6-14 所示。

18-8 型不锈钢是最常用的不锈钢，其物理性能与碳钢相比具有下列特点：

- (1) 低的导热系数，约为碳钢的 1/3；
- (2) 高的电阻，约为碳钢的 4 倍；
- (3) 大的膨胀系数，比碳钢大 40%，随着温度升高，线胀系数也相应地增加。

表 6-39 合金元素在不锈钢中的作用

合金元素	添加的冶金效果			添加目的						
	铁素体的形成	奥氏体的形成	碳化物的形成	防止晶间腐蚀	增加耐蚀性	防止生成高温氧化膜	增加高温强度	赋予时效硬化性	改善机加工性	细化晶粒
铝(Al)	A					A		B		
碳(C)		A	B				B			
铬(Cr)	B		B		A	A				
钴(Co)							A			
铌(Nb)	B		A	A			A	A		B
铜(Cu)					A			B		
锰(Mn)		C	C							
钼(Mo)	B		C		A		B			
镍(Ni)		B			A	B	B			
氮(N)		A					B			A
磷(P)								B	A	
硒(Se)									A	
硅(Si)	B				B	A		B		
硫(S)									A	
钽(Ta)	B		B	B			B	B		B
钛(Ti)	A		A	A		B	B	B		A
钨(W)	C		B				B			A

注：A—效果强烈；B—中等效果；C—效果较弱。

由于 18-8 型不锈钢具有这些特殊的物理性质，在焊接过程中就会引起较大的焊接变形及焊接应力，因此，焊接时要采取适当的工艺措施。

18-8 型不锈钢即使在低温时仍能保持足够的塑性和韧性，甚至在液氮温度（-270℃）时仍有足够高的冲击值，同时在液氢温度（-253℃）下还能阻止应力集中部位造成的脆性破坏，因此被广泛用于深冷设备的材料。此外，18-8 型不锈钢在高温时有较高的热强性，在 900℃ 的氧化性介质和在 700℃ 的还原性介质中，都能保持化学稳定性，所以又可作为耐热钢使用。

(二) 不锈钢焊条的种类

国产不锈钢焊条已达数十种，通常以熔敷金属的化学成分进行分类。一般不锈钢焊条大都以与熔敷金属化学成分相近的不锈钢丝作焊芯，外面涂敷药皮。个别的也有以低碳钢丝作焊芯，外面涂敷带有大量合金剂的药皮。但由于这种焊条通过药皮过渡合金元素，所以熔敷金属化学成分容易受焊条药皮厚度及焊接规范的影响，波动较大，且合金元素过渡系数比采用不锈钢焊芯的低，故一般应用较少，常用于堆焊及焊接某些不重要的结构。

不锈钢焊条的药皮类型比较简单，一般分为三类。一类是药皮类型代号为 15 的焊条，通常为碱性焊条。这类焊条药皮中含有大量的钙或其他碱土金属碳酸盐和氟化物，其焊接工艺性能与碳钢低氢型焊条相似，电弧不够稳定，飞溅较多，脱渣性稍差，焊缝外观容易成凸形，焊波较粗，可进行全位置焊接，但只适用于直流反接电源。该类焊条熔敷金属的抗裂性较好，因此可用来配制熔敷金属为奥氏体或马氏体类型等抗裂性较差的不锈钢焊条，适用于焊接刚性较大、中板以上的结构。在整个不锈钢焊条产品中，碱性药皮焊接约占 10% 左右。另一类是药皮类型代号为 16 的焊条，其药皮可以是碱性的，也可以是钛型或钛钙型的，这类焊条药皮中含有大量的二氧化钛及一定量的钙、镁的碳酸盐，具有良好的焊接工艺性能，电弧柔软，飞溅少，焊缝光滑，成形美观，一般熔深稍浅，可进行全位置焊接，使用交流或直流电源，但由于不锈钢芯电阻大，交流焊接时焊条药皮容易发红、开裂，后半段焊条工艺性能恶化，因此应尽可能采用直流电源。还有一类是药皮类型代号为 17 的焊条，它是药皮类型 16 的变型，与药皮类型 16 相比，用部分硅铝酸盐代替二氧化钛，并相应减少了碳酸盐的含量，因此，国外厂商将它称为金红石型或钛酸型。该类焊条熔滴以附壁过渡为主，产生较多的喷射电弧，比药皮类型 16 的焊缝成形焊波更细密、扁平、圆滑。横角焊缝的形状，药皮类型 16 稍有凸形，而药皮类型 17 则呈凹形。当从下向上立焊角焊缝时，药皮类型 17 熔渣凝固较慢，需要采用轻微摆动的工艺，以形成合适的焊缝形状，因此角焊缝最小焊脚尺寸比药皮类型 16 大些。这类焊条可用于全位置焊接，可使用交流或直流电源。与药皮类型 16 的相比，这类焊条的熔化系数可提高 20% 以上，即使焊条长度增加 50 mm，仍可采用较大的焊接电流，而不出现因后半段焊条药皮发红、焊接工艺严重恶化现象，因此减少了焊条头损耗，并提高熔敷效率，故近年来，国内外都大力研制、推广使用药皮类型 17 的焊条，其用量已超过药皮类型 16 的焊条。表 6-40 列出两种类型焊条药皮的主要成分，表 6-41 和表 6-42 分别列出两种焊条的工艺性能和使用性能的比较。

表 6-40 两种焊条药皮主要成分

/%

药皮类型	TiO ₂	碳酸盐	硅铝酸盐	氟化物
16	40~46	约 20	<10	7~11
17	32~40	≤10	25~40	4~10

表 6-41 两种焊条的工艺性能比较



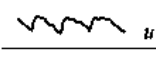

药皮类型	熔滴过渡类型	示波器电压波形曲线	电弧电压 U/V	电弧吹力	套筒长度 /mm	套筒形状	飞溅	可采用电流	焊缝外观	操作手感
16	短路过渡为主		22~24	小	短(0.5~1.5)		一般	小	焊道凸起纹稍粗	一般、电弧柔软
17	渣壁过渡为主、间有短路过渡		26~30	较大	长(1.5~3)		小	比(16)大 20%~30%	焊道平滑纹细	好、电弧爽、电弧挺度好

表 6-42 两种焊条的使用性能比较

药皮类型	立焊操作性	角焊缝形状	焊条再烘干温度 T/°C	药皮发红开裂倾向	焊条前后半段工艺性能稳定性	熔化系数	焊条可制成长度
16	好	稍有凸形	150~250	较大,后半段药皮易开裂、掉皮	差,后半段熔化快,电弧无吹力,约 1/3 长不能焊	小	短
17	比(16)稍差 (熔渣凝固较慢、有长渣性)	成凹形	280~320	小	好,前后段变化不大,可焊完整根焊条	比(16)约大 20%~30%	可比(16)加长 50 mm

钛酸型(17)的药皮由于氧化性较强,故 Mn 的烧损较严重,碳也有部分烧损。同时,由于药皮中含有大量的硅铝酸盐,熔渣碱度小,故渗硅严重。两种药皮类型焊缝金属中 Mn、Si 的差别见表 6-43。

表 6-43 两种焊缝金属化学成分比较

药皮类型	Mn	Si
16	1.4~2.0	0.3~0.5
17	0.8~1.2	0.7~0.9

钛钙型(16)的抗裂性好,这种类型的药皮可以配制各种 Cr 和 Cr-Ni 型不锈钢焊条。而钛酸型(17)的焊缝金属含氧量比钛钙型(16)的稍高。其抗裂性一般。在拘束度较大的结构焊接时,有可能产生裂纹,它不适用于配制纯奥氏体型的铬镍不锈钢焊条。

通过焊条配方调试发现,当钛酸型(17)焊条药皮中的硅铝酸盐含量增加时,熔滴细化,短路次数及短路时间减少,电弧电压较高,焊条熔化速度及熔化系数提高,当硅铝酸盐增加,碳酸盐降低,达到一定含量时,实现了由短路过渡向以渣壁过渡为主,间有短路过渡的熔滴过渡方式的转变。熔滴的细化,可以归结为多种原因,可以是电弧电压的提高,也可以是焊条端部弧柱产生的气体动力学压力的增高,但更主要的是液体金属饱和了氧,使表面张力降低,以及在提高 Si 和 Al 的氧化物含量时,金属熔渣相界上界面张力的降低。由于熔滴尺寸减少和向熔池过渡时间的缩短,降低了由于液体金属过热而引起的热功率损耗,提高了传到固体金属的热量份额,这又导致了熔化边界推进速度的提高,从而使焊条的熔化速度及熔化系数提高。由于实现了熔滴以渣壁过渡为主,间有短路过渡的细小熔滴过渡。电压、电源曲线变化平稳,减少了短路过渡时因短路过桥崩断所产生的熔滴振荡及噪声,飞溅也相应减小,从而体现了钛酸型不锈钢焊条的良好工艺性能。

当前市场上销售国产钛酸型不锈钢焊条,在焊接工艺性能方面,已与国外同类产品的先进水平相当,但在焊缝气孔敏感性方面尚不够稳定。根据钛酸型渣系特点,气孔敏感性大是因药皮含硅铝酸盐多所致。一方面,在电弧高温作用下,硅铝酸盐中的结晶水及化合水大量蒸发分解,加上药皮中碳酸盐量减少,分解出的 CO₂ 量少,使电弧气氛中的 H₂ 分压增大,造成熔滴和熔池高温区增氢的有利条件。同时,熔滴细化,使熔滴表面积增大,吸收的氢增多。另一方面,高硅铝酸盐渣系在焊接冶金过程中渗硅倾向大,而 Si 又是液态金属中的表面活性元素,对氢的析出有抑制作用。在这些因素综合作用下,就使钛酸型不锈钢焊条的气孔敏感性要比钛钙型的高。降低气孔敏感性的途径主要是:严格控制药皮原料的结晶水

含量，对硅铝酸盐等材料进行高温脱水处理，使药皮中的结晶水量小于 0.4%；采用多种氟化物（包括萤石、氟硼酸钾、氯化稀土、冰晶石等），以提高焊条的抗气孔能力；采用合理的焊条烘干工艺，先在 80~120℃ 温度区域保温，使水玻璃膜中的水分缓慢析出，减少水玻璃薄膜中的多层泡沫结构，然后，在保证药皮有足够强度不引起变酥或开裂的前提下，尽量提高烘干温度至 350~400℃；药皮中加入一定量的化学物质，使药皮实现“难吸潮”。当然近期试验也发现，当药皮中的结晶水含量超过 1.1% 时，由于熔池中溶解了大量的气体，焊接熔池在不断的沸腾中容易使 H₂ 逸出，而不致产生气孔，这就是最近所研制的所谓高水分钛酸型不锈钢焊条，它可以使烘干温度降低到 250℃ 以下，对焊条在保管过程中的吸潮不敏感，还能保持较好的工艺性能。但这类焊条若药皮中含结晶水物质量控制不当，容易在焊缝后段或弧坑产生气孔、大直径焊条的焊缝金属的抗裂性较差，尚需进一步研究改进。

药皮类型 25、26 的焊条药皮成分和焊接工艺操作特征分别与药皮类型 15、16（17）非常相似，其差别在于药皮类型 25、26 焊条可采用与熔敷金属成分相近的合金钢芯，也可用成分相差很大、允许较大焊接电流的低碳钢芯，通过药皮大量过渡标准中规定的合金元素，因此，该类焊条的外径较大，具有较高的熔敷效率，一般可达 130%~175%。这种药皮类型为 25、26 的焊条，其焊接工艺性能特点有些类似于碳钢高效铁粉焊条，仅推荐用于平焊和横焊。

不锈钢主要用于耐腐蚀，但也用作耐热钢和低温钢。因此，在焊接不锈钢时，焊条的性能必须与用途相符。此外，奥氏体不锈钢焊条也可用于铁素体钢和奥氏体钢等异种钢的焊接。

表 6-44 为常用不锈钢焊条的成分、性能和用途。

（三）不锈钢焊条的选择

通常不锈钢主要是利用其所特有的耐热、耐蚀性能，因此焊条要根据不锈钢的材质、工作条件（包括工作温度和接触介质等）来选用。选择不妥会降低接头强度，增大腐蚀倾向，缩短产品使用寿命。

对于在高温工作的耐热不锈钢，所选用的焊条主要应能满足焊缝金属的抗热裂纹性能和焊接接头的高温性能。对 $Cr/Ni \geq 1$ 的奥氏体耐热钢，如 1Cr18Ni9Ti、Cr17Ni13W、Cr19Ni9WMoNbTi 等，一般均采用奥氏体-铁素体不锈钢焊条。焊缝金属中含 2%~5% 铁素体为宜。铁素体含量过低时，焊缝金属抗裂性差；若过高，则在高温长期使用或热处理时易形成 σ 脆化相，造成裂纹。对 $Cr/Ni < 1$ 的稳定型奥氏体耐热钢，如 Cr16Ni25Mo6、Cr15Ni25W4Ti2 等，一般应在保证焊缝金属具有与母材化学成分大致相近的同时，增加焊缝金属中 Mo、W、Mn 等元素的含量，使得在保证焊缝金属热强性的同时，提高焊缝的抗裂性。

对于在各种腐蚀介质中工作的耐蚀不锈钢，则应按介质和工作温度来选择焊条。对于工作温度在 300℃ 以上、有较强腐蚀性的介质，须选用含有 Ti 或 Nb 稳定化元素或超低碳不锈钢焊条，对于含有稀硫酸或盐酸的介质，常选用含 Mo 或含 Mo 和 Cu 的不锈钢焊条，对于在常温下工作，腐蚀性弱或仅为避免锈蚀污染的设备，方可采用不含 Ti 或 Nb 的不锈钢焊条。

一般来说，焊条的选用可参照母材的材质型号，选用与母材成分相同或相近的焊条。由于碳含量对不锈钢的抗腐蚀性能有很大的影响，因此，一般选用熔敷金属含碳量不高于母材

表 6-44 常用不锈钢焊条的成分、性能和用途

牌号	型号 (GB/T (AWS))	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							力学性能	
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%
G202	E410-16 (E410-16)	钛钙型药皮的 Cr13 不锈钢焊条, 交直流两用。用于 0Cr13 及 1Cr13 不锈钢, 也用于耐蚀、耐磨的表面堆焊	≤ 0.12	≤ 0.10	≤ 0.90	11.0~ 13.5	≤ 0.7	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 450	≥ 20
G207	E410-15 (E410-15)	低氢型的 Cr13 不锈钢焊条, 采用直流反接, 可全位置焊。用于 0Cr13 及 1Cr13 不锈钢, 也用于耐蚀、耐磨的表面堆焊	≤ 0.12	≤ 0.10	≤ 0.90	11.0~ 13.5	≤ 0.7	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 450	≥ 20
G217	E410-15 (E410-15)	低氢型的 Cr13 不锈钢焊条, 采用直流反接, 短弧操作, 可全位置焊, 焊前焊件需预热至 300~350℃, 焊后经 680~760℃ 回火处理, 焊缝金属回火温度即使在相变温度下也能得到良好的力学性能。用于 0Cr13、1Cr13、2Cr13 不锈钢, 如气轮机叶片的补焊及对接, 也用于耐蚀、耐磨的表面堆焊	≤ 0.12	≤ 0.10	≤ 0.90	11.0~ 13.5	≤ 0.7	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 450	≥ 20
G302	E430-16 (E430-16)	钛钙型的 Cr17 不锈钢焊条, 交直流两用。用于耐硝酸腐蚀、耐热的 Cr17 不锈钢结构	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.90	15.0~ 18.0	≤ 0.6	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 450	≥ 20
G307	E430-16 (E430-16)	低氢型的 Cr17 不锈钢焊条, 交直流两用。用于耐硝酸腐蚀、耐热的 Cr17 不锈钢结构	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.90	15.0~ 18.0	≤ 0.60	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 450	≥ 20
A001G15	E308L-15 (E308L-15)	氧化钛型耐发红高效率不锈钢焊条, 熔敷效率为 150%, 具有飞溅小、脱渣容易、焊缝美观、高效节能等特点, 直流反接。用于同类型不锈钢平焊或平角焊	≤ 0.04	0.5~2.5	≤ 0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 520	≥ 35
A002	E308L-16 (E308L-16)	钛钙型的超低碳 Cr19Ni10 不锈钢焊条, 熔敷金属含碳量 $\leq 0.04\%$, 有很好的抗晶间腐蚀性能, 可交直流两用, 工艺性能好。用于超低碳 Cr19Ni10 不锈钢和工作温度低于 300℃ 耐腐腐蚀的不锈钢 (如 0Cr19Ni11Ti), 主要用于合成纤维、化肥、石油等设备的制造	≤ 0.04	0.5~ 2.5	≤ 0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 520	≥ 35
A002A	E308L-17 (E308L-17)	氧化钛酸性超低碳耐发红高效率不锈钢焊条, 具有耐发红、飞溅小、引弧及再引弧性好、脱渣容易、焊缝美观等特点, 交直流两用。用于含钛稳定奥氏体不锈钢和同类型不锈钢, 焊条直径 ≤ 3.2 mm 时可全位置焊, 其他规格仅用于平焊或平角焊	≤ 0.04	0.5~ 2.5	≤ 0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 520	≥ 35

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能	
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%	
A012Si	(-)	钛钙型超低碳 Cr20Ni13Si4 不锈钢焊条,有很好的抗浓硝酸腐蚀性,可交直流两用,工艺性能好。用于抗浓硝酸腐蚀的超低碳 00Cr17Ni15Si4Nb 不锈钢	≤ 0.04	≤ 1.0	3.5~ 4.3	18.0~ 22.0	12.0~ 15.0	0.2~ 0.5	—	≥ 540	≥ 25	
A002Mo	E308Mo-16 (-)	钛钙超低碳不锈钢焊条,具有良好的耐腐蚀性及抗裂性,可交直流两用,工艺性能好。用于超低碳不锈钢或 00Cr18Ni9Ti 钢;如合成纤维、化肥、石油化工等设备	≤ 0.04	0.5~ 2.5	≤ 0.90	18.0~ 22.0	9.0~ 12.0	2.0~ 3.0	$Cu \leq 0.75$	≥ 520	≥ 35	
A022	E316L-16 (E316L-16)	钛钙型超低碳 Cr18Ni12Mo2 不锈钢焊条,具有良好的耐热、耐腐蚀及抗裂性,可交直流两用,工艺性能好。用于尿素、合成纤维等设备及相同类型的不锈钢,也用于焊后不热处理的铬不锈钢、复合钢和异种钢等	≤ 0.04	0.5~ 2.5	≤ 0.90	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 3.0	$Cu \leq 0.75$	≥ 490	≥ 30	
A022Si	E316L-16 (-)	钛钙型超低碳 00Cr19Ni11Mo2Si 不锈钢焊条,具有良好的抗应力腐蚀和点蚀性,可交直流两用,工艺性能最佳。焊接冶金设备中的衬板或管材	≤ 0.04	0.5~ 0.8	0.7~ 1.1	18.5~ 20.5	10.5~ 12.0	2.5~ 3.0	—	≥ 540	≥ 25	
A022L	E316L-16 (E316L-16)	钛钙型超低碳不锈钢焊条,具有良好的耐热、耐腐蚀、抗裂性,工艺性能好,可交直流两用。用于核安全一级熔盐奥氏体不锈钢管道和容器构件及尿素、合成纤维等设备和焊后不热处理的铬不锈钢、异种钢等	≤ 0.03	0.50~ 2.50	≤ 0.90	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 3.0	$Cu \leq 0.25$ $Cr \leq 0.08$	≥ 520	≥ 30	
A032	E317MoCuL-16 (-)	钛钙型超低碳 Cr19Ni13Mo2Cu 不锈钢焊条,交直流两用,焊缝中含有钼和铜,在硫酸介质中具有较高的抗腐蚀性。用于在稀、中浓度硫酸介质中工作的同类型超低碳不锈钢,如合成纤维等设备,也可焊接 Cr13Si3 耐热钢	≤ 0.04	0.50~ 2.50	≤ 0.90	18.0~ 21.0	12.0~ 14.0	2.0~ 2.5	$Cu \leq 2.0$	≥ 540	≥ 25	
A042	E309MoL-16 (E309MoL-16)	钛钙型超低碳 Cr23Ni13Mo2 不锈钢焊条,交直流两用,焊缝中加入适量的钼,提高了焊缝金属的抗裂性及耐蚀性。用于相同类型的超低碳不锈钢及异种钢等	≤ 0.04	0.50~ 2.50	≤ 0.90	22.0~ 25.0	12.0~ 14.0	2.0~ 3.0	$Cu \leq 0.75$	≥ 540	≥ 25	
A042Si	(-)	相当于瑞典 AVESTA P5 超低碳不锈钢焊条,交直流两用,具有良好的焊接工艺性能,加入适量的钼,提高了焊缝金属的抗裂性及耐蚀性。用于相同类型的超低碳不锈钢及异种钢等	≤ 0.04	≈ 1.3	0.7~ 1.1	≈ 22.5	≈ 13.5	≈ 2.7	—	≥ 550	≥ 30	

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							力学性能	
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%
A042Mn	— (—)	相当于荷兰 Philips BM310MoL 超低碳不锈钢焊条, 交直流两用, 具有良好的抗腐蚀性。用于尿素设备, 如 Cr25Ni22Mo2 型不锈钢	≤ 0.04	3.0~ 5.5	≤ 0.50	24.0~ 26.0	19.0~ 23.0	1.90~ 2.40	—	≥ 550	≥ 30
A052	— (—)	钛钙型超低碳 Cr18Ni24Mo5 不锈钢焊条, 焊缝金属具有耐含甲酸、醋酸介质点蚀及抗氯离子腐蚀性, 比 A022Si、A022 等焊条抗腐蚀性更好, 交直流两用, 工艺性能好。用于化学耐硫酸、醋酸、磷酸腐蚀的反应器、分离器, 也用于抗海水腐蚀的不锈钢及异种钢	≤ 0.04	≤ 2.0	≤ 1.00	17.0~ 22.0	22.0~ 27.0	4.0~ 5.5	Cu ≤ 2.0	≥ 490	≥ 22
A062	E309L-16 (E309L-16)	钛钙型超低碳 Cr23Ni13 不锈钢焊条, 可交直流两用, 在不含砷、钛等稳定化元素时也能抵抗因碳化物析出而产生的晶间腐蚀。用于不锈钢、复合钢和异种钢等, 如合成纤维、石油化工等设备, 也用于核反应堆压力容器内壁过氧层堆焊和塔内构件	≤ 0.04	0.5~ 2.5	≤ 0.90	22.0~ 25.0	12.0~ 14.0	≤ 0.75	Cu ≤ 0.75	≥ 520	≥ 25
A072	— (—)	钛钙型超低碳不锈钢焊条, 可交直流两用, 焊缝在 65% 硝酸沸腾介质中有良好的耐蚀性。用于 00Cr25Ni20Nb 不锈钢, 如核燃料设备等	≤ 0.04	1.0~ 2.0	≤ 0.80	27.0~ 29.0	14.0~ 16.0	—	—	≥ 540	≥ 25
A082	— (—)	钛酸型耐浓硝酸腐蚀用超低碳不锈钢焊条, 焊接工艺性好, 焊条药皮具有良好的抗发红开裂性能, 交直流两用。用于 00Cr17Ni15Si4Nb、00Cr14Ni14Si4 等耐浓硝酸腐蚀的不锈钢焊接和补焊	≤ 0.035	≤ 2.0	3.5~ 4.5	17.0~ 21.0	13.0~ 15.0	≤ 0.5	—	≥ 540	≥ 25
A101	E308-17 (E308-1)	钛型 Cr19Ni10 不锈钢焊条, 施焊时药皮具有不发红、不开裂的特点, 具有良好的力学性能及抗晶间腐蚀性, 特别适于薄板焊。用于工作温度低于 300℃ 耐蚀的 0Cr19Ni9、0Cr19Ni10Ti 不锈钢结构	≤ 0.08	0.5~ 2.5	≤ 0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤ 0.75	Cu ≤ 0.75	≥ 550	≥ 35
A102	E308-16 (E308-16)	钛钙型 Cr19Ni10 不锈钢焊条, 具有良好的力学性能及抗晶间腐蚀性, 交直流两用, 工艺性能极好。用于工作温度低于 300℃ 的 0Cr19Ni9、0Cr19Ni10Ti 不锈钢结构	≤ 0.08	0.5~ 2.5	≤ 0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤ 0.75	Cu ≤ 0.75	≥ 550	≥ 35

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能	
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%	
A102A	E308-17 (E308-17)	钛酸型超低碳不锈钢焊条,具有良好的力学性能及抗晶间腐蚀性,具有耐发红、熔化速度快等特点,工艺性能好,交直流两用。用于工作温度低于300℃耐蚀的0Cr19Ni9、0Cr19Ni10Ti不锈钢结构	≤0.08	0.5~ 2.5	≤0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤0.75			≥550	≥35
A102T	E307-16 (E308-16)	用低碳钢焊芯、药皮过渡被镍等合金元素而获得高效率的Cr19Ni10不锈钢焊条,熔敷效率可达130%~150%,具有良好的力学和抗晶间腐蚀性,工艺性能优异,交直流两用,交流稳弧性好,药皮无发红开裂现象,适于平焊和角焊。用于工作温度低于300℃耐蚀的0Cr19Ni9、0Cr19Ni10Ti不锈钢焊接及表面堆焊	≤0.08	0.50~ 2.5	≤0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤0.75		Cu≤0.75	≥550	≥35
A107	E308-15 (E308-15)	低氢型Cr19Ni10不锈钢焊条,具有良好的力学性能及抗晶间腐蚀性,采用直流反接,可全位置焊。用于工作温度低于300℃耐蚀0Cr19Ni9不锈钢焊接及表面堆焊	≤0.08	0.50~ 2.5	≤0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤0.75		Cu≤0.75	≥550	≥35
A112	— (—)	钛钙型Cr19Ni9不锈钢焊条,由于焊缝含碳量较高,晶间腐蚀敏感性大,焊后经1050~1100℃水淬处理可获得较好的抗晶间腐蚀性,交直流两用,工艺性能优异,特别适于薄板平焊。用于焊接一般腐蚀性要求不高的Cr19Ni9不锈钢	≤0.12	≤2.50	≤1.50	17.0~ 22.0	7.0~ 11.0	—		—	≥540	≥25
A117	— (—)	低氢型Cr18Ni9不锈钢焊条,由地焊缝含碳量较高,晶间腐蚀敏感性大,焊后经1050~1100℃水淬处理,可获得较好的抗晶间腐蚀性,采用直流正接,可全位置焊。用于焊接一般腐蚀性要求不高的Cr18Ni9不锈钢	≤0.12	≤2.50	≤1.50	17.0~ 22.0	7.0~ 11.0	—		—	≥540	≥25
A122	— (—)	钛钙型Cr22Ni9双相不锈钢焊条,交直流两用,由于焊缝中含有较多的铁素体,故具有优良的抗裂性及抗晶间腐蚀性。用于工作温度低于300℃、要求抗裂及耐腐蚀性较高的Cr22Ni9双相不锈钢	≤0.08	≤2.50	≤1.50	20.0~ 24.0	7.0~ 10.0	—		—	≥540	≥25
A132	E347-16 (E347-16)	钛钙型含钨Cr19Ni10Nb不锈钢焊条,具有优良的抗晶间腐蚀性,交直流两用,工艺性能优异。用于重要的耐蚀含钛稳定化元素的0Cr19Ni11Ti不锈钢	≤0.08	0.50~ 2.5	≤0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤0.75		Cu≤0.75 Nb8×C-1.0	≥520	≥25

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能	
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%	
A132A	E347-17 (E347-17)	钛型含铌Cr19Ni10Nb不锈钢焊条,具有优良的抗晶间腐蚀性,药皮耐发红,熔化速度快,交直流两用,工艺性能优异。用于重要的耐腐蚀含钛稳定化元素的0Cr19Ni11Ti不锈钢	≤ 0.08	0.50~ 2.5	≤ 0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤ 0.75	Cu ≤ 0.75 Nb8×C~1.0	≥ 520	≥ 25	
A137	E347-17 (E304717)	低氢型含铌Cr19Ni10Nb不锈钢焊条,具有优良的抗晶间腐蚀性,采用直流反接,可全位置焊。用于重要的耐腐蚀含钛稳定化元素的0Cr19Ni11Ti不锈钢	≤ 0.08	0.50~ 2.5	≤ 0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 11.0	≤ 0.75	Cu ≤ 0.75 Nb8×C~1.0	≥ 520	≥ 25	
A146	— (—)	低氢型Cr20Ni10Mn不锈钢焊条,交直流两用,可全位置焊,熔敷金属具有良好的力学性能。用于重要的0Cr20Ni10Mn6不锈钢	≤ 0.12	4.0~ 7.0	—	19.0~ 22.0	8.0~ 11.0	—	—	≥ 540	≥ 20	
A172	E307-16 (E307-16)	钛钙型不锈钢焊条,交直流两用,具有优良的抗裂性。用于ASTM 307钢及其他异种钢焊接,也用于耐冲击、腐蚀钢和过渡层的堆焊,如高锰钢、淬硬钢	0.04~ 0.14	3.30~ 4.75	≤ 0.90	18.0~ 21.0	9.0~ 10.7	0.5~ 1.5	Cu ≤ 0.75	≥ 590	≥ 30	
A201	E316-17 (E316-17)	钛型Cr18Ni12Mo2不锈钢焊条,施焊时药皮不发红、不开裂,由于焊缝金属添加钼,具有良好的耐腐蚀、耐热及抗裂性,特别对抗氯离子点蚀有好处,可交直流两用,工艺性能优异,适宜薄板的平焊和角焊。用于在有机酸和无机酸介质中工作的高铬钢或异种钢焊接	≤ 0.08	0.50~ 2.5	≤ 0.90	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 3.0	Cu ≤ 0.75	≥ 520	≥ 30	
A202	E316-16 (E316-16)	钛钙型Cr18Ni12Mo2不锈钢焊条,由于焊缝金属添加钼,具有良好的耐腐蚀、耐热及抗裂性,特别对抗氯离子点蚀有好处,可交直流两用,工艺性能优异。用于在有机酸和无机酸介质中工作的0Cr18Ni12Mo2不锈钢	≤ 0.08	0.50~ 2.5	≤ 0.90	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 3.0	Cu ≤ 0.75	≥ 520	≥ 30	
A202NE	E316-16 (E316-16)	钛钙型耐发红核电用不锈钢焊条,具有良好的耐腐蚀、耐热及抗裂性,特别对抗氯离子点蚀有好处,可交直流两用,工艺性能优异。焊接安全二级铬镍奥氏体不锈钢管道和容器,用于在有机酸和无机酸介质中工作的0Cr18Ni12Mo2不锈钢或异种钢	≤ 0.06	0.50~ 2.5	≤ 0.90	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 3.0	Cu ≤ 0.75	≥ 520	≥ 30	

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							力学性能	
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他	σ_u /MPa	δ_5 /%
A207	E316-15 (E316-15)	低氢型 Cr-18Ni-12Mo 不锈钢焊条,由于熔敷金属添加钼,具有良好的耐蚀、耐热及抗裂性,特别是对抗氯离子点蚀有好处,采用直流反接,能进行全位置焊。用于焊接 0Cr18Ni12Mo2 不锈钢,也用于焊后不能进行热处理的高铬钢(如 Cr13、Cr17 等)或异种钢焊接	≤ 0.08	0.50~ 2.5	≤ 0.90	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 3.0	Cu ≤ 0.75	≥ 520	≥ 30
A212	E318-16 (E318-16)	钛钙型含钼 Cr18Ni12MoNb 不锈钢焊条,熔敷金属比 A202、A207 具有更好的抗晶间腐蚀性,交直流两用,工艺性能优异。用于重要的 0Cr18Ni12Mo、0Cr17Ni14Mo2 等不锈钢,如尿素合成塔、维尼纶设备等接触强腐蚀介质的部件	≤ 0.08	0.50~ 2.5	≤ 0.90	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 3.0	Cu ≤ 0.75 Nb6×C~1.0	≥ 550	≥ 25
A222	E317MoCu-16 (-)	钛钙型 Cr19Ni13Mo2Cu 不锈钢焊条,由于熔敷金属中含有钼,在酸性介质中具有比其他不锈钢焊条更好的耐蚀性,交直流两用,工艺性能优异。用于相同类型的含铜不锈钢设备	≤ 0.08	0.50~ 2.5	≤ 0.90	18.0~ 21.0	12.0~ 14.0	2.0~ 2.5	Cu ≤ 2.0	≥ 540	≥ 25
A232	E318V-16 (-)	钛钙型 Cr18Ni12Mo2V 不锈钢焊条,交直流两用。可焊接一般耐热及要求耐蚀的 Cr19Ni10 及 0Cr18Ni12Mo2 不锈钢	≤ 0.08	0.50~ 2.5	≤ 0.90	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 2.5	V0.30~0.70 Cu ≤ 0.5	≥ 540	≥ 25
A237	E318V-15 (-)	低氢型 Cr18Ni12Mo2V 不锈钢焊条,熔敷金属含有钼,具有良好的耐热及抗裂性,采用直流反接,可全位置焊。用于焊接一般耐热及要求耐蚀的 Cr19Ni10 及 0Cr18Ni12Mo2 不锈钢结构的多层焊	≤ 0.08	0.50~ 2.5	≤ 0.90	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 2.5	V0.30~0.70 Cu ≤ 0.5	≥ 540	≥ 25
A242	E317-16 (E317-16)	钛钙型含钼 Cr19Ni13Mo3 不锈钢焊条,熔敷金属比 A202 具有更高的含钼量,对非氧化性酸,如硫酸、亚硫酸、磷酸及有机酸具有较好的耐蚀性,抗点状腐蚀性好,交直流两用,工艺性能优异。用于相同类型的不锈钢以及复合钢、异种钢的焊接	≤ 0.08	0.50~ 2.5	≤ 0.90	18.0~ 21.0	12.0~ 14.0	3.0~ 4.0	Cu ≤ 0.75	≥ 550	≥ 25
A301	E309-17 (E309-17)	钛型药皮的 309 型不锈钢焊条,熔敷金属具有良好的抗裂和抗氧化性,可交直流两用,工艺性能好。用于焊接同类型不锈钢、不锈钢衬里、异种钢以及高铬钢、高锰钢等	≤ 0.15	0.50~ 2.5	≤ 0.90	22.0~ 25.0	12.0~ 14.0	≤ 0.75	Cu ≤ 0.75	≥ 550	≥ 25

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								力学性能	
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%	
A302	E309-16 (E309-16)	钛钙型药皮的 Cr23Ni13 不锈钢焊条,熔敷金属具有良好的抗裂和抗氧化性,可交直流两用,焊接工艺性能优异。用于焊接同类型不锈钢、不锈钢衬里、异种钢(Cr19Ni9-低碳钢)以及高铬钢、高锰钢等	≤ 0.15	0.50~ 2.5	≤ 0.90	22.0~ 25.0	12.0~ 14.0	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 550	≥ 25	
A307	E309-15 (E309-15)	低氢型 Cr23Ni13 不锈钢焊条,熔敷金属具有良好的抗裂和抗氧化性,采用直流反接,可全位置焊。用于焊接同类型不锈钢、异种钢以及高铬钢、高锰钢等	≤ 0.15	0.50~ 2.5	≤ 0.90	22.0~ 25.0	12.0~ 14.0	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 550	≥ 25	
A312	E309Mo-16 (E309Mo-16)	钛钙型 Cr23Ni13Mo2 不锈钢焊条,熔敷金属中含有钼,比 A302 具有更高的耐蚀性、抗氧化性及抗裂性,交直流两用,焊接工艺性好。用于焊接耐硫酸介质腐蚀的同类型不锈钢容器,也用于不锈钢衬里以及复合钢、异种钢的焊接	≤ 0.12	0.50~ 2.5	≤ 0.90	22.0~ 25.0	12.0~ 14.0	2.0~ 3.0	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 550	≥ 25	
A312SL	E309Mo-16 (E309Mo-16)	钛钙型不锈钢型的渗铝钢焊条,熔敷金属与母材过渡平整,能有有效的保护渗铝层,交直流两用,全位置焊,熔敷金属具有与渗铝钢相匹配的耐蚀及抗高温氧化性。焊接 Q235、20g 和 Cr5Mo 等表面渗铝钢部件,也焊接异种钢	≤ 0.12	0.50~ 2.5	≤ 0.90	22.0~ 25.0	12.0~ 14.0	2.0~ 3.0	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 550	≥ 25	
A317	E309Mo-15 (E309Mo-15)	低氢型不锈钢焊条,熔敷金属中含有钼,比 A302 有更好的耐蚀、抗裂及抗氧化性。用于焊接耐硫酸介质腐蚀的同类型不锈钢、复合板、异种钢等	≤ 0.12	0.50~ 2.5	≤ 0.90	22.0~ 25.0	12.0~ 14.0	2.0~ 3.0	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 550	≥ 25	
A402	E310-16 (E310-16)	钛钙型 Cr26Ni21 奥氏体不锈钢焊条,熔敷金属在 900~1100℃ 高温条件下具有优良的抗氧化性,交直流两用。焊接工艺性好。用于在高温条件下工作的同类型耐热不锈钢,也用于淬硬性大的铬钢(如 Cr5Mo、Cr9Mo、Cr13、Cr28 等)以及异种钢焊接	0.08~ 0.20	1.0~ 2.5	≤ 0.75	25.0~ 28.0	20.0~ 22.0	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 550	≥ 25	
A407	E310-15 (E310-15)	低氢型 Cr26Ni21 奥氏体不锈钢焊条,熔敷金属在 900~1100℃ 高温条件下具有优良的抗氧化性,采用直流反接,可全位置焊,由于焊缝为纯奥氏体,抗热裂性及双相组织的好。用于同类型的耐热不锈钢、不锈钢衬里以及异种钢焊接,也用于淬硬性大的 Cr5Mo、Cr9Mo、Cr13、Cr28 等	0.08~ 0.20	1.0~ 2.5	≤ 0.75	25.0~ 28.0	20.0~ 22.5	≤ 0.75	$\text{Cu} \leq 0.75$	≥ 550	≥ 25	

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							力学性能	
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%
A412	E310Mo-16 (E310Mo-16)	钛钙型 Cr26Ni21 奥氏体不锈钢焊条,熔敷金属添加了铂,耐蚀、耐热及抗裂性比 A402、A407 有所改善,可交直流两用,焊接工艺性好。用于在高温条件下工作的耐热不锈钢,不锈钢衬里以及异种钢等,焊接淬硬性大的碳钢、低合金钢时焊缝韧性好	≤ 0.12	1.0~ 2.5	≤ 0.75	25.0~ 28.0	20.0~ 22.5	2.0~ 3.0	Cu ≤ 0.75	≥ 550	≥ 25
A422	— (—)	钛钙型 Cr25Ni18Mn8 不锈钢焊条,焊缝加入了较多锰,提高了焊缝的抗裂性,交直流两用。用于焊接加热炉卷筒机上的 Cr25Ni20Si2 奥氏体耐热钢卷筒,也用于焊接异种钢等	≤ 0.20	5.0~ 10.0	≤ 1.20	23.0~ 27.0	16.0~ 20.0	—	—	≥ 540	≥ 30
A427	— (—)	低氢型 Cr25Ni15Mn8 不锈钢焊条,采用直流施焊,具有良好的塑性和抗热裂性。用于 Cr25Ni20Si2 不锈钢焊接,如加热炉卷筒机卷筒、异种钢等	≈ 0.20	5.0~ 10.0	≤ 1.20	23.0~ 27.0	16.0~ 20.0	—	—	≥ 540	≥ 30
A432	E310H-16 (E310H-16)	钛钙型 3Cr26Ni21 耐热钢焊条,熔敷金属具有较高的蠕变强度,接头力学性能良好,热裂敏感性低,交直流两用,焊接性好。专用于焊接 HK40 耐热钢	0.35~ 0.45	1.0~ 2.5	≤ 0.75	25.0~ 28.0	20.0~ 22.5	≤ 0.75	Cu ≤ 0.75	≥ 620	≥ 10
A462	— (—)	钛钙型铬镍奥氏体高温炉管不锈钢焊条,交直流两用,全位置焊,相当于日本 HM-40 耐热不锈钢焊条,熔敷金属在 800~1200℃ 高温条件下具有耐蚀、耐高温性。用于高温条件下工作的炉管(如 HK-40、HP-40、RC-1、RS-1、JN-81)等焊接	0.15~ 0.30	1.5~ 3.0	0.90~ 1.30	25~ 28	30~ 35	0.40~ 0.60	—	≥ 630	≥ 15
A502	E16-25MoN-16 (—)	钛钙型 Cr16Ni25Mo6 纯奥氏体不锈钢焊条,交直流两用。用于淬火热态下的低合金钢、中合金钢和耐热性较大的结构以及相应的热强钢,如淬火热态下的 30CrMnSi、不锈钢、碳钢和铸钢等	≤ 0.12	0.50~ 2.5	≤ 0.90	14.0~ 18.0	22.0~ 27.0	5.0~ 7.0	N ≥ 0.1	≥ 610	≥ 30
A507	E16-25MoN-15 (—)	低氢型 Cr16Ni25Mo6 纯奥氏体不锈钢焊条,采用直流反接,可全位置焊。用于淬火热态下的低合金钢、中合金钢、异种钢和刚性较大的结构以及相应的热强钢,如淬火热态下的 30CrMnSi、不锈钢和铸钢等	≤ 0.12	0.50~ 2.5	≤ 0.90	14.0~ 18.0	22.0~ 27.0	5.0~ 7.0	N ≥ 0.1 Cu ≤ 0.5	≥ 610	≥ 30

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							力学性能	
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%
A512	E16-8-2-16 (-)	钛钙型药皮的不锈钢焊条,熔敷金属铁素体含量一般在5FN ^① 以下;焊缝具有较高的高温韧性,即使在较大拘束条件下仍具有较强抗裂能力,交直流两用,焊接工艺性好。用于高温高压不锈钢管道的焊接	≤ 0.10	0.50~ 2.5	≤ 0.60	14.5~ 16.5	7.5~ 9.5	1.0~ 2.0	Cu ≤ 0.75	≥ 550	≥ 35
A607	E330MoMnWn b-15 (-)	低氢型Cr16Ni35纯奥氏体不锈钢焊条,焊条药皮中加入多种合金元素,具有良好的高温韧性,采用直流感接,可全位置焊。用于焊接在850~900℃高温条件下工作的不锈钢及制氢转化炉集气管和膨胀管(如Cr20Ni32、Cr18Ni37等)	≤ 0.20	≤ 3.5	≤ 0.70	15.0~ 17.0	33.0~ 37.0	2.0~ 3.0	Cu ≤ 0.5 W 2.0~3.0 Nb 2.0~3.0	≥ 590	≥ 25
A707	— (-)	低氢型Cr17Mn13Mo不锈钢焊条,采用直流感接,可全位置焊。用于乙酸、维尼纶、尿素等生产设备(Cr17Mn13MoN)的焊接	≤ 0.15	11.0~ 14.0	≤ 1.00	16.0~ 18.0	—	1.0~ 2.0	N0.17~0.30	≥ 690	≥ 30
A717	— (-)	低氢型2Cr15Mn13MoN低磁性不锈钢焊条,电弧稳定,脱渣性好,成形美观,焊缝导电率稳定。用于2Cr15Mn15Ni2N低磁性不锈钢电物理装置构件或1Cr18Ni9Ti异种钢焊接	0.15~ 0.25	14.0~ 16.0	≤ 1.0	14.0~ 16.0	1.5~ 3.0	—	N0.1~0.3 P ≤ 0.06	≥ 690	≥ 25
A802	— (-)	钛钙型Cr18Ni18Mo4Cu2不锈钢焊条,交直流两用,焊缝中含有钼和铜,在硫酸介质中具有较高的抗蚀性。用于焊接硫酸浓度50%、一定工作温度及大气压力的制造合成橡胶的管道和Cr18Ni18MoCu2Ti等	≤ 0.10	≤ 2.50	≤ 1.00	18~21	17~19	3~5	Cu1.5~2.5	≥ 540	≥ 25
A902	E320-16 (E320-16)	钛钙型不锈钢焊条,交直流两用,具有优异的耐蚀性和较强的抗高温氧化能力,在石油、化工和制氢设备等制造中广泛应用,还可用作异种钢焊接材料。用于硫酸、磷酸、磷酸和氧化性酸腐介质中Car-Penter 20Cb镍合金的焊接等	≤ 0.07	0.5~ 2.5	≤ 0.60	19.0~ 21.0	32.0~ 36.0	2.0~ 3.0	Cu3.0~4.0 Nb 8×C~1.0	≥ 550	≥ 30

① FN表示铁素体含量。

注:由于GB/T 983—1995标准将原国标GB 983—1985中的药皮类型“16”分为“16”、“17”两种,一些生产厂家对不锈钢焊条药皮类型代号尚未完全调整,故本表中所列焊条型号“16”,有部分焊条可能将来会改为“17”,具体使用时参照该产品说明书。

的不锈钢焊条。对于焊条药皮类型的选择，由于双相奥氏体钢焊缝金属本身含有一定量的铁素体，具有良好的塑性和韧性，从焊缝金属抗裂性角度进行比较，碱性药皮与钛钙型药皮焊条的差别不像碳钢焊条那样显著。因此在实际应用中，从焊接工艺性能方面着眼较多，大都采用药皮类型代号为 17 或 16 的焊条（如 A102A、A102、A132 等）。从焊接工艺性能看，药皮代号为 17 的钛酸型不锈钢焊条最好，熔化速度快，药皮抗发红开裂性好，已大量采用，国外某厂产品中 70% 是药皮代号为 17 的不锈钢焊条。但国内也有少量用户反映，钛酸型不锈钢焊条的焊缝金属抗裂性比钛钙型不锈钢焊条（药皮代号为 16）稍差，尤以 E347 类焊条反映较多。只有在结构刚性很大或焊缝金属抗裂性较差（如某些马氏体铬不锈钢、纯奥氏体组织的铬镍不锈钢等）时，才考虑选用药皮代号为 15 的碱性药皮不锈钢焊条（如 A107、A407 等）。

对于铬不锈钢，有时为了改善焊接接头的塑性，也可采用铬镍奥氏体不锈钢焊条。但奥氏体铬镍不锈钢的热膨胀系数是铬不锈钢的 1.5 倍，在热循环变化激烈的环境中使用，容易因热冲击和热疲劳而从交界处破坏。若使用 25-13 型奥氏体不锈钢焊条，要考虑高温工作时铬化合物和 σ 相析出引起焊缝金属脆化。上述问题，在选用奥氏体铬镍不锈钢焊条焊接铬不锈钢时要充分加以考虑。

不锈钢焊条的选用可参照表 6-45~表 6-49。

表 6-45 铬不锈钢焊条的选用

类别	钢号	焊条型号	焊条牌号	焊缝金属类型	预热及层间温度/℃	焊后热处理	选用原则						
马氏体铬不锈钢	1Cr13 2Cr13	E410-16	G202	Cr13	300~350	700~750℃ 空冷	耐蚀、耐热						
		E410-15	G207										
		E1-13-1-15	G217										
		E309-16	A302	Cr25Ni13		200~300		—	高塑、韧性				
		E309-15	A307										
		E310-16	A402	Cr25Ni20						200~300	—	高塑、韧性	
	E310-15	A407											
	1Cr17Ni2	E430-16 E430-15	G302 G307	Cr17	300~350		700~750℃ 空冷						耐蚀、耐热
			E308-16 E308-15	A102 A107									
		E309-16 E309-15	A302 A307	Cr25Ni13	200~300	—	高塑、韧性						
			E310-16 E310-15	A402 A407				Cr25Ni20					
		Cr11MoV	E11MoVNi-16 E11MoVNi-15	R802 R807	Cr10MoNiV	300~400	焊后冷至 100~200℃，立即在 700℃以上高温回火	耐热、耐蚀、					
Cr12WMoV				E11MoVNiW-15	R817				Cr11WMoNiV	300~400	焊后冷至 100~120℃，立即在 740~760℃以上高温回火		

续表

类别	钢号	焊条型号	焊条牌号	焊缝金属类型	预热及层间温度/℃	焊后热处理	选用原则
铁素体 铬不锈钢	0Cr13	E410-16	G202	Cr13	200~300	700~760℃ 空冷	耐蚀、耐热
		E410-15	G207				
		E1-13-1-15	G217				
		E308-16	A102	Cr18Ni9	150~300	—	高塑、韧性
		E308-17	A102A				
		E308-15	A107				
	E309-16	A302	Cr25Ni13	150~300	—	高塑、韧性	
	E309-15	A307					
	E310-16	A402	Cr25Ni20	150~300	—	高塑、韧性	
	E310-15	A407					
	0Cr17 0Cr17Ti 1Cr17Ti	E430-16	G302	Cr17	100~200	700~760℃ 空冷	耐蚀、耐热
		E430-17	G307				
		E308-16	A102	Cr18Ni9	70~150	—	高塑、韧性
		E308-17	A102A				
	E308-15	A107					
E309-16	A302	Cr25Ni13	70~150	—	高塑、韧性		
E309-15	A307						
Cr25Ti	E309-16 E309-15	A302 A307	Cr25Ni13	不预热	760~780℃回火	耐热及高 塑、韧性	
Cr28 Cr28Ti	E310-16 E310-15	A402 A407	Cr25Ni20	不预热	—		
	E310Mo-16	A412	Cr25Ni20Mo2				

表 6-46 铬镍不锈钢焊条的选用

类别	钢号	焊条牌号	类别	钢号	焊条牌号
奥氏体 不锈钢	00Cr18Ni10 0Cr18Ni9Ti	A002	奥氏体 不锈钢	0Cr18Ni12Mo3Ti 1Cr18Ni12Mo3Ti	A242
	00Cr17Ni15Si4Nb(C)	A012Si		1Cr25Ni13	A302, A307, A302A
	00Cr18Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo2	A022		1Cr25Ni18	A402, A407
	00Cr17Ni14Mo3			3Cr18Mn11Si2N 2Cr20Mn9Ni2Si2N	A402, A407
	00Cr18Ni12Mo2Cu	A032		4Cr25Ni20(HK-40)	A432
	00Cr22Ni13Mo2	A042		Cr16Ni25Mo6 Cr15Ni25WTi2B	A502, A507
	0Cr18Ni9 1Cr18Ni9	A102A, A102, A107		Cr25Ni32B Cr18Ni37	A607
	0Cr18Ni9Ti 1Cr18Ni9Ti	A132, A137, A132A		0Cr17Mn13Mo2N(A ₄) 0Cr18Ni18Mo2Cu2Ti	A707 A802
	0Cr18Ni12Mo2Ti 1Cr18Ni12Mo2Ti	A202A, A202, A207, A212			

表 6-47 国外不锈钢焊条的选用

类别	钢号			焊接材料型号		
	AISI号	UNS号	德国钢号	第一选择	第二选择	第三选择
铁素体不锈钢	405	S40500	1.4002	430	309L/309Mo	308
	409	S40900	1.4512	309L/309Mo	312	
	429	S42900	1.4001	430	308/308L	309L/309Mo
	430	S43000	1.4016	430	308/308L	309L/309Mo
	430F	S43020	1.4104	430	308/308L	309L/309Mo
	430FSe	S43023		430	308/308L	309L/309Mo
	434	S43400	1.4113	430	308/308L	309L/309Mo
	436	S43500		430	308/308L	309L/309Mo
	442	S44200		316L	318	309L/309Mo
	444	S44400	1.4521	316L	318	309L/309Mo
马氏体不锈钢	446	S44600	1.4762	308/308L	309L/309Mo	310
	3Cr12 ^①			309L/309Mo	316L	308L
	410	S41000	1.4006	410	309L/309Mo	310
	414	S41400		410	309L/309Mo	310
	415	S41500	1.4313	410	309L/309Mo	310
	416	S41600		410	309L/309Mo	310
	416Se	S41623		410	309L/309Mo	310
	420	S42000		410	309L/309Mo	310
	431	S43100	1.4057	430	308L/308	309
	440A	S44002		312	309L/309Mo	
奥氏体不锈钢	440B	S44003		312	309L/309Mo	
	440C	S44004		312	309L/309Mo	
	201	S20100		308/308L	316L	347
	202	S20200	1.4371	308/308L	316L	347
	205	S20500		308/308L	316L	347
	209	S20910	1.4565	308/308L	316L	347
	301	S30100	1.4310	308/308L	316L	347
	302	S30200		308/308L	316L	347
	303	S30300	1.4305	312	309L/309Mo	308/308L
	303Se	S30323		312	309L/309Mo	308/308L
	304	S30400	1.4301	308/308L	316L	347
	304L	S30403	1.4306	308/308L	316L	347
	304H	S30409	1.4948	308H	308L	316L
304N	S30451		308L/308	316L	347	
304LN	S30453	1.4311	308L/308	316L	347	
305	S30500	1.4303	308/308L	316L	347	

续表

类别	钢号			焊接材料型号		
	AISI号	UNS号	德国钢号	第一选择	第二选择	第三选择
奥氏体不锈钢	308	S30800		308/308L	316L	347
	309	S30900	1.4828	309/309L/309Mo	312	
	309S	S30908	1.4833	309L/309Mo	312	
	310	S31000	1.4841	310	312	
	310S	S31008	1.4845	310	312	
	314	S31400		316/316L	318	309L/309Mo
	316	S31600	1.4401	316/316L	318	309L/309Mo
	316L	S31603	1.4404	316L/316	318L	309L/309Mo
	316H	S31609	1.4919	316H	316L/318	309L/309Mo
	316N	S31651		316L/316	318	309L/309Mo
	316LN	S31653	1.4406	316L/316	318	309L/309Mo
	317	S31700	1.4429	317/317L	318	316L
	317L	S31703	1.4438	317L	318	316L
	321	S32100	1.4541	347	318	308/308L
	321H	S32109	1.4941	347	318	308/308L
	347	S34700	1.4550	347	318	308/308L
	347H	S34709		347	318	308/308L
	348	S34800		347	318	308/308L
	384	S38400		309L/309Mo	312	
	双相不锈钢	329	S31803	1.4462	2209	317L
		S32750	1.4508	2553	317L	385

① B.H.P公司的产品牌号。

表 6-48 异种金属不锈钢焊条选用

AISI 钢号	442 446	430F 430FSE	430 431	501 502	416 418SE	403 405 410 420 414	321 348 347	317	316L	316	314	310 310S	309 309S	304L	303 303SE	201 202 301 302 302B 304 305 308	碳 钢
201-202-301 302-302B-304 305-308	310 312 309	310 312 309	310 312 309	310 312 309	309 310 312	309 310 312	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	312 310 309
303 303SE	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	312 308- 15	308 308 308	308 308 308	312 310 309
304L	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308 308 308	308 308 308	308L 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308L 308 308	308 308 308	308 308 308	312 310 309
309 309S	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308 317 316 309	316 316 309	316 316 310	316 316 310	309 309 310	309 309 310	308 308 308	308 308 308	308 308 308	308 308 308	309 310 312
310 310S	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 317 316 309	316 316 310	316 316 310	310 310 310	310 310 310	309 309 310	309 309 310	309 309 310	309 309 310	309 309 310	310 309 312
314	310 312 309	310 312 309	310 312 309	310 312 309	310 312 309	310 309 312	309 310 308	309 310 310	309 310 310	309 310 310	310- 15	310 310 310	309 310 310	309 310 310	309 310 310	309 310 310	310 309 312

续表

AISI 钢号	442 446	430F 430FSE	430 431	501 502	416 418SE	403 405 410 420 414	321 348 347	317	316L	316	314	310 310S	309 309S	304L	303 303SE	201 202 301 302 302B 304 305 308	碳 钢
316	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308	316	316	316	309 310 316	310 309 316	309 310 315	309 316	309 316	309 316 312	309 310 312
318L	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308	316 317 308	316L	316	309 310 316	310 309 316	316 309	308 316	308 316	308 316 312	308 310 312
317	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308	317	316 308	316 308	309 310 317	317 316 309	317 316 309	308 316 317	308 316 317	308 316 317	309 310 312
321 348 347	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308 347 308	308 347	347 308	347 308	309 310 347	347 308 308	347 308	347 308L	347 308	347 308	309 310 312
403-405 410-420 414	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310	410 ⁺ 309 ⁺⁺	309 310	309 310	309 310	309 310	310 309	310 309	309 310	309 310	309 310	309 310	309 310 312
416 416SE	310 309	310 309	310 309	310	410 ⁺	410 ⁺ 309 ⁺⁺ 310 ^{**}	309 310	309 310	309 310	309 310	309 310	310 309	309 310	309 310	309 310	309 310	309 310 312
501 502	310	310	310	502 ⁺ 310 ^{**}	310	310	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 312 309
430 431	310 309	310 309	430 ⁺ 310 ^{**} 309 ^{**}	310	310	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309 312
430F 430FSE	310 309	410 ⁺	310 309	310 309	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312
442 446	309 310	309 310 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312

注：1. +为预照；++为不需要预热。

2. 格子中上面的数字表示第一选择，下面是第二、第三选择，这种选择也可随工件的要求及特殊用途而变化。

3. 表中数字为焊条型号的简化表达，完整型号如 E310-16（或 15、17）。

表 6-49 焊接不锈钢复合板时电焊条的选用

钢板牌号	焊条牌号			钢板牌号	焊条牌号		
	基层	过渡层	覆层		基层	过渡层	覆层
0Cr13 + A3	J422 J426 J427	A302A A302 A307	A102A A102 A107	1Cr18Ni9Ti + 16Mn(15MnV) 0Cr18Ni9Ti + 16Mn(15MnV)	J502 J506 J507 (J557)	A302A A302 A307	A132A A132 A137
0Cr13 + 16Mn(15MnV)	J502 J506 J507 (J557)			0Cr18Ni12Mo2Ti + A3	J422 J426 J427		
0Cr13 + 12CrMo	R202 R207			0Cr18Ni12Mo2Ti + 16Mn(15MnV)	J502 J506 J507 (J557)	A312	A212
1Cr18Ni9Ti + A3 0Cr18Ni9Ti + A3	J422 J426 J427			A132A A132 A137			

不锈钢焊缝金属的组织可以利用舍菲利尔 (A.L.Schaeffler) 组织图 (图 6-15) 来估算, 为考虑氮的影响和更精确地估算焊缝组织, 可查德龙 (DeLong) 组织图 (图 6-16)。

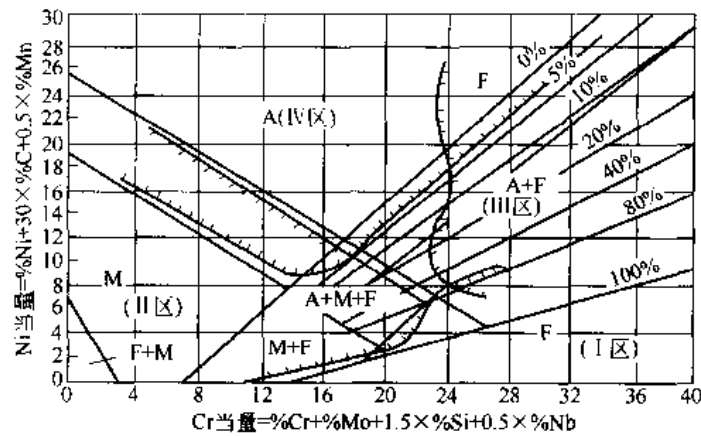


图 6-15 舍菲利尔组织图

- I 区: 发生晶粒粗大, 脆化和室温低韧性
- II 区: 在正常冷却条件下焊缝金属出现马氏体
- III 区: 在 650~850 °C 焊缝金属可能出现 σ 相
- IV 区: 有热裂倾向

A—奥氏体; M—马氏体; F—铁素体

手弧焊时, 焊缝金属中铁素体含量与裂纹率关系如图 6-17 所示。

此外, 随着石油、化工、电力及原子能等工业的发展, 不锈钢与低碳钢、低合金钢等材料的焊接, 即所谓异种钢的焊接亦日益为人们所关注。不锈钢与异种钢的焊条选用标准见表 6-50。异种钢焊接的主要问题是焊缝金属成分的稀释及显微组织的变化。异种钢焊缝金属成分取决于焊条熔敷金属的成分及被母材稀释的程度。当使用不锈钢焊条焊接不锈钢复合板的过渡层, 或在低碳钢、低合金钢上作表面堆焊, 或用来焊接不锈钢与碳钢的焊接接头时, 可采用舍菲利尔组织图来估算焊缝金属的显微组织, 并作为异种钢焊接时选用不锈钢焊条的参考。例如, 采用 25-13 型不锈钢焊条进行低碳钢和 18-8 不锈钢

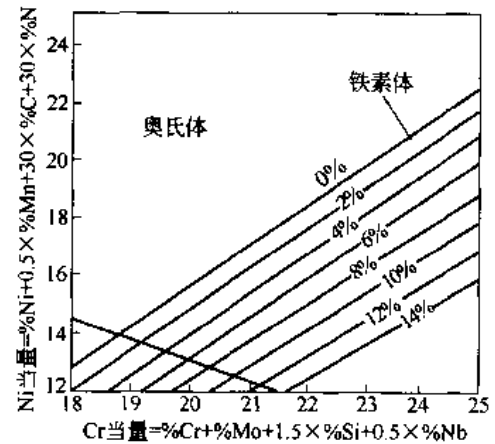


图 6-16 德龙组织图

的异种钢焊接时, 可根据舍菲利尔组织图来估算焊缝金属的化学成分。假定碳钢与不锈钢的熔合比例相同, 则焊缝成分相当 a 点的组分 (见图 6-18), 用 25-13 型焊条焊接的焊缝金属化学成分处于 a 点和 25-13 点的连线上, 其位置随稀释率而变 (稀释率 = $B/A + B$, 如图 6-19 所示)。当稀释率确定之后, 由杠杆关系在此连线上可确定焊得的焊缝金属所在点, 即可知其化学成分与组织。为了防止高温裂纹, 必须含有一定量的铁素体, d 点应靠近 25-13 点一侧, 且稀释率应小于 33%。但若稀释率太小, 由于得到 25-13 点附近成分的焊缝金属 (即含铁素体量及铬含量多的焊缝金属), 焊接热处理后易引起 σ 相析出, 造成焊缝金属脆化。因此, 必须制定合适的焊接工艺, 严格控制焊缝金属的化学成分和组织, 如在多层焊时, 可

考虑搭配使用 18-8 型焊条，或在碳钢侧坡口先用 25-13 型焊条（如 A302、A307、A312 等）进行隔离层堆焊，然后再用 18-8 型不锈钢焊条焊接等。

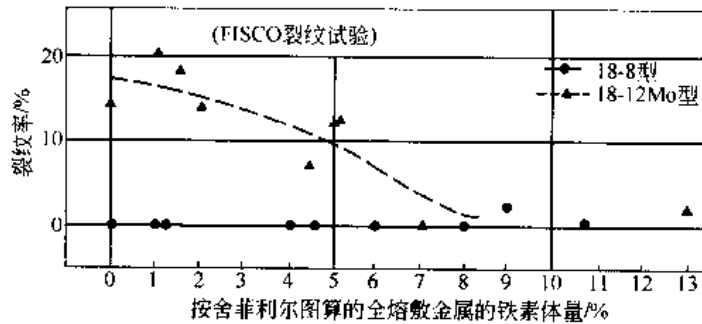


图 6-17 铁素体含量与裂纹率关系

表 6-50 不锈钢与异种钢的焊条选用标准

母 材	母 材									
	Mn13 钢	低 Ni 钢	Ni-Cr-Mo 钢	Ni-Cr 钢	Cr-Mo 钢	高碳钢	中碳钢	低碳钢	Cr13, Cr17 钢	18-8 钢
18-8 钢	1 2 A	2 3 B	2 3 B	2 3 B	2 3 B	2 3 C	2 3 A	2 3 A	2 3 C	18-8 钢
Cr13, Cr17 钢	2 3 B	2 3 C	2 3 C	2 3 C	2 3 C	2 3 C	2 3 C	2 3 C	2 3 C	
低碳钢 C<0.25	1 2 A	2.5Ni A	2 3 B	2 3 C	2 3 B	2 3 A	J427 A	J427 A		
中碳钢 C 0.25~0.45	1 2 A	2.5Ni A	2 3 B	2 3 B	2 3 B	2 3 A	J507 A			
高碳钢 C>0.45	1 2 B	2 3 A	2 3 C	2 3 C	2 3 C	2 3 C				
Cr-Mo 钢	2 3 B	2 3 B	2 3 C	2 3 C	2 3 C					
Ni-Cr 钢	2 3 B	2 3 B	2 3 C	2 3 C						
Ni-Cr-Mo 钢	2 3 B	2 3 B	2 3 C							
低 Ni 钢	1 2 A	2.5Ni A								
Mn13 钢	1 A									

注：1. 表中 1、2、3 分别表示 18-12Mo 型、25-13 型、25-20 型电焊条。
 2. 表中 A、B、C 分别表示室温（约 50℃）、50~150℃、150~250℃ 三种预热温度。
 3. 不锈钢板的塞焊及复合钢的过渡层（混有碳钢部分）使用 25-13 型、25-20 型不锈钢焊条。
 4. 预热温度根据母材材质、结构及母材热处理状态来决定。

当用不锈钢焊条在低碳钢或低合金钢表面进行堆焊时，第一层往往使用合金元素含量高的焊条，假如不控制稀释率，则容易因马氏体组织出现而引起裂纹或因铁素体量过多而发生 σ 相脆化。当用奥氏体不锈钢焊条堆焊时，常用 25-13 型（如 A302）或具有近似成分的焊条，只要适当控制稀释率，就能得到相当 18-8 型化学成分的堆焊金属。表 6-51 列出了两种 25-13 型焊

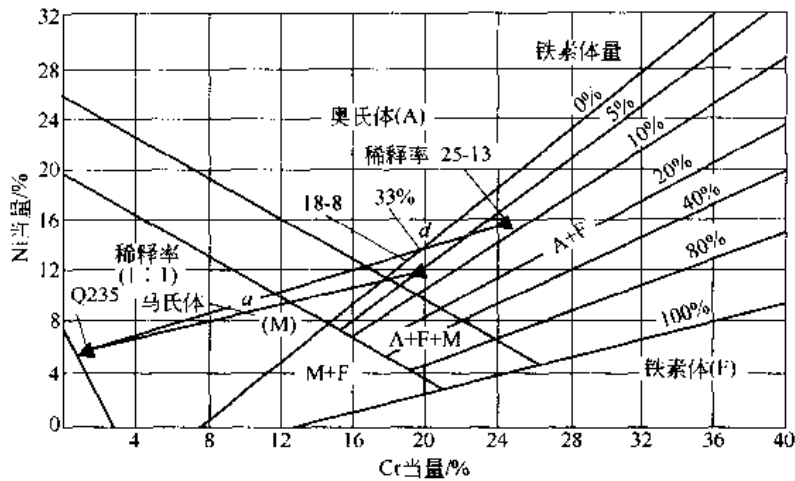


图 6-18 根据组织图来确定异种钢焊缝金属的化学成分

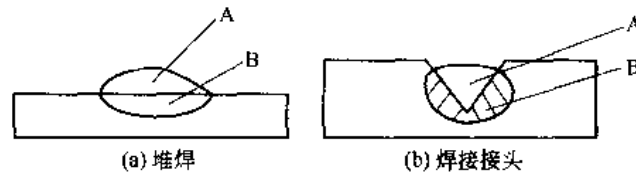


图 6-19 稀释率示意

条 (A 为全熔敷金属的铬、镍含量均在成分范围的中限; B 为铬在中限, 镍在下限) 在低碳钢上堆焊, 当稀释率分别为 10%、20% 时, 得到的焊缝金属化学成分。图 6-20 所示为按表 6-51 成分在舍菲尔组织图上作的图表。由图可见, 当堆焊金属在符合 18-8 规定的范围内, 为了防止焊接时的高温裂纹必须含有一定量的铁素体时, 则必须控制稀释率。对 A 焊条为 15%~20%, 对 B 焊条为 11%~23%, 比较 A、B 两种焊条, 铬、镍成分处于 25-13 标准范围中限的 A 焊条, 稀释率允许波动范围只有 5%, 堆焊施工时有困难。而 B 焊条的允许范围达 12%, 焊接施工时就比较好控制, 因此, 选用含镍偏低的 B 焊条来堆焊就比较合适。

表 6-51 25-13 型焊条的稀释率与化学成分的计算值 /%

焊条	焊缝金属种类	C ^①	Si ^②	Mn ^②	Ni	Cr
A	全熔敷金属	0.04	0.4	1.4	13.0	23.5
	稀释率 10% 的堆焊金属	0.054	0.4	1.2	11.7	21.2
	稀释率 20% 的堆焊金属	0.068	0.4	1.2	10.4	18.8
B	全熔敷金属	0.04	0.4	1.4	12.0	23.5
	稀释率 10% 的堆焊金属	0.054	0.4	1.2	10.8	21.2
	稀释率 20% 的堆焊金属	0.068	0.4	1.2	9.6	18.8

① 母材含碳量按 0.18% 计算。

② 硅、锰按表中假定值计算。

(四) 不锈钢焊接的注意事项

铬不锈钢的焊接性较差。马氏体铬不锈钢焊接时有淬硬倾向, 铁素体铬不锈钢在焊接高温作用下晶粒容易长大, 这都使焊缝金属有较高的脆性。铬镍奥氏体不锈钢虽然焊接性较好, 但在焊接不当时也会出现焊接接头的晶间腐蚀、焊缝的热裂纹、焊接应力和变形较大等

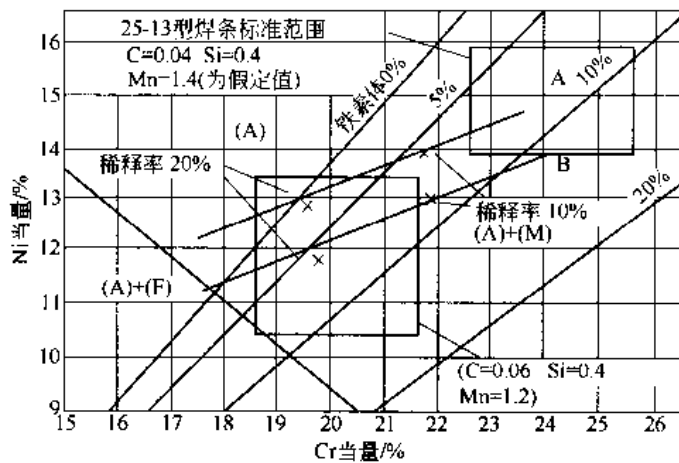


图 6-20 不同稀释率与成分变化的关系

问题。各类不锈钢的具体焊接工艺均有专著论述，这里仅从焊条的使用角度对不锈钢的焊接施工注意事项作一介绍。

(1) 焊条的再烘干 吸潮的焊条在焊接马氏体及铁素体不锈钢时易产生延迟裂纹，在焊接奥氏体不锈钢时焊缝表面易发生凹坑或气孔。因此，焊前应参照表 3-2 进行再烘干。

(2) 焊接位置 应尽量采用平焊位置，当必须进行立、仰焊时，应使用比平焊时较小直径的焊条。

(3) 焊接电流 由于不锈钢芯的电阻比低碳钢芯大 4~5 倍，焊接时电阻热使焊芯发热严重，造成药皮发红开裂，影响到后半段焊条的焊接工艺性能。再则，若使用大电流，则合金元素烧损严重，难以获得合适的化学成分，且保护不良，容易造成焊接缺陷，故应选用较小的焊接电流（可参见表 6-52）。药皮类型代号为 17 的新型高效不锈钢焊条（如 A102A 等）可采用较大的电流，以提高熔敷效率。

表 6-52 不锈钢焊条推荐电流范围

焊条种类		焊接位置	焊条直径/mm			
			2.5	3.2	4.0	5.0
马氏体和铁素体型	G202、G207 等	平、横	75~85	75~115	100~145	135~180
		立、仰	50~80	65~105	95~104	—
奥氏体型	A102、A307 等	平、横	50~85	75~115	95~145	135~180
		立、仰	45~80	65~105	85~135	—
	A102A 等	平、横	50~85	70~130	95~160	150~220

(4) 引弧 焊接耐酸不锈钢时，不允许焊条在非焊接部位引弧。在可能的情况下可以选用与产品相同的材料作为引弧板引弧，也可直接在焊接部位进行定位焊和焊接，这样可以避免产生点蚀。收弧时要注意把弧坑填满，或在引出板上收弧，以免产生弧坑裂纹。

(5) 弧长 焊接不锈钢时，应尽量采用短弧焊接，弧长一般为 2~3mm。电弧过长，焊芯中合金元素氧化烧损大，且保护不良，容易使空气中的氮侵入，而氮是强奥氏体元素，造成奥氏体焊缝中铁素体量减少，容易产生热裂纹。

(6) 运条 要进行短弧快速焊。焊接时不允许焊条作横向摆动，为的是减少焊接熔池热

量，减少热影响区宽度，有利于提高焊缝金属抗晶间腐蚀能力和减少产生热裂纹倾向。为了加快焊缝冷却速度，在焊接奥氏体不锈钢时，每焊完一道焊缝可以浇冷水，使之快冷。

(7) 焊道清理 焊道清理时必须用不锈钢钢丝刷，不准使用碳钢钢丝刷。

(8) 预热 铬不锈钢的预热，主要为了避免马氏体和粗大铁素体造成的组织硬化和脆化，防止热影响区及焊缝金属的焊接裂纹。马氏体不锈钢的预热温度最好在 200℃ 以上，一般为 200~400℃。铁素体不锈钢很少产生马氏体，且预热温度过高易产生 475℃ 脆性，故预热温度以 100~200℃ 为宜。采用奥氏体不锈钢焊条焊接时，预热通常可以省去。

奥氏体不锈钢焊接时，通常不必进行预热。为了防止热裂纹及铬碳化合物析出，层间温度也应尽量低，一般在 250℃ 以下。

(9) 焊后热处理 铬不锈钢的焊后热处理，目的是改善热影响区和焊缝金属的力学性能以及防止产生延迟裂纹。对于马氏体铬不锈钢（如 Cr13 钢），通过焊后热处理可恢复塑性、韧性，得到良好的力学性能。对于铁素体铬不锈钢（如 Cr17 钢），通常焊后热处理可恢复塑性，但韧性几乎没有提高。

奥氏体不锈钢的焊后热处理，一般进行固溶处理和消除应力处理。因为热处理容易造成变形及产生氧化皮，因此，最好能省略。但是，对于焊后要进行冷、热加工的工件，以及在容易产生应力腐蚀裂纹的环境中使用，就有必要进行焊后热处理。

不锈钢复合钢板的焊接，焊条选用见表 6-49，要分别根据基层、过渡层及复层选用。交界处选用的焊条必须考虑基层金属对焊缝成分的稀释作用，因此，通常要选用含 Cr、Ni 量较高的 24-13、24-13Mo 或 26-20 型不锈钢焊条、复合板对接接头的焊接顺序如图 6-21 所

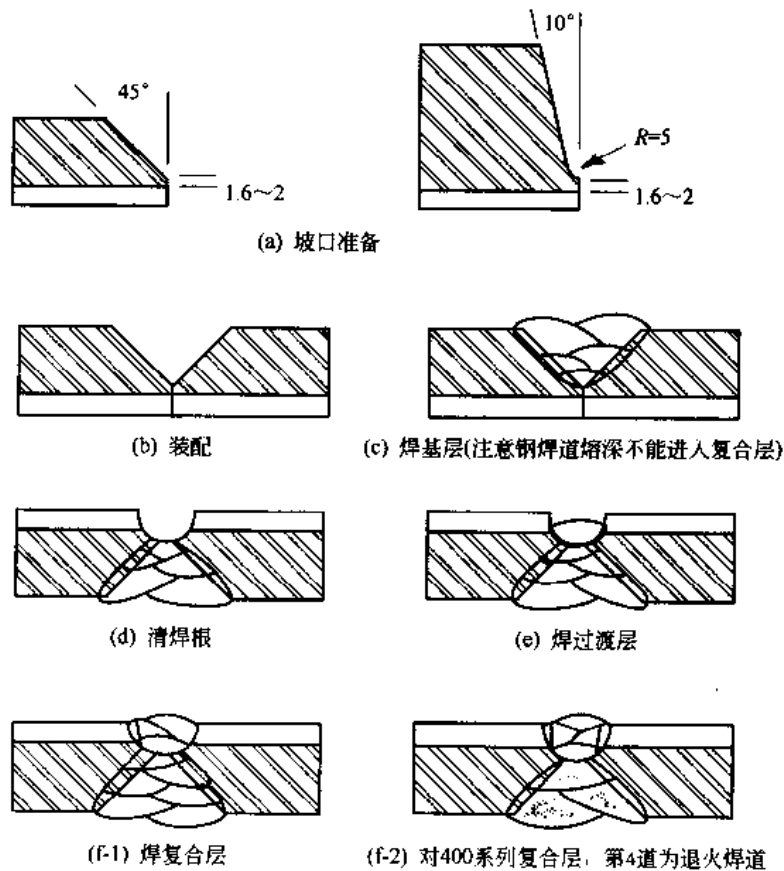


图 6-21 不锈钢复合板焊接顺序

示，即先焊基层（碳钢或低合金钢）焊缝，再焊交界处的过渡层焊缝，最后焊不锈钢复层焊缝。

六、低温钢电焊条

随着国民经济的迅速发展，石油化学工业中液化气体的生产、输送和贮存，以及各种低温下工作的压力容器、管道和设备的应用日益增多，低温钢焊条的开发及焊接工艺的研究也日益为人们所重视。

（一）低温钢的种类和性能

用于制造 $-20\sim-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温下工作的焊接结构的专用钢材，称为低温钢。作为低温用钢，最重要的是在所要求的低温工作条件下具有足够的强度、塑性和韧性；同时，应具有良好的制造工艺性能，对应变时效脆性和回火脆性的敏感性要小，以便在结构制成后，使钢材和焊接接头区的脆性转变温度低于最低工作温度，具备足够的抗断能力，达到安全和经济使用的目的。

低温钢通常按使用温度等级、合金含量和组织以及合金系统中有无镍、铬元素进行分类。

根据液化气体生产工艺流程的特点，低温钢一般以不同的使用温度分级，可分为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等级。各种液化气体的沸点与适用的低温钢参见图 6-22。低温钢按其化学成分和组织特点可分为三大类。一是低合金铁素体型低温钢，含合金元素总量不超过 5%，组织为铁素体加少量珠光体，按其化学成分、炼钢工艺、热处理方法和板厚的不同，分别在 $-20\sim-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内使用。二是中合金低碳马氏体型低温钢，典型钢种是 9Ni 钢，合金元素总含量为 5%（不包括） $\sim 10\%$ ，组织与热处理方法有关。通常，淬火后的组织为低碳马氏体，正火后的组织为低碳马氏体、铁素体及少量奥氏体，回火后的组织为含镍铁素体和少量富碳奥氏体。回火后的组织使 9Ni 钢在 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温下具有优良的低温韧性。三是高合金奥氏体型低温钢，这类钢的合金元素总含量大于 10%，组织为奥氏体。钢中含有较高的奥氏体化合金元素和稳定奥氏体的合金元素，以得到稳定的奥氏体组织，从而使之具有极为优良的低温韧性，在 $-196\sim-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温下仍保持相当高的韧性。按有无镍、铬元素分类，当产品的工作温度低于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，国外一般均采用含镍或含镍、铬合金系统低温钢。例如，2.5 Ni 钢用于 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；3.5Ni 钢用于 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；9Ni 钢则用于 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在我国，除了采用含镍低温钢外，曾研制了一系列在 $-40\sim-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温下使用的无镍、铬合金系统低温钢。例如，16MnR 用于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；09Mn2VR 钢、09MnTiCuRE 钢用于 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；06MnNb 钢用于 $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；06AlNbCuN 钢用于 $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；20Mn23Al 钢用于 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；15Mn26Al4 钢用于 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

常用低温钢的化学成分见表 6-53。常用低温钢的基本力学性能见表 6-54。国内外低温钢落锤试验所测得的无塑性转变温度（NDT）范围及断裂韧性（COD）试验所测得的临界裂纹张开位移 δ_c 值分别见表 6-55 和表 6-56。

（二）低温钢焊条的种类和性能

由于低温钢焊条用于低温结构，对焊缝金属的低温韧性提出了严格的要求。一般低温钢焊条药皮均采用低氢型，而且，为了提高韧性，往往向熔敷金属中加入一定数量的镍。

焊条应根据所焊钢材的化学成分、性能和焊接特点、焊接结构的工作条件、结构形式和设计要求、结构和接头的刚性拘束度、焊接方法和工艺特点等，按照使用性能（强度、

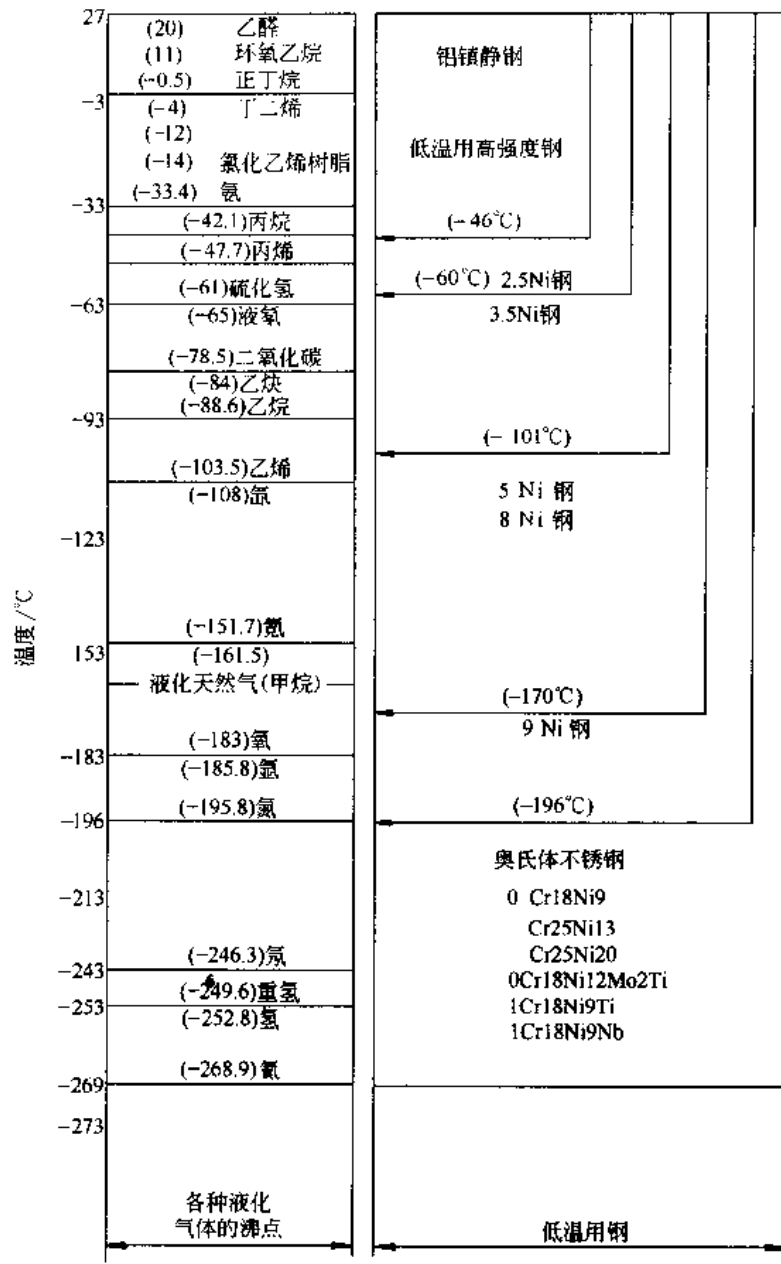


图 6-22 各种液化气体的沸点与低温用钢

塑性、韧性、抗腐蚀性及抗氧化性等) 要求进行研制和选配。

当低温钢结构的使用条件在 -45°C 以上时, 可选用低温韧性好的 Ti-B 系或高韧性普通低合金钢焊条。使用条件在 -60°C 以下的低温钢, 一般均采用含镍的低温钢焊条。在 -100°C 左右使用的低温钢, 通常均使用含 3.5Ni 或更高含镍量并含一定量钼的低温钢焊条。

