

金属管道焊接工艺 便携手册

柳金海 陈百诚 编



机械工业出版社

本手册重点介绍管道工程广泛使用的焊条电弧焊接工艺,还介绍了一些技术已经成熟而在施工中尚未普及的焊接方法,以及常遇到的但工程量很少的铜、铝金属焊接。全书包括焊接基础知识,焊接材料,管道焊接设备,压力管道焊接工艺评定及工艺方案制订,管道工程常用焊接方法,压力管道的焊接,铝、铝合金及其管道的焊接、铜、铜合金及其管道的焊接等8章。

本书供各行业的管线工程焊接技术人员使用,也可作焊接专业院校师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属管道焊接工艺便携手册/柳金海,陈百诚编. —北京:机械工业出版社,2005.1

ISBN 7-111-15390-1

I.金… II.①柳…②陈… III.金属 管道 焊接工艺—基本知识 IV.TG457.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第103630号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:何文军 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年1月第1版·第1次印刷

890mm×1240mm A5·11.75印张·368千字

0 001—4 000册

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

焊接技术是现代工业生产中不可缺少的先进工艺技术，被广泛地应用于国民经济的各个产业部门。

管道工程用于输送各种介质，它作为一项特殊的设施，广泛地用于石油、化工、电力、建筑和市政等行业。随着我国国民经济的发展，管道工程施工的工程量不断增加，施工质量要求越来越高，如 2002 年开工建设的西气东输工程就是一项大型的管道敷设焊接工程。

由于管道工程输送介质的种类多种多样，其运行参数和使用条件也各有不同，为此，在管道工程中经常会使用多种管材，也会采用多种连接方法，但就目前的技术经济条件来看，管道工程虽有螺扣、卡套、卡箍、承插……等多种连接方法，但对于直径大于 150mm 的各种金属管子和管子支承件、设备金属支座等结构件来说，基本上多是焊接连接的，因此，金属管道焊接是管道施工中的一个极为重要的关键环节。

管道工程焊接虽与其他焊接结构一样属于焊接工程技术范围，但由于管子连接属于典型的壳体结构，与一般梁架结构、网架结构不同，管道要承受管子内部介质和外部的压力，要求焊接接头具有很好的强度、致密性和韧度，以保障管道系统的安全运行。

我国管道工程焊接技术发展是很快的，但是存在的问题也不容忽视，特别是由于多种条件的限制，信息滞后、人才缺乏是困扰焊接技术提高和发展的重要因素。因此，编写一本针对管道焊接的实用书籍，以供施工和管理人员能方便地使用查阅并可从中得到必要的知识补充，以促进管道焊接技术的发展就显得很有必要了。为此，本手册除重点介绍在施工现场已广泛使用的焊条电弧焊外，还介绍了一些技术已经成熟、在管道焊接施工中应用尚不普及的焊接方法，如向下立焊等焊接方法，以及常遇到的但工程量很少的铜、铝金属焊接，以便在生产中遇到不同的焊接问题时，不局限于传统的焊接方法，而能拓宽视野，启迪思路，探求新的焊接方法，以完善、改进焊接工艺，提高焊接质量。依编者之管见，本手册的资料基本上反映了当前管道工程焊接技术的现状。

本手册在编写过程中遵守以下三点原则：

1. 可靠性。所介绍的内容严格按照各项现行国家和行业技术标准编写。
2. 实用性和系统性。使所介绍的内容从实用性的角度出发，将材料、设备的选用和施焊、检验的要求能形成一个完整的系统，方便查阅参考。
3. 理论与实践的统一性。以便知其原理，触类旁通，以优质高效的标准，完成焊接任务。

本手册在编写过程中承蒙中国空空导弹研究院有关领导和同志的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于本手册涉及面广，受水平和资料所限，难免出现疏误、遗漏等不足之处，恳请读者批评指正。

编者 柳金海

陈百诚

2004年4月于洛阳

目 录

前 言

| | |
|----------------------------|----|
| 第 1 章 焊接基础知识 | 1 |
| 1.1 概述 | 1 |
| 1.1.1 焊接连接的特点 | 1 |
| 1.1.2 人员技术素质 | 2 |
| 1.1.3 焊接材料 | 2 |
| 1.1.4 焊接工艺 | 3 |
| 1.1.5 管道焊接一般规定 | 4 |
| 1.2 金属材料的焊接性 | 6 |
| 1.2.1 焊接性定义及影响因素 | 6 |
| 1.2.2 金属材料的焊接特点 | 7 |
| 1.3 常用金属材料知识 | 11 |
| 1.3.1 常用金属材料的性能 | 11 |
| 1.3.2 金属材料的力学性能 | 12 |
| 1.3.3 金属受力时结构和性能的变化 | 16 |
| 1.4 钢的组织 | 16 |
| 1.4.1 基本定义 | 16 |
| 1.4.2 金属的晶体结构 | 16 |
| 1.4.3 铁碳合金相图(钢部分) | 17 |
| 1.4.4 钢的组织 | 19 |
| 1.5 钢的分类及钢材牌号与性能 | 21 |
| 1.5.1 钢的分类 | 21 |
| 1.5.2 碳素钢的牌号与性能 | 21 |
| 1.5.3 合金钢的牌号与性能 | 28 |
| 1.6 铝、铜及其合金的牌号和性能 | 30 |
| 1.6.1 铝及铝合金的牌号与性能 | 31 |
| 1.6.2 铜及铜合金的分类、成分及性能 | 32 |
| 1.7 焊接冶金基础 | 43 |

| | | |
|---------------------------|-------------------------------|------------|
| 1.7.1 | 焊接冶金的特点 | 43 |
| 1.7.2 | 焊缝及焊接接头 | 54 |
| 1.8 | 压力管道焊工的考试 | 56 |
| 1.8.1 | 对焊工考试的一般规定 | 57 |
| 1.8.2 | 操作技能考试的具体要求 | 69 |
| 1.8.3 | 考试结果与评定 | 75 |
| 1.8.4 | 发证 | 79 |
| 第 2 章 焊接材料 | | 81 |
| 2.1 | 焊条 | 81 |
| 2.1.1 | 焊条基本知识 | 81 |
| 2.1.2 | 碳钢焊条 (GB/T 5117—1995) | 85 |
| 2.1.3 | 低合金钢焊条型号的划分 | 89 |
| 2.1.4 | 不锈钢焊条型号的划分 | 91 |
| 2.1.5 | 铜及铜合金焊条 | 95 |
| 2.1.6 | 铝及铝合金焊条 | 95 |
| 2.2 | 焊丝 | 100 |
| 2.2.1 | 钢焊丝 | 100 |
| 2.2.2 | 非铁金属焊丝 | 101 |
| 2.3 | 焊接用气体的技术要求 | 107 |
| 第 3 章 管道焊接设备 | | 110 |
| 3.1 | 焊条电弧焊设备 | 110 |
| 3.1.1 | 概述 | 110 |
| 3.1.2 | 交流焊条电弧焊设备 | 117 |
| 3.1.3 | 直流焊条电弧焊设备 | 125 |
| 3.1.4 | 弧焊逆变器 | 133 |
| 3.1.5 | 焊条电焊机的选择 | 136 |
| 3.1.6 | 焊条电弧焊设备辅助器件 | 139 |
| 3.2 | 管子对接 TIG 焊机及管板对接 TIG 焊机 | 144 |
| 3.3 | 气焊设备 | 149 |
| 3.3.1 | 氧气瓶、乙炔瓶及瓶阀 | 149 |
| 3.3.2 | 乙炔发生器 | 151 |
| 3.3.3 | 回火防止器 | 152 |
| 3.3.4 | 减压器 | 154 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 3.3.5 手工焊炬和割炬 | 157 |
| 第4章 压力管道焊接工艺评定及工艺方案制订 | 165 |
| 4.1 焊接工艺评定的目的与过程 | 165 |
| 4.1.1 焊接工艺评定的目的与程序 | 165 |
| 4.1.2 焊接工艺评定 | 168 |
| 4.2 焊接工艺方案制订 | 197 |
| 4.3 管道焊接工艺要点 | 202 |
| 4.3.1 焊接接头形式与坡口 | 202 |
| 4.3.2 管道装配的定位焊 | 218 |
| 4.3.3 钢管焊前预热及焊后热处理 | 218 |
| 第5章 管道工程常用焊接方法 | 223 |
| 5.1 焊条电弧焊 | 223 |
| 5.1.1 基本原理 | 223 |
| 5.1.2 特点与应用 | 224 |
| 5.1.3 焊接电弧 | 225 |
| 5.1.4 焊条电弧焊工艺 | 237 |
| 5.1.5 各种位置的焊接法 | 244 |
| 5.1.6 焊接参数 | 257 |
| 5.1.7 焊缝缺陷 | 260 |
| 5.2 半自动钨极氩弧焊 | 263 |
| 5.2.1 基本原理 | 263 |
| 5.2.2 特点与应用 | 263 |
| 5.2.3 钨极氩弧焊工艺 | 265 |
| 第6章 压力管道的焊接 | 275 |
| 6.1 管道焊接概述 | 275 |
| 6.1.1 工业管道的分类与分级 | 275 |
| 6.1.2 管道组成件及支承件检验 | 276 |
| 6.1.3 管道的焊接 | 280 |
| 6.2 钢管道焊接技术 | 292 |
| 6.2.1 管道的转动焊接(管子水平放置) | 292 |
| 6.2.2 固定管道焊接 | 294 |
| 6.2.3 垂直固定管的焊接 | 301 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 6.2.4 倾斜固定管的焊接 | 302 |
| 6.2.5 碳素钢、低合金钢管道的焊接工艺要求 | 303 |
| 6.2.6 其他技术要求 | 311 |
| 6.3 向下立焊 | 314 |
| 6.3.1 向下立焊焊接工艺概述 | 314 |
| 6.3.2 向下立焊的操作技术与焊接参数 | 318 |
| 6.3.3 向下立焊技术使用的焊接材料 | 320 |
| 6.3.4 适用于向下立焊的电焊机 | 321 |
| 6.4 管道维修焊接实例 | 322 |
| 6.4.1 泄漏管道的补焊 | 322 |
| 6.4.2 蒸汽管道的带压补焊 | 323 |
| 6.4.3 输油管线的在线焊接 | 325 |
| 第7章 铝、铝合金及其管道的焊接 | 328 |
| 7.1 铝及铝合金的分类 | 328 |
| 7.2 铝及铝合金的焊接性 | 329 |
| 7.3 铝及铝合金的焊接工艺 | 331 |
| 第8章 铜、铜合金及其管道的焊接 | 350 |
| 8.1 铜及铜合金的焊接性 | 350 |
| 8.2 铜及铜合金的焊接工艺 | 351 |
| 参考文献 | 365 |

第 1 章 焊接基础知识

1.1 概述

焊接技术是现代工业高质量、高效率制造技术中一种不可缺少的加工工艺。大多数发达国家利用焊接加工的钢材量已超过钢材产量的一半。大量的铝、铜、钛等非铁金属及其合金的结构件也是用焊接方法制造的。

焊接是通过适当的物理化学方法，使两个分离的固体产生原子间的结合力，从而实现连接的一种工艺方法。

焊接也是管道工程最主要、而且应用最广泛的连接施工工艺。按焊接工艺不同，主要分为气焊和电焊两大类。

管道是典型的焊接结构。它与容器和锅炉一样，都属于焊接结构中的壳体结构。与格架结构、梁型结构和柱型结构等相比，壳体结构的特点是承受内部和外部压力，要求焊接接头有良好的致密性。

1.1.1 焊接连接的特点

1. 焊接的优点

焊接与螺钉联接、铆接、法兰连接等相比，具有下列优点：

- (1) 节省金属材料、减轻结构重量，不需要接头配件，成本低。
- (2) 简化加工与装配工序，生产周期短，生产率高。

在利用焊接进行加工时，可将结构复杂的大型构件分解为许多小型零部件分别加工，然后再将这些零部件焊接起来，这样就简化了金属结构的加工工艺，缩短了加工周期。

- (3) 结构强度高（接头能达到与母材等强度），接头密封性好。

因焊接接头是通过原子间的结合力实现的连接，整体性好、刚度大，在外力作用下不像机械联接（如铆接、销子联接等）那样产生较大的变形。而且，焊接结构具有良好的气密性、水密性，这是其他联接方法无法比拟的。工作性能可靠，当管道投入运行后不需要经常管理。

(4) 为结构设计提供较大的灵活性。例如,按结构的受力情况可优化配置材料,按工况需要,在不同部位选用不同强度、不同耐磨性、耐腐蚀性、耐高温性等的材料。

(5) 焊接工艺过程容易实现机械化和自动化。

2. 焊接的缺点

(1) 焊接接头具有较大的性能不均匀性。由于焊缝的成分及金相组织与母材不同,接头各部位经历的热循环不同,使不同区域接头的性能不同。

(2) 接口固定,若需拆卸必须把管子切断。

(3) 焊接工艺要求较高,必须由受过专门训练的焊工进行施工。

(4) 焊接过程中产生高温、强光及一些有毒气体,对人体有一定的损害,故需加强劳动保护。

尽管如此,在钢管的连接方式中,焊接连接仍占第一位。

1.1.2 人员技术素质

与其焊接质量有关的人员较多,如焊接责任师、材料责任师、无损检测责任师、项目经理(或管道安装施工负责人)、质检员、焊工、管工、探伤工、机加工工人以及材料保管员等等。其中最主要的是焊接责任师、质检员、探伤人员及焊工。

焊接责任师是管道焊接质量的重要负责人,在管理上要负责一系列焊接技术文件的编制或审核签发,如焊接性试验、焊接工艺评定及其报告、焊接方案或焊接工艺指导书以及焊接作业指导书等。焊接责任师应经常与材料责任师及无损检测责任师保持联系,随时掌握管道工程中的材料(质量及代用情况等)与质量检验情况,以便拟定或签发(修改)适用于现场施工的焊接工艺。

焊工的操作技能不是一朝一夕便能熟练的,而应通过实际锻炼、培训甚至强化才能日臻完美,最后通过考试取得相应项目的焊接资格。焊工考试的具体要求见1.8节。

质检员和探伤人员是直接进行焊缝质量检验的人员,他们的每一项检验结果(数据)对评定焊接质量的优劣都有着举足轻重的意义。

1.1.3 焊接材料

焊接材料按压力管道焊接的要求,应设焊材一级库和二级库进行管理。焊材一级库一般是施工单位材料总库的焊材专用库房,库内只存放

焊材。库房内应保持通风、干燥、室温宜为 $10\sim 25^{\circ}\text{C}$ 相对湿度宜小于 50%。

只有经验收合格的焊材方能进入一级库，验收可按焊材的质量证明书进行。焊材质量书应注明生产厂家、生产日期、型号或牌号、批号、规格、化学成分和力学性能等内容。验收时除核对焊材的型号或牌号、批号、规格及数量等内容外，还要检查焊材的包装是否符合要求，生产日期是否超过 1 年。如包装破损，焊条容易吸潮变质；如出厂日期超过 1 年，焊条需要复验。各验收项目均合格后，方可登记入库，并妥善保管焊材的质量证明书。

焊材二级库一般设在管道施工现场或施工队，二级库房中的焊条摆放、库房条件等与一级库相同。由于施工用的焊材是直接由二级库领取的，故二级库除要建立焊材的入库及发放台账外，还必须建立焊条的烘烤、发放回收记录以及库房内的干湿湿度记录。为此，二级库房必须有能满足施工需要的焊条烘烤箱及恒温箱，烘烤时要严格区别碱性焊条、酸性焊条及不锈钢焊条等的不同烘烤要求，不能在同一烘烤箱内同时烘烤碳钢焊条和不锈钢焊条；也不能在同一烘烤箱中同时烘烤酸性焊条和碱性焊条。烘烤好的焊条应存入恒温箱中供电焊工领用。

1.1.4 焊接工艺

焊接工艺实际上包括两大部分，一部分是焊接工艺文件编制，另一部分是焊接工艺文件的实际贯彻执行情况，二者是相辅相成、缺一不可的。

焊接工艺文件是指导焊接作业的技术规定或措施，一般是由技术人员完成的，按照焊接工艺文件编制的程序与要求，主要有焊接性试验与焊接工艺评定、焊接工艺指导书或焊接方案、焊接作业指导书等内容。

焊接工艺评定的过程及各项检验要求在第 4 章中将予以较详细的介绍，此处不再重复。

焊接工艺指导书和焊接工艺评定报告中列有焊接接头的坡口形式、母材钢号、焊接材料牌号与规格、焊前预热与焊后热处理要求、焊接电流、电压、速度等主要工艺参数以及各项检验要求等内容。可以说把焊接时的主要技术措施及工艺参数都包括进去了。但是，焊接工艺指导书及焊接工艺评定报告是作为技术文件进行管理的，一般都由技术管理

人员保存管理，下面直接施焊的焊工不一定人人都能见到这些技术文件。另一方面，实际施焊时还有若干具体的技术要求必须交待，如对管道焊缝位置的具体要求（直管段上两对接焊口中心距、环焊缝距支、吊架净距等）、对管道组对错边量的要求、层间清理的具体要求以及预热与层间温度的测量方法等等。因此，在管道焊接时，往往还须编制焊接作业指导书，将所有管道焊接时的各项原则及具体的技术措施与工艺参数都交待清楚，并将焊接作业指导书发至焊工班组，由班长组织全班焊工学习掌握其各项要求之后，在实际施焊中切实贯彻执行。

1.1.5 管道焊接一般规定

管道焊接应按设计文件和现行国家标准《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》GB50236—1998的有关规定进行。

1. 通用规定

(1) 设计文件应标明母材、焊接材料、焊缝系数及焊缝坡口的形式，并对焊接方法、焊前预热、焊后热处理及焊接检验提出要求。

(2) 焊接人员及其职责应符合下列规定：

1) 焊接技术人员应由中专及以上学历，有1年以上焊接生产实践的人员担任。

焊接技术人员应负责焊接工艺评定，编制焊接作业指导书和焊接技术措施，指导焊接作业，参与焊接质量管理，处理焊接技术问题，整理焊接技术资料。

2) 焊接质检人员应由相当于中专及以上文化水平，有一定的焊接经验和技术水平的人员担任。

焊接质检人员应对现场焊接作业进行全面检查和控制，负责确定焊缝检测部位，评定焊接质量，签发检查文件，参与焊接技术措施的审定。

3) 无损探伤人员应由国家授权的专业考核机构考核合格的人员担任，并按考核合格项目及权限，从事焊接检测和审核工作。

无损探伤人员应根据焊接质检人员确定的受检部位进行检验，评定焊缝质量，签发检验报告，对外观不符合检验要求的焊缝应拒绝检验。

4) 焊工必须按GB 50236规范中考试的规定进行考试，合格后方可上岗施焊。

焊工应按规定的焊接作业指导书及焊接技术措施进行施焊，当遇到

工况条件与焊接作业指导书及焊接技术措施的要求不符合时，应拒绝施焊。

5) 焊接热处理人员应经专业培训。

焊接热处理人员应按 GB 50236 规范、焊接作业指导书及设计文件中的有关规定进行焊缝热处理工作。

(3) 施工单位应具备下列条件：

1) 施工单位应建立焊接质量管理体系，并应拥有符合本规定 (2) 条要求的焊接技术人员、焊接质检人员、无损探伤人员、焊工和焊接热处理人员。

2) 施工单位的焊接工装设备、检验试验手段，应满足相应焊接工程项目的技术要求。

3) 在焊工考试和工程施焊前，施工单位应具有相应项目的焊接工艺评定。

(4) 施焊环境应符合下列规定：

1) 焊接的环境温度应能保证焊件焊接所需的足够温度和焊工技能不受影响。

2) 焊接时的风速不应超过下列规定，当超过规定时，应有防风设施。

① 焊条电弧焊、埋弧焊、氧乙炔焊：8m/s。

② 氩弧焊、二氧化碳气体保护焊：2m/s。

3) 焊接电弧 1m 范围内的相对湿度应符合下列规定：

① 铝及铝合金焊接：不得大于 80%。

② 其他材料焊接：不得大于 90%。

4) 当焊件表面潮湿、覆盖有冰雪，或在下雨、下雪、刮风期间，焊工及焊件无保护措施时，不应进行焊接。

(5) 对不合格焊缝的返修，返修前应进行质量分析，当同一部位的返修次数超过两次时，应制订返修措施并经焊接技术负责人审批后方可进行返修。补焊工艺应与原焊缝施焊工艺相同。

2. 材料

(1) 焊接工程所采用的材料，应符合设计文件的规定。

(2) 材料必须具有制造厂的质量证明书，其质量不得低于国家现行标准的规定。

(3) 材料使用前,应按相关国家现行标准的规定进行检查和验收。对设计选用的新材料,应由设计单位提供该材料的焊接性资料。

(4) 焊条应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T 5117—1995、《低合金钢焊条》GB/T 5118—1995、《低温钢焊条》JB 2385、《不锈钢焊条》GB/T 983—1995、《堆焊焊条》GB/T 984—2001、《铝及铝合金焊条》GB/T 3669—2001、《铜及铜合金焊条》GB/T 3670—1995、《镍及镍合金焊条》GB/T 13814—1992 的规定。

(5) 焊丝应符合现行国家标准《焊接用钢丝》GB 1300、《焊接用不锈钢丝》GB 4242、《铝及铝合金焊丝》GB/T 10858—1989、《铜及铜合金焊丝》GB/T 9460—1988、《钛及钛合金焊丝》GB/T 3623—1998、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110 的规定。

(6) 施工现场的焊接材料贮存场所及烘干、去污设施,应符合国家现行标准《焊条质量管理规程》JB 3223 的规定,并应建立保管、烘干、清洗、发放制度。

(7) 埋弧焊所采用的焊剂应符合现行国家标准《碳素钢埋弧焊剂》GB/T 5293—1999 及《低合金钢埋弧焊用焊剂》GB/T 1270—1996 的规定。

(8) 氩弧焊所采用的氩气应符合现行国家标准《氩气》GB/T 4842—1995 的规定,且纯度不应低于 99.96%。

(9) 手工钨极氩弧焊,宜采用铈钨极或钍钨极。

(10) 二氧化碳气体保护焊采用的二氧化碳气体纯度,不应低于 99.5%,含水量不应超过 0.005%,使用前应预热和干燥。当瓶内气体压力低于 0.98MPa 时,应停止使用。

(11) 氧乙炔焊所采用的氧气纯度不应低于 98.5%,乙炔气的纯度和气瓶中的剩余压力应符合现行国家标准《溶解乙炔》GB 6819—1996 的规定。当采用电石制备乙炔气时,电石的质量可采用检查焊缝中硫、磷含量的方法确定,其硫、磷含量不应超过母材的标准值。

1.2 金属材料的焊接性

1.2.1 焊接性定义及影响因素

焊接性是材料焊接加工的适应性,指材料在一定的焊接工艺条件下

(包括焊接方法、焊接材料、焊接参数和结构形式等), 获得优质焊接接头的难易程度和该焊接接头能否在使用条件下可靠运行。

焊接性可分为工艺焊接性和使用焊接性。工艺焊接性是指能否获得优质致密、无缺陷焊接接头的的能力。使用焊接性是指焊接接头或整体结构满足技术条件所规定的各种使用性能的程度, 包括常规的力学性能或特定工作条件下的性能, 如低温韧性、高温强度、疲劳性能以及抗腐蚀性、耐磨性等。

影响焊接性的四大因素是材料、设计、工艺及服役环境。材料因素有钢的化学成分、冶炼轧制状态、热处理、组织状态和力学性能等。设计因素是指焊接结构的安全性, 它不但受到材料的影响, 而且在很大程度上还受到结构形式的影响。工艺因素包括施工时所采用的焊接方法、焊接工艺规程(如焊接热输入、焊接材料、预热、后热、焊接顺序等)和焊后热处理等。服役环境因素是指焊接结构的工作温度、负荷条件(动载、静载、冲击等)和工作环境(化工区、沿海及腐蚀介质等)。

1.2.2 金属材料的焊接特点

各种金属材料焊接的难易程度见表 1-1, 常用金属材料的焊接性特点见表 1-2, 各种金属材料可能产生的焊接裂纹类型见表 1-3。

表 1-1 各种金属材料焊接难易程度一览

| 金属及其合金 | 焊接 电弧焊 | 埋弧焊 | CO ₂ 气体 保护焊 | 惰性 气体 保护焊 | 电渣焊 | 电子 束焊 | 气焊 | 气压焊 | 电阻焊 | 闪光 对焊 | 铝热 剂焊 | 钎焊 |
|-------------|-----------|-----|------------------------------|-----------------|-----|----------|----|-----|-----|----------|----------|----|
| 纯铁 | A | A | A | C | A | A | A | A | A | A | A | A |
| 碳 素 钢 | 低碳钢 | A | A | A | B | A | A | A | A | A | A | A |
| | 中碳钢 | A | A | A | B | B | A | A | A | A | A | B |
| | 高碳钢 | A | B | B | B | B | A | A | D | A | A | B |
| | 工具钢 | B | B | B | R | — | A | A | A | A | B | B |
| | 含铜钢 | A | A | A | B | — | A | A | A | A | B | B |
| 铸 钢 | 碳素钢 | A | A | A | B | A | B | A | B | A | A | B |
| | 高锰钢 | B | B | B | B | A | B | A | D | B | B | B |
| 铸 铁 | 灰铸铁 | B | D | D | B | B | C | A | D | D | D | C |
| | 可锻铸铁 | B | D | D | B | B | C | A | D | D | D | C |
| 铁 | 合金铸铁 | B | D | D | B | B | C | A | D | D | A | C |

(续)

| 金属及其合金 | 焊接 电弧焊 | 埋弧焊 | CO ₂ 气体 保护焊 | 惰性 气体 保护焊 | 电渣焊 | 电子 束焊 | 气焊 | 气压焊 | 电阻焊 | 闪光 对焊 | 铝热 剂焊 | 钎焊 |
|------------------|-----------|-----|------------------------------|-----------------|-----|----------|----|-----|-----|----------|----------|----|
| 低 合 金 钢 | 镍钢 | A | A | A | B | B | A | B | A | A | A | B |
| | 镍铜钢 | A | A | A | — | B | A | B | A | A | A | B |
| | 锰钼钢 | A | A | A | — | B | A | B | B | A | A | B |
| | 碳素钼钢 | A | A | A | — | B | A | B | B | — | A | B |
| | 镍铬钢 | A | A | A | — | B | A | B | A | D | A | B |
| | 镍铬钼钢 | B | A | B | B | B | A | B | A | D | B | B |
| | 镍钼钢 | B | B | B | A | B | A | B | B | D | B | B |
| | 铬钢 | A | B | A | — | B | A | B | A | D | A | B |
| | 铬钒钢 | A | A | A | — | B | A | B | A | D | A | B |
| | 锰钢 | A | A | A | B | B | A | B | B | D | A | B |
| 不 锈 钢 | 铬钢(马氏体) | A | A | B | A | C | A | A | B | C | B | D |
| | 高铬钢(铁素体) | A | A | B | A | C | A | A | B | A | A | D |
| | 铬镍钢(奥氏体) | A | A | A | A | C | A | A | A | A | A | D |
| 耐热合金 | A | A | A | A | D | A | B | B | A | A | D | |
| 高镍合金 | A | A | A | A | D | A | A | B | A | A | D | |
| 轻 金 属 | 纯铝 | B | D | D | A | D | A | B | C | A | A | D |
| | 非热处理铝合金 | B | D | D | A | D | A | B | C | A | A | D |
| | 热处理铝合金 | B | D | D | B | D | A | B | C | A | A | D |
| | 纯镁 | D | D | D | A | D | B | D | C | A | A | D |
| | 镁合金 | D | D | D | A | D | B | C | C | A | A | D |
| | 纯钛 | D | D | D | A | D | A | D | D | A | D | D |
| | 钛合金(α相) | D | D | D | A | D | A | D | D | A | D | D |
| 钛合金(其他相) | D | D | D | B | D | A | D | D | B | D | D | |
| 铜 合 金 | 纯铜 | B | C | B | A | D | B | B | C | C | C | D |
| | 黄铜 | B | D | B | A | D | B | B | C | C | C | D |
| | 磷青铜 | B | C | C | A | D | B | B | C | C | C | D |
| | 铝青铜 | B | D | D | A | D | B | B | C | C | C | D |
| | 镍青铜 | B | D | C | A | D | B | B | C | C | C | D |

(续)

| 金属及其合金 | 焊接 电弧焊 | 埋弧焊 | CO ₂ 气体 保护焊 | 惰性 气体 保护焊 | 电渣焊 | 电子 束焊 | 气焊 | 气压焊 | 电阻焊 | 闪光 对焊 | 铝热 剂焊 | 钎焊 |
|--------|-----------|-----|------------------------------|-----------------|-----|----------|----|-----|-----|----------|----------|----|
| 铝、铜 | D | D | D | B | D | B | B | D | B | D | D | C |

注：A—通常采用，B—有时采用，C—很少采用，D—不采用。

表 1-2 常用金属材料的焊接性特点

| 金属材料 | 可能出现的问题 | |
|---------------------|------------------------------|---|
| | 工艺方面 | 使用方面 |
| 低碳钢 | (1) 厚板的刚性拘束裂纹 (2) 硫致裂纹 | (1) 板厚方向伸长率减少 (2) 厚板方向缺口韧性低 |
| 中、高碳钢 | (1) 焊道下裂纹 (2) 热影响区硬化 | 疲劳极限降低 |
| 低合金高强度钢 (热轧及正火钢) | (1) 焊道下裂纹 (2) 热影响区硬化 | (1) 焊缝区塑性低 (2) 抗拉强度低、疲劳极限低 (3) 容易引起脆性破坏 (4) 板的异向性大 (5) 引起 H ₂ S 应力腐蚀裂纹 |
| 低合金高强度钢 (调质钢) | (1) 热影响区软化 (2) 厚板焊道裂纹 | (1) 焊缝区塑性低 (2) 抗拉强度低、疲劳极限低 (3) 容易引起脆性破坏 (4) 板的异向性大 (5) 引起 H ₂ S 应力腐蚀裂纹 |
| 低合金 Cr-Mo 钢 | (1) 焊缝金属冷裂纹 (2) 热影响区的硬化裂纹 | (1) 焊缝区塑性低 (2) 高温、高压氢脆 |
| 低合金调质强韧 钢 | 热影响区硬化裂纹 | (1) 抗拉强度不足 (2) 调质强度低 (3) 疲劳极限低 |
| Cr13 钢 (马氏 体系) | 焊缝金属、热影响区冷裂纹 | (1) 焊缝塑性低 (2) 有时引起应力腐蚀 |

(续)

| 金属材料 | 可能出现的问题 | |
|--------------|--|--|
| | 工艺方面 | 使用方面 |
| Cr18 钢 | (1) 常温脆性裂纹 (2) 焊缝区晶粒粗化 | (1) 焊缝区韧性低 (2) 475°C 脆化 (3) α 相脆化 |
| 低温用低碳钢 | (1) 焊缝金属晶粒粗化 (2) 高温加热引起的脆化 | (1) 热影响区冲击韧度低 (2) 缺口韧性低 |
| 3.5% Ni 钢 | (1) 焊缝金属冷裂纹 (2) 高温加热引起脆化 (580°C 以下) | (1) 冲击值分散 (2) 缺口韧性低 |
| 奥氏体不锈钢 | (1) 焊缝热裂纹 (2) 由于高温加热碳化物脆化 (3) 焊接变形大 | (1) 高温使用时 σ 相脆化 (2) 焊接热影响区耐腐蚀性下降 (3) 氯离子引起的应力腐蚀裂纹 (4) 焊缝低温冲击韧度下降 |
| 镍、铬、铁耐热、耐蚀合金 | (1) 因熔合线塑性下降引起裂纹 (2) 过热、热裂纹 (3) 高温加热引起过热脆化 | (1) 热应变脆化 (2) 蠕变极限下降 (3) 热影响区耐蚀性下降 |
| 纯镍、高镍合金 | (1) 焊缝金属的热裂纹 (2) 因大电流引起过热脆化 | (1) 焊缝金属塑性下降 (2) 热影响区耐蚀性下降 |
| 铜及铜合金 | (1) 高温塑性下降, 脆化裂纹 (2) 焊缝收缩裂纹 | (1) 热影响区软化 (2) 焊缝金属化学成分不一致 (3) 热影响区脆化 |
| 铝及铝合金 | (1) 高温塑性下降, 脆性裂纹 (2) 焊缝收缩裂纹 (3) 时效裂纹 | (1) 焊缝金属化学成分不一致 (2) 焊缝金属强度不稳定 (3) 接头软化 |

表 1-3 各种金属材料可能产生的焊接裂纹类型

| 金属材料 | | 热裂纹 | 冷裂纹 | 层状撕裂 | 再热裂纹 |
|------------|---------|-----|-----|------|------|
| 碳素钢 | S<0.01% | — | △ | △ | — |
| | S>0.01% | △ | △ | ○ | — |
| 中碳钢、中碳低合金钢 | | △ | ○ | — | ○ |
| 高碳钢、铸铁 | | — | △ | — | — |

(续)

| 金属材料 | | 热裂纹 | 冷裂纹 | 层状撕裂 | 再热裂纹 |
|--------------------|-----|-----|-----|------|------|
| 低合金高强度钢 | | — | ○ | — | ○ |
| 中合金高强度钢 | | △ | ○ | — | △ |
| 高合金钢 | | ○ | — | — | △ |
| Cr-Mo 钢 | | — | ○ | — | ○ |
| Ni 基、Fe 基、Co 基耐热合金 | | ○ | — | — | △ |
| 不锈钢 | 马氏体 | △ | ○ | — | — |
| | 铁素体 | ○ | — | — | — |
| | 奥氏体 | ○ | — | — | △ |
| 铝及铝合金 | | ○ | — | △ | — |
| 铜及铜合金 | | ○ | — | — | △ |
| 镍及镍合金 | | ○ | — | — | — |
| 钛、锆、活性金属 | | △ | — | — | — |
| 钨 | | ○ | — | — | — |

注：○—常发生，△—有时发生。

1.3 常用金属材料知识

1.3.1 常用金属材料的性能

1. 金属材料的物理性能

(1) 体积质量 是指某种物质单位体积的质量，用 ρ 表示，单位为 g/cm^3 。它是金属材料的重要物理性能。

(2) 熔点 是纯金属或合金由固态转变为液态的温度。纯金属的熔点是固定的；大多数合金的熔点则是一个温度范围，而且组成合金的成分不同，其熔点也不同。熔点对冶炼、铸造和焊接都很重要，两种熔点相差大的金属很难用于熔焊方法加工。

(3) 热膨胀性 即金属材料受热体积增大、冷却体积缩小的性能。常用金属材料的体积质量、熔点及线胀系数见表 1-4。

(4) 导热性 即金属材料传导热量的能力。在进行焊接及热处理时必须掌握金属的导热性。

表 1-4 常用金属材料的体积质量、熔点及线胀系数

| 金属材料名称 | 体积质量/(g·cm ⁻³) | 熔点/°C | 线胀系数/ $\times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ |
|--------|----------------------------|-----------|---|
| 镁 | 1.74 | 650 | 24.3~27.1 |
| 铝 | 2.7 | 660 | 23.6 |
| 铁 | 7.87 | 1538 | 11.76 |
| 铜 | 8.96 | 1083 | 17.0 |
| 铅 | 11.34 | 327 | 29.3 |
| 灰铸铁 | 6.8~7.4 | 约 1200 | 8.7~11.1 |
| 碳钢 | 7.8~7.9 | 1450~1500 | 10.6~12.2 |
| 黄铜 | 8.5~8.6 | 886~1056 | 17.0~21.4 |
| 铝合金 | 2.55~3.0 | 447~575 | 22.6 |

(5) 导电性 即金属材料传导电流的能力。

2. 金属材料的化学性能 金属材料的化学性能是指金属材料在室温或高温下, 抵抗外界介质对它进行化学侵蚀的能力, 一般包括耐腐蚀性和抗氧化性。

3. 金属材料的工艺性能 金属材料的工艺性能是指金属材料是否易于加工成形。

(1) 铸造性能 钢材在液态铸造成型时所具有的性能称为铸造性能, 如流动性、收缩性及偏析趋势等。

(2) 切削加工性能 钢材在承受切削加工时所表现的性能称为切削加工性能。

(3) 压力加工性能 钢材在冷、热状态下进行压力加工时, 具有可塑性, 即形状容易改变而不至破裂的能力, 为压力加工性能。低碳钢的压力加工性能良好, 可用冲压、挤压、冷镦等加工成形。

(4) 焊接性能 是指钢材在一定的焊接工艺条件下 (包括焊接方法、焊接材料、焊接工艺参数和结构形式等), 能否获得优质接头的难易程度和该焊接接头能否在使用条件下, 可靠运行。

1.3.2 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属在受到外力时所表现出来的特性。见表 1-5。

1. 拉伸试验

拉伸试验可用于测定金属材料的强度、塑性和弹性等。

(1) 强度 指金属材料在外力作用下抵抗破坏的能力, 分别有屈服

点和抗拉强度。

1) 屈服点是材料产生微量塑性变形时的应力。

有些材料如铜和铝，在拉伸曲线中无明显的屈服点，则在试样拉伸时，以试样塑性变形的应变量为 0.2% 时的应力作为其屈服点，称为屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 。

2) 抗拉强度是材料在拉断前所承受的最大应力[⊖]。

对某些脆性材料，如灰铸铁，在拉断前基本上没有塑性变形，因此没有屈服强度。在零件强度设计时就以抗拉强度作为设计依据。

(2) 塑性 指材料在破断前产生塑性变形的能力。在工程上常用伸长率 δ_5 和断面收缩率 ψ 作为衡量金属材料塑性高低的指标。这两个指标都是通过拉伸试验后测得的。

1) 伸长率即试样拉断后单位长度的伸长，用百分数表示，见式 (1-1)。

$$\delta_5 = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 δ_5 ——伸长率 (%)；

L_1 ——试样拉断后的标距长度 (mm)；

L_0 ——试样原始标距长度 (mm)。

2) 断面收缩率即试样拉断后在断裂处单位面积的缩小，用百分数表示。见式 (1-2)。

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 ψ ——断面收缩率 (%)；

S_1 ——试样拉断后的截面面积 (mm^2)；

S_0 ——试样原始截面面积 (mm^2)。

2. 冷弯试验

金属材料或焊缝的塑性也可以用弯曲角 α 来表示。弯曲角 α 由冷弯试验测定。

冷弯试验是在室温下把金属材料或焊接接头在一定直径 ($D = 2\delta$, δ 为工件厚度) 的压头下进行弯曲，当试样被弯曲到出现第一条裂纹时

⊖ 指名义最大应力，即单位面积所受外力。

所测得的角度称为弯曲角。

伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 以及弯曲角 α 都是评定金属材料或焊接接头塑性好坏的指标。如果这些数值达不到正常指标，则表明在金属或焊接接头中存在着某些缺陷。

金属材料的塑性指标在工程中具有重要意义。良好的塑性不仅使材料在加工时易于成形，对于焊接结构而言，若材料和焊缝都具有良好的塑性，当结构内存在应力集中状态时，也能通过塑性变形而消除应力集中现象，从而防止结构的突然断裂。

3. 硬度试验

硬度是材料抵抗硬物压入的能力。对于一般的金属材料，测定了硬度即可估计出其组织和力学性能的状况。硬度高的材料一般耐磨性较好，强度也较高，但塑性较差。对于焊件，常可以用测定焊缝及热影响区的硬度来估计出焊缝和热影响区的组织和力学性能。

表 1-5 金属材料力学性能名称及含义

| 名称 | 符号 | 单位 | 含义及说明 |
|-------|----------------|-------------------|---|
| 抗拉强度 | σ_b | MPa | 材料抵抗外力破坏的最大能力，总称强度极限，受的外力是拉力者称抗拉强度；受压的称抗压强度；受弯的称抗弯强度；受剪的称抗剪强度 |
| 抗压强度 | σ_k | | |
| 抗弯强度 | σ_{bb} | | |
| 抗剪强度 | τ_b | | |
| 弹性极限 | σ_e | MPa | 材料在外力的作用下产生变形，当外力去除后能恢复原状的能力称为弹性。金属材料能保持弹性变形的最大应力称为弹性极限 |
| 屈服强度 | $\sigma_{s.2}$ | MPa | 在拉伸过程中，负荷不增加，甚至有所降低，试样还继续发生明显变形的最小应力，叫做屈服强度 |
| 伸长率 | δ | % | 伸长率、断面收缩率都是用来衡量金属材料塑性的。金属材料在外力作用下，产生不破坏的永久变形的最大能力称塑性。 δ_5 、 δ_{10} 表示试样的标距等于5倍、10倍直径时的伸长率 |
| 断面收缩率 | ψ | | |
| 冲击韧度 | a_K | J/cm ² | 金属材料在冲击载荷的作用下，抵抗破坏的能力称冲击韧度 |
| 硬度 | HB | | 金属材料对磨损和外力所能引起变形之抵抗能力的大小称为硬度 |

(续)

| 名称 | 符号 | 单位 | 含义及说明 |
|------|---|-----|--|
| 疲劳强度 | σ_{-1} σ_{-1h} | MPa | 金属材料在交变应力的作用下, 经受一定的应力循环数, 仍不发生断裂时所能承受的最大应力称疲劳强度。 σ_{-1} 为光滑试样; σ_{-1h} 为缺口试样 |
| 蠕变强度 | $\sigma_{\frac{\text{变形量}}{\text{时间}}}$ | MPa | 金属在高温长期工作时, 应力小于 σ_s 而仍产生缓慢塑性变形的现象称为蠕变。衡量蠕变的指标称蠕变强度。分子数字表示变形量的百分数, 分母数字表示产生该变形量所经历的时间, 以小时为单位 |

4. 冲击试验

某些金属材料, 如淬火钢, 其抗拉强度很高, 但在受到较小的冲击力时即会断裂, 因此对于重要的焊接结构, 焊缝需要有一定的冲击韧度。冲击韧度为材料抵抗冲击载荷的能力。

冲击韧度是把材料制成标准试样后, 在摆锤冲击试验机上测定的。冲击试验时, 将摆锤举到一定高度, 落下时把试样冲断, 则冲断试样单位面积所消耗的功称为冲击韧度, 用 a_K 表示。见式(1-3)。

$$a_K = \frac{A_K}{S} \quad (1-3)$$

式中 a_K ——冲击韧度 (J/m^2);

A_K ——冲断试样所消耗的功 (J);

S ——试样缺口处的截面积 (m^2)。

综述金属材料常用力学性能指标等数值, 必须说明一点的是, 这些数据只能在选用材料时作为各种材料性能的相对比较, 并不能代表这种材料制成焊接结构后的真正强度数据。因为这些数据是用标准试样测得的, 在试验时假定材料是均匀的、无缺陷的, 并且没有考虑到下列因素, 如: 焊接接头因加热和冷却造成的组织变化和内应力; 焊接结构受力时的应力集中; 焊接结构在受力后因塑性变形而使应力重新分布; 焊接结构的加工精度以及焊接结构的工作条件, 如温度和接触介质等问题。因此, 金属材料的力学性能指标并不能完全代表焊接结构承受载荷的能力。

1.3.3 金属受力时结构和性能的变化

1. 金属的弹性变形和塑性变形

金属的变形分为弹性变形和塑性变形两种。金属弹性变形时，原子间的距离只发生暂时性的变化，引起变形的外力去除后，晶格恢复到原来的形状，变形随之消失。当外力继续增大时，晶格继续变形，当变形量超过金属弹性变形能力后，金属便开始产生塑性变形。塑性变形在外力去除后，不能恢复原状。

金属发生塑性变形后，晶粒沿着外力的方向被拉长了，晶格受到严重的歪扭，结果使金属的强度和硬度提高，塑性和韧性降低，这种现象称为加工硬化，如铁丝在反复折弯后会逐渐变硬。

2. 金属的再结晶

发生塑性变形的金属，其强度、硬度、塑性和韧性还可以恢复，办法是通过热处理消除晶格的歪扭现象，使原子重新回到原来的稳定位置。这种热处理叫做再结晶热处理。

1.4 钢的组织

1.4.1 基本定义

相——在合金中（钢是铁碳合金），具有均匀的化学成分，相同的结晶构造，并有界面隔开的均匀部分称为相。合金中的相结构分为固溶体——一种物质均匀地分布在另一种物质内而构成的固态复合体。例如糖溶在水中，得到糖的水溶液——糖水。如果糖水结成冰，就得到糖在固态水中的固溶体。合金中也存在着类似的情况。

化合物——两种或两种以上元素按一定的比例以化学方式结合，形成一种与元素性质完全不同的复合体，称为化合物。如钢中的碳化铁（ Fe_3C ）就是一种化合物。

晶体混合物——又称为共析体或机械混合物。是由两种固溶体或一种固溶体和化合物机械地混合在一起所组成的合金结构。

1.4.2 金属的晶体结构

物质的原子和分子是有规律排列的，称为晶体，反之则称为非晶体。

所有的金属材料在固态下是晶体。

在研究晶体构造时，用假想的几何线条将各原子的中心连接起来，就得到一个抽象化的几何空间格架，叫做空间晶格，简称晶格。钢的晶格主要有面心立方晶格和体心立方晶格两种，如图 1-1 所示。

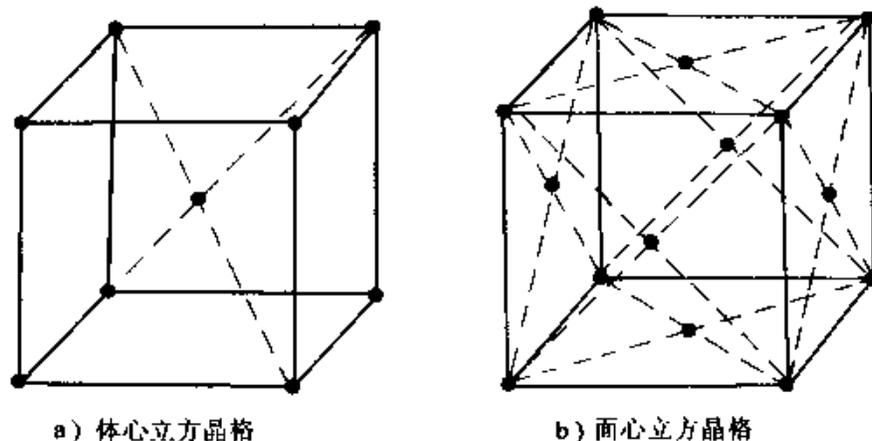


图 1-1 常见的金属晶格

面心立方晶格的晶胞是一立方体，八个顶角上各有一个原子，在其六个表面中心也各有一个原子。体心立方晶格的晶胞也是一个立方体，立方体的八个顶角各有一个原子，立方体的中心还有一个原子。

铁在结晶之后的冷却过程中，会发生从一种晶格转变为另一种晶格的结构变化，称为同素异构转变。如纯铁在 912°C 以下是体心立方晶格，即 α 铁。当升温到 912°C 以上时转变为面心立方晶格，即 γ 铁。继续升温至 1390°C 时又变为体心立方晶格，即 δ 铁。

1.4.3 铁碳合金相图（钢部分）

铁碳合金状态图是研究铁碳合金及其加工的理论基础和重要工具。它反映了不同成分的铁碳合金在缓慢加热和冷却时组织和性能的转变规律，是制订各种热加工工艺的依据。

一般可以把含碳量小于 2% 的铁碳合金称为钢。在工业上用的钢，含碳量很少超过 1.4%，而用于制造焊接结构的钢，含碳量更低。图 1-2 为含碳量小于 2% 的铁碳合金，即钢的状态图。图中的纵坐标表示温度、横坐标表示碳含量的百分数。

图 1-2 的使用说明：

$A_{c1}(A_{r1})$ 中 $c(r)$ 表示加热(冷却)；

A_{c1} ——加热时，珠光体转变为奥氏体的温度；

- Ar_1 ——冷却时，奥氏体转变为珠光体的温度；
 Ac_3 ——加热时，铁素体转变为奥氏体的终了温度；
 Ar_3 ——冷却时，奥氏体转变为铁素体的开始温度；
 Ac_{cm} ——加热时，二次渗碳体在奥氏体中溶解的终了温度；
 Ar_{cm} ——冷却时，二次渗碳体从奥氏体中析出的开始温度；
 α —— α 铁（体心立方）
 γ —— γ 铁（面心立方）

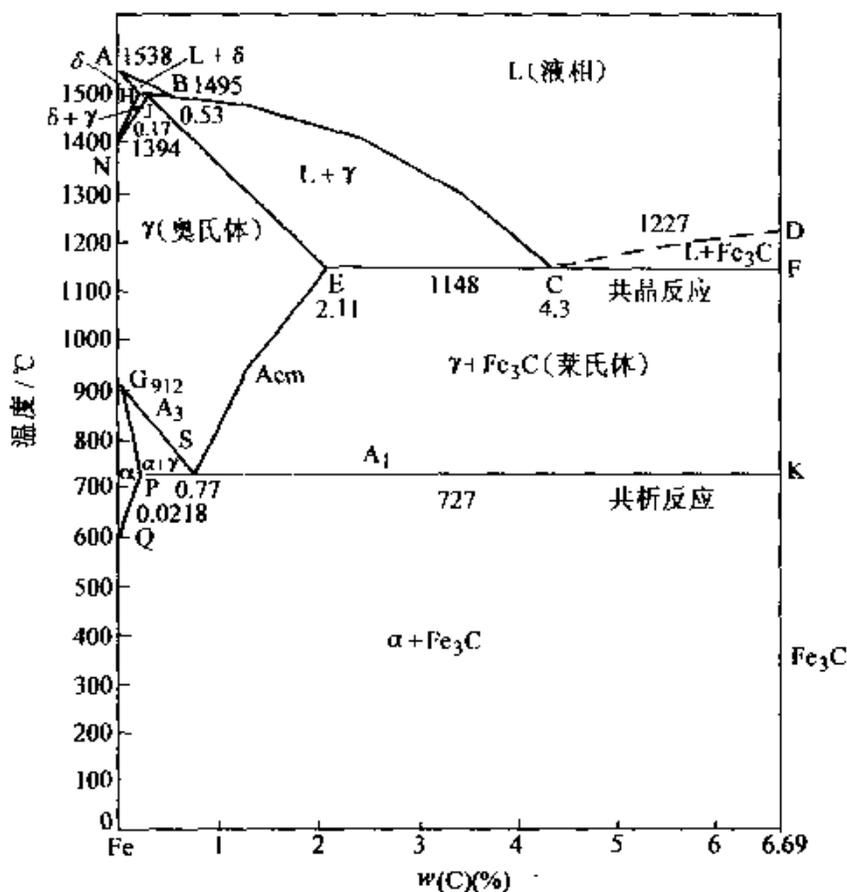


图 1-2 Fe-Fe₃C 相图

淬火：对于含碳量 $< 0.77\%$ 的亚共析钢，加热到 A_3 线以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，保温使其全部转为奥氏体，然后在淬火剂中急冷形成马氏体；

回火：加热到 A_1 线以下（低温回火： $150 \sim 250^\circ\text{C}$ ，高温回火： $400 \sim 650^\circ\text{C}$ ），保温后冷却；

调质：淬火 + 高温回火；

退火：将钢加热到 A_3 或 A_1 线以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，保温后缓慢均匀冷

却到常温或冷到 A_1 线的某一温度，停留一定时间，再在空气中冷却；

正火：将钢加热到 A_3 或 A_{cm} 线以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ ，保温后在空气中冷却；

消应力退火（低温退火或消应力回火）： A_1 线以下的某一温度，一般为 $600\sim 700^\circ\text{C}$ ，保温时间按 $4\sim 5\text{min/mm}$ 厚，但不小于 1h ，然后在炉中或空气中冷却。

从图的左上端可看出，工业纯铁（含碳量小于 0.02% 的铁碳合金）的熔点是 1535°C 。而钢的熔点是随着含碳量的增多而降低的。ABC 线为液相线，当钢加热到此线以上的相应温度时，全部变为液体；而由高温冷却到此线温度时，开始结晶，出现固相。AHJE 线为固相线，钢加热到此线相应的温度时，开始出现液体；而冷却到此一温度时，全部变成固相。

图中有四个单相区，在相邻两个单相区之间都是双相区。ABC 以上为液相区；AHN 区为 δ 铁素体区；NJESG 区为奥氏体区；GPQ 区为 α 铁素体区。ABJH 为 δ 铁素体与液相共存区；HJN 区为 δ 铁素体与奥氏体共存区；JBCE 区为液相与奥氏体共存区；GSP 区为奥氏体与铁素体共存区；ESK 区为奥氏体与渗碳体共存区。

钢在加热或冷却过程中，内部组织发生转变的温度称为临界温度，或称临界点。如 A_1 （PSK 线）、 A_3 （GS 线）和 A_{cm} （ES 线）。 A_1 线表示钢在缓慢冷却时，奥氏体转变为珠光体的温度；或在缓慢加热时，珠光体转变为奥氏体的温度。 A_3 线表示钢在缓慢冷却时由奥氏体开始析出铁素体的温度；或在缓慢加热时铁素体转变为奥氏体的终了温度。 A_{cm} 表示钢在缓慢冷却时由奥氏体开始析出渗碳体的温度；或在缓慢加热时渗碳体转变为奥氏体的终了温度。见表 1-6。

1.4.4 钢的组织

钢的常见的组织主要有以下几种：

1. 铁素体

铁素体是碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的固溶体（体心立方晶格），它的含碳量很低，在低于 912°C 时出现。铁素体的强度、硬度低而塑性、韧性很高。

2. 渗碳体是铁与碳的化合物

由 93.3% 的铁和 6.67% 的碳化合而成，分子式为 Fe_3C 。其性质与铁素体相反，硬而脆。随着钢中含碳量的增加，渗碳体量也增多，钢的

硬度、强度增加，而塑性、韧性下降。

表 1-6 Fe-Fe₃C 相图中各点温度、碳含量及含义

| 符号 | 温度/°C | 碳含量(%) (质量分数) | 含 义 |
|----|-------------|--------------------|---|
| A | 1538 | 0 | 纯铁的熔点 |
| B | 1495 | 0.53 | 包晶转变时液态合金的成分 |
| C | 1148 | 4.3 | 共晶点 $L_C \rightleftharpoons A_E + Fe_3C$ |
| D | 1227 | 6.69 | Fe ₃ C 的熔点 |
| E | 1148 | 2.11 | 碳在 γ -Fe 中的最大溶解度 |
| F | 1148 | 6.69 | Fe ₃ C 的成分 |
| G | 912 | 0 | α -Fe \rightleftharpoons γ -Fe 同素异构转变点(A ₃) |
| H | 1495 | 0.09 | 碳在 δ -Fe 中的最大溶解度 |
| J | 1495 | 0.17 | 包晶点 $L_B + \delta_H \rightleftharpoons A_2$ |
| K | 727 | 6.69 | Fe ₃ C 的成分 |
| N | 1394 | 0 | γ -Fe \rightleftharpoons δ -Fe 同素异构转变点(A ₄) |
| P | 727 | 0.0218 | 碳在 α -Fe 中的最大溶解度 |
| S | 727 | 0.77 | 共析点(A ₁) $A_S \rightleftharpoons A_P + Fe_3C$ |
| Q | 600 (室温) | 0.0057 (0.0008) | 600°C(或室温)时碳在 α -Fe 中的溶解度 |

3. 珠光体

珠光体是铁素体和渗碳体的共析体（机械混合物），只在低于723°C才出现。它的性能介于铁素体和渗碳体之间，即其强度和硬度比铁素体高，塑性和韧性比铁素体低，但脆性不大。

4. 奥氏体

奥氏体是碳在 γ -Fe 中的固溶体（面心立方晶格）。碳钢中的奥氏体只出现在 723°C 以上的高温区，在低于 723°C 以后，奥氏体随着含碳量和冷却条件不同分别转变为铁素体、珠光体和渗碳体及马氏体。奥氏体的强度和硬度较低而塑性和韧性很好，且无磁性。

5. 马氏体

马氏体是碳在 α -Fe 中的过饱和固溶体。马氏体的体积比相同重量的奥氏体大，因此由奥氏体转变为马氏体时体积要膨胀。局部体积膨胀

后引起的内应力往往导致零件变形、开裂。高碳淬火马氏体具有很高的硬度和强度，但很脆，延性低得几乎不能承受冲击载荷。低碳回火马氏体则具有相当高的强度和良好的塑性和韧性。

6. 魏氏组织

是一种过热组织。若碳钢发生过热，即在高温停留时间过长，晶粒长大，粗大的奥氏体冷却以后即形成魏氏组织。它使钢材的塑性和韧性下降。

1.5 钢的分类及钢材牌号与性能

工业上一般将金属材料分为两大类，即黑色金属和非铁金属。黑色金属一般指的是钢和铁（铁、铬、锰三种金属元素也是黑色金属），也就是人们常说的铁碳合金。非铁金属则是指黑色金属以外的其他金属及合金。

钢是在工业中应用最广的金属材料，对管道焊工而言，在施工中接触最多的也是钢材的焊接，如碳素钢、低合金钢、耐热钢、低温钢、奥氏体不锈钢的焊接等等。因此，下面介绍一下我国钢的分类、钢材牌号表示方法及性能。

1.5.1 钢的分类

钢可根据其制造方法、化学成分、用途及品质进行分类，其概要内容见图 1-3。

1.5.2 碳素钢的牌号与性能

碳素钢是含碳量低于 2% 的铁碳合金。工程中主要使用碳素结构钢、优质碳素结构钢、专门用途的碳素结构钢。按其含碳量不同，碳素结构钢可分为工业纯铁 ($w_C \leq 0.04\%$)、低碳钢 ($0.04\% < w_C \leq 0.25\%$)、中碳钢 ($0.25\% < w_C \leq 0.60\%$)、高碳钢 ($0.60\% < w_C \leq 1.00\%$)。

1. 碳素结构钢

碳素结构钢是指含碳量（质量分数，下同）低于 1%，并含有少量 Mn、Si、S、P 等杂质元素的铁碳合金。

碳素结构钢牌号表示方法及代号和技术要求由国家标准《碳素结构钢》GB 700—1988 规定。

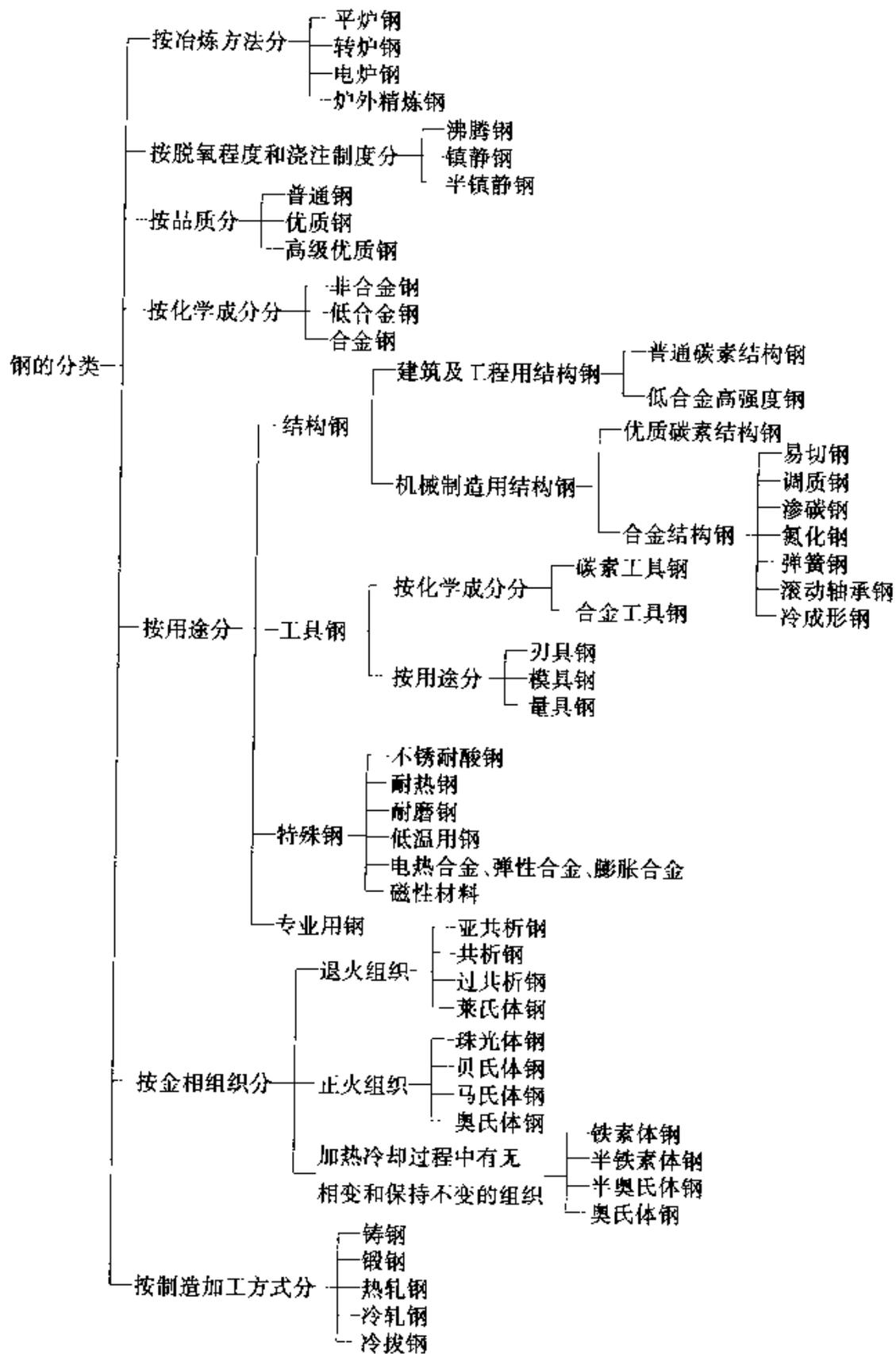


图 1-3 钢的分类

(1) 牌号表示方法和代号 钢的牌号由代表屈服强度的字母，屈服强度值，质量等级符号，脱氧方法符号等四个部分按顺序组成。

例如： Q235—AF Q235—B

其中符号：

Q——代表钢材屈服强度；

数字——代表钢材屈服强度等级 MPa；

A——质量等级，分别由 A、B、C、D 四个字母代表；

尾部为脱氧方法，F 代表沸腾钢、b 代表半镇静钢、Z 代表镇静钢、TZ 代表特殊镇静钢，在表示时 Z 和 TZ 代号予以省略。

(2) 技术要求 根据 GB 700—1988 的规定，碳素结构钢的牌号有 Q195、Q215、Q235、Q255、Q275 五种，其质量等级、化学成分及力学性能详见表 1-7 及表 1-8。

表 1-7 碳素结构钢化学成分 (GB 700—1988)

| 牌号 | 等级 | 化学成分 (%) | | | | | 脱氧方法 |
|------|----|-----------|-----------|------|-------|-------|-------|
| | | C | Mn | Si | S | P | |
| Q195 | — | 0.06~0.12 | 0.25~0.50 | 0.30 | 0.050 | 0.045 | F、b、Z |
| Q215 | A | 0.09~0.15 | 0.25~0.55 | 0.30 | 0.050 | 0.045 | F、b、Z |
| | B | | | | 0.045 | | |
| Q235 | A | 0.14~0.22 | 0.30~0.65 | 0.30 | 0.50 | 0.045 | F、b、Z |
| | B | 0.12~0.20 | 0.30~0.70 | | 0.045 | | |
| | C | ≤0.18 | 0.35~0.80 | | 0.040 | 0.040 | Z |
| | D | ≤0.17 | | | 0.035 | 0.035 | TZ |
| Q255 | A | 0.18~0.28 | 0.40~0.70 | 0.30 | 0.050 | 0.045 | Z |
| | B | | | | 0.045 | | |
| Q275 | — | 0.28~0.38 | 0.50~0.80 | 0.35 | 0.050 | 0.045 | Z |

注：1. 沸腾钢硅含量不大于 0.07%，半镇静钢硅含量不大于 0.17%，镇静钢硅含量下限为 0.12%。

2. Q235A 和 B 级沸腾钢锰含量上限为 0.60%。

3. D 级钢应有足够的形成细晶粒组织的元素。

表 1-8 碳素结构钢的力学性能 (GB 700—1988)

| 牌号 | 等级 | 拉伸试验 \geq | | | 冲击试验 | | 冷弯试验 | |
|------|----|--|---|---------------------|-----------|---|----------|------|
| | | 屈服点 σ_s (N/mm ²) (kgf/mm ²) | 抗拉强度 σ_b (N/mm ²) (kgf/mm ²) | 伸长率 δ_5 % | 温度 /°C | 夏比 V 型缺口 冲击吸收功 (纵向) /N·m (kgf·m) | 弯曲直径 d | |
| | | | | | | | 纵向试样 | 横向试样 |
| Q195 | — | 195 (20) | 315~390 (32~40) | 33 | — | — | 0 | 0.5a |
| Q215 | A | 215 (22) | 335~410 (34~42) | 31 | — | — | 0.5a | a |
| | B | | | | 20 | 27 (2.8) | | |
| Q235 | A | 235 (24) | 375~460 (38~47) | 26 | — | — | a | 1.5a |
| | B | | | | 20 | 27 (2.8) | | |
| | C | | | | 0 | | | |
| | D | | | | -20 | | | |
| Q255 | A | 255 (26) | 410~510 (42~52) | 24 | — | — | 2a | 2a |
| | B | | | | 20 | 27 (2.8) | | |
| Q275 | — | 275 (28) | 490~610 (50~62) | 20 | — | — | 3a | 3a |

注：1. 屈服点和伸长率要求数据，皆对钢材厚度不大于 16mm 而言，厚度增加时，这些数据要求降低，见 GB 700—1988。

2. Q195 的屈服强度值仅供参考，不做交货条件。

3. 冷弯试验中， B 为试样宽度， a 为钢材厚度，要求的弯心直径指钢材厚度不大于 60mm 时，厚度增加则弯心直径也增加，见 GB 700—1988。

2. 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢在化学成分，力学性能及其他一些性能上有比普通碳素结构钢更严格，更多内容的要求。但最主要还是对 S、P 的含量有更严格的控制。

国家标准《优质碳素结构钢》GB699—1999 对优质碳素结构钢的技术要求等作了明确的规定。

(1) 牌号释义 编号方法是以其平均含碳量的万分率（万分之几）的数字来表示。如 20 号钢，表示其平均含碳量为万分之二十，即 0.20%；45 号钢，则表示其平均含碳量为万分之四十五，即 0.45%。常

用的钢号有 10、15、20、25、30、35、40、45 等。F 表示沸腾钢（无 F 为镇静钢）；15Mn 中的 15 表示碳的平均万分含量，Mn 表示含锰量为 0.7%~1.2%。

(2) 性能及用途 优质碳素结构钢按锰含量的不同可分为普通含锰量钢和高含锰量钢。前者由于没加入其他元素，其性能基本上取决于钢中含碳量；后者则由于提高了锰含量，使其具有较高的强度，但塑性略低。优质碳素结构钢的牌号、统一数字代号及化学成分（熔炼分析）应符合表 1-9 的规定。钢的硫、磷含量应符合表 1-10 的规定。钢材的纵向力学性能（不包括冲击吸收功）应符合表 1-11 的规定。

表 1-9 钢的牌号、统一数字代号及化学成分（GB/T 699—1999）

| 序号 | 统一数字代号 | 牌号 | 化学成分 (%) | | | | | |
|----|--------|-----|-----------|-----------|-----------|------|------|------|
| | | | C | Si | Mn | Cr | Ni | Cu |
| 1 | U20080 | 08F | 0.05~0.11 | ≤0.03 | 0.25~0.50 | 0.10 | 0.30 | 0.25 |
| 2 | U20100 | 10F | 0.07~0.13 | ≤0.07 | 0.25~0.50 | 0.15 | 0.30 | 0.25 |
| 3 | U20150 | 15F | 0.12~0.18 | ≤0.07 | 0.25~0.50 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 4 | U20082 | 08 | 0.05~0.11 | 0.17~0.37 | 0.35~0.65 | 0.10 | 0.30 | 0.25 |
| 5 | U20102 | 10 | 0.07~0.13 | 0.17~0.37 | 0.35~0.65 | 0.15 | 0.30 | 0.25 |
| 6 | U20152 | 15 | 0.12~0.18 | 0.17~0.37 | 0.35~0.65 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 7 | U20202 | 20 | 0.17~0.23 | 0.17~0.37 | 0.35~0.65 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 8 | U20252 | 25 | 0.22~0.29 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 9 | U20302 | 30 | 0.27~0.34 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 10 | U20352 | 35 | 0.32~0.39 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 11 | U20402 | 40 | 0.37~0.44 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 12 | U20452 | 45 | 0.42~0.50 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 13 | U20502 | 50 | 0.47~0.55 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 14 | U20552 | 55 | 0.52~0.60 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 15 | U20602 | 60 | 0.57~0.65 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 16 | U20652 | 65 | 0.62~0.70 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 17 | U20702 | 70 | 0.67~0.75 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 18 | U20752 | 75 | 0.72~0.80 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |

(续)

| 序号 | 统一数字代号 | 牌号 | 化学成分 (%) | | | | | |
|----|--------|------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|
| | | | C | Si | Mn | Cr | Ni | Cu |
| | | | | | | | | |
| 19 | U20802 | 80 | 0.77~0.85 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 20 | U20852 | 85 | 0.82~0.90 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 21 | U21152 | 15Mn | 0.12~0.18 | 0.17~0.37 | 0.70~1.00 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 22 | U21202 | 20Mn | 0.17~0.23 | 0.17~0.37 | 0.70~1.00 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 23 | U21252 | 25Mn | 0.22~0.29 | 0.17~0.37 | 0.70~1.00 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 24 | U21302 | 30Mn | 0.27~0.34 | 0.17~0.37 | 0.70~1.00 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 25 | U21352 | 35Mn | 0.32~0.39 | 0.17~0.37 | 0.70~1.00 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 26 | U21402 | 40Mn | 0.37~0.44 | 0.17~0.37 | 0.70~1.00 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 27 | U21452 | 45Mn | 0.42~0.50 | 0.17~0.37 | 0.70~1.00 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 28 | U21502 | 50Mn | 0.48~0.56 | 0.17~0.37 | 0.70~1.00 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 29 | U21602 | 60Mn | 0.57~0.65 | 0.17~0.37 | 0.70~1.00 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 30 | U21652 | 65Mn | 0.62~0.70 | 0.17~0.37 | 0.90~1.20 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| 31 | U21702 | 70Mn | 0.67~0.75 | 0.17~0.37 | 0.90~1.20 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |

注：表中所列牌号为优质钢。如果是高级优质钢，在牌号后面加“A”（统一数字代号最后一位数字改为“3”）；如果是特级优质钢，在牌号后面加“E”（统一数字代号最后一位数字改为“6”）；对于沸腾钢，牌号后面为“F”（统一数字代号最后一位数字为“0”）；对于半镇静钢，牌号后面为“b”（统一数字代号最后一位数字为“1”）。

表 1-10 硫、磷含量 (GB/T 699—1999)

| 组别 | P | S | 组别 | P | S |
|-------|---------|-------|-------|---------|-------|
| | 不大于 (%) | | | 不大于 (%) | |
| 优质钢 | 0.035 | 0.035 | 特级优质钢 | 0.025 | 0.020 |
| 高级优质钢 | 0.030 | 0.030 | | | |

表 1-11 钢材的纵向力学性能 (GB/T 699—1999)

| 序号 | 牌号 | 试样 毛坯 尺寸 /mm | 推荐热处理/°C | | | 力学性能 | | | | | 钢材交货状态硬度 | |
|----|-----|-----------------------|----------|----|----|--------------------|--------------------|-------------------|---------------|-----------------|-------------|--|
| | | | 正火 | 淬火 | 回火 | σ_b /MPa | σ_s /MPa | δ_5 (%) | ψ (%) | A_{KU2} /J | HBS10/3 000 | |
| | | | | | | | | | | | 不小于 | |
| 1 | 08F | 25 | 930 | | | 295 | 175 | 35 | 60 | | 131 | |
| 2 | 10F | 25 | 930 | | | 315 | 185 | 33 | 55 | | 137 | |

(续)

| 序号 | 牌号 | 试样 毛坯 尺寸 /mm | 推荐热处理/ $^{\circ}\text{C}$ | | | 力学性能 | | | | | 钢材交货状态硬度 HBS10/3 000 不大于 | |
|----|------|-----------------------|---------------------------|-----|-----|------------|------------|------------|--------|-----------|--------------------------------|-----|
| | | | 正火 | 淬火 | 回火 | σ_b | σ_s | δ_5 | ψ | A_{KL2} | 未热处理钢 | 退火钢 |
| | | | | | | /MPa | /MPa | (%) | (%) | /J | | |
| | | | | | | 不小于 | | | | | | |
| 3 | 15F | 25 | 920 | | | 355 | 205 | 29 | 55 | | 143 | |
| 4 | 08 | 25 | 930 | | | 325 | 195 | 33 | 60 | | 131 | |
| 5 | 10 | 25 | 930 | | | 335 | 205 | 31 | 55 | | 137 | |
| 6 | 15 | 25 | 920 | | | 375 | 225 | 27 | 55 | | 143 | |
| 7 | 20 | 25 | 910 | | | 410 | 245 | 25 | 55 | | 156 | |
| 8 | 25 | 25 | 900 | 870 | 600 | 450 | 275 | 23 | 50 | 71 | 170 | |
| 9 | 30 | 25 | 880 | 860 | 600 | 490 | 295 | 21 | 50 | 63 | 179 | |
| 10 | 35 | 25 | 870 | 850 | 600 | 530 | 315 | 20 | 45 | 55 | 197 | |
| 11 | 40 | 25 | 860 | 840 | 600 | 570 | 335 | 19 | 45 | 47 | 217 | 187 |
| 12 | 45 | 25 | 850 | 840 | 600 | 600 | 355 | 16 | 40 | 39 | 229 | 197 |
| 13 | 50 | 25 | 830 | 830 | 600 | 630 | 375 | 14 | 40 | 31 | 241 | 207 |
| 14 | 55 | 25 | 820 | 820 | 600 | 645 | 380 | 13 | 35 | | 255 | 217 |
| 15 | 60 | 25 | 810 | | | 675 | 400 | 12 | 35 | | 255 | 229 |
| 16 | 65 | 25 | 810 | | | 695 | 410 | 10 | 30 | | 255 | 229 |
| 17 | 70 | 25 | 790 | | | 715 | 420 | 9 | 30 | | 269 | 229 |
| 18 | 75 | 试样 | | 820 | 480 | 1080 | 880 | 7 | 30 | | 285 | 241 |
| 19 | 80 | 试样 | | 820 | 480 | 1080 | 930 | 6 | 30 | | 285 | 241 |
| 20 | 85 | 试样 | | 820 | 480 | 1130 | 980 | 6 | 30 | | 302 | 255 |
| 21 | 15Mn | 25 | 920 | | | 410 | 245 | 26 | 55 | | 163 | |
| 22 | 20Mn | 25 | 910 | | | 450 | 275 | 24 | 50 | | 197 | |
| 23 | 25Mn | 25 | 900 | 870 | 600 | 490 | 295 | 22 | 50 | 71 | 207 | |
| 24 | 30Mn | 25 | 880 | 860 | 600 | 540 | 315 | 20 | 45 | 63 | 217 | 187 |
| 25 | 35Mn | 25 | 870 | 850 | 600 | 560 | 335 | 18 | 45 | 55 | 229 | 197 |
| 26 | 40Mn | 25 | 860 | 840 | 600 | 590 | 355 | 17 | 45 | 47 | 229 | 207 |
| 27 | 45Mn | 25 | 850 | 840 | 600 | 620 | 375 | 15 | 40 | 39 | 241 | 217 |
| 28 | 50Mn | 25 | 830 | 830 | 600 | 645 | 390 | 13 | 40 | 31 | 255 | 217 |

(续)

| 序号 | 牌号 | 试样 毛坯 尺寸 /mm | 推荐热处理/ $^{\circ}\text{C}$ | | | 力学性能 | | | | | 钢材交货状态硬度 HBS10/3 000 不大于 | |
|----|------|-----------------------|---------------------------|----|----|------------|------------|------------|--------|-----------|--------------------------------|-----|
| | | | 正火 | 淬火 | 回火 | σ_b | σ_s | δ_5 | ψ | A_{KU2} | 未热处理钢 | 退火钢 |
| | | | | | | MPa | /MPa | (%) | (%) | /J | | |
| | | | | | | 不小于 | | | | | | |
| 29 | 60Mn | 25 | 810 | | | 695 | 410 | 11 | 35 | | 269 | 229 |
| 30 | 65Mn | 25 | 830 | | | 735 | 430 | 9 | 30 | | 285 | 229 |
| 31 | 70Mn | 25 | 790 | | | 785 | 450 | 8 | 30 | | 285 | 229 |

注：1. 对于直径或厚度小于 25mm 的钢材，热处理是在与成品截面尺寸相同的试样毛坯上进行。

2. 表中所列正火推荐保温时间不少于 30min，空冷；淬火推荐保温时间不少于 30min，75、80 和 85 钢油冷，其余钢水冷；回火推荐保温时间不少于 1h。

1.5.3 合金钢的牌号与性能

合金钢是指在碳素钢的基础上，为改善钢的性能，在冶炼时特意加入一些合金元素（如 Cr、Ni、Si、Mo、Mn 等）而炼成的钢。合金钢按其合金元素总含量（质量分数）可分为低合金钢（ $\leq 5\%$ ）、中合金钢（ $5\% \sim 10\%$ ）、高合金钢（ $> 10\%$ ）、根据焊接的特点，这里仅介绍管道工程中常用的低合金钢。

1. 低合金高强度结构钢

(1) 牌号表示方法

钢的牌号由代表屈服点的汉语拼音字母（Q）、屈服点数值、质量等级符号（A、B、C、D、E）三个部分按顺序排列。

例如：Q390A

其中：

Q——钢材屈服点的“屈”字汉语拼音的首位字母；

390——屈服点数值，单位 MPa；

A、B、C、D、E——分别为质量等级符号。

(2) 技术要求

1) 牌号和化学成分：低合金结构钢的牌号和化学成分（熔炼分析）应符合表 1-12 规定。合金元素含量应符合 GB/T 13304 对低合金钢的规定。

表 1-12 低合金结构钢的牌号和化学成分
(熔炼分析) (GB/T 1591—1994)

| 牌号 | 质量等级 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | |
|------|------|-------------|-----------|---------|--------|--------|-----------|-------------|-----------|---------|---------|---------|
| | | C ≤ | Mn | Si ≤ | P ≤ | S ≤ | V | Nb | Ti | Al ≥ | Cr ≤ | Ni ≤ |
| Q295 | A | 0.16 | 0.80~1.50 | 0.55 | 0.045 | 0.045 | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | — | | |
| | B | 0.16 | 0.80~1.50 | 0.55 | 0.040 | 0.040 | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | — | | |
| Q345 | A | 0.20 | 1.00~1.60 | 0.55 | 0.045 | 0.045 | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | — | | |
| | B | 0.20 | 1.00~1.60 | 0.55 | 0.040 | 0.040 | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | — | | |
| | C | 0.20 | 1.00~1.60 | 0.55 | 0.035 | 0.035 | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | | |
| | D | 0.18 | 1.00~1.60 | 0.55 | 0.030 | 0.030 | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | | |
| | E | 0.18 | 1.00~1.60 | 0.55 | 0.025 | 0.025 | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | | |
| Q390 | A | 0.20 | 1.00~1.60 | 0.55 | 0.045 | 0.045 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | — | 0.30 | 0.70 |
| | B | 0.20 | 1.00~1.60 | 0.55 | 0.040 | 0.040 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | — | 0.30 | 0.70 |
| | C | 0.20 | 1.00~1.60 | 0.55 | 0.035 | 0.035 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | 0.30 | 0.70 |
| | D | 0.20 | 1.00~1.60 | 0.55 | 0.030 | 0.030 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | 0.30 | 0.70 |
| | E | 0.20 | 1.00~1.60 | 0.55 | 0.025 | 0.025 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | 0.30 | 0.70 |
| Q420 | A | 0.20 | 1.00~1.70 | 0.55 | 0.045 | 0.045 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | — | 0.40 | 0.70 |
| | B | 0.20 | 1.00~1.70 | 0.55 | 0.040 | 0.040 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | — | 0.40 | 0.70 |
| | C | 0.20 | 1.00~1.70 | 0.55 | 0.035 | 0.035 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | 0.40 | 0.70 |
| | D | 0.20 | 1.00~1.70 | 0.55 | 0.030 | 0.030 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | 0.40 | 0.70 |
| | E | 0.20 | 1.00~1.70 | 0.55 | 0.025 | 0.025 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | 0.40 | 0.70 |
| Q460 | C | 0.20 | 1.00~1.70 | 0.55 | 0.035 | 0.035 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | 0.70 | 0.70 |
| | D | 0.20 | 1.00~1.70 | 0.55 | 0.030 | 0.030 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | 0.70 | 0.70 |
| | E | 0.20 | 1.00~1.70 | 0.55 | 0.025 | 0.025 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015 | 0.70 | 0.70 |

注：表中的 Al 为全铝含量。如化验酸溶铝时，其含量应不小于 0.010%。

2) 力学性能与工艺性能：低合金结构钢钢材的力学性能及焊接性能见表 1-13。

(3) 用途 低合金结构钢虽然含碳量低，所含合金元素不多，但具有强度高、韧性好、耐磨、耐腐蚀、耐低温和耐高温等良好性能，同时具有很好的焊接性。成本和碳钢相近，是一种用途广、产量大的建筑及工程用钢，以取代普通碳素钢，用于制造各种性能要求较高的钢管和压力容器。

表 1-13 低合金结构钢钢材的力学性能及焊接性能

| 牌号 | 板厚 /mm | 力学性能 | | | | 冷弯 180° $d = \text{弯心直径}$ $a = \text{试样厚度}$ (直径) | 焊接性及其他说明 |
|-------|-----------|---------------------------|------------------------------|----------------|----------|---|----------|
| | | σ_s /MPa \geq | σ_b /MPa \geq | δ_5 (%) | | | |
| Q295 | ≤ 16 | 295 | 390~570 | 23 | $d = 2a$ | 焊接性能优良 | |
| (A、B) | 17~25 | 275 | 390~570 | 23 | $d = 3a$ | | |
| Q345 | ≤ 16 | 345 | 470~630 | 21 | $d = 2a$ | 焊接性良好, 当气温低于零下 5°C 时需预热 | |
| (A~E) | 17~25 | 325 | 470~630 | 21 | $d = 3a$ | | |
| Q390 | ≤ 25 | 370 | 490~650 | 19~20 | $d = 3a$ | 焊接工艺与 16Mn 相似, 当板厚 $> 8\text{mm}$ 时, 热轧状态下塑性、韧性不好, 必须正火后使用 (正火温度 910°C), 板厚 $\leq 8\text{mm}$ 的钢板可用 710°C 高温回火, 改善塑性及韧性, 因热轧前加热至高温使 Ti 溶入固体中, 溶于铁素体中的 Ti 强烈降低钢的塑性、韧性, 因此, 含 Ti 低合金结构钢一般都在正火状态使用 | |
| (A~E) | 26~40 | 350 | 490~650 | 19~20 | $d = 3a$ | | |
| Q420 | ≤ 12 | 420 | 520~680 | 18~19 | $d = 2a$ | | |
| (A~E) | 13~20 | 400 | 520~680 | 18~19 | $d = 3a$ | | |
| Q460 | 15~30 | 440 | 550~720 | 17 | $d = 3a$ | 因含 Mo 较多, 中温力学性能较高, 并有一定的抗氢能力, 可用于锅炉和石油、化工部门在 500°C 以下工作的高压容器。焊接前预热 200~250°C, 焊后在 600~670°C 去应力退火 | |

注: 摘自 GB/T 1591—1994。

1.6 铝、铜及其合金的牌号和性能

非铁金属种类很多, 本处只对焊接施工中经常遇到的铝、铜及其合金作概述。

1.6.1 铝及铝合金的牌号与性能

1. 四位字符体系牌号命名方法

四位字符体系牌号的第一、三、四位为阿拉伯数字，第二位为英文大写字母（C、I、L、N、O、P、Q、Z字母除外）。牌号的第一位数字表示铝及铝合金的组别，如表 1-14 所示。除改型合金外，铝合金组别按主要合金元素（ $6 \times \times \times$ 系按 Mg_2Si ）来确定。主要合金元素指极限含量算术平均值为最大的合金元素。当有一个以上的合金元素极限含量算术平均值同为最大时，应按 Cu、Mn、Si、Mg、 Mg_2Si 、Zn 及其他元素的顺序来确定合金组别。牌号的第二位字母表示原始纯铝或铝合金的改型情况，最后两位数字用以标识同一组中不同的铝合金或表示铝的纯度。

表 1-14 铝及铝合金的组别 (GB/T 16474—1996)

| 组 别 | 牌 号 系 列 |
|----------------------------------|---------|
| 纯铝（铝含量不小于 99.00%） | 1××× |
| 以铜为主要合金元素的铝合金 | 2××× |
| 以锰为主要合金元素的铝合金 | 3××× |
| 以硅为主要合金元素的铝合金 | 4××× |
| 以镁为主要合金元素的铝合金 | 5××× |
| 以镁和硅为主要合金元素并以 Mg_2Si 相为强化相的铝合金 | 6××× |
| 以锌为主要合金元素的铝合金 | 7××× |
| 以其他合金元素为主要合金元素的铝合金 | 8××× |
| 备用合金组 | 9××× |

(1) 纯铝的牌号命名法 铝含量不低于 99.00% 时为纯铝，其牌号用 1××× 系列表示。牌号的最后两位数字表示最低铝百分含量。当最低铝百分含量精确到 0.01% 时，牌号的最后两位数字就是最低铝百分含量中小数点后面的两位。牌号第二位的字母表示原始纯铝的改型情况。如果第二位的字母为 A，则表示为原始纯铝；如果是 B~Y 的其他字母（按国际规定用字母表的次序选用），则表示为原始纯铝的改型，与原始纯铝相比，其元素含量略有改变。

(2) 铝合金的牌号命名法 铝合金的牌号用 2×××~8××× 系列表示。牌号的最后两位数字没有特殊意义，仅用来区分同一组中不同的铝合金。牌号第二位的字母表示原始合金的改型情况。如果牌号第二位的字母是 A，则表示为原始合金；如果是 B~Y 的其他字母（按国际

规定用字母表的次序选用), 则表示为原始合金的改型合金。改型合金与原始合金相比, 化学成分的变化, 仅限于下列任何一种或几种情况:

1) 一个合金元素或一组组合元素形式的合金元素, 极限含量算术平均值的变化量符合表 1-15 的规定。

表 1-15 合金元素极限含量算术平均值 (GB/T 16474—1996)

| 原始合金中的极限含量算术平均值范围 | 极限含量算术平均值的变化量 不大于 |
|----------------------|-------------------|
| $\leq 1.0\%$ | 0.15% |
| $> 1.0\% \sim 2.0\%$ | 0.20% |
| $> 2.0\% \sim 3.0\%$ | 0.25% |
| $> 3.0\% \sim 4.0\%$ | 0.30% |
| $> 4.0\% \sim 5.0\%$ | 0.35% |
| $> 5.0\% \sim 6.0\%$ | 0.40% |
| $> 6.0\%$ | 0.50% |

注: 改型合金中的组合元素极限含量的算术平均值, 应与原始合金中相同组合元素的算术平均值或各相同元素 (构成该组合元素的各单个元素) 的算术平均值之和相比较。

2) 增加或删除了极限含量算术平均值不超过 0.30% 的一个合金元素; 增加或删除了极限含量算术平均值不超过 0.40% 的一组组合元素形式的合金元素;

3) 为了同一目的, 用一个合金元素代替了另一个合金元素;

4) 改变了杂质的极限含量;

5) 细化晶粒的元素含量有变化。

2. 铝及铝合金的性能

铝及铝合金的化学成分见表 1-16。常用铝及铝合金的力学性能见表 1-17。

1.6.2 铜及铜合金的分类、成分及性能

1. 铜及铜合金的分类

铜及铜合金可以分为纯铜 (工业纯铜)、黄铜、青铜及白铜等。纯铜为铜含量不小于 99.5% 的工业纯铜; 普通黄铜是铜和锌的二元合金, 表面呈淡黄色; 凡不以锌、镍为主要组成而以锡、铝、硅、铅、铍等元素为主要组成的铜合金, 称为青铜, 常用的青铜有锡青铜、铝青铜、硅青铜、铍青铜, 为了获得某些特殊性能, 青铜中还加少量的其他元素, 如锌、磷、钛等; 白铜为含镍量低于 50% 的铜镍合金, 如白铜中再加入锰、铁、锌等元素可形成锰白铜、铁白铜、锌白铜。

表 1-16 铝及铝合金的化学成分

| 类别 | 牌号 | 主要化学成分(%) | | | | | | | | | | | 原牌号 | | | | |
|------|-------|-----------|----------|------------------|-------|----------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----|-------|-----------|-------------|------|
| | | Cu | Mg | Mn | Fe | Si | Zn | Ni | Cr | Ti | Re | Al | | Fe+Si | | | |
| 工业纯铝 | 1A99 | 0.05 | — | — | 0.003 | 0.002 | — | — | — | — | — | — | — | — | 99.99 | — | LG5 |
| | 1A97 | 0.05 | — | — | 0.015 | 0.015 | — | — | — | — | — | — | — | — | 99.97 | — | LG4 |
| | 1A85 | 0.01 | — | — | 0.10 | 0.08 | — | — | — | — | — | — | — | — | 99.85 | — | LG1 |
| | 1070A | 0.01 | — | — | 0.16 | 0.16 | — | — | — | — | — | — | — | — | 99.70 | 0.26 | L1 |
| | 1035 | 0.05 | — | — | 0.35 | 0.40 | — | — | — | — | — | — | — | — | 99.30 | 0.60 | L4 |
| | 1200 | 0.05 | — | — | 0.05 | 0.05 | 0.10 | — | 0.05 | — | — | — | — | — | 99.07 | 1.00 | L5 |
| | 8A06 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.50 | 0.55 | 0.10 | — | — | — | — | — | — | — | 余量 | 1.00 | L6 |
| | 5A02 | 0.10 | 2.0~2.8 | 0.15~0.4 | 0.4 | 0.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | 0.6 | LF2 |
| 防锈铝 | 5A03 | 0.10 | 3.2~3.8 | 0.30~0.6 | 0.50 | 0.50~0.8 | 0.20 | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | — | LF3 |
| | 5083 | 0.10 | 4.0~4.9 | 0.4~1.0 | 0.40 | 0.40 | 0.25 | — | 0.05~0.25 | — | — | — | — | — | 0.15 | — | LF4 |
| | 5A05 | 0.10 | 4.8~5.5 | 0.30~0.6 | 0.50 | 0.50 | 0.20 | — | — | — | — | — | — | — | 余量 | — | LF5 |
| | 5B05 | 0.20 | 4.7~5.7 | 0.20~0.6 | 0.4 | 0.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | 0.6 | LF10 |
| | 5A12 | 0.05 | 8.3~9.6 | 0.40~0.8 | 0.30 | 0.30 | 0.20~0.10 | 0.05 | 0.05~0.15 | 0.05 | 0.05~0.15 | 0.05 | — | — | — | — | LF12 |
| | 3A12 | 0.20 | 0.05 | 1.0~1.6 | 0.70 | 0.6 | 0.10 | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | — | LF21 |
| | 2A02 | 2.6~3.2 | 2.0~2.4 | 0.45~0.7 | 0.30 | 0.30 | 0.10 | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | — | LY2 |
| | 2A04 | 3.2~3.7 | 2.1~2.6 | 0.5~0.8 | 0.30 | 0.30 | 0.10 | — | — | — | — | — | — | — | 0.05~0.4 | 0.001~0.005 | LY4 |
| 硬铝 | 2A06 | 3.8~4.3 | 1.7~2.3 | 0.5~1.0 | 0.50 | 0.50 | 0.10 | — | — | — | — | — | — | — | 0.03~0.15 | 0.001~0.005 | LY6 |
| | 2B11 | 3.8~4.5 | 0.4~0.8 | 0.40~0.8 | 0.50 | 0.50 | 0.10 | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | — | LY8 |
| | 2A10 | 3.9~4.5 | 0.15~0.3 | 0.30~0.5 | 0.20 | 0.25 | 0.10 | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | — | LY10 |
| | 2A11 | 3.8~4.8 | 0.40~0.8 | 0.40~0.8 | 0.70 | 0.70 | 0.30~0.10 | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | — | LY11 |
| | 2A12 | 3.8~4.9 | 1.2~1.8 | 0.30~0.9 | 0.50 | 0.50 | 0.30~0.10 | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | 0.7 | LY12 |
| | 2A13 | 4.0~5.0 | 0.30~0.5 | — | 0.60 | 0.70 | 0.60~0.10 | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | 0.5 | LY13 |
| | 6A02 | 0.2~0.6 | 0.45~0.9 | 或Cr 0.15~0.35 | 0.50 | 0.50~1.2 | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | — | LD2 |

表 1-17 常用铝及铝合金的力学性能

| 合金牌号 | 材料状态 | 抗拉强度 σ_b/MPa | 屈服强度 σ_s/MPa | 伸长率 δ (%) | 端面收缩率 ψ (%) | 布氏硬度 HB |
|--------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|------------|
| 1A99 | 固溶态 | 45 | $\sigma_{0.2} - 10$ | $\delta_5 - 50$ | — | 17 |
| 8A06 | 退火 | 90 | 30 | 30 | — | 25 |
| 1035 | 冷作硬化 | 140 | 100 | 12 | — | 32 |
| 3A12 | 退火 | 130 | 50 | 20 | 70 | 30 |
| | 冷作硬化 | 160 | 130 | 10 | 55 | 40 |
| 5A02 | 退火 | 200 | 100 | 23 | — | 45 |
| | 冷作硬化 | 250 | 210 | 6 | — | 60 |
| 5A05 5L05 | 退火 | 270 | 150 | 23 | — — | 70 |
| 2A11 | 淬火 + 自然时效 | 420 | 240 | 18 | 35 | 100 |
| | 退火 | 210 | 110 | 18 | 58 | 45 |
| | 包铝, 淬火 + 自然时效 | 380 | 220 | 18 | — | 100 |
| | 包铝, 退火 | 180 | 110 | 18 | — | 45 |
| 2A12 | 淬火 + 自然时效 | 470 | 330 | 17 | 30 | 105 |
| | 退火 | 210 | 110 | 18 | 55 | 42 |
| | 包铝, 淬火 + 自然时效 | 430 | 300 | 18 | — | 105 |
| | 包铝, 退火 | 180 | 100 | 18 | — | 42 |

2. 铜及铜合金的成分及性能

(1) 加工铜 (纯铜) 具有极好的导电性、导热性, 良好的常温和低温塑性, 以及对大气、海水和某些化学药品的耐腐蚀性。因而在工业中被广泛用于制造电工器件、电线、管材、热交换器等。加工铜的化学成分和产品形状见表 1-18。纯铜的力学性能和物理性能见表 1-19。纯铜在 $400 \sim 700^\circ\text{C}$ 的高温下强度和塑性显著降低, 在热加工时应引起重视。

(2) 黄铜 原指由铜和锌组成的二元合金, 并因表面呈淡黄色而得名。其具有比纯铜高得多的强度、硬度和耐蚀能力, 并保持一定的塑性。黄铜根据工艺性能、力学性能和用途的不同, 分为压力加工用黄铜和铸造用黄铜两大类。加工黄铜的化学成分和产品形状见表 1-20, 常用黄铜的牌号、代号、成分、力学性能及用途见表 1-21。

表 1-18 加工铜化学成分和产品形状(GB/T 5231—2001)

| 组别 | 牌 号 | | 化 学 成 分 ^① (%) | | | | | | | | | | | | | | 产 品 形 状 |
|------|-----|-------|------------------------------|-------------|-----------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| | 序 号 | 名 称 | 代 号 | Cu+Ag | P | Ag | Bi ^② | Sb ^② | As ^② | Fe | Ni | Pb | Sn | S | Zn | O | |
| 纯铜 | 1 | 一号铜 | T1 | 99.95 | 0.001 | — | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.005 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.005 | 0.005 | 0.02 | 板、带、箔、管 |
| | 2 | 二号铜 | T2 ^③ | 99.90 | — | — | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.005 | — | 0.005 | — | 0.005 | — | — | 板、带、箔、管、棒、线、型 |
| | 3 | 三号铜 | T3 | 99.70 | — | — | 0.002 | — | — | — | — | 0.01 | — | — | — | — | 板、带、箔、管、棒、线 |
| 无氧铜 | 4 | 零号无氧铜 | TU0 ^④ [C10100] | Cu 99.99 | 0.0003 | 0.0025 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0005 | 0.001 | 0.001 | 0.0005 | 0.0002 | 0.0015 | 0.0001 | 0.0005 | 板、带、箔、管、棒、线 |
| | 5 | 一号无氧铜 | TU1 | 99.97 | 0.002 | — | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.004 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 板、带、箔、管、棒、线 |
| | 6 | 二号无氧铜 | TU2 | 99.95 | 0.002 | — | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.004 | 0.002 | 0.004 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 板、带、管、棒、线 |
| 磷脱氧铜 | 7 | 一号脱氧铜 | TP1 [C12000] | 99.90 | 0.004~ 0.012 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 板、带、管 |