但是, 近年来, 为适应新的高效、高性能钢材出现带来的变化, 大都采用焊缝金属中添加 Ti 和 B 的方法, 充分利用 Ti 和 B 细化晶粒效果, 与以往采用向焊接材料中加 Ni 或 Mo (或者是 Ni、Mo 都加) 同时利用焊道重叠再热效果以确保焊缝冲击值的方法相比, 加 Ti 和 B 的方法可以在不受后续焊道影响的条件下保证焊缝金属结晶的本质细粒化, 从而得到稳定的高韧性焊缝, 因此, 它正在逐步取代以往的 Ni (Mo) 焊接材料而得到广泛的应用。

表 6-53 常用低温钢的化学成分

/%

分类	温度等级/℃	钢号	C	Mn	Si	V	Nb	Cu	Al	Cr	Ni	其他	
无 镍 铬 低 温 钢	-40	16MnDR	≤0.20	1.20~1.60	0.20~0.60	—	—	—	—	—	—	—	
		09Mn2VDR	≤0.12	1.40~1.80	0.20~0.50	0.04~0.10	—	—	—	—	—	—	
	-70	09MnTiCuREDR	≤0.12	1.40~1.70	≤0.40	—	—	0.20~0.40	—	—	—	—	Ti 0.03~0.08; RE ⁰ 0.15
		06MnNbDR	≤0.07	1.20~1.60	0.17~0.37	—	0.02~0.04	—	—	—	—	—	—
	-105	06AlCuNbN	≤0.08	0.80~1.20	≤0.35	—	0.04~0.08	0.30~0.40	0.04~0.15	—	—	—	N 0.010~0.015
		26Mn23Al	0.15~0.25	21.0~26.0	≤0.50	0.06~0.12	—	0.10~0.20	0.7~1.2	—	—	—	N 0.03~0.08; B 0.001~0.005
	-253	15Mn26Al4	0.13~0.19	24.5~27.0	≤0.80	—	—	—	3.8~4.7	—	—	—	—
	含 镍 铬 低 温 钢	-60	0.5NiA	≤0.14	0.70~1.50	≤0.30	0.03~0.10	0.15~0.50	≤0.35	0.15~0.50	≤0.25	0.30~0.70	Mo≤0.10
			1.5NiA	≤0.14	0.30~0.70	—	—	—	—	—	—	—	—
		-80	1.5NiB	≤0.18	0.50~1.50	0.10~0.30	0.02~0.05	0.15~0.50	≤0.35	0.15~0.50	≤0.25	—	—
2.5NiA			≤0.14	≤0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5NiB			≤0.18	≤0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.5NiA			≤0.14	≤0.80	0.10~0.30	0.02~0.05	0.15~0.50	≤0.35	0.10~0.50	≤0.25	—	—	—
-100		3.5NiB	≤0.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		5Ni	≤0.12	≤0.80	0.10~0.30	0.02~0.05	0.15~0.50	≤0.35	0.10~0.50	≤0.25	—	—	—
-120~-170	9Ni	≤0.10	≤0.80	0.10~0.30	0.02~0.05	0.15~0.50	≤0.35	0.10~0.50	≤0.25	—	—	—	
-196	Cr18Ni9	≤0.08	≤2.0	≤1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Cr18Ni9Ti	≤0.08	≤2.0	≤1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	
-269	Cr25Ni20	≤0.08	≤2.0	≤1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Cr25Ni20	≤0.08	≤2.0	≤1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	

① 表示加入量。

表 6-54 常用低温钢的基本力学性能

钢 号	试验温 度/℃	屈服强度 $\sqrt{N \cdot mm^{-2}}$ ($kgf \cdot mm^{-2}$)	抗拉强度 $\sqrt{N \cdot mm^{-2}}$ ($kgf \cdot mm^{-2}$)	伸长率 /%	V形缺口冲击功 ΔJ ($kgf \cdot m$)	U形缺口冲击 值 $\Delta J \cdot cm^{-2}$
16MnR	常温 -40	339(34.6) 377(38.5)	573(58.5) 614(62.7)	30.3 19.4	— 13(1.3)	— 47
09Mn2VR	常温 -70	357(36.4) 442(45.1)	494(50.4) 612(62.4)	32.5 25.0	— 54(5.5)	— 128
09MnTiCuRE	常温 -70	≥ 314 (32) 372(38)	≥ 441 (45) 568(58)	≥ 21 31	— 11(1.1)	— 72
06MnNb	常温 -90	300(30.5) 397(40.5)	455(46.4) 548(55.9)	29.0 24.0	— 39(4.0)	— 168
06AlNbCuN	常温 -120	348(35.5) 474(48.4)	466(47.5) 578(59.0)	38.5 —	— 90(9.2)	— 163
3.5Ni	常温 -100	274~343 (28~35) —	451~598 (46~61) —	22 —	— ≥ 39 或 ≥ 27 (4.0或2.8)	— —
5Ni	常温 -170	327(38) 706(72)	539~686 (55~70) 804(82)	20 16	— ≥ 39 或 ≥ 27 (4.0或2.8)	— —
9Ni	常温 -196	490(50) 696(71)	637~784 (65~80) 1000(102)	19 14	— ≥ 39 或 ≥ 27 (4.0或2.8)	— —
20Mn23Al	常温 -196	≥ 196 (20) 480(49)	≥ 490 (50) 1009(103)	≥ 21 35	— 72(7.3)	— 172
15Mn26Al4	常温 -196 -253	≥ 196 (20) 559(57) 804(82)	≥ 490 (50) 794(81) 1000(102)	≥ 21 41 21	— 193(19.7) 187(19.1)	— 290 311
Cr18Ni9Ti	常温 -196 -253	274(28) 627(64) 755(77)	647(66) 1519(155) 1754(179)	— — —	260(26.5) 235(24.0) 216(22.0)	— — —

注：冲击功为三个试样的平均值，括号内为单个试样的最低值。

表 6-55 国内外低温钢落锤试验所测得的无塑性转变温度 (NDT) 范围

钢 号	板厚/mm	NDT 温度范围/℃	备 注
16MnR	12	-40	国内实验室 数据
09Mn2VR	14	-55	
09MnTiCuRE	12~15	-25~-55	
06MnNb	12~24	-30~-60	
06MnVTi	12~40	-40~-65	
06AlCuNbN	12~25	-55~-85	
2.5Ni	42	-60	国外实验室 数据
3.5Ni	20~50	-75~-79	
5Ni	≤ 40	< -196	
9Ni	≤ 35	< -196	

表 6-56 国内外低温钢的断裂韧性 (COD) 试验测得的临界裂纹张开位移 δ_c 值

钢号	板厚/mm	试验温度/℃	断裂韧性 δ_c /mm	备注
16MnR	20	-40	0.10	国内实验室数据(开裂 COD)
09MnTiCuRE	20	-70	0.41	
06MnNb	20	-90	0.50	
06AlCuNbN	20	-114	0.89	
3.5Ni	13	-100	0.94	国外实验室数据(最大载荷 COD)
9Ni	35	-162	0.26	
		-175	0.25	
		-191	0.19	

必须注意, 低温韧性不完全取决于焊条, 如果不严格控制焊接条件, 就不能得到良好的低温韧性。焊接条件中, 特别是焊接线能量对低温韧性有很大影响。图 6-23 所示为焊接线能量和吸收功的关系。由图中可以看出, 随着线能量的增加, 冲击韧性下降。极低温下使用的结构应选用不锈钢, 因为奥氏体钢无低温脆性, 所以选用的焊条, 也必须是熔敷金属韧性良好的奥氏体型焊条。

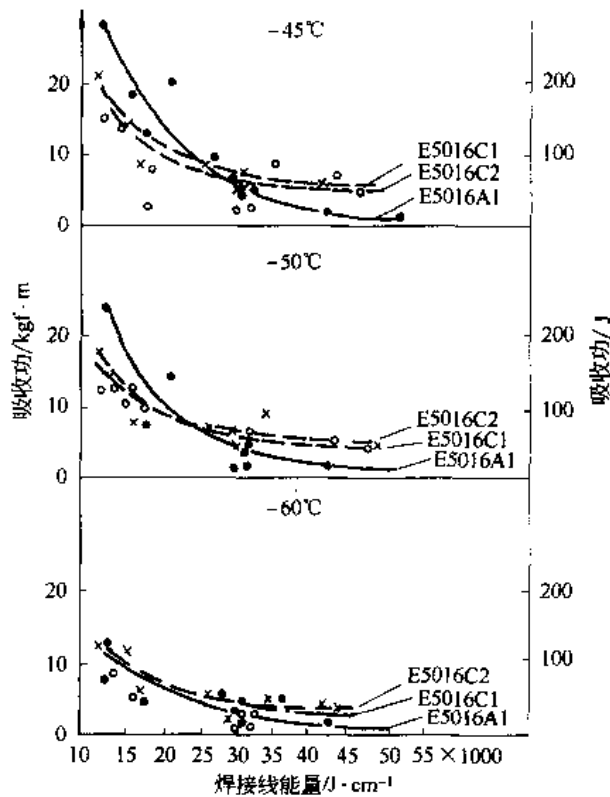


图 6-23 焊接线能量和吸收功的关系

当将不同钢号的低温钢焊接在一起时, 应选择与低温韧性较高的钢材相匹配的焊条。考虑到母材对焊缝的稀释作用, 可对焊缝金属的化学成分进行适当的调整。铁素体型、马氏体型及奥氏体型三类低温钢相互焊接时, 要特别注意焊条的选配及其对熔合区组织和性能的影响。因为成分的差异可能在熔合区附近产生脆性带, 使该区性能急剧下降。必要时可选用适应性较强、塑性和韧性优良的焊条, 如镍基合金焊条, 或在坡口上堆焊过渡层等。

常用低温钢焊条的成分、性能和用途见表 6-57。-196~-269℃高合金奥氏体型低温

表 6-57 低温钢焊条的成分、性能和用途

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%								熔敷金属力学性能		
			C	Mn	Si	Ni	S	P	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV} /J
W607	E5015-G (-)	低氢钠型含镍的低温钢焊条, 直流反接, 可全位置焊, 在 -60℃ 时焊缝金属仍具有良好的冲击韧性。焊接 -60℃ 低温钢结构, 如 13MnSi63、09MnNiNb、E36 等	≤ 0.07	1.20~ 1.70	≤ 0.50	0.20~ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.003 Ti ≤ 0.03	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27 (-60℃)
W607H	E5015-Cl (E8015-Cl)	超低氢钠型低温钢焊条, 可全位置焊, 焊接工艺性优良, 在 -60℃ 时焊缝金属仍具有良好的冲击韧性。焊接铝镇静低温钢和含镍 2.5% 低温钢压力容器和焊接结构	≤ 0.12	≤ 1.25	≤ 0.60	2.00~ 2.75	≤ 0.035	≤ 0.035	—	≥ 540	≥ 440	≥ 17	≥ 27 (-60℃)
W707	— (-)	低氢钠型低温钢焊条, 直流反接, 可全位置焊, 在 -70℃ 时焊缝金属仍具有良好的冲击韧性。焊接 -70℃ 工作的低温钢结构, 如 09Mn2V、09MnTiCuRE 等	≤ 0.10	2.0	2.0	—	≤ 0.035	≤ 0.040	Cu 0.7	≥ 490	—	≥ 18	≥ 27 (-70℃)
W707Ni	E5515-Cl (E8015-Cl)	低氢钠型含镍低温钢焊条, 直流反接, 可全位置焊, 在 -70℃ 时焊缝金属仍具有良好的冲击韧性。焊接 -70℃ 工作的低温钢结构, 如 09Mn2V、06MnVAl 和 3.5% Ni 钢等	≤ 0.12	≤ 1.25	≤ 0.60	2.00~ 2.75	≤ 0.035	≤ 0.035	—	≥ 540	≥ 440	≥ 17	≥ 27 (-70℃)
W807	E5515-G (-)	低氢钠型含镍低温钢焊条, 直流反接, 可全位置焊, 在 -80℃ 时焊缝金属仍具有良好的冲击韧性。焊接 -80℃ 工作的 2.5% Ni 钢结构	≤ 0.07	1.10~ 1.40	≤ 0.50	1.20~ 1.60	≤ 0.035	≤ 0.035	—	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 47 (-80℃)
W907Ni	E5015-C2 (E8015-C2)	低氢钠型含镍低温钢焊条, 直流反接, 可全位置焊, 在 -90℃ 时焊缝金属仍具有良好的冲击韧性。焊接 -90℃ 工作的 06AlNiCuN 和 3.5% Ni 低温用的低合金钢结构	≤ 0.12	≤ 1.25	≤ 0.60	3.00~ 3.75	≤ 0.035	≤ 0.035	—	≥ 540	≥ 440	≥ 17	≥ 47 (-90℃)
W107	E5515-C2L (E7015-C2L)	低氢钠型含镍低温钢焊条, 直流反接, 可全位置焊, 在 -90℃ 时焊缝金属仍具有良好的冲击韧性。焊接 -90℃ 工作的 06AlNiCuN 和 3.5% Ni 等低合金钢结构	≤ 0.05	0.50~ 1.00	≤ 0.50	3.10~ 3.70	≤ 0.035	≤ 0.035	Mo ≤ 0.20	≥ 490	≥ 390	≥ 22	≥ 27 (-100℃)
W107Ni	— (-)	低氢钠型含镍低温钢焊条, 直流反接, 可全位置焊, 由于焊缝含 5% 左右的镍, 焊缝金属具有良好的回火稳定性。焊接 06AlNiCuN、06MnNb 及 3.5% Ni 低温钢结构	≤ 0.08	0.05	≤ 0.30	4.00~ 5.50	≤ 0.020	≤ 0.020	Mn ≥ 0.30 Cu 0.50	≥ 490	≥ 340	≥ 16	≥ 27 (-100℃)

钢焊条已在不锈钢焊条一节中叙述。对于熔敷金属的低温韧性，通常用 V 形缺口冲击试验方法验收，也可以采用断裂韧性 (COD) 试验代替冲击试验验收熔敷金属的低温韧性，其性能要求见表 6-58，日本神户制钢公司低温钢焊条典型性能见表 6-59。

表 6-58 低温钢焊条熔敷金属断裂试验临界 δ_c 值的要求

试验温度/℃	临界 δ_c /mm	试验温度/℃	临界 δ_c /mm
-40	≥ 0.100	-100	≥ 0.070
-70	≥ 0.080	-196	≥ 0.080

(三) 焊接施工注意要点

低温钢在低温工作时有低温变脆的特殊问题，因此在制造低温容器时，焊接质量方面比常温容器的要求更为严格，焊接施工时必须制定严格的工艺规程。现以 3.5% Ni 钢的焊接为例，对施工条件作一介绍。

(1) 预热和层间温度 预热温度应根据板厚来选择，当板厚 ≥ 16 mm 时，应预热到 100~200℃，层间温度应同预热温度相一致，以减少接头热影响区硬化组织的产生，避免形成裂纹。

(2) 坡口形式 坡口的设计应尽量使填充金属量减少，坡口角度及间隙不宜过大，以免造成较大的焊接应力并引起裂纹，但也不宜过小，以防产生未焊透和未熔合缺陷。

(3) 运条方法 应采用线状焊（即焊条不摆动），焊条摆动宽度越大，输入线能量也越大，晶粒也粗大，造成低温冲击韧性降低。多层焊时，应采取累积法，尽量使焊道平坦，每层焊道要薄，利用后一焊道对前一焊道的热处理作用，以细化晶粒。有些低温设备制造厂在厚板多层多道焊时，为了确保每道焊道厚度在 2 mm 左右，规定每焊完一道焊缝，必须用砂轮机打磨，将多余焊肉磨掉。

(4) 焊接速度及电流 随着焊接速度增加，焊道数增加，焊肉厚度变薄，后面焊道的焊接热作用使细化晶粒的区域增大，故低温冲击韧性提高。

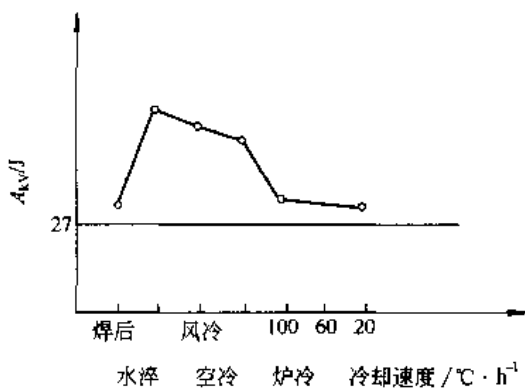


图 6-24 冷却速度对低温韧性的影响

焊接电流的影响也应从焊接线能量的角度来考虑，当焊接电流提高时，也要相应加大焊接速度。如果焊接电流过大，使熔敷金属的化学成分变化，有时会引起性能下降。

(5) 焊后热处理 可借助焊后热处理来提高韧性，它不但消除了残余应力，而且使应变时效恢复、组织软化等。但对长时间加热场合来说，脆化的倾向还是有的。一般要求后热温度在 630℃ 以下，尽量选择低的温度，保温时间要短，冷却速度要快些。冷却速度对低温冲击韧性的影响如图 6-24 所示。

至于国产无镍铬低温钢的焊接，基本上可以参照上述工艺。但无镍铬低温钢板配用含镍的焊条时（如 06MnNb+4.5Ni-0.2Mo 焊条），要考虑 X 形坡口根部焊缝金属的稀释会降低焊缝的低温韧性。因此，在根部焊接时要尽量减少熔合比，且进行必要的清根，以保证焊缝金属具有合适的成分。采用这种工艺和上述配套焊条焊成的 06MnNb 低温储槽已投产运行。

表 6-59 日本神户制钢公司低温钢焊条典型性能

牌 号	AWS 型号	熔敷金属化学成分/%								熔敷金属力学性能			特 性 及 用 途
		C	Si	Mn	P	S	Ni	其他	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	A _{kv} ℃/J	
LB-52NS	E7016-G	0.08	0.40	1.38	0.012	0.007	0.48	Ti 0.023 B 0.0021	490	580	29	-60/130(AW)	低温用 400~490 MPa 级高强度用超低氢型焊条, 熔敷金属 0.5Ni-Ti-B 系。用于 LPG 船、贮罐、低温装置及寒冷地带海洋工程的焊接
		0.08	0.31	1.32	0.007	0.004	1.33	Ti 0.020 B 0.0018	470	570	31	-60/120(SR)	
NB-1SJ	E8016-G	0.08	0.31	1.32	0.007	0.004	1.33	Ti 0.020 B 0.0018	520	610	29	-80/127(AW)	低温用 490~550 MPa 级高强度用超低氢型焊条, 熔敷金属 1.4 Ni-Ti-B 系, -45℃ CTOD 特性及 -80℃ 低温韧性优良。用于寒冷地带海洋工程、LPG 贮罐及低温设备的焊接
		0.03	0.33	0.94	0.010	0.009	3.20	Mo 0.27	490	580	29	-80/130(SR)	
NB-3N	E7016-G	0.03	0.33	0.94	0.010	0.009	3.20	Mo 0.27	460	550	32	-100/100, -85/120(SR)	制乙炔装置等 3.5% Ni 钢的焊接。NB-3N 经 600~620℃ 焊后热处理, -100℃ 低温韧性良好。NB-3J 经 575~625℃ 焊后热处理, -100℃ 低温韧性及焊态 -80℃ 韧性良好。更适用于厚板及焊后热处理范围宽大的构件
		0.04	0.26	0.66	0.006	0.003	3.44		470	560	31	-85/170(AW)	
NB-1	E8016-G	0.06	0.58	1.12	0.010	0.006	1.60		440	530	35	-100/140, -85/170(SR)	低温用 400~490 MPa 级高强度用超低氢型焊条, 熔敷金属含 1.5% Ni, -40~-50℃ 低温韧性良好
		0.06	0.58	1.12	0.010	0.006	1.60		530	620	30	-50/130(AW)	
NB-1S	E7016-G	0.08	0.27	1.44	0.014	0.005	1.43	Ti 0.037 B 0.0032	500	600	31	-50/140(SR)	低温用 490~550 MPa 级高强度用超低氢型焊条, 熔敷金属 1.5 Ni-Ti-B 系, -50℃ CTOD 特性及 -80℃ 低温韧性优良。适于焊接使用条件严格的结构
		0.08	0.27	1.44	0.014	0.005	1.43		490	580	31	-80/130(AW)	
NB-2	E8016-CI	0.06	0.45	0.89	0.010	0.006	2.41		470	560	30	-80/90(SR)	低温用 400~490 MPa 级高强度及 2.5% Ni, -60℃ 低温韧性良好
		0.06	0.45	0.89	0.010	0.006	2.41		500	610	30	-60/120(AW)	
NBA-52V	E7016-G	0.09	0.56	1.23	0.013	0.006	0.56	Ti 0.037 B 0.0032	480	580	32	-60/130(SR)	低温用 400~490 MPa 级高强度用立向下超低氢型焊条, 可比立向上焊使用更大的电流, 工艺性能优良, 熔敷金属 0.5 Ni-Ti-B 系, 60℃ 低温韧性良好。适用于 LPG 船、寒冷地带海洋工程结构的焊接
		0.09	0.56	1.23	0.013	0.006	0.56		490	590	30	-60/130(AW)	
NBA-52F	E7018-G	0.07	0.24	1.26	0.018	0.008	0.49	Ti 0.013 B 0.0012	510	570	31	-60/69(AW)	低温用 400~490 MPa 级高强度用平焊及平角焊用铁粉低氢型焊条, 焊道形状平滑, 耐油漆性好, 熔敷金属 0.5 Ni-Ti-B 系, -60℃ 低温韧性良好。适于 LPG 船、寒冷地带海洋工程结构的焊接
		0.07	0.24	1.26	0.018	0.008	0.49		510	570	31	-60/69(AW)	

注: AW—焊态; SR—620℃ × 1h 焊后热处理。

(四) 焊接 9%Ni 钢用焊条

近年来, 天然气作为高热值、无硫分的清洁能源, 正在受到人们的欢迎, 使用量逐步增加。因此, 相应的液化天然气 (LNG) 贮罐在国内外也被大量地制造。

由于作为 LNG 主要成分的甲烷, 沸点是 -161.5°C 的超低温, 这就必须有保证在如此低的温度下能安全工作的贮罐材料。能在 -161.5°C 下安全使用的材料有 9%Ni 钢、铝合金、奥氏体不锈钢及镍合金等。随着贮罐大型化, 对制造材料也提出了强度高、加工性好、焊接性优良等要求。上述几种材料中, 9%Ni 钢乃是最经济的一种材料。

9%Ni 钢的使用温度最低可达 -196°C , 自 1960 年通过研究证明不进行焊后消除应力处理 (SR) 亦可安全使用以来, 就成为制造低温贮罐的主要材料之一。9%Ni 钢的热处理方法可分为二次正火 + 回火 (NNT) 和淬火 + 回火 (QT) 两种。QT 材的屈服点和摆锤冲击值较高, 故贮罐壁板、底板、顶板大都采用 QT 材; NNT 材与 QT 材相比, 热处理较容易, 多用于制作补强壁板及顶板用的 H 形或 L 形型钢。

9%Ni 钢优异的力学性能不仅取决于它的化学成分, 也依赖于恰当的热处理。LNG 等大型焊接结构几乎都是在现场组装, 因此对焊缝区进行与轧制板材时相同的热处理是不可能的。所以, 一般都采用焊后能获得稳定的低温韧性的镍基合金作为焊接材料。尽管现在已研制成与母材成分相同的焊材, 但是至今为止, 9%Ni 钢用焊接材料仍然以高 Ni 合金为主。由于母材与焊材是异种金属, 所以在焊接上也存在一些其他材料焊接中所没有的特殊问题。

(1) 关于母材稀释率的影响 焊缝金属的强度随着在基体 Ni 中添加 Mo、Cr、W、Nb 等合金元素而提高。因此, 当母材稀释率增加时, 这些添加元素被冲淡, 焊缝金属的抗拉强度将降低。因此, 要严格控制稀释率及根部间隙等。

(2) 关于热裂纹 高 Ni 合金系焊缝金属的热裂纹敏感性历来是焊接中的一个大问题, 现在由于开发了抗裂性良好的镍基合金焊条而使焊缝金属抗热裂性能大有改善。但菲斯科 (FISCO) 抗裂试验表明, 如果焊接电流大、运条比大 (即焊接速度快), 就容易发生裂纹。所以, 对根部焊道等拘束度较大的部位进行焊接时, 必须用低电流、低焊速。

此外, 9%Ni 钢是一种强磁性材料, 采用直流电源时, 易产生磁偏吹现象, 影响焊接质量。一般作法是焊前避免接触磁场, 也可选用适于交流电源焊接的焊条。

关于 9%Ni 钢用焊条, 不但要求保证低温韧性等力学性能, 而且要求良好的抗裂性能、通过 X 射线性能和焊接工艺性能。国外 9%Ni 钢用焊条的典型性能见表 6-60。

表 6-60 国外 9%Ni 钢用焊条的典型性能

牌 号	AWS 型号	熔敷金属化学成分/%								熔敷金属力学性能				
		C	Si	Mn	P S	Ni	Cr	Mo	W	其他	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	$A_{KV}(-196^{\circ}\text{C})$ /J
NIC-70S	ENiCrFe-9	0.09	0.26	2.26	0.004 0.002	67.6	13.9	3.7	0.6	Fe9.8 Nb1.7	430	680	41	67
NIC-70E	ENiCrFe-9	0.09	0.22	2.58	0.004 0.003	72.3	12.7	3.2	—	Fe6.5 Nb2.4	430	690	40	56
NIC-1S	ENiMo-8	0.03	0.49	0.28	0.003 0.002	68.6	1.9	18.6	2.9	Fe6.8	440	730	48	83

注: 以上均为日本神户制钢公司 (KOBELCO) 产品。

NIC-70S 是熔敷金属成分为 70Ni-15Cr-Mo-Nb 系的因康镍 (INCONEL) 合金焊条, 焊

缝外观、形状及脱渣性优良，与一般因康镍焊条相比，抗裂性及通过 X 射线性能良好。

NIC-70E 是用纯镍芯制作，熔敷金属成分为 70Ni-15Cr-Mo-Nb 系的因康镍合金焊条，与一般因康镍焊条相比，可使用大电流实现高效焊接。

NIC-1S 是熔敷金属成分为 70Ni-18Mo-Cr-W 系的哈斯特洛依 (Hastelloy) 合金焊条，在高 Ni 合金焊条中，它的抗裂性能特别好，因具有和自动焊的焊缝金属相类似的成分，故可用于自动焊中的点固焊和补焊等场合。

七、堆焊电焊条

堆焊是在零件表面或边缘熔敷耐磨、耐蚀或特殊性能的金属层来制造双金属零件或修复外形不合格的金属旧零件的工艺方法，零件的易损表面采用恰当的堆焊层可显著提高其使用寿命，这对合理使用材料（特别是贵重金属）、改进产品设计、提高产品性能、降低成本具有重要意义。

堆焊的应用范围极广，如以耐蚀性为目的的压力容器和重油脱硫装置内壁的堆焊；以耐热耐磨为目的的轧钢机轧辊表面堆焊、阀门密封面的堆焊；以提高耐磨性为目的的挖掘机铲齿表面堆焊及各种机械零件的堆焊。目前，堆焊已广泛用于农机、冶金、电站、矿山、建筑、车辆、石油化工等行业用设备，以及工具、模具等的制造和修理。

堆焊工件及工作条件十分复杂，堆焊时必须根据不同要求选用合适的焊条。不同的堆焊工件和堆焊焊条要采用不同的堆焊工艺，才能获得满意的堆焊效果。

(一) 常用堆焊金属类型及其主要性能

(1) 低合金钢堆焊金属 通常以 C、Mn、Si、Cr、Mo 为合金强化元素，使堆焊金属获得珠光体、索氏体、马氏体等组织，堆焊层硬度 HRC 在 20~55 之间变化，一般用于常温工作的耐磨层堆焊。

(2) 高速钢及热模具钢堆焊金属 高速钢（为 W18 或 W9 型）一般组织为网状碳化物、莱氏体共晶体和奥氏体，用于堆焊刀具或冷冲模。5CrMnMo 和 3Cr2W8 型等用于堆焊热锻模。

(3) 高铬半马氏体、马氏体钢堆焊金属 1Cr13、2Cr13 型等具有空淬特性，耐热耐蚀性较好，用于耐热磨损（不高于 450℃ 金属间磨损）与耐蚀（水蒸气或弱酸）件的堆焊，在此类型金属中添加少量 Mo、Nb 等强化元素后，可提高耐热性、抗裂性及抗擦伤性能。

(4) 奥氏体高锰钢及铬锰奥氏体钢 堆焊金属高锰钢（如 Mn13）强度高，韧性特别优良，但极易产生热裂纹。焊后硬度在 170HB，经冷加工硬化后可达 450~500 HB，故适用于在严重的冲击载荷下有金属间磨损的工件，如铁路道岔。但耐低应力磨粒磨损性差，甚至不及碳钢。

铬锰奥氏体钢如 Cr13Mn12 除兼有高锰钢的优点外，还有较好的耐蚀性、耐热性和抗裂性。

(5) 铬镍奥氏体钢堆焊金属 18-8 型、20-10 型等不锈钢耐蚀、耐高温氧化和热强性好，但耐磨性（特别是耐磨料磨损）较低。超低碳不锈钢抗蚀性能最佳，通常用于重油脱硫装置及压力容器内壁的堆焊。

在铬镍奥氏体钢中加入 Si、W、Mo、Nb、B 等合金元素，可使高温硬度、时效强化性能也显著提高。例如，Cr18Ni12Si4MoWVNb（堆 547Mo）堆焊后 38~45HRC，可进行机械

加工，而在 510 ℃ 和 580 ℃ 下长期时效后可提高硬度 10HRC 左右，适于堆焊高温高压阀门密封面等。

(6) 合金铸铁堆焊金属 马氏体合金铸铁有很好的耐磨料磨损能力，但堆焊时易产生裂纹，焊后不能切削加工，铬钼和铬钨马氏体合金铸铁耐热性好，可用于 550 ℃ 以下工作的零件。高铬合金铸铁 ($C_{r18\% \sim 30\%}$, $C2\% \sim 5\%$) 耐热、耐腐蚀、抗氧化性能及耐磨料磨损性能均好，在高铬合金铸铁中还可加入 Co、B、W 等元素，以提高耐磨性能。

(7) 碳化钨、钴基合金堆焊金属 碳化钨硬度高，耐磨料磨损性能好，堆焊时应尽量保持碳化钨颗粒（熔点 2600 ℃）不熔化而且能均匀分布于堆焊金属基体中。

钴基堆焊金属（如 C1%~5%、W4%~25%、Cr~30%、余为 Co 含量）耐蚀、耐磨性能好，在 850 ℃ 下尚保持较高硬度，但价格昂贵，组织为奥氏体+碳化物+共晶组织。

含碳、钨量较高时，适用于高温下的高应力磨料磨损或高温工具的刃部，堆焊金属易开裂，只能用磨削或电腐蚀加工；含碳、钨较低时，抗冲击性较好，伸长率达 2%~3%，可进行机械加工，高温下耐低应力磨料磨损性能及金属间抗擦伤性能都很好。

各种铁基堆焊金属的硬度、组织与耐磨性之间的关系，定性如图 6-25 所示。一般情况下，堆焊金属层硬度高时，则耐磨性好；硬度低时，则耐磨性差，但耐冲击性好。只有高锰钢例外，它具有加工硬化性，故兼有耐磨耐冲击性能。实际上，磨损过程是个复杂的动态过程，而硬度则是个静态参量，不能全面、正确地反映这一动态过程，因此不能简单地以硬度来作为判断其耐磨性的惟一指标。硬度和耐磨性不存在一一对应关系，堆焊金属的耐磨性取决于其中硬质相的总量、各硬质相的性能和它们的形态与分布、基体的硬度和韧性等。

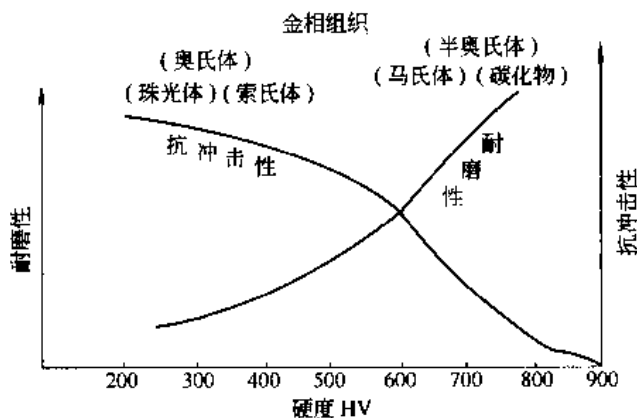


图 6-25 铁基堆焊金属的硬度、组织与耐磨性之间的关系

(二) 堆焊焊条的种类和性能

堆焊焊条的药皮类型一般有钛钙型、低氢型和石墨型三种。为了使堆焊金属具有良好的抗裂性及减少焊条中合金元素的烧损，大多数堆焊焊条均采用低氢型药皮。至于合金元素的加入方式，对于合金元素含量低的堆焊焊条，一般从药皮中加入；对于合金元素含量高的堆焊焊条，则多采用合金钢焊芯，并辅之以药皮加入。对于碳化钨焊条，有把碳化钨细粉加到药皮中的和把稍粗的碳化钨颗粒装到合金铁皮管中的两种。

根据 GB 984—1985《堆焊焊条》的有关规定，堆焊焊条分类及用途简要说明如下。

(1) EDPMn2~EDPMn6、EDPCrMo、EDPCrMnSi、EDPCrMoV、EDPCrSi 型为不同硬

度普通低、中合金钢堆焊焊条，一般用于常温及非腐蚀条件下（尤其不含铬）。含碳低的硬度较低，韧性较好，适用于在激烈的冲击载荷下工作的堆焊零件，如车轮、车钩、轴、齿轮、铁轨等磨损部分的堆焊。含碳高的硬度高，韧性较差，适用于堆焊带有磨料磨损的冲击载荷条件下工作的零件，如推土机刃板和挖泥斗牙、混凝土搅拌机叶片、水力机械及矿山机械零件等。

(2) EDRCrMnMo、EDRCrW、EDRCrMoWV 型为除铬外还含有其他合金元素如 Mo、W、V 或 Ni 等低合金钢或中合金钢堆焊焊条。在高温中能保持足够硬度和抗疲劳性能，主要用于锻模、冲模、热剪切机刀刃、轧辊等堆焊。EDRCrMoWCo 型适用于工作条件差的热模具堆焊，如锻粗、拉伸、冲孔等，也可用于金属切削刀具的堆焊。

(3) EDCr 型为马氏体高铬钢堆焊焊条。堆焊层具有空淬特性，有较高的中温硬度，耐蚀性较好。常用于金属间磨损及受水蒸气、弱酸、气蚀等作用的部件堆焊，如阀门密封面、轴、搅拌机桨、螺旋输送机叶片等。

(4) EDMn 型为奥氏体高锰钢堆焊焊条，加工硬化性特别高，堆焊后硬度不高，但经加工硬化后可达 450~500HB。适用于受严重冲击载荷和金属间磨损的工件，如破碎机颚板、铁轨道岔等堆焊。

(5) EDCrMn 型为高铬锰钢堆焊焊条。具有较好的耐磨、耐热、耐蚀和气蚀性能。EDCrMn-B 型用于水轮机受气蚀破坏的零件，如叶片、导水叶等。EDCrMn-A、EDCrMn-C、EDCr-Mn-D 型适用于阀门密封面的堆焊。这类焊条在发展中。

(6) EDCrNi 型为高铬镍钢堆焊焊条。具有较好的抗氧化、气蚀、腐蚀性能和热强性能。加入硅或钨能提高耐磨性，可以堆焊 600~650℃ 以下工作的锅炉阀门、热锻模、热轧辊等。

(7) EDD 型为高速钢堆焊焊条。适用于温度不高于 600℃ 的工作条件，熔敷金属具有很高的硬度、耐磨性和韧性。含碳高的适用于切割及机械加工，含碳低的热加工及韧性较好，通常可用于刀具、剪刀、绞刀、成型模、剪模、导轨、铰钳、拉刀及其他类似工具的堆焊。

(8) EDZ 型为含有少量 Cr、Ni、Mo 或 W 等合金元素的马氏体合金铸铁堆焊焊条。除提高耐磨性能外，还改善耐热、耐蚀及抗氧化性能，韧性也有改善。常用于混凝土搅拌机、高速混砂机、螺旋送料机等主要受磨料磨损部分的堆焊。

(9) EDZCr 型为含碳 1.50%~5.00%、含铬 22%~32% 的高铬铸铁堆焊焊条，具有优良的抗氧化和耐气蚀性能，硬度高，耐磨料磨损性能好。常用于工作温度不超过 500℃ 的高炉料钟、矿石破碎机等耐磨耐蚀件堆焊。

(10) EDCoCr 型为具有综合耐热性、耐腐蚀性及抗氧化性能的耐磨堆焊焊条。此类焊条的熔敷金属在 600℃ 以上的高温中能保持高的硬度和具有一定的耐腐蚀性能。调整碳和钨的含量可改变堆焊金属的硬度和韧性，以适应不同用途。含碳量越低，韧性越好，而且能够承受冷热条件下的冲击，适用于高温高压阀门、热锻模、热剪切机刀刃等堆焊。高碳的硬度高，耐磨性能好，但抗冲击能力弱，且不易加工，常用于牙轮钻头轴承、锅炉旋转叶轮、粉碎机刀口、螺旋送料机等部件的堆焊。

(11) EDW 型为弥散地分布着碳化钨颗粒的马氏体钢或马氏体合金铸铁堆焊焊条。具有很高的硬度，抗高应力磨料磨损的能力很强，耐低应力磨料磨损的能力也较好，可在高温 650℃ 以下工作。但耐冲击力低，裂纹倾向大。适用于耐岩石强烈磨损的机械零件，如混凝

土搅拌机叶片、推土机和挖泥机叶片、高速混砂箱等表面堆焊。

(12) EDTV 型为铸铁模具堆焊焊条。用于铸铁压延模、成型模以及其他铸铁模具的堆焊。

(13) EDNi 型为具有综合耐热性、耐腐蚀性的镍基耐磨堆焊焊条。其熔敷金属由于含有大量的碳化物而对应力开裂较敏感。主要适用于低应力磨损场合，如泥浆泵、活塞泵套筒、螺旋进料机、挤压机螺杆、搅拌机等部件的堆焊。

(14) EDWC 型为内含 60% 碳化钨粉粒的管状焊条。WC1 型粉粒是 WC 和 W_2C 的混合物。WC2 型粉粒是 WC 结晶体。复合型焊缝的硬度视焊接技术而定，一般在 30~60HRC，碳化钨粉粒的硬度一般在 2400HV20 左右。这类焊条熔敷金属的耐磨性能极为优良，适用于低冲击的耐磨场合，如钻井机、挖掘机和农用机等。某些工具也用这类焊条进行表面堆焊，如油井钻头、农用工具等。

根据《焊接材料产品样本》的编制分类，堆焊焊条按其主要用途可分为：

- (1) D00×~D09×——特殊型铸铁模具堆焊焊条；
- (2) D10×~D24×——不同硬度常温堆焊焊条；
- (3) D25×~D29×——常温高锰钢堆焊焊条；
- (4) D30×~D49×——刀具、工具堆焊焊条；
- (5) D50×~D59×——阀门堆焊焊条；
- (6) D60×~D69×——合金铸铁堆焊焊条；
- (7) D70×~D79×——碳化钨堆焊焊条；
- (8) D80×~D89×——钴基合金堆焊焊条；
- (9) D90×~D99×——其他堆焊焊条。

各种堆焊焊条的成分、特性和用途见表 6-61。耐磨堆焊用焊条种类与特点见表 6-62。美国林肯公司 (LINCOLN) 堆焊焊条性能和应用举例分别见表 6-63 和表 6-64。

(三) 堆焊焊条的选用

堆焊合金的使用性主要包括合金的耐磨性、耐腐蚀性、耐冲击性、耐气蚀性和在高温下的使用性等。选用堆焊焊条时不仅应考虑堆焊件的工作条件，如磨损类型（磨料磨损、冲击磨损或金属间磨损）、工作温度及介质，而且要考虑焊接性、堆焊层的可加工性及经济性。

虽然堆焊焊条的使用性能指标通常只以堆焊层的硬度来表示，但由于堆焊金属类型很多，堆焊金属化学成分不同，反映出显微组织及其性能的很大差异，这也就决定了堆焊层在不同工作条件下表现出不同的耐磨性。即使具有相同硬度的不同成分的堆焊层，有的在高温时很耐磨，有的只在常温下耐磨；有的堆焊层在金属间磨损中具有良好的耐磨性，有的在磨料磨损工作条件下却很快被磨耗；有的堆焊层可以在腐蚀介质中长期工作，可有的却经不起腐蚀介质的侵蚀。例如，堆焊层硬度为 $HRC \geq 50$ 的常温堆焊焊条 D207，假如代替 D397 焊条 ($HRC \geq 40$) 去堆焊热锻模，则堆焊层在热态下工作很快就会被磨损；而若用 D207 焊条代替 D256 高锰钢堆焊焊条 ($HB \geq 170$) 去堆焊铁道道岔，虽然堆焊层金属硬度很高，但因耐冲击性很差，同样不能满足使用要求。因此，必须根据堆焊件的工作条件，对堆焊层表面的加工要求及经济性等，结合堆焊焊条说明书介绍的性能特点及应用范围去综合考虑，选用合适的堆焊焊条，而不能简单地根据堆焊金属的硬度来选择堆焊焊条。某些典型产品的堆焊焊条选用举例见表 6-65。

表 6-61 堆焊焊条的成分、特性和用途

牌号	型号	药皮类型	特征与用途	熔敷金属化学成分/%						堆焊层硬度 HRC
				C	Si	Mn	Cr	其他		
D102	EDPMn2-03	钛钙型	普通低中合金锰钢堆焊条, 交直流两用, 电弧稳定, 脱渣容易。用于堆焊或修复低碳钢、中碳钢及低合金钢磨损件, 如车轴、齿轮和搅拌机叶片等	≤0.20	—	≤3.50	—	—	—	≥22
D106	EDPMn2-16	低氢钾型	普通低中合金锰钢堆焊条, 交直流两用(交流时空载电压大于 70 V)。用于堆焊或修复低碳钢、中碳钢及低合金钢磨损件, 如车轴、齿轮和搅拌机叶片等	≤0.20	—	≤3.50	—	—	—	≥22
D107	EDPMn2-15	低氢钠型	普通低中合金锰钢堆焊条, 采用直流反接。用于堆焊或修复低碳钢、中碳钢及低合金钢磨损件, 如车轴、齿轮和搅拌机叶片等	≤0.20	—	≤3.50	—	—	—	≥22
D112	EDP _{Cr} Mo-A1-03	钛钙型	铬钼钢堆焊条, 交直流两用, 电弧稳定, 脱渣容易。用于受磨损的低碳钢、中碳钢及低合金钢, 特别用于矿山机械与农业机械的堆焊与修复	≤0.25	—	≤1.50	≤0.20	其他元素总量 ≤2.00	—	≥22
D126	EDPMn3-16	低氢钾型	普通低中合金锰钢堆焊条, 交直流两用(交流时空载电压大于 70 V)。用于堆焊受磨损的低、中碳钢及低合金钢, 如车轴、齿轮、搅拌机叶片和行走主动轮等	≤0.20	—	≤4.20	—	—	—	≥28
D127	EDPMn3-15	低氢钠型	普通低中合金锰钢堆焊条, 采用直流反接。用于堆焊受磨损的低、中碳钢及低合金钢, 如车轴、齿轮、搅拌机叶片和行走主动轮等	≤0.20	—	≤4.20	—	—	—	≥28
D132	EDP _{Cr} Mo-A2-03	钛钙型	铬钼钢堆焊条, 交直流两用, 电弧稳定, 脱渣容易。用于受磨损的低碳钢、中碳钢及低合金钢, 特别用于矿山机械与农业机械的堆焊与修复	≤0.50	—	≤1.50	≤3.00	Mo≤1.50	—	≥30
D146	EDPMn4-16	低氢钾型	普通低中合金锰钢堆焊条, 交直流两用, 电弧稳定。用于堆焊各种受磨损的碳钢管及碳钢管岔	≤0.20	—	≤4.50	—	其他元素总量 ≤2.00	—	≥30
D156	—	低氢钾型	铬锰钢堆焊条, 具有抗高冲击载荷和金属间摩擦磨损性能, 交直流两用(交流时空载电压大于 70 V), 电弧稳定, 焊接工艺性好, 脱渣容易, 飞溅小, 焊缝成形美观。用于轧钢机零件堆焊, 如槽轮轧机、铸钢大齿轮、拖拉机驱动轮、支重轮和链轮等	≈0.10	≈0.50	≈0.70	≈3.20	—	—	≈31
D167	EDPMn6-15	低氢钠型	普通低中合金锰钢堆焊条, 采用直流反接。用于农业机械、建筑机械等磨损零件的堆焊, 如大型推土机、动力铲的滚轮、汽车环链等	≤0.45	≤1.00	≤6.50	—	—	—	≥50
D172	EDP _{Cr} Mo-A3-03	钛钙型	铬钼钢堆焊条, 交直流两用, 电弧稳定, 脱渣容易。用于堆焊齿轮、挖掘机斗、拖拉机刮板、深耕犁、矿山机械等磨损件	≤0.50	—	—	≤2.50	Mo≤2.50	—	≥40

牌号	型号	药皮类型	特征与用途	熔敷金属化学成分/%						堆焊层硬度 HRC
				C	Si	Mn	Cr	其他		
D177SL	—	低氢钠型	渗铝钢系列堆焊焊条中的一种,专用于焊接磨损条件下使用的渗铝钢或非渗铝钢结构,采用直流正接,短弧操作。用于焊接单层或多层各种渗铝钢受磨部件,如电站渗铝锅炉省煤器管等	≤0.50	—	—	≤2.50	Mo≤2.50	≥40	
D202A	—	钛钙型	铁基堆焊焊条,交直流两用,焊接工艺性能好,堆焊层硬度适中,具有良好的塑性和耐冲击性。用于碳钢和低合金钢轧钢机零件的堆焊,如槽轮轧机、铸钢大齿轮等	≤0.15	0.2~0.4	0.5~0.9	1.8~2.3	—	26~30	
D202B	—	钛钙型	铁基堆焊焊条,交直流两用,焊接工艺性能好,堆焊金属为马氏体组织,有良好的耐金属间磨损、耐冲击、耐磨料磨损和耐冷热疲劳性能。用于单层或多层堆焊各种受磨部件,如齿轮、挖斗、矿山机械等	0.5~0.7	0.3~0.5	0.6~1.0	4.4~5.0	—	54~58	
D207	EDPCrMnSi-15	低氢钠型	铬锰硅钢堆焊焊条,采用直流反接。用于堆焊推土机刀刃板、螺旋桨等磨损零件	0.5~1.00	≤1.00	≤2.50	≤3.50	其他元素总量 ≤1.00	≥50	
D212	EDPCrMo-A4-03	钛钙型	铬铝钢堆焊焊条,交直流两用,电弧稳定,脱渣容易。用于单层或多层堆焊各种受磨部件,如齿轮、挖斗、矿山机械等	0.3~0.60	—	—	≤5.00	Mo≤4.00	≥50	
D217A	EDPCrMo-A3-15	低氢钠型	铬铝钢堆焊焊条,直流反接。用于堆焊高强度耐磨部件,如30CrMnSi和35CrMnSi冶金轧辊的堆焊与修复、矿石破碎机部件、矿山用4 m电铲斗齿及其他挖掘机斗齿等	≤0.50	—	—	≤2.50	Mo≤2.50	≥40	
D227	EDPCrMoV-A2-15	低氢钠型	铬钼钢堆焊焊条,采用直流反接,堆焊层为马氏体基体加一定数量的高硬度碳化物,抗磨料磨损性能较高,堆焊金属具有良好的抗裂性,但切削加工比较困难,必要时可以约860℃等温退火软化。用于承受一定冲击载荷的耐磨件表面堆焊,如掘进机盘形滚刀的受磨表面	0.45~0.65	—	—	4.00~5.00	Mo 2.00~3.00 V 4.0~5.0	≥55	
D237	EDPCrMoV-A1-15	低氢钠型	铬钼钒钢堆焊焊条,采用直流反接。用于堆焊受泥沙磨损和气蚀破坏的水利机械、挖掘机斗、矿山机械零件等	0.30~0.60	—	—	8.00~10.00	Mo≤3.00 V 0.50~1.00	≥50	
D246	EDPCrSi-B	低氢钠型	堆焊焊条,交直流两用。用于堆焊常温及非腐蚀条件下,带有磨料磨损和冲击载荷条件下工作的零部件,如矿山、工程、农业、制砖、水泥、水利等机械的易磨部件	≤1.00	1.50~3.00	≤0.80	6.50~8.50	B 0.50~0.90	≥60	

续表

牌号	型号	药皮类型	特征与用途	熔敷金属化学成分/%						堆焊层硬度 HRC
				C	Si	Mn	Cr	其他		
D256	EDMn-A-16	低氢钾型	高锰钢堆焊焊条,交直流两用(交流焊时空载电压不低于70V),堆焊时宜采用小电流,窄道焊,趁红热时立即锤击或水淬,以减小裂纹倾向。堆焊金属为奥氏体高锰钢,具有加工硬化、高韧性和耐磨的特点。用于各种破碎机、高锰钢轨、铲斗、推土机等易磨损部件的堆焊	≤ 1.10	≤ 1.30	11.00~16.00	—	其他元素总量 ≤ 5.00	HB ≥ 170	
D266	EDMn-B-16	低氢钾型	高锰钢堆焊焊条,交直流两用(交流焊时空载电压不低于70V),与D256的区别是焊条金属中添加了钼,提高了抗裂性及耐磨性。堆焊时宜采用小电流,窄道焊,趁红热时立即锤击或水淬,以减小裂纹倾向。堆焊金属为奥氏体高锰钢,具有加工硬化、高韧性和耐磨的特点。用于各种破碎机、高锰钢轨、铲斗、推土机等易磨损部件的堆焊	≤ 1.10	0.30~1.30	11.00~18.00	—	Mo ≤ 2.50 其他元素总量 ≤ 1.00	HB ≥ 170	
D276 D277	EDCrMn-B-16 EDCrMn-D-15	低氢钾型 低氢钠型	高铬锰钢耐蚀堆焊焊条,采用直流反接,D276可交直流两用(交流焊时空载电压不低于70V),焊条能加工硬化、韧性好、耐气蚀,具有良好的抗裂性。用于堆焊水轮机受气蚀损坏的零件,如水轮机的导水叶片等,也可用于要求耐磨性及高韧性的堆焊,如铁路道岔、螺旋输送机、推土机刀刃板、抓斗、破碎刃等	≤ 0.80	≤ 0.80	11.00~16.00	13.00~17.00	其他元素总量 ≤ 4.00	≥ 20	
D287	—	低氢钠型	抗气蚀耐蚀沙磨专用焊条,具有良好的抗气蚀、抗泥沙磨蚀性能,焊接工艺性好,采用直流反接,可全位置焊,堆焊金属具有良好的机加工性。用于水泵、水轮机过流部件的制造及堆焊修复,还可用于同等材质转轮的焊接	≤ 0.15	—	—	12.0~16.0	Ni 4.0~6.0	HV400 (焊态)	
D307	EDD-D-15	低氢钠型	高速刀具钢堆焊焊条,采用直流反接。可在中碳钢(如45、45Mn)制成刀具毛坯上堆焊刃口以达到代用整体高速钢的目的,也可用于堆焊修复受磨损的刀具及其他工具	0.70~1.00	—	—	3.80~4.50	W 17.0~19.5 V 1.00~1.50 其他 ≤ 1.50	≥ 55 (焊后经540℃二次回火)	
D317	EDRCrMoW V-A3-15	低氢钠型	铬钼钨钒堆焊焊条,直流反接。可用于中碳堆焊,也可用于一般切削工具的堆焊	0.70~1.00	—	—	3.00~4.00	W 3.0~5.00 Mo 3.0~5.00 V 1.00~1.50 其他 ≤ 1.50	≥ 50 (焊后空冷)	
D317A	—	低氢钠型	高合金焊芯与药皮过渡合金相结合的铬钼钨钒堆焊焊条,直流反接,具有良好的工艺性、耐磨性、红硬性和高温冲击韧性,特别是具有良好的冷焊抗裂性,适合大型工件大面积不预热表面堆焊。用于堆焊耐强烈冲击磨损、耐腐蚀和耐气蚀的场合,如高炉料钟、单齿粗磨、双齿粗破碎机、螺旋输送机叶片、抽风机叶片和中高压阀门密封面等	0.3~0.8	0.3~0.6	0.5~1.0	3~4	W 6~8 Mo 2.0~3.5 V 1.5~2.5	58~62 (焊后空冷)	

续表

牌号	型号	药皮类型	特征与用途	熔敷金属化学成分/%						堆焊层硬度 HRC
				C	Si	Mn	Cr	其他		
D322	EDRCrMoW V-A1-03	钛钙型	铬钨钼钒冷冲模堆焊焊条,交直流两用,电弧稳定,脱渣容易。用于堆焊各种冲模及切削刀具,也可用于修复要求耐磨性较高的机械零部件	≤ 0.50	—	—	≤ 5.00	W7.0~10.00 Mo ≤ 2.50 V ≤ 1.00	≥ 55 (焊后空冷)	
D327	EDRCrMoW V-A1-15	低氢钠型	铬钨钼钒冷冲模堆焊焊条,直流反接。用于堆焊各种冲模及切削刀具,也可用于修复要求耐磨性较高的机械零部件	≤ 0.50	—	—	≤ 5.00	W7.0~10.00 Mo ≤ 2.50 V ≤ 1.00	≥ 55 (焊后空冷)	
D327A	EDRCrMoW V-A2-15	低氢钠型	铬钨钼钒冷冲模堆焊焊条,直流反接。用于堆焊各种冲模及切削刀具,也可用于修复要求耐磨性较高的机械零部件	0.30~ 0.50	—	—	5.00~ 6.50	W2.00~3.50 Mo ≤ 2.00 ~3.00 V ≤ 1.00 ~3.00	≥ 50 (焊后空冷)	
D337	EDRCrW-15	低氢钠型	铬钨热锻模堆焊焊条,直流反接。用于铸钢或锻钢堆焊锻模,也可用于受磨损锻模的修复	0.25~ 0.55	—	—	2.00~ 3.50	W7.00~10.0 其他 ≤ 1.0	≥ 48 (焊后空冷)	
D386	—	低氢钾型	堆焊焊条,焊接工艺性好,全位置焊。用于冷冲模的修复或在低碳钢上堆焊以代替整体模具制造各种模具、冲头等,也可用于热加工模具、轧辊等	≤ 0.6	—	—	≤ 3.0	W ≤ 5.0 其他 ≤ 3.0	≥ 50	
D392 D397	EDRCrMn Mo-03 EDRCrMn Mo-15	钛钙型 低氢钠型	D392为钛钙型堆焊焊条,交直流两用,堆焊层组织为马氏体和残余奥氏体;D397为低氢钠型铬钨钼热锻模堆焊焊条,直流反接。具有耐金属间摩擦磨损及磨料磨损的性能。用于堆焊铸钢或锻钢作坯体的热锻模,也用于修复5CrMnMo、5CrNiMo、5CrNiSiW钢制旧锻模或堆焊高强度耐磨零部件	≤ 0.60	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 2.00	Mo ≤ 1.00	≥ 40 (焊后空冷)	
D406	EDRCrMoWCo-A	低氢钾型	铬钨钼热强耐磨堆焊焊条,堆焊金属组织为 α 固溶体+奥氏体+马氏体+共晶组织,具有较高的红硬性、抗裂性和耐疲劳性。用于耐高温刀具、模具,如热剪切刀口的堆焊	≤ 0.5	≤ 2.0	≤ 2.0	≤ 6	Mo ≤ 5 W ≤ 10 V ≤ 2 Co ≤ 12 其他 ≤ 2.0	≈ 50 (焊后空冷)	
D417	EED-B-15	低氢钠型	高速刀具钢堆焊焊条,直流反接,良好的工艺性、耐磨性和抗裂性。用于堆焊耐强烈冲击磨损、耐腐蚀、气蚀的场合,如单双齿滚破破碎机、叶片、高炉料钟等,也用于各种冲压机模具的堆焊	0.5~ 0.9	≤ 0.80	≤ 0.60	3.0~ 5.0	Mo 5.0~9.5 W 1.0~2.5 V 0.8~1.3 其他 ≤ 1.00	≥ 55 (焊后空冷)	
D427	—	低氢钠型	高温耐磨堆焊焊条。用于高温条件下具有高硬度和耐磨损部件的堆焊,如轧辊、炼钢装料机吊牙及钢坯剪切用双金属热剪切刃的堆焊	≈ 0.8	—	≈ 13	≈ 11	Ni ≈ 2 V ≈ 2	≥ 40 (焊后空冷)	

续表

牌号	型号	药皮类型	特征与用途	熔敷金属化学成分/%						
				C	Si	Mn	Cr	其他	焊缝硬度 HRC	
D537	—	低氢钠型	堆焊焊条。用于高温条件下具有高硬度和高耐磨性的工件堆焊,主要用于冶金系统,如炼钢厂装载机吊牙及轧钢厂双金属热剪切刃的堆焊	≈0.8	—	—	≈15	Ni≈4 V≈3	40~42 (焊后空冷)	
D502	EDCr-A1-03	钛钙型	高铬钢堆焊焊条,堆焊金属为 1Cr13 高铬马氏体钢,堆焊具有空淬性,一般不需进行热处理,硬度均匀,也可在 750~800℃ 退火软化,当加热至 900~1000℃ 空冷或油淬后,可重新硬化,交直流两用,焊接工艺性好,属通用表面堆焊焊条。用于堆焊工作温度在 450℃ 以下的碳钢或合金钢的轴及阀门等	≤0.15	—	—	10.0~16.00	其他元素总量 ≤2.50	≥40 (焊后空冷)	
D507	EDCr-A1-15	低氢钠型	高铬钢堆焊焊条,堆焊金属为 1Cr13 高铬马氏体钢,堆焊具有空淬性,一般不需进行热处理,硬度均匀,也可在 750~800℃ 退火软化,当加热至 900~1000℃ 空冷或油淬后,可重新硬化,采用直流反接,属通用表面堆焊焊条。用于堆焊工作温度在 450℃ 以下的碳钢或合金钢的轴及阀门等	≤0.15	—	—	10.0~16.00	其他元素总量 ≤2.50	≥40 (焊后空冷)	
D507Mo	EDCr-A2 15	低氢钠型	高铬钢阀门堆焊焊条,堆焊金属为 1Cr13 高铬马氏体钢,堆焊层具有空淬性,堆焊金属具有较高的中温硬度、良好的热稳定性和抗冲蚀性,与 D577 焊条配合作用能获得很好的抗擦伤性,焊前不预热,焊后不热处理,采用直流反接。用于堆焊工作温度在 510℃ 以下的中温高压截止阀密封面、闸阀密封面等,堆焊闸阀密封面应与 D577 配合使用	≤0.20	—	—	10.0~16.00	Ni≤6.00 Mo≤2.50 W≤2.00 其他≤2.50	(焊后空冷) ≥37 (耐软化至 510℃)	
D507Mo Nb	EDCr-A1-15	低氢钠型	1Cr13 高铬钢阀门堆焊焊条,采用直流反接,药皮中加入适量的钼、铌等强化元素,故堆焊金属具有较好的抗高温氧化和抗裂性。用于工作温度在 450℃ 以下的中低压阀门密封面的堆焊	≤0.15	—	—	10.0~16.00	Nb≤0.50 Mo≤2.50 其他≤2.50	(焊后空冷) ≥37	
D512	EDCr-B-03	钛钙型	高铬钢堆焊焊条,堆焊金属为 2Cr13 高铬马氏体钢,堆焊层具有空淬性,一般不需要进行热处理,硬度均匀,也可在 750~800℃ 退火软化,当加热至 950~1000℃ 空冷或油淬后,可重新硬化,交直流两用,焊接工艺性好;属通用表面堆焊焊条,堆焊层比 D502 更硬、更耐磨,但较难加工。用于碳钢和低合金钢的轴、过热蒸汽阀件、搅拌机、螺旋输送机叶片等	≤0.25	—	—	10.0~16.00	其他元素总量 ≤2.50	(焊后空冷) ≥45 (耐软化 至 500℃)	
D516M D516MA	— EDCr-Mn-A-16	低氢钾型	高铬锰钢堆焊焊条,具有良好的耐磨、耐热、耐蚀以及抗热裂性,焊前不预热,焊后不热处理,堆焊层可切削加工, D516M 为 F08 焊芯, D516MA 为 1Cr13 焊芯。用于工作温度在 450℃ 以下受水、蒸汽、石油介质作用的部件,如 25 号铸钢、高中压阀门密封面等	≤0.25	≤1.00	6.00~8.00	12.0~14.00	—	38~48	

牌号	型号	药皮类型	特征与用途	熔敷金属化学成分/%						堆焊层硬度 HRC
				C	Si	Mn	Cr	其他		
D516F	—	低氢钾型	高铬锰钢堆焊条,具有良好的耐磨、耐热、耐蚀以及抗热裂性,焊前不预热,焊后不热处理,堆焊层可切削加工。用于工作温度在450℃以下受水、蒸汽、石油介质作用的部件,如25号铸钢、高中压阀门密封面等	≤0.25	≤1.00	8.00~10.00	12.0~14.00	—	—	35~45(堆焊两层,焊层高不小于4mm)
D517	EDCr-B-15	低氢钠型	高铬钢阀门堆焊条,堆焊金属为2Cr13高铬马氏体钢,堆焊层具有空淬性,一般不需进行热处理,硬度均匀,可在750~800℃退火软化。当加热至950~1000℃空冷或油淬后,可重新硬化,采用直流反接;属通用的表面堆焊条,堆焊层比D507更硬、更耐磨,但较难加工。用于堆焊碳钢或低合金钢的轴、过热蒸汽阀门、搅拌机、螺旋输送机叶片等	≤0.25	—	—	10.0~16.00	其他元素总量 ≤5.00	(焊后空冷) ≥45 (耐软化至500℃)	
D547	EDCrNi-A-15	低氢钠型	铬镍合金钢阀门堆焊条,采用直流反接,堆焊金属依靠硅进行强化,得到具有一定适量铁素体的奥氏体,具有良好的抗擦伤、耐蚀及抗氧化性。用于堆焊570℃以下工作的电站高温锅炉装重的阀门及其他密封零件	≤0.18	4.80~6.40	0.60~2.00	15.0~18.00	Ni7.00~9.00	270~320HB	
D547Mo	EDCrNi-B-15	低氢钠型	铬镍合金钢阀门堆焊条,采用直流反接,具有良好的高温抗擦伤、抗冲蚀等性能,有较高的高温硬度,良好的热稳定性和抗热疲劳性,堆焊金属时效强化效果显著,时效时间增加,硬度和抗擦伤性能进一步提高。用于600℃以下工作的高压阀门密封面堆焊	≤0.18	3.80~6.50	0.60~5.00	14.0~21.00	Ni6.50~12.0 Mo3.50~7.00 Nb0.50~1.20 其他≤0.25	≥37	
D557	EDCrNi-C-15	低氢钠型	铬镍合金钢阀门堆焊条,采用直流反接,堆焊金属依靠硅进行强化,得到铁素体加奥氏体组织,时效时间增加,硬度和抗擦伤性能进一步提高,具有良好的抗侵蚀、耐蚀及抗氧化性。用于600℃以下工作的高压阀门密封面堆焊	≤0.20	5.00~7.00	2.00~3.00	18.0~20.00	Ni7.00~10.0	≥37	
D567	EDCrMn-D-15	低氢钠型	高铬锰钢球墨铸铁阀门堆焊条,采用直流反接,堆焊金属为高铬锰型奥氏体,冷作硬化效果明显,优良的抗擦伤性,堆焊层有一定的硬度,可机械加工,抗裂性较好,焊接工艺性好,不需预热和缓冷。用于350℃以下中温中压球墨铸铁阀门密封面	0.50~0.80	≤1.30	24.0~27.00	9.50~12.50	—	HB≥210	
D577	EDCrMn-C-15	低氢钠型	高铬锰钢阀门堆焊条,采用直流反接,堆焊金属为高铬锰型奥氏体,冷作硬化效果明显,优良的抗擦伤性,有一定的中温硬度,较好的热稳定性,与D507Mo配合使用可获得很好的抗擦伤性,抗裂性好,焊前不预热,焊后不热处理,良好的机械加工性。用于510℃以下中温高压阀门密封面,在阀门中与D507Mo配合使用耐磨性能更好	≤1.10	≤2.00	12.0~18.00	12.0~18.00	Ni≤6.00 Nb≤4.00 其他≤3.00	≥28	

续表

牌号	型号	药皮类型	特征与用途	熔敷金属化学成分/%						堆焊层硬度 HRC
				C	Si	Mn	Cr	其他		
D682	—	钛钙型	高效阀门密封面不锈钢堆焊焊条,效率高达120%,焊接工艺性好,耐大电流(比普通不锈钢焊条高15%~20%),无药皮发红开裂现象,良好的抗晶间腐蚀性,交直流两用,适于平焊、平角焊。用于阀门密封面堆焊	≤ 0.10	≤ 1.00	≤ 2.50	≥ 18.00	Ni ≥ 8.00		HH ≈ 170
D608	EDZ-A1-08	石墨型	铸铁堆焊焊条,交直流两用,采用直流电源更为适宜,由于堆焊金属为铸铁组织+铬、锰的碳化物,具有较高的硬度和耐磨性,对泥沙及矿石的磨耗有良好的抵抗能力。用于农业机械、矿山设备等承受砂粒磨损与轻微冲击的零部件	2.50~ 4.50	—	—	3.00~ 5.00	Mo3.0~ 5.00		≥ 55
D618	—	石墨型	抗磨料磨损铸铁堆焊焊条,堆焊层为高碳高铬铸铁型基体+弥散碳化物相,堆焊层硬度高,但较脆,承受压力和冲击载荷的能力较低,为了不影响抗磨料磨损性能,应尽可能采用较小电流,以利于堆焊层硬质相结晶。用于堆焊承受较轻微冲击载荷,但要求具有良好的抗磨料磨损的耐磨件,如锤击式磨煤机锤头等	≤ 3.00	—	—	15.0~ 20.00	Mo1.0~2.00 V ≤ 1.00 W10.0~ 20.00		≥ 58
D628	—	石墨型	抗磨料磨损铸铁堆焊焊条,堆焊层为高碳高铬铸铁型基体+弥散碳化物相,堆焊层硬度较高,耐热强度较高,但堆焊层硬而脆,承受压力和冲击载荷的能力较低,为了不影响抗磨料磨损性能,应尽可能采用较小电流,以利于堆焊层硬质相结晶。用于堆焊承受较轻微冲击载荷,但要求具有良好的抗磨料磨损的耐磨件,如锤击式磨煤机锤头、风扇工磨煤机冲击板等	3.00~ 5.00	—	—	20.0~ 35.00	Mo4.0~6.00 V ≤ 1.00		≥ 60
D632A	—	钛钙型	高铬铸铁堆焊焊条,交直流两用,堆焊层具有良好的耐腐蚀性、耐磨料磨损性及高温耐磨性。用于堆焊要求具有良好抗磨料磨损性或常温、高温耐磨耐腐蚀的零部件,如喷粉机、漏粉机、碾路机等	2.50~ 5.00	—	—	25.0~ 40.00	—		≥ 56
D638	—	石墨型	高铬铸铁堆焊焊条,具有良好的抗磨料磨损性,交直流两用,电弧稳定,飞溅小,基本无渣,较高的熔敷效率。用于堆焊要求具有良好抗磨料磨损性能的耐磨件,如料斗、铲刀、泥泵泵壳、破碎机、锤头等	3.00~ 6.50	—	—	25.0~ 40.00	—		≥ 56
D638NH	—	石墨型	高铬铸铁堆焊焊条,具有良好的抗磨料磨损性。主要用于受磨料磨损严重零部件及高温磨削部件的修复	3.00~ 6.50	—	—	20.0~ 35.00	Ni4.00~8.50		≥ 60
D642	EDZCr-B-03	钛钙型	高铬铸铁堆焊焊条,交直流两用,堆焊层具有良好的抗气蚀能力。用于常温和高温耐磨耐腐蚀工作条件的零部件,如水轮机叶片、高压泵零件、高炉料种等	1.50~ 3.50	—	≤ 1.00	22.0~ 32.00	其他元素总量 ≤ 7.00		≥ 45

续表

牌号	型号	药皮类型	特征与用途	熔敷金属化学成分/%							堆焊层硬度 HRC
				C	Si	Mn	Cr	其他	其他		
D646	EDCr-B-16	低氢钾型	高铬铸铁堆焊焊条, 交流两用(交流焊时空载电压不低于 70 V), 堆焊层具有良好的抗气蚀能力。用于常温和高温耐冲刷腐蚀工作条件的零件, 如水轮机叶片、高压泵零件、高炉料钟等	1.50~3.50	—	1.00	22.0~32.00	其他元素总量 ≤7.00	—	≥45	
D656	EDZ-A2-16	低氢钾型	铸铁堆焊焊条, 堆焊层强度高, 耐强磨料磨损, 具有良好的抗冲击、抗氧化及耐气蚀性, 交流两用, 焊前需经(300~350)℃×1 h 烘干。用于中等冲击情况下主要受磨料磨损的耐磨零件, 如混凝土搅拌机、高速混砂机、螺旋送料器以及工作温度不超过 500℃ 的高炉料钟、矿石破碎机、煤孔挖掘机等	3.00~4.00	≤2.50	≤1.50	26.0~34.00	Mo2.00~3.00 其他≤3.00	—	≥60	
D658	—	石墨型	高铬铸铁堆焊焊条, 具有优良耐磨料磨损性, 工作温度可达 650℃, 交流两用, 电弧稳定, 基本无渣。用于磨损严重的零件及高温磨损部件	3.00~6.50	—	—	20.0~35.00	Mo4.00~9.50 Nb4.00~8.50 V0.50~2.50 W2.50~7.50	—	≥60	
D667	EDZCr-C-15	低氢钠型	索尔马依特高铬铸铁堆焊焊条, 采用直流反接, 堆焊层在 500℃ 以下具有耐磨损、耐腐蚀和耐气蚀能力, 超过此温度则堆焊层硬度明显下降。用于堆焊要求耐强烈磨损、耐腐蚀和耐气蚀的场合, 如石油工业中离心裂化泵轴套、矿山破碎机零件及柴油机引擎上的气门盖等	2.50~5.00	1.00~4.80	≤8.00	25.0~32.00	Ni3.00~5.00 其他≤2.00	—	≥48	
D678	EDZ-131-08	石墨型	含钨铸铁堆焊焊条, 交流两用。用于矿山机械和破碎机零件等受磨料磨损部件的堆焊	1.50~2.20	—	—	—	W8.00~10.0 其他≤1.00	—	≥50	
D680 D687	EDZCr-D-15	低氢钠型	含硼高铬铸铁堆焊焊条, 采用直流反接。电弧较稳定, 飞溅一般, 渣少, 脱渣容易, 堆焊层即使使用硬质合金刀具也难以进行切削加工, 只能研磨, 金相组织为马氏体+粗大复合碳化物。用于强烈磨损的场合, 如牙轮钻头小轴、煤孔挖掘机、提升斗、破碎机、泵缸筒、混合器叶片等	3.00~4.00	≤3.00	1.50~3.50	22.0~32.00	B0.50~2.50 其他≤6.00	—	≥58	
D707	EDW-A-15	低氢钠型	碳钢焊芯的碳化钨堆焊焊条, 依靠药皮中碳化钨过被合金, 堆焊金属含钨 40%~50%, 由于药皮较厚, 因而套筒较长, 在焊条发红后药皮易小块脱落, 采用直流反接, 较小电流。用于堆焊耐岩石强烈磨损的机械零件, 如混凝土搅拌机叶片、推土机、挖掘机叶片、高速混砂机箱等	1.50~3.00	≤4.00	≤2.00	—	W40.00~50.00	—	≥60	

续表

牌号	型号	药皮类型	特征与用途	熔敷金属化学成分/%						堆焊层硬度 HRC
				C	Si	Mn	Cr	其他		
D707Ni	—	低氢钠型	纯镍堆焊焊条, 依靠药皮中碳化钨过渡合金, 堆焊金属具有较好的抗裂性及抗氧化性, 采用直流反接。用于抗高温氧化、耐磨料磨损件的堆焊, 如高炉钟斗, 烧结扒齿等	—	—	—	—	WC≈5.5 其他 5.00~10.0 余 量为Ni	≥45	
D717 D717A	EDW-B-15	低氢钠型	碳化钨堆焊焊条, 采用H08A铜带孔制成O形, 直径为3.2mm, 内装粒度为60~80目, 含量为焊芯质量60%以上的铸造碳化钨, 外涂碱性低氢型涂料, 依靠焊芯中过渡碳化钨, 焊接工艺性好, 脱渣容易, 电弧稳定, 采用直流施焊, 较小电流, D717A为无缝管状焊条, 用于堆焊岩石强烈磨损的机械零部件, 如三牙轮钻头的牙爪背部、鼓风机叶片、强力采煤滚筒、轧钢机轧辊、混凝土搅拌机叶片等	1.50~ 4.00	≤4.00	≤3.00	≤3.00	W50.0~70.00 Mo≤7.00 Ni≤3.00 其他≤3.00	≥60	
D802	FDCoCr-A-03	钛钙型	钴铬钨合金焊芯的钴基堆焊焊条, 采用直流反接, 堆焊金属在650℃工作仍能保持良好的耐磨性和耐腐蚀性。用于要求在650℃左右工作仍能保持良好的耐磨性和耐腐蚀性的场合, 或承受冲击和冷热交错的部位, 如堆焊高温高压阀门及热剪切刀具等	0.70~ 1.40	≤2.00	≤2.00	25.0~ 32.00	Fe≤4.00 W3.0~6.00 其他≤4.00 余量为Co	≥40	
D812	EDCoCr-B-03	钛钙型	钴铬钨合金焊芯的钴基堆焊焊条, 采用直流反接, 堆焊金属在650℃工作仍能保持良好的耐磨性和耐腐蚀性。用于高温高压阀门、高压泵的轴套筒和内衬套筒以及化纤设备的斩刀刃口等	1.00~ 1.70	≤2.00	≤2.00	25.0~ 32.00	Fe≤5.00 W7.0~10.00 其他≤4.00 余量为Co	≥44	
D822	ELXoCr-C-03	钛钙型	高碳钴铬钨合金焊芯的钴基堆焊焊条, 采用直流反接, 渣覆盖性好, 成形美观, 具有优良的耐磨、耐热和耐腐蚀性, 在650℃高温也能保持这些特性。用于牙轮钻头轴承、锅炉的旋转叶轮、粉碎机刃口、螺旋送料机等磨损部件的堆焊	1.75~ 3.00	≤2.00	≤2.00	25.0~ 33.00	Fe≤5.00 W11.0~19.00 其他≤4.00 余量为Co	≥53	
D842	EIXoCr-D-03	钛钙型	钴基4号低碳钴铬钨合金焊芯的堆焊焊条, 采用直流反接, 堆焊金属在800℃仍能保持良好的抗热疲劳性和耐腐蚀性。用于高温条件下承受冲击和冷热交错的工件堆焊, 如热锻模、阀门密封面等, 具有良好的性能	0.20~ 0.50	≤2.00	≤2.00	23.0~ 32.00	Fe≤5.00 W≤9.50 其他≤7.00 余量为Co	28~35	

牌号	型号	药皮类型	特征与用途	熔敷金属化学成分/%						堆焊层硬度 HRC
				C	Si	Mn	Cr	其他		
D916	—	低氢钾型	含碳化物的耐磨料磨料堆焊条,交直流两用,具有良好的抗磨料磨蚀性。用于受强烈磨料磨蚀部件的堆焊修复,如排风机叶轮、泥浆泵、煤矿溜槽等	2.00~ 3.00	—	—	≤5.00	B 1.50~2.50 其他≤5.00	≥64	
D918	EDZ-A2-08	石墨型	有良好的抗氧化性、抗气蚀性。用于受中等或剧烈冲击情况下磨料磨损,如农业机械、矿山机械、粉碎机	3.0~ 4.5	≤2.5	≤1.5	26~34	Mo 2.0~3.0 Nb 0.6~1.0	≥60	
D938	EDZ-A2-00	石墨型	堆焊金属为弥散分布碳化物相的高铬铸铁,适于高应力、高温强磨损场合。用于矿山机械和泥浆泵的堆焊	高铬铸铁及其他金属碳化物						60~65
D007	EDTV-15	低氢钠型	铸铁模具用堆焊焊条,电弧稳定,焊接工艺性优良,焊缝金属为铁素体基体+弥散分布的碳化钨,具有优良的抗裂性,焊前不预热。用于灰口铸铁、球墨铸铁和合金铸铁件的堆焊及焊补,如大型铸铁压延模、铸铁成形模及铸铁模具等	≤0.25	≤1.00	2.00~ 3.00	—	Mo 2.0~3.00 V 5.00~8.00 B≤0.15	HH≥180	
D017	—	低氢钠型	铸铁刃口模堆焊焊条,焊接工艺性好,电弧稳定,飞溅较小,易脱渣,成形光洁,焊缝金属为马氏体+弥散分布的碳化钨,具有良好的抗裂性,焊前不预热。用于铸铁和合金铸铁切边模具刀口的堆焊及焊补	0.28~ 0.35	1.00~ 2.00	0.60~ 1.50	5.50~ 7.50	—	≥53	
D022	—	钛钙型	钨钼钨钒合金的高硬度耐磨堆焊焊条,交直流两用,焊接工艺性好,工件焊前不预热,焊后无需缓冷。用于建筑行业的碱泵、磨损机件和制糖、矿山、制砖、水泥、公路等机械中要求耐磨的零部件堆焊	≤1.00	—	—	≤5.00	W 12.00~16.00 Mo+V≤4.00 其他≤1.00	≥58 (焊后空冷)	
D027	—	低氢钠型	冲裁模刃口堆焊焊条,焊接工艺性好,一般焊接条件下不易产生裂纹、气孔、夹渣,焊前工件不预热,焊后不需热处理,表面硬度 HRC58。用于各种大中型冲裁修边模的剪切刃口的模具堆焊和修复	≈0.45	≈2.80	—	≈5.50	Mo≈0.50 V≈0.50	≥55	
D036	—	低氢钾型	冲裁模刃口堆焊焊条,交直流两用,焊接工艺性好,堆焊层组织及硬度稳定性好,焊前不预热,焊后不热处理。用于堆焊制造和修复冲模(在碳钢基体上堆焊形成刃口),也可用于修复要求耐磨性较高的机械零部件	0.50~ 0.70	0.60~ 0.80	0.60~ 0.90	5.00~ 6.00	Mo 1.50~2.00 V≈0.50	≥55 (焊后空冷)	
D047	—	低氢钠型	辊压机硬面堆焊焊条,采用直流反接,焊接工艺性好,抗裂性优良,冷焊不开裂,具有良好的抗挤压能力和抗磨料磨蚀性。用于滚压机挤压辊的堆焊制造及不拆卸修复,也可用于其他耐挤压磨损的机械零部件	≤1.70	≤3.00	—	4.00~ 7.00	Mo 1.50~3.00 其他≤10.00	≥55	

表 6-62 耐磨堆焊用焊条种类与特点

堆焊金属类型	硬度 HV	主要特点	主要性能						相应的焊条牌号	
			耐金属间磨损	耐磨料磨损	耐高温磨损	耐气蚀	耐蚀性	耐热性		耐冲击性
珠光体型	200~400	抗裂性好,机械加工容易	B	C	D	—	—	D	B	D102, D106, D112, D126, D132, D146, D156 等
马氏体型	350~800	硬度高,耐磨性良好,适用范围广	B	B	C	—	—	C	C	D167, D172, D207, D212, D227 等
	350~500	耐蚀、耐磨性良好	B	C	B	B	B	B	C	D502, D507, D517, D507Mo 等
半奥氏体型	500~700	韧性、耐磨性良好	B	B	C	C	C	C	C	D237
奥氏体型	150~500	高韧性、加工硬化性大	D	B	D	C	C	D	D	D256, D266
	200~400	高温硬度大,韧性良好	B	C	B	B	B	B	B	D276, D277, D577
高铬铸铁型	600~800	耐磨蚀性极好,耐蚀耐热性良好	C	A	A	D	D	B	B	D608, D618, D628, D642, D667, D687
碳化钨型	800~1200	耐强力磨损性良好	D	A	D	D	D	D	D	D707, D717
Co-Cr-W 钴基合金	350~700	高温硬度大,耐蚀耐热性良好	B	B	A	A	A	A	A	D802, D812, D822, D842

注:主要性能栏中, A—极好; B—良好; C—稍差; D—差; ——一般不使用。

表 6-63 美国林肯公司堆焊焊条性能

牌 号	堆焊层化学成分/%							堆焊层硬度 层数/HRC
	C	Mn	Si	Cr	Mo	W	其 他	
WEARSHIELD BU	0.14	1.15	0.60	1.40				1/20, 2/23, 3/25
WEARSHIELD RU-30	0.15	0.82	1.03	1.23	0.48			31(1层)
	0.16	0.87	1.14	1.49	0.58			35(2层)
	0.16	0.88	1.23	1.63	0.56			38(4层)
WEARSHIELD MM40	0.18	0.54	1.39	2.88	0.47			42(1层)
	0.20	0.58	1.50	3.68	0.53			45(2层)
	0.19	0.58	1.53	3.65	0.56			42(4层)


续表

牌号	堆焊层化学成分/%										堆焊层硬度 层数/HRC
	C	Mn	Si	Cr	Mo	W	其他				
WEARSHIELD MM	0.55	0.5	1.4	4.5	0.5	0.5	(2层以上)				1/45~55, 2或以上/52~58
WEARSHIELD T & D	0.65	0.4	0.7	3.75	6.0	1.8	V 1.1				58~62(焊态), 63~65(回火)
WEARSHIELD MI	0.9	0.4	0.4	9.5	0.6		(2层以上)				1/50, 2或以上/54
WEARSHIELD MANKJET	0.65	14.5	0.14		1.15		(2层以上)				2/18(焊态), 2/47(加工硬化)
WEARSHIELD 15CrMn	0.35	14.0	0.6	15.0			(2层以上)				18~24(焊态), 40~50(加工硬化)
WEARSHIELD PROG MANG	1.20	21.0	0.40	5.30			(2层以上)				20~30(焊态), 44~55(加工硬化)
WEARSHIELD ABR	2.1	1.1	0.75	6.5	0.40		(2层)				1/24~53, 2/28~53, 3/28~55
WEARSHIELD 44	1.56	0.17	0.77	19.5	1.92		(1层)				1/42, 2/47, 4/48
WEARSHIELD ME	1.96	0.16	0.87	24.2	2.48		(2层)				
	2.21	0.18	0.93	27.1	2.86		(4层)				
WEARSHIELD 60	2.5	0.17	0.8	27.0							49(1层)
	3.0	0.17	1.0	30.5							59(2层)
	3.3	0.16	1.1	32.6							59(3层)
WEARSHIELD 70	5.0	0.8	1.0	23.0	2.3	V 0.6	(2层)				1/57~60, 2/60~62
	5.5			20.0	6.5	2.5	V 1.0 Nb 6.5				1/65~70
WEARSHIELD SM80	2.1	1.5	0.50	15.0			(1层)				
	3.2	2.0	0.70	23.5			(2层)				1/45, 2/60, 3/60
	3.8	2.4	0.75	28.8			(3层)				
WEARSHIELD C21	0.22			26.0	5.0		Ni 3.0, Co 余量				25
WEARSHIELD C6	1.0			27.0		4.0	Ni 1.0, Co 余量				40
WEARSHIELD C1	2.0			28.0		12.0	Ni 1.0, Co 余量				50
WEARSHIELD 420	0.20	1.20	0.50	12.0							46~50
WEARSHIELD WC30											
WEARSHIELD WC40											

碳化钨管状焊条

注: 成分和硬度取决于稀释率, 单层堆焊层性能取决于基体金属和/或打底过渡层金属。

表 6-64 美国林肯公司堆焊焊条应用举例

磨 损	磨损类型 (堆焊金属组织)	工作举例	堆焊焊条牌号(硬度 HRC)
打底 	作硬化合金打底过渡层,焊道无裂纹,恢复原有尺寸(铁素体/贝氏体)	用于堆焊应用,修复过度磨损,恢复原有形状	Wearshield BU (23~28) Wearshield BU-30(28~32)
	(奥氏体)	用作碳化铬堆焊层的底层,防剥落	Wearshield 15CrMn(17~20)
金属间磨损 	金属间磨损(马氏体)	行车轮、绳缆滑轮、链轮、齿轮齿	Wearshield MM40 (38~45) Wearshield MM (52~58)
	热态下金属间磨损(马氏体工具钢)	冲模、锻模、剪切刀片、工作辊	Wearshield T & D (58~65)
	带冲击的金属间磨损(马氏体及奥氏体)	挖土及农业机械	Wearshield MI(50~58)
	带热疲劳及腐蚀的金属间磨损(高铬马氏体)	钢厂铸铁棍	Wearshield 420(52~57)
严重冲击 	受严重冲击的打底层,可加工硬化(奥氏体锰钢)	破碎机锤、建筑机械、铁路道岔	Wearshield Mangiet(17~20) Wearshield 15CrMn (17~20)
	磨损加冲击(奥氏体及碳化物)	齿、刀片、铲斗及翻斗体表面	Wearshield 22Mn5Cr (20~23)
磨料磨损 	金属对泥土,磨损加冲击(奥氏体及共晶)	铲斗齿、刮板刀片、搅拌机、锤头、破碎机	Wearshield ABR (28~53) Wearshield 44 (40~46)

续表

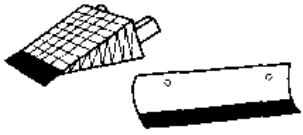
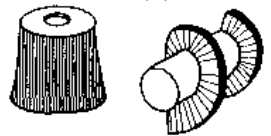
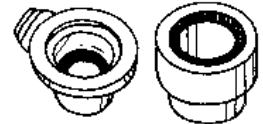
磨 损	磨损类型 (堆焊金属组织)	工件举例	堆焊焊条牌号(硬度 HRC)
 <p>金属对泥土</p>	严重磨损(初级碳化物)	破碎辊、输送螺旋、颚板	Wearshield ME (49~59)
 <p>严重磨损</p>	严重磨损(碳化钨)	铲斗齿、工具接头、硬嵌环、刀片、刮板	Wearshield 60 (57~60) Wearshield 70 (68~70) Wearshield SM80 (55~60)
 <p>高温 有色金属</p>	金属间磨损(Co基)	阀门密封面、阀座-C21	Wearshield C21(25)
	金属间磨损(Co基)	阀座、气蚀件-C6	Wearshield C6(40)
	金属间磨损(Co基)	高温运作的螺旋输送机-C1	Wearshield C1(50)

表 6-65 堆焊焊条选用举例

工作条件		典型产品	堆焊金属类型	选用堆焊焊条举例
金属间磨损	常温	轴类及车轮磨损面	低合金珠光体钢	D102、D107、D112、D126、D127、D132
		齿轮	合金马氏体钢	D146、D172、D237
		冲模、剪刀	合金马氏体钢	D322、D327
	中温	阀门密封面	高铬不锈钢、铬锰钢	D502、D507、D512、D516M、D517、D507Mo、D507MoNb、D577、D582
	高温	热锻模	热模具钢	D397
		热拔伸模、热剪刀等		D337
		阀门密封面	铬镍不锈钢	D547、D547Mo、D557
		刀具	钴基合金	D802、D812
金属间磨损 + 磨料磨损	压路机链轮	低合金珠光体钢	D102、D107、D112、D126、D127、D132、D227	
	排污阀	合金马氏体钢	D207、D212、D217	
磨料磨损	高应力	推土机刃板、矿山料车、铲斗齿	合金马氏体钢	D207、D212、D217、D227、D237
			合金铸铁	D608、D618、D628、D642、D646、D667、D678、D687、D698
	低应力	泥浆泵、混凝土搅拌机叶片、螺旋输送机、水轮机叶片	合金马氏体钢	D207、D212、D217、D227、D237
			合金铸铁	D608、D618、D628、D632、D638、D642、D646、D667、D678、D687、D698
		石油牙轮钻头、钻杆接头	碳化钨	D707、D717
		高炉料钟、推焦机	碳化钨	D707、D717
高温	高炉料钟、推焦机	合金铸铁	D642、D646、D667、D656	

续表

工作条件		典型产品	堆焊金属类型	选用堆焊焊条举例
磨料磨损 + 冲击磨损		颚式破碎机牙板、挖掘斗齿	合金马氏体钢	D207、D212、D217、D237
			高锰钢	D256、D266
冲击磨损	常温	铁道道岔、履带板	高锰钢	D256、D266
	高温	热剪切机、热锯	铬锰奥氏体钢	D276、D277
耐腐蚀	中温 耐水蚀	原子锅炉、压力容器	铬镍奥氏体钢	A042
	高温 耐蚀	内燃机排气阀	钴基合金	D802、D812、D822、D842
耐气蚀	常温	水轮机叶片	铬锰奥氏体钢	D276、D277
			合金铸铁	D642、D646
			合金马氏体钢	D237

注：阀门密封面除在一定温度下受金属磨损外，还受介质腐蚀、擦伤及冲蚀等。

(四) 阀门堆焊焊条的性能比较和选用

阀门在国民经济中属于量大面广的产品，种类很多。从用途来分，有接通或切断管路各段介质的闸阀、截止阀等；有调节管路流量和压力的节流阀等；有改变介质流向的分配阀及其他各种用途的阀门。流经阀门的介质可以是水、油、蒸汽，也可是具有强腐蚀性的各种液体状化工产品，此外，根据阀门的工作条件（如温度、压力等），又可分为低压、中温中压和高温高压阀门等。

阀门在使用过程中，其密封面长期处于介质中，受到介质的腐蚀和冲刷，同时还存在着密封比压作用下的密封副之间的摩擦磨损，因此工况条件是相当恶劣的。

众所周知，阀门密封面质量直接影响到阀门的使用寿命，选用性能良好的材料堆焊密封面，可以显著延长阀门的使用寿命。由于阀门使用条件常要求密封面具有抗擦伤、抗腐蚀、抗冲刷等性能，而采用某一合金元素的材料很难满足这些要求，因而发展了多种合金成分的堆焊材料。国内常用的阀门密封面堆焊焊条按其堆焊金属类型大致可以分为：

(1) Cr13 型马氏体或半马氏体类焊条，如 D502、D507、D512、D517、D507Mo、D507MoNb 等；

(2) CrMn 型奥氏体类焊条，如 D516M、D516MA、D567、D577 等；

(3) 以 Cr18Ni9 为基强化元素的 CrNi 型奥氏体类焊条，如 D547、D557、D547Mo、D547MoA 等；

(4) CoCrW 型钴基合金焊条，如 D802、D812、D842 等。

国内常用阀门堆焊焊条主要特性见表 6-66。现就最常用的高、中压阀门堆焊焊条分述如下。

D502 (7) 为 1Cr13 型半马氏体高铬钢焊条，D512 (7) 为 2Cr13 型马氏体高铬钢焊条，这两种堆焊层金属均具有空淬特性，经不同温度的回火处理，可得到不同硬度值。但由于大件堆焊时需采取预热缓冷措施，焊后用热处理工艺来调整堆焊密封副的硬度差，工艺复杂，即使这样，密封面的抗擦伤性能也不十分理想，因此，使用受到限制，主要用于某些闸阀及其他不是以擦伤为主要破坏形式的阀门。针对 D502 (7)、D512 (7) 焊条的缺点，在 1Cr13 基础上添加适量的 Mo、Nb 等强化稳定性元素，使堆焊金属具有较好的抗氧化和抗裂性，开发成功 D507MoNb 焊条，用于工作温度在 450℃ 以下的中、低压阀门密封面的堆焊；而

表 6-66 国内常用阀门堆焊焊条主要特性

焊条	堆焊金属类型	显微组织		硬度 HRC		焊接条件	主要用途	使用温度 /℃
		焊态	回火态	焊态	回火态			
D507(7)	1Cr13	马氏体 + 铁素体	回火马氏体 + 铁素体 + 细小碳化物	37~43	490℃ × 3 h 535 × 2 h 545℃ × 2 h 45~51 41~43 36~38	预热及焊后处理	可作高、中压阀门堆焊	<450
D512(7)	2Cr13	马氏体	回火马氏体 + 细小碳化物	45~52		不预热	使用寿命比 D502、D512 高,可代替用于高、中压阀门	<450
D516M D516MA	Cr12Mn7Si	奥氏体 + 铁素体	奥氏体 + 铁素体 + 少量碳化物	38~48				
D507Mo	Cr12MoWNi	马氏体 + 铁素体	回火马氏体 + 铁素体 + 细小碳化物	38~44	510℃ 长期时效硬度稳定	不预热	代替 1Cr13、2Cr13 型材料 D507Mo 与 D577 配合使用用于高、中压阀门	<510
D577	Cr13Mn13	奥氏体 + 铁素体	奥氏体 + 铁素体 + 弥散碳化物	29~35	有沉淀硬化效应,回火后硬度提高	不预热		
D507MoNb	Cr12MoNb	马氏体 + 铁素体	回火马氏体 + 铁素体 + 细小碳化物	40~45	480℃ × 1 h 39~43	不预热	用于中、低压阀门堆焊	<450
D567	Cr11Mn25Si	奥氏体 + 碳化物	—	26~29	—	不预热	用于球墨铸铁中温、低压阀门	<350
D547	Cr17Ni8Si5	奥氏体 + 铁素体	奥氏体 + 铁素体 + 金属间化合物	27~32		不预热 600~800℃ 预热缓冷	用于电站高压阀门堆焊	<570
D557	Cr18Ni9Si6	奥氏体 + 铁素体	奥氏体 + 铁素体 + 金属间化合物	40~46				
D547Mo	Cr17Ni8 Si4MoWVNb	奥氏体 + 铁素体	奥氏体 + 铁素体 + 金属间化合物	38~44	时效硬化作用显著 580℃ × 1000 h HRC 从 42.6 升到 53.1	400℃ 预热 热缓冷	代替 D547、D557 用于电站高压阀门堆焊	<570
D547MoA	Cr19Ni9 Si3MoWVNb	奥氏体 + 铁素体	奥氏体 + 铁素体 + 金属间化合物	30~37	650℃ × 1 h 38~42	可不预热		
D802	CoCrW 合金	奥氏体 + 碳化物 + 共晶	奥氏体 + 碳化物 + 共晶	40~48	600℃ × 1000 h HRC 从 44 升到 525	300~600℃ 预热,缓冷	用于高参数或超高温参数的电站阀门等深孔堆焊	<650
D812								

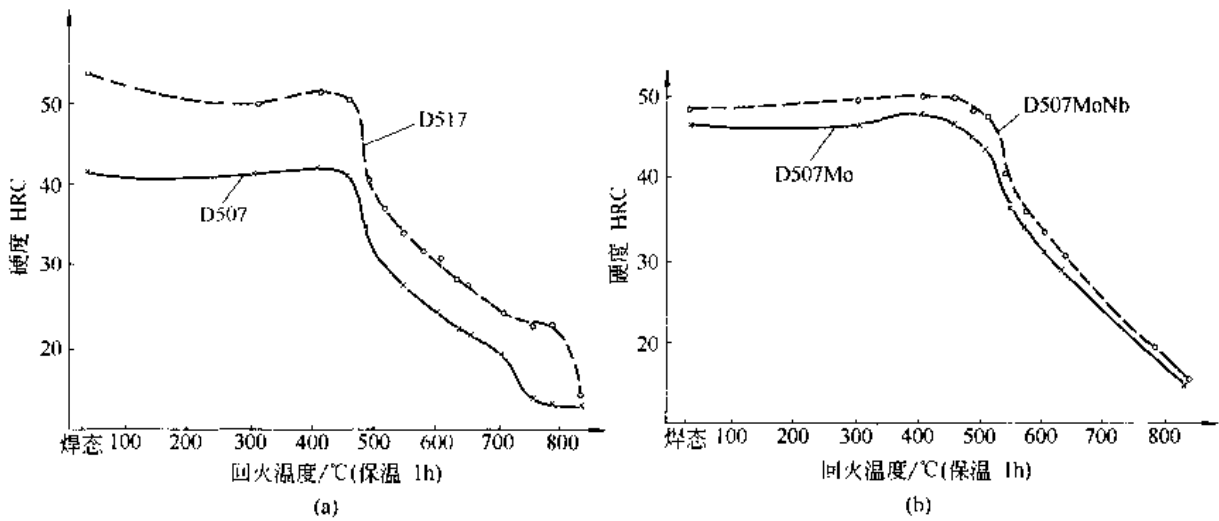


图 6-26 不同回火温度对 Cr13 型焊条堆焊金属的影响

在 1Cr13 基础上，添加适量的 Mo、W、Ni 等合金元素，使堆焊金属具有较高的中温强度，良好的热稳定性和抗冲刷性，开发出 D507Mo 焊条，D507Mo 与 D577 焊条堆焊金属组成有硬度差的密封副代替 2Cr13 型材料，具有良好的抗擦伤性，用于堆焊闸阀，使用寿命较高，不需预热，堆焊工艺简单，是目前国内阀门行业比较常用的堆焊材料。这几种堆焊金属不同回火温度时的硬度变化如图 6-26 所示。试验表明，D507Mo、D507MoNb 具有较稳定的中温硬度，在 500 °C 附近有二次硬化现象，由于堆焊金属中加入 Mo、W、V、Nb 等合金元素，使其回火抗力增加，热稳定性优于 D502 (7)、D512 (7) 焊条。

D577 为 Cr13Mn13 型焊条，堆焊金属组织为奥氏体加铁素体，经 450 °C × 500 h 时效后的组织为奥氏体 + 铁素体 + 弥散分布的碳化物，具有明显的沉淀硬化效应，不同回火温度下的硬度变化如图 6-27 所示。D577 堆焊金属硬度较低，用于堆焊阀体或阀座的密封面，而 507Mo 堆焊层硬度高，用于闸板，两者组成的密封副可获得良好的抗擦伤性能。D507Mo 和 D577 也可以有条件地单独使用。

铬镍硅型奥氏体不锈钢堆焊焊条是在 Cr18Ni9 合金基础上添加较多量的 Si，硅强化的铁素体量增加，可提高材料的抗擦伤性能。这类焊条有 D547、D557，其堆焊金属组织为奥氏体基体上弥散分布合金铁素体。使用实践表明，D547 由于硬度偏低，使用寿命不高，而 D557 焊条堆焊金属抗裂性不好，要求预热温度高，冷加工性能差，主要性能均不十分理想，为此，我国科学工作者对其合金系统作了调整，

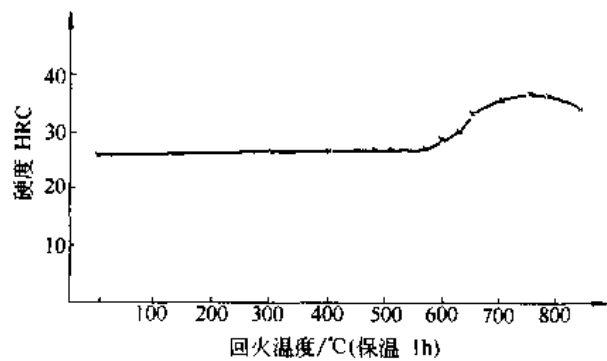


图 6-27 回火温度对 D577 金属硬度的影响

先后研制成 D547Mo 及 D547MoA 焊条。D547Mo 焊条是在只用硅合金元素强化的 D547、D557 基础上发展起来的。硅元素能提高金属的硬度、抗擦伤性和抗氧化性，但硅含量过高，会在晶界形成很脆的硅共晶及金属间化合物等脆性相，显著降低材料塑性、韧性和延展性，以致恶化了材料焊接性，甚至使堆焊层金属在冷加工时呈块状剥落。D547Mo 焊条除了采用

一定量硅元素强化外，还加入 Mo、W、Nb、V 等合金元素，由于固溶强化作用，使材料的高温硬度得到提高，并且 W、V、Nb 作为强烈的碳化物形成元素，在高温长期工作时，碳化物逐渐析出，弥散分布于晶内及晶界上，使硬度进一步提高，因此，D547Mo 是一种性能优良的高温高压阀门密封面堆焊焊条，适用于温度低于 570 ℃、压力小于 14 MPa、介质为过热蒸汽的电站阀门密封面堆焊。长期使用发现，由于 D547Mo 堆焊金属焊态硬度在 HRC40 左右，在某些阀门上使用，抗裂性稍差，要求采用较高的预热温度。近年来，编者

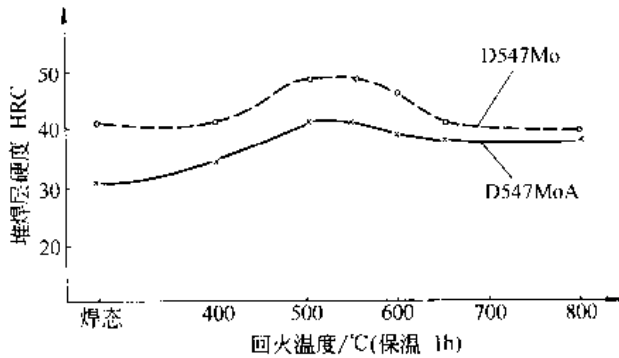


图 6-28 回火温度对 D547Mo 及 D547MoA 堆焊层硬度的影响

与有关单位合作开发了 D547MoA 焊条，该焊条仍采用 Cr-Ni-Si-Mo-W-Nb 合金系统。但 Si 含量进一步降低，增加了碳化物形成元素，使沉淀强化作用更为明显，堆焊金属焊态硬度为 HRC30~37，经 650 ℃ × 1 h 回火后，硬度可达 HRC38~42。经某电站锅炉厂阀门分厂用于 DN50、DN80 截止阀及 DN10~32 的锻造阀深孔堆焊及在各类调节阀、给水阀中堆焊阀座密封面，可代替 Co 基合金 (Stellite 合金)，取得了显著的经济效益，不同回火温度对

D547Mo 及 D547MoA 堆焊层硬度的影响如图 6-28 所示。

由图可见，D547MoA 堆焊金属的沉淀强化作用比 D547Mo 更为强烈，它的焊态硬度较低，故抗裂性好，且便于机械加工，而经 550~650 ℃ 回火后，硬度明显升高，使密封面工作状态处于较高的硬度，有利于提高阀门的使用寿命。

钴基合金堆焊焊条，一般钴基合金含 C 0.25%~3%，W 3%~14%，大多数含 Cr 30% 左右，称为司太立 (Stellite) 合金，阀门密封面堆焊常用含碳量为 0.7%~1.4% 的钴基合金。尽管钴是较稀缺而贵重的金属，但是由于它具有一系列的优良性能，某些高参数和超高参数的阀门仍经常采用钴基合金堆焊。钴基合金的组织一般是奥氏体 + 碳化物 + 共晶组织，根据成分不同，可以是亚共晶、共晶或过共晶合金，其硬度和组织不受热处理影响。钴基合金在常温和高温状态下具有良好的抗擦伤性能、抗氧化性及时效热态组织稳定性，即使在 550 ℃，其高温硬度仍高于其他牌号的各种焊条的堆焊金属，常用焊条有 D802、D812，适用于温度低于 650 ℃、压力小于 25 MPa、介质为过热蒸汽和油等高参数或超高参数的电站阀门，以及其他工作条件相似的阀门的深孔堆焊。

各种阀门焊条金属的高温硬度见表 6-67。

表 6-67 各种阀门焊条金属的高温硬度 (HRC)

焊条	20	100	200	300	350	400	500	550	570	600	700
D517	44			34.5		33	31	6			
D547	31	25	18			16.5	12				
D557	48.5		45.5			45.8	40.2		34		
D547Mo	47		49.2			45.1	46.7		38		
D567	37.5		23		24						
D802	50	45.5	43	41		39	36	34		31	26.5
LJH-3	45	40	34	32		30	26	23			

(五) 手工电弧堆焊时焊接施工的注意事项

堆焊焊条通常不像其他焊条那样要求与堆焊母材钢种相符合，而是根据适合堆焊件的磨

损条件、加工要求等因素考虑。由于堆焊层与母材在化学成分上的不同，造成金属显微组织、导热性及膨胀系数等方面的差异，因此，堆焊中最常遇到的问题是裂纹和堆焊层与母材的剥离。此外，由于堆焊金属中一般都含有一定量的碳及多种合金元素，堆焊层硬度受焊接规范及操作工艺因素影响较大，因此，应严格控制堆焊工艺，以保证获得稳定的性能。

堆焊工艺包括焊件表面清理（去油污、裂纹及疲劳层等）、焊条的再烘干、堆焊规范的选择、防止裂纹的措施，对于碳当量较高的母材及堆焊金属，为防止产生裂纹，还应考虑进行预热、保温、缓冷，必要时进行焊后热处理。减慢堆焊速度及堆焊时作适当的横向摆动，在一定场合下，有缓冷效果。

在堆焊金属为碳素钢及低合金钢的场合，可按下述公式计算碳当量，并参照表 6-68 来确定预热温度。

$$\text{碳当量 } C_e = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{Ni}}{15}$$

为了防止堆焊层金属及热影响区产生裂纹，一般要注意：

- (1) 进行预热和控制层间温度，焊后缓冷；
- (2) 进行焊后消除应力热处理；
- (3) 避免多层堆焊，采用低氢型堆焊焊条；

(4) 在母材与堆焊层之间堆焊过渡层（采用碳当量低、韧性好的焊条或奥氏体不锈钢焊条），以减少母材碳当量过高或母材与堆焊层膨胀系数相差过大而产生剥离及裂纹的危险。

此外，对于高锰钢堆焊焊条如 D256、D266、D276 等，堆焊时黄烟很大，烟尘中含有大量的氧化锰成分，对人体有害，因此，要注意加强通风，并站在上风位置进行施焊。表面堆焊施工举例如下。

表 6-68 碳当量与推荐的预热温度

钢种	碳当量/%	预热温度/℃
碳素钢	≤0.3	≤100
	≤0.4	≥100
	≤0.5	≥150
低合金钢	≤0.6	≥200
	≤0.7	≥250
	≤0.8	≥300
	≤0.9	≥350
高锰钢		不预热
奥氏体不锈钢		不预热
高合金钢		≥400

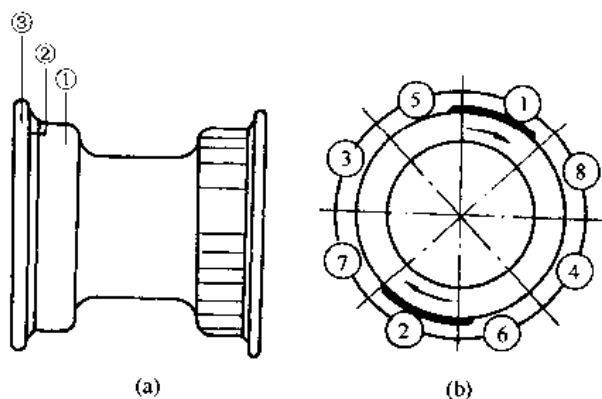


图 6-29 车轮焊接方法

施工要领如下：

(1) 车轮堆焊。

母材：中碳铬钢 40Cr。

焊条：打底用 J427 或 J507，堆焊用 D107 或 D112。

施工要领如下：

a. 车轮放在回转胎具上，预热到 200~250℃ 左右；

b. 堆焊方法如图 6-29 所示，图 (a) 的①部位用 J427 或 J507 焊条打底（这时焊接位置为 45°向上立焊或平焊位置全宽度摆动焊接）；

c. 焊接顺序如图 6-29 (b) 所示，按顺序数对称进行焊接（图中①~⑧）；

d. 用 D107 或 D112 进行表面堆焊，层间温度控制在 150℃ 左右；

e. 图 (a) 的②、③磨损部位，先用 J427 或 J507 焊条修补到规定尺寸，再用 D107 或 D112 进行堆焊。

(2) 在高锰钢母材上堆焊。

在高锰钢母材上堆焊，首先要仔细清除掉母材表面的加工硬化层，要注意防止母材的过热，为此可将母材的一部分浸在水中焊接。

母材：高锰钢。

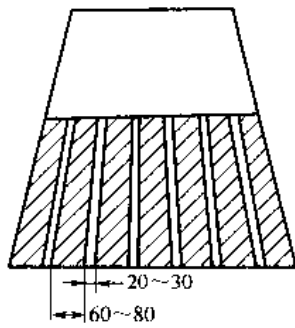


图 6-30 铲斗齿的堆焊

焊条：D256 焊条堆焊，A202 焊条打底。

施工要领如下：

- a. 用砂轮机将母材表面磨去 2~3 mm，除去加工硬化层；
- b. 当母材有裂纹时，开 V 形槽，将裂纹完全清除，然后用 A202 焊条，焊短焊道，逐渐将槽填满；
- c. 覆盖层堆焊如图 6-30 所示，将堆焊部分按 60~80 mm 宽度分区，用 A202 焊条分区堆焊；
- d. 所有分区焊完后，再用 A202 焊条将间隙部分焊完；
- e. 底层焊接完毕后，用 D256 焊条以与 A202 打底焊接施工要领所定的相同尺寸进行表面堆焊。

八、铸铁电焊条

铸铁有许多优良的性能，如良好的铸造性、耐磨性、切削加工性及吸振性等，加之价格低廉，生产设备简单，所以广泛用于机械制造及其他工业部门。

铸件在铸造过程中经常会出现各种各样的缺陷（如砂眼、缩孔、未浇满、裂纹等），在使用中也会发生损坏，这些都需要进行铸铁的焊接和补焊。

铸铁的补焊是比较困难的，主要是因为：

(1) 铸铁与钢相比，强度低、塑性极差，焊接部位即使受到比较小的局部收缩，也容易产生裂纹；

(2) 焊接部位被熔融急冷后，容易产生白口化，非常硬脆，造成切削加工困难。

所以，铸铁的焊接性是很差的。铸铁补焊是“三分材料，七分工艺”，要想顺利地进行铸铁补焊，除了合理选用各种铸铁焊条外，还必须采用适当的补焊施工方法。

(一) 铸铁的分类

工业中常用的铸铁，实际上是含碳 1.7%~4.0% 的 Fe-C-Si 三元合金，碳在铸铁中除少量溶解于金属基体之中外，大部分是以石墨或碳化物形态存在。根据碳在铸铁中存在的状态不同，可将铸铁分为白口铸铁、灰口铸铁、球墨铸铁以及可锻铸铁等。在工业部门中应用最广泛的是灰口铸铁和球墨铸铁。常用铸铁的牌号及力学性能见表 6-69。

表 6-69 常用铸铁的牌号及力学性能

种 类	牌 号		力 学 性 能			种 类	牌 号		力 学 性 能		
	新牌号	原牌号	σ_b /N·mm ⁻²	δ /%	硬度 HB		新牌号	原牌号	σ_b /N·mm ⁻²	δ /%	硬度 HB
灰口铸铁	HT100	HT10-26	100			可锻铸铁	KTZ550-04	KTZ55-4	550	4	180~250
	HT150	HT15-33	150				KTZ650-02	KTZ60-3	600	2	210~260
	HT200	HT20-40	200				KTZ700-02	KTZ70-2	700	2	240~290
	HT250	HT25-47	250	—	—	球墨铸铁	QT400-18		400	18	130~180
	HT300	HT30-54	300				QT400-15		400	15	130~180
	HT350	HT35-60	350				QT450-10		450	10	160~210
					QT500-7		—	500	7	170~230	
可锻铸铁	KTH300-06	KT30-6	300	6		QT600-3		600	3	190~270	
	KTH330-08	KT33-8	330	8		QT700-2		700	2	225~305	
	KTH350-10	KT35-10	350	10	≤150	QT800-2		800	2	245~335	
	KTH370-12	KT37-12	370	12		QT900-2		900	2	280~360	
	KTZ450-06	KTZ45-5	450	6	150~200						

注：单个值均为最小值。

(二) 铸铁焊条的种类

根据被焊铸铁的材质及所采用的焊接工艺不同(分冷焊、热焊等),铸铁焊条有多种。通常根据铸铁焊条的焊芯金属及熔敷金属的化学组成类型,大致可划分为镍基(纯镍、镍铁、镍铜)、铸铁基(又可分为碳钢芯和铸铁芯)、钢及合金钢基(如低碳钢、高钒合金钢、铜铁)等类型。各种铸铁焊条的成分、特性和用途见表 6-70。有关铸铁焊条型号简单介绍如下。

1. 铁基铸铁焊条

(1) EZC 型灰口铸铁焊条 是钢芯或铸铁芯、强石墨化型药皮铸铁焊条,可交、直流两用。

钢芯铸铁焊条药皮中加入适量石墨化元素,焊缝在缓慢冷却时可变成灰口铸铁。冷却速度快,就会产生白口而不易加工。冷却速度对切削加工性和焊缝组织影响很大。因此,操作工艺与一般冷焊焊条不同,该焊条要求连续施焊,焊后保温,以使焊缝缓冷。如 Z208 焊条。

灰口铸铁焊缝的组织、性能、颜色,基本与母材相近,但由于塑性差,不能松弛焊接应力,抗热应力裂纹性能较差。小型薄壁件刚度较小部位的缺陷可以不预热焊,而一般则应预热至 400℃ 左右再焊或热焊,焊后缓冷,这样可以防止裂纹和白口。

铸铁芯铸铁焊条,采用石墨化元素较多的灰口铸铁浇铸成焊芯,外涂石墨化型药皮,焊缝在一定冷却速度下成为灰口铸铁。如 Z248 焊条。

这种焊条特点是配合适当焊接工艺措施,不预热焊时可以基本上避免白口,切削加工性能较好,可以广泛用于不易产生裂纹的铸件部位。由于灰口铸铁焊缝塑性低,采用铸铁芯焊条补焊时焊缝区温度很高,在刚性大的部位容易引起较大的内应力并易产生裂纹。因此,补焊较大刚度时(不在铸件的边角部位,不能自由地热胀冷缩时)需局部加热或整体预热。

热焊时,用石墨化能力较弱的焊条,以免焊缝石墨片粗大,强度和硬度降低。冷焊及半热焊时,用石墨化能力较强的焊条。碳、硅含量较高的 EZC 型焊条通常用于冷焊和半热焊。碳、硅含量较低的 EZC 型焊条用于热焊和半热焊。

(2) EZCQ 铁基球墨铸铁焊条 是钢芯或铸铁芯、强石墨化型药皮的球墨铸铁焊条,可交、直流两用。药皮中加入一定量的球化剂,可使焊缝金属中的碳在缓冷过程中呈球状析出,从而使焊缝有好的塑性和力学性能。此外,焊缝的颜色与母材相匹配;焊接工艺与 EZC 型焊条基本相同。如 Z238、Z238DF、Z258 等焊条。

EZCQ 型焊条的焊缝可承受较高的残余应力而不产生裂纹。但最好采用预热及缓慢冷却速度,以防止母材及焊缝产生应力裂纹及白口。重要的铸件可以焊后进行热处理,得到所需要的性能和组织。

2. 镍基焊条

(1) EZNi 型纯镍铸铁焊条 是纯镍芯、强石墨化的铸铁焊条,可交、直流两用,进行全位置焊接。施焊时,焊件可不预热,是铸铁冷焊焊条中抗裂性、切削加工性、操作工艺及力学性能等综合性能较好的一种焊条,广泛使用于铸铁薄件及加工面的补焊。如 Z308 焊条。

(2) EZNiFe 型镍铁铸铁焊条 是镍铁芯、强石墨化药皮的铸铁焊条,可交、直流两用,进行全位置焊接。施焊时,焊件可不预热,具有强度高、塑性好、抗裂性优良、与母材熔合好等特点,可用于重要灰口铸铁及球墨铸铁的补焊。如 Z408、Z438 焊条。

表 6-70 各种铸铁焊条的成分、特性和用途

牌号	型号 GB/T (AWS)	特 征 和 用 途	熔敷金属化学成分/%						力学性能	
			C	Si	Mn	Fe	其他	σ_b /MPa	硬度 HB	
Z100	EZFe-2 ()	低碳钢芯、氧化性药皮的铸铁焊条,焊接时将熔池中的碳、硅部分烧掉,焊缝为钢组织,焊缝与母材能较好地熔合,但药皮氧化性较强,熔深大,熔合区硬度高,抗裂性和工艺性差,交、直流两用,价格低廉。用于一般铸铁件缺陷的修复,并能焊补长期使用后的旧钢锭模,焊后不能加工	—	—	—	—	—	—	—	—
Z116 Z117	EZV(-)	低碳钢芯、低氢型高钒铸铁焊条,焊缝形成以铁素体为基体以及碳化钒弥散分布的钢组织,具有较好的抗裂性,采用直流反接。用于铸铁件缺陷的焊补,如汽车缸体、机架齿轮箱等,也焊补高强度铸铁件及球墨铸铁件,焊件可不进行预热,焊后可进行切削加工,但加工性不如 Z508、Z308 和 Z408	\leq 0.25	\leq 0.70	\leq 1.50	余	V8~13	—	—	—
Z122 Fe	EZFe-2 (-)	低碳钢芯铁粉钛钙型冷焊铸铁焊条,由于加入大量铁粉并通过药皮向焊缝过渡,从而稀释铸铁中的碳,焊缝与铸铁熔合牢固,但熔合区硬度高,具有良好的抗裂,工艺性好,操作方便,电弧稳定,飞溅小,脱渣容易,焊缝成形美观,交、直流两用。用于各种灰口铸铁件非加工面的焊补	—	—	—	—	—	—	—	\leq 350
Z208	EZC (EC1)	低碳钢芯、强石墨化的铸铁焊条,焊缝经冷时可变成灰口铸铁,但抗裂性较差,交、直流两用,价格低廉。用于焊补灰口铸铁件的缺陷	2.00~ 4.00	2.5~ 6.5	\leq 0.75	余	—	—	—	—
Z208 DF	EZC (-)	钢芯铸铁冷焊焊条,具有强石墨化和铁素体化能力,冷焊接头有优良的抗裂和切削加工性,交、直流两用。用于冷焊、半热焊或热焊灰口铸件的加工面和非加工面	3.50~ 4.00	3.5~ 4.0	0.4~ 0.75	余	Ni \leq 1	—	—	—
Z238	EZCQ (-)	低碳钢芯、强石墨化的球墨铸铁焊条,由于加入一定量的球化剂,使熔敷金属中的石墨在缓冷过程中呈球状析出,力学性能好,交、直流两用。用于焊补球墨铸铁件	3.20~ 4.20	3.20~ 4.00	\leq 0.80	余	Ni \leq 1.00 球化剂 0.04~0.15	—	—	~200
Z238 DF	EZCQ (-)	钢芯球墨铸铁冷焊焊条,加入特殊球化剂和强铁素体化元素,具有良好的抗裂性和力学性能,交、直流两用。主要用于各类球墨铸铁件加工面和非加工面的焊接	3.20~ 4.00	3.20~ 4.00	\leq 0.80	余	Ni \leq 1.00 球化剂 0.04~0.15	—	—	—
Z238 SnCu	EZCQ (-)	低碳钢芯、强石墨化的球墨铸铁焊条,加入一定量球化剂及锡铜强化元素,熔敷金属具有较高的球化稳定性,力学性能好,交、直流两用。用于球墨铸铁、蠕墨铸铁、合金铸铁、可锻铸铁及灰口铸铁的焊接和焊补	3.50~ 4.00	~3.5 0.80	\leq 0.80	—	RE Mg Cu Sn 适量	—	—	410~ 690 200~ 300
Z248	EZC (-)	铸铁芯、强石墨化的铸铁焊条,石墨化能力较强,熔敷金属与母材在组织、性能和颜色上基本相同,交、直流两用。用于灰口铸铁的焊补,特别适用于较大灰口铸铁件的焊补	2.00~ 4.00	2.5~ 6.5	\leq 0.75	余	—	—	—	\leq 240

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%						力学性能	
			C	Si	Mn	Fe	其他	σ_b /MPa	硬度 HB	
Z258	EZCQ (-)	铸铁芯、强石墨化的球墨铸铁焊条,含有钼、铈、钍或钍,球化能力较强,熔敷金属与母材在组织、性能和颜色上基本相同,交、直流两用,用于球墨铸铁的焊补,特别用于较大球墨铸铁件的焊补	3.20~3.20 4.00	4.00	0.80	余	Ni \leq 1.00 球化剂 0.04~ 0.15	—	\leq 260	
Z238F Z268	EZCQ (-)	碳钢芯、强石墨化的球墨铸铁焊条,加入特殊球化剂,具有较好的抗裂性和力学性能,熔敷金属颜色、硬度与母材相似。用于各种球墨铸铁、高强度灰口铸铁的焊补	\approx 3.20	\approx 4.00	\approx 0.5	—	球化剂 适量	\geq 490	180~280	
Z308	EZNi-1 (EZNi-C1)	纯镍焊芯、强还原性强石墨化的铸铁焊条,施焊时,焊件可不预热,具有良好的抗裂性和加工性能,交、直流两用,工艺性能好。用于铸铁薄件及加工面的补焊,如汽缸盖、发动机座、齿轮箱以及机床导轨等重要灰口铸铁件。镍价格昂贵,应在其他焊条不能满足要求时才选用	\leq 2.00	\leq 2.50	\leq 1.00	\leq 8	Ni \geq 90	240~390	120~170	
Z408	EZNiFe-1 (ENiFe-C1)	镍铁合金焊芯、强还原性强石墨化的铸铁焊条,具有强度高、塑性好、线膨胀系数低等特点。抗裂性对灰口铸铁与Z308差不多,但对球墨铸铁则比Z308强,对含磷较高(0.2%P)的铸铁也有良好的效果。切削性比Z308和Z508稍差,用于常温或稍经预热(至200℃左右)灰口铸铁及球墨铸铁的焊接,交、直流两用,电弧稳定,工艺性好。用于重要的高强度灰口铸铁及球墨铸铁的焊补,如汽缸、发动机、磨齿轮等	\leq 2.00	\leq 2.50	\leq 1.8	余	Ni45~60	—	150~210	
Z408A	EZNiFe-Cu (-)	镍铁铜合金焊芯、强还原性强石墨化的铸铁焊条,交、直流两用,可全位置焊,具有强度高、韧性好、与母材熔合性好等特点,切削性与Z408相似,电弧稳定,焊条不发红,工艺性好,相当于瑞士卡斯特林公司Z240焊条。用于重要的高强度灰口铸铁及球墨铸铁的焊补,如汽缸、发动机、磨齿轮等	\leq 2.00	\leq 2.00	\leq 1.50	余	Ni45~60 Cu4~10	390~540	160~190	
Z438	EZNiFe-1 (-)	镍铁合金焊芯的石墨型铸铁焊条,加入一定量球化剂,具有良好的抗裂性和加工性能,可交、直流两用。用于球墨铸铁、高强度铸铁件加工面和非加工面的焊补	\leq 2.50	\leq 3.00	\leq 1.80	—	Ni45~60 球化剂 适量	—	150~210	
Z508	EZNiCu-1 (ENiCu-B)	镍铜合金(蒙乃尔)焊芯、强还原性石墨型铸铁焊条,工艺性能和切削加工性都接近Z308,但由于收缩率较大,抗裂性较差,焊接接头强度较低,不宜用于应力部位的焊接,可用于带温或低温预热(至200℃左右)灰口铸铁的焊接,交、直流两用,电弧稳定,工艺性好。用于强度要求不高的灰口铸铁件焊补	\leq 1.00	\leq 0.80	\leq 2.50	\leq 6	Ni60~70 Cu24~35	190~390	140~180	
Z607	— (-)	紫铜焊芯的低氢型铸铁焊条,抗裂性好,单层焊与铸铁基体熔合较好,但熔敷金属硬度不均匀,半熔化区硬度较高,切削加工有一定困难。多层焊时成形不良,易产生气孔,但价格比镍基焊条便宜,交、直流两用。多用于一般灰口铸铁非加工面的焊补	—	—	—	\leq 30	Cu	—	—	
Z612	— (-)	铜包钢芯、钛钙型铸铁焊条,交、直流两用,具有好的抗裂性,切削加工性能一般。用于一般灰口铸铁非加工面的焊补,如汽缸体的焊补等	—	—	—	\leq 30	Cu	—	—	

(3) EZNiCu 型镍铜铸铁焊条 是镍铜合金焊芯、强石墨化药皮的铸铁焊条，可交、直流两用，进行全位置焊接。其工艺性能和切削加工性能接近 EZNi 及 EZNiFe 型焊条，但由于收缩率较大，焊缝金属抗拉强度较低，不宜用于刚度大的铸铁补焊，且焊缝的颜色与母材差异较大。可在常温或低温预热（至 300℃左右）焊接。用于强度要求不高，塑性要求好的灰口铸铁件的补焊。如 Z508 焊条。

(4) EZNiFeCu 型镍铁铜铸铁焊条 是镍铁铜合金芯或镀铜镍铁芯、强石墨化药皮的铸铁焊条，可交、直流两用，进行全位置焊接。其具有强度高、塑性好、抗裂性优良、与母材熔合好等特点，切削加工性能与 EZNiFe 型焊条相似，可用于重要灰铸铁及球墨铸铁的补焊。如 Z408A 焊条。

3. 其他型焊条

(1) EZFe-1 型纯铁焊条 是纯铁芯药皮焊条。焊缝金属具有好的塑性和抗裂性能，但熔合区白口较严重，加工性能较差，适于补焊铸铁非加工面。

(2) EZFe-2 型碳钢焊条 是低碳钢芯、低熔点药皮的低氢型碳钢焊条。该焊条与 GB/T 5117—1995《碳钢焊条》中的一般碳钢焊条不同。焊缝与母材的结合较好，有一定强度，但熔合区白口较严重，加工困难，适用于补焊铸铁非加工面。如 Z100、Z122Fe 焊条。

(3) EZV 型高钒焊条 是低碳钢芯、低氢型药皮焊条。药皮中含有大量钒铁，焊缝金属中碳化钒均匀分散在铁素体上，焊缝为高钒钢。特点是焊缝致密性好，强度较高，但熔合区白口较严重，加工困难，适用于补焊高强度灰口铸铁及球墨铸铁。在保证熔合良好的条件下，尽可能采用小电流。如 Z116、Z117 焊条。

其他类型的铸铁焊条尚有采用低碳钢芯带强氧化性药皮的 Z100，紫铜丝焊芯、药皮中带有少量铁粉的 Z607，以及用低碳钢芯、外包铜皮的 Z612 焊条等。但由于这些铸铁焊条焊接工艺性能不良，熔敷金属硬度高，抗裂性差，加工困难，不能获得广泛的应用。

铸铁焊条的药皮类型，除低氢型外，大部分为石墨型。石墨型焊条一般含有较多量石墨，使焊缝金属获得较高的游离碳或碳化物。采用石墨型药皮的焊条除焊接时烟雾较大外，工艺性能较好，飞溅少，熔深较浅，引弧容易，适用于交流或直流焊接。该类焊条药皮强度较差，在包装、运输、贮存及使用中应予注意。施焊时一般以采用小规范为宜。

(三) 铸铁焊条的选择

由于铸铁的含碳量高，组织不均匀，塑性低，所以属于焊接性不良的材料。在焊接过程中极易产生白口、裂纹和气孔等缺陷，因此铸铁补焊对焊工技术熟练程度要求也较高。铸铁补焊大体可分为预热焊和冷态焊两种。目前国内可以提供 10 种以上的铸铁电焊条，可按不同的铸铁材料、不同的切削加工要求以及修补件的重要性分别选用。

1. 根据铸铁焊条的性能进行选择

常用铸铁焊条的特性和用途见表 6-71。

2. 根据铸件的材质进行选择

不同的铸铁焊条对各种铸铁的适用性是不同的，根据母材选择铸铁焊条可参照表 6-72 进行，球铁焊条的选用及特点见表 6-73。

在实际生产中，除了要根据不同的铸铁材质、焊缝表面的不同加工要求和修补件的重要程度选择焊条外，还必须考虑工件的形状、缺陷的大小及施焊工作条件等。此外，在同样适用的情况下，尽量选用价格低廉的铸铁焊条（镍基铸铁焊条的价格约为普通低碳钢芯铸铁焊条的 15~30 倍）。对于薄壁件或形状复杂的工件，如发动机缸体、机床导轨等重要铸件，

可选用镍基铸铁焊条（如 Z308、Z408 等）进行冷态补焊；对于普通灰口铸铁件，如设备机架等，可选用 Z208 焊条；而对于铸铁件上的大块缺陷，有时采用 Z248 焊条进行连续热补焊，也能取得良好效果。至于有些单位采用小直径 J507 焊条，并辅之以适当的焊接工艺来进行铸铁件的补焊，自然不属于本节的讨论范围。常见典型缺陷焊补方法及焊接材料的选择见表 6-74，拖拉机、汽车汽缸体、缸盖铸铁件和机床常见缺陷焊补方法及焊接材料的选择见表 6-75 和表 6-76。

表 6-71 常用铸铁焊条的特性和用途

焊条 牌号	操作 性能	熔敷金属 抗拉强度 $\Delta N \cdot mm^{-2}$ ($kgf \cdot mm^{-2}$)	冷焊时焊接区的性能				特性和用途
			与母材 的色别	机械 加工	气孔发 生倾向	抗裂性	
Z308	优	284~314 (29~32)	有差别 (呈白色)	非常 容易	小	好	母材即使不预热，焊接部位性能亦优良，极易加工。但对焊接部位较大或形状复杂时，母材预热到 70~150℃ 为宜。用于铸铁薄件及加工面的补焊
Z408	优	392~470 (40~48)	有差别 (呈白色)	容易	小	好	特性与 Z308 同，但因强度高，特别适于球墨铸铁及重要的灰口铸件的补焊。对于焊接部位大或形状复杂的工件需预热到 70~200℃
Z508	良	196~235 (20~24)	有差别 (呈白色)	容易	小	一般	焊接部分可进行机械加工，但因强度低，抗裂性差，不宜用于受力部位的焊接，为防止裂纹，需预热到 150~300℃，价格较 Z308 便宜，用于一般灰口铸铁件的补焊
Z208 Z248	良	≤ 294 (≤ 30)	无差别	困难	一般	较差	焊接部位颜色与母材相同，为防止焊接区硬化及产生裂纹，需预热到 200~600℃。价格低廉，可用于一般灰口铸铁件的补焊
Z116 Z117	良	392~588 (40~60)	与母材颜色接近	一般	一般	较好	可用于冷焊，加工性比镍基焊条稍差，焊缝强度高，对焊接部位较大或形状复杂的工件需预热到 150~450℃。可用于灰口铸铁、高强度铸铁及球墨铸铁件的补焊

表 6-72 根据母材选择铸铁焊条

母材	焊接种类	焊条种类				
		Z308	Z408	Z508	Z208 Z248	Z116 Z117
灰口铸铁	缩孔补焊	A	A	A	A	A
	连接	A	A	C	E	B
	裂纹补焊	A	A	B	E	B
球墨铸铁	缩孔补焊	A	A	C	D	B
	连接	B	A	E	E	C
	裂纹补焊	C	A	E	E	C
可锻铸铁	缩孔补焊	A	A	B	D	C
	连接	B	A	E	E	D
	裂纹补焊	B	A	E	E	D

注：A—优；B—良好；C—一般；D—稍差；E—不好。

表 6-73 球铁焊条的选用及特点

焊补要求	牌号	焊芯	药皮中的球化剂	特点
厚大件的较大缺陷	Z258	球墨铸铁	钇基重稀土及钡、钙	球化能力强,焊条直径 4~6 mm
焊补不经热处理,可以进行切削加工	Z238	低碳钢	适量的镁、铈球化剂	药皮中有适量球化剂,适合于球铁焊接。可以进行正火处理,处理后硬度为 200~300 HB,退火后硬度 200 HB 左右
	Z238F	低碳钢	适量的镁、铈球化剂及微量铋	焊缝颜色、硬度与母材相近,适用于铸态球铁的焊接。焊态硬度为 180~280 HB,抗拉强度大于 490 MPa。正火处理后硬度为 200~250 HB,抗拉强度大于 590 MPa。退火后硬度为 160~230 HB,抗拉强度大于 410 MPa
焊态不进行机加工	Z238SnCu	低碳钢	适量的镁、铈球化剂,另加适量锡、铜	该焊条可以与不同等级的球铁相匹配,冷焊后焊缝存在少量的渗碳体

表 6-74 常见典型缺陷焊补方法及焊接材料的选择

缺陷名称	铸铁件名称	材质	特点或焊补要求	常用焊补方法及材料	
				焊接方法	焊接材料
研伤	机床	灰铸铁	要求焊后硬度均匀,可机加工,无变形	电弧冷焊或稍加预热	Z508、Z308 镍基铸铁焊条
	大型转子铣床			电弧冷焊	Z508、Z308 镍基铸铁焊条
	龙门刨床			电弧冷焊	Z508
	镗床立面			电弧冷焊	Z308
断裂	机床床身 压力机 空气锤 剪床 冲床	灰铸铁	要求焊后焊缝与母材等强、变形小、残余应力小	电弧冷焊	Z308、Z408(可加工)或 Z116 高钒铸铁焊条
				电弧冷焊(加栽丝、补板等)	Z308、Z408(可加工)或 Z116 高钒铸铁焊条
				热焊(易预热、刚度不大件)	Z248 铸铁芯焊条

表 6-75 拖拉机、汽车汽缸体、缸盖铸铁件焊补方法及焊接材料的选择

焊补部位		常用焊补方法及材料		其他焊接方法及材料	
缺陷部位	特点	焊补方法	焊接材料	焊补方法	焊接材料
缸平面靠中部缸孔内气门导管内缸盖平面靠中部	刚度大,加工面	气焊热焊	铸铁焊丝	—	—
		电弧冷焊	Z308、Z408、Z508 镍基铸铁焊条		
缸平面非正中部缸盖平面非正中部	刚度较大,加工面	加热减应区气焊	铸铁焊丝	—	—
		电弧冷焊	Z308、Z408、Z508 镍基铸铁焊条		
缸筒底部水道裂纹变速箱,飞轮外壳等小件	刚度小,加工面	不预热气焊	铸铁焊丝	—	—
		电弧冷焊	Z308、Z408、Z508 镍基铸铁焊条		
缸体侧面裂纹、缸筒外壁裂纹等	非加工面	电弧冷焊	Z607、Z612、铜铁铸铁焊条或 Z116 高钒铸铁焊条	电弧冷焊	Z122Fe 铸铁焊条或普通碳钢焊条(J506、J507、J422 等) Z308、Z408、Z508 等铸铁焊条

表 6-76 机床常见缺陷的焊补方法及焊接材料的选择

焊补部位		常用焊补方法及材料		其他焊接方法及材料		
缺陷部位	特点	焊补方法	焊接材料	焊补方法	焊接材料	
导轨面	铸造毛坯	加工面, 有加工余量	电弧热焊	铸铁芯焊条 Z248 等	电弧冷焊或稍加预热	Z308、Z408、Z508 镍基铸铁焊条
	已加工件	加工面, 加工余量小	电弧冷焊	Z308、Z408、Z508 镍基铸铁焊条	不预热电弧焊	铸铁芯焊条 Z248 等
固定结合面	铸造毛坯	加工面, 有加工余量	手工电弧热焊	铸铁芯焊条	手工电弧冷焊或稍加预热	Z308、Z408、Z508 镍基铸铁焊条
	不预热手工电弧焊		铸铁芯焊条			
已加工件	加工面, 加工余量小	电弧冷焊或稍加预热	Z308、Z408、Z508 镍基铸铁焊条	不预热电弧焊	铸铁芯焊条	
耐水压或密封部位	铸造毛坯	耐压、密封加工面, 有加工余量	电弧热焊	铸铁芯焊条	电弧冷焊	Z408 或 Z308
	不预热电弧焊		铸铁芯焊条			
已加工件	耐压、密封加工面, 有加工余量小	电弧冷焊或稍加预热	Z408 或 Z308, 耐压要求不高时可用 Z508	不预热电弧焊	铸铁芯焊条	
非加工面	要求密封、耐压、与母材等强	电弧冷焊(耐压要求不高)	EZFeCu、EZNiCu 或自制奥氏体铁铜焊条	电弧焊热焊	铸铁芯焊条 Z248 等	
		电弧冷焊或稍加预热(耐压要求较高)	Z408、Z308、Z116	不预热电弧焊	铸铁芯焊条 Z248 等	
	无密封、强度等要求	电弧冷焊	Z508 J422、J506 J507	其他任何铸铁焊接方法	—	

(四) 铸铁焊条的使用

1. 焊条的再烘干

对于低氢型铸铁焊条(如 Z116、Z117 等)使用前应在 300~350℃ 烘干 30~60 min; 对于其他药皮类型的铸铁焊条, 为了消除药皮吸潮的影响, 在 100~150℃ 烘干 30~60 min。石墨型镍基铸铁焊条的烘干温度应控制得低些, 以免药皮变质, 影响施焊。

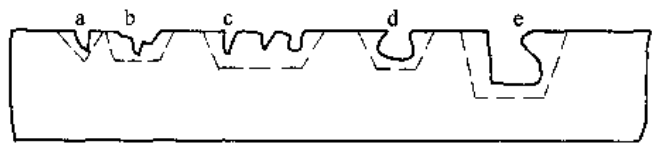


图 6-31 不同的缩孔所开的坡口形式

- a—小而浅的缩孔, 个别场合(90°V形);
- b—小而浅的缩孔, 比较集中的场合(≤90°碟形);
- c—小而浅的缩孔, 比较分散的场合(≤90°碟形);
- d—大而浅的缩孔, 个别的场合(U形);
- e—大而浅的缩孔, 个别的场合(U形)

2. 采用镍基铸铁焊条补焊的施工要点

(1) 缩孔的补焊(包括砂眼、未浇满等)按缩孔的形状及大小来开坡口, 如图 6-31 所示。

(2) 裂纹的补焊 使用 Z308、Z508 时，坡口角度为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 、V 形；使用 Z408 时，坡口角度为 $80^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 、V 形。当裂纹深度在 30 mm 以上时，坡口角度为 40° ，坡口底部为圆弧形，半径 5~10 mm。

距裂纹两端 5~10 mm 处分别钻一个孔，以防止裂纹延伸，孔的直径为 3~10 mm，孔的深度比裂纹深 3~5 mm，如图 6-32 所示。

(3) 隔离层堆焊 采用这种方法防止焊接部位裂纹的产生有较好的效果。坡口以 $80^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 、V 形为宜；采用镍基焊条的标准堆焊工艺（小电流、短焊道、焊后锤击、断续焊等）；最上层的焊接如图 6-33 所示，要有适当的余高；隔离层堆焊的层数，当板厚 10~20 mm 时堆一层，20~25 mm 时堆二层，50 mm 以上还应联合采用栽丝法或热合半圆头扣合键等工艺措施。

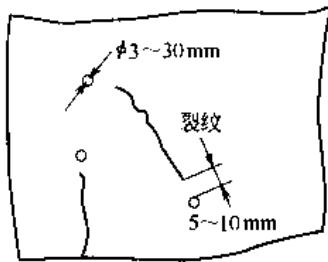


图 6-32 裂纹延伸防止孔

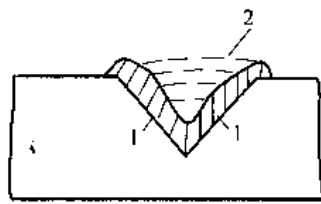


图 6-33 隔离层堆焊

1,2—焊接次序

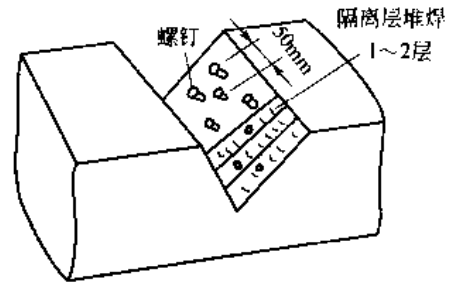


图 6-34 栽丝法补焊

(4) 栽丝法焊接 为了增加厚板焊接部分的连接强度，可在坡口内栽入螺钉，如图 6-34 所示。

(5) 热合半圆头扣合键补焊 当工件较厚、缺陷较大，且补焊处需承受较大负荷时，还可同时采用“栽丝法”及“热合半圆头扣合键”的方法，如图 6-35 所示。

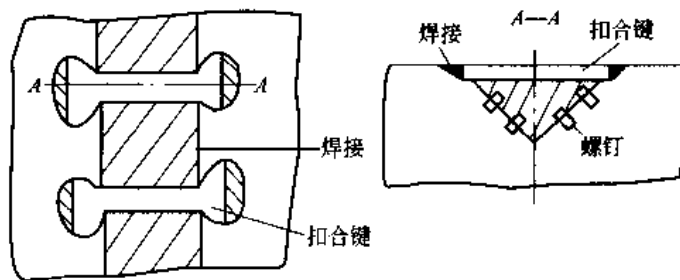


图 6-35 热合半圆头扣合键补焊

3. 各种铸铁焊条的使用

根据母材的不同缺陷所采用的施焊工艺要求见表 6-77。在具体的焊接施工中应注意以下几点。

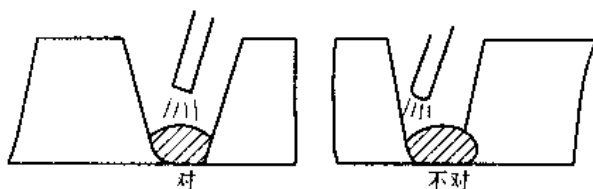


图 6-36 两层以上焊接场合

(1) 不进行预热的场合 这时一般采用 Z308、Z408、Z508 焊条，有时也可采用 Z116、Z117 焊条。母材表面的砂、油污、变质部分要彻底清理；尽可能采用小电流，保持短弧操作；为了防止母材过热，要保持电弧对准熔池；两层以上焊接时，电弧要对准前一道焊缝，以减少母材的熔入，如图 6-

36 所示；避免连续焊接，焊道要直，每次焊接长度不得超过 50 mm，焊后立即用小圆头锤轻轻锤击，焊缝要冷却到手摸上去感到微温时（低于 60℃）才能进行下一道焊接；焊接中若发现裂纹、夹渣、凹坑等缺陷时，要彻底清除掉再进行焊接；板厚 10 mm 以上的工件焊接时，最好采用隔离层堆焊法；裂纹补焊时尽量采用裂纹延伸防止孔。

表 6-77 根据母材的不同缺陷所采用的施焊工艺要求

母材的缺陷种类	焊条种类	焊接施工要点						隔离层堆焊	裁丝、扣合键的采用	
		坡 口		预热及层间温度	焊接法	焊接电流	锤击			后热
		缩孔	补焊、对接焊							
缩孔、裂纹补焊对接焊	Z308	V 形、U 形、碟形（参见图 6-25）	70°~80° V 形	不要，或预热 70~150℃	(1) 每段焊 50 mm 以下，跳焊或断续焊法 (2) 第二层以后，电弧不要直接对准母材	尽量采用小电流， $\phi 3.2\text{mm}$ 70~100A $\phi 4\text{mm}$ 110~130A $\phi 5\text{mm}$ 130~150A	每道焊缝都必须充分进行	不要，或者层间缓冷	能采用的地方尽量采用为好	必要时采用
	80°~90° V 形		不要，或预热 70~200℃							
	70°~80° V 形		不要，或预热 150~300℃							
缩孔补焊	Z208 Z248	V 形、U 形、碟形（参见图 6-25）	—	不要，或预热 200~500℃	连续焊	$\phi 4\text{mm}$ 150~250A $\phi 5\text{mm}$ 250~300A	一般不进行	不要，或者层间缓冷，或者 650℃ 后热	缩孔面积大时第一层进行隔离层堆焊为好	必要时采用
	Z116 Z117		—	不要，或预热 150~450℃	短焊道跳焊或断续焊	$\phi 3.2\text{mm}$ 100~130A $\phi 4\text{mm}$ 140~180A				

(2) 需进行预热场合 一般采用 Z208、Z248 等焊条。此时，焊接施工上要注意：母材局部或全部预热到 500℃ 左右；为了充分利用焊接中产生的热量，最好采用摆动连续焊接；焊接中或焊接后尽量保持高温、后热（500~650℃）或缓冷（如用石棉灰覆盖等）；避免在有穿堂风的场所焊接。

对于某些长期在高温、水蒸气环境中工作的炉栅、炉膛壁等烧蚀的旧铸铁件，因金属表层的碳（石墨）已被烧损，存在许多氧化皮，且铸件具有多孔性，质地十分疏松而脆弱，容易在热影响区产生裂纹，因此，焊前应该仔细铲除贫碳层及高温氧化层后再补焊。

铸铁焊接后由于产生很大的热应力，必须采用锤击消除应力。锤击时应把握“锤击时机、锤击力大小、锤击次数”，锤击时机以在较高温度区间（800~400℃）为宜。温度低于 300℃ 时不宜再锤击，此时焊缝金属硬度增加延展性变差，锤击不仅不能消除残余应力，反而由于剧烈震动使熔敷焊缝剥离；锤击次数应与锤击力大小相联系。当采用重锤击时，应减少锤击次数，以 2 次/个为宜。锤击力应视熔敷焊道的化学成分类型而定。Ni 基金属塑性较好，锤击力可适当小些，而白口铸铁热焊时需重锤击，锤击力约为 Ni 基冷焊工艺锤击力的 10~15 倍。一般灰口铸铁冷焊时，焊后应立即用小锤迅速锤击焊缝，待焊缝冷却到 60℃ 时，再焊下一道，以降低焊接应力，防止裂纹的产生。

锤击作为铸铁焊补的一种辅助工艺措施，是经常被推荐使用的，一般有助于防止焊缝金属裂纹，降低收缩应力和变形。锤击是利用锤打焊缝金属产生塑性流动，锤击会使焊缝金属侧向扩展，使焊道的内部拉力在冷却时被抵消掉。但研究也发现，锤击会使金属脆化，在重锤击过的焊缝表面上甚至可能引发裂纹，通常这个脆化层可通过随后熔化覆盖的焊缝金属来消除，但最后一道焊缝金属因锤击而引起的脆化层却无法消除，因此，有的学者建议，在一般工厂惯用的焊接方法操作中可以取消锤击最后一道焊缝，总之，锤击应充分而小心地进行。

(五) 铸铁焊条的代用和自制

当缺乏铸铁焊条时，一般可用高铬镍奥氏体不锈钢焊条（A102、A402等）来代替进行铸铁补焊。此时焊缝金属为奥氏体组织，由于奥氏体本身塑性较好，可以缓和铸铁补焊时所产生的焊接应力，从而减少产生裂纹的倾向。另外，奥氏体溶解碳的能力较强，补焊时碳可溶解于奥氏体中，不致出现硬而脆的渗碳体，这样就保证了焊缝金属的塑性。一般采用25-20型不锈钢焊条（A402）比18-8型焊条（A102）要好。

有时，工厂也可自制一些铸铁焊条，如铜钢焊条、奥氏体铜铁焊条等。铜钢焊条就是在普通低碳钢焊条（如J422、J507等）外用紫铜丝（其质量约为焊芯质量的1/4）缠绕起来，奥氏体铜铁焊条就是用外径为4 mm、内径2 mm的紫铜管，内套 $\phi 1.6$ mm的铬镍不锈钢丝（如Cr18Ni9、Cr15Ni60等）外涂低氢型药皮制造而成。对于某些铸铁件，甚至可以使用小直径的J427、J507（ $\phi 2$ mm， $\phi 2.5$ mm）来代用，这些焊条如果再辅之以适当的焊接工艺，在特定的铸铁补焊对象上，有时也可以取得较好的使用效果。

九、铜、铝、镍及其合金电焊条

(一) 铜及铜合金焊条

铜条铜合金的焊接与碳钢不同，在选用焊条及焊接施工条件时必须充分注意下列特点。

(1) 导热性好。纯铜的导热系数约为碳钢的8倍，随合金元素加入量的增加，导热性降低。因为导热性好，就必须预热。

(2) 热膨胀系数大，比碳钢大50%左右。

(3) 由于铜在液态时容易被氧化，焊接时生成氧化亚铜及铜的低熔点共晶，引起热裂纹，此外，还会析出高温时溶解的大量的氢，与氧化亚铜反应生成气孔。

各种铜及铜合金的焊接性是不同的。比较而言，铝青铜的焊接性较好，紫铜与锡青铜其次，黄铜最差。

焊条的选用原则，基本上是根据母材的合金系列来选择相应的焊条。铜及铜合金焊条的简明特性及熔敷金属主要性能分别见表6-78和表6-79。

表 6-78 铜及铜合金焊条的简明特性

焊条牌号	型号	主要用途	焊条牌号	型号	主要用途
T107	ECu	紫铜、脱氧铜的焊接	T237	ECuAl-C	铝青铜、铜合金的焊接及铸铁补焊
T207	ECuSi-B	紫铜、硅青铜及黄铜的焊接	T247	ECuMnAlNi	高锰铝青铜、铜合金的焊接
T227	ECuSn-B	紫铜、黄铜、磷青铜的焊接及铸铁补焊	T307	—	白铜的焊接

注：所有焊条药皮类型均是低氢型，采用直流反接电源。

表 6-79 铜及铜合金焊条熔敷金属主要性能

焊条牌号	主要化学成分/%						力学性能		
	Si	Mn	Sn	其他	Al	Cu	$\sigma_b/N \cdot mm^{-2}$ ($kgf \cdot mm^{-2}$)	$\delta/\%$	$\alpha/(^\circ)$
T107	<0.5	<0.5	—	—	—	>99	$\geq 170(18)$	—	≥ 120
T207	2.5~4.0	<3.0	—	P ≤ 0.30 Pb ≤ 0.02	—	>95	$\geq 170(18)$	≥ 20	—
T227	—	—	7.0~9.0	P0.05~ 0.3	—	余量	$\geq 270(28)$	≥ 12	—
T237	≤ 0.1	≤ 2.0	—	—	7~9	余量	≥ 410 (42)	≥ 15	—
T247	—	9.0~ 12.0	Fe2.5~ 4.0	Ni1.8~2.5	5.5~7.5	余量	$\geq 520(53)$	≥ 15	—
T307	≤ 0.5	≤ 1.0	—	Ni ≥ 29.0	—	余量	$\geq 490(50)$	—	—

铜及铜合金的焊接施工要点如下：

- (1) 焊条使用前应在 200 ℃ 烘干，保温 1~2 h；
- (2) 焊缝坡口表面应仔细清除油污、氧化物、潮气等；
- (3) 因热膨胀系数大，所以接头间隙要宽，坡口角度要大；
- (4) 焊前一般要预热，预热温度视材质及工件尺寸而定，一般紫铜、黄铜为 200~600 ℃，铝青铜为 150~250 ℃。
- (5) 要短弧施焊，一般不应作横向摆动，焊接热规范宜稍大些；
- (6) 焊后用小圆头锤锤击焊缝，以细化晶粒，消除应力，对黄铜等铜合金，可进行 270~560 ℃ 消除应力热处理；
- (7) 应在空气流通的地方施焊或加强通风设施，以防铜中毒。

(二) 铝及铝合金焊条

铝及铝合金由于具有导热性好、热容量大、线胀系数大、易氧化、熔点低、高温强度及塑性低等特点，所以一般采用手工电弧焊比较困难，目前大都采用惰性气体保护焊 (TIG、MIG)。通常是根据母材的成分来选择相应的焊条。铝及铝合金焊条的简明特性见表 6-80。

表 6-80 铝及铝合金焊条的简明特性

焊条 牌号	型号	熔敷金属主要成分/%				$\sigma_b/N \cdot mm^{-2}$ ($kgf \cdot mm^{-2}$)	主要用途
		Si	Mn	Mg	Al		
L109	TAl	≤ 0.5	—	—	>99	≥ 64 (≥ 6.5)	焊接纯铝及要求不高的铝合金 构件
L209	TAlSi	4.5~6	—	—	余量	≥ 120 (≥ 12)	焊接铝、铝硅铸件、锻铝、硬铝及 铝锰合金，不宜焊铝镁合金
L309	TAlMn	0.5	1~1.6	—	余量	≥ 120 (≥ 12)	焊接铝锰合金及纯铝
L409	—	~0.5	0.2~0.6	3~3.5	余量	≥ 176 (≥ 18)	焊接铝锰合金

注：所有焊条药皮类型全是盐基型，采用直流电源。

铝及铝合金的焊接施工要点如下：

(1) 焊条采用碱金属及碱土金属的氯化物和氟化物为主的盐基型药皮，极易吸潮，应贮存于干燥容器内；

(2) 焊前将焊条在 150℃ 左右烘干 1~2 h；

(3) 工件在焊前必须去除油污、氧化物，以防止焊缝产生夹杂及气孔；

(4) 工件要预热到 200~300℃，焊时采用垫板，焊条应垂直于工件表面，电弧尽可能短，不作摆动，更换焊条必须迅速；

(5) 焊后去除熔渣，并用热水冲刷清洗焊缝及其四周，以免产生腐蚀。

(三) 镍及镍合金焊条

镍基合金是指以镍为基 ($Ni \geq 50\%$) 并含有合金元素，且能在一些介质中耐腐蚀的耐蚀合金，或在高温下具有较高力学性能、抗氧化性能及抗热腐蚀性能的高温合金。以其化学成分特点进行分类时，主要有镍、镍铜合金、镍钼（镍钼铁）合金、镍铬（镍铬铁）合金、镍铬钼（包括镍铬钼钨合金和镍铬钼铜合金）及镍铁铬（即铁镍基合金）等几类。习惯上，把 Ni-Cu 系合金称为蒙乃尔（Monel），Ni-Cr 和 Ni-Cr-Fe 系合金称为因康镍（Inconel），Ni-Fe-Cr 合金称为因康洛依（Incoloy），Ni-Mo、Ni-Cr-Mo 合金称为哈斯特洛依合金（Hastelloy）。

镍基合金具有耐活泼性气体、耐苛性介质、耐还原性酸介质腐蚀的良好性能，又具有强度高、塑性好、可冷热变形和加工成形及可焊接的特点，因此，广泛应用于石油化工、冶金、原子能、海洋开发、航空、航天等工业中，解决一般不锈钢和其他金属、非金属材料无法解决的工程腐蚀问题，是一类非常重要的耐蚀金属材料。

镍合金中可含有下列元素：Cu、Fe、Cr、Mo、W、Co、Al、Ti 及 Nb 等。Ni 可以和 Fe、Cu、Cr、Mo 等形成不同的镍基合金。镍合金中各元素的作用简述如下。

Ni：有耐活泼性气体、耐苛性介质、耐还原性酸介质的良好性能，有防止氯化物产生的应力腐蚀开裂能力；对合金元素（如 Cr、Mo、W、Cu、Si 等）的固溶度远比铁基奥氏体大，使 Ni 基合金不但保持了镍的良好特性，又兼有合金化组分的良好性能，特别适合异种金属间的焊接及铸铁焊接。

Fe：可减少热膨胀系数，用于焊接低膨胀合金（如 INVAR、NILO 等），含 Fe45% 镍铁焊条 NI-ROD55 可焊接高强度铸铁。

Cu：可以抵抗由于反应过程或海水产生的一般性腐蚀，也可抵抗 HF 产生的腐蚀，如 Ni70、Cu30 的蒙乃尔及 Cu70、Ni30 的镍铜合金（白铜）。

Cr：增强抗氧化能力，提供对缝隙腐蚀及应力腐蚀更强的抵抗力；Cr 从 17% 增加到 42%，这种能力进一步得到加强，可形成一系列镍合金。

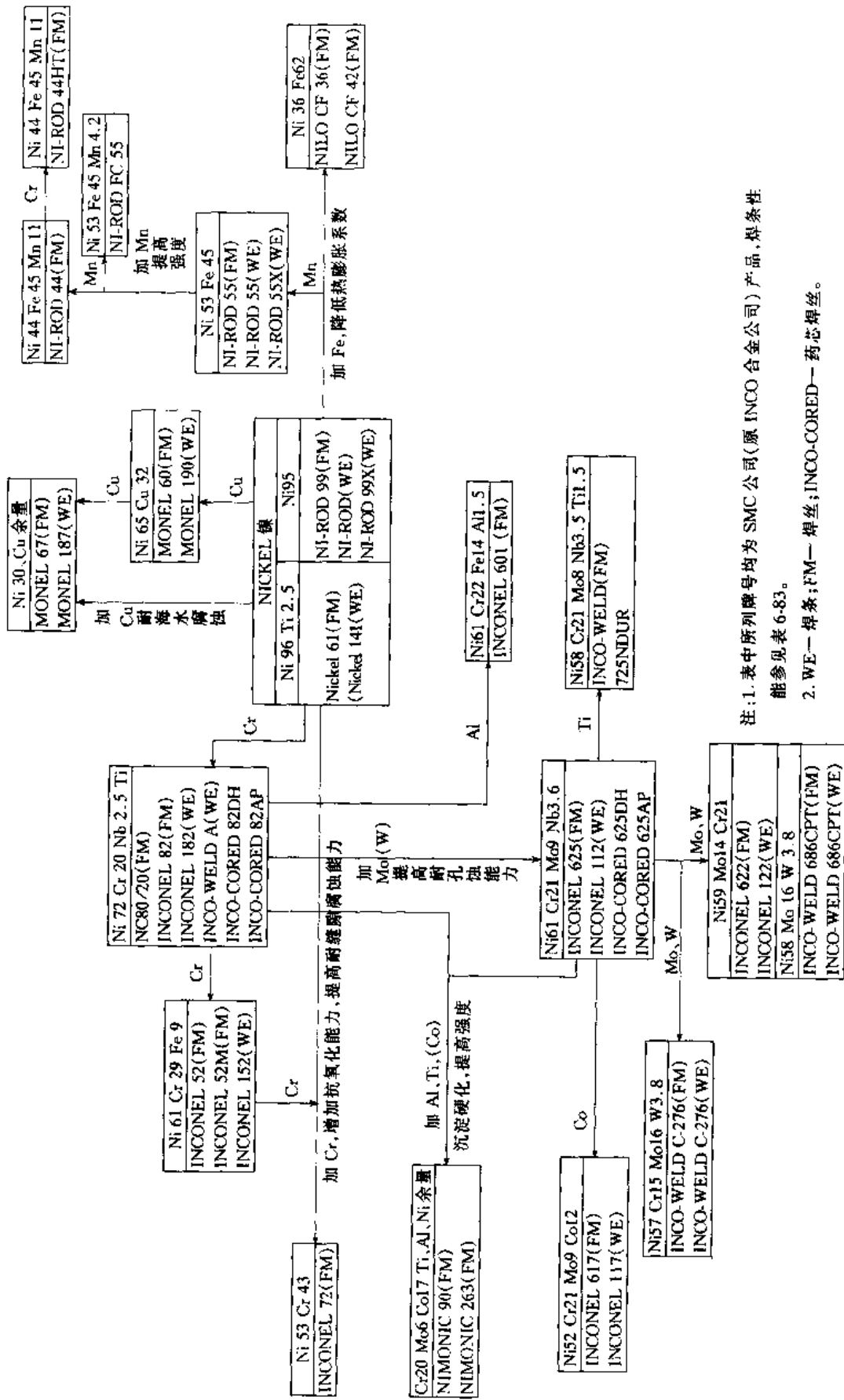
Mo(W)：可进一步增强抗一般性腐蚀，尤其是对孔蚀的能力，如 INCONEL 625、C-276、686 合金等，用于带大量氯化物的海水、酸性天然气、烟气脱硫装置等。INCONEL 686 是当前抗孔蚀最好的材料。

Co、Nb：增加在高温环境下的强度和显微组织稳定性。

Al、Ti：容易在焊后热处理时产生析出强化，以产生更高的强度。

镍基及铁镍基耐蚀合金的化学成分见表 6-81，镍基合金焊材的系统图如图 6-37 所示，典型镍合金的一般特性见表 6-82。

与碳钢及不锈钢相比较，镍基合金的物理性质有如下特点：一是熔点低；二是线胀系数



注: 1. 表中所列牌号为 SMC 公司(原 INCO 合金公司) 产品, 焊条性能参见表 6-83。
 2. WE—焊条; FM—焊丝; INCO-CORED—药芯焊丝。

图 6-37 镍基合金焊材系统

表 6-81 镍基及铁镍基耐蚀合金的化学成分

/%

合金	Ni	C	Mn	Fe	S	Si	Cu	Cr	Al	Ti	Nb	Mo
Nickel 200	99.5	0.08	0.2	0.2	0.005	0.2	0.1	—	—	—	—	—
Nickel 201	99.5	0.01	0.2	0.2	0.005	0.2	0.1	—	—	—	—	—
MONEL 400	66.5	0.2	1.0	1.2	0.01	0.2	31.5	—	—	—	—	—
MONEL 401	42.5	0.05	1.6	0.4	0.008	0.1	余	—	—	—	—	—
MONEL K500	66.5	0.1	0.8	1.0	0.005	0.2	29.5	—	2.7	0.5	—	—
INCONEL 600	76.0	0.08	0.5	8.0	0.006	0.2	0.2	15.5	—	—	—	—
INCONEL 601	60.5	0.05	0.5	14.1	0.007	0.2	0.5	23.0	1.4	—	—	—
INCONEL 625	61.0	0.05	0.2	2.5	0.008	0.2	—	21.5	0.2	0.2	3.6	9.0
INCONEL 718	52.5	0.04	0.2	18.5	0.008	0.2	0.2	19.0	0.5	0.9	5.1	3.0
INCONEL X-750	73.0	0.04	0.5	7.0	0.005	0.2	0.2	15.5	0.7	2.5	1.0	—
HASTELLOY C	余量	≤0.03	≤1.0	≤7.0	≤0.02	≤0.07	—	15~17	—	—	—	16~18
HASTELLOY C-276	余量	≤0.02	≤1.0	≤7.0	≤0.02	≤0.05	—	15~17	—	—	—	16~18
HASTELLOY N	余量	0.4~ 0.07	≤0.6	≤4.0	≤0.02	≤0.10	—	6~8	—	0.4~ 1.10	—	12~18
INCOLOY 800	32.5	0.05	0.8	46.0	0.008	0.5	0.4	21.0	0.4	0.4	—	—
INCOLOY 803	32.0~ 37.0	0.06~ 0.10	≤1.50	余量	≤0.015	≤1.0	≤0.75	25.0~ 29.0	0.15~ 0.60	0.15~ 0.60	—	—
INCOLOY 825	42.0	0.03	0.5	30.4	0.02	0.2	2.2	21.5	0.1	0.9	—	3.0

表 6-82 典型镍合金的一般特性

合金系	典型的合金名称	用途	特性
Ni	Ni 200 Ni 201	碱液、氯气、氟酸、脂肪酸、水	对碱液,特别是对 NaOH 的耐腐蚀性能好。 Ni201 是含 Al、Ti 析出硬化型合金
Ni-Cu	MONEL 400 MONEL K500	非氧化性酸、磷酸、水脂肪酸	在多数情况下,较 Ni 及 Cu 更耐腐蚀。K500 是含 Al、Ti 的析出硬化型合金
Ni-Cr(-Fe)	INCONEL 600 INCONEL 625	氧化性酸、盐酸水溶液、碱液	加 Cr 后,对氧化性气氛也耐腐蚀,因而耐蚀 性和耐热性优良。另外,高温强度和低温韧性 优良,可焊性良好
Fe-Ni-Cr	INCOLOY 800 INCOLOY 800H INCOLOY 825 CARPENTER 20	氧化性酸 硫酸、硝酸、磷酸、氧化性酸	INCOLOY 800 是耐热材料,而 INCOLOY 825 和 CARPENTER 20 是耐腐蚀材料
Ni-Mo	HASTELLOY B	盐酸、碱、磷酸	含 Mo15% 以上者,耐盐酸性能良好
Ni-Cr-Mo	HASTELLOY C	氯化铜、氯化铁、乙酸、卤族化 合物、海水、碱液	部分 Mo 被 Cr 置换,特别使耐氧化性得到改 善

介于奥氏体不锈钢与碳钢之间(哈斯特洛依合金除外),故很适于作这两类异种材质的焊接

材料；三是除纯镍系外，其他镍基合金的导热系数比碳钢低得多，其电阻却比碳钢高得多，这一点直接影响到镍基合金的焊接性及焊接规范的选择。在焊接热循环的作用下，镍基合金的热影响区发生组织变化，如晶界析出碳化物、晶粒长大、脆性相析出等，这些都对耐腐蚀性有严重影响。Ni-Cr、Ni-Mo 和 Ni-Cr-Mo 系合金都存在敏化区。在 Ni-Cr 系合金中，碳的固溶度是很低的。只要碳含量超过其固溶度，在热影响区的敏化温度内就有碳化物析出的可能，导致晶界出现贫铬，相应发生晶间腐蚀现象。碳含量越低，铬含量越高，晶间腐蚀敏感性越小。

镍及镍合金焊条的选用，主要是根据母材的合金类别、化学成分和使用环境等条件。需要考虑的因素有：

- (1) 物理性能 热膨胀系数和热传导率（或磁性的匹配）；
- (2) 力学性能 拉伸强度、冲击韧性、疲劳强度或蠕变强度等；
- (3) 防腐性能 对电化学腐蚀及孔隙腐蚀的抵抗力；

冶金学中的兼容和协调性（匹配性能）、可熔性及抗热裂纹的能力等。

一般说来，焊条的主要成分和母材的主要成分应尽量相似，以保证各项性能与母材相当。但考虑到焊条的特殊要求，还应加入一些母材中没有或含量较低的元素，如 Nb、Ti、Mo、Mn 等。同类焊条达不到要求或没有类似成分的焊条时，一般选用高一档次的焊条。其中焊接铁镍合金时（如 INCOLOY 800H），可选用镍基合金焊条（如 INCONEL 112）。这样做，焊条的成本虽高些，但能保证焊缝的使用性能不低于母材。