(续)

| 组别 | 牌 号 | | 化学成分(%) | | | | | | | | | | | | | 产品形状 |
|-----|-----|-----------------|---------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|---------------|----|------|---------------|--|------|
| | 名称 | 代号 | Cu | Fe ^① | Pb | Al | Mn | Ni ^② | Si | Co | As | Zn | 杂质总和 | | | |
| 铅黄铜 | 20 | 62-3 铅黄铜 | HPb62-3 [C36000] | 60.0~ 63.0 ^③ | 0.35 | 2.5~ 3.7 | — | — | — | — | — | 余量 | — | 棒 | | |
| | 21 | 62-2 铅黄铜 | HPb62-2 [C35300] | 60.0~ 63.0 ^③ | 0.15 | 1.5~ 2.5 | — | — | — | — | — | 余量 | — | 板、带、棒 | | |
| | 22 | 61-1 铅黄铜 | HPb61-1 [C37100] | 58.0~ 62.0 ^③ | 0.15 | 0.6~ 1.2 | — | — | — | — | — | 余量 | — | 板、带、棒、线 | | |
| | 23 | 60-2 铅黄铜 | HPb60-2 [C37700] | 58.0~ 61.0 ^③ | 0.30 | 1.5~ 2.5 | — | — | — | — | — | 余量 | — | 板、带 | | |
| | 24 | 59-3 铅黄铜 | HPb59-3 | 57.5~ 59.5 | 0.50 | 2.0~ 3.0 | — | — | 0.5 | — | — | 余量 | 1.2 | 板、带、管、 棒、线 | | |
| | 25 | 59-1 铅黄铜 | HPb59-1 | 57.0~ 60.0 | 0.5 | 0.8~ 1.9 | — | — | 1.0 | — | — | 余量 | 1.0 | 板、带、管、 棒、线 | | |
| | 26 | 77-2 铝黄铜 | HA177-2 [C68700] | 76.0~ 79.0 ^③ | 0.06 | 0.07 | 1.8~ 2.5 | — | — | — | 0.02~ 0.06 | 余量 | — | 管 | | |
| | 27 | 67-2.5 铝黄铜 | HA167-2.5 | 66.0~ 68.0 | 0.6 | 0.5 | 2.0~ 3.0 | — | — | 0.5 | — | 余量 | 1.5 | 板、棒 | | |
| | 28 | 66-6-3-2 铝黄铜 | HA166-6-3-2 | 64.0~ 68.0 | 2.0~ 4.0 | 0.5 | 6.0~ 7.0 | 1.5~ 2.5 | 0.5 | — | — | 余量 | 1.5 | 板、棒 | | |
| | 29 | 61-4-3-1 铝黄铜 | HA161-4-3-1 | 59.0~ 62.0 | 0.3~ 1.3 | — | 3.5~ 4.5 | — | 2.5~ 4.0 | 0.5~ 1.5 | 0.5~ 1.0 | 余量 | 0.7 | 管 | | |

(续)

| 组别 | 牌 号 | | 化学成分(%) | | | | | | | | | | | | | 产品形状 |
|-----|-----------------------|------------------------|-----------|-------|-----------------|------|-------|-------|-----------------|------|----|-----------------|----|------|---------------|------|
| | 序号 | 名称 | 代号 | Cu | Fe [Ⓞ] | Pb | Al | Mn | Ni [Ⓞ] | Si | Co | As | Zn | 杂质总和 | | |
| 铝黄铜 | 30 | 60-1-1 铝黄铜 | HA160-1-1 | 58.0~ | 0.70~ | 0.40 | 0.70~ | 0.1~ | 0.5 | — | — | — | 余量 | 0.7 | 板、棒 | |
| | | | | 61.0 | 1.50 | 0.6 | — | — | — | — | — | — | — | — | | — |
| 31 | 59-3-2 铝黄铜 | HA159-3-2 | 57.0~ | 0.50 | 0.10 | 2.5~ | — | 2.0~ | — | — | — | — | 余量 | 0.9 | 板、管、棒 | |
| | | | 60.0 | — | — | 3.5 | — | 3.0 | — | — | — | — | — | — | | |
| 组别 | 牌 号 | | 化学成分(%) | | | | | | | | | | | | | 产品形状 |
| | 序号 | 名称 | 代号 | Cu | Fe [Ⓞ] | Pb | Al | Mn | Sn | As | Si | Ni [Ⓞ] | Zn | 杂质总和 | | |
| 32 | 62-3-3- 0.7 锰黄铜 | HMn62-3-3-0.7 | 60.0~ | 0.1 | 0.05 | 2.4~ | 2.7~ | — | — | 0.5~ | — | 0.5 | 余量 | 1.2 | 管 | |
| | | | 63.0 | — | — | 3.4 | 3.7 | — | — | — | — | — | — | — | | |
| 33 | 58-2 锰黄铜 | HMn58-2 [Ⓞ] | 57.0~ | 1.0 | 0.1 | — | 1.0~ | — | — | — | — | 0.5 | 余量 | 1.2 | 板、带、棒、 线、管 | |
| | | | 60.0 | — | — | — | 2.0 | — | — | — | — | — | — | — | | |
| 34 | 57-3-1 锰黄铜 | HMn57-3-1 [Ⓞ] | 55.0~ | 1.0 | 0.2 | 0.5~ | 2.5~ | — | — | — | — | 0.5 | 余量 | 1.3 | 板、棒 | |
| | | | 58.5 | — | — | 1.5 | 3.5 | — | — | — | — | — | — | — | | |
| 35 | 55-3-1 锰黄铜 | HMn55-3-1 [Ⓞ] | 53.0~ | 0.5~ | 0.5 | — | 3.0~ | — | — | — | — | 0.5 | 余量 | 1.5 | 板、棒 | |
| | | | 58.0 | 1.5 | — | — | 4.0 | — | — | — | — | — | — | — | | |
| 36 | 90-1 锡黄铜 | HSn90-1 | 88.0~ | 0.10 | 0.03 | — | — | 0.25~ | — | — | — | 0.5 | 余量 | 0.2 | 板、带 | |
| | | | 91.0 | — | — | — | — | 0.75 | — | — | — | — | — | — | | |
| 37 | 70-1 锡黄铜 | HSn70-1 | 69.0~ | 0.10 | 0.05 | — | — | 0.8~ | 0.03~ | — | — | 0.5 | 余量 | 0.3 | 管 | |
| | | | 71.0 | — | — | — | — | 1.3 | 0.06 | — | — | — | — | — | | |

(续)

| 组别 | 序号 | 牌 号 | | 化学成分(%) | | | | | | | | | | | | 产品形状 |
|----------|----|-------------|------------------|-------------------|-----------------|------|----|-----|------|----|---------------|-----------------|----|------|---------------|------|
| | | 名称 | 代号 | Cu | Fe ^① | Pb | Al | Mn | Sn | As | Si | Ni ^② | Zn | 杂质总和 | | |
| 锡黄铜 | 38 | 62-1 锡黄铜 | HSn62-1 | 61.0~ | 0.10 | 0.10 | — | — | 0.7~ | — | — | 0.5 | 余量 | 0.3 | 板、带、棒、 线、管 | |
| | | | | 63.0 | — | — | — | 1.1 | — | — | — | — | — | — | | — |
| | 39 | 60-1 锡黄铜 | HSn60-1 | 59.0~ | 0.10 | 0.30 | — | — | 1.0~ | — | — | 0.5 | 余量 | 1.0 | 线、管 | |
| | | | | 61.0 | — | — | — | 1.5 | — | — | — | — | — | — | | — |
| | 40 | 85A 加砷黄铜 | H85A | 84.0~ | 0.10 | 0.03 | — | — | — | — | — | 0.5 | 余量 | 0.3 | 管 | |
| | | | | 86.0 | — | — | — | — | — | — | 0.02~ 0.08 | — | — | — | | — |
| 加砷 黄铜 | 41 | 70A 加砷黄铜 | H70A [C26130] | 68.5~ | 0.05 | 0.05 | — | — | — | — | — | — | 余量 | — | 管 | |
| | | | | 71.5 ^② | — | — | — | — | — | — | 0.02~ 0.08 | — | — | — | | — |
| | 42 | 68A 加砷黄铜 | H68A | 67.0~ | 0.10 | 0.03 | — | — | — | — | — | 0.5 | 余量 | 0.3 | 管 | |
| | | | | 70.0 | — | — | — | — | — | — | 0.03~ 0.06 | — | — | — | | — |
| 硅黄铜 | 43 | 80-3 硅黄铜 | HSi80-3 | 79.0~ | 0.6 | 0.1 | — | — | — | — | — | 0.5 | 余量 | 1.5 | 棒 | |
| | | | | 81.0 | — | — | — | — | — | — | 2.5~ 4.0 | — | — | — | | — |

① 抗磁用黄铜的铁的质量分数不大于0.030%。

② 特殊用途的H70、H80的杂质最大值为:Fe0.07%、Sn0.002%、P0.005%、Hs0.005%、S0.002%、杂质总和为0.20%。

③ 供异型铸造和热锻用的HMn57-3-1和HMn58-2的磷的质量分数不大于0.03%。供特殊使用的HMn55-3-1的铝的质量分数不大于0.1%。

④ 无对应外国牌号的黄铜(镍为主要成分者除外)的镍含量计入铜中。

⑤ Cu+所列元素总和≥99.6%；

⑥ Cu+所列元素总和≥99.5%；

⑦ Cu+所列元素总和≥99.7%。

表 1-21 常用黄铜的牌号、代号、成分, 力学性能及用途

| 类别 | 牌号 | 代号 | 化学成分 (质量分数) (%) | | 力学性能 ^① | | | 主要用途 |
|------|------------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------|------------------|-----------------------------------|
| | | | Cu | 其他 | σ_b /MPa | δ (%) | 硬度 HBS | |
| 普通黄铜 | 90 黄铜 | H90 | 88.0~ 91.0 | 余量 Zn | 260~ 480 | $\frac{45}{4}$ | $\frac{50}{130}$ | 双金属片、供水和排水管、徽章、艺术品 (又称金色黄铜) |
| | 68 黄铜 | H68 | 67.0~ 70.0 | 余量 Zn | 320~ 660 | $\frac{55}{3}$ | $\frac{—}{150}$ | 复杂的冷冲压件, 散热器外壳、弹壳、导管、波纹管、轴套 |
| | 62 黄铜 | H62 | 60.5~ 63.5 | 余量 Zn | 320~ 550 | $\frac{49}{3}$ | $\frac{56}{164}$ | 销钉、铆钉、螺钉、螺母、垫圈、弹簧、夹线板 |
| | ZCuZn38 | (ZH62) 旧代号 | 60.5~ 63.0 | 余量 Zn | 295 | $\frac{30}{30}$ | $\frac{60}{70}$ | 散热器、螺钉 |
| 特殊黄铜 | 62-1 锡黄铜 | HSn62-1 | 61.0~ 63.0 | 0.7~ 1.1Sn 余量 Zn | 400~ 700 | $\frac{40}{4}$ | $\frac{50}{95}$ | 与海水和汽油接触的船舶零件 (又称海军黄铜) |
| | 80-3 硅黄铜 | HSi80-3 | 79.0~ 81.0 | 2.4~4.0Si 余量 Zn | 300~ 600 | $\frac{40}{4}$ | $\frac{90}{180}$ | 船舶零件、在海水、淡水和水蒸气 (<265°C) 条件下工作的零件 |
| | 58-2 锰黄铜 | HMn58-2 | 57.0~ 60.0 | 1.0~ 2.0Mn 余量 Zn | 400~ 700 | $\frac{40}{10}$ | $\frac{85}{175}$ | 海轮制造业和弱电用零件 |
| | 59-1 铅黄铜 | HPb59-1 | 57.0~ 60.0 | 0.8~ 1.9Pb 余量 Zn | 400~ 650 | $\frac{45}{16}$ | $\frac{44}{140}$ | 热冲压及切削加工零件, 如销、螺母、螺钉、轴套 |
| | 59-3-2 铝黄铜 | HA159-3-2 | 57.0~ 60.0 | 2.5~3.5Al 2.0~3.0Ni 余量 Zn | 380~ 650 | $\frac{50}{15}$ | $\frac{75}{150}$ | 船舶、电机及其他在常温下工作的高强度、耐蚀零件 |

(续)

| 类别 | 牌号 | 代号 | 化学成分 (质量分数) (%) | | 力学性能 ^① | | | 主要用途 |
|------|--------------------------|---------------------|--------------------|---|--------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|
| | | | Cu | 其他 | σ_b /MPa | δ (%) | 硬度 HBS | |
| 特殊黄铜 | ZCuZn 40Mn3 Fe1 | (ZHMn55-3-1) 旧代号 | 53.0 - 60.0 | 1.0 - 2.0Mn 余量 Zn | 450 - 500 | $\frac{15}{10}$ | $\frac{100}{110}$ | 轮廓不复杂的重要零件, 海轮上在 300°C 以下工作的管配件、螺旋桨 |
| | ZCuZn 25Al6 Fe3Mn3 | (ZHA166-3-2) 旧代号 | 60.0 - 66.0 | 5 - 7Al 2 - 4Fe 1.5 - 2.5Mn 余量 Zn | 725 - 740 | $\frac{10}{7}$ | $\frac{150}{160}$ | 压紧螺母、重型蜗杆、轴承、衬套 |

注: 摘自 GB/T 5231—2001, 铸造黄铜摘自 GB/T 1176—1987。

① 力学性能中的分母, 对压力加工黄铜为硬化状态 (变形度 50%), 对铸造黄铜为金属型铸造, 分子对压力加工黄铜为退火状态 (600°C), 对铸造黄铜为砂型铸造。

1.7 焊接冶金基础

1.7.1 焊接冶金的特点

焊接过程中, 在电弧空间及熔池四周存在着大量气体, 熔滴和熔池表面覆盖着熔渣, 使液态金属与气体及熔渣之间发生了一系列复杂的非平衡冶金反应。

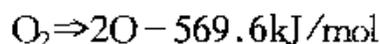
焊接区内气体主要来自以下几个方面:

- (1) 焊条药皮造气剂加热时分解或燃烧析出的大量气体;
- (2) 焊条药皮中水分受热蒸发的蒸汽;
- (3) 虽然药皮中造气剂加热时产生大量保护气体, 但并不能完全排除周围空气的侵入;
- (4) 工件表面上各种杂质如油污、铁锈、油漆及吸附的水分等, 受热时析出的气体;
- (5) 金属和熔渣高温蒸发产生的气体;
- (6) 母材金属和焊条金属中残留气体。

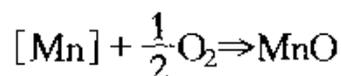
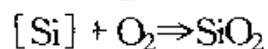
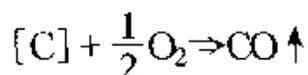
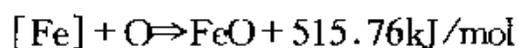
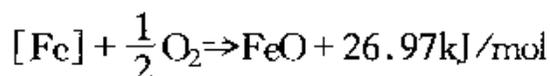
由此可见，电弧区内的气体主要由 CO 、 CO_2 、 H_2O 、 O_2 、 N_2 、 H_2 及它们的分解产物，以及金属和熔渣的蒸汽组成。它们对熔化金属的作用以及对焊缝金属性能的影响，主要通过溶解和化学冶金反应两种途径。

1. 焊接区中气体与金属的作用

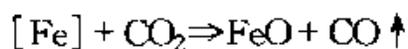
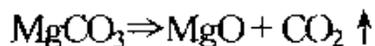
(1) 氧对金属的作用 焊接过程中，电弧气氛中的自由氧在高温下发生分解



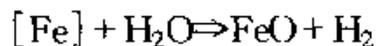
氧原子与铁发生剧烈氧化，同时钢中的其他合金元素也发生氧化



电弧气氛中的 CO_2 气体主要来自药皮中的碳酸盐分解反应，或者来源于空气，它们也能使金属发生氧化

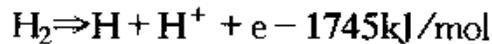
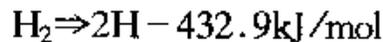


电弧气氛中的 H_2O ，在高温下也具有氧化性



氧化的结果，使合金元素烧损和焊缝中含氧量增加。氧在钢中的溶解量很小，主要以氧化物形式存在。这些氧化物在焊缝中呈不规则点状分布，或沿晶界呈网状分布。无论氧以何种形式存在，均对焊缝金属的力学性能产生很大的影响。随着焊缝中含氧量的增加，焊缝金属的强度、硬度、塑性尤其冲击韧度均显著下降。溶于金属中的氧与碳发生反应，生成不溶于金属的 CO ，若在熔池结晶时来不及逸出，就会形成气孔。

(2) 氢对金属的作用 焊接区的氢可以分子、原子或离子状态存在。在电弧高温区，氢按下列方式分解：



在电弧高温区 ($T > 5000\text{K}$), 氢主要以原子状态存在, 而在温度低于 2000K 区域, 氢则主要以分子状态存在。

氢以两种形式与金属发生作用: ①氢能与某些金属如 Zr、Ti、V、Ta、Nb 等形成氢化物; ②虽不形成稳定氢化物, 但能充分溶解于某些金属中, 如 Fe、Ni、Cu、Cr、Mo 等。氢在铁中的溶解度在变态点发生突变, 如图 1-4 所示。合金元素对氢在铁中的溶解度和吸收量有影响, Zr、Ti、Nb 及某些稀土元素可提高氢在液态铁中的溶解度, 而 C、Si、Al 则降低氢的溶解度, O 也能有效地降低氢的溶解度。氢在铁中的溶解度还与金属组织结构有关, 在面心立方晶格 $\gamma\text{-Fe}$ 中的溶解度要比在体心立方晶格 $\alpha\text{-Fe}$ 和 $\delta\text{-Fe}$ 中大些。

以过饱和状态留在固态金属中的氢, 通常为原子或质子状态, 常温下可在金属晶格中自由扩散, 称之为扩散氢。其中一小部分氢在晶格缺陷、显微裂纹及夹杂物边缘的空隙中结合成氢分子, 或者被晶界、位错缺陷等所捕获, 或者形成氢化物, 在常温下不再能自由扩散, 称之为残余氢。

氢对焊缝金属性能的影响概括起来主要是脆化 (即氢脆), 分述如下:

1) 氢使焊缝金属的塑性降低。通常认为在拉伸、弯曲过程中, 金属中的位错发生运动和堆积, 形成显微空腔, 溶解在晶格中的原子氢沿着位错运动方向扩散和聚集, 在显微空腔中富积, 产生很高的压力, 使金属变脆。

2) 产生白点。若碳钢或低合金钢焊缝的含氢量较多, 则往往在其拉伸试件的断面上出现光亮的圆形的局部脆性断裂点, 即白点。大多数情况下, 白点中心原先存在缺陷 (如气孔) 或小夹杂物等, 形同鱼眼, 故又称之为鱼眼。其产生的原因是: 焊缝金属受拉伸时, 缺陷周围的金属中产生很大的应变, 而造成大量位错堆积。此时焊缝金属中的氢 (包

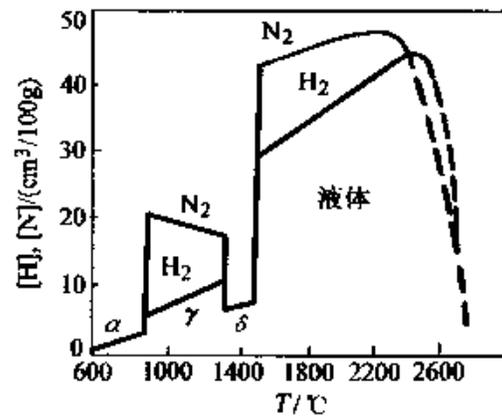
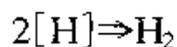


图 1-4 氢、氮在铁中溶解度与温度的关系

括扩散氢和残余氢) 将向位错堆积区扩散、聚集, 使缺陷周围的金属脆化, 导致在这些部位发生脆性断裂。而其他部位仍表现为塑性断裂, 在断口上出现了白点形貌。

3) 产生冷裂纹。目前已经确认, 氢是促使焊接接头产生冷裂纹的主要因素。尽管扩散氢导致冷裂纹的机理尚有不同认识, 主要有两种理论, 即空穴压力理论和应力诱导扩散理论, 其结论却是相同的, 即焊缝中含氢量愈多, 拉应力愈大, 则组织韧性愈差, 愈容易产生冷裂纹。

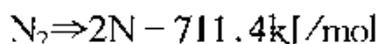
4) 形成气孔。若熔池金属在高温时吸收了大量氢, 由于熔池结晶时溶解度突然下降, 使氢处于过饱和状态, 便发生下列反应



生成的氢分子不溶于金属, 在液态金属中形成气泡。若气泡外逸速度小于熔池结晶速度, 则残留在焊缝中成为气泡。

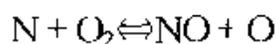
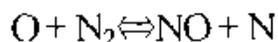
(3) 氮对金属的作用 氮对金属的作用出现两种完全相反的情况。一类金属如 Cu、Ni 等, 既不能溶解氮, 又不能形成氮化物。因此, 焊接这一类金属时, 甚至可用氮作为保护气体。另一类金属如 Fe、Ti、Mn、Si、Cr 等, 不但能溶解氮, 还能与氮形成稳定氮化物。因此, 焊接这一类金属及合金时, 必须防止焊缝金属被氮化。

氮以两种形式溶解到金属中去。一种是以原子形式溶于金属, 另一种是以 NO 形式溶于金属。前者在高温下氮分子发生分解



氮原子吸附在金属表面, 由于其半径比较小, 容易过渡到金属表面层内, 并向金属内部扩散。

后者在电弧高温下, 电弧气氛中的氮和氧发生化学反应, 生成 NO



反应生成物均溶于液态金属。NO 进入熔池后, 与温度较低的熔池金属相遇, 则又分解成 N 原子和 O 原子, 溶入金属中, 大大地提高了熔池金属的含氮量。

氮在钢中的溶解度曲线与氢相似, 在变态点附近也发生突变。如果熔池中含氮量较高, 则由于焊接时冷却速度很快, 一部分氮将以过饱和形式存在于焊缝中; 另一部分氮则以针状氮化物 (Fe_4N) 析出, 分布

在晶界和固溶体内，使得焊缝金属强度、硬度增加，而塑性、韧性急剧降低。此外，焊缝中过饱和的氮处于非稳定状态，随着时间的拖延，过饱和的氮仍要以氮化物形式析出，使焊缝金属强度、硬度值升高，塑性、韧性指标下降，形成所谓时效现象。

氮也是促使焊缝产生气孔的主要原因之一。因此，对于低碳钢焊接，氮是一种有害气体。

(4) 防止气体侵入焊缝金属的措施 上面讨论了 N_2 、 H_2 、 O_2 气体对焊缝金属的有害影响。至于如何防止气体进入焊缝金属，则由于对象不同，条件有别，防止措施也不尽相同，归纳起来大致有如下几方面。

1) 焊前清理。焊前应清除焊件、焊丝表面的杂质，如油污、铁锈、氧化膜等。还应去除焊件、电极表面水分，烘干焊条，使焊件、焊条保持低氢状态。

焊前清理是降低焊缝含氢量及防止过多氧化物进入焊缝的有效措施。

2) 焊接工艺措施。电弧气氛中的氮主要来自空气，因此应加强保护，防止空气入侵。采用厚药皮焊条或低氢碱性焊条可使焊缝含氮量减少。

控制焊接电流，不使增大，否则电弧和熔滴温度升高，氮、氢在液态金属中的溶解度增大，有增加焊缝金属中氮、氢含量的趋势。

采用直流反接法使焊缝金属中氢、氮含量减小。

3) 冶金措施。借助焊条芯和药皮向液态金属加入某些合金元素或化合物，利用冶金反应去除焊缝金属中的有害气体。例如增加焊条芯和药皮中的含碳量，可以降低焊缝中的含氮量。例如 Ti、Al 和稀土元素能与氮生成不溶于液态金属的氮化物，上浮入熔渣，在焊接材料中加入这些元素后可使焊缝金属的含氮量降低。例如在药皮中加入 CaF_2 、 SiO_2 ，或者增加电弧区的氧化性，可减少焊缝金属的含氢量。又如在药皮中加入铁合金，通过脱氧冶金反应，能有效地限制焊缝金属中的含氧量。

4) 焊后处理。焊后将焊件加热到 $350^\circ C$ 以上，保温 $1\sim 2h$ ，可将焊缝中的扩散氢几乎全部消除。

综上所述可见，氮主要来自空气，应以加强保护防止其进入液态金属为主。对于氢，采用焊前清理、烘干焊条、焊后热处理，可以使其危

害限制在最低程度。至于氧，主要来自药皮，通过冶金反应来脱氧。 O_2 、 N_2 和 H_2 对金属的有害作用见表 1-22。

表 1-22 气体对金属的作用

| 气体类型 | O_2 | N_2 | H_2 |
|--------|---|--------------------------|---------------------------------|
| 来源 | 电弧中氧化性气体 (O_2 、 CO_2 等)、药皮中氧化物、材料表面氧化物 | 焊接区周围空气中的 N_2 | 焊接材料中水分、药皮中有机物、焊件、焊丝表面的污物，空气中水分 |
| 对金属的危害 | 使焊缝金属强度、塑性显著下降，使金属变脆 | 降低焊缝金属的塑性和韧性，产生 N_2 气孔 | 氢脆、白点、气孔和裂纹 |
| 防止措施 | 进行脱氧 | 加强对焊接区的机械保护 | 烘干焊接材料，清除焊件和焊丝表面污物，冶金处理，焊后脱氢 |

2. 焊接熔渣

焊接熔渣在焊接过程中有三个方面的作用。

(1) 机械保护 焊接时形成的熔渣覆盖在熔滴和熔池表面上，将液态金属与空气隔开，从而使金属免受有害气体的作用。

(2) 冶金处理 通过熔渣与液态金属之间发生的物理化学反应，可去除焊缝中的有害杂质和调整焊缝金属的成分和性能。

(3) 改善工艺性能 通过熔渣成分的调整，可使电弧易引燃、燃烧稳定、减少飞溅，并可改善焊缝的成形。

熔渣的一个重要指标是碱度。

$$\text{碱度} = \frac{\text{熔渣中碱性氧化物总量}\%}{\text{熔渣中酸性氧化物总量}\%}$$

根据碱度的大小，将熔渣分为碱性渣、酸性渣和中性渣。碱度大于 1 为碱性渣；等于 1 为中性渣；小于 1 为酸性渣。

熔渣按化学成分分为三类，见表 1-23。

3. 焊接过程的氧化与脱氧反应

(1) 氧化作用 熔渣对液态金属的氧化有两种基本形式：扩散氧化和置换氧化。

表 1-23 焊接熔渣分类

| 类别 | 名称 | 主要组成物 | 常用的渣系 | 用途 |
|-----|-------|--------------------|--|-------------------------------------|
| 第一类 | 盐型 | 金属的氟化物、氯化物、不含氧的化合物 | CaF ₂ -NaF、 CaF ₂ -BaCl ₂ -NaF、 KCl-NaCl-Na ₃ AlF ₆ 、 BaF ₂ -MgF ₂ -CaF ₂ -LiF | 焊接铝、钛和其他化学活性大的金属及合金。也用于焊接含活性元素的高合金钢 |
| 第二类 | 盐氧化物型 | 氟化物和强金属氧化物 | CaF ₂ -CaO-Al ₂ O ₃ 、 CaF ₂ -CaO-SiO ₂ 、 CaF ₂ -CaO-MgO-Al ₂ O ₃ 、 CaF ₂ -CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ | 焊接高合金钢及合金 |
| 第三类 | 氧化物型 | 各种金属氧化物 | MnO-SiO ₂ 、 FeO-MnO-SiO ₂ 、 CaO-TiO ₂ -SiO ₂ | 焊接低碳钢及低合金钢 |

1) 扩散氧化。碳钢焊接时, FeO 即溶于渣又溶于液态金属, 在一定温度下平衡时, FeO 在两相中的浓度满足分配定律

$$L = \frac{(\text{FeO})}{[\text{FeO}]}$$

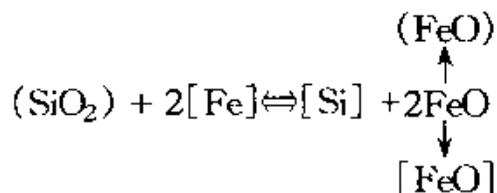
式中 L ——分配常数;

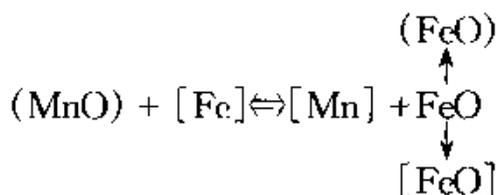
(FeO) ——熔渣中氧化铁;

$[\text{FeO}]$ ——液态金属中氧化铁。

如果温度不变, 当熔渣中 FeO 浓度增加时, 它将向焊缝金属扩散, 使焊缝中的含氧量增加。这就是要求焊前清除焊件表面氧化皮、铁锈的道理, 否则氧化皮、铁锈将使焊缝增氧, 并可能导致气孔等缺陷。

2) 置换氧化。如果熔渣中含较多易分解的氧化物, 则可能与液态铁发生置换反应, 使铁氧化。例如用低碳钢焊丝配高硅、高锰焊剂埋弧焊时, 将发生下列反应





上述反应进行的方向，取决于温度，熔渣中 MnO、SiO₂、FeO 的含量，以及液态金属中 Si、Mn 的含量。反应生成的 FeO 大部分进入熔渣，小部分进入焊缝，使焊缝增氧。

(2) 脱氧作用 在焊条和药皮中往往加入某些能脱氧的合金元素，这些合金元素在焊接过程中自己被氧化，而使被焊金属不被氧化或使其还原。

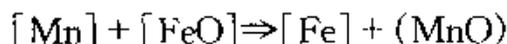
显然，脱氧剂应该比被焊金属对氧具有更大的亲合力；脱氧生成的氧化物应不溶于液态金属中；其密度应小于液态金属，使脱氧生成的氧化物能上浮出液态金属表面而进入熔渣。生产上，常用锰铁、硅铁、钛铁、铝粉等作为脱氧剂（见表 1-24）。

表 1-24 脱氧反应的类型

| 脱氧类型 | 反应原理 | 发生的主要反应 | 决定脱氧效果的因素 |
|------|--|--|------------------------------|
| 沉淀脱氧 | 脱氧剂与 FeO 直接反应，脱氧产物浮出金属表面 | $[\text{Mn}] + [\text{FeO}] \rightarrow [\text{Fe}] + (\text{MnO})$ $[\text{C}] + [\text{FeO}] \rightarrow [\text{Fe}] + \text{CO}_\uparrow$ $[\text{Si}] + [\text{FeO}] \rightarrow [\text{Fe}] + (\text{SiO}_2)$ | 脱氧剂含量、种类和熔渣的酸碱性 |
| 扩散脱氧 | 分配定律 $L = \frac{(\text{FeO})}{[\text{FeO}]}$ | $[\text{FeO}] \leftrightarrow (\text{FeO})$ | 渣中 FeO 的活度、温度、熔渣的碱度 |
| 先期脱氧 | 药皮中脱氧剂与药皮中高价氧化物或碳酸盐分解出的 O ₂ 或 CO ₂ 反应，使电弧气氛氧化性下降 | $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mn} \rightleftharpoons \text{MnO} + 2\text{FeO}$ $\text{FeO} + \text{Mn} \rightleftharpoons \text{MnO} + \text{Fe}$ $2\text{CaCO}_3 + \text{Si} \rightleftharpoons 2\text{CaO} + \text{SiO}_2 + 2\text{CO} \uparrow$ $\text{CaCO}_3 + \text{Mn} \rightleftharpoons \text{MnO} + \text{CaO} + \text{CO} \uparrow$ | 脱氧剂对氧的亲合力、粒度，氧化剂与脱氧剂比例、电流密度等 |

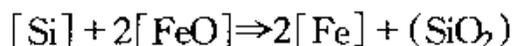
注：[] 表示焊缝金属，() 表示熔渣。

1) 锰脱氧反应



反应后生成的氧化锰不溶于钢液中,且能与酸性氧化物生成复合盐(MnOSiO_2),浮在熔池表面,构成熔渣。

2) 硅脱氧反应



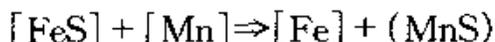
反应后生成的二氧化硅不溶于钢液中,易与碱性氧化物结合生成硅酸盐。

3) 钛、铝脱氧反应。钛和铝对氧的亲合力极强,绝大部分在药皮熔化时就被烧损掉,很难进入熔池参与沉淀脱氧。因此,它们主要用于先期脱氧。

(3) 脱硫作用 硫在钢中主要以 MnS 和 FeS 形式存在。前者不溶于钢液,在冶金过程中能上浮进入熔渣,使焊缝脱硫。后者能与液态铁无限互溶,而固态时其溶解度急剧下降,在熔池结晶时易发生偏析,且以低熔点共晶物质($\text{Fe} + \text{FeS}$ 或 $\text{FeS} + \text{FeO}$)形成呈片状和链状分布在晶界上,导致焊缝金属冲击韧度和抗腐蚀性降低,结晶裂纹倾向增大。在焊接合金钢,尤其高镍合金钢时,由于共晶体 $\text{Ni} + \text{NiS}$ 熔点很低(644°C),产生结晶裂纹倾向更大。为此,应尽量减少焊缝中的含硫量。

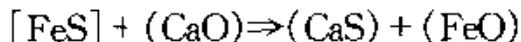
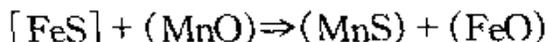
为减少焊缝金属中的含硫量,除了严格控制焊接材料中的含硫量外,通常还要采用冶金方法脱硫。

1) 用锰脱硫



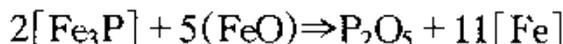
生成的 MnS 进入熔渣。

2) 用碱性氧化物脱硫。如用 MnO 、 CaO 脱硫时,反应如下

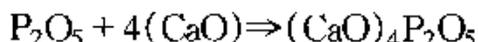
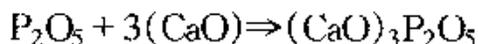


反应生成的 MnS 、 CaS 不溶于液态金属而进入熔渣。由此可见,增加熔渣中碱性氧化物 MnO 、 CaO 的含量或减少熔渣中 FeO 的浓度,均有利于脱硫反应。

(4) 脱磷作用 磷在钢中主要以 Fe_2P 和 Fe_3P 两种磷化物形式存在,磷化物与铁、镍极易形成低熔点共晶体,如 $\text{Fe}_3\text{P} + \text{Fe}$ 或 $\text{Ni}_3\text{P} + \text{Ni}$ 。磷化铁常分布于晶界,使晶粒间的结合力减弱,且磷化物质地硬而脆,所以当钢中含磷量过多时,将使钢的冷脆性增加,而焊缝金属的冲击韧度降低。脱磷分两步,首先磷氧化生成五氧化二磷。



然后 P_2O_5 与碱性氧化物反应生成复合盐, 进入熔渣



由上式可见, 增加熔渣中自由 CaO 和 FeO 的浓度, 可减少焊缝金属中的含磷量。

4. 焊缝中的气孔

焊缝中的气孔主要有 CO 气孔、 N_2 气孔和 H_2 气孔三类。

CO 气孔主要是焊接碳钢时, 由于冶金反应产生了大量的 CO 气体, 在金属结晶过程中来不及逸出而残留在焊缝内部的气孔。气孔沿金属结晶方向分布, 有些像条虫状卧在焊缝内部。

N_2 气孔是空气中的 N_2 在高温下溶解于焊缝金属中而形成的, 多数情况下成堆出现, 与蜂窝相似。

H_2 气孔一般呈喇叭口形。

5. 焊接裂纹

焊接裂纹是一种十分有害的焊接缺陷, 轻则产品报废, 重

则带来灾难性事故。因此, 必须想方设法避免焊接裂纹的产生。

各种裂纹的分布情况见图 1-5。平行于焊缝的裂纹叫纵向裂纹, 垂直于焊缝的叫横向裂纹。

按裂纹产生的本质, 大体可分为热裂纹、再热裂纹、冷裂纹、层状撕裂和应力腐蚀裂纹五大类, 各种裂纹的特征见表 1-25。

表 1-25 裂纹的特征

| 裂纹分类 | 基本特征 | 敏感的温度区间 | 被焊材料 | 位置 | 裂纹走向 |
|-------------|---|---------------------|---------------------------|--------------|--------|
| 热裂纹 结晶裂纹 | 在结晶后期, 由于低熔共晶形成的液态薄膜削弱了晶粒间的联结, 在拉伸应力作用下发生开裂 | 在固相线温度以上稍高的温度(固液状态) | 杂质较多的碳钢、低中合金钢、奥氏体钢、镍基合金及铝 | 焊缝上, 少量在热影响区 | 沿奥氏体晶界 |

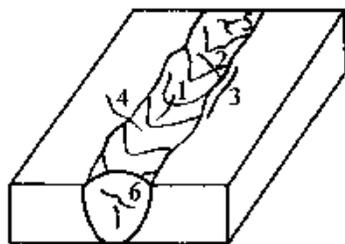


图 1-5 各种裂纹的分布情况

1—焊缝上的纵向裂纹 2—焊缝上的横向裂纹
3—热影响区纵向裂纹 4—贯穿焊缝的横向裂纹 5—弧坑裂纹 6—内部裂纹

(续)

| 裂纹分类 | | 基本特征 | 敏感的温度区间 | 被焊材料 | 位置 | 裂纹走向 |
|------|---------|--|--------------------|-------------------------------|-------------|--------|
| 热裂纹 | 多边化裂纹 | 已凝固的结晶前沿,在高温和应力的作用下,晶格缺陷发生移动和聚集,形成二次边界,它在高温处于低塑性状态,在应力作用下产生的裂纹 | 固相线以下再结晶温度 | 纯金属及单相奥氏体合金 | 焊缝上,少量在热影响区 | 沿奥氏体晶界 |
| | 液化裂纹 | 在焊接热循环峰值温度的作用下,在热影响区和多层焊的层间发生重熔,在应力作用下产生的裂纹 | 固相线以下稍低温度 | 含 S、P、C 较多的镍铬高强度钢、奥氏体钢、镍基合金 | 热影响区及多层焊的层间 | 沿晶界开裂 |
| 再热裂纹 | | 厚板焊接结构消除应力处理过程中,在热影响区的粗晶区存在不同程度的应力集中时,由于应力松弛所产生附加变形大于该部位的蠕变塑性,则发生再热裂纹 | 600°C ~ 700°C 回火处理 | 含有沉淀强化元素的高强度钢、珠光体钢、奥氏体钢、镍基合金等 | 热影响区的粗晶区 | 沿晶界开裂 |
| 冷裂纹 | 延迟裂纹 | 在淬硬组织、氢和拘束应力的共同作用下而产生的具有延迟特征的裂纹 | 在 Ms 点以下 | 中、高碳钢,低、中合金钢,钛合金等 | 热影响区,少量在焊缝 | 沿晶或穿晶 |
| | 淬硬脆化裂纹 | 主要是由淬硬组织,在焊接应力作用下产生的裂纹 | Ms 点附近 | 含碳的 NiCrMo 钢、马氏体不锈钢、工具钢 | 热影响区,少量在焊缝 | 沿晶或穿晶 |
| | 低塑性脆化裂纹 | 在较低温度下,由于被焊材料的收缩应变,超过了材料本身的塑性储备而产生的裂纹 | 在 400°C 以下 | 铸铁、堆焊硬质合金 | 热影响区及焊缝 | 沿晶及穿晶 |
| 层状撕裂 | | 主要是由于钢板的内部存在有分层的夹杂物(沿轧制方向),在焊接时产生的垂直于轧制方向的应力,致使在热影响区或稍远的地方,产生“台阶”式层状开裂 | 约 400°C 以下 | 含有杂质的低合金高强度钢厚板结构 | 热影响区附近 | 穿晶或沿晶 |

(续)

| 裂纹分类 | 基本特征 | 敏感的温度区间 | 被焊材料 | 位置 | 裂纹走向 |
|--------------|---------------------------------------|---------|------------------|---------|------|
| 应力腐蚀裂纹 (SCC) | 某些焊接结构(如容器和管道等),在腐蚀介质和应力的共同作用下产生的延迟开裂 | 任何工作温度 | 碳钢、低合金钢、不锈钢、铝合金等 | 焊缝和热影响区 | 沿晶开裂 |

1.7.2 焊缝及焊接接头

1. 焊缝的形成

熔池金属凝固后形成了焊缝。焊缝金属的成分和性能由母材和填充材料共同决定。

(1) 熔池的定义 母材上由熔化的焊条(或焊丝)金属和局部熔化的母材金属所组成的具有一定几何形状的液体金属称为熔池。

(2) 熔池的结晶 当热源移走后,熔池即开始结晶。熔池的结晶与一般金属一样,由形核和核长大两个过程组成,但它是以熔合区半熔化晶粒为

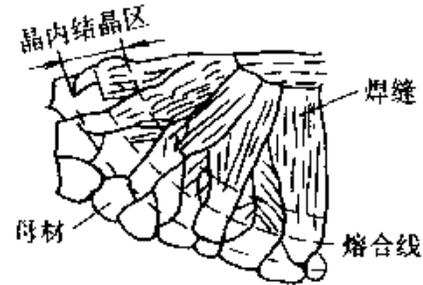


图 1-6 焊缝金属结晶示意图

现成表面形核,然后长大,形成联生柱状晶,一直长到焊缝中心,如图 1-6 所示。

2. 热影响区的组织和性能

焊接热影响区是指焊缝两侧受热循环的作用而发生组织和性能变化的区域。

(1) 低碳钢焊接热影响区的组织与性能
低碳钢热影响区的分布特征见图 1-7 和表 1-26。

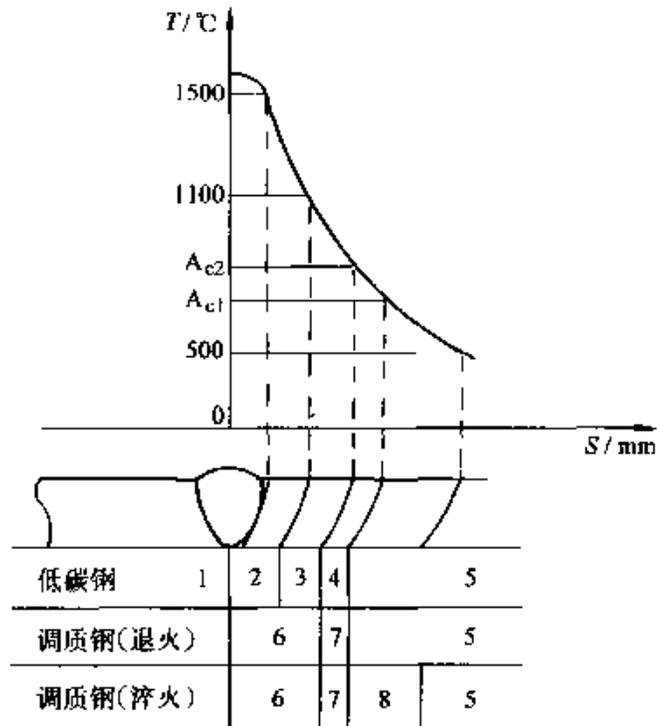


图 1-7 焊接热影响区的分布特征
1—熔合区 2—过热区 3—正火区 4—不完全重结晶区
5—母材 6—淬火区 7—部分淬火区 8—回火区

表 1-26 热影响区各部分的组织特征 (低碳钢)

| 热影响区部位 | 加热的温度范围/°C | 组织特征及性能 |
|---------------------|-------------|--|
| 熔合区 (半熔化区) | 1400 ~ 1250 | 晶粒粗大, 可能出现魏氏体组织, 塑性很差, 易产生裂纹 |
| 过热区 | 1250 ~ 1100 | 晶粒粗大, 形成脆性组织, 机械性能下降 |
| 相变重结晶区 (正火区) | 1100 ~ 900 | 晶粒变细, 力学性能良好 |
| 不完全重结晶区 (不完全正火区) | 900 ~ 730 | 粗大铁素体和细小珠光体、铁素体, 力学性能不均匀 |
| 再结晶区 | 700 ~ 450 | 对于经过冷变形加工的材料, 其破碎了的晶粒再结晶, 晶粒细化, 加工硬化现象消除, 力学性能提高 |
| 蓝脆区 | 450 ~ 300 | 显微组织看不出什么变化, 但有脆性 |

热影响区的硬度变化见图 1-8。

从图中可以看出, 热影响区的熔合线附近硬度最高, 离熔合线远的位置, 硬度逐渐下降而接近母材的硬度。说明熔合线附近金属塑性最差, 是焊接接头中的薄弱部位。

(2) 淬硬倾向较大钢的热影响区 这类钢的热影响区可分为完全淬火区和不完全淬火区 (见图 1-7)。

1) 完全淬火区 这一区是指温度超过 A_{c3} 以上的区域, 与低碳钢焊接热影响区的熔合区、过热区和正火区相似。冷却后得到马氏体组织, 靠近焊缝附近得到粗大马氏体, 离焊缝远些地方得到细小马氏体。这一区由于产生马氏体组织, 硬度和强度高, 塑性和韧性下降, 易产生裂纹。

2) 不完全淬火区 温度在 $A_{c1} \sim A_{c3}$ 之间的区域, 焊接后得马氏体和铁素体组织。该区组织和性能不均匀, 塑性和韧性下降。

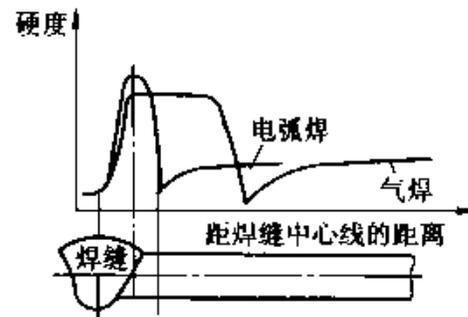


图 1-8 热影响区硬度变化曲线
(低合金结构钢单层焊)

若焊前母材处于调质状态，热影响区除上述两个区外，还会发生不同程度的强度下降，这一区称为回火区。强度下降的程度由焊前母材调质状态的回火温度决定，调质状态的回火温度越低，强度下降越严重。

3. 焊接接头组织和性能的调整与改善

化学成分相同的焊缝金属，由于组织不同，性能上会有较大的差异。常采用如下方法来调整和改善焊缝金属的组织 and 性能。

(1) 变质处理 所谓变质处理就是通过焊接材料，向焊缝金属中添加不同的合金元素来提高焊缝的某些性能。如向焊缝中加钛、钒、铌、稀土等合金元素，可使焊缝晶粒细化，改变结晶形态，提高强度和韧性等。

(2) 振动结晶 熔池在强烈的振动力作用下，发生剧烈的搅拌，破坏正在成长的晶粒，从而得到细小的焊缝组织，消除夹杂、气孔和改善焊缝金属的性能。

振动结晶方式有低频机械振动、高频超声振动和电磁振动等。

(3) 多层焊 后一层焊缝的热量对前一层焊缝金属组织进行热处理（相当于正火或回火），而前一层焊缝对后一层起到预热作用，但要控制好层间温度。

(4) 焊后热处理 这种方法主要是消除焊接接头的内应力和消除氢，改善焊接接头的组织和性能。

(5) 锤击焊缝表面，消除焊接接头的应力。

1.8 压力管道焊工的考试

从事管道焊接的焊工是管道焊接质量的关键因素，所以对压力管道焊工的资格要严格控制。国家标准 GB 50236—1998《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》、GB 50235—1997《工业金属管道工程施工及验收规范》等均对焊工资格提出了明确要求。国家质量监督检验检疫总局以国质检锅〔2002〕109号文发布了《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》更是对焊工的培训、考试做出了详尽而具体的规定。鉴于现在压力管道安装单位的资格认可已划归国家质量技术监督部门管辖，所以下面以《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》以下简称焊工考试规则）和国家标准 GB 50236—1998《现场设备、工业

管道焊接工程施工及验收规范》为主线，介绍压力管道焊工考试的具体要求。

1.8.1 对焊工考试的一般规定

根据《焊工考试规则》的规定，凡从事钢制锅炉、压力容器和压力管道的焊条电弧焊、气焊、钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊、埋弧焊的焊工，必须按该规则经基本知识和操作技能考试合格后，才准许担任压力管道中相应位置的焊接工作。

焊工操作技能考试应在考试单位所做的焊接工艺评定合格之后进行。考试用的钢材、焊接材料、焊接设备和检测设备应符合有关技术标准的要求，测量仪表应经检定合格。

1. 焊工考试的基本规定

(1) 从事 GB 50236 规范适用范围内焊接作业的焊工，均应按本规定进行考试。

(2) 焊工考试应由企业焊工考试委员会组织和实施。不具备成立焊工考试委员会的企业，可委托已授权的焊工考试委员会组织考试。

(3) 企业焊工考试委员会的组成人员中应有焊接工程师、射线照相检验人员和焊接技师。

(4) 企业焊工考试委员会应具有相应的焊接设备、场地、试件及试样加工设备、试验及检测手段。

(5) 焊工考试委员会应负责审查焊工考试资格、确定考试内容、提供焊接作业指导书、监督焊工考试、评定考试结果、签发合格证、建立焊工档案和审批焊工免试资格。

(6) 申请参加考试的焊工应有初中及以上学历，经专业培训，能独立担任焊接工作，并经焊工考试委员会批准后参加考试。

(7) 焊工考试应包括基本知识和操作技能两部分。基本知识考试合格后，方可参加操作技能考试。

(8) 基本知识考试应包括下列内容：

- 1) 焊接设备和工具的使用及维护、相关的安全防护技术；
- 2) 锅炉、压力容器和压力管道的基本知识；
- 3) 金属材料的分类、牌号、化学成分、力学性能、焊接特点和焊后热处理；
- 4) 焊接材料（焊条、焊丝、焊剂和气体等）的牌号（名称）、类

型、使用和保管；

5) 焊接常用的用具和测量仪表的名称、种类、使用和维护；

6) 常用焊接方法的特点，焊接参数、焊接顺序、操作方法及其对焊接质量的影响；

7) 焊接缺陷的产生原因、危害、预防方法和返修；

8) 焊接接头的性能及其影响因素；

9) 焊接应力变形的产生原因和防止方法；

10) 焊缝形式、接头形式、焊缝符号、图样识别；

11) 焊缝外观检验方法和要求，无损检测方法特点、适用范围、级别、标志和缺陷识别；

12) 焊接质量管理体系、规章制度、工艺文件、工艺纪律、焊接工艺评定、焊工考试和管理规则基本知识；

13) 现场焊接必要的准备工作，工作范围内的焊接符号及其识别；

14) 安全操作知识。

(9) 持证焊工需增考同焊接方法的项目时，可不再考基本知识。当改变焊接方法时，应增考相应方法的基本知识。对参加工艺评定试件焊接的焊工，焊接工艺评定合格后可免于参加相应项目的基本知识及操作技能考试。

(10) 焊工操作技能考试的焊接工艺应符合焊接作业指导书的要求。

(11) 基本知识或操作技能考试结果不合格的焊工，可补考一次。补考仍不合格者，应经培训后方可重新考试。

(12) 焊工考试合格项目的有效期限为3年，并应符合下列规定：

1) 连续6个月以上中断焊接作业的焊工，当能满足下述规定之一时，可重新担任原合格项目的焊接作业。

a. 重新进行该项目的操作技能考试合格；

b. 现场焊接相应项目长度不得小于300mm的板状对接焊缝，或焊接相应项目的管状对接焊缝，且不得少于1个焊口，周长不得小于360mm，经射线照相检验全部合格。

2) 焊工在合格项目的有效期内，焊接一次合格率以射线照相检验的底片张数统计时累计在90%以上；或超声波检验的一次合格率以焊

缝延长米统计时累计在 99% 以上，可延长该合格项目的 3 年有效期。

3) 对企业质检部门提出的现场焊接质量低劣的焊工，经企业焊工考试委员会核准后，可注销其合格签证。该焊工应经学习、培训后方可重新进行考试。

(13) 按其他考试规则考试合格的焊工，应取得焊工考试委员会的认可后，从事 GB 50236 规范适用范围的焊接工作，认可项目应符合本规定。

2. 操作技能考试内容及方法

操作技能考试应从焊接方法、试件材料、焊接材料及试件形式等方面进行考核。

(1) 考试的焊接方法分类应符合表 1-27 的规定。各种焊接方法的考试不应互相替代，对于组合焊接方法的考试，可按组合焊的方法焊接一个试件，也可按每种焊接方法分别焊制试件，每种焊接方法考试试件厚度应符合第 (6) 条的规定。

表 1-27 焊接方法及代号

| 焊接方法 | 规则代号 | 规范代号 |
|-----------|----------------------|------|
| 焊条电弧焊 | SMAW | D |
| 气焊 | OFW | Q |
| 钨极气体保护焊 | GTAW | Ws |
| 熔化极气体保护焊 | GMAW (含药芯焊丝电弧焊 FCAW) | Rz |
| 埋弧焊 | SAW | M |
| 电渣焊 | ESW | |
| 摩擦焊 | FRW | |
| 螺柱焊 | SW | |
| 二氧化碳气体保护焊 | | Rb |

(2) 考试试件类别及位置分类及代号见表 1-28，而且应符合下列规定：

1) 考试试件分为：板状坡口对接焊缝试件、板状角焊缝试件、管状坡口对接焊缝试件、管状角焊缝试件、管板角焊缝试件和管板全焊透角焊缝试件。

表 1-28 试件形式、位置及代号

| 试件形式 | 试件位置 | | 规则代号 | 规范代号 |
|----------------------|--------|------|------|----------------|
| 板材对接焊缝试件 (规范代号 P) | 平焊 | | 1G | F |
| | 横焊 | | 2G | H |
| | 立焊 | | 3G | V |
| | 仰焊 | | 4G | O |
| 管材对接焊缝试件 (规范代号 T) | 水平转动 | | 1G | |
| | 垂直固定 | | 2G | H |
| | 水平固定 | 向上立焊 | 5G | A |
| | | 向下立焊 | 5GX | |
| | 45°固定 | 向上立焊 | 6G | A ₁ |
| | | 向下立焊 | 6GX | |
| 管板角接头试件 (规范代号 TP) | 水平转动 | | 2FRG | |
| | 垂直固定平焊 | | 2FG | |
| | 垂直固定仰焊 | | 4FG | |
| | 水平固定 | | 5FG | |
| | 45°固定 | | 6FG | |
| 螺柱焊试件 | 平焊 | | 1S | |
| | 横焊 | | 2S | |
| | 仰焊 | | 4S | |

2) 板状坡口对接焊缝试件和板状角焊缝试件的位置分为：平焊、立焊、横焊和仰焊四个位置（图 1-9 至图 1-10）；管状坡口对接焊缝试件的位置分为：水平转动、垂直固定、水平固定和 45°倾斜固定 4 个位置（图 1-11）；管状角焊缝试件、管板角焊缝试件和管板全焊透角焊缝试件的位置分为横焊、水平固定和仰焊三个位置（图 1-12、图 1-13、图 1-14）。

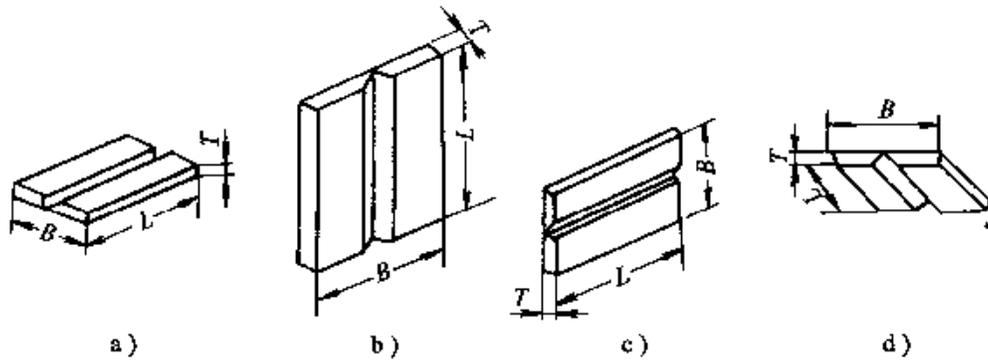


图 1-9 板状坡口对接焊缝试件 (PG)

a) 平焊—F (1G) b) 立焊—V c) 横焊—H (2G) d) 仰焊—O (4G)

注: 括号内代号为规则所规定的。

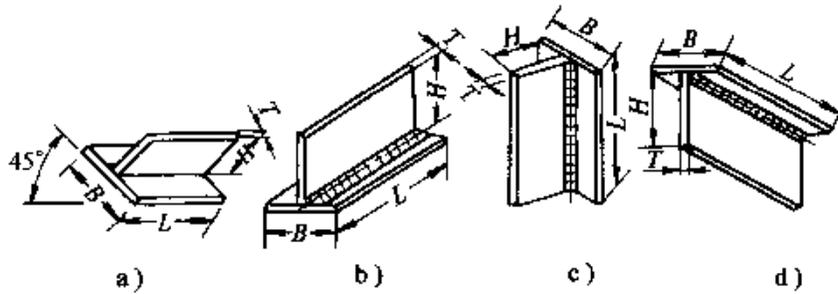


图 1-10 板状角焊缝试件 (PF)

a) 平焊—F b) 横焊—H c) 立焊—V d) 仰焊—O

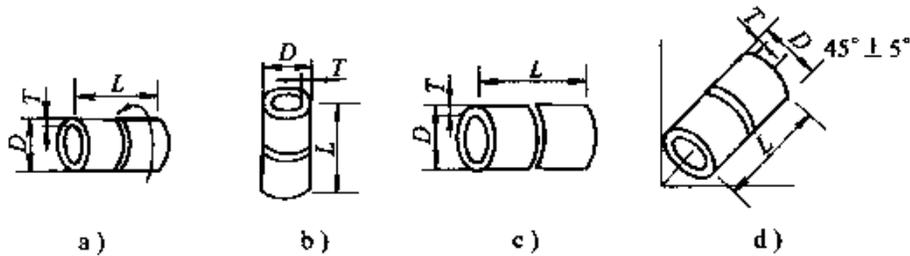


图 1-11 管状坡口对接焊缝试件 (TG)

a) 水平转动—F, b) 垂直固定—H (3G) c) 水平固定—A (5G, 5GX (向下立焊))

d) 45°全位置 A, (6G, 6GX (向下立焊))

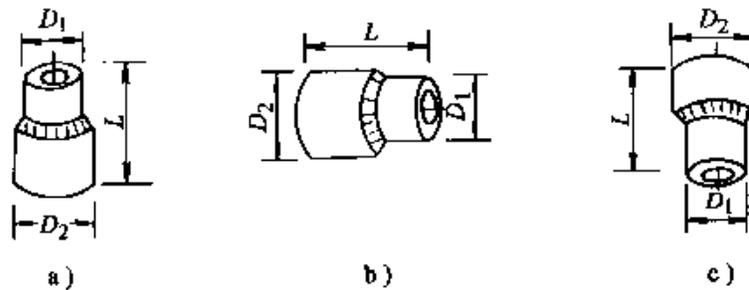


图 1-12 管状角焊缝试件 (TF)

a) 横焊—H b) 水平固定—A c) 仰焊—O

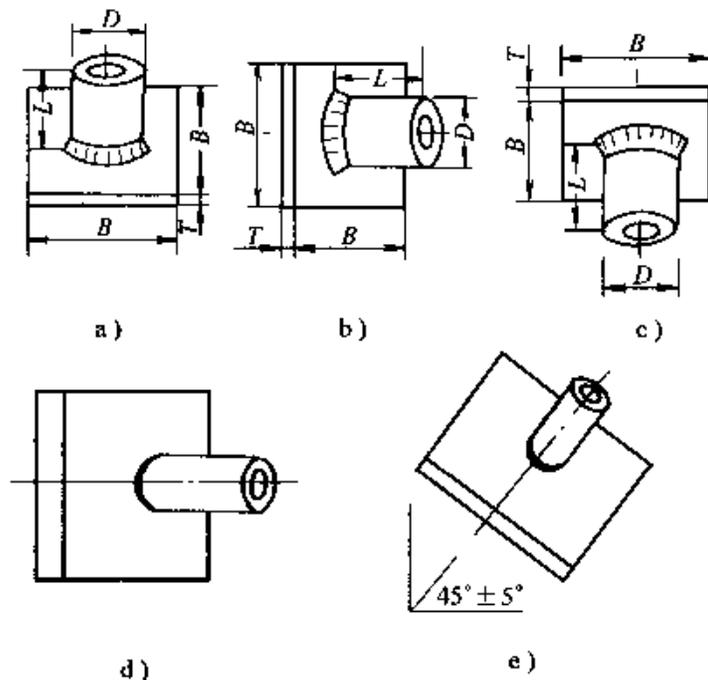


图 1-13 管板角焊缝试件 (TPF)
a) 横焊—H b) 水平固定—A (5FG) c) 仰焊—O d) 水平转动
试件 (代号 2FRG) e) 45°固定试件 (代号 6FG)

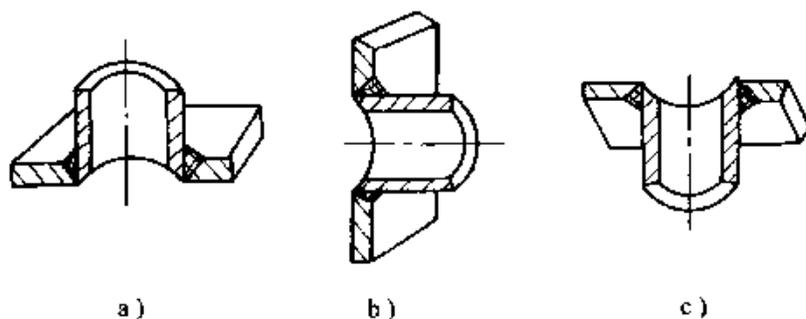


图 1-14 管板全焊透角焊缝试件 (TPG)
a) 横焊—H b) 水平固定—A c) 仰焊—O

(3) 在同一个管状试件上考核水平固定及垂直固定两个位置焊接时,应符合图 1-15 的规定,两位置的接头部位应列入考试范围,当接头部位经检验不合格时,应判定两个位置均不合格。

(4) 焊条类别、代号及适用范围见表 1-29。试件钢号分类及代号见表 1-30,各种试件焊接要素及代号见表 1-31。

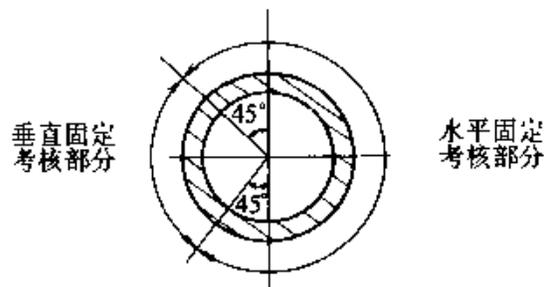


图 1-15 同一管上考核垂直固定和水平固定两个位置

表 1-29 焊接类别、代号及适用范围 (规则)

| 焊条类别 | 焊条类别代号 | 相应型号 | 适用焊件的焊条范围 | 相应标准 |
|------------|----------------|---|---------------------------------------|---|
| 钛钙型 | F ₁ | EXX03 | F ₁ | GB/T 5117 GB/T 5118 GB/T 983 (奥氏体、双相钢焊条除外) |
| 纤维素型 | F ₂ | EXX10, EXX11, EXX10-X, EXX11-X | F ₁ , F ₂ | |
| 钛型、 钛钙型 | F ₃ | EXXX (X) -16 EXXX (X) -17 | F ₁ , F ₃ | |
| 低氢型、 碱性 | F3J | EXX15, EXX16 EXX18, EXX48 EXX15-X, EXX16-X EXX18-X, EXX48-X EXXX (X) -15, EXXX (X) -16 EXXX (X) -17 | F ₁ , F ₃ , F3J | |
| 钛型、 钛钙型 | F ₄ | EXXX (X) -16 EXXX (X) -17 | F ₄ | |
| 碱性 | F4J | EXXX (X) -15, EXXX (X) -16 EXXX (X) -17 | F ₄ , F4J | (奥氏体、双相钢焊条) |

表 1-30 试件钢号分类及代号 (规则)

| 类别 | 代号 | 典型钢号示例 | | | | | |
|------|----|--------|------|------|---------|----------|---------------|
| 碳素钢 | I | Q195 | 10 | 20R | HP245 | L175 | S205 |
| | | Q215 | 15 | 20g | HP265 | L210 | |
| | | Q235 | 20 | 20G | | | |
| | | | 25 | 22g | | | |
| 低合金钢 | II | HP295 | L245 | S240 | 12Mng | 12CrMo | 09MnD |
| | | HP325 | L290 | S290 | 16Mn | 12CrMoG | 09MnNiD |
| | | HP345 | L320 | S315 | 16Mng | 15CrMo | 09MnNiDR |
| | | HP365 | L360 | S360 | 16MnR | 15CrMoG | 16MnD |
| | | | L415 | S385 | 15MnNbR | 15CrMoR | 16MnDR |
| | | | L450 | S415 | 15MnV | 14Cr1Mo | 15MnNiDR |
| | | | L485 | S450 | 15MnVR | 14Cr1MoR | 20MnMoD |
| | | | L555 | S480 | 20MnMo | 12Cr1MoV | 07MnNiCrMoVDR |

(续)

| 类别 | 代号 | 典型钢号示例 | | | | |
|--------------------------|-----|-------------|----------------|-----------------|-------|---------|
| 低合金钢 | II | 10MnWVNb | 12Cr1MoVG | 08MnNiCrMoVD | | |
| | | 20MnMoNb | 12Cr2Mo | 10Ni3MoVD | | |
| | | | 12Cr2Mo1 | | | |
| | | | 12Cr2Mo1R | | | |
| | | | 12Cr2MoWVTiB | | | |
| | | | 12Cr3MoWVTiB | | | |
| 马氏体钢 铁素体 不锈钢 | III | 1Cr5Mo | 0Cr13 | 1Cr13 | 1Cr17 | 1Cr9Mo1 |
| 奥氏体 不锈钢, 双相不 锈钢 | IV | 0Cr19Ni9 | 0Cr18Ni12Mo2Ti | 0Cr23Ni13 | | |
| | | 0Cr18Ni9Ti | 00Cr17Ni14Mo2 | 0Cr25Ni20 | | |
| | | 0Cr18Ni11Ti | 0Cr18Ni12Mo3Ti | 00Cr18Ni5Mo3Si2 | | |
| | | 00Cr18Ni10 | 00Cr19Ni13Mo3 | 1Cr19Ni9 | | |
| | | 00Cr19Ni11 | 0Cr19Ni13Mo3 | 1Cr19Ni11Ti | | |
| | | | | 1Cr23Ni18 | | |

表 1-31 焊接要素及代号 (规则)

| 焊接要素 | | 要素代号 | |
|-----------------|---------------|------|----|
| 手工钨极气体保护焊填充金属焊丝 | 无 | 01 | |
| | 实芯 | 02 | |
| | 药芯 | 03 | |
| 机械化焊 | 钨极气体保护焊自动稳压系统 | 有 | 04 |
| | | 无 | 05 |
| | 自动跟踪系统 | 有 | 06 |
| | | 无 | 07 |
| | 每面坡口内焊道 | 单道 | 08 |
| | | 多道 | 09 |

(5) 考试试件及位置的认可范围,应符合表 1-32 的规定。

(6) 考试试件厚度的认可范围应符合下列规定:

1) 板状及管状坡口对接焊缝试件的厚度认可范围应符合表 1-33 的规定。当试件厚度能满足打底、填充、盖面三层熔敷焊要求时,其厚度认可范围的上限可不限。

2) 角焊缝试件的厚度认可范围可不受限制。

表 1-32 考试试件及位置的认可范围 (规范)

| 考试试件及位置 | | 认可范围 | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|--------|-------------------|-------------------|-------|--------------------|---------------|
| 试件类别 (代号) | 位置 (代号) | 坡口对接焊缝 | | | 角 焊 缝 | | |
| | | 板 | 外径 ≥600mm 管 | 外径 <600mm 管 | 板 | 管或管板 (非全 焊透) | 管或管板 (全焊透) |
| 板状坡口对 接焊缝试件 (PG) | 平焊(F) | F | Fr | — | F | — | — |
| | 横焊(H) | H,F | H,Fr | — | H,F | — | — |
| | 立焊(V) | V,F | Fr | — | V,F | — | — |
| | 仰焊(O) | O,F | Fr | — | O,F | — | — |
| | 立焊+仰焊(V+O) | F,V,O | A | — | F,V,O | — | — |
| | 横焊+立焊+仰焊 (H+V+O) | 所有位置 | 所有位置 | — | 所有位置 | — | — |
| 板状角 焊缝试件 (PF) | 平焊(F) | — | — | — | F | — | — |
| | 横焊(H) | — | — | — | H,F | — | — |
| | 立焊(V) | — | — | — | V,F | — | — |
| | 仰焊(O) | — | — | — | O,F | — | — |
| 管状坡口对 接焊缝试件 (TG) | 水平转动(Fr) | F | Fr | Fr | — | Fr | Fr |
| | 垂直固定(H) | H,F | H,F | H,F | — | H,Fr | H,Fr |
| | 水平固定(A) | F,V,O | A,Fr | A,Fr | — | A,Fr | A,Fr |
| | 45°倾斜固定(Ai) | 所有位置 | 所有位置 | 所有位置 | — | 所有位置 | 所有位置 |
| | 水平固定+垂直固定 (A+H) | 所有位置 | 所有位置 | 所有位置 | — | 所有位置 | 所有位置 |
| 管状(TF)和 管板角焊缝 试件(TPF) (非全焊透) | 横焊(H) | — | — | — | — | H,Fr | — |
| | 水平固定(A) | — | — | — | — | 所有位置 | — |
| | 仰焊(O) | — | — | — | — | O,Fr,H | — |
| 管板角焊缝 试件(TPG) (全焊透) | 横焊(H) | — | — | — | — | H,Fr | H,Fr |
| | 水平固定(A) | — | — | — | — | 所有位置 | 所有位置 |
| | 仰焊(O) | — | — | — | — | O,Fr,H | O,Fr,H |

注: 1. 加障碍物试件考试合格, 可替代不加障碍物的相应位置试件的考试。

2. 立焊位置考试时, 其焊接方向改变应重新考试。

表 1-33 坡口对接焊缝试件厚度认可范围 (mm)

| 考试试件厚度 T | 认可范围 | 考试试件厚度 T | 认可范围 |
|------------|-----------|------------|----------|
| <10 | $\leq 2T$ | >20 | ≥ 5 |
| 10~20 | 5~2T | | |

3) 焊条电弧焊焊工采用管板角接头试件, 经技能考试合格后, 适用于管板角接头焊件范围见表 1-34。

表 1-34 焊条电弧焊管板角接头试件适用于管板角接头焊件范围 (mm)

| 管板角接头 试件管外径 D | 适用焊件范围 | | | | |
|--------------------|--------|-----|------|----------|------------------------|
| | 管外径 | | 管壁厚度 | 焊件焊缝金属厚度 | |
| | 最小值 | 最大值 | | 最小值 | 最大值 |
| ≤ 25 | D | 不限 | 不限 | 不限 | 当 $S_0 < 12$ 时, $2T$ |
| $25 \leq D < 76$ | 25 | 不限 | 不限 | 不限 | 当 $S_0 \geq 12$ 时, (注) |
| ≥ 76 | 76 | 不限 | 不限 | 不限 | 不限 |

注: 当 $S_0 \geq 12$ 时, t 应不小于 12mm, 且焊缝不得少于 3 层。

(7) 管状试件外径的认可范围, 应符合表 1-35 的规定。

表 1-35 焊条电弧焊管材对接焊缝试件适用于对接焊缝焊件外径范围 (mm)

| 管材试件外径 D | 适用于管材焊件外径范围 | | 管材试件外径 D | 适用于管材焊件外径范围 | |
|------------------|-------------|-----|----------------|-------------|-----|
| | 最小值 | 最大值 | | 最小值 | 最大值 |
| <25 | D | 不限 | ≥ 76 | 76 | 不限 |
| $25 \leq D < 76$ | 25 | 不限 | ≥ 300 (注) | 76 | 不限 |

注: 管材向下焊试件。

(8) 考试试件母材的分类与认可范围应符合下列规定:

1) 考试试件母材的分类应符合表 4-3 或表 4-4 的规定。其认可范围应符合表 1-36 的规定。对于不能按表 4-3 或表 4-4 规定进行分类的母材, 应单独进行考试。

表 1-36 考试试件母材的认可范围

| 考试试件母材类别号 | 认可范围 |
|------------------------|---|
| P1~P7 | P1~P7 中的本类别号母材、类别号较低的母材或与类别号较低母材组成的异种接头 |
| P9A、P9B、P11 | P9A、P9B、P11 中的本类别号母材、类别号较低的母材或与类别号较低母材组成的异种接头 |
| P22、P25 | P22、P25 中的本类别号母材、类别号较低的母材或与类别号较低母材组成的异种接头 |
| P8、P21、P31、 P32、P51 | 本类别号母材 |
| P41~P43、P45 | P41~P43、P45 中的任意类别号母材 |

2) 对考试试件无弯曲性能及其他附加性能检验要求时, 考试试件母材的代用可按表 1-37 的规定执行, 但其焊接材料必须与原规定的考试试件母材相匹配。

表 1-37 考试试件母材的代用

| 原规定的试件母材 | 试件代用母材 | 原规定的试件母材 | 试件代用母材 |
|-------------|----------|----------|--------|
| 低合金钢 | 碳素钢 | 铝镁合金 | 工业纯铝 |
| Cr—Mo 系列耐热钢 | 碳素钢或低合金钢 | 镍及镍基合金 | 奥氏体不锈钢 |
| 奥氏体不锈钢 | 碳素钢或低合金钢 | | |

(9) 焊接材料的分类及认可范围应符合下列规定:

- 1) 涂料药皮焊条的分类及认可范围应符合表 1-38 的规定。
- 2) 当改变焊丝型号、焊剂、保护气体及钨极种类时可不另行考试。
- 3) 当采用打底专用焊条、向下立焊焊条、药芯焊丝等专用焊条和专用焊丝时, 应另行考试。

(10) 单面不带垫板焊的考试试件合格, 可取得单面带垫板焊和双面焊的资格。单面带垫板焊与双面焊的考试资格可互相认可。

(11) 考试试件的外形尺寸应符合表 1-39 或表 1-40 的规定, 坡口形式和尺寸应符合其规范的有关规定。

表 1-38 涂料药皮焊条分类与认可范围

| 类别代号 | 名称 | 型号 | 认可范围 |
|------|----------------------------|-----------------------|----------|
| F1 | 碳钢及除奥氏体 不锈钢以外的合金 钢焊条 | 除 E××15、E××16 以外的其他焊条 | F1 |
| F2 | | E××15、E××16 | F1、F2 |
| F3 | 奥氏体不锈钢焊 条 | E××16 | F3 |
| F4 | | E××15 | F3、F4 |
| F5 | 镍及镍合金焊条 | | F3、F4、F5 |

表 1-39 考试试件外形尺寸 (规范) (mm)

| 试件类别 | 焊接方法 | L | B | H |
|----------------|----------------------|------|------|------|
| 板状坡口对 接焊缝试件 | 埋弧焊、熔化极氩弧焊、二氧化碳气体保护焊 | ≥500 | ≥250 | — |
| | 其他 | ≥300 | ≥250 | — |
| 板状角焊 缝试件 | 埋弧焊、熔化极氩弧焊、二氧化碳气体保护焊 | ≥500 | ≥100 | ≥100 |
| | 其他 | ≥300 | ≥100 | ≥100 |
| 管状坡口对 接焊缝试件 | — | ≥200 | — | — |
| 管状角焊缝试件 | — | ≥200 | — | — |
| 管板角接缝试件 | — | ≥60 | 2D | — |

注：表中 L、B、H 涵义与图 1-9~图 1-14 相同。

表 1-40 试件尺寸及数量 (规则) (mm)

| 试件 类别 | 试件形式 | 试件尺寸 | | | | | | 试件数量 (个) | |
|------------|--------------|--------------------|----------------|---|------|------|----------------|-------------|---|
| | | L ₁ | L ₂ | B | T | D | S ₀ | | |
| 对接焊 缝试件 | 板 | 焊条电弧焊 | ≥300 | — | ≥200 | 任意厚度 | — | — | 1 |
| | | 机械化焊 | ≥400 | — | ≥240 | | — | — | |
| | 管 | 焊条电弧 焊、机械 化焊 | ≥200 | — | — | 任意厚度 | <25 | — | 3 |
| | | | | | | | 25≤D<76 | — | 3 |
| | | | | | | | ≥76 | — | 1 |
| | 焊条电弧 向下立焊 | ≥200 | — | — | 任意厚度 | ≥300 | — | 1 | |

(续)

| 试件类别 | 试件形式 | 试件尺寸 | | | | | | 试件数量 (个) |
|-----------------|------|------------|------------------|----------------|------|-----------|----------|-------------|
| | | L_1 | L_2 | B | T | D | S_0 | |
| 管板角 接头 试件 | 管与板 | — | 焊条电弧焊 | $\geq D + 100$ | 任意厚度 | < 76 | $\geq T$ | 2 |
| | | | 机械化焊 ≥ 5 | | | ≥ 76 | | 1 |
| 堆焊 试件 | 板 | ≥ 250 | — | ≥ 150 | 任意厚度 | — | — | 1 |
| | 管 | ≥ 200 | — | — | | | | |

1.8.2 操作技能考试的具体要求

(1) 焊条电弧焊焊工的所有考试试件，第一层焊缝中至少应有一个停弧再焊接头；焊机操作工考试时，中间不得停弧。

(2) 采用不带衬垫试件进行考试时，必须从单面焊接。

(3) 机械化焊接考试时，允许加引弧板和引出板。

(4) 表 4-4 第 I 类钢号的试件，除管材对接焊缝试件和管板角接头试件的第一道焊缝在换焊条时允许修磨接头部位外，其他焊道不允许修磨和返修；第 II ~ IV 类钢号试件除第一层和中间层焊道在换焊条时允许修磨接头部位外，其他焊道不允许修磨和返修。

(5) 技能考试时，试件的位置不得改变。管材对接和管板角接头的 45° 固定试件，管轴线与水平面的夹角应为 $45^\circ \pm 5^\circ$ ，见图 1-13。

(6) 水平固定试件和 45° 固定试件，应在试件上标注焊接位置的钟点标记。定位焊缝不得在“6 点”标记处；焊工在进行管材向下焊考试时，应严格按钟点标记固定试件位置，且只能从“12 点”标记处起弧，“6 点”标记处收弧，其他操作应符合相关要求。

(7) 焊条电弧焊焊工考试板材试件厚度 $> 10\text{mm}$ 时，不允许用焊接卡具或其他办法将板材试件刚性固定，但是允许试件在定位焊时预留反变形量； $\leq 10\text{mm}$ 厚的板材试件允许刚性固定。

(8) 技能操作考试前，由焊工考委会负责编制焊工考试代号，并在焊工考委会成员、监考人员与焊工共同在场确认的情况下，在试件上标注焊工考试代号和考试项目代号。

(9) 试件数量应符合表 1-40 的要求，且不得多焊试件从中挑选。

操作技能考试合格的焊工，当试件钢号或焊材变化时，属下列情况

之一的，不需重新进行操作技能考试：

(1) 焊条电弧焊焊工采用某类别钢号经操作技能考试合格后，焊接该类别其他钢号时；

(2) 焊条电弧焊焊工采用某类别任一钢号，经操作技能考试合格后，焊接该类别钢号与类别代号较低钢号所组成的异种钢焊接接头时；

(3) 除Ⅳ类外，焊条电弧焊焊工采用某类别任一钢号经技能考试合格后，焊接较低类别钢号时；

(4) 焊机操作工采用某类别任一钢号，经操作技能考试合格后，焊接其他类别钢号时；

(5) 变更焊丝钢号（或型号）、药芯焊丝类型、焊剂型号、保护气体种类和钨极种类时。

操作技能考试合格的焊工，属下列情况之一的，需重新考试：

(1) 改变焊接方法；

(2) 在同一种焊接方法中，焊条电弧焊考试合格，从事焊机操作时；

(3) 在同一种焊接方法中，焊机操作考试合格，从事焊条电弧焊操作时；

(4) 表 1-32 中焊接要素代号 01、02、03、04、06 和 08 之一改变时；

(5) 焊件位置超出表 1-41 规定的适用范围时。

表 1-41 试件适用焊件焊接位置（规则）

| 试件 | | 适用焊件范围 | | | |
|----------------|-----|-------------------|----------------|-----------|-----------|
| | | 对接焊缝位置 | | 角焊缝位置 | 管板角接头焊件位置 |
| 形式 | 代号 | 板材和外径大于 600mm 的管材 | 外径 ≤ 600mm 的管材 | | |
| 板材 对接 焊缝 | 1G | 平 | 平(注 2) | 平 | — |
| | 2G | 平、横 | 平、横(注 2) | 平、横 | — |
| | 3G | 平、立(注 1) | 平(注 2) | 平、横、立 | — |
| | 4G | 平、仰 | 平(注 2) | 平、横、仰 | — |
| 管材 对接 焊缝 | 1G | 平 | 平 | 平 | — |
| | 2G | 平、横 | 平、横 | 平、横 | — |
| | 5G | 平、立、仰 | 平、立、仰 | 平、立、仰 | — |
| | 5GX | 平、立向下、仰 | 平、立向下、仰 | 平、立向下、仰 | — |
| | 6G | 平、横、立、仰 | 平、横、立、仰 | 平、横、立、仰 | — |
| | 6GX | 平、立向下、横、仰 | 平、立向下、横、仰 | 平、立向下、横、仰 | — |

(续)

| 试件 | | 适用焊件范围 | | | |
|---------------------------|------|-----------------|---------------------|---------|--------------|
| | | 对接焊缝位置 | | 角焊缝位置 | 管板角接头焊件位置 |
| 形式 | 代号 | 板材和外径大于600mm的管材 | 外径 ≤ 600 mm的管材 | | |
| 管材 和板 材连 接焊 缝 | 2FG | — | — | 平、横 | 2FG |
| | 2FRG | — | — | 平、横 | 2FRG、2FG |
| | 4FG | — | — | 平、横、仰 | 4FG、2FG |
| | 5FG | — | — | 平、横、立、仰 | 5FG、2FRG、2FG |
| | 6FG | — | — | 平、横、立、仰 | 所有位置 |

注：1. 表中“立”表示向上立焊；向下立焊表示为：立向下。

2. 板材对接焊缝试件考试合格后；适用管材对接焊缝焊件时，管材外径应 ≥ 76 mm。

焊接操作技能考试可以由一名焊工在同一个试件上采用同一种焊接方法进行，也可以由一名焊工在同一个试件上采用不同焊接方法进行组合考试；或由两名（或以上）焊工在同一个试件上采用相同或不同焊接方法进行组合考试。由三名（含三名）以上焊工的组合考试试件，厚度不得小于20mm。

焊工考试的结果应记入《焊工考试基本情况表》；操作技能考试试件的检查记录应记入《焊工焊接操作技能考试检验记录表》，各种焊工考试记录的格式宜符合表1-42至表1-45的规定。

焊工考试结果登记表和焊工合格证书内的项目可用代号表示。代号的表示方法应为：

$$X_1-X_2-X_3-X_4-X_5$$

其中 X_1 ——焊接方法分类号，组合焊接方法的分类号可用“ X_1/X_1 ”表示；

X_2 ——试件类别和位置分类号；

X_3 ——母材的分类号，异种钢的分类号可用“ X_3/X_3 ”表示；

X_4 ——焊接材料的分类号；

X_5 ——附加代号，背面加垫或双面焊接接头用“D”表示；单面焊接对接接头或全焊透角焊接头代号可省略。

表 1-42 ××××焊工考试委员会焊工考试基本情况表

编号_____

| | | | | | |
|-------------|---------|---|------|-------|---|
| 姓名 | | 性别 | | 身份证号码 | |
| 文化程度 | | | | 考试性质 | 初考 <input type="checkbox"/> , 重考 <input type="checkbox"/> , 补考 <input type="checkbox"/> |
| 首次取得焊工合格证时间 | | | | | 重考原因 |
| 焊工钢印 | | | | | |
| 基本知识考试 | 考试日期 | | | 试卷编号 | 考试成绩 |
| 焊接操作技能考试 | 考试日期 | | 考试工位 | | 焊接工艺规程编号 |
| | 考试项目代号 | | | | |
| | 焊接设备及仪表 | 正常 <input type="checkbox"/> 不正常 <input type="checkbox"/> 不正常内容: | | | |
| | 试件用材料 | 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 <input type="checkbox"/> 不合格内容: | | | |
| | 焊材及烘干 | 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 <input type="checkbox"/> 不合格内容: | | | |
| | 试件加工及尺寸 | 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 <input type="checkbox"/> 不合格内容: | | | |
| | 检测人员资质 | 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 <input type="checkbox"/> 不合格内容: | | | |
| | 焊工施焊要求 | 符合 <input type="checkbox"/> 不符合 <input type="checkbox"/> 不符合内容: | | | |
| | 考场纪律 | 遵守 <input type="checkbox"/> 不遵守 <input type="checkbox"/> 不遵守内容: | | | |
| 监考人员姓名 | | | | | |

××省(自治区、直辖市)焊工考试监督管理委员会成员: _____、_____

年 月 日

表 1-43 ××××焊工考试委员会焊工焊接操作技能考试检验记录表

姓名_____

试件编号_____

| | | | |
|----------|--|---|--|
| 焊接方法 | | 焊机操作工 <input type="checkbox"/> 、手工焊工 <input type="checkbox"/> | |
| 焊接工艺规程编号 | | 母材钢号 | |
| 试件板材厚度 | | 试件管材外径和壁厚 | |
| 螺柱直径 | | 焊材名称及型号 | |
| 考试项目代号 | | | |

(续)

| 试件外观检查 | | | | | |
|-----------------|------|-----------|---------|-------|---------|
| 焊缝表面状况 | 焊缝余高 | 焊缝余高差 | 比坡口每侧增宽 | 宽度差 | 焊缝边缘直线度 |
| 背面焊缝余高 | 裂纹 | 未熔合 | 夹渣 | 咬边 | 未焊透 |
| 背面凹坑 | 气孔 | 焊瘤 | 变形角度 | 错边量 | 通球检验 |
| 角焊缝凹凸度 | 焊脚 | 堆焊焊道接头平面度 | 堆焊焊道高度差 | 堆焊凹下量 | |
| 外观检查结果 (合格、不合格) | | | 检验员 | | |

无损检验

| | | | |
|----------|--------|-----------|----------|
| 射线透照质量等级 | 焊缝缺陷等级 | 报告编号及日期 | 结果 |
| | | | (合格、不合格) |
| 渗透检测方法 | 渗透检测结果 | 报告编号及日期 | 结果 |
| | | | (合格、不合格) |
| 无损检测人员 | | 无损检测人员证书号 | |

弯曲试验

| | | | | |
|-----|----|----|---------|----------|
| 面弯 | 背弯 | 侧弯 | 报告编号及日期 | 结果 |
| | | | | (合格、不合格) |
| 检验员 | | | | |

断口检查

| | | |
|------|---------|----------|
| 检验结果 | 报告编号及日期 | 结果 |
| | 检验员 | (合格、不合格) |

金相检验 (宏观)

| | | | | |
|------|-------|--------|---------|----------|
| 检验结果 | | | 报告编号及日期 | 结果 |
| 试样 I | 试样 II | 试样 III | 检验员 | (合格、不合格) |

(续)

螺柱折弯试验

| 折弯方法 | 检验结果 | | | | | 报告编号及日期 | 结果 |
|------|------|-------|--------|-------|------|---------|----------|
| | 试件 I | 试件 II | 试件 III | 试件 IV | 试件 V | 检验员 | (合格、不合格) |
| | | | | | | | |

本焊工考委会确认该焊工按《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》进行焊接操作技能考试和检验，数据正确，记录无误。

该项目焊接操作技能考试结果评为(合格、不合格)

主任委员_____

年 月 日

表 1-44 焊工考试记录

| 试件编号 | | | | 焊工姓名 | | | 试件位置 |
|---------|----------|----|--------|---------|--------|------|------|
| 母材牌号 | | | | 焊条牌号及直径 | | | |
| 板材厚度 | | | | 焊丝牌号及直径 | | | |
| 管材外径和壁厚 | | | | 焊剂牌号 | | | |
| 焊接方法 | | | | 钨极牌号及直径 | | | |
| 试件形式 | | | | 保护气体 | | | |
| 外观检查 | 检查结果: | | | | | | |
| | 外观检查质量评定 | | | | | | |
| | 检查人 | | | | 检查日期 | | |
| 射线照相检验 | 照相质量等级 | | 焊缝质量等级 | | 检验报告编号 | 检验日期 | |
| | | | | | | | |
| 断口检验 | 检验结果 | | | | 检验报告编号 | 检验日期 | |
| | | | | | | | |
| 弯曲性能检验 | 面弯 | 背弯 | 侧弯 | | 检验报告编号 | 检验日期 | |
| | | | | | | | |
| 宏观金相检验 | 检验结果 | | | | 检验报告编号 | 检验日期 | |
| | | | | | | | |

表 1-45 焊工考试结果登记表

考试编号：

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------|------|------|------|------|------|----|-------|------|-------|
| 姓名 | | | | 性别 | | | | 焊工钢印 | | |
| 出生年月 | | | | 文化程度 | | | | 焊接工龄 | | |
| 基本知 识考试 | 考试日期 | | | 试卷编号 | | 考试成绩 | | 主考人签章 | | |
| | | | | | | | | | | |
| 操 作 技 能 考 试 | 考试日期 | 试件编号 | 试件类别 | 焊接方法 | 焊接位置 | 母材 | | 焊接材料 | 考试结果 | 主考人签章 |
| | | | | | | 牌号 | 规格 | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 考委会结论 | 允许担任的焊接项目： | | | | | | | | | |
| | 考委会主任 年 月 日 | | | | | | | | | |

1.8.3 考试结果与评定

焊工基本知识考试满分为 100 分，不低于 70 分为合格。焊工焊接操作技能考试通过检验试件进行评定。各项检验均合格时，该考试项目为合格。

由两名（或以上）焊工进行的组合考试，如某项不合格，在能够确认该项施焊焊工时，则该焊工考试不合格，如不能确认该项施焊焊工的，则参与该组合考试的焊工均不合格；其他组合考试，有任一项不合格，则组合考试项目不合格。考试试件评定应符合下列规定：

(1) 考试试件的检验项目应符合下列规定:

1) 板状及管状坡口对接焊缝试件, 应进行外观检验、射线照相检验, 对于直径小于或等于 76mm 的管状坡口对接焊缝试件也可采用断口检验;

2) 管板全焊透角焊缝试件应进行外观检验和断面宏观金相检验; 其余角焊缝试件应进行外观检验。焊缝外形尺寸应符合表 1-46 和下列规定:

①焊缝直线度 f : 手工焊 $f \leq 2\text{mm}$; 机械化焊 $f \leq 3\text{mm}$;

②管板角接头试件的角焊缝中, 焊缝的凹度或凸度应 $\leq 1.5\text{mm}$; 管侧焊脚为 $T + (0 \sim 3)\text{mm}$;

③不带衬垫的板材试件、不带衬垫的管板角接头试件和外径不小于 76mm 的管材试件背面焊缝余高应不大于 3mm;

表 1-46 试件焊缝外形尺寸 (mm)

| 焊接方法 | 焊缝余高 | | 焊缝余高差 | | 焊缝宽度 | | 焊道高度差 | |
|---------|------|------|----------|----------|---------|----------|------------|------------|
| | 平焊 | 其他位置 | 平焊 | 其他位置 | 比坡口每侧增宽 | 宽度差 | 平焊 | 其他位置 |
| 焊条电弧焊 | 0~3 | 0~4 | ≤ 2 | ≤ 3 | 0.5~2.5 | ≤ 3 | — | — |
| 机械化焊(注) | 0~3 | 0~3 | ≤ 2 | ≤ 2 | 2~4 | ≤ 2 | — | — |
| 堆焊 | — | — | — | — | — | — | ≤ 1.5 | ≤ 1.5 |

注: 厚度大于或等于 20mm 的埋弧焊试件, 余高可为 0~4mm。

各种焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、气孔、焊瘤和未焊透; 机械化焊的焊缝表面不得有咬边和凹坑。

堆焊两邻焊道之间的凹下量不得大于 1.5mm, 焊道间搭接接头的平面度在试件范围内不得超过 1.5mm。

焊条电弧焊焊缝表面的咬边和背面凹坑不得超过表 1-47 的规定。

表 1-47 试件焊缝表面缺陷规定

| 缺陷名称 | 允许的最大尺寸 |
|------|---|
| 咬边 | 深度 $\leq 0.5\text{mm}$; 焊缝两侧咬边总长不得超过焊缝长度的 10% |
| 背面凹坑 | 当 $T \leq 5\text{mm}$ 时, 深度 $\leq 25\% T$, 且 $\leq 1\text{mm}$; 当 $T > 5\text{mm}$ 时, 深度 $\leq 20\% T$, 且 $\leq 2\text{mm}$; 除仰焊位置的板材试件不作规定外, 总长度不超过焊缝长度的 10% |

板材试件焊后变形角度 $\theta \leq 3^\circ$ ，试件的错边量不得大于 $10\% T$ ，且 $\leq 2\text{mm}$ 。

(2) 板状试件距两端各 20mm 的焊缝不应作为考试试件评定的范围。

(3) 断口检验时，应采用机械方法在试件所需检验部位的焊缝表面加工出一条沟槽，槽深不得超过焊缝有效厚度的 $1/3$ ，并将试件折断或压断检查断口表面缺陷。试件的断口检验应符合以下要求：

- 1) 断面上没有裂纹和未熔合；
- 2) 背面凹坑深度不大于 $25\% T$ ，且不大于 1mm ；
- 3) 单个气孔沿径向长度不大于 $30\% T$ ，且不大于 1.5mm ，沿轴向或周向长度不大于 2mm ；
- 4) 单个夹渣沿径向长度不大于 $25\% T$ ，沿轴向或周向不大于 $30\% T$ ；
- 5) 在任何 10mm 焊缝长度内，气孔和夹渣不得多于 3 个；
- 6) 沿圆周方向 $10T$ 范围内，气孔和夹渣的累计长度不大于 T ；
- 7) 沿壁厚方向同一直线上各种缺陷总长度不大于 $30\% T$ ，且不大于 1.5mm 。

(4) 考试试件评定合格指标应符合下列规定：

1) 板状及管状坡口对接焊缝试件的外观检验及射线照相检验的质量不应低于表 1-48 中的 II 级。

2) 管板全焊透角焊缝试件的断面宏观金相检验，应分别在 A、B、C 三个断面上检查（图 1-16），根部无未焊透及未熔合为合格。焊缝试件的外观检验质量，不应低于表 1-48 中的 II 级。

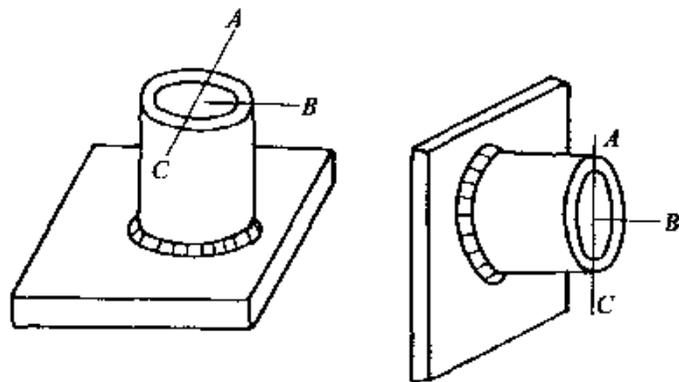


图 1-16 管板全焊透角焊缝试件断面检验位置

表 1-48 焊缝质量分级标准

| 检验项目 | 缺陷名称 | 质量分级 | | | |
|--------|----------|--------------------------------|--|--|--|
| | | I | II | III | IV |
| 焊缝外观质量 | 裂纹 | 不允许 | | | |
| | 表面气孔 | 不允许 | | 每 50mm 焊缝长度内 允许直径 $\leq 0.3\delta$, 且 $\leq 2\text{mm}$ 的气孔 2 个 孔间距 ≥ 6 倍孔径 | 每 50mm 焊缝长度内 允许直径 $\leq 0.4\delta$, 且 $\leq 3\text{mm}$ 气孔 2 个 孔间距 ≥ 6 倍孔径 |
| | 表面夹渣 | 不允许 | | 深 $\leq 0.1\delta$ 长 $\leq 0.3\delta$, 且 $\leq 10\text{mm}$ | 深 $\leq 0.2\delta$ 长 $\leq 0.5\delta$, 且 $\leq 20\text{mm}$ |
| | 咬边 | 不允许 | | $\leq 0.05\delta$, 且 $\leq 0.5\text{mm}$ 连续长度 $\leq 100\text{mm}$, 且 焊缝两侧咬边总长 $\leq 10\%$ 焊缝全长 | $\leq 0.1\delta$, 且 $\leq 1\text{mm}$, 长度不限 |
| | 未焊透 | 不允许 | | 不加垫单面焊允许值 $\leq 0.15\delta$, 且 $\leq 1.5\text{mm}$ 缺陷总长在 6δ 焊缝长度内不超过 δ | $\leq 0.2\delta$, 且 $\leq 2.0\text{mm}$ 每 100mm 焊缝内缺陷 总长 $\leq 25\text{mm}$ |
| | 根部收缩 | 不允许 | $\leq 0.2 + 0.02\delta$, 且 $\leq 0.5\text{mm}$ | $\leq 0.2 + 0.02\delta$, 且 $\leq 1\text{mm}$ | $\leq 0.2 + 0.04\delta$, 且 $\leq 2\text{mm}$ |
| | | | 长度不限 | | |
| | 角焊缝厚度不足 | 不允许 | | $\leq 0.3 + 0.05\delta$, 且 $\leq 1\text{mm}$ 每 100mm 焊缝长度内 缺陷总长度 $\leq 25\text{mm}$ | $\leq 0.3 + 0.05\delta$, 且 $\leq 2\text{mm}$ 每 100mm 焊缝长度内 缺陷总长度 $\leq 25\text{mm}$ |
| | 角焊缝焊脚不对称 | 差值 $\leq 1 + 0.1a$ | | $\leq 2 + 0.15a$ | $\leq 2 + 0.2a$ |
| | 余高 | $\leq 1 + 0.10b$, 且最大为 3mm | | $\leq 1 + 0.2b$, 且最大为 5mm | |

(5) 当规定作弯曲性能检验时, 弯曲试验试样数量应符合表 1-49 的要求。试件的取样应符合本手册 4.1.2 节中 4.(6) 和 4.(8) 条的规定:

试验方法及合格指标应符合本手册 4.1.2 节中 4.(10) 和 4.(11) 条的规定。

表 1-49 试件检验项目、检查数量和试样数量

| 试件类别 | 试件形式 | 试件厚度或管径/mm | | 检验项目 | | | | | | |
|-------------|-----------|------------|------|---------|-----------|---------|---------|----|--------|----------------|
| | | 厚度 | 管外径 | 外观检查(件) | 射线透照(件) | 断口检验(件) | 弯曲试验(个) | | | 金相检验(宏观)(个) |
| | | | | | | | 面弯 | 背弯 | 侧弯(注1) | |
| 对接焊缝试件 | 板 | <12 | — | 1 | 1 | — | 1 | 1 | — | — |
| | | ≥12 | — | 1 | 1 | — | — | — | 2 | — |
| | 管 (注2) | <76 | — | 3 | — | 2 | 1 | 1 | — | — |
| | | ≥76 | — | 1 | 1 | — | 1 | 1 | — | — |
| | 管材 向下焊 | <12 | ≥300 | 1 | 1 | — | 1 | 1 | — | — |
| | | ≥12 | | 1 | 1 | — | — | — | 2 | — |
| 管板角 接头试件 | 管与板 | <76 | — | 2 | — | — | — | — | — | 任一试样取 3个检查面 |
| | | ≥76 | — | 1 | — | — | — | — | — | 3 |
| 堆焊试件 | 板或管 | — | — | 1 | 1 (渗透) | — | — | — | 2 | — |