镍和镍合金的焊接工艺及焊接坡口尺寸可参照镍铬奥氏体钢的焊接工艺标准，但焊接时应注意以下问题：

(1) 镍及镍合金的导热性差，焊接时容易过热引起晶粒长大，焊接时不需要预热，应选用较小的电流，焊条不宜摆动过大，收弧时应注意填满弧坑以保持较低的层间温度，一般控制在 150℃ 以下；

(2) 镍非常容易被硫及铅脆化，形成热裂纹。所以，除必须严格控制焊条的硫、铅等杂质含量外，焊前应认真清理，去除母材表面的氧化物及油污、油漆、灰尘等脏物；

(3) 镍及镍合金焊接时气孔敏感性强，焊条中含有适量的铝、钛、锰、镁等脱氧剂，操作时应注意控制弧长，短弧施焊；

(4) 熔融金属具有高的黏稠度、流动缓慢且熔深浅。这些不能简单的依靠增大焊接电流来解决，可适当摆动焊条，但摆幅不宜超过焊条直径的 3 倍，在焊道两侧的停留时间稍长，以避免咬边及夹渣；

(5) 由于镍基合金的金相组织都是纯奥氏体，很容易产生热裂纹，因此角焊缝焊道必须做成凸形，而凹形焊道容易开裂，这一点与其他种类的焊条不同。

我国《焊接材料产品样本》（1997）所列镍及镍合金焊条的成分、性能和用途见表 6-83。钢铁研究院（安泰科技公司）的镍及镍合金焊条的简明特性分别见表 6-84。由于镍基合金价格昂贵，使用受到限制，国内焊条厂生产的品种较少，因此，本节也介绍一些国外产品的性能和应用举例，以使读者对镍及镍合金焊条有一全面了解。美国 SMC 国际超合金集团焊接产品公司（1998 年已兼并了 INCO ALLOY INTERNATIONAL 及其所有产品专利）的镍基合金焊条的典型性能见表 6-85，英国曼彻特（Metrode）公司的镍基合金焊条的典型性能见表 6-86，镍基合金焊条的选用可参照表 6-87，异种金属焊接用镍基合金焊条的选择可参照表 6-88。

表 6-83 镍及镍合金焊条的成分、性能和用途

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分 / %								力学性能		
			C	Mn	Si	Ni	Fe	Ti	Nb	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J
Ni102	ENi-0 (-)	钛钙型药皮的纯镍焊条, 具有较好的力学性能及耐热、耐腐蚀性, 交、直流两用, 采用直流反接。用于化工设备、食品工业、医疗器械制造中镍基合金和双金属的焊接, 也可用作异种金属焊接的过渡层焊条, 具有良好的熔合性和抗裂性	≤ 0.03	0.6~1.1	≤ 1.0	≥ 92	≤ 0.5	0.7~1.2	1.8~2.3	S ≤ 0.015 P ≤ 0.015	≥ 410	≥ 20	—
Ni112	ENi-0 (ENi-1)	钛钙型药皮的纯镍焊条, 具有较好的力学性能及耐热、耐腐蚀性, 交、直流两用, 采用直流反接。用于化工设备、食品工业、医疗器械制造中镍基合金和双金属的焊接, 也可用作堆焊过渡层, 具有良好的熔合性和抗裂性	≈ 0.04	≈ 1.5	—	≥ 92	≈ 3.0	≈ 0.5	≈ 1.0	S ≤ 0.005 P ≤ 0.005	≥ 410	—	—
Ni202	ENiCu-7 (ENiCu-7)	钛钙型药皮的 Ni70Cu30 蒙乃尔合金焊条, 含适量的锰、钼, 具有良好的抗裂性, 焊接时电弧燃烧稳定, 飞溅很小, 脱渣容易, 焊缝成形美观, 采用交流或直流反接。用于镍铜合金与异种钢的焊接, 也可用作过渡层堆焊材料	≤ 0.15	≤ 4.0	≤ 1.5	62~69	≤ 2.5	≤ 1.0	≤ 2.5	S ≤ 0.015 P ≤ 0.02 Al ≤ 0.75 Cu 余量	≥ 480	≥ 30	—
Ni207	ENiCu-7 (ENiCu-7)	低氢型蒙乃尔合金焊条, 具有良好的焊接工艺性能和抗裂性。用于焊接蒙乃尔合金或异种钢, 也可用作过渡层堆焊材料	≤ 0.15	≤ 4.0	≤ 1.5	62~69	≤ 2.5	≤ 1.0	≤ 2.5	S ≤ 0.015 P ≤ 0.02 Cu 余量	≥ 480	≥ 30	—
Ni307	ENiCrMo-0 (-)	低氢型 Ni70Cr15 耐热耐蚀合金焊条, 焊缝中有适量的钼、钨等合金元素, 熔敷金属具有较好的抗裂性, 采用直流反接。用于焊接有耐热、耐腐蚀要求的镍基合金, 也可用于一些难焊合金、异种钢的焊接及堆焊	≈ 0.05	—	—	≈ 70	≤ 7	—	3~5	Mo2~6 Cr ≈ 15	≥ 620	≥ 20	—
Ni307A	ENiCrFe-3 (ENiCrFe-3)	低氢型 Ni70Cr15 耐热合金焊条, 熔敷金属中有适量的钼、钨等合金元素, 熔敷金属具有较好的抗裂性, 采用直流反接。用于焊接有耐热、耐腐蚀要求的镍基合金, 如因康镍 600、601 等, 也可用于一些难焊合金、异种钢的焊接及堆焊	≤ 0.10	5.0~9.5	≤ 1.0	59	≤ 10.0	≤ 1.0	Nb+Ta 1.0~2.5	S ≤ 0.015 P ≤ 0.03 Cu ≤ 0.5 Cr13~17.0	≥ 550	≥ 30	—
Ni307B	ENiCrFe-3 (ENiCrFe-3)	低氢型镍铬耐热合金焊条, 熔敷金属中有适量的钼, 采用直流反接。用于焊接有耐热、耐腐蚀要求的镍基合金, 如因康镍 600、601 等, 也可用作异种钢的焊接或耐蚀堆焊材料	≤ 0.10	5.0~9.5	≤ 1.0	≥ 59	≤ 10	≤ 1.0	1.0~2.5	S ≤ 0.015 P ≤ 0.03 Cu ≤ 0.5 Cr13~17	≥ 550	≥ 30	118

续表

牌号	型号 GB/T (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%										力学性能		
			C	Mn	Si	Ni	Fe	Ti	Nb	其他	σ_b /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J		
NI317	— (—)	低氢型镍铬钼合金焊条,熔敷金属中含有较高的钼,抗裂性好。用于焊接镍基合金及铬镍奥氏体钢,也可用于异种钢焊接	≤ 0.07	0.5~1.7	≤ 0.5	68~78	—	—	—	—	—	—	≥ 600	≥ 28	—
NI327	ENiCrMo-0 (ENiCrMo-0)	低氢型 Ni70Cr15 耐热合金焊条,熔敷金属中含有适量钼、钨等合金元素,熔敷金属具有较好的抗裂性,采用直流反接。用于焊接有耐热、耐腐蚀要求的镍基合金,也可用于一些难焊合金、异种钢的焊接及堆焊	≤ 0.05	1.0~5.0	≤ 0.75	余量	4.0~8.0	—	—	—	Nb+Ta 1.5~5.5	S ≤ 0.015 P ≤ 0.04 Mo3.0~7.5 Cr13.0~17.0	≥ 620	≥ 20	—
NI337	ENiCrMo-0 (ENiCrMo-0)	低氢型镍铬耐热合金焊条,熔敷金属含有适量的钼、钨等合金元素,具有较好的抗裂性及耐磨、耐腐蚀性,焊接工艺性好,采用直流反接,可全位置焊接。用于核反应堆压力容器密封面堆焊及塔内构件焊接,也可用于复合钢、异种钢以及相同类型的镍基合金焊接	0.035	2.35	0.28	余量	6.28	—	—	—	3.27	S 0.015 P 0.015 Co 0.03 Mo 4.80 Cr 15.76	$\sigma_{0.2}$ 495	38	—
NI347	ENiCrFe-0 (—)	低氢型镍铬耐热合金焊条,熔敷金属具有较好的抗裂性及耐腐蚀性,焊接工艺性好,采用直流反接,可全位置焊。用于核电站稳压器、蒸发器管板接头的焊接,也可用于复合钢、异种钢以及相同类型的镍基合金焊接	0.04	4.65	0.13	余量	5.92	—	—	—	2.58	S 0.02 P 0.03 Co 0.02 Al 0.06 Cr 18.55	690	≥ 30	—
NI357	ENiCrFe-2 (ENiCrFe-2)	低氢型 Ni70Cr15 镍基合金焊条,熔敷金属含有适量钨、钼和钨,具有较好的抗裂性,采用直流反接。用于有耐热、耐腐蚀要求的镍基合金焊接,也可用于异种钢的焊接或用作过渡层及堆焊焊条	≤ 0.10	1.0~3.5	≤ 0.75	≥ 62	≤ 12.0	—	—	—	Nb+Ta 0.5~3.0	S ≤ 0.02 P ≤ 0.03 Mo0.5~2.5 Cr13.0~17.0 Cu ≤ 0.50	≥ 550	≥ 30	—
HT-103	— (—)	低氢型镍铬铁合金焊条,抗热裂性能及耐晶间腐蚀、应力腐蚀能力优良。用于镍基合金和异种钢焊接,还可用于焊后不能热处理的大厚度铁素体钢构件的焊接	≤ 0.10	2.0~6.0	≤ 0.10	≥ 67	≤ 4.0	—	—	—	1.5~3.0	S ≤ 0.015 P ≤ 0.02 Cr18.0~22.0 Mo ≤ 2.0	≥ 610	≥ 25	—
HT-105	— (ENiCrFe-7)	低氢型镍铬铁合金焊条,除具有优良的抗裂性和抗晶界腐蚀性外,还具有优异的耐应力腐蚀性能。用于 INCONEL 690 合金的焊接以及镍基合金和异种钢的焊接	≤ 0.05	≤ 5.0	≤ 0.75	余量	7.0~12.0	≤ 0.5	≤ 0.5	1.0~2.5	—	S ≤ 0.015 P ≤ 0.03 Cr 28.0~31.5 Mo ≤ 0.5 Al ≤ 0.5 Cu ≤ 0.5	≥ 580	≥ 18	—

表 6-84 钢铁研究总院(安泰科技公司)镍及镍合金焊条简明特性

牌 号	参照型号、牌号	熔敷金属主要化学成分/%											熔敷金属力学性能					
		C	Mn	Si	Fe	Nb	Cr	Ni	Mo	Cu	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%					
AT-Ni102	ENi-0	0.03	1.0	0.8	1.0	1.5		基										
AT-Ni112	ENi-1	0.04	1.5	0.5	3.0	1.0		≥92										
AT-Ni132	ENiCrFe-1 INCONEL 132	0.04	2.1	0.41	7.2	2.2	15.5	基										36.0
AT-Ni133	ENiCr-1	0.03	1.8	0.41	2.1	2.9	19.3	基										36.0
AT-Ni152	ENiCrFe-2 INCO-WELD-A	0.041	2.2	0.38	7.8	2.4	15.7	基	1.7									37.5
AT-Ni152B	ENiCrFe-3 INCO-WELD-B	≤0.20	1.0~3.5	≤1.0	≤12.0	2.4	13.0~17.0	≥60	1.0~3.5									≥20
AT-Ni153	ENiCrMo-6	0.045	3.2	0.38	6.8	1.8	15.1	基	7.2									37.0
AT-Ni154	ENiMo-1	0.031	0.2	0.56	5.1		0.1	基	27.8									28.0
AT-Ni182	ENiCrFe-3 INCONEL 182	0.042	7.3	0.40	6.2	2.1	15.6	基										40
AT-Ni182B	ENiCrFe-3	0.038	4.8	0.43	2.8	2.4	19.6	基	3.2									40
AT-Ni183	ENiCrFe-3	0.037	7.83	0.39	3.3	2.51	19.9	基										≥35
AT-Ni183M	ENiCrFe-2	0.041	5.21	0.39	2.8	2.46	20.4	基	1.2									≥35
AT-Ni190	ENiCu-7	0.067	2.76	0.51	2.2			66.3	余量									≥30
AT-Ni190B (Ni202)	ENiCu-7	0.038	2.10	0.56	2.4	1.5		65.1	余量									≥30
AT-Ni307	ENiCrMo-0	≤0.10	1.0~5.0	≤0.75	≤7.0	3.0~5.0	14.0~17.0	基	2.0~6.0									≥20
AT-Ni317		≤0.07	0.5~2.0	≤0.50	≤5.0	0.2~1.0	13.5~16.5	基	8.5~11.0									≥28
AT-Ni327	ENiCrMo-0	≤0.05	2.0~5.0	≤0.75	4.0~8.0	1.5~5.5	13.0~17.0	基	3.5~7.5									≥20
AT-Ni347	ENiCrFe-0	≤0.06	3.0~5.5	≤0.50	≤7.0	1.5~3.5	17.0~20.0	基										≥25
AT-Ni625	ENiCrMo-3 INCONEL 112	0.045	0.31	0.49	3.2	3.67	21.6	基	8.78									34.0
AT-Ni817	ENiCrMo-7	0.026	0.72	0.51	3.7		19.76	基	16.50									33.6
AT-Ni818	ENiCrMo-5	0.028	0.90	0.50	4.2		15.7	基	15.45									33.1
AT-Ni830	ENi-1 Nickel 141	0.031	0.78	0.86	0.42			≥92										25
AT-Ni847		0.06	0.8	0.5	3.2		16.1	基	16.20									≥5

注: AT为安泰科技公司产品标志。

表 6-85 SMC 集团镍基合金焊条的典型性能

合金类别	牌号	AWS 型号	用途	熔敷金属化学成分 / %							力学性能			
				Ni	Cr	Fe	Mo	Mn	Si	其他	σ_b /MPa	δ /%		
镍、镍铜	Nickel 141 ^①	ENi-1	用于 200、201 镍板及带镍镀层钢板的焊接或用于镍板与钢板间的焊接	96								Ti 2.5 Al 0.2	414	20
	MONEL 190 ^②	ENiCu-7	用于 MONEL400 自身或 MONEL 与钢板间的焊接	65		1.5		2.0		1.0		Cu 32 Ti 2.2	483	30
	MONEL 187 ^②	ECuNi	用于镍或铸的 70/30、80/20 和 90/10 铜镍合金之间的焊接,或异种铜镍合金间的焊接	30		0.5		2.0		0.20		Cu 余量	345	30
	INCO-WELD A	ENiCrFe-2	用于异种金属,如奥氏体、铁素体钢及高镍合金和含镍 9% 的镍钢间的焊接	70	15	9	1.5	2.9		0.3		Nb 1.8	552	30
镍铬铁	INCONEL 182 ^②	ENiCrFe-3	用于 INCONEL 600、601 合金和 INCOLOY 800 合金之间的焊接	67	14	7.5		7.8		0.5		Nb 1.8 Ti 0.4	552	30
	INCONEL 152 ^②	ENiCrFe-7	用于焊接 INCONEL 690 合金,或将其堆焊在钢板上,主要用于核电站的专用设备上	61.5	29	9						Nb 1.7	552	30
	INCONEL 112 ^②	ENiCrMo-3	用于 INCONEL 625、INCOLOY 825、INCO 25-6 Mo 和 MONEL 400 合金间的焊接,也可用于异种金属如镍合金与不锈钢间的焊接	61	21	4	9	0.3		0.4		Nb 3.6	758	30
镍铬钼	INCO-WELD C-276 ^②	ENiCrMo-4	用于 INCONEL C-276 合金和其他镍铬钼耐蚀合金间的焊接,或与带堆焊层的钢板的焊接	57	15.5	5.5	16					W 3.8	690	25
	INCONEL 122 ^②	ENiCrMo-10	用于 INCONEL 622 合金和其他镍铬钼耐蚀合金,带有堆焊合金层的钢板、双相钢、超级双相钢和超级奥氏体不锈钢之间的焊接	59	20.5	2.3	14					W 3.2	793	40
	INCO-WELD 686 CPT ^②	ENiCrMo-14	用于 INCONEL 686 和其他镍铬钼耐蚀合金,带有堆焊合金层的钢板,双相钢、超级双相钢和超级奥氏体不锈钢之间的焊接	58	20.8	1.0	16.3					W 3.8	758	35
镍铬钴钨	INCONEL 117	ENiCrCoMo-1	用于 INCONEL 617、INCOLOY 800、800H、800HT 和 803 合金等耐热合金的焊接,可用于异种金属中需经高温考验的焊接,也可用于 HP-45Nb 和 35-45 合金间的焊接	52	20.8	1.7	9					Co 12	620	25
镍铬铁	INCO-WELD C	—	焊缝含有约 50% 铁素体的双相组织,具有高的强度和韧性,抗裂性好,可焊各种难焊金属,用于焊补及维修,也可用于不锈钢、中碳钢和低合金弹簧钢与碳钢之间的焊接	保密							σ_b 758-827 σ_b 586-621	24-30		

① 均可将其堆焊在钢板上。

注: INCONEL、INCO-WELD、MONEL 均为 SMC 公司(原 INCO 合金公司)注册商标。

表 6-86 英国曼彻特公司镍基合金焊条的典型性能

牌号	AWS 型号	特性和用途	熔敷金属化学成分 / %										力学性能			
			C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Fe	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV} /J		
NIMROD 182KS	ENiCrFe-3	碱性药皮因康镍型焊条, 抗热裂性好, 用于焊接 INCONEL 600 合金, 也可用于镍基合金与 MON-EL 400、不锈钢或低合金钢之间的焊接。组织为奥氏体加少量碳化物。NIMROD 182KS 可全位置焊接。NIMROD 182 主要用于平焊、表面堆焊。NIMMAX 182 熔敷率约 140%, 主要用于表面堆焊	0.05	7	0.5	16	—	~65	<8	Nb 1.5	660	420	37	100 (-196 °C)		
NIMROD 182			0.05	6	0.5	16	—	~65	<8	Nb 1.5	660	420	37	100 (-196 °C)		
NIMMAX 182			0.06	6	0.4	15	—	~69	7	Nb 1.5	660	390	38	>80 (-196 °C)		
NIMROD AKS	ENiCrFe-2	碱性药皮, 用于焊接 INCONEL 600、INCOLOY 800/800H 及类似的耐热或工作温度到 900 °C 的镍基高温合金, 也适用于上述合金及其他如 MONEL 400、INCOLOY825 与不锈钢、低合金钢之间的异种金属焊接, 还可用于焊接含 Ni3% ~ 9% 的低温钢	0.03	2.5	0.5	16	1.5	69	8	Nb 2	700	420	39	110 (-196 °C)		
NIMROD AB	ENiCrFe-2/4		0.05	2.5	0.7	16	1.5	69	7	Nb 2	700	410	35	90 (-196 °C)		
NIMAXA	ENiCrFe-2		0.05	2	0.5	16	1.5	69	8	Nb 2	700	410	35	80 (-196 °C)		
NIMROD 132KS	ENiCrFe-1	碱性药皮, 用于焊接含 Mn 较低的 182 型 INCONEL 600 合金, 用于石油化工、食品加工及核工业	0.05	3	0.4	16.5	0.3	70	6.5	Nb 2.6	680	510	35	100 (-196 °C)		
NIMROD 625	ENiCrMo-3		0.04	0.8	0.7	21.5	9	64	<1.5	Nb 3.5	800	500	38	>28 (-196 °C)		
NIMROD 625KS			0.02	0.8	0.4	21.5	9	64	<1.5	Nb 3.5	800	500	38	60 (196 °C)		
NIMROD 721KS	—	碱性药皮, 用于焊接成分相近的合金及镍基合金化的超奥氏体不锈钢, 也可用于双相/超双相合金的焊接, 用于热交换器、海水输送管道等装置	0.02	0.8	0.3	22	9	64	<1	Nb 0.3	700	490	36	90 (-196 °C)		
NIMROD C276	ENiCrMo-4		0.02	0.3	0.2	15	16	58	5	W 4.0 V 0.1	770	550	25	—		
NIMROD C276KS			0.02	0.3	0.2	15	16	58	5	W 4.0 V 0.1	780	520	28	65 (-50 °C) 55 (-196 °C)		

续表

牌号	AWS 型号	特性和用途	熔敷金属化学成分 / %								力学性能			
			C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Fe	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{b.5}$ /MPa	δ_5 /%	A _{kV} /J
NIMROD 59KS	ENiCrMo-13	碱性药皮,用于焊接 Ni-23%Cr-16%Mo型59合金,双相/超双相不锈钢或它们与镍基合金间的焊接,用于烟气脱硫装置、造纸设备、化工装置等耐蚀层的堆焊	0.01	0.5	0.15	23	15.5	60	1	—	750	520	30	50 (-50℃)
NIMROD C22KS	ENiCrMo-10	碱性药皮,用于焊接 Ni-22%Cr-13.5%Mo-3%W型C22合金。含Mo量与C276相近,但因提高了含Cr量,故在氧化性介质中耐蚀性更好。用于烟气脱硫装置(FGD)、造纸设备、化工装置等耐蚀层的堆焊	0.01	0.5	0.15	21	14	58	4	W3	780	550	35	45 (-196℃)
NIMROD 617KS	ENiCrMo-1	碱性药皮,用于焊接 INCONEL 617合金,工作温度达1100℃,有良好的组织稳定性、高的蠕变强度及优良的抗氧化性,也可焊接 INCONEL 601合金及异种金属,包括高碳耐热铸合金的焊接	0.07	0.6	0.5	24	9	54	<1	Co 11.5 Nb<0.5 Al 0.2	780	540	38	70 (20℃)
NIMROD 690KS	ENiCrFe-7	碱性药皮,用于焊接 INCONEL 690合金,在高温氧化性及含硫气氛中耐蚀性良好。可在C-Mn及低合金钢板上堆焊。用于核工程、硫酸、硝酸及氢氟酸制造装置上	0.04	4.5	0.4	29	0.1	55	10	Nb 1.8	680	450	38	>50 (-50℃)
NIMROD 200Ti	ENi-1	特殊的钛碱性药皮,用于焊接 Nickel 200, 201, 加入Ti可脱氧及细化晶粒,也可用于堆焊打底层	0.04	0.5	0.6			97	0.3	Ti 1.5 Al 0.1	450	295	26	160 (30℃)
NIMROD 190	ENiCu-7	特殊的钛碱性药皮,用于焊接 MONEL 400, R405, R500等Ni-Cu合金,有良好的抗裂性,用于舰船、石油化工及发电设备中的热交换器、管道、容器等	0.08	3.5	1.2			63	1	Cu 30 Ti 0.7	550	350	35	110 (-30℃)

牌号	AWS 型号	特性和用途	熔敷金属化学成分 / %										力学性能			
			C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Fe	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.5}$ /MPa	δ_5 /%	A _{KV} /J		
Cupromet N30	ECuNi	碱性药皮, 杂质含量极低, 用于焊接 70CuNi 型铜镍合金, 用于盐及海水加工系统中的脱盐设备、蒸发器	0.03	1.8	0.2			30	0.6				420	270	34	115 (20℃)
NIMAX B2L	ENiMo-7	碱性药皮, 纯镍焊芯, 熔敷金属接近 Hastelloy B2 合金, 用于铸件的补焊, 广泛用于焊接石油化工等行业在苛刻环境下工作的泵、阀及工艺设备等	0.018	1.3	0.1	0.7	68	28	1.5				775	525	30	
NIMROD NCM 6	ENiMo-6	用于焊接 5%~9%Ni 钢, 工作温度在 -196℃ 下的低温容器, 也可焊接某些要求进行焊后热处理的低合金钢及硬化钢, 还可用于不锈钢或高镍合金等异种金属间的焊接	0.07	3	0.3	15	8	64	6.5				>710	>450	39	>50 (-196℃)
NIMAX C	(ENiCrMo-5)	钛碱性药皮, 纯镍焊芯的高效镍基焊条, 有良好的耐冲击和抗疲劳性能, 可用于表面堆焊, 能耐各种酸、盐腐蚀, 也可用于镍基合金与铁基合金的焊接	0.05	0.8	0.7	16	16.5	56	5.5				700		26	
NIMROD 627	ENiCr-4	碱性药皮, 用于焊接 50Cr-50Ni 型 INCONEL 657、671 高温合金。能抵抗低氧重油燃烧产生的含 V ₂ O ₅ 及碱金属硫酸盐烟尘引起的热腐蚀(800~950℃)。组织为富 Cr 的 α 相加富 Ni 的 γ 相。用于船舶、电厂及石化厂燃油锅炉中的管板构件等	0.07	1.0	0.5	50	—	47	0.5				830~985	570~725	2~4	

表 6-87 镍基合金焊条的选用

母 材	焊条型号	焊 条 牌 号			
		(中国)统一牌号	(美)SMC	(英)Metrode	钢研院(安泰)
镍 200 镍 201	ENi-1 ENi-2	Ni 102 Ni 101	Nickel 141	NIMROD 200 Ti	Ni 112 Ni 830
蒙乃尔 400 蒙乃尔 R405 蒙乃尔 502	ENiCu-7 ENiCu-1	Ni 202 Ni 207	MONEL 190	NIMROD 190	Ni 190 Ni 190B
因康镍 600	ENiCrFe-1 ENiCrFe-3	Ni 307A Ni 307B	INCONEL 132 INCONEL 182	NIMROD 182 KS NIMROD 182 NIMAX 182 NIMROD 132 KS	Ni 132 Ni 182
因康镍 601	ENiCrFe-3 ENiCrMo-3	Ni 307A Ni 307B	INCONEL 182 INCONEL 112	NIMROD 182/182KS NIMAX 182 NIMROD 625/625KS	Ni 185 Ni 625
因康镍 625	ENiCrMo-3		INCONEL 112	NIMROD 625 NIMROD 625 KS	Ni 625
因康镍 718	ENiCrMo-3		INCONEL 112	NIMROD 625 NIMROD 625 KS	Ni 625
因康洛依 800 因康洛依 800A 因康洛依 803 因康洛依 825	ENiCrFe-2 ENiCrMo-3	Ni 357	INCO-WELD A INCONEL 112 INCONEL 117	NIMROD AKS NIMROD AB NIMAX A	Ni 152 Ni 625
哈斯特洛依 B	ENiMo-1 ENiMo-7		INCO-WELD 686CPT	NIMAX B2L	Ni 154
哈斯特洛依 C	ENiCrMo-5			NIMAX C	Ni 818
哈斯特洛依 C-4	ENiCrMo-4 ENiCrMo-7			Ni 818 Ni 817	
哈斯特洛依 C-276	ENiCrMo-4		INCO-WELD C-276	NIMROD C-276 NIMROD C-276KS NIMROD C-22KS	Ni 818
因康镍 690	—		INCONEL 152 INCONEL 152M	NIMROD 690 KS	Ni 690

(四) 特殊用途焊条

这里指的是一些具有特殊用途的焊条,如水下焊条、水下割条、开槽割条等。特殊用途焊条简明特性及用途见表 6-89,部分特殊用途焊条性能见表 6-90。至于每一种焊条的具体使用要求可参见该焊条的说明书。

表 6-88 异种金属焊接用镍基合金焊条的选择

蒙乃尔 400	Nickel 141 MONEL 190 Nickel 141	INCO-NEL 112 MONEL 190																																					
因康镍 600	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182																																				
因康镍 625	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112																																			
因康镍 686	INCO-WELD A F-W 686 CPT Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 182 F-W 686 CPT	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112	F-W 686 CPT																																		
因康镍依 800、803 及 800H/HT	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 117 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 117																																		
因康镍依 825	INCO-WELD A Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112	INCO-WELD A INCO-NEL 112 F-W 686 CPT																																		
碳钢、低合金钢及镍铜	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 117 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 117 INCO-NEL 182																																		
3-30% 铁铜	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 117	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182					INCO-WELD A INCO-NEL 112/152																													
奥氏体不锈钢	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 117 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182				F-W 686 CPT INCO-NEL 112																														
双相及相致双相不锈钢	F-W 686 CPT INCO-WELD A Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 112	INCO-WELD A INCO-NEL 112	INCO-WELD A INCO-NEL 112	F-W 686 CPT INCO-NEL 112			F-W 686 CPT INCO-WELD A																														
铸造高镍合金	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 112 INCO-NEL 182	INCO-WELD A INCO-NEL 117	INCO-WELD A INCO-NEL 117	INCO-WELD A INCO-NEL 117	F-W 686 CPT INCO-WELD A			F-W 686 CPT INCO-WELD A	INCO-WELD A INCO-NEL 117																													
铜镍合金	MONEL 187 MONEL 190 Nickel 141	MONEL 187 MONEL 190 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 182 Nickel 141	INCO-WELD A INCO-NEL 182 Nickel 141																													
	镍 200	蒙乃尔 400	因康镍 600	因康镍 625	因康镍 686	因康镍依 803 800、800H/HT	因康镍依 825	因康镍 686	因康镍 625	因康镍 600	蒙乃尔 400	因康镍 600	因康镍 625	因康镍 686	因康镍依 803 800、800H/HT	因康镍依 825	因康镍 625	因康镍 686	因康镍依 803 800、800H/HT	因康镍 600	蒙乃尔 400	因康镍 600	因康镍 625	因康镍 686	因康镍依 803 800、800H/HT	因康镍依 825	因康镍 625	因康镍 686	因康镍依 803 800、800H/HT	因康镍 600	蒙乃尔 400	因康镍 600	因康镍 625	因康镍 686	因康镍依 803 800、800H/HT				

注:表中焊条牌号为美国 SMC 公司
(原 INCO 合金公司)产品。
焊条性能可参见表 6-85。

表 6-89 特殊用途焊条简明特性及用途

焊条牌号	焊条名称	药皮类型	简明特性及用途
TS202	水下焊条	钛钙型	药皮具有抗水外层,采用直流电源,可全位置焊接,能在淡水和海水中进行一般结构的焊接
TS203		钛铁矿型	
TS304	水下割条	氧化铁型	由钢管外涂稳弧剂而成,可全位置切割,采用直流电源,在淡水和海水中进行电弧-氧切割
TS404	开槽割条	氧化铁型	作铸铁补焊前开坡口之用,割条与工件接触并保持 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 倾角,应前后移动,把铁水及熔渣吹开
TS500	管状焊条	锰型	供中厚板普通低合金钢电渣焊用,外涂药皮,管芯内通焊丝,交、直流两用,适于立向的对接角接焊
TS607	铁锰铝焊条	低氢型	用于焊接高温抗硫腐蚀含铝钢,如 15Al3MoWTi 炉管,直流反接
TS700	高硫堆焊焊条	硫化铁型	用于滑动摩擦面的堆焊,焊缝含硫 $4\% \sim 4.4\%$,可交、直流两用,以上坡焊为宜

表 6-90 部分特殊用途焊条性能

焊条牌号	规格 /mm	熔敷金属主要成分/%				力学性能		
		C	Mn	Si	其他	$\sigma_s / \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ($\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$)	δ_5 /%	A_{kv} /J
TS202	2.0~6.0	≤ 0.12	0.3~0.6	≤ 0.25	—	≥ 420 (43)	—	—
TS203								
TS500	10~14	~0.12	~1.2	≤ 0.3	Mo ~0.3	~490 (50)	≥ 20	≥ 70
TS607	2.5~4.0	0.25~0.40	22~25	≤ 2.1	Mo 0.4~0.7 Al 2~3	~590 (60)	≥ 14	≥ 70
TS700	3.2~5.0	≤ 0.1	~0.15	~0.1	V ~0.5 S 4.0~4.4	—	—	—

应用较多的是开槽割条 TS404,它有一种特殊药皮,在大电流下使其能既可产生大量热量又能提供吹力,这样就可很快地把熔融的金属吹走。不仅适用于普通碳钢,甚至对难切割的金属如青铜、不锈钢、铸铁及锰钢也能可靠地切断、开槽、清除裂纹或穿孔。工效比气割或风铲快数倍,而且噪声很低。

操作时,不需另备气体或压缩空气,只要用普通焊钳夹住割条即可。当需开沟槽时,以焊钳夹住割条如长矛面对母材,成不超过 30° 之角度方向推进,起弧后,推动割条使其向所需方向前进,每次推前些许即向后移至原起弧点前端,缓慢推进便产生较深之沟槽,推进较快时,则产生较浅之沟槽,如需较深者可重复上述方法。

切断或穿孔:切断时使割条与母材约成 45° 角度,并如锯子般切锯推引运动,穿孔时则使割条与母材成垂直角度,并以推下及引上动作直至孔穴穿透。

交、直流电源均可使用。

使用电流: $\phi 3.2 \text{ mm}/120 \sim 150 \text{ A}$; $\phi 4.0 \text{ mm}/200 \sim 350 \text{ A}$; $\phi 5.0 \text{ mm}/300 \sim 450 \text{ A}$ 。

开槽割条施工举例如图 6-38 所示。

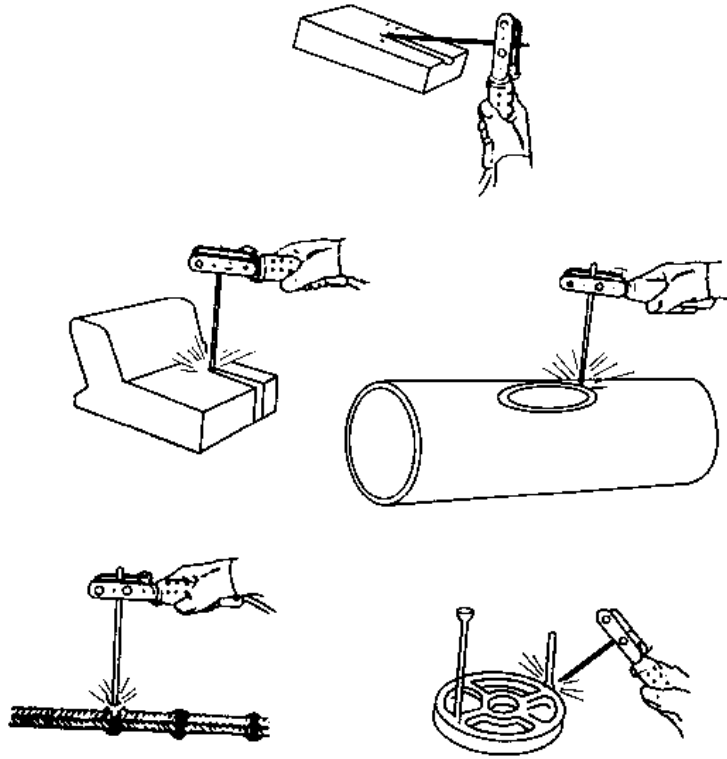


图 6-38 开槽割条施工举例

第七章 值得发展和推广使用的电焊条^①

为了满足焊接施工不断发展的需要,焊条除了必须具备优良的熔敷金属力学性能、焊接工艺性能外,还必须在下列几方面具有优异的性能:

(1) 高效率;

(2) 焊条使用方便,再引弧性好,有时还要求药皮具有可挠性,以适应狭小场所的焊接;

(3) 药皮难吸潮,一般条件下焊前可不烘干;

(4) 焊接烟尘发生量低,烟尘中有毒物质含量少。

近年来,国内外焊条行业进行了大量的试验研究工作,先后研制成功低尘焊条、高效铁粉焊条、高韧性焊条、高效不锈钢焊条、难吸潮焊条及各种专用焊条,在提高焊接质量、焊接生产效率及改善焊接作业条件方面有一定作用,值得进一步研究开发,并大力推广使用。

一、低尘焊条

电弧焊时,由于电弧高温的作用,焊条熔滴金属及药皮中各组分蒸发、升华,进入空气中后氧化,冷凝成微小的颗粒,即为焊条发生的烟尘(见图7-1)。焊接烟尘对焊工健康产生不良的影响,这主要是因为烟尘中含有多量的 Fe_2O_3 ,在人肺部会有铁末沉积,影响肺功能。且碱性焊条烟尘中含有可溶性氟化物(主要是氟化钠、氟化钾),通过呼吸道黏膜渗入

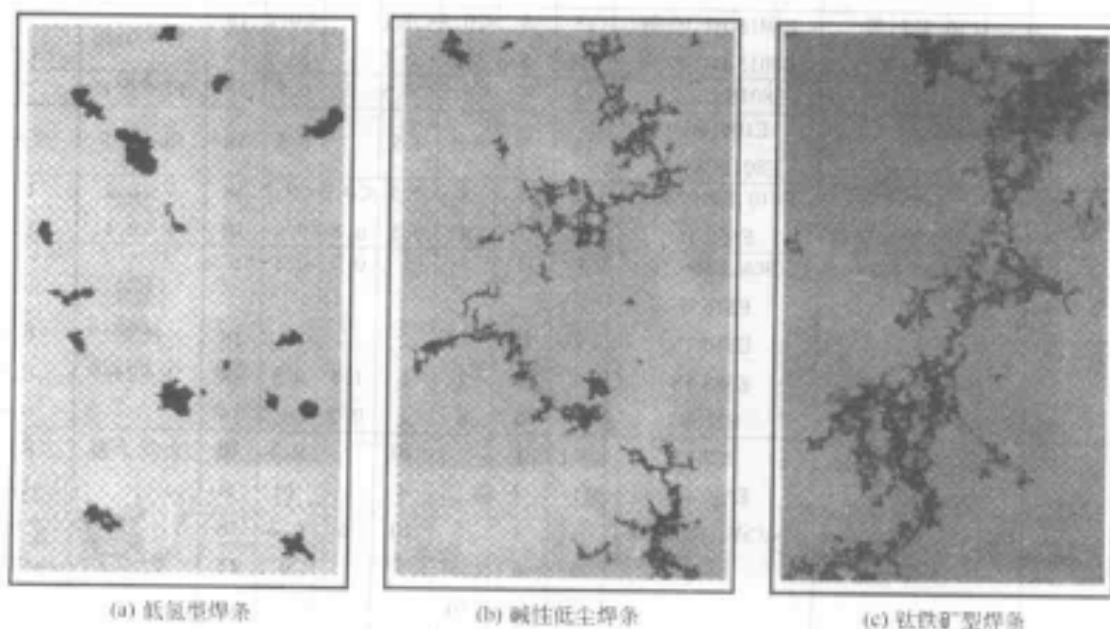


图 7-1 焊接烟尘

^① 本章所介绍的电焊条,从1989年本书第1版出版至今,部分焊条已有正式产品在使用,但就总体而言,数十年来一贯使用的通用焊条产品,性能改进不多,与国外相比,仍有一定差距。著者认为,有必要继续强调,要进一步研究开发及推广应用各种提高焊接质量、效率及改善作业条件的焊条,故仍保留本章标题及内容。

毛细血管，易引起急性金属热症状以及上呼吸道慢性炎症。焊接烟尘污染了作业环境，尤其是在通风不良的场所（如罐内焊接等），这种危害在使用低氢型焊条时更为严重。

通过大量的试验研究，对焊接烟尘有了以下几点认识。

(1) 低氢型碱性焊条药皮中萤石的分解产物碱性氟化物（主要是可溶性氟化物，如KF、NaF等）是促使低氢焊条引起的金属烟热发病率增高的主要原因。

(2) 低氢焊条烟尘对人体的有害影响大于非低氢焊条，两者的区别在于：低氢焊条烟尘含F10%~20%，而非低氢焊条烟尘不含氟化物；低氢焊条烟尘含FeO约25%，而非低氢焊条烟尘含FeO约50%；烟尘的颗粒形态，低氢焊条为粒径较小的碎片状粒子，非低氢型焊条为凝聚成较大的絮状粒子。

(3) 低氢焊条烟尘中的氟化物，从开始经肺部吸收即通过血流分布于全身，在肺、心、脑、肝、肾、脾、牙及肌肉等均有分布，在肺、血液、骨骼、牙齿有蓄积，并经粪、尿排出。

(4) 手工电弧焊与MIG焊不锈钢产生的烟尘对细胞的遗传效应的的影响与培养基水溶性六价铬(CrO₃)的含量有关。

为了有助于对健康和安全的危害性评估，表7-1列出了各类合金焊条焊接烟尘典型成分，烟尘本身由表列元素的氧化物、硅酸盐及其他复杂的化合物组成。

确定了焊工呼吸区的焊接烟尘允许浓度标准OES，这个控制值最大量为5mg/m³，而对于许多合金焊条来讲该值要低得多。例如，由不锈钢焊条及药芯焊丝产生的烟尘中的Cr的有效比例，以六价形式存在的Cr的限量为0.05mg/m³，相当总的烟尘OES为1mg/m³，而气保焊用不锈钢实芯焊丝产生的烟尘中实际上所有的Cr均为三价，这样总的烟尘OES就较高。

表 7-1 合金焊条焊接烟尘典型成分 /%

类别	焊条类型	AWS 型号举例	Fe	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	F	其他	OES /mg·m ⁻³
耐热钢	1Cr0.5Mo 等	E8018-B2、B3 等	15	5	<0.5	<0.1		<0.2	18		5
	9Cr1Mo 等	E8015-B8、B9 等	15	5	<3	<0.1		<0.1	18	Pb<0.1	1.7
低温钢	1Ni~3Ni 等	E8018-C1、2、3	14	5	<0.1	<0.5		0.5	18	Pb<0.1	5
高强钢	Mn-Mo、Ni-Mo	E10018-D1	14	5	0.5	0.5		0.5	18	Pb<0.1	5
耐候钢	Ni-Cu	E8018-W2 等									
铬不锈钢	Cr13	E410、E410NiMo	18	2	3	0.5	<0.2	<0.2	18	V<0.2	1.7
	17-4 型沉淀不锈钢	E630-16	15	3	4	0.5	0.2	0.8	18	V<0.1	1.2
铬镍不锈钢	19-9, 19-12-3, 24-13	E308、E309-16、 E316 等	8	7	5	1	0.5	0.2	16*		1
	25-20	E310-16	9	10	7.5	2		<0.2	18	(碱性 药皮)	0.6
	20-25-5-2Cu,	E385-16	8	8	7	2	1.5	0.5	18	F=28)	0.7
	2205 双相不锈钢	E2209	7	6	6	1	0.2	<0.2	16		0.8
镍基合金	纯镍	ENi1	<1	1		10		0.2	10		5
	Ni-Cu 合金	ENiCu-7	1	7		4		16	8		1.2
	182, 625, 726 型合金	ENiCrFe, ENiCrMo	1	4	5	10	6	0.2	16		1
	35-45Nb 合金	—	3	6	Cr ⁶⁺	9		<0.2	18		0.5
	617 型合金	ENiCrCoMo-1	1	4	10 Cr ⁶⁺	9	1	0.2	20	Co2.5	0.8
铸铁	纯 Ni	ENi-C1	0.5	1		10		<0.5	12	Ba<0.5	5
	NiFe 合金	ENiFe-C1	3.3	1	<0.2	1.6		<0.5	12	Ba<0.5	5

注：1. 本表按 METRODE WELDING CONSUMABLES Technical Handbook 的数据整理。

2. OES 表示焊接烟尘允许浓度。

表 7-2 列出了各类焊条的发尘量。

影响焊条发尘量的因素很多，除了焊条药皮的各种组分外，焊接条件（电流、电压、极性）、焊条药皮的含水量等也有很大影响。电流大、电压高（相当于电弧拉长）、焊条药皮吸潮等都会使发尘量增加。电流、弧长、药皮吸湿水分与发尘量的关系分别如图 7-2、图 7-3、图 7-4 所示。

表 7-2 各类焊条的发尘量

焊条类型	直径 /mm	电流 /A	发 尘 量			焊条类型	直径 /mm	电流 /A	发 尘 量		
			/mg·min ⁻¹	/g·kg ⁻¹ 焊条	/g·kg ⁻¹ 熔敷金属				/mg·min ⁻¹	/g·kg ⁻¹ 焊条	/g·kg ⁻¹ 熔敷金属
钛铁矿型	4	170	292	7.0	11.2	低 氢 型	4	170	375	11.5	15.6
低尘钛铁矿型	4	170	185	6.2	9.9	低尘低氢型	4	170	165	6.8	9.2
钛 钙 型	4	170	214	5.4	8.2	铁粉氧化铁型	5	220	430	8.2	11.9
低尘钛钙型	4	170	157	4.5	6.8	低尘铁粉氧化铁型	5	220	285	4.6	6.7

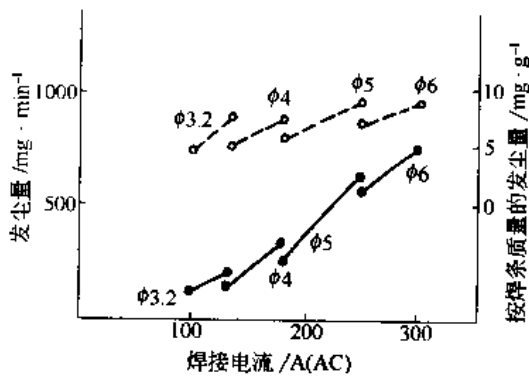


图 7-2 焊接电流与发尘量的关系

●—按时间的发尘量；○—按焊条质量的发尘量

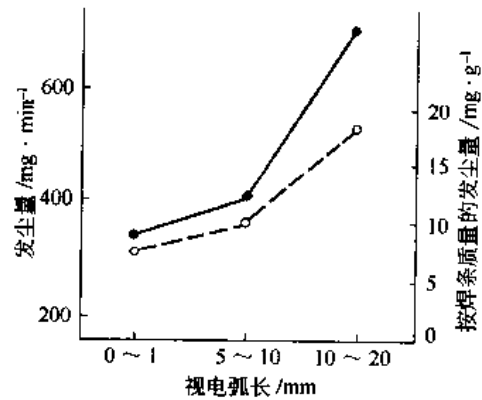


图 7-3 弧长与发尘量的关系（钛铁矿型）

●—按时间的发尘量；○—按焊条质量的发尘量
0~1—电弧电压约 28 V；5~10—电弧电压约 36 V；10~20—电弧电压约 42 V

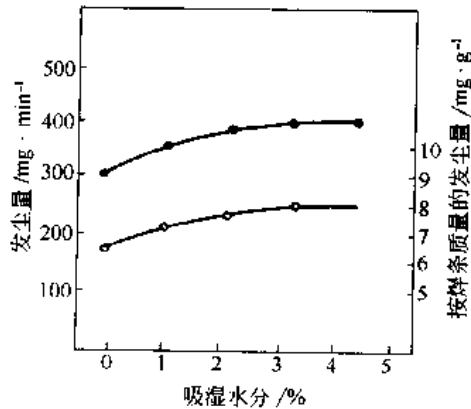


图 7-4 水分与发尘量的关系（低尘钛钙型）

●—按时间的发尘量；○—按焊条质量的发尘量

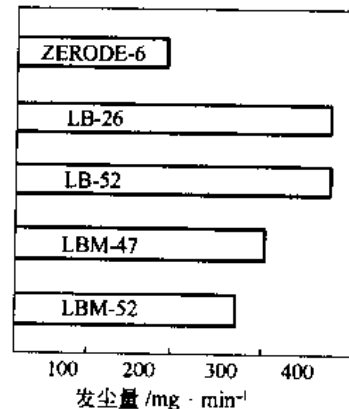


图 7-5 低氢型焊条发尘量比较
(ϕ 4, 170A)

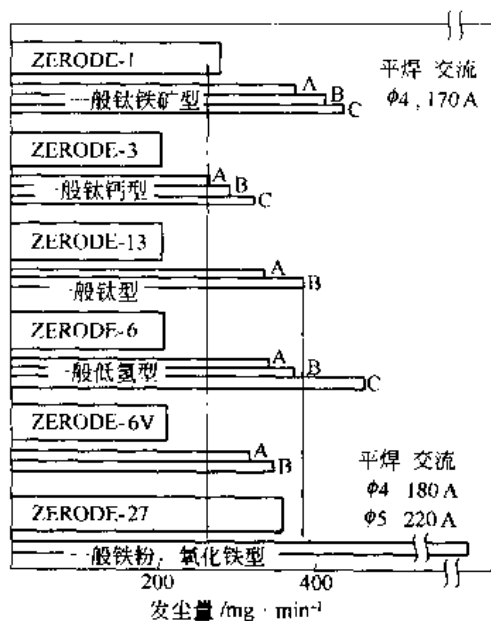


图 7-6 ZERODE 系列焊条发尘量

日本在 20 世纪 60 年代初研制成功碱性低尘 (少害) 焊条 LBM 系列 (如 LBM-52、LBM-47 等), 焊条发尘量与烟尘中可溶性氟化物含量均有较大的降低。20 世纪 70 年代中又研制成功各种药皮类型的低尘焊条, 如“神户制钢”的 ZERODE 系列, 发尘量比一般焊条降低 30%~50%。低尘焊条 ZERODE 系列的性能见图 7-5、图 7-6、表 7-3 和表 7-4。我国也对低尘焊条进行了广泛深入的研究, 20 世纪 70 年代中期, 有关焊条厂与高等院校、科研机构合作, 均先后研制成功卫生指标达到 LBM-52 水平的碱性低尘低毒焊条 J506D 等。J506D 的卫生指标见表 7-5。国外还开发了发尘速度降低一半的不锈钢焊条, 如 SAF 公司的 SAFGREEN308L、SAFGREEN316L 焊条。

当然, 低尘焊条的问世, 反映了焊条研制、生产部门对焊接环境保护的重视, 但不管如何改进, 由于焊接电弧高温的作用, 焊接烟尘及有害气体的产生可以说是不可避免的, 亦即对焊工身体及焊接环境的污染仍会产生一定的影响。因此, 在密闭或通风不良环境中施焊, 尤其是在采用低氢焊条施焊时, 在焊接区配置局部通风除尘装置应该是最佳的选择。

表 7-3 ZERODE 系列焊条熔敷金属理化性能

药皮类型	焊条牌号	直径	熔敷金属化学成分/%					熔敷金属力学性能				
			C	Si	Mn	P	S	$\sigma_{0.2}$ /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	σ_b /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	δ_5 /%	ψ /%	A_{kv} /J
钛铁矿型	ZERODE-1	φ4	0.10	0.11	0.48	0.014	0.008	400 (40.8)	453 (46.2)	33	63	108
钛钙型	ZERODE-2	φ4	0.07	0.11	0.41	0.011	0.008	383 (39.0)	439 (44.8)	33	64	118
高钛型	ZERODE-13	φ4	0.10	0.38	0.39	0.013	0.011	443 (45.2)	507 (51.7)	26	50	—
低氢型	ZERODE-6	φ4	0.07	0.47	0.88	0.010	0.011	454 (46.3)	538 (54.8)	32	72	125
低氢型立向下	ZERODE-6V	φ4	0.09	0.56	0.72	0.010	0.007	482 (49.1)	571 (58.2)	32	72	111
铁粉氧化铁型	ZERODE-27	φ5	0.08	0.37	0.71	0.017	0.012	426 (43.4)	495 (50.5)	28	55	84
铁粉钛型	ZERODE-43F	φ4	0.07	0.46	0.70	0.020	0.010	461 (47)	510 (52)	30	—	88
铁粉钛型	ZERODE-50F	φ4	0.06	0.39	0.85	0.017	0.008	461 (47)	540 (55)	30	—	88

表 7-4 ZERODE 系列焊条的烟尘分析结果

药皮类型	焊条牌号	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	F
钛铁矿型	ZERODE-1	46.35	9.65	4.14	18.30	0.48	1.85	0.31	5.63	6.60	—
	B-17	46.54	11.24	2.14	19.35	0.41	1.72	0.53	6.20	6.44	—
钛钙型	ZERODE-3	48.26	7.79	4.88	20.43	0.65	2.16	0.66	5.73	6.02	—
	TB-24	53.81	5.16	2.40	18.15	0.57	0.54	2.18	7.01	7.77	—
高钛型	ZERODE-13	45.42	5.26	5.30	23.20	0.85	0.62	0.43	5.21	6.89	—
	RB-26	49.69	5.77	5.50	22.17	0.91	0.55	0.40	4.51	7.11	—
低氢型	ZERODE-6	24.31	6.57	2.01	11.33	0.44	2.85	7.11	20.22	5.12	6.16
	ZERODE-6V	20.73	5.15	0.90	14.62	0.43	6.92	10.05	24.13	1.20	
	LB-52	13.69	3.82	0.25	3.70	0.32	12.25	0.97	10.11	25.20	17.50
	LB-52M	19.55	4.49	0.57	5.95	0.36	13.35	6.76	24.90	3.65	11.54
铁粉氧化钛型	ZERODE-27	43.47	8.02	1.11	34.50	0.77	0.14	0.71	5.39	4.76	—
	AC-27	42.89	7.97	0.45	32.10	0.99	0.14	1.32	7.75	4.22	—

表 7-5 J506D 焊条的卫生指标

焊条	发尘量 /g·kg ⁻¹	发尘速度 mg·s ⁻¹	可溶性氟 含量/%	可溶性氟绝对 含量/g·kg ⁻¹	MnO 含量/%	电 源
J506D	7.32	4.4	8.7~9.3	0.68	4.27	直流正接
	8.46	4.95	9.6	0.81	—	交 流
	10.7	6.5	7.2	0.77	—	直流反接
J507 平均水平	13.5	9.4	10	1.35	6.00	直流反接

二、铁粉焊条

铁粉焊条是在焊条药皮中加入一定数量的铁粉，以改善焊条的焊接工艺性能，提高熔敷效率。一般以加入 30% 铁粉为标准。当药皮中加入少量铁粉（通常为 10%~25%），主要是为了改善焊接工艺性能，如 E5018 型。这类焊条药皮外径比普通焊条略粗，仍可进行全位置焊接，其熔敷效率为 100%~120%，比普通焊条增加 20%~30%。当铁粉加入量超过 30%，并适当加大药皮厚度时，就可以大大提高熔敷效率，通常称为高效铁粉焊条，熔敷效率为 130%~160%，最高可达 250%。铁粉焊条具有优良的工艺性能，焊缝成形平滑，无咬边，溶滴呈喷射状过渡，飞溅很小。含多量铁粉的铁粉焊条，主要用于平焊、横角焊及船形焊。以 J500Fe20 钎碱性铁粉焊条为例，这种焊条的熔敷效率为 200%（即焊接时获得的熔敷金属质量与熔化的焊芯质量之比为 200%）。与相同直径的普通焊条相比，焊条熔敷速度提高 132%，熔化系数提高 18%，熔敷效率提高 125.6%，每千克熔敷金属燃弧时间减少 124.8%，每千克熔敷金属的耗电量节约 37.8%，焊芯用量节约 96.9%。显而易见，高效铁粉焊条熔敷效率高，可节省大量工时、人力、电力及钢材消耗，技术经济效益显著。

铁粉焊条按药皮类型不同，也可分为铁粉钛铁矿型（E4323 型）铁粉钛型（如 E4324 型），铁粉氧化铁型（E4327 型）、铁粉低氢型（如 E4328 型、E5048 型）。各类铁粉焊条的简要说明可参见第六章。

铁粉焊条牌号的命名方法是在原来焊条牌号的后面加“Fe”，并标上熔敷效率的 1/10 数值。如 J422Fe-13，就表示钛钙型铁粉焊条，熔敷效率约为 130%，交直流两用。通常把熔敷效率 130% 作为划分一般铁粉焊条和高效铁粉焊条的界限。

铁粉焊条由于焊接时产生大量烟尘，影响焊接环境，因此，近年来又开发了低尘铁粉焊条，如钛型低尘铁粉焊条 TGD-1、ZERODE50F，氧化铁型低尘铁粉焊条等。TGD-1 焊条除性能符合国标 E5024 型要求外，其发尘量规定不大于 5 g/kg，比普通铁粉焊条要小 30% ~ 50%。TGD-1 焊条性能见表 7-6，国外高效铁粉焊条性能见表 7-7。

表 7-6 TGD-1 焊条性能

焊条直径 /mm	焊接电流 /A	主要成分/%			力学性能				发尘量 /g·kg ⁻¹
		C	Si	Mn	$\sigma_{0.2}$ /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	σ_b /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	δ_5 /%	A_{kv} (0℃)/J	
φ4	220	0.09	0.32	0.84	448 (45.7)	560 (57.1)	22.0	89	2.8
φ5	280	0.08	0.27	0.84	420 (42.9)	547 (55.8)	24.5	55	4.0

表 7-7 国外高效铁粉焊条性能

生产厂家	焊条牌号	药皮类型	AWS 型号	适于焊接位置(方式)	焊接效率 /%	
ESAB (瑞典)	OK Femax 33.65	铁粉钛型	E7024	横角焊	165	
	OK Femax 33.80				180	
	OK Femax 38.48	铁粉钛碱性	E7028		150	
	OK Femax 38.65	铁粉锆碱性			165	
	OK Femax 38.85	铁粉钛碱性			220	
	OK Femax 38.95	铁粉锆碱性			240	
	OK Femax 33.80(Fematic)	铁粉钛型	E7024		重力焊	180
	OK Femax 38.85(Fematic)	铁粉钛碱性	E7028			220
	OK Femax 39.50(Fematic)	铁粉氧化铁型	E6027			160
philips (荷兰)	philips C23S	铁粉钛型	E7024	横角焊	135	
	philips C23				160	
	philips C23H				180	
	philips C10	酸性药皮	E6027		150	
	philips C14	钛酸性	E7024		190	
	philips C27H		E7048	向下立焊	120	
	philips C6	铁粉锆碱性	E7028	横角焊	150	
	philips C6H				195	
	philips C6V				250	
philips C57	低氢型			150		
神钢 (日本)	RB 24	铁粉钛型	E7024	横角焊	—	
	IB 20	铁粉氧化铁型	E6027		—	
	ZERODE 43F	铁粉钛型	E7024	横角焊、重力焊	130	
	LBF-52A	铁粉低氢型	E7028	横角焊	—	
	LB52-28				130	

此外，铁粉焊条也可作为重力焊条使用。

三、高韧性焊条

随着焊接结构日趋大型化以及运行条件的复杂化，焊接结构的安全运行越来越引起人们的重视。尤其是锅炉、压力容器、海洋工程、工程及矿山机械的迅速发展，对焊接接头的性能提出了更为严格的要求。在寒冷地区使用或有低温要求的结构，对低温韧性的要求更高，这些都对焊条提出了越来越高的要求。以往，对韧性值的要求都只考核平均值，而近几年来不仅考核平均值，而且要求最低保证值；不仅要求焊缝金属的韧性冲击值，同时还要求其 COD 性能指标（见表 7-8）。

表 7-8 海洋结构的韧性要求举例

实 例	1	2	3	4				
母材韧性要求/J	$VE_{-40(T)} \geq 55/47$	$VE_{-40(T)} \geq 34/30$	$VE_{-40(T)} \geq 34/30$	$VE_0 \geq 36/30 (h < 12)$ $VE_{-40} \geq 36/30$ ($25 < h < 63$)				
焊 接 区	$VE_{-20} \geq 34/27$	$VE_{-40} \geq 35/26$	$VE \geq 34/30$ 试验温度	$VE \geq 36/30$ 试验温度				
			h	焊态	焊后 热处理	h	焊态	焊后 热处理
			≤ 25	-20℃	-20℃	≤ 25	-20℃	
			25~40	-40℃	-30℃	25~40	-40℃	
			40~63	-40℃	-30℃	≥ 40	-40℃	-30℃
COD 要求值(焊缝金属)/mm	$\delta_c(0^\circ\text{C}) \geq 0.25$ 焊态 时板厚为 40~63.5 mm; 焊后热处理时板厚大于 63.5 mm	$\delta_c(-10^\circ\text{C})$		$\delta_c \geq 0.35$		焊态时 $\delta_c(-10^\circ\text{C})$ ≥ 0.35 , 焊后热处理时 $\delta_c(-10^\circ\text{C}) \geq 0.25$ 焊态时板厚为 40~ 63 mm, 焊后热处理时 板厚大于 63 mm		
		节点处	焊接	焊态	(1) 试验温度 飞溅带、空气带为 -10℃; 水下部位为 0℃ (2) 板厚 节点处为 40~ 63.5 mm			
		板接头	单面	0.35				
			双面	0.25				
			单面	0.30				
			双面	0.20				
线能量限制	1.0~5.0 kJ/mm	≤ 4.0 kJ/mm		≤ 4.5 kJ/mm		≤ 4.5 kJ/mm		

注：1. VE 为 V 形缺口冲击试验吸收功。

2. h 为板厚，mm。

COD 值是指裂纹尖端张开位移量，它反映裂纹尖端的变形能力。根据 COD 值可以推算出结构不产生断裂的允许裂纹长度。一般，规定某一试验温度时的临界 COD 值为 0.15 mm、0.20 mm、0.35 mm，这也是对结构本身和焊条提出的共同要求。虽然夏比 V 形冲击及 COD 值都反映了材料的韧性，但试验表明，低温冲击韧性合格的不一定 COD 值能满足要求。镍系焊条便是一例。因此，近年来各国都在积极研制这种既有良好的低温冲击韧性，又有高的 COD 值，并且扩散氢含量低的新型高韧性焊条。

就抗拉强度为 50 kgf/mm^2 (490 N/mm^2) 左右的低合金高强度钢焊条而言，从成分控制上实现焊缝金属的高韧性的主要途径是：

- (1) 净化焊缝金属、严格控制 S、P 等有害杂质；
- (2) 降低焊缝金属含氧量，以减少氧化夹杂；
- (3) 利用 Ti、B 元素的复合作用，促使焊缝金属中针状铁素体的形成；

(4) 利用稀土等微量元素。

净化焊缝、改善焊缝金属组织及细化晶粒，可以保证良好的冲击韧性和 COD 值。焊缝金属的韧性值通常分散度较大，其原因之一是缺口尖端附近的宏观、微观组织不均匀。而加入微量元素往往能起到净化焊缝、孕育处理、细化晶粒、改善组织及减少偏析等作用，所有这些都有利于提高焊缝金属的韧性。

试验表明，为保证焊条的高韧性，要尽量选用 S、As、Sn、P 等杂质含量低的高纯净原材料。在严格控制焊缝金属中的氧含量（200~300 ppm，ppm 即 10^{-6} ）及含氮量（小于 100 ppm），保证焊缝中各合金元素的合理匹配的基础上，加入 Ti、B、稀土元素等微量元素，以净化焊缝并获得以针状铁素体为主的焊缝组织。

过去长期使用含 Ni1.5%~3.5% 的镍系焊条，可以保证良好的低温冲击韧性，但并不具有优良的 COD 值。最常用的 2.5%~3.5% Ni 的镍系焊条在 -45℃ 以下时，冲击韧性较好，然而 COD 性能较差（-50℃ 的最小 COD 值小于 0.25 mm）。当 Ni 量超过 3.5% 后，尽管 COD 值略有提高，但其冲击韧性值却明显下降。镍系焊条的 COD 试样的脆性开裂大都起始于柱状晶区域，该区的显微组织为贝氏体和粗大的铁素体。此外，为了使镍系焊缝金属有较高的冲击韧性和 COD 值，要求保持较低的线能量，这在客观上给焊接生产的施工管理带来相应的麻烦。

近年来，为了进一步提高焊缝金属的冲击韧性和 COD 特性，开发了 Ti-B 系焊条。当然，Ti 和 B 等在焊缝金属化学成分中都是微量元素乃至痕量元素 [通常含 Ti 约为 0.04%，B 为 $(30\sim50)\times 10^{-6}$]。以其含量之微，难以称之为“系”，但因其作用明显，且为直观和方便起见，也就这样称呼了。金相研究表明，针状铁素体是焊缝金属可望提高韧性的理想组织。因为这种针状铁素体晶粒细小，而且邻近的铁素体之间呈大角度相接，当裂纹扩展到针状铁素体时，由于针状铁素体没有确定的位向，晶粒小，晶界多，裂纹扩展路程曲折，受到的阻力大，因而表现出较好的韧性。通过 Ti、B 的复合作用，可以改变结晶过程中的相变来抑制粗大先共析铁素体出现和促进细小针状铁素体形成，从而使熔敷金属呈现均细显微组织形态，既保证了足够的焊缝强度，又大大改善了低温韧性。

除了 Ti-B 系列以外，也可将 Ni 系与 Ti-B 系结合起来，即成为 Ni-Ti-B 系焊条，如神钢的 NB-1S 及 LB-52NS，国内最近开发的 CHJ-507GR 焊条等。

国内外高韧性焊条性能举例见表 7-9。

表 7-9 国内外高韧性焊条性能举例

焊条牌号	国别	熔敷金属主要成分/%						力学性能			低温冲击韧性	COD 值 (焊态) δ/mm	
		C	Si	Mn	Ni	Ti	B	$\sigma_{0.2}$ / $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ ($\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$)	σ_b / $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ ($\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$)	δ_5 /%		A_{KV} /J	试验温度
philips-76s	荷兰	0.06	0.3	1.6	0.8	—	—	—	608	25.2	103 (-40℃)	-10℃	$\delta_m > 1.95$ $\delta_u = 1.17$
N-100	日本	0.07	0.20	1.61	—	0.04	0.004	520 (53)	590 (60)	30	160 (-50℃)	-50℃	1.88
											130 (-60℃)		

续表

焊条牌号	国别	熔敷金属主要成分/%						力学性能			低温冲击韧性 A_{KV} /J	COD值 (焊态) δ /mm	
		C	Si	Mn	Ni	Ti	B	$\sigma_{0.2}$ /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	σ_b /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	δ_5 /%		试验 温度	δ_c
N-110	日本	0.07	0.21	1.57	—	0.03	0.003	520 (53)	570 (58)	31	130 (-45℃)	-10℃	2.39
NB-1s	日本	0.08	0.27	1.44	1.43	0.037	0.0032	488 (49.8)	579 (59.1)	31	177 (-60℃)	-45℃	1.0
											134 (-80℃)		
LB-52NS	日本	0.08	0.40	1.38	0.48	0.023	0.0021	489 (49.9)	580 (59.2)	29	153 (-45℃)	-10℃	1.38
											123 (-60℃)		
CHJ-507GR	中国	0.07	0.29	1.42	0.51	0.026	0.0032	462 (46)	561 (56)	30.4	242 (-45℃)	-40℃	1.56
TH-227	中国	0.09	0.42	1.05	—	—	—	43	52	32	182 (-40℃)	—	—

此外，在研制高韧性焊条的同时，往往也十分注意降低焊缝金属的扩散氢含量。对于低氢型焊条，其熔敷金属的扩散氢含量国外达到的水平，1960年是5 mL/100 g，1970年为2~3 mL/100 g，近几年则已达到1 mL/100 g以下的水平（20℃，相对湿度65%条件下用甘油法测定），日本称它为超低氢焊条。国际焊接学会（IIW）和国际标准化组织（ISO）则规定用水银法测定熔敷金属扩散氢量不大于5 mL/100 g的焊条为超低氢焊条。因为大量试验表明，为确保低合金钢焊缝不产生延迟裂纹的一个重要条件，是用水银法测出的扩散氢量不大于5 mL/100 g。当然，随着冶金工业的发展，近年来国外已开发出多种控制轧制钢（CR钢）、控轧控冷钢（TMCP钢）、碳当量低的低合金钢，这些钢的冷裂倾向小，就可以放宽对扩散氢含量的要求，可以考虑采用中氢焊条（即甘油法测定扩散氢含量在（20~25）mL/100 g左右）来进行焊接，这当然不在本节讨论的范围内。

四、难吸潮焊条

电焊条药皮中由于含有一些强碱性氧化物，加上药粉颗粒之间的空隙产生的毛细管吸附现象，焊条在烘干后于包装物内贮存期间，以及在施工作业现场，总要接触含有一定水分的大气，因此药皮吸潮是难免的（见图3-1）。这往往是造成焊缝气孔及延迟裂纹等焊接缺陷的重要原因之一。为了去除这种吸湿水分，就必须进行焊前烘干。这样既浪费能源，又给焊接施工带来诸多不便。

所谓难吸潮焊条，就是通过焊条药皮中加入一些低熔点玻璃粉或其他物质，或经过一定的工艺处理，使焊条药皮的吸潮性大大降低，亦即使焊条药皮具有一定的“抗吸潮能力”。这种焊条的称呼目前尚不统一，也有称为耐吸潮、抗吸潮或低吸潮焊条（在焊条牌号后面加注LMA字样）。至于“抗吸潮能力”的具体标准或指标，目前尚无明确规定。通常，可以通过实物对比来进行衡量。即难吸潮焊条与其相同药皮类型的普通焊条，在相同受潮条件下

(指一定的温度、湿度条件)长期吸潮(一般为12~24h),要求难吸潮焊条的药皮吸潮量大低于普通焊条。对于具有难吸潮药皮的超低氢焊条,其吸潮后的药皮含水量应为普通低氢焊条的一半以下。

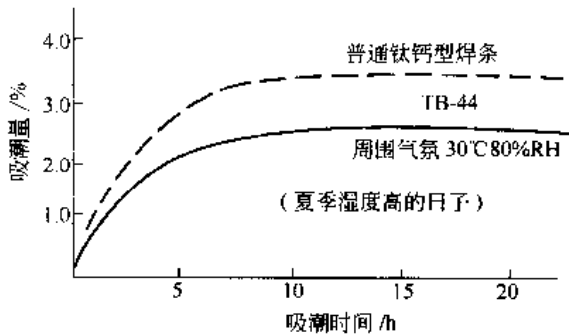


图 7-7 非低氢型难吸潮焊条 (TB-44) 的吸潮特性

难吸潮焊条在一般焊接结构的施工中,通常可以免去焊前烘干这道工序。对于低氢焊条,由于药皮吸潮量少,降低了焊缝中扩散氢含量,有时可使工件的预热温度降低25~50℃。因此,近年来,国内外都加强了对焊条药皮抗吸潮能力的研究,不仅开发了难吸潮低氢型焊条,而且还使非低氢型焊条

药皮也具有难吸潮的特点,如难吸潮钛钙型焊条。日本的新型不锈钢焊条 HIM-ELT 系列,其药皮也具有难吸潮特点。

难吸潮焊条的吸潮特性如图 7-7、图 7-8 所示。

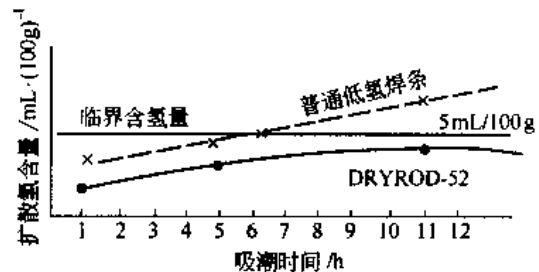
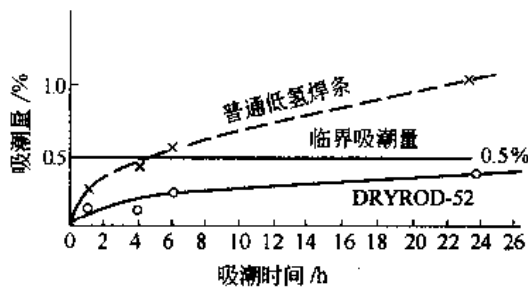


图 7-8 低氢型难吸潮焊条 (DRYROD-52) 的吸潮特性

五、高效不锈钢焊条

所谓不锈钢焊条的“高效”,实际上可以分为两种类型:一种是熔化系数高,但熔敷效率与普通不锈钢焊条一样;另一种是熔敷效率高,熔化系数也高。

熔化系数高的高效不锈钢焊条主要是采用新型渣系,使熔滴的过渡形态由短路为主变为以喷射为主。在使用同样电流的条件下,熔化系数可比普通钛钙型不锈钢焊条高20%~35%,焊条长度可增加50mm,使用的电流也可提高20%左右。这类焊条药皮类型代号为“17”,已大量生产并得到广泛使用,如国内研制成功的A102A, A202A系列,日本“神钢”产的NCS系列,荷兰“飞利浦”的philips316,瑞典Avesta公司产的P5(绿皮)等。

熔敷效率高的高效不锈钢焊条,主要是在药皮中加入大量的金属粉末,以提高熔敷效率。其类型又可分为以下几种。

(1) 低碳钢芯,药皮中加入50%~70%合金粉(Cr、Ni粉等)。由于同时加大药皮厚度,故熔敷效率可达140%~180%。但用这种焊条焊接时,通过电子探针对焊缝成分进行测定表明,在焊缝开始一段合金元素含量显著减少(达5%),且沿焊缝截面的化学成分不均匀性较严重,因此,使用受到一定限制。

(2) 高合金钢焊芯,在药皮中加入50%~70%的铁粉及其他合金粉。例如,前苏联的AHB-23焊条,采用Cr25Ni13焊芯,药皮中加Cr-Ni粉及铁粉等,保证焊缝达到18-10成

分，熔敷效率为 160%，堆焊生产率达 40 g/min。

(3) 高合金钢焊芯，药皮中加入大量与焊缝金属成分相近的中间合金粉。它同样可以获得高的熔敷效率，且焊缝成分均匀。

日本“神户制钢”近年来研制成功新型高效不锈钢焊条 HIMELT 系列，该系列焊条允许采用低碳钢焊条的电流，效率高；采用难吸潮药皮，一般焊前可不必再烘干。它与普通不锈钢焊条焊接特性的对比见表 7-10，焊条熔敷金属性能见表 7-11。

表 7-10 HIMELT 焊条与普通焊条焊接特性的对比 ($\phi 4 \text{ mm} \times 350 \text{ mm}$)

焊条	焊接电流 /A	焊接时间 /s	熔敷金属 /g	熔化速度 /mm·min ⁻¹	熔敷速度 /g·min ⁻¹	焊条单重 /g
HIMELT	180	58.5	39.2	308	40.2	76
普通焊条	140	75.5	30.8	238	24.4	52

表 7-11 HIMELT 系列焊条熔敷金属性能

焊条牌号	主要化学成分/%						力学性能			铁素体 含量 /%
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	$\sigma_{0.2}$ /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	σ_b /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	δ /%	
HIMELT-308	0.060	1.01	0.26	10.16	20.13		379 (38.7)	579 (59.1)	51	13.4
HIMELT-308L	0.036	0.98	0.23	9.77	19.85		365 (37.2)	571 (58.2)	46	12.3
HIMELT-316	0.057	1.03	0.24	12.56	19.45	2.23	416 (42.4)	559 (57.0)	39	10.3
HIMELT-316L	0.037	0.99	0.23	12.71	19.01	2.36	417 (42.5)	537 (54.8)	43	11.2
HIMELT-309	0.068	1.09	0.25	12.83	23.92		406 (41.4)	566 (57.8)	38	17.2

六、专用焊条

所谓“专用”焊条，是指比一般“通用”焊条对某些特殊的工艺要求有更好的适应性的焊条。随着焊接工艺的发展，对焊条也提出了更高的要求。在生产实践中，焊条的品种除根据不同钢种的要求外，还根据钢板的不同厚度（薄板、中厚板等）、不同的接头形式（对接、T形接头等）、坡口的不同焊接部位（底层、表层等）、焊接的不同位置（平、立、横、仰焊等）、不同方向（向上立、向下立）等，生产出特别适合于各种不同要求的焊条。此外，还包括具有某些特殊性能、特殊形状的焊条，如可挠性焊条（见图 7-9）、躺焊焊条等。这些都称为专用焊条。常用的专用焊条有下列几种。

(1) 重力焊条 用重力焊机架进行半机械化焊接。它具有设备简单，生产效率高，操作方便、减轻劳动强度等优点。其尺寸一般为直径 $\phi(4\sim 8) \text{ mm}$ ，长度可达 500~900 mm。主要用于横角焊，也可用于平对接焊。常用的有 J421Z16、J422Z13、J503Z 等。重力焊与手弧焊的效率对比见表 7-12。在国外，一个焊工可同时操作 5~12 台重力焊机，大大提高焊接生产效率。重力焊条使用情况如图 7-10 所示。

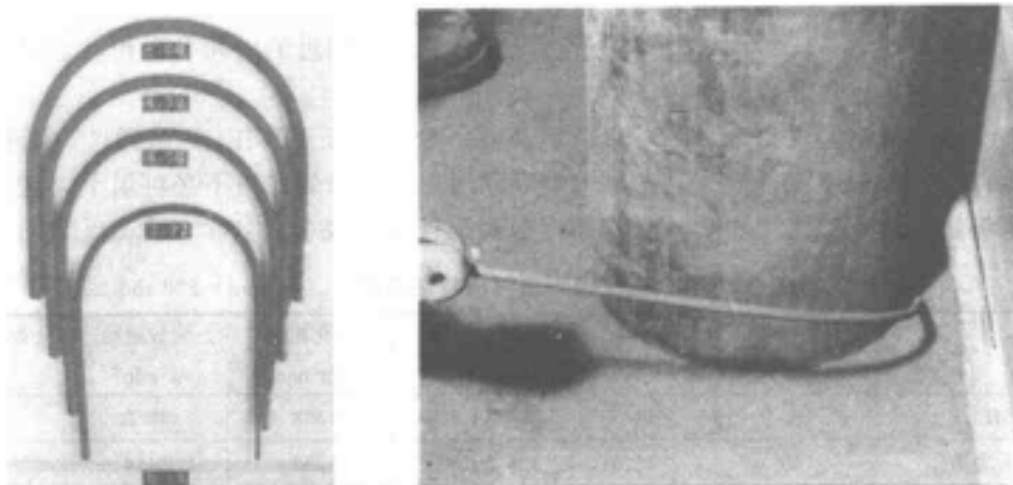


图 7-9 可挠性焊条

表 7-12 重力焊与手弧焊的效率对比

焊接方法	每个工人操作台数	焊条规格 $\phi \times l$ /mm	焊接电流 /A	一根焊条的 焊接时间 /s	焊脚长 /mm	每焊接 100 m 所需时间 /min
手弧焊	1	5.0 × 550	240	160	5.5	720
重力焊	1	5.0 × 700	200	180	5.5	446
	3					148
	4					114
	5					89
	6					74

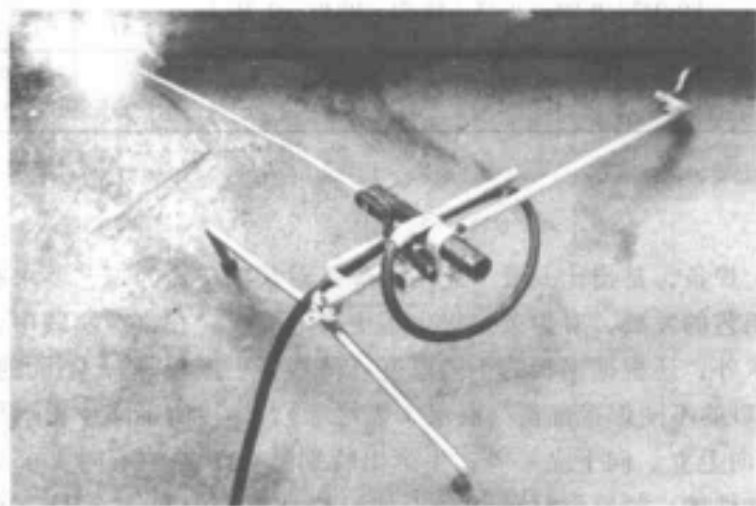


图 7-10 重力焊条使用情况

(2) 立向下专用焊条 通常立角焊是采用普通焊条自下而上进行焊接。操作要求较高，焊接速度慢，焊缝剖面凸度大，应力集中系数较大。使用立向下焊条进行立焊操作时，焊接可自上而下进行，焊条一般不做摆动，直拖而下。可以使用较大的电流，并且焊缝美观。采用向下立焊通常可比向上立焊提高效率 30% 以上（见表 7-13），并且可节约焊条 30%—50%。

表 7-13 向下立焊的效率比较

焊 条	J507	J507X	焊 条	J507	J507X
焊接方法	向上立	向下立	打底时间/s	69.4	39.8
焊条尺寸/mm	φ4×400	φ4×400	换焊条时间/s	53.5	53.5
电流/A	145	210	全部焊接时间/s	659.4	430.8
燃弧时间/s	536.5	337.5			

立向下焊条主要有纤维素型药皮的 J505 及低氢型药皮的 J507X 等。

(3) 管道焊接专用焊条 管道焊接要求焊条的全位置焊接工艺性能特别优良, 封底焊时具有良好的抗气孔性及抗裂性, 还要有单面焊双面成形的特点。常用的有钛钙型药皮的 J422G、纤维素型的 J505、低氢型的 J507XG 等。这类专用焊条还包括所谓的底层焊条, 如 J505。

此外, 专用焊条还有在狭坡口中脱渣性特别好的打底焊条; 再引弧性及焊缝抗裂性优良了点固焊条; 可使用夹具进行低角度接触式焊接的接触焊条; 焊条横置在工件焊接线上, 焊接时电弧能定向地指向焊接部位, 具有特殊断面的躺焊焊条等。

目前, 除各种碳钢专用焊条外, 还根据生产实践的需要, 开发出许多供不锈钢施焊的专用焊条。例如, 特别适合野外施工焊接管子用的焊条 308L/MVR-PW AC/DC (瑞典 Avesta 公司), 适合进行立向下焊的焊条 OK63.34 (瑞典 ESAB 公司)、BS308L-V (荷兰 Philips 公司); 全位置焊尤其是立焊性能特别优良的焊条 NCA-308UL (日本神钢) 等。由于这些专用焊条的开发和应用, 不但提高了焊接质量, 而且提高了焊接效率, 减少了焊接工时和施工费用, 因此, 越来越受到用户的欢迎。现以瑞典 Avesta 公司的产品为例, 在表 7-14 中列出了 308L 系列各种不锈钢焊条焊接特性数据。

表 7-14 Avesta 308L 系列各种不锈钢焊条焊接特性数据

牌 号	W	N	B	H	T	效率 /%	备 注
308L/MVR basic	3.21	0.67	48	1.23	61	103	碱性药皮
308L/MVR-A rutile	3.21	0.64	50	1.25	61	104	钛碱性药皮
308L/MVR AC/DC	3.80	0.59	46	1.46	54	109	钛酸性药皮
308L/MVR-PW AC/DC	3.58	0.62	46	1.48	53	107	钛型药皮, 管子专用焊条
308L/MVR-VDX AC/DC	2.89	0.73	48	1.45	52	104	钛型药皮, 立向下焊条
308L/MVR-HX AC/DC	4.86	0.61	17	2.96	58	143	高效焊条

注: 1. 表中所列均为 φ3.25 mm×350 mm 焊条, 用最大电流施焊。

2. W—100 根焊条的质量, (kg); N—每千克焊条得到的焊缝金属量, kg; B—每千克焊缝金属需焊条根数; H—每小时燃弧时间得到的焊缝金属量, kg; T—每根焊条的燃弧时间, s。

七、连续焊条^①

所谓连续焊条是指一种长度大于 500 mm, 在药皮上等距离开制一定形状和尺寸的电接点(或叫导电槽), 采用连续动态输电法进行高效焊接的新型涂层焊接材料。对直长型连续焊条, 其

^① 连续焊条这项由中国人发明的焊接技术, 在 1994 年北京-埃森焊接展上及其后, 曾引起国内外焊接界的关注和争议。直长型连续焊条于 1996~1997 年先后进行了 3000 m³ 贮罐及 316 L 不锈钢容器焊接的工业性试验, 但由于焊枪和连续焊条制造技术, 以及组织、资金运作等一些深层次问题得不到解决, 使该项技术的深入研究中断。尽管如此, 这项在国内外取得多项专利的发明, 还是给我们留下了许多启示和值得深思的问题。故本书在改版时, 仍保留“连续焊条”这部分内容。

长度通常为 1000 mm 左右,对半自动、自动焊用的盘状连续焊条,其长度可达数十、甚至数百米,连续焊条上的电接点形式可以是平行的或环形的(图 7-11)。连续焊条焊接采用专用的动态输电枪完成导电和送条双重功能。连续焊条与动态输电枪分别如图 7-12 和图 7-13 所示,半自动连续焊条施焊如图 7-14 所示。连续焊条及连续焊条电弧焊技术,总称为 CCE 技术 (CONTINUOUS COATED ELECTRODE 技术),是我国科技工作者于 20 世纪初发明的,它包括连续焊条、动态输电枪、连续焊条制造工艺方法及生产设备等一系列专利技术。

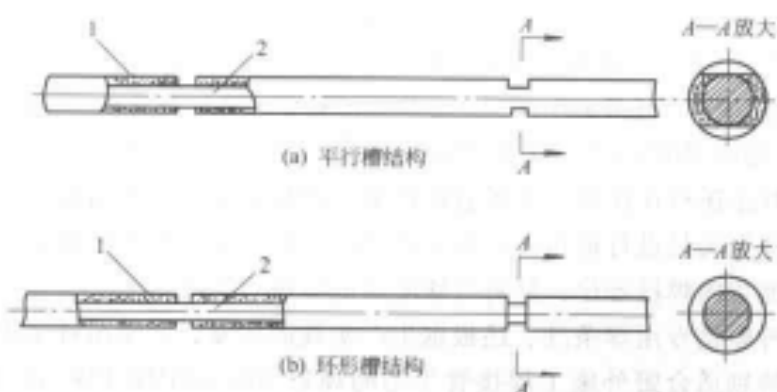


图 7-11 连续焊条的电接点形式

1—药皮; 2—焊芯



图 7-12 连续焊条



图 7-13 动态输电枪

连续焊条采用连续动态输电方法传输焊接电流,改变了传统的电焊条尾部(夹持端)静态导电的方式,避免了电流通过焊芯时因其电阻的影响导致焊条温度升高、药皮发红开裂等弊病,使焊条的长度已不再成为制约焊接工艺的因素,克服了传统电焊条焊接效率低、接头多、成本高的不足,充分保证并发展了涂层焊条在焊接冶金、电弧特性及工艺操作性等方面的优良特性,同时又注入了各种连续送丝焊接方式所具有的“高效率、自动化”的特征,实现了和谐统一,成为一种具有强大生命力的新型焊接材料。

根据目前的初步研究和分析, 连续焊条具有下列优点。

1. 焊接电流可调范围大、焊接能力大幅度增强

连续焊条焊接时大大缩短了导电点至电弧区的距离, 一般为 70 mm 左右, 允许使用的最大电流为传统焊条的 3 倍以上。例如, $\phi 3.2$ mm J506 焊条, 连续焊条与传统焊条相比, 焊接电流范围从原来的 80~120 A 扩大到 80~450 A, 使表示焊接规范调变能力的比值 I_{\max}/I_{\min} 从原来的 1.5 增大到 5.6, 增强了焊接能力适应性, 一种规格焊条, 既可焊薄板, 又可焊厚板, 如 $\phi 2.0$ mm 焊条, 既可焊 1.5 mm 板, 又可焊 8~12 mm 板, 焊接熔敷率也可成倍增加。

2. 优异的深熔特性使中厚板焊接可不必开坡口

以 J506 焊条为例, 用连续焊条与传统焊条在 18 mm 板上施焊时, 焊接电流与熔深的关系如图 7-15 所示, 焊缝横截面形状如图 7-16 所示。

试验发现, 当电流达到 380 A 以上时, 焊缝截面



图 7-14 半自动连续焊条施焊

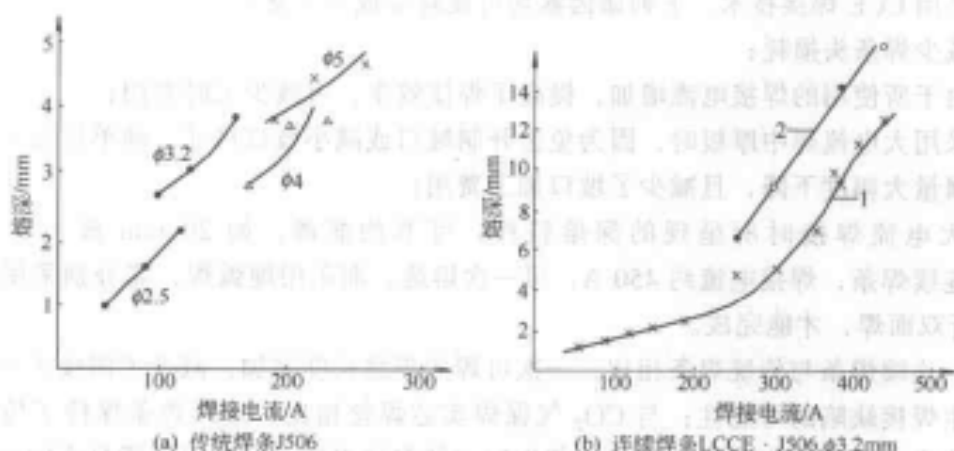


图 7-15 焊接电流与熔深的关系

1—1 在平板上施焊; 2—1 间隙 3 mm, 1 形对接

呈酒杯状, 如图 7-16 的 3 所示, 熔池出现小孔效应, 熔深明显增加。粗略估算, 此时电弧能量密度已达 2×10^5 W/cm² 以上, 即产生了强烈的等离子弧。当电流提高到 440 A 时, 可使 20 mm 板不开坡口, 一次焊透, 实现单面焊双面成形 (背面加衬垫), 这种现象称为连续焊条的深熔特性。

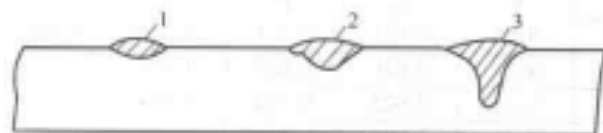


图 7-16 不同焊接电流时焊缝截面形状变化

1—120 A; 2—250 A; 3—400 A

众所周知, 传统焊条焊接时, 电弧是一种自由电弧, 并成圆锥形, 电磁力是从焊条端部向熔池方向逐渐减小。而当连续焊条使用大电流焊接时, 由于大的电流密度, 使焊芯熔化很快, 较长的焊条套筒对电弧起到了机械拘束作用, 此时焊条药皮

中碳酸盐等物质分解产生的气体，及由弧柱外进入的气流，从弧柱中吸收热量而被加热和产生部分电离，对电弧产生了“热缩效应”。再加上大电流密度下，由电弧磁场自身引起的电磁压缩效应明显增强。在这三者的共同作用下，电弧被强烈压缩，产生了等离子弧，弧柱成圆柱形，使弧柱功率和电弧力显著增加，导致焊缝熔深明显增大，焊缝截面出现酒杯状，呈现出连续焊条大电流焊接所特有的深熔特性。当然，也有一种看法认为，这是由于焊条熔滴过渡形态的改变，从颗粒过渡变为射流过渡，使电弧力显著增大。这些不同的观点尚需通过试验研究去验证，但连续焊条的深熔特性却是事实。

由于连续焊条的深熔特性，使焊接工艺将出现重大的变化，一是可使许多焊接接头避免或减少坡口设计，使焊缝所需的熔敷金属量大为减少，焊接工时和焊接材料费用大幅度下降；二是有利于控制单位长度焊缝线能量输入，有利于缩小热影响区和热变形，减少焊接应力，提高焊接内在质量。

3. 焊条头损失大幅度减少

传统焊条的焊条头损耗率约为 10% 左右，以我国年耗 50 万吨焊条计，每年将浪费数亿元。当采用直长型连续焊条且使用焊条接棒时，则焊条头损耗率降至 2% 左右；当采用盘状连续焊条时，则损耗率可降至 0.5% 以下，甚至更低。在使用不锈钢连续焊条焊接时，这种节约价值将更为突出。

4. 可大幅度降低成本

由于采用 CCE 焊接技术，下列诸因素均可使焊接成本下降：

- (1) 减少焊条头损耗；
- (2) 由于所使用的焊接电流增加，提高了焊接效率，可减少工时费用；
- (3) 采用大电流焊中厚板时，因为免去开制坡口或减小坡口尺寸，使单位长度焊缝所需的熔敷金属量大幅度下降，且减少了坡口加工费用；
- (4) 大电流焊接时所呈现的深熔特性，可节约能源，如 20 mm 板一次焊接，用 $\phi 3.2$ mm 连续焊条，焊接电流约 450 A，可一次熔透，而采用埋弧焊，需分别采用 850 A 及 950 A 进行双面焊，才能完成。

此外，连续焊条与传统焊条相比，一次可焊的焊缝长度增加，减少了因接头不良容易在引弧处产生焊接缺陷的可能性；与 CO_2 气保焊实芯焊丝相比，连续焊条保持了传统焊条焊接冶金及渗合金方面调变灵活的优点，药皮配方的多种多样，完全可以满足不同焊接钢材的需要，同时，不需要保护气体及专用焊机，操作技术要求也与传统焊条相似，因此很容易为目前仍在从事手弧焊作业的焊工所掌握，便于普及推广。

至于连续焊条上电接点的形状及宽度对焊缝金属化学成分均匀性的影响，有关研究试验表明，无论是具有槽宽为 2.5~3.0 mm 平行电接点，还是具有槽宽为 2.0 mm 环形电接点的直长型连续焊条，其焊缝金属的宏观化学成分是均匀的，试验结果见表 7-15 和表 7-16。

表 7-15 电接点对 LCCE·A002 焊条焊缝化学成分的影响

取样位置	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	N	O
电接点处	0.039	0.82	0.80	18.51	9.25	0.025	0.024	0.065	0.080
	0.035	0.82	0.82	18.55	9.24	0.026	0.024	0.072	0.082
非电接点处	0.037	0.81	0.81	18.48	9.23	0.025	0.024	0.073	0.079
	0.035	0.82	0.81	18.50	9.24	0.026	0.024	0.072	0.078

注：焊条规格 $\phi 2.5 \text{ mm} \times 983 \text{ mm}$ 平行槽，槽宽 2.5~3.0 mm，焊接电流 110 A，电弧电压 26 V，焊接速度 3.0 mm/s，单层多道堆焊。

表 7-16 电对接 LCCE·J507 焊条焊缝化学成分的影响

/%

取样位置	C	Si	Mn	S	P	N	O
电接点处	0.080	0.39	0.69	0.017	0.016	0.040	0.041
	0.073	0.39	0.68	0.017	0.016	0.038	0.039
非电接点处	0.078	0.38	0.66	0.017	0.016	0.036	0.040
	0.073	0.38	0.67	0.016	0.015	0.039	0.041

注：焊条规格 $\phi 2.5 \text{ mm} \times 983 \text{ mm}$ ，环形槽，槽宽 2.0 mm，焊接电流 130 A，电弧电压 26 V，焊接速度 2.5 mm/s，单层多道堆焊。

由于连续焊条是从传统的电焊条演变而成，传统焊条的数百个品种几乎都可嫁接到连续焊条上，因此，就连续焊条的适用标准而言，除了对其药皮上的电接点有特殊要求外，其他各项性能指标基本上都可采用现行的焊条国家标准体系，这对广大用户来讲，具有十分重大的现实意义，因为他们无需重新进行大量的工艺评定试验，完全可以借用多年积累的手工电弧焊试验数据和生产经验，迅速推广、应用连续焊条。

各种常用的连续焊条焊缝金属性能分别见表 7-17 和表 7-18，每一种连续焊条，又可按其施焊工艺特点分为直长型及盘状半自动、自动连续焊条。

表 7-17 碳钢连续焊条焊缝金属性能举例 ($\phi 2.5 \text{ mm} \times 972 \text{ mm}$)

焊条	熔敷金属化学成分/%					熔敷金属力学性能			
	C	Mn	Si	S	P	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J
LCCE·J421	0.09	0.44	0.24	0.008	0.024	390	475	24	129 (0℃)
LCCE·J422	0.07	0.51	0.22	0.010	0.021	405	485	26	75 (-20℃)
LCCE·J507	0.07	1.38	0.46	0.010	0.015	440	550	28	158 (-30℃)

表 7-18 不锈钢连续焊条焊缝金属性能举例 ($\phi 2.5 \text{ mm} \times 981 \text{ mm}$)

焊条	熔敷金属化学成分/%								熔敷金属力学性能	
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P	σ_b /MPa	δ_5 /%
LCCE·A002	0.03	0.92	0.78	19.8	10.5	—	0.016	0.023	560	41
LCCE·A102	0.05	0.87	0.82	20.1	10.6	—	0.018	0.024	575	40
LCCE·A202	0.06	0.90	0.77	18.6	12.5	2.3	0.014	0.025	580	38

此外，由于连续焊条具有优良的“深熔特性”，可以实现连续焊接，更好地实现电弧跟踪及电弧的位置调节，有利于实现机械化、自动化焊接。

当然，像其他新生事物一样，连续焊条的研究、应用尚处于起步阶段，在各个产业领域中的应用，与各钢种的匹配，尚有待进一步试验，应用范围有待扩展；就 CCE 焊接技术引申出的许多理论问题有待深入研究；在大电流焊接时，焊缝金属韧性较低，飞溅较大，焊缝成形较差，烟尘发生量过大等问题也有待进一步研究改进，但作为一种具有强大生命力的新型焊接材料，连续焊条必将活跃于各个工业领域的焊接施工现场。

第八章 国内外电焊条研究开发的最新进展

随着材料科学与材料加工及制造技术的进步与发展,为了适应现代社会与经济高速发展的要求,满足未来高层建筑、大跨度重载桥梁、深井采油及大口径输油气管、大型工程机械及低温压力容器等对钢材强度和安全使用寿命成倍提高的要求,世界各国都在竞相研究开发新型钢铁材料,而作为钢材连接用材的焊条,也受到了相应的关注,并取得了很大的进展。

微合金化与现代先进的控制轧制技术(TMCP)相结合所产生的微合金控轧、控冷钢,便是近年来物理冶金学及材料加工领域中最重要的发展和最成功的实例之一。通过下列技术途径,提高了钢材的强韧性及各种使用性能,也为焊接材料(也包括焊条)的开发指明了方向。

(1) 降碳。低合金钢熔敷金属中的碳已由普通的小于0.08%降到超低碳水平,使其具有优良的低温韧性,同时使氢致裂纹的敏感性显著减少,消除了预热及焊后热处理的需求,超低碳不锈钢焊条熔敷金属含碳量也不是常规的小于0.04%,而是0.02%,甚至是0.01%。这样就显著提高了不锈钢的耐蚀性。

(2) 微合金化。通过加入微量Ni、V和Ti,以及B参与复合合金化,即依靠晶粒细化弥补钢中碳含量降低所损失的强度,以取得更好的强韧性配合。

(3) 控制轧制和控制冷却,或采用淬火+回火的调质工艺,结合适当的合金化,使低合金高强度钢的屈服强度可达到900~1000 MPa,而且脆性转折温度 T_{27} 保持在-80℃以下的水平。

(4) 高纯净度与夹杂物形态控制,尽量降低气体与杂质元素含量。对于大规模生产的低合金高强度钢的钢水纯净度,即S+P+O+N+H的总量控制到低于 $200 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ 的水平已是常规要求,而纯净钢冶炼的目标要求是S+P+O+N+H总量小于 100×10^{-6} 。对于低合金铬钼耐热钢焊条(如AWS E9016-B3)的熔敷金属而言,降低其杂质含量水平,即脆性系数 $\bar{X} = (10P + 5Sb + 4Sn + As) \times 10^{-2} < 15 \times 10^{-6}$,就能提高其韧性,通过步冷脆性试验的考核。

就国外焊条发展的总体动向看,作为需求,除了过去的“高效率”、“高质量”外,“降低能耗”、“改善环境”也成了重要的部分。这些年来,在降低烟尘方面,公认已取得了成果,推出了碳钢、低合金及不锈钢低尘焊条。由于采用真空包装及对焊条药皮吸潮性的改进,开发出各种低吸潮焊条,有些焊条焊前可不烘干。加上极低氢焊条的出现,大大降低了熔敷金属的扩散氢含量,既改善了抗裂性,又可降低、甚至免除焊前预热,降低了能耗,同时还改善了劳动条件。但是,尽管改进工作取得了进展,人们仍然在呼吁,酸性焊条应省去再烘干,并期望碱性焊条的工艺性能能得到进一步的改善。总之,高效率、高质量的焊条仍是焊条制造厂商的不懈追求。

(一) 低合金高强度钢焊条的进展

一般认为,凡是合金元素总量在5%以下、屈服强度在275 MPa以上,具有良好的焊接性、耐蚀性、耐磨性、成形性,通常以板、带、型、管等钢材形式供用户直接使用,而不经重新热加工、热处理及切削加工使用的结构钢种,称之为低合金钢。国外这类钢多年来已逐渐形成一个统一名称——高强度低合金钢(High Strength Low Alloy Steels,简称HSLA钢)。

近二三十年来,由于市场需求和技术进步的共同推动,低合金高强度钢的品种有了很大发

展。各种各样的强韧性组合是由合金化、微合金化与相应的生产工艺提供和保证的。例如，轧制状态的低碳锰钢的屈服强度只能达到 400 MPa，而且脆性转折温度位于较高的水平。这类钢经过正火后可以稍许提高强度和改善韧性。微合金化加热机械控制轧制的铁素体/珠光体钢种在维持正火状态韧性水平条件下可以提高屈服强度到 500~600 MPa。控制轧制后加速冷却的贝氏体钢可以进一步提高到 600~700 MPa。为了达到更高的强度和更好的韧性，则必须采用淬火+回火或直接淬火+回火的所谓调质工艺。结合适当的合金化，调质的低合金高强度钢的屈服强度可以达到 900~1000 MPa，而且脆性转折温度 T_{27} 保持到 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的水平。

强度和韧性是低合金高强钢要求的最基本的性能。焊接结构高强钢的发展轨迹是在不断提高强度和韧性的同时，仍能保持良好的焊接性能。微合金化技术和钢铁冶金新工艺，特别是控制轧制工艺的运用，为开发低碳当量的焊接结构钢品种创造了条件。开发焊接性能优良的低碳低合金高强钢是研制新一代钢铁材料的必然方向。

20 世纪 60 年代以来，低合金高强钢的发展，大致可认为经历了三个阶段。最初开发的微合金控轧钢，基本组织形态为铁素体+少量珠光体， $w(\text{C})$ 一般 $<0.10\%$ ， $w(\text{Nb}+\text{V}+\text{Ti})$ 的总量 $<0.1\%$ 。通过固溶强化、铁素体晶粒细化、增加珠光体含量和减少珠光体组织的片间距来实现强韧化。为了进一步提高微合金钢的强韧性，第二阶段研究开发了针状铁素体钢。该钢典型合金系统为 C-Mn-Mo-Nb， $w(\text{C})$ 一般 $<0.06\%$ ，基本组织形态为针状铁素体。通过微合金化和控制轧制与控制冷却，综合利用晶粒细化、微合金化元素的析出相与位错亚结构的强化析出效应，可使钢的屈服强度达到 650 MPa， $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 CVN 冲击韧度达到 80 J。但是，要进一步实现高强度 ($YS\geq 690\text{ MPa}$ ， $TS\geq 900\text{ MPa}$) 就要依赖于形成贝氏体及马氏体组织。为了确保严酷条件下焊接构件具有优良的低温韧性及使用性能，合金设计采用极低的含碳量，这使得适当厚度的超低碳低合金钢中，难以获得马氏体组织，而只能获得贝氏体组织。试验表明，随着碳含量的减少，钢的韧性改善，但并没有大的强度损失，而且当碳含量接近于零时，马氏体与贝氏体之间的强度差别也趋近于零。由此进入第三阶段，引发了超低碳贝氏体 (ULCB) 钢的合金设计，ULCB 钢的合金类型可分为 Fe-Cu-Nb-B 系及 Fe-Mn-Nb-B 系，日本开发出高强度、高韧性非调质厚钢板的屈服强度为 570 MPa，厚度 75 mm，为超低碳贝氏体型厚板，其代表成分为 (质量分数)：0.012% C，0.30% Si，1.56% Mn，0.009% P，0.003% S，0.029% Al，0.011% Ti，0.0028% N，同时添加适量的 Cu、Ni、Nb、B 等元素而获得成功。该钢种碳当量 $C_e=0.294\%$ ，裂纹敏感指数 $P_{cm}=0.137\%$ 。与传统的调质钢板相比，焊接热输入量提高 3 倍， $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 可进行无预热焊接。

由于电弧焊接在焊接冶金原理方面与钢铁冶金有许多相同或相似之处，故冶金工业的每一项重大的进展，均为焊接材料的发展提供了有益的经验 and 借鉴，同时也为焊材市场开拓了新的空间。诸如含 Ni 低温钢焊条的发展，Ti-B 系微合金化及针状铁素体焊缝组织的高韧性化，都是随着冶金工业的步伐而前进的。可以预见，超低碳贝氏体钢的成分设计思想及其组织性能特征，也必将为高强钢焊接材料的发展提供有益的思路。

国外在低合金高强钢焊条方面的进展，主要还是集中在强韧性的研究方面，除了以前已研发的强度在 500 MPa 左右的低合金高强钢焊条外，随着寒冷地带的油气管道、海洋设施、移动式自升降平台等大型结构以及桥梁、压力容器及各种石化装置用钢不断向高强度、高韧性方向发展，超低碳高强度高韧性的低合金高强钢焊条在相当长的一段时间内，仍将是研究的重点。表 8-1 和表 8-2 列出了沙福 (SAF) 公司及奥利康 (Oerlikon) 公司的高韧性焊条，从中可以看出一些发展动向。一方面是不同的强度等级高强钢焊条的系列化，另一方面是为了

表 8-1 沙福公司高韧性焊条典型性能

牌号	AWS 型号	熔敷金属化学成分/%								熔敷金属力学性能				特性和用途
		C	Mn	Si	Ni	S	P	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} J			
SAFER PRESTIGE	E7016-1	0.06	1.1	0.6		0.010	0.015	570	470	30	150(-30℃) 120(-50℃)	低温韧性好,交流引弧电压低,HD \leq 5,用于要求熔深及低温韧性的焊道,如海洋工程、管道		
SAFDRY 430	E7016-1	0.03	0.8	0.4	0.6	0.010	0.009	470	390	30	140(-40℃) 100(-50℃)	低吸潮药皮,低温韧性好,HD $<$ 5,低氢低强度与低Mn相配合,用于打底焊道,也可焊碳当量高的钢		
SAFER N88	E8016-G	0.07	1.5	0.4	0.7	0.010	0.018	640	560	27	90(-60℃)	低吸潮高韧性焊条,HD分别为3.0/3.8/4.2		
SAFER MF48	E7018	0.05	0.9	0.5		0.010	0.016	510	430	31	140(-30℃) 110(-40℃)	低吸潮药皮,抗热裂性好,HD $<$ 5(3.0/4.5/5.2)		
SAFER NF510	E7018	0.06	1.1	0.5		0.010	0.018	550	470	29	140(-30℃) 90(-50℃)	焊条端涂石墨,引弧性好,低温韧性(-50℃)及抗裂性优良,低吸潮药皮,HD $<$ 5		
SAFER NF58	E7018-1	0.07	1.3	0.4		0.008	0.015	590	510	29	160(-40℃) 90(-50℃)	低温韧性好,用于大线能量根焊(30 kJ/cm),HD $<$ 5(2.8/3.8/4.8),用于寒冷地带海洋工程		
SAFER NF59	E8018-G	0.06	1.5	0.35	0.7	0.008	0.015	630	570	28	150(-40℃) 120(-60℃)	熔敷率150%,低温韧性好,HD $<$ 5,用于重型结构、船舶工程等		
SAFER NF59A	E7018-G	0.06	1.5	0.35	0.7	0.008	0.015	555	460	30	150(-40℃) 120(-60℃)	熔敷率210%,易引弧,HD $<$ 6,采用“接触”施焊工艺,单焊道且宽又长		
SAFER NF52	E7028	0.06	1.1	0.4		0.010	0.015	535	440	30	150(-30℃) 100(-40℃)	熔敷率150%,低温韧性好,HD $<$ 5,用于重型结构、船舶工程等		
SAFER NF53	E7028	0.07	1.2	0.4		0.012	0.018	530	430	29	90(-30℃) 80(-40℃)	熔敷率210%,易引弧,HD $<$ 6,采用“接触”施焊工艺,单焊道且宽又长		
SAFER NF54	E7028-G	0.05	1.10	0.45	0.9	0.010	0.015	580	490	27	120(-40℃) 70(-60℃)	熔敷率150%,低温韧性好,属通用性高效焊条,用于多道焊工艺,重型结构及船舶工程等		
SAFER MS1D	E7048	0.08	1.2	0.6		0.010	0.015	590	520	27	90(-30℃) 60(-40℃)	高强度管线用立向下碱性焊条		

注: 1. HD为扩散氢 (mL/100g) 含量, $\times/\times/\times/\times/\times/\times/\times/\times$ 分别表示开包后/开包4h/开包8h HD量, 存放环境温度 27℃, 相对湿度 80%, 风速 $<$ 0.5 m/s, 按 ISO3690 标准方法测定。

2. 除 MS1D 外, 其他各牌号焊条均可提供真空包装, 牌号为 SAFDRY \times/\times 。

表 8-2 奥利康公司高韧性焊条系列典型性能

牌 号	AWS 型号	熔敷金属化学成分 /%										熔敷金属力学性能				用途及特性
		C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	其他	状态	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV}/J			
													20 °C	-60 °C		
TENACITO [®]	E7018-1-H4	0.06	1.5	0.3									180	70	非常低的扩散氢含量和抗时效性, 间隙折接性能良好, 取得铁路接头焊接认证和通过海洋结构应用测试	
TENAX 50	E7016-1-H8	0.06	1.5	0.3									200	100	即使在交流焊接, 也有很好的焊接操作性, 特别推荐用于根部打底焊接和宽间隙焊接	
TENACITO 38R [®]	E7018-G-H4	0.06	1.2	0.3			S, P ≤0.015	AW SR	530~ 680	>420	>20		190	70	焊缝金属可得到特别高的金属纯度和非常低的扩散氢含量, 通过海洋结构物应用测试	
TENACITO 65 [®]	E9018-G-H4	0.05	1.5	0.3		0.35	1.2	AW SR	630~ 720	>560 >550	>20		160 150	70 55	焊缝金属可得到特别高的金属纯度和非常低的扩散氢含量, 射线探伤质量稳定, 可用于压力容器, 电站设备和管件等焊接	
TENACITO 65R [®]	E9018-G-H4	0.05	1.4	0.3		0.4	0.95	AW SR	600~ 720	>520 >500	>20		170 160	60 50	低温韧性和抗裂性好, 焊缝金属可得到特别高的金属纯度和非常低的扩散氢含量, 适用于特殊容器及核结构件焊接	
TENACITO 70 [®]	E8018-G-H4	0.06	1.6	0.5			0.9	AW	590~ 690	>510	>23		200	60	飞溅少, 焊缝表面好, 好的低温韧性, 适合抗裂要求高的细晶粒结构钢焊接	
TENACITO 70B [®]	E8018-Cl-H4	0.05	1.1	0.3			S, P < 0.012 Cu < 0.09	AW SR	550~ 700	>480 >420	>22 >20		170 170	100 80	脱渣性能好, 可适用于低温钢的根焊和全位置焊接	
TENACITO 75 [®]	E10018-G-H4												120	55	抗裂性能好, 适用于屈服强度 690 MPa 的高强度钢的焊接	
TENACITO 75M	E9018-G	0.06	1.4	0.35		0.4	2	N	650~ 750	>450	>20		100	-20 °C /65	韧性和抗裂性好, 扩散氢含量低, 用于焊后需要正火加回火热处理的特殊结构钢	

牌号	AWS 型号	熔敷金属化学成分/%							熔敷金属力学性能					用途及特性
		C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv}/J		
												20℃	-60℃	
TENACITO 80 ^①	E11018-G-H4	0.06	1.8	0.5	0.35	0.4	2.2		800~ 900	>700	>16	120	60	焊接线能量小,多用于屈服强度 690 MPa 高强度,并 需要焊后消除应力热处理的结构钢
TENACITO 100 ^①	E12018-G-H4	0.06	1.6	0.5	0.7	0.5	2.4		980~ 1080	>890	>14	70	-40℃ /60	适合于屈服强度 890MPa 以上高强度钢的焊接,扩散 氢含量低,抗裂纹性能优良

① $\phi 3.2$ mm 以下直径焊条为双层涂料。

注: 1. 上述焊条均可用于焊接正火及正火+回火的细晶粒钢及特殊结构钢。

2. AW—焊态; SR—消除应力热处理; N—930℃ \times 0.5 h 正火。

表 8-3 耐海水腐蚀钢、耐硫酸露点腐蚀用钢及耐火钢焊条典型性能

类别	焊条牌号	JIS 型号	熔敷金属化学成分/%										熔敷金属力学性能					用途及特性
			C	Si	Mn	P	S	Cu	其他	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	A_{kv} (0℃)/J	σ_t (600℃) /MPa				
耐海水 腐蚀钢	LB0-52	D5016	0.04	0.54	0.63	0.010	0.004	0.38		Cr 0.80 Ni 0.26 Mo 0.05	500	580	27	210	—	低氢型药皮,全位置焊,与钢材有相同的耐海水 腐蚀性,与 LB-52 同样的工艺性能、力学性能 良好		
			0.08	0.14	0.50	0.014	0.008	0.30		Cr 0.34 Ni 0.33 Sb 0.12	460	520	27	100	—	钛铁矿型全位置焊条,与含锡的耐硫酸露点 腐蚀用钢有相同的耐腐蚀性,工艺性能良好		
			0.06	0.50	0.57	0.009	0.005	0.30	Cr 1.25	550	640	25	160	—	低氢型全位置焊条,与钢材有同样的耐腐蚀性, 在海水和大气中也有优良的耐腐蚀性,工艺性能 良好			
耐硫酸 露点腐蚀 用钢	BA-47	D5001													400 MPa 级耐火钢用低氢型焊条,可全位置 焊,工艺性能优良			
	LBA-52	D5016													400—520 MPa 级耐火钢用低氢型焊条,可 全位置焊,抗裂性及工艺性能优良			
耐火钢	LB-400FR	D4316	0.08	0.61	0.89	0.011	0.005			480	560	30	210	210				
	LB-490FR	D5016	0.07	0.63	1.13	0.012	0.004			550	650	29	200	300				

提高焊接效率，推出了高熔敷率的高韧性焊条，而低的扩散氢含量则是其共同的特点。

在低合金高强钢品种方面，除了对强度和韧性的共同要求外，特定的低合金高强钢还必须满足特定的性能要求，如焊接性、耐蚀性、成形性及耐磨性等，从而形成如耐候钢、耐海水腐蚀钢、耐硫酸露点腐蚀性钢等各种低合金高强钢系列。近年来，在低合金建筑结构钢中，从抗震考虑开发出了一类低屈强比高强度钢，为减震需要，尚需屈服点为 250 MPa 和 100 MPa 两级低屈服点和超低屈服点钢与上述低屈强比钢相配套。为高层建筑防火需要，又开发成功一类耐火型高强度钢。这一切都需要相应的焊接材料与之配套。除了耐候钢焊条有相应的标准（如 JIS Z3214—1999）外，其他类型钢种的配套焊条大都尚处于单件配套或开发推广阶段。现以日本神钢（KOBELCO）的耐海水腐蚀钢、耐硫酸露点腐蚀钢及耐火钢焊条性能作一简介（见表 8-3）。

（二）国内外铬钼耐热钢焊条的最新进展

1. 合金元素过渡方式的变化

通常，铬钼耐热钢焊条都采用药皮过渡方式来实现焊缝金属的合金化。这种方式的合金过渡机理比较复杂，当药皮熔化时，合金元素的过渡是在熔化金属与液态熔渣界面上进行的，合金元素的数量、颗粒度、金属、熔渣的成分和性质，决定了它的过渡方向和数量，而且其中的部分合金来不及完全熔化，可能进入熔渣，一方面造成所谓的合金过渡损失，另一方面也容易造成焊缝脱渣困难。此外，这种过渡方式容易造成焊缝金属中合金成分的微观不均衡，从而影响其力学性能的统一、可靠。当然，这种过渡方式的最大优点是制造成本低廉，焊缝成分调整灵活方便。近年来，国外陆续开发了采用钢芯过渡合金元素的耐热钢焊条，尽管其制造成本较高，但它可以保证焊缝成分的统一、可靠，减少合金元素的过渡损失，同时还能改善焊条的焊接工艺性能。例如，日本神钢的 AWS E8016-B2 焊条，就分为合金元素主要从焊芯过渡的 CMA-96、主要从药皮过渡的 CMB-96，以及合金元素主要从焊芯过渡的低强度、高韧性 CMA-96MB 焊条。其性能见表 8-4。

表 8-4 不同过渡方式的熔敷金属性能

焊条牌号	熔敷金属化学成分/%							熔敷金属力学性能					热处理
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	试验温度/℃	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	A_{KV} /J	
CMA-96	0.06	0.38	0.72	0.008	0.004	1.31	0.54	常温	570	650	26	210	690℃ ×1h
								450	460	520	21	—	
CMB-96	0.07	0.46	0.77	0.011	0.004	1.35	0.50	常温	560	650	26	190	690℃ ×1h
								450	470	530	24	—	
CMA-96MB	0.06	0.51	0.74	0.007	0.003	1.30	0.54	常温	490	590	30	200 ^①	690℃ ×1h
								450	360	450	24	170 ^②	

① -20℃ 热处理后。

② -20℃ 热处理 + 步冷试验脆化热处理。

2. 降低焊缝金属中含碳量水平

以降低焊缝金属强度，提高其韧性，开发了低碳耐热钢焊条，如国产 R317，日本神钢的 CMB-95、CMB-105，美国合伯特（HOBART）的 HOBART 8018 B2L、9018B3L，英国曼彻特（METRODE）的 CHROMET 1L、CHROMET 2L 等焊条。这类焊条可降低预热温度，甚至有时可不预热，适用于易开裂部位及预热、后热不便进行之处。国外低碳耐热钢焊

条性能见表 8-5。

表 8-5 国外低碳耐热钢焊条性能

钢种类型	焊条牌号	AWS 型号	熔敷金属化学成分/%					熔敷金属力学性能			
			C	Si	Mn	Cr	Mo	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	A_{KV} /J
1.25 Cr-0.5 Mo	CMB-95	E7015-B2L	0.03	0.87	0.71	1.20	0.49	470	580	29	78(0℃)
	CHROMET 1L	E7015-B2L	0.04	0.3	0.8	1.25	0.55	500	600	23	180(20℃) 120(-10℃)
	HOBART 8018B2L	E8018-B2L	0.04	0.54	0.65	1.12	0.52	574	673	24	62(-20℃) 41(-40℃)
2.25 Cr-1 Mo	CMB-105	E8015-B3L	0.03	0.85	0.87	2.14	0.95	550	650	25	79(0℃)
	CHROMET 2L	E8015-B3L	0.04	0.3	0.8	2.25	1.05	570	650	20	160(20℃) 90(-10℃)
	HOBART 9018B3L	E9018-B3L	0.03	0.61	0.61	2.12	0.99	617	725	22	34(-20℃)

注：试样热处理均为 690℃ × 1 h。

3. 新的抗氢钢种配套用焊条

近30年来，加氢技术发展迅速，加氢反应器由内部衬非金属隔热层的冷壁结构发展成为壳体内壁堆焊不锈钢层的热壁结构即热壁加氢反应器。热壁反应器具有有效体积利用率高、施工周期短、生产维护方便、器壁不易过热及安全可靠等优点，因此为世界各国普遍采用。自20世纪60年代以来，2.25 Cr-1 Mo 钢被广泛用于加氢设备上，是热壁加氢反应器主选材料。但随着加氢装置规模不断扩大，反应器尺寸也越来越大，且对设备的设计条件更加苛刻。此外，从抗氢性能和抗蠕变性能考虑，2.25 Cr-1 Mo 最高温度极限为454℃，满足不了某些油品深加工和煤油加氢液化的要求，因此，近十几年来，国际上相继开发了改进型的 Cr-Mo 类抗氢新钢种 2.25 Cr-1 Mo-0.2 V、3 Cr-1 Mo-0.25 V 等。由于钢中含有非常稳定的钒碳化物，使 H 和 C 不易反应，所以有很好的抗氢腐蚀和氢脆能力。同时，V 对设备停工过程中氢向堆焊交界面的扩散有阻隔作用，因此使堆焊层抗氢剥离的性能大为提高。

目前，随着加氢反应器设计条件不断提高，焊条的质量水平也在不断发展，主要表现如下。

(1) 严格控制焊条中的 O、N、S、P 的含量，使焊缝的韧性大幅度提高。现在焊缝 -30℃ 的 A_{KV} 已从原来的 70 J 提高到 150 J 左右。

(2) 影响回火脆性的微量元素控制得更低，X 系数从 20 世纪 80 年代的 25×10^{-6} 已降到现在的 15×10^{-6} 。

(3) 焊缝金属对制造过程中热处理的适应性提高，其抗回火脆性试验评定指标也由原来的 $VT_{r54} + 1.5\Delta VT_{r54} \leq 38^\circ\text{C}$ ，提高到现在的 $VT_{r54} + 2.5\Delta VT_{r54} \leq 10^\circ\text{C}$ 。

用于焊接 2.25 Cr-1 Mo 钢具有良好抗回火脆性的焊条，国内开发了 R407H 焊条，国外有日本神钢的 CM-106N，法国液空集团奥利康 (Oerlikon) 公司的 CROMOCORD 2 STC 及 AL CROMO E225 焊条，其性能见表 8-6。近年来日本神钢分别开发了适于 2.25 Cr-1 Mo-0.25 V 和 3 Cr-1 Mo-0.25 V 等钢种的焊条 CMA-106H 和 CM-3H，其性能见表 8-7。

表 8-6 2 STC 和 E225 焊条性能

牌 号	熔敷金属化学成分/%									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	As	Sn	Sb
2 STC	0.09	0.3	0.5	<0.010	<0.020	2.4	1	<0.040	<0.010	<0.003
E 225	<0.12	0.1~0.4	0.5~0.8	<0.010	<0.010	2.1~2.5	0.9~1.2	<0.010	<0.005	<0.005
牌 号	熔敷金属力学性能						A _{kv} /J			
	热处理	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%	20 ℃	-29 ℃				
2 STC	T(1)	>400	550~650	>20	150	110				
	STC	>400	550~650	>20	150	70				
E 225	T(2)	>400	550~650	>20	170	100				
	STC	>400	550~650	>20	150	80				

注: T(1) = 650 ℃ × 0.5 h/空冷 + 690 ℃ × 17 h/空冷, 回火处理;

T(2) = 690 ℃ × 8 h 炉冷, 回火处理;

STC = T + 步冷试验。

表 8-7 CMA106H 和 CM-3H 焊条性能

牌 号	熔敷金属化学成分/%										熔敷金属力学性能				
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Nb	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	A _{kv} /J	热处理	
CMA-106H	0.08	0.31	1.18	0.004	0.001	2.42	1.01	0.29	0.017	612	713	23	(-18 ℃) 147	705 ℃ × 7 h	
CM-3H	0.07	0.35	0.55	0.004	0.002	3.06	1.00	0.25	0.024	640	750	18	(-18 ℃) 130	695 ℃ × 7 h	

4. P91/T91 钢焊条的开发与应用

P91/T91 钢是一种改进的 9 Cr-1 Mo 钢, 它是在 9 Cr-1 Mo 钢的基础上通过添加 V、Nb、N 等合金元素而形成的马氏体钢。P91/T91 钢正火并经 730~760 ℃ 回火热处理后, 金相组织呈典型的马氏体骨架结构, 导致 M₂₃C₆ 铬碳化合物沉淀在马氏体骨架的边缘, 并形成 MX 形的 V/Nb 碳氮化物, 阻碍了位错的攀移, 强化了基体, 提高了持久强度, 保障了钢的性能。由于 P/T91 钢具有良好的蠕变性能, 热强性、抗氧化性较好, 同时具有低的热膨胀系数和好的导热性, 是一种物理性能较好的管道用热强钢, 适用于工作温度为 500~630 ℃ 的过热器、再热器、蒸汽管及联箱等。表 8-8 列举了不同技术标准有关 P/T91 钢及焊条熔敷金属化学成分规定, 表 8-9 则列出了相对应的熔敷金属力学性能要求, 表 8-10 和表 8-11 列出了目前常用的国产及进口 P/T91 钢用焊条的典型性能。

表 8-8 P/T91 钢及焊条熔敷金属化学成分

类别	标准	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	Al	V	N
母材	P/T91 钢	0.08~0.12	0.30~0.60	0.20~0.50	0.010	0.020	8.00~9.50	0.40	0.85~1.05	0.06~0.10	—	0.04	0.18~0.25	0.03~0.07
	BS-EN1599-97 ECrMo91B	0.06~0.12	0.40~1.50	0.60	0.025	0.025	8.00~10.5	0.40~1.00	0.80~1.20	0.03~0.10	—	—	0.15~0.30	0.02~0.07
焊条	GEC-阿尔斯通 30/658	0.08~0.12	0.5~① 1.2	0.50	0.012	0.020	8.0~9.5	0.80	0.85~1.10	0.04~0.08	—	—	0.18~0.25	0.03~0.07
	AWS A5.5-96 E9015-B9	0.08~0.13	1.25	0.30	0.01	0.01	8.00~10.5	1.0	0.85~1.20	0.02~0.10	0.25	0.04	0.15~0.30	0.02~0.07

① Mn + Ni = 0.50% ~ 1.50%。

注: 表中的单个数值为最大值。

表 8-9 各种标准对 P/T91 钢及焊条熔敷金属力学性能要求

类别	标准	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	A_{kv} (20℃)/J 平均值/最低值	预热和层 间温度/℃	焊后热处 理参数
母材	P/T91	587~780	415	20	如有规定, 则为>41	—	730~780℃
焊条	BS-EN1599-97 ECrMo91B	585	415	17	47/38	200~300	750~770℃ /2~3 h
	GEC-阿尔斯通 30/658	对力学性能没有专门规定,但希望高于母材金属性能					
	AWS A5.5-96 E9015-B9	620	530	17	无规定,可由供 需双方商定	232~288	730~760℃ /1 h

注: 1. 表中单个数值为最小值。

2. A_{kv} 中平均值为三个试样的最低平均值,只允许一个试样低于最低平均值,且高于最低值要求。

表 8-10 国内外 P/T91 用焊条的典型化学成分

生产厂	牌号	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	V	Nb	N	Al	Ni
中国	kJ91	0.089	1.20	0.01	0.006	0.25	9.50	1.05	0.25	0.075	0.05		0.90
	PP R717	0.12	0.85	0.035	0.030	0.50	9.50	1.10	0.40	0.08		0.40	1.00
(日) 神钢	CM-96B9	0.11	1.17	0.005	0.001	0.20	9.21	0.99	0.23	0.04			0.86
	CM-9cb	0.06	1.51	0.006	0.003	0.31	9.11	1.06	0.18	0.03			0.94
(法) 沙福	SAFER CDV95sc	0.07	1.2	0.013	0.008	0.35	8.9	1.0	0.2				0.65
(瑞士) 奥利康	CROMOCORD 91	0.1	0.7	—	—	0.3	9	1	0.2	0.05	0.04		0.4
(英) 曼彻特	Chromet 9MV-N	0.1	1	0.011	0.008	0.3	9	1	0.2	0.05	0.05	Sn 0.003	0.7

表 8-11 国外 P/T91 用焊条熔敷金属力学性能

牌 号	AWS 型号	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	A_{kv} /J		焊后热处理	备 注
					0℃	-20℃		
CM-96B9	E9016-B9	754	850	20	30		740℃×1 h	
CM-9cb	E9016-G	600	750	25	81		750℃×5 h	600℃×1000 h 蠕变强度 140 MPa
CDV95sc	E9018-B9	480	660	22	80	65	755℃×1 h	
CROMOCORD 91	E9018-B9	550	680~850	17	75 (+20℃)		760℃×2 h 炉冷	
Chromet 9MV-N	E9015-B9	620~780	750~890	18	>47 (+20℃)		760℃×2~3 h	高温性能 550℃ 600℃ 650℃: σ_b >450 >375 >285 $\sigma_{0.2}$ >360 >255 >175 δ >15 >17 >21

(三) 不锈钢焊条的最新进展

随着石油化工、医疗器械、食品机械及原子能工业等的快速发展,不锈钢无论是产量还是品种,均有了较大的增长。1995年以后,西方发达国家的不锈钢生产有了超常的发展,不锈钢产量已接近粗钢产量的3%(我国仅0.3%)。制造成本比1980年降低了50%以上。美国以S 31803和329为代表的奥氏体/铁素体双相不锈钢从1987年后形成规模生产,这类

低镍、高性能不锈钢已被确认有可能逐步取代 316 等不锈钢，成为在含氯、H₂S 等介质环境中使用的更佳材料。同时还研发了多种配套的焊条等焊接材料，值得引起我们的关注。

1. 双相不锈钢焊条

双相不锈钢是指金相组织由约 50% 铁素体和 50% 奥氏体组成平衡状态的一类不锈钢。由于具有 $\alpha + \gamma$ 双相组织结构，双相不锈钢兼有奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢的特点。与铁素体不锈钢相比， $\alpha + \gamma$ 双相不锈钢的韧性高，脆性转变温度低，耐晶间腐蚀性能和焊接性能均显著提高；同时又保留了铁素体不锈钢的一些特点，如 475℃ 脆性、导热系数高、线胀系数小、具有超塑性、有磁性等。与奥氏体钢相比， $\alpha + \gamma$ 双相不锈钢的强度高，特别是屈服强度显著提高，达到 400~500 MPa（是 304、316 不锈钢的屈服强度 1 倍多），且耐晶间腐蚀、耐应力腐蚀及耐腐蚀疲劳等性能有明显的改善。双相不锈钢是属于性能/价格比优良的不锈钢。

这类钢的特征是：平均含 Cr 量为 22%~25%；平均含 Ni 量为 5%~7%，低于 304、316 奥氏体不锈钢水平；都添加一定量的 Mo 及少量 N（奥氏体稳定剂）；有些钢种还添加少量的 Cu、W 等。

为了快速、简易地评价双相不锈钢在氯化物环境中抵抗孔蚀的能力，建立了孔蚀抗力当量值（PRE）或称孔蚀指数的数学关系式。

$$PRE(PREN) = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16 \times \%N$$

一般 PRE 可达 25~43。PRE 越高，钢的抗孔

蚀性能越好，孔蚀产生的临界温度也变高。当 PRE 超过 40 时，通常称为超级双相不锈钢，这时，即使在温度 35℃ 时，也没有孔蚀发生。焊缝金属腐蚀减量和孔蚀指数之间的关系如图 8-1 所示。铁素体和镍含量对双相不锈钢焊缝金属腐蚀减量的影响如图 8-2 所示。铁素体含量对双相不锈钢

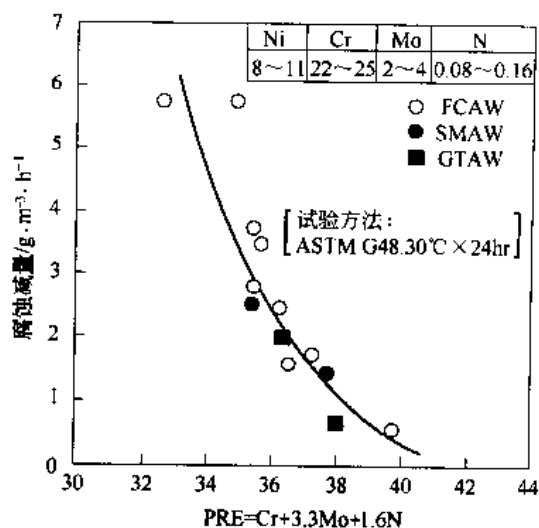


图 8-1 焊缝金属腐蚀减量和孔蚀指数之间的关系

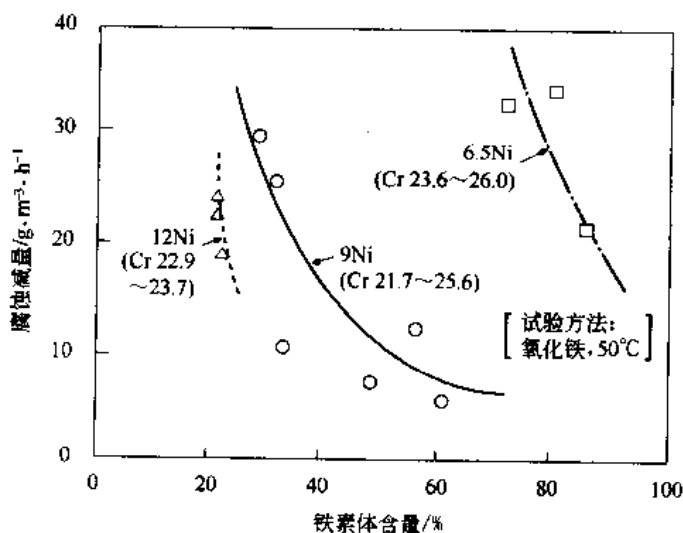


图 8-2 铁素体和镍含量对双相不锈钢焊缝金属腐蚀减量的影响

焊缝金属冲击韧性的影响如图 8-3 所示。国外双相不锈钢的主要化学成分见表 8-12。

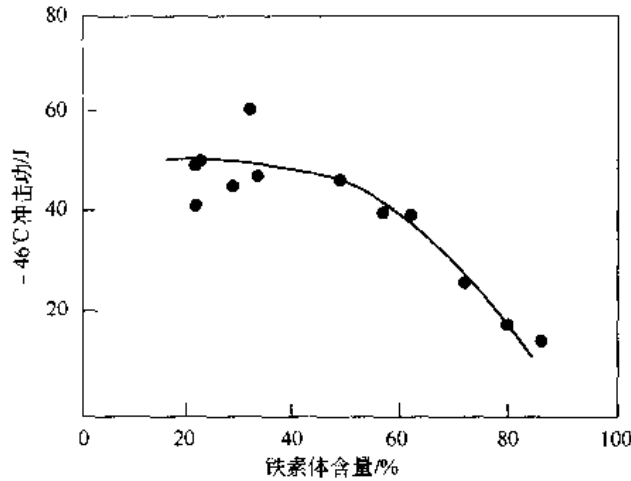


图 8-3 铁素体含量对双相不锈钢
焊缝金属冲击韧性的影响

表 8-12 国外双相不锈钢的主要成分

类别	UNS 代号	商业牌号	C	Cr	Ni	Mo	N	Cu	W	PRE 指数 ^①
低合金型	S 32304	SAF 2304	0.03	23	4	0.1	0.1	0.2		24
中合金型	S 31803	SAF 2205	0.03	22	5	2.8	0.15			32/23
	S 31500	3RE60	0.03	18.5	5	2.7	0.1			29
	S 32900	10RE51	0.08	25	4.5	1.5				30
	S 32950	Carp 7 Mo [*]	0.03	27	4.8	1.75	0.25			35
高合金型	S 32550	Ferralium 255	0.05	25	6	3	0.18	1.8		37
	S 31250	DP3	0.03	25	7	3	0.16	0.5	0.3	37
超级双相不锈钢	S 32760	Zeron 100	0.03	25	7	3.5	0.24	0.7	0.7	40
	S 32750	SAF 2507	0.03	25	7	3.8	0.28			41
	S 32550	UR 52 [*]	0.03	25	7	3.5	0.25	1.5		41
	—	JTS25.7NW	0.03	27	7.5	3.8	0.27	0.7	0.7	44

① 为孔蚀抗力当量值。

(1) 双相不锈钢焊条的选用 在双相不锈钢研究初期，大都采用奥氏体钢焊材，如 E309MoL、316L 等，这种奥氏体组织焊缝能基本满足一些双相不锈钢的性能要求，但由于焊缝金属与母材在成分和组织上的差异，在许多腐蚀介质中，焊缝金属不能满足耐蚀要求，也就不能完全发挥双相不锈钢的优势，而且焊缝金属强度也比母材低。

现在，国内外都已研究出各类双相不锈钢相应的焊接材料，其特点是焊缝组织为奥氏体占优的双相组织（一般奥氏体含量为 60%~70%），主要耐蚀元素（Cr、Mo 等）含量与母材相当，从而保证与母材相当的耐蚀性。为了保证焊缝中奥氏体的含量，通常都提高 Ni 和 N 的含量，亦即提高 2%~4% 的镍当量。在双相不锈钢母材中，一般都有一定的含 N 量，但焊条中 N 量不宜太高，否则会产生气孔。这样 Ni 含量较高就成了焊条与母材的一个主要区别。例如，2205 双相不锈钢含 Ni 5% 左右，而选用的 E2209 焊条，其熔敷金属中 Ni 含量则为 9% 左右。英国曼彻特 (Metrode) 公司双相不锈钢焊条的化学成分及力学性能见表 8-13。钢铁研究总院研究的和瑞典山特维克 (Sandvik) 公司双相不锈钢焊条成分分别见表 8-14 和表 8-15。

表 8-13 英国曼彻特公司双相不锈钢焊条化学成分及力学性能

牌号	型号 EN (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							PREN 指数 ^①	力学性能			
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他		σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{KV} /J
SUPERMET 2205	— 相当 (E2209-16)	铁素体药皮。在铁素体基体上大约有 50% 奥氏体组织,强度高,耐腐蚀性能好及抗应力腐蚀性能好。用于焊接在焊态下工作的锻造或铸造的如 UNS S31803、2205 及 2304 无 Mo 型等双相不锈钢,固溶处理后可获得优异性能	0.02	1.0	0.7	25	9.5	3.4	N 0.17	38	850		30 (δ_4)	60~73(+20℃) 45~55(-20℃) 40~52(-30℃) 30~40(-50℃)
ULTRAMET 2205	E 22 9 3NLR (E2209-16)	铁素体药皮。碳含量低,工艺性能优良。在铁素体基体上大约有 50% 奥氏体组织,强度高,耐腐蚀性能及抗应力腐蚀性能好。用于焊接在焊态下工作的锻造或铸造的如 UNS S 31803、2205 及 2304 无 Mo 型等标准双相不锈钢	0.02	1.0	0.7	22.5	9	3	N 0.17	36	850	675	25	>54(+20℃) 43~48(-20℃) 32~41(-50℃)
2205XKS	E 22 9 3NLB (E2209-15)	碱性药皮。在铁素体基体上大约有 50% 奥氏体组织,强度高,耐腐蚀及抗应力腐蚀性能好。用于焊接在焊态下工作的锻造或铸造的标准双相不锈钢。推荐用于对低温韧性有最高要求的固定位管件的焊接	0.03	1.0	0.6	23	9	3.2	N 0.17	36	750~870	630~700	26	>85(+20℃) >60(-50℃) >30(-75℃)
ZERON 100XKS	E 25 9 4NLB (-)	碱性耐吸潮药皮。主要为横焊和仰焊设计。具有奥氏体和铁素体双相组织,强度高,抗海水腐蚀性良好。用于焊接在焊态下工作的 Zeron 100 等双相不锈钢	0.03	0.9	0.5	25	9.3	3.6	W 0.7 Cu 0.7 N 0.23	41	800~950	650~750	22~25	>55(-20℃) >40(-50℃)
2507XKS	E 25 9 4NLB (-)	碱性药皮。在铁素体基体上大约有 50% 的奥氏体组织,强度高,韧性好,耐腐蚀及抗应力腐蚀性能好。用于焊接在焊态下工作的锻造或铸造的超低碳双相不锈钢,特别适用于焊接位置 ASME 5C/6C 位置	0.03	1.0	0.5	25	9.5	3.8	N 0.25	42	900	700	25	>80(+20℃) >47(-50℃) >27(-75℃)

牌号	型号 EN (AWS)	特征和用途	熔敷金属化学成分/%							PREN 指数 ^①	力学性能			
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他		σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	A_{kv} /J
ULTRAMET 2507	E 25 9 4NLR (-)	钛型药皮。用于焊接熔态条件下工作的超 级双相不锈钢 UNS S32750、SAF2507 等。焊 缝金属具有 40%~60% 铁素体,这取决于 热输入及冷却条件	0.03	1.0	0.8	25	9.5	4		42	950	750	22	35(-20℃) >27(-50℃)
SUPERMET 2506Cu	E 25 9 3CuNLR (E2553-16)	钛型药皮。Cu 的加入增强了在硫酸中的抗 腐蚀性,提高了强度和耐磨性。经固溶处理 后,熔敷金属可获得与母材匹配的强度和耐蚀 性,在焊态下也可作用。用于焊接含 2% Cu 的 超级双相不锈钢 UNS S32550 等	0.03	1.0	0.4	25.5	8	3.5	Cu 1.7 N 0.22	41	925	750	19	40(+20℃) 25(-30℃)
ULTRAMET B2553	F 25 9 3CuNLR (E2553-15)	碱性药皮。具有比钛型药皮更佳的低 温韧性。用于焊接熔态条件下工作的超级双 相不锈钢 UNS S32750、SAF2507 等。特别适 合于要求立、仰焊位置的固定管件的焊接	0.03	1.0	0.4	25.5	8	3.5	Cu 1.7 N 0.22	41	970	750	24	55(-20℃) 35(-50℃)
SUPERMET 2506	- (-)	钛型药皮的双相不锈钢焊条。直流反接,可 全位置焊接。在 1120℃ 固溶处理后淬火,可得 到 30%~50% 的铁素体双相组织。耐腐蚀性 能好,在酸性环境下应力腐蚀裂纹敏感性低。 强度高,低温韧性好。用于焊接在熔态下工作 的近似成分的合金	0.04	1.2	0.4	24.5	7.5	2.8		36	700~ 800		(δ_4) 30~40	110(-20℃) 60(-50℃)
SUPERMET 2507Cu	- (-)	钛酸型药皮的优质双相不锈钢焊条。交、直 流两用,低 Ni 的熔敷金属可焊后固溶退火,并 在焊态下可得到较高的铁素体。用于焊接优 质双相不锈钢	0.025	1.0	0.7	25	7.5	3.8	W 0.7 Cu 0.7 N 0.25	42	782		(δ_4) 26	

① 为孔蚀抗力当量值(含 N 钢)。

表 8-14 钢铁研究总院研究的双相不锈钢焊条

/%

牌 号	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	W	Cu	N
A022Si	0.030	1.0	1.5	0.005	0.01	21	10	2.7			
E309MoL	0.030	0.5	1.5	0.005	0.01	22.5	13	2.0			
20-10-3	0.02	1.0	1.5	0.01	0.01	20	10	3			
22-9-3	0.03	0.5	1.5	0.01	0.01	22	9	3			0.2
25 9 2	0.025	0.5	0.6	0.01	0.01	25	9	2			0.2
25-11-3	0.03	0.5	1.5	0.01	0.01	25	11.5	3	0.5	0.4	0.2

表 8-15 山特维克 (Sandvik) 双相不锈钢焊条

/%

牌 号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
22.9.3LR	≤0.03	0.8	0.8	≤0.03	≤0.025	22	9	3.0	0.13
25.10.4LR	≤0.03	0.5	0.7	≤0.03	≤0.025	25	9.5	4.0	0.25
22.9.3LB	≤0.04	0.8	0.8	≤0.03	≤0.025	22	9	3.0	0.15
25.10.4LB	≤0.04	0.5	0.7	≤0.03	≤0.025	25	9.5	4.0	0.25

(2) 双相不锈钢的焊接工艺要点 判定双相不锈钢焊接效果的标准是热影响区的性能及焊缝金属中铁素体和奥氏体的比例,这两种因素在实际应用中对接头的性能产生决定性的影响。同样它们也影响耐腐蚀性和力学性能。在热影响区内,双相钢内晶粒粗化和单相铁素体化的趋势主要由其成分决定,但它也会因采取适当的焊接程序而减少。

对于不同的双相不锈钢类别,应选用合适的双相不锈钢焊条,可参照表 8-16。

表 8-16 双相不锈钢焊条的选用

合金类型	母 材	(中国) 钢铁研究总院	(英国) 曼彻特(METRODE)	(瑞典) 山特维克(SANDVIK)	(奥地利) 伯乐(BÖHLER)
Cr 18	00Cr18Ni5Mo3Si 3RE 60 UNS S31500	E309MoL E20-10-3	Supermet 2205 Ultramet 2205 2205XKS	22.9.3 LR 22.9.3 LB	FOX CN 22 / 9N
Cr 22	0Cr21Ni5Ti SAF 2304 UNS S32304	E22-9-3 E309MoL	Supermet 2205 Ultramet 2205 2205XKS	22.9.3 LR 22.9.3 LB	FOX CN 22/9N
	00Cr22Ni5Mo3N SAF 2205 UNS S31803				
Cr 25	00Cr25Ni6Mo5 SAF 2507 UNS S32750		2507XKS Ultramet 2507 ZERON 100XKS	25.10.4 LR 25.10.4 LB	FOS CN 26 / 10N
	00Cr25Ni6Mo3CuN UR 52N Ferralium 255 UNS S32550	E25-5-3	Ultramet B2553 Supermet 2506Cu		FOX DUPLEX Cu 1
	00Cr25Ni7Mo3CuN ZERON 100 UNS S32760	E25-11-3 E25-9-2	Supermet 2507 Supermet 2506Cu ZERON 100XKS		FOX DUPLEX Cu 3

应该注意到, 采用钛钙型焊条时熔敷金属的韧性要低于采用碱性焊条时的结果, 但钛钙型焊条的焊接工艺性能更好些, 飞溅小, 焊缝成形美观。

一般不需要预热, 但若材料厚度大于 20 mm 时, 将其预热到 100~150 °C 还是有益的。若不希望进行焊后热处理, 则最高层间温度应控制在 150 °C 以下, 推荐的温度及线能量见表 8-17。一般希望将焊缝金属的奥氏体量控制在 60%~70% 范围内。

通常不要求进行焊后的固溶处理。若需要进行焊后热处理, 则原则上热处理温度应避开 300~520 °C 和 600~920 °C 两个区间。ASTM 双相不锈钢管材焊后热处理制度见表 8-18。

表 8-17 多层焊时线能量及层间温度

钢 种	推荐的线能量 /kJ·mm ⁻¹	层间温度/°C	钢 种	推荐的线能量 /kJ·mm ⁻¹	层间温度/°C
23%Cr 无 Mo 双相钢	0.5~2.5	150~250	(0~2.5%Cu)	0.2~1.5	100~150
22%Cr 双相钢	0.5~2.5	125~200	25%Cr 超级双相钢		
25%Cr 双相钢	0.25~1.5	100~150			

注: 线能量应以材料厚度为选择依据, 薄板选下限。

表 8-18 ASTM 双相钢管材焊后热处理制度

UNS 代号	加热温度/°C	冷却方式	UNS 代号	加热温度/°C	冷却方式
S 31803	1020~1100	空气或水中 速冷	S 32304	925~1050	空气或水中 速冷
S 31500	980~1040		S 32750	1025~1125	
S 32550	最小 1040		S 32900	925~955	
S 31260	1020~1100	水中速冷	S 32950	990~1025	空冷

对于碳钢或低合金钢与双相钢之间的异种金属焊接, 通常可使用双相不锈钢填充金属, 但在特殊情况下也可考虑使用镍基填充金属。在焊后热处理中, 为了减小由于合金元素成分明显的不平衡而引起碳的扩散危险性, 使用镍基合金焊条是必不可少的, 一般可选用 INCO-WELD A、INCONEL 122 或 INCO-WELD 686 CPT 等铬镍或铬镍钼合金焊条。

2. 新型锅炉用不锈钢焊条的开发

为了进一步提高锅炉用不锈钢管的高温蠕变强度、耐高温腐蚀特性和耐蒸汽氧化性, 日本对现有的 SA213-TP304H 及 TP310H 两种奥氏体不锈钢进行改进, 开发出综合性能良好的超临界、超超临界锅炉用不锈钢管的新材料, 即超级 304H 和 HR3C (TP310HCbN) 两种新型不锈钢, 其化学成分见表 8-19。

表 8-19 两种新型不锈钢的化学成分

牌号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Nb	N
超级 304H	0.07~	≤0.03	≤1.00	≤0.040	≤0.010	7.50~	17.00~	2.50~	0.30~	0.05~
	0.13						19.00	3.50	0.60	0.12
HR3C	0.04~	≤0.75	≤2.00	≤0.030	≤0.030	17.00~	24.00~	—	0.20~	0.15~
	0.10					23.00	26.00		0.60	0.35

超级 304H (01C-18Cr-9Ni-3Cu-Nb) 优越的高温蠕变强度不是靠加入贵重的合金元素 W、Mo, 而是通过廉价的 Cu、Nb、N, 由富 Cu 相的 Cu、Nb、N (C、N) M₂₃C₆ 质点的弥散强化获得。试验表明, 3% Cu、0.45% Nb 及适量 N 的合理匹配使超级 304H 获得了最佳的高强度化和高韧性化。这种由富 Cu 相质点弥散强化的新型奥氏体不锈钢在 650~

700 ℃ 的高温蠕变强度是通常 TP304H 钢的 1.7~1.9 倍，是 TP347H 钢的 1.3~1.5 倍，耐高温腐蚀特性和耐蒸汽氧化特性也均有改善。

HR3C (25Cr-20Ni-Nb-N) 钢与普通 TP310 钢之区别在于添加了适量的 Nb 和 N，使其蠕变强度得到提高。这主要是在钢时效过程中析出了 NbCrN，NbCrN 氮化物非常细小而且特别稳定，即使长时间时效，组织也很稳定，大大提高了蠕变断裂强度。同时增加微量的 N 对抑制 σ 相的形成，改善韧性有效。HR3C 钢高温抗腐蚀性能（抗蒸汽氧化性能）良好，其许用应力比普通的 TP310H 钢有很大提高，几乎提高了一倍，而且焊接性能良好。

奥氏体不锈钢耐热钢性能比较见表 8-20，超级 304H 不锈钢用焊条性能见表 8-21。

表 8-20 奥氏体不锈钢耐热钢性能比较

类别	钢号	化学成分	室温力学性能			许用应力 $[\sigma]$ /MPa		
			σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ /%	600 ℃	650 ℃	700 ℃
304 系列	TP304H	18Cr-10Ni	≥ 520	≥ 205	≥ 30	64	42	27
	Super 304H	18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N	≥ 585	≥ 235	≥ 35	114	80	46
310 系列	TP310H	25Cr-20Ni	≥ 520	≥ 205	≥ 30	80	46	28
	HR3C(P310HCbN)	25Cr-20Ni-Nb-N	≥ 655	≥ 295	≥ 30	123	75	44

注：许用应力参照 ASME 法规。

表 8-21 超级 304H 不锈钢用焊条性能

熔敷金属化学成分/%										力学性能			
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Nb	N	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	Ψ /%
≤ 0.13	≤ 0.90	≤ 3.50	≤ 0.030	≤ 0.030	15.00~18.00	17.00~20.00	2.50~3.50	≤ 0.60	0.05~0.25	630	410	36	55

3. 不锈钢焊条的抗裂性

有些焊条生产企业在调试钛酸性不锈钢焊条配方时发现，添加低熔点氧化物，如氧化铋 (Bi_2O_3) (熔点约 820 ℃)，对改善脱渣性起着非常好的作用，所以，有些企业往往会添加少量的氧化铋，尤其是生产含铌不锈钢焊条如 E347-17 时。

最近，国外在使用含有低熔点氧化物药芯焊丝的 MAG 焊时，当加热到高温引起产生超过某一水准的拉应力时，焊缝金属会出现裂缝。添加和没有添加氧化铋的两类药芯焊丝的不锈钢焊缝的高温抗拉试验结果及蠕变断裂试验结果如图 8-4 和图 8-5 所示，不锈钢焊缝金属的化学组成见表 8-22。

表 8-22 不锈钢焊缝金属的化学组成

焊丝	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Bi	O	N	FN ^①
A	0.057	0.46	1.23	0.023	0.009	9.59	18.77	0.04	0.05	< 0.001	0.072	0.033	4.7
B	0.048	0.50	1.72	0.025	0.007	9.82	19.47	0.08	0.05	0.018	0.074	0.045	5.9

① 铁素体量根据 Delong's 图测定。

试验表明，添加氧化铋的药芯焊丝的试样加热超过 700 ℃ 以上，其塑性和抗蠕变强度都出现大幅度下降。添加氧化铋的焊丝在高温抗拉试验中，当应变超过 6%，试验温度超过 750 ℃ 时出现裂纹，而同样情况下，未添加氧化铋的焊丝则没有裂纹出现。由扫描电子显微

镜 (SEM) 观察获得的断口, 裂纹沿着晶界发生, 可观察到其脆化。虽然裂纹产生的机理还不能直接肯定, 但可以推断存在于焊缝金属晶界上的铋系列低熔点物质对裂纹的产生可能会有一定的影响。

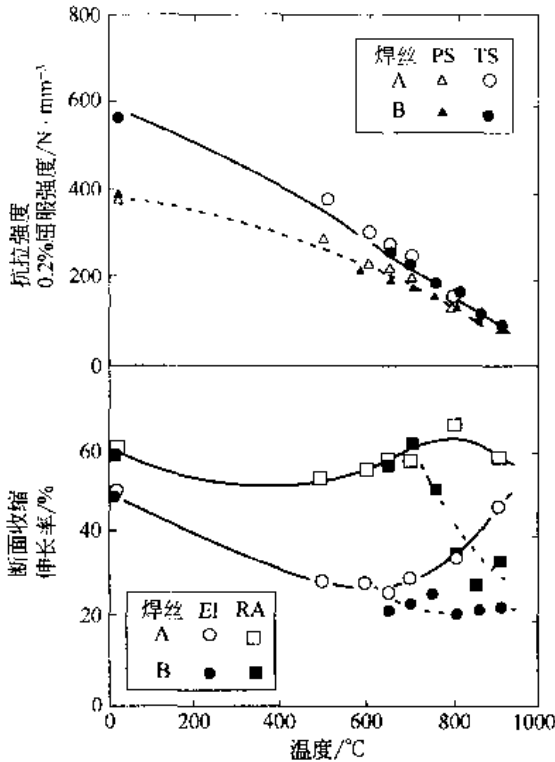


图 8-4 不锈钢焊缝高温抗拉试验结果

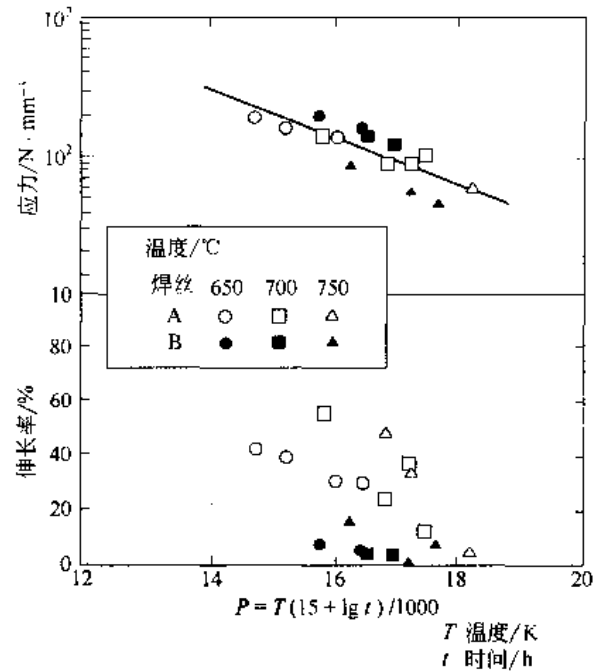


图 8-5 不锈钢焊缝的蠕变断裂试验结果

现在, 对超过大约 700 °C 的高温环境下使用的装置或者要经受温度超过 900 °C 固溶热处理和尺寸稳定热处理的结构或部件, 一般都采用脱渣性略差但很少含有诸如氧化铋之类的低熔点物质的不锈钢药芯焊丝。这一点, 同样值得不锈钢焊条生产企业借鉴。

4. 通用钢种不锈钢焊条的系列化、专用化

对于工业上常用的不锈钢种, 如 0Cr18Ni9 (304) 型、0Cr19Ni12Mo2 (316) 型, 除了考虑焊接工艺的需要, 开发出各种专用焊条, 如瑞典阿维斯塔 (Avesta) 公司焊管专用 308L/MVR-PW 焊条、立向下焊 308L/MVR-VDX 焊条及飞溅特别小, 供食品、医疗器械等使用的日本油脂公司的 EX 系列焊条, 国外还随着冶金工业的发展, 开发出具有各种性能的不锈钢焊条, 以满足各方面工业的需要。例如, 日本油脂公司 (TASETO), 对于常用的 308 型焊条, 除了通用的 308、308L 焊条外, 还开发了提高高温性能的 308HT 焊条; 用于极低温工作的 308LA 焊条; 控制不同含 C 量, 以提高其耐蚀性的 308L₃、308L₂ 焊条。日本油脂公司不锈钢焊条典型性能见表 8-23。日本溶接棒公司除了有上述焊条品种外, 还开发了具有一定含氮量、以提高焊缝强度的 WEL308N2 (18Cr-8Ni-N-Cb)、WEL308LN (18Cr-8Ni-N)、WEL316LN (19Cr-12Ni-2Mo-N)、WEL317LN (19Cr-12Ni-3Mo-N)、WEL315SN (20Cr-12Ni-2Si-1.5Cu-0.15N) 等含 N 不锈钢焊条系列。此外, 国外厂商还致力于开发一些具有特色的不锈钢焊条, 以满足一些特殊需要, 深受用户欢迎。现将国外公司一些具有特色的不锈钢焊条列于表 8-24, 作一简介, 以供借鉴。

表 8-23 日本油脂公司不锈钢焊条典型性能

焊条牌号	AWS 型号	熔敷金属化学成分/%							力学性能				FN	特 性	
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	其他	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	A_{KV} (0℃)/J			
308 型	RNY308	E308-16	0.057	0.46	1.34	9.90	19.98			610		46.4	103	6	普通的 18-8 型不锈钢焊条。 高温强度 $^{\circ}\text{C}/\text{MPa}$ 550/372, 650/308, 725/234, 800/173
	RNY308H	E308H-16	0.05	0.49	1.58	10.14	19.53		584	440	44.2			5.9	控制焊缝含碳量 0.04%~0.06%, 铁素体含量 4%~7%, 改善高温蠕变性能, 用于焊接 304H 高温用不锈钢。 高温强度 $^{\circ}\text{C}/\text{MPa}$ 550/372, 650/271, 725/231, 800/189
	RNY308L		0.030	0.52	1.58	9.92	19.05		571		46.5	103		7.0	超低碳 ($\text{C} \leq 0.040\%$) 不锈钢焊条, 含碳量低, 可降低晶界腐蚀倾向。 高温强度 $^{\circ}\text{C}/\text{MPa}$ 550/336, 650/279, 725/220, 800/200
	RNY308 L ₃	E308L-16	0.025	0.45	1.49	9.90	19.52		562		46.2	96		8.0	极低碳 $\text{C} \leq 0.030\%$, 晶界腐蚀倾向小, 焊接 304L 超低碳不锈钢板及铸件, 焊后不需进行固溶处理
	RNY308 L ₂		0.018	0.44	1.62	9.85	19.46		551		42.8	106		8.8	极低碳 $\text{C} \leq 0.020\%$, 同 RYN308L ₃
316 型	RNY316	E316-16	0.056	0.59	1.59	12.60	19.50	2.30		582		43.7	93	5.2	熔敷金属铁素体量低, 低温冲击韧性优良, 用于焊接在液氢、液氧等极低温环境工作的设备。 最普通的 18-12Mo2 不锈钢焊条, 焊 316 板及铸件。 高温强度 $^{\circ}\text{C}/\text{MPa}$ 550/407, 650/336, 725/271, 800/191
	RNY316L		0.031	0.55	1.58	12.8	19.43	2.38		586		45.2	100	6.3	超低碳 ($\text{C} \leq 0.040\%$) 不锈钢焊条, 含碳量低, 可降低晶界腐蚀, 焊 316L 不锈钢
	RNY316 L ₃	E316L-16	0.024	0.65	1.73	13.33	19.92	2.47		583		43.8	96	7.1	极低碳 $\text{C} \leq 0.030\%$, 焊接质量好的 316L 不锈钢, 焊后不需进行固溶处理
	RNY316 L ₂		0.017	0.63	1.71	12.90	19.67	2.41		581		44.1	101	7.9	极低碳 $\text{C} \leq 0.020\%$, 同 RYN316L ₃
	RNY316LC		0.019	0.53	1.96	11.91	19.76	2.12	N 0.092	(室温)598 高温 (300℃)463 短时 (500℃)419 强度 (600℃)371	444 326 286 260	41.5 33.7 30.8 31.0	120 82(-100℃) 42(-196℃)	5.2	焊缝金属 $\text{C} \leq 0.020\%$, 可防止晶界应力腐蚀, 含 N 约 0.1%, 可提高高温强度, 抗裂性好, 用于焊接原子能工业设备

表 8-24 国外一些具有特色的不锈钢焊条简明特性

厂商	焊条牌号	AWS 型号	熔敷金属化学成分/%							力学性能				特性
			C	Si	Mn	Cr	Ni	其他	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%	A_{1V} /J		
奥利康公司 (瑞士)	INOX 29/9	E312-16	0.1	1.1	1.0	29	10		450	750	20		铁素体含量约 50%，不起氧化皮温度 1100℃，用于难焊金属及对裂纹敏感的母材作堆焊过渡层，也可焊镀锌钢	
	CITOCROMAX N	—	0.12	0.4	6	19	9		400	650	35	100(+20℃) 60(-60℃)	熔敷金属为含少量铁素体的 Cr-Ni-Mn 系，不起皮温度 850℃，抗裂性好，适于难焊金属，对裂纹敏感之母材及堆焊时作过渡层。	
	CITOCROMAX R	—	0.14	1.2	6	18	8		400	650	30	80(+20℃)	“N”为碱性药皮，“R”为钛钙型药皮，“RS”为钛型高效药皮，熔敷率约为 160%	
	CITOCROMAX RX	—	0.1	1	6	18	8		400	650	30	60(+20℃)	用于焊接 Cr 及 CrNi 不锈钢及铸件，耐 1100℃ 高温，抗含氟烟气腐蚀	
曼彻特公司 (英)	INOX 25/4	—	0.1	0.6	0.7	26	5		500	700	17	35(+20℃)	碱性药皮，焊缝不含铁素体，在 -269℃ 有良好的低温韧性，用于焊接无磁及低温深冷工作的奥氏体不锈钢及镍钢	
	BASINOX 20 16L	—	0.025	0.3	6.5	20	16	Mo 3 N 0.15	450	650	35	80(+20℃) 50(-196℃) 40(-269℃)	焊缝不含铁素体，在含 Cl 介质中有良好的耐点蚀及缝隙腐蚀能力，用于焊接要求有较强耐蚀性的不锈钢	
	BASINOX 20 25 5L	E385-15	0.025	0.3	1.6	20	15	Mo 4.5 Cu 1.5	400	580	35	80(+20℃) 60(-196℃)	超低碳含 Mo、Cu 不锈钢，对硫、磷酸及各种无机、有机酸耐蚀性好，用于制盐、海水环境中工作的容器、管道、泵阀等的焊接	
	Ultramet 904L	E385-16	0.025	0.4	2	21	25	Mo 5 Cu 1.8 Nb 0.1 N 0.08	420	620	38	50(-196℃)	用于尿素装置 316L 改良不锈钢及液氮容器等极低温用不锈钢的焊接。组织为 100% 奥氏体，Mn 含量高，杂质极少，故抗裂性优良，且透磁率很低，极低温冲击韧性好	
神钢 (日本)	Ultramet H904L	E385-15	0.025	0.4	2	21	25	Mo 4.8 Cu 1.8 Nb 0.05 N 0.08	440	620	38	50(-196℃)	高温度度及塑性优于普通 316、347 型焊条，适于高温工作的 18Cr-12Ni-2Mo(316)、18Cr-8Ni-Nb(或 Ti)(347 或 321) 不锈钢的焊接	
	NC-316MF	—	0.037	0.33	5.39	18.80	17.13	Mo 2.85	370	520	44	83(-196℃) 70(-257℃)		
	NC-16H	E16-8-2-16	0.06	0.46	1.11	15.32	8.22	Mo 1.73	430	620	39	—		

第九章 国内外电焊条标准

一、国内外电焊条标准对照

电焊条虽然是一种结构简单的产品，但作为工业上广泛应用的一种基础产品，与各种工业，特别是冶金、机械工业的发展及各种产品结构的使用性能有着密切的关系。因此，一些工业发达国家都根据本国的资源及工业发展情况，制定了电焊条国家标准。中国的焊条标准与外国标准的对照见表 9-1。除碳钢焊条、低合金钢焊条及不锈钢焊条国家标准（GB/T 5117—1995、GB/T 5118—1995、GB/T 983—1995）已分别等效采用相应的美国标准（ANSI/AWS A5.1—1991 A5.5—1991 A5.4—1992）外，堆焊焊条标准（GB/T 984—2001）也已参照先进工业国家标准（ГОСТ、JIS、AWS 等）修订发布。

表 9-1 中国的焊条标准与外国标准对照

中国标准		外国标准	
标准号	标准名称	标准号	标准名称
GB/T 5117—1995	碳钢焊条	AWS A5.1—1991 JIS Z3211—1991 EN499—1995 BS 639—1986 DIN 1913-1.2—1984 ГОСТ 9466—1975 ГОСТ 9467—1975(R88) ISO 2560 NF A81-309—1978	碳钢焊条 低碳钢焊条 碳钢及细晶粒钢焊条 低碳钢及中、高强度钢焊条 碳钢及低合金钢焊条 电焊条分类、尺寸及一般技术要求 结构钢及耐热钢焊条 低碳钢及低合金钢焊条 低碳钢及低合金钢焊条
GB/T 5118—1995	低合金钢焊条	AWS A5.5—1996 JIS Z3212—1990 JIS Z3214—1999 JIS Z3223—1993 JIS Z3241—1999 EN 499—1995 EN1599—1997 EN 757—1997 BS 639—1986 BS 2493—1985 DIN 8529T1—1981 DIN 8575—1983 ГОСТ 9466—1975 ГОСТ 9467—1975(R88) ISO 2560 ISO 3580 NF A81-340—1978 NF A81-345	低合金钢焊条 高强度钢焊条 耐热钢焊条 钼及钨耐热钢焊条 低温用钢焊条 碳钢及细晶粒钢焊条 耐热钢焊条 高强度钢焊条 低碳钢及中、高强度钢焊条 钼和钨低合金钢焊条 高强度结构钢焊条 热强钢电弧焊用填充材料 电焊条分类、尺寸及一般技术要求 结构钢及耐热钢焊条 低碳钢及低合金钢焊条 耐热钢焊条 低合金高强度钢焊条 耐热钢焊条