注：1. 当试件厚度≥10mm 时，可用 2 个侧弯试样代替面弯与背弯试样。

2. 管子摩擦焊按对接焊缝试件对待。

(6) 当对焊工考试提出其他力学性能、抗腐蚀性能以及金相组织等试验要求时，应对焊工考试试件进行相应项目的试验，其合格指标应符合设计规定。

1.8.4 发证

经基本知识考试和操作技能考试合格的焊工，由焊工考试委员会将《焊工考试基本情况表》和《焊工焊接操作技能考试检验记录表》报考委会所在的地（市）级安全监察机构，经审核后签发焊工合格证。见表 1-50。

表 1-50 焊工合格证书

(塑料封面)

现场设备、工业管道焊接

焊
工
合
格
证

____ 焊工考试委员会

(封面里)

姓 名 _____

性 别 _____

焊工钢印 _____

照
片

(工作单位公章压照片)

(焊工考试委员会签章)

合格证编号 _____ 年 月

(第 1~5 页)

| 合格项目 代 号 | 厚度或 管径范围 | 考委会主任 签章 | 签证 日期 |
|-------------|-------------|-------------|----------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

(第 6~10 页)

免 试 证 明

根据焊工考试委员会考核, 该焊工焊接质量符合 GB 50236—1998 免试条件, 准予将原考试合格项目 _____

_____ 的有效期延长至 _____ 年 月 日。

考委会主任 _____

签证日期 _____

(第 11~12 页)

| 焊接质量事故记录 | | |
|----------|--------|------|
| 日期 | 质量事故内容 | 检查人员 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

(封底里)

注 意 事 项

1. 此证应妥善保管, 不得转借他人。
2. 此证记载各项, 不得私自涂改。
3. 合格项目, 自签证之日起有效期三年。

第2章 焊接材料

2.1 焊条

2.1.1 焊条基本知识

焊条由焊芯及药皮两部分组成，焊芯采用国家标准定型之焊丝牌号的金属丝，它既充当电极，又作为填充金属。焊条种类不同，焊芯也不同，见表 2-1。焊芯成分直接影响着焊缝金属的成分和性能，所以焊芯中的有害元素要尽量少， $w(C)$ 也应低于 0.10%。例如 H08A，含 $w(S) \leq 0.03\%$ 、 $w(P) \leq 0.03\%$ 、 $w(C) \leq 0.1\%$ 。

表 2-1 各种焊条所用的焊芯

| 焊条种类 | 焊芯种类 | 备注 |
|------------|------------------|------------------|
| 低碳钢 | 低碳钢 | 从涂料加合金元素 |
| 高强度钢 | 低碳钢 | |
| 低温钢、低合金钢 | 低碳钢或低合金钢 | 用低碳钢焊芯时，从涂料加合金元素 |
| 不锈钢 | 不锈钢 | |
| Ni 和 Ni 合金 | Ni 和 Ni 合金 | |
| Cu 和 Cu 合金 | Cu 和 Cu 合金 | |
| 硬质合金堆焊 | 低碳钢、合金钢或合金 | |
| 铸铁 | Ni、Ni 合金或低碳钢、铸铁等 | |

1. 焊条药皮的作用及组成物

通常焊条药皮都由 10 多种原料配成，每一种原料也多具有两种以上的作用，所以选用时要注意复合作用，增减或调换某种成分时，不能只简单考虑主作用，药皮的主要原料及其作用为：

(1) 焊条药皮在焊接过程中作用

1) 保证电弧稳定燃烧；

2) 保护熔化金属，防止及减少空气侵入；药皮熔化或分解后产生气体和熔渣，隔绝空气，防止熔滴和熔池金属与空气接触，熔渣凝固后的渣壳覆盖在焊缝表面，可防止高温的焊缝金属被氧化，并可减慢焊缝

金属的冷却速度。

3) 焊接过程中脱氧、脱硫等；通过熔渣、铁合金及纯金属进行脱氧、脱硫、去氢和渗合金等焊接冶金反应可去除有害元素，增添有用元素，从而获得合适的焊缝化学成分。

4) 向焊缝金属中过渡合金元素；

5) 改善焊接工艺性能，提高焊接生产率；提高电弧稳定性，减少飞溅，改善熔滴过渡。

6) 使焊缝成形美观。

(2) 焊条药皮中的组成物及其作用

1) 稳弧剂：如硝酸钾、碳酸钠、长石、大理石等。作用是便于引弧和提高电弧燃烧稳定性。

2) 造渣剂：如大理石、萤石、菱苦土、长石、花岗石、钛白粉、金红石等。作用是形成熔渣，保护熔池，防止空气侵入；改善焊接冶金效果和焊接工艺性能。

3) 脱氧剂：如锰铁、硅铁、钛铁、铝粉等。作用是减少焊缝金属的氧化物。

4) 造气剂：如木屑、纤维素、淀粉等。其作用是在焊接电弧周区形成封闭的气体保护层，防止外界空气侵入。

5) 合金剂：如锰铁、钛铁、铬铁、钼铁、钨铁、钒铁等。作用是向焊缝金属中过渡所需的合金量。

6) 稀释剂：如萤石、钛白粉、精选钛矿等。作用是稀释熔渣黏度，增加熔渣流动性。

7) 粘结剂：如钾水玻璃、钠水玻璃等。作用是将药皮牢固地粘接在焊芯上。

8) 成形剂：如白泥、糊精、木粉、云母等。作用是使药皮具有塑性、流动性，便于制造焊条时挤压成形，使药皮表面光滑不开裂。

常用药皮原材料的组成与作用，见表 2-2。

2. 酸性焊条和碱性焊条

所谓酸性焊条和碱性焊条，系指焊条药皮成分呈酸性或呈碱性而言。凡以酸性氧化物为主的焊条（如二氧化硅、氧化钛等），叫酸性焊条，如钛钙型、钛铁矿型、氧化铁型等；凡以碱性氧化物为主的焊条（如大理石、萤石等），叫碱性焊条，如低氢钠型、低氢钾型等药皮类型

的焊条。

酸性焊条与碱性焊条的特点如表 2-3 所示。

表 2-2 常用药皮原材料的组成与作用

| 材料 | 主要成分 | 造气 | 造渣 | 脱氧 | 合金化 | 稳弧 | 粘 结 | 成 型 | 增 氢 | 增 硫 | 增 磷 | 氧 化 |
|-----|--|----|----|----|-----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 金红石 | TiO ₂ | | A | | | B | | | | | | |
| 钛白粉 | TiO ₂ | | A | | | B | | A | | | | |
| 钛铁矿 | TiO ₂ , FeO | | A | | | B | | | | | | B |
| 赤铁矿 | Fe ₂ O ₃ | | A | | | B | | | | B | B | B |
| 锰矿 | MnO ₂ | | A | | | | | | | | B | B |
| 大理石 | CaCO ₃ | A | A | | | B | | | | | | B |
| 菱苦土 | MgCO ₃ | A | A | | | B | | | | | | B |
| 白云石 | CaCO ₃ + MgCO ₃ | A | A | | | B | | | | | | B |
| 石英砂 | SiO ₂ | | A | | | | | | | | | |
| 长石 | SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O + Na ₂ O | | A | | | B | | | | | | |
| 白泥 | SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , H ₂ O | | A | | | | | A | B | | | |
| 云母 | SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , H ₂ O, K ₂ O | | A | | | B | | A | B | | | |
| 滑石 | SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO | | A | | | | | B | | | | |
| 萤石 | CaF ₂ | | A | | | | | | | | | |
| 碳酸钠 | Na ₂ CO ₃ | | B | | | B | | A | | | | |
| 碳酸钾 | K ₂ CO ₃ | | B | | | A | | | | | | |
| 锰铁 | Mn, Fe | | B | A | A | | | | | | B | |
| 硅铁 | Si, Fe | | B | A | A | | | | | | | |
| 钛铁 | Ti, Fe | | B | A | B | | | | | | | |
| 铝粉 | Al | | B | A | | | | | | | | |
| 钼铁 | Mo, Fe | | B | B | A | | | | | | | |
| 木粉 | | A | | B | | B | | B | B | | | |
| 淀粉 | | A | | B | | B | | B | B | | | |
| 糊精 | | A | | B | | B | | B | B | | | |
| 水玻璃 | K ₂ O, Na ₂ O, SiO ₂ | | B | | | A | A | | | | | |

注：A—主要作用；B—附带作用。

表 2-3 酸性焊条和碱性焊条的特点

| 酸性焊条 | 碱性焊条 |
|--|--|
| 1. 药皮组成物氧化性强 | 1. 药皮组成物还原性强 |
| 2. 对水、锈、油污产生气孔的敏感性不大。焊条使用前,如未受潮,可不烘干,受潮焊条烘干温度为 150~200°C,保温 1h | 2. 对水、锈、油污产生气孔的敏感性大,焊件需经严格清洁。焊条使用前必须经 300~350°C 保温 1~2h 烘干,且随烘随用 |
| 3. 电弧稳定,可交直流两用。采用直流电源时,焊条一般宜接负极,即为正接 | 3. 电弧稳定性较差,一般只能用直流,但若在药皮中加入适量稳弧剂,则可交直流两用。直流时,焊条宜接正极,即为反接 |
| 4. 使用焊接电流较大 | 4. 焊接电流较小,较同规格酸性焊条约小 10% 左右 |
| 5. 宜长弧操作 | 5. 宜短弧操作 |
| 6. 合金元素烧损较大 | 6. 合金元素过渡效率高 |
| 7. 大多焊缝成形较好,除氧化铁型外,熔深较浅 | 7. 焊缝成形尚好,容易堆高,熔深稍深 |
| 8. 熔渣结构呈玻璃状 | 8. 熔渣结构呈岩石状 |
| 9. 抗裂性能较差,焊缝常温、低温冲击韧度一般 | 9. 抗裂性能好,焊缝常温、低温冲击韧度较高 |
| 10. 除氧不彻底,焊缝中氢氧含量较高,塑性韧性一般 | 10. 脱氧除氢较好,焊缝中氢氧含量较低,塑性韧性较好 |
| 11. 焊接时,大多烟尘较少 | 11. 焊接时,一般烟尘较多 |

3. 焊条的分类

我国焊条牌号按用途分为 10 类: 结构钢焊条(包括低碳钢及低合金钢)、钼和铬钼耐热钢焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、低温钢焊条、铸铁焊条、镍及镍合金焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条、特殊用途焊条。近年来许多标准已等效采纳国际先进标准。目前已推行的有《碳钢焊条》、《低合金钢焊条》、《不锈钢焊条》等新标准。按焊条型号与焊条牌号分类见表 2-4。

表 2-4 焊条型号与焊条牌号分类表

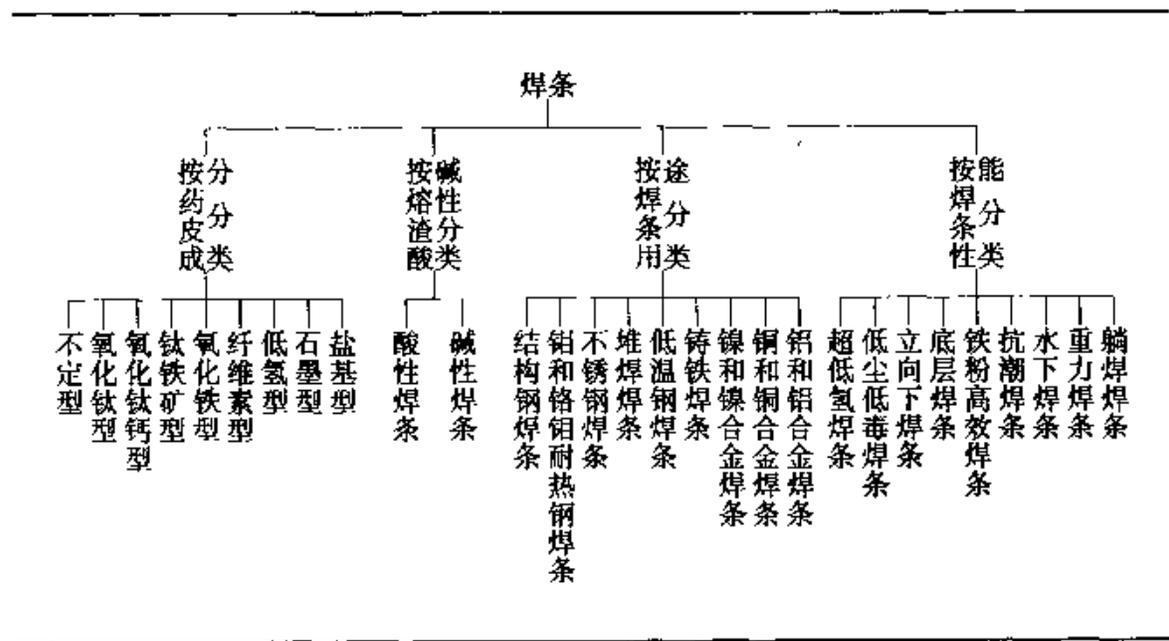
| 焊条型号(按化学成分分类) | | | 焊条牌号(按用途分类) | | | |
|-----------------|--------|----|-------------|-----------|----|----|
| 国家标准编号 | 名称 | 代号 | 类别 | 名称 | 代号 | |
| | | | | | 字母 | 汉字 |
| GB/T 35117—1995 | 碳钢焊条 | E | — | 结构钢焊条 | J | 结 |
| | | | — | 结构钢焊条 | J | 结 |
| GB/T 5118—1995 | 低合金钢焊条 | E | 二 | 钼和铬钼耐热钢焊条 | R | 热 |
| | | | 三 | 低温钢焊条 | W | 温 |
| | | | — | 结构钢焊条 | J | 结 |

(续)

| 焊条型号(按化学成分分类) | | | 焊条牌号(按用途分类) | | | |
|-----------------|---------|-----|-------------|---------|----|----|
| 国家标准编号 | 名称 | 代号 | 类别 | 名称 | 代号 | |
| | | | | | 字母 | 汉字 |
| GB/T 983—1995 | 不锈钢焊条 | E | 四 | 不锈钢焊条 | | |
| | | | | 铬不锈钢焊条 | G | 铬 |
| | | | | 铬镍不锈钢焊条 | A | 奥 |
| GB/T 984—2001 | 堆焊焊条 | ED | 五 | 堆焊焊条 | D | 堆 |
| GB/T 10044—1988 | 铸铁焊条 | EZ | 六 | 铸铁焊条 | Z | 铸 |
| — | — | — | 七 | 镍及镍合金焊条 | Ni | 镍 |
| GB/T 367—1995 | 铜及铜合金焊条 | TCu | 八 | 铜及铜合金焊条 | T | 铜 |
| GB/T 3669—2001 | 铝及铝合金焊条 | TAl | 九 | 铝及铝合金焊条 | L | 铝 |
| — | — | — | 十 | 特殊用途焊条 | Ts | 特 |

焊条也可以根据其用途，药皮成分……等进行分类，见表 2-5。

表 2-5 焊条电弧焊焊条分类方法



焊条型号的编制方法根据焊条芯棒材质的不同编制方法略有不同，但基本相似。

2.1.2 碳钢焊条 (GB/T 5117—1995)

1. 型号分类

1) 焊条型号根据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，见表 2-6 及表 2-7。

表 2-6 碳钢焊条型号的划分 (GB/T 5117—1995)

| 焊条型号 | 药皮类型 | 焊接位置 | 电流种类 | |
|---|--------|---------|-----------|---------|
| E43 系列·熔敷金属抗拉强度 $\geq 420\text{MPa}$ ($43\text{kgf}/\text{mm}^2$) | | | | |
| E4300 | 特殊型 | 平、立、仰、横 | 交流或直流正、反接 | |
| E4301 | 钛铁矿型 | | | |
| E4303 | 钛钙型 | | | |
| E4310 | 高纤维素钠型 | | | |
| E4311 | 高纤维素钾型 | | | |
| 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 | 交流或直流正、反接 | |
| E4322 | | 平角焊 | 交流或直流正接 | |
| E4323 | | 平 | 交流或直流正接 | |
| E4324 | 铁粉钛钙型 | 平、平角焊 | 交流或直流正、反接 | |
| E4327 | 铁粉钛型 | | | |
| E4327 | 铁粉氧化铁型 | 平 | 交流或直流正、反接 | |
| E4328 | | 平角焊 | 交流或直流正接 | |
| E4328 | 铁粉低氢型 | 平、平角焊 | 交流或直流反接 | |
| E50 系列·熔敷金属抗拉强度 $\geq 490\text{MPa}$ ($50\text{kgf}/\text{mm}^2$) | | | | |
| E5001 | 钛铁矿型 | 平、立、仰、横 | 交流或直流正、反接 | |
| E5003 | 钛钙型 | | | |
| E5010 | 高纤维素钠型 | | | |
| E5011 | 高纤维素钾型 | | | |
| E5014 | 铁粉钛型 | | | |
| E5015 | 低氢钠型 | | | |
| E5016 | 低氢钾型 | | | |
| E5018 | 铁粉低氢钾型 | | | |
| E5018M | 铁粉低氢型 | | | |
| E5023 | 铁粉钛钙型 | 平、平角焊 | 交流或直流正、反接 | |
| E5024 | 铁粉钛型 | 平、平角焊 | 交流或直流正、反接 | |
| E5027 | 铁粉氧化铁型 | | 交流或直流正接 | |
| E5028 | 铁粉低氢型 | | 平、仰、横、立向下 | 交流或直流反接 |
| E5048 | | | | |

注：1. 焊接位置栏中文字涵义：平——平焊、立——立焊、仰——仰焊、横——横焊、平角焊——水平角焊、立向下——向下立焊。

2. 焊接位置栏中立和仰系指适用于立焊和仰焊的直径不大于 4.0mm 的 E5014、E \times \times 15、E \times \times 16、E5018 和 E5018M 型焊条及直径不大于 5.0mm 的其他型号焊条。

3. E4322 型焊条适宜单道焊。

表 2-7 熔敷金属化学成分 (质量分数, %) (GB/T 5117—1995)

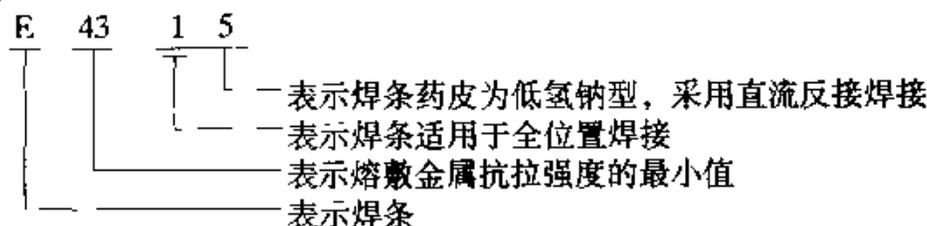
| 焊条型号 | C | Mn | Si | S | P | Ni | Cr | Mo | V | MnNiCrMoV 总量 |
|---|------|---------------|------|-------|-------|------|------|------|------|--------------|
| E4300、E4301、 E4303、E4310、 E4311、E4312、 E4313、E4320、 E4322、E4323、 E4324、E4327、 E5001、E5003、 E5010、E5011 | | | | 0.035 | 0.040 | | | | | |
| E5015、E5016、 E5018、E5027 | — | 1.60 | 0.75 | | | | | | | 1.75 |
| E4315、E4316、 E4328、E5014、 E5023、E5024 | — | 1.25 | 0.90 | | | 0.30 | 0.20 | 0.30 | 0.08 | 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。

2) 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；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（平、立、仰、横），“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。在第四位数字后附加“R”表示耐吸潮焊条；附加“M”表示耐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。

3) 其标准除了 E5018M 型焊条可以列入 E5018 型焊条外（同时符合这两种型号焊条的所有要求），凡列入一种型号中的焊条不能再列入其他型号。

4) 按标准规定完整的焊条型号举例如下：



2. 技术要求

(1) 尺寸

1) 焊条尺寸应符合表 2-8 规定。

表 2-8 焊条尺寸 (GB/T 5117—1995) (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 | | 250~350 | |
| 2.5 | | 350~450 | |
| 3.2 | | | |
| 4.0 | | | |
| 5.0 | | | |
| 5.6 | | 450~700 | |
| 6.0 | | | |
| 6.4 | | | |
| 8.0 | | | |

2) 焊条夹持端长度应符合表 2-9 规定。

表 2-9 夹持端长度 (GB/T 5117—1995) (mm)

| 焊条直径 | 夹持端长度 |
|------|-------|
| ≤4.0 | 10~30 |
| ≥5.0 | 15~35 |

注：用于重力焊的焊条，夹持端长度不得小于 25mm。

(2) 药皮

1) 焊芯和药皮不应有任何影响焊条质量的缺陷。

2) 焊条引弧端药皮应倒角，焊芯端面应露出，以保证易于引弧。焊条露芯应符合如下规定：

①低氢型焊条，沿长度方向的露芯长度不应大于焊芯直径的二分之一或 1.6mm 两者的较小值。

②其他型号焊条，沿长度方向的露芯长度不应大于焊芯直径的 2/3 或 2.4mm 两者的较小值。

③各种直径焊条沿圆周方向的露芯不应大于圆周的一半。

3) 焊条偏心度应符合如下规定:

①直径不大于 2.5mm 焊条, 偏心度不应大于 7%;

②直径为 3.2mm 和 4.0mm 焊条, 偏心度不应大于 5%;

③直径不小于 5.0mm 焊条, 偏心度不应大于 4%。

3. 用于管道焊接的碳钢焊条简要说明 (GB/T 5117—1995)

(1) E4310、E5010 型焊条 该焊条为高纤维素钠型。药皮中纤维素含量较高, 电弧稳定。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, 熔深较深, 熔化速度快, 熔渣少, 脱渣容易, 熔渣覆盖较差。通常限制采用大电流焊接。这类焊条适用于全位置焊接, 特别适用于立焊、仰焊的多道焊和有较高射线探伤要求的焊缝, 也可用于立向下焊接。焊接电流为直流反接, 主要焊接一般的碳钢结构, 如管道的焊接等, 也可用于打底焊接。

(2) E4311、E5011 型焊条 这两类焊条为高纤维素钾型。药皮在与 E4310 型焊条药皮相似的基础上添加了少量的钙与钾的化合物, 电弧稳定。焊接电流为交流或直流反接, 适用于全位置焊接。焊接工艺性能与 E4310 相似, 但采用直流反接焊接时, 熔深浅。这类焊条主要焊接一般的碳钢结构, 如管道的焊接等, 也可用于打底焊接。

2.1.3 低合金钢焊条型号的划分

低合金钢焊条根据熔敷金属的力学性能、药皮类型、焊接位置及电流种类划分型号, 见表 2-10。

表 2-10 低合金钢焊条型号划分 (GB/T 5118—1995)

| 焊条型号 | 药皮类型 | 焊接位置 | 电流种类 |
|--|--------|---------|-----------|
| E50 系列-熔敷金属抗拉强度 $\geq 490\text{MPa}(50\text{kgf}/\text{mm}^2)$ | | | |
| E5003- \times | 钛钙型 | 平、立、仰、横 | 交流或直流正、反接 |
| E5010- \times | 高纤维素钠型 | | 直流反接 |
| E5011- \times | 高纤维素钾型 | | 交流或直流反接 |
| E5015- \times | 低氢钠型 | | 直流反接 |
| E5016- \times | 低氢钾型 | | 交流或直流反接 |
| E5018- \times | 铁粉低氢型 | | |
| E5020- \times | 高氧化铁型 | 平角焊 | 交流或直流正接 |
| | | 平 | 交流或直流正、反接 |
| E5027- \times | 铁粉氧化铁型 | 平角焊 | 交流或直流正接 |
| | | 平 | 交流或直流正、反接 |

(续)

| 焊条型号 | 药皮类型 | 焊接位置 | 电流种类 |
|---|--------|---------|-----------|
| E55 系列-熔敷金属抗拉强度 $\geq 540\text{MPa}$ (55kgf/mm ²) | | | |
| E5500-× | 特殊型 | 平、立、仰、横 | 交流或直流正、反接 |
| E5503-× | 钛钙型 | | 直流反接 |
| E5510-× | 高纤维素钠型 | | 交流或直流反接 |
| E5511-× | 高纤维素钾型 | | 交流或直流正、反接 |
| E5513-×× | 高钛钾型 | | 直流反接 |
| E5515-× | 低氢钠型 | | 交流或直流反接 |
| E5516-× | 低氢钾型 | | |
| E5518-× | 铁粉低氢型 | | |
| E60 系列-熔敷金属抗拉强度 $\geq 590\text{MPa}$ (60kgf/mm ²) | | | |
| E6000-× | 特殊型 | 平、立、仰、横 | 交流或直流正、反接 |
| E6010-× | 高纤维素钠型 | | 直流反接 |
| E6011-× | 高纤维素钾型 | | 交流或直流反接 |
| E6013-× | 高钛钾型 | | 交流或直流正、反接 |
| E6015-× | 低氢钠型 | | 直流反接 |
| E6016-× | 低氢钾型 | | 交流或直流反接 |
| E6018-× | 铁粉低氢型 | | |
| E70 系列-熔敷金属抗拉强度 $\geq 690\text{MPa}$ (70kgf/mm ²) | | | |
| E7010-× | 高纤维素钠型 | 平、立、仰、横 | 直流反接 |
| E7011-× | 高纤维素钾型 | | 交流或直流反接 |
| E7013-× | 高钛钾型 | | 交流或直流正、反接 |
| E7015-× | 低氢钠型 | | 直流反接 |
| E7016-× | 低氢钾型 | | 交流或直流反接 |
| E7018-× | 铁粉低氢型 | | |
| E75 系列-熔敷金属抗拉强度 $\geq 740\text{MPa}$ (75kgf/mm ²) | | | |
| E7515-× | 低氢钠型 | 平、立、仰、横 | 直流反接 |
| E7516-× | 低氢钾型 | | 交流或直流反接 |
| E7518-× | 铁粉低氢型 | | |
| E80 系列-熔敷金属抗拉强度 $\geq 780\text{MPa}$ (80kgf/mm ²) | | | |
| E8015-× | 低氢钠型 | 平、立、仰、横 | 直流反接 |
| E8016-× | 低氢钾型 | | 交流或直流反接 |
| E8018-× | 铁粉低氢型 | | |
| E85 系列-熔敷金属抗拉强度 $\geq 830\text{MPa}$ (85kgf/mm ²) | | | |
| E8515-× | 低氢钠型 | 平、立、仰、横 | 直流反接 |
| E8516-× | 低氢钾型 | | 交流或直流反接 |
| E8518-× | 铁粉低氢型 | | |

(续)

| 焊条型号 | 药皮类型 | 焊接位置 | 电流种类 |
|--|-------|---------|---------|
| E90 系列-熔敷金属抗拉强度 $\geq 880\text{MPa}(90\text{kgf}/\text{mm}^2)$ | | | |
| E9015- \times | 低氢钠型 | 平、立、仰、横 | 直流反接 |
| E9016- \times | 低氢钾型 | | 交流或直流反接 |
| E9018- \times | 铁粉低氢型 | | |
| E100 系列-熔敷金属抗拉强度 $\geq 980\text{MPa}(100\text{kgf}/\text{mm}^2)$ | | | |
| E10015- \times | 低氢钠型 | 平、立、仰、横 | 直流反接 |
| E10016- \times | 低氢钾型 | | 交流或直流反接 |
| E10018- \times | 铁粉低氢型 | | |

注：1. 后缀字母 \times 代表熔敷金属化学成分分类代号如 A1、B1、E2 等（见表 2-10）。

2. 焊接位置栏中文字涵义：平——平焊；立——立焊；仰——仰焊；横——横焊；平角焊——水平角焊。

3. 表中立和仰系指适用于立焊和仰焊的直径不大于 4.0mm 的 E \times 15- \times 、E \times 16- \times 及 E \times 18- \times 型及直径不大于 5.0mm 的其他型号焊条。

2.1.4 不锈钢焊条型号的划分

1. 型号分类

(1) 焊条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型号，见表 2-11、表 2-12。

表 2-11 熔敷金属化学成分（质量分数，%）（GB/T 983—1995）

| 化学成分 焊条型号 | C | Cr | Ni | Mo | Mn | Si | P | S | Cu | 其他 | | | |
|-------------------------|---------------|---------------|--------------|-------------|---------------|------|-------|-------|------|----------------------------|---------------|---------------|-------------|
| E209- $\times\times$ | 0.60 | 20.5~ 24.0 | 9.5~ 12.0 | 1.5~ 3.0 | 4.0~ 7.0 | 0.90 | | | | N:0.10~0.30 V:0.10~0.30 | | | |
| E219- $\times\times$ | | 19.0~ 21.5 | 5.5~ 7.0 | 0.75 | 8.0~ 10.0 | 1.00 | | | | | | | N:0.10~0.30 |
| E240- $\times\times$ | | 17.0~ 19.0 | 4.0~ 6.0 | | 10.5~ 13.5 | | | | | | | | |
| E307- $\times\times$ | 0.04~ 0.14 | 18.0~ 21.5 | 9.0~ 10.7 | 0.5~ 1.5 | 3.30~ 4.75 | 0.90 | 0.040 | 0.030 | 0.75 | — | | | |
| E308- $\times\times$ | 0.08 | 18.0~ 21.0 | 9.0~ 11.0 | 0.75 | 0.5~ 2.5 | | | | | | | | |
| E308H- $\times\times$ | 0.04~ 0.08 | | | | | | | | | | | | |
| E308L- $\times\times$ | 0.04 | | | | | | | | | | | | |
| E308Mo- $\times\times$ | 0.08 | | | | | | | | | | | | |
| E308MoL- $\times\times$ | 0.04 | | | | | | | | | | | | |
| E309- $\times\times$ | 0.15 | | | | | | | | | | 22.0~ 25.0 | 12.0~ 14.0 | 0.75 |

(续)

| 化学成分 焊条型号 | C | Cr | Ni | Mo | Mn | Si | P | S | Cu | 其他 |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|------|-------|-------|-------------|--------------|
| E309L-×× | 0.04 | | | | | | | | | — |
| E309Nb-×× | 0.12 | 22.0~ 25.0 | 12.0~ 14.0 | 0.75 | 0.5~ 2.5 | 0.90 | 0.040 | | | Nb:0.70~1.00 |
| E309Mo-×× | | | | 2.0~ 3.0 | | | | | | |
| E309MoL-×× | | | | 0.04 | | | | | | |
| E310-×× | 0.08~ 0.20 | 25.0~ 28.0 | 20.0~ 22.5 | 0.75 | 1.0~ 2.5 | 0.75 | 0.030 | | 0.75 | — |
| E310H-×× | 0.35~ 0.45 | | | | | | | | | |
| E310Nb-×× | 0.12 | | 20.0~ 22.0 | | | | | | | |
| E310Mo-×× | | | 2.0~ 3.0 | | | | | | | |
| E312-×× | 0.15 | 28.0~ 32.0 | 8.0~ 10.5 | 0.75 | | | | | | |
| E316-×× | 0.08 | 17.0~ 20.0 | 11.0~ 14.0 | 2.0~ 3.0 | | | | 0.030 | | — |
| E316H-×× | 0.04~ 0.08 | | | | | | | | | |
| E316L-×× | 0.04 | | | | | | | | | |
| E317-×× | 0.08 | 18.0~ 21.0 | 12.0~ 14.0 | 3.0~ 4.0 | 0.5~ 2.5 | 0.90 | | | | — |
| E317L-×× | 0.04 | | | | | | | | | |
| E317MoCu-×× | 0.08 | | | 2.0~ 2.5 | | | | | | |
| E317MoCuL-×× | 0.04 | | | | | | | | | |
| E318-×× | 0.08 | 17.0~ 20.0 | 11.0~ 14.0 | 2.0~ 3.0 | | | | | 0.75 | Nb:6×C~1.00 |
| E318V-×× | | 2.0~ 2.5 | | | | | | | | |
| E320-×× | 0.07 | 19.0~ 21.0 | 32.0~ 36.0 | 2.0~ 3.0 | 1.5~ 2.5 | 0.60 | 0.040 | | 3.0~ 4.0 | Nb:8×C~1.00 |
| E320LR-×× | 0.03 | | | | | | | | | |
| E330-×× | 0.18~ 0.25 | 14.0~ 17.0 | 33.0~ 37.0 | 0.75 | 1.0~ 2.5 | 0.90 | 0.040 | 0.030 | 0.75 | — |
| E330H-×× | 0.35~ 0.45 | | | | | | | | | |
| E330MoMn WNb-×× | 0.20 | 15.0~ 17.0 | | 2.0~ 3.0 | | | | | | 3.5 |

(续)

| 化学成分 焊条型号 | C | Cr | Ni | Mo | Mn | Si | P | S | Cu | 其他 |
|--------------|------|-----------------|---------------|---------------|---------------|------|-------|-------|---------------|---|
| E347-×× | 0.08 | | 9.0~ 11.0 | 0.75 | | | | | | Nb: 8×C~1.00 |
| E349-×× | 0.13 | 18.0~ 21.0 | 8.0~ 10.0 | 0.35~ 0.65 | 0.5~ 2.5 | 0.90 | 0.040 | 0.030 | 0.75 | Nb: 0.75~1.20 V: 0.10~0.30 Ti: 0.15 W: 1.25~1.75 |
| E383-×× | | 26.5~ 29.0 | 30.0~ 33.0 | 3.2~ 4.2 | | | 0.020 | | 0.6~ 1.5 | |
| E385-×× | 0.03 | 19.5~ 21.5 | 24.0~ 26.0 | 4.2~ 5.2 | 1.0~ 2.5 | 0.75 | 0.030 | 0.020 | 1.2~ 2.0 | |
| E410-×× | 0.12 | 11.0~ 13.5 | 0.7 | 0.75 | | | | | | |
| E410NiMo-×× | 0.06 | 11.0~ 12.5 | 4.0~ 5.0 | 0.40~ 0.70 | | | | | | — |
| E430-×× | | 15.0~ 18.0 | 0.6 | 0.75 | 1.0 | 0.90 | | 0.030 | 0.75 | |
| E502-×× | 0.10 | 4.0~ 6.0 | | 0.45~ 0.65 | | | 0.040 | | | |
| E505-×× | | 8.0~ 10.5 | 0.4 | 0.85~ 1.20 | | | | | | |
| E630-×× | 0.05 | 16.00~ 16.75 | 4.5~ 5.0 | 0.75 | 0.25~ 0.75 | 0.75 | | | 3.25~ 4.00 | Nb: 0.15~0.30 |
| E16-8-2-×× | 0.10 | 14.5~ 16.5 | 7.5~ 9.5 | 1.0~ 2.0 | 0.5~ 2.5 | 0.60 | 0.030 | | 0.75 | — |
| E16-25MoN-×× | 0.12 | 14.0~ 18.0 | 22.0~ 27.0 | 5.0~ 7.0 | | | 0.035 | | 0.5 | N≥0.1 |
| E7Cr-×× | 0.10 | 6.0~ 8.0 | 0.40 | 0.45~ 0.65 | 1.0 | | 0.040 | | 0.75 | — |
| E5MoV-×× | 0.12 | 4.5~ 6.0 | | 0.40~ 0.70 | 0.5~ 0.9 | | | | | V: 0.10~0.35 |
| E9Mo-×× | 0.15 | 8.5~ 10.0 | | 0.70~ 1.00 | | | | 0.030 | | — |
| E11MoVNi-×× | | 9.5~ 11.5 | 0.60~ 0.90 | 0.60~ 0.90 | 0.5~ 1.0 | 0.50 | 0.035 | | 0.5 | V: 0.20~0.40 |
| E11MoVNiW-×× | 0.19 | 9.5~ 12.0 | 0.40~ 1.10 | 0.80~ 1.00 | | | | | | V: 0.20~0.40 W: 0.40~0.70 |
| E2209-×× | 0.04 | 21.5~ 23.5 | 8.5~ 10.5 | 2.5~ 3.5 | 0.5~ 2.0 | 0.90 | | | 0.75 | N: 0.08~0.20 |
| E2553-×× | 0.06 | 24.0~ 27.0 | 6.5~ 8.5 | 2.9~ 3.9 | 0.5~ 1.5 | 1.0 | 0.040 | | 1.5~ 2.5 | N: 0.10~0.25 |

- 注: 1. 表中单值均为最大值。
 2. 当对表中给出的元素进行化学分析还存在其他元素时, 这些元素的总量(质量分数)不得超过0.5% (铁除外)。
 3. 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。
 4. E502、E505、E7Cr、E5Mo、E9Mo型焊条将放入下次修订的GB 5118《低合金钢焊条》标准中, 而从本标准中删除。
 5. 后缀-××表示-15、-16、-17、-25或-26。

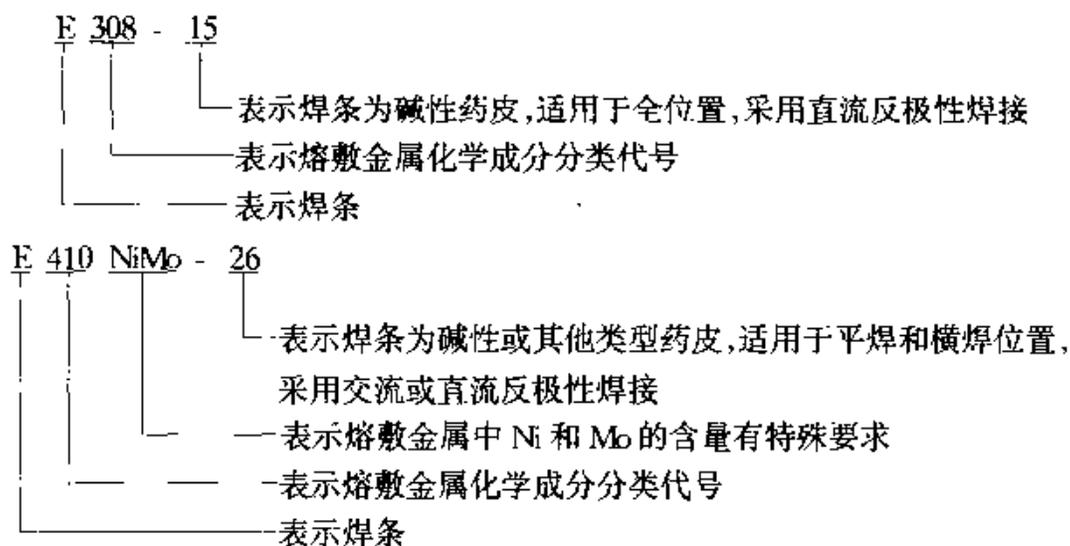
表 2-12 焊接电流及焊接位置 (GB/T 983—1995)

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

注：直径等于和大于 5.0mm 焊条不推荐全位置焊接。

(2) 型号编制方法 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焊条药皮类型、焊接位置及焊接电流种类。

(3) 按标准中焊条型号举例如下：



2. 尺寸

(1) 焊条尺寸应符合表 2-13 规定。

(2) 焊条夹持端长度应符合表 2-9 规定。

3. 不锈钢管道焊条使用性能

(1) E502 通常用于焊接相同类型的不锈钢管材。焊接接头属于空冷淬硬型材料。焊接时,通常需要进行预热和后热处理。

(2) E505 通常用于焊接相同类型不锈钢管材。焊接接头属于空冷淬硬型材料。焊接时,通常需要进行预热和后热处理。

表 2-13 焊条尺寸 (GB/T 983—1995)

(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, 2.0 | -0.08 | 220~260 | ±2.0 |
| 2.5 | | 230~350 | |
| 3.2 | | 300~460 | |
| 4.0, 5.0, 6.0 | | 340~460 | |

(3) E16-8-2 通常用于焊接高温、高压不锈钢管路。熔敷金属铁素体含量一般在 5% (体积分数) 以下。焊缝具有良好的热塑性能, 即使在较大的拘束条件下, 仍具有较强的抗裂能力, 并且不论在焊后状态下还是在固溶处理后都具有较好的性能。腐蚀试验表明 E16-8-2 型焊条的耐腐蚀性能稍差于 0Cr17Ni12Mo2 型不锈钢。当焊缝在强腐蚀介质中工作时, 与介质相接触的焊道应使用更抗腐蚀的焊条进行焊接。

(4) E7Cr 通常用于焊接相同类型管材或铸件, 焊接接头属于空冷淬硬型材料, 为了保证良好的焊接性, 焊接时, 通常需要进行预热和后热处理。

(5) E5MoV 通常用于焊接 Cr5Mo 型珠光体耐热钢, 如在 400°C 以下工作的高温抗腐蚀管道等。焊缝金属具有良好的高温抗氢腐蚀能力。焊接时, 通常需要进行预热和后热处理。

(6) E9Mo 通常用于焊接相同类型的管材或铸件。焊接接头属于空冷淬硬型材料。焊接时, 通常需要进行预热和后热处理。

(7) E11MoVNiW 通常用于焊接工作温度在 580°C 以下的 Cr11MoVW 型热强钢过热器及蒸汽管道等。焊缝金属具有良好的耐热性能, 焊接时, 通常需要进行预热和后热处理。

2.1.5 铜及铜合金焊条

铜及铜合金焊条的型号是按熔敷金属的化学成分来划分的 (参见 GB/T 3670—1995), 熔敷金属的化学成分列于表 2-14, 熔敷金属的力学性能和硬度要求列于表 2-15。铜及铜合金焊条型号对照表, 见表 2-16。

2.1.6 铝及铝合金焊条

1. 型号分类

表 2-14 熔敷金属的化学成分 (质量分数%) (GB/T 3670—1995)

| 型 号 | Cu | Si | Mn | Fe | Al | Sn | Ni | P | Pb | Zn | f成分合计 |
|-----------|-------|---------|-----------|---------|----------|---------|-----------|-------|------|----|-------|
| ECu | >95.0 | 0.5 | | f | | | | | | | |
| ECuSi-A | >93.0 | 1.0~2.0 | 3.0 | — | | — | | | | | |
| ECuSi-B | >92.0 | 2.5~4.0 | | | f | | | 0.30 | | | |
| ECuSn-A | | f | | f | | 5.0~7.0 | f | | 0.02 | | |
| ECuSn-B | | | | | | 7.0~9.0 | | | | | |
| ECuAl-A2 | | | f | 0.5~5.0 | 6.5~9.0 | | | | | | |
| ECuAl-B | | 1.5 | | 2.5~5.0 | 7.0~10.0 | f | | — | | f | 0.50 |
| ECuAl-C | 余量 | 1.0 | 2.0 | 1.5 | 6.5~10.0 | | 0.5 | | | | |
| ECuNi-A | | 0.5 | 2.5 | 2.5 | 10.5 | — | 9.0~11.0 | 0.020 | 0.02 | f | |
| ECuNi-B | | | | | | | 29.0~33.0 | | | | |
| ECuAlNi | | 1.0 | 2.0 | 2.0~6.0 | 7.0~10.0 | | 2.0 | | | | |
| ECuMnAlNi | | | 11.0~13.0 | | 5.0~7.5 | f | 1.0~2.5 | | 0.02 | | |

注：1. 表中所示单个值均为最大值。

2. ECuNi-A 和 ECuNi-B 类 S 应控制在 0.015% (质量分数) 以下。

3. 字母 f 表示微量元素。

4. Cu 元素中允许含 Ag。

表 2-15 熔敷金属的力学性能与硬度

| 型 号 | σ_b /MPa | δ_5 (%) | 硬度 HB |
|---------|-----------------|----------------|------------|
| ECu | ≥ 175 | ≥ 20 | — |
| ECuSi | ≥ 245 | ≥ 22 | — |
| ECuSnA | ≥ 245 | ≥ 15 | — |
| ECuSnB | ≥ 275 | ≥ 12 | — |
| ECuAlC | ≥ 390 | ≥ 15 | ≥ 100 |
| ECuMnAl | ≥ 540 | ≥ 10 | ≥ 160 |

表 2-16 铜及铜合金焊条型号对照表

| GB/T 3670—1995 | AWS A5.6—84 | JIS Z3231—89 |
|----------------|-------------|--------------|
| ECu | ECu | DCu |
| ECuSi-A | — | DCuSiA |
| ECuSi-B | ECuSi | DCuSiB |
| ECuSn-A | ECuSn-A | DCuSnA |
| ECuSn-B | ECuSn-C | DCuSnB |
| ECuAl-A2 | ECuAl-A2 | — |
| ECuAl-B | ECuAl-B | — |
| ECuAl-C | — | DCuAl |
| ECuNi-A | — | DCuNi-1 |
| ECuNi-B | ECuNi | DCuNi-3 |
| ECuAlNi | ECuNiAl | DCuAlNi |
| ECuMnAlNi | ECuMnNiAl | — |

(1) 焊条型号根据焊芯的化学成分和焊接接头力学性能划分。

(2) 型号编制方法

字母“E”表示焊条，E后面的数字表示焊芯用的铝及铝合金牌号。
见表 2-17。

表 2-17 焊条供应的牌号、状态、规格 (GB/T 3197—2001)

| 牌 号 | 状 态 | 直 径 /mm |
|---------------------------------|-------|-------------|
| 1070A、1060、1050A、1035、1200、8A06 | H18、O | 0.80~10.00 |
| | H14、O | >3.00~10.00 |
| 2A14、2A16、3A21、4A01、5A02、5A03 | H18、O | >0.80~10.00 |
| | H14、O | |
| | H12、O | >7.00~10.00 |
| 5A05、5B05、5A06、5B06、5A33、5183 | H18、O | 0.80~7.00 |
| | H14、O | |
| | H12、O | >7.00~10.00 |

注：经双方协商，可提供表中规定之外的焊条线。

完整的焊条型号举例如下：

E 1100

表示焊芯用的铝及铝合金牌号见表 2-18。

表示焊条

(3) 凡列入一种型号中的焊条，不能再列入其他型号中。

(续)

| 序号 | 牌号 | 化学成分(质量分数,%) | | | | | | | | | | | | | | 备注 |
|----|------|--------------|------|------|----------------------|-------------|---------------|----|----------------|---------------------|---------------|---------------|------|------|----|------|
| | | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Ni | Zn | | Ti | Zr | 其他 | | Al | |
| | | | | | | | | | | | | | 单个 | 合计 | | |
| 15 | 4A01 | 4.5~ 6.0 | 0.6 | 0.20 | — | — | — | — | Zn+Sn: 0.10 | — | 0.15 | — | 0.05 | 0.15 | 余量 | LT1 |
| 16 | 5A02 | 0.40 | 0.40 | 0.10 | 或Cr 0.15~ 0.40 | 2.0~ 2.8 | — | — | — | Si+Fe:0.6 | 0.15 | — | 0.05 | 0.15 | 余量 | LF2 |
| 17 | 5A03 | 0.50~ 0.8 | 0.50 | 0.10 | 0.30~ 0.6 | 3.2~ 3.8 | — | — | 0.20 | — | 0.15 | — | 0.05 | 0.10 | 余量 | LF3 |
| 18 | 5A05 | 0.50 | 0.50 | 0.10 | 0.30~ 0.6 | 4.8~ 5.5 | — | — | 0.20 | — | — | — | 0.05 | 0.10 | 余量 | LF5 |
| 19 | 5E05 | 0.40 | 0.40 | 0.20 | 0.20~ 0.6 | 4.7~ 5.7 | — | — | — | Si+Fe:0.6 | 0.15 | — | 0.05 | 0.10 | 余量 | LF10 |
| 20 | 5A06 | 0.40 | 0.40 | 0.10 | 0.50~ 0.8 | 5.8~ 6.8 | — | — | 0.20 | Be:0.0001~ 0.005 | 0.02~ 0.10 | — | 0.05 | 0.10 | 余量 | LF6 |
| 21 | 5E06 | 0.40 | 0.40 | 0.10 | 0.50~ 0.8 | 5.8~ 6.8 | — | — | 0.20 | Be:0.0001~ 0.005 | 0.10~ 0.30 | — | 0.05 | 0.10 | 余量 | LF14 |
| 22 | 5A33 | 0.35 | 0.35 | 0.10 | 0.10 | 6.0~ 7.5 | — | — | 0.50~ 1.6 | Be:0.0005~ 0.005 | 0.05~ 0.15 | 0.10~ 0.30 | 0.05 | 0.10 | 余量 | LF33 |
| 23 | 5183 | 0.40 | 0.40 | 0.10 | 0.50~ 1.0 | 4.3~ 5.2 | 0.05~ 0.25 | — | — | ① | 0.15 | — | 0.05 | 0.15 | 余量 | — |
| 24 | 8A06 | 0.55 | 0.50 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | — | — | 0.10 | Fe+Si:1.0 | — | — | 0.05 | 0.15 | 余量 | L6 |

① 用于电焊条和堆焊时, 铍含量不大于0.0008%。

2. 焊条的简要说明

(1) E1100 焊缝金属具有塑性高, 导电性好, 最低抗拉强度为 80MPa。E1100 焊条用于焊接 1100 和其他工业用的纯铝合金。

(2) E3003 焊缝金属塑性高, 最低抗拉强度为 95MPa。E3003 焊条用于焊接 1100 和 3003 铝合金。

(3) E4043 焊条含有 $w(\text{Si})$ 大约 5%, 它在焊接温度下具有极好的流动性, 因此对于一般用途的焊接更为有利。E4043 焊条的焊缝金属塑性相当好, 最低抗拉强度为 95MPa。可用于焊接 6××× 系列铝合金、5××× 系列 ($w(\text{Mg})$ 在 2.5% 以下) 铝合金和铝-硅铸造合金, 以及 1100、3003 铝合金。

(4) 许多铝合金的应用, 要求焊缝具有耐腐蚀性能。在这种情况下, 选择焊条的成分应尽可能接近母材的成分。对于这种用途的焊条, 除了母材为 1100 铝合金和 3003 铝合金以外, 一般来说, 都需要特殊定货。采用气体保护电弧焊方法更为有利, 因为用气体保护电弧焊容易得到成分范围较宽的填充金属。

2.2 焊丝

焊丝用作焊条芯, 作为电极与填充金属, 还用作气焊、钨极氩弧焊、等离子弧焊的填充金属及埋弧焊、 CO_2 气体保护焊、熔化极氩弧焊和电渣焊的电极与填充金属。

2.2.1 钢焊丝

1. 熔焊用钢丝 (简称焊丝)

(1) 尺寸及其允许偏差 见表 2-19。

表 2-19 钢丝直径及其允许偏差 (GB/T 14957—1994) (mm)

| 公称直径 | 允许偏差 | |
|------|-------|-------|
| | 普通精度 | 较高精度 |
| 1.6 | -0.10 | -0.06 |
| 2.0 | | |
| 2.5 | | |
| 3.0 | | |
| 3.2 | -0.12 | -0.08 |
| 4.0 | | |
| 5.0 | | |
| 5.0 | | |
| 6.0 | | |

(2) 重量 见表 2-20。

表 2-20 熔焊用钢丝重量

| 公称直径 | 捆(盘)的内径 不小于/mm | 每捆(盘)的重量/kg(不小于) | | | |
|--------------------------|-------------------|------------------|-----|-------|-----|
| | | 碳素结构钢 | | 合金结构钢 | |
| | | 一 般 | 最 小 | 一 般 | 最 小 |
| 1.6 2.0 2.5 3.0 | 350 | 30 | 15 | 10 | 5 |
| 3.2 4.0 5.0 6.0 | 400 | 40 | 20 | 15 | 8 |

(3) 钢丝的牌号及化学成分 见表 2-21。

2.2.2 非铁金属焊丝

非铁金属焊丝可分为：铜及铜合金焊丝、铝及铝合金焊丝。

1. 铜及铜合金焊丝

铜及铜合金焊丝常用于铜及铜合金的氩弧焊和气焊，其中黄铜焊丝也用于钎焊碳钢、铸铁及硬质合金刀具等。

铜及铜合金焊丝的牌号与性能见表 2-22。牌号中“HS”表示非铁金属及铸铁焊丝，“HS”后面第一个数字表示焊丝的化学组成类型，“2”表示是铜及铜合金类型，最后两个数字是牌号编号。焊丝直径一般有 1mm、2mm、3mm、4mm、5mm、6mm 等规格，HS201（丝 201）焊丝还有 1.5mm 和 2.5mm 两种规格。

铜及铜合金焊丝牌号与化学成分见表 2-23。

焊丝表面每隔一定距离应打印表示牌号的代号或相应的颜色，如表 2-24 所示。每根直焊丝表面至少印一个代号，涂色应涂在端面或距端面小于 30mm 处。

2. 铝及铝合金焊丝

铝及铝合金焊丝用于氩弧焊和气焊，作为填充金属。

表 2-21 焊接用钢丝牌号及成分(GB/T 14957—1994)

| 钢种 | 序号 | 牌 号 | 化学成分(质量分数,%) | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----|--------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|---------------|---|----|----|---|-------|-----------------|-------|-------|
| | | | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | V | Cu | 其他 | S | P | | | |
| 碳素结构钢 | 1 | H08A | ≤0.10 | 0.30~ 0.55 | ≤0.03 | ≤0.20 | ≤0.30 | | | | | | ≤0.20 | | 0.030 | 0.030 |
| | 2 | H08E | ≤0.10 | 0.30~ 0.55 | ≤0.03 | ≤0.20 | ≤0.30 | | | | | | ≤0.20 | | 0.020 | 0.020 |
| | 3 | H08C | ≤0.10 | 0.30~ 0.55 | ≤0.03 | ≤0.10 | ≤0.10 | | | | | | ≤0.20 | | 0.015 | 0.015 |
| | 4 | H08MnA | ≤0.10 | 0.80~ 1.10 | ≤0.07 | ≤0.20 | ≤0.30 | | | | | | ≤0.20 | | 0.030 | 0.030 |
| | 5 | H15A | 0.11~ 0.18 | 0.35~ 0.65 | ≤0.03 | ≤0.20 | ≤0.30 | | | | | | ≤0.20 | | 0.030 | 0.030 |
| | 6 | H15Mn | 0.11~ 0.18 | 0.80~ 1.10 | ≤0.03 | ≤0.20 | ≤0.30 | | | | | | ≤0.20 | | 0.035 | 0.035 |
| 合金结构钢 | 7 | H10Mn2 | ≤0.12 | 1.50~ 1.90 | ≤0.07 | ≤0.20 | ≤0.30 | | | | | | ≤0.20 | | 0.035 | 0.035 |
| | 8 | H08Mn2Si | ≤0.11 | 1.70~ 2.10 | 0.65~ 0.95 | ≤0.20 | ≤0.30 | | | | | | ≤0.20 | | 0.035 | 0.035 |
| | 9 | H08Mn2SiA | ≤0.11 | 1.80~ 2.10 | 0.65~ 0.95 | ≤0.20 | ≤0.30 | | | | | | ≤0.20 | | 0.030 | 0.030 |
| | 10 | H10MnSi | ≤0.14 | 0.80~ 1.10 | 0.60~ 0.90 | ≤0.20 | ≤0.30 | | | | | | ≤0.20 | | 0.035 | 0.035 |
| | 11 | H10MnSiMo | ≤0.14 | 0.90~ 1.20 | 0.70~ 1.10 | ≤0.20 | ≤0.30 | 0.15~ 0.25 | | | | | ≤0.20 | | 0.035 | 0.035 |
| | 12 | H10MnSiMoTiA | 0.08~ 0.12 | 1.00~ 1.30 | 0.40~ 0.70 | ≤0.20 | ≤0.30 | 0.20~ 0.40 | | | | | ≤0.20 | Ti0.05~ 0.15 | 0.025 | 0.030 |

(续)

| 钢种 | 序号 | 牌 号 | 化学成分(质量分数,%) | | | | | | | | | | |
|----|----|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-----------------|-------|-------|
| | | | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | V | Cu | 其他 | S | P |
| | 13 | H08MnMoA | ≤0.10 | 1.20~ 1.60 | ≤0.25 | ≤0.20 | ≤0.30 | 0.30~ 0.50 | | ≤0.20 | Ti0.15 (加入量) | 0.030 | 0.030 |
| | 14 | H08Mn2MoA | 0.06~ 0.11 | 1.60~ 1.90 | ≤0.25 | ≤0.20 | ≤0.30 | 0.50~ 0.70 | | ≤0.20 | Ti0.15 (加入量) | 0.030 | 0.030 |
| | 15 | H10Mn2MoA | 0.08~ 0.13 | 1.70~ 2.00 | ≤0.40 | ≤0.20 | ≤0.30 | 0.60~ 0.80 | | ≤0.20 | Ti0.15 (加入量) | 0.030 | 0.030 |
| | 16 | H08Mn2MoVA | 0.06~ 0.11 | 1.60~ 1.90 | ≤0.25 | ≤0.20 | ≤0.30 | 0.50~ 0.70 | 0.06~ 0.12 | ≤0.20 | Ti0.15 (加入量) | 0.030 | 0.030 |
| | 17 | H10Mn2MoVA | 0.08~ 0.13 | 1.70~ 2.00 | ≤0.40 | ≤0.20 | ≤0.30 | 0.60~ 0.80 | 0.06~ 0.12 | ≤0.20 | Ti0.15 (加入量) | 0.030 | 0.030 |
| | 18 | H08CrMoA | ≤0.10 | 0.40~ 0.70 | 0.15~ 0.35 | 0.80~ 1.10 | ≤0.30 | 0.40~ 0.60 | | ≤0.20 | | 0.030 | 0.030 |
| | 19 | H13CrMoA | 0.11~ 0.16 | 0.40~ 0.70 | 0.15~ 0.35 | 0.80~ 1.10 | ≤0.30 | 0.40~ 0.60 | | ≤0.20 | | 0.030 | 0.030 |
| | 20 | H18CrMoA | 0.15~ 0.22 | 0.40~ 0.70 | 0.15~ 0.35 | 0.80~ 1.10 | ≤0.30 | 0.15~ 0.25 | | ≤0.20 | | 0.025 | 0.030 |
| | 21 | H08CrMoVA | ≤0.10 | 0.40~ 0.70 | 0.15~ 0.35 | 1.00~ 1.30 | ≤0.30 | 0.50~ 0.70 | 0.15~ 0.35 | ≤0.20 | | 0.030 | 0.030 |
| | 22 | H08CrNi2MoA | 0.05~ 0.10 | 0.50~ 0.85 | 0.10~ 0.30 | 0.70~ 1.00 | 1.40~ 1.80 | 0.20~ 0.40 | | ≤0.20 | | 0.025 | 0.030 |
| | 23 | H30CrMnSiA | 0.25~ 0.35 | 0.80~ 1.10 | 0.90~ 1.20 | 0.80~ 1.10 | ≤0.30 | | | ≤0.20 | | 0.025 | 0.025 |
| | 24 | H10MoCrA | ≤0.12 | 0.40~ 0.70 | 0.15~ 0.35 | 0.45~ 0.65 | ≤0.30 | 0.40~ 0.60 | | ≤0.20 | | 0.030 | 0.030 |

合金结构钢

注: 根据供需双方协议, 也可供给表以外的牌号。

表 2-22 铜及铜合金焊丝的牌号与性能

| 牌 号 | 名 称 | 熔点 /°C | 接头抗拉强度 /MPa(kgf/mm ²) | | | 符合 GB/T 9460— 1988 的牌号 | 用 途 |
|------------------|------------|-----------|--------------------------------------|-------------|---------|---------------------------------|---|
| | | | 工艺条件 | 保证值 | 一般结果 | | |
| HS201 (丝 201) | 特制纯铜 焊丝 | 1050 | 无氧铜 或脱氧铜 氩弧焊 | 196 (20) | (20~23) | HSCu | 铜氩弧焊及氧乙炔 气焊的填充材料。焊 接工艺性能优良,力 学性能高,抗裂性好 |
| HS202 (丝 202) | 低磷 铜焊丝 | 1060 | 无氧铜 或脱氧铜 气焊 | | (15~18) | | 用于铜的氧乙炔气 焊作为填充金属 |
| HS220 (丝 220) | 锡黄铜 焊丝 | 886 | | | | HSCuZn-2 | 适用于黄铜的气 焊、氩弧焊作为填充 材料,也可用于钎焊 铜、铜合金、铜镍合金 |
| HS221 (丝 221) | 锡黄铜 焊丝 | 890 | H62 黄铜 气焊 | 333 (34) | (40~45) | 相当于 HSCuZn-3 | 黄铜气焊的填充材 料,也广泛用于钎焊 铜、钢、铜镍合金、灰 铸铁及硬质合金刀具 等 |
| HS222 (丝 222) | 铁黄铜 焊丝 | 860 | H62 黄铜 气焊 | 333 (34) | (40~45) | HSCuZn-2 | 同 HS221 |
| HS224 (丝 224) | 硅黄铜 焊丝 | 905 | H62 黄铜 气焊 | 333 (34) | (40~45) | HSCuZn-4 | 同 HS221 |

表 2-23 铜及铜合金焊丝牌号与化学成分 (GB/T 9460—1988)

| 牌 号 | 化学成分(质量分数,%) | | | | | |
|----------|--------------|-------|---------|-----------|-------------------|-------------------|
| | Cu | Zn | Sn | Si | Mn | Ni |
| HSCu | ≥98.0 | * | ≤1.0 | ≤0.5 | ≤0.5 | * |
| HSCuZn-1 | 57.0~61.0 | 余 量 | 0.5~1.5 | — | — | — |
| HSCuZn-2 | 56.0~60.0 | | 0.8~1.1 | 0.04~0.15 | 0.01~0.50 | — |
| HSCuZn-3 | 56.0~62.0 | | 0.5~1.5 | 0.1~0.5 | ≤1.0 ^② | ≤1.5 ^② |
| HSCuZn-4 | 61.0~63.0 | | — | 0.3~0.7 | — | — |
| HSCuZnNi | 46.0~50.0 | | — | — | ≤0.25 | — |
| HSCuNi | 余 量 | * | * | ≤0.15 | ≤1.0 | 29.0~32.0 |
| HSCuSi | | ≤1.5 | ≤1.1 | 2.8~4.0 | ≤1.5 | * |
| HSCuSn | | * | 6.0~9.0 | * | * | * |
| HSCuAl | | ≤0.10 | — | ≤0.10 | ≤2.0 | — |
| HSCuAlNi | | ≤0.10 | — | — | 0.5~3.0 | 0.5~3.0 |

(续)

| 牌 号 | 化学成分(质量分数,%) | | | | | | 杂质元素总和 ^① |
|----------|-------------------|-----------|--------|---------|---------|-------|---------------------|
| | Fe | P | Pb | Al | Ti | S | |
| HSCu | * | ≤0.15 | ≤0.02 | ≤0.01* | | | ≤0.50 |
| HSCuZn-1 | — | — | ≤0.05 | — | — | — | |
| HSCuZn-2 | 0.25~1.20 | | | ≤0.01 | | | |
| HSCuZn-3 | ≤0.5 ^② | | | — | | | |
| HSCuZn-4 | — | | | — | | | |
| HSCuZnNi | — | ≤0.25 | ≤0.05* | ≤0.02* | | | |
| HSCuNi | 0.40~0.75 | ≤0.02 | * | — | 0.2~0.5 | ≤0.01 | |
| HSCuSi | ≤0.5 | * | | ≤0.01* | | | |
| HSCuSn | * | 0.10~0.35 | ≤0.20* | 7.0~9.0 | | | |
| HSCuAl | — | * | | | | | |
| HSCuAlNi | ≤2.0 | | | | | | |

① 杂质元素总和包括带*号的元素。微量元素可以不分析。

② 在规定的范围内允许制造厂选择加入。

表 2-24 铜及铜合金焊丝的代号和识别颜色

| 牌 号 | 代 号 | 识 别 颜 色 |
|----------|-----|---------|
| HSCu | 201 | 浅灰 |
| HSCuZn-1 | 221 | 大 红 |
| HSCuZn-2 | 222 | 苹果绿 |
| HSCuZn-3 | 223 | 紫 蓝 |
| HSCuZn-4 | 224 | 黑 色 |
| HSCuZnNi | 231 | 棕 色 |
| HSCuNi | 234 | 中 黄 |
| HSCuSi | 211 | 紫 红 |
| HSCuSn | 212 | 粉 红 |
| HSCuAl | 213 | 中 蓝 |
| HSCuAlNi | 214 | 中 绿 |

铝及铝合金焊丝牌号见表 2-25。焊丝牌号中“HS”后面第一个数字“3”表示铝及铝合金焊丝，“HS”后面第二个数字中，“0”表示是纯铝焊丝，“1”表示是铝硅合金焊丝，“2”表示是铝锰合金焊丝，“3”表示是铝镁合金焊丝，牌号中最后一个数字是牌号编号。焊丝直径有 1mm、2mm、3mm、4mm、5mm 和 6mm 等六种规格。

表 2-25 铝及铝合金焊丝

| 牌 号 | 名 称 | 熔 点 /°C | 接头抗拉强度 σ_b /MPa(kgf/mm ²) | | | 符 合 GB/T 10858— 1989 的牌号 | 用 途 |
|------------------|------------|-------------|---|--------------------|-----------------|-----------------------------------|---|
| | | | 条 件 | 保 证 值 | 一 般 结 果 | | |
| HS301 (丝 301) | 纯铝焊丝 | 660 | 纯铝气焊 | ≥ 63 (6.5) | (7~8) | SAI-3 | 纯铝及对接头性能要求不高的铝合金的氩弧焊和气焊,作为填充材料,广泛用于化学工业铝制设备上。 |
| HS311 (丝 311) | 铝硅合金 焊丝 | 580~ 610 | 3A21 (LF21) 铝硅合金 气焊 | ≥ 117 (12) | (12.5~ 14) | SAISi5 | 除铝镁合金以外的铝合金工件和铸件的氩弧焊和气焊 |
| HS321 (丝 321) | 铝锰合金 焊丝 | 643~ 654 | 3A21 (LF21) 铝锰合金 气焊 | ≥ 117 (12) | (12.5~ 13.5) | SAIMn1 | 铝锰及其他铝合金的氩弧焊和气焊 |
| HS331 (丝 331) | 铝镁合金 焊丝 | 638~ 660 | 5A05 (LF5) 铝镁合金 气焊 | ≥ 196 (20) | (27~30) | SAIMg5Ti | 铝镁合金氩弧焊和气焊。铝锌镁合金的焊接和铝镁铸件的补焊 |

铝及铝合金焊丝的化学成分见表 2-26。

表 2-26 铝及铝合金焊丝的化学成分 (GB/T 10858—1989)

| 类 别 | 名 称 | 牌 号 | 化 学 成 分 (质 量 分 数, %) | | | | | | | | | | | | |
|--------|------------|-------|----------------------|----|----|----|-----------|-----------|----|------|-------------|----|-------|--------------|-----|
| | | | 主 要 成 分 | | | | | | | | 杂 质 (不 大 于) | | | | |
| | | | Mg | Cr | Cu | Mn | Fe \leq | Si \leq | Ti | Al | Zn | Mg | Cu | 其他杂质 杂质总和 | |
| 纯 铝 | 二号纯 铝焊丝 | SAI-2 | | | | | 0.25 | 0.20 | | 99.6 | | | 0.01 | | 0.4 |
| | 三号纯 铝焊丝 | SAI-3 | | | | | 0.30 | 0.30 | | 99.5 | | | 0.015 | | 0.5 |
| | 四号纯 铝焊丝 | SAI-4 | | | | | 0.30 | 0.35 | | 99.3 | | | 0.05 | | 0.7 |

(续)

| 类别 | 名称 | 牌号 | 化学成分(质量分数,%) | | | | | | | | | | | 其他杂质 杂质总和 | | | |
|--------|-------------|----------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------------|-----------|-----------|-------------------|----|---------|------|-----|--------------|------|------|------|
| | | | 主要成分 | | | | | | | | 杂质(不大于) | | | | | | |
| | | | Mg | Cr | Cu | Mn | Fe \leq | Si \leq | Ti | Al | Zn | Mg | Cu | | | | |
| 铝 镁 | 铝镁 焊丝 2 | SAIMg2 | 2.0 ~ 2.8 | | | 或 Cr 0.15 ~ 0.4 | 0.4 | 0.4 | | | | 余量 | | | 0.1 | 0.1 | 0.8 |
| | 铝镁 焊丝 3 | SAIMg3 | 3.2 ~ 3.8 | | | 0.3 ~ 0.6 | 0.5 | 0.5 | | | | 余量 | 0.2 | | 0.05 | 0.1 | 0.85 |
| | 铝镁 锰焊丝 4 | SAIMg4Mn | 4.3 ~ 5.2 | 0.05 ~ 0.28 | | 0.5 ~ 1.0 | 0.4 | 0.4 | 0.15 | | 余量 | 0.25 | | | 0.1 | 0.1 | 1.0 |
| | 铝镁 焊丝 5 | SAIMg5 | 4.7 ~ 5.7 | | | 0.2 ~ 0.6 | 0.4 | 0.4 | | | | 余量 | | | 0.2 | 0.1 | 1.1 |
| | 铝镁 钛焊丝 5 | SAIMg5Ti | 4.8 ~ 5.5 | | | 0.3 ~ 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.02 ~ 0.20 | | 余量 | 0.2 | | | 0.05 | 0.1 | 1.35 |
| 铝 铜 | 铝铜 焊丝 6 | SAICu6 | | | 6.0 ~ 7.0 | | | | | | | 余量 | | | 0.1 | 1.05 | |
| 铝 锰 | 铝锰 焊丝 1 | SAIMn1 | | | | 1.0 ~ 1.6 | | | | | | 余量 | 0.2 | 0.05 | 0.2 | 0.1 | 1.75 |
| 铝 硅 | 铝硅 焊丝 5 | SAISi5 | | | | | | | 4.5 ~ 6.0 | | | 余量 | | | | 0.1 | 0.9 |

注: 1. 化学成分只分析主要成分, 但杂质成分必须控制。

2. Ti 含量可全部或部分地用其他细化晶粒的元素来代替。

2.3 焊接用气体的技术要求

工业用气的质量应符合表 2-27 至表 2-33 的规定。各种气瓶的涂色标记见表 2-34。

表 2-27 工业用氧的质量 (GB/T 3863—1995)

| 项 目 | | 指 标 | | |
|-----------|-------------------------|------|------|------|
| | | 优等品 | 一等品 | 合格品 |
| 氧含量(体积分数) | (%) \geq | 99.7 | 99.5 | 99.2 |
| 水分 | 游离水/(mL/瓶) \leq | — | 无游离水 | 100 |
| | 露点/ $^{\circ}$ C \leq | -43 | — | — |

注: 液态氧不规定水含量。

表 2-28 工业氮技术指标 (GB/T 3864—1996)

| 项 目 | 指 标 | | |
|----------------------|------|------|------|
| | 优等品 | 一等品 | 合格品 |
| 氮气纯度(体积分数, %) \geq | 99.5 | 99.5 | 98.5 |
| 氧含量(体积分数, %) \leq | 0.5 | 0.5 | 1.5 |

表 2-29 溶解乙炔的质量要求 (GB 6819—1989)

| 项 目 | 指 标 |
|----------------------|-------------|
| 乙炔纯度(体积分数, %) \geq | 98.0 |
| 磷化氢、硫化氢 | 10%硝酸银试纸不变色 |

表 2-30 工业氢的技术指标 (GB/T 3634—1995)

| 项 目 | 指 标 | | |
|---------------------|-------------------------------|-------|-------|
| | 优 等 品 | 一 等 品 | 合 格 品 |
| 氢纯度(体积分数, %) \geq | 99.90 | 99.50 | 99.00 |
| 氧含量(体积分数, %) \leq | 0.01 | 0.20 | 0.40 |
| 氮含量(体积分数, %) \leq | 0.04 | 0.30 | 0.60 |
| 氯 | 符合检验 | 符合检验 | 符合检验 |
| 碱 | 符合检验 | 符合检验 | 符合检验 |
| 水分 | 露点/ $^{\circ}\text{C}$ \leq | -43 | — |
| | 游离水/(mL/瓶) | — | 无 |

注: 1. 表中纯度和含量以体积分数表示。

2. 水电解法制取的氢不规定氯。

表 2-31 纯氮的质量要求 (GB/T 4842—1995)

| 项 目 | 指 标 |
|----------------------------|-------|
| 氮纯度(体积分数, %) \geq | 99.99 |
| 氢含量(体积分数, %) \leq | 5 |
| 氧含量(体积分数, %) \leq | 10 |
| 氮含量(体积分数, %) \leq | 50 |
| 总碳含量(以甲烷计)(质量分数, %) \leq | 10 |
| 水分含量(质量分数, %) \leq | 15 |

表 2-32 纯氮产品的质量技术指标 (GB/T 4844.2—1995)

| 项 目 | 指 标 | | |
|-----------------------|--------|--------|-------|
| | 优等品 | 一等品 | 合格品 |
| 氮气纯度(体积分数,%) \geq | 99.995 | 99.993 | 99.99 |
| 氖含量(体积分数,%) \leq | 15 | 25 | 40 |
| 氢含量(体积分数,%) \leq | 3 | 5 | 7 |
| 氧(氩)含量(体积分数,%) \leq | 3 | 5 | 5 |
| 氮含量(体积分数,%) \leq | 10 | 17 | 25 |
| 一氧化碳含量(体积分数,%) \leq | 1 | 1 | 1 |
| 二氧化碳含量(体积分数,%) \leq | 1 | 1 | 1 |
| 甲烷含量(体积分数,%) \leq | 1 | 1 | 1 |
| 水分含量(质量分数,%) \leq | 10 | 15 | 20 |

表 2-33 工业液体二氧化碳 (GB/T 6052—1993)

| 指 标 名 称 | 指 标 | | | |
|-----------------------|-------|------|------|------|
| | I类 | II类 | | |
| | | 一级 | 二级 | 三级 |
| 二氧化碳含量(体积分数,%) \geq | 99.8 | 99.5 | 99.0 | 99.0 |
| 水分含量(质量分数,%) \leq | 0.005 | 0.05 | 0.10 | — |
| 气味 | 无异嗅 | — | — | — |

表 2-34 常用气瓶涂色标准

| 气瓶名称 | 氧气瓶 | 氩气瓶 | 氮气瓶 | 氢气瓶 | 二氧化碳 | 乙炔 | 氯 | 氨 | 压缩空气 |
|------|-----|-----|-----|-----|------------|------------|----|----|------|
| 瓶色 | 淡酞蓝 | 银灰 | 黑 | 淡绿 | 铝白 | 白 | 深绿 | 淡黄 | 黑 |
| 字样 | 氧 | 氩 | 氮 | 氢 | 液化 二氧化碳 | 乙炔火 不可近 | 液氯 | 液氨 | 空气 |
| 字色 | 黑 | 深绿 | 淡黄 | 大红 | 黑 | 大红 | 白 | 黑 | 白 |

第3章 管道焊接设备

3.1 焊条电弧焊设备

3.1.1 概述

1. 弧焊电源

弧焊电源是弧焊设备的重要组成部分。通常可分为四大类，即交流弧焊电源、直流弧焊电源和脉冲弧焊电源、逆变式弧焊电源，见图 3-1。各类弧焊电源的特点及适用范围见表 3-1。

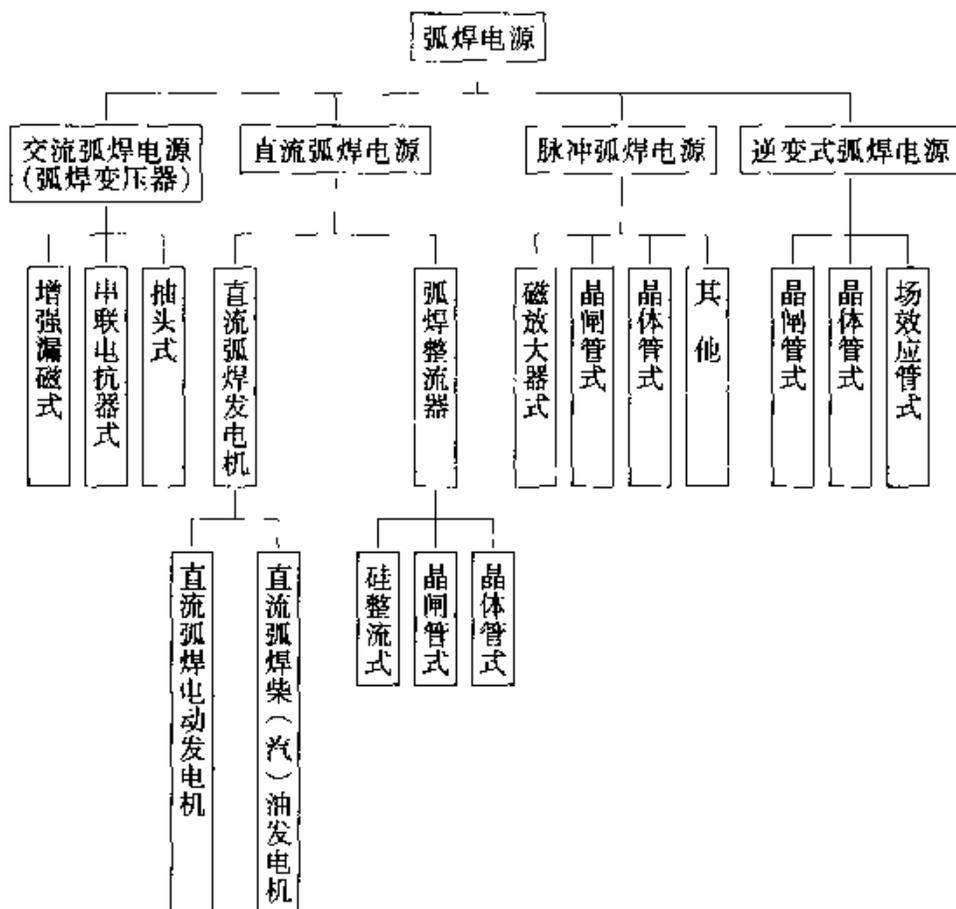


图 3-1 弧焊电源的分类

表 3-1 弧焊电源的特点及适用范围

| 类 型 | 特 点 | 适用范围 |
|-------------------|---|-----------------------|
| 交流弧焊电源 (弧焊变压器) | 结构简单, 易造易修, 耐用, 成本低, 磁偏吹小, 空载损耗小, 噪声小。与直流弧焊电源相比, 电弧稳定性较差, 功率因数低 | 酸性焊条手弧焊、埋弧焊及钨极氩弧焊等 |
| 弧焊整流器 | 与直流弧焊发电机相比, 材料消耗低, 电能消耗少, 技术经济指标高, 工作噪声小 | 各种弧焊 |
| 直流弧焊发电机 | 按驱动动力分为电动机驱动和柴(汽)油机驱动两类。与弧焊整流器相比, 过载能力强, 输出脉动小, 对电网电压波动不敏感。但空载损耗大, 效率低, 噪声大 | 各种弧焊 |
| 脉冲弧焊电源 | 功率高, 可以在较宽的范围调节, 控制焊接线能量。对于热敏感性大的高合金材料、薄板及全位置焊接, 具有独特优点 | 不熔化极氩弧焊、熔化极氩弧焊、等离子弧焊等 |

2. 焊接电弧

焊条电弧焊中, 焊接电弧是在焊条端部与工件间产生的持续的气体放电现象。焊接电弧作用的实质是把电能转变为实现金属焊接所需要的热能。焊接电弧沿着它的轴向可以分为三个区域: 紧靠阴极的阴极区、紧靠阳极的阳极区以及阳极区与阴极区之间的弧柱区。阴极区和阳极区的长度很小, 约为 $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{cm}$ 。弧柱区的长度比阴极区和阳极区都大得多, 几乎是电弧的整个长度。电弧的弧柱区呈中性。

在阴极表面上的明亮辉点叫阴极斑点; 在阳极表面上的明亮辉点叫阳极斑点。

阴极斑点的温度一般都低于阴极金属材料的沸点。阳极和阴极材料相同时, 阳极斑点的温度略高于阴极斑点。由于弧柱温度不受电极材料沸点的限制, 因此温度最高, 其中心部位温度可达 $5000 \sim 8000 \text{K}$ 。一般情况下, 电弧周围气体介质的冷却作用越强, 焊接电流越大, 弧柱的温度越高。

电弧静特性曲线呈 U 形, 由三段 (I、II、III) 组成, 如图 3-2 所示。I 段称为下降特性段, 电弧呈负阻特性; II 段称为平特性段, 电弧呈等压特性; III 段称为上升特性段, 电弧呈正阻特性。

焊条电弧焊方法所用电弧的静特性曲线如图 3-3 所示。图 3-3 中， l_1 、 l_2 分别表示电弧长度为 L_1 、 L_2 时的静特性曲线。

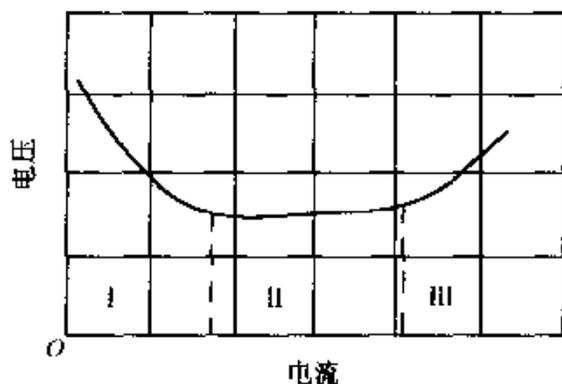


图 3-2 焊接电弧静特性曲线

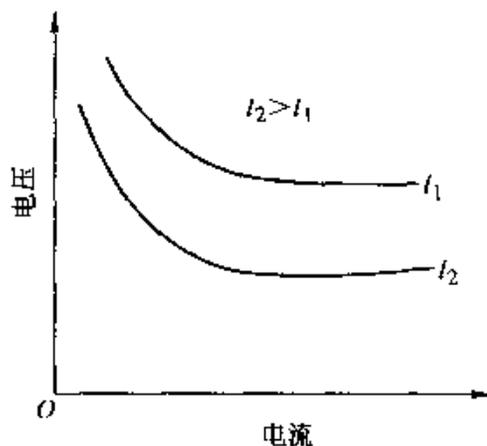


图 3-3 焊条电弧焊电弧的静特性曲线

3. 对弧焊电源外特性形状的要求

在稳定工作状态下，弧焊电源输出的稳定电流和电源输出端的稳定电压间的关系叫做弧焊电源的外特性。在弧焊时，弧焊电源供电，电弧作为用电负载，从而构成“电源-电弧”系统。要使该系统稳定，电源外特性曲线的形状和电弧静特性曲线的形状必须适当配合（即在工作点处电源外特性曲线必须比电弧静特性曲线下降得陡）。焊条电弧焊电极尺寸（焊条直径）较大，电流密度较低，通常为 $10 \sim 25 \text{A/mm}^2$ 。在电弧稳定燃烧条件下，其负载特性处于 U 形曲线的水平段，故首先要求电源外特性曲线与电弧静特性——U 形曲线的水平段相交。其次，交点处应满足

$$\left(\frac{\partial U}{\partial I} - \frac{\partial U_y}{\partial I} \right)_I > 0$$

式中 U ——电弧电压；

U_y ——电源电压；

I ——交点处的工作电流。

由此可见，焊接电源应具有下降的外特性。再从焊接规范参数稳定性考虑，要求电源外特性形状陡降一些为好，因为对于相同的弧长变化，陡降外特性电源所引起的电流变化比缓降外特性电源所引起的电流变化小得多，见图 3-4。焊条电弧焊过程中，弧长的变化是经常发生

的。为了保证焊接规范稳定（指焊接电流稳定），从而获得均匀一致的焊缝，显然要求电源具有陡降的外特性。

陡降外特性能克服由于弧长波动所引起的电流变化，但其短路电流过小，不利于引弧。近年来国内外一些电焊机厂已研制成一种具有外拖特性的电弧焊电源，其外特性如图 3-5 所示。在正常电弧电压范围内，弧长变化时焊接电流保持不变。当电弧电压低于拐点电压值时，外特性曲线向外倾斜，焊接电流变大，增大了熔滴过渡的推力。由于短路电流也相应增大，有利于引燃电弧。这被认为是最理想的焊条焊电源外特性。

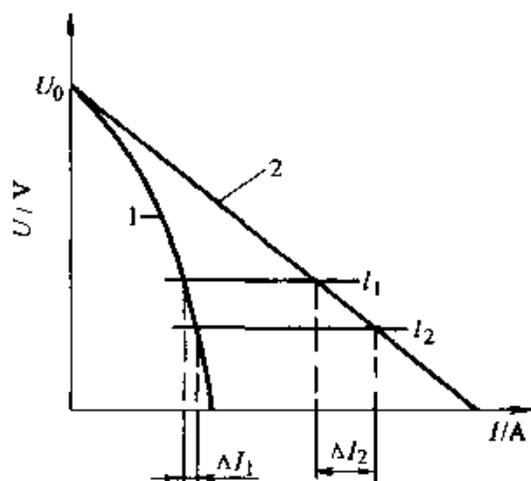


图 3-4 外特性形状对电流稳定性的影响
1—陡降外特性曲线 2—缓降外特性曲线

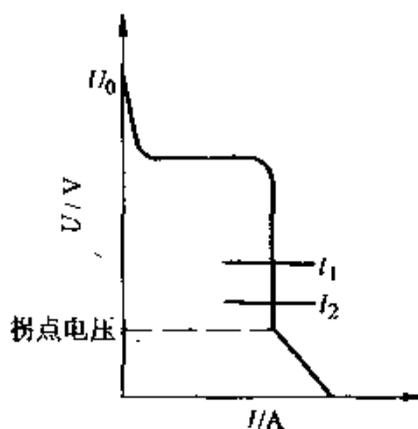


图 3-5 手工焊电源理想外特性

4. 对电源调节特性的要求

焊接时，应根据焊件的材质、厚度、坡口形式和接头位置，以及焊条类型和直径等不同情况，选择不同的焊接规范参数。

焊接电流和电弧电压是由电弧静特性和电源外特性的交点决定的。当焊接工艺确定了某一电弧长度，就有一条对应的电弧静特性曲线。假如电源外特性不可调，那么它与电弧静特性只有一个交点（稳定工作点），即只有一组焊接规范参数（ U 、 I ）。如果要使焊接电流在一定范围内连续可调，就要求弧焊电源具有可均匀调节的外特性曲线，以便和电弧静特性曲线相交，得到一系列稳定工作点，如图 3-6 所示。

制造厂生产的弧焊电源，不仅要满足焊接电流可调的要求，而且要保证有一定的电流调节范围。调节范围的上限（最大焊接电流）和下限

(最小焊接电流) 应满足表 3-2 的规定。 $I_{f_{max}}$ 和 $I_{f_{min}}$ 的确定方法如图 3-7 所示。

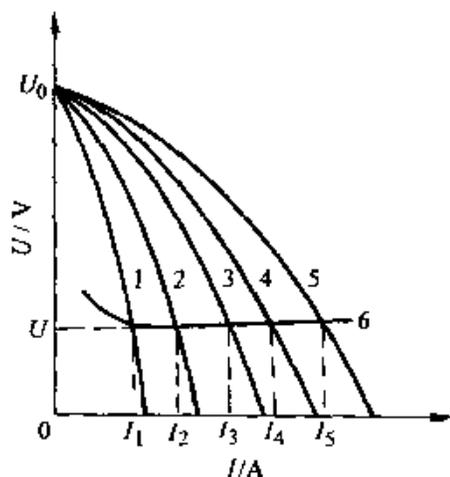


图 3-6 焊接电流调节示意图

1~5—不同位置的电源外特性 6—电弧静特性 $I_1 \sim I_5$ —电源外特性与电弧静特性交点确定的焊接电流

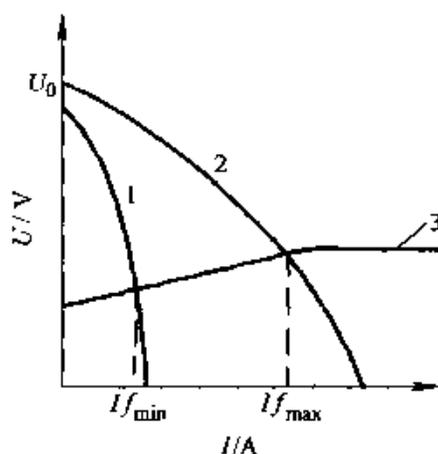


图 3-7 电源调节范围的上、下限

1、2—电源调节机构确定的极限外特性 3—设定负载线

表 3-2 焊条电弧焊机电流调节范围

| 电源种类 | 电流调节范围 | | 设定负载线 |
|---------|------------------|------------------|-------------------------------|
| | 最大焊接电流 I_{max} | 最小焊接电流 I_{min} | |
| 直流弧焊发电机 | $\geq 100\% I_e$ | $\leq 20\% I_e$ | $I < 600A, U = (20 + 0.04I)V$ |
| 交流弧焊变压器 | $\geq 100\% I_e$ | $\leq 20\% I_e$ | |
| 弧焊整流器 | $\geq 100\% I_e$ | $\leq 20\% I_e$ | $I \geq 600A, U = 44V$ |

注: 1. 根据 GB/T 8118—1995 规定, 在满足 $U = (20 + 0.04I)V$ 条件下, 应保证 $I_{max} \geq 100\% I_e$, $I_{min} \leq 20\% I_e$ 。

2. I_e —额定焊接电流。

使用小电流焊接时, 由于电流小, 引弧时的电子热发射能力弱, 需要较高的空载电压, 方能在强电场作用下引燃电弧。小电流交流弧焊时, 还因为弧柱温度低, 易于消电离。为使电弧稳定燃烧, 需要较高的空载电压。当用大电流焊接时, 电子热发射能力强, 弧柱温度高, 易于电离, 因而空载电压可以降低一些。合理的弧焊电源的调节特性如图 3-8 所示。

由于焊条电弧焊电源的种类和结构不同, 其电流的调节方法也不相同, 见表 3-3。

5. 对弧焊电源动特性的要求

熔化极电弧焊过程中，电极金属熔化形成了熔滴向熔池过渡，由此引起弧长频繁地变化。当大颗粒熔滴进入熔池时，还可能造成电弧短路。因此，焊接过程中电弧电压、电流是不断地发生变化的，电弧的这种动负载特性，要求弧焊电源具有良好的动特性。所谓弧焊电源的动特性，是指负载发生瞬时变化时，其输出电流和电压对时间的关系。也可以用一组参数来表征弧焊电源的这种对负载瞬变的反应能力。

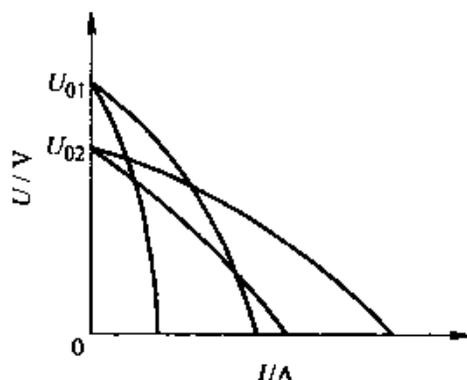


图 3-8 合理的电源调节特性

表 3-3 焊条电弧焊机电流调节方法

| 结构特征 | | 增强漏磁式 | | | | | |
|-------------|----|------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | | 串联电抗器式 | 动铁式 | 动圈式 | 抽头式 | | |
| 类别和调节方法 | | | | | | | |
| 交流弧焊 变压器 | 粗调 | | 变换次级绕组匝数及位置，实现大小电流分档 | 变换初、次级绕组的连接方式，改变变压比，实现大小电流分档 | 变换初、次级绕组的抽头连接方式，改变空载电压和漏抗大小，以调节焊接电流 | | |
| | 细调 | 移动电抗器铁心，调节气隙大小，改变电抗大小，调节焊接电流 | 移动可动铁心位置，改变漏抗大小，调节焊接电流 | 移动次级线包，改变初、次级线包之间的距离，改变漏抗大小，以调节焊接电流 | | | |
| 结构特征 | | 磁放大器式 | 多站式弧焊 | 晶闸管弧焊 | 直流弧焊发电机 | | |
| 类别和调节方法 | | 弧焊整流器 | 整流器 | 整流器 | 差复励式 | 裂极式 | 换向极式 |
| 直流弧焊 电源 | 粗调 | 改变磁放大器直流控制绕组匝数，以实现大小电流分档 | | | 调节串联去磁绕组匝数，以实现在小电流分档 | 改变碳刷位置，调节电枢反应去磁作用大小，实现大小电流分档 | 改变碳刷位置，调节换向极去磁作用大小，实现大小电流分档 |
| | 细调 | 改变励磁电流，控制绕组电抗，以调节电流 | 开、关、变、并、锁箱刀改变电抗大小，调节焊接电流 | 晶闸管移相角控制，改变脉冲角，以调节焊接电流 | 调节励磁电流的大小，改变定子磁场的场强，以调节焊接电流 | | |

直流弧焊电源的动特性参数及其对焊接过程的影响见表 3-4。因为交流弧焊电源电磁惯性小，动特性均能符合要求，故不必考虑。表 3-5 列出了焊条直流弧焊电源动特性考核指标。

表 3-4 直流弧焊电源动特性参数及其对焊接过程的影响

| 动特性参数 | 瞬时短路电流峰值 I_{sd}, I_{hd} | 恢复电压最低值 U_{min} | 短路电流上升速度 d_{i_d}/dt |
|----------|--|--|---|
| 参数的意义 | 焊接回路突然短路时，输出电流的峰值。又分为从空载至短路和从负载至短路两种情况 | 焊接回路从稳定短路状态，突然开路时，由于电感的影响，弧焊电源的端电压恢复至空载电压过程中出现的电压最低值 | 焊接回路突然短路时，短路电流上升幅值对时间的比率 |
| 对焊接过程的影响 | 空载至短路时，该参数过大，则引弧冲击电流太大，容易引起焊条过热，药皮脱落，焊件烧穿。负载至短路时，该参数过大，则飞溅严重。相反，若该参数过小，则不易引弧 | 由于引弧或熔滴过渡将电弧频繁短路，若 U_{min} 过小，则焊接回路由短路至空载时，不能立刻重新引燃电弧，电弧燃烧不稳定，甚至出现断弧现象 | 该参数对采用短路过渡形式的熔化极电弧焊有较大影响。该参数过小，将产生大颗粒金属飞溅，甚至焊丝成段爆断，熄弧，焊接过程不稳定。若过大则产生许多小颗粒金属飞溅 |

表 3-5 焊条直流弧焊电源动特性考核指标

| 考核指标 | | | 整定值 | | 指标 | |
|-------|--------------|---------|-----------------|---------|------------------|------------|
| | | | 电流/A | 电压/V | | |
| 类别 | 弧焊发电机 | 空载至短路 | I_{sd}/I_{wd} | 额定值 | $U = 20 + 0.04I$ | ≤ 2.5 |
| | | | | 25% 额定值 | | ≤ 3.0 |
| | | 短路至空载 | U_{min} | 额定值 | | ≥ 30 |
| | | | | 25% 额定值 | | ≥ 20 |
| | 弧焊整流器 | 负载至短路 | I_{hd}/I_h | 额定值 | 20 | ≤ 2.5 |
| | | | | 25% 额定值 | | ≤ 3.0 |
| | | 空载至短路 | I_{sd}/I_h | 额定值 | | ≤ 3.0 |
| | | | | 20% 额定值 | | ≤ 5.5 |
| 负载至短路 | I_{hd}/I_h | 额定值 | ≤ 2.5 | | | |
| | | 20% 额定值 | ≤ 3.0 | | | |

6. 对弧焊电源的基本要求

电弧焊机为电弧提供电能，它必须具备电弧所要求的电气性能和工艺性能。为保证电弧的稳定燃烧和焊接过程的顺利进行，得到良好的焊接接头，弧焊电源在工艺性能和结构方面应满足如下要求：

- (1) 保证引弧容易；
- (2) 保证电弧稳定燃烧；
- (3) 保证焊接规范稳定（主要指焊接电流和电弧电压的稳定）；
- (4) 焊接规范能够调节，以适应焊接不同性质和厚度的材料；
- (5) 节省电能，结构简单、紧凑，制造容易，消耗材料少，成本低；
- (6) 使用安全、可靠、方便，性能良好，容易维修。

弧焊电源的电气性能应该从以下三个方面考虑：

- (1) 对弧焊电源外特性的要求；
- (2) 对弧焊电源调节特性的要求；
- (3) 对弧焊电源动特性的要求。

外特性曲线上，焊接电流为零（即电源处在空载）时的输出电压叫空载电压。它与电弧的引弧性能、电弧的稳定性有关。根据 GB/T 4064—1983 标准，弧焊电源的空载电压 U_0 规定为：

弧焊变压器 $U_0 \leq 80V$ ；

弧焊整流器 $U_0 \leq 85V$ ；

直流弧焊发电机 $U_0 \leq 100V$ 。

我国生产的弧焊电源的空载电压为：

手工交流弧焊电源 $U_0 = 60 \sim 80V$ ；

手工直流弧焊电源 $U_0 = 45 \sim 70V$ 。

3.1.2 交流焊条电弧焊设备

由交流弧焊电源供电的电弧称为交流电弧。交流电弧一般由 50Hz 正弦交流电源供电，焊接电流每秒 100 次过零点，也即电弧每秒交替熄灭和引燃 100 次，这对电弧的稳定和弧焊电源工作的稳定都有很大影响。供给交流电弧焊电源的设备有以下几种。

1. 动铁心式弧焊变压器

动铁心式弧焊变压器的型号是 BX1，它靠在初级绕组 W_1 、次级绕组 W_2 间增加一个活动铁心作为磁分路来增加漏磁，加大电抗，从而获

得陡降外特性，其结构如图 3-9 所示。在变压器窗口中移动动铁心，可改变漏抗，调节焊接工艺参数。

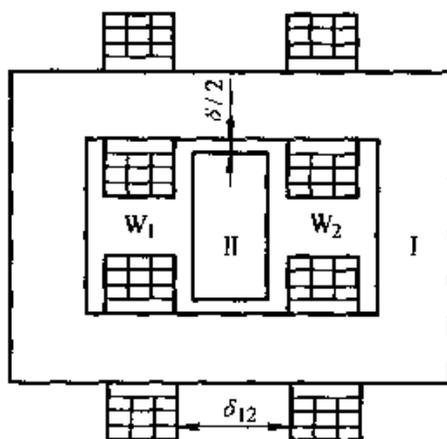


图 3-9 动铁心式弧焊变压器结构

动铁心有矩形和梯形两种形式，如图 3-10 所示。矩形动铁心移动时，动铁心与静铁心之间的间隙不变，只是动铁心的导磁面积改变，这样变压器漏抗变化范围小，焊接规范可调范围窄。梯形动铁心移动时，不仅动铁心的导磁面积改变，而且动铁心与静铁心之间的间隙变化，这样变压器漏抗变化范围大，焊接规范可调范围大，并且可较均匀地进行线性无级调节，但加工较复杂。矩形动铁心和梯形动铁心式弧焊变压器外特性调节范围比较如图 3-11 所示。图中实线是矩形动铁心式弧焊变压器的外特性曲线，矩形动铁心式弧焊变压器目前已经很少生产。

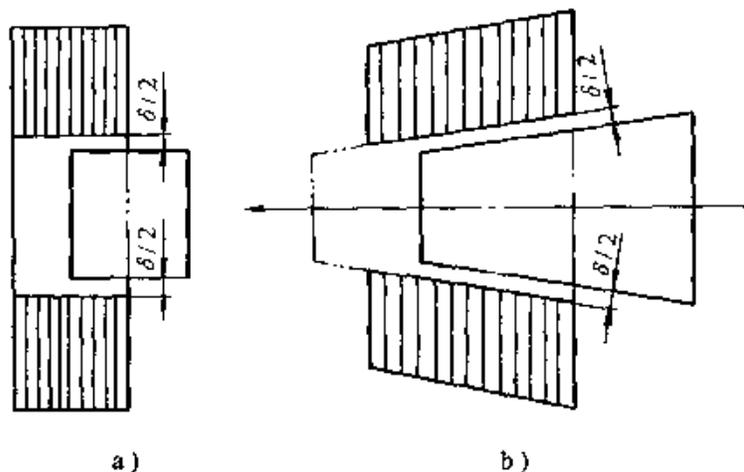


图 3-10 不同形式动铁心与静铁心配合示意图

a) 矩形动铁心与静铁心配合示意图 b) 梯形动铁心与静铁心配合示意图

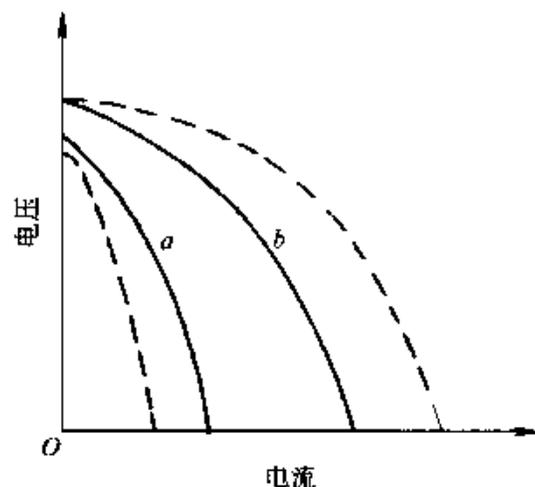


图 3-11 不同动铁心形式外特性调节范围比较
a—矩形动铁心 b—梯形动铁心

动铁心式弧焊变压器主要技术参数如表 3-6 所示。

表 3-6 动铁心式弧焊变压器的主要技术参数

| 型 号 | BX1-120 | BX1-125 | BX1-160 | BX1-200 | BX1-300 | BX3-315 | BX1-500 |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------------|---------|
| 额定焊接电流 I_r/A | 120 | 125 | 160 | 200 | 300 | 315 | 500 |
| 电网电压 U_1/V | 220 | 220/380 | 220/380 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| 次级空载电压 U_0/V | 50 | 58 | 52 | 75 | 76 | 80 | 80 |
| 额定工作电压 U_w/V | 25 | 25 | 26 | 28 | 32 | 32.6 | 40 |
| 额定初级电流 I_{1e}/A | | 35/21 | | 40 | 63 | | 110 |
| 焊接电流调节范围/A | 50~120 | 50~125 | 50~160 | 40~240 | 55~300 | 63A/22.5V 380A/35.2V | 80~690 |
| 额定负载持续率 $FS_c(\%)$ | 20 | 20 | 20 | 35 | 35 | 60 | 60 |
| 相数 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 频率 f/Hz | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 额定输入容量 S_e/kVA | 6 | 7.8 | 8.3 | 8.3 | 24 | 25.2 | 42 |
| 不同负载持续率时的容量/kVA | 100% | | | | | 19.3 | 32.5 |
| | 额定负载持续率 | | | | | 25.2 | 42 |
| 不同负载持续率时焊接电流/A | 100% | 56 | | | | | 388 |
| | 额定负载持续率 | 120 | 125 | 160 | 200 | 315 | 500 |

(续)

| 型 号 | | BX1-120 | BX1-125 | BX1-160 | BX1-200 | BX1-300 | BX3-315 | BX1-500 |
|-------------------|---|-----------------------|---------------------|-------------|----------------|---------|---------|---------------------|
| 使用焊条直径 ϕ /mm | | 6~3.2 | 2~3.2 | 2~4 | 2~5 | 2.5~6 | 2.5~6 | 2.5~8 |
| 效率(%) | | | | | >78 | >82 | >82 | >87 |
| 质量/kg | | <29 | ≤30 | 31 | 92 | 110 | 150 | 300 |
| 外形尺寸 /mm | 长 | 365 | 300 | 390 | 490 | 550 | 550 | 740 |
| | 宽 | 257 | 260 | 265 | 355 | 410 | 465 | 520 |
| | 高 | 263 | 270 | 365 | 615 | 680 | 645 | 860 |
| 用 途 | | 焊条电弧焊(农机、家庭用具维修及建筑工地) | 焊条电弧焊(可焊各种低碳钢、低合金钢) | 焊条电弧焊(用于维修) | 可焊厚1~2mm钢板及低碳钢 | 焊条电弧焊 | 焊条电弧焊 | 焊条电弧焊、切割、交流TIG焊、重力焊 |

2. 动圈式弧焊变压器

动圈式弧焊变压器是另一种增强漏磁式弧焊变压器，其型号是BX3。它的结构见图3-12。它的结构特点是铁心高而窄，两侧心柱上都套有初级绕组和次级绕组。初级绕组和次级绕组各自分开缠绕。初级绕组在下方固定不动，次级绕组在上方是活动的，摇动手柄可使其沿铁心柱上下移动，以改变其与初级绕组间的距离。由于铁心窗口较高，绕组间距可调范围较大，使得初级绕组和次级绕组之间磁的耦合不紧密而有很强的漏磁，由此所产生的漏抗就足以得到下降外特性，而不必附加电抗器。

动圈式弧焊变压器突出的优点是没有活动铁心，避免了由于铁心振动所引起的小电流时电弧不稳等一系列弊端。

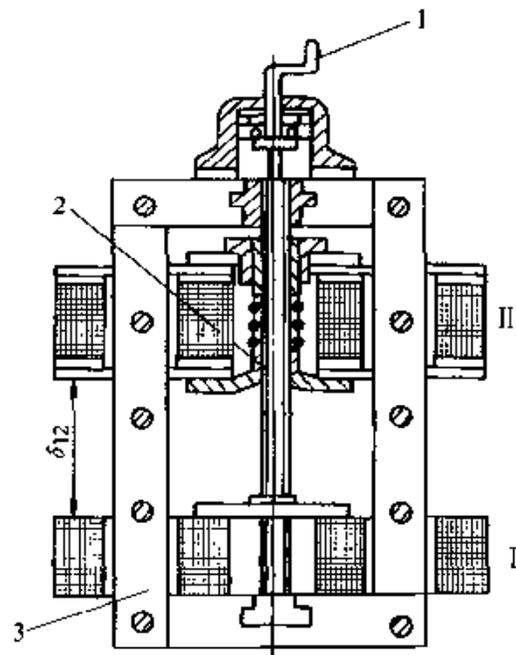


图 3-12 动圈式弧焊变压器结构示意图
I—初级绕组(固定) II—次级绕组(可动)
1—手柄 2—调节螺杆 3—铁心

动圈式弧焊变压器产品的主要技术参数见表 3-7。

表 3-7 动圈式弧焊变压器产品的主要技术参数

| 型 号 | | BX3-125 | BX3-160 | BX3-200 | BX3-250 |
|---------------------------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------------|---------|---------------------------|
| 额定焊接电流 I_c/A | | 125 | 160 | 200 | 250 |
| 初级电压 U_1/V | | 380 | 380 | 380 | 380 |
| 次级空载电压 U_1/V | 接法 1 | 80 | 78 | 78 | 78 |
| | 接法 2 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 额定工作电压 U_w/V | | 25 | 26.4 | 28 | 30 |
| 额定初级电流 I_{1c}/A | | | 31 | 39 | 48.5 |
| 焊接电流调节范 围 $I_{min} \sim I_{max}/A$ | 接法 1 | 25~60 | 25~80 | 30~100 | 36~121 |
| | 接法 2 | 60~160 | 79~250 | 100~300 | 120~360 |
| 额定负载持续率 $FS_c(\%)$ | | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 相数 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 频率 f/Hz | | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 额定输入容量 S_e/kVA | | 9 | 11.8 | 14.7 | 18.4 |
| 不同负载持续率 时的容量 kVA | 100% | 7 | 9.15 | 11.3 | 14.25 |
| | 额定负载 持续率 | 9 | 11.8 | 14.7 | 18.4 |
| 不同负载持续率 时焊接电流 A | 100% | 93 | 124 | 155 | 194 |
| | 额定负载 持续率 | 120 | 160 | 200 | 250 |
| 使用焊条直径 ϕ/mm | | 1~4 | 1~4 | 0.5~5 | 2~7 |
| 效率 $\eta(\%)$ | | 77 | 80 | 81.5 | 85 |
| 功率因数 | | | | | 0.48 |
| 质量 kg | | 93 | 100 | 150 | 150 |
| 外形尺寸 mm | 长 | 485 | 580 | 680 | 630 |
| | 宽 | 480 | 430 | 520 | 480 |
| | 高 | 631 | 710 | 830 | 810 |
| 用 途 | | 焊条电弧焊 (各种低碳钢、 低合金钢) | 焊条电弧焊 (各种低碳钢、低 合金钢和薄板件 及维修) | 焊条电弧焊 | 焊条电弧焊 (各种低碳钢、 低合金钢) |

(续)

| 型 号 | | BX3-300 | BX3-315 | BX3-400 | BX3-500 | BX3-630 |
|----------------------------------|-------------|---|---|---|--------------------|--------------------|
| 额定焊接电流 I_e/A | | 300 | 315 | 400 | 500 | 630 |
| 初级电压 U_1/V | | 220/380 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| 次级空载电压 U_1/V | 接法 1 | 78 | 78 | 75 | 73/66 | <80 |
| | 接法 2 | 60 | 70 | 70 | | |
| 额定工作电压 U_w/V | | 22~36 | 32.6 | 36 | 40 | 44 |
| 额定初级电流 I_{1e}/A | | 54 | 60.5 | 78 | 101.4 | 116 |
| 焊接电流调节范 围 $I_{min}-I_{max}/A$ | 接法 1 | 40~140 | 45~170 | 50~163 | 60~612 | 50~630 |
| | 接法 2 | 130~400 | 160~430 | 163~500 | | |
| 额定负载持续率 FS_e (%) | | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 相数 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 频率 f/Hz | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 额定输入容量 S_e/kVA | | 20.5 | 23 | 29.1 | 38.6 | 44 |
| 不同负载持续率 时的容量 kVA | 100% | 15.9 | | 22.6 | | |
| | 额定负载 持续率 | 20.5 | 23 | 29.1 | 38.6 | 44 |
| 不同负载持续率 时焊接电流 A | 100% | 232 | | 310 | | |
| | 额定负载 持续率 | 300 | 315 | 400 | 500 | 630 |
| 使用焊条直径 ϕ/mm | | 2~7 | 2~7 | 2~8 | 2~8 | 2~8 |
| 效率 η (%) | | 83 | 84 | 87.5 | 87 | >89 |
| 功率因数 | | 0.53 | 0.52 | 0.56 | 0.59 | |
| 质量 $/kg$ | | 190 | 185 | 200 | 225 | 280 |
| 外形尺寸 $/mm$ | 长 | 580 | 690 | 695 | 610 | 550 |
| | 宽 | 600 | 527 | 530 | 660 | 550 |
| | 高 | 800 | 915 | 905 | 970 | 890 |
| 用 途 | | 焊条电弧 焊、电弧切 割 (各种低 碳钢、低合 金钢) | 焊条电弧 焊、电弧切 割 (各种低 碳钢、低合 金钢) | 焊条电弧 焊、电弧切 割 (各种低 碳钢、低合 金钢) | 焊条电弧 焊、电弧切 割 | 焊条电弧 焊、电弧切 割 |

3. 抽头式弧焊变压器

抽头式弧焊变压器的型号是 BX6，有两心柱式和三心柱式两种形式。两心柱抽头式弧焊变压器结构如图 3-13 所示，在心柱 I 上绕有部分初级绕组，在心柱 II 上绕有另一部分初级绕组和次级绕组，而且初、

次级绕组是同轴缠绕的，它们间的漏磁可以忽略不计。此种结构的弧焊变压器是通过调节与次级绕组同一心柱上的初级绕组匝数与初级绕组总匝数的比率来调节焊接工艺参数的。由于初级绕组匝数不能太多，所以焊接电流调节下限受限，电流调节范围不大，且只能作有级调节，所以其电流调节性能不佳。针对上述问题，后来又

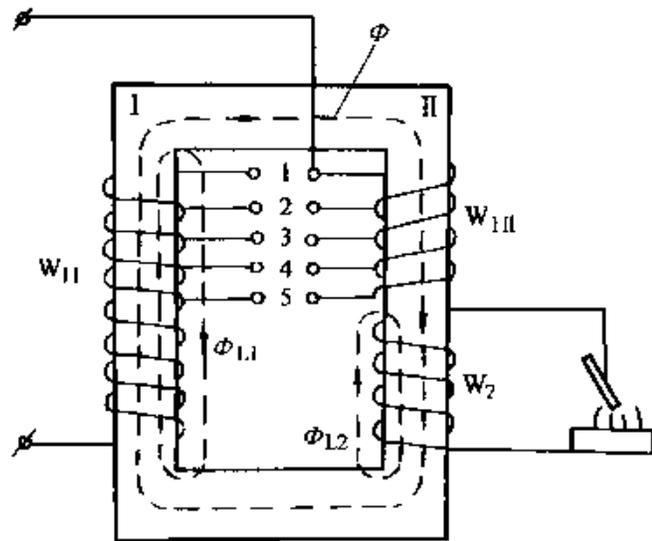


图 3-13 两心柱抽头式弧焊变压器

研制出了三心柱抽头式弧焊变压器，其结构如图 3-14 所示，在两侧心柱 I、II 之间设有磁分路 III，铁心 III 固定不动。初级绕组分为两部分，绕在心柱 I 的 W_{1I} 和绕在心柱 III 上的 W_{1III} 。次级绕组单独绕在心柱 II 上，由于初、次级绕组分别绕在不同的心柱上，且 W_2 与 W_{1I} 之间还有磁分路，因而增强了漏磁。当 W_{1I} 与 W_{1III} 顺联时，绕组 W_{1I} 在负载时产生的磁通有增强漏磁的作用，绕组 W_{1III} 在负载时产生的磁通有减小次级输出电压的作用，从而使外特性变陡，降低了电流的调节下限；反联时则相反，此时削弱漏磁和增大次级输出电压，外特性变缓、电流增大。旋转开关 Q_2 改变 W_{1III} 的匝数也可调节电流。因此，通过开关 Q_1 、 Q_2 分别进行粗调和细调，可拓宽电流的调节范围。

这种弧焊变压器结构简单，易于制造，无活动部分，避免了电磁力引起振动带来的小电流时电流不稳定的弊病，因而电弧稳定，无噪声，使用可靠，成本低廉。由于其空载电压变化大，材料有效利用率低，故适宜做成低负载持续率的中、小型电源。

抽头式弧焊变压器的主要技术参数见表 3-8。

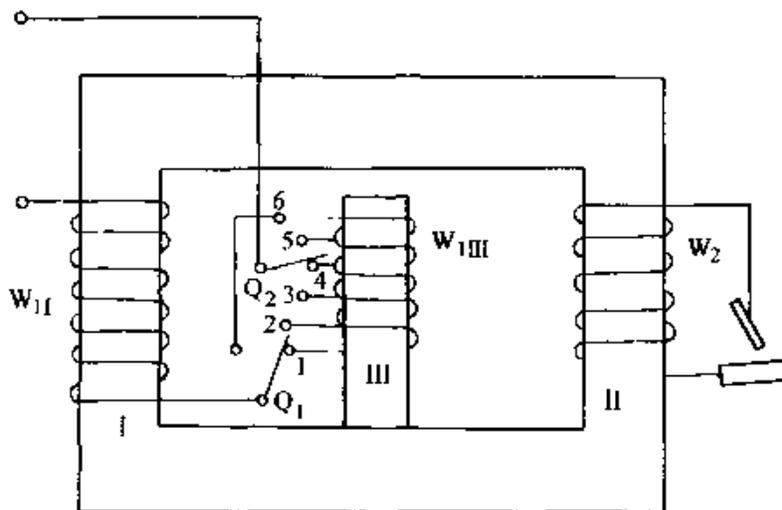


图 3-14 三心柱抽头式弧焊变压器

表 3-8 抽头式弧焊变压器产品的主要技术参数

| 型 号 | BX6-120 | BX6-125 | BX6-160 | BX6-200 | BX6-250 | BX6-300 |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 额定焊接电流 I_e/A | 120 | 125 | 160 | 200 | 250 | 300 |
| 初级电压 U_1/V | 220/380 | 220/380 | 380 | 380 | 220/380 | 220/380 |
| 次级空载电压 U_0/V | 52 | 55 | 65 | 48~70 | 70~55 | 接法 1 60 接法 2 50 |
| 额定工作电压 U_w/V | 22~26 | 25 | 22~28 | 22~28 | 22~30 | 22~35 |
| 额定初级电流 I_{Lc}/A | 28/16 | 31/18 | 32 | 40 | | 60.5 |
| 焊接电流调节范围 $I_{min} \sim I_{max}/A$ | 50~160 | 50~140 | 55~195 | 66~220 | 接法 1 50~100 接法 2 120~250 | 接法 1 40~150 接法 2 150~380 |
| 额定负载持续率 $FS_c(\%)$ | 20 | 20 | 60 | 20 | 35 | 60 |
| 相数 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 频率 f/Hz | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 额定输入容量 S_e/kVA | 6.24 | 6.9 | 12 | 15 | 15 | 23 |
| 不同负载持续率时的容量 $/kVA$ | 100% | | | | | 18 |
| | 额定负载持续率 | 6.24 | 6.9 | 12 | 15 | 15 |
| 不同负载持续率时焊接电流 $/A$ | 120 | 125 | 160 | 200 | 250 | 300 |
| 使用焊条直径 ϕ/mm | | | | ≤ 4 | | |

(续)

| 型 号 | | BX6-120 | BX6-125 | BX6-160 | BX6-200 | BX6-250 | BX6-300 |
|---------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| 效率 η (%) | | | | >77 | | >80 | |
| 质量/kg | | 22 | ≤ 30 | 55 | ≤ 40 | 80 | 140 |
| 外形尺寸 /mm | 长 | 345 | 345 | 420 | 480 | 495 | 645 |
| | 宽 | 246 | 260 | 290 | 282 | 345 | 450 |
| | 高 | 188 | 460 | 570 | 398 | 416 | 805 |
| 用 途 | | 焊条电 弧焊 | 焊条电 弧焊 | 焊条电 弧焊 | 焊条电 弧焊 | 焊条电 弧焊 | 焊条电弧焊、 电弧切割 |

3.1.3 直流焊条电弧焊设备

直流弧焊电源供电的电弧叫直流电弧。由于焊接电流是直流，不过零，焊接电流和电压不存在畸变的问题，所以电弧燃烧稳定。但是，焊条电弧焊焊接时，电弧的引弧方式一般采用接触引弧方式，焊条要熔化并向焊接熔池中过渡，电流小时常采用大颗粒熔滴过渡方式，电弧的弧长是随着时间变化的。这样在采用直流电源焊接时，对电源的动特性就有要求。弧焊电源的动特性对电弧稳定性、熔滴过渡、飞溅以及焊缝成形等都有很大的影响。

直流弧焊电源主要包括直流弧焊发电机、磁放大器式弧焊整流器、硅弧焊整流器、晶闸管式弧焊整流器。其中直流弧焊发电机、磁放大器式弧焊整流器的磁惯性大，所以对它们的动特性有要求。他们的动特性主要指标如表 3-9 所示。

表 3-9 直流弧焊电源动特性的主要指标

| | 电 流/A | 额 定 电 流 | | 25% 额 定 电 流 | |
|-------|-----------------|--------------|------------|--------------|----------|
| | 电压 U_f/V | $20+0.04I_f$ | 20 | $20+0.04I_f$ | 20 |
| 弧焊发电机 | I_{sd}/I_{wd} | ≤ 2.5 | | ≤ 3 | |
| | I_{fd}/I_f | | ≤ 2.5 | | ≤ 3 |
| | U_{min} | ≥ 30 | | ≥ 30 | |
| | I_{sd}/I_f | ≤ 3 | | ≤ 5.5 | |
| 弧焊整流器 | I_{sd}/I_{wd} | ≤ 1.5 | | ≤ 1.5 | |
| | I_{fd}/I_f | ≤ 2.5 | | ≤ 3 | |

注： I_{sd} 为从空载到短路时的瞬时短路电流峰值； I_{sd}' 为短路 0.05s 后的瞬时电流值； I_{fd} 为从负载到短路时的瞬时短路电流峰值； I_{wd} 为稳态短路电流峰值； I_f 为短路前负载电流值； U_{min} 为恢复电压最低值。

1. 直流弧焊发电机

20 世纪中期就有专用的弧焊发电机，它曾起过重要作用。但由于它具有空载损耗大、效率低、噪声大、费材料、维修难等缺点，目前，工业发达国家只生产少量以汽油（或柴油）机为动力机的直流弧焊发电机，用于没有电网的野外工作场合。我国自 1993 年起也已明确禁止生产电动机驱动的直流弧焊发电机。

柴（汽）油机驱动直流弧焊发电机，特别是在野外沼泽地或丘陵山坡地区的大口径输气管道的施工中更为适宜。有拖车式柴汽油机驱动的 AXQ1 型及 AXQ7 型，有汽车驱动的 AXH 型。柴（汽）油机驱动直流弧焊发电机的产品及型号如表 3-10 所示。

表 3-10 柴（汽）油机驱动直流弧焊发电机产品及型号

| 产品名称 | 型 号 | 焊接电流调节范围/A | 主要用途 |
|-----------------|--------------|------------|----------------------------------|
| 直流弧焊汽油发电机 | AXQ1-160 | | 适用于无交流电源 或野外流动的焊接施 工场地进行焊接 |
| | AXQ7-250 | | |
| | AXQ7-400 | | |
| | AXQ-320 | | |
| 直流弧焊柴油发电机 | AXC7-400 | | |
| 汽车驱动直流弧焊 发电机 | AXH-2×50 | 60~280 | |
| | AXH2-2×250-1 | 60~300 | |
| | AXH2-2×250-2 | 60~300 | |

2. 弧焊整流器

弧焊整流器是一种把交流电经过变压、整流获得直流电，供给电弧负载的电源。与直流弧焊发电机相比较，它没有机械旋转部分，是静态的直流弧焊电源。

弧焊整流器按照整流元件种类可分为硅整流、晶闸管整流两类，按照外特性调节机构的作用原理分类主要可分为硅弧焊整流器、磁放大器式弧焊整流器、晶闸管整流弧焊整流器三大类。

(1) 硅整流弧焊整流器 这类焊机制造简单，节省材料，使用寿命长，噪声小，维修方便，效率高。但其焊接电流随电网电压波动，稳定性差，焊接过程中焊接电流变化较大，且过载能力差。

硅整流焊机有单相、三相之分。这类焊机一般由增强漏磁式主变压

器加上整流电路组成，通常有动铁心式弧焊整流器和动圈式弧焊整流器。

1) 动铁心式弧焊整流器 动铁心式弧焊整流器主变压器一般采用单相增强漏磁式形式。通常为交直流两用焊机。它具有动铁心式弧焊变压器的优点。它的型号为 ZXE1 系列。焊机的型号和技术参数见表 3-11。

表 3-11 动铁心式弧焊整流器的主要技术参数

| 型 号 | ZXE1-160 | ZXE1-200 | ZXE1-300 | ZXE1-400 | ZXE1-500 | ZXE1-6×500 | ZXF1-5×160 |
|------------------------------------|----------------------------|-----------------|----------|----------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 额定焊接电流 I_p/A | 160 | 200 | 300 | 400 | 500 | | 160 |
| 额定负载持续率 $FS_r(\%)$ | 35 | 35 | 35 | 35 | 60 | 60 | 20 |
| 电流调节范围 $I_{min} \sim I_{max}/A$ | 交流 8~180 直流 7~160 | 40~200 | 50~300 | 60~400 | 交流 100~500 直流 90~450 | 交流 80~550 直流 70~400 | 40~180 |
| 额定空载电压 U_0/V | 80 | 60~70 | 60~70 | 60~70 | 80 | 交流 75 直流 72 | 54 |
| 工作电压 U_w/V | 27 | 28 | 32 | 36 | 交流 24~40 直流 24~38 | | 23~30 |
| 电源电压 U_1/V | 380 | 380 | 360 | 360 | 380 | 380 | 380 |
| 相数 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 频率 f/Hz | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 额定输入电流 I_{1c}/A | 40 | 39 | 59 | 79 | | 381 | |
| 额定输入容量 S_e/kVA | 15.2 | 14.8 | 22.4 | 30 | 41 | 381 | 11.8 |
| 质量 m/kg | 150 | 130 | 200 | 250 | 250 | 1500 | |
| 外形尺寸/mm | 长 | 654 | | | | 840 | 1440 |
| | 宽 | 366 | | | | 450 | 1140 |
| | 高 | 722 | | | | 910 | 2000 |
| 用 途 | 交流、 直流两 用 | 交流、 直流两 用 | | | 交流、 直流两 用 | 交流直 流两用，用 节能多头 焊机 | 便携式 交流、直流 两用 |

2) 动圈式弧焊整流器 动圈式弧焊整流器主要由三相动圈式变压器、三相全桥整流电路、浪涌装置组成。

浪涌装置是一个并联在整流器输出端的辅助半波整流电源。当熔滴造成短路时,这个装置产生浪涌电流,增加熔滴过渡的推动力,提高焊接过程的稳定性。浪涌电流有强、弱两档,根据焊接要求用转换开关调节。

动圈式弧焊整流器的型号是 ZX3,动圈式弧焊整流器主要技术参数见表 3-12。

表 3-12 动圈式弧焊整流器的主要技术参数

| 型 号 | | ZX3-160 | ZX3-250 | ZX3-300 | ZX3-315 | ZX3-400 | ZX3-500 | |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|--|
| 额定焊接电流 I_e/A | | 160 | 250 | 300 | 315 | 400 | 500 | |
| 焊接电流调节范围 $I_{min} \sim I_{max}/A$ | | 32~192 | 50~300 | 60~360 | 60~315 | 80~480 | 100~600 | |
| 空载电压 U_0/V | | 72 | 72 | 72 | 72 | 71.5 | 72~81 | |
| 工作电压 U_w/V | | 22~28 | 22~32 | 22~34 | 22.4~32.6 | 23~39 | 24~44 | |
| 额定负载持续率 $FS_c(\%)$ | | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | |
| 不同负载持续率 时焊接电流/A | 100% | 124 | 195 | 231 | | 310 | 387 | |
| | 额定负载持续率 | 160 | 250 | 300 | 315 | 400 | 500 | |
| 额定输出功率/kW | | 4.2 | 7.5 | | | | | |
| 电源电压 U_1/V | | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | |
| 电源相数 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| 频率 f/Hz | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | |
| 初级额定电流 I_{1c}/A | | 16.8 | 26.3 | 33 | | 42 | 54 | |
| 额定容量 S_e/kVA | | 11 | 17.3 | 24 | 21.4 | 27.8 | 35.5 | |
| 功率因数 $\cos\phi$ | | 0.7 | 0.72 | 0.64 | | | | |
| 焊机效率 $\eta(\%)$ | | 55 | 60 | | | | | |
| 质量 m/kg | | 138 | 182 | 182 | 185 | 270 | 238 | |
| 外形尺寸/mm | 长 | 595 | 630 | 635 | 640 | 710 | 685 | |
| | 宽 | 480 | 530 | 530 | 530 | 576 | 570 | |
| | 高 | 970 | 1030 | 1075 | 990 | 1075 | 1075 | |
| 用 途 | | 用于焊条电弧焊 | | | | | | |

(2) 晶闸管式整流弧焊机 随着大功率晶闸管的问世,在20世纪60年代初,出现了以晶闸管为整流元件的弧焊电源—晶闸管式弧焊整流器。一般晶闸管的电路有主电路和控制电路之分,如图3-15所示。主电路由主变压器T、晶闸管整流器UR和输出电抗器L组成。控制电路AT产生晶闸管的触发脉冲 u_g 。当要求得到下降外特性时,触发脉冲的相位由给定电压 U_{gi} 和电流反馈讯号 U_{fi} 确定;当要求得到平外特性时,触发脉冲相位则由给定电压 U_{gu} 和电压反馈信号 U_{fu} 确定。CB为操纵、保护电路, U_{k1} 是 U_{gi} 和 U_{fi} 比较后输出的电压, U_{k2} 是 U_{gu} 和 U_{fu} 比较后输出的电压, R_V 是用于电压反馈信号 U_{fu} 采样的电阻。

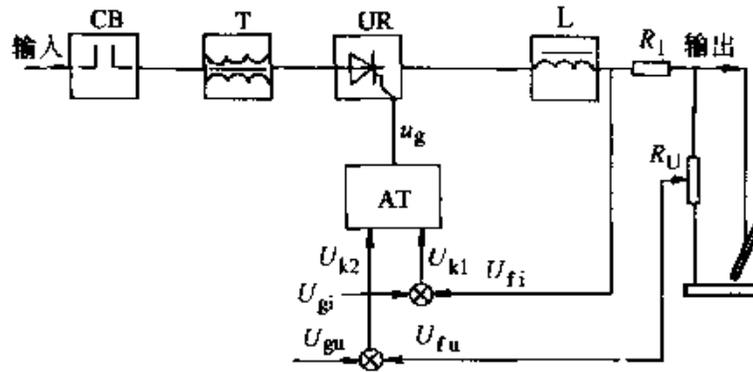


图 3-15 晶闸管弧焊整流器的组成

1) 带平衡电抗器双反星形可控整流晶闸管弧焊整流器 带平衡电抗器双反星形可控整流电路如图3-16所示,这种主电路形式的国产晶闸管式弧焊整流焊机的型号及技术参数见表3-13。

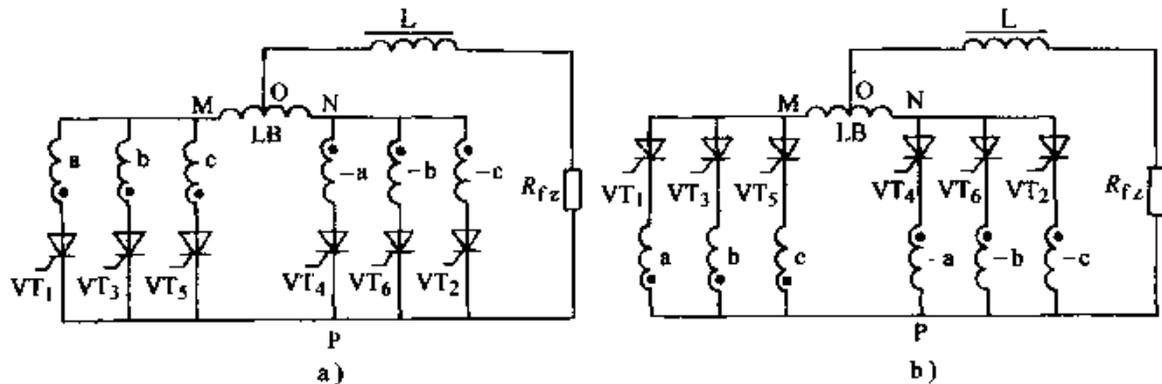


图 3-16 带平衡电抗器双反星形可控整流电路图

a) ZDK-500型焊机主电路 b) ZX5-400型焊机主电路

VT—晶闸管 LB—平衡电抗器 L—滤波电抗器

表 3-13 国产带平衡电抗器双反星形晶闸管式弧焊
整流器的主要技术参数

| 型 号 | | ZX5-250 | ZX5-315 | ZX5-400 | ZX5-630 | ZX5-800 | ZX5-1000 | |
|--|-------------|-------------------------------------|---------|---------|---|---------|---------------------|-------------------------------|
| 额定焊接电流 I_e/A | | 250 | 315 | 400 | 630 | 800 | 1000 | |
| 焊接电流调节范围 $I_{\min} \sim I_{\max}/A$ | | 50~250 | 35~315 | 40~400 | 80~630 | 100~800 | 100~1100 | |
| 空载电压 U_0/V | | 55 | 56 | 60 | 76 | 73 | 80 | |
| 工作电压 U_w/V | | 30 | 33 | 36 | 44 | | 24~44 | |
| 额定负载持续率 $FS_e(\%)$ | | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | |
| 不同负载持续率 时焊接电流/A | 100% | | | | | | | |
| | 额定负载 持续率 | 250 | 315 | 400 | 630 | 800 | 1000 | |
| 额定输出功率/kW | | | | | | | | |
| 电源电压 U_1/V | | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | |
| 电源相数 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| 频率 f/Hz | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | |
| 初级额定电流 I_{1e}/A | | 23 | 27.3 | 37 | 75 | | 123 | |
| 额定容量 S_e/kVA | | 15 | 18 | 24 | 46 | | 82.3 | |
| 电网波动补偿精度 (电网波动 $\pm 10\%$ 时)(%) | | ± 6 | ± 6 | ± 6 | ± 4 | ± 4 | | |
| 功率因数 $\cos\phi$ | | 0.7 | 0.72 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | |
| 焊机效率 $\eta(\%)$ | | 70 | 72 | 76 | 75 | 75 | | |
| 冷却方式 | | 强迫风冷 | | 强迫风冷 | 强迫风冷 | 强迫风冷 | | |
| 质量 m/kg | | 160 | 175 | 200 | 280 | 300 | 400 | |
| 外形尺寸/mm | 长 | 560 | 590 | 600 | 660 | | 1016 | |
| | 宽 | 500 | 510 | 505 | 590 | | 565 | |
| | 高 | 960 | 960 | 1000 | 1050 | | 762 | |
| 用 途 | | 适用于所有牌号焊条的直流焊条电弧焊接,特别适用于碱性焊条焊重要的低碳钢 | | | 适用于所有牌号焊条的直流焊条电弧焊接,特别适用于碱性焊条焊重要的低碳钢。此外还可作碳弧气刨电源 | | 用作焊条电弧焊、TIG焊及碳弧气刨电源 | 主要用作埋弧焊及粗丝CO ₂ 焊电源 |

2) 三相桥式全控整流晶闸管弧焊整流器 三相桥式全控整流电路如图 3-17 所示。这种主电路形式的国产品闸管式弧焊整流焊机的型号及技术参数见表 3-14。它的型号仍然是 ZX5 系列, 但其派生代号为 B。

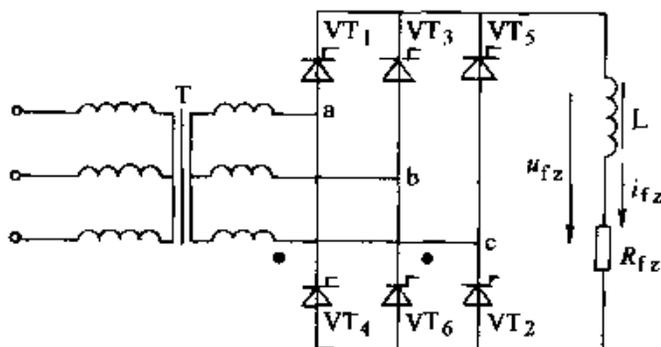


图 3-17 三相桥式全控整流电路

表 3-14 国产桥式全控整流晶闸管式弧焊整流焊机的型号及技术参数

| 型 号 | ZX5-160B | ZX5-250B | ZX5-400B | ZX5-630B | ZX5-800B | ZX5-1200B |
|------------------------------------|-----------------|----------|----------|---|----------|-----------|
| 额定焊接电流 I_c/A | 160 | 250 | 400 | 630 | 800 | 1200 |
| 额定负载持续率 $FS_c(\%)$ | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 电流调节范围 $I_{min} \sim I_{max}/A$ | 30~160 | 40~250 | 40~400 | 63~630 | 80~800 | 120~1200 |
| 额定空载电压 U_0/V | 60 | 65 | 67 | 67 | 67 | 67 |
| 工作电压 U_w/V | | | 36 | 40 | 44 | 44 |
| 电源电压 U_1/V | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| 相数 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 频率 f/Hz | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 额定输入电流 I_{1c}/A | | | 48 | 80 | 112 | 166 |
| 额定输入容量 S_e/kVA | 11 | 19 | 32 | 53 | 74 | 110 |
| 电网电压补偿精度 (电网波动 $\pm 10\%$ 时)(%) | | | <2 | <2 | <2 | <2 |
| 效率 $\eta(\%)$ | | | 75 | 78 | 79 | 80 |
| 功率因数 $\cos\phi$ | | | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 冷却方式 | | | | | | |
| 用 途 | 用于焊条电弧焊、TIG 焊电源 | | | 全部采用集成电路控制, 三相全空桥式整流电流调节范围大, 电弧吹力大, 引弧容易, 飞溅少而动特性好, 抗干扰能力强, 电流稳定, 焊缝成形好 | | |

此外,我国部分电焊机厂家还引进国外技术生产晶闸管弧焊整流焊机,其主要性能和技术参数如表 3-15 所示。

表 3-15 国内几种引进技术晶闸管弧焊电源性能参数

| 型 号 | ZX5-400 | YD-400SS3HGF | LHF-400 | GS-400SS |
|---------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 主电路结构类型 | 带平衡电抗器 双反星形 | 带平衡电抗器 双反星形 | 附加高压引弧、 三相半控桥式 | 三相桥式全控 整流 |
| 主变压器形式 | 盘式 | | 筒式 | 筒式 |
| 输出电抗器 | 有 | 有 | 有 | 有 |
| 平衡电抗器 | 有 | 有 | 无 | 无 |
| 控制变压器 | 有 | | | 无 |
| 晶闸管及二极管管数 | 6 只 | 采用两块可控硅 集成块 | 3 只晶闸管 4 只二极管 | 6 只 |
| 控制电路组成 | 集成元件与 分离元件 混合使用 | 集成元件 | 集成元件与 分离元件 混合使用 | 集成元件与 分离元件 混合使用 |
| 触发电路特点 | 两套触发电路 | | 三套触发电路 | 六套触发电路 |
| 电流反馈信号获取方式 | 分流器 | 分流器 | 分流器 | 霍尔元件 |
| 外特性形式 | 陡降、恒流 带外拖 | 陡降 | 陡降 | 陡降带外拖 |
| 电弧推力 | 有 | 有 | 无 | 有 |
| 电弧吹力 | 无 | 无 | 无 | 无 |
| 引弧电流 | 有 | 无 | 无 | 无 |
| 焊条短路时电流减至基值电流 | 无 | 无 | 有 | 无 |
| 飞溅控制 | 无 | 无 | 无 | 无 |
| 连弧与断弧焊选择 | 无 | 无 | 无 | 无 |
| 60%负载持续率时电流 | 400 | 400 | 315 | 400 |
| 质量 | 210~215 | 155 | 165 | 215 |
| 额定输入电流 | 37~38 | | 36 | 50 |
| 效率 | 74 | | 69 | |
| 生产厂与被引进技术的公司 | 引进日本 OTC 技术 | 唐山松下产 业机器有限公 司, Panasonic 技术 | 引进瑞典 EASA 公司技 术 | 上海电焊机 厂引进美国 MILLER 公司 技术 |

3.1.4 弧焊逆变器

弧焊逆变器是近年来国际、国内发展极为迅速的一种高效、节能的新型弧焊电源，它是从机械式控制、电磁式控制演变成电子控制的一种新型控制方式的电源。具有极高的综合技术指标，是高能耗焊接电源理想的替代产品。

逆变弧焊电源作为新型的电源具有如下特点：

(1) 体积小重量轻，节省材料 由于逆变电源中的电是频率很高的中频电，这样变压器、电抗器的体积和重量都大大减小。

(2) 高效节能 由于变压器和电抗器体积减小，重量减轻，它们的铜损和铁损也减小，逆变控制线路消耗的功率和逆变器转换时的励磁电流也小，因此，效率提高，节约电能，并减少配电装置的容量。

(3) 适应性强 由于逆变电源的频率高，控制周期短，从而使整机有很高的动态响应，能够进行高速控制，能用作各种焊接方法的电源，适应性极强。

(4) 具有良好的外特性 逆变电源的外特性曲线多为图 3-18 所示的恒流带外拖曲线。正常焊接时，因某种原因电弧突然缩短，电弧电压降至某一数值时，因为外特性曲线外拖，输出电流增大很多，加速了焊条熔化、熔滴过渡，电弧仍能稳定燃烧，不会发生焊条与焊件粘连现象。因此，电弧稳定性好，焊工操作方便。

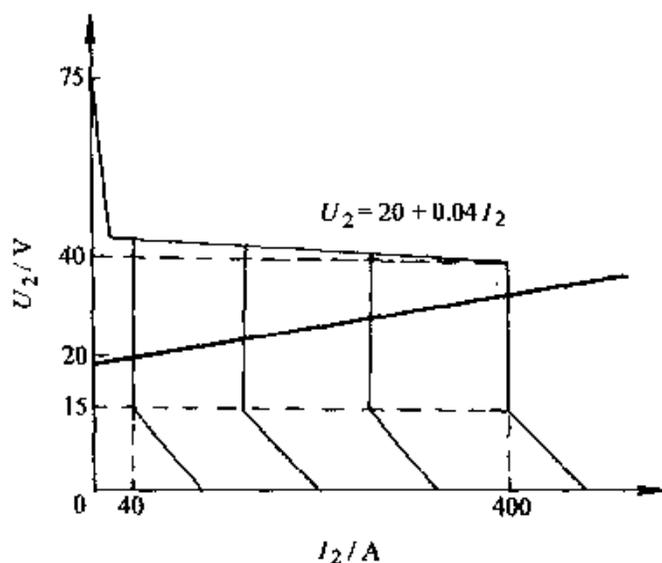


图 3-18 ZX7 系列逆变弧焊电源的外特性曲线

根据逆变器采用的电子功率开关器件不同，目前生产的逆变电源可分为晶闸管型、晶体管型、场效应管型和绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 型四类。国内的逆变焊机主要是晶闸管型和 IGBT 型，国外则四种类型都比较普及。采用晶闸管作大功率开关电子元件的弧焊逆变器称为晶闸管式弧焊逆变器，其原理框图见图 3-19。单相或三相 50Hz 的交流网路电压经输入整流器整流和滤波，再通过大功率开关电

子元件（晶闸管，也可用晶体管或场效应管）的交替开关作用，变为中频电压，最后经中频变压器降至适合于焊接的几十伏电压。若再次用输出整流器整流并经电抗器滤波，则可将中频交流电变为直流输出。弧焊逆变器的交流顺序是工频交流→直流→中频交流→降压→交流或直流。

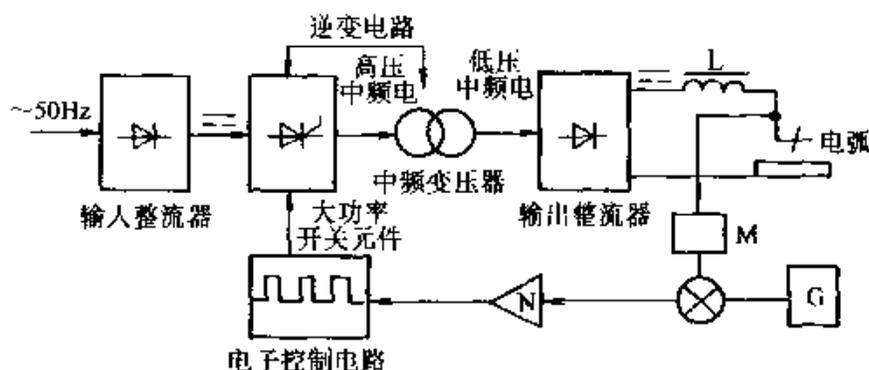


图 3-19 晶闸管式弧焊逆变器原理框图

表 3-16、表 3-17 为几种弧焊逆变器的技术数据。

表 3-16 ZX7 系列晶闸管弧焊送变器主要技术参数

| 型 号 | ZX7-315S/ST | ZX7-400S/ST | ZX7-500S/ST | ZX7-630S/ST | |
|-----------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----|
| 额定焊接电流 I_p/A | 315 | 400 | 500 | 630 | |
| 焊接电流调节范围 $I_{min} \sim I_{max}/A$ | 40~315 | 低档 40~140 高档 115~400 | 低档 50~175 高档 140~500 | 低档 60~210 高档 180~630 | |
| 空载电压 U_0/V | 70~80 | 70~80 | 70~80 | 70~80 | |
| 额定负载持续率 $FS_c(\%)$ | 60 | 60 | 60 | 60 | |
| 不同负载持续率时 焊接电流/A | 315 | 400 | 500 | 630 | |
| 额定负载持续率 | | | | | |
| 电源电压 U_1/V | 380 | 380 | 380 | 380 | |
| 电源相数 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| 频率 f/Hz | 50 | 50 | 50 | 50 | |
| 额定输入电流 I_{1e}/A | | 32 | 46 | 60 | |
| 额定输入容量 S_eS/kVA | 16 | 21 | 30 | 40 | |
| 焊机效率 $\eta(\%)$ | 82 | 83 | 83 | 83 | |
| 质量 m/kg | 45 | 75 | 82 | 98 | |
| 外形尺寸/mm | 长 | 640 | 630 | 635 | 640 |
| | 宽 | 310 | 530 | 530 | 530 |
| | 高 | 500 | 1030 | 1075 | 990 |
| 特点和用途 | 大负载、低噪声、微电子控制、引弧容易、直流输出、电弧稳定。电源动特性好，飞溅小。自动补偿电源电压及焊机温度变化的影响。是用于焊条电弧焊和钨极氩弧焊 | | | | |

表 3-17 ZX7 系列 IGBT 逆变式弧焊整流器主要技术参数

| 型 号 | | ZX7-160S | ZX7-200S | ZX7-250S | ZX7-315S | ZX7-400S | ZX7-500S |
|--|-------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 额定焊接电流 I_e/A | | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| 焊接电流调节范围 $I_{\min} \sim I_{\max}/A$ | | 5~160 | 5~200 | 25~250 | 15~315 | 15~400 | 15~500 |
| 空载电压 U_0/V | | 70~80 | 70~80 | 70~80 | 70~80 | 70~80 | 72~81 |
| 额定负载持续率 FS_e (%) | | 60 | 50 | 50 | 60 | 60 | 60 |
| 不同负载持续率 时焊接电流/A | 100% | | 5.6 | | 10.3 | 14.4 | 20 |
| | 额定负载 持续率 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| 额定输出功率/kW | | | 5.6 | | 10.3 | 14.4 | 20 |
| 电源电压 U_1/V | | 380 | 220 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| 电源相数 | | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 频率 f/Hz | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 初级额定电流 I_{1c}/A | | 8 | 23 | 11 | 22 | 31 | 43 |
| 额定容量 S_e/kVA | | 5.3 | 7.24 | 12 | 9.6 | 16 | 25 |
| 功率因数 $\cos\phi$ | | | 0.85 | | | 0.95 | |
| 焊机效率 η (%) | | 83 | 83 | 85 | 83 | 83 | 83 |
| 使用焊条直径 ϕ/mm | | 1.5~4.0 | 1.5~5.0 | | 1.5~6.0 | 1.5~6.0 | 1.5~6.0 |
| 质量 m/kg | | 14 | 14 | 38 | 30 | 30 | 32 |
| 外形尺寸/mm | 长 | 465 | 465 | 600 | 580 | 580 | 580 |
| | 宽 | 165 | 165 | 550 | 260 | 260 | 260 |
| | 高 | 270 | 270 | 300 | 360 | 360 | 360 |
| 特点与用途 | | 采用 IGBT 功率器件设计直流输出, 电流从小到大, 连续无级调节, 动态响应快, 起弧容易, 飞溅小、体积小、重量轻、便于移动, 适用焊条电弧焊的所有场合 | | | | | |

注: 型号中 S 表示焊条电弧焊。

采用焊条电弧焊或钨极氩弧焊方法焊接时, 电源的外特性都工作在恒流段。它们的区别仅在于采用焊条电弧焊时, 作为电极之一的焊条要熔化, 并有熔滴向金属熔池中过渡, 可能存在电弧的再引燃问题, 这样在外特性上的短路区段外特性为缓降特性, 所以焊条电弧焊的外特性 -

一般为恒流带外拖的特性。这通过在控制电路上进行合理的设计即可实现。因而,现在许多 IGBT 逆变焊条电弧焊电源均兼有 TIG 焊的功能。表 3-18 所示为 IGBT 多功能弧焊电源的技术参数。

表 3-18 IGBT 逆变多功能弧焊电源技术参数

| 型 号 | | WSM-125D | WSM-160D | WSM-250D | WSM-315D |
|--------------------|-------|------------|------------|------------|------------|
| 电网电压 U_1/V | | 220/380 | 380 | 380 | 380 |
| 相数 | | 1/3 | 3 | 3 | 3 |
| 脉冲电流调节范围 I_m/A | | 3~125 | 3~160 | 3~250 | 3~315 |
| 维弧电流调节范围 I_r/A | | 3~125 | 3~160 | 3~250 | 3~315 |
| 输出脉冲频率 f | 低频/Hz | 0.1~10 | 0.1~10 | 0.1~10 | 0.1~10 |
| | 高频/Hz | 50~500 | 50~500 | 50~500 | 50~500 |
| 占空比(%) | | 10~90 连续可调 | 10~90 连续可调 | 10~90 连续可调 | 10~90 连续可调 |
| 额定焊接电流 I_c/A | | 125 | 160 | 250 | 315 |
| 额定负载持续率 $FS_c(\%)$ | | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 效率 $\eta(\%)$ | | 90 | 90 | 90 | 90 |
| 质量 m/kg | | 18 | 20 | 22 | 23 |
| 外形尺寸/mm | 长 | 480 | 480 | 480 | 480 |
| | 宽 | 360 | 360 | 360 | 360 |
| | 高 | 300 | 300 | 300 | 300 |

3.1.5 焊条电焊机的选择

焊条电弧焊选择电焊机,应考虑以下因素:

1. 焊接电流的种类

电流种类选择直流或交流,主要是根据焊条类型、工程对象和焊接金属来确定。例如,焊接使用碱性低氢焊条的重要工程的钢管件以直流为好。当使用碱性焊条焊接高压容器、高压管道等重要钢结构或焊接非铁金属、合金钢、铸铁时,则必须选用弧焊整流器、弧焊发电机等直流电源(如 ZXG1-250、ZXG-400、AX1-165、AX-320、AX5-500、AX7-500 等)。使用酸性焊条的一般大型结构以交流更为合理。

在弧焊电源数量有限,而焊接材料的类型又较多的场合,可以考虑选用通用性较强的交、直流两用电源或多用途弧焊电源。

弧焊电源种类及其应用范围见表 3-19。

表 3-19 弧焊电源种类及其应用范围

| 弧焊电源 | | 弧焊方法 | | | | | | | | 弧焊机器人 | |
|-------|----------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|--|
| 类 型 | 外特性 | 焊条电 | 钨极氩 | 熔化极气 | 埋弧焊 | | 电流要求 | | | | |
| | | 弧焊 | 弧焊 | 体保护焊 | 电流要求 | 电流要求 | 电流要求 | 电流要求 | | | |
| 机械控制型 | 抽头式 弧焊变压器 弧焊整流器 | 下降 | = 低 | = 低 | | | = 低 | | | | |
| | | 平 | | | = 低 | | | | | | |
| | 动铁式、动绕组式 弧焊变压器 弧焊整流器 | 下降 | = 低 | = 低 | | | = 低 | | | | |
| | | 平 | | | | | | | | | |
| 电磁控制型 | 磁放大器式弧焊整流器 | 下降 | = 中 | (1) 中 | - 中 | - 中 | = 中 | | | | |
| | | 平 | | | = 中 | = 中 | | | | | |
| | 弧焊发电机 | 下降 | = 中 | - 中 | = 中 | = 中 | = 中 | | | | |
| | | 平 | | | = 中 | = 中 | | | | | |
| 电子控制型 | 晶闸管式弧焊电源 | 下降 | - 高 | (1) 高 | (1) 高 | = 高 | (1) 高 | (1) 高 | | | |
| | | 平 | | | (1) 高 | = 高 | (1) 高 | | | | |
| | 晶体管式弧焊电源 | 下降 | = 高 | (1) 高 | (1) 高 | | | (1) 高 | | | |
| | | 平 | | | (1) 高 | | | (1) 高 | | | |
| | 晶闸管 晶体管 场效应管 | 弧焊 逆变器 | 下降 | = 高 | = 高 | (1) 高 | = 高 | (1) 高 | | | |
| | | | 平 | | | (1) 高 | = 高 | (1) 高 | | | |
| | 矩形波交流弧焊电源 | 下降 | (2) 高 | (2) 高 | (2) 高 | (2) 高 | (2) 高 | (2) 高 | | | |
| | | 平 | | | (2) 高 | (2) 高 | (2) 高 | (2) 高 | | | |

注：1. 电流：“=”表示直流；“≡”交、直流两用；

(1) 表示直流或脉冲；(2) 表示直流或交流矩形波。

2. 要求：高、中、低分别为对焊接工作要求高、中、低的不同场合。

3. 下降特性包括缓降特性、恒流加外拖、恒流。

交、直流弧焊电源优缺点的比较见表 3-20。

2. 电源的功率及电流范围

需用的电流范围取决于使用焊条的类型和规格。但是电源是否能在所要求的范围内供给电流与电源的功率有很大的关系，在工程建设现场由于焊接位置变化很大，有时要求使用较长的电缆，更应当考虑电源的功率问题。一般在同样的焊接电流范围条件下，工程建设现场要求焊接电源有比固定工厂内使用的焊机有更大的功率。

表 3-20 交、直流电源的特点

| 主要指标(项目) | 直 流 | | 交 流 |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 弧焊发电机 | 弧焊整流器 | 弧焊变压器 |
| 效率 | 低(30%~60%) | 较高(60%~75%) | 高(65%~90%) |
| 功率因数 | 高(0.86~0.90) | 较高(0.65~0.70) | 低(0.3~0.6) |
| 每公斤熔敷金属耗电 | 6~8kW·h | 3.4~4.2kW·h | 3~1kW·h |
| 空载功率损耗 | 2~3kW | 0.1~0.35kW | 0.2kW |
| 制造材料消耗 | 100% | 60%~65% | 20%~30% |
| 生产弧焊电源工时 | 100% | 50%~70% | 20%~30% |
| 弧焊电源价格 | 100% | 105%~115% | 30%~40% |
| 每台占用面积 | 1.5~2m ² | 1~1.5m ² | 1~1.2m ² |
| 电弧稳定性 | 高 | 较高 | 低 |
| 极性可换性 | 有 | 有 | 无 |
| 构造与维修 | 较繁 | 较简单 | 简单 |
| 噪声 | 大 | 很小 | 较小 |
| 供电 | 三相 | 一般三相 | 一般单相 |
| 触电危险 | 较小 | 较小 | 较大 |

值得指出的是弧焊电源铭牌上所给出的额定电流系指在额定负载持续率下允许使用的最大电流。弧焊电源的负荷能力受电气元器件允许的极限温升所制约。而温升既取决于焊接电流大小，又与负荷状态有关。弧焊电源的负荷状态可以用规定工作周期内电源负荷持续时间的百分数负载持续率 FS 表示，即

$$FS = \frac{\text{负载持续时间}}{\text{规定的时间周期}} \times 100\%$$

焊条电弧焊电源的工作周期规定为 10min，额定负载持续率一般为 60%（另有 20%、35%、80% 和 100% 等四级），而轻便式弧焊电源为 15%~25%。

已知弧焊电源的额定负载电流 I_e 和额定负载持续率 FS_e ，则根据等效发热原理，可按下列公式计算出其他负载持续率 FS 下允许使用的焊接电流 I

$$I = I_e \sqrt{\frac{FS_e}{FS}}$$

3. 工作条件及经济性

对于工程建设现场选用焊机必须考虑工作条件及经济性。要求焊机重量轻、易搬运、牢固不易损坏、可在露天或工棚中使用，维修方便，耗能低，价格便宜。因为不易都能满足，所以要进行综合比较。三类焊条电弧焊机的综合比较见表 3-21。

表 3-21 三类焊条电弧焊机的综合比较

| 项 目 | 弧焊变压器 | 弧焊发电机 | 弧焊整流器 |
|------------|-------|-------|-------|
| 稳弧性 | 较差 | 好 | 较好 |
| 电网电压波动的影响 | 较小 | 小 | 较大 |
| 噪声 | 小 | 大 | 较小 |
| 硅钢片与铜导线需要量 | 少 | 多 | 较少 |
| 结构与维修 | 简单 | 复杂 | 较简单 |
| 功率因数 | 较低 | 较高 | 较高 |
| 空载损耗 | 较小 | 较大 | 较小 |
| 成本 | 低 | 高 | 较高 |
| 重量 | 轻 | 重 | 较轻 |

3.1.6 焊条电弧焊设备辅助器件

1. 焊钳

焊钳只是一种夹持器，以使焊工能夹住焊条和控制焊条。

焊钳有各种规格，以适应各种标准焊条直径。每种规格的焊钳是以所要夹持的最大直径焊条需用的电流设计的。采用不致过热的最小规格的焊钳，对于焊接作业最为合适，见表 3-22。

表 3-22 电焊钳的规格及其工作参数

| 规格 (按适用电流) /A | 负载持续率 (%) | 工作电压 /V | 工作电流 /A | 适用焊条直径 /mm | 连接电缆截面 /mm ² |
|------------------|--------------|------------|------------|---------------|----------------------------|
| 160 | 60 | 26 | 160 | 2.0~4.0 | 35 |
| 250 | 60 | 30 | 250 | 2.0~5.0 | 50 |
| 300 | 60 | 32 | 300 | 2.5~5.0 | 50 |
| 400 | 60 | 36 | 400 | 3.2~5.8 | 75 |
| 500 | 60 | 40 | 500 | 4.0~8.0 | 95 |

2. 接地夹钳

接地夹钳是将焊接导线或接地电缆接到工件上的一种器具。接地夹钳必须能形成牢固的连接，又能快速且容易地夹到工件上。以使夹钳不过热并形成良好的连接。

3. 焊接电缆

利用焊接电缆将焊钳和接地夹钳接到电源上。焊接电缆是焊接回路的一部分。

表 3-23 为焊接电缆的规格和允许焊接电流。

表 3-23 焊 接 电 缆

| 电缆种类 | 线芯数及 标称截面 /mm ² | 导电线芯 | | 电缆 外径 /mm | 铜重 /(kg/km) | 电缆重 /(kg/km) | 最大焊 接电流 /A |
|---------------------------|----------------------------------|----------|-------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|
| | | 线芯 材料 | 线芯直径 /mm | | | | |
| YHH 型电焊机 用橡胶套电缆 | 1×16 | 纯铜 | 6.23 | 11.5 | 145 | 282 | 120 |
| | 1×25 | | 7.50 | 12.6 | 222 | 397 | 150 |
| | 1×35 | | 9.23 | 15.5 | 321 | 557 | 200 |
| | 1×50 | | 10.50 | 17.0 | 457 | 737 | 300 |
| | 1×70 | | 12.95 | 20.6 | 637 | 990 | 450 |
| | 1×95 | | 14.70 | 22.8 | 861 | 1339 | 600 |
| | 1×120 | | 17.15 | 25.6 | — | — | — |
| | 1×150 | | 18.90 | 27.3 | — | — | — |
| YHHR 型电焊 机用特软橡胶 套电缆 | 1×6 | 纯铜 | 3.69 | 8.5 | 55 | — | 35 |
| | 1×10 | | 4.89 | 9.0 | 93 | — | 60 |
| | 1×16 | | 6.15 | 10.8 | 145 | 282 | 100 |
| | 1×25 | | 8.00 | 13.0 | 222 | 397 | 150 |
| | 1×35 | | 9.00 | 14.5 | 321 | 557 | 200 |
| | 1×50 | | 10.60 | 16.5 | 457 | 737 | 300 |
| | 1×70 | | 12.95 | 20.0 | 637 | 990 | 450 |
| | 1×95 | | 14.70 | 22.0 | 861 | 1339 | 600 |

焊接电缆规格，应按焊接电流（最大使用焊接电流）、焊接电路的长度和负载持续率进行选择。一般要求焊接电缆上的压降不大于 4V。工程现场因为环境的限制，有时需要使用长电缆，需要将较短的电缆连接起来使用。这时必须保证接头有良好的接触，尽量的降低接触处的电阻，并且要保证良好的绝缘。如使用铝电缆，它应比该种用途的铜电缆

大两个规格。

焊接电缆截面与电缆长度、焊接电流的关系见表 3-24。

表 3-24 焊接电缆截面与焊接电流及导线长度

| 电 缆 截 面 面 积 /mm ² | 导线长度/m | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|--|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | |
| 100 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 28 | 35 | |
| 150 | 35 | 35 | 35 | 35 | 50 | 50 | 60 | 70 | 70 | |
| 200 | 35 | 35 | 35 | 50 | 60 | 70 | 70 | 70 | 70 | |
| 300 | 35 | 50 | 60 | 60 | 70 | 70 | 70 | 85 | 85 | |
| 400 | 35 | 50 | 60 | 70 | 85 | 85 | 85 | 95 | 95 | |
| 500 | 50 | 60 | 70 | 85 | 95 | 95 | 95 | 120 | 120 | |
| 600 | 60 | 70 | 85 | 85 | 95 | 95 | 120 | 120 | 120 | |

4. 面罩

面罩的用途是保护焊工的眼睛、面部、前额、颈部和耳朵不受电弧的直接辐射与飞出的火星和飞溅物的伤害。某些面罩装有附加的“反弹盖”，使黑色滤光片向面罩开口上方反弹。这样焊工从焊缝上清除熔渣时就可以看得清楚，并挡住飞来的焊渣，保护了焊工的面部和眼睛，如图 3-20 所示。面罩有头戴式和手持式两种，其规格见表 3-25，可根据焊工的工作习惯选用。

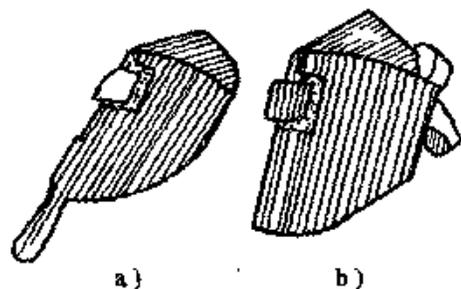


图 3-20 面罩

a) 手持式 b) 头戴式

表 3-25 焊接面罩规格

(mm)

| 名 称 | 代号 | 长度 | 宽度 | 深度 | 观察窗 |
|-----------|--------|------|------|---------|--------|
| 手持式 | HM-1 | ≥320 | ≥210 | ≥100 | ≥40×90 |
| 头戴式 | HM-2-A | ≥340 | ≥210 | >120 | ≥40×90 |
| 安全帽与面罩连接式 | HM-3-A | | | 100±0.5 | ≥40×90 |
| 头盔式 | HM-4 | | | 100±0.5 | ≥40×90 |

注：面罩质量（除去镜片、安全帽等附件）不得大于 500g。

焊接面罩上有一放置滤光片的“窗口”，其标准尺寸为 51mm×130mm。也可用大一些的开口。滤光片应能吸收由电弧发射的红外线、紫外线以及大多数可见光线。目前使用的滤光片可吸收由电弧发射的 99% 以上的红外线和紫外线。电焊护目镜片的规格及适于作业范围见表 3-26。各遮光号的紫外线透射比与红外线透射比应符合表 3-27 要求。

表 3-26 电焊护目镜片规格

| 外形尺寸 (长×宽×厚): 108mm×50mm×2~3.8mm | | | | | | | | |
|---|----------|-----|------|--------|---------|----------|-------|----|
| 色泽: 褐色或暗绿色; 遮光号数愈大, 色泽愈深, 有害电弧光线透过率愈小, 适用的焊接电流则愈大 | | | | | | | | |
| 镜片遮光号 | 1.2, 1.4 | 3 | 5 | 7 | 9, 10 | 12 | 14 | 15 |
| | 1.7, 2 | 4 | 6 | 8 | 11 | 13 | | 16 |
| 适用电焊作业 | 防侧光及杂散射 | 辅助工 | ≤30A | 30~70A | 70~200A | 200~400A | ≥400A | |

表 3-27 焊接滤光片透射比性能要求 (GB/T 3609.1—1994)

| 遮光号 | 紫外线透射比 | | 可见光透射比 | | 红外线透射比 | |
|-----|-------------|-------------|------------|------------|-------------------|---------------------|
| | 313nm | 365nm | 最大 | 最小 | 近红外 780~1300nm | 中近红外 1300~2000nm |
| 1.2 | 0.000003 | 0.5 | 1.00 | 0.744 | 0.37 | 0.37 |
| 1.4 | 0.000003 | 0.35 | 0.745 | 0.581 | 0.33 | 0.33 |
| 1.7 | 0.000003 | 0.22 | 0.581 | 0.432 | 0.26 | 0.26 |
| 2 | 0.000003 | 0.14 | 0.432 | 0.291 | 0.21 | 0.13 |
| 2.5 | 0.000003 | 0.064 | 0.291 | 0.178 | 0.15 | 0.096 |
| 3 | 0.000003 | 0.028 | 0.178 | 0.085 | 0.12 | 0.085 |
| 4 | 0.000003 | 0.0095 | 0.085 | 0.032 | 0.064 | 0.054 |
| 5 | 0.000003 | 0.0030 | 0.032 | 0.012 | 0.032 | 0.032 |
| 6 | 0.000003 | 0.0010 | 0.012 | 0.0044 | 0.017 | 0.019 |
| 7 | 0.000003 | 0.00037 | 0.0044 | 0.0016 | 0.0081 | 0.012 |
| 8 | 0.000003 | 0.00013 | 0.0016 | 0.00061 | 0.0043 | 0.0068 |
| 9 | 0.000003 | 0.000045 | 0.00061 | 0.00023 | 0.0020 | 0.0039 |
| 10 | 0.000003 | 0.000016 | 0.00023 | 0.000085 | 0.0010 | 0.0025 |
| 11 | 0.000003 | 0.000006 | 0.000085 | 0.000032 | 0.0005 | 0.0015 |
| 12 | 0.000002 | 0.000002 | 0.000032 | 0.000012 | 0.00027 | 0.00097 |
| 13 | 0.00000076 | 0.00000076 | 0.000012 | 0.0000044 | 0.00014 | 0.0006 |
| 14 | 0.00000027 | 0.00000027 | 0.0000044 | 0.0000016 | 0.00007 | 0.0004 |
| 15 | 0.000000094 | 0.000000094 | 0.0000016 | 0.00000061 | 0.00003 | 0.0002 |
| 16 | 0.000000034 | 0.000000034 | 0.00000061 | 0.00000029 | 0.00003 | 0.0002 |

注: 1. 210nm 和 313nm 之间, 透射比不应超过 313nm 所允许的数值。

2. 在 313nm 和 365nm 之间, 透射比不应超过 365nm 所允许的数值。

3. 在 365nm 和 400nm 之间, 平均透射比不应超过可见光的平均透射比所允许的数值。

5. 电焊条保温筒

使用低氢焊条焊接重要结构时,焊条必须先进烘箱焙烘,烘干温度和保温时间因材料和季节而异。一般烘干温度为 $150\sim 400^{\circ}\text{C}$,保温时间为 $1\sim 2\text{h}$ 。焊条从烘箱内取出后,应贮存在焊条保温筒内,在施工现场逐根取出使用。常用焊条保温筒型号及技术数据见表3-28。

表 3-28 电焊条保温筒型号和技术数据

| 项 目 | 型 号 | | | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | PR-1 | PR-2 | PR-3 | PR-4 |
| 电压范围/V | 25~90 | 25~90 | 25~90 | 25~90 |
| 加热功率/W | 400 | 100 | 100 | 100 |
| 工作温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 300 | 150 ± 15 | 150 ± 15 | 150 ± 15 |
| 绝缘性能/ $\text{M}\Omega$ | >3 | >3 | >3 | >3 |
| 可装焊条长度/mm | 410、450 | 410、450 | 410、450 | 410、450 |
| 可装焊条质量/kg | 5 | 2.5 | 5 | 5 |
| 自重/kg | 3.5 | 2.8 | 3 | 3.5 |
| 外形尺寸/mm | $\phi 145\times 550$ | $\phi 110\times 570$ | $\phi 155\times 690$ | $\phi 195\times 700$ |

6. 焊接接头尺寸检测器

用以测量坡口角度、间隙、错边以及余高、缝宽、角焊缝厚度等尺寸。由直尺、探尺和角度规组成,如图3-21所示。HCQ-1型焊缝接头尺寸检测器测量范围见表3-29。

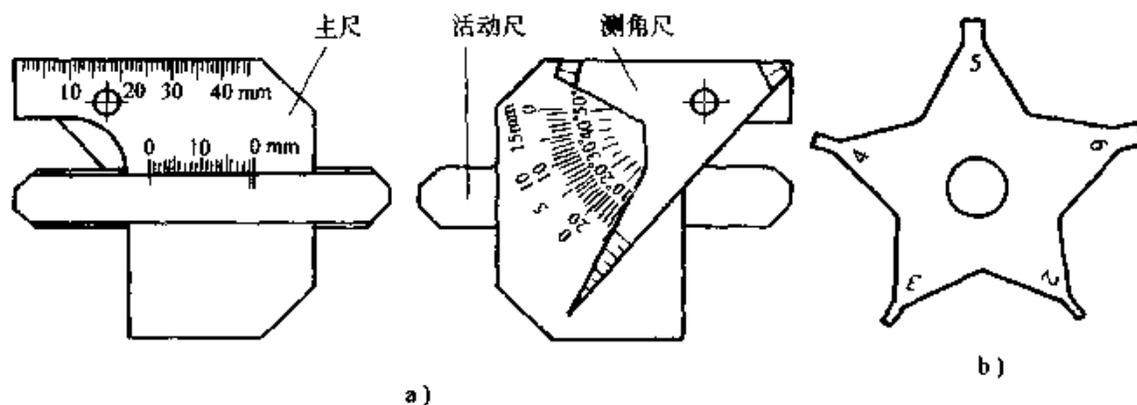


图 3-21 焊接接口测量工具

a) 焊接检验尺 b) 角度间隙量规

表 3-29 HCQ-1 型焊缝接头检测器量程范围

| 角度样板 /° | 坡口角度 /° | 间隙 /mm | 钢尺 /mm | 铁边 /mm | 焊缝高度 /mm | 焊缝宽度 /mm | 角焊缝高度 /mm | 角焊缝厚度 /mm |
|----------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 15 30 45 60 90 | ≤150 | 1~5 | 40 | 1~20 | ≤20 | ≤40 | ≤20 | 1~20 |

7. 清渣榔头和钢丝刷

用于除锈，清渣。

8. 夹具及变位器

夹具用于定位，防止焊接变形。变位器用于将工件上待焊缝置于更容易焊接的位置，以提高焊接质量及生产效率。

9. 气动打渣工具及高速角向砂轮机

用于焊后清渣，焊缝修整及坡口准备（表 3-30）。

表 3-30 焊接用气动工具及角向砂轮机

| 名 称 | 型 号 | 主 要 用 途 |
|-----------|----------|-----------|
| 气动扁铲打渣机 | CZ2 | 焊后清渣 |
| 长柄气动打渣机 | CZ3 | |
| 气动针束打渣机 | XCD2 | |
| 轻便气动钢刷机 | | |
| 气动角向砂轮机 | MJ1-180 | 坡口准备，焊缝修整 |
| 高速气动角向砂轮机 | φ100 砂轮 | |
| 高速电动角向砂轮机 | S5MJ-180 | |
| 砂轮机 | S40 | |

3.2 管子对接 TIG 焊机及管板对接 TIG 焊机

在锅炉、化工、电力、原子能等工业部门的管线及换热器的生产及安装过程中，经常会遇到固定管子的对接以及管板对接问题，TIG 焊是解决这些问题的最佳方法。目前，国内外已生产了多种形式的专用管子对接、管板对接自动 TIG 焊机。

管子对接 TIG 焊机由管子对接机头、控制箱或控制盒、弧焊电源等组成,可对处于固定状态的、任意长度的管子进行焊接。焊接过程中机头绕管子轴线旋转,在计算机程序控制下进行分段焊接。可从管子侧面安装、拆下机头。安装时要求焊缝两侧的管子平直部分应具有一定长度,管子离开墙面一定距离。机头有敞开式及封闭式两种。利用前者焊接时,电弧是明弧;利用后者焊接时,电弧被机头遮闭住。封闭式机头通常需要水冷。管板对接 TIG 焊机由管板焊接机头、控制箱及电源组成。

(1) 国产管子对接 TIG 焊机的技术参数 表 3-31 列出了国产管子对接、管板对接自动 TIG 焊设备的技术参数。

表 3-31 国产管子对接、管板对接机自动 TIG 焊设备的技术参数

| 焊机名称 | 管子对接机 | | | | | | 管板对接机 |
|----------------|---------------------|---------|-------------------|--|---------------------|--------------------------------------|---------|
| 型号 | NZA-250 -1 | NZA7-1 | NZA7-2 | NZA7- 200 | NZA-300 -1 | WZM-400B | NZA4-75 |
| 电源输入电压/V | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| 相数 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 空载电压/V | | 80 | 70 | 70 | | | |
| 工作电压/V | | | 16~25 | | | | |
| 电源容量/kVA | | 6 | | 16 | | | 6 |
| 电流调节范围/A | 20~300 | 5~100 | 20~200 | 20~200 | 30~300 | 40~400 | 10~75 |
| 额定焊接电流/A | 250 | 100 | | 200 | 300 | 400 | 75 |
| 额定负载持续率 (%) | 60 | | | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 钨极直径/mm | | 1,1.6,2 | 1,2,3 | 1,2,3 | | | 1~2 |
| 填充焊丝直径/mm | | 无 | 0.5,0.8, 1,1.2 | 0.8,1, 1.2 | | 1.0~1.2, 热丝(热 丝电流为 30~150A) | 无 |
| 焊接管子直径/mm | 32~42 壁厚: 1~5 | 8~26 | 20~60 | 小机头: 50~108 中机头: 108~159 大机头: 159~219 | 32~42 壁厚: 3~5 | 30~70 | |

(续)

| 焊机名称 | | 管子对接机 | | | | | 管板对接机 |
|---------------------------------------|--|--|---|--|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 型号 | NZA-250 -1 | NZA7-1 | NZA7-2 | NZA7- 200 | NZA-300 -1 | WZM-400B | NZA4-75 |
| 焊炬最大旋转 半径/mm | | 70 | | | | | |
| 焊接角速度 $/(r \cdot \text{min}^{-1})$ | 0.25~2 | 0.28~2.8 | | | 0.3~1.3 | 0.3~3 | |
| 焊接速度 $/(m \cdot h^{-1})$ | | | 10~40 | 2.5~25 | | | 0.3~5 $r \cdot \text{min}^{-1}$ |
| 送丝速度 $/(m \cdot h^{-1})$ | | | 15~60 | 15~60 | | 24~30 | |
| 焊炬可调角度/ $^{\circ}$ | | | | | | | 45 |
| 焊炬位移 /mm | 径向 | | 15 | | | | ± 15 |
| | 轴向 | | 10 | | | | 1~10 |
| 外形尺寸 /mm | 机头 | | 160×220 ×220 | | | 8000×1900 ×3040(焊 机外形尺 寸) | 200×200 ×230 |
| | 控制箱 | 650×555 ×1515 | 650×450 ×1000 | | | | 600×300 ×410 |
| 氩气流量 $/(L \cdot \text{min}^{-1})$ | | | 2.6×26 | | | | 4~12 |
| 用途 | 焊接直 径为 32~ 42mm 的 不锈钢、 合金钢管 子 | 用于直 径为 8~ 26mm 的 不锈钢管 子的对接 | 用于直 径为 20~ 60mm 的 不锈钢管 子的对接 | 用于直 径为 50~ 219mm 的 不锈钢 管、高合 金钢管、 碳钢管对 接 | 适于 焊接各 种耐热 合金钢 钢管 | 电站锅 炉的管子 焊接 | 不锈钢 管板焊接 专用设备 |
| 备注 | 配用 脉冲电 源 | 配用 ZXG-100 型弧焊 电源 | | | 配用 脉冲电 源 | | 配用 ZXG-100 型 弧焊电源 |

(2) 国外管子对接 TIG 焊机的技术参数 表 3-32 列出了梅萨·谱利苏迪公司生产的管子对接及管板对接 TIG 焊设备的技术参数。表 3-33 列出了美国产典型管子对接自动 TIG 焊设备的技术参数。

表 3-32 梅萨·谱利芬迪公司产管子对接及管板对接
自动 TIG 焊设备的技术参数

| 电 源 | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|-----|-------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|----------|------|---------------|--------|
| 型 号 | 输入电压 /V | 相数 | 额定输入容量 /kVA | 电流调节范围 /A | 额定电流 /A | 空载电压 /V | 容量 /kVA | 负载持续率 (%) | 电流精度 (%) | 编程方式 | 外形尺寸 /mm | 质量 /kg |
| AUTOTIG 140P | 220 | 1 | 3.5 | 1~140 | 140 | | | 100 | ±1 | 微处理器 | 520×400×370 | 34 |
| AUTOTIG 200-4P | 230/115 | 1 | 10 | 2~200 | 200 | 75 | | 30 | ±1 | 微处理器 | | |
| AUTOTIG PS254 | 380 | 1 | 10 | 4~250 | 250 | | | 60 | ±1 | 微处理器 | | |
| AUTOTIG 250P | 220/380 | 1/3 | 10 | 5~250 | 250 | 100 | 10 | 60 | ±1 | 微处理器 | 1200×600×1400 | 320 |
| AUTOTIG 250PC | 380 | 3 | 13 | 3~250 | 250 | | 13 | 60 | ±1 | 计算机 | 1250×710×1300 | 270 |
| AUTOTIG 300PC | 380 | 3 | 13 | 3~300 | 300 | | | 60 | ±1 | 计算机 | | |
| AUTOTIG 350PC | 380 | 3 | 19 | 5~350 | 350 | | | 60 | ±1 | 计算机 | | |
| AUTOTIG 600PC | 380 | 3 | 19 | 10~600 | 600 | | | 60 | ±1A | 计算机 | | |

管 子 对 接 机 头

| 敞开式管子对接机头 | | | | 封闭式管子对接机头 | | | |
|----------------|----------|------|------|-----------|------------|------|------|
| 型号 | 管径范围 /mm | 弧长控制 | 摆动控制 | 型号 | 管径范围 /mm | 冷却方式 | 备注 |
| MU III 16 | 8~16 | 无 | 无 | K-375 | 1.6~9.5 | 水冷却 | |
| MU III 25 | 12~25.4 | 无 | 无 | K-875 | 3.127~22.2 | 水冷却 | |
| MU III 34 | 16~34 | 无 | 无 | K-1500 | 6.35~38.1 | 水冷却 | |
| MU III 8/34 | 8~34 | 无 | 无 | K-3000 | 25.4~76.2 | 水冷却 | |
| MU III 51 | 25~51 | 可选配 | 可选配 | K-7000 | 76.2~177.8 | 水冷却 | |
| MU III 80 | 32~80 | | | H-500-A | 3.17~12.7 | 气冷却 | |
| MU III 20/80 | 20~80 | | | HD-1550-P | 6.00~38.10 | 气冷却 | |
| MU III 114 | 70~114 | | | MW-1250 | 6~33.7 | 水冷却 | |
| MU III 30/114 | 30~114 | | | MW-1250E | 6~22 | 水冷却 | 尤其适用 |
| MU III 170/114 | 76~170 | | | MW-2500E | 9.5~48.3 | 水冷却 | 于焊弯管 |
| MU III 220 | 102~220 | | | MW-4500 | 25~114.3 | 气冷却 | |

(续)

| 管板对接机头 | | | | | | | | | | |
|----------|---------|------------------------------|--------|----------|------|------------------------------|---------|-------|-------------------|-------------------|
| 型号 | 可焊管径/mm | 焊接速度/(mm·min ⁻¹) | 额定电流/A | 负载持续率(%) | 送丝机构 | 送丝速度/(mm·min ⁻¹) | 焊丝直径/mm | 弧长控制 | 定位方式 | 适用范围 |
| TP608~60 | | 50~150 | 200 | 60 | 自带 | 130~2500 | 0.6~1.0 | 自动 | X-Y-Z 滑架支撑或气动定位 | 适用于各种特殊场合及焊接性差的金属 |
| TS608~60 | | 50~150 | 200 | 60 | 自带 | 130~2000 | 0.6~1.0 | 手动、自动 | 插入芯杆, 二点平面定位/气动定位 | 可用于管伸出、管平齐、管内缩的管板 |
| TS738~60 | | 50~150 | 200 | 60 | 外配 | 可选 | 可选 | 手动 | 插入芯杆, 三点平面定位 | 可用于管伸出、管平齐、管内缩的管板 |

注: 设备主要由电源及对接机头组成, 管子对接焊机与管板对接焊机可采用相同的电源, 可根据实际情况选配机头。

表 3-33 美国产典型管子对接自动 TIG 焊设备的技术参数

| 管子对接焊机电源 | | | | | | |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|----------|
| 型号 | T.B.-300 | T.B.-600 | T.B.-900 | CobraTig 150 | PA-10/100-STD | AWS-150 |
| 焊接电源输入电压/V | 208、220、240、400 | 208、220、240、400 | 208、220、240、400 | 220 | 115、220 | 220 |
| 相数 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 频率/Hz | 50/60 | 50/60 | 50/60 | 50 | 50/60 | 50/60 |
| 额定输入功率/kVA | 8 | 16 | 24 | | | |
| 负载持续率(%) | 100 | 100 | 100 | 100 | | 100 |
| 额定电流/A | 300 | 600 | 900 | 150 | | 150 |
| 焊接电流范围/A | 2~300 | 4~600 | 6~900 | 1~150 | | |
| 峰值电流/A | 2~300 | 4~600 | 6~900 | 1~150 | 1.0~99.9 | 1.0~150 |
| 基值电流/A | 2~300 | 4~600 | 6~900 | 1~150 | 1.0~99.9 | 1.0~150 |
| 脉宽比(%) | 0~99 | 0~99 | 0~99 | | 0~99 | 0.1~99.9 |
| 脉冲频率/Hz | 0~10000 | 0~10000 | 0~10000 | 0.4~100 | 0~99 | 0.1~100 |
| 起弧电流/A | 10~100 | 10~100 | 10~100 | | | |

(续)

| 管子对接焊机电源 | | | | | | |
|--------------|--|-------------------|-------------------|---|---------------|-----------------|
| 型号 | T.B.-300 | T.B.-600 | T.B.-900 | CobraTig 150 | PA-10/100-STD | AWS-150 |
| 保护气预通时间/s | | | | | 0~99 | 0~1000 |
| 保护气滞后时间/s | | | | | 0~99 | 0~1000 |
| 外形尺寸/mm | 2026×760 ×1064 | 2026×760 ×1064 | 2026×760 ×1064 | 356×216 ×483 | | 558×431 ×457 |
| 质量/kg | 409 | 540 | 681 | 19 | | 200 |
| 备注 | 配用管子对接机头进行自动焊接；此外，还可进行手工 TIG 焊，也可配用纵缝、环缝焊接机床对合金钢、不锈钢进行高速自动焊接 | | | 配用管子对接机头进行自动焊接；此外，还可进行手工 TIG 焊，也可配用纵缝、环缝焊接机床进行薄板及超薄板的焊接 | | |
| 封闭式全位置管子对接机头 | | | | | | |
| 型号 | Model-STW 50 | Model-STW 100 | Model-STW 101 | Model-STW 102 | Model-STW 103 | Model-STW 104 |
| 管径范围/mm | 1.0~6.4 | 3.2~12.7 | 3.1~22.2 | 6.35~38 | 25.4~77 | 50.8~114.3 |

3.3 气焊设备

气焊、气割是利用可燃气体（目前主要是乙炔与丙烷）与氧混合燃烧形成的火焰产生的高温熔化金属来进行焊接和切割的，气焊设备与工具主要有：乙炔瓶（乙炔发生器）、氧气瓶、减压器、回火防止器、焊炬以及橡胶管等。根据操作的机械化程度的不同，分手工、半自动和自动三类。

3.3.1 氧气瓶、乙炔瓶及瓶阀

1. 氧气瓶及瓶阀

氧气瓶是贮有气态氧的一种高压容器，额定工作压力为 15MPa。氧气瓶（包括瓶帽）外表应涂成大蓝色，在气瓶上用黑漆标注“氧气”两字。

氧气瓶是由优质碳素钢或低合金钢轧制成的无缝容器，形状见图 3-22。

目前，我国生产使用的氧气瓶规格见表 3-34。

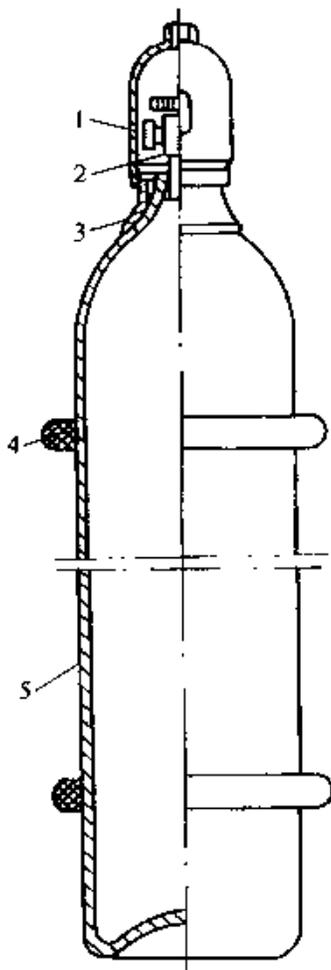


图 3-22 氧气钢瓶

1—瓶帽 2—瓶阀 3—瓶箍
4—防振圈(橡胶制品) 5—瓶体

表 3-34 氧气瓶的规格

| 气瓶容积 /L | 气瓶外径 /mm | 瓶体高度 /mm | 质量 /kg |
|--------------|--------------------|------------------------------|-----------|
| 33 | | 1150 ± 20 | 45 ± 2 |
| 40 | φ219 | 1370 ± 20 | 55 ± 2 |
| 44 | | 1490 ± 20 | 57 ± 2 |
| 工作压力 /MPa | 水压试验 压力 /MPa | 名义装 气量 /m ³ | 瓶阀型号 |
| | 15 | 22.5 | |

瓶阀是开闭氧气的阀门，分为活瓣式和隔膜式。

2. 乙炔瓶

乙炔瓶是用来贮存和运输乙炔的容器，形状与结构见图 3-23。

乙炔瓶外表涂白色漆，瓶口安装专门的乙炔气阀。瓶内装满浸透丙酮的多孔性填料（硅酸钙颗粒等）。乙炔瓶的工作压力为 1.5MPa，水压试验压力为 6MPa。使用乙炔瓶必须配备乙炔减压器，以便调节乙炔的压力。

3.3.2 乙炔发生器

乙炔发生器是利用电石 (CaC_2) 和水发生化学反应制取乙炔的一种设备。

乙炔发生器按所制取乙炔的压力分为低压式 ($< 4.41 \times 10^{-2} \text{MPa}$)、中压式 ($4.41 \times 10^{-2} \text{MPa} \sim 0.147 \text{MPa}$) 和高压式 ($> 0.147 \text{MPa}$)；按发生器位置固定来分为固定式和移动式；按发生器工作原理不同分为排水式、浮筒式、电石入水式、水入电石式和联合式。浮筒式低压乙炔发生器不安全，目前已被淘汰。各种乙炔发生器的使用特点见表 3-35。

目前，我国成批生产的主要是中压式乙炔发生器，具体型号与技术数据见表 3-36。

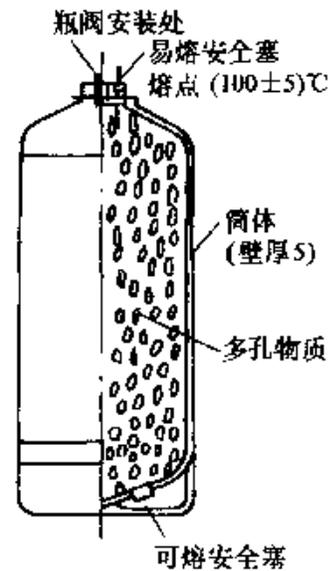


图 3-23 乙炔气瓶结构简图

表 3-35 乙炔发生器的类型

| 类别 | 使用特点 |
|-------|--|
| 排水式 | 利用乙炔压力，将水排挤到发生器的隔层中去来控制电石与水脱离或接触，从而调节发气室中乙炔的压力。结构简单，使用、移动方便；缺点是内部气温较高，电石一次不能装得太多，装电石时要中断生产 |
| 水入电石式 | 水由水管滴入电石槽，产生乙炔。这种发生器电石槽少、没污水、操作方便、更换电石不影响生产，能使用各种尺寸的电石块；缺点是电石分解不完全，发气效率低 |
| 电石入水式 | 电石装在电石箱内，由一套控制阀门根据乙炔消耗情况，自动调节落入水中的电石量。电石分解完全，发气效率高，乙炔冷却、清洁也较充分；但构造较复杂，体积庞大，用水量大，清电石渣和污水较麻烦 |
| 联合式 | 是水入电石式和排水式的组合形式，利用两个压挤室调节水位，控制乙炔发气量。该形式发生器乙炔的压力比较稳定，装料、排水、加水、清渣都方便，使用安全，但结构较复杂，一般做成固定式 |

表 3-36 常用乙炔发生器型号与技术数据

| 型 号 | Q3-0.5 | Q3-1 | Q3-3 | Q4-5 | Q4-10 |
|-------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 名 称 | 移动式中压乙炔发生器 | | 固定式中压乙炔发生器 | 固定式双压挤调压乙炔发生器 | |
| 类 型 | 排水式 | | | 联合式 | |
| 发气量/(m ³ /h) | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 5.0 | 10 |
| 工作压力/MPa | 0.044~0.098 | | | 0.098~0.0120 | 0.044~0.098 (最大0.147)(最大0.147) |
| 发气室允许最高温度/°C | 90(乙炔) | | | 90(乙炔)60(水) | |
| 电石一次装入量/kg | 2.4 | 5 | 13 | 12.5 | 25.5 |
| 电石块度/mm | 25×50、50×80 | | | 15×25 | 15×25; 25×50; 50×80 |
| 容量/L | 30(水) | 65(水) | 330(水) | 338(水) 574(乙炔) | 958(乙炔) 818(水) |
| 安全阀泄气压力/MPa | 1.15 | 1.1 | | 1.5 | |
| 安全膜爆破压力/MPa | 0.18~0.27 | | | | |
| 外形尺寸/mm | 515×505 ×930 | 1210×675 ×1150 | 1050×770 ×1755 | 1450×1375 ×2180 | 1700×1800 ×2690 |
| 净重/kg (不包括电石、水) | 40 | 115 | 260 | 750 | 980 |

3.3.3 回火防止器

回火防止器是一种安全设备，其作用是在气焊或气割过程中，焊炬或割炬发生火焰倒燃（回火）时，防止火焰窜入发生器或阻止乙炔管内火焰的扩展，从而避免发生器主体发生爆炸事故。回火防止器是乙炔发生器中必不可少的重要安全装置，若乙炔通路中没有回火防止器或回火防止器工作状态不正常，则不准进行气焊或气割作业。回火防止器按表 3-37 分类。

表 3-38 列出常用回火防止器的使用特点，应根据工作场地及条件合理选用。图 3-24 所示为 GY-70-I 型干式回火防止器结构，其技术数据见表 3-39。

ZH4 型干式回火防止器是利用微孔熄灭原理达到有效地阻止各种可燃混合气体回火，其技术数据见表 3-40。

表 3-37 回火防止器类型

| 分类方法 | 类型 |
|-----------|--|
| 按工作压力和构造分 | 低压 (<0.01MPa) 开口式回火防止器 中压 (0.01~0.15MPa) 闭式回火防止器 |
| 按供气能力分 | 岗位式 (乙炔消耗量 < 3m ³ /h) 集中式 (乙炔消耗量 > 5m ³ /h) |
| 按防护介质分 | 水封式回火防止器 干式回火防止器 |

表 3-38 常用回火防止器

使用特点

| 类型 | 使用特点 |
|--------------|--|
| 低压水封式回火防止器 | 回火时, 燃烧气体从水封管冲出, 排入大气, 利用水层的隔火作用防止回火。但回火时不能切断乙炔供气, 使用中要经常检查水位, 及时加水。冬天容易结冰。目前很少使用 |
| 中压水封式回火防止器 | 回火时, 燃烧气体冲破防爆膜排入大气, 同时逆止阀能瞬时切断气源, 缺点是只能暂时切断供气, 回火后要关闭总阀, 更换防爆膜, 逆止阀容易积污以至泄漏, 要定期清洗。水位要恒定, 冬季要防冻。国内使用较广 |
| 中压防爆膜干式回火防止器 | 系不用水封, 而采用膜座、膜盖及防爆膜片组成的防爆装置。逆止阀也是瞬时关闭, 故也不能有效地切断气源, 回火后要更换防爆膜 |
| 中压冶金片干式回火防止器 | 采用能透过气体、但有阻火作用的粉末冶金片。回火时, 锥形阀切断气源。回火后只需操作复位手柄即能使锥形阀芯复位, 供重新使用。体积小, 质量小, 不需水, 不受气候条件限制, 维护、操作方便 |

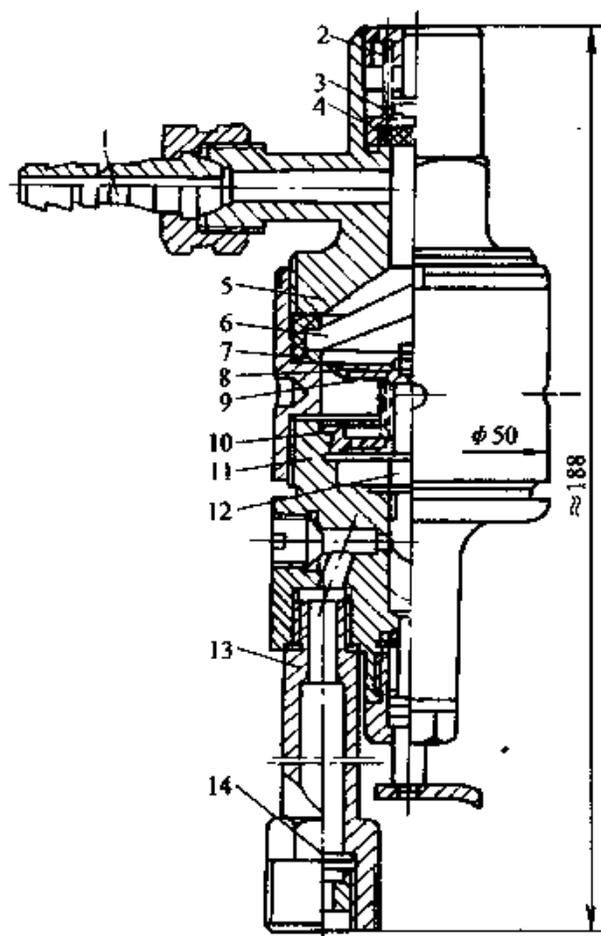


图 3-24 GY-70-1 干式回火防止器

- 1—出气接头 2—调节螺母 3—调压弹簧
4—逸气密封垫 5—上主体 6—粉末冶金片
7—密封圈 8—承压片 9—托位弹簧
10—导向圈 11—主体 12—阀芯
13—进气管 14—过滤件

表 3-39 GY-70-1 型干式回火防止器技术数据

| 不锈钢粉末 冶金片规格 | 工作压力 /MPa | 阻力 /(N/cm ²) | 流量 /(m ³ /h) | 泄压阀泄气压力 /MPa |
|---------------------------|--------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|
| 粉末:150~250目 压制压力:40GPa | 0.05 | 0.5 | 3.0 | 0.21±0.02 |
| | 0.07 | 0.9 | 4.1 | |
| 直径:φ39mm 厚度:4mm | 0.1 | 0.0 | 5.3 | |
| | 0.15 | 2.2 | 7 | |

表 3-40 ZH-4 型干式回火防止器

| 供气压力/MPa | 0.005 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.1 | 0.12 | 0.15 |
|------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| 输出压力/MPa | 用于射吸式焊、割炬 | | | | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.055 | 0.07 | 0.085 |
| 流量/(m ³ /h) | 1 | 1.2 | 2 | 2.5 | 1.4 | 2.5 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 |

3.3.4 减压器

减压器又称气压表，它的作用是将贮存在气瓶内的高压气体减压到所需的压力并保持稳定。

减压器按用途不同分为集中式和岗位式；按构造不同分为单级式和双级式；按工作原理不同分为正作用、反作用式和双级混合式，见表 3-41。

表 3-41 减压器的类型

| 类别 | 使用特点 |
|-------|--|
| 反作用式 | 气瓶中的高压气体促使减压活门关闭，故当气瓶中气压下降时，活门开启度增大，输出气体压力反而略有上升，这种特性称为反作用式。容易保证活门气密性，瓶内气体可充分利用。目前生产的单级减压器多属此类 |
| 正作用式 | 与反作用式相反，气瓶中的高压气体促使减压活门开启，随气瓶内压力下降，输出气体压力减小。目前这种类型的减压器已用得很少 |
| 双级混合式 | 正作用式与反作用式的组合形式。气体经两级减压，输出气体压力稳定，不受气瓶内压力变化的影响，并使气体温度降低的趋势缓和，减轻了冻结现象，输出流量也较大；缺点是结构复杂，耗料多 |