续表

中国标准		外国标准	
标准号	标准名称	标准号	标准名称
GB/T 983—1995	不锈钢焊条	AWS A5.4—1992 JIS Z3221—1989 EN1600—1997 BS 2926—1984 DIN 85561T—1986 ISO 3581 ГОСТ 10052—1975	耐蚀铬钢及铬镍钢焊条 不锈钢焊条 不锈钢及热强钢焊条 铬镍奥氏体钢焊条 耐蚀钢及耐热钢用焊接材料 高合金钢焊条 高合金钢焊条
GB/T 984—2001	堆焊焊条	AWS A5.13—1980 JIS Z3251—1991 ГОСТ 10051—1975 DIN 8555.1.2—1978	堆焊用焊丝及焊条 硬质堆焊焊条 具有特殊性能表面堆焊焊条 堆焊用焊接填充材料
GB/T 3670—1995	铜及铜合金焊条	AWS A5.6—1984 JIS Z3231—1989 DIN 1733T1—1979 ГОСТ 16130—1985	铜及铜合金焊条 铜及铜合金焊条 铜及铜合金焊条填充材料 铜及铜合金焊丝和焊条
GB/T 3669—2001	铝及铝合金焊条	AWS A5.3—1991 DIN 1732B1—1971 ГОСТ 7871—1975	铝及铝合金焊条 铝焊接填充材料 铝及铝合金焊条
GB/T 10044—2002	铸铁焊条及焊丝	AWS A5.15—1990 JIS Z3252—1992 DIN 8573T1—1978 ГОСТ 2671—1980	铸铁用填充丝及焊条 铸铁焊条 铸铁焊接用填充材料 铸铁焊条
GB/T 13814—1992	镍及镍合金焊条	AWS A5.11—1997 JIS Z3224—1999 DIN 1736—1980	镍及镍合金焊条 镍及镍合金焊条 镍及镍合金焊接填充材料

注：AWS—American Welding Society, 美国焊接学会；JIS—Japan Industrial Standards, 日本工业标准；BS—British Standards, 英国国家标准；DIN—Deutsches Institut für Normung, 德意志标准委员会；ГОСТ—前苏联国家标准，现俄罗斯等国仍执行此标准；ISO—International Organization for Standardization, 国际标准化组织；NF—Norme Française, 法国国家标准；EN—Euro-Norm, 欧洲标准。

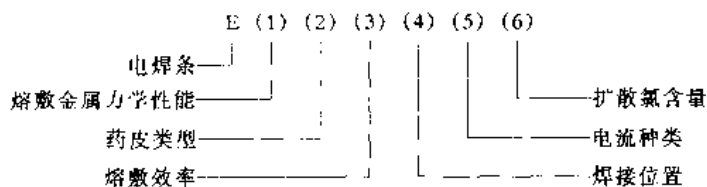
随着全球一体化进程的加快，各国的标准化工作也出现了朝着采用统一标准（如 ISO、EN）发展的趋势。欧盟已明确：凡有欧洲标准（EN）的产品，欧盟各成员国都应将 EN 作为该国的国家标准。例如，低合金耐热钢焊条，欧洲标准为 EN1599，则德国、英国、法国分别将其标准 E1N 8575、BS2493 及 NFA81-345 相应更改为 DIN EN 1599、BS EN 1599、NF EN 1599。

本章着重介绍 ISO、EN、AWS 及某些工业化国家关于各类焊条的型号划分。我国的焊条标准大都等效采用相应的美国 AWS 标准，但因 AWS A5.5—1996《低合金钢焊条》比 A5.5—1991 有了较大的变动，铬钼钢焊条增加了 B6~B9 及相应的低碳系列，如 B2L~B8L，镍钢焊条增加了 E××××-C4 C5L 及管道用纤维素焊条 E7010-P1、E8010-P1 等内容，故书中将 AWS A5.5—1996 列入。此外，还介绍了各国焊条的型号及牌号对照，以供读者参考。

二、国外标准中电焊条型号分类方法要点（摘录）

（一）国际标准化组织（ISO）

1. ISO 2560 关于碳钢及低合金结构钢焊条的型号划分



(1) 熔敷金属力学性能

焊条记号	熔敷金属的力学性能			在 $A_{kv}28$ J 时 试验温度 /°C
	抗拉强度 /MPa	最小伸长率		
		记号	/%	
E430	430~510	0	没规定	
E431	430~510	1	20	+20
E432		2	22	0
E433		3	24	-20
E434		4	24	-30
E435		5	24	-40
E510	510~610	0	没规定	
E511	510~610	1	18	+20
E512		2	18	0
E513		3	20	-20
E514		4	20	-30
E515		5	20	-40

(2) 药皮类型

A	酸性
AR	钛型-酸性
B	碱性
C	纤维素型
O	氧化性
R	钛型(中厚药皮)
RR	钛型(厚药皮)
S	其他类型

注：焊条与焊芯直径之比小于 1.5 时为
中厚药皮，大于或等于 1.5 时为厚药皮。

(3) 熔敷效率

记号	K/%
110	105~115
120	115~125
130	125~135
140	135~145
150	145~155
160	155~165
170	165~175
180	175~185
190	185~195
200	195~205

(4) 焊接位置

记号	焊缝在焊接时的位置
1	全位置
2	全位置除了立向下焊
3	平焊、垂直、横焊的位置
4	平焊(对接焊缝和环焊缝)
5	跟 3 一样, 还可立向下焊

(5) 电流种类

记号	直流时焊条的极性	交流, 空载电压 /V
0	反接(+)	—
1	任何(+/-)	50
2	正接(-)	50
3	反接(+)	50
4	任何(+/-)	70
5	正接(-)	70
6	反接(+)	70
7	任何(+/-)	90
8	正接(-)	90
9	反接(+)	90

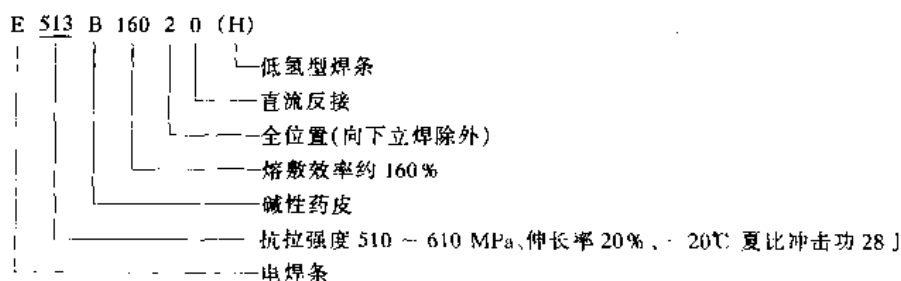
(6) 扩散氢含量

熔敷金属中的含氢量少于 15 ml/100 g
时, 加“H”符号

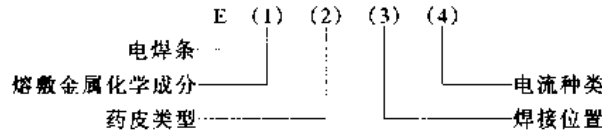
注: 1. 交流用频率为 50 或 60 Hz。

2. “+”指焊条为正极;“-”指焊条为负极。

例 E432R13、E513B16020(H)



2. ISO 3580 关于耐热钢焊条的型号划分



(1) 熔敷金属化学成分

记号	元素含量/%					
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他元素
	不多于					
Mo	0.12	0.8	1.5	—	0.4~0.7	—
05CrMo	0.12	0.8	1.5	0.3~0.8	0.4~0.7	—
05CrMoV	0.12	0.8	1.5	0.3~0.6	0.8~1.2	V0.25~0.60
1CrMo	0.12	0.8	1.5	0.8~1.5	0.4~0.7	—
1CrMoV	0.12	0.8	1.5	0.9~1.3	0.4~0.7	V0.10~0.35
2CrMo	0.12	0.8	1.5	2.0~2.6	0.9~1.3	—
5CrMo	0.12	0.9	1.5	4.0~6.0	0.4~0.7	—
5CrMoV	0.12	0.9	1.5	4.0~6.0	0.4~0.7	V0.10~0.35
9CrMo	0.12	0.9	1.5	8.0~10.0	0.9~1.2	—
12CrMoV	0.12	0.8	1.5	11.0~13.0	0.8~1.2	V0.2~0.4 W0.4~0.6

注：如果熔敷金属中的含碳量不超过0.05%，应在记号上加L指数。

(2) 药皮类型

A	酸性
AR	酸性(钛型)
B	碱性
C	纤维素型
O	氧化性
R	钛型(中厚药皮)
RR	钛型(厚药皮)
S	其他类型

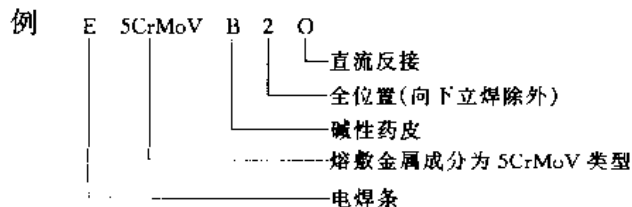
(3) 焊接位置

记号	焊缝在焊接时的位置
1	全位置
2	全位置(向下立焊除外)
3	平焊、立向上焊和横焊
4	平焊(对接焊缝和环缝)
5	平焊、立向上焊和横焊及向下立焊

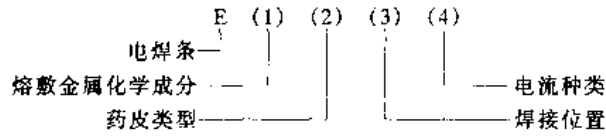
(4) 电流种类

记号	直流时 焊条极性	交流空载 电压/V
0	(+)	—
1	(+/-)	50
2	(-)	50
3	(+)	50
4	(+/-)	70
5	(-)	70
6	(+)	70
7	(+/-)	90
8	(-)	90
9	(+)	90

注：“+”指焊条为正极；“-”指焊条为负极。



3. ISO 3581 关于高合金钢焊条的型号划分



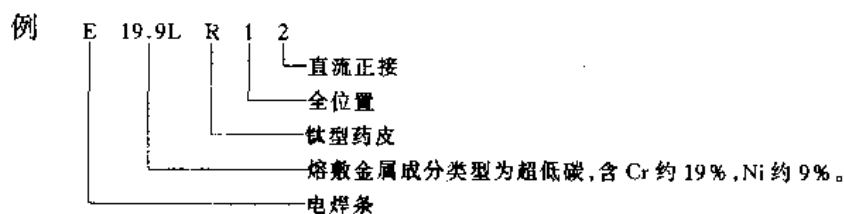
(1) 熔敷金属化学成分

记号的类别	元素含量/%				
	C, 以下	Cr	Ni	Mo	其他元素
13	0.12	11~14	—	—	—
13.1	0.07	12~15	0.8~1.5	—	—
13.4	0.07	12~15	3~5	至 1.0	—
17	0.10	15~18	—	—	—
17.0.1	0.25	15~18	—	1.0~1.5	—
19.9	0.08	18~21	8~11	—	—
19.9L	0.04	18~21	8~11	—	—
19.9Nb	0.08	18~21	8~11	—	Nb(8×C~1.2)
19.9.LNb	0.04	18~21	8~11	—	Nb(8×C~1.2)
16.8.2	0.10	14.5~16.5	7.5~9.5	1.0~2.0	—
16.25.6	0.12	14~17	23~25	5~7	—
17.8.2	0.10	16.5~18.5	8.0~9.5	1.5~2.5	—
18.8Mn	0.20	17~20	7~10	—	Mn 5~8
18.15.3L	0.04	16.5~19.5	13~16	2.5~3.5	—
19.12.2	0.08	17~20	11~14	2.0~2.5	—
19.12.2L	0.04	17~20	11~14	2.0~2.5	—
19.12.2Nb	0.08	17~20	11~14	2.0~2.5	Nb(8×C~1.2)
19.12.3	0.08	17~20	10~14	2.5~3.5	—
19.12.3L	0.04	17~20	10~14	2.5~3.5	—
19.12.3Nb	0.08	17~20	10~14	2.5~3.5	Nb(8×C~1.2)
19.13.4	0.08	17~21	11~15	3.5~5.5	—
19.13.4L	0.04	17~21	11~15	3.5~5.5	—
19.13.4Nb	0.08	17~21	11~15	3.5~5.5	Nb(8×C~1.2)
20.9.Nb	0.13	18~21	8~10	0.35~0.65	Nb(8×C~1.2)
20.9.3	0.10	18.5~21	8~10	2~4	—
22.12	0.15	20~23	10~13	—	—
23.12	0.15	22~26	11~15	—	—
23.12L	0.04	22~26	11~15	—	—
23.12Nb	0.12	22~25	11~15	—	—
23.12W	0.20	22~25	11~15	—	W 2~4
23.12.2	0.12	22~25	11~15	2~3	—
25.20	0.20	24~28	18~22	—	—
25.20L	0.04	24~28	18~22	—	—
25.20Nb	0.12	24~28	18~22	—	Nb(8×C~1.2)
25.20.2	0.12	25~28	20~22	2~3	—
25.25.2Nb	0.10	24~27	24~26	2~3	Nb(8×C~1.2)

续表

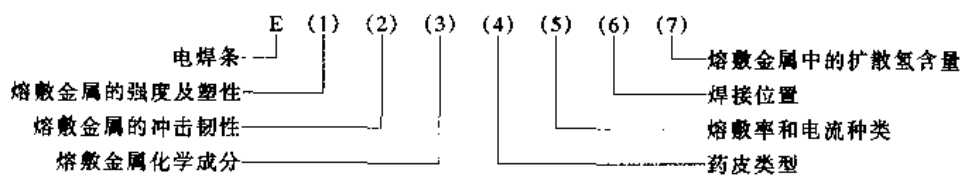
记号的类别	元素含量/%				
	C,以下	Cr	Ni	Mo	其他元素
25.4	0.15	24~27	4~6	—	—
29.9	0.15	28~32	8~12	—	—
18.36	0.25	14~19	33~38	—	—
17.12Si	0.15	17~19	11~13	—	Si 3.8~4.8
24.14Si	0.12	22~25	13~15	—	Si 1.5~2.2

(2) 药皮类型		(3) 焊接位置		(4) 电流种类		
A	酸性	记号	焊缝在焊接时的位置	记号	电流种类	交流空载电压/V
AR	钛型-酸性	1	全位置	0	(+)	—
B	碱性	2	全位置(向下立焊除外)	1	(+/-)	50
C	纤维素型	3	平焊、立向上焊和横焊	2	(-)	50
O	氧化性	4	平焊(对接焊缝和环缝)	3	(+)	50
R	钛型(中厚药皮)	5	平焊、立向上焊和横焊下立焊	4	(+/-)	70
RR	钛型(厚药皮)			5	(-)	70
S	其他类型			6	(+)	70
				7	(+/-)	90
				8	(-)	90
				9	(+)	90



(二) 欧洲标准

1. EN499—1995 关于碳钢及细晶粒钢焊条型号划分



(1) 熔敷金属的强度及塑性

记号	屈服强度 ^① /MPa	抗拉强度 /MPa	最小相对 伸长率/%
35	355	440~570	22
38	380	470~600	20
42	420	500~640	20
46	460	530~680	20
50	500	560~720	18

① 在屈服强度不很明显的情况下,使用应变0.2的强度数值。

(2) 熔敷金属的冲击韧性

记号	在最小冲击韧性为47J时的温度值/℃
Z	没规定
A	+20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

(3) 熔敷金属化学成分

合金元素 符号	化学成分 ² /%		
	Mn	Mo	Ni
没有符号	2.0	—	—
Mo	1.4	0.3~0.6	—
MnMo	>1.4~2.0	0.3~0.6	—
1Ni	1.4	—	0.6~1.2
2Ni	>1.4~2.0	—	1.8~2.6
3Ni	—	—	>2.6~3.8
Mn1Ni	—	—	0.6~1.2
1NiMo	1.4	0.3~0.6	0.6~1.2
Z	其他成分		

① 如果没有上述规定,那么 Mo<0.2, Ni<0.3, Cr<0.2, V<0.05, Cu<0.3。
注:表里所列的单值为最大值。

(4) 药皮类型

A	酸性
C	纤维素型
R	钛型
RR	钛型(厚药皮)
RC	钛型-纤维素
RA	钛酸性
RB	钛碱性
B	碱性

(5) 熔敷率和电流种类

编码	熔敷率/%	电流种类
1	≤105	≈、=
2	≤105	=
3	>105≤125	≈、=
4	>105≤125	=
5	>125≤160	≈、=
6	>125≤160	=
7	>160	≈、=
8	>160	=

注:1. 为了观测交流电是否适应,一般应在空载电压最大为 65 V 的条件下进行实验。

(6) 焊接位置

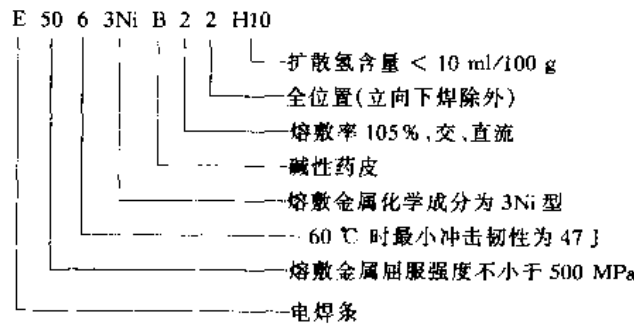
记号	焊缝在焊接时的位置
1	各种位置
2	各种位置,不包括从上到下的垂直位置
3	对接缝在平焊位置,角焊缝在平焊与横接的位置
4	对接焊缝与角焊缝平焊位置
5	垂直焊缝从上到下,以及 3 的位置

(7) 熔敷金属中的扩散氢含量

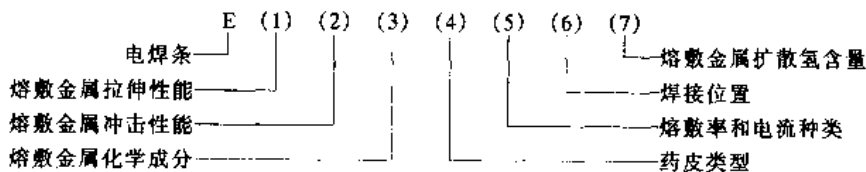
记号	每 100 g 熔敷金属中,含氢量的最大值/mL
H5	5
H10	10
H15	15

2. “≈”表示交流,“=”表示直流。

例



2. EN757—1997 关于高强度钢焊条型号的划分



(1) 熔敷金属拉伸性能

记号	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%	记号	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%
55	550	610~780	18	79	790	880~1080	16
62	620	690~890	18	89	890	980~1180	15
69	690	760~960	17				

注:单值为最小值。

(2) 熔敷金属冲击韧性

记号	对应于47J平均冲击功的试验温度/℃	记号	对应于47J平均冲击功的试验温度/℃	记号	对应于47J平均冲击功的试验温度/℃
0	0	3	30	5	-50
2	-20	4	-40	6	-60

(3) 熔敷金属化学成分

合金记号	主要成分/%			
	Mn	Ni	Cr	Mo
MnMo	1.4~2.0	—	—	0.3~0.6
Mn1Ni	1.4~2.0	0.6~1.2	—	—
1NiMo	1.4	0.6~1.2	—	0.3~0.6
1.5NiMo	1.4	1.2~1.8	—	0.3~0.6
2NiMo	1.4	1.8~2.6	—	0.3~0.6
Mn1NiMo	1.4~2.0	0.6~1.2	—	0.3~0.6
Mn2NiMo	1.4~2.0	1.8~2.6	—	0.3~0.6
Mn2NiCrMo	1.4~2.0	1.8~2.6	0.3~0.6	0.3~0.6
Mn2Ni1CrMo	1.4~2.0	1.8~2.6	0.6~1.0	0.3~0.6
Z	双方协商的成分			

注：1. 如果不作规定，Co<0.10%，Ni<0.3%，Cr<0.2%，Mo<0.2%，V<0.05%，Nb<0.05%，Cu<0.3%，P<0.025%，S<0.020%。

2. 表中单值均为最大值。

(4) 药皮类型

这类焊条药皮类型均为碱性,用记号“B”表示

(5) 熔敷率及电流种类

记号	熔敷率/%	电流种类	记号	熔敷率/%	电流种类
1	≤105	CA,CC	5	>125,≤160	CA,CC
2	≤105	CC	6	>125,≤160	CC
3	>105,≤125	CA,CC	7	>160	CA,CC
4	>105,≤125	CC	8	>160	CC

注：“CA”表示交流，“CC”表示直流。

(6) 焊接位置

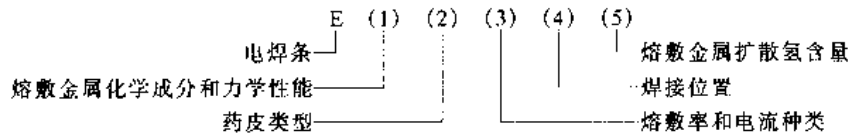
记号	位置	记号	位置
1	全位置	4	平对接、横角焊
2	全位置、立向下焊除外	5	与3同,且可立向下焊
3	平对接、船形焊横/立角焊		

(7) 熔敷金属扩散氢含量

记号	扩散氢量/cm ³ ·(100g) ⁻¹	记号	扩散氢量/cm ³ ·(100g) ⁻¹
H5	5	H10	10

注：扩散氢测定按ISO36%标准。

3. EN1599—1997 关于耐热钢焊条型号的划分



(1)₁ 熔敷金属化学成分

合金记号	化学成分/%								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	其他元素
Mo	0.10	0.80	0.40~1.50 ^①	0.030	0.025	~	0.40~0.70	—	—
MoV	0.03~0.12	0.80	0.40~1.50	0.030	0.025	0.30~0.60	0.80~1.20	0.20~0.60	—
CrMo0.5	0.05~0.12	0.80	0.40~1.50	0.030	0.025	0.40~0.65	0.40~0.65	—	—
CrMo1	0.05~0.12	0.80	0.40~1.50 ^①	0.030	0.025	0.90~1.40	0.45~0.70	—	—
CrMo1L	0.05	0.80	0.40~1.50 ^①	0.030	0.025	0.90~1.40	0.45~0.70	—	—
CrMoV1	0.05~0.15	0.80	0.70~1.50	0.030	0.025	0.90~1.30	0.90~1.30	0.10~0.35	—
CrMo2	0.05~0.12	0.80	0.40~1.30	0.030	0.025	2.0~2.6	0.90~1.30	—	—
CrMo2L	0.05	0.80	0.40~1.30	0.030	0.025	2.0~2.6	0.90~1.30	—	—
CrMo5	0.03~0.12	0.80	0.40~1.50	0.025	0.025	4.0~6.0	0.40~0.70	—	—
CrMo9	0.03~0.12	0.80	0.40~1.30	0.025	0.025	8.0~10.0	0.90~1.20	0.15	Ni1.0
CrMo91	0.06~0.12	0.60	0.4~1.50	0.025	0.025	8.0~10.5	0.80~1.20	0.15~0.30	Ni0.40~1.00 Nb0.03~0.10 N0.02~0.07
CrMoWV12	0.15~0.22	0.80	0.4~1.30	0.025	0.025	10.0~12.0	0.80~1.20	0.20~0.40	Ni0.8 W0.40~0.60
Z	本标准中未作出规定的成分,供需双方商定								

① 含 Mn 量, 对钛型焊条为 0.4%~0.9%, 对低氢型焊条通常为 0.7%~1.5%。

注: 1. 标准中未列出时, Ni<0.3%、Cu<0.3%、V<0.03%、Nb<0.01%、Cr<0.2%。

2. 单值均为最大值。

(1)₂ 熔敷金属力学性能

合金记号	熔敷金属力学性能(最小值)					试板加热规范		
	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%	$A_{KV}(20^\circ\text{C})$ /J		预热及层 间温度/°C	焊丝热处理	
				平均值	单个值		温度 ^① /°C	时间 ^② /min
Mo	355	510	22	47	38	<200	570~620	60
MoV	355	510	18	47	38	200~300	690~730	60
CrMo0.5	355	510	22	47	38	100~200	600~650	60
CrMo1	355	510	20	47	38	150~250	660~700	60
CrMo1L	355	510	20	47	38	150~250	660~700	60
CrMoV1	435	590	15	24	19	200~300	680~730	60
CrMo2	400	500	18	47	38	200~300	690~750	60
CrMo2L	400	500	18	47	38	200~300	690~750	60
CrMo5	400	590	17	47	38	200~300	730~760	60

续表

合金记号	熔敷金属力学性能(最小值)					试板加热规范		
	$\sigma_{0.2}$	σ_b	δ_5	$A_{kv}(20^\circ\text{C})/\text{J}$		预热及层间温度/ $^\circ\text{C}$	焊丝热处理	
				平均值	单个值		温度 ^① / $^\circ\text{C}$	时间 ^② /min
CrMo9	435	590	18	34	27	200~300	740~780	120
CrMo91	415	585	17	47	38	200~300	750~770	120~180
CrMoWV12	550	690	15	34	27	250~350 400~500	740~780	120

① 以不超过 200 $^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度炉冷到 300 $^\circ\text{C}$ 。② 偏差 ± 10 min。注：试板焊后，冷却到 120~100 $^\circ\text{C}$ ，并在此温度保持至少 1 h。

(2) 药皮类型

B	碱性
R	钛型(普通药皮厚度)

(4) 焊接位置

记号	焊接位置
1	全位置
2	全位置、立向下焊除外
3	平对接、平角焊、横焊
4	平对接、平角焊
5	平对接、平角焊、横焊，并可立向下焊

(3) 熔敷率和电流种类

记号	熔敷率/%	电流种类
1	≤ 105	AC、DC
2	≤ 105	DC
3	$> 105, \leq 125$	AC、DC
4	$> 105, \leq 125$	DC

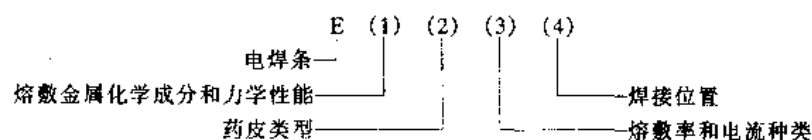
注：“AC”为交流，“DC”为直流。

(5) 熔敷金属扩散氢含量

记号	最大扩散氢量/ $\text{mL} \cdot (100\text{g})^{-1}$
H5	5
H10	10

注：按 ISO 3690 测量。

4. EN-1600—1997 关于不锈钢及热强钢焊条型号的划分



(1) 熔敷金属化学成分

合金记号	化学成分/%								其他元素
	C	Si	Mn	P ^②	S ^②	Cr	Ni ^②	Mo ^②	
马氏体/铁素体									
13	0.12	1.0	1.5	0.030	0.025	11.0~14.0	—	—	
13.4	0.06	1.0	1.5	0.030	0.025	11.0~14.5	3.0~5.0	0.4~1.0	
17	0.12	1.0	1.5	0.030	0.025	16.0~18.0	—	—	
奥氏体钢									
19.9	0.08	1.2	2.0	0.030	0.025	18.0~21.0	9.0~11.0	—	—
19.9L	0.04	1.2	2.0	0.030	0.025	18.0~21.0	9.0~11.0	—	—
19.9Nb	0.08	1.2	2.0	0.030	0.025	18.0~21.0	9.0~11.0	—	Nb ^③
19.12.2	0.08	1.2	2.0	0.030	0.025	17.0~20.0	10.0~13.0	2.0~3.0	—
19.12.3L	0.04	1.2	2.0	0.030	0.025	17.0~20.0	10.0~13.0	2.5~3.0	—
19.12.3Nb	0.08	1.2	2.0	0.030	0.025	17.0~20.0	10.0~13.0	2.5~3.0	Nb ^③
19.13.4L	0.04	1.2	1.0~5.0	0.030	0.025	17.0~20.0	12.0~15.0	3.0~4.5	Nb, 20
奥氏体-铁素体耐蚀钢									
22.9.3NL ^④	0.04	1.2	2.5	0.030	0.025	21.0~24.0	7.5~10.5	2.5~4.0	Nb, 0.08~0.20

续表

合金记号	化学成分/%								其他元素
	C	Si	Mn	P ^①	S ^①	Cr	Ni ^②	Mo ^②	
25.7.2NL	0.04	1.2	2.0	0.035	0.025	24.0~28.0	6.0~8.0	1.0~3.0	N0.20
25.9.3CuNL ^③	0.04	1.2	2.5	0.030	0.025	24.0~27.0	7.5~10.5	2.5~4.0	N0.10~0.25、 Cu 1.5~3.5
25.9.4NL ^④	0.04	1.2	2.5	0.030	0.025	24.0~27.0	8.0~10.5	2.5~4.5	N0.20~0.30 Cu 1.5, W1.0
全奥氏体耐蚀钢									
18.15.3L ^⑤	0.04	1.2	1.0~4.0	0.030	0.025	16.0~19.5	14.0~17.0	2.5~3.5	—
18.16.5NL ^⑤	0.04	1.2	1.0~4.0	0.035	0.025	17.0~20.0	15.5~19.0	3.5~5.0	N.020
20.25.5CuNL ^⑤	0.04	1.2	1.0~4.0	0.030	0.025	19.0~22.0	24.0~27.0	4.0~7.0	Cu 1.0~2.0, N0.25
20.16.3MnNL ^⑤	0.04	1.2	5.0~8.0	0.035	0.025	18.0~21.0	15.0~18.0	2.5~3.5	N0.20
25.22.2NL ^⑤	0.04	1.2	1.0~5.0	0.030	0.025	24.0~27.0	20.0~23.0	2.0~3.0	N0.20
27.31.4CuL ^⑤	0.04	1.2	2.5	0.030	0.025	26.0~29.0	30.0~33.0	3.0~4.5	Cu 0.6~1.5
特殊类型									
18.8Mn ^⑥	0.20	1.2	4.5~7.5	0.035	0.025	17.0~20.0	7.0~10.0	—	—
18.9MnMo	0.04~0.14	1.2	3.0~5.0	0.035	0.025	18.0~21.5	9.0~11.0	0.5~0.15	—
20.10.3	0.10	1.2	2.5	0.030	0.025	18.0~21.0	9.0~12.0	1.5~3.5	—
23.12L	0.04	1.2	2.5	0.030	0.025	22.0~25.0	11.0~14.0	—	—
23.12Nb	0.10	1.2	2.5	0.030	0.025	22.0~25.0	11.0~14.0	—	Nb ^⑥
23.12.2L	0.04	1.2	2.5	0.030	0.025	22.0~25.0	11.0~14.0	2.0~3.0	—
29.9	0.15	1.2	2.5	0.035	0.025	27.0~31.0	8.0~12.0	—	—
热强钢									
16.8.2	0.08	1.0	2.5	0.030	0.025	14.5~16.5	7.5~9.5	1.5~2.5	—
19.9H	0.04~0.08	1.2	2.0	0.030	0.025	18.0~21.0	9.0~11.0	—	—
25.4	0.15	1.2	2.5	0.030	0.025	24.0~27.0	4.0~6.0	—	—
22.12	0.15	1.2	2.5	0.030	0.025	20.0~23.0	10.0~13.0	—	—
25.20	0.06~0.20	1.2	1.0~5.0	0.030	0.025	23.0~27.0	18.0~22.0	—	—
25.20H	0.35~0.45	1.2	1.0~5.0	0.030	0.025	23.0~27.0	18.0~22.0	—	—
18.36	0.25	1.2	1.0~5.0	0.030	0.025	14.0~18.0	33.0~37.0	—	—

① S、P之总和不能超过0.05%，除了25.7.2NL，18.16.5NL，20.16.3MnNL，18.8Mn，18.9MnMo及29.9焊条之外。

② 未作规定的，Mo<0.75%，Cu<0.75%及Ni<0.60%。

③ Nb 8×%C~1.1%，Ta可代替Nb的20%。

④ 带有这种记号的焊条具有特殊的性能，它们不大可能互相替换。

⑤ 大多数情形，全奥氏体焊缝对显微裂纹较敏感，这可通过提高含Mn量来降低裂纹敏感性。

注：1. 单值均为最大值。

2. 表中未列出之焊条，可按相同方式来编写记号，并加后缀字母“Z”。

(1)₂ 熔敷金属力学性能

合金记号	熔敷金属力学性能(最小值)			焊后热处理
	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	
马氏体/铁素体钢				
13	250	450	15	①
13.4	500	750	15	②
17	300	450	15	③
奥氏体钢				
19.9	350	550	30	无
19.9L	320	510	30	无
19.9Nb	350	550	25	无
19.12.2	350	550	25	无

续表

合金记号	熔敷金属力学性能(最小值)			焊后热处理
	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	σ_b/MPa	$\delta/\%$	
19.12.3L	320	510	25	无
19.12.3Nb	350	550	25	无
19.13.4L	350	550	25	无
奥氏体-铁素体耐蚀钢				
22.9.3NL	450	550	20	无
25.7.2NL	500	700	15	无
25.9.3CuNL	550	620	18	无
25.9.4NL	550	620	18	无
全奥氏体耐蚀钢				
18.15.3L	300	480	25	无
18.16.5NL	300	480	25	无
20.25.5CuNL	320	510	25	无
20.16.3Mn NL	320	510	25	无
25.22.2NL	320	510	25	无
27.31.4CuL	240	500	25	无
特殊类型				
18.8Mn	350	500	25	无
18.9Mn Mo	350	500	25	无
20.10.3	400	620	20	无
23.12L	320	510	25	无
23.12Nb	350	550	25	无
23.12.2L	350	550	15	无
29.9	450	650	20	无
热强钢				
16.8.2	320	510	25	无
19.9H	350	550	30	无
25.4	400	600	15	无
22.12	350	550	25	无
25.20	350	550	20	无
25.20H	350	550	10 ^①	无
18.36	350	550	10 ^②	无

① (840~870)℃×2 h, 炉冷到 600℃ 后空冷。

② (580~620)℃×2 h, 空冷。

③ (760~790)℃×2 h, 炉冷到 600℃ 后空冷。

④ 这些焊条的熔敷金属具有较高的含碳量, 用于高温。

(2) 药皮类型

B	碱性
R	钛型

(3) 熔敷率和电流种类

记号	熔敷率/%	电流种类
1	≤105	AC, DC
2	≤105	DC
3	>105≤125	AC, DC
4	>105≤125	DC
5	>105≤160	AC, DC
6	>105≤160	DC
7	>160	AC, DC
8	>160	DC

注: 1. AC 为交流, DC 为直流。

2. 交流施焊时, 二次空载电压为 65 V。

(4) 焊接位置

记号	焊接位置
1	全位置
2	全位置, 立向下焊除外
3	平对接, 平角焊, 横焊
4	平对接, 平角焊
5	同 3, 并可立向下焊

(三) 美国标准

1. AWS A5.1—1991《碳钢焊条》标准摘录

碳钢焊条 (AWS A5.1—1991)

型号	药皮类型	焊接位置	电流种类	熔敷金属的化学成分/%						拉伸试验			冲击试验			
				Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	σ_1 /ksi	$\sigma_{0.2}$ /ksi	δ_4 /%	温度 /°F	A_{KV} /ft·lbf		
E6010	纤维素型(钠)	F, V, OH, H	DC+													
E6011	纤维素型(钾)	F, V, OH, H	AC或DC+										≥ 20	-20	≥ 20	
E6012	钛型(钠)	F, V, OH, H	AC或DC													
E6013	钛型(钾)	F, V, OH, H	AC或DC+									≥ 48	≥ 17			
E6019	钛铁矿型(钾)	F, V, OH, H	AC或DC+											0		
E6020	氧化铁型	H, Fil, F	AC或DC- AC或DC±								≥ 60		≥ 22			
E6022 ^a	铁粉氧化铁型	F, H	AC或DC-													
E6027	铁粉氧化铁型	H, Fil, F	AC或DC- AC或DC±									≥ 48	≥ 22	-20	≥ 20	
E7014	铁粉氧化钛型	F, V, OH, H	AC或DC+	$\leq 1.25^{①}$	≤ 0.9	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.2^{②}$	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.08^{②}$					≥ 17		
E7015 ^d	低氢钠型	F, V, OH, H	DC+	$\leq 1.25^{①}$	≤ 0.9	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.2^{②}$	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.08^{②}$							
E7016 ^{b, d}	低氢钾型	F, V, OH, H	AC或DC+	$\leq 1.6^{②}$	≤ 0.75	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.2^{②}$	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.08^{②}$			≥ 58		≥ 22		≥ 20
E7018 ^b	铁粉低氢型	F, V, OH, H	AC或DC+	$\leq 1.6^{②}$	≤ 0.75	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.2^{②}$	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.08^{②}$						≥ 20	
E7018M ^e	铁粉低氢型	F, V, OH, H	DC+	0.4— 1.6	≤ 0.8	≤ 0.25	≤ 0.15	≤ 0.35	≤ 0.05			53— 72 ^f		≥ 24		≥ 50
E7024 ^{c, d}	铁粉氧化铁型	H, Fil, F	AC或DC±	$\leq 1.25^{①}$	≤ 0.9	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.2^{②}$	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.08^{②}$		≥ 70			≥ 17		
E7027	铁粉氧化铁型	H, Fil, F	AC或DC- AC或DC±	$\leq 1.6^{②}$	≤ 0.75	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.2^{②}$	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.08^{②}$						-20	
E7028 ^d	铁粉低氢型	H, Fil, F	AC或DC+	≤ 1.6	≤ 0.9	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.2^{②}$	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.08^{②}$			≥ 58		≥ 22	0	≥ 20
E7048 ^d	铁粉低氢型	F, OH, H, V- down	AC或DC+	≤ 1.6	≤ 0.9	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.2^{②}$	$\leq 0.3^{②}$	$\leq 0.08^{②}$						-20	

① 的成分合计不大于 1.5%。

② 的成分合计不大于 1.75%。

注：1. 使用的电流符号的意义，AC 交流，DC± 直流；焊条接正或负，DC+ 直流、焊条接正，DC- 直流、焊条接负。

2. 焊接位置符号的意义，F 平焊，V 立焊，OH 仰焊，H 横焊，Hfil 平角焊，V-down 立向下焊。

3. a—E6022 焊条用于单层焊。

b—与 E7016 及 E7018 的区分，E7016-1 及 E7018-1 满足 50 °F 时 $A_{KV} \geq 20$ ft·lbf 的要求。

c—与 E7024 的区分，E7024-1 满足 0 °F 时 $A_{KV} \geq 20$ ft·lbf、 $\delta \geq 22\%$ 的要求。

d—这类焊条要增加药皮含水量或扩散氢含量试验。

e—C $\leq 0.12\%$ ，P $\leq 0.030\%$ ，S $\leq 0.020\%$ 。

f—对 $\phi 2.4$ mm 焊条，为 53—77 ksi。

4. 1 ksi = 6894.76 kPa；1 ft·lbf = 0.737 56J。

2. AWS A5.5-1996《低合金钢焊条》标准摘录

低合金钢焊条 (AWS A5.5-1996)

型号	熔敷金属化学成分/%										拉伸试验			冲击试验					
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Al	Nb	N	σ_b /ksi	$\sigma_{0.2}$ /ksi	δ_4 /%	温度/°F	A_{KV} /ft-lbf	热处理
E7010-A1		≤0.60	≤0.40													≥22			
E7013-A1		≤0.60	≤0.40													≥22			
E7015-A1		≤0.90	≤0.60													≥25			
E7016-A1	≤0.12	≤0.90	≤0.60	≤0.03	≤0.03	—	—	0.40~0.65	—	—	—	—	—	≥70	≥57	≥25			A
E7018-A1		≤0.90	≤0.80													≥25			
E7020-A1		≤0.60	≤0.40													≥25			
E7027-A1		≤1.00	≤0.40													≥25			
E8016-B1	0.05~0.12	≤0.90	≤0.60	≤0.03	≤0.03	—	0.40~0.65	0.40~0.65	—	—	—	—	—	≥80	≥67	≥19			B
E8018-H1		≤0.90	≤0.80																
E8016-E2	0.05~0.12	≤0.90	≤0.60	≤0.03	≤0.03	—	1.00~1.50	0.40~0.65	—	—	—	—	—	≥80	≥67	≥19			B
E8018-E2		≤0.90	≤0.80																
E7015-E2L		≤0.90	≤1.00																
E7016-E2L	≤0.05	≤0.90	≤0.60	≤0.03	≤0.03	—	1.00~1.50	0.40~0.65	—	—	—	—	—	≥75	≥57	≥19			B
E7018-E2L		≤0.90	≤0.80																
E9015-B3		≤1.0	≤1.0																
E9016-B3	0.05~0.12	≤0.90	≤0.60	≤0.03	≤0.03	—	2.00~2.50	0.90~1.20	—	—	—	—	—	≥90	≥77	≥17			B
E9018-B3		≤0.90	≤0.80																
E8015-B3L	≤0.05	≤0.90	≤1.0	≤0.03	≤0.03	—	2.00~2.50	0.90~1.20	—	—	—	—	—	≥80	≥67	≥17			B
E8018-B3L		≤0.90	≤0.80																
E8015-B4L	≤0.05	≤0.90	≤1.0	≤0.03	≤0.03	—	1.75~2.25	0.40~0.65	—	—	—	—	—	≥80	≥67	≥19			B
E8016-B5	0.07~0.15	0.40~0.70	0.30~0.60	≤0.03	≤0.03	—	0.40~0.60	1.0~1.25	≤0.05	—	—	—	—	≥80	≥67	≥19			B
E8015-B6																			
E8016-B6	0.05~0.10	≤1.0	≤0.90	≤0.03	≤0.03	≤0.40	4.0~6	0.45~0.65	—	—	—	—	—	≥80	≥67	≥19			C
E8018-B6																			
E8015-B6L																			
E8016-B6L	≤0.05	≤1.0	≤0.90	≤0.03	≤0.03	≤0.40	4.0~6.0	0.45~0.65	—	—	—	—	—	≥80	≥67	≥19			C
E8018-B6L																			
E8015-B7																			
E8016-B7	0.05~0.10	≤1.0	≤0.90	≤0.03	≤0.03	≤0.40	6.0~8.0	0.45~0.65	—	—	—	—	—	≥80	≥67	≥19			C
E8018-B7																			
E8015-B7L																			
E8016-B7L	≤0.05	≤1.0	≤0.90	≤0.03	≤0.03	≤0.40	6.0~8.0	0.45~0.65	—	—	—	—	—	≥80	≥67	≥19			C
E8018-B7L																			

续表

型号	熔敷金属化学成分/%												拉伸试验			冲击试验		热处理	
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Al	Nb	N	σ_s /ksi	$\sigma_{0.2}$ /ksi	δ_4 /%	温度/ $^{\circ}$ F		A_{KV} /ft-lbf
E8015-D8																			
E8016-D8	0.05~0.10	\leq 1.0	\leq 0.90	\leq 0.03	\leq 0.03	0.40	8.0~10.5	0.85~1.20	—	—	—	—	—	\geq 80	\geq 67	\geq 19	—	—	C
E8018-D8																			
E8015-E8L																			
E8016-E8L	\leq 0.05	\leq 1.0	\leq 0.90	\leq 0.03	\leq 0.03	\leq 0.40	8.0~10.5	0.85~1.20	—	—	—	—	—	\geq 80	\geq 67	\geq 19	—	—	C
E8018-E8L																			
E9015-H9	0.08~0.13	\leq 1.25	\leq 0.30	\leq 0.01	\leq 0.01	\leq 1.0	8.0~10.5	0.85~1.20	0.15~0.30	\leq 0.25	\leq 0.04	0.02~0.10	0.02~0.07	\geq 90	\geq 67	\geq 19	—	—	C
E9016-H9																			
E9018-H9																			
E8016-C1	\leq 0.12	\leq 1.25	\leq 0.60	\leq 0.03	\leq 0.03	2.00~2.75	—	—	—	—	—	—	—	\geq 80	\geq 67	\geq 19	-75	\geq 20	D
E8018-C1			\leq 0.80																
E7015-C1L																			
E7016-C1L	\leq 0.05	\leq 1.25	\leq 0.50	\leq 0.03	\leq 0.03	2.00~2.75	—	—	—	—	—	—	—	\geq 70	\geq 57	\geq 25	-100	\geq 20	D
E7018-C1L																			
E8016-C2	\leq 0.12	\leq 1.25	\leq 0.60	\leq 0.03	\leq 0.03	3.00~3.75	—	—	—	—	—	—	—	\geq 80	\geq 67	\geq 19	-100	\geq 20	D
E8018-C2			\leq 0.80																
E7015-C2L																			
E7016-C2L	\leq 0.05	\leq 1.25	\leq 0.50	\leq 0.03	\leq 0.03	3.00~3.75	—	—	—	—	—	—	—	\geq 70	\geq 57	\geq 25	150	\geq 20	D
E7018-C2L																			
E8016-C3	\leq 0.12	0.40~1.25	\leq 0.80	\leq 0.03	\leq 0.03	0.80~1.10	\leq 0.15	\leq 0.35	\leq 0.05	—	—	—	—	\geq 80	68~80	\geq 24	-40	\geq 20	—
E8018-C3																			
E7018-C3L	\leq 0.08	0.40~1.0	\leq 0.50	\leq 0.03	\leq 0.03	0.80~1.10	\leq 0.15	\leq 0.35	\leq 0.05	—	—	—	—	\geq 70	\geq 57	\geq 25	-60	\geq 20	—
E8016-C4	\leq 0.10	\leq 1.25	\leq 0.60	\leq 0.03	\leq 0.03	1.10~2.00	—	—	—	—	—	—	—	\geq 80	\geq 67	\geq 19	-60	\geq 20	—
E8018-C4			\leq 0.80																
E9015-C5L	\leq 0.05	0.40~1.0	\leq 0.50	\leq 0.03	\leq 0.03	6.00~7.25	—	—	—	—	—	—	—	\geq 90	\geq 77	\geq 17	175	\geq 20	E
E8018-NM1	\leq 0.10	0.80~1.25	\leq 0.60	\leq 0.02	\leq 0.02	0.80~1.00	\leq 0.10	0.40~0.65	\leq 0.02	\leq 0.1	\leq 0.05	—	—	\geq 80	\geq 67	\geq 19	-40	\geq 20	—
E8018-D1	\leq 0.12	1.00~1.75	\leq 0.80	\leq 0.03	\leq 0.03	\leq 0.90	—	0.25~0.45	—	—	—	—	—	\geq 80	\geq 67	\geq 19	—	—	—
E9015-D1			\leq 0.60																
E9018-D1			\leq 0.80																
E10015-D2	\leq 0.15	1.65~2.0	\leq 0.60	\leq 0.03	\leq 0.03	\leq 0.90	—	0.25~0.45	—	—	—	—	—	\geq 100	\geq 87	\geq 16	-60	\geq 20	A
E10016-D2			\leq 0.60																
E10018-D2			\leq 0.80																

续表

型号	熔敷金属化学成分/%											拉伸试验			冲击试验		热处理				
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Al	Nb	N	σ_y /ksi	$\sigma_{0.2}$ /ksi	δ_4 /%		温度/ °F	A_{kv} ft·lb		
	≤0.12	1.00~ 1.80	≤0.6 ≤0.8 ≤0.8	≤0.03	≤0.03	≤0.90	—	0.40~0.65	—	—	—	—	—	≥80 ≥80 ≥90	≥67 ≥67 ≥77	≥19 ≥19 ≥17		-60	≥20		
E8016-D3																					
E8018-D3																					
F9018-D3																					
E7010-G																					
E8010-G																					
E9010-G																					
E10010-G																					
E11010-G																					
E12010-G																					
E7011-G																					
E8011-G																					
E9011-G																					
E10011-G																					
E11011-G																					
E12011-G																					
E8013-G																					
E9013-G																					
E10013-G																					
E11013-G																					
E12013-G																					
E7015-G																					
E8015-G																					
E9015-G																					
E10015-G																					
E11015-G																					
E12015-G																					
E7016-G																					
E8016-G																					
F9016-G																					
E10016-G																					
E11016-G																					
E12016-G																					
	—	≥1.00 ^②	≥0.80 ^③	—	—	≥0.50 ^④	≥0.30 ^⑤	≥0.20 ^⑥	≥0.10 ^⑦	≥0.20 ^⑧	—	—	—	≥100	≥87	≥13	—	—	—	—	F

续表

型号	熔敷金属化学成分/%													拉伸试验			冲击试验		热处理
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Al	Nb	N	σ_b /ksi	$\sigma_{0.2}$ /ksi	δ_5 /%	温度 /°F	A_{KV} /ft·lb	
E7018-G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 70	≥ 57	≥ 22	—	—	—
E8018-G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 80	≥ 67	≥ 19	—	—	—
E9018-G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 90	≥ 77	≥ 17	—	—	—
E10018-G	—	—	—	—	—	$\geq 0.50^D$	$\geq 0.30^D$	$\geq 0.20^D$	$\geq 0.10^D$	$\geq 0.20^D$	—	—	—	≥ 100	≥ 87	≥ 16	—	—	F
E11018-G	—	$\geq 1.00^D$	$\geq 0.80^D$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 110	≥ 97	≥ 15	—	—	—
E12018-G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 120	≥ 107	≥ 14	—	—	—
E7020-G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 70	≥ 57	≥ 25	—	—	—
E7027-G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 70	≥ 57	≥ 25	—	—	—
E9018-M	—	0.60~1.25	≤ 0.80	—	—	1.40~1.80	≤ 0.15	≤ 0.35	—	—	—	—	—	≥ 90	78~90	≥ 24	—	—	—
E10018-M	≤ 0.10	0.75~1.70	≤ 0.60	≤ 0.030	—	1.40~2.10	≤ 0.35	0.25~0.50	—	—	—	—	—	≥ 100	88~100	≥ 20	—	—	—
E11018-M	—	1.30~1.80	≤ 0.60	≤ 0.030	—	1.25~2.50	≤ 0.40	0.25~0.50	≤ 0.05	—	—	—	—	≥ 110	98~110	≥ 20	—	—	≥ 20
E12018-M	—	1.30~2.25	≤ 0.60	—	—	1.75~2.50	0.30~1.50	0.30~0.55	—	—	—	—	—	≥ 120	108~120	≥ 18	—	—	—
E12018M1	≤ 0.10	0.80~1.60	≤ 0.65	≤ 0.015	≤ 0.012	3.00~3.80	≤ 0.65	0.20~0.30	≤ 0.05	—	—	—	—	≥ 120	106~120	≥ 18	0	≥ 50	—
E7010-P1	≤ 0.20	≤ 1.20	≤ 0.60	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 0.30	≤ 0.50	≤ 0.10	—	—	—	—	≥ 70	≥ 60	≥ 22	—	≥ 20	—
E8010-P1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 80	≥ 67	≥ 19	—	≥ 20	—
E7018-W1	≤ 0.12	0.40~0.70	0.40~0.70	≤ 0.025	≤ 0.025	0.20~0.40	0.15~0.30	—	≤ 0.08	0.30~0.60	—	—	—	≥ 70	≥ 60	≥ 25	0	≥ 20	—
E8018-W2	≤ 0.12	0.50~1.30	0.35~0.80	≤ 0.03	≤ 0.03	0.40~0.80	0.45~0.70	—	—	0.30~0.75	—	—	—	≥ 80	≥ 67	≥ 19	0	≥ 20	—

① 元素中至少有一个满足要求。

注：1. 力学性能试验用焊接件的热处理条件如下。

A~F—以 150~500 °F/1 h 的速度升温到规定温度后，保温 1 h，再以 350 °F/1 h 的速度炉冷到 600 °F，然后空冷^c。

F—是否需要进行热处理，或热处理规范由供需双方商定。

2. 药皮类型、焊接位置及电流种类如右表，焊接位置符号的意义说明，F—平焊；V—立焊；OH—仰焊；H—横焊；H-F—平角焊。

型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E××10-×	纤维素型(钠)	F.V.OH.H	DC+
E××11-×	纤维素型(钾)	F.V.OH.H	AC或DC+
E××13-×	钛型(钾)	F.V.OH.H	AC或DC+
E××15-×	低氢型(钠)	F.V.OH.H	DC+
E××16-×	低氢型(钾)	F.V.OH.H	AC或DC+
E××18-×	铁粉低氢型	F.V.OH.H	AC或DC+
E××20-×	氧化铁型	H-Fil	AC或DC-
		F	AC或DC±
E××27-×	铁粉氧化铁型	H-Fil	AC或DC
		F	AC或DC±

3. AWS A5.11-1997《镍及镍合金焊条》标准摘录

镍及镍合金焊条 (AWS A5.11-1997)

型号	熔敷金属化学成分/%															熔敷金属力学性能			
	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni ^①	Co	Al	Ti	Cr	Nb(Cb) +Ta ^②	Mo	V	W	其他元素合计	σ _b /ksi	δ
ENi-1	≤0.10	≤0.75	≤0.75	≤0.03	≤0.02	≤1.25	≤0.25	≥92.0	—	—	1.0~4.0	—	—	—	—	—	≤0.50	≥60	≥20
ENiCr-7	≤0.15	≤4.00	≤2.5	≤0.02	≤0.015	≤1.5	余	62.0~69.0	—	—	≤1.0	—	—	—	—	—	≤0.50	≥70	≥30
ENiCrFe-1	≤0.08	≤3.5	≤11.0	≤0.03	≤0.015	≤0.75	≤0.50	≥62.0	—	—	—	13.0~17.0	1.5~4.0	—	—	—	≤0.50	≥80	≥30
ENiCrFe-2	≤0.10	1.0~3.5	≤12.0	≤0.03	≤0.02	≤0.75	≤0.50	≥62.0	②	②	—	13.0~17.0	0.5~3.0	0.5~2.5	—	—	≤0.50	≥80	≥30
ENiCrFe-3	≤0.10	5.0~9.5	≤10.0	≤0.03	≤0.015	≤1.0	≤0.50	≥59.0	②	②	≤1.0	13.0~17.0	1.0~2.5	—	—	—	≤0.50	≥80	≥30
ENiCrFe-4	≤0.20	1.0~3.5	≤12.0	≤0.03	≤0.02	≤1.0	≤0.50	≥60.0	—	—	—	13.0~17.0	1.0~3.5	1.0~3.5	—	—	≤0.50	≥95	≥20
ENiCrFe-7	≤0.05	≤5.0	7.0~12.0	≤0.03	≤0.015	≤0.75	≤0.50	余	②	②	≤0.50	28.0~31.5	1.0~2.5	≤0.5	—	—	≤0.50	≥80	≥30
ENiCrFe-9	≤0.15	1.0~4.5	≤12.0	≤0.02	≤0.015	≤0.75	≤0.50	≥55.0	—	—	—	12.0~17.0	0.5~3.0	2.5~5.5	—	≤1.5	≤0.50	≥95	≥25
ENiCrFe-10	≤0.20	1.0~3.5	≤12.0	≤0.02	≤0.015	≤0.75	≤0.50	≥55.0	—	—	—	13.0~17.0	1.0~3.5	1.0~3.5	—	1.5~3.5	≤0.50	≥95	≥25
ENiMo-1	≤0.07	≤1.0	4.0~7.0	≤0.04	≤0.03	≤1.0	≤0.50	余	≤2.5	—	—	≤1.0	—	26.0~30.0	≤0.60	—	≤0.50	≥100	≥25
ENiMo-3	≤0.12	≤1.0	4.0~7.0	≤0.04	≤0.03	≤1.0	≤0.50	余	≤2.5	—	—	2.5~5.5	—	23.0~27.0	≤0.60	—	≤0.50	≥100	≥25
ENiMo-7	≤0.02	≤1.75	≤2.25	≤0.04	≤0.03	≤0.2	≤0.50	余	≤1.0	—	—	≤1.0	—	26.0~30.0	—	≤1.0	≤0.50	≥100	≥25
ENiMo-8	≤0.10	≤1.5	≤10.0	≤0.02	≤0.015	≤0.75	≤0.50	≥60.0	—	—	—	0.5~3.5	—	17.0~20.0	—	2.0~4.0	≤0.50	≥95	≥25
ENiMo-9	≤0.10	≤1.5	≤7.0	≤0.02	≤0.015	≤0.75	0.3~1.3	≥62.0	—	—	—	—	—	18.0~22.0	—	2.0~4.0	≤0.50	≥95	≥25
ENiMo-10	≤0.02	≤2.0	1.0~3.0	≤0.04	≤0.03	≤0.2	≤0.50	余	≤3.0	—	—	1.0~3.0	—	27.0~32.0	—	≤3.0	≤0.50	≥100	≥25
ENiCrCoMo-1	0.05~0.15	0.3~2.5	≤5.0	≤0.03	≤0.015	≤0.75	≤0.50	余	9.0~15.0	—	—	21.0~26	≤1.0	8.0~10.0	—	—	≤0.50	≥90	≥25
ENiCrMo-1	≤0.05	1.0~2.0	18.0~21.0	≤0.04	≤0.03	≤1.0	1.5~2.5	余	≤2.5	—	—	21.0~23.5	1.75~2.50	5.5~7.5	—	≤1.0	≤0.5	≥90	≥20
ENiCrMo-2	0.05~0.15	≤1.0	17.0~20.0	≤0.04	≤0.03	≤1.0	≤0.50	余	0.5~2.5	—	—	20.5~23.0	—	8.0~10.0	—	0.2~1.0	≤0.5	≥95	≥20
ENiCrMo-3	≤0.10	≤1.0	≤7.0	≤0.03	≤0.02	≤0.75	≤0.50	≥55.0	②	②	—	20.0~23.0	3.15~4.15	8.0~10.0	—	—	≤0.5	≥110	≥30
ENiCrMo-4	≤0.02	≤1.0	4.0~7.0	≤0.04	≤0.03	≤0.2	≤0.50	余	≤2.5	—	—	14.5~16.5	—	15.0~17.0	≤0.35	3.0~4.5	≤0.5	≥100	≥25
ENiCrMo-5	≤0.10	≤1.0	4.0~7.0	≤0.04	≤0.03	≤1.0	≤0.50	余	≤2.5	—	—	14.5~16.5	—	15.0~17.0	≤0.35	3.0~4.5	≤0.5	≥100	≥25
ENiCrMo-6	≤0.10	2.0~4.0	≤10.0	≤0.03	≤0.02	≤1.0	≤0.50	≥55.0	—	—	—	12.0~17.0	0.5~2.0	5.0~9.0	—	1.0~2.0	≤0.5	≥90	≥35
ENiCrMo-7	≤0.015	≤1.5	≤3.0	≤0.04	≤0.03	≤0.2	≤0.50	余	2.0	—	≤0.70	14.0~18.0	—	14.0~17.0	—	—	≤0.5	≥100	≥25
ENiCrMo-9	≤0.02	≤1.0	18.0~21.0	≤0.04	≤0.03	≤1.0	1.5~2.5	余	≤5.0	—	—	21.0~23.5	≤0.5	6.0~8.0	—	≤1.5	≤0.5	≥90	≥25
ENiCrMo-10	≤0.02	≤1.0	2.0~6.0	≤0.03	≤0.015	≤0.2	≤0.50	余	≤2.5	—	—	20.0~22.5	—	12.5~14.5	≤0.35	2.5~3.5	≤0.5	≥100	≥25
ENiCrMo-11	≤0.03	≤1.5	13.0~17.0	≤0.04	≤0.02	≤1.0	1.0~2.4	余	≤5.0	—	—	28.0~31.5	0.3~1.5	4.0~6.0	—	1.5~4.0	≤0.5	≥85	≥25
ENiCrMo-12	≤0.03	≤2.2	≤5.0	≤0.03	≤0.02	≤0.7	≤0.50	余	—	—	—	20.5~22.5	1.0~2.8	8.8~10.0	—	—	≤0.5	≥95	≥25
ENiCrMo-13	≤0.02	≤1.0	≤1.5	≤0.015	≤0.01	≤0.2	—	余	—	—	—	22.0~24.0	—	15.0~16.5	—	—	≤0.5	≥100	≥25
ENiCrMo-14	≤0.02	≤1.0	≤5.0	≤0.02	≤0.02	≤0.25	≤0.50	余	—	—	≤0.25	19.0~23.0	—	15.0~17.0	—	3.0~4.4	≤0.5	≥100	≥30

① Ni中所含Co作为杂质。

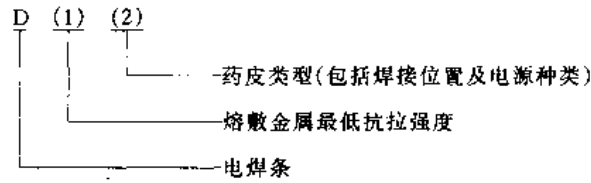
② 按规定Co含量的场合, 小于0.12。

③ 按规定Ta含量的场合, 小于或等于0.30。

注: 1 ksi=6.89 MPa。

(四) 其他国家标准

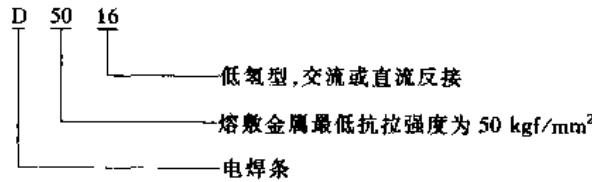
1. 日本 JIS Z3211—1991、JIS Z3212—1990 (部分)



(1) 熔敷金属的抗拉强度和屈服点

类别	记号	最低抗拉强度/ N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	最低屈服点/ N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	类别	记号	最低抗拉强度/ N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	最低屈服点/ N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)
低碳钢	43	420(43)	345(35)	高强钢	53	520(53)	410(42)
高强钢(部分)	50	490(50)	390(40)	(部分)	58	570(58)	490(50)

例 D4303、D4327、D5016、D5826



(2) 焊接位置、药皮类型(熔敷金属的伸长率、冲击功、电源、扩散氢含量)

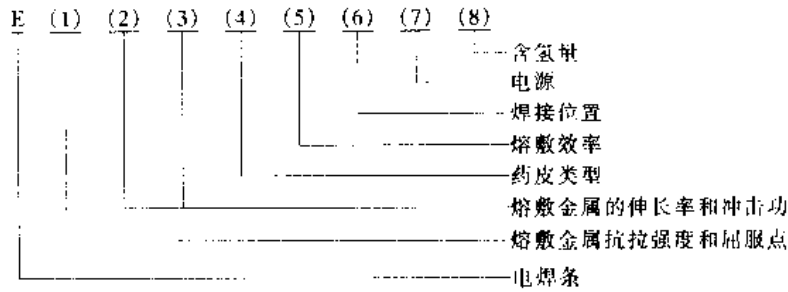
类别	记号	伸长率 /%不小于	冲击功(夏比)		药皮类型	熔敷效率	焊接位置	电 源	扩散氢 /mL·(100 g) ⁻¹		
			/°C	/J(kgf·m)不小于							
D43	01	22	0	47(4.8)	钛铁矿型	不规定	F、V、OH、H	AC 或 DC(±)	—		
	03	22		27(2.8)	钛钙型			AC 或 DC(+)			
	11	—		—	纤维素型			AC 或 DC(-)			
	13	17		—	—		钛型	F、H-Fil		AC 或 DC(+)	15 以下
	16	25		47(4.8)	低氢型		AC 或 DC(±)			—	
	24	17		—	铁粉氧化钛型		AC 或 DC(+)			15 以下	
	26	25		47(4.8)	—		铁粉低氢型	F、V、OH、H、H-Fil		平焊 AC、DC(±)	—
	27	27(2.8)		—	铁粉氧化铁型		横角焊 AC、DC(-)				
	40	22		—	特殊型						
D50	00	20	0	47(4.8)	特殊型	不规定	F、V、OH、H、	AC 或 DC(±)	—		
	01				钛铁矿型						
	03				钛钙型						
	16	23		47(4.8)	低氢型		F、H-Fil	15 以下			
	26	—		—	铁粉低氢型			15 以下			
D53	00	18	47(4.8)	特殊型	不规定	F、V、OH、H、H-Fil	AC 或 DC(+)	—			
	16	20		低氢型							
	26	—		—					铁粉低氢型	12 以下	
D58	16	18	-5	47(4.8)	低氢型	不规定	F、V、OH、H	—	10 以下		
	26				—					—	铁粉低氢型

注: 1. 焊接位置符号(φ5 mm 以下适用), F—平焊; V—立焊; OH—仰焊; H—横焊; H-Fil—船形焊。

2. 电流符号说明, AC—交流; DC—直流; DC(+)—焊条为正极; DC(-)—焊条为负极。

3. 伸长率为 δ₄。

2. 英国 BS 639—1986



(1) 熔敷金属抗拉强度和屈服点

记号	抗拉强度/ $N \cdot mm^{-2}$	屈服点/ $N \cdot mm^{-2}$ 不小于
43	430~550	330
51	510~650	360

(2) 熔敷金属的伸长率和冲击值 (第1位数字)

区分	记号	伸长率/% 不小于	冲击功 (夏比)	区分	记号	伸长率/% 不小于	冲击功 (夏比)
			J 不小于				J 不小于
E43	0	不规定		E51	0	不规定	
	1	20	28 (20℃)		1	18	28 (20℃)
	2	22	28 (0℃)		2	18	28 (0℃)
	3	24	28 (-20℃)		3	20	28 (-20℃)
	4	24	(-30℃)		4	20	28 (-30℃)
	5	24	(-40℃)		5	20	28 (-40℃)

(3) 熔敷金属的伸长率和冲击值 (第2位数字)

区分	记号	伸长率/% 不小于	冲击功 (夏比)	区分	记号	伸长率/% 不小于	冲击功 (夏比)
			J 不小于				J 不小于
E43	0	不规定		E51	2	22	47 (0℃)
	1	22	47 (20℃)		3	22	47 (-20℃)
	2	22	47 (0℃)		4	18	41 ^① (-30℃)
	3	22	47 (-20℃)		5	—	— (-40℃)
E51	0	不规定			6	18	47 (-50℃)
	1	22	47 (20℃)				

① 没有一个冲击功小于 20 J。

(4) 药皮类型

记号	种类	记号	种类
A	酸性 (氧化铁型)	O	氧化性
AR	酸性 (氧化钛型)	R	金红石型 (中厚药皮)
B	碱性 (低氢型)	RR	金红石型 (厚药皮)
C	纤维素型	S	其他类型

(5) 熔敷效率

记号	熔敷效率/%	记号	熔敷效率/%
无标记	105 以下
110	$\geq 105, < 115$	150	$\geq 145, < 155$
120	$\geq 115, < 125$

(6) 焊接位置

记号	内容	记号	内容
1	全位置	4	平焊
2	全位置(向下立焊除外)	5	平焊、向下立焊、横角焊、船形焊
3	平焊、船形焊	6	上面的位置任何组合

(7) 电源

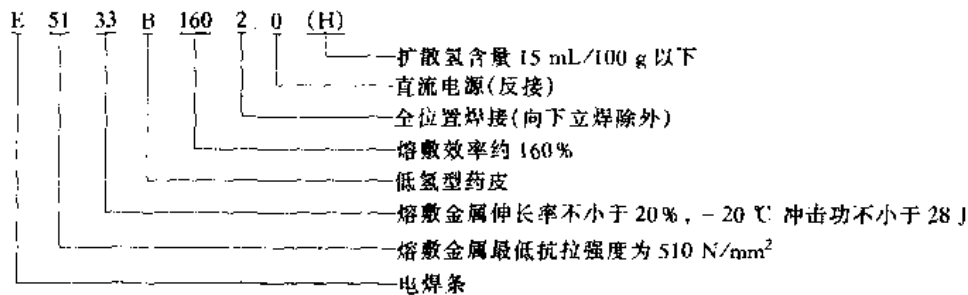
记号	直流极性	交流 U_0/V	记号	直流极性	交流 U_0/V
0	根据厂商介绍的极性	不适合用于交流电	5	-	70
1	±	50	6	+	70
2	-	50	7	±	90
3	+	50	8	-	90
4	±	70	9	+	90

注：+—焊条为正极；--焊条为负极；±—焊条极性不限定； U_0 —焊机空载电压。

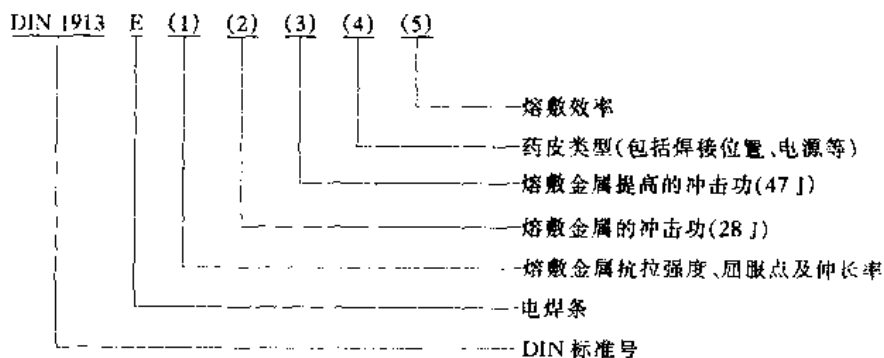
(8) 含氢量

记号	内容
(H)	水银法扩散氢量 15 mL/100 g 以下

例 E43 21 R13、E51 33 B160 20(H)



3. 德国 DIN1913—1984



(1) 熔敷金属抗拉强度、屈服点和伸长率

记号	抗拉强度 /N·mm ⁻²	最小屈服点 /N·mm ⁻²	伸长率 /%	记号	抗拉强度 /N·mm ⁻²	最小屈服点 /N·mm ⁻²	伸长率 /%
43	430~550	≥360	≥22	51	510~650	≥380	≥22

(2) 熔敷金属的冲击功 (28 J)

记号	冲击功 (夏比)		记号	冲击功 (夏比)	
	最小值/J			最小值/J	
0	不规定		3	28 (-20℃)	
1	28 (+20℃)		4	28 (-30℃)	
2	28 (0℃)		5	28 (-40℃)	

注: 单个最低值为 20 J。

(3) 熔敷金属提高的冲击功 (47 J)

记号	最小冲击功 (夏比) /J	记号	最小冲击功 (夏比) /J
0	不规定	3	47 (-20℃)
1	47 (+20℃)	4	47 (-30℃)
2	47 (0℃)	5	47 (-40℃)

注: 单个最低值为 32 J。

(4) 焊条种类

级别	焊条类型	药皮类型	焊接位置 ^②	电源 ^③	氢含量 /mL·(100 g) ⁻¹	药皮厚度/% (占焊芯直径比例)	
2	A2	酸性(薄)	1	5	—	≤120	
	R2	钛型(薄)	1	5			
3	R3	钛型(中厚)	2、(1)	2		120~155	
	R(C)3	金红石-纤维素(中厚)	1	2			
4	C4	纤维素(中厚)	1	0 ⁺ 、(6)		120~155	
5	A5	酸性(厚)	2	2		155~165	
	RR(C)5	钛型(厚)	1				
6	RR6	钛型(厚)	2	2		>165	
	RR(C)6	金红石-纤维素(厚)	1	2			
7	A7	酸性(厚)	2	5		>155	
	AR7	酸性金红石型(厚)	2	5			
	RR(B)7	金红石碱性(厚)	2	5			
8	RR8	钛型(厚)	2	2		>155	
	RR(B)8	金红石碱性(厚)	2	5			
9	B9	碱性(厚)	1	0 ⁺ 、(6)		10以下	>155
	B(R)9	碱性 ^① (厚)	1	6		10以下	

续表

级别	焊条类型	药皮类型	焊接位置 ^②	电源 ^③	氢含量 /mL·(100 g) ⁻¹	药皮厚度/% (占焊芯直径比例)
10	B10	碱性(厚)	2	0 ⁺ 、(6)	10 以下	>155
	B(R)10	碱性 ^① (厚)	2	6	10 以下	
11	RR11	钛型(熔敷效率≥150%)	4、(3)	5	—	>155
	AR11	酸性(金红石型)(熔敷效率 150%)	4、(3)	5		
12	B12	碱性(熔敷效率)≥120%)	4、(3)	0 ⁺ 、(6)	10 以下	>155
	B(B)12	碱性(熔敷效率)≥120%)	4、(3)	0 ⁺ 、(6)	10 以下	

① 含有非碱性物质；(薄)、(中厚)、(厚)系指药皮厚度。

② 括号中数字表示用于小直径或低效率焊条。

③ 括号中数字表示限制使用的电源种类。

(4)₂ 焊接位置

记号	内 容	记号	内 容
1	全位置	3	平对接、平角焊、横角焊
2	全位置(向下立焊除外)	4	平对接、平角焊

(4)₃ 电源

记号	直流极性	交流 U_0/V	记号	直流极性	交流 U_0/V
0	±	不规定	4	±	70
0 ⁻	-		5	-	
0 ⁺	+		6	+	
1	±	50	7	±	90
2	-		8	-	
3	+		9	+	

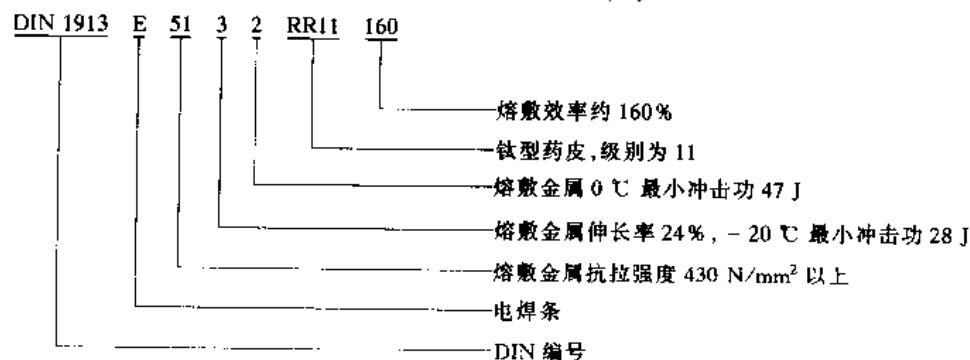
注：“+”、“-”表示焊条极性为正、负。

(5) 熔敷效率

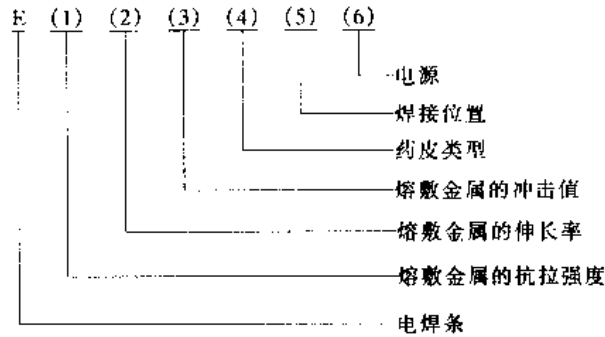
记号	熔敷效率/%	记号	熔敷效率/%
140	≥135, <145	180	≥175, <185
160	≥155, <165	每隔 20 一档	

注：RR11、AR11；B12、B(R)12 的熔敷效率在 135% 以上才表示。

例 DIN1913E5132RR11 160DIN1913、E4332RR(C)6



4. 法国 NFA 81-309—1978



(1) 熔敷金属的抗拉强度

记号	最小抗拉强度/kgf·mm ⁻² (N·mm ⁻²)	记号	最小抗拉强度/kgf·mm ⁻² (N·mm ⁻²)
0	—	4	52(510)
1	41(400)	5	56(550)
2	44(430)	6	60(590)
3	48(470)		

(2) 熔敷金属的伸长率

记号	最小伸长率/%	记号	最小伸长率/%
0	—	3	22
1	14	4	26
2	18	5	30

(3) 熔敷金属的冲击值

记号	最小冲击值/kgf·m·cm ⁻² (N·m·cm ⁻²)	记号	最小冲击值/kgf·m·cm ⁻² (N·m·cm ⁻²)
0	—	3	9(88)
1	5(49)	4	11(108)
2	7(69)	5	13(127)

(4) 药皮类型

记号	类型	记号	类型
O	氧化铁型	A	酸性
B	碱性	C	纤维素型
R	金红石型	V	其他类型

(5) 焊接位置

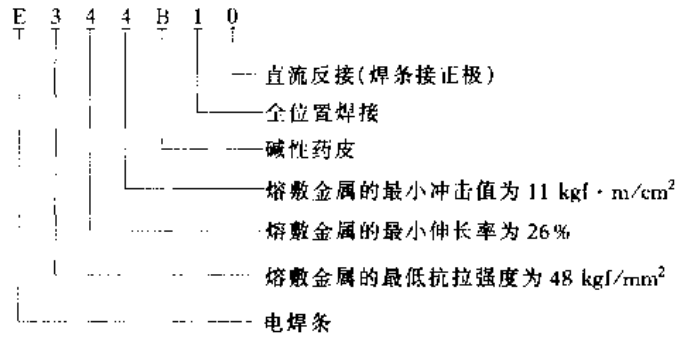
记号	内容	记号	内容
1	全位置	3	平焊、横角焊、船形焊
2	全位置(向下立焊除外)	4	平焊、船形焊

(6) 电源

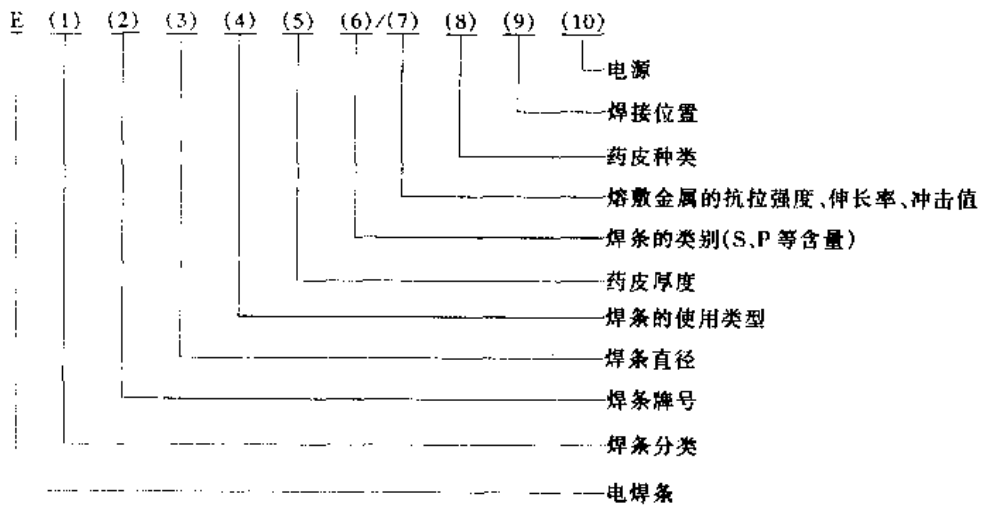
记号	直流	交流 U ₀ /V	记号	直流	交流 U ₀ /V
0	+	—	5	—	70
1	不规定	50	6	+	70
2	—	50	7	不规定	90
3	+	50	8	—	90
4	不规定	70	9	+	90

注：“+”、“-”为焊条接正、负极。

例 E344B10



5. 俄罗斯 ГОСТ 9466—1975、ГОСТ 9467—1975 (R88)



(1) 焊条分类

型号	熔敷金属		接头			熔敷金属化学成分							
	最低抗拉强度 /kgf·mm ⁻² (N·mm ⁻²)	最小伸 长率 /%	冲击值		φ3.0 mm 以下			S/%最大			P/%最大		
			温度	最小值 /kgf·m·cm ⁻² (N·m·cm ⁻²)	最低抗拉强度 /kgf·mm ⁻² (N·mm ⁻²)	最小弯 曲角度 /(°)	焊条类别						
							1	2	3	1	2	3	
Э38	38(370)	14	常温	3(30)	38(370)	60	0.045	0.040	0.035	0.050	0.045	0.040	
Э42	42(410)	18		8(80)	42(410)	150							
Э46	46(450)	18		8(80)	46(450)	150							
Э50	50(490)	16		7(70)	50(490)	120	0.035	0.030	0.025	0.040	0.035	0.030	
Э42A	42(410)	22		15(150)	42(410)	180							
Э46A	46(450)	22		14(140)	46(450)	180							
Э50A	50(490)	20		13(130)	50(490)	150							
Э55	55(540)	20		12(120)	55(540)	150							
Э60	60(590)	18		10(100)	60(590)	120							

(2) 焊条牌号 (略)

(3) 焊条尺寸

记号	直径	焊条长度		磨尾长度	记号	直径	焊条长度		磨尾长度		
		低碳钢芯	合金钢芯				低碳钢芯	合金钢芯			
1.6	1.6	200	150	20	3.0	3.0	300	300 (350)	25		
			200				350				
		250	(250)				(450)				
2.0	2.0	250	200	20	4.0	4.0	350	350			
			250				450	(450)			
		(300)	(300)								
2.5	2.5	250	250	20	5.0	5.0	450	350 450			
		300								6.0	6.0
		(350)	(300)							8.0	8.0
										10.0	10.0
									12.0	12.0	
				30							

(4) 焊条的使用类型

记号	内容	记号	内容
У	60 kgf/mm ² (589 N/mm ²)以下结构钢	В	高合金钢
Д	60 kgf/mm ² (589 N/mm ²)以上结构钢	Н	堆焊
Т	耐热合金钢		

(5) 药皮厚度

记号	内容	记号	内容
М	薄药皮(≤1.20)	Д	厚药皮(>1.45, ≤1.80)
С	普通药皮(>1.20, ≤1.45)	Г	极厚药皮(>1.80)

注：括号内的数字表示焊条外径与焊芯直径之比。

(6) 焊条的分类、制造表面质量、熔敷金属杂质(S、P)含量参照(1)、(2)、(3)。

(7) 熔敷金属的抗拉强度、伸长率、冲击值

记号 (第1)	最低抗拉强度		最小伸 长率 /%	最小冲击值(夏比) /kgf·m·cm ⁻² (N·m·cm ⁻²)	记号 (第1)	最低抗拉强度		最小伸 长率 /%	最小冲击值(夏比) /kgf·m·cm ⁻² (N·m·cm ⁻²)
	/N·mm ⁻²	/kgf·mm ⁻²				/N·mm ⁻²	/kgf·mm ⁻²		
410	410	42	20	不规定	434	430	44	24	3.5(34)(-30℃)
411			20	3.5(34)(+20℃)	435			24	3.5(34)(-40℃)
412			22	3.5(34)(0℃)	436			24	3.5(34)(-50℃)
413			24	3.5(34)(-20℃)	437			24	3.5(34)(-60℃)
414			24	3.5(34)(-30℃)	510			18	不规定
415			24	3.5(34)(-40℃)	511			18	3.5(34)(+20℃)
416			24	3.5(34)(-50℃)	512			18	3.5(34)(0℃)
417			24	3.5(34)(-60℃)	513			20	3.5(34)(-20℃)
430			430	44	20			不规定	514
431	20	3.5(34)(+20℃)			515	20	3.5(34)(-40℃)		
432	22	3.5(34)(0℃)			516	20	3.5(34)(-50℃)		
433	24	3.5(34)(-20℃)			517	20	3.5(34)(-60℃)		

(7)₂ 冲击值

记号 (第2)	最小冲击值	记号 (第2)	最小冲击值
	$\text{kgf}\cdot\text{m}\cdot\text{cm}^{-2}(\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{cm}^{-2})$		$\text{kgf}\cdot\text{m}\cdot\text{cm}^{-2}(\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{cm}^{-2})$
0	不规定	4	3.5(34)(-30℃)
1	3.5(34)(+20℃)	5	3.5(34)(-40℃)
2	3.5(34)(0℃)	6	3.5(34)(-50℃)
3	3.5(34)(-20℃)	7	3.5(34)(-60℃)