单级正作用减压器工作原理图见图 3-25；反作用式减压器见图 3-26。氧气减压器为蓝色，乙炔减压器为白色。

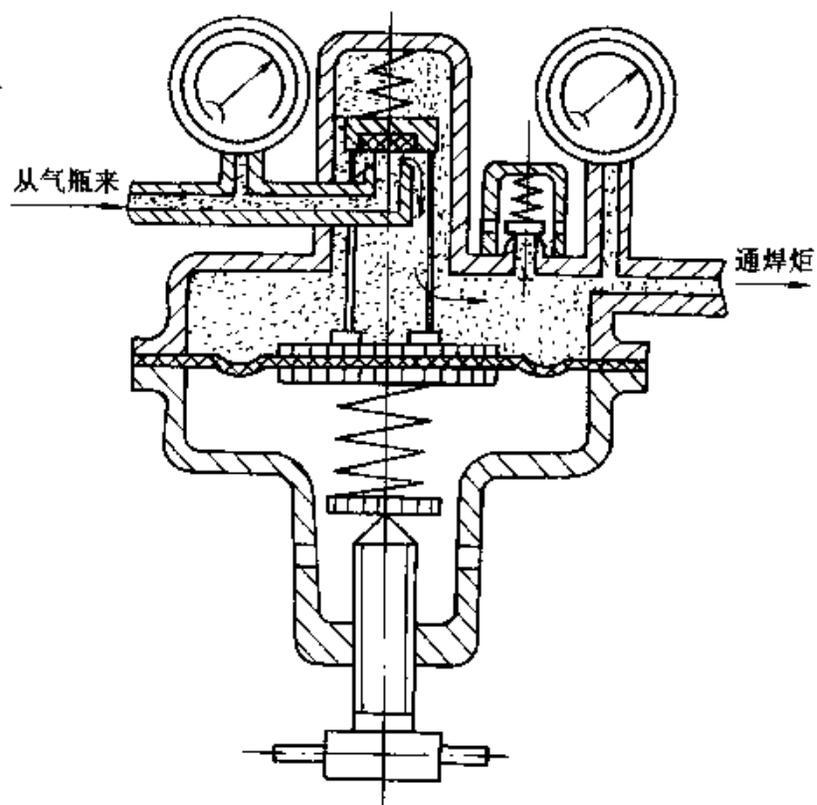


图 3-25 单级正作用减压器工作原理

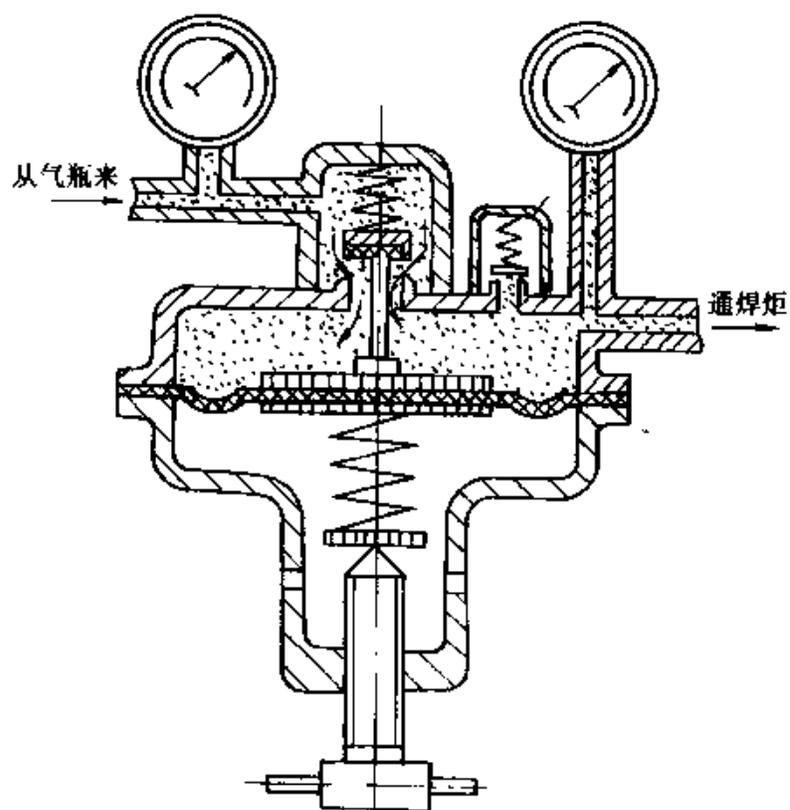


图 3-26 单级反作用减压器工作原理

1. 常用减压器型号和技术数据

常用减压器的型号和技术数据见表 3-42。

表 3-42 减压器型号及性能

| 型号 | 名称 | 最高工作压力 /MPa | 调节范围 /MPa | 公称流量 /(m^3/h) | 进气口孔径 /mm | 配套压力表规格 /MPa | 联接螺纹 /in | 质量 /kg | 用途 |
|-------------|---------|--------------|---------------|-------------------|-----------|------------------|----------|--------|-----|
| QD-1 | 单级氧气减压器 | 15/2.5 | 0.1~2.5 | 80 | 6 | 0~25/ 0~4 | G5/8 | 4 | 瓶用 |
| QD-2A | 单级氧气减压器 | 15/1.0 | 0.1~1.0 | 40 | 5 | 0~25/ 0~1.6 | G5/8 | 2 | |
| QD-3A | 单级氧气减压器 | 15/0.2 | 0.01~ 0.2 | 10 | 3 | 0~25/ 0~0.4 | G5/8 | 2 | |
| QD-50 | 双级氧气减压器 | 15/2.5 | 0.5~2.5 | 220 | 9 | 0~25/ 0~6 | G1 | 9 | 管道用 |
| QY9-25/10 | 单级氧气减压器 | 2.5/1.0 | 0.1~ 1.0 | 40 | 5 | -/0- 1.6 | G5/8 | 1.5 | |
| QY11-150/15 | 双级氧气减压器 | 15/1.5 | 0.1~ 1.5 | 100 | 6 | 0~25/ 0~2.5 | G5/8 | 5.8 | |
| QD-20 | 单级乙炔减压器 | 1.6/ 0.15 | 0.01~ 0.15 | 9 | 4 | 0~2.5/ 0~0.25 | 轧蓝 | 2 | 瓶用 |
| QWS-25/0.6 | 单级丙烷减压器 | 2.5/ 0.06 | 0.01~ 0.06 | 6 | 5 | -/0- 0.1 | G5/8左 | 2 | 用 |

2. 减压器常见故障及防止措施

减压器常见故障及防止措施见表 3-43。

表 3-43 减压器常见故障及防止措施

| 常见故障 | 故障原因及部位 | 防止措施及修理 |
|-------|------------------------|----------------------------------|
| 减压器漏气 | 减压器连接部分漏气, 螺纹配合松动或垫圈损坏 | (1) 拧紧螺钉 (2) 更换新的钢纸垫圈或加石棉绳 |
| | 安全阀漏气 活门垫料损坏或弹簧变形 | (1) 调整弹簧 (2) 更换新活门垫料(青钢纸和石棉绳) |
| | 减压器上盖薄膜损坏或拧得不紧, 造成漏气 | (1) 更换橡皮薄膜 (2) 拧紧螺扣 |

(续)

| 常见故障 | 故障原因及部位 | 防止措施及修理 |
|---------------------------------|---|---|
| 减压表指针爬高(自流) | <p>调节螺丝松开后,气体继续流出(低压表针继续上升)</p> <p>(1) 活门或门座上有污物</p> <p>(2) 活门密封垫或活门座不平(有裂纹)</p> <p>(3) 回动弹簧损坏压紧力不够</p> | <p>将活门螺钉松开,取出活门进行检查,按损坏情况处理</p> <p>(1) 将活门污物去净</p> <p>(2) 将活门不平处用细砂布磨平,如果有裂纹时要换新的</p> <p>(3) 调整弹簧长度</p> |
| 打开氧气瓶时,高压表表针已表示有氧,但低压表不动作或动作不灵敏 | <p>调节螺钉已经拧到底,但工作压力不升,或升得很少,其原因是主弹簧损坏或传动杆弯曲</p> | <p>拆开减压器盖,更换主弹簧和传动杆</p> |
| | <p>工作时氧气压力下降,或表针有剧烈的跳动,说明减压器内部冻结</p> | <p>用热水加热解冻后,把水分吹干,便可使用</p> |
| | <p>低压表已表示工作压力,但使用时突然下降,说明氧气瓶阀门没全打开</p> | <p>继续打开氧气阀门便可</p> |

3.3.5 手工焊炬和割炬

手工焊炬和割炬按氧乙炔气混合方式不同分射吸式和等压式两种。射吸式使用比较普遍。见表 3-44。

1. 手工焊炬、割炬型号编制方法

手工焊炬、割炬型号由汉语拼音字母和代表结构的序号数及规格组成。

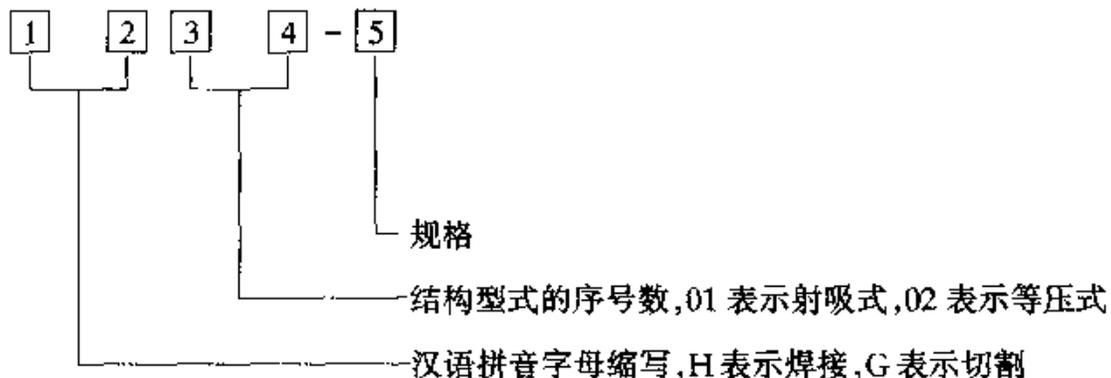
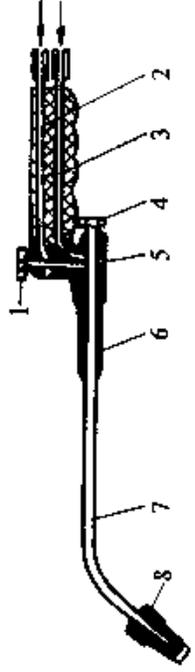
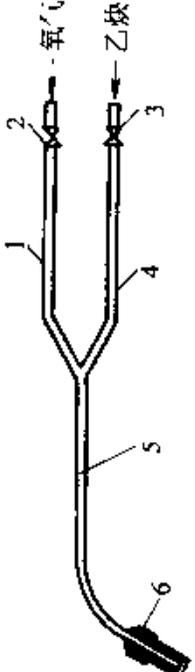
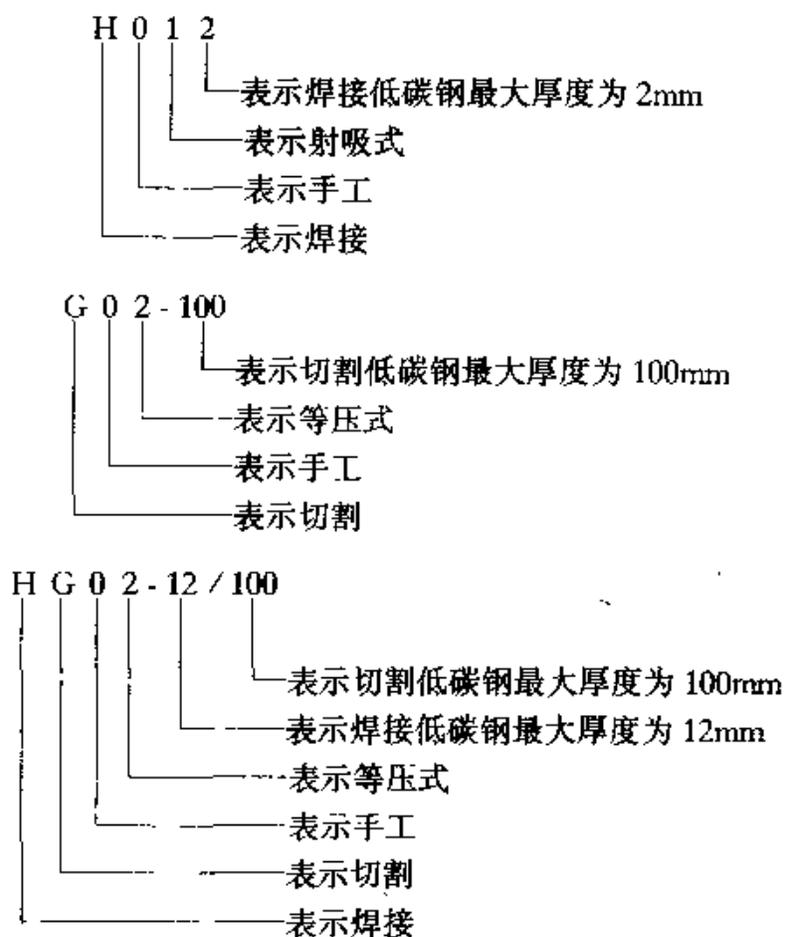


表 3-44 焊炬分类及特点

| 类别 | 结构图 | 工作原理 | 优点 | 缺点 |
|----------|---|--|--|----------------------------|
| 射吸式 |  <p>1—乙炔阀 2—乙炔导管 3—氧气导管 4—氧气阀 5—喷嘴 6—射吸管 7—混合气管 8—焊嘴</p> | <p>靠喷射器(喷嘴和射吸管)的射吸作用调节氧气和乙炔的流量,保证乙炔与氧按一定的比例混合。射吸作用主要利用高压氧从喷嘴喷出产生的射吸力</p> | <p>工作压力在0.001MPa以上即可使用,通用性强,低、中压乙炔都可使用</p> | <p>较易回火</p> |
| 等压式(中压式) |  <p>1—氧气导管 2—氧气阀 3—乙炔阀 4—乙炔导管 5—混合气管 6—焊嘴</p> | <p>乙炔靠自己的压力与氧气在焊嘴接头与焊嘴的空隙内混合,因此使用乙炔的压力与氧相等或接近</p> | <p>结构简单,火焰燃烧稳定,回火可能比射吸式小</p> | <p>只能使用中压、高压乙炔,不能用低压乙炔</p> |

示例:



2. 手工射吸式焊炬、割炬

手工射吸式焊炬和割炬采用固定射吸管，更换孔径大小不同的焊嘴和割嘴，可以适应焊接和切割不同厚度工件的需要。割炬的结构如图 3-27 所示。

射吸式焊炬、割炬的主要技术数据见表 3-45。

射吸式焊炬和割炬用 A 型软管接头，这是一种普通接头，氧气和乙炔通用。它由螺纹接头、螺母及软管接头组成。其中 H01-2 型和 H01-6 型焊炬例外，因其无后接体（螺纹接头），所以无螺母，并且软管接头型式和尺寸也不同。氧气、乙炔用 A 型软管接头，A 型软管接头用胶管孔径为 8mm。

手工射吸式焊炬，逆时针方向旋转开启乙炔调节阀，低压力的乙炔聚集在喷嘴周围，再逆时针方向旋转开启氧气调节阀，高压力的氧气即从喷嘴高速射出，将聚集喷嘴周围的低压乙炔吸出，调节各自调节阀按一定比例混合的气体经过射吸管从焊嘴喷出。

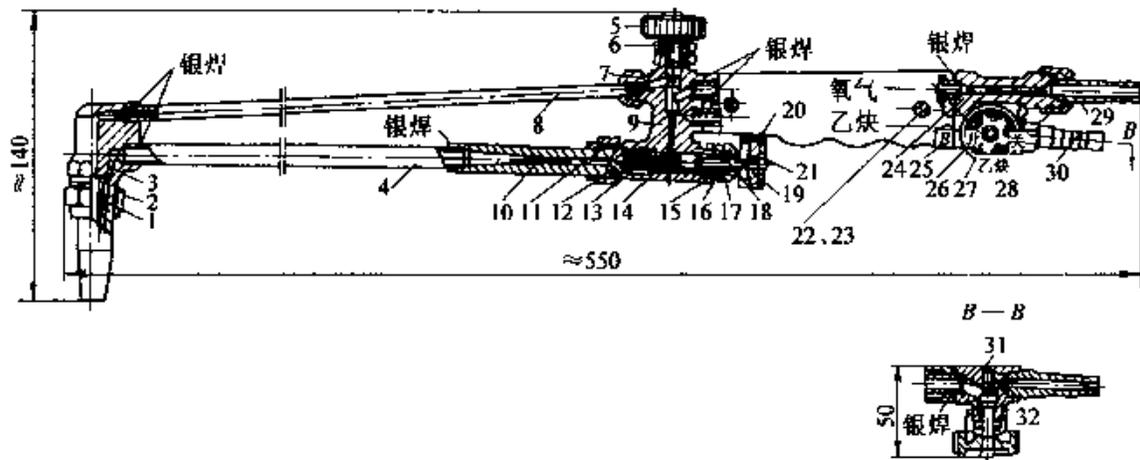


图 3-27 射吸式割炬构造

- 1—割嘴主体 2—割嘴螺母 3—割嘴接头 4—混合气管 5—高压氧手轮 6—高压氧阀杆 7—高压氧管螺母 8—高压氧管 9—中部主体 10—射吸管 11—射吸管螺母 12—喷嘴 13—氧气阀针 14—垫圈 15—橡胶密封下圈 16—橡胶密封上圈 17—密封压圈 18—防松螺母 19—密封螺母 20—氧气阀针手轮 21—半光六角螺母 22—手柄螺母 23—半沉头螺钉 24、25—手柄 26—氧乙炔管 27—后部接体 28—氧气螺母 29—氧气接头 30—乙炔接头 31—乙炔阀针 32—乙炔阀手轮

表 3-45 射吸式焊炬、割炬

| 序号 | 名称 型号 | 射吸式焊炬 | | | | 射吸式割炬 | | |
|----|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | H01-2 | H01-6 | H01-12 | H01-20 | G01-30 | G01-100 | G01-300 |
| 1 | 焊接低碳钢厚度/mm | 0.5~2 | 2~6 | 6~12 | 12~20 | — | — | — |
| 2 | 切割低碳钢厚度/mm | — | — | — | — | 3~30 | 10~100 | 100~300 |
| 3 | 焊嘴、割嘴号 | 1~5 | 1~5 | 1~5 | 1~5 | 1~3 | 1~3 | 1~4 |
| 4 | 氧气工作压力/MPa | 0.1~0.25 | 0.2~0.4 | 0.4~0.7 | 0.6~0.8 | 0.2~0.3 | 0.3~0.5 | 0.5~1.0 |
| 5 | 乙炔工作压力/MPa | 0.001~ 0.1 | 0.001~ 0.1 | 0.001~ 0.1 | 0.001~ 0.1 | 0.001~ 0.1 | 0.001~ 0.1 | 0.001~ 0.1 |
| 6 | 焊、割炬总长度/mm | 300 | 400 | 500 | 600 | 500 | 550 | 650 |
| 7 | 氧气接头螺纹 | — | — | M16× 1.5 | M16× 1.5 | M16~ 1.5 | M16× 1.5 | M16× 1.5 |
| 8 | 乙炔接头螺纹 | — | — | M16× 1.5左 | M16× 1.5左 | M16× 1.5左 | M16× 1.5左 | M16× 1.5左 |
| 9 | 软管接头型式 | φ3.6 | φ4.7 | A型 φ5.5 | A型 φ5.5 | A型 φ5.5 | A型 φ5.5 | A型 φ5.5 |

割炬是在焊炬的基础上增加高压氧的通路、调节阀和割嘴。切割时打开高压氧调节阀，在预热火焰中心喷射切割氧气流进行切割。

3. 手工等压式焊炬、割炬

(1) 手工等压式焊炬和割炬的工作原理 手工等压式焊炬和割炬与射吸式构造不同，没有射吸作用，不能使用低压乙炔。使用低压乙炔时，氧气和乙炔就不能按一定比例混合。使用较高压力的乙炔时，火焰燃烧稳定，不易回火。

(2) 型式及基本参数

1) 焊炬采用换管式，割炬采用更换孔径大小不同的割嘴，以适应焊接和切割不同厚度工件的需要。焊割两用炬的型式按照焊炬、割炬的型式。

2) 型号：焊割炬的型号由汉语拼音字母、代表结构的序号数及规格组成。焊割炬的型号见表 3-46。

表 3-46 焊割炬的型号

| 名称 | 焊炬 | 割炬 | 焊割两用炬 |
|----|--------|---------|-------------|
| 型号 | H02-12 | G02-100 | HG02-12/100 |
| | H02-20 | G02-300 | HG02-20/200 |

3) 焊割炬的示意图见图 3-28 和图 3-29。

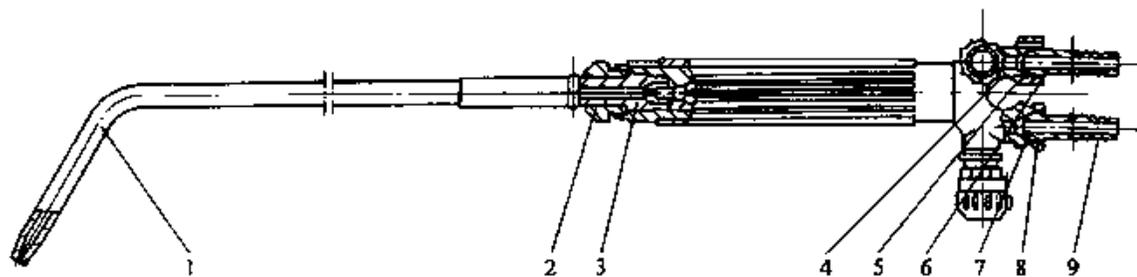


图 3-28 焊炬示意图

1—焊嘴 2—混合管螺母 3—混合管接头 4—氧气接头螺纹 5—氧气螺母
6—氧气软管接头 7—乙炔接头螺纹 8—乙炔螺母 9—乙炔软管接头

4) 焊割炬的主要参数和基本参数见表 3-47~表 3-50。

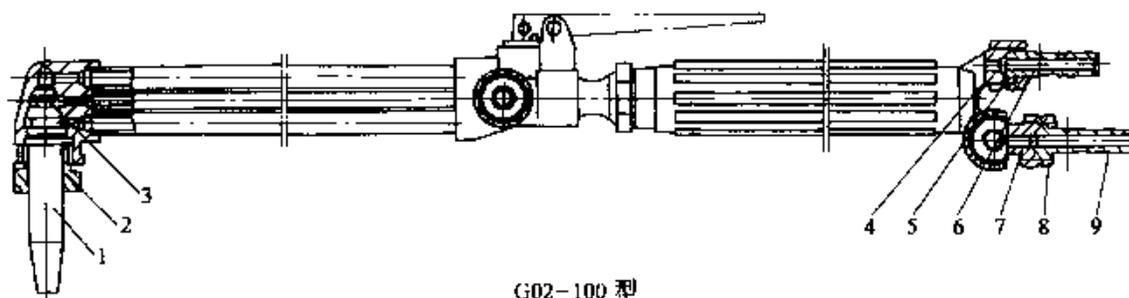
(3) 技术要求

1) 在其标准规定的氧气、乙炔工作压力下，将火焰调节成中性焰，其火焰应清晰。焊炬的焰芯长度和割炬的可见切割氧流长度应不低于表

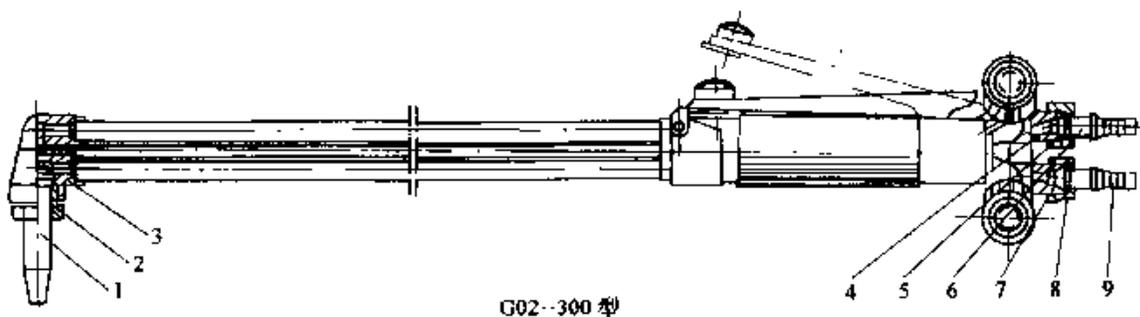
3-48~表 3-50 中有关规定。

2) 各气阀应保证灵活地关闭气路及均匀地调节流量。

3) 焊割炬的火焰应燃烧稳定, 不得有偏斜、弯曲、回火倒袭和爆鸣等现象。当 10m/s (焊嘴孔径在 1mm 以下者为 6m/s) 的风垂直吹向火焰时, 火焰的焰芯应保持稳定。



1—割嘴 2—割嘴螺母 3—割嘴接头 4—氧气接头螺纹 5—氧气螺母
6—氧气软管接头 7—乙炔接头螺纹 8—乙炔螺母 9—乙炔软管接头



1—割嘴 2—割嘴螺母 3—割嘴接头 4—氧气接头螺纹 5—氧气螺母
6—氧气软管接头 7—乙炔接头螺纹 8—乙炔螺母 9—乙炔软管接头

图 3-29 割炬示意图

表 3-47 焊割炬的主要参数 (JB/T 7947—1999)

| 名称 | 型号 | 焊接低碳钢厚度 /mm | 切割低碳钢厚度 /mm |
|-------|-------------|----------------|----------------|
| 焊炬 | H02-12 | 0.5 - 12 | — |
| | H02-20 | 0.5~12 | |
| 割炬 | G02-100 | — | 3 - 100 |
| | G02-300 | | 3~300 |
| 焊割两用炬 | HG02-12/100 | 0.5 - 12 | 3 - 100 |
| | HG02-20/200 | 0.5~20 | 3~200 |

表 3-48 焊炬的基本参数 (JB/T 7947—1999)

| 型号 | 嘴号 | 孔径 /mm | 氧气工作压力 /MPa | 乙炔工作压力 /MPa | 焰芯长度 /mm | 焊炬总长度 /mm |
|--------|----|-----------|----------------|----------------|-------------|--------------|
| H02-12 | 1 | 0.6 | 0.2 | 0.02 | ≥4 | 500 |
| | 2 | 1.0 | 0.25 | 0.03 | ≥11 | |
| | 3 | 1.4 | 0.3 | 0.04 | ≥13 | |
| | 4 | 1.8 | 0.35 | 0.05 | ≥17 | |
| | 5 | 2.2 | 0.4 | 0.06 | ≥20 | |
| H02-20 | 1 | 0.6 | 0.2 | 0.02 | ≥4 | 600 |
| | 2 | 1.0 | 0.25 | 0.03 | ≥11 | |
| | 3 | 1.4 | 0.3 | 0.04 | ≥13 | |
| | 4 | 1.8 | 0.35 | 0.05 | ≥17 | |
| | 5 | 2.2 | 0.4 | 0.06 | ≥20 | |
| | 6 | 2.6 | 0.5 | 0.07 | ≥21 | |
| | 7 | 3.0 | 0.6 | 0.08 | ≥21 | |

表 3-49 割炬的基本参数 (JB/T 7947—1999)

| 型号 | 嘴号 | 切割氧孔径 /mm | 氧气工作压力 /MPa | 乙炔工作压力 /MPa | 可见切割氧流长度 /mm | 焊炬总长度 /mm |
|---------|-----|--------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|
| G02-100 | 1 | 0.7 | 0.2 | 0.04 | ≥60 | 550 |
| | 2 | 0.9 | 0.25 | 0.04 | ≥70 | |
| | 3 | 1.1 | 0.3 | 0.05 | ≥80 | |
| | 4 | 1.3 | 0.4 | 0.05 | ≥90 | |
| | 5 | 1.6 | 0.5 | 0.06 | ≥100 | |
| G02-300 | 1 | 0.7 | 0.2 | 0.04 | ≥60 | 650 |
| | 2 | 0.9 | 0.25 | 0.04 | ≥70 | |
| | 3 | 1.1 | 0.3 | 0.05 | ≥80 | |
| | 4 | 1.3 | 0.4 | 0.05 | ≥90 | |
| | 5 | 1.6 | 0.5 | 0.06 | ≥100 | |
| | 6 | 1.8 | 0.5 | 0.06 | ≥110 | |
| | 7 | 2.2 | 0.65 | 0.07 | ≥130 | |
| | 8 | 2.6 | 0.8 | 0.08 | ≥150 | |
| 9 | 3.0 | 1.0 | 0.09 | ≥170 | | |

表 3-50 焊割两用炬的基本参数 (JB/T 7947—1999)

| 型 号 | 嘴号 | 孔径 /mm | 氧气工作 压力 /MPa | 乙炔工作 压力 /MPa | 焰芯长度 /mm | 可见切割 氧流长度 /mm | 焊割炬 总长度 /mm | |
|-------------|-------------|-----------|--------------------|--------------------|-------------|---------------------|-------------------|-----|
| HG02-12/100 | 焊 嘴 号 | 1 | 0.6 | 0.2 | 0.02 | ≥4 | — | 550 |
| | | 3 | 1.4 | 0.3 | 0.04 | ≥13 | — | |
| | | 5 | 2.2 | 0.4 | 0.06 | ≥20 | — | |
| | 割 嘴 号 | 1 | 0.7 | 0.2 | 0.04 | — | ≥60 | |
| | | 3 | 1.1 | 0.3 | 0.05 | — | ≥80 | |
| | | 5 | 1.6 | 0.5 | 0.06 | — | ≥100 | |
| HG02-20/200 | 焊 嘴 号 | 1 | 0.6 | 0.2 | 0.02 | ≥4 | — | 600 |
| | | 3 | 1.4 | 0.3 | 0.04 | ≥13 | — | |
| | | 5 | 2.2 | 0.4 | 0.06 | ≥20 | — | |
| | | 7 | 3.0 | 0.6 | 0.08 | ≥21 | — | |
| | 割 嘴 号 | 1 | 0.7 | 0.2 | 0.04 | — | ≥60 | |
| | | 3 | 1.1 | 0.3 | 0.05 | — | ≥80 | |
| | | 5 | 1.6 | 0.5 | 0.06 | — | ≥100 | |
| | | 6 | 1.8 | 0.5 | 0.06 | — | ≥110 | |
| | | 7 | 2.2 | 0.65 | 0.07 | — | ≥130 | |

4) 焊割炬所有联接处和气阀在下列进气压力下不得漏气。

a. 氧气通路内: 按最大氧气工作压力提高 50%, 但最高为 1.2MPa。

b. 乙炔和混合气通路内: 压力为 0.25MPa。

5) 焊割炬所有气体通路零件应用抗腐蚀材料制造。乙炔通路的零件不得用含铜量大于 70% 的合金制造。

6) 焊炬的混合管接头与中部连接体和割炬的割嘴与割嘴接头的配合面应保证气密和互换。

第4章 压力管道焊接工艺评定 及工艺方案制订

4.1 焊接工艺评定的目的与过程

4.1.1 焊接工艺评定的目的与程序

焊接工艺评定的目的是为了验证施焊单位拟定的焊接工艺的正确性，为编制焊接方案、焊接作业指导书及焊接工艺卡等工艺文件提供科学可靠的依据，从而保证产品的焊接质量。

焊接工艺评定的过程是：进行焊接性试验、拟定焊接工艺指导书，按照 GB50236—1998《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》或 JB4708《钢制压力容器焊接工艺评定》的规定施焊试件、检验试件和试样、测定焊接接头是否具有所要求的使用性能、提出焊接工艺评定报告。从而验证施焊单位拟定的焊接工艺的正确性。

从施工程序看，产品的焊接方案、焊接作业指导书等工艺文件的编制，必须在产品正式焊接前完成，只有这样才能保证产品的焊接过程中有章可循并处于受控状态。显然，作为编制焊接工艺文件的依据——焊接工艺评定就必须在编制焊接工艺文件之前进行。

焊接工艺评定必须在确认了工程材料的焊接性后才能进行。为了节约试验经费和时间，避免重复的试验，希望试验结果能有较宽的覆盖范围，也就是试验结果可以为更多的焊接工艺指导书提供依据。所以在具体确定焊接工艺评定内容和条件时，在满足验证焊接工程拟定的焊接工艺前提下，还应当按照相关工程焊接工艺评定标准的规定对评定试验的内容及条件进行合理的选择。以期使试验结果能有更宽的覆盖范围。应当了解，并不是所有焊接工程工艺评定标准的规定都是一样的，但是根据某一个焊接工程标准所作的工艺评定试验也满足另一个焊接工程标准规定时，那么这个评定试验对另一个工程也可运用。这点对施工企业承担许多不同焊接工程时是很重要的。

焊接工艺评定过程中应做好记录，工艺评定的试件应由本单位焊工施焊，焊接工艺评定报告应由焊接技术负责人审签。焊接工艺评定报告的格式见表 4-1。焊接工艺评定的程序见图 4-1。

表 4-1 焊接工艺评定报告

| | |
|---|---|
| 单位名称 _____ 批准人签字 _____ | |
| 报告编号 _____ 日 期 _____ | |
| 焊接方法 _____ 机械化程度 _____ 手工 _____ 半自动 _____ 自动 _____ | |
| 焊接接头: _____ 详图: _____ | |
| 坡口形式 _____ | |
| 衬垫 _____ | |
| 母材: 标准号 _____ 牌号 _____ 类、组别号 _____ 与类、组别号 _____ 相焊 厚度 _____ 直径 _____ 其他 _____ | 焊后热处理: 温度 _____ 保温时间 _____ 保护气体: 尾部保护气 _____ 流量 _____ 背面保护气 _____ 流量 _____ |
| 焊接材料: 焊条标准 _____ 焊条牌号、直径 _____ 焊丝牌号、直径 _____ 焊剂牌号 _____ 熔敷金属厚度 _____ | 电特性: 电流种类 _____ 极性 _____ 焊接电流/A _____ 电压/V _____ 钨极尺寸 _____ 其他 _____ |
| 焊接位置: 对接焊缝位置 _____ 方向(向上、向下) _____ | 技术措施: 焊接速度 _____ 摆动或不摆动 _____ 摆动方式 _____ 多道焊或单道焊 _____ 单丝焊或多丝焊 _____ 其他 _____ |
| 预热: 预热温度 _____ 层间温度 _____ 其他 _____ | |

(续)

焊缝外观检验:

渗透探伤(标准号、结果)_____ 超声波探伤(标准号、结果)_____

磁粉探伤(标准号、结果)_____ 射线探伤(标准号、结果)_____

其他_____

拉 伸 试 验

试验报告编号:_____

| 试样号 | 宽 | 厚 | 面积 | 断裂载荷 | 抗拉强度/MPa | 断裂特点和部位 |
|-----|---|---|----|------|----------|---------|
| | | | | | | |

弯 曲 试 验

试验报告编号:_____

| 试样编号及规格 | 试样类型 | 弯曲直径 | 试验结果 |
|---------|------|------|------|
| | | | |

冲 击 试 验

试验报告编号:_____

| 试样号 | 缺口位置 | 缺口型式 | 试验温度/℃ | 冲击功/J |
|-----|------|------|--------|-------|
| | | | | |

其 他 试 验

试验项目_____

检验方法(标准、结果)_____

焊缝金属化学成分分析(结果)_____

其他_____

结 论

结论:本评定按_____规定焊接试件,检验试样,测定性能,确认试验记录正确,评定结果
 _____(合格、不合格)

| | | | |
|-----|------|------|----|
| 施 焊 | (签字) | 焊接时间 | 标记 |
| 填 表 | (签字) | 日期 | |
| 审 核 | (签字) | 日期 | |

注:详图中应指明坡口尺寸、焊接层次、焊接顺序。

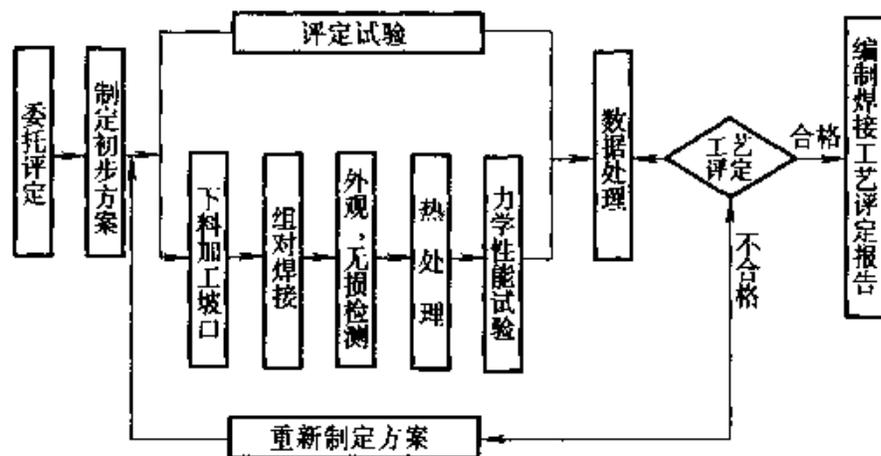


图 4-1 工艺评定程序

4.1.2 焊接工艺评定

1. 一般规定

(1) 在确认了材料的焊接性后, 应在工程焊接前对被焊材料进行焊接工艺评定。

(2) 焊接工艺评定使用的材料应符合其规范中相关的规定。

(3) 焊接工艺评定试件 (以下简称评定试件) 的坡口加工、组对及清理等工艺措施应符合其规范的有关规定。

(4) 评定试件应由本单位技能熟练的焊接人员焊接试件。

(5) 焊接工艺评定过程中应做好记录, 评定完成后应提出焊接工艺评定报告, 焊接工艺评定报告应由焊接技术负责人审签。焊接工艺评定报告的格式宜符合表 4-1 的规定。

(6) 施焊前应根据焊接工艺评定报告编制焊接作业指导书, 一个焊接作业指导书可依据一个或多个焊接工艺评定报告编制, 一个焊接工艺评定报告可用于编制多个焊接作业指导书。

焊接作业指导书的格式宜符合表 4-2 的规定。

(7) 在一个质量管理体系内的不同施工单位, 当满足第 1 章 1.1.5 管道焊接一般规定中 1.(3) 条的要求时, 对同一项焊接工艺评定可不必重复进行。

2. 评定规则

在材料选定和设计前, 必须经过严格的焊接性试验 (如焊接裂纹试验、材料力学性能试验、脆性转变温度试验等), 这是焊接工艺评定的前提和基础。

表 4-2 焊接作业指导书

单位名称_____ 编制人_____ 批准人签字_____

焊接作业指导书编号_____ 日期_____ 焊接工艺评定报告编号_____

焊接方法_____ 机械化程度_____ 手工_____ 半自动_____ 自动_____

焊接接头: _____ 详图: _____

坡口形式_____

衬垫_____

其他_____

母材:

类别号_____ 组别号_____ 与类别号_____ 组别号_____ 相焊

或标准号_____ 牌号_____ 与标准号_____ 牌号_____ 相焊

厚度范围:

板材:对接焊缝_____ 角焊缝_____

管材直径、壁厚范围:对接焊缝_____ 角焊缝_____

焊缝熔敷金属厚度范围:_____

其他_____

焊接材料:

焊条类别_____ 其他_____

焊条标准_____ 牌号_____

填充金属尺寸_____

焊丝、焊剂牌号_____

焊条(焊丝)熔敷金属化学成分(%)

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | V | Ti | | |
|---|----|----|---|---|----|----|----|---|----|--|--|
| | | | | | | | | | | | |

焊接位置:

对接焊缝的位置_____

焊接方向:向上_____ 向下_____

角焊缝位置_____

焊后热处理:

加热温度_____℃ 升温速度_____

保温时间_____ 冷却方式_____

(续)

| | |
|---|--|
| 预热: 最低的预热温度 _____ 最高的层间温度 _____ 保持预热时间 _____ 加热方式 _____ | 保护气体 _____ 尾部保护气 _____ 流量 _____ 背面保护气 _____ 流量 _____ |
|---|--|

电特性:
 电流种类 _____ 极性 _____
 焊接电流范围/A _____ 电弧电压/V _____

| 焊缝层次 | 焊接方法 | 焊条、焊丝 | | 焊接电流 | | 电弧电压范围/V | 焊接速度/cm/min | 线能量 |
|------|------|-------|-------|------|------|----------|-------------|-----|
| | | 牌号 | 直径/mm | 极性 | 电流/A | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

钨极规格及类型:钍钨极 _____ 或铈钨极 _____
 熔化极气体保护焊熔滴过渡形式:喷射过渡 _____ 短路过渡 _____
 焊丝送进速度范围 _____

技术措施:
 摆动焊或不摆动焊 _____ 摆动方式 _____
 喷嘴尺寸 _____
 焊前清理或层间清理 _____
 背面清根方法 _____
 导电嘴至工件距离 _____
 多道焊或单道焊 _____
 多丝焊或单丝焊 _____
 锤击 _____ 有 _____ 无 _____
 环境温度 _____ 相对湿度 _____
 其他 _____

注:详图中应指明坡口尺寸、焊接层次和焊接顺序。

(1) 焊接工艺评定应采用坡口对接焊缝试件,坡口对接焊缝试件评定合格的焊接工艺也可用于角焊缝。试件形式如图 4-2 所示。

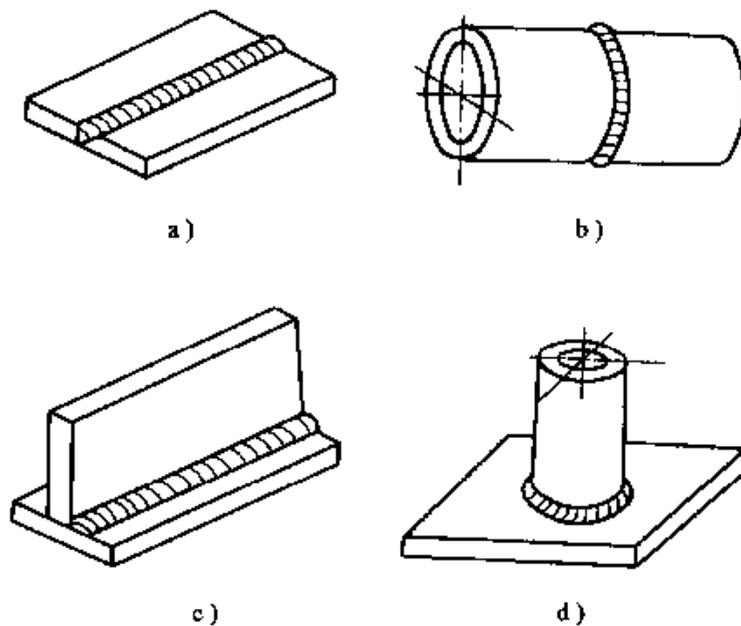


图 4-2 焊接工艺评定试件形式

- a) 板材对接焊缝试件 b) 管材对接焊缝试件
c) 板材角焊缝试件 d) 管与板角焊缝试件

(2) 评定试件应采用管状试件或板状试件，板状试件评定合格的焊接工艺可用于管状焊件，管状试件评定合格的焊接工艺亦可用于板状焊件。

(3) 母材应根据其化学成分、力学性能和焊接性能按表 4-3 或表 4-4 的规定进行分类分组，对不能按以上两表的规定分类分组的母材应单独进行焊接工艺评定。某一钢号母材评定合格的焊接工艺可以用于同组别号的其他钢号母材。

表 4-3 母材分类分组表 (GB50235—1998)

| 类别号 | 组别号 | 母材种类 | 牌号举例 |
|-----|------|-----------------------------|---|
| P1 | 1—1 | 碳素钢, 其含碳量小于等于 0.3% | Q235—A F、Q235—A、B、C 20R、20G、20HP、10、20、25 |
| P2A | 2A—1 | 低合金结构钢, 其抗拉强度下限小于 480MPa | |
| | 2A—2 | 低合金结构钢, 其抗拉强度下限为 480~550MPa | Q345、16MnR、16MnRC、15MnV、15MnVR、15MnVRC |
| | 2A—3 | 低合金结构钢, 其抗拉强度下限为 550~620MPa | 15MnVNR、18MnMoNbR |

(续)

| 类别号 | 组别号 | 母材种类 | 牌号举例 |
|-----|------|----------------------------------|--|
| P2B | 2B-1 | 低温用合金钢,其使用温度下限为-40℃ | 16MnDR |
| | 2B-2 | 低温用合金钢,其使用温度下限为-70℃ | 09Mn2VD、09Mn2VDR |
| | 2B-3 | 低温用合金钢,其使用温度下限为-90℃ | |
| P3 | 3-1 | 耐热钢 C-Mo 0.5Cr-0.5Mo | 12CrMo |
| P4 | 4-1 | 耐热钢 1Cr-0.5Mo | 15CrMo |
| | | 1.25Cr-0.5Mo 1Cr-0.5Mo-V | 12Cr1MoV |
| P5A | 5A-1 | 耐热钢 2.25Cr-1Mo 2Cr-0.5Mo | 12Cr2Mo |
| P5B | 5B-1 | 耐热钢 5Cr-1Mo | 1Cr5Mo |
| P6 | 6-1 | 马氏体不锈钢 | 1Cr13 |
| P7 | 7-1 | 铁素体不锈钢 | 0Cr13 |
| P8 | 8-1 | 奥氏体不锈钢 18Cr-8Ni | 0Cr19Ni9、0Cr18Ni9Ti、 0Cr18Ni11Ti、00Cr18Ni10、 00Cr19Ni11 |
| | | 18Cr-12Ni-2Mo 18Cr-13Ni-3Mo | 0Cr18Ni12Mo2Ti、00Cr17Ni14Mo2、 0Cr18Ni12Mo3Ti、00Cr19Ni13Mo3、 0Cr19Ni13Mo3 |
| | 8-2 | 奥氏体不锈钢 25Cr-13Ni 25Cr-20Ni | 0Cr23Ni13 0Cr25Ni20 |
| P9A | | 含镍低温用合金钢含镍量小于2.5% | |

(续)

| 类别号 | 组别号 | 母材种类 | 牌号举例 |
|-----|-----|-----------------------|--------------------------------------|
| P9B | | 含镍低温用合金钢含镍量为2.5%~3.5% | |
| P11 | | 含镍低温用合金钢含镍量为9% | |
| P21 | | 铝、铝锰合金 | 1070A、1060、1050A、1035、1200、8A06、3A21 |
| P22 | | 铝镁合金 含镁量小于4% | 5A02、5A03 |
| P25 | | 铝镁合金 含镁量大于等于4% | 5083、5A05、5A06、5A11 |
| P31 | | 纯铜 | T1、T2、T3、TP1、TP2 |
| P32 | | 黄铜 | H62、H68、HFe59-1-1 |
| P41 | | 镍 99.0Ni 系列 | |
| P42 | | 镍合金 Ni—Cr 系列 | |
| P43 | | 镍合金 Ni—Cr—Fe 系列 | GH3030、GH3039 |
| P45 | | 镍合金 Ni—Fe—Cr 系列 | GB1140 |
| P51 | | 钛 | TA1、TA2、TA3 |

表 4-4 母材的分类分组

| 类别号 | 组别号 | 钢 号 | 相应标准号 |
|-----|------|---------------|----------------------------------|
| I | I-1 | Q235-AF | GB/T912 GB/T3274 |
| | | Q235-A Q235-B | GB/T912 GB/T3274 |
| | | Q235-C | GB/T912 GB/T3274 |
| | | 10 | GB3087, GB6479, GB/T8163, GB9948 |
| | | 20 | GB3087, GB/T8163, GB9948, JB4726 |
| | | 20G | GB5310, GB6479 |
| | | 20g | GB713 |
| | | 20R | GB6654 |
| II | II-1 | 16Mn | GB6479, JB4726 |
| | | 16MnR | GB6654 |
| | II-2 | 15MnNbR | GB6654 |
| | | 15MnVR | GB6654 |
| | | 20MnMo | JB4726 |
| | | 10MoWVNb | GB6479 |

(续)

| 类别号 | 组别号 | 钢 号 | 相应标准号 |
|----------|-----------|---------------|----------------------------|
| Ⅲ | Ⅲ-1 | 13MnNiMoNbR | GB6654 |
| | | 18MnMoNbR | GB6654 |
| | | 20MnMoNb | JB4726 |
| | Ⅲ-2 | 07MnCrMoVR | GB150 |
| Ⅳ | Ⅳ-1 | 12CrMo | GB6479, GB9948 |
| | | 12CrMoG | GB5310 |
| | | 15CrMo | GB6479, GB9948, JB4726 |
| | | 15CrMoR | GB6654 |
| | | 15CrMoG | GB5310 |
| | | 14Cr1Mo | JB4726 |
| | | 14Cr1MoR | GB150 |
| | | 12Cr1MoV | JB4726 |
| | 12Cr1MoVG | GB5310 | |
| | Ⅳ-2 | 12Cr2Mo | GB6479 |
| | | 12Cr2MoI | JB4726 |
| | | 12Cr2MoIR | GB150 |
| 12Cr2MoG | | GB5310 | |
| V | V-1 | 1Cr5Mo | GB6479, JB4726 |
| Ⅵ | Ⅵ-1 | 09MnD | GB150 |
| | | 09MnNiD | JB4727 |
| | | 09MnNiDR | GB3531 |
| | Ⅵ-2 | 16MnD | JB4727 |
| | | 16MnDR | GB3531 |
| | | 15MnNiDR | GB3531 |
| | | 20MnMoD | JB4727 |
| | Ⅵ-3 | 07MnNiCrMoVDR | GB150 |
| | | 08MnNiCrMoVD | JB4727 |
| | | 10Ni3MoVD | JB4727 |
| Ⅶ | Ⅶ-1 | 1Cr18Ni9Ti | JB4728, GB/T3280, GB/T4237 |

(续)

| 类别号 | 组别号 | 钢 号 | 相应标准号 | |
|-----|-----|----------------|--|---------------------------------------|
| Ⅵ | Ⅵ-1 | 0Cr18Ni9 | GB/T4237, GB/T3280, GB/T14976 GB13296, JB4728 | |
| | | 0Cr18Ni10Ti | GB3280, GB/T4237, GB13296, GB/T14976, JB4728 | |
| | | 00Cr19Ni10 | GB/T4237, GB/T3280, GB13296, GB/T14976, JB4728 | |
| | Ⅵ-2 | 0Cr17Ni12Mo2 | GB/T4237, GB/T3280, GB13296, GB/T14976, JB4728 | |
| | | 0Cr19Ni13Mo3 | GB/T4237, GB/T3280, GB13296, GB/T14976 | |
| | | 0Cr18Ni12Mo2Ti | GB/T3280, GB/T4237, GB13296, GB/T14976, JB4728 | |
| | | 00Cr17Ni14Mo2 | GB/T4237, GB/T3280, GB13296, GB/T14976, JB4728 | |
| | | 00Cr19Ni13Mo3 | GB/T4237, GB/T3280, GB13296, GB/T14976 | |
| | Ⅶ | Ⅶ-1 | 0Cr13 | GB/T4237, GB/T3280, JB4728, GB/T14976 |

当不同类别号的母材组成焊接接头时,即使母材各自都已评定合格,其焊接接头仍需重新评定。

(4) 当改变焊接方法时,应重新进行焊接工艺评定。

(5) 当同一焊接接头采用多种焊接方法时,可按每种焊接方法分别进行焊接工艺评定,也可进行组合焊接工艺评定,组合焊接工艺评定合格后,其中的每种焊接方法可单独用于焊件,但焊缝金属厚度适用范围应符合本评定规则第(9)条的要求。

(6) 焊接工艺因素分为重要因素、补加重要因素和次要因素。重要因素应为影响焊接接头抗拉强度和弯曲性能的焊接工艺因素;补加重要因素应为影响焊接接头冲击性能的焊接工艺因素;次要因素应为对要求测定的力学性能无明显影响的焊接工艺因素。

当变更任何一个重要因素时均应重新进行焊接工艺评定;当设计对冲击性能有要求时,增加及变更任何一个补加重要因素,应按增加或变更的补加重要因素焊制冲击性能试件进行试验;当变更次要因素时,可不重新进行焊接工艺评定,但应重新编制焊接作业指导书。

焊接工艺评定的重要因素和补加重要因素、次要因素应按表 4-5 的规定确定。

表 4-5 各种焊接方法的焊接工艺评定因素

| 类别 | 焊接条件 | 重要因素 | | | | | | 补充因素 | | | | | | 次要因素 | | | | | | | | | | | |
|------|--------------------------------|------|-------|-----|---------|---------|-----|------|-------|-----|---------|---------|-----|------|-------|-----|---------|---------|-----|---|---|---|---|---|---|
| | | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 | | | | | | |
| 接头 | 1. 坡口形式 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 2. 增加或取消钢垫板 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 3. 在同组别号内选择不同钢号做垫板 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 4. 坡口根部间隙 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 5. 取消单面焊时的钢垫板(双面焊接按有钢垫板的单面焊考虑) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 6. 增加或取消非金属或非熔化的金属焊接衬垫 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 7. 增加钢垫板 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 8. 焊接面的装配间隙 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 填充材料 | 1. 焊条牌号(只考虑类别代号后两位数数字) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 2. 用非低氢型药皮焊条代替低氢型药皮焊条 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

(续)

| 类别 | 焊接条件 | 重要因素 | | | | | 补加因素 | | | | | 次要因素 | | | | | | |
|----|------------------------------------|------|-------|-----|---------|-----|------|-------|-----|---------|---------|------|----|-------|-----|---------|---------|-----|
| | | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 电渣焊 | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 |
| | 3. 用低氢型药皮焊条代替非低氢型药皮焊条 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - |
| | 4. 焊条直径 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5. 焊条的直径改为大于6mm* | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 6. 药芯焊丝牌号(只考虑类别代号后头两位数字)、焊丝钢号 | ○ | - | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 7. 用具有较低冲击吸收功的药芯焊丝代替具有较高冲击吸收功的药芯焊丝 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - |
| | 8. 用具有较高冲击吸收功的药芯焊丝代替具有较低冲击吸收功的药芯焊丝 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ |
| | 9. 焊丝直径 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 10. 焊剂牌号;混合焊剂的混合比例 | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - |
| | 11. 焊剂商标名称或制造厂 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ | - | - |
| | 12. 增加或取消填充金属 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 13. 添加或取消附加的填充金属 | - | - | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

填充材料

| 类别 | 焊接条件 | 重要因素 | | | | | | 补充因素 | | | | | | 次要因素 | | | | | |
|------|---------------------------------|------|-------|-----|---------|---------|-----|------|-------|-----|---------|---------|-----|------|-------|-----|---------|---------|-----|
| | | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 |
| 气体 | 7. 保护气体流量 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 8. 增加或取消背面保护气体, 改变背面保护气体流量和组成 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 电特性 | 1. 电流种类或极性 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 2. 增加热输入或单位长度焊道的熔敷金属体积超过已评定合格值* | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 3. 电流值或电压值 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 4. 电流值或电压值超过已评定合格值 $\pm 15\%$ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 5. 在直流电源上叠加或取消脉冲电流 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 技术措施 | 6. 钨极的种类或直径 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 7. 从喷射弧、熔滴弧或脉冲弧改变为短路弧, 或反之 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 1. 从氧化焰改为还原焰, 或反之 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

(续)

| 类别 | 焊接条件 | 重要因素 | | | | | 补加因素 | | | | | 次要因素 | | | | | | | |
|------|-------------------------|------|-------|-----|---------|---------|------|----|-------|-----|---------|---------|-----|----|-------|-----|---------|---------|-----|
| | | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 | 气焊 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 熔极气体保护焊 | 钨极气体保护焊 | 电渣焊 |
| 技术措施 | 2. 左向焊或右向焊 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3. 不摆动焊或摆动焊 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 4. 焊前清理和层间清理方法 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5. 清根方法 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 6. 焊丝摆动幅度、频率和两端停留时间 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 7. 导电嘴至工件的距离 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 8. 由每面多道焊改为每面单道焊* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9. 单丝焊改为多丝焊,或反之* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 10. 电(钨)极摆动幅度、频率和两端停留时间 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 11. 焊丝(电极)间距 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 12. 增加或取消非金属或非熔化的金属成形滑块 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 13. 手工操作、半自动操作或自动操作 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 14. 有无锤击焊缝 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15. 钨极间距 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 16. 喷嘴尺寸 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

注: 符号○表示对该焊接方法为评定因素; 符号*为当经高于上转变温度的焊后热处理或奥氏体母材焊后经固溶处理时不作为补加因素。

(7) 评定合格的焊接工艺其母材的认可范围应符合表 4-6 的规定。

表 4-6 评定合格的焊接工艺其母材的认可范围

| 评定试件的母材 | 认可范围 |
|-----------------------------|---|
| 一个类别号 + 相同的类别号 | 与评定试件相同的同一类别号组成的焊接接头 |
| 一个类别号 + 另一个类别号 | 与评定试件相同的两个类别号组成的焊接接头 |
| P3 + P3 | P3 与 P3、P2A、P2B 或 P1 组成的焊接接头 |
| P4 + P4 | P4 与 P4、P3、P2A、P2B 或 P1 组成的焊接接头 |
| P5A + P5A | P5A 与 P5A、P4、P3、P2A、P2B 或 P1 组成的焊接接头 |
| P5A、P4 或 P3 + 另一个较低类别号 | P5A、P4 或 P3 与较低类别号组成的焊接接头 |
| P2A 类别号中： 一个组别号 + 相同的组别号 | 与评定试件相同的同一组别号或与 P1 组成的焊接接头 |
| 一个组别号 + 另一个组别号 | 与评定试件相同的两个组别号组成的焊接接头 |
| P(2A-2) + P(2A-2) | P(2A-2) 与 P(2A-2) 或 P(2A-1) 组成的焊接接头 |
| P(2A-3) + P(2A-3) | P(2A-3) 与 P(2A-3)、P(2A-2) 或 P(2A-1) 组成的焊接接头 |

注：表中“+”表示相焊。

(8) 试件的焊后热处理应与焊件在制造过程中的焊后热处理基本相同，试件加热温度范围不得超过相应标准或技术文件规定。低于下转变温度进行焊后热处理时，试件保温时间不得少于焊件在制造过程中累计保温时间的 80%。

当改变焊后热处理种类时，应重新进行焊接工艺评定。

(9) 评定合格的焊接工艺其母材厚度和焊缝金属厚度的认可范围应符合表 4-7 的规定。

表 4-7 评定合格的焊接工艺其厚度的认可范围 (mm)

| 评定试件母材厚度(T) | 焊件母材厚度的认可范围 | | 焊缝金属厚度的认可范围 |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 最小值 | 最大值 | 最大值 |
| $1.5 \leq T < 8$ | 1.5 | 2T, 且不大于 12 | 2S |
| $T \geq 8$ | 0.75T | 1.5T | 2S |

注：“S”为评定试件的焊缝金属厚度。

(10) 评定合格的焊接工艺可用于焊缝返修和补焊，其焊件母材厚度和焊缝金属厚度应符合本评定规则第(9)条的要求。当母材厚度大于40mm时评定合格的焊接工艺所适用返修焊缝的焊件母材最大厚度可不限。

(11) 评定合格的焊接工艺可用于不等厚对接焊件，但焊件两侧母材的厚度都应在评定厚度的认可范围内。

(12) 当评定合格的焊接工艺用于角焊缝时，角焊缝母材厚度范围可不限。

3. 焊接性试验

为了评定管道钢材（特别是首次使用的）适用的焊接工艺，以及选择适当的焊接材料、确定焊接工艺及参数时，必须进行焊接性试验。试验的程序一般是先搞清楚被评定的管材的化学成分、力学性能。然后通过抗裂性试验来选择焊条并确定预热温度，并同时试验选择适宜的焊接方法。最后在抗裂性试验合格的基础上进行焊接工艺评定，这时应采用经抗裂性试验确认的焊条、预热温度等工艺参数，并用与正式施工相同的管材、坡口形式施焊。工艺评定的试板经外观检查、无损探伤及力学性能试验等检验全部合格后，出具焊接工艺评定报告。这个报告就是编制管材焊接工艺的主要依据。

归纳起来，焊接性试验主要分为模拟性（抗裂性）和实际工艺评定（试焊管材）焊接两大类，有时还用理论分析（碳当量法）来评价管材的焊接性能。

焊接性试验方法大体包括下列内容，实际中往往只挑选其中的一部分进行试验。

(1) 基础试验

1) 管材（制作管道的钢材）化学成分分析

2) 管材的力学性能试验

如果材料的质量证明书齐全可靠，则管材的化学成分及力学性能试验可以免做。当对质量证明书有怀疑，或是首次施焊的管材，或是进口管材时，应进行化学成分及力学性能的复验。复验的项目除常规的拉伸、弯曲及冲击之外，有时还需进行低温冲击、疲劳、蠕变等试验。

3) 管材的无损探伤检验

管材上的缺陷不仅影响其本身的可靠性，还可能使焊接接头产生缺

陷，所以对管材应进行无损探伤（如超声波、射线、磁粉、渗透）检验。

(2) 对焊接接头进行的试验项目

- 1) 焊缝金属的化学成分分析。
- 2) 焊接接头力学性能试验（包括焊缝和接头的试验）。
- 3) 焊接接头断裂韧度试验。
- 4) 焊接接头的抗裂性试验，这是最重要的试验项目。
- 5) 焊接接头的无损探伤及其他使用性能试验（如常规的力学性能试验及不锈钢的晶间腐蚀试验等）。

(3) 几种常用的抗裂性试验方法

抗裂性试验方法有很多种，这里只介绍几种常用的方法。

1) 斜 Y 型坡口焊接裂纹试验（GB/T4675.1—1984）

这种方法主要用于评价碳钢和低合金钢管材焊缝焊接热影响区的冷裂纹敏感性。

a. 试验程序 试样尺寸如图 4-3、图 4-4 所示。试样厚度最好选所用钢板的厚度，坡口应用机械方法加工。

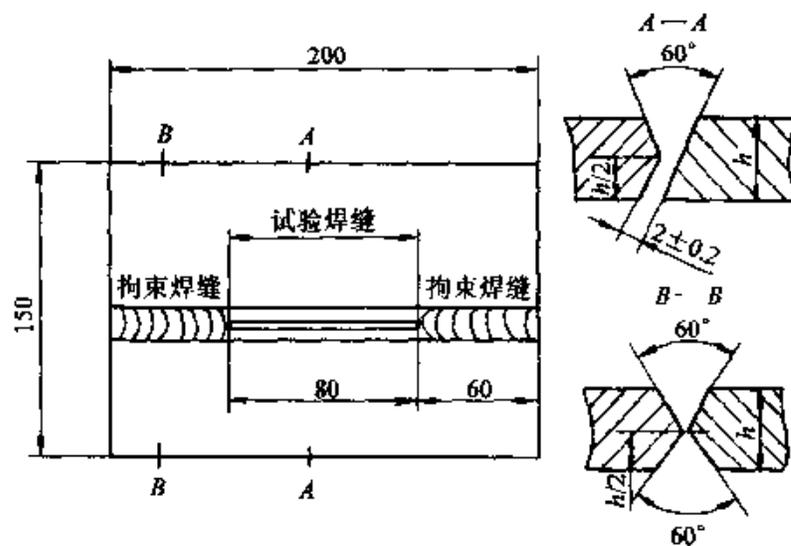


图 4-3 试件的形状及尺寸

试验时，按图 4-3 的要求进行组装，先将两端的拘束焊缝采用双面焊，注意不要产生角变形和未焊透，然后焊接试验焊缝（单层）。焊接

工艺参数：焊条直径 4mm，电流 160~180A，电压 22~26V，焊接速度 150mm/min。根据要求可在不同温度下施焊。

试件焊后在室温放置 48h 后进行检测和解剖。先用放大镜或磁粉探伤检测表面裂纹长度，然后将试验焊缝等距离切成 6 片（或 4 片），检查五个同方向的横截面的裂纹深度。肉眼检查有怀疑时，可以制成宏观磨片，在 100 倍以下的放大镜下进行检验。

b. 评定方法 可用图 4-5 所示的试件表面裂纹率、根部裂纹率和断面裂纹率分别进行计算：

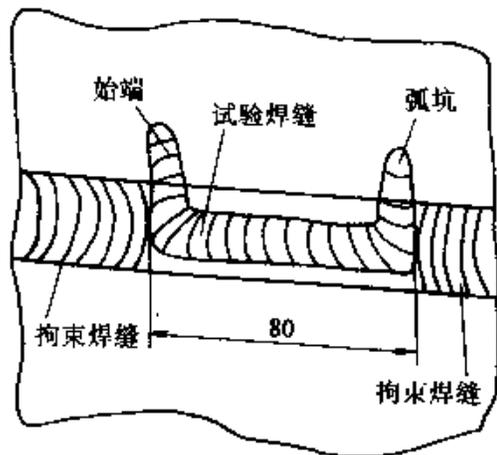


图 4-4 焊条电弧焊时的试验焊缝

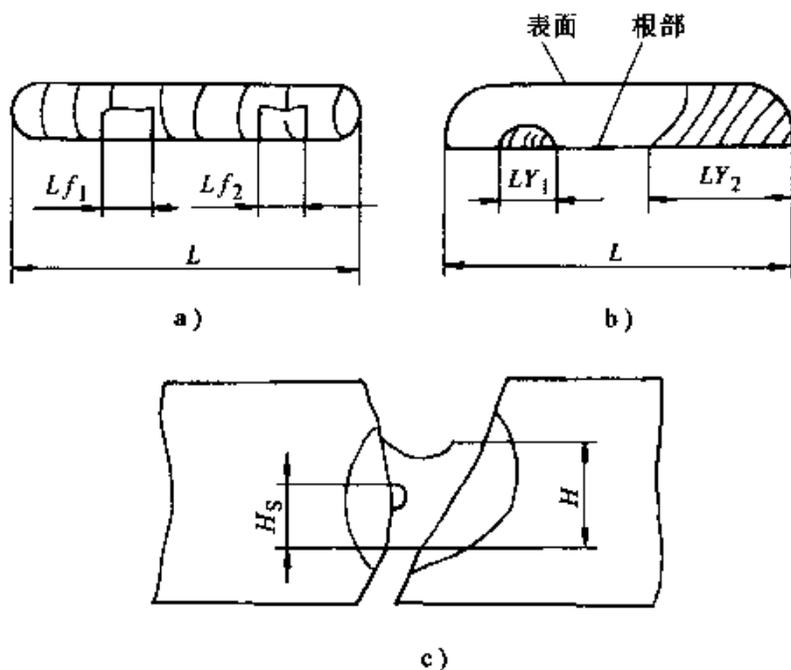


图 4-5 试样裂纹长度计算

a) 表面裂纹 b) 根部裂纹 c) 断面裂纹

$$\text{表面裂纹率} = \frac{\text{表面裂纹总长}}{\text{试验焊缝长}} \times 100 = \frac{\sum Lf}{L} \times 100\%$$

$$\text{根部裂纹率} = \frac{\text{纵断面上裂纹总长}}{\text{试验焊缝长}} \times 100 = \frac{\sum LY}{L} \times 100\%$$

$$\text{断面裂纹率} = \frac{\text{五个断面裂纹深度总和}}{\text{五个断面焊缝总厚}} \times 100 = \frac{\sum H_5}{\sum H} \times 100\%$$

斜 Y 坡口对接裂纹试验对试验焊缝的拘束度往往比实际结构（如超厚壁管材）的长焊缝还大，故一般认为只要裂纹总长小于试验焊缝长度的 20%（但不应有根部裂纹），在实际生产中就不致产生裂纹。这种方法在我国应用较多。

2) 刚性固定对接试验

a. 试件尺寸如图 4-6 所示。固定焊缝焊脚 K 当试验壁厚小于 12mm 时， $K = 8\text{mm}$ ，当试验壁厚 $\geq 12\text{mm}$ 时， $K = 12\text{mm}$ 。

气割下料，除坡口外不需机械加工。将试件周边用焊缝固定在底板上。

按实际工艺参数焊接试验焊缝，要想模拟第一层焊缝的焊接条件时，试验只焊第一层。也可以进行多层焊，以了解多层焊的情况，但层间温度应控制得与实际情况相同。

试件焊后在室温放置 24h 后检查其表面裂纹，然后在垂直于焊缝的方向切取两块横向磨片，检查有无裂纹。如果沿焊缝中心线切取纵向试样，则更容易检查出细小的内部裂纹。

每种条件焊两块试件。

b. 评定方法 一般以裂或不裂为准。这种方法在我国也得到了广泛应用。

3) 窗形拘束裂纹试验法 这种试验方法主要用于评定碳钢和低合金钢多层焊时焊缝的横向裂纹敏感性（包括热裂纹和冷裂纹）。也可作为选择焊接材料和施焊工艺的试验方法。

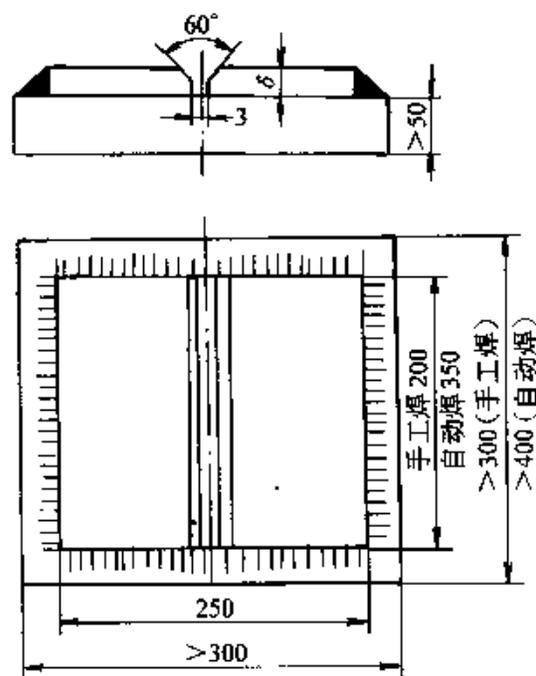


图 4-6 试样的尺寸和形状

试验用的框架如图 4-7 所示，是由 $1200\text{mm} \times 1200\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的低碳钢组成，立板中央开有 $320\text{mm} \times 470\text{mm}$ 的窗口。

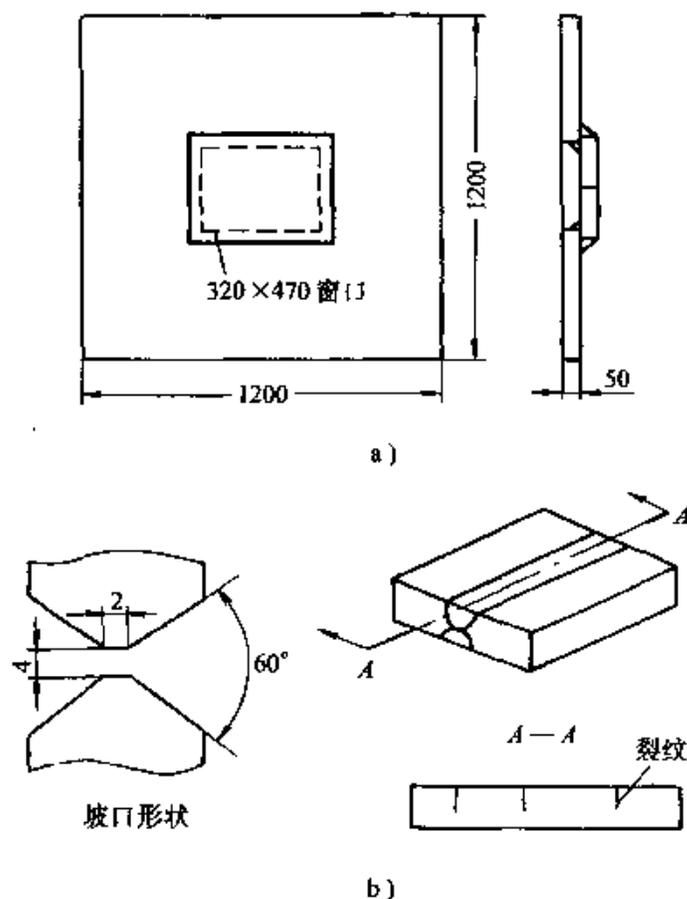


图 4-7 窗型拘束裂纹试验

a) 框架 b) 试件形状

试件为两块 $500\text{mm} \times 180\text{mm}$ 的钢板，开 X 型坡口，如图 4-7b) 所示。

试验前，先将试板焊在窗口部位，然后采用生产上实际所选定的工艺参数进行试验焊缝的焊接，用多层焊从 X 型坡口两侧填满焊缝。焊后放置 48h 以上，然后取下试板用 x 射线照相，再将试板沿焊缝金属纵向剖开，经磨片后在纵断面上检查裂纹（见图 4-7b 的 A-A 断面）。

评定方法：一般以有无裂纹为据，有时为精确起见，也可按断面裂纹率进行计算。

4) 碳当量法 这种方法是从管材的化学成分着手，对其裂纹敏感性进行理论分析的方法。

我们知道，焊接热影响区淬硬和冷裂倾向与管材的化学成分有着密切的关系。在各种元素中碳是对管材的淬硬、冷裂影响最明显的元素。管材含碳量越高，产生淬硬、冷裂的可能性也越大。把各种合金元素对管材的淬硬、冷裂的影响都折合成碳的影响，就是碳当量法。如管材中每增加 0.60% 的含锰量，就相当于增加 0.10% 含碳量的影响，则锰的含量以 1/6 计入碳当量公式。这个公式是在多年实践经验的基础上，总结了各种元素的影响而得到的。国际焊接学会的碳当量 C_{eq} 公式为：

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni + Cu}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5} (\%)$$

式中化学符号表示该元素在钢中的质量分数。 C_{eq} 越高，管材的淬硬倾向越大，热影响区冷裂倾向也越大，因此可用碳当量来估计管材的焊接性能，以便确定焊接工艺措施。根据经验， $C_{eq} < 0.40\%$ 时，管材的焊接性能良好，不需要预热即可焊接。 $C_{eq} = 0.40\% \sim 0.60\%$ 时，管材的焊接性能稍差，需要适当预热，才能焊接。 $C_{eq} > 0.60\%$ 时，管材的焊接性能差，需要较高的预热温度和严格控制焊接工艺，并且焊后还应进行缓慢冷却。否则，可能产生裂纹。

碳当量法只考虑了管材的成分，而忽略了壁厚、焊缝含氢量等因素。日本对 200 多种钢进行了大量实际试验，在考虑管材成分的同时，考虑了壁厚及焊缝中含氢量等因素，得出管材焊接冷裂纹敏感性系数 Pe ，这就是冷裂纹敏感系数法。公式为：

$$Pe = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + \frac{Ni}{60} + 5B + \frac{h}{600} + \frac{H}{60} (\%)$$

式中 h ——壁厚 (mm)；

H ——焊缝金属中扩散氢含量 (mL/100g)。

4. 试验与评定

(1) 评定试件的检验、试验项目应为外观检查、射线照相检验和力学性能试验。

(2) 外观检查及射线照相检验，焊缝质量不应低于焊缝质量分级中的 II 级标准。

(3) 有热处理要求的评定试件，其力学性能试验应在热处理之后进行。

(4) 力学性能试验应为抗拉和抗弯试验，抗拉和抗弯试验的试样种

类和数量应符合表 4-8 的规定。对铸造管等无弯曲性能要求的母材，其试件可不作弯曲试验。

表 4-8 抗拉和抗弯试验试样的种类和数量

| 评定试件母材厚度 T/mm | 试样的类别和数量/个 | | | |
|---------------------------|------------|------|------|------|
| | 抗拉试验 | 抗弯试验 | | |
| | 抗拉试样 | 面弯试样 | 背弯试样 | 侧弯试样 |
| $1.5 \leq T < 10$ | 2 | 2 | 2 | — |
| $10 \leq T < 20$ | 2 | 2 | 2 | — |
| $T \geq 20$ | 2 | — | — | 4 |

注：1. 抗拉试验时，一根管状试件的全截面试样可代替两个板状试样。

2. 抗弯试验时，对两种母材组成的组合接头，当焊缝两侧的母材之间或焊缝金属和母材之间的抗弯性能有显著差别时可改用纵向的抗弯试样。

3. 对厚度为 $10\text{mm} \leq T < 20\text{mm}$ 的评定试件，可用 4 个横向侧弯试样代替两个面弯和两个背弯试样。

(5) 当设计文件和相关标准要求冲击试验时，焊缝和热影响区应各取 3 个冲击试样；对两侧母材不同的焊缝，每侧热影响区均应取 3 个冲击试样。

(6) 评定试件的取样，宜采用机械切割，切割前可进行冷校直，当采用火焰切割取样时，应留出加工裕量。评定试件的取样顺序和位置应符合图 4-8 和图 4-9 的规定。

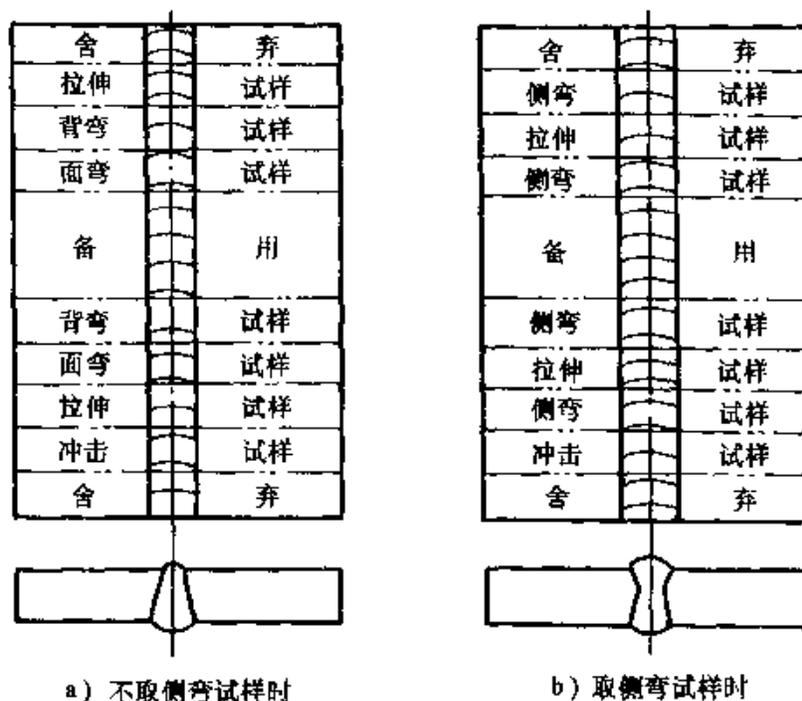


图 4-8 板状试件取样位置

(7) 抗拉试样应采用机械加工去除焊缝余高，试样应符合下列规定：

- 1) 壁厚小于或等于 30mm 的试件，应采用全厚度试样；
- 2) 壁厚大于 30mm 的试件，根据试验机条件可采用全厚度试样，也可将全厚度试件用机械切割成厚度相同且数量最少的分试样，全部分试样合格，可代替一个全厚度合格试样；
- 3) 板状试件及外径大于 76mm 的管状试件应采用带肩板形拉伸试样，其形式和尺寸应符合图 4-10 的规定。

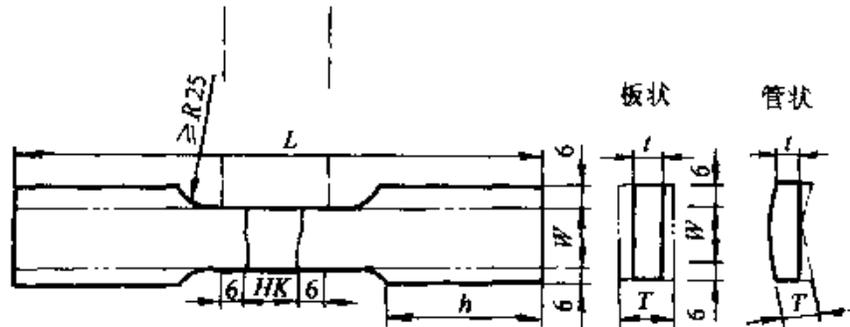


图 4-10 板状及外径大于 76mm 管状试件拉伸试样

T —试件厚度 t —试样厚度 W —试样拉伸平面宽度大于或等于 25mm
 HK —焊缝最宽处的宽度 h —夹持部分长度，根据试验机夹具需要
 L —试样长度 R —圆角半径

4) 外径小于或等于 76mm 的管状试件应采用管接头带肩拉伸试样，其形式和尺寸应符合图 4-11 的规定。

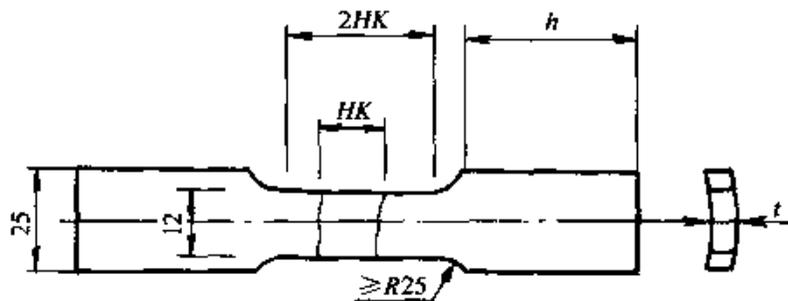


图 4-11 外径小于或等于 76mm 管状试件拉伸试样

5) 外径小于或等于 76mm 的管状试件也可采用全截面拉伸试样，管接头全截面拉伸试样的形式和尺寸应符合图 4-12 的规定。

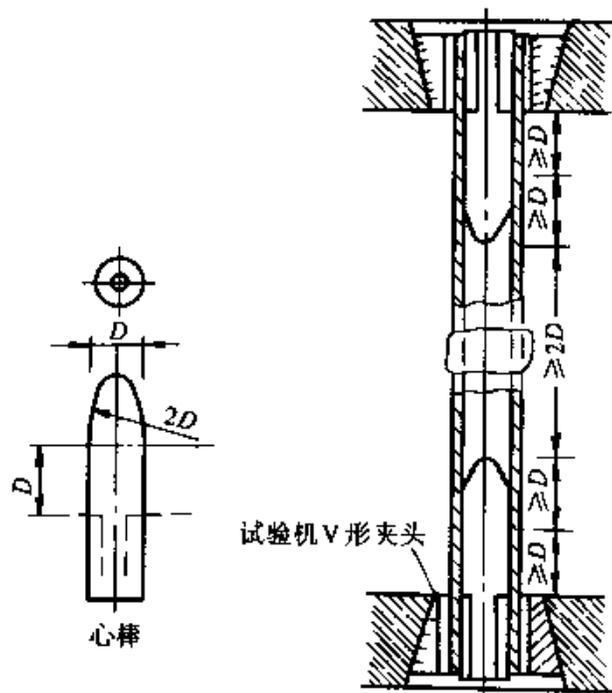


图 4-12 管接头全截面拉伸试样

(8) 弯曲试样应采用机械加工去除焊缝余高，面弯和背弯试样的拉伸面应保留至少一侧母材的原始表面，加工刀痕应与试样的纵轴平行，弯曲试样的形式和尺寸应符合下列规定：

1) 横向面弯和背弯试样应符合图 4-13 和表 4-9 的规定，当试件厚度大于 10mm 时，应从试样的受压面去除多余厚度。

| 试件厚度 T | 试样厚度 t |
|-------------------|----------|
| $1.5 \leq T < 10$ | $t = T$ |
| $T \geq 10$ | $t = 10$ |

2) 横向侧弯试样应符合图 4-14 的规定。当试件厚度小于 40mm 时，应采用全厚度侧弯试样，试样宽度应等于试件厚度；当试件厚度大于或等于 40mm 时，可沿试件厚度方向切成宽度为 20~40mm 等宽的多个试样代替一个全厚度试样。

3) 纵向弯曲试样应符合图 4-15 的规定，试样的纵向轴线应平行于焊缝。

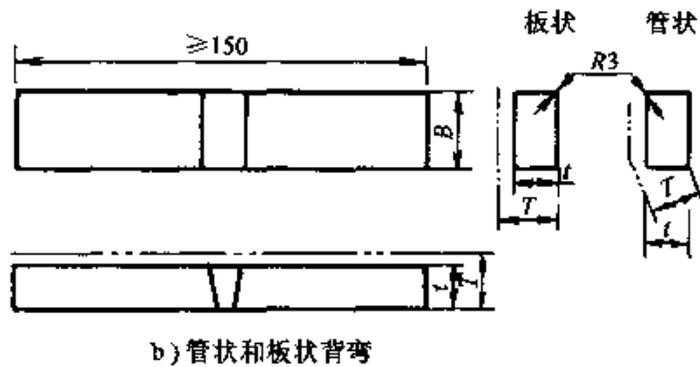
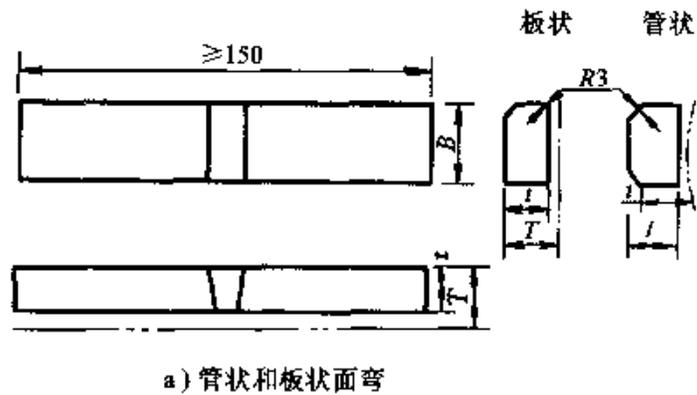


图 4-13 横向面弯和背弯试样

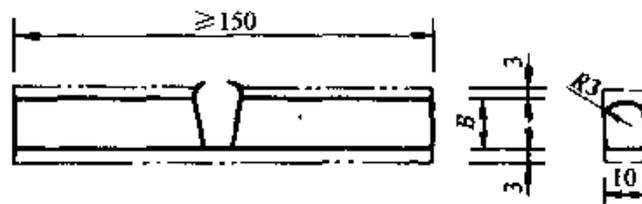


图 4-14 横向侧弯试样

(9) 冲击试样应采用机械加工，其形式和尺寸应符合现行国家标准《焊接接头冲击试验方法》GB/T2650 的规定。试样应垂直于焊缝轴线，缺口轴线应垂直于母材表面，焊缝区试样的缺口轴线应位于焊缝中心线上，热影响区试样的缺口轴线与试样轴线的交点应位于热影响区内（图 4-16）。

(10) 力学性能试验方法应符合下列规定：

1) 抗拉试验方法应符合现行国家标准《金属拉伸试验方法》GB228/T—2002 的规定。

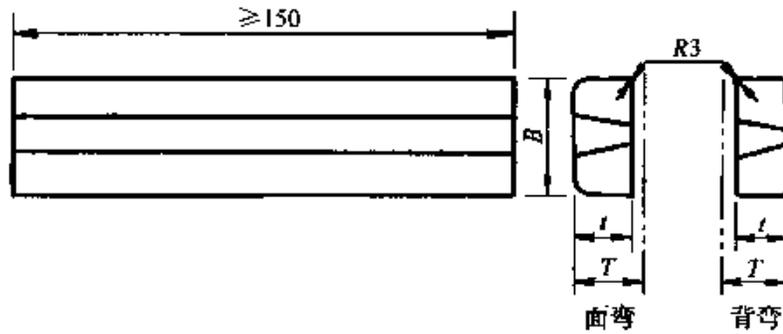
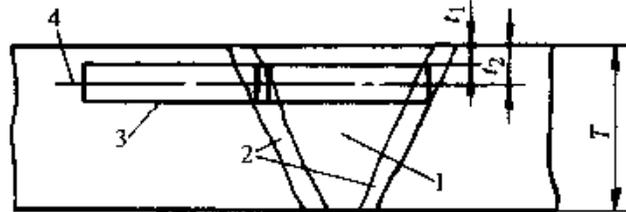


图 4-15 纵向弯曲试样

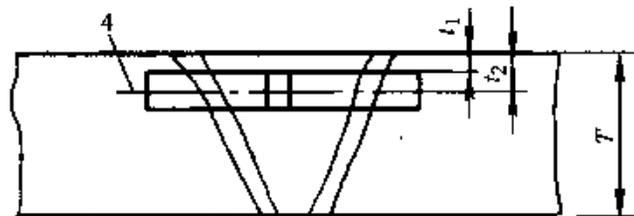
注：B 为试样宽度，板状试件 $B = 30\text{mm}$ ；

管状试件试样宽度 $B = t + \phi/20$ ，且 $10\text{mm} \leq B \leq 38\text{mm}$

(式中 ϕ —管子外径 t —试样厚度)



a) 热影响区



b) 焊缝金属

图 4-16 冲击试样截取位置

1—焊缝金属 2—热影响区 3—冲击试样 4—试样中心线

t_1 —试样至母材边缘距离， $t_1 \geq 1\text{mm}$ t_2 —试样中心线至母材边缘的距离

2) 弯曲试验方法应符合现行国家标准《金属弯曲试验方法》GB/T232—1999的规定，各种材质的母材弯曲试验所用的弯轴直径应符合表 4-10 的规定，异种母材焊接接头，应采用其中直径较大的弯轴。

3) 冲击试验方法应符合现行国家标准《金属夏比缺口冲击试验方法》GB/T229—1994 的规定。

表 4-10 弯轴直径

(mm)

| 母材类别 | 试样厚度 | 弯轴直径 | 支座间距离 |
|---------------------|------|-----------------|---------------------|
| 除类别号 P25、P51 外的所有母材 | t | $4r$ | $6t + 3$ |
| 类别号 P25 的母材 | t | $6\frac{2}{3}t$ | $8\frac{2}{3}t + 3$ |
| 类别号 P51 的母材 | t | $8t$ | $10t + 3$ |

注：母材类别号见表 4-3。

(11) 工艺评定力学性能试验的合格指标应符合下列规定：

1) 抗拉试验的试样母材为同种材料时，每个试样的抗拉强度不应低于母材抗拉强度标准值的下限；试样母材为两种材料时，每个试样的抗拉强度不应低于两种材料中抗拉强度较低材料的标准值下限；当试样断在焊缝或熔合线以外的母材上时，其抗拉强度不低于母材抗拉强度标准规定值下限的，可评为试验合格。

2) 弯曲试验的弯曲角度为 180° ，当试样绕弯轴弯曲到规定角度后，其拉伸面的任意方向上不得有长度大于 3mm 的裂纹，试样棱角处出现的开裂可不计，但由于夹渣或其他内部缺陷造成的棱角上裂纹长度应计入。弯曲试验时，试样上的焊缝中心应对准弯轴轴线，焊缝和热影响区应全部在试样受弯范围内。

3) 冲击试验的合格指标应符合设计文件的规定。

(12) 在力学性能试验中，当单个试样不合格时，应在原试件上加倍取样进行复试，如仍不合格，该焊接工艺应评为不合格，需修改焊接工艺重新进行焊接工艺评定。

(13) 当设计文件对焊接接头有金相、抗腐蚀、硬度等试验要求时，在焊接工艺评定中应按要求增加试验项目，试验方法及合格指标应符合设计文件的规定。

(14) 焊接工艺试验综合报告 见表 4-11。

焊接工艺评定是从焊接工艺角度确保管道和压力设备制造质量的重要措施。它是按照所拟定的焊接工艺(包括焊前准备,焊接材料、设

表 4-11 焊接工艺试验综合报告

年 月 日

焊字 NO.

| | | |
|------|-------------|------|
| 建设单位 | 工程名称: _____ | 施工单位 |
| | 试验目的: _____ | |

母材名称 _____ 牌号 _____ 规格 _____ 焊条(焊丝)名称 _____ 型号 _____
规格 _____

母材及焊条(焊丝)化学成分(%)、力学性能:

| | C | Mn | Si | S | P | | | | σ_s /MPa | σ_b /MPa | δ (%) | ψ (%) | a_k /(J/cm ²) | | | 冷弯 | |
|-----------|---|----|----|---|---|--|--|--|--------------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|--|--|----|----|
| | | | | | | | | | | | | | | | | 弯心 | 角度 |
| 母材 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 焊条或 焊丝 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

试件下料方法 _____, 坡口加工方法 _____

坡口清理方法 _____, 焊丝清理方法 _____

固定方式: 点固、卡具。

焊接方法: _____, 焊机型号 _____ 焊剂型号 _____

保护气体名称 _____ 流量 _____ L/min, 纯度 _____

焊接电流 _____ A 电流种类 _____, 极性 _____

电弧电压 _____ V 焊接速度 _____ cm/min, 送丝速度 _____ cm/min

预热温度范围 _____ °C, 层间温度范围 _____ °C, 后热温度范围 _____ °C

焊接层数 _____, 单道或多道 _____, 单弧或多弧 _____

焊接位置 _____, 障碍设置 _____

垫板的类型 _____, 左焊或右焊 _____

热处理程序 _____

检查程序 _____

| 检验结果 | 检验内容名称 | 方式、项目 | 报告单号 | 结果 |
|------|--------|-------|------|----|
| | 表面质量检查 | | | |
| | 内部质量检查 | | | |
| | 机械性能试验 | | | |
| | | | | |
| | | | | |

工艺试验结论: _____

单位 _____ 主管 _____ 审核 _____ 综合者 _____

(本表尺寸 215mm×170mm)

备、方法、顺序、操作的最佳选择以及焊后热处理等), 根据标准所规定的焊接试件、检验试样测定焊接接头是否具备所要求的性能。经过焊接工艺评定, 提出“焊接工艺评定报告”, 并结合实践经验制订“焊接工艺规程”, 作为焊接生产的依据。

4.2 焊接工艺方案制订

1. 焊接工艺方案的制订原则与内容

制订焊接工艺方案的原则: 获得外观和内在质量满意的焊接接头; 变形控制在允许的范围内; 焊接应力尽量小; 可焊性好, 施焊方便; 生产效率高、生产成本低。

制订焊接工艺方案的内容: 选定焊接方法及相应的焊接材料; 确定合理的焊接参数, 如焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊条(焊丝)直径等; 确定焊接过程中的热加工参数, 包括焊件的预热、层间温度以及焊后热处理工艺等; 确定焊接顺序、方向、施工人数及技术等级; 选择焊接用的设备和工艺装备。

制订出的焊接工艺方案应既能保证产品质量, 又能取得较好的经济效益。制订焊接工艺方案前, 在充分理解了管线技术要求的基础上, 综合分析影响管线质量的因素和采用先进工艺技术的可行性, 最后制订出制造该管线施焊的工艺方案的具体要求。

2. 焊接方法的选择

按各种材料焊接难易程度可供选择的焊接方法参考表 1-1, 在弧焊方法中作选择时可参考表 4-12。

3. 焊接材料的选择

根据被焊材料的化学成分、力学性能及厚度、接头形式、结构使用条件对焊缝性能的要求、焊接结构的特点和受力状态、焊接施工条件、技术经济效益等选用焊条。表 4-13、表 4-14 分别为同种钢材和异种钢焊接时焊条选用要点。埋弧焊主要是根据被焊材料去选择焊剂和焊丝, 且两者需配合。

4. 焊接设备的选择

弧焊用的各种焊接电源根据焊接工艺的要求和电源特点进行选择, 各类弧焊电源的特点及适用范围见第 3 章。

表 4-12 电弧焊方法的比较

| 焊接方法 | 焊条电弧焊 | CO ₂ 气体保护焊 | TIG 焊 | MIG 焊 | 埋弧焊 | 等离子弧焊 | | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------|-----------------|--------|-----------|---------|------|-----|-----|
| 焊接设备 | 交、直流电弧焊机 | CO ₂ 半自动焊机 | TIG 焊机 | MIG 焊机 | 埋弧焊机 | 等离子弧焊机 | | | | |
| 适用材料 及适 用厚 度 | 低碳钢 | 1mm 以上 | 少用 | 很少用 | 4mm 以上 | 很少用 | | | | |
| | 低合金结构钢 | | 4mm 以下及 打底焊 | 3.2mm 以上 | | 很少用 | 20mm 以下 | | | |
| | 不锈钢 | | | | | | | 各种厚度 | 很少用 | 很少用 |
| | 耐热钢 | | | | | | | | | |
| | 高强度 | 3mm 以上 | 3.2mm 以上 | 很少用 | 很少用 | | | | | |
| | 铝及铝合金 | | | | | 各种厚度 | 很少用 | 很少用 | 很少用 | |
| | 钛及钛合金 | 很少用 | 很少用 | 很少用 | 很少用 | | | | | |
| | 镁及镁合金 | | | | | 很少用 | 很少用 | 很少用 | 很少用 | 很少用 |
| | 镍及镍合金 | 很少用 | 很少用 | 很少用 | 很少用 | | | | | |
| | 铜及铜合金 | | | | | 很少用 | 很少用 | 很少用 | 很少用 | 很少用 |
| 焊接位置 | 平、立、横、仰 | 平、立、横、仰 | 平、立、仰 | 平焊、立焊 | 平焊 | | | | | |
| 典型焊接实例(平焊) | 板厚/mm | 3.2 9 25 | 1.6 3.2 | 3.2 9 25 | 9 25 | 1.6 3.2 9 | | | | |
| | 坡口形式 | I V X | I V | I V X | V X | I I I | | | | |
| | 焊接电流/A | 100 170 300 | 80 130 | 120 350 400 | 800 | 80 95 200 | | | | |
| | 焊接速度/(m·min ⁻¹) | 6 2.5 5.5 | 5 6.7 | 4.7 7.2 22.3 | 3.6 | 2 2.5 4 | | | | |
| 焊接材料 | 焊条 | 焊丝、CO ₂ 气 | 焊丝、氩气 | MIG 焊用焊丝、 氩气 | 焊丝、焊机 | 氩气、焊丝 | | | | |