注：这个记号(第2)是表示在(7)₁的记号之后用()表示的，如432的-40℃冲击值3.5 kgf·m/cm²以上，用(5)表示成432(5)。

(8) 药皮种类

记号	种类	记号	种类
A	酸性	B	碱性
Ⅱ	纤维素型	Ⅲ	其他
P	钛型		

注：药皮中加入20%以上铁粉用*表示。

(9) 焊接位置

记号	内容	记号	内容
1	全位置	3	平焊、横焊、向上立焊
2	全位置(向下立焊除外)	4	平焊

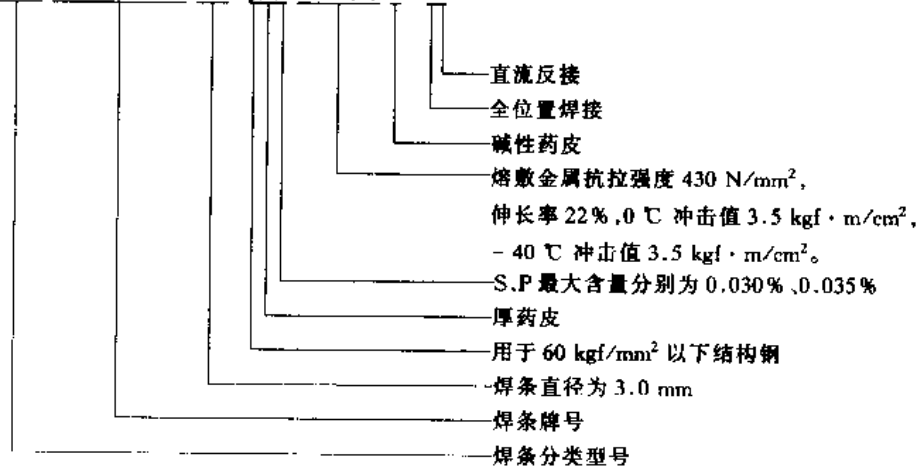
(10) 电源

记号	直流极性	交流 U_0/V		记号	直流极性	交流 U_0/V	
		公称值	偏差			公称值	偏差
0	正极	—	—	4	正或负	70	±10
1	正或负	50	±5	5	正极		
2	正极			6	负极		
3	负极			7	正或负		
				8	正极	90	±5
				9	负极		

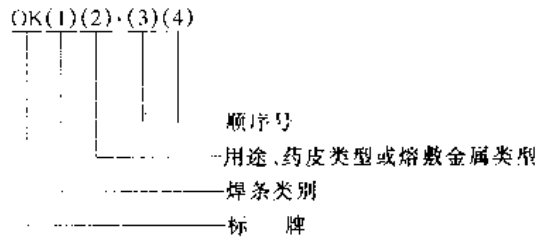
注：正极(焊条+)；负极(焊条-)。

例 Э46А-УОНИ-13/45-3.0-УД2
Е432(5)-В10

Э46А-УОНИ-13/45-3.0 УД2-Е432(5)-В 10



6. 瑞典伊萨 (ESAB) 公司焊条牌号编制方法



(1)		(2)		(3)、(4)	牌号举例
记号	焊条类别	记号	药皮或金属类型		
2	纤维素和深熔焊条, 管道底层焊条	1. 2. 3.	开槽、切割焊条 纤维素型焊条 深熔焊条	顺序号	OK22.45
3	高效率结构钢焊条	3. 4. 8. 9.	金红石型 金红石高效率 低氢型 酸性	数字越大,效率越高	OK Fe _{max} 33.65 OK Fe _{max} 38.95
4	结构钢焊条	3. 6. 8. 9.	金红石型 纤维素金红石型 低氢型 酸性	00 不规定,其余均为顺序号	OK 43.32 OK 46.16 OK 48.68
5	结构钢及特殊型焊条	0. 3. 5.	酸性 特殊型 低氢型高强度锰合金钢		OK 50.40 OK 53.68 OK 55.00
6	不锈钢焊条	1. 2. 3. 4.	Cr19Ni10 Cr19Ni12Mo2 Cr19Ni12Mo3 Cr19Ni13Mo4	×0 钛酸型 ×1 金红石型 ×2 钛碱性 ×3 钛钙型 ×5 碱性	OK 61.30 OK62.53 OK 63.35 OK 64.41
		7. 8.9.	其他奥氏体钢 马氏体和铁素体-奥氏体钢	顺序号	OK 67.75 OK 68.15
7	低合金钢焊条	3. 4. 5. 6. 8.	镍钢 铅钢 Cr、Ni、Mo 和其他合金钢 耐热钢 可淬硬钢	顺序号	OK 76.18 OK 74.79
8	堆焊焊条	3. 4. 5. 6.	低合金钢 高合金钢 工具钢 奥氏体钢	顺序号	OK 86.08
9	铸铁及有色金属焊条	2. 4. 6.	铸铁 铜合金 铝合金		OK 92.18 OK 94.25 OK 96.20

注: × 为数字。

三、国内外电焊条型号对照

国内外碳钢和低合金高强度钢焊条、低合金耐热钢焊条和不锈钢焊条的型号对照见表 9-2 (a), 堆焊焊条型号对照见表 9-2 (b), 镍基铸铁型号和牌号对照分别见表 9-2 (c)、表 9-2 (d)。

表 9-2(a) 国内外焊条型号对照

国别		碳钢和合金高强度钢焊条型号														
标准	标准	E4301	E4303	E4310	E4311	E4313	E4315	E4316	E4320	E4327	E5010	E5024	E5015	E5016	E5018	E5028
中国	GB/T	E4301	E4303	E4310	E4311	E4313	E4315	E4316	E4320	E4327	E5010	E5024	E5015	E5016	E5018	E5028
美国	AWS	E6019	E6011	E6010	E6011	E6012	E6015	E6016	E6020	E6027	E7010-91	E7024	E7015	E7016	E7018	E7048
日本	JIS	D4301	D4303	D4311	D4311	D4313	D4316	D4316	D4320	D4327	D5010	D5003		D5016	D5026	D5026
欧盟	EN		E353C25	E352R12	E353R22	E353B22H	E353B32H	E353B32H	E434AR16034	E512RR13036	E382M6C25	E423B22H10	E380B12H5	E424B12H10	E423B32H5	E424B54H5
英国	BS		E433C10	E4332R15	E4332RRR15	E4343B10(H)	E4343B14(H)	E4343B10	E4354A15035	E5142RR16035	E5154B20(H)	E5154B24(H)	E5143B24(H)	E5154B24(H)	E5154B12016(H)	E5154B16036(H)
德国	DIN		E4343C4	E4332R3	E4333RR8	E4334AR7	E4343B10	E4343B10	E4343ART160	E5142RR11160	E5155B10	E5155B10	E5143B10	E5155B10	E5155B(R)12160	E5155B(R)12200
俄罗斯	ГОСТ	342	342	342	342	342A	342A	342A	346	350	350A	350A	350A	350A	350A	350A
国际标准化组织	ISO		E4333C4	E433R15	E433RR15	E434B20(H)	E434B24(H)	E435A15035	E514RR16035	E515AR19035	E515B20(H)	E515B24(H)	E515B20(H)	E515B24(H)	E515B12016(H)	E515B16036(H)
国别	标准	碳钢和合金高强度钢焊条型号														
中国	GB/T	E5048	E5048	E5515-G	E5516-G	E6015-G	E6016-G	E6015-G	E6016-G	E7015-G	E7015-G	E7015-G	E7015-G	E7515-G	E8515-G	E8515-G
美国	AWS	E7048	E7048	E8016-G	E8018-G	E9016-G	E9018-G	E10015-G	E10016-G	E10018-G	E11015-G	E11016-G	E11018-G	E12015-G	E12016-G	E12018-G
日本	JIS	D5026	D5818	D5316	D5818	D5816	D6216	D7016	D7018	D7016	D7016	D7018	D7016	D7618	D7618	D7618
欧盟	EN	E423B35H5	E506 × × B42H5	E555 × × BT42H5	E625 × × B42	E694 × × B42H5	E694 × × B42H5	E694 × × B42H5	E694 × × B42H5	E694 × × B42H5	E694 × × B42H5	E694 × × B42H5	E694 × × B42H5	E694 × × B42H5	E694 × × B42H5	E694 × × B42H5
英国	BS	E5154B94(H)	E5154B94(H)	E619H	E619H	E619H	E619H	E619H	E619H	E619H	E619H	E619H	E619H	E619H	E619H	E619H

碳钢和低合金高强度钢焊条型号									
国别	标准	低合金耐热钢焊条型号							
德国	DIN	E5154B9	EY50661NiMoBH5 ESY5076 × × BH5	EY5554B × × H5 ESY5576 × × BH5	EY6242B × × H5 EY6975B × × H5	EY6942B × × H5 EY8953 × × BH5	EY7953B × × H5 EY8953 × × BH5		
俄罗斯	ГОСТ	Э50А	Э55А	Э60А	Э70А	Э85А	Э95А		
国际标准化组织	ISO	E515B11055(H) E515B12054(H)	E515B12026H E515B12050H						
国别	标准	低合金耐热钢焊条型号							
中国	GB/T	E5015-A1	E5515-B1	E5515-B2	E5515-B2V	E6015-B3	E1-5MoV-15	E1-9Mo-15	E1-9MoVNb-15
美国	AWS	E7016-A1	E8016-B1 E8018-B1	E8018-B2 E8015-B2 E8016-B2	E8015-B2 E8015-B2	E9015-B3 E9016-B3 E9018-B3	E8015-B6 E8016-B6 E8018-B6	E8015-B8 E8016-B8 E8018-B8	E9018-B9
日本	JIS	DT1216		DT2315 DT2316	DT2315	DT2415 DT2416	DT2516	DT2616	
欧盟	EN	EMoB42H10	ECrMo0.5B42H10	ECrMo1B42H10	ECrMoV1B42H10	ECrMo2B32H10	ECrMo5B42H	ECrMo9B12H5	ECrMo91B12H5
英国	BS	EMoB	EMoB	E1Cr-MoB		E2Cr-MoB	E5Cr-MoB	E9Cr-MoB	
德国	DIN	EMoB10 +		ECrMo1B10 +		ECrMo2B10 +	ECrMo3B10 +	ECrMo9B10 +	ECrMoVNb9B20 +
俄罗斯	ГОСТ	Э-09М	Э-09МХ	Э-09Х1М	Э-09Х1МФ		Э-10Х5МФ		
国际标准化组织	ISO	EMoB20	E05CrMoB20	E1CrMoLB20	E1CrMoVB20	E2CrMoLB20	E5CrMoLB20	E9CrMoB20	ECrMo91B42H10
国别	标准	不锈钢焊条型号							
中国	GB/T	E410-15 E410-16	E430-16	E308L-16	E308-16	E308-16	E308-15	E347-16	
美国	AWS	E410-15 E410-16	E430-16	E308L-16 E308L-17	E308L-16 E308L-17	E308-16 E308-17	F308-15	E347-16	
日本	JIS	D410	D430	D308L	D308			D347	
欧盟	EN	E13B22	E17R12	E19-9LR12	E19-9R	E19-9R	E19-9B	E19-9NB R12	
英国	BS			19-9L-R	19-9R	19-9R	19-9B	19-9NB R	

国别		不锈钢焊条型号						
标准	标准	E13B20+	E17B	E19 9LR E19 9mCR	E19 9R	E19 9B	E19 9NbR	
德国	DIN	E13B20+	E17B	E19 9LR E19 9mCR	E19 9R	E19 9B	E19 9NbR	
俄罗斯	ГОСТ	Э-12Х13		Э-02Х21Н10Г2	Э-07Х20Н9	Э-07Х20Н9	Э-08Х20Н9Г2Б Э-08Х19Н10Г2Б	
国际标准化组织	ISO	E13R E13B	E17R —	E19.9LR E19.9LR	E19.9R	E19.9B	E19.9NbR	
国别	标准	不锈钢焊条型号						
中国	GB/T	E347-15	E316L-16	E316L-16	E316-16	E317-16	E309L-16	
美国	AWS	E347-15	E316L-16 E316L-16	E316L-16	E316-16	E317-16	E309L-16	
日本	JIS		D316L	D316	D316	D317	D309L	
欧盟	EN	E19.9NbB42	E19.12.3LR12	E19.12.3LR12	E19.12.3R12	E19.13.4R12	E23.12LR12	
英国	BS	19.9NbB	19.12.3LR	19.12.3LR	19.12.3R	19.13.4R	23.12LR	
德国	DIN	E19.9NbB	E19.12.3LR	E19.12.3LR	E19.12.3R	E19.13.4R	E23.12LR	
俄罗斯	ГОСТ	Э-0820Н9Г2Б Э-08Х19Н10Г2Б	Э-02Х20Н14Г2М2	Э-02Х20Н14Г2М2	Э-09Х20Н14Г2М2		Э-02Х23Н1Г2	
国际标准化组织	ISO	E19.9NbB	E19.12.3LR	E19.12.3LR	E19.12.3R	E19.13.4R	E23.12R	
中国	GB/T	E309-16	E309Mo-16	E309Mo-16	E310-16	E310-15	E310Mo-16	
美国	AWS	E309-16	E309Mo-16	E309Mo-16	E310-16	E310-15	E310Mo-16	
日本	JIS	D309	D309Mo	D309Mo	D310	D310	D310Mo	
欧盟	EN	E23.12R	E23.12.2R11	E23.12.2R11	E25.20R12	E25.20B42	E25.20Mo4R12	
英国	BS	23.12R	23.12.2R	23.12.2R	25.20R	25.20B	25.20.2	
德国	DIN	E23.12R	E23.12.2R	E23.12.2R	E25.20R	E25.20B	25.20.2	
俄罗斯	ГОСТ	Э-10Х25Н13Г2	Э-10Х25Н13Г2М	Э-10Х25Н13Г2М	Э-14Х25Н20	Э-14Х25Н20	Э-10Х25Н20М2	
国际标准化组织	ISO	E23.12R	E23.12.2R	E23.12.2R	E25.20R	E25.20B	E25.20.2R	

注：型号中×××为化学成分类型。

表 9-2(b) 国内外堆焊焊条型号(相当标准)对照

中国 (GB)	俄罗斯 (ГОСТ)	美国 (AWS)	日本 (JIS)
EDPMn2-03 EDPMn2-15	Э-10Г2		
EDPCrMo-Al-03	Э-30Г2ХМ		
EDPMn3-16 EDPMn3-15	Э-11Г3		
EDPMn4-16	Э-12Г4		
EDPMn6-15	Э-35Г6		
EDPCrMnSi-15	Э-70Х3СМТ		
EDPCrMoV-Al-15	Э-35Х12В3С		
EDMn-A-16		EFeMn-A	DF-MnA
EDMn-B-16		EFeMn-B	DF-MnA
EDCrMn-16 EDCrMn-15	Э-65Х25Г13Н3		DF-MnE
EDD-D-15	Э-80В18Х4Ф		
EDRCrW-15	Э-30В8Х3		
EDRCrMnMo-15	Э-16Г2ХМ		
EDCr-Al-03 EDCr-AL-15			DF-4A
EDCr-B-03 EDCr-B-15	Э-20Х13		DF-4A
EDCrNi-A-15	Э-08Х17Н8С6Г		
EDCrNi-B-15	Э-08Х17Н8С6Г		
EDCrNi-C-15	Э-13Х16Н8МС5Г4В		
EDCrMn-C-15			DF-ME
EDZCr-B-16 EDZCr-B-03	Э-300Х28Н4С4		
EDZCr-C-15	Э-300Х28Н4С4		
EDZ-D-15	Э-350Х26Г2Р2СТ		
EDZ-B2-08	Э-90В10Х5Ф2		
EDCoCr-A-03		ECoCr-A	DF-CoCrA
EDCoCr-B-03		ECoCr-B	DF-CoCrB
EDCoCr-C-03		ECoCr-C	DF-CoCrC
EDCoCr-D-03			DF-CoCrD

表 9-2(c) 国内外镍基铸铁焊条型号对照

中国	日本	美国	德国	英国	国际标准化组织	法国
GB	JIS	AWS	DIN	BS	ISO	
EZNi	DFCNi	ENi-CI	ENiBG22		ENiBG23	ENiBG23
EZNiFe EZNiFeCu	DFCNiFe	ENiFe-CI	ENiFe1BG22		ENiFeBG23	ENiFe-BG23
EZNiCu EZNiCuFe	DFCNiCu	ENiCu-B	ENiCuG3		ENiCu2BG2	

表 9-2(d) 国内外镍基铸铁焊条牌号对照

中国	日本	日本	瑞典	俄罗斯	荷兰	瑞士	法国	德国	美国	
统一 牌号	台湾天泰	神钢	WEL	ESAB		Philips	Oerlikon	SAF	UTP	SMC
Z308	T-Cast 100	CIA-1	WEL NIC 100S	OK 92.18	O34.3 O34.4	801	SUPERFOUTE Ni	SAFONTE Ni	8 8C 88H	NI-ROD NI-ROD 99×
Z408	T-Cast 50	CIA-2	WEL NIC 60	OK 92.58	O3KH-1	802	SUPERFONTE NiFe	SAFONTE DOUCE SAFONTE BM	83FN 85FN 86FN	NI-ROD 55 NI-ROD 55×
Z508	T-Cast 70	CIA-3	WEL MOC 70	OK 92.78	MH4-2	GM	SUPERFONTE NiCu		8Ko	

四、国内外电焊条牌号对照

近年来，焊条的开发、研制速度很快，不断涌现出许多新的产品牌号。随着我国对外经济合作与交流的发展，尤其是加入 WTO，进一步增加了选用国外焊条产品的机会。故参照各国制造厂的产品样本及有关资料，编制了国内外焊条牌号对照表，分别见表 9-3、表 9-4 及表 9-5，供读者参考。需要说明的是，由于在同一型号中可能出现多个牌号，它们在主要成分或力学性能相同或相似的情况下，其焊接工艺性能或效率或其他方面如成分、韧性等可以具有不同的特点，因此，这些牌号不可能是一一对照，而只能是相当的。

表中各制造商的名称说明如下：

HOBART (合伯特) ——美国 ITW 集团合伯特兄弟公司；

LINCOLN (林肯) ——美国林肯电气公司；

SAF (沙福) ——法国液化空气集团沙福公司；

Oerlikon (奥利康) ——法国液化空气集团奥利康公司；

ESAB (伊萨) ——瑞典伊萨集团；

THYSSEN (蒂森) ——德国蒂森公司；

BÖHLER (伯乐) ——奥地利伯乐焊接公司；

KOBE (神钢) ——日本神户制钢所株式会社；

TASETO (油脂) ——日本油脂株式会社；

NITTETSU (日铁) ——日本日铁溶接工业株式会社；

HYUNDAI (现代) ——韩国现代综合金属株式会社；

Metrodc ——英国曼彻特焊接材料公司；

天泰 ——天泰焊材工业股份有限公司 (中国台湾)；

JSC ——俄罗斯特殊焊条股份有限公司；

UTP ——德国 UTP 焊接材料公司；

表 9-3 国内外碳钢管条牌号对照

统一牌号	中 国		日 本		美 国 Lincoln(HOBART)	俄 罗 斯	法 国	德 国	瑞 典	奥 地 利	荷 兰	韩 国
	GB	台湾天泰	神钢	新日铁								
J421	E4313	R-13 R-13D TR-13	B-33 RB-26 TB-24SP TB-35 ZERODE-13	S-13Z FT-51	Fleetweld 7 Fleetweld 57 (HOBART) Star-Star J Star line Exovite	AHO-6 O3C-23 AHO-4 AHO-14 O3C-4	SAFER G49 SAFER G53 SAFER G53L SAFER G53D SAFER H49	THYSSEN SH Blau SH Gelb R Phoenix-Grün M SH Gelb T SH Lila R	ESAB OK50.10 OK43.32 OK46.00 OK50.40 OK46.16	BÖHLER FOX SPE FOX SPEM	PHILIPS 28 48 68 78 46 46S	HYUNDAI S-6013.G S-6013.V S-6013.LOW FUME
J422	E4303	F-03 F-43	TB-24 TB-25 TBI-24 TB-43 TB-44 ZERODE-3	A-3 A-1 S-03Z EX-3A EX-03 EX-03B	46	MP-3						S-4303.V S-4303.T
J423	E4301	E-10 EL-10 E-20	B-17 B-18 B-14 B-15 BI-14 BI-15	G-200 B-1 A-200 G-300 EX-1 G-320		OMM-5 M33-04						S-4301.I S-4301.LF
J424Fe 13~25	E4327	T-27L	IB-20 IB-25 B-27 ZERODE-27	FI-120G EX-7	Jetweld 2 (HOBART 27)	346			OK F _{max} 39.50 OK F _{max} 39.95		C10	S-6027.A S-6027.LOW FUME
J425	E4311	TC-11 TC-11A	HC-24	HICO-500	Fleetweld 35 Fleetweld 35LS Fleetweld 180	BCI ₂ -4 OMA-2	SAFER LF50		OK Pipetrode 22.45 OK Pipetrode 22.65			S-6011.D

续表

统一牌号	中国		日本		美国	俄罗斯	法国	德国	瑞典	奥地利	荷兰	韩国
	GB	台湾天泰	神钢	新日铁								
J427	E4315	TL-46	LB-26 LBM-26	EX-6 EX-16V								
J426	E4316	TL-46D	LB-47 LB-26V ZERODE-6V	EX-16W LS-16		ВН-48 УОНИ13/45	SAFER N48	SH Multi fer 130				
J501Fe	E5014		RB-14		Fleeweld 47 (HOBART 14A)		SAFER GF115	SH Multi Fer 130	OK 46.16		C18	S-7014.F
J501Fe 13~25	E5024	T-24	FB-24 RB-24		Jetweld 1 Jetweld 3 (HOBART 24) (HOBART 24-1)	03C-3	SAFER GF130 SAFER GF180	Phoenix Rot R160s SH Multi Fer 180	OK Fernax 33.65 OK Fernax 33.80	FOX HL 136Ti FOX HL 150Ti FOXHL 180Ti	C23S C23 C23H	S-7024.F
J502	E5003		LTB-50 TBW-52	CT-03								
J507	E5015	TL-50	LB-52 LB-52V	L-55 LS-55	Jetweld LH-70 Jetweld LH-73	АНО-11					56 36S	S-7016.O S-7016.M
J506	E5016	TL-50U	LB-52T	EX-55	Jetweld LH-75	СК-50		SH Grun K70W	OK 48.00	FOX EV30-A	36D	S-7016.H
J506Fe	E5018	TLF-50	LB-52A	TW-50	Jetweld LH-70MR	СК2-50		Phoenix 120k	OK 48.04	FOX EV35	56S	S-7016.LH
		TL-50D	LTB-52A	16-LH	(HOBART 716)	УОНИ 13/55		SH Grun K70	OK 48.15		27	S-7018.G
		TL-508	LB-52-18	L-57	(HOBART 418)						56R	S-7018.1
		TLH-508	LTB-52N	L-55M	(HOBART 718)							
J506Fe 13~25	E5028	TL-56 TL-56L	LBI-52H LBF-52A LB-52-28 LTB-50A	LM-55G EX-55G L-55G	Jetweld LH-3800 (HOBART 728)	АНО-10	SAFER NFS2 SAFER NF150 SUPERSAFER NFS3	SH Multi Fer 150K1 Phoenix Rot B160H	OK Fernax 38.48 OK Fernax 38.65 OK Fernax 38.85 OK Fernax 38.95	FOX HL 160Kb-W FOX HL 180Kb	C6 C6H C6V C57 C57AG	S-7028.F

表 9-4 国内外低合金高强度钢、铸钢耐热钢、铸钢耐锈钢、低温钢焊条牌号对照

中国		台湾天泰		日本		美国	俄罗斯	法国	德国	瑞典	奥地利	荷兰	韩国
统一牌号	GB	TL-60 TLF-60 TL-608	神钢	新日铁	LINCOLN	JSC	SAF	THYSSEN	ESAB	BÖHLER	PHILIPS	HYUNDAI	
J556	E5516-G		LB-57	L-60	Jet-LH8018-C1	УОНИ13/55Y	SAFER N56	Thyssen B90	OK 73.08	FOX EV60	27P	S-8016.G	
J557	E5515-G		LB-76	L-60L	Jet-LH8018-C3		SAFER NF60	SHV2	OK 73.68	FOX EV63	88	S-8018.G	
J556RH				L-60S					OK 76.06	FOX EV65	С75 88S 87		
J606			LB-62	L-62									
J607	E6015-D1	TL-80	LB-62V	L-62									
J606RH	E6016-G	TL-96	LBM-62	L-62CF									
J607Ni		TL-62N	LB-62N	L-62EL		УОНИ13/65Y BCΦ-65Y	SAFER MD56 SAFER NCD010	SH Ni2 K90 SH Schwarz 3K Ni SH Grun K65N	OK 74.78 OK 78.16	FOX FV70 FOX EV70Mo	98	S-9016.G S-9018.M	
J707			LB-62UL	L-74									
J707Ni	E7015-D2	TL-100	LB-106	L-74									
J707RH	E7015-G	TL-108M	BL-106	-74S L-70		ВФС-75Y	SAFER ND70	Thyssen Ni Mo 100	OK 75.65	FOX EV75	108	S-10016.G	
J757			LF-116	L-80									
J757Ni	E7515-G	TL-110 TL-118M	LB-80UL LB-88LT	L-80EL L-80S	JetweldLH-110M								
R107	F5015-A1	TL-76A1 TL-78A1	CMA-76 CMB-76	N-O N-OS	(HOBART) 718A1	ИЛТ-6	SAFER MD52	SH Schwarz 3KR SH Schwarz 3K	OK 75.75	FOX EV85	118	S-10016.G S-11018.M	
R207	E5515-B1	TL-86B1 TL-88B1	CMB-86	M-31 N-31M		TMJL-48 03C-11	SAFER CD55		OK 74.46	FOX DMO Kb	KV2	S-7016.A1 S-7018.A1	
R407	E6015-B3	TL-96B3 TL-98B3	CMA-106 CMB-106 CMB-108	N-2 N-2S N-2SM	(HOBART) 9018B 3) (HOBART 9018B 3L)								
R507	E5MoV-15 (E502-15)	TS-502	CM-5	N-55		ИЛТ-17	SAFER CD75	Phoenix Chromo 5KS	OK76.35	FOX CM5 Kb	KV4L		
R707	E9Mo-15 (F505-15)	TS-505	CM-9				SAFER CD V95		OK 76.96	FOX CM9 Kb	KV7		
W707Ni	E5515-C1	TN-2 TN-28	NB-2 LB-62L	N-12 N-12V	Jet-LH8018-C1 Jet-LH8018-C3		SAFER Ni55	SH Ni2K 70	OK 73.58	POX 2.5 Ni	75	S-8016.C1	
W907Ni	E5515-C2	TN-3 TN-38	NB-3N NB-3J	N-13	(HOBART 8018C2)		SAFER Ni65	SH Ni2K 80			87	S-8016.C2	

低合金高强度钢焊条

铸钢耐热钢焊条

低温钢焊条

表 9-5 国内外不锈钢焊条牌号对照

统一牌号	中国			日本						美国		英国
	GB	台湾天泰	神钢	新日铁	油脂株式会社	特殊电板	住金	日亚	溶接棒	LINCLON(HOBART)	METRODE	
G202	E410-16	TS-144L TS-410	CR-40 CR-40Cb	410Nb	RNY410	NCF-41	# 410Nb	NS-410	WEL 410 WEL 410H	(410-16)		
G207	E410-15				NY410					(410-15)		
A002	E308L-16	TS-308L TS-308LT	NC-38L NC-38EL NC-38LT NC-38ULC	308L.R 308L.RB 308UL.R	RNY 308L TNY 308L3 TNY308L2 EN 308L ES 308L V 308L	NCF-08L	# 308L # 308UL	NS-308L NSN-308L	WEL 308L WEL 308ELC WEL 308ULC WEL 308LA	Blue MAX 308L AC-DC (308L-EN) (SUPER HOBART308L) (SMOOTHARC PLUS316L-16)	Supernet 308L Ultramet 308L Ultramet 308LCF	
A102	E308-16	TS-308 US-308	NC-38 NCA-38 HIMELT-308	308.R 308.RX	RNY 308 EN 308 ES 308	NCF-08	# 308	NS-308 NSN-308	WEL 308 WELZ 308 WEL AZ 308	Blue MAX 308-AC-DC (308-16) SMOOTHARC 308-17		
A107	E308-15							NSD-308	WEL 308-15	Blue MAX 308-DC (308-15)		
A062	F309L-16	TS-309L	NC-39L NCS-39UL HIMELT-309L	309UL.R 309L.RA	RNY 309L ES 309L EN 309L		# 309L	NS-309L	WEL 309L WEL 309LB WEL Z309L WEL AZ309L	(SMOOTHARC 309L-17) (SMOOTH ARC PLUS 309L-16)	Supernet 309L Ultramet 309L	
A022	E316L-16	TS-316L TS-316LT	NC-36L NC-36EL NC-36LT NC-36ULC	316L.R 316UL.R 316L.RA	RNY 316L RNY316L3 RNY 316LT RNY316L2 EN316L V316L RUY316LC	NCF-16L	# 316L	NS-316L NSN-316L	WEL 316L WEL 316ELC WEL 316ULC WEL 316LA	Blue MAX 316L AC-DC (316L-EN) (SUPER HOBART316L) (SMOOTHARC 316L-17) (SMOOTHARC PLUS 316L-16)	Supernet 316L Ultramet 316L Ultramet 316LCF	
A132	E347-16	TS-347	NC-37 NC-37L	347.R	RNY 347	NCF-47	# 347	NS-347	WEL 347 WEL Z347 ZZWEL 347	Blue MAX 347 AC-DC (SMOOTHARC PLUS 347-16)	Ultramet 347	

统一牌号	中国		日本							美国		英国
	GB	台湾大泰	神钢	新日铁	油脂株式	特殊电极	住金	日亚	溶接棒	LINCLON(HOBART)	METRODE	
A137	E347-15										Blue MAX 347-DC	Ultramet B347
A202	E316-16	TS-316	NC-36 NCA-36 HIMELT-316	316.R 316.RX	RNY 316 EN 316 V316	NCF-16	# 316	NS-316 NSN-316	WEL 316 WEL Z316 WEL AZ316	(SMOOTHARC PLVS 316-16)		
A207	E316-15							NSD-316	WEL 316-15	(316-15)		
A242	E317-16	TS-317	NC-317 NC-317L	317L.R	RNY317L RNY317L3	NCF-17	# 317L	NS-317	WEL 317L WEL Z317L WEL AZ317L	(SMOOTHARC PLVS 317-16)		Ultramet 317L
A302	E309-16	TS-309	NC-39 NCA-309 HIMELT-309	309.R 309.RX	RNY 309 EN 309 ES 309 V309	NCF-09	# 309	NS-309 NSN-309	WEL 309 WEL Z309 WEL AZ309	Blue MAX 309 AC-DC (SMOOTHARC PLVS 309-16) (SMOOTHARC 309-17)		Supermet 309Mo Vertamet 309Mo
A312	E309Mo-16	TS-309Mo	NC-39Mo NC-39MoL NCS-39MoL	309M.R	RNY 309Mo RNY309MoL EN 309Mo EN309MoL ES309Mo V309Mo	NCF-09Mo	# 309Mo # 309MoL	NS-309Mo	WEL 309Mo WEL Z309Mo			
A402	E310-16	TS-310	NC-30	310.R	RNY 310	NCF-10	# 310	NS-310 NSN-310	WEL 310 WEL Z310	Blue MAX 310 AC-DC (SMOOTHARC PLVS 310-16)		
A407	F310-15									Blue MAX 310-DC (310-15)		
A412	E310Mo-16	TS-310Mo	NC-310MF NC-30Mo	310M.R	RNY 310Mo	NCF-10Mo			WEL 310Mo			Ultramet B310MoL.N
A607	F330-15				RNY 330	NCF-30	# 330		WEL 330			

续表

中 国	统一牌号	德 国	法 国	德 国	瑞 典		比 利 时	俄 罗 斯	奥 地 利	荷 兰		瑞 士		韩 国
					ESAB	AVESTA				ARCOS	JSC	BÖHLER	PHILIPS	
G202	E410-16	THYSSEN	SAF SUPER SAFINOX 13	Phoenix 4009K	OK 68.15 OK 68.25	393M 739S	Stainlend 14	YOHI13 /HJK	FOX KW10	410-15		66		
G207	E410-15	Phoenix 4009K	SAFINOX R 18.8S SAFINOX R 308L SAFARY 308 HR SAFGREEN 308L	Phoenix 4009K	OK 61.30 OK 61.33 OK 61.41	MVR-H AC/DC MVR-PW AC/DC MVR AC/DC	Chromend ALC Inoxend ALC	03JI-22	FOX EAS2-A FOX EAS 2 VD FOX FAS 2 TS	RS308LC RS308L RS308L-V RS308L-H	RS308LC RS308LC-P RS308LC-H RS308L-V	68LC 68LCHL 684LC 6820LC 6820MoLC	SUPRANOX 308L	S-308L.16N
A022	E316L-16	Phoenix 4430W Thermanit GEW 316-17	SAFINOX R 18.8.35 SAFGREEN 316L SAFINOX RCND.316HF SAFINOX 316HR	Phoenix 4430W Thermanit GEW 316-17	OK 63.33 OK 63.30 OK 63.41 OK 63.34	316L AC/DC SKR AC/DC SKR-H AC/DC	Chromend BLC Inoxend BLC	03JI-20	FOX EAS4 MVD FOX EAS4 MTS FOX EAS4M-A	RM316LC RM316L RM316L-V RM316LC-A	RS316LC RS316LC-P RS316LC-H RS316L-V	68MoLC 68MoLCHL 684MoLC	SUPRANOX 316L SUPRANOX 316LS VERRINOX 316L	S-316L.16N
A062	E309L-16	Phoenix 4332W	SAFINOX RCN 24.12 SAFINOX 309HR	Phoenix 4332W	OK 67.60	309L AC/DC			FOX CN23 /12-A	RS309LC	RS309LC	6824LC	SUPRANOX 309L	S-309L.16N
A102	E308-16	Phoenix 4302W	SAFINOX RCN 18.8	Phoenix 4302W	OK 61.53		Inoxend ALC	03JI-36	FOX AS2-A	INOX15		6820		S-308.16N
A107	E308-15	Phoenix 4302K Thermanit ATS4	SAFINOX BCN 308	Phoenix 4302K Thermanit ATS4	OK 61.35	832 MV-A RUTILE		03JI-8	FOX CN18/11			68K6		
A132	E347-16	Phoenix 4551W Thermanit HEW	SAFINOX RCN 18.8Nb SAFINOX R 347 SAFINOX 347 HR	Phoenix 4551W Thermanit HEW	OK 61.81	MVNb AC/DC	Chromend C		FOX SAS 2-A	RS347LC RSS	RS347LC	68 6820Nb	SUPRANOX 347	S-347.16

续表

中 统 一 牌 号	中 国 GB	法 国	德 国	瑞 典		比 利 时	俄 罗 斯	奥 地 利	荷 兰		瑞 士		韩 国
				ESAB	AVESTA				ARCOS	JSC	BOHLER	PHILIPS	
A137	E347-15	SAF SAFINOX BCN 347	THYSSEN Phoenix 4551K Thermanit HE	OK 61.85 OK 61.91	MV Nb basic		LIT-15 03JL-7 LJT-11	FOX SAS 2 FOX SAS 2R			68NbKb	BASINOX 347	
A202	E316-16	SAFINOX RCND 18.8.3	Phoenix 4403W	OK 62.53 OK 63.32		Chromend B Inoxend B Stainlend B		FOX AS4-A	INOX 2S		6820Mo		S-316.16N
A207	E316-15	SAFINOX BCND 316	Phoenix 4403K	OK 63.35			03JL-2				68MoKb	BATOX BNE	
A242	E317-16	SAFINOX BCND 18.17.5S		OK 63.80 OK 63.85 OK 63.91	832SNR-PW AC/DC 832 SK Nb 832 SLR	Chromend BB Chromend D Inoxend BB			RS317 RSM	BM317L			S-317.16
A302	E309-16	SAFINOX RCN 24.12	Phoenix 4829W Thermanit DW	OK 67.62	309AC/DC	Chromend J	03JL-19	FOX FF-A			6824		S-309.16N
A312	E309Mo-16	SAFINOX R 309Mo SAFDRY R 309Mo		OK 67.70	P5 AC/DC P4 AC/DC	Chromend G Inoxend G			RS309Mo -LC	RS309Mo -LC	6824MoLC	Ferinox VERTINOX 309Mo	S-309Mo.16
A402	E310-16	SAFINOX R 25.20	Phoenix 4842W	OK 67.13	310AC /DC			FOX FFB-A			68H		
A407	E310-15	SAFINOX B 310	Phoenix 4842K Thermanit C	OK 67.15 OK 67.26	310 basic 254E	Chromend H		FOX FFB	BM310	BS310	68HKb	Inox 25/20	S-310.15
A412	E310Mo-16	SAFINOX RCND 25.20		OK 67.33									
A607	E330-15						KTM-7A	FOX FFB400					

表 9-6 国内外堆焊焊条牌号对照

中 国		美 国		美 国		奥地利		瑞 士		美 国		德 国		日 本	
统一牌号	型号	天泰	LINCOLN	McKay	BÖHLER	Eutectic	Alloy Rod	UTP	神钢						
D112	EDPCrMo-A1	TH-26R	WS BU	Ha 32	Fox dur 250	Ferrotrode 28	31P	UTP DUR 250	HF-240						
D156、D172	EDPCrMo-A3	TH-45	WS MM40		Fox dur 350	Eutectrode N2		UTP DUR 350	HF-450						
D212	EDPCrMo-A4	TH-60	WS MM	Ha 58		N61	41P								
D237	EDPCrMoV-A3	TH-80	WS M1		Fox dur 600	EUS 550	51P	UTP DUR 600	HF-12						
		TH-80V	WS T&D	Ha 61		6HSS		UTP 690	HF-650						
D266	EDMn-B	TH-50N-1	WS Mangiet	Ha118	Fox 12MNI-A	Eutectrode 4,40	Ni-Manganese		HF-16						
D276、D277	EDMn-B		WS 15CrMn	Chrome-Mang		3205	Super WH	UTP BMC	MC-16						
			WS 22MnScr WS Frog Mang	Ha 119	Fox Chromos	Eutectrode NI100									
D656	EDZ-A2		WS ABR	Ha 40TiC	Fox dur 650kb	N70		UTP DUR 650kb							
D638		TH-950C	WS 44	Ha 140	Fox dur 60	N6006		UTPLEDURIT 60	HF-30						
			WS ME	Ha 55	Fox dur 65	N6006	40	UTP LEDURIT 65							
		TH-950HN	WS 70	Ha 55TiC		N6710 N6715									
D642	EDCoCr-D		WS C-21						HF-21						
D802	EDCoCr-A	SL-A	WS C-6			9060		UTP CELSIT 706	HF-6						
D822	EDCoCr-C	SL-C	WS C-1			9010		UTP CELSIT 701	HF-1						

注: WS 为 WEARSHIELD, Ha 为 Hardalloy 的缩写。

WEL——日本 WEL 溶接棒株式会社；
 SMC——国际超合金集团焊接产品公司；
 Avesta——瑞典阿维斯塔焊接公司；
 住金——日本住友焊接工业株式会社。

五、日本电焊条标准摘录

日本电焊条标准摘录见表 9-7~表 9-16。

表 9-7 低碳钢电焊条标准 (摘自 JIS Z3211—1991)

焊条种类	药皮类型	焊接位置	电源种类	熔敷金属力学性能			
				抗拉强度 /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	屈服点 /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	伸长率 /%	冲击吸收功 /J (kgf·m)
D4301	钛铁矿型	F、V、O、H	AC 或 DC(±)	≥420 (≥43)	≥345 (≥35)	≥22	≥47 (≥4.8)
D4303	钛钙型	F、V、O、H	AC 或 DC(±)	≥420 (≥43)	≥345 (≥35)	≥22	≥27 (≥2.8)
D4311	纤维素型	F、V、O、H	AC 或 DC(±)	≥420 (≥43)	≥345 (≥35)	≥22	≥27 (≥2.8)
D4313	高氧化钛型	F、V、O、H	AC 或 DC(-)	≥420 (≥43)	≥345 (≥35)	≥17	—
D4316	低氢型	F、V、O、H	AC 或 DC(+)	≥420 (≥43)	≥345 (≥35)	≥25	≥47 (≥4.8)
D4324	铁粉氧化钛型	F、H	AC 或 DC(±)	≥420 (≥43)	≥345 (≥35)	≥17	—
D4326	铁粉低氢型	F、H	AC 或 DC(+)	≥420 (≥43)	≥420 (≥35)	≥25	≥47 (≥4.8)
D4327	铁粉氧化铁型	F、H	F 时 AC 或 DC(±) H 时 AC 或 DC(-)	≥420 (≥43)	≥420 (≥35)	≥25	≥27 (≥2.8)
D4340	特殊型	F、V、O、H 全部或任一位置	AC 或 DC(±)	≥420 (≥43)	≥340 (≥35)	≥22	≥27 (≥2.8)

注：1. 表示焊接位置记号的含义：F—平焊，V—立焊，O—仰焊，H—横焊或横角焊，适用于 $\phi 5.0$ mm 以下的焊条。

2. D4324、D4326 及 D4327 的焊接位置 H，主要是横角焊。

3. 表示电源种类焊记号的含义，AC—交流；DC(±)—直流焊条极性为正或负；DC(-)—直流，焊条为负极；DC(+)—焊条为正极。

4. 对于 D4327，伸长率每增加 2%，屈服点和抗拉强度可降低 9.8 N/mm^2 (1 kgf/mm^2)。但屈服点必须大于 320 N/mm^2 (33 kgf/mm^2)，抗拉强度必须大于 400 N/mm^2 (41 kgf/mm^2)。

5. 冲击吸收功 (2 mmV 形缺口) 的试验温度为 0℃，伸长率为 δ_4 ，下表均同此。

表 9-8 高强度钢电焊条标准 (摘自 JIS Z 3212—1990)

焊条种类	药皮类型	焊接位置	电源种类	熔敷金属力学性能					扩散氢含量 /mL·(100 g) ⁻¹
				σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	试验温度 /℃	A_{kv} /J	
D5001	钛铁矿型	F、V、O、H	AC 或 DC(±)	≥490	≥390	≥20	0	≥47	—
D5003	钛钙型	F、V、O、H	AC 或 DC(±)						

续表

焊条种类	药皮类型	焊接位置	电源种类	熔敷金属力学性能					扩散氢含量 /mL·(100 g) ⁻¹
				σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	试验温度 /°C	A_{kv} /J	
D5016	低氢型	F、V、O、H	AC 或 DC(+)	≥ 490	≥ 390	≥ 23	0	≥ 47	≤ 15
D5316				≥ 520	≥ 410	≥ 20			≤ 12
D5816				≥ 570	≥ 490	≥ 18	-5	≥ 47	≤ 10
D6216				≥ 610	≥ 500	≥ 17	-20	≥ 39	≤ 9
D7016				≥ 690	≥ 550	≥ 16			≤ 7
D7616				≥ 750	≥ 620	≥ 15			≤ 6
D8016				≥ 780	≥ 665				
D5026				铁粉低氢型	F、H	AC 或 DC(+)	≥ 490	≥ 390	≥ 23
D5326	≥ 520	≥ 410	≥ 20				≤ 12		
D5826	≥ 570	≥ 490	≥ 18				-5	≥ 47	≤ 10
D6226	≥ 610	≥ 500	≥ 17				-20	≥ 39	≤ 9
D5000	特殊型	F、V、O、H	AC 或 DC(±)	≥ 490	≥ 390	≥ 20	0	≥ 47	—
D8000				≥ 780	≥ 665	≥ 13		≥ 34	≤ 6

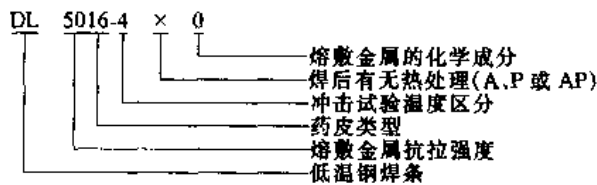
注：焊接位置及电源种类记号的含义同表 9-7。

表 9-9 低温钢用电焊条标准 (摘自 JIS Z3241—1988)

(1) 焊条种类

焊条种类	药皮类型	焊接位置	电源种类
DL5016-3×0	低氢型	F、V、O、H	AC 或 DC(+)
DL5016-4×0			
DL5016-4×1			
DL5016-6×0			
DL5016-6×1			
DL5016-6×2			
DL5016-6×3			
DL5016-10×3、DL5016-10×4			
DL5026-3×0	铁粉低氢型	F、H	AC 或 DC(+)
DL5026-4×0			
DL5026-4×1			
DL5026-6×0			
DL5026-6×1、DL5026-6×2			

注：1. 焊条型号如下表示



2. 焊接位置记号，F—平焊；V—立焊；O—仰焊；H—横焊及横角焊。

3. DL5026 的焊接位置 H 主要是横角焊。

4. 电源种类符号，AC—交流；DC(+)—直流、焊条接正极。

5. 焊后有无热处理符号表示

A—确保焊态焊缝金属力学性能；

P—确保热处理后焊缝金属力学性能；

AP—无论焊态还是热处理后，均确保力学性能。

(2) 熔敷金属的化学成分

化学成分的区分	熔敷金属化学成分/%					
	C	Si	Mn	P	S	Ni
0	≤0.10	≤0.8	0.8~2.0	≤0.025	≤0.020	≤0.8
1			0.6~1.80			0.8~2.0
2	≤1.50	2.0~3.0				
3	≤0.08	≤0.6	≤1.25			3.0~4.0
4	≤0.06		≤1.00	≥4.0		

(3) 熔敷金属的力学性能

化学成分的区分	抗拉强度/ $N \cdot mm^{-2}$ ($kgf \cdot mm^{-2}$)	屈服点/ $N \cdot mm^{-2}$ ($kgf \cdot mm^{-2}$)	伸长率/%	热 处 理	
0	490 (50) 以上	360 (37) 以上	20 以上	(620 ± 15)℃ × 1 h	300℃ 以上时, 加热和冷却速度小于 180℃/h; 300℃ 以下的冷却用炉冷或空冷
1					
2				(600 ± 15)℃ × 1 h	
3					
4	490 (50) 以上	360 (37) 以上	16 以上		

(4) 熔敷金属的 V 形夏比冲击试验温度、吸收功和扩散氢含量

冲击试验温度区分	冲击试验温度/℃	吸收功/J($kgf \cdot m$)	扩散氢含量/ $mL \cdot (100g)^{-1}$
3	-30	平均值 27(2.8) 以上 最小值 21(2.1) 以上	≤15
4	-45		
6	-60		
10	-105		

表 9-10 铝和铝钎耐热钢电焊条标准 (摘自 JIS Z3223—1993)

焊条种类	药皮类型	焊接位置	电源种类	熔敷金属力学性能			
				抗拉强度/ $N \cdot mm^{-2}$ ($kgf \cdot mm^{-2}$)	屈服点/ $N \cdot mm^{-2}$ ($kgf \cdot mm^{-2}$)	伸长率/%	热 处 理
DT1216	低氢型	F、V、 O、H	AC 或 DC(+)	≤490 (≥50)	≥390 (≥40)	≥25	(620 ± 15)℃ 加热 1 h 后, 以 180℃/h 以下的冷却速度炉冷到 315℃ 后空冷
DT2313	高氧化钛型		AC 或 DC(-)	≥560 (≥57)	≥460 (4≥7)	≥16	(690 ± 15)℃ 加热 1 h 后, 以 180℃/h 以下的冷却速度炉冷到 315℃ 后空冷
DT2315	低氢型		DC(+)			≥19	
DT2316	低氢型		AC 或 DC(+)	≥19			
DT2318	铁粉低氢型		AC 或 DC(+)	≥19			
DT2413	高氧化钛型		AC 或 DC(-)	≥630 (≥67)	≥530 (≥54)	≥14	
DT2415	低氢型		DC(+)			≥17	
DT2416	低氢型		AC 或 DC(+)			≥17	
DT2418	铁粉低氢型		AC 或 DC(+)			≥17	
DT2516	低氢型		AC 或 DC(+)	≥440 (≥45)	—	≥25	

续表

熔敷金属的化学成分/%								
焊条种类	C	Mo	Cr	Ni	Mn	Si	P	S
DT1216	≤0.12	0.40~0.65	—	—	≤0.90	≤0.80	≤0.040	≤0.040
DT2313	≤0.12	0.40~0.45	1.00~1.50	—	≤0.90	≤0.80	≤0.040	≤0.040
DT2315	≤0.05	0.40~0.65	1.00~1.50	—	≤0.90	≤1.00	≤0.040	≤0.040
DT2316	≤0.12	0.40~0.65	1.00~1.50	—	≤0.90	≤0.80	≤0.040	≤0.040
DT2318	≤0.12	0.40~0.65	1.00~1.50	—	≤0.90	≤0.80	≤0.040	≤0.040
DT2413	≤0.12	0.90~1.20	2.00~2.50	—	≤0.09	≤0.80	≤0.040	≤0.040
DT2415	≤0.05	0.90~1.20	2.00~2.50	—	≤0.90	≤1.00	≤0.040	≤0.040
DT2416	≤0.12	0.90~1.20	2.00~2.50	—	≤0.90	≤0.80	≤0.040	≤0.040
DT2418	≤0.12	0.90~1.20	2.00~2.50	—	≤0.90	≤0.80	≤0.040	≤0.040
DT2516	≤0.10	0.45~0.65	4.00~6.00	≤0.40	≤0.75	≤0.90	≤0.040	≤0.030

注：1. 焊接位置记号的含义：F—平焊，V—立焊，O—仰焊，H—横焊或横角焊。

2. 表中所列焊接位置，适用于直径4mm以下的焊条。

表 9-11 耐候钢用电焊条标准 (摘自 JIS Z3214—1999)

焊条种类	药皮类型	焊接位置	电源种类	抗拉强度 /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	屈服点 N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	伸长率 /%	冲击试验		
							试验温度 /℃	吸收功(夏比 V) /J(kgf·m)	
DA5001	W	钛铁矿型	F、V、O、H	AC 或 DC(±)	490(50)	390(40)	20	0	47(4.8)
	P								
	G								
DA5003	W	钛钙型	F、V、O、H	AC 或 DC(±)	490(50)	390(40)	20	0	47(4.8)
	P								
	G								
DA5016	W	低氢型	F、V、O、H	AC 或 DC(+)	490(50)	390(40)	23	0	47(4.8)
	P								
	G								
DA5816	W	低氢型	F、V、O、H	AC 或 DC(+)	570(58)	490(50)	18	-5	47(4.8)
	P								
	G								
DA5026	W	铁粉 低氢型	F、H	AC 或 DC(+)	490(50)	390(40)	23	0	47(4.8)
	P								
	G								
DA5826	W	低氢型	F、H	AC 或 DC(+)	570(58)	490(50)	18	-5	47(4.8)
	P								
	G								
DA5000	W	特殊型	F、V、O、H	AC 或 DC(±)	490(50)	390(40)	20	0	47(4.8)
	P								
	G								

续表

熔敷金属的化学成分/%								
焊条种类	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni
DA50XXW	≤0.12	1.40	≤0.90	≤0.040	≤0.030	0.30~0.70	0.45~0.75	0.05~0.70
DA58XXW	≤0.12	0.30~1.40	≤0.90	≤0.040	≤0.030	0.20~0.60	0.30~0.70	—
DA50XXG	≤0.12	1.40	≤0.90	≤0.040	≤0.030	0.20~0.60	≤0.30	0.25
DA58XXG	≤0.12	1.40	≤0.90	≤0.040	≤0.030	0.20~0.60	≤0.30	0.70

注：1. 焊接位置记号的含义：F—平焊、V—立焊、O—仰焊、H—横焊或横角焊。表中所列焊接位置，适用于直径5 mm以下的焊条。

2. 表示焊接电源记号的含义：AC—交流；DC(±)—直流（焊条极性为正或负极）；DC(+)—直流（焊条为正极）。

3. 力学性能单个值均为最小值。

4. 表中XX表示焊条的药皮类型。

表 9-12 不锈钢电焊条标准（摘自 JIS Z3221—1989）

种 类	化 学 成 分/%								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	其 他
D307	0.13	0.90	3.00~8.00	0.040	0.030	9.0~11.0	18.0~21.0	0.50~1.50	—
D308	≤0.08	≤0.90	2.50	≤0.040	≤0.030	9.0~11.0	18.0~21.0	—	—
D308L	≤0.04	≤0.90	≤2.50	≤0.040	≤0.030	9.0~12.0	18.0~21.0	—	—
D309	≤0.15	≤0.90	≤2.50	≤0.040	≤0.030	12.0~14.0	22.0~25.0	—	—
D309L	≤0.04	≤0.90	≤2.50	≤0.040	≤0.030	12.0~16.0	22.0~25.0	—	—
D309Nb	≤0.12	≤0.90	≤2.50	≤0.040	≤0.030	12.0~14.0	22.0~25.0	—	Nb 0.70~1.00
D309NbL	≤0.04	≤0.90	≤2.50	≤0.040	≤0.030	12.0~14.0	22.0~25.0	—	Nb 0.70~1.00
D309Mo	≤0.12	≤0.90	≤2.50	≤0.040	≤0.030	12.0~14.0	22.0~25.0	2.00~3.00	—
D309MoL	≤0.04	≤0.90	≤2.50	≤0.040	≤0.030	12.0~14.0	22.0~25.0	2.00~3.00	—
D310	≤0.20	≤0.75	≤2.50	≤0.030	≤0.030	20.0~22.0	25.0~28.0	—	—
D310Mo	≤0.12	≤0.75	≤2.50	≤0.030	≤0.030	20.0~22.0	25.0~28.0	2.00~3.00	—
D312	≤0.15	≤0.90	≤2.50	≤0.030	≤0.030	8.0~10.5	28.0~32.0	—	—
D16-8-2	≤0.10	≤0.50	≤2.50	≤0.030	≤0.030	7.5~9.5	14.5~16.5	1.00~2.00	—
D316	≤0.08	≤0.90	≤2.50	≤0.030	≤0.030	11.0~14.0	17.0~20.0	2.00~2.75	—
D316L	≤0.04	≤0.90	≤2.50	≤0.030	≤0.030	11.0~16.0	17.0~20.0	2.00~2.75	—
D316JIL	≤0.04	≤0.90	≤2.50	≤0.030	≤0.030	11.0~16.0	17.0~20.0	1.20~2.75	Cu 1.00~2.50
D317	≤0.08	≤0.90	≤2.50	≤0.030	≤0.030	12.0~14.0	18.0~21.0	3.00~4.00	—
D317L	≤0.04	≤0.90	≤2.50	≤0.030	≤0.030	12.0~16.0	18.0~21.0	3.00~4.00	—
D318	≤0.08	≤0.90	≤2.50	≤0.030	≤0.030	11.0~14.0	17.0~20.0	2.00~2.50	Nb 6×C%~1.00
D329JI	≤0.08	≤0.90	≤1.50	≤0.030	≤0.030	6.0~8.0	23.0~28.0	1.00~3.00	—
D347	≤0.08	≤0.90	≤2.50	≤0.030	≤0.030	9.0~11.0	18.0~21.0	—	Nb 8×C%~1.00
D347L	≤0.04	≤0.90	≤2.50	≤0.030	≤0.030	9.0~11.0	18.0~21.0	—	Nb 8×C%~1.00
D349	≤0.13	≤0.90	≤2.50	≤0.030	≤0.030	8.0~10.0	18.0~21.0	0.35~0.65	W 1.25~1.75, Nb 0.75~1.20
D410	≤0.12	≤0.90	≤1.00	≤0.030	≤0.030	≤0.60	11.0~14.0	—	—
D410Nb	≤0.12	≤0.90	≤1.00	≤0.030	≤0.030	≤0.60	11.0~14.0	—	Nb 0.50~1.50
D430	≤0.10	≤0.90	≤1.00	≤0.030	≤0.030	≤0.60	15.0~18.0	—	—
D430Nb	≤0.10	≤0.90	≤1.00	≤0.030	≤0.030	≤0.60	15.0~18.0	—	Nb 0.50~1.50
D630	≤0.05	≤0.75	0.25~0.75	≤0.040	≤0.030	4.50~5.00	16.0~16.75	≤0.75	Nb 0.15~0.30, Cu 3.25~4.00

注：1. 使用的电源种类分为 15、16 两种。15 为使用 DC(+)（即焊条接正极），16 为交流或 DC(+)。

2. 直径 4 mm 以下的焊条可用于全位置焊接。

表 9-13 堆焊焊条标准 (摘自 JIS Z3251—1991)

(1) 焊条种类

焊条种类	药皮类型	焊接位置	焊条种类	药皮类型	焊接位置
DF2A	B	F、V、H	DFMA	B	F
	R		DFMB	B	F
	BR				
DF2B	B	F	DFME	B	F
	R				
	BR				
DF3B	B	F、V、H	DFCrA	B R BR	F
DF3C	B	F	DFWA	S	F
DF4A	B	F	DCoCrA	BR	F
DF4B	B	F	DCoCrB	BR	F
DF5A	B	F	DCoCrC	BR	F
	BR				
DF5B	B	F	DCoCrD	BR	F
	BR				

注: 1. 表示药皮类型记号的含义: B—碱性; R—高氧化钛型; BR—钛钙型; S—特殊型。

2. 表示焊接位置记号的含义: F—平焊; V—立焊; H—横焊。表中所列焊接位置, 适用于直径 5 mm 以下的焊条。

(2) 熔敷金属的化学成分

焊条种类	熔敷金属的化学成分/%											
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	Fe	Co	其他元素合计
DF2A	0.30	1.5	3.0	0.03	0.03	—	3.0	1.5	—	余量	—	1.0
DF2B	0.30~1.00	≤1.5	≤3.0	≤0.03	≤0.03	—	≤5.0	≤1.5	—	余量	—	≤1.0
DF3B	0.20~0.50	≤3.0	≤3.0	≤0.03	≤0.03	—	3.0~9.0	≤2.5	2.0	余量	—	≤1.0
DF3C	0.50~1.50	≤3.0	≤3.0	≤0.03	≤0.03	—	3.0~9.0	≤2.5	≤4.0	余量	—	≤2.5
DF4A	≤0.30	≤3.0	≤4.0	≤0.03	≤0.03	≤6.0	9.0~14.0	≤2.0	≤2.0	余量	—	≤2.5
DF4B	0.30~1.50	≤3.0	≤4.0	≤0.03	≤0.03	≤3.0	9.0~14.0	≤2.0	≤2.0	余量	—	≤2.5
DF5A	0.50~1.00	≤1.0	≤1.0	≤0.03	≤0.03	—	3.0~5.0	4.0~9.5	1.0~7.0	余量	—	≤4.0
DF5B	0.50~1.00	≤1.0	≤1.0	≤0.03	≤0.03	—	3.0~5.0	—	16.0~19.0	余量	4.0~11.0	≤4.0
DFMA	≤1.10	≤0.8	11.0~18.0	≤0.03	≤0.03	≤3.0	≤4.0	≤2.5	—	余量	—	≤1.0
DFMB	≤1.10	≤0.8	11.0~18.0	≤0.03	≤0.03	3.0~6.0	≤0.5	—	—	余量	—	≤1.0
DFME	≤1.10	≤0.8	12.0~18.0	≤0.03	≤0.02	≤6.0	14.0~18.0	≤4.0	—	余量	—	≤4.0
DFCrA	2.5~6.0	≤3.5	≤7.5	≤0.03	≤0.03	≤3.0	20.0~35.0	≤6.0	≤6.5	余量	≤5.0	≤9.0
DFWA	2.0~4.0	≤2.5	≤3.0	≤0.03	≤0.03	≤3.0	≤3.0	≤7.0	40.0~70.0	余量	≤3.0	≤2.0
DCoCrA	0.70~1.40	≤2.0	≤2.0	≤0.03	≤0.03	≤3.0	25.0~32.0	1.0	3.0~6.0	5.0	余量	0.5
DCoCrB	1.00~1.70	≤2.0	≤2.0	≤0.03	0.03	≤3.0	25.0~32.0	≤1.0	7.0~9.5	≤5.0	余量	≤0.5
DCoCrC	1.75~3.00	≤2.0	≤2.0	≤0.03	≤0.03	≤3.0	25.0~33.0	≤1.0	11.0~14.0	≤5.0	余量	≤0.5
DCoCrD	≤0.35	≤1.0	≤1.0	≤0.03	≤0.03	≤3.5	23.0~30.0	3.0~7.0	≤1.0	≤5.0	余量	≤0.5

(3) 硬度

名义硬度	熔敷金属的硬度			
	HV	HRB	HRC	HB
200	≤250	≤100	≤22	≤238
250	200~300	92~106	11~30	190~284
300	250~350	100~109	22~36	238~331
350	300~400	—	30~41	284~379
400	350~450	—	36~45	331~425
450	400~500	—	41~49	379~465
500	450~600	—	45~55	—
600	550~700	—	52~60	—
700	650以上	—	58以上	—

(4) 焊条尺寸

冷拔焊芯			/mm
项 目	尺 寸	公 差	
直 径	3, 2, 4, 5, 6, 7, 8	±0.05	
长 度	300	±3	
	350		
	400		
	450		

药芯焊丝			/mm
项 目	尺 寸	公 差	
直 径	3, 2, 4, 5, 6, 7, 8	±0.2	
长 度	250	±5	
	300		
	350		
	400		
	450		

铸造焊芯			/mm
项 目	尺 寸	公 差	
直 径	3, 2, 4, 5, 6, 7, 8	±0.6	
长 度	250~450	—	

注：1. 熔敷金属的硬度，用测定值的平均值表示。

2. 各种焊条硬度测定值的偏差范围为平均值的±15%；但是，DF2A、DF2B、DF3B及DF3C时为±10%。

表 9-14 铸铁电焊条标准（摘自 JIS Z3252—1992）

焊条种类	熔敷金属的化学成分/%							
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Fe	Cu
DFC _{Ni}	≤1.8	≤1.0	≤2.5	≤0.04	≤0.04	≥92	—	—
DFC _{NiFe}	≤2.0	≤2.5	≤2.5	≤0.04	≤0.04	40~60	余量	—
DFC _{NiCu}	≤1.7	≤2.0	≤1.0	≤0.04	≤0.04	≥60	≤2.5	25~35
DFC _I	1.0~5.0	≤1.0	2.5~9.5	≤0.20	≤0.04	—	余量	—
DFC _{Fe}	≤0.15	≤0.8	≤1.0	≤0.03	≤0.04	—	余量	—

表 9-15 镍及镍合金电焊条标准 (摘自 JIS Z3224—1999)

焊条种类	种别	焊接位置	焊接电源	力学性能		熔敷金属的化学成分/%												
				抗拉强度 /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	伸长 率/%	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Nb+Ta	其他	其余合计	
DNi-1	15	F, V, OH, H	DC	420(43)	20	≤0.10	≤0.75	≤0.75	≤0.020	≤0.020	≤0.020	≤1.25	≤0.25	≤92.0	—	—	Al: ≤1.0 Ti: 1.0~4.0	≤0.50
	AC 或 DC*																	
DNiCu-1	15	F, V, OH, H	DC	490(50)	30	≤0.15	≤4.0	≤2.5	≤0.020	≤0.025	≤1.25	余量	62.0~ 70.0	—	≤3.0	Al: ≤1.0 Ti: ≤1.5	≤0.50	
	AC 或 DC*																	
DNiCu-4	15	F, V, OH, H	DC	490(50)	30	≤0.40	≤4.0	≤2.5	≤0.020	≤0.25	≤1.0	余量	62.0~ 70.0	—	—	Al: ≤1.5 Ti: ≤1.0	≤0.50	
	AC 或 DC*																	
DNiCu-7	15	F, V, OH, H	DC	490(50)	30	≤0.15	≤4.0	≤2.5	≤0.020	≤0.015	≤1.0	余量	62.0~ 68.0	—	—	Al: ≤0.75 Ti: ≤1.0	≤0.50	
	AC 或 DC*																	
DNiCrFe-1	15	F, V, OH, H	DC	560(57)	30	≤0.08	≤3.5	≤11.0	≤0.020	≤0.015	≤0.75	≤0.50	≥62.0	13.0~ 17.0	1.5~4.0*	—	≤0.50	
	AC 或 DC*																	
DNiCrF-1J	15	F, V, OH, H	DC	560(57)	30	≤0.08	1.5~ 3.5	≤11.0	≤0.020	≤0.015	≤0.75	≤0.50	≥68.0	13.0~ 17.0	0.5~3.0*	—	≤0.50	
	AC 或 DC*																	
DNiCrFe-2	15	F, V, OH, H	DC	560(57)	30	≤0.10	1.0~ 3.5	≤12.0	≤0.020	≤0.020	≤0.75	≤0.50	≥62.0	13.0~ 17.0	0.5~3.0*	Mo: 0.50~2.50	≤0.50	
	AC 或 DC*																	

焊条种类	种别	焊接位置	焊接电源	力学性能		熔敷金属的化学成分/%											
				抗拉强度 /N·mm ⁻² (kgf·mm ⁻²)	伸长 率/%	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Nb+Ta	其他	其余合计
DNiCrFe-3	15	F、V、OH、H	DC AC或DC*	560(57)	30	≤0.10	5.0~ 9.5	≤10.0	≤0.020	≤0.015	≤1.0	≤0.50	≥59.0	13.0~ 17.0	1.0~2.5*	Co* Ti: ≤1.0	≤0.50
	16																
DNiMo-1	15	F、H	DC AC或DC*	700(71)	25	≤0.07	≤1.0	4.0~ 7.0	≤0.040	≤0.030	≤1.0	≤0.50	余量	≤1.0	—	Mo:26.0~30.0 Co:2.5~ V:0.60~	≤0.50
	16																
DNiCrMo-2	15	F、H	DC AC或DC*	660(67)	20	0.05~ 0.15	≤1.0	17.0~ 20.0	≤0.040	≤0.030	≤1.0	≤0.50	余量	20.5~ 23.0	—	Mo:8.0~10.0 Co:0.50~2.50 W:0.20~1.0	≤0.50
	16																
DNiCrMo-3	15	F、V、OH、H	DC AC或DC*	760(78)	30	≤0.10	≤1.0	≤7.0	≤0.030	≤0.020	≤0.75	≤0.50	≥55.0	20.0~ 23.0	3.15~ 4.15	Mo:8.0~10.0 Co*	≤0.50
	16																
DNiCrMo-4	15	F、H	DC AC或DC*	700(71)	25	≤0.02	≤1.0	4.0~ 7.0	≤0.040	≤0.030	≤0.2	≤0.50	余量	14.5~ 16.5	—	Mo:15.0~17.0 Co:≤2.5 V:≤0.35 W:3.0~4.5	≤0.50
	16																
DNiMoCr-5	15	F、H	DC AC或DC*	700(71)	25	≤0.12	≤1.0	4.0~ 7.0	≤0.040	≤0.030	≤1.0	≤0.50	余量	14.5~ 16.5	—	Mo:15.0~18.0 Co:≤2.5 V:≤0.35 W:3.0~4.5	≤0.50
	16																

注: 1. 表示焊接位置记号的含义: F—平焊、V—立焊、OH—仰焊、H—横焊及横角焊。表中所列焊接位置, 适用于直径4 mm以下的焊条; 对5 mm焊条, 焊接位置为F、H。
2. 电流种类, AC为交流, DC*为直流反接, 焊条接正极。
3. 含镍量中包含杂质钴。有特殊要求的场合, 带*者, 钴含量为0.12%以下; 钨含量为0.25%以下。

表 9-16 9Ni 钢电焊条 (摘自 JIS Z 3225—1999)

(1) 电焊条种类与化学成分

焊条种类	熔敷金属化学成分/%											焊接位置	电源种类
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb	W		
D9Ni-1	≤0.15	≤0.75	1.0~4.0	≤0.020	≤0.015	≥55.0	10.0~17.0	≤9.0	≤15.0	0.3~3.0	—	F、V、O、H	AC 或 DC(+)
D9Ni-2	≤0.10	≤0.75	≤3.0	—	—	≥60.0	—	15.0~22.0	≤12.0	—	1.0~5.0	—	—

(2) 熔敷金属力学性能

σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	试验温度/℃	A_{kv} /J
≥660	≥360	≥25	-196	平均值≥34 最小值≥27

六、各船级社对低碳钢及低合金钢船用焊条的性能要求

除了焊条国家标准外,某些行业、某些产品类别还可根据其产品结构的要求,制订相应的标准或规范。如船舶检验机构、压力容器协会及海洋工程等都对焊条制订了相应的标准。表 9-17 中列出了各船级社对碳钢及低合金钢船用焊条的熔敷金属性能要求。

表 9-17 各船级社对低碳钢及低合金钢船用焊条的熔敷金属性能要求

船级社	钢种	$\sigma_{0.2}$ (不小于)/MPa	σ_b /MPa	δ (不小于)/%	冲击试验			含氢量(不大于)/mL·g ⁻¹			
					焊条级别	温度/℃	A_k (不小于)/J	甘油法	水银法		
中国船级社 (CCS)	碳钢	305	400~560 (400)	22	1	20	47 (34)	H 0.10	H 0.15		
					2	0					
					3	-20					
					4	-40					
	低合金高强度钢	375	490~660 (490)	22	2Y	0	47 (34)				
					3Y	-20					
					4Y	-40					
					5Y	-60					
		400	510~690 (510)	20	2Y40	0	47(41)				
					3Y40	-20					
4Y40					-40						
5Y40					-60						
420	530~680 (530)	20	3Y42	-20	47(41)						
			4Y42	-40							
			5Y42	-60							
			3Y46	-20		50 (50)					
4Y46	-40										
5Y46	-60										
460	570~720 (570)	18	3Y50	-20	55(55)						
			4Y50	-40							
			5Y50	-60							
			3Y55	-20		62(62)					
4Y55	-40										
5Y55	-60										
500	610~770 (610)	18	3Y62	-20	69(69)						
			4Y62	-40							
			5Y62	-60							
			3Y69	-20		34 (34)					
4Y69	-40										
5Y69	-60										
低温钢	375	400	22	0.5Ni	-60		34 (34)				
		420	25	1.5Ni	-80						
		500	—	3.5Ni	-100						
		600	—	5Ni	-120						
									9Ni	-196	

续表

船级社	钢种	$\sigma_{0.2}$ (不小于) /MPa	σ_b /MPa	δ (不小于) /%	冲击试验			含氢量(不大于)/ $\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}$	
					焊条级别	温度/ $^{\circ}\text{C}$	A_k (不小于)/J	甘油法	水银法
日本海事协会 (NK)	一般强度钢	305	400~560 (400)	22	KMW I KMW II KMW III	20 0 -20	47 (34)	HD.10 HH0.05	H0.15 HH0.08
	高强度钢	370	490~655 (490)	22	KMW52 KMW53 KMW54	0 -20 40	47(34)		
		400	510~690 (510)		KMW52Y40 KMW53Y40 KMW54Y40	0 -20 -40	47(41)		
		490	590~735	20	KMW61 KMW62 KMW63	0 -20 -30	47		
	低温钢	303	400~560	22	KMWL1	-40	47		
		343	450~607	22	KMWL2	-60	47		
		372	490~633	21	KMWL3	-60	47		
		372	588	25	KMWL91	-196	27.4		
		411	655	25	KMWL92	-196	27.4		
	英国劳氏船级社(LR)	一般强度钢	305 (31)	400~560 (400)	22	1Nm 2 Nm 3 Nm	20 0 -20		
高强度钢		375	490~660 (490)	22	1Ym 2Ym 3Ym 4Ym	20 0 -20 -40	47 (34)		
		400	510~690 (510)		2Y40m 3Y40m 4Y40m 5Y40m	0 -20 -40 -60	47 (41)		
		低温钢	LT40		460	22		-40	34
LT60			460	22		-60			
0.5Ni			400	22		-60			
1.5Ni			400	22		-80			
3.5 Ni			420	25		-100			
5 Ni		500	25		-120				
9 Ni		600			-196				
法国船级社(BV)	一般强度钢	305	400~560	22	1 2 3	20 0 -20	47	H0.10 HH0.05	H0.15 HH0.08
	高强度钢	375	490~660 (490)	22	2Y 3Y 4Y	0 -20 -40	47(34)		
		400	510~690 (510)		2Y40 3Y40 4Y40	0 -20 -40	47(41)		
		美国船舶局(AHS)	一般强度钢		305	400~560	22		
高强度钢	375		490~660 (490)	22	2Y 3Y 4Y	0 -20 -40	47(34)		
					或2Y	-10 -20	27		
					或3Y	-10 -30 -40	68 (52) (27)		
	400		510~690 (510)		2Y400 3Y400 4Y400	0 -20 -40	47(41)		
							—	H5 0.05	

续表

船级社	钢种	$\sigma_{0.2}$ (不小于) /MPa	σ_b /MPa	δ (不小于) /%	冲击试验			含氢量(不大于)/mL·g ⁻¹	
					焊条级别	温度/℃	A_k (不小于)/J	甘油法	水银法
挪威船级社 (NV)	低碳钢	305	400~560	22	1	20	47	H0.10 HH0.05	H0.15 HH0.08
					2	0	47		
					3	-20	47		
	高强度	375	490~660 (490)	22	2Y	0	47(34)		
					3Y	-20			
					4Y	-40			
低温钢	305	400~560	21	NV2-4	-55	41			
				NV2-4L	-60	34			
				NV4-4	-55	41			
375	490~660	21	NV4-4L	-60	34				

注：1. 抗拉强度 σ_b 栏 () 中的数字，表示对接接头的标准值。

2. 冲击值栏 () 中的数字，表示立对接接头的标准值。

3. 当扩散氢量符合表中要求时，可在等级后面加注“H”或“HH”“H15”，如3YH、3YH15。

表 9-17 中列出的各国船级社名称缩写说明如下：

CCS——中国船级社 (China Classification Society)；

NK——日本海事协会 (Nippon Kaiji Kyokai)；

ABS——美国船舶检验局 (American Bureau of Shipping)；

LR ——英国劳埃德船级社 (Lloyd's Register of Shipping)；

NV——挪威船级社 (Det Norske Veritas)；

BV——法国船级社 (Bureau Veritas)。

七、电焊条新旧型号对照

电焊条新旧型号对照见表 9-18。

表 9-18 电焊条新旧型号对照

焊条牌号	新 型 号		旧 型 号	
	GB/T 5117—1995		GB 5117—1985	GB 981—1976
J421	E4313		E4313	T42-1
J421X	E4313		E4313	—
J421Fe	E4314		E4314	—
J421Fe13	E4324		E4324	—
J422	E4303		E4303	T42-2
J422Fe	E4323		E4323	T42-2Fe
J422Fe13	E4323		E4323	—
J422Fe16	E4323		E4323	—
J422FeZ13	E4323		E4323	—
J423	E4301		E4301	T42-3
J424	E4320		E4320	T42-4

续表

焊条牌号	新 型 号	旧 型 号	
	GB/T 5117—1995	GB 5117—1985	GB 981—1976
J424Fe14	E4327	E4327	—
J425	E4311	E4311	T42-5
J426	E4316	E4316	T42-6
J427	E4315	E4315	T42-7
J427Ni	E4315	E4315	—
J501Fe15	E5024	E5024	—
J502	E5003	E5003	T50-2
J502Fe	E5014	E5014	—
J502Fe16	E5023	E5023	T50-2Fe
J502CuP	E5003-G	—	T50-2
J502CuNi	E5003-G	E5003-G	—
J502WCu	E5003-G	E5003-G	—
J502CuCrNi	E5003-G	E5003-G	—
J503	E5001	E5001	T50-3
J501FeZ	E5024	E5001	T50-3Fe
J504Fe	E5027	E5027	—
J505	E5011	E5011	T50-5
J505MoD	E5011	E5011	—
J506	E5016	E5016	T50-6
J506X	E5016	E5016	T50-6
J506D	E5016	E5016	T50-6
J506C	E5016	E5016	—
J506Fe	E5018	E5018	J50-6Fe
J506Fe16	E5028	E5028	—
J506LMA	E5018	E5018	—
J506WCu	E5016-G	E5016-G	—
J506R	E5016-G	—	—
J506RH	E5016-G	E5016-G	—
J506CuNi	E5016-G	E5016-G	—
J507CuNi	E5015-G	E5015-G	—
J507	E5015	E5015	T50-7
J507H	E5015	E5015	—
J507RH	E5015-G	E5015-G	—
J507X	E5015	E5015	T50-7
J507XG	E5015	E5015	T50-7
J507D	E5015	E5015	—

续表

焊条牌号	新 型 号	旧 型 号	
	GB/T 5117—1995	GB 5117—1985	GB 981—1976
J507Fe	E5018	E5018	—
J507Fe16	E5028	E5028	—
J507Mo	E5015-G	E5015-G	—
J507MoNb	E5015-G	E5015-G	—
J507MoW	E5015-G	E5015-G	—
J507CrNi	E5015-G	—	T50-7
J507CuP	E5015-G	—	T50-7
J507FeNi	E5018-G	E5018-G	—
J507MoWNbB	E5015-G	E5015-G	—
J507NiCuP	E5015-G	E5015-G	—
	GB/T 5118—1995	GB 5118—1986	GB 981—1976
J553	E5501-G	E5501-G	—
J556	E5516-G	E5516-G	T55-6
J557	E5515-G	E5515-G	T55-7
J557MoV	E5515-G	E5515-G	T55-7
J556RH	E5516-G	E5516-G	—
J606	E6016-G	E6016-D1	T60-6
J607	E6015-G	E6015-D1	T60-7
J607Ni	E6015-G	E6015-G	—
J607RH	E6015-G	E6015-G	—
J707	E7015-G	E7015-D2	T70-7
J707Ni	E7015-G	E7015-G	—
J757	E7515-G	E7515-G	—
J757Ni	E7515-G	E7515-G	—
J807	E8015-G	—	T80-7
J857	E8515-G	E8515-G	—
J857Cr	E8515-G	E8515-G	—
J907	E9015-G	—	T90-7
J107	E10015-G	—	T100-7
J107Cr	E10015-G	—	T100-7
	GB/T 5118—1995	GB 5118—1985	GB 982—1976
R102	E5003-A1	E5003-A1	TRMo-2
R107	E5015-A1	E5015-A1	TRMo-7
R200	E5500-B1	E5500-B1	TRCrMo-0
R202	E5503-B1	E5503-B1	TRCrMo-2
R207	E5515-B1	E5515-B1	TRCrMo-7

续表

焊条牌号	新 型 号	旧 型 号	
	GB/T 5118—1995	GB 5118—1985	GB 982—1976
R302	E5503-B2	E5503-B2	TRCr1Mo-2
R307	E5515-B2	E5515-B2	TRCr1Mo-7
R310	E5500-B2-V	E5500-B2-V	TRCr1MoV-0
R312	E5503-B2-V	E5503-B2-V	TRCr1MoV-2
R317	E5515-B2-V	E5515-B2-V	TRCr1MoV-7
R327	E5515-B2-VW	E5515-B2-VW	TRCr1MoVW-7
R337	E5515-B2-VNb	E5515-B2-VNb	TRCr1MoVNb-7
R347	E5515-B3-VWB	E5515-B3-VWB	—
R400	E6000-B3	E6000-B3	TRCr3Mo1-0
R402	E6003-B3	E6003-B3	TRCr3Mo1-2
R407	E6015-B3	E6015-B3	TRCr3Mo1-7
R417	E6015-B3-VNb	E6015-B3-VNb	TRCr3Mo1VNb-7
	GB 983—1995	GB 983—1985	GB 982—1976
R507	E502-15	E1-5MoV-15	TRCr5MoV-7
R707	E505-15	E1-9Mo-15	TRCr9Mo-7
R802	E11MoVNi-16	E1-11MoVNi-16	TRCr11Mo1VNi-2
R807	E11MoVNi-15	E1-11MoVNi-15	TRCr11Mo1VNi-7
R817	E11MoVNiW-15	E2-11MoVNiW-15	TRCr11Mo1VNiW-7
R827	相当 E11MoVNi-15	相当 E1-11MoVNi-15	—
	GB/T 983—1995	GB 983—1985	GB 983—1976
G202	E410-16	E1-13-16	TB13-2
G207	E410-15	E1-13-15	TB13-7
G302	E430-16	E0-17-16	TB17-2
G307	E430-15	E0-17-15	TB17-7
G217	—	相当 E1-13-1-15	—
A002	E308L-16	E00-19-10-16	TB18-8D-2
A022	E316L-16	E00-19-12-Mo2-16	TB18-12Mo2D-2
A032	E317MoCuL-16	E00-19-13-Mo2Cu2-16	TB18-12Mo2Cu2D-2
A042	E309MoL-16	E00-23-13Mo2-16	—
A062	E309L-16	E00-23-13-16	TB25-13D-2
A102A	E308-17	E0-19-10-16	相当 TB18-8-1
A102	E308-16	E0-19-10-16	TB18-8-2
A102Fe	E308-26	E0-19-10-16	—
A107	E308-15	E0-19-10-15	TB18-8-7
A122	—	—	TB18-8T-2

续表

焊条牌号	新 型 号	旧 型 号	
	GB/T 983—1995	GB 983—1985	GB 983—1976
A132	E347-16	E0-19-10Nb-16	TB18-8Nb-2
A137	E347-15	E0-19-10Nb-15	TB18-8Nb-7
A202A	E316-17	E0-18-12Mo2-16	相当 TB18-12Mo2-1
A202	E316-16	E0-18-12Mo2-16	TB18-12Mo2-2
A207	E316-15	E0-18-12Mo2-15	TB18-12Mo2-7
A212	E318-16	E0-18-12Mo2Nb-16	TB18-12Mo2Nb-2
A222	E317MoCu-16	E0-19-13Mo2Cu2-16	TB18-12Mo2Cu-2
A232	E318V-16	E0-18-12Mo2V-16	TB18-12Mo2V-2
A237	E318V-15	E0-18-12Mo2V-15	TB18-12Mo2V-7
A242	E317-16	E0-19-13Mo3-16	TB18-12Mo3-2
A302	E309-16	E1-23-13-16	TB25-13-2
A307	E309-15	E1-23-13-15	TB25-13-7
A312	E309Mo-16	E1-23-13Mo2-16	TB25-13Mo2-2
A402	E310-16	E2-26-21-16	TB25-20-2
A407	E310-15	E2-26-21-15	TB25-20-7
A412	E310Mo-16	E1-26-21Mo2-16	TB25-20Mo2-2
A432	E310H-16	E3-26-21-16	—
A502	—	E1-16-25Mo6N-16	TB16-25Mo6-2
A507	—	E1-16-25Mo6N-15	TB16-25Mo6-7
A607	E330MoMnWNB-15	E2-16-35Mo3Mn4W3 Nb-15	—
A707	—	—	TBCrMnMoN-7
A717	—	—	—
A802	—	—	TB18-18-4Cu-2
	GB/T 5118—1995	GB 5118—1985	JB 2835—1979
W707	—	—	TW70-7
W707Ni	E5515-C1	E5515-C1	TW70-7Ni
W907Ni	E5515-C2	E5515-C2	TW90-7Ni
	GB/T 984—2001	GB 984—1985	GB 984—1976
D102	EDPMn2-03	EDPMn2-03	—
D107	EDPMn2-15	EDPMn2-15	TDP-1a
D112	EDPCrMo-A1-03	EDPCrMo-A1-03	TDP-1c
D126	EDPMn4-16	EDPMn3-16	—
D127	EDPMn4-15	EDPMn3-15	TDP-1b
D132	EDPCrMo-A2-03	EDPCrMo-A2-03	TDP-2a
D146	EDPMn4-16	EDPMn4-16	—