(续)

| 焊接方法 | 焊条电弧焊 | CO ₂ 气体保护焊 | TIG 焊 | MIG 焊 | 埋弧焊 | 等离子弧焊 |
|--------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 焊机价格比 | 交流焊机为 1, 直流焊机为 3~4 | 5~7 | 4~6 | 8~10 | 20~30 | 10~20 |
| 适合焊缝长度及形状和外观 | 长、短及曲线状, 焊缝外观良好 | 长、短及曲线状, 自动焊要求规则形状, 焊缝外观稍差 | 短焊缝、曲线状, 焊缝外观良好 | 长焊缝, 规则形状, 焊缝外观良好 | 长焊缝, 规则形状, 焊缝外观良好 | 长、短焊缝, 规则形状, 焊缝外观良好 |
| 坡口准备及焊前清理的要求 | 不严格 | 不严格, 自动焊要求严格 | 同 CO ₂ 焊 | 要求严格 | 要求严格 | 要求极严格 |
| 操作范围 | 焊钳和焊机间距 50m 以下 | 焊炬与送丝装置间距 3m; 送丝装置与焊机间距 25m 以下 | 焊枪与焊机间距 4~8m | 焊枪与送丝装置间距 3m; 送丝装置与焊机间距 25m 以下 | 焊接小车与焊机间距 2.5m 以下 | 焊枪与焊机间距 5~10m |
| 焊前及焊后热处理要求 | 根据材料性能及厚度选择预热或后热、焊后热处理 | 一般不要求 | 一般不要求 | 同手工电弧焊 | 一般不要求 | 一般不要求 |
| 焊接辅具及其要求 | 焊钳, 一般不要求 | 导电嘴、喷嘴, 手工焊不要求, 自动焊要求 | 喷嘴、钨极, 不要求 | 导电嘴、喷嘴, 必须有助具 | 导电嘴, 必须有辅助机具 | 喷嘴、钨极, 有要求 |
| 受风的影响 | 小 | 大 | 大 | 大 | 小 | 大 |
| 焊工熟练程度 | 高 | 中 | 高 | 中 | 低 | 低 |
| 特性 | 机动性好, 可焊接厚壁与薄壁管材, 效率低, 但投资省 | 适于焊接厚板与薄板, 效率高, 投资低于埋弧焊 | 适宜焊接各类金属, 质量高, 效率低, 投资高于焊条电弧焊 | 适宜于焊接非铁合金, 效率高、质量好, 投资高于自动埋弧焊 | 焊接直缝与环缝, 高效率自动焊接, 坡口精度要求高, 投资较大 | 适宜于直缝、环缝, 高精度、高速焊接, 坡口精度要求高 |

表 4-13 同种钢焊接时焊条选用要点

| 选用依据 | 选用要点 |
|----------------|---|
| 力学性能和化学成分要求 | <p>(1) 对于普通结构钢, 通常要求焊缝金属与母材等强度, 应选用熔敷金属抗拉强度等于或稍高于母材的焊条</p> <p>(2) 对于合金结构钢, 主要要求焊缝金属力学性能与母材匹配, 有时还要求合金成分与母材相同或接近</p> <p>(3) 在被焊结构刚性大、接头应力高、焊缝容易产生裂纹的不利情况下, 可考虑选用比母材强度低一级的焊条</p> <p>(4) 当母材中碳及硫、磷等元素的含量偏高时, 焊缝容易产生裂纹, 应选用抗裂性能好的低氢焊条</p> |
| 焊件的使用性能和工作条件要求 | <p>(1) 对承受动载荷和冲击载荷的焊件, 除满足强度要求外, 主要应保证焊缝金属具有较高的冲击韧度和塑性, 可选用塑性和韧性指标较高的低氢焊条</p> <p>(2) 接触腐蚀介质的焊件, 应根据介质的性质及腐蚀特征选用不锈钢类焊条或其他耐腐蚀焊条</p> <p>(3) 在高温或低温条件下工作的焊件, 应选用相应的耐热钢或低温钢焊条</p> |
| 焊件的结构特点和受力状态 | <p>(1) 对结构形状复杂、刚性大及大厚度焊件, 由于焊接过程中产生很大的应力, 容易使焊缝产生裂纹, 应选用抗裂性能好的低氢焊条</p> <p>(2) 对焊接部位难以清理干净的焊件, 应选用氧化性强, 对铁锈、氧化皮、油污不敏感的酸性焊条</p> <p>(3) 对受条件限制不能翻转的焊件, 有些焊缝处于非平焊位置, 应选用全位置焊接的焊条</p> |
| 施工条件及设备 | <p>(1) 在没有直流电源, 而焊接结构又要求必须使用低氢焊条的场合, 应选用交直流两用的低氢焊条</p> <p>(2) 在狭小或通风条件差的场合, 选用酸性焊条或低尘低毒焊条</p> |
| 操作工艺性能 | 在满足产品性能要求的条件下, 尽量选用工艺性能好的酸性焊条 |
| 经济效益 | 在满足使用性能和操作工艺性的条件下, 尽量选用成本低、效率高的焊条 |

表 4-14 异种钢焊接时焊条选用要点

| 异种金属 | 选用要点 |
|---------------------------|--|
| 强度级别不同的碳钢和低合金钢, 低合金钢和低合金钢 | <p>(1) 一般要求焊缝金属及接头的强度不低于两种被焊金属的最低强度, 因此选用的焊条强度应能保证焊缝及接头的强度不低于强度较低钢材的强度, 同时焊缝的塑性和冲击韧度应不低于强度较高而塑性较差的钢材的性能</p> <p>(2) 为了防止裂纹, 应按焊接性较差的钢种确定焊接工艺, 包括工艺参数、预热温度及焊后处理等</p> |

(续)

| 异种金属 | 选用要点 |
|-------------|---|
| 低合金钢和奥氏体不锈钢 | <p>(1) 通常按照对熔敷金属化学成分限定的数值来选用焊条, 建议使用铬镍含量高于母材的、塑性及抗裂性较好的不锈钢焊条</p> <p>(2) 对于非重要结构的焊接, 可选用与不锈钢成分相应的焊条</p> |
| 不锈钢复合钢板 | <p>为了防止基体碳素钢对不锈钢熔敷金属产生的稀释作用, 建议对基层、过渡层、覆层的焊接选用三种不同性能的焊条:</p> <p>(1) 对基层(碳钢或低合金钢)的焊接, 选用相应强度等级的结构钢焊条</p> <p>(2) 对过渡层(即覆层和低合金钢)的焊接, 选用铬、镍含量比不锈钢板高, 塑性、抗裂性较好的奥氏体不锈钢焊条</p> <p>(3) 覆层直接与腐蚀介质接触, 应选用相应成分的奥氏体不锈钢焊条</p> |

5. 焊接参数的选择

焊条电弧焊焊接参数主要是焊接电流, 通常按工件厚度选定焊条直径, 再根据焊条直径选择焊接电流, 见表 4-15。不同工艺条件下埋弧焊的焊接参数见表 4-16 和表 4-17。

表 4-15 焊接电流与焊条直径的关系

| 焊条直径/mm | 1.6 | 2.0 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6 |
|---------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| 焊接电流/A | 25~40 | 40~65 | 50~80 | 100~130 | 160~210 | 200~270 | 260~300 |

表 4-16 单面焊双面成形的埋弧焊焊接工艺参数

| 焊件厚度/mm | 装配间隙/mm | 焊丝直径/mm | 焊接电流/A | 电弧电压/V | 焊接速度/m·h ⁻¹ |
|---------|---------|---------|---------|--------|------------------------|
| 3 | 2 | 3 | 380~420 | 27~29 | 47 |
| 4 | 2~3 | 4 | 450~500 | 29~31 | 40.5 |
| 5 | 2~3 | 4 | 520~560 | 31~33 | 37.5 |
| 6 | 3 | 4 | 550~600 | 33~35 | 37.5 |
| 7 | 3 | 4 | 640~680 | 35~37 | 34.5 |
| 8 | 3~4 | 4 | 680~720 | 35~37 | 32 |
| 9 | 3~4 | 4 | 720~780 | 36~38 | 27.5 |
| 10 | 4 | 4 | 780~820 | 38~40 | 27.5 |
| 12 | 5 | 4 | 850~900 | 39~41 | 23 |
| 14 | 5 | 4 | 880~920 | 39~41 | 21.5 |

表 4-17 横角焊的埋弧焊焊接工艺参数

| 焊脚尺寸/mm | 焊丝直径/mm | 焊接电流/A | 电弧电压/V | 焊接速度/ $m \cdot h^{-1}$ |
|---------|---------|---------|--------|------------------------|
| 4 | 3 | 350~370 | 28~30 | 53~55 |
| 6 | 3 | 450~470 | 28~30 | 54~58 |
| | 4 | 480~500 | 28~30 | 58~60 |
| 8 | 3 | 500~530 | 30~32 | 44~46 |
| | 4 | 670~700 | 32~34 | 48~50 |

4.3 管道焊接工艺要点

4.3.1 焊接接头形式与坡口

虽然新的焊接方法不断地出现,焊接接头的类型也日益增多,但应用最广泛的焊接方法仍是熔焊,特别是在管道及压力容器生产中。本节将以熔焊接头为重点进行叙述。

1. 焊接接头的形式

焊接接头形式主要有对接接头、角接头、T形接头和搭接接头 4 种,见图 4-17 所示。其次还有卷边接头、锁底接头、套管接头及斜 T 形接头等。

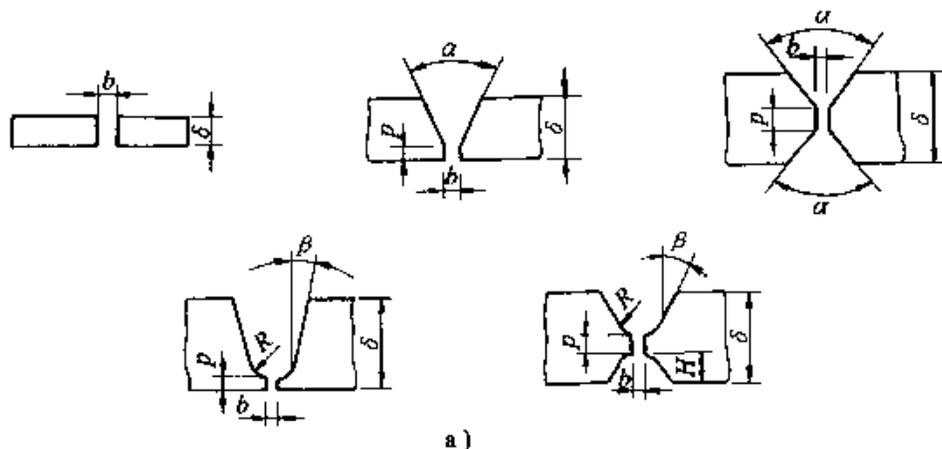


图 4-17 焊接坡口类型

a) 对接

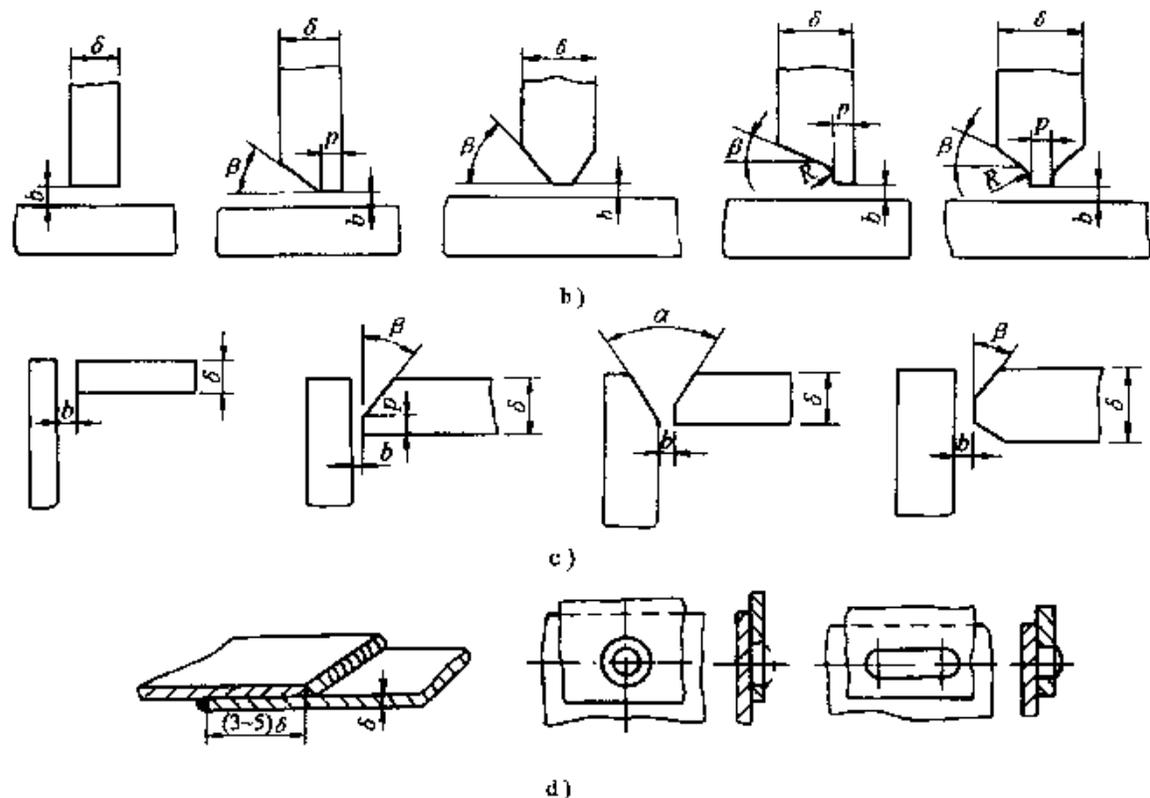


图 4-17 焊接坡口类型 (续)

b) T形接头 c) 角接 d) 搭接

管道、压力容器上应用较多的主要是对接接头（如板与板、管与管的纵、环焊缝连接的对接接头），其次是T形接头，如插入式或骑座式接管与筒体、接管与接管以组合焊缝连接的接头，以及锅炉、换热器的管子与管板和膜式壁等以角焊缝连接的T形接头等。某些较重要的设备，如反应容器的裙式支座与筒体的连接则采用斜T形接头形式，而一些接管或人孔与法兰的连接，多为对接接头（工作压力较高时），有时也采用套入式的套管接头。

(1) 对接接头 是指在同一平面上两板件相对端面焊接而形成的接头。这种接头从力学角度看是比较理想的接头形式，它的受力状况较好，应力集中较小；能承受较大的静载荷或动载荷，接头效率高。是管道焊接和锅炉压力容器受压元件应用最多的接头形式。为保证焊接质量、减少焊接变形和焊接材料的消耗，需要把工件的对接边缘加工成各种形式的坡口，再进行焊接。坡口形式主要分为I形坡口、V形坡口、

Y形坡口、U形、T形及双U形或UY组合形坡口，单边V形、双V形或双Y形坡口等。常见的坡口形式见图4-17a所示。一般，钢板厚度在6mm以下，可开I形坡口（即不开坡口），但重要结构厚度3mm时，也应开坡口；厚度6~26mm时，采用V形或Y形坡口；厚度12~60mm，可开成双Y形或双V形坡口，它可比单Y或单V形坡口减少填充金属量近一半左右，焊后变形也较小。U形及双U形坡口的填充金属量更少，焊后变形更小，但加工困难，一般用于重要结构件的焊接。

(2) 角接接头 是由两块板件端面构成的直角的接头形式，见图4-17c所示。角接接头一般可分为I形坡口、单边Y形坡口、Y形及双单边Y形坡口等。

(3) T形接头 是指一板件与另一板件相交构成直角或近似直角以角焊缝或组合焊缝（对接焊缝加角焊缝）连接的接头形式这种接头承受载荷尤其是动载荷的能力较低。T形接头常用的坡口形式可分为I形坡口，单边V形、双单边V形、U形、带钝边单边V形、带钝边T形、带钝边双T形等，见图4-17b所示。

(4) 搭接接头 是指两板件部分重叠在一起进行焊接所形成的接头，见图4-17d所示。该接头强度较低，尤其是疲劳极限低，只用于不重要的结构。

搭接接头可分为不开坡口、圆孔内塞焊、长孔内角焊三种形式。不开坡口的搭接接头，一般用于厚12mm以下钢板，其重叠部分长度由设计决定。当重叠钢板面积较大时，为保证强度可分别选用圆孔内塞焊或长孔内角焊的形式。塞焊点间距和长孔长度 L 可由设计确定。

2. 接头坡口设计原则

首先考虑接头受载状况及壁厚（焊透性要求），不承载的连续焊缝无焊透要求时，厚度即使大于30mm也可以采用I形坡口。对大多数承载的对接接头，为了保证焊透，只有厚度小于6mm才可采用I形坡口，否则随壁厚增加应依次选用V、U、X、双U形坡口。角接T形接头只在特别重要时才强调焊透的坡口设计。其次应考虑焊接材料的消耗量及加工条件，壁厚相同的U、X、双U形坡口分别比V、U、X形坡口节省较多的焊接材料、能耗及工时，但U、双U形坡口一般必须用刨边机、刨床等机加工方法加工，效率较热切割低，V、X形坡口可用气

割、等离子切割方法在下料的同时完成。最后还应考虑焊接应力及可焊性，单面的 V 或 U 形坡口焊接后会比 X 或双 U 形坡口有更大的焊接应力变形。有不少难以双面焊或者翻转的焊件只能采用单面坡口。选择哪一种坡口形式除依据 GB/T985—1988《气焊、焊条电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》和 GB/T986—1988《埋弧焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》两个国家标准外，也可按行业标准和企业标准由工件厚度确定。

3. 常见焊缝坡口的形式与尺寸

气焊（用于薄板）、焊条电弧焊及气体保护焊焊接低碳钢、低合金钢常见焊接接头坡口的形式和尺寸见表 4-18。碳钢和低合金钢埋弧焊常见焊缝坡口的基本形式和尺寸见表 4-19。

4. 坡口加工

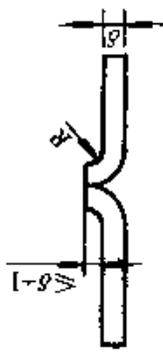
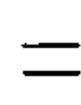
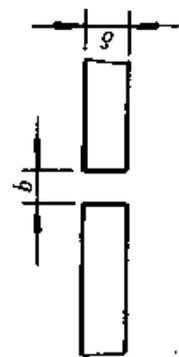
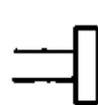
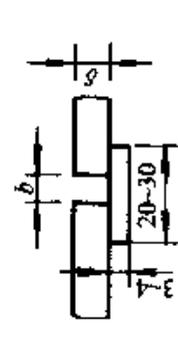
采用焊接连接的管子，当管壁达到一定厚度时，其端部应按规定加工坡口。坡口形式有 V 形、X 形、双 V 形和 U 形等。V 形坡口最常用，普遍用于各种单面焊管道。X 形坡口实际上是内外壁两面 V 形坡口，用于采用双面焊的大直径卷管。双 V 形和 U 形坡口用于厚壁高、中压管道。

(1) 热切割 热切割是焊接生产中最常用的热加工方法，热切割方法的分类、定义及其适用范围见表 4-20，常用热切割方法适宜切割的材料见表 4-21，在采用热加工方法加工坡口后，必须除去坡口表面的氧化皮、熔渣及影响接头质量的表面层，并应将凹凸不平处打磨平整，见表 4-22。

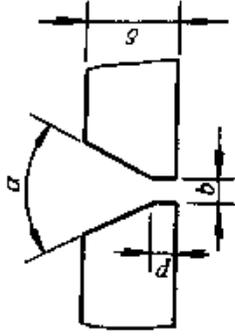
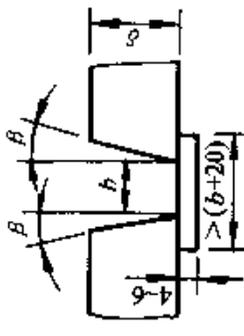
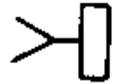
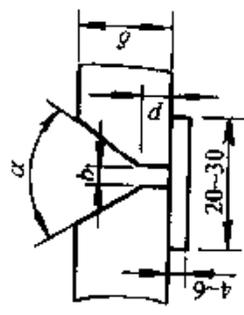
(2) 冷加工 管子坡口加工工具有切削机床、专用割管机、套丝机等，为了消除表面的淬硬性，可用锉刀或手提砂轮机进行磨削，直向手提砂轮机结构其技术特性见表 4-23。对于重要焊接接口，坡口最好选用电动角向砂轮机直接磨出，电动角向砂轮机结构及技术特性见表 4-24。

公称直径不超过 600mm 的管子，一般采用坡口机加工坡口，高压管道也可以用车床加工坡口。坡口机的机型较多，常用的如国产 PK 系列电动坡口机和 GPK 系列气动坡口机。其中 GPK 系列坡口机以压缩空气作动力，适合在有气源的地方使用。这类坡口机一般都能自动定中心，有径向自动走刀装置，可加工多种材质管子的 V 形、U 形坡口。常用坡口机的加工能力见表 4-25。

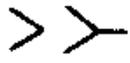
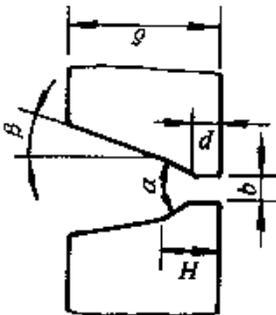
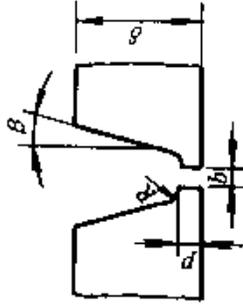
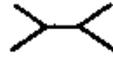
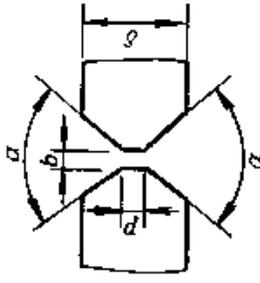
表 4-18 焊条电弧焊等常见焊接接头焊缝的坡口形式和尺寸(GB/T985—1988)

| 序号 | 工件厚度 δ /mm | 名称 | 符号 | 坡口形式 | 坡口尺寸/mm | | | | | |
|----|----------------------|------------------------|---|--|-----------------|-------|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | $\alpha(\beta)$ | b | p | H | R | |
| 1 | 1~2 | 卷边坡口 (大多不加 填充材料) |  |  | — | — | — | — | — | 1~2 |
| | | | | | | | | | | |
| 2 | 1~3 3~6 | I形坡口 |  |  | — | 0~1.5 | — | — | — | — |
| | | | | | | 0~2.5 | | | | |
| 3 | 2~4 | I形带垫 板坡口 |  |  | — | 0~3.5 | — | — | — | — |

(续)

| 序号 | 工件厚度 δ /mm | 名称 | 符号 | 坡口形式 | 坡口尺寸/mm | | | | |
|----|----------------------|---------|---|--|------------------------------|------|-----|-----|-----|
| | | | | | $\alpha(\beta)$ | b | p | H | R |
| 4 | 3~26 | Y形坡口 |  |  | $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ | 0~3 | 1~4 | — | — |
| 5 | >16 | V形带垫板坡口 |  |  | $(5^{\circ}\sim 15^{\circ})$ | 6~15 | — | — | — |
| 6 | 6~26 | Y形带垫板坡口 |  |  | $45^{\circ}\sim 55^{\circ}$ | 3~6 | 0~2 | — | — |

(续)

| 序号 | 工件厚度 δ /mm | 名称 | 符号 | 坡口形式 | 坡口尺寸/mm | | | | |
|----|----------------------|---------|---|--|-----------------|-----|-----|------|-----|
| | | | | | $\alpha(\beta)$ | b | p | H | R |
| 7 | >20 | VY形坡口 |  |  | 60°~70° | 0~3 | 1~3 | 8~10 | — |
| | | | | | (8°~10°) | | | | |
| 8 | 20~60 | 带钝边U形坡口 |  |  | (1°~8°) | 0~3 | 1~3 | — | 6~8 |
| | | | | | | | | | |
| 9 | 12~60 | 双Y形坡口 |  |  | 40°~60° | 0~3 | 1~3 | — | — |
| | | | | | | | | | |

(续)

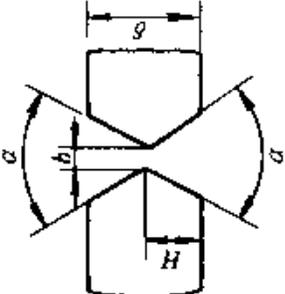
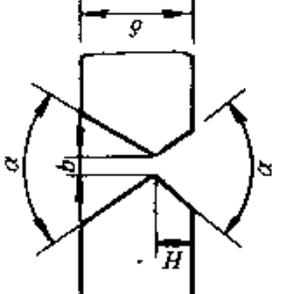
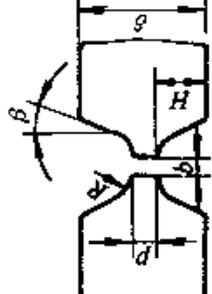
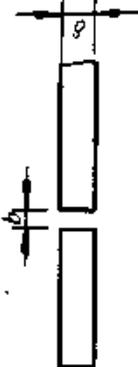
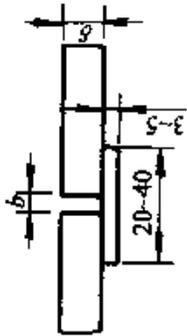
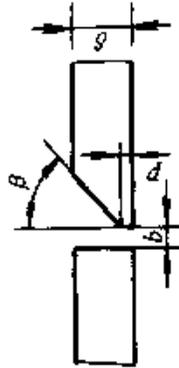
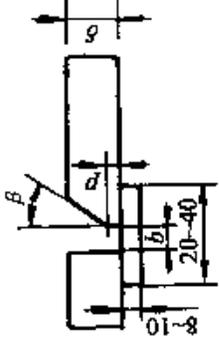
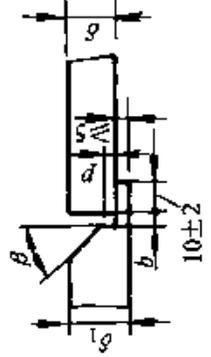
| 序号 | 工件厚度 δ/mm | 名称 | 符号 | 坡口形式 | 坡口尺寸/mm | | | | |
|----|----------------------------|----------|---|--|--------------------------|-----|-----|----------------|-----|
| | | | | | $\alpha(\beta)$ | b | p | H | R |
| 10 | >10 | 双V形坡口 |  |  | $40^\circ \sim 60^\circ$ | 0~3 | — | $\delta/2$ | — |
| 11 | >10 | 2/3双V形坡口 |  |  | $40^\circ \sim 60^\circ$ | 0~3 | — | $\delta/3$ | — |
| 12 | >30 | 双U形坡口带钝边 |  |  | $(1^\circ \sim 8^\circ)$ | 0~3 | 2~4 | $(\delta-p)/2$ | — |

表 4-19 碳钢和低合金钢埋弧焊缝的常用坡口形式和尺寸 (GB/T986—1988)

| 序号 | 工件厚度 δ /mm | 名称 | 符号 | 坡口形式 | 坡口尺寸/mm | 说明 | | | |
|----|----------------------|---------|-------|--|-------------|--|---------------|---------------|---------------------------|
| 1 | 3~10 | I形坡口 | |  | $b=0\sim 1$ | 焊缝有效厚度值由设计者确定 | | | |
| 2 | 3~6 | | D | | |  | $b=0\sim 2.5$ | 封底焊道允许采用任何明弧焊 | |
| 3 | 6~20 | | | | | | | $b=0\sim 4$ | 允许后焊侧采用碳弧气刨清焊根 |
| 4 | 6~12 | | D | | | | | | 需采用焊剂垫和铜垫保护熔池 |
| 5 | 6~24 | | D | | | | | | 需采用焊剂垫保护熔池,允许后焊侧采用碳弧气刨清焊根 |
| 6 | 3~12 | I形带垫板坡口 | D | $b=0\sim 5$ | | | | | |

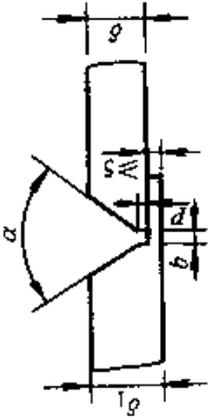
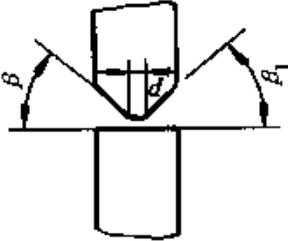
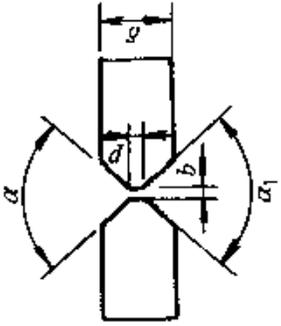
(续)

| 序号 | 工件厚度 δ /mm | 名称 | 符号 | 坡口形式 | 坡口尺寸/mm | 说明 |
|----|----------------------|------------------|---|---|--|----|
| 7 | 10~20 | 带钝边单边 V形坡口 |  |  | $\beta = 35^\circ \sim 50^\circ$, $b = 0 \sim 4$, $p = 5 \sim 8$ | |
| | | | |  | | |
| 9 | 10~30 | 带钝边单边V 形带垫板坡口 |  |  | $\beta = 20^\circ \sim 40^\circ$, $b = 2 \sim 5$, $p = 0 \sim 4$ | |
| | | | |  | | |
| 10 | 16~30 | 带钝边单边V 形锁边坡口 |  |  | | |

(续)

| 序号 | 工件厚度 δ /mm | 名称 | 符号 | 坡口形式 | 坡口尺寸/mm | 说明 |
|----|----------------------|-------------|----|------|---|------|
| 11 | 20~50 | 带钝边J形 坡口 | | | $\beta = 6^\circ \sim 12^\circ$ 、 $b = 0 \sim 2$ 、 $p = 6 \sim 10$ 、 $R = 3 \sim 10$ | |
| 12 | 10~24 | Y形坡口 | | | $\alpha = 50^\circ \sim 80^\circ$ 、 $b = 0 \sim 2.5$ 、 $p = 5 \sim 8$ | 同序号4 |
| 13 | 10~30 | | | | | 同序号3 |
| 14 | 10~30 | Y形带垫 板坡口 | | | $\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ 、 $b = 2 \sim 5$ 、 $p = 2 \sim 5$ | |

(续)

| 序号 | 工件厚度 δ/mm | 名称 | 符号 | 坡口形式 | 坡口尺寸/mm | 说明 |
|----|----------------------------|----------------|---|--|---|---|
| 15 | 10~30 | Y形锁边坡口 |  |  | $\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ $b = 2 \sim 5$ $p = 2 \sim 5$ | |
| 16 | 20~30 | 带钝边双单边 V形坡口 | K |  | $\beta = 45^\circ \sim 60^\circ$ $\beta_1 = 40^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 2.5$ $p = 5 \sim 10$ | 允许采用不对称坡口 |
| 17 | 24~60 | 双Y形坡口 |  |  | $\alpha = 50^\circ \sim 80^\circ$ $\alpha_1 = 50^\circ \sim 60^\circ$ $b = 0 \sim 2.5$ $p = 5 \sim 10$ | 允许采用角度不对称、高度不对称、角度高度都不对称的双Y形坡口; $\alpha = \alpha_1$ 时, 只标出 α 值 |

(续)

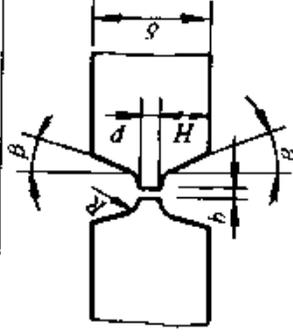
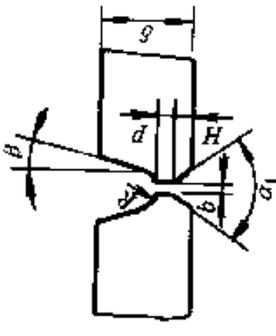
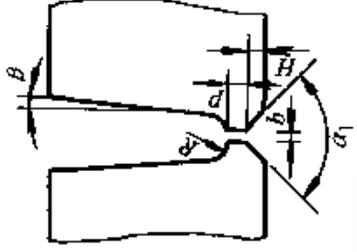
| 序号 | 工件厚度 δ /mm | 名称 | 符号 | 坡口形式 | 坡口尺寸/mm | 说明 |
|----|----------------------|--------------|---|--|---|--|
| 18 | 50~160 | 带钝边双U形 坡口 |  |  | $\beta = 5^\circ \sim 12^\circ$, $b = 0 \sim 2.5$, $p = 6 \sim 10$, $R = 6 \sim 10$ | 允许采用角度不对称、高度不对称、角度高度都不对称的双U形坡口; $\beta = \beta_1$ 时, 只标出 β 值 |
| 19 | 40~160 | UY形坡口 |  |  | $\alpha = 70^\circ \sim 80^\circ$, $\beta = 5^\circ \sim 10^\circ$, $b = 0 \sim 2.5$, $p = 2 \sim 3$, $H = 9 \sim 11$, $R = 8 \sim 11$ | 同序号 2 |
| 20 | 60~250 | 窄间隙坡口 |  |  | $\alpha = 70^\circ \sim 80^\circ$, $\beta = 1^\circ \sim 3^\circ$, $b = 0 \sim 2$, $p = 1.5 \sim 2.5$, $H = 9 \sim 11$, $R = 8 \sim 11$ | 窄间隙坡口适用于首层焊一道, 以后每层焊两道; 内坡口层采用任何明弧焊 |

表 4-20 热切割方法的分类、定义及其适用范围

| 切割方法 | 定义及其主要适用范围 |
|-------------------|--|
| 利用氧化反应热的切割方法 | <p>气割</p> <p>利用预热火焰加热切割区并送进高纯度切割氧流,借助氧与铁(或金属)的反应使金属迅速氧化,同时用高速切割氧流的动量将熔渣排除,从而形成割缝的切割方法</p> <p>主要适用于切割碳钢、低合金钢和钛</p> |
| | <p>氧-熔剂气割</p> <p>在气割的过程中,通过氧流向切割反应区供送熔剂(铁粉等),利用熔剂的燃烧热将高熔点金属氧化物熔化,同时借高速切割氧流排除熔渣和熔融金属,从而形成割缝的切割方法</p> <p>主要适用于切割高铬钢和铬镍不锈钢、铸铁的浇冒口以及钢渣等</p> |
| 利用电弧热的切割法 | <p>空气碳弧切割</p> <p>利用碳极电弧的热量使金属局部熔化,借助于压缩空气流将熔化金属吹除,从而形成槽道或割缝的切割方法</p> <p>主要适用于各种金属焊接接头的开坡口、封底焊缝的清根和开槽以及清除焊缝中的焊接缺陷,也可用于割断有色金属及其合金</p> |
| | <p>MIG 电弧切割</p> <p>利用熔化极气体保护电弧的热量使金属局部熔化,并借保护气体的气流吹除熔化金属,从而形成割缝的切割方法</p> <p>主要适用于水下切割金属,也用于接缝开槽</p> |
| | <p>等离子弧切割</p> <p>利用等离子弧高温使金属局部熔化,并借高速等离子焰流的动量将熔化金属排除,从而形成割缝的切割方法</p> <p>适用于切割所有金属材料及部分非金属材料,是切割不锈钢、铝及铝合金、铜及铜合金等有色金属的有效方法。最大切割厚度可达 180~200mm。现已推广用于碳钢的切割,目前已用来切割厚度 35mm 以下的低碳钢和低合金结构钢</p> |
| 同时利用电弧热和氧化反应热的切割法 | <p>氧-弧切割</p> <p>利用电弧热加热切割区,借助于氧流使金属燃烧,并将熔渣和熔化金属排除,从而形成割缝的切割方法。与气割相比,其特点是切割速度快,但切断面的质量较差</p> <p>主要适用于金属的穿孔和水下切割</p> |
| 利用光能的切割法 | <p>激光切割</p> <p>利用聚集成直径很小的激光束照射切割区,使被切割材料迅速地升华和熔化,从而形成割缝的切割方法</p> <p>主要适用于切割薄金属以及陶瓷、塑料和布等非金属材料,是一种高速、高质量、高精度切割法,正在不断发展之中</p> |

表 4-21 常用热切割方法适宜切割的材料

| 切割方法 | 气 割 | 等离子弧切割 | 激 光 切 割 |
|---------------------------|-----------------|---|---|
| 切割热源 | 氧化反应 | 电 | 光 |
| 适宜切割的材料及能切割的厚度范围/mm | 低碳钢、低合金钢 3~3600 | 低碳钢、低合金钢 0.1~50; 不锈钢等高合金钢 0.1~200; 铝及铝合金 0.1~150; 铜及铜合金 0.1~150; 铸铁≤170 | 低碳钢、低合金钢≤12.5; 不锈钢、钼钢等≤6.3; 铝≤2; 钛≤3; 铜≤2; 纤维板≤15.6; 聚碳酸酯塑料层压板、合成木材≤18; 橡胶、皮革≤5; 陶瓷≤0.8; 其他金属材料 |
| 割缝宽度(切割厚 6 低碳钢时的割缝宽度值)/mm | 中 1.5 | 大 4.0 | 小 0.3 |

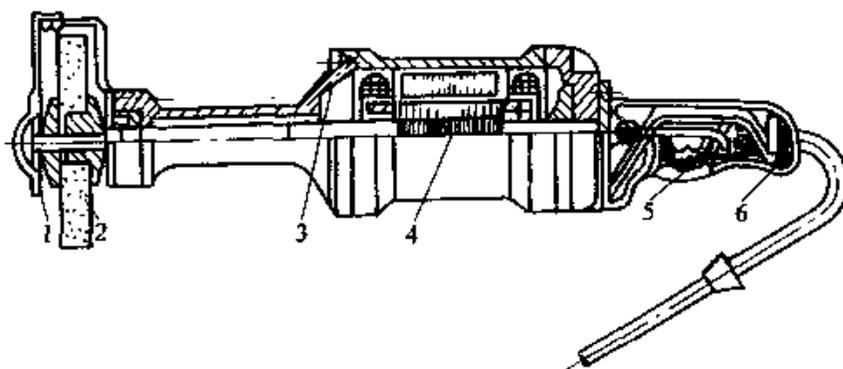
注: 激光切割的厚度范围将随激光技术的发展和激光器功率的提高而增大。

表 4-22 管子坡口加工方法的选择

| 焊缝级别 | 加工方法 | 备 注 |
|------------|------------------|----------------------------------|
| I、II 级 | 机械方法 | 若采用等离子弧切割时,应清除其表面的热影响层 |
| 铝及铝合金 | 机械方法 | |
| 铜及铜合金 | 机械方法 | |
| 不锈钢管 | 机械方法 | |
| III、IV 级 | 机械方法 氧-乙炔焰 | 用氧-乙炔焰坡口时,必须清除表面的氧化皮,并将凹凸不平处磨削平整 |
| 有淬硬倾向的合金钢管 | 等离子弧氧乙炔焰 机械方法 | 应消除加工表面的淬硬层 |

注: 焊缝级别按管道分类表确定。

表 4-23 直向手提砂轮机结构及技术特性

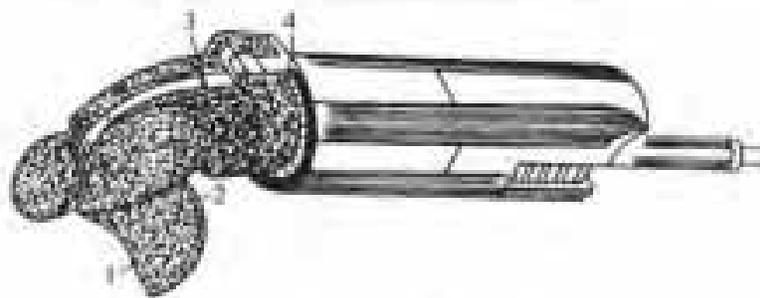


1—罩壳 2—砂轮 3—长端盖 4—电动机 5—开关 6—手柄

(续)

| 规格 /mm | 砂轮尺寸 (外径×厚×孔径) /mm | 最高空载 转速 (r/min) | 砂轮安全 线速度 (m/s) | 额定 转矩 (N·m) | 额定 电压 (V) | 输入 功率 /W | 备 注 |
|-----------|--------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-----------------|----------------|-------|
| 80 | φ80×20×φ20 | 11000 | 50 | 37 | ≈220 | 430 | 用于焊口 |
| 100 | φ100×20×φ20 | 8500 | | 62 | Y220 Y380 | 570 | 打磨、坡口 |
| 125 | φ125×20×φ20 | 6600 | | 80 | | 570 | 修整、清理 |
| 150 | φ150×20×φ32 | 5700 | | 190 | | 1120 | 飞边、打光 |
| 175 | φ175×20×φ32 | 3000 | | 280 | | Y380 | 1300 |

表 4-24 电动角向砂轮机结构及技术特性



1—砂轮 2—罩壳 3—传动轮 4—电动机

| 规格 /mm | 砂轮尺寸 (外径×厚×内径) /mm | 砂轮安全 线速度 (m/s) | 最高空载 转速 (r/min) | 额定 转矩 (N·m) | 额定 电压 /V | 输入 功率 /W | 备 注 |
|-----------|--------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|----------------|----------------|-------|
| 100 | φ100×3×φ22 | 80 | 11000 | 25.4 | ≈220 | 530 | 用于焊接 |
| 125 | φ125×3×φ22 | | 11000 | 53 | | 570 | 重要坡口切 |
| 180 | φ180×3×φ22 | | 8000 | 235 | | 1670 | 磨、飞边毛 |
| 230 | φ230×3×φ22 | | 8000 | 310 | | 1670 | 刺清理等 |

表 4-25 常用坡口机加工能力

| 名 称 | 型 号 | 加工直径/mm |
|----------|----------|---------|
| 电动管子坡口机 | NP80-273 | ≤273 |
| | PK-400 | ≤426 |
| | PK-600 | ≤600 |
| 外夹式气动坡口机 | GPK-140 | 40-133 |

(续)

| 名 称 | 型 号 | 加工直径/mm |
|----------|---------|---------|
| 内涨式气动坡口机 | GPK—30 | 8~30 |
| | GPK—80 | 28~80 |
| | GPK—150 | 65~159 |
| | GPK—350 | 159~351 |
| | GPK—630 | 351~630 |

4.3.2 管道装配的定位焊

定位焊是焊前为装配和固定焊件接头的位置而焊接的短焊缝。定位焊所用的焊条或焊丝与正式焊接相同，按正式焊缝的工艺条件施焊，焊接电流比正式焊接电流高 12%~15%，在交叉焊缝处或焊接应力急剧变化处不进行定位焊，应离开 50mm 左右，一般管道装配时的定位焊缝尺寸见表 4-26。

表 4-26 定位焊缝尺寸 (mm)

| 焊件厚度 | 焊缝高度 | 焊缝长度 | 间距 |
|----------|-------------|-------|---------|
| ≤ 4 | < 4 | 5~10 | 50~100 |
| 4~12 | 3~6 | 10~20 | 100~200 |
| > 12 | ≈ 6 | 15~30 | 100~300 |

管道装配的相互位置偏差见表 4-27。

表 4-27 管道装配的相互位置偏差 (mm)

| 项目名称 | 简 图 | 允许偏差值 Δt | |
|--------|---|------------------|------------------|
| 管壁间的错移 |  | $\delta \leq 5$ | ≤ 0.5 |
| | | $\delta > 5$ | $\leq 0.1\delta$ |

4.3.3 钢管焊前预热及焊后热处理

(1) 常用钢管、管件焊前预热及焊后热处理的工艺条件 见表 4-28。

(2) 常用钢管、管件焊后热处理温度要求 见表 4-29。

表 4-28 常用钢管、管件焊前预热及焊后热处理工艺条件

| 钢 种 | 焊 前 预 热 | | 焊 后 热 处 理 | |
|--------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | 壁厚 δ /mm | 温度/℃ | 壁厚 δ /mm | 温度/℃ |
| C | ≥ 26 | 100 ~ 200 | > 30 | 600 ~ 650 |
| C—Mn | ≥ 15 | 150 ~ 200 | > 20 | |
| Mn—V | | | | 560 ~ 590 |
| C—0.5Mo | | | | 600 ~ 650 |
| 0.5Cr—0.5Mo | | | | 650 ~ 700 |
| 1Cr—0.5Mo | ≥ 10 | 150 ~ 250 | > 10 | 700 ~ 750 |
| 1Cr—0.5Mo—V | ≥ 6 | 200 ~ 300 | > 6 | |
| 1.5Cr—1Mo—V | | | | |
| 2.25Cr—1Mo | | | | |
| 5Cr—1Mo | ≥ 6 | 250 ~ 350 | 任意壁厚 | 750 ~ 780 |
| 9Cr—1Mo | | | | |
| 2Cr—0.5Mo—WV | | | | |
| 3Cr—1Mo—VTi | | | | |
| 12Cr—1Mo—V | | | | |

表 4-29 常用钢管、管件焊后热处理温度要求

| 钢 号 | 壁 厚/mm | 热处理温度/℃ |
|----------|--------|-----------|
| Q235 | 不热处理 | |
| 10 | > 36 | 600 ~ 650 |
| 20 | > 36 | 600 ~ 650 |
| 16Mn | > 20 | 600 ~ 650 |
| 15MnV | > 20 | 520 ~ 570 |
| 12CrMo | > 20 | 650 ~ 700 |
| 15CrMo | > 10 | 670 ~ 700 |
| 12CrMoV | > 6 | 750 ~ 780 |
| 12Cr1MoV | > 6 | 750 ~ 780 |
| Cr5Mo | 任意 | 750 ~ 780 |
| 1Cr13 | > 6 | 700 ~ 730 |

(续)

| 钢号 | 壁厚/mm | 热处理温度/℃ |
|---------------|-------|-----------------------|
| 12Cr2MoWVB | 任意 | 750~780 |
| 12Cr3MoVSiTlB | 任意 | 750~780 |
| 1Cr18Ni9Ti | | 一般不进行热处理, 必要时做固溶处理 |
| Cr18Ni12Mo2Ti | | |
| ZG20CrMo | >10 | 670~700 |
| ZG20CrMoV | >6 | 720~750 |
| ZG15Cr1Mo1V | >6 | 720~750 |

(3) 钢管及管件热处理加热法

1) 工频感应加热法 工频感应加热的原理,是利用电磁感应使管子金属产生涡流而发热。感应加热器可用软电缆或可拆铜片做成。使用时,先在管子上包上石棉布或缠上石棉绳,然后绕上加热器,匝间进行绝缘并固定后通电。导线的截面及匝数通过计算求得。使用的功率、电流值根据管子的直径和壁厚确定。

实际工作中,一般采用电焊机(如 BX-300、ZXG-300 等)并联,交直流均可,匝数约为 20 匝左右,为了安全,二次电压不超过 65V。见图 4-18。工频感应加热法加热较均匀,但温度不能太高,适用于低温退火。

2) 电阻加热法 这是目前最常用的预热及热处理方法。电阻加热器的种类较多,进口的有古柏、潘恩、弗福米等加热器,在控温、测温 and 发热元件结构等方面有独特之处;国产的有江苏一些厂家引进国外技术生产的远红外线陶瓷电阻加热器系列产品。

电阻加热器由温度控制设备和发热元件两部分组成。

温度控制设备可对加热器的升温、恒温和降温进行自动控制,常用的有柜式和便携式两种。柜式温度控制设备功率大,有多路输出,自动

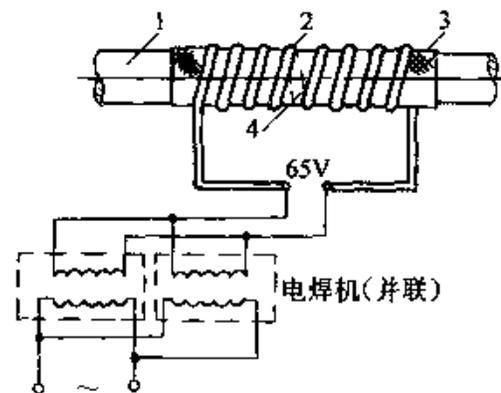


图 4-18 工频感应加热装置

1—管子 2—电缆 3—石棉布(石棉绳) 4—焊缝

化程度高，部分产品采用单片微机进行程序控制，具有多温、多点自动测控和记录的功能，适用于预热和热处理数量大的施工现场或管道预制加工厂。便携式温度控制设备一般为箱式结构，一路输出，一个温度控制器，能自动控制，也能手动控制，具有体积小、重量轻的优点，适用于高空和野外作业。温度控制设备的测温元件一般采用国产标准型热电偶，常用的有 WREV 系列、WRN 系列等产品。

发热元件是由优质镍铬合金丝缆作为发热体，高纯度氧化铝陶瓷作为绝缘体制成的，有履带式、指状、绳状、圈型等形状。履带式发热元件一般为矩形，有各种不同的尺寸，可根据管径大小及加热宽度选用，一块不够时可用多块拼接。指状发热元件有 5~72 指多种规格，适用于各种规格的管道，每个焊口可用一排或数排。绳状发热元件外径 12mm，长度有 1.25~20m 多种，适用于弯头、三通、管座等部位的预热和热处理。圈型发热元件也称哈夫加热器，为对开式圆筒形结构，适用于中小直径管道焊缝热处理。

使用时，先将热电偶端头固定在焊缝处。为了保护热电偶端头，应将其放在不锈钢套管内。套管端部是压扁的，以便点焊在被加热的工件上，如图 4-19 所示。当焊缝及其附近不允许点焊时，可用不锈钢丝或不锈钢带捆扎热电偶套管，使其紧贴焊缝。然后根据管道规格和焊缝部位选择合适的发热元件，将其覆盖在焊缝及两侧的加热区域上。履带式和指状发热元件要用不锈钢丝或不锈钢带捆扎，使其紧贴管壁，不留空隙。绳形发热元件可直接缠绕在加热区域，不必捆扎。当履带式发热元件的尺寸不够时，可用不锈钢丝将两块或多块连接起来使用。如发热元件尺寸过大，不能相互重叠起来使用，应将多出部分露在保温被外。发热元件外包保温被一般用硅酸铝纤维制成，厚度 50~80mm，宽度比发热元件宽 1 倍左右，用铁丝或钢带捆扎固定，如图 4-20 所示。最后，将发热元件的引线接到控制设备的电源输出插座上，将热电偶的补偿导线接到控制设备的温度输入插座上。经检查无误后，即可通电加热。

圈型哈夫加热器带有保温层，不必再用保温被进行保温，将其扣合在加热工件上即可。

管道焊缝及其热影响区的热处理，应保证焊缝两侧有足够的加热宽度，可按下式计算：

$$B = 5 \sqrt{Rt}$$

式中 B ——加热宽度 (mm);
 R ——管子半径 (mm);
 t ——管壁厚度 (mm)。

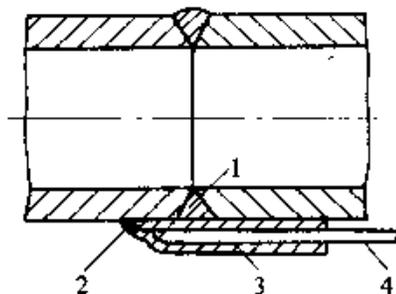


图 4-19 热电偶端头的保护

1—焊缝 2—点固焊
 3—保护套管 4—热电偶

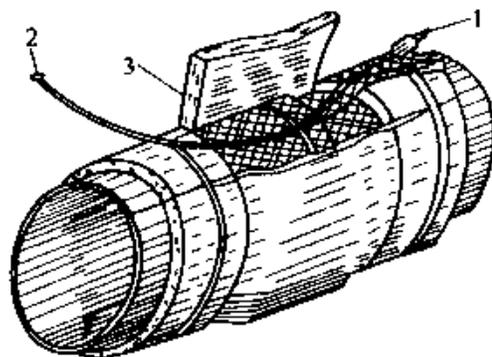


图 4-20 发热元件和保温被的固定

1—发热元件插头 2—热
 电偶插头 3—保温被

第5章 管道工程常用焊接方法

5.1 焊条电弧焊

5.1.1 基本原理

焊条电弧焊是熔化焊中最基本的焊接方法。

焊条电弧焊按照电极材料的不同，可分为熔化极焊条电弧焊和非熔化极焊条电弧焊（如手工钨极气体保护焊）两种。熔化极焊条电弧焊（简称焊条电弧焊）使用的设备简单、操作方便灵活，因此是应用最广的焊接方法。虽然近年来各种自动焊在生产中不断推广使用，但对于像管道类的形状复杂、尺寸小、焊缝短或弯曲的焊件，采用自动焊就较困难。因此，无论在国内外，焊条电弧焊仍然是焊接工作中的主要方法。

焊条电弧焊（SMAW）是一种利用电弧提供的热使金属熔化结合的焊接方法。电弧在焊条端部和待焊接头的母材表面之间燃烧，使焊条和工件熔化，从而获得牢固的焊接接头。

焊条电弧焊原理如图 5-1

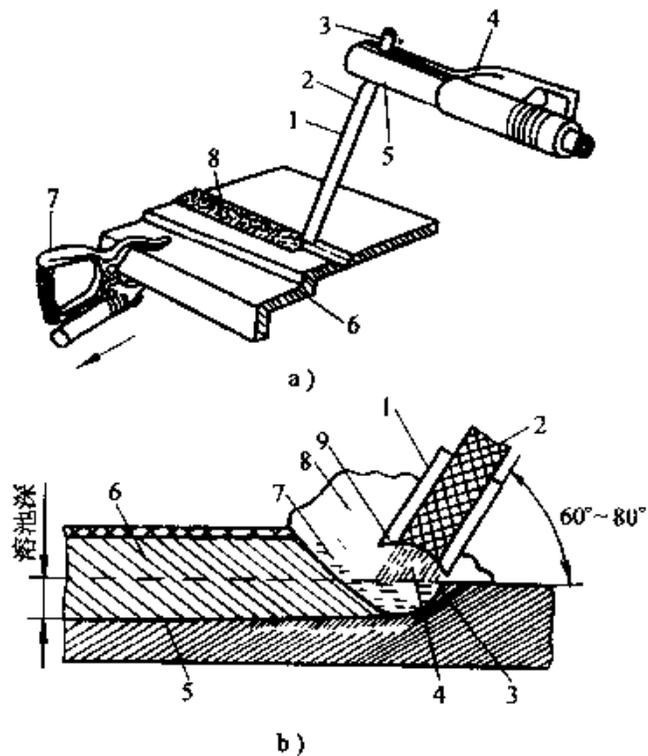


图 5-1 手工电弧焊原理

- a) 操作连接
1—焊条 2—药皮 3—焊条夹持端 4—绝缘手把 5—焊钳 6—焊件 7—地线夹头 8—焊缝
- b) 焊接过程
1—药皮 2—焊芯 3—焊缝弧坑 4—电弧 5—热影响区 6—熔渣 7—熔池 8—保护气体 9—焊条端部喇叭口

所示。电弧发生在焊条端部和工件之间。在焊接过程中。弧长不仅由于电弧的手工操作，而且由于熔滴过渡而发生频繁波动。因此一台具有合适下降伏安特性和良好动态特性的电源，对于焊接规范及电弧燃烧的稳定性有着重要的影响。

焊条和工件是电路的一部分，通称为焊接电路，如图 5-2 所示。此电路以电源为起点，包括焊接电缆、焊钳、接地夹钳、工件和焊条。由电源引出的两条电缆之一接工件，另一条接焊钳。

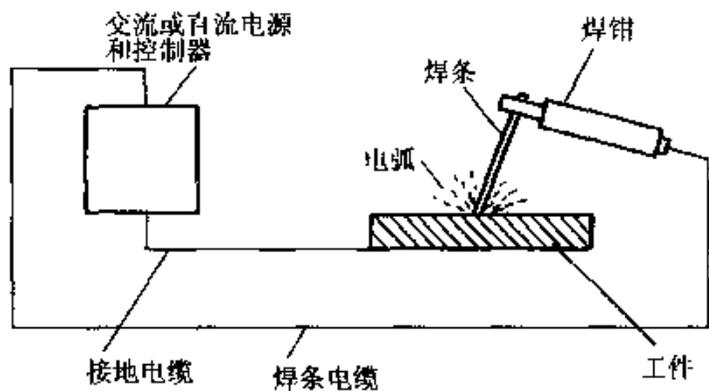


图 5-2 手工电弧焊的典型焊接电路的组成

当电弧在焊条端部和工件之间引燃时，焊接便开始。如图 5-3 所示。电弧的炽热熔化了焊条端部和电弧下面的工件表面。在焊条的端部迅速地形成熔化金属的细小的熔滴，然后通过弧柱过渡到熔化的焊接熔池中。随着焊条不断地熔化，填充金属就得以熔敷。电弧是以适当的弧长和速度在工件上移动，随着电弧不断地前移，熔化了部分母材同时添加了金属。形成焊缝，使工件连接成一体。

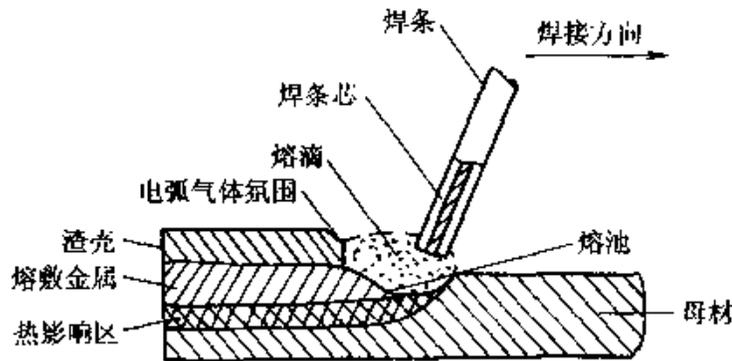


图 5-3 焊接区状态

5.1.2 特点与应用

焊条电弧焊是应用最广泛的焊接方法之一，特别适用于管道安装工程中的短焊缝的焊接。

1. 焊条电弧焊的优点

(1) 操作灵活 焊条电弧焊之所以成为应用最广泛的连接金属的焊

接方法，其主要原因是它的灵活性。焊条电弧焊不论在焊接车间内，还是在野外施工现场均可采用。焊条电弧焊适用于对接、搭接、角接、T形接头等各种接头型式构件的焊接。可以说，凡是焊条能够达到的任何位置的接头，均可采用焊条电弧焊方法连接。

(2) 待焊接头装配要求低 由于焊接过程由焊工控制，可以适时调整电弧位置和运条手势，修正焊接规范，以保证跟踪接缝和均匀溶透。因此，对焊接接头装配尺寸要求相对降低。易于通过工艺调整（如对称焊等等）来控制变形和改善应力。

(3) 可焊金属材料广 焊条电弧焊工艺灵活、适应性强，适用于低碳钢、低合金结构钢的焊接。选配相应的焊条，焊条电弧焊也常用于不锈钢、耐热钢、低温钢等合金结构钢的焊接，用于铸铁、铜合金、镍合金材料的焊接，以及耐磨损、耐腐蚀、耐热等特殊使用要求的构件表面层的堆焊。

(4) 质量好 与气焊及埋弧焊相比，金相组织细，热影响区小，接头性能好。

(5) 焊条的保护特性使这种方法对风和气流不像气体保护电弧焊那样敏感。

2. 焊条电弧焊缺点

(1) 熔敷速度低 焊条电弧焊和其他电弧焊方法（如熔化极气体保护电弧焊、埋弧焊等）相比，因为使用的焊接电流小、每焊完一根焊条后必须换焊条以及清渣而停止焊接等，熔敷速度低，生产效率低。

(2) 依赖性强 虽然焊接接头的力学性能可以通过选择与母材性能相当的焊条来满足，但焊缝质量在很大程度上依赖于焊工的操作技能及现场发挥，甚至焊工施焊过程中的精神状态也会影响焊缝质量，所以对焊工要求高，焊工的操作技术和经验直接影响产品质量的好坏。

(3) 劳动条件差 焊工在工作时必须手脑并用，精神高度集中，而且还要受到高温烘烤，有毒、烟、尘和金属蒸气的危害。

3. 焊条电弧焊应用范围

在造船、锅炉及压力容器、机械制造、建筑安装、化工设备等制造维修行业都广泛使用焊条电弧焊。

5.1.3 焊接电弧

1. 电弧的概念

焊接时，将焊条与焊件接触后很快拉开，在焊条端部和焊件之间立即就会产生明亮的电弧（图 5-4），这种电弧与一般电火花放电在本质上是相同的，是一种气体放电现象。

一般情况下，由于气体的分子和原子都是呈中性的，气体中几乎没有带电质点，因此气体不能导电。但当气体的分子或原子中的电子从外面得到足够的能量，就能脱离原子核的吸引而成为自由电子，同时使原子成为阳离子，这种使中性的气体分子或原子变成电子和离子的过程称为电离。

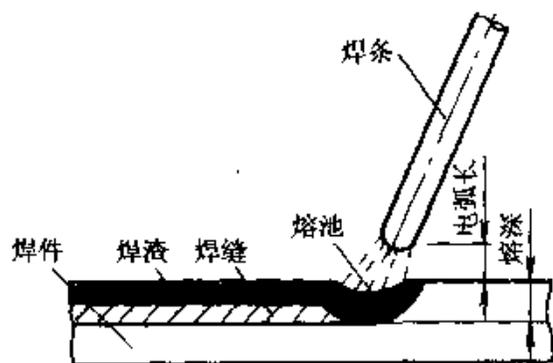


图 5-4 电弧焊过程

使气体电离所需的能量叫做电离电位（或电离功）。不同的气体或元素，由于原子构造不同，其电离电位也不同，表 5-1 为常用元素的电离电位。

表 5-1 常用元素的电离电位

| 元 素 | 钾 | 钠 | 钡 | 钙 | 钛 | 锰 | 铁 | 氢 | 氧 | 氮 | 氩 | 氟 | 氖 | 氦 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 电离电位/V | 4.33 | 5.11 | 5.19 | 6.10 | 6.80 | 7.40 | 7.83 | 13.5 | 13.6 | 14.5 | 15.7 | 16.9 | 21.5 | 24.5 |

在焊接时，使气体介质电离的方式主要有热电离和碰撞电离等。

热电离：在高温时气体的分子或原子的运动速度很快，它们中间电子也以高速度运动。由于焊接电弧具有很高的温度（弧柱中心温度达 5000~8000K），这时电子的高速运动所产生的离心力大于原子核对它的吸引力，电子就脱离原子，而使原子变成阳离子和电子。温度越高，热电离作用就越大。

碰撞电离：带电质点由于电场的作用而加速运动，使它具有很大的动能，当与中性的气体分子或原子碰撞时，将一部分能量传给气体分子或原子中的电子，促使其内能变化，从而使电子脱离原子核的吸引而成为自由电子，原子便成为阳离子。当电弧长度不变，两极间的电压越高，带电质点的运动速度就越大，产生碰撞电离的作用越强烈。

电弧燃烧时，电流从一极通过气体介质流向另一极，这一事实说明：有电子从阴极表面连续地逸出，这种现象称为阴极的电子发射。电

子只有在得到足够的能量时才能逸出阴极表面，这能量称为逸出功。焊接时，根据阴极所吸收能量的性质不同，电子发射的方式可分为热电子发射、场致电子发射、撞击电子发射等。

热电子发射：焊接时，阴极表面温度很高，阴极中的电子运动速度很快，当电子的动能大于电极内部正电荷的吸引力时，电子就会冲出阴极表面，而产生热电子发射作用。温度越高，则热电子发射作用越强烈。

场致电子发射（也称自发射）：在强电场的作用下，由于电场对阴极表面电子的吸引力，电子可以获得足够的动能，从阴极表面发射出来，这种情况甚至可以在室温时发生。这种发射电子的情况除决定于电极的材料外还决定于电场强度。

撞击电子发射：当运动速度较高，能量较大的阳离子撞击阴极表面时，将能量传给阴极而产生电子发射，如电场强度越大，由于阴极的吸引，阳离子的运动速度也增快，则产生的撞击电子发射作用也越强烈。

实际上在焊接时，以上几种电子发射作用常常是同时存在，互相促进的，但在不同的条件下，它们所起的作用可能有差异。

由上可知，气体介质的电离和阴极电子发射是产生和维持电弧的必要条件。

2. 电弧的引燃及熔滴的过渡

(1) 焊接时电弧的引燃过程 气体的各种电离及阴极电子发射，是电弧燃烧的必要条件，造成电极间隙中气体发生电离及阴极电子发射而引起电弧的燃烧，这一过程通常叫做电弧的引燃（也叫引弧）。

当焊条与焊件表面相接触，焊接回路就发生了短路，这时使短路电流增大到最大值。数值很大的短路电流使电源电压急剧的降落，几乎达到零值。这时电能就以磁能的形式储藏在焊接回路中。在图 5-5a 中，由于电极表面不平整，所以短路时，在接触部分通过的电流密度非常大，在电流的热作用下，使接触部分的金属温度剧烈地升高而熔化，甚至部分发生蒸发（图 5-5b），在焊条稍微抬起的瞬间（图 5-5c），大量的电流由熔化金属的细颈通过，由于大电流密度而产生的电阻热突然增大，使细颈部分液体金属的温度猛烈升高，甚至像“保险丝”气化爆裂那样，使两极液体金属迅速分开（图 5-5d），这时由于电极端面的温度已升得很高，产生了热电子发射作用，液体金属周围的气体 and 焊条材料

(电极) 受热蒸发出来的微粒也局部发生热电离和碰撞电离, 同时在两极间液体金属刚分开的瞬间, 焊接回路中的电流急剧减小, 而原来储藏 在焊接回路中的磁能又变成电能 (根据楞次定律), 使两极间的电压很快增高到能满足引燃电弧所需要的电压。电源电压从短路时的零值增高到引燃电弧所需要的电压所经过的时间一般不超过 0.05s (这个电压恢复时间称为电源的动特性, 它对电弧的引燃及焊接过程中的稳定性具有重大的意义)。在电压恢复的瞬间, 两极间电压梯度很大, 于是随之产生场致电子发射作用。在阴极不断发射电子和两极间气体微粒连续地发生电离 (也有中和现象) 的过程, 从而产生强烈的能量, 如此不断循环, 相互促进, 电弧便开始引燃起来。

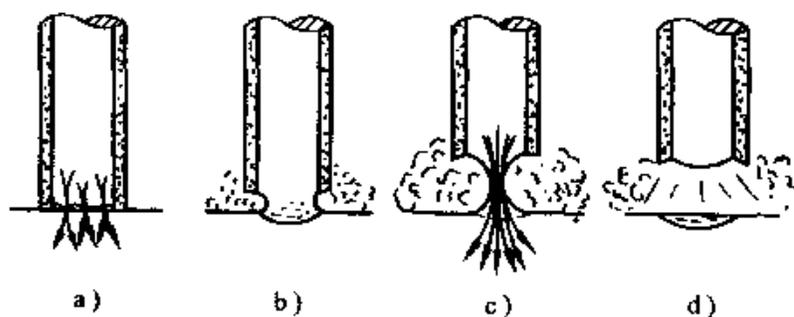


图 5-5 焊接时电弧的引燃过程

(2) 熔滴过渡

1) 熔滴过渡的形式 金属熔滴向熔池过渡根据其形式不同, 大致可分为三种。即滴状过渡、短路过渡、射流过渡。滴状过渡又分为大滴过渡与小滴过渡。由于大滴过渡飞溅大, 电弧不稳定, 所以在焊条电弧焊中, 主要是采用小滴过渡, 而在气体保护焊中, 主要是采用短路过渡和射流过渡。

a. 短路过渡: 熔滴的短路过渡情况可用图 5-6 来说明: 熔化金属首先集中在焊条的下端并开始形成点滴 (图 5-6a), 然后点滴的颈部变细而加长 (图 5-6b), 这时颈部的电流密度增大, 促使点滴的颈部继续向下伸延, 并与熔池接触后产生短路 (图 5-6c), 最后点滴的颈部折断, 与熔池内的液体金属融合, 然后再产生电弧, 焊条末端也重新再形成点滴 (图 5-6d), 恢复上述过程。

b. 射流过渡: 射流过渡是在大的电流密度和一定弧长的条件下,

液体金属以很细的颗粒、很高的频率沿着电弧的轴线，自焊丝射向熔池。

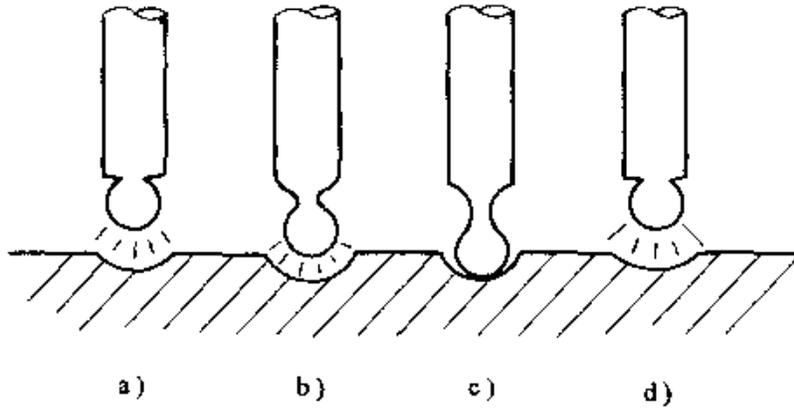


图 5-6 熔滴短路过渡的情况

需要强调的是：如果弧长太短，不论电流密度有多大，也不可能产生射流过渡。

由于射流过渡具有电弧稳定，飞溅极少、熔深大、焊缝成形好等优点，因此在气体保护焊中，采用这种过渡形式比较多。

2) 过渡熔滴的大小 在焊接过程中，过渡熔滴的大小决定于焊条中的含碳量、涂药成分、焊接电流强度等。

a. 电流强度的影响：电流强度增大时，增强了焊条端面上的加热作用，提高了金属的温度，减小了熔滴的表面张力，致使熔滴变小。

b. 焊芯成分的影响：焊芯中含碳量的增加，在高温时生成 CO 气体，由于气化的加强，气体的压力使较大的熔滴爆破成为许多细小的熔滴，除此之外，随着金属中含碳量的增加，使它的熔点及粘性都会降低，也增加了过渡金属的流动性，易使熔滴分裂成细小的熔滴。

c. 药皮成分的影响：在高温时，一些活性金属元素被氧化成熔渣，包围在熔滴外围，这些氧化物能减小熔滴的表面张力，致使熔滴变小。

3) 参与熔滴过渡的力 不论焊缝在空间的位置怎样，金属熔滴总是从焊条过渡到焊件的熔池中的。电弧中促使熔滴过渡的各种力的作用包括有：

a. 熔滴的重力：任何物体都因为本身的重力而具有下垂的倾向，这种情况也发生在焊接时的金属熔滴上。所以在平焊时重力促进了熔滴过渡。但在立焊及仰焊时，熔滴的重力却阻碍了熔滴向熔池的过渡。

b. 电弧气体的吹力：在焊接时，焊条涂药的熔化稍微落后于焊芯的熔化，在焊条的末端上形成一小段尚未熔化的喇叭形“套管”，如图 5-7 所示。套管内有大量焊芯及药皮蒸发产生的气体、药皮造气剂分解产生的气体以及焊芯中碳元素氧化成 CO 的气体。这些气体因加热到高温，体积急剧膨胀，并顺着未熔化的套管方向，以整齐（直线的）而稳定的气流冲出，把熔滴吹送到熔池中去。所以不论焊缝的空间位置怎样，这种气流（气体吹送）都将有利于熔滴金属的过渡。

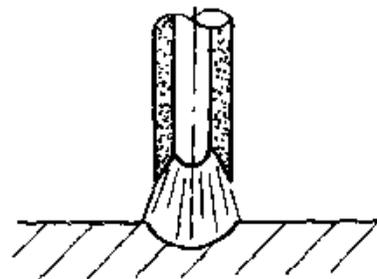


图 5-7 焊接时焊条末端的套管

c. 表面张力：液体金属像其他液体一样具有表面张力。焊条熔化后，其液体金属并不会马上掉下来，而是在表面张力的作用下形成球状熔滴悬挂在焊条的末端。随着焊条不断熔化，熔滴体积不断增大，直到作用在熔滴上的作用力超过熔滴与焊芯界面间的张力时，熔滴才脱离焊芯进入熔池。

表面张力越大，焊芯末端的熔滴越大。表面张力与焊条直径、液体金属和保护气体的成分以及温度等有关。焊条直径大，表面张力也大；液体金属温度越高，其表面张力越小；在焊丝内加入一定的活性物质或在保护气体中加入氧化性气体（ O_2 ， CO_2 ），可以显著降低液体金属的表面张力，形成细颗粒熔滴向熔池过渡。

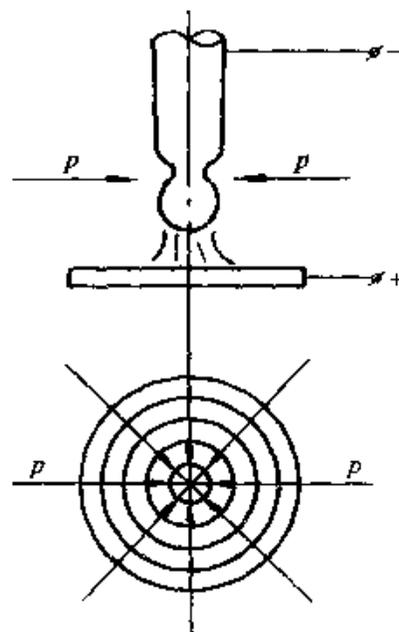


图 5-8 磁力线在焊条上的压缩作用

d. 电磁力：在焊接时，焊条上通过很大的电流，由于大电流可以看作是很多同向平行的小电流。根据电磁学中平行电流磁场的作用原理可知，同向平行电流是彼此吸引的，即对通电导体有一个径向收缩力（即磁缩力），使焊条的横截面具有缩小的倾向，如图 5-8 所示。这个收缩力作用在焊条的固态部分是不起作用的。但是对焊条端部的熔融部分却具有很大的影响，促使熔滴很快形成并脱离焊条端部向熔池过

渡。这样就保证了在任何空间位置的焊缝，熔滴都能顺利地过渡到熔池。

焊接时电弧周围的电磁力，除了上述的作用以外，还能产生另外一种作用力，这就是由于磁场强度分布不均匀而产生的力。因为焊条金属的电流密度大于焊件的电流密度，因此在焊条上所产生的磁场强度要大于焊件上所产生的磁场强度。因此产生了一个沿焊条纵向的电磁力，它的作用方向是从磁场强度大的向磁场强度小的。所以这个纵向的力，无论焊缝的空间位置如何，始终是有利于熔滴向熔池过渡。

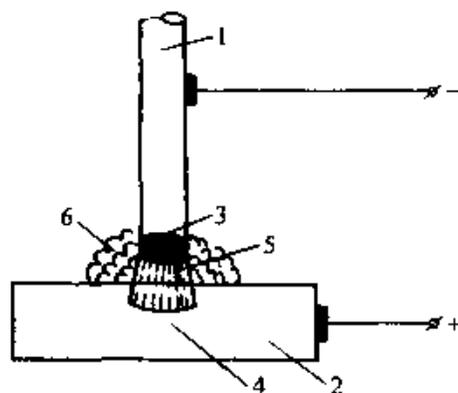


图 5-9 焊接电弧示意图

1—焊条 2—焊件 3—阴极部分
4—阳极部分 5—弧柱 6—弧焰

3. 电弧的构造和温度

焊接电弧可以划分为三个区域：阴极区、阳极区和弧柱，见图 5-9 及图 5-10。在阴极区的阴极表面有一个明亮部分称为阴极辉点，在阳极区的阳极表面也有一个明亮部分称为阳极辉点。

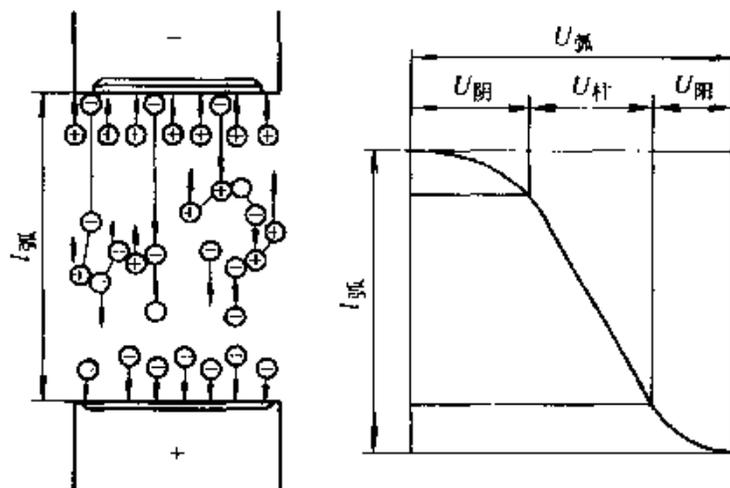


图 5-10 电弧各区的电压降

阴极区：是电弧中最重要的区域，电子就是从阴极辉点发射出来的，这个区的尺寸很小，它的厚度只有 0.01% mm 左右，从阴极辉点发射出来的电子，受到阳极吸引，很快离开阴极向阳极移动。电弧中被电

离的阳离子也受阴极的吸引向阴极移动。但阳离子的质量比电子大，运动速度较小，所以在阴极表面每一瞬间阳离子的浓度都比电子大得多，这样就使得阴极表面附近所有阳离子的正电荷总和大大地超过所有电子的负电荷总和，因而造成阴极表面附近空间电荷呈正电性。这样从阴极表面到阳离子密集的地方就形成较大的电位差，这部分电位差称为阴极电压降。

由于阳离子飞向阴极时，对阴极的撞击和阳离子与阴极发射出的电子结合成中性微粒都要放出能量，这些能量都传给阴极，使阴极温度升高。但由于阴极发射电子要消耗一些能量，以及阴极金属材料的熔化、蒸发要吸收很多热量，所以阴极的温度一般都低于阳极金属材料的沸点，如表 5-2 所示。

表 5-2 阴极区及阳极区温度和电压降

| 电极材料 | 材料沸点 /°C | 阴 极 区 | | 阳 极 区 | |
|------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 温度/K | 电压降/V | 温度/K | 电压降/V |
| 铁 | 2880 | 2400 | 8~12 | 2600 | 2~4 |
| 铜 | 2595 | 2200 | 12~13 | 2450 | 10~11 |
| 镍 | 3080 | 2300 | | 2450 | |
| 钨 | 6000 | 3640 | | 4250 | |

注：电弧中气体为空气。

阳极区：与阴极区形成的原因相似，阳极辉点是由于电子对阳极表面撞击面形成的。但是电子的质量很小，运动速度极大，所以在阳极表面聚集的浓度相对就很小，而阳极区的厚度与阴极区厚度相近。因而阳极电压降通常低于阴极电压降。

在一般情况下，和阴极比较，由于阳极不需消耗使电子发射的能量，而且电子运动速度很大，在撞击阳极时传给阳极的能量也较大，因此阳极所获得的能量略多于阴极。在阳极和阴极的材料相同时，阳极辉点的温度略高于阴极辉点，见表 5-2。

弧柱：弧柱中主要是电子和阳离子的混合物，也有一些阴离子和中性微粒，如果弧柱中阴离子较多，则一个阴离子与一个阳离子结合形成两个中性微粒，结果减少弧柱中阳离子的浓度，并影响到电弧的稳定。总之，弧柱中所进行的过程比较复杂，各种微粒不断发生复合和电离，反应非常剧烈。由于阴极区和阳极区的厚度很小，因此弧柱长度基本上

等于电弧长度。弧柱电压降的大小与弧长成正比，一般为 $20 \sim 40\text{V/cm}$ 。

弧柱的温度由于不受电极材料沸点限制，因此弧柱温度通常较高于阴极辉点和阳极辉点温度，可达 $5000 \sim 8000\text{K}$ 左右。一般情况下，焊接电流越大，弧柱中电离程度也越大，弧柱温度也越高。见图 5-11。

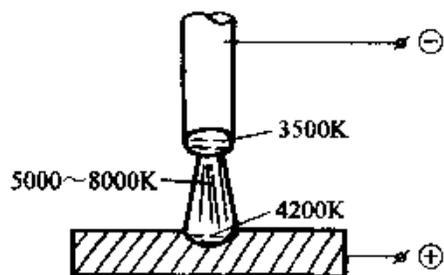


图 5-11 直流碳极电弧温度分布

通常我们测量出的电弧电压就是以上三个区域：阴极区电压降，阳极区电压降以及弧柱电压降的总和（见图 5-10），用下式表示

$$U_{\text{弧}} = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}} + U_{\text{柱}} = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}} + bl_{\text{弧}}$$

式中 $U_{\text{弧}}$ ——电弧电压 (V)；

$U_{\text{阴}}$ ——阴极电压降 (V)；

$U_{\text{阳}}$ ——阳极电压降 (V)；

$U_{\text{柱}}$ ——弧柱电压降 (V)；

b ——常数，一般为 $20 \sim 40\text{V/cm}$ ；

$l_{\text{弧}}$ ——电弧长度 (cm)。

4. 电弧的静特性

焊接电弧是焊接回路中的负载，它起着把电能转变为热能的作用，在这一点上它与普通的电阻有相似之处；但是，它与普通的电阻相比又有其明显的特点，当普通电阻通过电流时，电阻两端的电压降与通过的电流值成正比，而且其比值是基本不变的（欧姆定律 $U = IR$ ），称为电阻静特性（图 5-12 的线 1）。但是当电弧燃烧时，电弧两端的电压降与通过电弧的电流值就不成正比，其比值是随电流值的不同而变化。在电弧长度一定时，电弧两端的电压与焊接电流之间的关系称为电弧的静特性。表示它们关系的曲线叫做电弧的静特性曲线（图 5-12 的线 2）。

如图 5-12 曲线所示，电弧静特性曲线呈 U 形，开始左面 ab 段，是在电流很小的情况下的变化。电流小时，电弧电压就增高。电流增大，使电弧的温度升高，气体电离和阴极电子发射就增强，所以维持电弧所需的电弧电压就降低。

在正常规范焊接时，电流通常从几十安培到二三百安培，这时的电

弧静特性如图 5-12 的 bc 段，加大电流只是增加对电极材料的加热和熔化程度，电弧电压却不再随着电流强度的改变而变化了。

当焊接电流从曲线 c 点继续增加时，如果电极直径仍然不变（电流密度很大时），则由于电极区电流密度过大，电极辉点受电极端面积限制而相对地比正常状态有所压缩，使电极区（阴极或阳极区）的电压降增大，于是两极间维持电弧所需的电弧电压反而升高（图 5-12 的 cd 段）。这情况只有采用小直径电极；大电流焊接时才有可能，例如二氧化碳气体保护焊等。

所以在一般情况下，电弧电压总是和电弧长度成正比地变化，如图 5-13 所示。

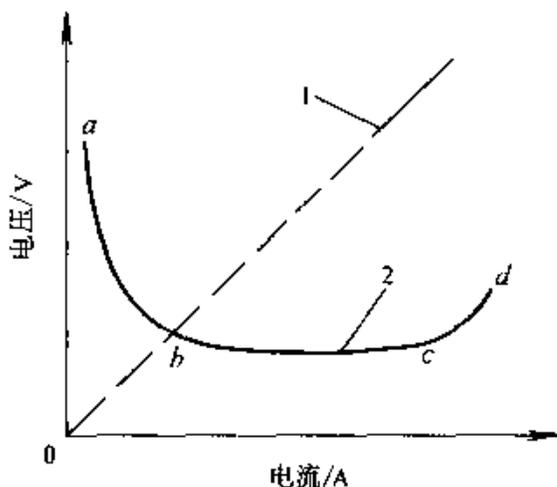


图 5-12 普通电阻静特性
与电弧静特性曲线

1—普通电阻静特性 2—电弧静特性曲线

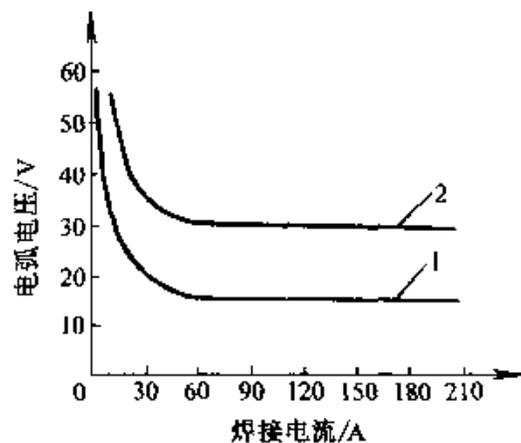


图 5-13 电弧伏安特性

1—弧长 $l=2\text{mm}$ 2—弧长 $l=5\text{mm}$

5. 焊接电弧的偏吹

在正常情况下焊接时，电弧的轴线总是保持着沿焊条轴线的方向。随着焊条变换倾斜角度，电弧的轴线也跟着焊条轴线方向而改变。因此我们就可利用电弧这一特性来控制焊缝的成形，但是在焊接时也经常发生电弧轴线和焊条轴线不能保持在相同的方向，而偏到另一边，这种情况我们称为电弧的偏吹。

引起电弧偏吹的原因很多，根据一般情况归纳，有以下几个方面：

(1) 焊条偏心度过大 这主要是焊条质量问题。由于焊条药皮厚薄不匀，药皮较厚的一边比药皮较薄的一边熔化时需吸收更多的热，药皮较薄的一边很快熔化而使电弧外露，迫使电弧往外偏吹（图 5-14）。在

焊接时遇到这种情况，通常采用调整焊条倾斜角度的方法来解决。

(2) 电弧周围气体的剧烈流动 由于电弧周围气体的流动，把电弧吹向一侧而造成电弧偏吹。造成电弧周围气体剧烈流动的原因较多，有时是大气中的气流影响，例如在管子焊接时，由于空气在管子中流动速度较大，形成所谓“穿堂风”使电弧偏吹；一般由于气体流动而产生的偏吹，只要根据具体情况查明气流来源、方向后进行遮挡即可解决。

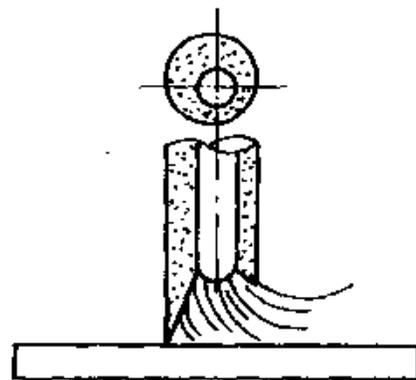


图 5-14 偏心过大的焊条

(3) 焊接电弧的磁偏吹 使用直流电焊机进行焊接时，由于直流电所产生的磁场在电弧周围分布不均匀而引起电弧偏吹的现象，称为电弧的磁偏吹。

如图 5-15 所示，当焊接电流从接点“+”流经焊件，通过电弧到焊条再进入接点“-”时，沿途产生的磁力线分布在电流通路的四周，但电流流经焊件拐弯到电弧时，在电弧两侧的磁力线分布就极不均匀，电弧左侧（在接点方向一边）的磁力线较右侧更密集，这一结果造成电弧左侧的磁场强度大于右侧的磁场强度，使电弧偏向磁场强度较小的右侧，造成磁偏吹。

反之，如果接点“+”是接在右边，则电弧右侧的磁力线就较左侧密集，电弧的偏吹即偏向左侧。

当导磁性良好的物质，如钢板、铁块等靠近电弧附近时，大部分磁力线由钢板通过，使电弧靠近钢板一侧的空间的磁力线分布不均匀，而使电弧偏向

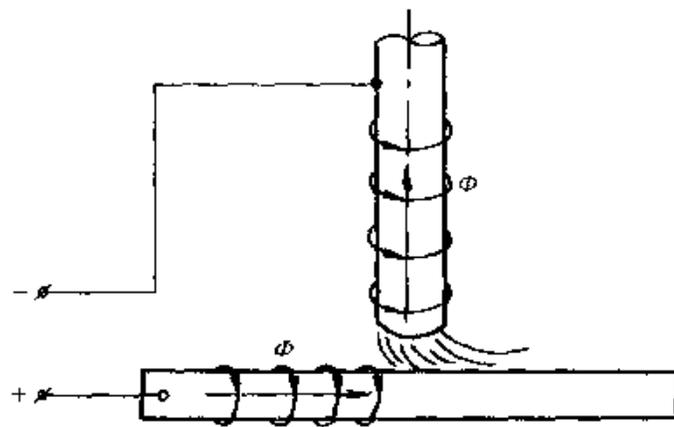


图 5-15 焊接电弧的磁偏吹

钢板的一侧（如图 5-16）。若钢板受热后温度升得较高，导磁能力降低，对电弧磁偏吹的影响也就减少。

电弧的磁偏吹只有使用直流电焊接时才会发生，焊接电流越大，引

起的磁偏吹现象越严重，尤其电流在二三百安培以上时更为剧烈。采用交流电焊接时，一般不会产生明显的磁偏吹现象。

虽然电弧偏吹给焊接工作带来不少困难，但在生产过程中除尽量使用交流电焊接以避免偏吹的影响外，还根据电弧偏吹的规律采取相应的措施来减少或克服偏吹。生产中常用的减少或克服电弧偏吹的措施如下：

1) 在焊接管子时，用木塞将管口堵住，在焊接间隙较大的对接焊缝时，可在接缝下面加垫板，以防止热对流引起的电弧偏吹。

2) 适当地改变焊件上接地线部位，尽可能使电弧周围的磁力线分布均匀（如图 5-17），图中虚线表示减弱磁偏吹的接线方法。

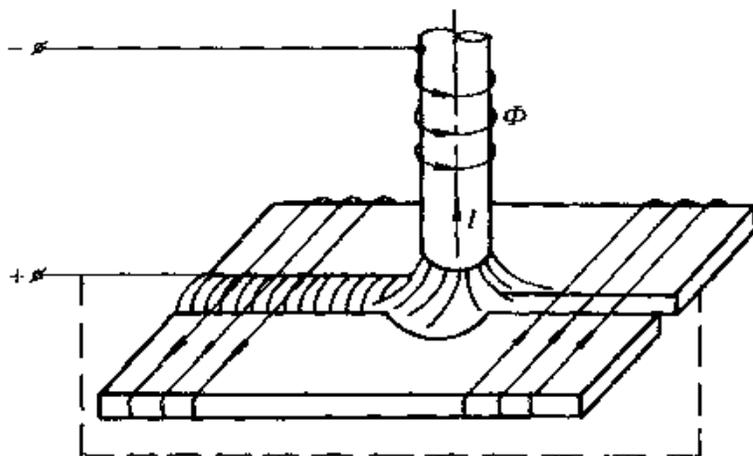


图 5-17 改变焊件接线位置克服磁偏吹

3) 在焊缝两端加一个小块附加钢板，使电弧两侧的磁力线分布均匀，以减少磁偏吹。

4) 采用短弧焊接。因为短弧时受到气流的影响较小，而且在产生磁偏吹时，如采用短弧焊接，也能减小磁偏吹程度。因此采用短弧焊接是减少电弧偏吹的较好方法。

5) 在操作时适当调整焊条角度，使焊条向偏吹一侧倾斜，这种方法在生产中应用较广泛，并且取得效果也较好，如图 5-18 所示。

此外，采用分段退焊法及小电流焊接对减少磁偏吹也能起一定作用。

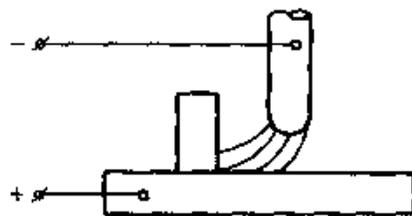


图 5-16 导磁物质对焊接电弧磁偏吹的影响

5.1.4 焊条电弧焊工艺

1. 焊接接头型式和焊缝空间位置

(1) 焊接接头型式及坡口型式

在焊条电弧焊接中，由于焊件的结构形状、厚度及使用条件不同，其接头型式及坡口型式也有不同。一般接头型式有对接、搭接、角接及丁字接头等。在对接接头时，焊件厚度在 6mm 以下可不开坡口，大于 6mm 时则要开坡口，但这也不是绝对的，在有些重要的结构中，当焊件厚度大于 3mm 时就要求开坡口。

开坡口是为了保证电弧能深入焊缝根部，使根部能焊透，以及便于清除熔渣获得较好的焊缝成形。钝边是为了防止烧穿，但钝边的尺寸要保证第一层焊缝能焊透，间隙也是为了保证根部焊透。

选择坡口型式时，主要考虑下列因素：是否能保证焊缝能焊透；坡口形状是否容易加工；应尽可能提高生产率，节省焊条；焊后焊件变形应尽可能小些。

搭接接头的装配要求不高，也易于装配，但这种接头承载能力低，焊后变形较大，所以用在不重要的结构中。

丁字接头可分为不开坡口、单面开坡口和双面开坡口三种，究竟是否要开坡口，由焊件承受载荷的情况决定。当结构处于交变载荷的情况下，为了保证接头强度，使接头焊透，就必须开坡口。当焊件厚度小于 10mm，用于静载荷或不太重要的结构时可不开坡口；单面开坡口的丁字接头用于垂直钢板厚度为 4~30mm，或无法进行双面开坡口的重要结构中；在接头强度要求高，而且垂直钢板厚度超过 8mm 的情况下，可采用双面开坡口的丁字接头。

低碳钢和普通低合金钢的各种焊接接头及坡口型式详见表 4-19。

(2) 焊缝的空间位置 焊缝根据它在空间所处的位置不同可分为平焊缝、立焊缝、横焊缝、仰焊缝四种（图 5-19）。

焊缝除了以上所述的四种基本位置外，由于受构件的形状所限制，所以有些焊缝是与水平面成任意的角度，一般称这些焊缝为坡平焊、坡立焊、坡仰焊及斜横焊等。

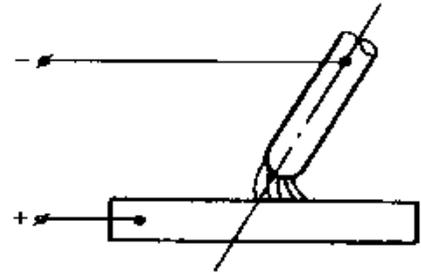


图 5-18 改变电极倾角
克服磁偏吹

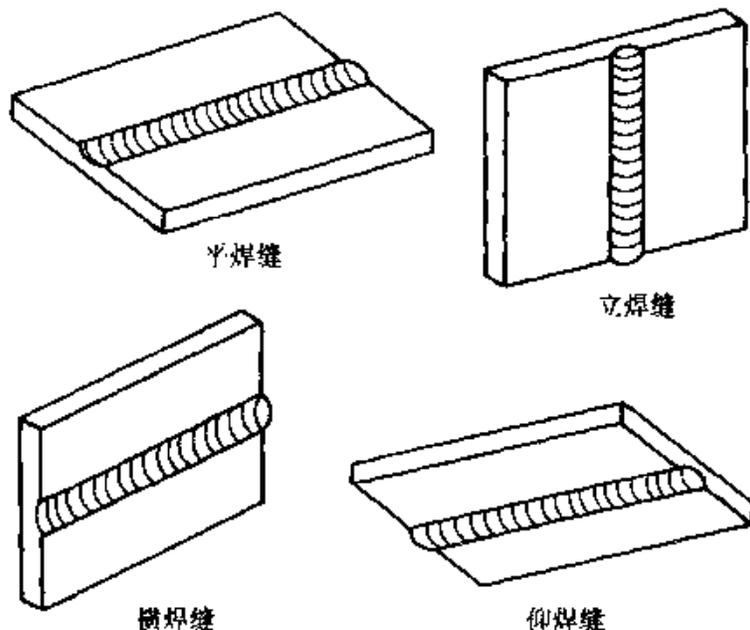


图 5-19 焊缝的空间位置

2. 电弧的引燃方法及极性

(1) 引弧 引弧方法有两种：一种是划擦法，另一种是直击法。

1) 划擦法：如图 5-20a 所示，动作似划火柴，先将焊条对准焊缝，然后将手腕扭转一下，使焊条在焊件表面上轻微擦划一下（擦划长度 20mm 左右，并应落在焊缝范围内），然后手腕扭平，并将焊条提起 10mm 左右，电弧引燃后立即使焊条与焊件保持在所用焊条直径的距离。

2) 直击法：如图 5-20b 所示，先将焊条对准焊缝，然后将手腕放下，轻轻碰一下焊件，随后即将焊条提起 10mm 左右，产生电弧后，迅速将手腕放平，此时焊条与焊件应保持在所用焊条直径的距离。

以上两种方法，一般划擦法易于掌握，可是这种方法若掌握不当，容易损坏焊件表面，特别是在狭窄的地方焊接或焊件表面不允许损伤时（如焊接不锈钢时），就不如直击法好。

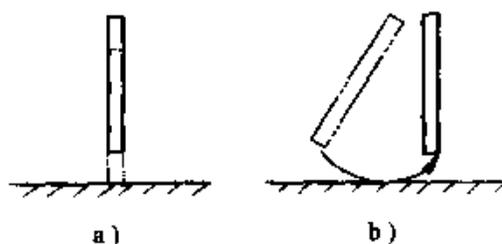


图 5-20 引弧方法

a) 直击法 b) 划擦法

但直击法较难掌握，往往由于手腕动作不熟练，焊条离开焊件时的速度和距离没有掌握好，而容易发生药皮大块脱落，电弧熄灭或焊条粘住焊件的现象。

引弧时，如果发生焊条粘住焊件，此时只要手持焊钳将焊条左右摆动几下，就可以脱离焊件。如果焊条经摆动后还不能脱离焊件，就应立即使焊钳脱离焊条，待焊条冷却后，用手将焊条扳下。

(2) 电弧的极性 在焊接过程中，弧焊机的两个极分别接到焊条和焊件上，形成一个完整的焊接回路。对直流焊机来说，一个极为正极，一个极为负极。如果焊件接正极，焊钳接负极，这种接法称为正极性（简称正接），如图 5-21a 所示。如果焊件接负极，焊钳接正极，则称为反极性（简称反接），如图 5-21b 所示。

在焊条电弧焊时，根据焊条的性质和焊接特点的不同，利用电弧中阳极温度比阴极温度高（在电极材料相同时）的特点，选用不同的极性来焊接各种不同要求的焊件。如用碱性（低氢型）焊条（结 507 等）焊接重要结构时，采用直流反接法进行焊接。而一般酸性焊条则可交直流两用，如在使用直流焊机焊接时，通常采用正接，这是因为电弧正极的热量较高，采用正接能获得较大的熔化深度。但在焊接薄板时，为防止烧穿，有时也采用反接。在使用碱性焊条时，电弧的极性正确与否是很重要的。

对于交流电来说，由于电源的极性是交变的（ $f = 50\text{Hz}$ ），所以两个电极区的温度趋于一致，其数值近似于它们的平均值。

3. 运条方法

在电弧引燃后，焊条要有三个基本方向的运动，才能使焊缝良好成形。这三个方向的运动是：朝着熔池方向作逐渐送进动作；沿着焊接方

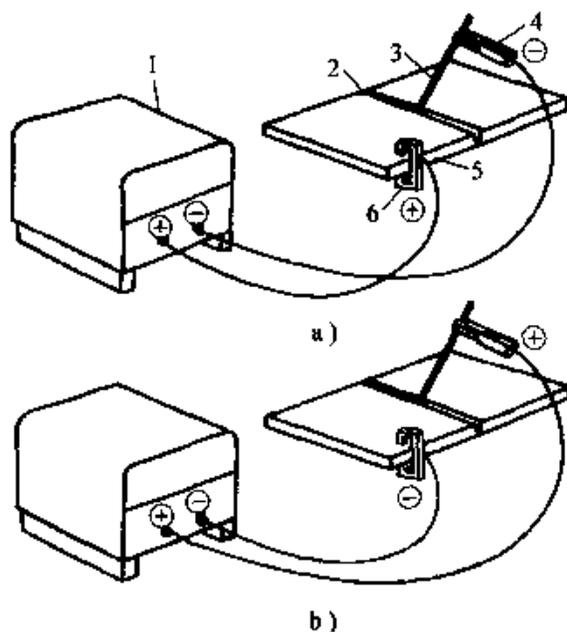


图 5-21 焊接极性

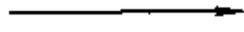
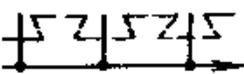
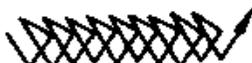
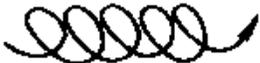
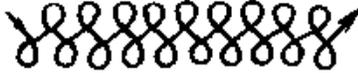
a) 正接法 b) 反接法

1—电源 2—焊缝金属 3—焊条
4—焊把 5—焊件 6—地线夹头

向逐渐移动；作横向摆动，如图 5-22 和表 5-3 所示。

焊条朝着熔池方向作逐渐送进动作：主要是用来维持所要求的电弧长度。为了达到这个目的，焊条送进的速度应该与焊条熔化的速度相适应，如果焊条送进速度比焊条熔化的速度慢，则电弧的长度增加，如果焊条送进速度太快，则电弧长度迅速缩短，使焊条与焊件接触，造成短路。

表 5-3 焊条电弧焊常用运条方法

| 运条方法 | 轨 迹 | 特 点 | 适用范围 |
|-------|--|----------------------------------|--|
| 直线形 | a)  | 仅沿焊接方向作直线移动，在焊缝横向上不作任何摆动，熔深大，焊道窄 | 适用于不开坡口对接平焊，多层焊打底及多层多道焊 |
| 往复直线形 | b)  | 焊条末端沿焊接方向作来回直线摆动，焊道窄、散热快 | 适用于薄板焊接和接头间隙较大的多层焊第一层焊缝 |
| 锯齿形 | c)  | 焊条末端在焊接过程中呈锯齿形摆动，使焊缝增宽 | 适用于较厚钢板的焊接，如平焊、立焊、仰焊位置的对接及角接 |
| 月牙形 | d)  | 焊条末端在焊接过程中作月牙形摆动，使焊缝宽度及余高增加 | 同上，尤其适用于盖面焊 |
| 三角形 | e)  f)  | 焊接过程中，焊条末端呈三角形摆动 | 正三角形适用于开坡口立焊和填角焊，而斜三角形适用于平焊、仰焊位置的角焊缝和开坡口横焊 |
| 环形 | g)  h)  | 焊接过程中，焊条末端作圆环形运动 | 正环形适用于厚板平焊，而斜环形适用于平焊、仰焊位置的角焊缝和开坡口横焊 |
| 8字形 | i)  | 焊条末端作 8 字形运动，使焊缝增宽，焊缝纹波美观 | 适用于厚板对接的盖面焊缝 |

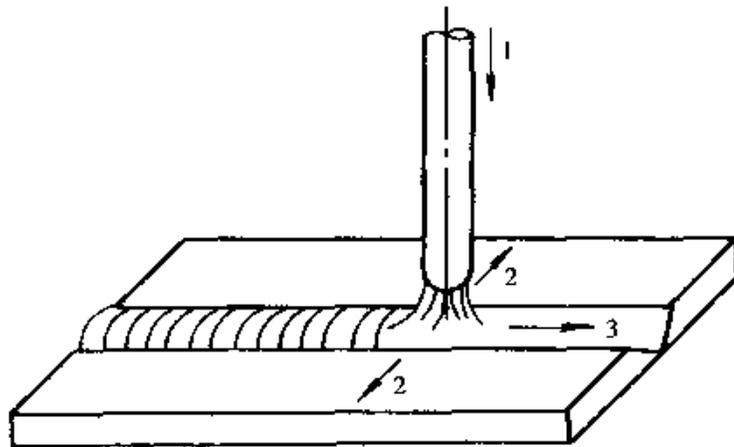


图 5-22 焊条的三个基本运动方向

1—向熔池方向送进 2—横向摆动 3—沿焊接方向移动

电弧的长短对焊缝质量有很大影响，电弧的长度超过了焊条的直径称为长弧，小于焊条直径称为短弧，用长弧焊接时所得的焊缝质量较差，因为长弧易左右飘摆，使电弧不稳定，同时使电弧的热量散失，使焊缝熔深较浅，而且由于空气的侵入易产生气孔等，因此在施焊时一定要采用短弧，才能保证质量。

焊条沿着焊接方向逐渐移动，焊条这个方向的移动速度，对焊缝的质量有很大的影响。移动速度太快，电弧来不及熔化足够的焊条和焊件金属，造成焊缝断面太小以及形成未焊透等缺陷。如移动速度太慢，则熔化金属堆积过多，加大了焊缝的断面，此外还由于金属加热过多，使焊缝金属组织发生变化。在焊较薄的焊件时易造成烧穿现象。

所以焊条沿着焊接方向移动的速度，应根据电流大小、焊条直径、焊件厚度、装配间隙以及焊缝位置来适当掌握。

焊条的横向摆动：主要是为了获得一定宽度的焊缝，其摆动范围与焊缝要求的宽度及焊条直径有关。摆动的范围越宽，则得到的焊缝宽度也越大。

以上介绍的运条法，仅供参考之用，因为在焊接同一接头型式的焊缝中，焊工可根据自己的习惯及经验，采用不同的运条法。所以在焊工焊接时应联系实际多实践，在实践的基础上总结经验，选用合适的运条法。

4. 焊缝的起头、收尾及连接

(1) 焊缝的起头 焊缝的起头就是指刚开始焊接的部分，在一般情况下，这部分焊缝略高些，这是因为焊件在未焊之前温度较低，而引弧后又不能迅速使这部分金属温度升高，所以起点部分的熔深度较浅，使焊缝的强度减弱，为了减少这种现象的产生，应该在引弧后先将电弧稍微拉长，对焊缝端头进行必要的预热，然后适当缩短电弧长度进行正常的焊接。

(2) 焊缝的收尾 焊缝的收尾就是指一条焊缝结束时如何收尾。如果收尾时立即拉断电弧，则会形成低于焊件表面的弧坑，过深的弧坑使焊缝收尾处强度减弱，并容易造成应力集中而产生裂纹。因此在焊缝收尾时不允许有较深的弧坑存在。所以收尾动作不仅是熄弧，还要填满弧坑，一般收尾动作有以下几种：

1) 划圈收尾法 焊条移至焊缝终点时，作圆圈运动，直到填满弧坑再拉断电弧。此法适用于厚板收尾，不宜用于薄板收尾。

2) 反复断弧收尾法 焊条移至焊缝终点时，在弧坑上需作数次反复熄弧、引弧，直到填满弧坑为止。此法适用于薄板和大电流焊接。但是碱性焊条不宜使用此法，因为容易产生气孔。

3) 回焊收尾法 焊条移至焊缝收尾处即停住，并且改变焊条角度回焊一小段。此法适用于碱性焊条。

在焊接重要的结构时，就不能用上述的焊缝起头与收尾方法。而是在焊缝起头处连接一块引弧板，在焊缝的收尾处接一块引出板，焊接后将它们去除，这样就能保证焊缝起头与收尾的质量了。

(3) 焊缝的连接 焊条电弧焊时，由于受焊条长度的限制，不可能一根焊条完成一条焊缝，因而出现了焊缝前后两段的连接问题。焊缝的连接一般有以下几种情况，如图 5-23 所示。

第一种情况的接头是使用得最多的一种，接头方法是在弧坑稍前处（约 10mm）引弧，电弧可比正常焊接时略微长些（低氢焊条电弧不可长，否则易产生气孔），然后将电弧后移到原弧坑的三分之二处，填满弧坑后即向前进入正常焊接（如图 5-24）。如果电弧后移太多则可能造成接头过高，后移太少将造成接头脱节，产生弧坑未填满的缺陷。

在接头时更换焊条的动作愈快愈好，因为在熔池尚未冷却时进行接头（称为热接法），不仅能保证接头质量，而且可使焊缝外表成形美观。

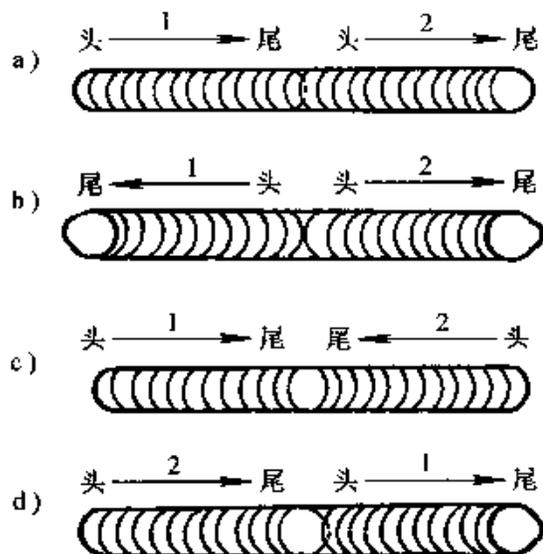


图 5-23 焊缝接头的四种情况

- a) 后焊缝的起头与前焊缝的结尾相接
- b) 后焊缝的起头与前焊缝的起头相接
- c) 后焊缝的结尾与前焊缝的结尾相接
- d) 后焊缝的结尾与前焊缝的起头相接

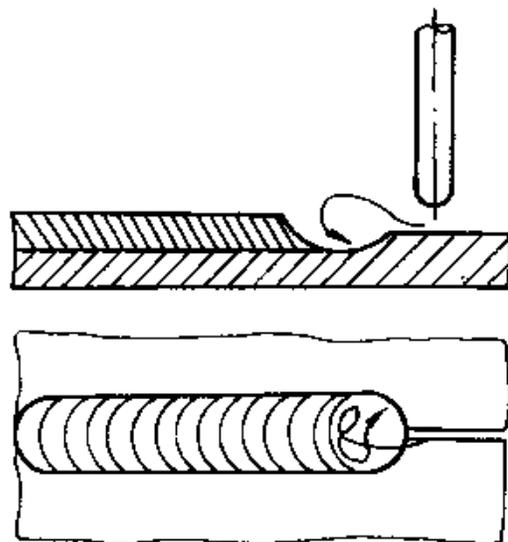


图 5-24 从焊缝末尾处接头方法

第二种情况的接头，要求在焊前焊缝的起头处要略为低些，接头时，在前焊缝的起头略前处引弧，并稍微拉长电弧，将电弧引向起头处，并覆盖前焊缝的端头处，待起头处焊缝焊平后，再向焊接方向移动（如图 5-25）。

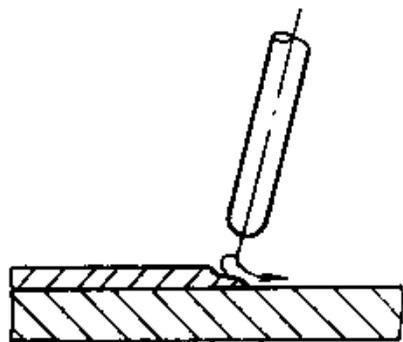


图 5-25 从焊缝端头处接头方法

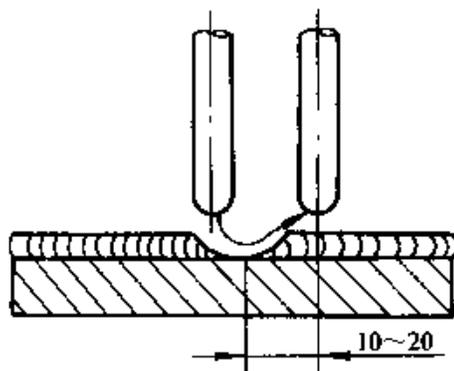


图 5-26 焊缝接头的熄弧

第三种情况的接头，后焊缝焊到前焊缝的结尾处时，焊接速度应略慢些，以填满前焊缝的弧坑，然后以较快的焊接速度再略向前焊一些再熄弧（图 5-26）。

第四种情况的接头方法与第三种情况基本相同，只是在前焊缝的起

头处与第二种接头一样，应稍微低些。

(4) 熄弧 熄弧方法不好时，对焊接质量有影响，容易在熄弧近处产生裂纹、气孔和夹渣等缺陷。因此，熄弧时须将焊条端部逐渐往坡口边斜前方拉，同时逐渐抬高电弧，以逐渐缩小熔池，从而减少液体金属和降低热量，使熄弧处不致产生裂纹、气孔等。

5.1.5 各种位置的焊接法

1. 平焊

平焊时，由于焊缝处在水平位置，熔滴主要靠自重过渡。所以操作比较容易。允许用较大直径的焊条和较大的电流，生产率高。如规范选择和操作不当，容易在根部形成未焊透或焊瘤。运条及焊条角度不正确时，熔渣和铁水易出现混在一起分不清的现象，或熔渣超前而形成夹渣。

平焊分为对接平焊和角接平焊两种：

(1) 对接平焊

1) 不开坡口的对接平焊：
当焊件厚度小于 6mm 时，一般采用不开坡口对接（重要构件除外）。

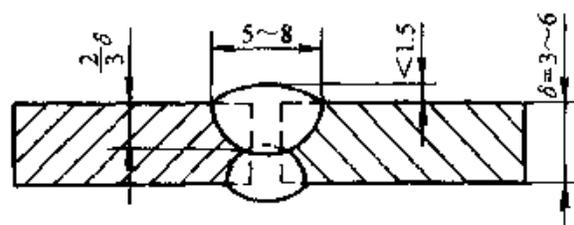


图 5-27 不开坡口对接焊缝

焊接正面焊缝时，宜用直径 3~4mm 的焊条，采用短弧焊接，使熔深达到焊件厚度的 $\frac{2}{3}$ ，焊缝宽度为 5~8mm，加强高应小于 1.5mm，如图 5-27 所示。

焊接时所用的运条方法均为直线形，焊条的角度如图 5-28 所示。

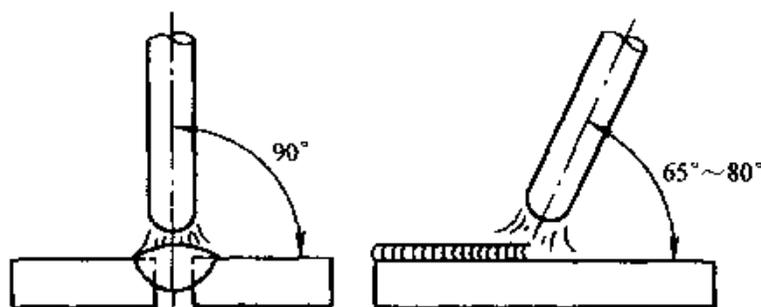


图 5-28 对接平焊的焊条角度

运条时，若发现熔渣和铁液混合不清，即可把电弧稍微拉长一些，同时将焊条向前倾斜，并作往熔池后面推送熔渣的动作，随着这个动

作，熔渣就被推送到熔池后面去了（图 5-29）。

2) 开坡口的对接平焊：当焊件厚度等于或大于 6mm 时，因为电弧的热量很难使焊缝的根部焊透，所以应开坡口。开坡口对接接头的焊接，可采用多层焊法（图 5-30）或多层多道焊法（图 5-31）。

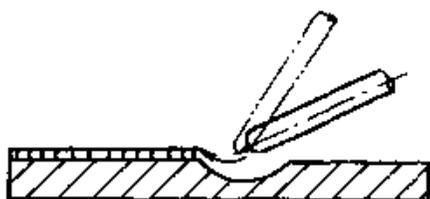


图 5-29 推送熔渣方法

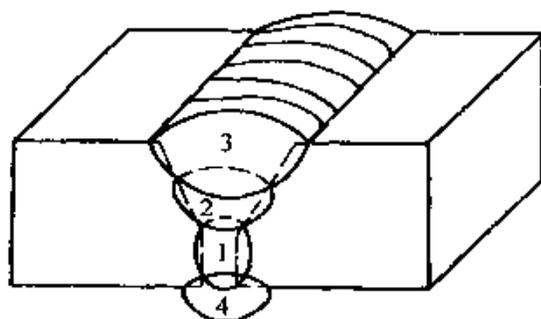


图 5-30 对接多层焊

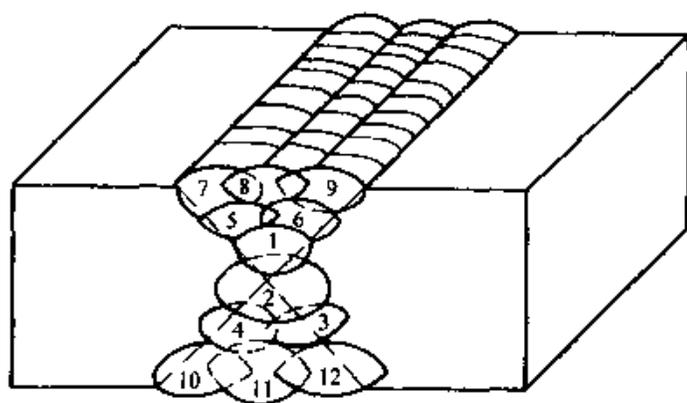


图 5-31 对接多层多道焊

多层焊时，对第一层的打底焊道应选用直径较小的焊条，运条方法应以间隙大小而定，当间隙小时可用直线形，间隙较大时则采用直线往返形，可以避免烧穿。当间隙很大而无法一次焊成时，就采用三点焊法（图 5-32）。先将坡口两侧各焊上一道焊缝（如图 5-32 中 1、2），使间隙变小，然后再进行图中焊缝 3 的敷焊，从而形成由焊缝 1、2、3 共同组成的一个整体焊缝。但是，在一般情况下，不应采用三点焊法。

在焊接第二层时，先将第一层熔渣清理干净，随后用直径较大的焊条和较大的焊接电流

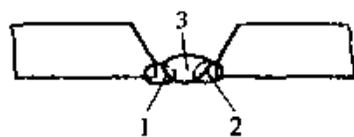


图 5-32 三点焊法的敷焊次序

进行焊接。

(2) 角接平焊 角接平焊主要是指丁字接头平焊，塔接接头平焊、船形焊三种焊接方法。

1) 丁字接头平焊：丁字接头平焊易产生咬边、未焊透、下垂、夹渣等缺陷，如图 5-33 所示。

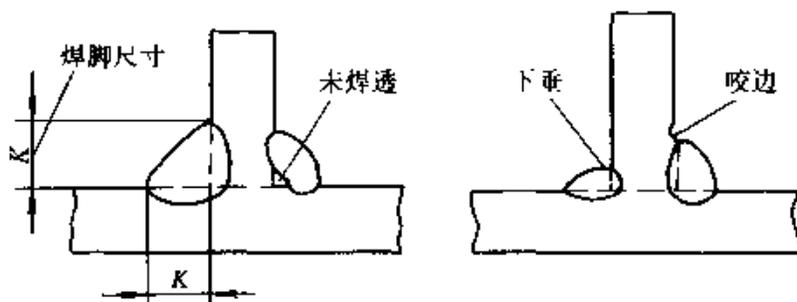


图 5-33 丁字接头焊缝易产生的缺陷

为了防止上述缺陷，操作时除了正确选择焊接规范外，还必须根据两块板的厚度来调节焊条的角度。如在焊接两块厚度不同的板材时，电弧就要偏向于厚板的一边，使两板受热的温度均匀，如图 5-34 所示。

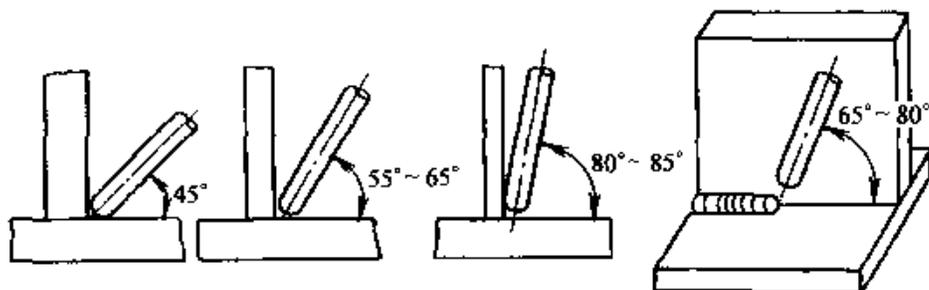


图 5-34 丁字接头平焊时的焊条角度

丁字接头的焊接也可采用多层焊或层多道焊，其焊接方法如下。

a. 单层焊：焊脚尺寸小于 8mm 的焊缝，通常用单层焊（一层一道焊缝）来完成，焊条直径根据钢板厚度不同在 3~5mm 范围内选择。

焊脚小于 5mm 的焊缝，可采用直线形运条法和短弧进行焊接，焊接速度要均匀，焊条角度与水平板成 45° ，与焊接方向成 $65^\circ \sim 80^\circ$ 的夹角。如焊条角度过小会造成根部熔深度不足，角度过大，熔渣易越前而造成夹渣等现象。

焊脚尺寸在 5~8mm 时，可采用斜圆圈形或反锯齿形运条法进行焊

接。但运条速度不能是等速的，不然易产生咬边、夹渣、边缘熔合不良等现象。正确的运条速度应是：在图 5-35 中，a 至 b 运条速度要稍慢些，以保证熔化金属与水平板很好熔合。b 至 c 的运条速度要稍快些，以防止熔化金属下垂，当从 b 点运条到 c 点时，在 c 点要稍作停留，以保证熔化金属与垂直板很好熔合，并且还能避免产生咬边现象。c 至 b 的运条速度又要稍慢些，才能避免产生夹渣现象及保证根部焊透。b 至 d 的运条速度与 a 至 b 一样要稍慢些，d 至 c 与 b 至 c 一样，e 至与 c 点一样要稍作停留，整个焊缝的运条速度以此类推，而且在整个运条过程中，都应采用短弧焊接。这样所得的焊缝才能宽窄一致，高低平整，不产生咬边、夹渣、下垂等缺陷。

b. 多层焊：焊脚尺寸在 8~10mm 时，可采用二层二道的焊接方法。

焊接第一层时，可采用 3~4mm 直径的焊条，焊接电流稍大些，以获得较大的熔深度。采用直线形运条法，在收尾时应使弧坑饱满或略高些，这样在焊接第二层收尾时，不会产生弧坑过低的现象。

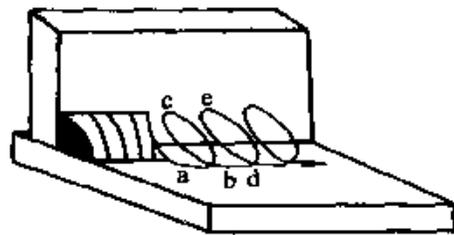


图 5-35 角接平焊的
斜圆圈形运条法

焊接第二层之前，必须将第一层的熔渣清除干净，如发现有夹渣，应用小直径焊条修补后方可焊接第二层，这样才能保证层与层之间紧密地熔合。

c. 多层多道焊：当焊接焊脚尺寸大于 10mm 的焊缝时，如果采用多层焊法，则由于焊缝表面较宽，坡度较大，熔化金属容易下垂，给操作带来一定困难。所以在实际生产中都采用多层多道焊。

焊脚在 10~12mm 时，一般用二层三道来完成。焊接第一层（第一道）时，可采用较小直径的焊条及较大的焊接电流，用直线形运条法，收尾与多层焊的第一层相同。焊完后将熔渣清除干净。

焊接第二道焊缝时，应覆盖第一层焊缝的 2/3，焊条与水平板的角度要稍大些（如图 5-36a），一般在 45° ~ 55° 之间，以使熔化金属与水平板很好熔合。焊条与焊接方向的夹角仍为 65° ~ 80° ，用斜圆圈形或反锯齿形运条法，运条速度除了在图 5-35 中的 c、c 点上不需停留之外，其他都一样。焊接时应注意熔化金属与水平板要很好熔合。

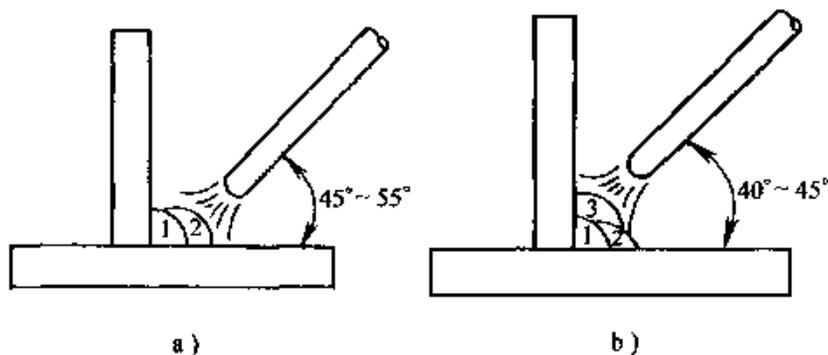


图 5-36 多层多道焊各焊道的焊条角度

焊接第三道焊缝时，应覆盖第二道焊缝的 $1/3 \sim 1/2$ ，焊条与水平板的夹角为 $40^\circ \sim 45^\circ$ （如图 5-36b），因为角度太大之后易产生下垂现象。一般采用直线形运条法，焊接速度要均匀，不宜太慢，因焊速慢了易产生焊瘤，使焊缝成形不美观。

在焊接焊脚大于 12mm 以上的焊件时，可采用三层六道、四层十道来完成，焊脚尺寸越大，焊接层数道数就越多，如图 5-37 所示。

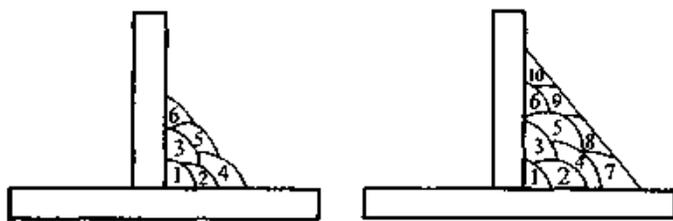


图 5-37 多层多道焊的焊道排列

2) 搭接接头平焊：这种接头的焊接方法与丁字接头平焊相似。

3) 船形焊：在实际生产中，如果焊件能翻动时，应尽可能把焊件放成船形位置进行焊接，如图 5-38 所示。

因为船形焊时，能避免产生咬边、下垂等缺陷。操作方便，易获得平整美观的焊缝，同时，有利于使用大直径焊条和大电流，这样不但能获得较大的熔深度，而且能一次焊成较大断面的焊缝，从而大大提高了生产率。运条法采用月牙形或锯齿

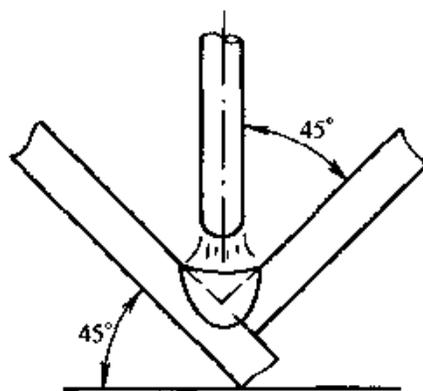


图 5-38 船形焊

形，焊接第一层采用小直径焊条及稍大的电流，其他各层与开坡口对接平焊相似。

2. 立焊

立焊有两种方式，一种是由下向上施焊，另一种是由上向下施焊。由上向下施焊的立焊要求有专用的向下焊条，才能保证焊缝成形。目前生产中应用最广的仍是由下向上施焊的立焊法。

立焊时由于熔化金属受重力的作用容易下淌，使焊缝成形困难，为此可以采取以下措施：

(1) 在对接立焊时，焊条角度左右方向各为 90° ，向下与焊缝成 $60^\circ \sim 80^\circ$ ，而角接立焊时，焊条与两板之间各为 45° ，向下与焊缝成 $60^\circ \sim 90^\circ$ ，如图 5-39 所示。

(2) 用较小的焊条直径和较小的焊接电流（电流一般比平焊小 $10\% \sim 15\%$ ）。

(3) 采用短弧焊接，使焊条的熔滴金属过渡到熔池的距离缩小，使熔滴在未脱离焊条时，与熔池表面相接触，然后在熔池的熔化金属表面张力影响下，将熔滴吸附并融合在一起。此外，表面张力还能使熔化金属倒悬于表面上，以维持熔池的倒悬，这对于立焊、横焊、仰焊时不使熔化金属下淌，促使焊缝成形起了很大的作用。

(4) 根据焊件接头型式的特点和焊接过程中熔池温度的情况，要合适、灵活地运用运条法。

此外，气体的吹力、电磁力在立焊、横焊、仰焊时，都能促使熔滴向熔池过渡，减小熔滴由于受重力的影响而产生下淌的趋势，有利于焊缝成形。

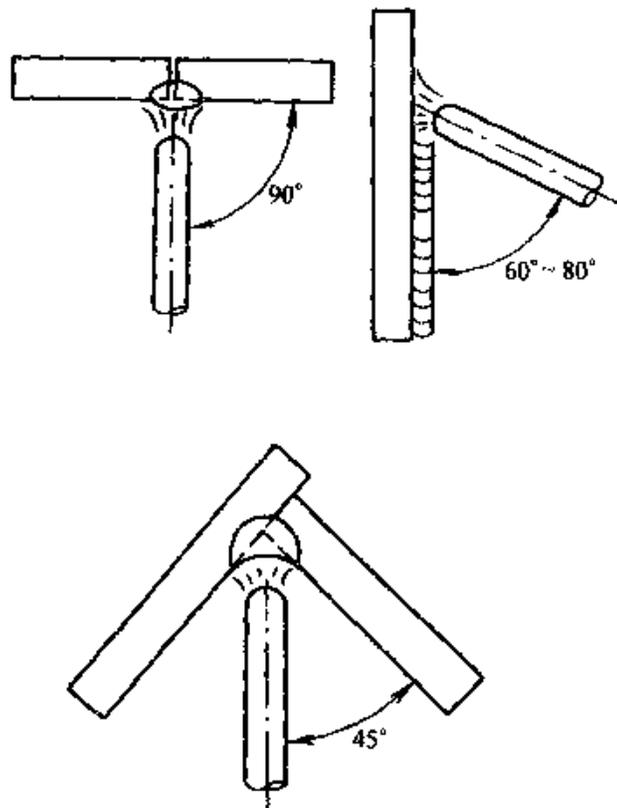


图 5-39 立焊时的焊条角度

3. 横焊

横焊时，由于熔化金属受重力的作用，容易下淌而产生咬边、焊瘤及未焊透等缺陷（图 5-40）。因此，应采用短弧、直径较小的焊条、适当的电流强度和运条法。此外，由于熔滴过渡力的作用（与立焊时一样），也有利于焊缝成形。焊条角度，如图 5-41 所示。

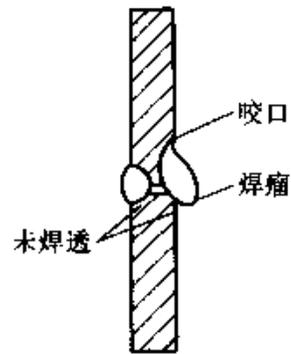


图 5-40 横焊时易产生的缺陷

4. 仰焊

在仰焊时，由于重力的影响，不利于熔滴向熔池过渡，而且在施焊过程中，经常产生熔渣越前的现象，故在控制运条方面要比平焊和立焊时困难些。

在仰焊时，为了克服重力的影响，必须保持最短的电弧长度，以使熔滴在很短的时间内过渡到熔池中，在表面张力的作用下，很快与熔池的液体金属汇合，促使焊缝成形。图 5-42 为仰焊时短弧和长弧的熔滴过渡情况。为了减小熔池面积，使焊缝容易成形，焊条直径和焊接电流的选择要比平焊时小些。若电流与焊条直径太大，促使熔池面积增大，这时熔化金属的表面张力减小，易造成熔化金属向下淌落现象；如果电流太小，则根部不易焊透，造成夹渣及焊缝成形不良等缺陷，因此仰焊的焊接电流要比立焊大些。

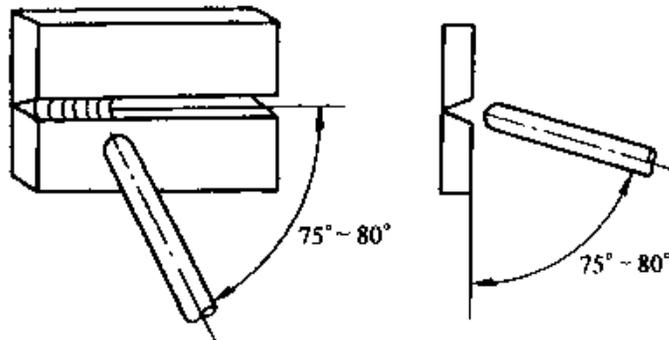


图 5-41 不开坡口对接横焊的焊条角度

在仰焊时，气体吹力及电磁力的作用都有利于熔滴的过渡，促使焊缝成形良好。

(1) 不开坡口的对接仰焊 当焊件厚度为 4mm 左右时，一般采用不开坡口的对接。可选用直径为 3.2mm 的焊条，焊条与焊接方向的角度

度为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ，前后方向为 90° （图 5-43）。在施焊时，焊条要保持上述位置均匀地运条，电弧长度应尽量短。对间隙小的焊缝，可采用直线形运条法；间隙较大的焊缝，用直线往返形运条法。焊接电流要合适，电流过小会使电弧不稳定，难以掌握，影响熔深度和焊缝成形；电流太大会导致熔化金属淌落和烧穿等现象。

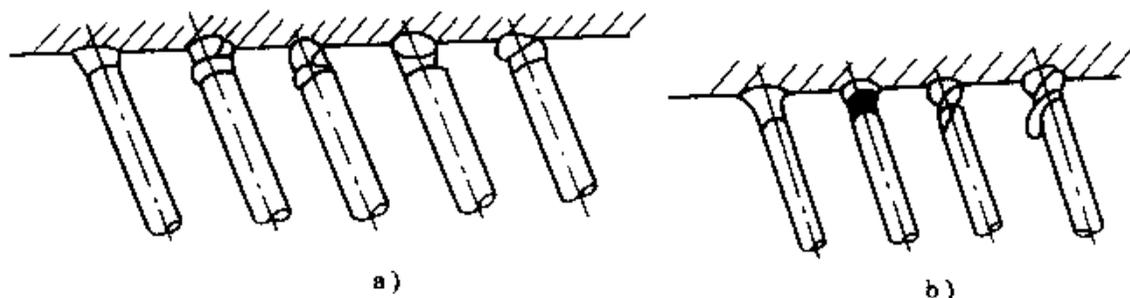


图 5-42 仰焊时电弧长度的影响

a) 短弧焊接 b) 长弧焊接

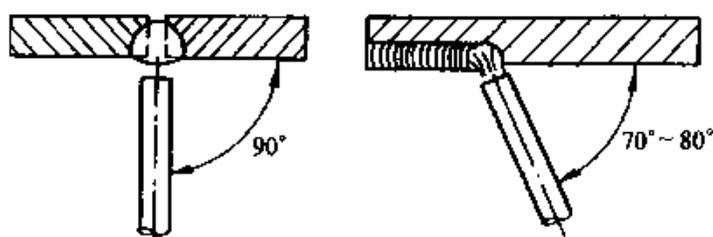


图 5-43 对接仰焊时的焊条角度

(2) 开坡口的对接仰焊 为了使焊缝容易焊透，焊件厚度大于 5mm 的对接仰焊一般都开坡口。坡口及接头规范对于仰焊缝的质量有很大的影响，为了便于运条，使焊条可以在坡口内自由摆动和变换位置，仰焊缝的坡口角度应比平焊缝和立焊缝大些。为了便于焊透，解决仰焊时熔深度不足的矛盾，钝边的厚度应小些，但接头间隙却要大一些。这样不仅能很好地运条，也可得到熔深良好的焊缝。

开坡口的对接仰焊时，一般采用多层焊或多层多道焊。在焊接第一层焊缝时，采用 3.2mm 直径的焊条，用直线形或直线往返形运条法。开始焊接时，应用长弧预热起焊处（预热时间根据焊件厚度、钝边与间隙大小而定），预热后，迅速压短电弧，稍停 2~3s，以便焊透根部。然后，将电弧向前移动进行焊接。在施焊时，焊条沿焊接方向向前移的

速度，应该是在保证焊透的前提下尽可能快一些，以防止烧穿及熔化金属下淌。第一层焊缝表面要求平直，避免呈凸形，因凸形的焊缝不仅给焊接下一层焊缝的操作增加困难，而且易造成焊缝边缘未焊透或夹渣、焊瘤等缺陷。

在焊接第二层时，应将第一层的熔渣及飞溅金属清理干净，并将焊瘤铲平，才能施焊。第二层以后的运条法均可采用月牙形或锯齿形（图 5-44），运条时在两侧应稍停一下，中间快一些，形成较薄的焊道。

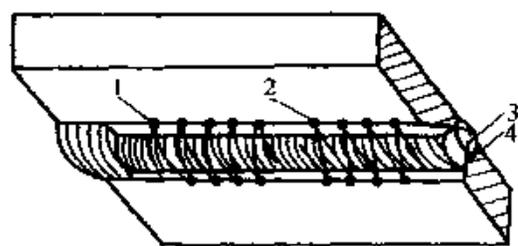


图 5-44 开坡口对接

仰焊时的运条方法

1—月牙形运条 2—锯齿形运条
3—第一层焊道 4—第二层焊道

多层多道焊的操作比多层焊容易掌握，宜采用直线形运条法，各层焊缝的排列顺序与其他位置的焊缝一样，焊条角度应根据每道焊缝的位置作相应的调整（图 5-45），以利于熔滴过渡和获得较好的焊缝成形。

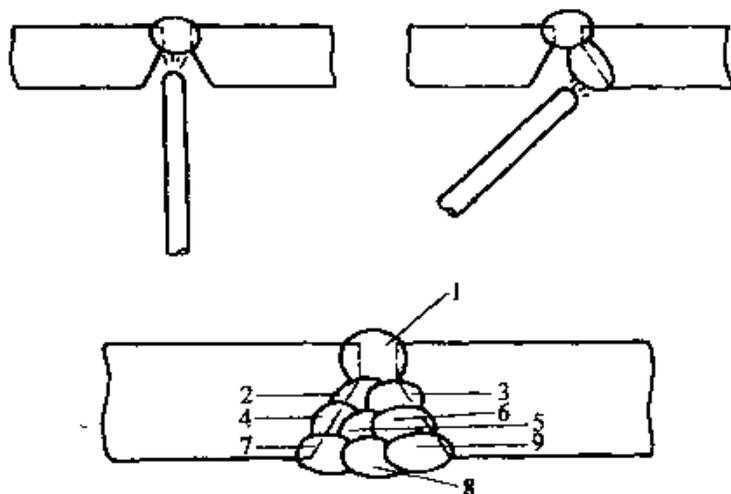


图 5-45 开坡口对接仰焊缝的多层多道焊

1~9 为焊接层序数

(3) 丁字接头仰焊 丁字接头的仰焊比对接仰焊容易掌握，一般也是采用多层焊或多层多道焊。焊接时可使用稍大的电流强度来提高生产率。

焊脚尺寸小于 6mm 宜采用单层焊；大于 6mm 时，可采用多层焊或多层多道焊。

多层焊时，第一层采用直线形运条法，电流可稍大些，焊缝断面应避免凸形，以利第二层的焊接。第二层可采用斜圆圈形或斜三角形运条法，焊条与焊接方向成 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ （图 5-46），运条时应采用短弧，以避

免咬边及熔化金属下淌的缺陷。多层多道焊在操作时应注意的事项与开坡口对接仰焊相同。

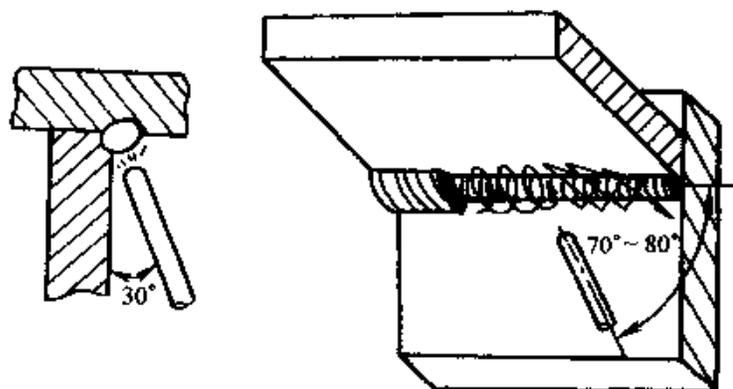


图 5-46 丁字接头仰焊的运条法

各种位置焊接特点及操作要点见表 5-4。

表 5-4 焊条电弧焊各种位置焊接技术

| 焊接位置 | 特点 | 焊条角度示意图 | 操作要点 |
|------|--|---|---|
| 平焊 | <p>(1) 熔滴主要依靠重力向熔池过渡</p> <p>(2) 熔池金属和熔池形状容易保持</p> <p>(3) 可用较大电流进行焊接, 生产率较高</p> <p>(4) 熔渣和液态金属容易混在一起, 特别角焊缝熔渣前流, 容易造成夹渣</p> <p>(5) 焊接参数和操作不当时可能产生咬边、未焊透或焊瘤等缺陷</p> | <p>对接平焊</p> <p>T 形接头平焊</p> <p>角接头平焊</p> | <p>(1) 允许使用较大的电流、较粗直径焊条施焊, 以提高生产率</p> <p>(2) 尽可能保持短弧焊接</p> <p>(3) 正确控制焊条角度, 使熔渣与液态金属分离, 防止熔渣前流</p> <p>(4) T形、角接、搭接的平接头, 若两钢板厚度不同, 则应调整焊条角度, 将电弧偏向厚板一侧, 使两板受热均匀</p> <p>(5) 多层多道焊应注意选择层次及焊道顺序</p> <p>(6) 选用合适的运条方法:</p> <p>1) 不开坡口对接平焊 ($\delta < 6\text{mm}$) 正面焊缝采用直线运条方法, 熔深大于 $2/3\delta$, 反面焊缝也采用直线运条, 电流可大些, 运条速度可快些</p> <p>2) 开坡口对接平焊 ($\delta \geq 6\text{mm}$), 可采用多层焊或多层多道焊。打底焊</p> |

(续)

| 焊接位置 | 特点 | 焊条角度示意图 | 操作要点 |
|------|--|---|---|
| 平焊 | <p>(1) 熔滴主要依靠重力向熔池过渡</p> <p>(2) 熔池金属和熔池形状容易保持</p> <p>(3) 可用较大电流进行焊接, 生产率较高</p> <p>(4) 熔渣和液态金属容易混在一起, 特别角焊缝熔渣前流, 容易造成夹渣</p> <p>(5) 焊接参数和操作不当时可能产生咬边、未焊透或焊瘤等缺陷</p> | <p>搭接接头平焊</p> <p>船形焊</p> | <p>道宜选用小直径焊条, 小电流施焊, 直线形运条。多层焊, 其后各层焊道宽度应根据要求分别采用直线形、锯齿形、月牙形运条。多层多道焊, 则宜采用直线形运条方法</p> <p>3) T形接头如焊脚尺寸较小, 可采用单层焊, 选用直线或斜锯齿形、斜环形运条方法。焊脚尺寸较大时, 则宜采用多层焊或多层多道焊, 第一层均选用直线运条, 其后各层可采用斜环形、斜锯齿形运条。多道焊宜采用直线形运条方法</p> <p>4) 角接、搭接平焊, 操作与T形接头平焊相似</p> <p>5) 船形位置, 操作与开口对接平焊相似</p> |
| 立焊 | <p>(1) 熔渣与熔池金属易于分离</p> <p>(2) 熔化金属易于下流, 形成焊瘤、咬边、夹渣等缺陷, 成形不良</p> <p>(3) 熔透程度容易掌握</p> <p>(4) T形接头立焊, 焊缝根部易产生未焊透</p> | <p>焊条角度</p> <p>a) 直线形 b) 锯齿形 c) 月牙形</p> | <p>(1) 采用较小直径焊条 ($\phi < 4\text{mm}$)、较小电流 [$I = (1 - 15\% \sim 20\%) I_{\text{平焊}}$]、短弧施焊</p> <p>(2) 保持正确的焊条角度</p> <p>(3) 选用合适的运条方法:</p> <p>1) 不开坡口对接立焊, 由下向上焊, 可采用直线形、月牙形、锯齿形挑弧法</p> <p>2) 开坡口对接立焊, 第一层常采用挑弧法或摆幅较小的三角形、月牙形运条, 其后各层可选用锯齿形或月牙形运条方法</p> <p>3) T形接头立焊, 操作方法与开坡口对接立焊相似。为了防止焊缝两侧产生咬边、根部产生未</p> |

(续)

| 焊接位置 | 特点 | 焊条角度示意图 | 操作要点 |
|------|--|----------------------------------|--|
| 立焊 | (1) 熔渣与熔池金属易于分离 (2) 熔化金属易于下流, 形成焊瘤、咬边、夹渣等缺陷, 成形不良 (3) 熔透程度容易掌握 (4) T形接头立焊, 焊缝根部易产生未焊透 | <p>a) 底层焊接 b) 外层焊接</p> | 焊透, 电弧在焊缝两侧及顶角应有适当的停留时间 |
| 横焊 | (1) 熔化金属易下流, 使上侧产生咬边, 下侧形成焊瘤及未焊透 (2) 开坡口对接横向, 采用多层多道焊能有效防止金属下流, 避免形成焊接缺陷 | <p>不开坡口的对接横焊</p> <p>开坡口的对接横焊</p> | (1) 采用小直径焊条、小电流、短弧操作, 防止金属流淌 (2) 保持适当的焊条角度 (3) 选用正确的运条方法: 1) 不开坡口对接横焊, 薄板正面焊缝选用往复直线运条方法, 稍厚焊件采用直线或小斜环形运条, 背面焊缝采用直线形运条, 电流可适当增大 2) 开坡口对接横焊, 多层焊第一层间隙小时, 可采用直线形运条, 间隙较大时, 可采用往复直线形运条, 其后各层可采用斜环形运条 |
| 仰焊 | (1) 熔化金属因自重易下坠, 熔滴过渡、焊缝成形困难 (2) 熔池尺寸大, 熔池金属温度高, 焊缝正面容易形成焊瘤, 而 | <p>不开坡口对接仰焊</p> | (1) 为了减小熔池面积, 控制焊缝成形, 宜采用小直径焊条, 焊接电流小于平焊位置使用的电流, 而大于立焊位置使用的电流 (2) 必须以最短的弧长施焊, 以利于熔滴过渡 (3) 保持适当的焊条角度 |

(续)

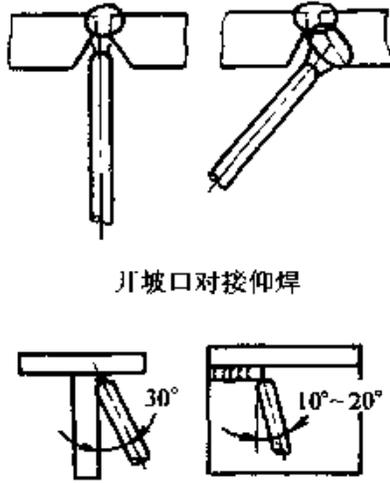
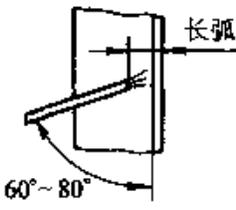
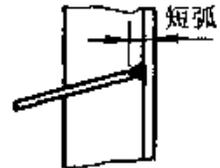
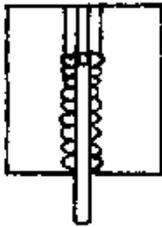
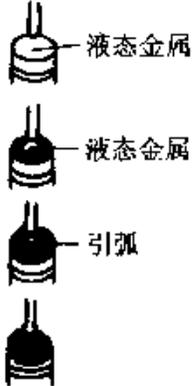
| 焊接位置 | 特点 | 焊条角度示意图 | 操作要点 |
|------|--------|---|---|
| 仰焊 | 背面出现凹陷 |  <p style="text-align: center;">开坡口对接仰焊</p> <p style="text-align: center;">T 形接头仰焊</p> | <p>(4) 选用正确的运条方法:</p> <p>1) 不开坡口对接仰焊, 间隙小时宜采用直线形运条, 间隙大时宜采用往复直线形运条</p> <p>2) 开坡口对接仰焊或多层焊, 第一层视坡口间隙大小选用直线形或往复直线形运条方法, 其后各层可采用月牙形或锯齿形运条方法。无论哪种运条方法, 一次向熔池过渡的熔化金属量不宜过多。多层多道焊, 宜采用直线形运条</p> <p>3) T形接头仰焊如焊脚尺寸小, 采用单层焊, 选用直线形或往复直线形运条方法。焊脚尺寸较大时, 采用多层焊或多层多道焊, 第一层宜选用直线形运条, 其后各层可采用斜环形或斜三角形运条方法</p> |

表 5-5 焊条电弧立焊的熔孔成形技术

| 项目 | 简图 | 操作要点 |
|--------|---|---|
| 引弧预热 |  | <p>在始焊点对准坡口中心引弧, 焊条和焊件的夹角为 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$, 引弧后, 将电弧稍稍拉长, 预热始焊点</p> |
| 短弧形成熔池 |  | <p>当坡口两侧金属开始熔化并出现“汗珠”时, 压低电弧, 使熔化金属将坡口两侧连在一起, 形成一个椭圆形熔池</p> |

(续)

| 项目 | 简图 | 操作要点 |
|---------------|---|--|
| 电弧上行， 打出熔孔 |  | <p>熔池形成后，将电弧向上移动，此时熔渣从熔池中滴下来，使电弧对准坡口中心穿过间隙，在熔池前方打出一个小孔（熔孔），则表明根部已焊透，应立即熄弧</p> |
| 焊接 |  | <p>灭弧后，熔池温度迅速下降，颜色渐渐变暗，但在尚未消失时，应立即重新引弧。重新引弧的位置在熔孔后侧（下方）1~2mm处。此时电弧一方面将熔孔前方坡口两侧金属熔化，另一方面使已凝固的熔池部分重新熔化，形成一个新的熔池</p> <p>焊接过程中，电弧在坡口两侧应稍稍停留，要始终保持熔孔直径（3~4mm）与熔池大小、形状一致</p> <p>当熔池温度过高、熔池增大时，应立即灭弧，待熔池稍稍冷却后，再重新引弧焊接</p> |

5. 单面焊双面成形焊接技术

某些重要焊接结构的接头，若要求焊透，且两面都能得到均匀整齐、无缺陷的焊缝，但又无法从背面清焊根和重新焊接，此时只能采用单面焊双面成形技术，其关键在于第一层焊缝的熔孔成形操作，其他各层操作要点和各种位置焊接技术相同。表 5-5 以立焊为例，说明反面成形的操作要点。

5.1.6 焊接参数

焊接规范通常是指焊条牌号、焊条直径、焊接电流和焊接层数。由于焊接构件的材质、工作条件、尺寸形状及焊接位置不同，所选择的焊接规范也有所不同。即使产品相同，当由不同的焊工焊接时，亦会因焊接设备条件与焊工操作习惯的不同而选用不同的规范。可见焊条焊接时，焊接规范不应限得太死，只能做一些原则性的规定，供选用时参考。现以低碳钢或强度等级不高的普通低合金钢（如 16Mn）为例，加以说明。

1. 焊条牌号

主要根据母材的性能、接头的刚性和工作条件选择焊条。焊接一般碳钢和低合金钢主要是按等强原则选择焊条强度级别，对一般结构选用酸性焊条，重要结构选用碱性焊条。详见第2章。

(1) 首先应考虑焊缝金属与母材等强度且化学成分相近。对低碳钢而言，一般用钛钙型结 422 或结 502 焊条即可。

(2) 对要求塑性、韧性及抗裂性能较高的重要构件宜选用低氢型结 427 或结 507 焊条。如直流焊机数量不够用时，也可选用交直两用的低氢型结 426 焊条，但交流焊时，其工艺性能较用直流时稍差，且要求交流焊机有较高的空载电压。

(3) 对要求焊缝表面美观、光滑的薄板构件，最好用工艺性能好的钛型结 421 焊条。

(4) 对于无法很好清除油锈等脏物与要求熔深较大的焊接结构，最好选用氧化铁型结 424 焊条。

(5) 对有大量立焊缝的焊接结构，为提高效率，在条件允许时可选用专门的立向下电焊条，如结 420 下（即专用的立焊焊条，操作特点是自上向下焊）。

2. 焊接电源种类和极性的选择

焊条电弧焊时采用的电源有交流（AC）和直流（DC）两大类，根据焊条的性质进行选择。通常，酸性焊条可同时采用交、直流两种电源，一般优先选用交流弧焊机。碱性焊条由于电弧稳定性差，所以必须使用直流弧焊机，对药皮中含有较多稳弧剂的焊条，可使用交流弧焊机，但此时电源的空载电压应较高些。

极性的选择原则：

(1) 碱性焊条常采用反接，因为碱性焊条正接时，电弧燃烧不稳定，飞溅严重，噪声大，使用反接时，电弧燃烧稳定，飞溅很小，而且声音较平静均匀。酸性焊条如使用直流电源时通常采用正接。当采用碱性直流焊条如结 507 或其他低碳钢焊条用直流焊机焊接时，均采用直流反接。

(2) 因为阳极部分的温度高于阴极部分，所以用正接可以得到较大的熔深，因此焊接厚钢板时可采用正接，而焊接薄板、铸铁、非铁金属时，应采用反接。

采用交流电源时，不存在正接和反接的接线法。

3. 焊条直径

可根据焊件厚度进行选择。厚度越大，选用的焊条直径应越粗，见表 5-6，但厚板对接接头坡口打底焊时要选用较细焊条。另外接头形式不同，焊缝空间位置不同，焊条直径也有所不同。如 T 形接头应比对接接头使用的焊条粗些，立焊、横焊等空间位置比平焊时所选用的应细一些。立焊最大直径不超过 5mm，横焊、仰焊直径不超过 4mm。

表 5-6 焊条直径与焊件厚度的关系 (mm)

| | | | | | |
|------|---|-----|-------|------|-----|
| 焊件厚度 | 2 | 3 | 4~5 | 6~12 | ≥13 |
| 焊条直径 | 2 | 3.2 | 3.2~4 | 4~5 | 4~6 |

4. 焊接电流的选择

焊接电流是焊条电弧焊最重要的工艺参数，也是焊工在操作过程中唯一需要调节的参数，而焊接速度和电弧电压都是由焊工控制的。选择焊接电流时，要考虑的因素很多，如焊条直径、药皮类型、工件厚度、接头类型、焊接位置、焊道层次等。但主要由焊条直径、焊接位置和焊接层次来决定。

增大焊接电流能提高生产率，但电流过大易造成焊缝咬边、烧穿、飞溅增大，同时焊条易发红使药皮脱落，而电流过小也易造成夹渣、未焊透等缺陷，且降低生产率。故应适当地选择电流。表 5-7 可供选电流时参考。

表 5-7 各种直径焊条使用电流的参考值

| | | | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| 焊条直径/mm | 1.6 | 2.0 | 2.5 | 3.2 | 4.0 | 5.0 | 6.0 |
| 焊接电流/A | 25~40 | 40~65 | 50~80 | 100~130 | 160~210 | 260~270 | 260~300 |

但是同样直径的焊条焊接不同厚度的钢板时，电流也不同。一般板越厚，焊接热量散失得越快，应选用电流值的上限；立、仰、横焊时所用电流应比平焊小 10% 左右；不锈钢焊条的电阻大，更易过热发红，应选用较小电流，低温钢焊条为保证接头的低温韧性，也应选用较小电流。每种直径的焊条都有一个最合适的电流

$$I = Kd$$

或

$$I = (35 \sim 55)d$$

式中 I ——焊接电流 (A);
 d ——焊条直径 (mm);
 K ——经验系数。

焊条直径 d 与经验系数 K 的关系如表 5-8 所示。

表 5-8 K 值

| 焊条直径 d /mm | 1~2 | 2~4 | 4~6 |
|--------------|-------|-------|-------|
| 经验系数 K | 25~30 | 30~40 | 40~60 |

5. 电弧电压

焊条电弧焊时, 电弧电压是由焊工根据具体情况灵活掌握的。其原则一是保证焊缝具有合乎要求的尺寸和外形, 二是保证焊透。

电弧电压主要决定于弧长。电弧长, 电弧电压高; 反之则低。在焊接过程中, 一般希望弧长始终保持一致, 而且尽可能用短弧焊接。所谓短弧是指弧长为焊条直径的 0.5~1.0 倍, 超过这个限度即为长弧。

6. 焊接速度

在保证焊缝所要求的尺寸和质量的前提下, 由焊工根据情况灵活掌握。速度过慢, 热影响区加宽, 晶粒粗大, 变形也大; 速度过快, 易造成未焊透, 未熔合, 焊缝成形不良等缺陷。

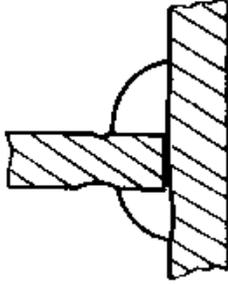
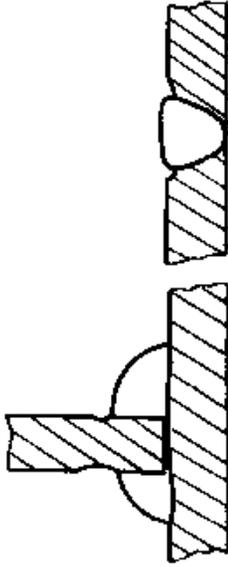
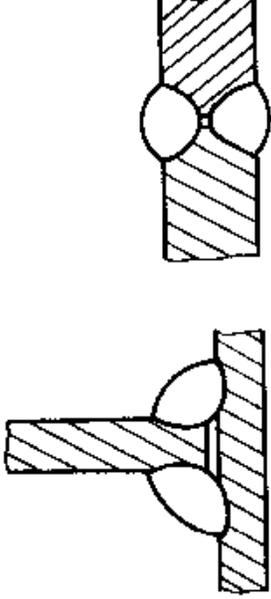
7. 焊接层数的选择

在厚板焊接时, 必须采用多层焊或多层多道焊。多层焊的前一条焊道对后一条焊道起预热作用, 而后一条焊道对前一条焊道起热处理作用(退火或缓冷), 有利于提高焊缝金属的塑性和韧性。每层焊道厚度 $\leq 4 \sim 5$ mm。对同一厚度材料, 其他条件不变时, 焊接层次增加, 热输入减少, 有利于提高焊接接头的塑性和韧性。除低碳钢外, 锅炉及压力容器中的低合金高强度钢、低温钢、不锈钢、耐热钢等都应采用多层多道快速不摆动焊法进行焊接。

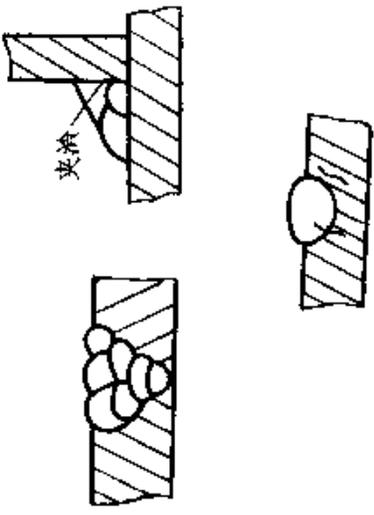
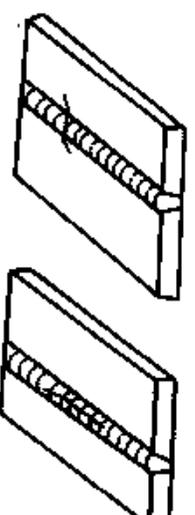
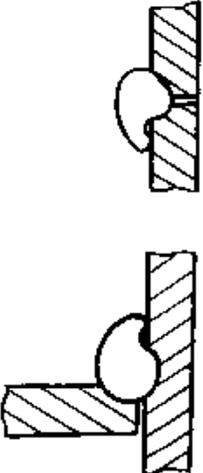
5.1.7 焊缝缺陷

焊缝缺陷根据其在焊缝中的位置, 可分为内部缺陷和外部缺陷。外部缺陷位于焊缝的表面, 用肉眼或低倍放大镜可以观察、检测出来。例如, 焊缝尺寸偏差、焊瘤、咬边、弧坑及表面气孔、裂纹等。内部缺陷位于焊缝的内部, 通常必须借助检测仪器或破坏性试验才能发现。例如, 未焊透、内气孔、裂纹及夹渣等。手工电弧焊的焊缝常见缺陷见表 5-9。

表 5-9 焊条电弧焊焊缝常见缺陷及其产生原因

| 缺陷类别 | 形状特征 | 产生原因 | 危害性 |
|------|---|--|---|
| 尺寸偏差 | <p>焊缝宽度、余高、焊脚尺寸等焊缝尺寸过大或过小</p>  | <p>焊条直径及焊接规范选择不当 坡口设计不当 运条手势不良</p> | <p>尺寸过小, 强度降低; 尺寸过大, 应力集中, 疲劳强度降低</p> |
| 咬边 |  | <p>焊接规范不当, 电流过大, 电弧过长, 焊速过快 焊条角度不对, 操作手势不良, 电弧偏吹 接头位置不利</p> | <p>减小焊缝有效截面, 应力集中, 降低接头强度和承载能力</p> |
| 气孔 |  | <p>焊件表面氧化物、锈蚀、污染未清理 焊条吸潮 焊接电流过小, 电弧过长, 焊速太快 药皮保护效果不佳, 操作手势不良</p> | <p>减小焊缝有效截面, 降低接头致密性, 减小接头承载能力和疲劳强度</p> |
| 未焊透 |  | <p>坡口、间隙设计不良 焊条角度不正确, 操作手势不良 热输入不足, 电流过小, 焊速太快 坡口焊渣、氧化物未清除</p> | <p>形成尖锐的缺口, 造成应力集中, 严重影响接头的强度、疲劳强度等</p> |

(续)

| 缺陷类别 | 形状特征 | 产生原因 | 危害性 |
|------|---|---|---|
| 夹渣 |  | <p>焊件表面氧化物、层间熔渣没有清除干净 焊接电流过小，焊速太快 坡口设计不当 焊道熔敷顺序不当 操作手势不良</p> | <p>减小焊缝有效截面，降低接头强度、冲击韧度等</p> |
| 裂纹 |  | <p>焊件表面污染，焊条吸湿，母材及填充金属内含有较多杂质 接头刚性过大 预热及焊后热处理规范不当 焊接规范参数不当 焊接材料选择不当</p> | <p>焊缝金属不连续，裂纹尖端应力集中，在承受交变或冲击载荷时，裂纹迅速扩展，导致接头断裂</p> |
| 焊瘤 |  | <p>焊接规范不当，电流过大，焊速过慢 焊条角度及操作手势不当 焊接位置不利</p> | <p>焊缝截面突变，形成尖角，应力集中，降低接头疲劳强度</p> |

5.2 半自动钨极氩弧焊

5.2.1 基本原理

钨极氩弧焊(TIG)是一种非熔化极惰性气体保护焊(GTAW)。利用钨极与工件间产生的电弧进行焊接,可以加填充焊丝或不加填充焊丝。焊接时,钨极、熔池及邻近区域、填充丝端部都处在惰性的氩气保护之中。如图 5-47 所示。

半自动钨极氩弧焊是用氩气作保护气体的一种焊接方法,焊接变形小,焊口干净、成形好。而且不受空间位置的限制,可进行全位置焊接,图 5-48 是钨极氩弧焊、电弧保护示意图。

半自动钨极氩弧焊主要设备的组成是:1)焊机(电源);2)焊枪和钨极;3)保护气体供给装置和控制装置;4)辅助装置,包括一个在焊接时焊工用来控制电流的脚踏变阻器、冷却焊枪的循环水系统等。见图 5-49、图 5-50。

5.2.2 特点与应用

1. 钨极氩弧焊的电弧有以下特点:

(1) 保护效果好,焊缝质量高,氩气不与金属发生反应,也不溶于液态金属而生成气孔,故氩气的保护性能十分优良。焊接过程基本上是金属熔化与结晶的简单过程,因此焊缝质量高。

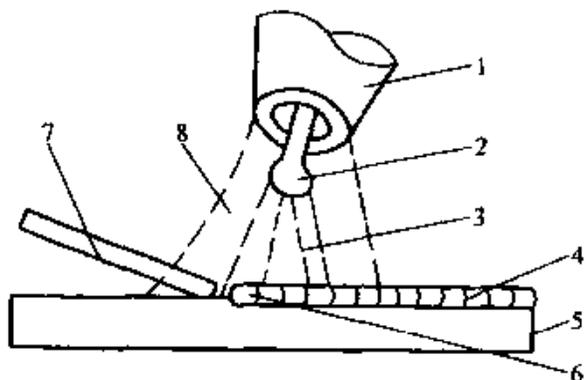


图 5-47 钨极氩弧焊

1—喷嘴 2—钨极 3—电弧 4—焊缝
5—工件 6—熔池 7—填充焊丝 8—氩气

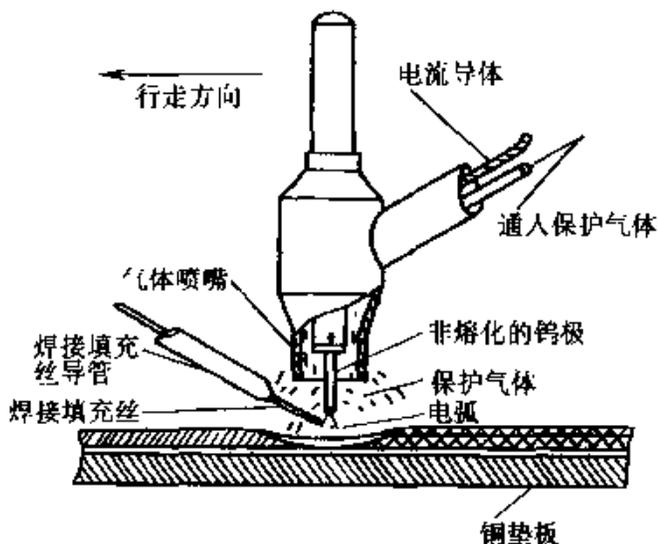


图 5-48 钨极气体保护电弧焊

(2) 焊接变形与应力小, 因为电弧受氩气流冷却和压缩作用, 电弧的热量集中且氩弧的温度高, 所以氩弧一旦引燃, 就能在较低电压下稳定燃烧; 故热影响区很窄。焊接薄件具有优越性, 6mm 以上的材料使用较少, 但用于封底焊时板厚不受此限制。

(3) 易于实现机械化, 因为是明弧焊, 便于观察与操作, 尤其是适用于全位置焊接, 并容易实现机械化、自动化。

(4) 直流反极性钨极氩弧焊时, 发生阴极雾化现象, 接负极的熔池表面受到正离子的猛烈撞击, 高熔点的金属氧化膜被打碎清除, 这种现象称为阴极雾化, 利用阴极雾化现象可以焊接铝、镁等金属。

(5) 交流钨极氩弧焊时, 由于钨极与金属工件的导热性能相差很大, 产生不对称导电现象。

(6) 成本高, 目前主要用于打底焊和非铁金属的焊接。

(7) 氩气不易电离, 引弧困难。需要采用高频引弧及稳弧装置等。

(8) 氩弧焊产生的紫外线是焊条电弧焊的 5~30 倍。生成的臭氧对焊工危害较大。放射性的钍钨极对焊工也有一定的危害, 所以推广使用铈钨电极, 对焊工的危害较小。

(9) 不宜在有风的地方焊接, 为了提高钨极氩弧焊的效率, 在自动钨极氩弧焊中采用热丝, 即在焊丝进入熔池以前被电阻加热到预定温度, 然后经过送丝装置送入熔池。此种系统见图 5-51。

2. 应用范围

几乎所有的金属材料都可进行焊接, 特别适宜焊接化学性质活泼的

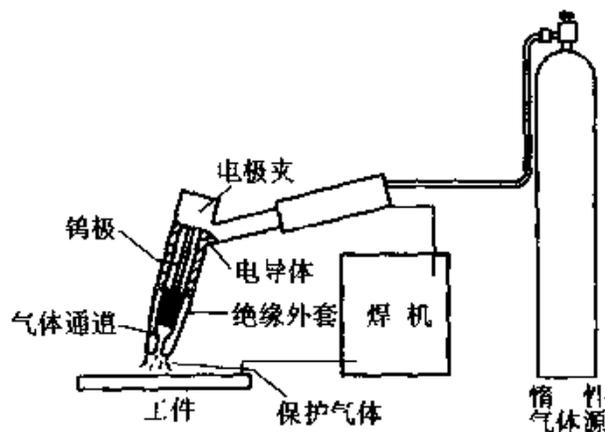


图 5-49 钨极气体保护电弧焊设备的布置

注: 当靠惰性气体保护冷却水不充分时, 可使用水冷焊枪

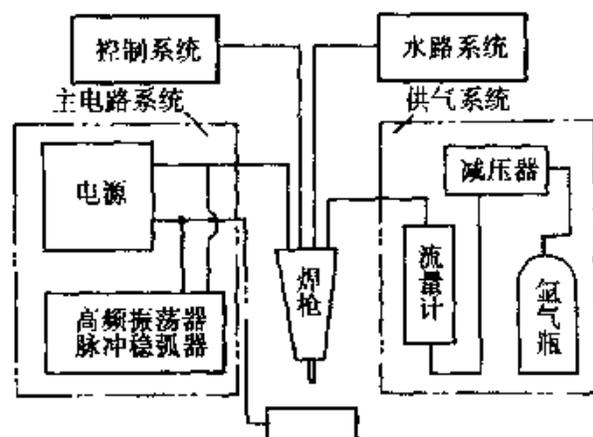


图 5-50 半自动钨极氩弧焊设备系统图

金属。常用于铝、镁、铜、钛及其合金、低合金钢、不锈钢及耐热钢等材料的焊接。因此在管道施工中得到了广泛的应用。高压管的焊接一般也要有氩弧焊打底，以便提高焊接质量。

5.2.3 钨极氩弧焊工艺

1. 接头与坡口制备

(1) 对接 钨极氩弧焊的对接接头有 I 形接头、卷边（或称弯边）接头和开坡口接头。I 形接头最容易制备，根据焊件的化学成分及厚度，可添加填充金属或不加填充金属进行焊接。

(2) 搭接 其最大优点是不需要进行边缘加工，只要两块板的被焊长度区间良好接触就可焊接。为此，薄板对接焊时必须设计专业工夹具。

(3) 角接 主要用于制造箱形结构。

(4) 端接 主要用于筒体与端盖的连接，见图 5-52，一般不加填充金属，焊接部位两边的厚度要保持一致，其尺寸要求同双卷边对接接头。

表 5-10 列出各种型式的接头尺寸。

2. 装配

为了确保接缝对准和防止焊接过程中变形，应采用夹具或夹紧装置进行装配。钨极氩弧焊的焊件一般都是薄壁构件，对焊接变形尤为敏感。半自动钨极氩弧焊时，当遇到焊件形状复杂或单件生产等特殊情况，而不宜采用夹具装配时，宜用点固焊装配。自动钨极氩弧焊时，由于点固焊会妨害电弧电压的精确控制和填充焊丝的均匀送进，而须要夹具装配。

薄板钨极氩弧焊时一般在对接头背面都有衬垫支托，以阻止熔化金属泄漏和空气从背面侵入。衬垫要用无磁材料制作，最好是铜，铜能避免与焊件焊着。由于铜的热导率大，加铜衬垫后的焊接电流要相应增大。铜衬垫上开一条细槽，细槽尺寸不足会使焊缝背面成形粗糙、不规

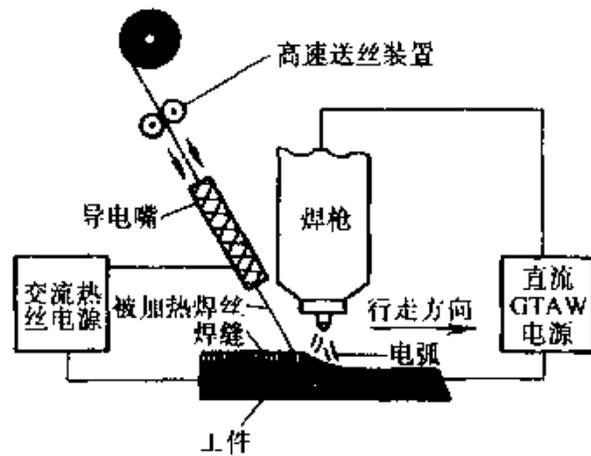


图 5-51 钨极气体保护电弧焊的热丝系统

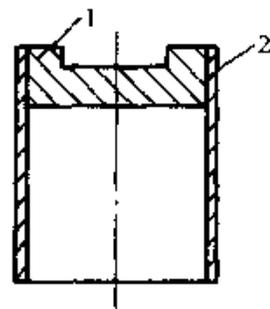


图 5-52 端接接头
1—端盖 2—筒体

则。衬垫上还可开一适当尺寸的槽口（图 5-53），通以保护气体进行背面保护。

加紧装置须要快速动作，能沿整个焊缝长度可靠加紧。当焊接厚度 $< 1\text{mm}$ 时，宜用琴键式指形夹具，两边指形夹头可独立地用手动或脚踏开关来控制机械、电磁、液压或风压系统。见图 5-54。压紧力的大小是可调的。夹头离焊缝的距离与焊件厚度有关，见表 5-11。

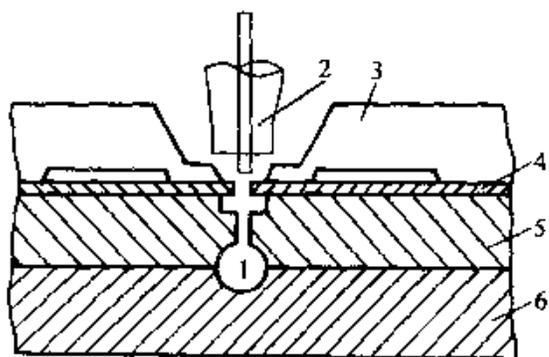


图 5-53 铜衬垫

1—输送气体槽口 2—焊枪 3—夹头
4—焊件 5—铜衬垫 6—底座

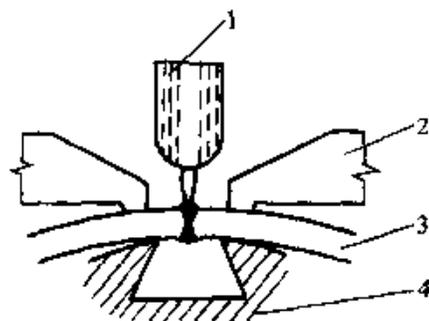


图 5-54 琴键式指形夹头

1—焊枪 2—指形夹头(左右两排)
3—焊件 4—铜衬垫

表 5-10 钨极氩弧焊各种型式接头尺寸

| 接头型式 | 坡口形式 | 简 图 | 板厚 δ/mm | 间隙 b/mm | 附 注 |
|------|-------|-----|---|--|------------------|
| 对接接头 | 单卷边 | | ≤ 1 | 0~0.5 | $H = 2\text{mm}$ |
| | 双卷边 | | ≤ 1 | 0~0.5 | $H = 3\text{mm}$ |
| | I 形坡口 | | < 0.6 0.6~0.8 1~2 2~3 3~4 | 0~0.15 0~0.2 0~0.3 0~0.4 0~0.5 | |

(续)

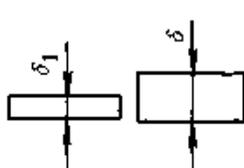
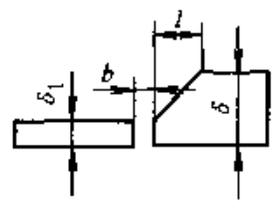
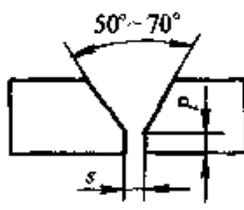
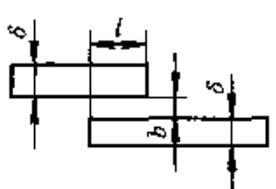
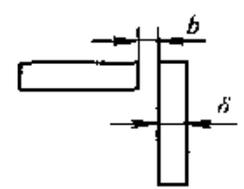
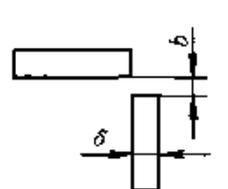
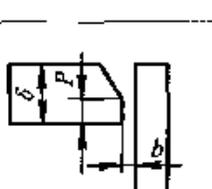
| 接头型式 | 坡口形式 | 简 图 | 板厚 δ/mm | 间隙 b/mm | 附 注 |
|------|------|---|-----------------------|-------------------------|---|
| 对接接头 | I形坡口 |  | 0.8~2 | 0~0.4 | $\delta < 2\delta_1$ |
| | |  | ~1 1.6~2.0 2~3 | 0~0.2 0~0.3 0~0.4 | $\delta > 2\delta_1$ $l > 2\delta_1$ |
| | V形坡口 |  | 3~4 3~12 | 0~0.5 0.5~1.0 | $p = 1.5$ ~2mm 加填充金属 |
| 搭接接头 | |  | 0.8~2.0 2.0~10.0 | 0~0.5 0~0.8 | $l = 2(\delta + \delta_1)$ |
| 角接头 | |  | 0.8~1.5 1.5~3.0 | 0~0.5 0~0.8 | |
| | |  | 3~12 | 0~0.8 | |
| | |  | >3 | 0~0.8 | $p = 3\text{mm}$ |

表 5-11 指形夹头距离与板厚的关系

(mm)

| 板厚 | 错边 | 距离 | 板厚 | 错边 | 距离 |
|---------|------|-----|---------|------|------|
| ~0.5 | 0.15 | 3 | 1.5~2.0 | 0.35 | 6~8 |
| 0.9~1.0 | 0.15 | 4 | 2.0~3.0 | 0.40 | 8~10 |
| 1.2~1.5 | 0.30 | 5~6 | | | |

3. 钨极氩弧焊的焊接参数

手工钨极氩弧焊的焊接参数有焊接电流、电弧电压、钨极直径、填充丝直径和喷嘴直径、氩气流量、钨极伸出喷嘴长度、焊接速度等。大致可分为焊接热规范参数和氩气保护两个方面。

影响氩气保护效果的主要因素有喷嘴直径，气体流量，喷嘴与工件间的距离，焊接速度、外界气流和接头型式等。

(1) 焊接电源种类和极性 电源种类和极性可根据焊件材质进行选择，见表 5-12 所示。

表 5-12 材料对电源种类及极性的选用

| 金属及合金 | 电 源 | | |
|---------|-----|----|-----|
| | 直 流 | | 交 流 |
| | 正 | 反 | |
| 低碳钢及合金钢 | 好 | 否 | 可以 |
| 铝及铝合金 | 否 | 可以 | 好 |
| 镁及镁合金 | 否 | 否 | 好 |
| 钛及钛合金 | 好 | 否 | 否 |
| 铜及铜合金 | 好 | 否 | 可以 |
| 银 | 好 | 否 | 可以 |

采用直流正接时，工件接正极，温度较高，适用于焊厚工件及散热快的金属，钨棒接负极，温度低，可提高许用电流，同时钨极烧损小。

直流反接时，钨极接正极烧损大，所以 TIG 焊很少采用。但此时具有“阴极破碎作用”。

采用交流钨极氩弧焊时，在焊件为负，钨极为正的半周波里，阴极有去除氧化膜的破碎作用，即阴极破碎作用。在焊接铝、镁及其合金时，其表面有一层致密的高熔点氧化膜若不及时去除，将会造成未熔合、夹渣、焊缝表面形成皱皮及内部气孔等缺陷。利用钨极在正半波时

正离子向熔池表面高速运动，可将金属表面的氧化膜撞碎，避免产生焊接缺陷。所以通常用交流钨极氩弧焊来焊接氧化性强的铝镁及其合金。

(2) 钨极直径 主要按焊件厚度、焊接电流大小和电源极性来选取钨极直径。如果钨极直径选择不当，将造成电弧不稳，钨棒烧损严重和焊缝夹渣。

(3) 焊接电流 根据工件的材质、厚度和接头空间位置选择焊接电流。过大或过小的焊接电流都会使焊缝成形不良或产生焊接缺陷。表 5-13 给出了氩气保护时，不同直径的钨极，在不同电源和极性条件下，允许使用的电流范围。

表 5-13 不同电源极性和不同直径钨极使用电流范围 (A)

| 钨极直径 /mm | 直流正接 | 直流反接 | 交流不平衡波 | | 交流平衡波 | |
|-------------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | 钨和钍钨 | 钨和钍钨 | 钨 | 钍钨 | 钨 | 钍钨 |
| 0.508 | 5~20 | — | 5~15 | 5~20 | 10~20 | 5~20 |
| 1.016 | 15~80 | — | 10~60 | 15~80 | 20~30 | 20~60 |
| 1.59 | 70~150 | 10~20 | 50~100 | 70~150 | 30~80 | 60~120 |
| 2.4 | 150~250 | 15~30 | 100~160 | 140~235 | 60~130 | 100~180 |
| 3.26 | 250~400 | 25~40 | 150~210 | 225~325 | 100~180 | 160~250 |
| 4.0 | 400~500 | 40~55 | 200~275 | 300~400 | 160~240 | 200~320 |
| 4.8 | 500~700 | 55~80 | 250~350 | 400~500 | 190~300 | 290~390 |
| 6.35 | 750~1000 | 80~125 | 325~450 | 500~630 | 250~400 | 340~525 |

(4) 电弧电压 电弧电压由弧长决定，弧长增加，焊缝宽度增加，熔深减少，气体保护效果随之变差，甚至产生焊接缺陷。因此，应尽量采用短弧焊。

(5) 氩气流量 随着焊接速度和弧长的增加，气体流量也应增加；喷嘴直径，钨极伸出长度增加时，气体流量也应相应增加。若气体流量过小，则易产生气孔和焊缝被氧化等缺陷，若气体流量过大，则会产生不规则湍流，反而使空气卷入焊接区，降低保护效果。另外还会影响电弧稳定燃烧。可按下式计算氩气流量：

$$Q = (0.8 \sim 1.2) D$$

式中 Q ——氩气流量 (L/min)；

D ——喷嘴直径 (mm)。

(6) 焊接速度 氩气保护是柔性的，当遇到侧向空气吹动或焊速过快时，则氩气气流会受到弯曲，保护效果减弱。如果适当地加大气流量，气流挺度增大，可以减小弯曲程度。因此，氩弧焊时应注意气流的干扰以及防止焊接速度过快。

(7) 喷嘴直径 增大喷嘴直径的同时，应增加气体流量，此时保护区大，保护效果好。但喷嘴过大时，不仅使氩气的消耗增加，而且可能使焊炬伸不进去，或妨碍焊工视线，不便于观察操作。因此，常用的喷嘴直径一般取 8~20mm 为宜。

(8) 喷嘴至焊件的距离 这里指的是喷嘴端面和工件间距离，这个距离越小，保护效果越好。所以，喷嘴至焊件间的距离应尽可能小些，但过小将使操作、观察不便。因此，通常取喷嘴至焊件间的距离为 5~15mm。

4. 焊接操作

(1) 焊前 检查设备的水、气、电路是否正常，焊件与焊枪是否达到焊前清理的要求，规范参数是否调试妥当。

(2) 焊接 按下起动按钮或脚踏开关后，气路开始输送氩气，相隔 2~7s 后自动引弧。通常用高频振荡器或高压脉冲发生器进行非接触引弧。如采用接触引弧，则要用引弧板，在引弧板上行燃电弧后在移到接缝起始部位进行焊接。不允许直接在焊件上接触引弧，否则会导致焊缝金属污染。

在焊接过程中，焊枪及填充金属与焊件的相等位置如图 5-55a 所示。采用左向焊法。

环缝焊接时，焊枪应顺着旋转方向离开最高点一定角度。即使熔池金属处在相当于上引焊的位置（图 5-55b），其他相互位置仍按图 5-55a。

搭接头横焊时，焊枪于焊件成 45° 倾角，见图 5-55c。

施焊时焊枪除作直线匀速前移外，还应作各种横向摆动。

在焊件上形成一个适当的熔池后，填充焊丝才能缓慢送进。填充焊丝切不可同钨电极相碰，还有避免扰乱氩气流。

观查焊缝金属表面的颜色，就可判别焊接过程中氩气保护效果，见表 5-14。焊接铝及铝合金时，可先在试板上试焊，焊枪停留不动，约 5~6s 后熄弧，检查铝板上呈现金属光泽的阴极雾化区，雾化区大，表明保护效果好。

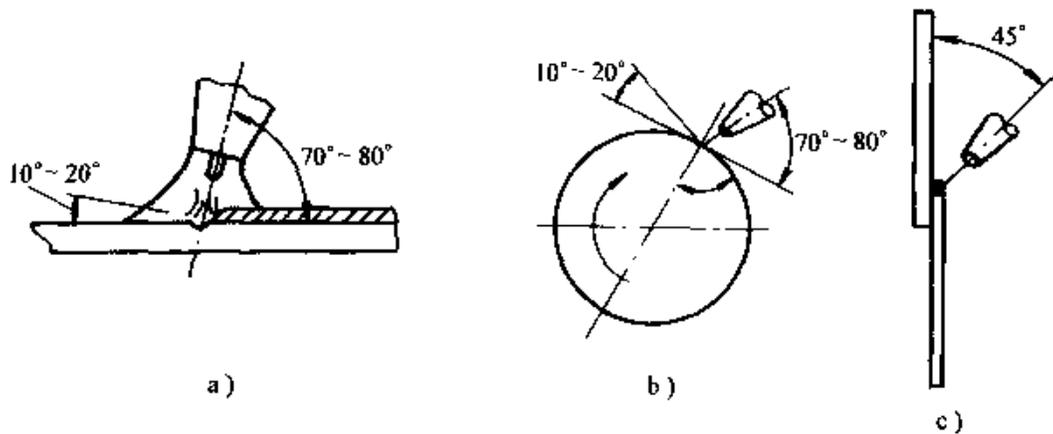


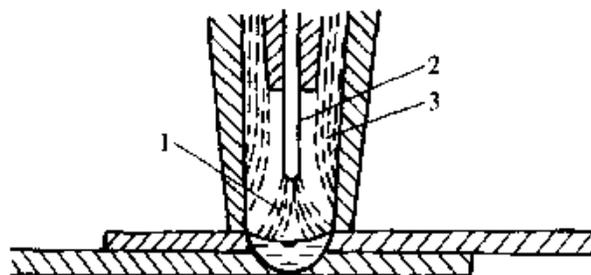
图 5-55 填充金属及焊枪与焊件的相对位置

a) 平焊 b) 环缝焊 c) 搭接横焊

表 5-14 焊缝表面颜色与气保护效果

| 焊件材料 | 效 果 | | | | |
|------|-------|-----|-------------|-----|-----------|
| | 最好 | 良好 | 较好 | 不良 | 最坏 |
| 不锈钢 | 银白、金黄 | 蓝色 | 红灰 | 灰色 | 黑色 |
| 钛合金 | 亮银白色 | 橙黄色 | 蓝紫 (带乳白的蓝紫) | 青灰色 | 有一层白色氧化钛粉 |

对带熔化垫的接头装配，先将垫圈两端锉成斜口，约 $20^\circ \sim 45^\circ$ ，如图 5-57 所示。保持弹性，压紧于已清理好的管口上，然后再套上另一个管子，装配好的管子如图 5-57b 所示。个别不贴合同隙不大于 1mm，垫圈对口间隙要小于 1mm。当焊接机头卡上时，垫圈对口位置不允许在“A”段（图 5-57c）。若适当，也允许在此段内。

图 5-56 钨极氩弧定位焊
1—电弧 2—钨棒 3—氩气流

(3) 停止 终止处多添加些金属，在弧坑添满后停止送进，但填充焊丝的末端仍处在氩气流保护下，以防氧化。如果焊机有电流衰减装置，则电流成指数曲线下降直至熄弧。如无电流衰减装置，则在不破坏保护的前提下逐渐提升焊枪，然后切断电源，此时仍不能把焊枪移开，而应继续停留 3~15s，待钨电极和熔池金属冷却后停止送气，并移开焊枪，焊接过程告结束。

5. 工艺缺陷

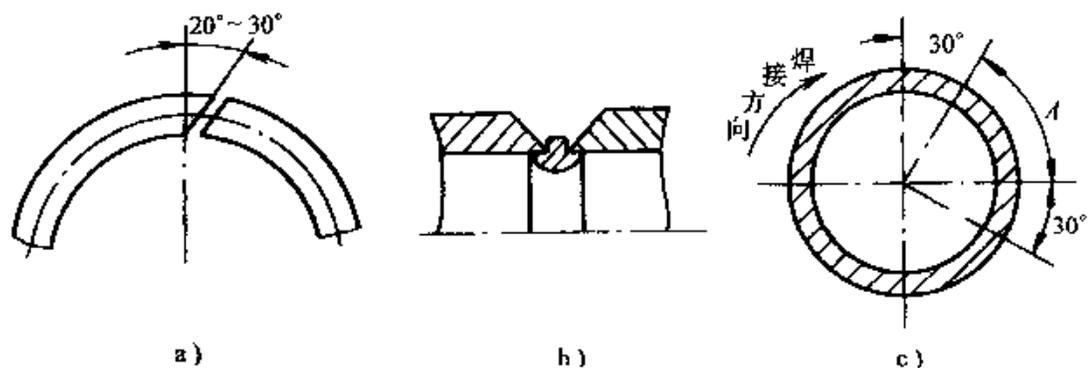


图 5-57 填塞环装配位置

a) 填塞环对口 b) 填塞环装配 c) 机头卡区

钨极氩弧焊出现的工艺缺陷、产生原因及防止措施见表 5-15。

6. 钨极氩弧定位焊

钨极氩弧定位焊方法用于薄板构件的正面定位连接, 如图 5-56 所示。

表 5-15 钨极氩弧焊特有的工艺缺陷

| 缺 陷 | 产 生 原 因 | 防 止 措 施 |
|--------|--|--|
| 夹钨 | (1) 接触引弧 (2) 钨电极熔化 | (1) 采用高频振荡器或高压脉冲发生器引弧 (2) 减小焊接电流或加大钨电极直径, 旋紧钨电极夹头和减小钨电极伸出长度 (3) 调换有裂纹或撕裂的钨电极 |
| 气保护效果差 | 氢、氮、空气、水气等有害气体污染 | (1) 采用纯度为 99.99% 的氩气 (2) 有足够的提前送气和滞后停气时间 (3) 正确连接气管和水管, 不可混淆 (4) 做好焊前清理工作 (5) 正确选择保护气流量、喷嘴尺寸、电极伸出长度等 |
| 电弧不稳 | (1) 焊件上有油污 (2) 接头坡口太窄 (3) 钨电极污染 (4) 钨电极直径过大 (5) 弧长过长 | (1) 做好焊前清理工作 (2) 加宽坡口, 缩短弧长 (3) 去除污染部分 (4) 使用正确尺寸的钨电极及夹头 (5) 压低喷嘴距离 |

(续)

| 缺陷 | 产生原因 | 防止措施 |
|--------|---|--|
| 钨极损耗过剧 | (1) 气保护不好, 钨电极氧化 (2) 反极性连接 (3) 夹头过热 (4) 钨电极直径过小 (5) 停焊时钨电极被氧化 | (1) 清理喷嘴, 缩短喷嘴距离, 适当增加氩气流量 (2) 增大钨电极直径或改为正接法 (3) 磨光钨电极, 调换夹头 (4) 调大直径 (5) 增加滞后停气时间, 不少于 1s/10A |

引燃后的钨极氩弧将上层的薄板熔透, 再与下层薄板熔合在一起, 凝固成焊点。焊接时, 喷嘴压紧焊件, 使连接处不出现过大间隙, 并保持电弧长度恒定。氩气从喷嘴旁侧的小孔流出。焊点优劣取决于焊接电流、电弧长度和电弧燃烧时间, 采取非接触引弧和程序控制来保证上述参数正确。表 5-16 和表 5-17 分别列出低碳钢和不锈钢钨极氩弧定位焊规范。

表 5-16 低碳钢钨极氩弧定位焊规范

| 两焊件厚度/mm | 电流/A | 电弧燃烧时间/s | 点焊周期/s | 焊点直径/mm | 最小破坏力/N |
|----------|--------|----------|--------|---------|---------|
| 0.5+0.5 | 50~70 | 0.5~1 | 2~3 | φ3~4 | 1200 |
| 0.5+1 | 70~90 | 1~2 | 3~4 | φ4~5 | 1500 |
| 1+1 | 90~130 | 1~2.5 | 4~5 | φ5~7 | 2500 |
| 1+1.2 | 90~130 | 1.2~2.6 | 4~5 | φ6~8 | 3000 |
| 1.5+1.5 | 90~110 | 4~7 | 6~9 | φ7~9 | 5000 |
| 1.5+2 | 90~110 | 6~16 | 8~20 | φ7~10 | 6000 |

表 5-17 不锈钢钨极氩弧定位焊规范

| 两焊件厚度/mm | 电流/A | 电弧燃烧时间/s | 点焊周期/s | 焊点直径/mm | 最小破坏力/N |
|----------|--------|----------|--------|----------|---------|
| 0.4+0.4 | 50+90 | 0.2~0.3 | 2 | φ3~3.5 | 1500 |
| 0.8+0.8 | 70~120 | 0.8~1.8 | 3 | φ4~5 | 2500 |
| 0.8+1 | 80~130 | 1.2~2.5 | 4 | φ5~6 | 4000 |
| 0.8+1.2 | 90~140 | 1.3~2.6 | 5 | φ5~7 | 4000 |
| 1+1 | 90~140 | 1.3~2.6 | 5 | φ5~7 | 4000 |
| 1+1.5 | 90~140 | 2.5~4 | 6~7 | φ6.5~7.5 | 5000 |
| 1.5+1.5 | 90~130 | 3~6 | 8~10 | φ7~8 | 7000 |

(续)

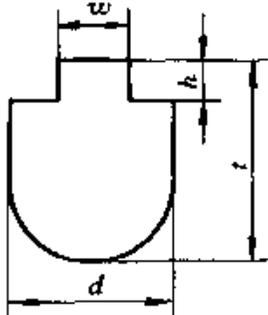
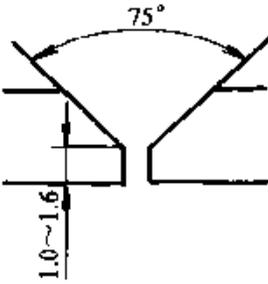
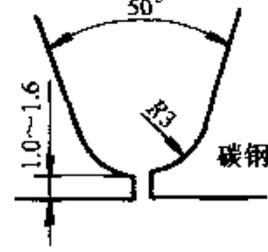
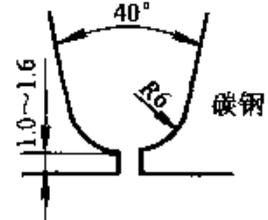
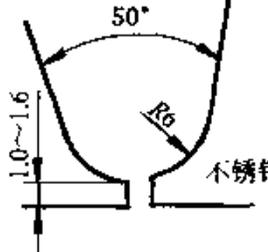
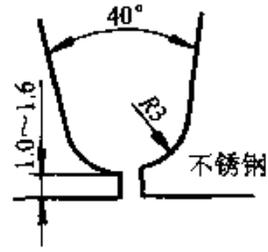
| 两焊件厚度/mm | 电流/A | 电弧燃烧时间/s | 点焊周期/s | 焊点直径/mm | 最小破坏力/N |
|----------|---------|----------|--------|---------|---------|
| 1.5+2 | 90~130 | 4~7 | 9~11 | φ8~9.5 | 8000 |
| 1.5+2.5 | 90~130 | 6~12 | 10~15 | φ8~10 | 9000 |
| 2+2.5 | 100~130 | 8~16 | 12~24 | φ9~12 | 12000 |

7. 手工钨极氩弧打底焊

打底焊要求有良好的背面成形和焊接质量,适用于管子的半自动钨极氩弧对接焊。表 5-18 列出插入件于接头坡口的配合尺寸。

坡口用机械加工法开成表 5-18 所示尺寸,用半自动钨极氩弧焊进行点固装配。然后进行打底焊,焊接电流为 90A,电弧电压为 12V。为获得高质量的打底焊缝,须在被焊管子的端头封一盖板,板上接一通氦气的管子,利用氦气流进行冲洗保护,防止焊缝背面污染。

表 5-18 插入件与接头坡口尺寸

| 插入件尺寸/mm | 坡口尺寸/mm | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|--|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|--|--|--|
| | 板厚 < 6 | 板厚 6~12 | 板厚 > 12 | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  |  | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" data-bbox="259 1407 544 1575"> <thead> <tr> <th>h</th> <th>w</th> <th>d</th> <th>t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.0</td> <td>1.2</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>1.6</td> <td>1.6</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table> | h | w | d | t | 1.0 | 1.2 | 3 | 3 | 1.6 | 1.6 | 4 | 4 | | | |
| h | w | d | t | | | | | | | | | | | | |
| 1.0 | 1.2 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 1.6 | 1.6 | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | |

第 6 章 压力管道的焊接

6.1 管道焊接概述

工业管道安装与焊接执行的主要技术标准有《工业金属管道工程施工及验收规范》GB50235—1997，适用于冶金、石油、化工、机械、电力、轻工、纺织等行业的碳素钢、合金钢、不锈钢、铸铁、非铁金属工业管道的施工及验收。同时，管道焊接应按国家标准《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》GB50236—1998 的有关规定进行。

6.1.1 工业管道的分类与分级

1. 按管道材质、温度、压力为参数的管道分类见表 6-1。

表 6-1 管道分类

| 材 质 | 工作温度 /°C | 工作压力/MPa | | | | |
|-------------|-------------|----------|--------|--------|--------|------|
| | | I | II | III | IV | V |
| 碳素钢 | ≤370 | >32 | >10~32 | >4~10 | >1.6~4 | ≤1.6 |
| | >370 | >10 | >4~10 | >1.6~4 | ≤1.6 | — |
| 合金钢及 不锈钢 | ≤-70 或 ≥450 | 任意 | — | — | — | — |
| | -70~450 | >10 | >4~10 | >1.6~4 | ≤1.6 | — |
| 铝及铝合金 | 任 意 | — | — | — | ≤1.6 | — |
| 铜及铜合金 | 任 意 | >10 | >4~10 | >1.6~4 | ≤1.6 | — |