续表

焊条牌号	新 型 号	旧 型 号	
	GB/T 984—2001	GB 984—1985	GB 984—1976
D167	EDPMn6-15	EDPMn6-15	TDP-2c
D172	EDPCrMo-A3-03	EDPCrMo-A3-03	TDP-2b
D207	EDPCrMnSi-A1-15	EDPCrMnSi-15	TDP-3a
D212	EDPCrMo-A4-03	EDPCrMo-A4-03	TDP-2d
D217	EDPCrMo-A4-15	EDPCrMo-A4-15	—
D227	EDPCrMoV-A2-15	EDPCrMoV-A2-15	—
D237	EDPCrMoV-A1-15	EDPCrMoV-A1-15	—
D256	EDMn-A-16	EDMn-A-16	TDMn-a
	GB/T 984—2001	GB 984—1985	GB 983—1976
D266	EDMn-B-16	EDMn-B-16	TDMn-b
D276	EDCrMn-B-16	EDCrMn-B-16	TDCrMn-1
D277	EDCrMn-B-15	EDCrMn-B-15	TDCrMn-1
D307	EDD-D-15	EDD-D-15	TDD-a
D317	EDRCrMoWV-A3-15	EDRCrMoWV-A3-15	—
	GB/T 984—2001	GB 984—1985	GB 984—1976
D322	EDRCrMoWV-A1-03	EDRCrMoWV-A1-03	TDR-c
D327	EDRCrMoWV-A2-15	EDRCrMoWV-A2-15	TDR-c
D397	EDRCrMnMo-15	EDRCrMnMo-15	TDR-a
D502	EDCr-A1-03	EDCr-A1-03	TDCr-1a
D507	EDCr-A1-15	EDCr-A1-15	TDCr-1a
D507Mo	EDCr-A2-15	EDCr-A2-15	TDCr-1a
D507MoNb	EDCr-A1-15	EDCr-A1-15	TDCr-1a
D512	EDCr-B-03	EDCr-B-03	TDCr-1b
D517	EDCr-B-15	EDCr-B-15	TDCr-1b
D547	EDCrNi-A-15	EDCrNi-A-15	TDCrNi-b
D547Mo	EDCrNi-B-15	EDCrNi-B-15	TDCrNi-b
D557	EDCrNi-C-15	EDCrNi-C-15	TDCrNi-c
D516Mn	EDCrMn-A-16	EDCrMn-A-16	—
D567	EDCrMn-D-15	EDCrMn-D-15	—
D577	EDCrMn-C-15	EDCrMn-C-15	—
D608	EDZ-A1-08	EDZ-A1-08	TDZ-b
D642	EDZCr-B-03	EDZCr-B-03	TDCrC-1b
D648	EDZCr-B-16	EDZCr-B-16	TDCrC-1b

附录 1 填充金属的选用

附表 1 是按照 ASTM (美国材料试验学会) 的标准编号, 列出推荐选用相应的填充金属, 包括手工电弧焊用焊条、金属气体保护焊 (GMAW 及 GTAW) 用实芯焊丝和药芯焊丝。已过时的及不能进行焊接的钢材未列入表内。本表列出的填充金属都是按美国焊接学会标准 AWS 分类的型号。读者可根据自己的工作条件, 再结合各焊材生产厂的产品目录或相关技术资料等去选用具体的焊接材料牌号。表中的焊材型号为简化的, 省去了前面英文字母 E 或 ER。完整的型号表示: 焊条如 E6012、E7024 等; 实芯焊丝如 ER70S-2、ER308L; 药芯焊丝如 E71T-1、E120T5-K4、E70C-3C 等。

需要说明的是, 表中所推荐的焊材有些并不是惟一的, 可根据实际情况加以变通。例如, 在美国使用较多的是 E7018 焊条, 而在中国使用较多的是 E7015 (J507) 或 E7016 (J506) 焊条, 两者的焊缝性能是相近的, 可以互相代替。

附表 1 中所推荐的焊条型号都是引用资料中给出的, 与其相对应的焊丝型号则只推荐了一部分。为了适应机械化和自动化焊接的发展, 实芯焊丝和药芯焊丝的应用将会逐渐增多, 焊丝的选用必将引起更多用户的关心。为此, 本书作者对表中的焊丝作了补充推荐, 基本达到了焊接材料配套齐全, 使用户选择焊材简明方便。在补充推荐焊丝型号时, 以相应的焊条型号为参照, 基本原则是: 碳钢、高强钢和低温钢焊丝型号应与焊条的型号达到等强度、等韧性; 低合金耐热钢和不锈钢焊丝型号应与焊条的型号达到成分系统相接近。在强度方面, 碳钢和高强钢焊丝有的配用两个强度级别的型号。如果对抗裂性能要求较高时, 可选用较低强度的焊丝; 若无特殊要求, 应选用等强焊丝。在韧性方面, 为得到高的韧性, 可采用碱性渣系, 也可采用酸性渣系而在焊缝中加入适量镍, 故在药芯焊丝栏, 往往同时列入两个相同强度级别焊丝型号, 如 $\times\times T5-K\times$ 和 $\times\times T1-Ni\times$ 。对低温钢而言, 主要是依靠不同含镍量来保证不同的低温韧性, 渣系上基本一致。在不锈钢用实芯焊丝一栏, 往往同时推荐两个型号的焊丝, 一个是正常硅量的, 一个是高硅量的, 如 308 和 308 Si。采用 TIG 焊接时可选用正常硅量的; 采用 MIG 焊接时, 为改善焊接工艺性能, 可选用高硅量的焊丝。碳钢用药芯焊丝的型号推荐的较多, 可根据施工条件, 对效率和焊缝性能的不同要求来选用, 有气保护焊丝 (如 $\times\times T-1$)、自保护焊丝 (如 $\times\times T-4$, $\times\times T-7$, $\times\times T-8$), 也有金属粉型焊丝 (如 70C-3C, 70C-6M)。

为了便于读者了解 ASTM 标准编号的内容, 附表 2 又列出了编号与名称的对照, 供作参考。

附表 1 ASTM 标准编号及相对应的焊接材料

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A3	1,2	碳素钢棒	6013,7014,7024	70S-2,3,6	71T-1,70T-1, 70C-3C,70C-6M
A27	各级别	碳素钢铸件	7018	70S-2,3,6	70T-1,71T-1,70T-4,70T-7, 71T-8,70C-3C,70C-6M

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A36		碳素结构钢	6013,7014,7024 7018	70S-2,3,6	71T-1,70T-1,70T-4 70T-7,70C-3C,70C-6M
A53	A,B	碳素钢管	6010,6011	80S-D2,70S-6	70T-1,71T-1,70C-3C, 70C-6M
A82		碳素钢筋	7018,7018-1	70S-2,3,6	70T-5,70T-1,70T-4, 71T-8,71T-11,70T-7, 71T-GS,70C-3C,70C-6M
A105		碳素钢管	同 A53	同 A53	同 A53
A106	A,B C	碳素钢管	同 A53	同 A53	同 A53
A109		碳素钢带	6013,7024,7018	70S-2,3,6	70T-1,70C-3C,70C-6M
A123		薄钢板及钢带	7018,7018-1	70S-6	71T-11,71T-GS,70T-1, 71T-1,71T-8, 70C-3C,70C-6M
A131		碳素结构钢	同 A36	同 A36	同 A36
A134		碳素钢管	同 A53	同 A53	同 A53
A135	A,B	碳素钢管	同 A53	同 A53	同 A53
A139	各级别	碳素钢管	同 A53	同 A53	同 A53
A148	80-40,80-50 90-60 105-85 120-95	低合金钢铸件	8018-C3 9018-M 11018-M 12018-M	80S-D2,80S-Ni1 90S-D2 110S-1 120S-1	8×T1-K2,8×T5-K1 90T5-K2 110T5-K4 120T5-K4
A161		碳素钢管	6010,6011	70S-6,80S-D2	70T-1,71T-1, 70C-3C,70C-6M
A167	301,302, 302B,304	不锈钢薄板 及钢带	308	308	308T-×
	304L 309S,309 310S,310 316 316L,317L 317 347,348 XM-15	不锈钢薄板 及钢带	308L 309 310 316 316L 317,317L 347 310	308L 309 310 316L 316L 317,317L 347 310	308LT-× 309LT-× 310T-× 316LT-× 316LT-× 317LT-× 347T-× 310T-×
	403,405,409 410,410S 429,430 442,446	不锈钢薄板 及钢带	410 410 430 309,310	310 310 430 309,310	310T-× 310T-× 310T-× 309LT-×
		不锈钢薄板 及钢带	308	308L,308LSi	308LT-×
	A	碳素钢管	7018 同 A53	80S-D2 同 A53	71T-1,70T-1,71T-8 同 A53
	C	碳素钢管	同 A53	同 A53	同 A53
		碳素钢管及 配件	同 A53 7018	同 A53 80S-D2	同 A53 71T-8

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A182	F1	C/Mo 钢管及配件	7018-A1	70S-A1	7×T5-A1
	F2, F11, F12 F5, F5a, F21, F22	Cr/Mo 钢管及配件	8018-B2 9018-B3	80S-B2 90S-B3	8×T×-B2 9×T×-B3
	F304, F304H F304L F310 F316L	不锈钢钢管 及配件	308 308L 310 316L	308, 308H 308L 310 316L	308T-×, 308LT-× 308LT-× 310T-× 316LT-×
	F347H, F348, F348H	不锈钢钢管 及配件	347	347	347T-×
	F10	不锈钢钢管 及配件	310	310	310T-×
A184	40 50, 60	碳素钢筋 低合金钢筋	同 A82 9018-M	同 A82 90S-D2	同 A82 90T5-K2, 9×T1-Ni2
A185		低合金钢筋	7018	70S-2, 3, 6	70T-×, 71T-×, 71T-8
A192		碳素钢管	7018	80S-D2, 70S-6	70T-1, 71T-1, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M
A199	T3b, T4, T22 T11 T21	Cr/Mo 钢管	9018-B3 8018-B2 8018-B6, 309	90S-B3 80S-B2 80S-B6, 309	9×T×-B3 8×T×-B2 309T×-×
A200		Cr/Mo 钢管	同 A199	同 A199	同 A199
A202	A, B	压力容器 用低合金钢	9018-M	100S-1	90T1-Ni2 90T5-K2
A203	各级别	压力容器用 含镍钢	8018-C3	80-Ni	81T1-Ni2, 81T1-Ni1, 80T5-K1
A204	A, B	压力容器 用 C/Mo 钢	7018-A1	80S-D2, 70S-A1	7XT5-A1
	C	压力容器 用低合金钢	10018-M	100S-1	100TX-K3
A209		碳素钢管	7018	80S-D2, 70S-6	70T-1, 71T-1, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M
A210	A-1	碳素钢管	6010, 6011	80S-D2, 70S-6	70T-1, 71T-1, 70C-3C, 70C-6M
	C	碳素钢管	7018	70S-6	71T-8
A211		碳素钢管	同 A53	同 A53	同 A53
A213	T2, T11, T12, T17	Cr/Mo 钢管	8018-B2	80S-B2	8×T×-B2, 80C-B2
	T3b, T22	Cr/Mo 钢管	9018-B3	90S-B3	9×T×-B3, 90C-B3
	T5, T5b, T5c, T21	Cr/Mo 钢管	8018-B6 309, 310	80S-B6 309	502T-1
	T9	Cr/Mo 钢管	8018-B8	80S-B8	505T-1
	TP304, TP304H TP304L TP310 TP316, TP316H TP316L TP347, TP347H TP348, TP348H	不锈钢管	308 308L 310 316 316L 347 347	308, 308H 308L 310 316, 316L 316L 347 347	308T-×, 308LT-× 308LT-× 310T-× 316LT-× 316LT-× 347T-× 347T-×

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A214		碳素钢管	同 A161	同 A161	同 A161
A216	WCA	碳素钢铸件	6013,7014, 7024,7018	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,70T-4, 70T-7,70C-3C,70C-6M
	WCB,WCC	碳素钢铸件	7018	70S-3,70S-6,80S-D2	71T-1,70T-1,70T-4,70T-7, 71T-8,70C-3C,70C-6M
A217	WC1	碳素钢铸件	7024,7018	70S-3,70S-6,80S-D2	71T-1,70T-1,70T-4,70T-7, 71T-8,70C-3C,70C-6M
	WC4,WC5, WC6	Cr/Mo 钢铸件	8018-B2	80S-B2	80T×-B2 80C-B2
	WC9	Cr/Mo 钢铸件	9018-B3	90S-B3	90T×-B3 90C-B3
A225	C D	压力容器 用低合金钢	11018-M,12018-M 8018-C3	110S-1,120S-1 80S-D2,80S-Ni1	110T5-K4,120T5-K4 81T1-Ni2,81T1-Ni1
A226		碳素钢管	同 A161	同 A161	同 A161
A234	WPA,WPB,WPC	碳素钢配件	同 A53	同 A53	同 A53
	WP1 WP11,WP12 WP22 WP5	Cr/Mo 钢配件	7018-A1 8018-B2 9018-B3 8018-B6	70S-A1,80S-D2 80S-B2 90S-B3 80S-B6	7×T5-A1 8×T×-B2 9×T×-B3 502T-1
	C,D,E,F,G H	低合金钢配件	9018-M 12018-M	90S-D2 120S-1	90T5-K2 120T5-K4,120C-G
	302,304,304H 305 304L 309S 310S 316H 316L,317L 317 321,347,347H 348,348H	压力容器用 不锈钢	308 308 308L 309 310 316 317,317L 347 347 310	308,308Si 308L,308LSi 308L,308LSi 309,309Si 310 316,316Si 317,317L 347 347 310	308LT-× 308LT-× 308LT-× 309LT-× 310T-× 316LT-× 317LT-× 347T-× 347T-× 310T-×
A242	1,2	碳素结构钢	7018	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,71T-8, 80T1-W,70C-3C,70C-6M
A249	304,304H,305 304L 309 310 316,316H 316L 317	不锈钢管	308 308L 309 310 316 316L 317,317L	308,308L,308LSi 308L,308LSi 309,309Si 310 316,316L,316LSi 316L,316LSi 317,317L	308T-×,308LT-× 308LT-× 309LT-× 310T-× 316LT-× 316LT-× 317LT-×
	321,321H, 347,347H	不锈钢管	347	347	347T-×
		Mo 钢管	7018-A1	70S-A1	70T5-A1
A252	1,2 3	碳素钢管	同 A53 7018	同 A53 80S-D2	同 A53 70T-×,71T-×
A266	1,2,3	碳素钢锻件	7018	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,70T-4,70T-7, 71T-8,70C-3C,70C-6M
A268	TP405,410 TP409 TP329	不锈钢管	410 410 309	410 410 309,309Si	410T-1 409T-2 309LT-×

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A269	TP304	不锈钢管	308	308,308L,308LSi	308LT-×
	TP304L		308L	308L,308LSi	308LT-×
	TP316		316	316,316L,316LSi	316LT-×
	TP316L		316L	316L,316LSi	316LT-×
	TP317		317,317L	317,317L	317LT-×
	TP321,TP347		347	347	347T-×
A270		不锈钢管	308	308,308L,308LSi	308LT-×
A271	TP304	不锈钢管	308	308,308L,308LSi	308LT-×
	TP304H		308	308L,308LSi	308LT-×
	TP321		347	347	347T-×
	TP321H		347	347	347T-×
	TP347		347	347	347T-×
	TP347H		347	347	347T-×
A273	C1010-C1020	碳素钢锻件	7018,7024	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,70T-4,71T-8, 70C-3C,70C-6M
A276	302,304, 305,302B	不锈钢棒	308	308,308L,308LSi	308LT-×
	304L	不锈钢棒	308L	308L,308LSi	308LT-×
	309,309S		309	309,309Si	309LT-×
	310,310S		310	310	310T-×
	316		316	316,316L,316LSi	316LT-×
	316L		316L	316L,316LSi	316LT-×
	317		317,317L	317,317L	317LT-×
	321,347,348		347	347	347T-×
TP446	309,310		309,310	309T-×,310T-×	
A283	A,B,C,D	碳素结构钢	同 A36	同 A36	同 A36
A284	C,D	碳素结构钢	同 A36	同 A36	同 A36
A285	A,B,C	压力容器用钢	7018,7024	70S-3,70S-6,80S-D2	71T-1,70T-1,71T-8, 70C-3C,70C-6M
A288	1	碳素钢锻件	7018,7024	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,70T-4,70T-7, 71T-8,70C-3C,70C-6M
	2	低合金钢锻件	9018-M	90S-D2	90T5-K2
	3		11018-M	110S-1	110T5-K4
A289	A,B	不锈钢锻件	308	308,308Si	308LT-×
A297	HF	不锈钢锻件	308,308L	308,308L,308LSi	308LT-×
	HH		309	309,309Si	309T-×
	HI,HK		310	310	310T-×
	HE		312	312,310	310T-×
A299		压力容器用 低合金钢	9018-M	80S-D2 90S-D2	9×T5-K2
A302	A,B,C,D	压力容器用 低合金钢	9018-M	90S-D2	9×T5-K2
A312	TP304, TP304H	不锈钢管	308	308,308L,308H	308LT-×
	TP304L		308L	308L,308LSi	308LT-×
	TP309		309	309,309Si	309LT-×
	TP310		310	310	310T-×
	TP316, TP316H		316	316,316L,316LSi,316H	316LT-×
	TP316L		316L	316L,316LSi	316LT-×
	TP317	317,317L	317,317L	317LT-×	
	TP321,321H, 347,347H, 348,348H	不锈钢管	347	347,347Si	347T-×

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A333	1,6 3,4,7,9	低合金钢管	8018-C3 8018-C2	80S-Ni1 80S-Ni3	81T1-Ni2,81T1-Ni1 80C-Ni3
A334	1,6 3,7,9	低合金钢管	8018-C3 8018-C2	80S-Ni1 80S-Ni3	81T1-Ni2,81T1-Ni1 80C-Ni3,8×T5-Ni3
A335	P1,P15 P2,P11,P12 P22 P91	C/Mo 钢管 Cr/Mo 钢管 Cr/Mo 钢管 Cr/Mo 钢管	7018-A1 8018-B2 9018-B3 9018-B9	70S-A1 80S-B2 90S-B3 90S-B9	7×T5-A1,8×T1-A1 8×T×-B2 9×T×-B3
A336	F1	压力容器用 低合金钢	7018-A1	70S-A1	7×T5-A1,8×T1-A1
	F22,F22a F30	压力容器用 Cr/Mo 钢	9018-B3 8018-B2	90S-B3 80S-B2	9×T×-B3 8×T×-B2
	F31	压力容器用 含镍钢	8018-C2	80S-Ni3	8×T5-Ni3 80C-Ni3
A336	F8,F82,F84 F8M F10,F25	压力容器用 不锈钢	308 316 310	308,308L,308LSi 316,316L,316LSi 310	308LT-× 316LT-× 310T-×
A350	LF1,LF2 LF3,LF4	含镍钢配件	8018-C3 8018-C2	80S-Ni1 80S-Ni3	81T1-Ni2,81T1-Ni1 80C-Ni3,90T5-Ni3
A351	CF8,CF8A,CF8C CF3,CF3A	不锈钢铸件	308 308L	308,308L,308LSi 308L,308LSi	308LT-× 308LT-×
	CF8M,CF10MC, CF3M,CF3MA	不锈钢铸件	316L	316L,316LSi	316LT-×
	CH8,CH10,CH20 CK20,HK30,HK40	不锈钢铸件	309 310	309,309Si 310	309LT-× 310T-×
A352	LC2 LC3	含镍钢铸件	8018-C1 8018-C2	80S-Ni2 80S-Ni3	81T1-Ni2 8×T5-Ni3,80C-Ni3
A356	1 2 5,6,8 10	碳素钢铸件 C/Mo 钢铸件 Cr/Mo 钢铸件 Cr/Mo 钢铸件	同 A27 7018-A1 8018-B2 9018-B3	同 A27 70S-A1 80S-B2 90S-B3	同 A27 7×T5-A1,8×T1-A1 8×T×-B2 9×T×-B3
A358	304 309 310 316 321,347,348	不锈钢管	308 309 310 316 347	308L 309 310 316L 347	308LT-× 309LT-× 310T-× 316LT-× 347T-×
A361		薄钢板	7018	70S-6	71T-11,71T-GS,70T-1 71T-8,71T-1
A369	FP1 FP2,FP11,FP12 FP22,FP3B	低合金钢管 Cr/Mo 钢管 Cr/Mo 钢管	7018-A1 8018-B2 9018-B3	70S-A1 80S-B2 90S-B3	7×T5-A1,8×T1-A1 8×T×-B2,80C-B2 9×T×-B3,90C-B3
	FPA,FPB	低合金钢管	7018	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,70T-4,70T-7, 71T-8,70C-3C,70C-6M
A372	I	碳素钢锻件	7018	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,70T-4, 70T-7,71T-8,70C-3C, 70C-6M
	II,III IV	低合金钢锻件	9018-M 11018-M	90S-D2 110S-1	90T5-K2 110T5-K4,110T1-G
	V VI	合金钢锻件	12018-M 10018-D2	120S-1 100S-1	120T5-K4,120C-G 100T×-K3,110T5-K4

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A376	TP304, TP304H, TP304N	不锈钢管	308	308, 308H, 308L, 308LSi	308LT-x
	TP316, TP316H, TP316N	不锈钢管	316	316, 316H, 316LSi	316LT-x
	TP321, TP321H, TP347, TP347H, TP348	不锈钢管	347	347, 347Si	347T-x
A381	Y35-Y50 Y52, Y56 Y60, Y65	碳素钢管 碳素钢管 低合金钢管	同 A53 7010, 7018 9018-M	同 A53 80S-D2 100S-1	同 A53 71T8-K6, 71T-8 90T5-K2, 9xT1-Ni2
A387	11 22 5 9 91	压力容器用 Cr/Mo 钢	8018-B2 9018-B3 8016-B6 8016-B8 9018-B9	80S-B2 90S-B3 80S-B6, 502 80S-B8, 505 90S-B9	8xTx-B2, 80C-B2 90xTx-B3, 90C-B3 8xT5-B6 8xT5-B8 —
A389	C23	Cr/Mo 钢铸件	8018-B2	80S-B2	8xTx-B2, 80C-B2
A403	WP304, WP304H WP304L WP309 WP310 WP316, WP316H WP317	不锈钢配件	308 308L 309 310 316 317, 317L	308, 308L, 308H 308L, 308LSi 309, 309Si 310 316, 316L, 316H 317, 317L	308LT-x 308LT-x 309LT-x 310T-x 316LT-x 317LT-x
	WP321, WP321H, WP347H, WP348	不锈钢配件	347	347, 347Si	347T-x
A405	P24	Cr/Mo 钢管	9018-B3	90S-B3	9xTx-B3, 90C-B3
A409	TP304, TP304L TP309 TP310 TP316, TP316L TP317	不锈钢管	308, 308L 309 310 316, 316L 317, 317L	308, 308L, 308LSi 309, 309Si 310 316, 316L, 316LSi 317, 317L	308LT-x 309LT-x 310T-x 316LT-x 317LT-x
	TP321, TP347, TP348	不锈钢管	347	347	347T-x
A412	201, 202	不锈钢薄板 及钢带	308	308, 308L, 308LSi	308LT-x
A413	PC, BBB	碳素钢锚链	7018	70S-3	71T-1, 70T-1, 70T-4, 70T-7, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M
A414	A, B, C, D, E, F, G	碳素钢薄板	6013, 7014, 7024-1	70S-3, 70S-6	71T-1, 70T-1, 70T-4, 70T-7, 70C-3C, 70C-6M
A420	WPL6 WPL9 WPL3	碳素钢配件 含镍钢配件 含镍钢配件	8018-C3 8018-C1 8018-C2	80S-Ni1 80S-Ni2 80S-Ni3	81T1-Ni2, 81T1-Ni1 81T1-Ni2 80C-Ni3
A423	1 2	Cr/Mo 钢管 含镍钢管	8018-B2 8018-C3	80S-B2 80S-Ni1	8xTx-B2, 80C-B2 81T1-Ni2, 81T1-Ni1
A426	CP1, CP15 CP2, CP11, CP12 CP21, CP22	Cr/Mo 钢管	7018-A1 8018-B2 9018-B3	70S-A1 80S-B2 90S-B3	8xT1-A1 8xTx-B2, 80C-B2 9xTx-B3, 90C-B3

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A430	FP304,FP304H, FP304N	不锈钢管	308	308,308L,308LSi	308LT-×
	FP316,FP316H, FP316N	不锈钢管	316	316,316L,316LSi	316LT-×
	FP321,FP321H, FP347,FP347H	不锈钢管	347	347	347T-×
A441		碳素结构钢	同 A36	同 A36	同 A36
A442	55,60	压力容器 用含镍钢	8018-C3	80S-Ni1	81T1-Ni2,81T1-Ni1
A447		不锈钢铸件	309	309,309Si	309LT-×
A451	CPF8,CPF8C CPH8,CPH20 CPK20	不锈钢管	308 309 310	308,308L,308Si 309,309Si 310	308LT-× 309LT-× 310T-×
A452	TP304H TP316H TP347H	不锈钢管	308 316 347	308,308H,308Si 316,316H,316Si 347,347Si	308LT-× 316LT-× 347T-×
A455		压力容器 用低合金钢	9018-M	90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
A457	761	不锈钢薄板 及钢带	347	347	347T-×
A469	1,2	含镍钢锻件	8018-C2	80S-Ni3	8×T5-Ni3,80C-Ni3
A470	1,2	含镍钢锻件	8018-C2	80S-Ni3	8×T5-Ni3,80C-Ni3
A479	302,304,304H 304L 310,310S 316,316H 316L	不锈钢棒	308 308L 310 316 316L	308,308H,308Si 308L,308LSi 310 316,316H,316Si 316L	308LT-× 308LT-× 310T-× 316LT-× 316LT-×
	321,321H,347, 347H,348,348H	不锈钢棒	347	347	347T-×
A486	70	碳素钢铸件	7014,7024,7018	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,70T-4, 70T-7,70C-3C,70C-6M
	90	低合金钢铸件	9018-M	90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
	120	合金钢铸件	12018-M	120S-1	120T5-K4,120C-G
A487	1N,2N,4N,8N, 9N,1Q,2Q	低合金钢铸件	9018-M	90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
	3Q,4Q,5Q,4QA, 7Q,8Q,9Q,10Q, 5N,6N,10N	合金钢铸件	12018-M	120S-1	120T5-K4,120C-G
A493	302,304,305 316 321,347 410	不锈钢棒	308 316 347 410	308,308Si 316,316Si 347 410	308LT-× 316LT-× 347T-× 410T-×

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A496		低合金钢钢筋	9018-M	90S-D2	90T5-K2, 9×T1-Ni2
A497		低合金钢钢筋	9018-M	90S-D2	90T5-K2, 9×T1-Ni2
A500	A, B, C	碳素钢管	同 A36	同 A36	同 A36
A501		碳素钢管	同 A161	同 A161	同 A161
A508	1, 1a	碳素钢锻件	7018	70S-3, 70S-6	71T-1, 70T-1, 70T-4, 70T-7, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M
	2, 3 4, 5 5a, 4a	低合金钢锻件	9018-M 11018-M 12018-M	90S-D2 110S-1 120S-1	90T5-K2, 9×T1-Ni2 110T5-K4 120T5-K4
A511	MT302, 304, 305	不锈钢管	308	308, 308Si	308LT-×
	MT304L		308L	308L, 308LSi	308LT-×
	MT309, 309S		309	309, 309Si	309LT-×
	MT310, 310S		310	310	310T-×
	MT316		316	316, 316Si	316LT-×
	MT316L		316L	316L, 316LSi	316LT-×
	MT317		317, 317L	317, 317L	317LT-×
	MT321, 347		347	347	347T-×
	MT410		410	410	410T-×
A512	MT1010~MT1020	碳素钢管	同 A216	同 A216	同 A216
A513	1008~1022	碳素钢管	同 A161	同 A161	同 A161
A514		低合金钢板	11018-M, 12018-M	110S-1, 120S-1	110T5-K4, 120T5-K4
A515		压力容器用碳钢	7018	70S-3	71T-1, 70T-1, 70T-4, 70T-7, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M
A516		压力容器用碳钢	7018	70S-3	81T1-Ni2, 70T-1, 71T-1, 70T-4, 71T-8, 70T-7, 70C-3C, 70C-6M
A517		压力容器 用低合金钢	11018-M	110S-1	110T5-K4
A519	1008~4310	碳素钢管	同 A161	同 A161	同 A161
A521	CA, CC, CC1	碳素钢锻件	7018	70S-3, 70S-6	70T-1, 71T-1, 70T-4, 71T-8, 70T-7, 70C-3C, 70C-6M
	AA, AB, CE, CF, AC, AD, CF1, CG	低合金钢锻件	9018-M	90S-D2	90T5-K2, 9×T1-Ni2
	AE	低合金钢锻件	11018-M	110S-1	110T5-K4
A523		碳素钢管	同 A53	同 A53	同 A53
A524		碳素钢管	同 A53	同 A53	同 A53
A526		镀锌薄钢板	7018	70S-6	71T-11, 71T-GS
A527		镀锌薄钢板	7018	70S-6	71T-11, 71T-GS
A528		镀锌薄钢板	7018	70S-6	71T-11, 71T-GS
A529		碳素结构钢	同 A36	同 A36	同 A36

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)			
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝	
A533	A1,B1,C1,D1	压力容器 用低合金钢	9018-M	90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2	
	A2,B2,C2,D2, A3,B3,C3,D3	压力容器 用低合金钢	10018 M	100S-1	100T5-K3	
A537	1	压力容器用碳钢	7018	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,71T-8	
	2	压力容器 用含镍钢	8018-C3	80S-Ni1	81T1-Ni2,80C-Ni2 81T1-Ni1	
A539		碳素钢管	同 A161	同 A161	同 A161	
A541	1,1a	碳素钢锻件	7018	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,70T-4,70T-7, 71T-8,70C-3C,70C-6M	
	2,3,4,5,6 6A,7,7A,8,8A	Cr/Mo 钢锻件 低合金钢锻件	8018-B2 12018-M	80S-B2 120S-1	80C-B2,8×T×-B2 120C-G,120T5-K4	
A542	1,2	压力容器 用 Cr/Mo 钢	9018-B3	90S-B3	90C-B3,9×T×-B3	
A543	A,B	压力容器 用低合金钢	12018-M	120S-1	120T5-K4	
A554	MT301,302, 304,305 MT304L MT309,309S MT310,310S MT316 MT316L MT317 MT321,347	不锈钢管	308 308L 309 310 316 316L 317,317L 347	308,308L,308LSi 308L,308LSi 309,309Si 310 316,316Si 316L,316LSi 317,317L 347	308LT-× 308LT-× 309LT-× 310T-× 316LT-× 316LT-× 317LT-× 347T-×	
	A2,B2	碳素钢管	同 A161	同 A161	同 A161	
	C2	碳素钢管	7018	70S-6,80S-D2	71T-1,70C-3C, 70C-6M,70T-1	
		碳素钢管	同 A556	同 A556	同 A556	
		压力容器 用碳钢	7018	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,71T-8, 71T-11,70C-3C,70C-6M	
		薄钢板 及钢带	6022,6013,7014	70S-3,70S-6	71T-11,71T-GS,71T-1 70T-1,70C-3C,70C-6M	
	A570	30,36,40,45	薄钢板 及钢带	所有 E60 或 E70 焊条	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,71T-8, 70C-3C,70C-6M
		50	薄钢板 及钢带	7018,7024	70S-3,70S-6	70T-4,70T-7,70T-1,71T-1, 71T-8,70C-3C,70C-6M
A572	42~55 60~65	碳素结构钢 低合金结构钢	同 A36 8018-C2	同 A36 80S-Ni3	同 A36 80C-Ni3	
		碳素结构钢	同 A36	同 A36	同 A36	
A587		碳素钢管	同 A53	同 A53	同 A53	
A588		碳素结构钢	7018	70S-3,70S-6	71T-8	
A589		碳素钢管	同 A53	同 A53	71T8-K6	
A591		镀锌薄钢板	7018	70S-6	71T-11,71T-GS	

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A592	A,E,F	压力容器 用低合金钢	12018-M	120S-1	120T5-K4,120C-G
A595	A,B,C	碳素钢管	7018	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,71T-8
A606		低合金钢薄板	7018	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,70T-4, 70T-7,71T-11,71T-GS, 70C-3C,70C-6M
A607	45	低合金钢薄板	6010,6011,6013, 7014,7024,7018	70S-3,70S-6 80S-D2	71T-1,70T-1,70T-4, 70T-7,71T-11,71T-GS, 70C-3C,70C-6M
	50	低合金钢薄板	7018	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,70T-4,70T-7, 71T-8,71T-11,71T-GS, 70C-3C,70C-6M
	60 70	低合金钢薄板	8018-C3 9018-M	80S-Ni1 90S-D2,80S-D2	81T1-Ni2,81T1-Ni1 90T5-K2
A611	A,B,C,D	薄钢板	所有 E60 或 E70 焊条	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,70T-4,70T-7, 71T-8,70C-3C,70C-6M
	E	薄钢板	9018-M	90S-D2,80S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
A612		压力容器用钢	9018-M	90S-D2,80S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
A615	40	碳素钢筋	同 A82	同 A82	同 A82
	60	低合金钢筋	9018-M	80S-D2,90S-D2	90T5-K2
	75	低合金钢筋	10018-M	80S-D2,100S-1	100T5-K3
A616	50,60	低合金钢筋	9018-M	80S-D2,90S-D2	110T5-K4
A617	40	碳素钢筋	同 A82	同 A82	同 A82
	60	低合金钢筋	9018-M	80S-D2,90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
A618	1,2,3	碳素钢管	7018	70S-6,80S-D2	71T-8
A620		薄钢板	7014,7024	70S-3	71T-11,71T-GS,71T-1
A621		薄钢板及钢带	7018	70S-6	70T-1,71T-1,71T-8
A632	TP304	不锈钢管	308	308,308L,308LSi	308LT-×
	TP304L		308L	308L,308LSi	308LT-×
	TP310		310	310	310T-×
	TP316		316	316,316Si	316LT-×
	TP316L		316L	316L,316LSi	316LT-×
	TP317		317,317L	317,317L	317LT-×
	TP321		347	347	347T-×
	TP347		347	347	347T-×
	TP348		347	347	347T-×
A633	A,B,C,D	低合金结构钢	7018	70S-3,70S-6	71T-1,70T-1,70C-3C, 70C-6M,71T-11,71T-GS, 70T-4,70T-7,71T-8
A642		镀锌薄钢板	7018	70S-3,70S-6	71T-11,71T-GS,71T-8

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A643	A	碳素钢铸件	7018,7024	70S-3,70S-6,80S-102	70T-1,71T-1,70C-3C, 70C-6M,70T-4, 70T-7,71T-8
	B C	低合金钢铸件	10018-D2 9018-B3	100S-1 90S-B3	100T5-K3,100T1-K3 90C-B3,9×T×-B3
A651	TP409	不锈钢管	410	410	409T-2G
	TP×M8		347	347	347T-×
	TP304		308	308,308L	308LT-×
	TP316		316	316,316L	316LT-×
A656	1,2	低合金结构钢	10018-D2	100S-1	100T5-K3
A659	1015,1016,1017, 1018,1020,1023	薄钢板及钢带	同 A607	70S-3,70S-6,80S-D2	70T-1,71T-1,70C-3C, 70C-6M,70T-4,70T-7
A660	WCC,WCA,WCB	碳素钢管	7018	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,71T-8 70C-3C,70C-6M
A662	A,B	压力容器用 C-Mn 钢	7018	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,71T-8, 70C-3C,70C-6M, 70T-4,70T-7
A666	TP301	不锈钢薄板	308	308,308Si,308L	308LT-1
	TP316	及不锈钢钢带	316	316,316L,316Si	316LT-1
A669		不锈钢管	316L	316L,316LSi	316LT-1
A672	B65	碳素钢管	7018	70S-3	70T-1,71T-1,71T-8, 70C-3C,70C-6M
A672	D80,E55,E60	低合金钢管	8018-C3	80S-Ni1	81T1-Ni2,81T1-Ni1
	H75,H80,J80,J90		9018-M	90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
	J100		10018-M	100S-1	100T5-K3,100T1-G
	K75,K85		9018-M	90S-D2	100T5-K4,9×T1-Ni2
	L65,L70		7018-A1	80S-D2,70S-A1	8×T1-A1,7×T5-A1
	L75		10018-M	100S-1	100T5-K3,100T1-G
	M70,M75,N75		9018-M	90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
A678	A	低合金结构钢	7018	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,71T-8, 70C-3C,70C-6M, 70T-4,70T-7
	B	低合金结构钢	9018-M	90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
	C		10018-M	100S-1	100T5-K3
A688	TP304	不锈钢管	308	308,308L,308LSi	308LT-×
	TP304L		308L	308L,308LSi	308LT-×
	TP316		316	316,316Si	316LT-×
	TP316L		316L	316L,316LSi	316LT-×
A691	CM65,CM70	碳钢及合金钢 钢管	7018-A1	80S-D2,70S-A1	8×T1-A1,7×T5-A1
	CM75		10018-M	100S-1	100T5-K3
	CMSH70	碳钢及合金钢 钢管	7018	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,71T-8, 70C-3C,70C-6M,
	CMS75	低合金钢 钢管	9018-M	90S-D2	90T5-K2
	CMSH80		8018-C3	80S-Ni1	81T1-Ni2,81T1-Ni1
	1/2CR		8018-B2	80S-B2	8×T×-B2
1CR,1-1/4CR	8018-B2		80S-B2	8×T×-B2	
2-1/4CR	9018-B3	90S-B3	9×T×-B3		

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A692		C/Mn 钢管	7018-A1	80S-D2, 70S-A1	8×T1-A1, 7×T5-A1
A694	F42, F46, F48	碳素钢及 低合金钢配件	7018	70S-3, 70S-6	70T-1, 71T-1, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M, 70T-4, 70T-7
	F56, F50, F52	低合金钢配件	7018, 7028	70S-3, 70S-6	70T-1, 71T-1, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M, 70T-4, 70T-7
	F60, F65	低合金钢配件	8018-C3	80S-D2, 80S-Ni1	81T1-Ni2, 81T1-Ni1
A696	B, C	碳素钢棒	7018	70S-3, 70S-6	70T-1, 71T-1, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M, 70T-4, 70T-7
A699	1, 2, 3, 4	低合金钢板及钢棒	10018-D2	100S-1	100T5-K3
A704	40	碳素钢筋	7018	70S-3, 70S-6	70T-1, 71T-1, 70C-3C, 70C-6M, 70T-4, 70T-7, 71T-8, 71T-11, 71T-GS
	60	低合金钢筋	9018-M	80S-D2, 90S-D2	90T5-K2
A706		低合金钢筋	8018-C3	80S-D2, 80S-Ni1	81T1-Ni2, 81T1-Ni1
A707	L1, L2, L3	碳钢及 低合金钢法兰	7018	70S-3, 70S-6	70T-1, 71T-1, 70C-3C, 70C-6M, 70T-4, 70T-7, 71T-8
	L4 L5, L6 L7, L8	碳钢及 低合金钢法兰	8018-C1 8018-C3 8018-C2	80S-Ni2 80S-Ni1 80S-Ni3	81T1-Ni2 81T1-Ni2, 81T1-Ni1 8×T5-Ni3, 80C-Ni3
A709	36	碳素结构钢	6013, 7014, 7024, 7018	70S-3, 70S-6	70T-1, 71T-1, 70C-3C, 70C-6M, 70T-4, 70T-7, 71T-8, 71T-11, 71T-GS
	50, 50W	碳素结构钢	7018	70S-3, 70S-6	70T-1, 71T-1, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M, 70T-4, 70T-7
	100, 100W	低合金结构钢	11018-M	110S-1	110T5-K4, 110C-G
A714	I, II, III, IV	低合金钢管	7018	70S-3, 70S-6	70T-1, 71T-1, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M
	V VI	低合金钢管	8018-C1 8018-C3	80S-Ni2 80S-Ni1	81T1-Ni2 81T1-Ni2, 81T1-Ni1
A715	50	薄钢板及钢带	6013, 7024, 7018	70S-3, 70S-6, 80S-D2	70T-1, 71T-1, 70C-3C, 70C-6M, 70T-4, 70T-7
	60	薄钢板及钢带	7018, 7024, 7014	70S-3, 70S-6	70T-1, 71T-1, 71T-8, 70C-3C, 70C-6M
	70	薄钢板及钢带	8018-C3	80S-D2, 80S-Ni1	70T-1, 71T-1, 70T-4, 70T-7, 70C-3C, 70C-6M
	80	薄钢板及钢带	9018-M	80S-D2, 90S-D2	90T5-K2, 9×T1-Ni2

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A724	A	压力容器用调质钢	9018-M	80S-D2,90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
A732	1A,2A,3A	碳素钢铸件	6013,7024, 7014,7018	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,70C-3C, 70C-6M,70T-4,70T-7
	4A	碳素钢铸件	9018-M	90S-D2	90T5-K2
	5N,6N	碳素钢铸件	7024,7018	70S-3,80S-D2	70T-1,71T-1,70T-4,70T-7 71T-8,70C-3C,70C-6M
A734	A	压力容器用 低合金钢	8018-B2	80S-B2	8×T1-B2
	B	低合金钢	9018-M	80S-D2,90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
A735	1,2,3	压力容器用 低合金钢	9018-M	80S-D2,90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
	4	低合金钢	10018-D2	100S-1	100T5-K3
A736	2	压力容器用 低合金钢	8018-B2	80S-B2	8×T×-B2,80C-B2
	3	低合金钢	9018-M	80S-D2,90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
	B	压力容器用 低合金钢	7018	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,70T-4,70T-7 71T-8,70C-3C,70C-6M
A737	C	压力容器用 低合金钢	9018-M	80S-D2,90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
A738		压力容器用 低合金钢	9018-M	80S-D2,90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
A744	CF-8	不锈钢铸件	308	308,308Si	308LT-×
	CF-8M		316	316,316Si	316LT-×
	CF-8C		347	347	347T-×
	CF-3		308L	308L,308LSi	308LT-×
	CG-8M		316L,317L	316L,317L	316LT-×,317LT-×
A757	A2Q	低合金钢铸件	7018	70S-6	71T-8
	B2N,B2Q		8018-C1	80S-Ni2	81T1-Ni2
	B3N,B3Q		8018-C2	80S-Ni3	80T5-Ni3,80C-Ni3
	C1Q		10018-M	100S-1	100T5-K3
	DNDQ		9018-B3,9018-B3L	90S-B3	9×T×-B3
E1Q	11018-M	110S-1	110T5-K4		
A765	1	压力容器用 低合金钢	7018,8018	80S-D2	71T-1,70T-1,71T-8,81T-1
	2	低合金钢	7018-1,8018-C1	80S-Ni2	71T-1,70T-1,71T-8,81T-Ni2
A771	TP316	不锈钢管	316H	316H	316T-×
A782		压力容器用 高强度 Mn-Cr-Mo 钢	9018-M	80S-D2,90S-D2	90T5-K2,9×T1-Ni2
		低合金钢板	11018-M	110S-1	110T5-K4
		低合金钢板	12018-M	120S-1	120T5-K4
A808		低合金钢板	7018-1	80S-Ni2	71T-1,70T-1,71T-8
A812	65	低合金钢薄板	9018-M	80S-D2,90S-D2	90T5-K2
	8		11018-M,10018-M	110S-1,100S-1	110T5-K4,100T5-K3

续表

ASTM 编号	级 别	金属类型	推荐的填充金属型号(AWS)		
			焊 条	实芯焊丝	药芯焊丝
A813	TP304	不锈钢管	308	308,308Si	308T-×
	TP304H		308H	308H	308T-×
	TP304L		308L	308L,308LSi	308LT-×
	TP309S		309	309,309Si	309T-×
	TP310S		310	310	310T-×
	TP316		316	316,316Si	316T-×
	TP316H		316H	316H	316T-×
	TP316L		316L	316L,316LSi	316LT-×
	TP317		317,317L	317,317L	317LT-×
	TP317L		317L	317L	317LT-×
	TP321		347	347	347T-×
	TP347		347	347	347T-×
A814		不锈钢管	同 A813	同 A813	同 A813
A815	WP410	不锈钢管	410	410	
A822		碳素钢管	6010,6011,6013		
A826	TP316	不锈钢管	316H	316H	
A830		碳素钢板	7018	70S-3,70S-6	70T-1,71T-1,71T-8, 70C-3C,70C-6M
A841		压力容器用碳钢	7018		71T-1,70T-1,71T-8
A851	TP304	不锈钢管	308,308H	308,308H	308T-×
	TP304L		308L	308L	308LT-×
A871	60,65	低合金耐候钢板	8018W		80T1-W
A873	1,2,3,4	薄钢板及钢带	9018-B3,9018-B3L	90S-B3,80S-B3L	90C-B3,9×T×-B3

注：表中药芯焊丝型号中的“×”（如9×T×-B3、308T-×）、分别表示焊接位置、焊芯中粉剂类型或所用保护气体种类，可根据情况选用。

附表 2 ASTM 标准编号及其名称

编号	名 称	编号	名 称
A3	低碳钢连接板	A148	高强度结构钢铸件
A27	一般用低、中强度碳素钢铸件	A161	精炼蒸馏管用无缝低碳钢和碳-钼钢管(外径 50~225 mm)
A36	建筑结构钢		
A53	不镀锌或热浸镀锌的焊接或无缝钢管	A167	不锈和耐热铬-镍钢的中厚板、薄板和钢带
A82	钢筋混凝土用冷拉钢筋	A176	不锈和耐热铬钢管、薄板和钢带
A105	管结构用碳素钢锻件	A177	高强度不锈钢和耐热镍铬钢薄板和钢带
A106	高温用无缝碳素钢管	A178	电阻焊碳素钢锅炉钢管(外径 12~125 mm)
A123	轧制、压制和锻制的型钢、钢板、钢棒及钢带镀锌制品	A179	热交换器和冷凝管用低碳冷拔钢管(外径 3~75 mm)
		A181	法兰、锻造配件、阀门及通用部件用锻造轧制钢管
A131	船用结构钢	A182	高温法兰、锻造配件、阀门和部件用锻造轧制合金钢管
A134	电弧焊钢管(直径≥400 mm)		
A135	电阻焊钢管	A184	钢筋混凝土用钢棒和钢丝网
A139	电弧焊钢管(直径≥100 mm)	A185	钢筋混凝土用焊接钢筋

续表

编号	名称	编号	名称
A192	高压用无缝碳素钢锅炉钢管(外径 12~175 mm)	A302	压力容器用锰 铜和锰 铜-镍合金钢板
A199	热交换器和冷凝器用无缝冷拔中合金钢管	A312	通用无缝和焊接的奥氏体不锈钢管
A200	精炼油用蒸馏器无缝中合金钢管	A333	低温用无缝和有缝低合金钢管
A202	压力容器用铬-锰-硅合金钢板	A334	低温用无缝和有缝碳钢和合金钢管
A203	压力容器用含镍合金钢板	A335	高温用无缝铬-钼合金钢管
A204	压力容器用含钼合金钢板	A336	无缝圆筒、顶盖和其他压力容器组件用的合金钢 锻件
A209	无缝碳-钼合金钢锅炉和过热器钢管	A350	碳钢和低合金钢锻件(对于管件要求缺口韧性试 验)
A210	无缝中碳锅炉和过热器钢管(外径 12~125 mm)	A351	高温使用的奥氏体钢铸件
A211	螺旋焊接钢管	A356	蒸汽涡轮用厚壁碳钢和低合金钢铸件
A213	锅炉、过热器和热交换器用铬-钼钢和奥氏体不锈 钢无缝合金钢管	A361	屋面和壁板用热镀锌薄钢板
A214	电阻焊接的热交换器和冷凝器碳素钢管	A369	高温用铁素体锻造和扩孔合金钢管
A216	高温用的适于熔化焊接的碳素钢铸件	A372	薄壁压力容器壳体用碳钢和合金钢锻件
A217	高温用(包括压力件)合金钢铸件	A376	通用无缝和焊接的奥氏体不锈钢管
A225	压力容器用锰-钒合金钢板	A381	高压传输系统用的熔化极电弧焊钢管
A226	电阻焊接的高压锅炉和过热器碳素钢管(外径 12~125 mm)	A387	压力容器用铬-钼合金钢板
A234	中、高温配件用锻造碳钢和合金钢管	A389	适于高温用部件在内的经特殊热处理的合金钢铸 件
A236	铁道用碳钢锻件	A405	高温用经特殊处理的无缝铬-钼合金钢管
A240	压力容器用铬和铬-镍耐热不锈钢板、薄板和带钢	A409	通用无缝和焊接的奥氏体不锈钢管
A242	低合金高强度结构钢	A412	不锈和耐热铬-镍-锰钢板、薄板和钢带
A249	锅炉、加热器、热交换器及冷凝器用奥氏体钢焊接 管	A413	碳素钢锚链
A250	电阻焊接的碳-钼合金钢锅炉和过热器钢管	A414	压力容器用碳素钢薄板
A252	打桩用有缝和无缝钢管	A420	低温配件用锻造碳钢和含镍合金钢管
A266	无缝圆筒、盖和其他压力容器组件用碳钢锻件	A423	无缝和有缝低合金钢管
A268	通用无缝和焊接铁素体不锈钢管	A426	高温用离心铸造铬-钼合金钢管
A269	通用无缝和焊接的奥氏体系不锈钢管	A430	高温用锻制及镗制奥氏体钢管
A270	通用无缝和焊接的奥氏体系不锈钢管	A441	碳素结构钢
A271	精炼蒸馏釜用无缝奥氏体系铬-镍钢管	A442	改善转变性能的压力容器用含镍钢板
A276	不锈和耐热钢棒和型材	A447	高温铬-镍不锈钢铸件
A283	一般结构用低、中等抗拉强度碳素钢板	A451	高温用离心铸造的奥氏体钢管
A284	机械零件和一般结构用低、中等抗拉强度碳-硅钢 板	A452	高温用离心铸造的奥氏体钢冷加工管
A285	压力容器用低、中等抗拉强度碳钢板	A455	压力容器用碳钢和高强度锰钢板
A289	发电机作磁性护环用合金钢锻件	A469	发电机转子用真空处理含镍钢锻件
A297	一般用途的铁-铬、铁-铬-镍耐热合金铸件	A470	涡轮机转子和轴用真空处理碳素钢和含镍钢锻件
A299	压力容器用碳钢、锰-硅钢板	A479	锅炉和压力容器用不锈钢和耐热钢棒材及型材
		A486	公路用钢铸件

续表

编号	名称	编号	名称
A487	适于压力下使用的钢铸件	A572	高强度低合金钒-钕结构钢
A493	冷锻、冷锻不锈钢和耐热钢棒材	A573	改善韧性的碳素结构钢板
A496	钢筋混凝土用变形(竹节形)钢丝	A587	化学工业用电焊低碳钢管
A497	钢筋混凝土用焊接变形(竹节形)钢丝网	A588	最低屈服强度为 340 MPa 的高强度低合金结构钢 (厚度 ≤ 100 mm)
A500	圆形和特型冷成形有缝和无缝碳钢结构钢管	A589	无缝和焊接碳钢水井管
A501	热成形有缝和无缝碳钢结构钢管	A591	冷轧电镀锌薄钢板
A508	压力容器用真空淬火和回火处理的碳钢和合金钢 锻件	A592	压力容器用高强度淬火和回火低合金钢锻造配件 和部件
A511	机械用无缝不锈钢管	A595	结构用锥形低碳钢管
A512	机械用冷拉对接焊碳素钢管	A606	耐蚀性好的高强度低合金热轧和冷轧薄钢板和 钢带
A513	机械用电阻焊碳素钢和合金钢管	A607	含钒和/或钕的高强度低合金钢热轧和冷轧薄钢 板和钢带
A514	适合焊接的高屈服强度淬火和回火合金钢板	A611	碳素结构钢冷轧薄钢板
A515	中、高温用压力容器碳钢板	A612	中、低温用压力容器高强度碳钢板
A516	中、低温用压力容器碳钢板	A615	钢筋混凝土用变形(竹节形)和普通短坯钢筋
A517	高强度淬火和回火压力容器合金钢板	A616	钢筋混凝土用钢轨钢螺纹和光面钢筋
A519	机械用无缝碳钢和合金钢管	A617	钢筋混凝土用车轴钢螺纹和光面钢筋
A521	工业通用密封模锻件	A618	热成形有缝和无缝高强度碳素结构钢管
A523	高压管型电缆回路用平端无缝和电阻焊接钢管	A620	拉延级特殊镇静碳素钢冷轧薄钢板
A524	常压低温用无缝碳钢管	A621	拉延级碳素钢热轧薄钢板和钢带
A526	商业级热镀锌薄板	A632	通用无缝及焊接的奥氏体不锈钢管(小口径)
A527	咬合成形级热镀锌薄板	A633	正火高强度低合金结构钢
A528	深冲级热镀锌薄板	A642	热镀锌特殊脱氧深冲级薄钢板
A529	最低屈服点为 290 MPa 的结构钢(最大厚度为 12 mm)	A643	厚壁压力容器用碳钢和低合金钢铸件
A533	压力容器用锰-钼和锰-钼-镍型淬火和回火合金钢 板	A645	压力容器用特殊热处理的 5% 镍合金钢板
A537	压力容器用碳-锰-硅或含镍热处理钢板	A651	不锈钢 DWV 钢管
A539	输送气体或燃料用电阻焊蛇形钢管	A656	高强度钒-铝-氮和钒-铝低合金热轧结构钢
A541	压力容器组件用淬火和回火碳钢和合金钢锻件	A659	通用热轧碳素钢薄板及钢带
A542	压力容器用淬火和回火铬-钼合金钢板	A660	高温用离心铸造碳钢管
A543	压力容器用淬火和回火镍-铬-钼合金钢板	A662	中、低温用压力容器碳-锰钢板
A553	压力容器用淬火和回火 8% 和 9% 镍合金钢板	A666	结构用奥氏体不锈钢薄板、带材、厚板和扁钢
A554	机械用焊接的不锈钢管	A669	无缝铁素体-奥氏体合金钢管
A556	给水加热器用无缝冷拉碳素钢管	A672	中温高压用熔化焊接碳钢及低合金钢管
A557	给水加热器用电阻焊碳素钢管	A678	结构用淬火和回火低合金钢板
A562	适于用玻璃或扩散金属涂层的压力容器碳钢和锰 钛钢板	A688	给水加热器用焊接的奥氏体不锈钢管
A569	商业级碳素钢($C \leq 0.15\%$)热轧薄钢板和钢带	A691	高温高压用焊接的碳素钢及低合金钢管
A570	结构级热轧碳素钢薄板和钢带	A694	高压传输装置用管法兰、配件、阀和部件碳钢和合 金钢锻件

续表

编号	名 称	编号	名 称
A696	压力管件和其他压力容器部件用热轧和冷精整优质碳钢棒	A732	通用碳素钢和低合金钢熔模铸件
A699	低碳锰-钼-铌合金钢板、型材和棒材	A734	淬火和回火高强度低合金钢压力容器钢板
A706	钢筋混凝土用低合金变形(竹节形)钢棒	A735	中、低温用低碳锰-钼-铌压力容器合金钢板
A707	低温用碳钢和低合金钢锻造法兰	A736	低碳时效强化镍-铜-铬-钼-铌压力容器用低合金钢板
A709	桥梁用碳素及低合金结构钢	A737	低合金高强度压力容器钢板
A714	高强度低合金有缝和无缝钢管	A738	中、低温用热处理碳-锰-硅压力容器钢板
A715	成形性好的热轧高强度低合金钢薄板和钢带	A744	耐强腐蚀的铁-铬-镍和镍基合金铸件
A724	焊接层板压力容器用淬火和回火碳钢板	A757	低温用铁素体和马氏体钢铸件

附录 2 焊接材料的分类

(一) 美国 ASME 关于焊接材料的分类

(摘自 ASME 第九篇 1998 版)

附表 1(a) F 代号

F 代号	ASME 标准号	AWS 型号	F 代号	ASME 标准号	AWS 型号
碳钢及合金钢			23	SFA-5.3&5.10	ER4009, ER4010, ER4043, ER4047, R4043, R4047 ER4145, R4009, R4010 R4011, R4145, ER4643, E4043, R4643
1	SFA-5.1 &5.5	E××20, E××22, E××24 E××27, E××28	24	SFA-5.10	R-A356.0, R206.0 RC335.0, R357.0, R-A357.0
1	SFA-5.4	E××25, E××26	25	SFA-5.10	ER2319, R2319
2	SFA-5.1 &5.5	E××12, E××13 E××14, E××19	铜及铜合金		
3	SFA-5.1 &5.5	E××10, E××11	31	SFA-5.6	ECu
4	SFA-5.1 &5.5	E××15, E××16 E××18, E××48	31	SFA-5.7	ERCu
4	SFA-5.4(除奥氏体钢 及双相钢以外)	E××15, E××16, E××17	32	SFA-5.6	ECuSi
5	SFA-5.4(奥氏体钢 及双相钢)	E××15, E××16, E××17	32	SFA-5.7	ERCuSi-A
6	SFA-5.2	R×	33	SFA-5.6	ECuSn-A, ECuSn-C
6	SFA-5.17	F××-E××, F××-EC×	33	SFA-5.7	ERCuSn-A
6	SFA-5.9	ER××, EC××, EQ××	34	SFA-5.6	ECuNi
6	SFA-5.18	ER××S×, E××C× E××C××	34	SFA-5.7	ERCuNi
6	SFA-5.20	E××T×	34	SFA-5.30	IN67
6	SFA-5.22	E××T×	35	SFA-5.8	RBCuZn-A, RBCuZn-B RBCuZn-C, RBCuZn-D
6	SFA-5.23	F××-E×××× F××-EC××××和 F××-E××××N F××-EC××××N	36	SFA-5.6	ECuAl-A2 ECuAl-B
6	SFA-5.25	FES××-E×××××-EW	36	SFA-5.7	ERCuAl-A1 ERCuAl-A2 ERCuAl-A3
6	SFA-5.26	EG××S×, EG××T×	37	SFA-5.6	ECuNiAl
6	SFA-5.28	ER××S×, E××C×	37	SFA-5.7	ECuMnNiAl ERCuNiAl
6	SFA-5.29	E××T××			
6	SFA-5.30	IN××××			ERCuMnNiAl
铝及铝合金			镍及镍合金		
21	SFA-5.3 SFA-5.10	E1100, E3003 ER1100, R1100, ER1188, R1188	41	SFA-5.11	ENi-1
22	SFA-5.10	ER5554, ER5356, ER5556 ER5183, R5183, ER5654 R5554, R5654, R5356, R5556	41	SFA-5.14	ERNi-1
			41	SFA-5.30	IN61
			42	SFA-5.11	ENiCu-7
			42	SFA-5.14	ERNiCu-7, ERNiCu-8
			42	SFA-5.30	IN60

续表

F 代号	ASME 标准号	AWS 型号	F 代号	ASME 标准号	AWS 型号
镍及镍合金			44	SFA-5.14	ERNiMo-10 ERNiCrMo-4 ERNiCrMo-5 ERNiCrMo-7(Alloy C-4) ERNiCrMo-10 ERNiCrMo-13,ERNiCrMo-14 ERNiCrWMo-1
43	SFA-5.11	ENiCrFe-1,ENiCrFe-2 ENiCrFe-3,ENiCrFe-4 ENiCrFe-7,ENiCrFe-9 ENiCrFe-10 ENiCrCoMo-1,ENiCrMo-2 ENiCrMo-3,ENiCrMo-6 ENiCrMo-12	45	SFA-5.11	ENiCrMo-1,ENiCrMo-9 ENiCrMo-11
43	SFA-5.14	ERNiCr-3,ERNiCr-4 ERNiCr-6 ERNiCrFe-5,ERNiCrFe-6 ERNiCrFe-7,ERNiCrFe-8 ERNiCrFe-11 ERNiCrCoMo-1 ERNiCrMo-2,ERNiCrMo-3	45	SFA-5.14	ERNiCrMo-1 ERNiFeCr-1 ERNiCrMo-8,ERNiCrMo-9 ERNiCrMo-11
43	SFA-5.30	IN82,IN62,IN6A	钛及钛合金		
44	SFA-5.11	ENiMo-1,ENiMo-3 ENiMo-7,ENiMo-8 ENiMo-9,ENiMo-10 ENiCrMo-4,ENiCrMo-5 ENiCrMo-7,ENiCrMo-10 ENiMo-13,ENiMo-14	51	SFA-5.16	ERTi-1,ERTi-2 ERTi-3,ERTi-4
44	SFA-5.14	ERNiMo-1,ERNiMo-2 ERNiMo-3 ERNiMo-7(Alloy B-2) ERNiMo-8,ERNiMo-9	52	SFA-5.16	ERTi-7
			53	SFA-5.16	ERTi-9,ERTi-9EL1
			54	SFA-5.16	ERTi-12
			锆及锆合金		
			61	SFA-5.24	ERZr2 ERZr3 ERZr4
			金属表面堆焊		
			71	SFA-5.13	R×××-×,E×××-×
			72	SFA-5.21	R×××-×

附表 1(b) A 代号

A 代号	熔敷金属类型	化学成分 /%					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	低碳钢	≤0.20	—	—	—	≤1.60	≤1.00
2	碳钢	≤0.15	≤0.50	0.40~0.65	—	≤1.60	≤1.00
3	铬(0.4%~2%)-钼钢	≤0.15	0.40~2.00	0.40~0.65	—	≤1.60	≤1.00
4	铬(2%~6%)-钼钢	≤0.15	2.00~6.00	0.40~1.50	—	≤1.60	≤2.00
5	铬(6%~10.5%)-钼钢	≤0.15	6.00~10.50	0.40~1.50	—	≤1.20	≤2.00
6	马氏体铬不锈钢	≤0.15	11.00~15.00	≤0.70	—	≤2.00	≤1.00
7	铁素体铬不锈钢	≤0.15	11.00~30.00	≤1.00	—	≤1.00	≤3.00
8	铬-镍不锈钢	≤0.15	14.50~30.00	≤4.00	7.50~15.00	≤2.50	≤1.00
9	铬-镍不锈钢	≤0.30	19.00~30.00	≤6.00	15.00~37.00	≤2.50	≤1.00
10	镍(到4%)钢	≤0.15	—	≤0.55	0.80~4.00	≤1.70	≤1.00
11	锰-钼钢	≤0.17	—	0.25~0.75	≤0.85	1.25~2.25	≤1.00
12	镍-铬-钼钢	≤0.15	≤1.50	0.25~0.80	1.25~2.80	0.75~2.25	≤1.00

(二) 日本关于电焊条的分类

(摘自 JAPEIC-W-W03/1992)

附表 2(a) 电焊条分类

电焊条分类代号	种 类	型 号	
		JIS	AWS
F-0	钛铁矿型焊条	D × × 01 DA × × 01	— —
F-1	氧化铁型焊条	—	E × × 20
	铁粉氧化钛型焊条	D × × 24	E × × 24
	铁粉低氢型焊条	D × × 26 DA × × 26 DL × × 26	E × × 28
	铁粉氧化铁型焊条	D × × 27	E × × 27
F-2	钛钙型焊条	D × × 03 DA × × 03	—
	高氧化钛型焊条	D × × 13 DT × × 13	E × × 12 E × × 13
	铁粉氧化钛型焊条	—	E × × 14
F-3	高纤维素型焊条	D × × 11	E × × 10 E × × 11
F-4	低氢型焊条	D × × 16 DT × × 15 DT × × 16 DA × × 16 DL × × 16	E × × 15 E × × 16
	铁粉低氢型焊条	DT × × 18	E × × 18 E × × 48
F-5	不锈钢焊条	D × × × -15 D × × × -16	E × × × -15 E × × × -16
F-41	纯镍焊条	DNi-1	ENi-1
F-42	镍铜合金焊条	DNiCu-1 DNiCu-4 DNiCu-7	ENiCu-7
F-43	镍铬铁合金用焊条	DNiCrFe-1 DNiCrFe-2 DNiCrFe-3 DNiCrFe-1J DNiCrMo-2 DNiCrMo-3 D9Ni-1	ENiCrFe-1 ENiCrFe-2 ENiCrFe-3 ENiCrFe-4 ENiCrMo-2 ENiCrMo-3 ENiCrMo-6
F-44	镍钼铁合金用焊条	DNiMo-1 DNiCrMo-4 DNiCrMo-5 D9Ni-2	ENiMo-1 ENiMo-3 ENiMo-7 ENiCrMo-4 ENiCrMo-5 ENiCrMo-7
F-55	镍铬钼合金用焊条	—	ENiCrMo-1 ENiCrMo-9

附表 2(b) 熔敷金属分类

熔敷金属 分类代号	熔敷金属	熔敷金属主要成分/%					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
A-1	碳钢	≤0.15	— (≤0.40)	— (≤0.40)	— (≤0.80)	≤1.60	≤1.00
A-2	钼钢	≤0.15	≤0.50	0.40~0.65	—	≤1.60	≤1.00
A-3	铬钼钢	≤0.15	0.40~2.00	0.40~0.65	(≤0.80)	≤1.60	≤1.00
A-4-1	铬钼钢	≤0.15	2.00~5.00	0.40~1.50	—	≤1.60	≤2.00
A-4-2	铬钼钢	≤0.15	5.00~10.50	0.40~1.50	(≤0.80)	≤1.20	≤2.00
A-5	马氏体不锈钢	≤0.15	11.00~15.00	≤0.70	— (≤0.80)	≤2.00	≤1.00
A-6	铁素体不锈钢	≤0.15	11.00~30.00	≤1.00	— (≤0.80)	≤1.00	≤3.00
A-7	奥氏体不锈钢	≤0.15	14.50~30.00	≤4.00	7.50~15.00	≤2.50	≤1.00
A-8	奥氏体不锈钢	≤0.30	25.00~30.00	≤4.00	15.00~37.00	≤2.50	≤1.00
A-10	镍钢	≤0.15	— (≤0.40)	≤0.55	0.80~4.00	≤1.70	≤1.00

部分公司产品简介

中国农垦进出口公司

意大利 Safra (沙费拉) 公司

成立于 1972 年的沙费拉是专业生产 MIG 和 TIG 铝及铝合金焊丝, 铜及铜合金焊丝的公司。由高素质员工的通力合作, 沙费拉生产出高质量产品业已通过多国机构认证并畅销世界 50 多个国家。

铝及铝合金焊丝包括: ER1100, ER5654, ER5754, ER4043, ER4047, ER5356, ER5183, ER5087, ER5556 等。

铜及铜合金焊丝包括: ERCuAl-A1, ERCuAl-A2, ERCuSi-A, ERCu, ERCuSn-A, ERCuMnNiAl。

TIG 焊丝直径范围: 1.6, 2.0, 2.4, 3.2, 4.0, 5.0 mm

MIG 焊丝直径范围: 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.4, 3.2 mm

英国 Metrode (曼彻特) 公司

是英国生产不锈钢和高合金焊接材料的公司。产品包括手工电弧焊条, MIG/MAG/TIG 埋弧焊丝和药芯焊丝, 并着重于电力、石油化工、天然气、海洋结构、核工业领域所需的高品质焊接材料。

1. 低合金钢: 分为 CrMo 耐热合金, MnMo 低合金, 高韧性含 Ni 低合金及高强度合金钢。其中 CrMo 焊材用于焊接 1.25Cr-0.5Mo, 2.25Cr-1Mo, CrMoV, 5Cr-0.5Mo, 9Cr-1Mo, 改良型 9Cr-1Mo (T/P91), E911, P92, T23 等钢。

2. 耐热合金: 用于焊接 304H, 321H, 347H, 316H, 309, 310, 330, 800, HP40 及其高碳合金, 35Cr-45Ni, 657 及其他特种合金用的焊接材料。

3. 镍基合金: 完整系列的镍基合金焊材。分为 182 型合金, 625 型合金, C 型合金, B 型合金, 600, 601, 690, 9%Ni 特种镍基合金及不含铁的镍基合金等。

4. 不锈钢: 分为马氏体和铁素体不锈钢 (410, 420, 430 等), 奥氏体和超奥氏体不锈钢 (包括从 308 型到 317 型所有的标准 300 系列合金及从 904L 到 825 型的超奥氏体合金), 309L, 309Mo 和 310 不锈钢及双相和超双相合金 (包括 22%Cr 双相, 25%Cr 超双相及满足成分要求的双相和超双相合金) 的焊接材料。

授权中国代理:

北京欧和华焊接材料有限公司

北京中垦贸易公司

电话: (010)81792660 | 62193160/4181/3143

传真: (010)81792660 62195307

北京海淀青云当代大厦 12B-09 (100086)

珠海雅各臣发展有限公司

珠海雅各臣发展有限公司是香港上市公司建联集团香港雅各臣贸易有限公司下属的国内公司，拥有多家国际著名品牌焊接器材的代理权。美国米勒（MILLER）焊机中国南方技术服务（维修）中心设在本公司。

本公司代理德国克鲁斯（CLOOS）公司的 TANDEM 高速双丝焊设备、配有质量监控专家系统的双脉冲一元化气保焊焊机；美国 ITW 集团（MILLER、HOBART、McKAY、TRI-MARK、JETLINE）各种焊接器材；瑞典耐德曼（NEDERMAN）焊接排烟系统等。

可提供各种焊接材料，如美国“合伯特” Fabshield81N1 管道用自保护药芯焊丝、E6010, E7010-P1 等管道焊接用纤维素焊条；“麦凯”不锈钢、堆焊用焊材；日本“神钢”的 TGS-5CM、9Cb 耐热钢 TIG 焊丝；日本“油脂” TGF-308L 系列不需背面充氩保护的不锈钢 TIG 焊丝；美国“哈里斯” ER5356 等各种铝焊丝；韩国“现代”各种 TIG/MIG 焊丝及药芯焊丝等。

地 址：广东省珠海市拱北港昌路凯达大厦 4 楼

邮 编：519020

联系人：吴树雄

电 话：0756-8131982（总机）

传 真：0756-8873181

Http: //www.jvdbwelds.com.cn

E-mail: zhjbweld@pub.zhuhai.gd.cn

珠海市均力焊接设备有限公司

本公司主要代理芬兰肯比（KEMPPI）焊机系列、英国泰勒（TAYLOR）螺柱焊接系统及经销世界各国著名品牌的焊接器材。

芬兰肯比公司能为您提供包括手工电弧焊、TIG 焊、MIG 焊和脉冲熔化极气体保护焊在内的各种焊接工艺及焊接设备。将最先进的数字化微机智能控制技术和 IGBT 逆变技术应用到其产品中，推出新一代革新焊接产品——全数字控制智能化焊机。该机采用微处理器监控焊接全过程，程序化引弧和收弧，参数调节完全智能化，焊接质量和效率大大提高。

英国泰勒公司既能提供简单手动螺柱焊机，也可提供计算机化数字控制全自动系统，还可按客户的要求提供螺柱焊全套承包解决方案。

本公司对常用的焊接器材，常年备有现货，对用户急需的特殊品种，可及时从国外组织进口。良好的服务，深受用户欢迎。

地址：珠海市前山东坑第一工业区六栋

邮编：519070

电话：0756-8608222 8501343

传真：0756-8501342

E-mail: junli.zhuhai.gd@eyou.com

总经理：林传飘

珠海高新区万和工业有限公司

——专业生产各类特细电焊条

万和工业有限公司利用“先涂后切”的专利技术（专利号 ZL 88 107496.9）批量生产各类特细电焊条。各类焊条焊接工艺性能优良，焊缝金属性能符合国标要求。交流空载电压 50 V 以上，即能顺利焊接；还可为用户提供在 50 V 电压下施焊的特细焊条。产品大批远销海内外。

品种：J421Fe、J507、A102、A132、Z308 等碳钢、不锈钢及铸铁焊条。

规格： $\phi 1.0$ 、 $\phi 1.2$ 、 $\phi 1.4$ 、 $\phi 1.6$ 、 $\phi 1.8$ 、 $\phi 2.0$ mm。

主要用于薄板钣金制作，各种钢门铁窗、装修装璜及管子焊接；不锈钢薄板焊接；用于小线能量-小熔合比的特殊焊接；坡口打底焊。可部分代替氩弧焊。

地址：珠海市金湾区金海大道中段

邮编：519040

电话/传真：(0756)7766165

联系人：傅春晖 夏虹

上海华东焊接材料有限公司

本公司（原名上海（经济区）焊接材料有限公司）成立于 1986 年 6 月，以上海为龙头，由华东地区专业生产电焊条的骨干厂以及有关公司、研究所等 37 个单位组成。

本公司凭借各成员厂的优势，集焊接材料之大成。系经营各类焊接材料、器材的专业性公司。提供：结构钢、耐热钢、不锈钢、堆焊、镍合金、铜合金、铝合金、船用及特殊用途焊条；各类合金焊丝；各类气焊、钎焊、埋弧自动焊及电渣焊熔剂；各类有色钎料和焊粉等黑色和有色金属焊接材料。并特约经销各种通用、专用电焊机，兼营生产焊接材料专用的原料、辅料。

本公司热忱欢迎与全国各工矿企业建立长期供销关系。

上海华东焊接材料有限公司

地址：上海浙江北路 165 号 邮编：200085

电话：021-63565285 63066862（传真）

上海（经济区）焊接材料联合公司浦东公司

地址：上海浦东南路 2230 号 邮编：200127

电话：021-58701465（传真）



北京金太阳药芯焊丝有限公司

北京金太阳药芯焊丝有限公司是专门从事焊接材料生产与开发的高新技术企业。

生产的药芯焊丝已通过挪威 (DVN)、美国 (ABS)、中国 (CCS)、英国 (LR)、德国 (GL)、法国 (BV) 六国船级社认可, 产品取代进口, 实现出口, 广泛应用于船舶、机械、建筑、石油、化工等行业。

公司可生产二百多个品种, 八百多种规格的碳钢焊条、低合金钢焊条、耐热钢焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、铸铁焊条, 其中部分不锈钢焊条和耐热钢焊条取代进口, 广泛应用于船舶、机械、建筑、石油、化工桥梁、核电等行业。主要产品如下。

药芯焊丝: TY-YJ502 (Q), TY-YJ501 (Q), TY-YJ507 (Q), TY-YJ607 (Q), TY-YD25CrMoV, TY-YB102L (Q), TY-YB132L (Q)。

不锈钢焊条: A002, A022, A032, A042, A052, A062, A072, A082, A102, A107, A132, A137, A146, A172, A202, A207, A212, A222, A232, A237, A242, A302, A307, A312, A317, A402, A407, A412, A432, A437, A462, A502, A507, A512, A607, A707, A717, A802, A902, E347L-15, E309L-15, G202, G207, G302, G307。

碳钢焊条和低合金焊条: J423, J424, J425, J426, J427, J502, J506, J506RH, J507, J507RH, J507B, J556, J556RH, J557, J557RH, J557Mo, J557MoV, J606, J606RH, J607, J607RH, J607Ni, J607B。

耐热钢焊条: R102, R106Fe, R107, R202, R207, R302, R307, R310, R307B, R312, R317, R327, R337, R340, R347, R402, R406, R417, R427, R507, R507B, R517A, R707, R717, R717A, R802, R807, R817, R827。

堆焊焊条: D102, D106, D107, D112, D127, D132, D146, D156, D167, D172, D207, D212, D227, D237, D246, D256, D266, D276, D322, D337, D502, D507, D512, D517, D547Mo, D557, D608, D618, D667, D698。

铸铁焊条: Z100, Z116, Z117, Z122Fe, Z208, Z238, Z248, Z258, Z268, Z308, Z408, Z438, Z508, Z607 等。

镍及镍合金焊条: Ni102, Ni112, Ni202, Ni207, Ni307, Ni307A, Ni307B, Ni317, Ni327, Ni337, Ni347。

地址: 北京良乡凯旋大街建设路 16 号 邮编: 102401

电话: 80316241, 80316240

传真: 80316240, 80318802

总经理: 霍明珠

联系人: 王和平 李昆 阮国钰 赵有恒 蒋建敏

SMC 国际超合金集团焊接产品公司

1. SMC 国际超合金集团焊接产品公司

本公司在 1998 年将历史悠久的 INCO Alloy 兼并，联合组成今天的 Special Metals Corporation (在国内称为 SMC 国际超合金集团)。本集团及其属下的焊接产品公司专门研制、生产和销售各种镍基合金材料(母材)及相关的焊接材料，本集团的所有产品分别在美国、英国和日本制造。

2. SMC 焊接产品公司部分专有注册商标

INCONEL®	INCOLOY®	INCOFLUX®	INCO-CORED®	INCO-WELD®
MONEL®	NDUR-ALL™	NI-ROD®	NILO®	NIMONIC®
DURANICKEL®		686CPT®	725NDUR®	

3. SMC 焊接产品公司的主要产品

- (1) 纯镍: Nickel® 141 焊条及 Nickel® 61 焊丝/焊带 (用于铸铁或异种材料焊接)。
- (2) 镍铜: Monel® 190 焊条及 MONEL® 60 焊丝/焊带 (用于海水腐蚀的环境或设备)。
- (3) 铜镍: Monel® 187 焊条及 MONEL® 67 焊丝/焊带 (用于海水腐蚀的环境或设备)。
- (4) 镍铁: NILO® CF36 及 NILO® CF40 焊丝 (用于热膨胀系数极低的航空/航天部件)。
- (5) 镍铁铬: INCONEL® 718 焊丝 (用于高温、高强度航空/航天部件)。

(6) 镍铬: INCO-WELD® A 焊条, INCONEL® 182 焊条, INCONEL® 82 焊丝/焊带, INCO-CORED® 82AP/DH 药芯焊丝, INCONEL® 92 焊丝, INCONEL® 152 焊条, INCONEL® 52 焊丝/焊带, INCONEL® 601 焊丝, INCONEL® 72 焊丝, NC80/20 焊丝 (用于高温环境下的防腐蚀材料)。

(7) 镍铬钼: INCONEL® 112 焊条, INCONEL® 625 焊丝/焊带, INCO-CORED625AP/DH 药芯焊丝, INCO-WELD® C-276 焊条/焊丝, INCONEL® 122 焊条, INCONEL® 622 焊丝, INCO-WELD® 686CPT 焊条/焊丝/焊带, INCO-WELD® 725NDUR 焊丝 (全能型防腐蚀材料)。

(8) 镍铬钴钼: INCONEL® 117 焊条和 INCONEL® 617 焊丝 (用于超高温设备)。

(9) 铸铁: NI-ROD® 44 焊丝, NI-ROD® 55 焊条, NI-ROD® 55X 焊条, NI-ROD® 55 焊丝, NI-ROD® FC55 药芯焊丝, NI-ROD® 焊条, NI-ROD® 99X 焊条/焊丝 (用于铸铁焊接)。

(10) 尼孟合金: NiMoNiC263 焊丝, NiMoNiC90 焊丝, NiMoNiC PE11/PE33 焊丝 (用于高温设备)。

4. 怎样与我们联系

如有任何问题请按以下方法与我们联系或访问我们的网站。

地址: 上海市南京西路 1266 号恒隆广场 1802-1804 室 E-mail: dma@jaiwpc.com

电话: 8621-62881808-222

网址: www.smc-wpc.com (中文)

传真: 8621-32290052

www.specialmetalswelding.com(英文)

邮编: 200040

联络人: 马大卫/万勤

参 考 文 献

- 1 溶接棒の選び方・使ソ方. 产报. 1978
- 2 张鼎勋编著. 焊条的选择和使用. 北京: 机械工业出版社, 1982
- 3 安藤精一, 菊田米男等著. “溶接材料”. 产报. 1979
- 4 尾上久浩, 小林. 溶接施工管理安全卫生. 产报. 1978
- 5 铃木春义, 田春博. 溶接冶金学. 产报. 1978
- 6 沈世瑀著. 铸铁补焊. 兰州: 甘肃人民出版社, 1980
- 7 哈尔滨焊接研究所主编. 机械工程手册(第43篇). 北京: 机械工业出版社, 1979
- 8 周维恩编著. 低温用钢的焊接. 北京: 机械工业出版社, 1983
- 9 “溶接便鉴”(改订三版), 日本溶接学会编, 1977
- 10 焊接工艺基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1979
- 11 山本茂昭, 夏木松吾. R&D 神户制钢技报, 1985, 35, 3, 44
- 12 田中治. 神钢技术资料. 1984, 24, 176, 1
- 13 和田俊 R&D 神户制钢技报. 1985, 35, 40
- 14 日本规格协会. 日本工业标准 JIS Z3118—1986
- 15 坪井润一郎等. 溶接学会志. 1973, 21, 5
- 16 伊藤庆典等. 溶接学会志. 1978, 26, 9, 28
- 17 森直道等. 溶接学会志. 1981, 29, 8, 74
- 18 熊谷良平. 溶接技术. 1981, 29, 5, 25
- 19 中村治方. 溶接技术. 1977, 25, 11
- 20 小林实. 溶接学会志. 1979, 27, 4
- 21 木村义雄. R&D 神户制钢技报. 1966, 16, 1
- 22 陈剑虹, 吴树雄等. 焊接学报, 1980, 1, 1, 53
- 23 吴树雄, 尹士科等. 焊接通讯, 1985, 4, 11
- 24 尹士科, 吴树雄. 高效铁粉焊条焊接气孔的研究; 第五届全国焊接年会论文, 1985
- 25 吴树雄, 兰州科技情报. 1983, 3, 15
- 26 Н. И. Каховский. Автоматическая сварка. 1976, 1, 59
- 27 机械工业部编. 中国焊接材料产品样本. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 28 G. M. Evans. Factors affecting the microstructure and Properties of C-Mn all weld metal diposits. II W Doc II -957-81
- 29 R. D. 斯道特著. 钢的焊接性, 王征林等译. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 30 尹士科等编. 焊接接头性能调控与应用. 北京: 兵器工业出版社, 1993
- 31 郑承炎等编译. 中日焊接技术交流资料. 中国石化总公司供应制造公司, 1987
- 32 尹士科等. 焊工益友. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 33 冈毅民主编. 中国不锈钢腐蚀手册. 北京: 冶金工业出版社, 1992
- 34 吴树雄等. D547MoA 等六种阀门堆焊焊条研制总结(桂林市电焊条厂内部资料). 1994
- 35 中国机械工程学会焊接学会编. 焊接手册. 第2卷. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 36 林慧国等编. 世界钢号手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 37 珠海万达焊条有限公司. 连续焊条及连续焊条电弧焊(1994年国际连续焊条应用研讨会资料汇编) 1994
- 38 哈尔滨焊接研究所. LCCE 直长型连续焊条电接点形状及宽度对焊缝金属化学成分均匀性的影响(试验报告). 1995
- 39 尹士科主编. 焊接材料手册. 北京: 中国标准出版社, 2000
- 40 吴树雄等. 焊接材料在日本各行业中使用动向调查. 焊接. 2003, (1)
- 41 李箕福等. 不锈钢及耐蚀耐热合金焊接 100 问. 北京: 化学工业出版社, 2000
- 42 付积和, 孙玉林主编. 焊接数据资料手册. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 43 王文翰主编. 焊接技术手册. 郑州: 河南科学技术出版社, 1999
- 44 顾曾迪主编. 有色金属焊接. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1995
- 45 邹增大主编. 焊接材料、工艺及设备手册. 北京: 化学工业出版社, 2001

- 46 中国冶金百科全书. 金属材料卷. 金属材料卷编辑委员会编. 北京: 冶金工业出版社, 2001
- 47 日本神户制钢所. 神鋼溶接総合カタログ. 2000
- 48 日本油脂株式会社. 溶接材料(样本). 1997
- 49 WELDING STAINLESS STEELS. MCKAY TECHNICAL BULLETIN No. SS-300-F. OHIO, 2001
- 50 SAF WELDING CONSUMABLES CATALOGUE. AIR LIQUIDE. 2000
- 51 Oerlikon Handbook Welding Consumables. 2001
- 52 SPECIAL METALS Welding Products Company Welding Products Summary. 2000
- 53 METRODE WELDING CONSUMABLES TECHNICAL HANDBOOK. 2001
- 54 HYUNDAI WELDING CONSUMABLES HANDBOOK. 2000
- 55 天泰关系企业焊材总目录. 2000
- 56 安泰科技. 焊接材料产品样本. 2000