注：1. 剧毒介质的管道按 I 类管道；

2. 有毒介质、甲、乙类火灾危险物质的管道均应升一类。

2. 工业管道分级

工业管道施工可按设计压力为主要参数进行分级

真空管道：设计压力小于 0MPa；

低压管道：设计压力大于 0MPa；小于或等于 1.6MPa；

中压管道：设计压力大于 1.6MPa，小于或等于 10MPa；

高压管道：设计压力大于 10MPa。

6.1.2 管道组成件及支承件检验

1. 一般要求

管道组成件必须具有制造厂的合格证明书,否则应补所缺项目的检验。

管道组成件在使用前应按设计要求对其规格、材质和型号进行核对。并对管子、管件和阀门的外观进行检查,其表面应符合下列要求:

- 1) 无裂纹、缩孔、夹杂、折叠、重皮等缺陷;
- 2) 表面锈蚀或凹陷造成的壁厚减薄量不应超过壁厚的负偏差;
- 3) 螺纹密封面良好,精度及表面粗糙度应达到设计要求或制造标准;
- 4) 合金钢应有材质标记。

除奥氏体不锈钢外,工作环境温度低于 -20°C 的钢管及钢制管件应有低温冲击韧度值,否则应按 GB/T 229—1994《金属夏比缺口冲击试验方法》的规定进行试验,其低温冲击韧度值不应低于规定值的下限。

2. 钢管检验

钢管应按制造标准进行验收。验收应分批进行,每批钢管应是同规格、同炉罐号、同热处理条件的。

1) 钢管的质量证明书应注明:

供方名称或标记;

需方名称;

发货日期;

合同号;

产品标准号;

钢的牌号;

炉罐号、批号、交货状态、重量(或根数)和件数;

品种名称、规格及质量等级;

产品标准中所规定的各项检验结果(包括参考性指标);

技术监督部门印记。

外径大于或等于 36mm 的钢管,应有印记。印记应包括钢的牌号、产品规格、产品标准号和供方印记或注册商标。合金钢管应在钢的牌号后印有炉号、批号。

外径小于 36mm 成捆供货的钢管,应有标牌,标明供方印记或注册商标、钢的牌号、炉号(产品标准未规定按炉号交货者除外)、批号、

合同号、产品规格、产品标准号、重量或根数、制造日期和供方监督部门的印记。

2) 防腐衬里管道衬里的质量要求如下:

衬软聚氯乙烯的管道, 衬里表面不得有深度超过 0.5mm 的裂纹, 划痕或气孔等缺陷。焊道挤浆应连续、均匀, 不得有过烧或未焊透现象。

3) 高压钢管校验性检查应按下列要求进行:

① 高压钢管验收时, 如证明书与到货钢管的钢号或炉罐号不符; 钢管或标牌上无钢号、炉罐号, 应进行校验性检查。

② 校验性检查为力学性能检验和材质化学分析。

全部钢管逐根编号后检查硬度。从中选出硬度最高和最低的各一根, 每根制备拉伸试样 2 个, 冲击试样 3 个, 压扁或弯曲试样 1 个。

拉伸试验按 GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸试验方法》进行, 当壁厚限制无法制取标准试样时, 可用管子直接拉伸。

冲击试验按 GB/T 229—1994《金属夏比缺口冲击试验方法》进行, 当壁厚小于 12mm 时, 可不进行冲击试验。

外径大于 22mm 时, 应按 GB5310—1995《高压锅炉用无缝钢管》进行压扁试验; 外径小于或等于 22mm 时, 应按 GB/T 8163—1999《输送流体用无缝钢管》的规定做冷弯试验。

高压钢管的化学分析应从力学性能试验的钢管或试样上取样进行。例如:

高压锅炉用无缝钢管的力学性能见表 6-2, 化学成分见表 6-3。压扁试验后试样裂纹深度; 冷拔(轧)管不得大于 0.2mm; 热轧(挤压)管不得大于 0.3mm; 但热扩管可不大于 0.5mm。

表 6-2 高压锅炉用无缝钢管力学性能

| 钢类 | 序号 | 钢号 | 纵向力学性能 | | | | 横向力学性能 | | | |
|-------|----|-----|--------------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------------|
| | | | 抗拉强度 | 屈服点 σ_s | 伸长率 δ_s | 冲击韧度 a_K | 抗拉强度 σ_b | 屈服点 σ_s | 伸长率 δ_s | 冲击韧度 a_K |
| | | | σ_b /MPa | /MPa | (%) | /(J/cm ²) | /MPa | /MPa | (%) | /(J/cm ²) |
| 优质碳素钢 | 1 | 20G | 412~549 | 245 | 24 | 49 | 402 | 216 | 22 | 39 |

(续)

| 钢类 | 序号 | 钢号 | 纵向力学性能 | | | | 横向力学性能 | | | |
|-----|-----|---------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|--|----------------------------|---------------------------|--------------------------|--|
| | | | 抗拉强度 σ_b /MPa | 屈服点 σ_s /MPa | 伸长率 δ_5 (%) | 冲击韧度 a_K /(J/cm ²) | 抗拉强度 σ_b /MPa | 屈服点 σ_s /MPa | 伸长率 δ_5 (%) | 冲击韧度 a_K /(J/cm ²) |
| | | | 不小于 | | | | 不小于 | | | |
| 合金钢 | 2 | 12CrMo | 412~559 | 206 | 21 | 69 | | | | |
| | 3 | 15CrMo | 441~638 | 235 | 21 | 59 | 441 | 226 | 20 | 49 |
| | 4 | 12Cr2Mo | 450~600 | 280 | 20 | | | | 18 | |
| | 5 | 12Cr1MoV | 471~638 | 255 | 21 | 59 | 441 | 255 | 19 | 49 |
| | 6 | 12Cr2MoWVTiB | 540~736 | 343 | 18 | | | | | |
| | 7 | 12Cr3MoVSiTiB | 608~804 | 341 | 16 | | | | | |
| | 8 | 12MoVWBSiXt | 540~687 | 314 | 18 | | | | | |
| | 不锈钢 | 9 | 1Cr19Ni9 | ≥520 | 206 | 35 | | | | |
| 热钢 | 10 | 1Cr19Ni11Nb | ≥520 | 206 | 35 | | | | | |

注：1. 允许一个试样的冲击值比表中规定数值低 $1\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ ($10\text{J}/\text{cm}^2$)，但一组三个试样的算术平均值不小于表中规定，20G 钢的横向冲击值不允许降低。

2. 用 12Cr2Mo 钢制造的钢管，当外径不大于 30mm、壁厚不大于 3mm 时，其屈服点允许降低 $1\text{kgf}/\text{mm}^2$ ($10\text{N}/\text{mm}^2$)。

3. 当壁厚大于 16~40mm 时，屈服点允许降低 $1\text{kgf}/\text{mm}^2$ ($10\text{N}/\text{mm}^2$)，壁厚大于 40mm 时，屈服点允许降低 $2\text{kgf}/\text{mm}^2$ ($20\text{N}/\text{mm}^2$)。

4. 要作 V 型缺口冲击试验，其冲击功值要填在质量证明书中，不作交货依据。

高压钢管在校验性检查中，如有不合格项目，须以加倍数量的试样复查。复查只进行原来不合格的项目。复查的试样要在原来不合格的钢管和与该管硬度最接近的另一钢管上截取。当复查结果仍有一个项目不合格时，则应对该批管子逐根检查，不合格者不得使用。

高压管如无出厂时的表面无损探伤检验合格证明，应逐根进行无损检测。对有表面探伤检测合格证，但外观检查发现缺陷的高压管，应在该批管子中抽 10% 进行表面外观检测，如发现不合格者，应对该批管子逐根进行无损检测。

外径大于 12mm 的磁性材料高压管，采用磁粉检测；非磁性材料高压管，采用荧光渗透或渗透着色探伤。表面探伤检测合格后，还应按 GB/T 5777—1996《无缝钢管超声波探伤检验方法》的要求，进行内部及内表面的探伤。

表 6-3 高压锅炉用无缝钢管化学成分

| 钢类 | 序号 | 钢 号 | 化学成分 (质量分数, %) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----|---------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|----|-------|----|-------|-------|-------|-------|
| | | | C | Mn | Si | Cr | Mo | V | Ti | B | W | Ni | Nb+Ta | RE | S | P | | |
| 优质 碳素钢 | 1 | 20G | 0.17~ 0.24 | 0.35~ 0.65 | 0.17~ 0.37 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.035 |
| | 2 | 12CrMo | 0.08~ 0.15 | 0.40~ 0.70 | 0.17~ 0.37 | 0.40~ 0.70 | 0.40~ 0.55 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.035 |
| | 3 | 15CrMo | 0.12~ 0.18 | 0.40~ 0.70 | 0.17~ 0.37 | 0.80~ 1.10 | 0.40~ 0.55 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.035 |
| | 4 | 12Cr2Mo | 0.08~ 0.15 | 0.40~ 0.70 | ≤0.50 | 2.00~ 2.50 | 0.90~ 1.20 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.035 |
| 合金钢 | 5 | 12Cr1MoV | 0.08~ 0.15 | 0.40~ 0.70 | 0.17~ 0.37 | 0.90~ 1.20 | 0.25~ 0.35 | 0.15~ 0.30 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.035 |
| | 6 | 12Cr2MoWVTiB | 0.08~ 0.15 | 0.45~ 0.65 | 0.45~ 0.75 | 0.16~ 2.10 | 0.50~ 0.65 | 0.28~ 0.42 | 0.08~ 0.18 | ≤0.008 | 0.30~ 0.55 | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.035 |
| | 7 | 12Cr3MoVSiTiB | 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 | — | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.035 |
| | 8 | 12MoVWBSiXt | 0.08~ 0.15 | 0.40~ 0.70 | 0.60~ 0.90 | — | 0.45~ 0.65 | 0.30~ 0.50 | 0.06* | 电炉 0.008* 平炉 0.01 | 0.15~ 0.40 | — | — | — | 0.15* | 0.040 | 0.040 | |
| 不锈钢 热钢 | 9 | 1Cr19Ni9 | 0.04~ 0.10 | ≤2.00 | ≤1.00 | 18.00~ 20.00 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.030 | 0.035 |
| | 10 | 1Cr19Ni11Nb | 0.04~ 0.10 | ≤2.00 | ≤1.00 | 17.00~ 20.00 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.030 | 0.035 |

注: 1. *指加入量。

2. 残余铜含量不大于 0.25%。

3. 20G 钢中, 酸溶铝不大于 0.010%, 暂不作交货依据, 但应填在质量证明书中。

4. 用纯氧顶吹转炉加炉外精炼制造的钢, 氮含量不大于 0.008%。

表面无损探伤检测发现的缺陷应修磨至缺陷全部消除为止。除去缺陷后的实际管壁厚度应不小于管子公称壁厚的 90%，且不小于设计壁厚。实际壁厚可用超声测厚仪测定。

6.1.3 管道的焊接

1. 焊接连接的应用范围

管道焊接连接按焊接工艺的不同，有气焊、焊条电弧焊、手工氩弧焊、埋弧焊等。管道安装工程现场主要是用气焊和焊条电弧焊。气焊通常是指氧乙炔焊，它一般用于外径小于或等于 57mm、壁厚 $\leq 3.5\text{mm}$ 的碳素钢、钢、铝管的焊接。管径较大、管壁较厚的钢管的焊接，一般都采用电弧焊。本节所讲的电弧焊主要是指焊条电弧焊。

2. 焊接前的准备工作

(1) 焊件组对前应将坡口及其内外侧表面不小于 10mm 范围内的油、漆、垢、锈、毛刺及镀锌层等清理干净，且不得有裂纹、夹层等缺陷，其清理要求见表 6-4，清理合格后应及时焊接。

表 6-4 坡口及其内外表面的清理

| 管道材质 | 清理范围/mm | 清理物 | 清理方法 |
|------------------------|-----------|-------------|--------------------------|
| 碳素钢 不锈钢 、 合金钢 | ≥ 10 | 油、漆、锈、毛刺等污物 | 手工或机械等 |
| 铝及铝合金 | ≥ 50 | 油污、氧化膜等 | 有机溶剂除净油污， 化学或机械法除净氧化膜 |
| 铜及铜合金 | ≥ 20 | | |
| 钛 | ≥ 50 | | |

(2) 不圆的管子要整圆，管子对口前要检查平直度，在距焊口 200mm 处测量，允许偏差不大于 1mm，一根管子全长的偏差不大于 10mm，如图 6-1 所示。

(3) 对接焊连接的管子端面应与管子轴线垂直，垂直度 α 值最大不能超过 1.5mm，如图 6-2 所示。

3. 焊接坡口

(1) 焊接坡口的形式 管子管件在焊接之前，应根据管材的

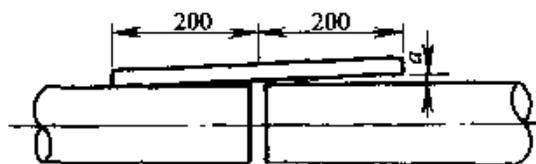


图 6-1 管道组对偏差

- 1) 当管径 $< 100\text{mm}$ 时， $a < 0.6\text{mm}$
- 2) 当管径 $\geq 100\text{mm}$ 时， $a < 1.0\text{mm}$

材质、壁厚和焊接方式，加工焊接坡口。选用坡口形式应考虑保证焊接质量，便于操作，减少填充金属和减少焊接变形等原则。

(2) 碳素钢、低合金钢及奥氏体不锈钢管子管件的坡口形式和尺寸应符合设计文件和焊接作业指导书的规定。当无规定时，埋弧焊焊缝坡口形式及尺寸应符合现行国家标准《埋弧焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》GB/T 986—1988 的规定，其他焊缝坡口形式和尺寸应符合表 6-5 的规定。

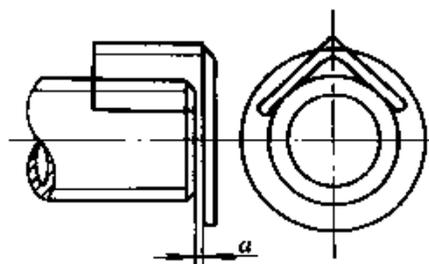
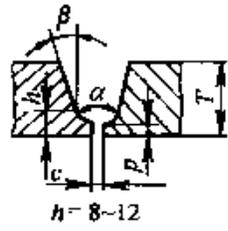
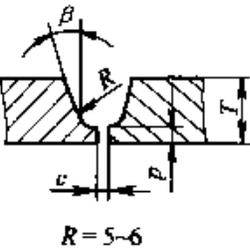
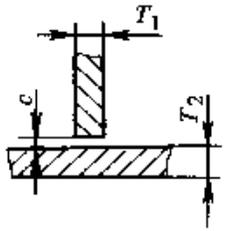
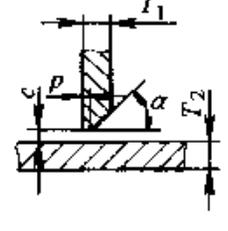
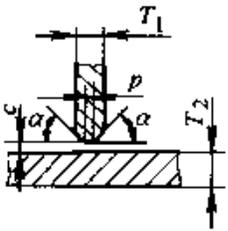


图 6-2 管子端面垂直度检查

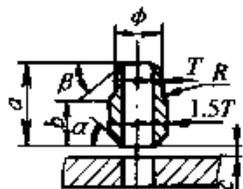
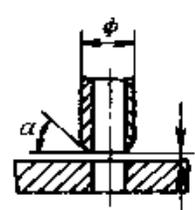
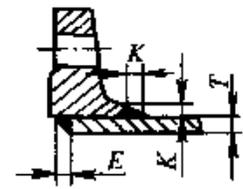
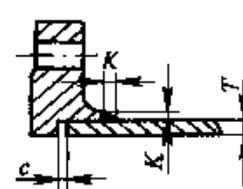
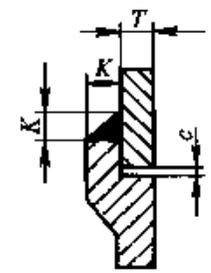
表 6-5 碳素钢、合金钢管焊接常用坡口形式及尺寸

| 项次 | 厚度 T /mm | 坡口名称 | 坡口形式 | 坡口尺寸 | | | 备注 |
|----|------------------|-------------|------|------------------|------------------|-------------------------------|-----|
| | | | | 间隙 c /mm | 钝边 p /mm | 坡口角度 $\alpha(\beta)$ /° | |
| 1 | 1~3 | I形坡口 | | 0~1.5 | — | — | 单面焊 |
| | 3~6 | | | 0~2.5 | — | — | |
| 2 | 3~9 | V形坡口 | | 0~2 | 0~2 | 65~75 | 双面焊 |
| | 9~26 | | | 0~3 | 0~3 | 55~65 | |
| 3 | 6~9 | 带垫板 V形坡口 | | 3~5 | 0~2 | 45~55 | |
| | 9~26 | | | 4~6 | 0~2 | | |
| 4 | 12~60 | X形坡口 | | 0~3 | 0~3 | 55~65 | |

(续)

| 项次 | 厚度 T /mm | 坡口名称 | 坡口形式 | 坡口尺寸 | | | 备注 |
|----|------------------|----------------|--|------------------|------------------|--|----|
| | | | | 间隙 c /mm | 钝边 p /mm | 坡口角度 $\alpha(\beta)$ /($^{\circ}$) | |
| 5 | 20~60 | 双V形坡口 |  <p>$h=8\sim 12$</p> | 0~3 | 1~3 | 65~75 (8~12) | |
| 6 | 20~60 | U形坡口 |  <p>$R=5\sim 6$</p> | 0~3 | 1~3 | (8~12) | |
| 7 | 2~30 | T形接头 I形坡口 |  | 0~2 | — | — | |
| 8 | 6~10 | T形接头 单边V形坡口 |  | 0~2 | 0~2 | 45~55 | |
| | 10~17 | | | 0~3 | 0~3 | | |
| | 17~30 | | | 0~4 | 0~4 | | |
| 9 | 20~40 | T形接头 对称K形坡口 |  | 0~3 | 2~3 | 45~55 | |

(续)

| 项次 | 厚度 T /mm | 坡口名称 | 坡口形式 | 坡口尺寸 | | | 备注 |
|----|-----------------------|------------|--|------------------|------------------|-------------------------------|--|
| | | | | 间隙 c /mm | 钝边 p /mm | 坡口角度 $\alpha(\beta)$ /° | |
| 10 | 管径 $\phi \leq 76$ | 管座坡口 |  <p>$a=100 \quad b=70 \quad R=5$</p> | 2~3 | — | 50~60 (30~35) | |
| 11 | 管径 $\phi 76 - 133$ | 管座坡口 |  | 2~3 | — | 45~60 | |
| 12 | | 法兰角 焊接头 |  | — | — | — | $K=1.4T$, 且不大于 颈部厚度; $E=6.4$, 且不大于 T |
| 13 | | 承插焊 接法兰 |  | 1.6 | — | — | $K=1.4T$, 且不大于 颈部厚度 |
| 14 | | 承插焊 接头 |  | 1.6 | — | — | $K=1.4T$, 且不小于 3.2 |

4. 管子对接焊缝的组对要点

(1) 两个管端组对时，钝边间应留有一个间隙，称为装配间隙或对口间隙。对口间隙的大小与材质、管壁厚度、施焊方法和焊接参数等因素有关，可参照有关要求选用。对口间隙偏小，容易出现根部未焊透，对口间隙过大，根部又容易焊穿。因此，对口间隙的大小应符合焊接工艺要求。

同一焊口的对口间隙，在各方向应是均匀的，但在大直径的横管固定焊时，考虑到焊缝的收缩会引起对口间隙的减小（这种焊口多采用分两半自下而上的施焊方法），平焊位置的间隙可适当放大一些，见图 6-3。

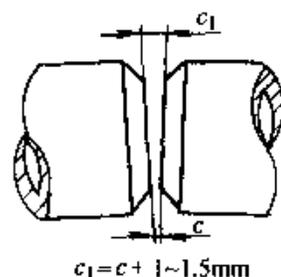


图 6-3 大直径横管定位焊的对口间隙

(2) 焊件组对时应垫置牢固，并应采取措施防止焊接和热处理过程中产生附加应力和变形。

(3) 厚度相等的焊件组对

1) 管子对口间隙应符合工艺要求，除设计规定的冷拉焊口外，对口不得强力对正；

2) 连接闭口管段的对接焊口，如对口间隙过大应更换长管，不允许用加热管子的方法来缩小间隙，也不允许用其他材料来堵缝或采取多层焊垫缝等方法来弥补过大间隙；

3) 管子对口应保证两管段中心线在同一条直线上，焊口处不得有弯曲变形；

4) 壁厚相同的管子、管件组对，其外壁应做到平齐、内壁错边量应符合表 6-6 的规定。

表 6-6 管道组对内壁错边量

| 管道材质 | | 内壁错边量 |
|---------|----------------------|----------------------|
| 钢 | | 不宜超过壁厚的 10%，且不大于 2mm |
| 铝及铝合金 | 壁厚 $\leq 5\text{mm}$ | 不大于 0.5mm |
| | 壁厚 $> 5\text{mm}$ | 不宜超过壁厚的 10%，且不大于 2mm |
| 铜及铜合金、钛 | | 不宜超过壁厚的 10%，且不大于 1mm |

5) 设备、容器对接焊缝组对时的错边量应符合表 6-7 及下列规定：

①只能从单面焊接的纵向和环向焊缝，其内壁最大错边量不应超过2mm；

表 6-7 设备、容器对接焊缝组对时的错边量 (mm)

| 母材厚度 δ | 错 边 量 | |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|
| | 纵向焊缝 | 环向焊缝 |
| $\delta \leq 12$ | $\leq \delta/4$ | $\leq \delta/4$ |
| $12 < \delta \leq 20$ | ≤ 3 | $\leq \delta/4$ |
| $20 < \delta \leq 40$ | ≤ 3 | ≤ 5 |
| $40 < \delta \leq 50$ | ≤ 3 | $\leq \delta/8$ |
| $\delta > 50$ | $\leq \delta/16$, 且不大于 10 | $\leq \delta/8$, 且不大于 20 |

注：表中 δ 表示工件母材厚度。

②复合钢板组对时，应以复层表面为基准，错边量不应超过钢板复层厚度的 50%，且不应大于 1mm。

(4) 厚度不相等的焊件组对 当薄件厚度小于或等于 10mm、厚件与薄件的厚度差大于 3mm 以及薄件厚度大于 10mm、厚件与薄件的厚度差大于 5mm 或超过薄件厚度的 30% 时，应按图 6-5 的规定，对厚件进行加工，使之有一段 L 长的过渡段，以防止造成焊接应力集中。

由图 6-4 可以知道：①当厚件与薄件的内径(或外径)相等时，应使内径(或外径)齐平，将厚件的外壁(或内壁)削薄，使之等于薄件的厚度；②过渡长度 L 为厚件与薄件厚度差的 4 倍以上；③当厚件与薄件的厚度差小于或等于 5mm 时，也可以采用图 6-4(4)的加工形式。

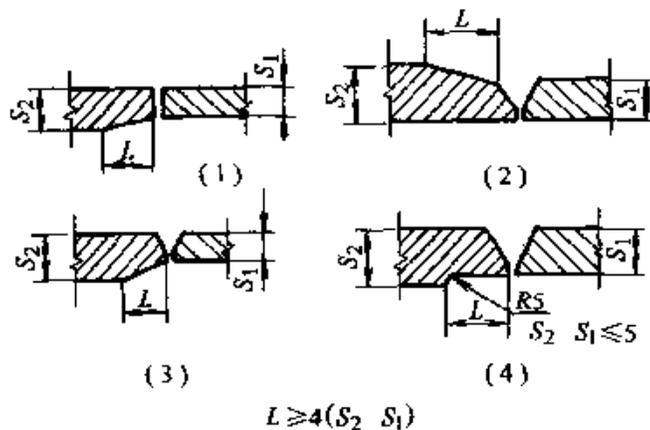


图 6-4 焊件坡口形式

不等厚管道组成件组对时，当内壁错边量超过表 6-6 的规定或外壁错边量大于 3mm 时，应进行修整（图 6-5）。

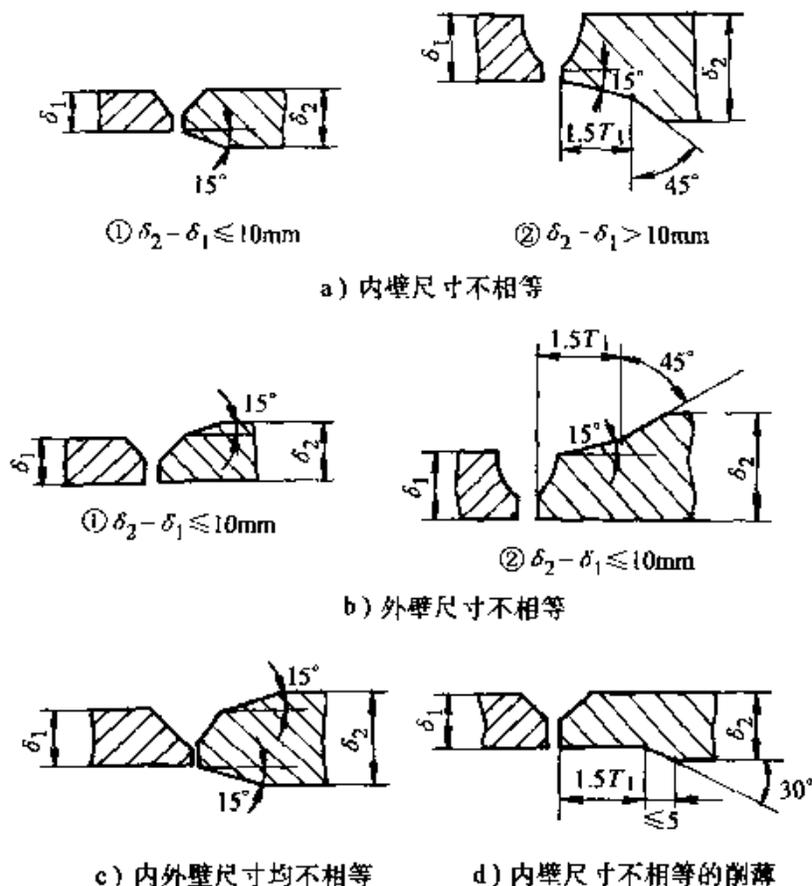


图 6-5 不等厚对接焊件坡口加工

注：用于管件时如受长度条件限制，图 a) ①、b) ①和 c) 中的 15°角允许改用 30°角。

5. 管道对接口装配对口器

为了完成管子的焊前装配，可以采用能将两件对接件圆柱面重合在一起的对口器。对口时要将单根管子或联通管组的接口固定起来，使对口处没有错边，不能相对于 3 个坐标轴作回转。根据对口器在管子基面的安装位置分为内对口器和外对口器。外对口器用于焊接管径小于 529mm 的旋转和非旋转对接口，也用于焊接直径小于或等于 1420mm 管道的区段间隙对接口。外对口器结构简单，重量不大，也比较便宜。根据外对口器的结构可分成链式的和偏心式的两种。偏心式对口器由 2~3 个带支撑的卡板、偏心夹头、两个拉杆和十字形基座组成。由于采用这种结构，可以使对接口的组对加快并可快速拆下对口器。已制成使用 4 种标准尺寸的偏心式外对口器，每种尺寸都配备有放置垫片或拱形物的方法，可装配两种以上管径组对的全套零件。偏心式对口器的标准

尺寸列于表 6-8。

表 6-8 偏心对口器技术特性

| 管径/mm | 对口器重量/kg | 管径/mm | 对口器重量/kg |
|---------|------------|---------|------------|
| 89~159 | 7 | 273~325 | 13.9; 17.7 |
| 168~219 | 11.7; 14.7 | 377~426 | 15.5; 19.3 |

多环式外对口器（图 6-6）有若干外环 6 和内环 5，彼此以铰链方式连接起来，与折锁 3 一起构成一条封闭链。内环上固定着滑轮 4，对口时靠滑轮顶住管子。封闭铰链有十字接头 2 和扣紧螺钉 1。装配时，将打开的对口器多环链放在管子下面，然后将折锁 3 套到十字接头的轴颈上。对口时，将多环链的薄板对称配置到接头面的两侧。接着用扣紧螺钉 1 拧紧多环链，由滑轮 4 重合两根管子的坡口。

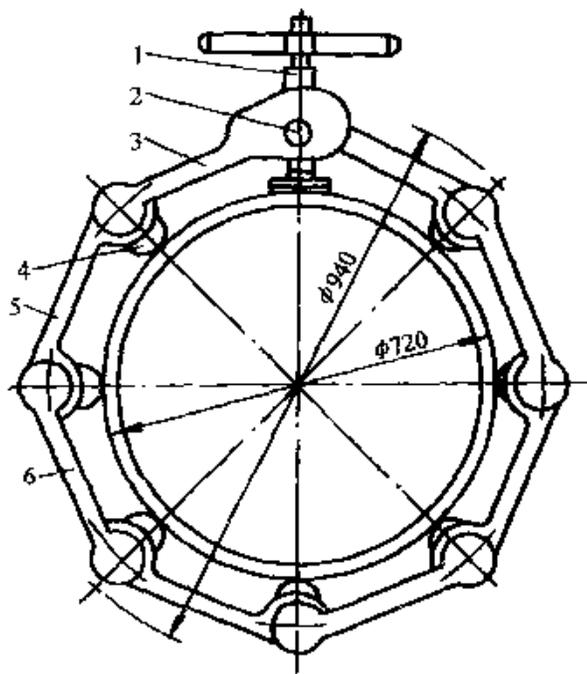


图 6-6 多环式对口器

1—扣紧螺钉 2—十字接头 3—折锁
4—滑轮 5—内环 6—外环

多环式对口器工作时，壳体不产生弯矩，这样，在公称直径相同的情况下能制造出比偏心对口器或刚性单铰链式对口器轻便的对口器。LQ3A 型链式对口器的构造和尺寸列于表 6-9。

表 6-9 多环式对口器技术特性

| 型 号 | 管径/mm | 对口器重量/kg |
|----------|-------|----------|
| LQ3-51A | 529 | 21 |
| LQ3-61A | 630 | 24 |
| LQ3-71A | 720 | 27 |
| LQ3-81A | 820 | 30 |
| LQ3-91A | 920 | 33 |
| LQ3-101A | 1020 | 36 |
| LQ3-121A | 1220 | 42 |
| LQ3-141A | 1420 | 48 |

所有的铰链、支撑轮和轴都是规格化的，这样就能在上述直径范围内，通过增减铰链而将对口器调整到对任何直径的管子都适用。

由于内对口器或分压对口器能使管子坡口的重合更为精确，因而可保证管子装配的更高质量。对口时，接头外面是敞开的，因而无需预先进行定位焊就可以直接施焊。当对口器动力装置具有足够的功率，其壳体具有很高的强度时，对口器还可用作调整管端周长的扩管器。

不论是焊接干线管道的旋转接头还是非旋转接头，采用内对口器都能提高装配工作的效率和机械化程度。

内对口器按焊接直径为325~1420mm的管子生产，这些内对口器装备有液压传动机构。内对口器（图6-7）由装有对中机构4的“小车”1，带有液压箱3的液压传动机构2，控制机构5和防护罩6组成。对口器借助推杆传递的外力或借助自行机构由一个对接口向另一个对接口移动。对口器的主要工作部件是对中机构。有两种向撑开基座上传递力量的基本设计最为流行：铰链式和楔面式。圆锥楔形多压杆式机构（图6-8）用于要求高精度的管子的组对，因为楔面式多压杆对中机构（图6-8）传递的撑开力受到在楔面和辊子之间发生的高接触应力的限

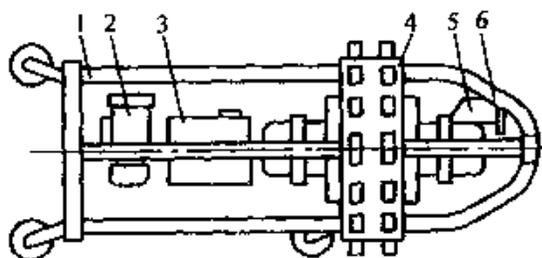


图 6-7 内对口器示意图

- 1—小车 2—液压传动机构 3—油压箱
4—对中机构 5—控制机构 6—防护罩

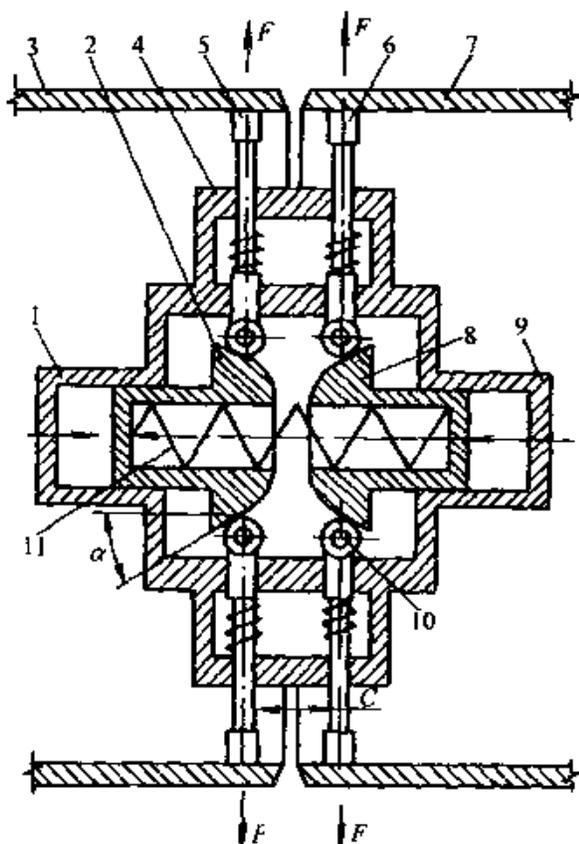


图 6-8 液压内对口器示意图

- 1、9—圆筒 2、8—球形楔 3、7—管子
4—刚性壳体 5、6—杠杆夹具
10—滚柱 11—弹簧

表 6-10 液压内对口器技术特性

| 指 标 | LIB-32 | LIB-58 | LIB-61 | LIB-81 | LIB-92 | LIB-104 | LIB-124 | LIB-144 | LIB-104 ^① | LIB-124 ^① | LIB-144 ^① |
|-------------------|------------------------------------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 对接管子直径/mm | 325, 351, 377, 330, 356, 381 | 529 | 630 | 720~820 | 920 | 1020 | 1220 | 1420 | 1020 | 1220 | 1420 |
| 一排夹具张开的总应力/ kN | 400 | 410 | 600 | 600 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 |
| 一排夹具数量/个 | 6 | 6 | 6 | 9 | 12 | 12 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 夹具张开和夹紧时间/s | 4/2 | 5/2 | 5/2 | 7/4 | 9/7 | 12/10 | 12/10 | 12/10 | 12/10 | 12/10 | 12/10 |
| 尺寸/mm: | | | | | | | | | | | |
| 长 (不含导电棒) | 2000 | 1700 | 1700 | 2380 | 2600 | 3265 | 3265 | 3265 | 2925 | 2925 | 2925 |
| 直径 | 380 | 500 | 600 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 | 1000 | 1220 | 1420 |
| 导电棒长 | 36500 | 37000 | 37000 | 37000 | 37000 | 38500 | 38500 | 38500 | 38500 | 38500 | 38500 |
| 对口器重量 (不含导电棒) /kg | 260 | 289 | 350 | 760 | 940 | 1465 | 1670 | 1910 | 1405 | 1640 | 1810 |
| 导电棒重量/kg | 115 | 95 | 95 | 95 | 95 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |

① 波兰产对口器, 供货时不带导电棒。对口夹具两排。电力液压传动。直流电, 27V, 最大功率 4.87kW, 液压系统额定压力 14.7MPa。

制。这种机构的优点是其恒定的撑开力，不受压杆行程和对中管子直径大小的限制。表 6-10 中列出主要几种规格的内对口器技术特性。

液压内对口器的性能是建立在多柱塞式楔形夹具作用的基础上的(图 6-8)。两块球形楔(左 2, 右 8)安装在刚性壳体 4 内。在圆筒 1 和 9 中滑油压力的作用下,球形楔端部经滚柱 10 作用到两排独立的杠杆夹具 5 和 6 上。在对口的第一阶段,管子 3 的端部由左排杠杆夹具 5 夹紧。然后安装第 2 根管子 7, 保持必要的空隙, 并松开右排的杠杆夹具 6。这样, 管端便具备了一定的形状, 而管子中心线则处于所需的空状态。焊完根焊道后, 液压油从圆筒腔内流出, 楔形夹具在弹簧 11 的作用下恢复原状, 从而解除了杠杆夹具对管子的夹力。

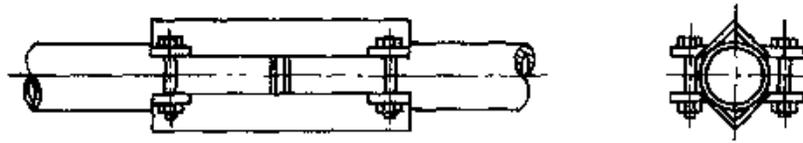


图 6-9 对口器

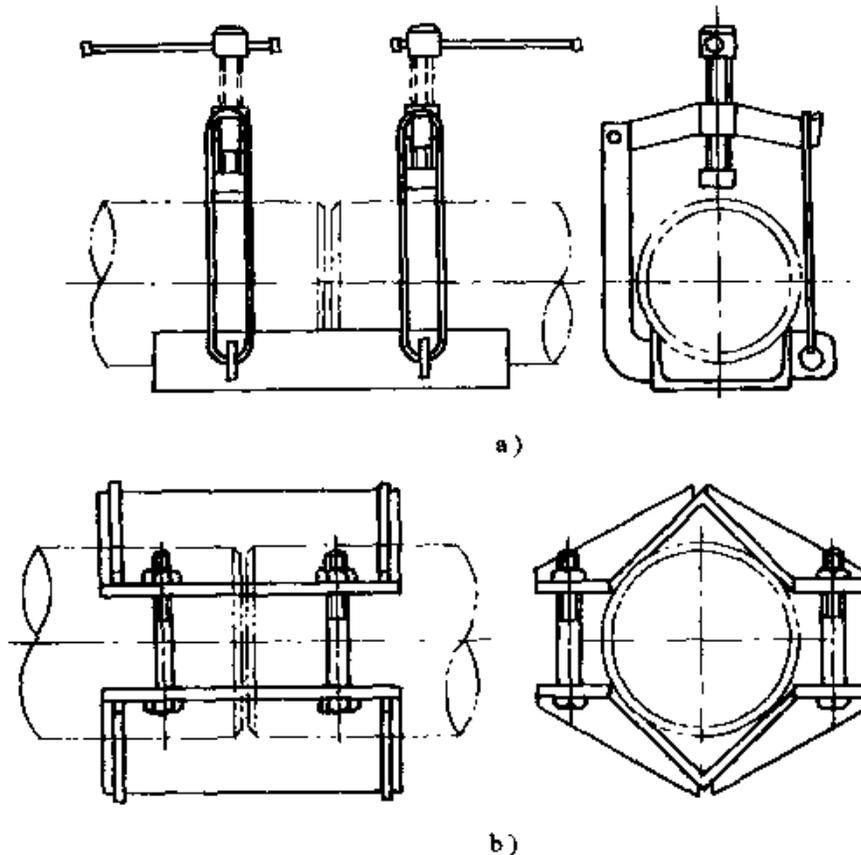


图 6-10 小直径管道组对卡具

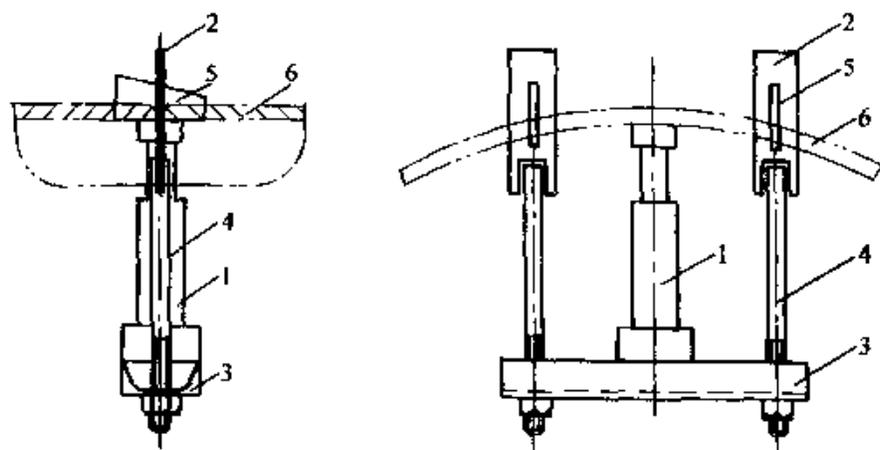


图 6-11 大直径管道组对卡具

1—千斤顶 2—带孔扁钢 3—槽钢 4—螺栓 5—楔子 6—管子

6. 组对卡具

为保证管子对口质量，可用卡具进行组对。组对卡具目前尚无定型产品，一般均自制。结构形式多种多样，各具特色，图 6-9～图 6-11 为比较常用的几种形式。大直径管子由于不便使用对口器，也可以采用图 6-12 所示的在管端点焊角钢的办法。

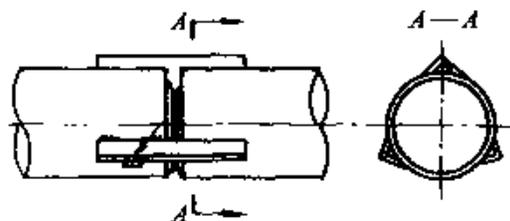


图 6-12 大直径管子的对口方法

管道预制加工车间，管子是放在滚动架上对口的（见图 6-13）。滚动架上的托辊经过精密调整，两根管子在上面能够严格地对中。如果再配以管道全位置自动焊机，就形成了管道预制加工线的一部分。



图 6-13 对口和焊接用的滚动架示意图

GQ-1 型管子焊接对口钳（见图 6-14），是由温州市焊接机械厂研制生产的管子对接焊接对口工具，适用于 $DN15 \sim 100\text{mm}$ 的管子，使用和携带方便，工效高，适合于施工现场使用。

在施工现场，条件较差时，可以把管子放到平直的角钢或槽钢上对口，也能收到良好的效果（见图 6-15）。无论采用什么方法对口，都不允许强行组对。



图 6-14 GQ-1 型管子焊接对口钳

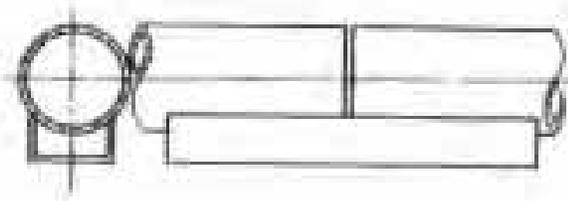


图 6-15 利用槽钢对口

6.2 钢管道焊接技术

6.2.1 管道的转动焊接（管子水平放置）

管道采用转动焊接，操作简便，保证质量，生产效率高，所以在预制厂大量使用。各类装置或设备上的联系管道及工艺管道干线，应尽量提高预制装配程度，减少固定焊口。

1. 对口及定位焊

对口规范参看表 6-5，同时，要求坡口端面的不平整度小于 0.5mm，焊口拼装错口不得大于 1mm，对口处的弯曲度不得大于 1/400。

一般管道的定位焊，可选三点（图 6-16）平焊处一点，两边立焊处

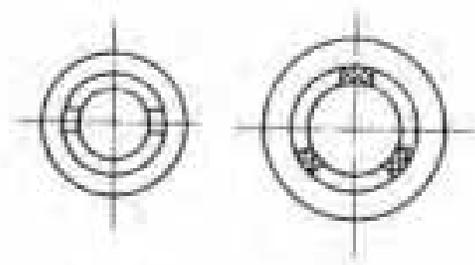


图 6-16 点焊数量与位置

各一点。大口径的管道定位焊数目应适当增加。如表 6-11 所示。

表 6-11 各种管径焊接接口定位焊点数量

| 管径/mm | 定位焊点数/个 | 管径/mm | 定位焊点数/个 |
|---------|---------|-----------|---------|
| ≥75 | 2 | 700~900 | 8~10 |
| 100~300 | 4 | 1000~1200 | 10~12 |
| 400~600 | 6~8 | | |

由于定位焊处容易产生缺陷，因此，对于要求单面焊双面成形的焊口，尽可能不在坡口根部作定位焊。根据实践经验，可在管壁外部用扁

钢定位。定位焊一般选用三点（图 6-16b），其中仰焊部位的定位扁钢应错开管道垂直中心线 10~20mm 左右，平焊部位的定位扁钢也应相应错开，以便于仰、平焊处接头。但是，这种定位焊的方法也有不足之处，易使管壁外表损伤，对口间隙收缩较大，对于某些不锈钢和合金钢管道就不适用。

对于要求高、直径大的管道，定位焊的要求必须严格掌握。定位焊缝的两端应用錾子、锉刀、砂轮或碳弧气刨打出缓坡，保证接头处焊透，如发现内有凹、未焊透、裂纹等缺陷应铲掉重焊。

定位焊焊缝的尺寸应适宜，通常，当管壁厚度小于或等于 5mm 时，则定位焊焊缝厚度约为 5mm，定位焊长度约为 20~30mm。为便于接头熔透，定位焊焊缝的两个端部必须修成缓坡形。焊接定位焊缝用的焊接材料和焊接工艺应与正式焊接相同，且应由合格焊工施焊。

2. 根部的焊接

不带垫圈的管子转动焊，为了使根部容易熔透，运条范围选择在立焊部位（图 6-17）。操作手法采用直线形或稍加摆动的小月牙形。

对于厚壁管子，为防止因转动时振动而使焊口根部出现裂纹，并便于操作，在对口前，应将管子放在平整的转动台或滚杠上。焊接时，最好每一焊段焊接两层后方可转动一次，同时定位焊焊缝必须有足够的强度；靠近焊口的两个支点距离最好不大于管径的 1.5~2 倍（图 6-18）。

3. 多层焊的其他各层焊接方法

转动焊的多层焊接，运条范围是选择在平焊部位（图 6-19），即焊条在垂直中心线两边 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 范围内运条，而焊条与垂直中心线成 30° 角。采用月牙形手法，压住电弧作横向摆动，这样，可得到整齐美观的焊缝。或仍选用斜立焊部位进行焊接，这适用于现场无转动台的转动焊接法。

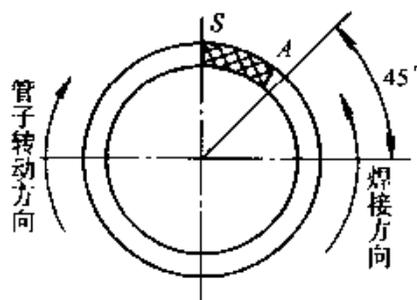


图 6-17 管子转动焊的立焊部位
A—起焊点 S—焊段终点

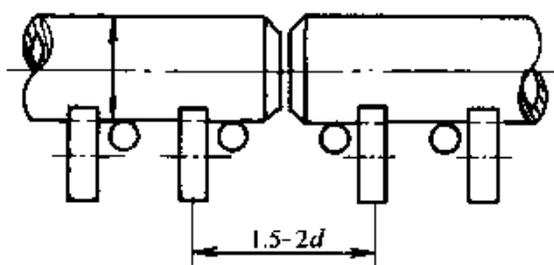


图 6-18 滚动支点的位置

6.2.2 固定管道焊接

固定管道焊接是管道焊接中经常遇见的一种形式。固定管道焊接可分水平固定管道焊和垂直固定管道焊两种。

1. 水平固定管道焊的焊接特点

1) 由于焊缝是环形的，所以在焊接过程中焊条角度变化很大，操作比较困难。

2) 熔化金属在仰焊位置有向下（向焊道外）坠落的趋势，易产生焊瘤。而在立焊位置及过渡到平焊位置时，则有向管子内部滴落的倾向，因而有熔透不匀及外观不整齐的现象。

3) 在焊接根部时，仰焊部位容易产生根部未焊透和内凹。正面焊缝因熔化金属下坠会出现焊瘤、咬边、夹渣等缺陷。平焊部位，根部背面容易产生焊瘤或未焊透。

内凹（或叫塌腰）是仰焊背部所特有的一种缺陷如图 6-20b 所示，其产生原因是由于熔池在高温时表面张力较小，铁液因自重下坠而引起的。

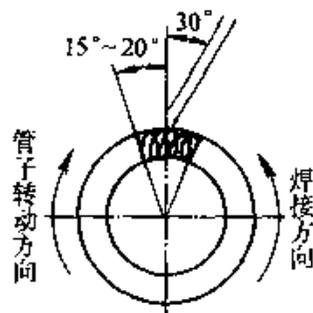


图 6-19 多层焊的运条位置



图 6-20 仰焊的背部成形

a) 较好的仰焊背部成形 b) 稍有内凹的仰焊背部成形

2. 水平固定管道的对口及定位焊

水平固定管的对口，除了满足坡口、钝边、清洁工作等要求之外，还须满足下列一些要求：

1) 对口时，管道轴线须对正，以免由于中心线偏斜而产生错口现象。由于先在仰焊处起焊，应考虑焊缝冷却时会引起对口间隙收缩，在条件允许的情况下，平焊部位的对口间隙应大于仰焊部位，一般放大 0.5~1.5mm 左右。如图 6-3 所示。

2) 为了保证根部第一层焊缝二面成形，当使用酸性焊条时，对口间隙等于使用焊条的焊芯直径，如果选用碱性焊条时，对口间隙一般选用 1.5~2.5mm 左右。

对口间隙过大，用“连弧”法焊接容易熔穿而形成焊瘤，反之间隙过小，会形成未焊透等缺陷。如果焊缝要求不高，对口间隙可以适当减小。

管径不同，焊缝要求不同，定位焊的位置、数目和办法也不相同。

3. 水平固定管道的焊接方法

由于管道的使用要求不同，输送介质种类繁多，小口径管道和固定管道焊口背面无法铲除焊根与重新焊接，因此，要求在管道正面焊接时，正背二面都要形成均匀整齐无缺陷的焊缝。这种焊接技术称为“单面焊双面成形”。单面焊双面成形的接头尺寸如图 6-21 所示。水平固定管道焊接方法基本上采用两半焊接法，按照仰→立→平的顺序，此法能保证熔化金属与熔渣很好分离，两面成形较容易控制。

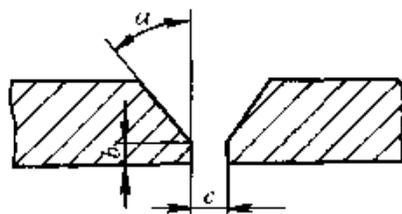


图 6-21 “单面焊双面成形”的接头组对尺寸

$\alpha = 30^\circ \sim 35^\circ$ (坡口角度为 $60^\circ \sim 70^\circ$)

$b = 1 \sim 2\text{mm}$ (钝边为焊条直径 $1/2$)

$c =$ 焊条直径

上述数值适用 J422 型酸性焊条，采用碱性焊条时 $c = 1.5 \sim 2.5\text{mm}$ 。

(1) 根部焊接 首先，对准管道仰焊缝的坡口边（或在定位扁铁）引弧至焊缝间隙内，用长弧烤热起焊处，预热 $2 \sim 3\text{s}$ 后，迅速压短电弧，在坡口内作极微小摆动，当钝边熔化，熔池形成，应该立即断弧。断弧以后，熔池温度迅速下降，熔池金属很快凝固，熔池金属的颜色也从明亮转暗，在两侧坡口上呈现半圆形的缺口。当熔池中心点的金属还没有完全凝固时，就应对准熔池上半部进行第二次引弧，熔池温度重新升高，坡口两侧又熔出半圆形缺口，就应立即断弧。焊条不断前进，断弧引弧不断反复，熔池前端始终保持一个圆形小孔。如此反复焊接便得到一条正背二面成形良好的焊缝。操作注意事项如下：

1) 引弧及起焊：在图 6-22 所示 A 点坡口面上引弧至间隙内，使焊条在两钝边作微小横向摆动，当钝边熔化铁液与焊条熔滴连在一起时，焊条上送，此时焊条端部到达坡口底边，整个电弧的 $2/3$ 将在管内燃烧，并形成第一个熔孔。在仰焊至斜仰焊位置运条时，必须保证半打

穿状态；至斜立焊及平焊位置，可运用顶弧焊接。其运条角度变化过程及位置如图 6-22 所示。

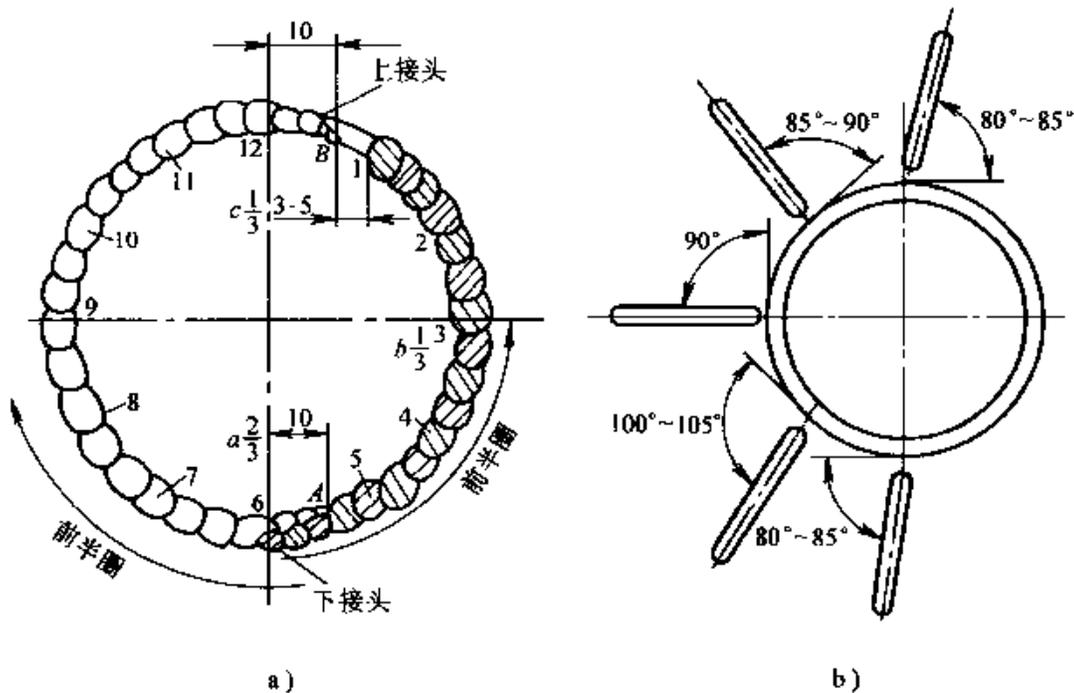


图 6-22 水平固定管子的焊接顺序及焊条角度

a) 焊接顺序 b) 焊条角度

a 、 b 、 c 为弧柱穿透管子背面长与弧柱全长之比

为了在仰焊部位消除和减少内凹现象，除了合理选择坡口角度和焊接电流以外，断弧动作要果断，引弧动作要准确和稳当，在坡口两侧停留时间不宜过多，焊接电弧要短，并借助电弧的吹力使熔池金属推向背面。

2) 仰焊及下爬坡部位的焊接：应压住电弧作横向摆动运条，运条幅度要小，速度要快，焊条与管子切线倾角为 $80^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 左右。

随着焊接向上进行，焊条角度变大，焊条深度慢慢变浅。在 7 点位置时，焊条端部离坡口底边约 1mm，焊条角度为 $100^{\circ} \sim 105^{\circ}$ ，这时约有 $1/2$ 电弧在管内燃烧，横向摆动幅度增大，在坡口两侧稍作停顿。到达立焊时，焊条与管子切线的倾角为 90° 。

3) 上爬坡和平焊部位的焊接，焊条继续向外带出，焊条端部离坡口底边约 2mm，这时 $1/3$ 电弧在管内燃烧。上爬坡的焊条角度与管切线夹角为 $85^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，平焊时夹角为 80° 左右，并在图 6-22aB 点收弧。

4) 若采用断弧焊手法时, 接弧位置要准确。每次接弧时, 焊条要对准熔池前部的 $1/3$ 左右处, 使每个熔池覆盖前一个熔池 $2/3$ 左右。

灭弧动作要干净利落, 不要拉长弧。灭弧与接弧的时间间隔要短, 灭弧频率大体为仰焊和平焊区段每分钟 $35\sim 40$ 次, 立焊区段每分钟 $40\sim 50$ 次。

5) 焊接过程中, 要使熔池的形状和大小基本保持一致, 熔池铁液清晰明亮, 熔孔始终深入每侧母材 $0.5\sim 1\text{mm}$ 。

6) 在前半圈起焊区 (即 A 点—6 点区) $5\sim 10\text{mm}$ 范围, 焊接时焊缝应由薄变厚, 使形成一斜坡; 而在平焊位置收弧区 (即 12 点—B 点区) $5\sim 10\text{mm}$ 范围, 则焊缝应由厚变薄, 使形成一斜坡, 以利于与后半圈接头。

(2) 接头方法 仰焊、平焊的接头, 是整个固定管道焊口的关键, 在接头处最易产生内凹、焊瘤、夹渣、未焊透、气孔等缺陷。为了便于接头, 在焊前半圈时, 仰焊的起焊处和平焊的收尾处都应超过管道垂直中心线 $5\sim 10\text{mm}$ 。

1) 仰焊接头方法: 由于起焊处容易产生气孔、未焊透等缺陷, 故接头时应把起焊处的原焊缝用电弧割去一部分 (约 10mm 长), 这样既割除了可能有缺陷的焊缝, 而且形成缓坡形割槽, 也便于接头。其操作方法如下: 首先用长弧烤热接头部分, 稍微压短电弧, 此时弧长约等于两倍焊条直径。从超越接头中心约 10mm 的焊波上开始焊接。此时, 电弧不宜压短, 也不作横向摆动, 一旦运条至接头中心时, 立即拉平焊条压住熔化铁液向后推送, 未凝固的铁液即被割除而形成一条缓坡形的割槽。焊条随即回到原始位置 (约 30°), 从割槽的后端开始焊接。运条至接头中心时切勿灭弧, 必须将焊条向上顶一下, 以打穿未熔化的根部, 使接头完全熔合 (图 6-23)。

对于重要管道或使用低氢型焊条焊接时, 可用锉、锉等手工加工方式修理接头处, 把仰焊接头处修理为缓坡形, 然后再施焊。

2) 平焊接头方法: 先修理接头处, 使成一缓坡形; 选用适中的电流值, 当运条至斜立焊 (立平焊) 位置时, 焊条前倾, 保持顶弧焊, 并稍作横向摆动 (图 6-24); 当距接头处尚有 $3\sim 5\text{mm}$ 间隙, 即将封闭时, 绝不可灭弧。接头封闭的时候, 需把焊条向里稍为压一下, 此时,

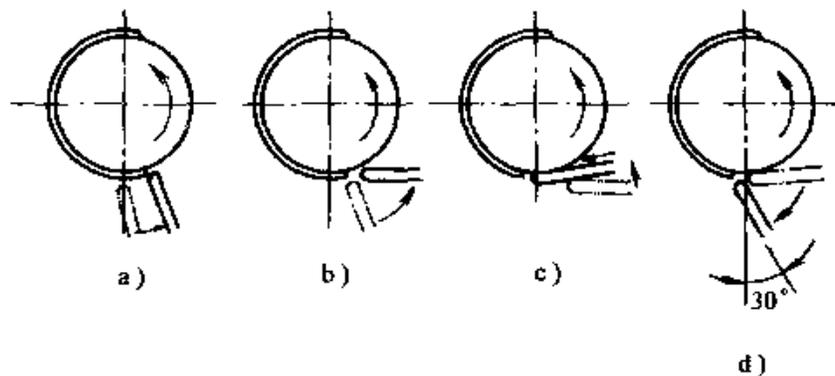


图 6-23 仰焊接头操作示意图

- a) 电弧预热后开始用长弧焊接 b) 拉平焊条准备割槽 c) 焊条向后推送形成割槽 d) 焊条回到正常位置, 从割槽后端起焊

可听到电弧打穿根部而产生的“啪喇”声, 并且在接头处来回摆动以延长停留时间, 从而保证充分的熔合。熄弧之前, 必须填满熔池, 而后将电弧引至坡口一侧熄灭。

3) 与定位焊缝接头: 当运条至定位焊点时, 将焊条向下压一下, 如听到“噗噗”声后, 快速向前施焊, 到定位焊缝另一端时, 焊条在接头处稍停, 将焊条向下压一下, 若听到“噗噗”声后, 表明根部已熔透, 恢复原来的操作手法。

4) 换焊条时接头: 有热接和冷接两种接法。

热接: 在收弧处尚保持红热状态, 立即从熔池前面引弧, 迅速把电弧拉到收弧处, 见图 6-25 所示。

冷接: 即熔池已经凝固冷却, 必须将收弧处打磨成斜坡, 并在其附近引弧, 再拉到打磨处稍作停顿, 待先焊焊缝充分熔化, 方可向前正常焊接。

(3) 沿管周围施焊 此法用在对质量要求不高的薄壁管的焊接。操作方法是: 在斜立焊位置作为起焊点 (图 6-26), 在自上而下的运条过

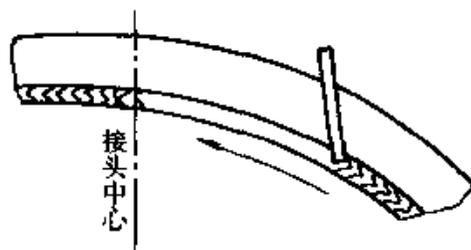


图 6-24 平焊接头用顶弧焊法

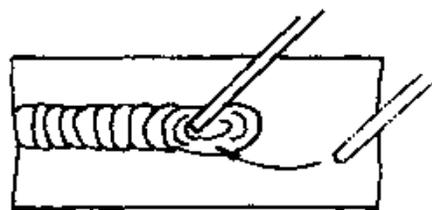


图 6-25 红热状态时的接头方法

程中最好不要灭弧，焊条端部托住铁液使用顶弧焊接。在平焊→立焊→斜仰焊这几段焊接过程中，焊条几乎与管周成切线位置，当由斜仰焊至仰焊这一段，焊条位置可以稍偏于垂直；在仰焊→立焊→平焊位置运条过程中，施焊方法与“两半焊接法”相同。整个环形焊缝最后在斜立焊位置闭合。

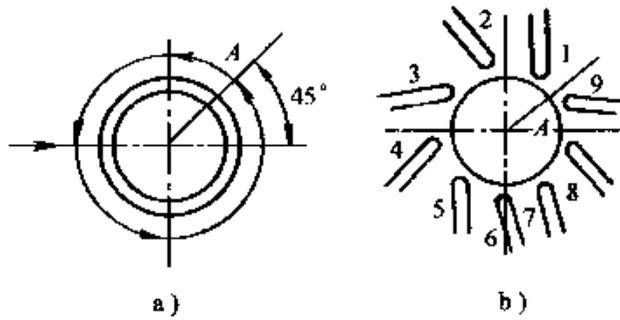


图 6-26 沿管周施焊方式示意图

此方法由于有一半是自上而下运条，熔化铁液及熔渣有向下坠落的趋势，所以熔深不大，透度不易控制，铁液与熔渣不易分离，焊缝容易夹渣等缺陷。但由于运条速度快，能提高焊接生产率。

(4) 其他各层的焊接 其他各层也多分两半进行仰焊→立焊→平焊的施焊方法，操作要领基本上与相应位置的钢板焊接法相似。但还须注意以下几点：

1) 为了消除底层焊缝中存在的隐藏缺陷，在其外层焊缝施焊时，应选用较大电流值，并适当控制运条，达到既不产生严重咬边又能熔化掉底层焊缝中隐藏缺陷的目的。

2) 为了使焊缝成形美观，当焊接外部第二层焊道时，在仰焊部位运条，速度要快，使形成厚度较薄。中部下凹的焊缝（图 6-27a）；平焊部位运条速度应该缓慢，使形成略为肥厚而中央稍有凸起的焊缝（图 6-27b）。必要时，在平焊部位可以补焊一道焊肉（图 6-27c）以达到整个环形焊缝高度一致的目的。

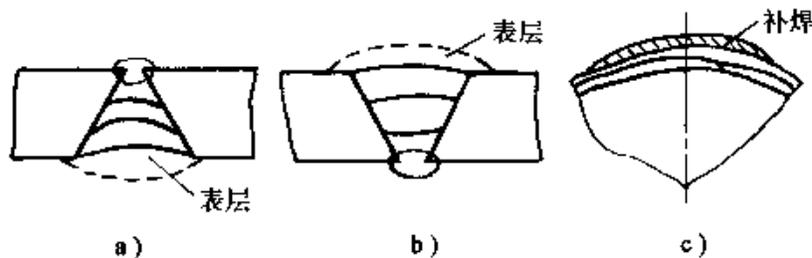


图 6-27 外部第二层焊道良好成形图

3) 当对口间隙不宽时, 仰焊部位的起焊点可以选择在焊道中央; 如果对口间隙很宽, 则宜从坡口的一侧起焊。

①从焊道中央起焊时的接头方法

起焊: 在越过中线 10~15mm 处引弧预热, 起焊时电弧不宜压短, 需作直线运条, 速度稍快, 至中线 (接头中心) 处开始逐渐做横向摆动 (见图 6-28)。

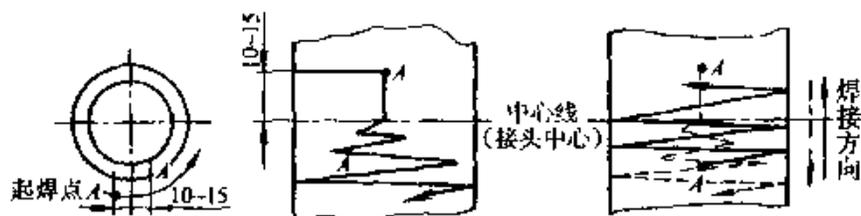


图 6-28 仰焊部位的起焊运条方式
(从焊道中心起焊)

接头: 管周的另一半焊接时, 首先在接近于 A 点之对称部位 (A' 点) 引弧预热, 接头起焊时电弧较长, 运条速度稍快, 坡口两侧停留时间比焊缝中央为长, 接头处的焊波应该薄些, 避免形成焊瘤。

②从坡口一侧起焊时的接头方法

起焊和接头的基本要求与上相似, 只是起焊点在坡口的一侧, 接头处的焊波是斜交的 (图 6-29)。

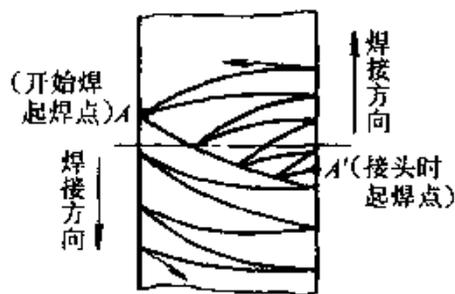


图 6-29 从坡口一
侧起焊方法

(5) 盖面层焊接

1) 清除打底焊熔渣, 修整局部上凸接头, 在打底焊道上引弧。

2) 运条方法为月牙形或横向锯齿形。

3) 焊条角度比相同位置打底焊稍大 5°左右。

4) 焊条摆动到坡口两侧时, 要稍作停留, 并熔化坡口边缘各 1~2mm, 以防咬边。

5) 前半圈收弧时, 对弧坑稍填一些铁液, 使弧坑呈斜坡状, 以利后半圈接头。在后半圈焊前, 需将前半圈两端接头部位焊渣去除约 10mm 左右, 最好采用砂轮打磨成斜坡。

前后两半圈的操作要领基本相同，注意收口时要填满弧坑。

6.2.3 垂直固定管的焊接

焊接特点与钢板的横焊基本相似。

1. 对口要求及定位焊

当对口两侧管径不等时（错口），可以将直径较小的管子置于下方，并且保证沿圆周方向的错口数值均等；绝对避免偏于一侧集中错口，因为当错口值很大时，将不可能熔透，在根部必然产生咬口缺陷，这种缺陷会由于应力集中而导致焊缝根部破裂（图 6-30）。但错口大于 2mm 时则必须加工，使其内径相同，其加工坡度为 1:5（见图 6-31）。

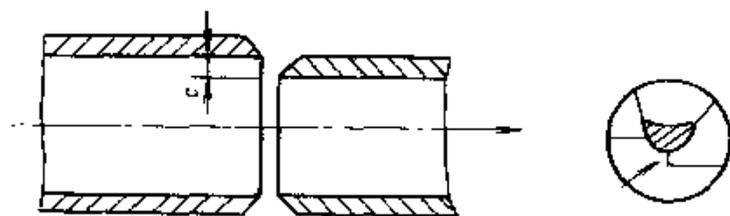


图 6-30 错口接头（箭头所指为咬口缺陷）

定位焊及焊点的修理都与钢板横焊的定位焊相似。当管径较小时（ $\phi \leq 70\text{mm}$ ），只需在管子对称的两侧定位焊两点就行。管子较大时，可定位焊三点或更多的焊点。

2. 根部焊接同横焊基本操作法

3. 多层焊接同横焊基本操作法

4. 单人焊接大直径管道的方法

当焊接直径较大的管道时，如果沿着圆周连续运条，则变形量较大，必须应用“逆向分段跳焊法”来焊接（见图 6-32）。

多层焊时，每层焊道的接头应错开 20~30mm。

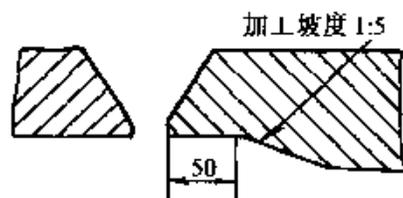


图 6-31 管子内圆加工示意图

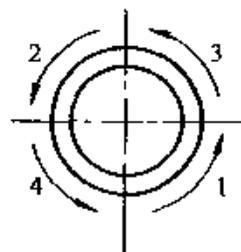


图 6-32 逆向分段跳焊法

6.2.4 倾斜固定管的焊接

这种管子的斜焊方式，可以说是水平固定管焊接和垂直固定管焊接的结合，根部焊接与水平固定管焊接相似；多层焊时，若管子倾斜角小于 45° ，就运用垂直固定管焊接的方法（图 6-33），当倾角大于 45° 时，也可用水平固定管焊接方法（图 6-34）。此形式难以获得美观的外表，尤其是焊缝接头处。

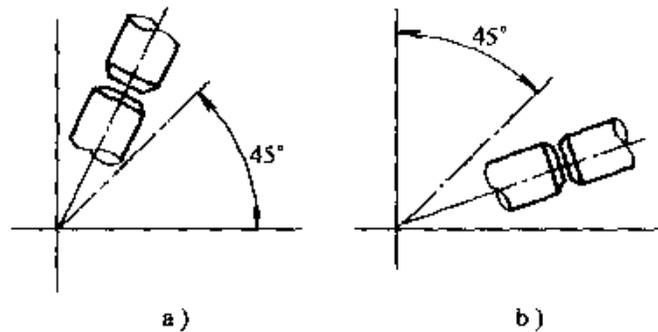


图 6-33 管子倾斜焊接方式

(1) 对口要求及点焊 与水平固定管焊接相同。

(2) 根部施焊 分成两半焊成，由于管子是倾斜的，熔化铁液有从坡口上侧坠落到下侧的趋向，所以在施焊中焊条应该偏于垂直位置（图 6-35）。其余注意事项与水平固定管焊接相同。

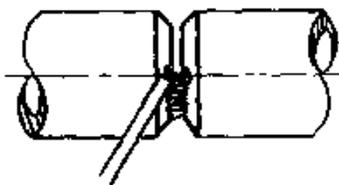


图 6-34 管子斜焊根部运条方式

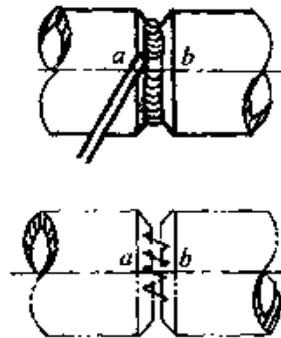


图 6-35 多层焊时单通焊法的运条方式

(3) 多层焊接 当管子倾角小于 45° 时，可运用多层多道焊，分两半焊成。每道焊缝运条方式与根部焊接相似，但可略作水平方向的横向摆动。如果管子倾角大于 45° ，则可与水平固定管焊接相似，运用单道

焊法。但由于横向摆动的幅度较大，为了不使铁液下坠，焊条于坡口下侧停留时间比上侧略长（见图 6-35， a 侧焊条停留时间比 b 侧长）。

仰焊及平焊接头可以按以下方式施焊：

1) 仰焊接头。起焊点越过管子半周（以接头中心 OY 线为准，见图 6-36）约 $10 \sim 20\text{mm}$ 。横向摆动的幅度自仰焊至立焊部位越来越小。在接近平焊处摆幅再度增大。为了防止熔化铁液偏坠，折线运条方向也需随之改变（图 6-36）。接头时，从 A' 起焊，电弧略长，摆幅自 A' 点至 A 点逐渐变大（图 6-36）。斜焊焊缝见图 6-37。

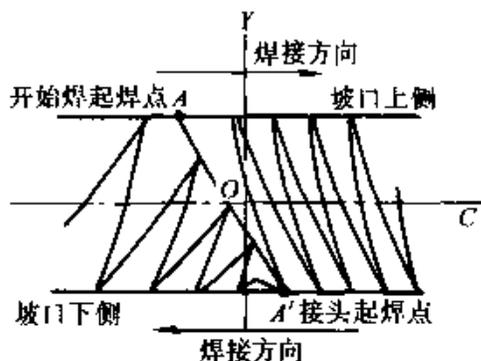
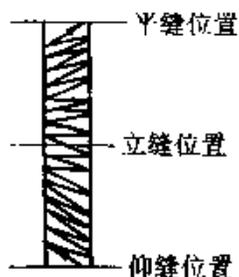
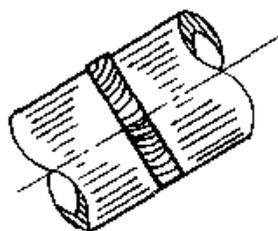


图 6-36 管子斜焊时的仰焊部位接头方式

OY —接头中心 OC —焊缝中心



仰→立→平运条过程横向摆动方式
($\frac{1}{4}$ 圆周展开图)

图 6-37 管子斜焊焊缝外貌图

2) 平焊接头。平焊接头比仰焊接头容易操作，为了防止咬边，应选用较小电流，焊条于坡口上侧停留时间略长（图 6-38）。

6.2.5 碳素钢、低合金钢管道的焊接工艺要求

(1) 选材原则 焊条、焊丝的选用，应按照管材、管件的化学成分、力学性能、焊接接头的抗裂性、焊前预热、焊后热处理、使用条件及施工条件等因素综合确定。且应符合下列规定：

1) 焊接工艺性能应良好。

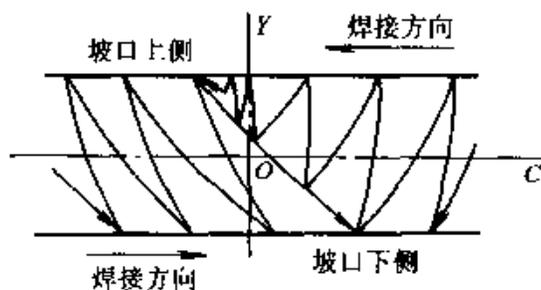


图 6-38 管子斜焊平焊接头方式

表 6-12 常用低温钢焊条的化学成分、接头的力学性能及用途

| 焊条牌号 | 主要化学成分(%) | | | | | | | 力学性能 | | | | | 主要用途 |
|-----------|-------------|-------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|-------------|---|------|
| | C | Mn | Si | Ni | Mo | Cu | σ_b /MPa | σ_s /MPa | δ_5 (%) | A _{KV} /J | 温度 /°C | | |
| | | | | | | | | | | | | \geq | |
| W607 | ≤ 0.07 | 1.2~1.7 | ≤ 0.5 | 0.6~1.0 | Ti ≤ 0.03 | B ≤ 0.003 | 490 | 340 | 22 | | -60 | 焊接 - 60°C 工作的 09MnNiNb, 13MnSi63 及 E36 钢 | |
| W707 | ≤ 0.10 | ~2.0 | ~0.2 | — | — | ~0.70 | 490 | 34 | 18 | | -70 | 焊接 - 70°C 工作的 09Mn2V 钢, 09MnTiCuRe 钢 | |
| W707Ni | ≤ 0.12 | ≤ 1.25 | | 2.0~2.75 | | | | | 16 | | -70 | 焊接 - 70°C 工作的 2.5% Ni 钢, 06MnVAl 钢 | |
| W807 | ≤ 0.07 | 1.1~1.4 | ≤ 0.6 | 1.2~1.6 | — | — | 540 | 440 | 20 | ≥ 27 | -80 | 焊接 - 80°C 工作的 2.5% Ni 钢 | |
| W907Ni | ≤ 0.12 | ≤ 1.25 | | 3.0~3.75 | | | | | 17 | | -90 | 焊接 - 90°C 工作的 3.5% Ni 钢, 06AlNbCuN 钢 | |
| W107 | ≤ 0.05 | 0.5~1.0 | ≤ 0.3 | 3.1~3.7 | ~0.3 | — | 490 | 340 | 20 | | -100 | 焊接 - 100°C 工作的 3.5% Ni 钢, 06AlNbCuN 钢 | |
| W107Ni | ≤ 0.08 | ~0.5 | ≤ 0.3 | 4.0~5.5 | ~0.3 | — | 490 | 340 | 16 | | -100 | 焊接 - 100°C 工作的 3.5% Ni 钢, 06AlNbCuN 钢及 06MnNb 钢 | |
| Fe-Mn-Al | 0.25~0.4 | 22~25 | ≤ 2.1 | — | ~0.4 | — | 590 | — | 14 | | -196 | 焊接 - 190°C 工作的 20Mn23Al 钢 | |
| NB-3N | 0.03 | 0.94 | 0.33 | 3.2 | 0.27 | — | 550 | 460 | 32 | 120 100 | -85 -100 | 焊接 - 100°C 工作的 3.5% Ni 钢 | |
| NB-2 | 0.06 | 0.89 | 0.45 | 2.41 | — | — | 610 | 500 | 30 | 150 120 | -50 -60 | 焊接 - 50 ~ -60°C 2.5% Ni 钢 | |
| N-13 | ≤ 0.09 | 0.4~0.7 | — | 3~3.6 | — | — | 560 | 470 | 25 | 61.74 41.16 | -75 -101 | 焊接 - 75 ~ -101°C 3.5% Ni | |
| CometNi9 | ≤ 0.2 | ≤ 4.0 | ≤ 0.3 | Ni42 Fe(余) | ≤ 1.7 | Cr ≤ 13 | 650 | 450 | 30 | — | -196 | 焊接 - 196°C 工作的 9% Ni 钢 | |
| Inconel82 | ≤ 0.1 | 5~9.0 | ≤ 1.0 | 余 | Cr 13~17 | Nb 1~2.5 | 655 | 425 | 40 | — | -196 | 焊接 - 196°C 工作的 9% Ni 钢 | |

2) 同种钢材的钢管焊接时, 焊缝金属的性能和化学成分应与母材相当。

①低温钢钢管应选用与母材的使用温度相适应的焊材。常用低温钢焊条的化学成分、接头的力学性能及用途见表 6-12。低温钢焊条电弧焊的工艺参数见表 6-13。

表 6-13 低温钢焊条电弧焊工艺参数

| 焊缝金属类型 | 焊条直径/mm | 焊接电流/A |
|------------|---------|---------|
| 铁素体-珠光体型 | 3.2 | 90~120 |
| | 4.0 | 140~180 |
| 铁-锰-铝-奥氏体型 | 3.2 | 80~100 |
| | 4.0 | 100~120 |

注: 横、立、仰焊时所使用的焊接电流应比表中数值小 10%。

低温钢焊接时, 应多采用多层多道焊, 每一焊道焊接时, 宜采用快速不摆动的操作法, 进一步降低焊接热输入, 提高低温钢焊接接头的塑性和韧性。

②耐热钢钢管常用的焊接材料见表 6-14。

表 6-14 耐热钢钢管常用的焊接材料

| 钢 号 | 焊 条 | | | 氩弧焊丝 | |
|---------------|---------------|--------------|------|---------|-------------|
| | 旧型号 | 新型号 | 牌号 | 电建牌号* | 牌 号 |
| 12CrMo | TRCrMo-7 | E5515-B1 | R207 | TIG-R30 | H13CrMo |
| 15CrMo | TRCr1Mo-7 | E5515-B2 | R307 | TIG-R30 | H13CrMo |
| ZG20CrMoV | TRCr1MoV-7 | E5515-B2-V | R317 | TIG-R31 | H08CrMoV |
| 12Cr1MoV | TRCr1MoV-7 | E5515-B2-V | R317 | TIG-R31 | H08CrMoV |
| ZG15Cr1Mo1V | TRCr1MoVW-7 | E5515-B2-VW | R327 | TIG-R31 | H08CrMoV |
| 1Cr2Mo | TRCr2Mo1-7 | E6015-B3 | R407 | TIG-R40 | H08Cr2Mo1 |
| 12Cr2Mo | TRCr2Mo1-7 | E6015-B3 | R407 | TIG-R40 | H08Cr2Mo1 |
| 12Cr2MoWVTiB | TRCr2MoWVB-7 | E5515-B3-VWB | R347 | TIG-R40 | H08Cr2MoVNB |
| 12Cr3MoVSiTIB | TRCr3Mo1VNB-7 | E5515-R3-VNB | R417 | TIG-R40 | H08Cr2MoVNB |
| 1Cr5Mo | TRCr5Mo1-7 | E1-5Mo-15 | R507 | | H1Cr5Mo |

注: * 指原能源部电力建设系统开发的专用氩弧焊丝

3) 碳素钢管、低合金钢管焊接材料的选用宜符合表 6-15、表 6-16 的规定。

表 6-15 同种钢焊接选用的焊接材料

| 钢号 | 焊条电弧焊 | | | 埋弧焊 | | | 二氧化碳气体保护焊 焊丝牌号 | 氩弧焊 焊丝牌号 |
|--------------------------|--------------------|------------------|----------------|--------------|-------|-----------|-------------------|-------------|
| | 焊条 | | 焊丝牌号 | 焊剂 | | 牌号 | | |
| | 型号 | 牌号 | | 型号 | 牌号 | | | |
| Q235-A·F Q235-A、10、20 | E4303 | J422 | H08 H08Mn | HJ401—H08A | HJ431 | H08Mn2Si | — | |
| | E4316 E4315 | J426 J427 | H08A H08MnA | HJ401—H08A | HJ431 | H08Mn2Si | — | |
| 20R、20g | E4303 | J422 | H08 | HJ401—H08A | HJ431 | — | — | |
| | E5003 | J502 | H08Mn | — | HJ250 | — | — | |
| Q295 | E5515—C1 | W707Ni | H08Mn2MoVA | — | — | — | — | |
| 09Mn2VDR 09Mn2VD | E5515—C1 | W707Ni | — | — | — | — | — | |
| | E5515—C2 | W907Ni W107Ni | — | — | — | — | — | |
| 06MnNbDR | E5003 | J502 | H10MnSi | HJ401—H08A | HJ431 | H08MnMoA | H10Mn2 | |
| 16MnR 16MnRC | E5016 E5015 | J506 J507 | H10Mn2 | HJ402—H10Mn2 | HJ350 | H08Mn2SiA | | |
| 16MnDR 16MnD | E5016—G E5015—G | J506RH J507RH | — | — | — | — | — | |

(续)

| 钢号 | 焊条电弧焊 | | | 埋弧焊 | | | 二氧化碳气体保护焊 焊丝牌号 | 氩弧焊 焊丝牌号 |
|------------|----------------|------|--------------|--------------|----------|-----------|-------------------|-------------|
| | 焊条 | | 焊丝牌号 | 焊剂 | 焊剂 型号 | 焊剂 牌号 | | |
| | 型号 | 牌号 | | | | | | |
| Q390 | E5003 | J502 | H08MnMoA | HJ401—H08A | HJ431 | H08Mn2SiA | H08Mn2SiA | |
| 15MnVR | E5016 | J506 | H10MnSi | HJ402—H10Mn2 | HJ350 | H08Mn2SiA | H08Mn2SiA | |
| | E5015 | J507 | H10Mn2 | | | | | |
| 15MnVRC | E5515—G | J557 | | | | | | |
| 15MnVNR | E6016—D1 | J606 | H08MnMoA | HJ402—H10Mn2 | HJ350 | H08Mn2SiA | H08Mn2SiA | |
| | E6015—D1 | J607 | | | | | | |
| 18MnMoNbR | E7015—D2 | J707 | H08Mn2MoA | — | HJ250G | — | — | |
| 12CrMo | E5515—B1 | R207 | H13CrMoA | HJ402—H10Mn2 | HJ350 | — | H08CrMoA | |
| 15CrMo | E5515—B2 | R307 | | | | | | |
| 12Cr1MoV | E5515—B2—V | R317 | H08CrMoVA | HJ402—H10Mn2 | HJ350 | — | H08CrMoVA | |
| 12Cr2Mo | E6015—B3 | R407 | — | — | — | — | — | |
| 1Cr5Mo | E1—5MoV—15 | R507 | H1Cr5Mo | — | HJ250 | — | — | |
| 0Cr19Ni9 | E0—19—10—16 | A102 | — | — | — | — | — | |
| | E0—19—10—15 | A107 | — | — | — | — | — | |
| 0Cr18Ni9Ti | E0—19—10 Nb—16 | A132 | H0Cr20Ni10Ti | — | HJ260 | — | H0Cr20Ni10Ti | |
| | E0—19—10 Nb—15 | A137 | | | | | | |

(续)

| 钢号 | 焊条电弧焊 | | | 埋弧焊 | | | 二氧化碳气体保护焊 焊丝牌号 | 氩弧焊 焊丝牌号 |
|----------------|------------------|------|----------------|-----|-------|------|-------------------|-------------|
| | 焊条 | | 焊丝牌号 | 焊剂 | | 焊丝牌号 | | |
| | 型号 | 牌号 | | 型号 | 牌号 | | | |
| 0Cr18Ni9Ti | E0—19—10Nb—16 | A132 | — | — | — | — | — | |
| | E0—19—10Nb—15 | A137 | — | — | — | — | — | |
| 00Cr18Ni10 | E0—19—10—16 | A002 | H00Cr21Ni10 | — | HJ260 | — | H00Cr21Ni10 | |
| 00Cr19Ni11 | E0—19—10—16 | A002 | — | — | — | — | — | |
| 0Cr17Ni12Mo2 | E0—18—12Mo2—16 | A202 | — | — | — | — | — | |
| | E0—18—12Mo2—15 | A207 | H00Cr19Ni12Mo2 | — | HJ260 | — | H00Cr19Ni12Mo2 | |
| 0Cr18Ni12Mo2Ti | D00—18—12Mo2—16 | A022 | — | — | — | — | — | |
| | E0—18—12Mo2Nb—16 | A212 | H00Cr20Ni14Mo3 | — | HJ260 | — | H00Cr20Ni14Mo3 | |
| 0Cr19Ni13Mo3 | E0—19—13Mo3—16 | A242 | — | — | — | — | — | |
| 0Cr18Ni12Mo3Ti | E0—18—12Mo2—16 | A022 | H0Cr20Ni14Mo3 | — | HJ260 | — | H0Cr20Ni14Mo3 | |
| 0Cr18Ni12Mo3Ti | E0—18—12MoNb—16 | A212 | H0Cr20Ni14Mo3 | — | HJ260 | — | H0Cr20Ni14Mo3 | |
| 00Cr17Ni14Mo2 | E00—18—12Mo2—16 | A022 | H0Cr20Ni14Mo3 | — | HJ260 | — | H0Cr20Ni14Mo3 | |
| 0Cr13 | E1—13—16 | G202 | — | — | — | — | — | |
| | E1—13—15 | G207 | — | — | — | — | — | |
| 0Cr17 | E0—17—16 | G302 | — | — | — | — | — | |
| | E0—17—15 | G307 | — | — | — | — | — | |
| 1Cr13 | E1—13—16 | G202 | — | — | — | — | — | |
| 2Cr13 | E1—13—15 | G207 | — | — | — | — | — | |

表 6-16 异种钢焊接选用的焊接材料

| 接头钢号 | 焊条电弧焊 | | 埋弧焊 | | |
|-------------------------|----------------|------|-------------------|----------------|-------|
| | 焊 条 | | 焊丝牌号 | 焊 剂 | |
| | 型号 | 牌号 | | 型 号 | 牌 号 |
| Q235 + Q345 | E4303 | J422 | H08 H08Mn | HJ401— H08A | HJ431 |
| 20、20R + (16MnR)、16MnRC | E4315 | J427 | H08MnA | HJ401— H08A | HJ431 |
| | E5015 | J507 | | | |
| 16MnR + 18MnMoNbR | E5015 | J507 | H10Mn2 H10MnSi | HJ401— H08A | HJ431 |
| Q235 + 15CrMo | E4315 | J427 | H08 H08MnA | HJ401— 08A | HJ431 |
| Q235 + 1Cr5Mo | | | | | |
| 16MnR + 15CrMo | E5015 | J507 | — | — | — |
| 20、20R、16MnR + 12Cr1MoV | E5015 | J507 | — | — | — |
| Q235 + 0Cr18Ni9Ti | E1—23—13—16 | A302 | — | — | — |
| | E1—23—13Mo2—16 | A312 | | | |
| 20R + 0Cr18Ni9Ti | E1—23—13—16 | A302 | — | — | — |
| | E1—23—13Mo2—16 | A312 | | | |
| 16MnR + 0Cr18Ni9Ti | E1—23—13—16 | A302 | — | — | — |
| | E1—23—13Mo2—16 | A312 | | | |
| 18MnMoNbR + 0Cr18Ni9Ti | E2—26—21—16 | A402 | — | — | — |
| | E2—26—21—15 | A407 | | | |
| 15CrMo + 0Cr18Ni9Ti | E2—26—21—16 | A402 | — | — | — |
| | E2—26—21—15 | A407 | | | |

4) 复合钢钢管焊接时, 基层与覆层应分别选用相应焊材; 基层与覆层过渡处的焊接, 应选用过渡层焊材。表 6-17 为不锈复合钢管双面焊和埋弧焊时焊接材料的选用。

(2) 定位焊缝应符合的规定

1) 焊接定位焊缝时, 应采用与根部焊道相同的焊接材料和焊接工艺, 并应由合格焊工施焊。

2) 定位焊缝的长度、厚度和间距, 应能保证焊缝在正式焊接过程

中不致开裂，见表 6-11。

表 6-17 不锈钢复合钢管双面焊和埋弧焊时焊接材料选用

| 母 材 | | 焊条电弧焊 | | 埋 弧 焊 | |
|--------|-----------------------------------|--|--|---|-------|
| | | 牌 号 | 型 号 | 焊 丝 | 焊 剂 |
| 基 层 | Q235 | J422, J427 | E4303, E4315 | H08A, H08 | |
| | 20, 20g | J422, J427, J507 | E4303, E4315, E5015 | H08Mn2SiA, H08A H08MnA | HJ431 |
| | 09Mn2 16Mn 15MnTi | J502, J507 J557 | E5003, E5015 E5515-G | H08MnA H08Mn2SiA H10Mn2 | HJ431 |
| 过渡层 | | A302, A307, A312 | E309-16, E309-15 E309Mo-16 | H00Cr29Ni12TiAl | HJ260 |
| 覆 层 | 1Cr18Ni9Ti 0Cr18Ni9Ti 0Cr13 | A102, A107 A132, A137 A202, A207 | E308-16, E308-15 E347-16, E347-15 E316-16, E316-15 | H0Cr19Ni9Ti H00Cr29Ni12TiAl | HJ260 |
| | Cr18Ni12Mo2Ti Cr18Ni12Mo3Ti | A202, A207 A212 | E316-16, E316-15 E318-16 | H0Cr18Ni12Mo2Ti H0Cr18Ni12Mo3Ti H00Cr29Ni12TiAl | HJ260 |

3) 在焊接根部焊道前，应对定位焊缝进行检查，当发现缺陷时应在处理后方可施焊。

4) 与管道母材焊接的工卡具，其材质宜与母材相同或同类牌号。拆除工卡具时不应损伤母材，拆除后应将残留焊疤打磨修整至与管道母材齐平。

(3) 其他要求

1) 严禁在管道坡口之外的母材表面引弧和试验电流，并应防止电弧擦伤管道母材。

2) 管子焊接时，管内应防止穿堂风。

3) 对 $w(\text{Cr})$ 大于或等于 3%，或合金元素总质量分数大于 5% 的焊件，采用氩弧焊打底焊接时，焊缝内侧应充氩气或其他保护气体，或采取其他防止内侧焊缝金属被氧化的措施。

4) 焊接时应采取合理的施焊方法和施焊顺序。

5) 施焊过程中应保证起弧和收弧处的质量，收弧时，应将弧坑填满。多层焊的层间接头应错开。

6) 除工艺或检验要求需分次焊接外, 每条焊缝宜一次连续焊完, 当因故中断焊接时, 应根据工艺要求采取保温缓冷或后热等防止产生裂纹的措施, 再次焊接前应检查焊层表面, 确认无裂纹后, 方可按原工艺要求继续施焊。

7) 需预拉伸或预压缩的管道焊缝, 组对时所使用的工卡具应在整个焊缝焊接及热处理完毕并经检验合格后方可拆除。

8) 低温钢、奥氏体不锈钢、耐热耐蚀高合金钢以及奥氏体与非奥氏体异种钢钢管接头焊接时, 应符合下列规定:

①应在作业指导书规定的范围内, 在保证焊透和熔合良好的条件下, 采用小电流、短电弧、快速焊和多层多道焊工艺, 并应控制层间温度。

②对抗腐蚀性能要求高的双面焊焊缝, 与腐蚀介质接触的焊层应最后施焊。

③低温钢钢管焊接完毕, 宜对焊缝进行表面焊道退火处理。

9) 复合钢钢管焊接应符合下列规定:

①严禁使用基层和过渡层焊条焊接覆层。

②焊接过渡层时, 宜选用小的焊接热输入。

③在焊接覆层前, 应将落在覆层坡口表面上的飞溅物清理干净。

6.2.6 其他技术要求

1. 刚性对口焊接时的注意事项

安装管道时, 时常会使焊口处于刚性状态, 对于此种焊口或冷拉焊口, 进行焊接时的特点就是易产生裂缝, 故焊接时应注意如下几点:

1) 根部焊缝应焊得肥厚些, 使它具有一定的强度, 焊接过程尽可能不中断。

2) 最好在焊接之前对焊口进行预热, 必要时(如焊合金钢), 可以保持预热温度。见表 6-18。

表 6-18 常用钢管、管件允许焊接的最低环境温度和预热要求

| 钢 号 | 允许焊接的最低环境温度 /°C | 焊 前 预 热 | | 备 注 |
|-------|--------------------|------------|-------------|-------------------------------|
| | | 壁 厚 /mm | 预热温度 /°C | |
| Q235A | -20 | 一般不预热 | | 环境温度低于 -20°C 时, 预热至 100~200°C |

(续)

| 钢 号 | 允许焊接的最 低环境温度 /°C | 焊 前 预 热 | | 备 注 |
|---------------|------------------------|------------|-------------|--|
| | | 壁 厚 /mm | 预热温度 /°C | |
| 10 | -20 | ≥26 | 100~200 | 壁厚小于 26mm, 环境温度低 于-10°C时, 应预热至常温 |
| 20 | -20 | ≥26 | 100~200 | |
| Q345 | 10 | ≥15 | 150~200 | 壁厚小于 15mm, 环境温度低 于 0°C 时, 宜预热至常温 |
| 15MnV | -10 | ≥15 | 150~200 | |
| 12CrMo | -10 | ≥15 | 150~200 | |
| 15CrMo | -10 | ≥10 | 150~250 | 壁厚小于 10mm, 环境温度低 于 0°C 时, 预热至常温 |
| 12CrMoV | -10 | ≥6 | 200~300 | 壁厚小于 6mm, 环境温度低于 0°C 时, 应预热至 100~200°C |
| 12Cr1MoV | -10 | ≥6 | 200~300 | |
| Cr5Mo | 0 | ≥6 | 250~300 | |
| 1Cr13 | 0 | ≥6 | 250~300 | |
| 12Cr2MoWVB | 0 | ≥6 | 250~350 | 壁厚小于 6mm, 环境温度低于 0°C 时, 应预热至 100~200°C |
| 12Cr3MoVSiTIB | 0 | ≥6 | 250~350 | |
| 1Cr18Ni9Ti | -5 | 不 预 热 | | 壁厚大于 16mm, 环境温度为 0 --5°C 时, 应预热至 80~100°C |
| Cr18Ni12Mo2Ti | -5 | | | |
| ZG20CrMo | 0 | ≥6 | 200~300 | 壁厚小于 6mm, 环境温度低于 0°C 时, 应预热至 100~200°C |
| ZG20CrMoV | 0 | ≥6 | 200~300 | |
| ZG15Cr1Mo1V | 0 | ≥6 | 200~300 | |

3) 根部焊完之后, 应检查有无裂纹, 发现裂纹则需彻底清除。

4) 尽量利用多层焊法以改善接头质量。

5) 焊后应退火, 以消除残余应力。常用钢管、管件焊后热处理的要求见表 4-29。

6) 用以拉紧焊件的冷拉工具, 必须等焊口焊完并且热处理冷却之后方可松去。

2. 焊缝位置

管道和现场制作设备焊缝的位置, 除设计有规定者外, 焊缝的设置应避免应力集中区, 便于焊接和热处理, 并应符合下列规定:

1) 钢板卷管或设备、容器的筒节与筒节、筒节与封头组对时, 相邻两纵向焊缝间的距离应大于壁厚的 3 倍, 且不应小于 100mm; 同一筒节上两相邻纵缝间的距离不应小于 200mm, 如图 6-39 所示。有加固环的卷管, 加固环的对接焊缝应与管子纵向焊缝错开, 其间距不应小于 100mm。加固环距管子的环焊缝不应小于 50mm。

2) 加热炉受热面管子的焊缝中心与管子弯曲起点、联箱外壁及支、吊架边缘的距离不应小于 70mm; 同一直管段上两个对接焊缝间的距离不应小于 150mm。

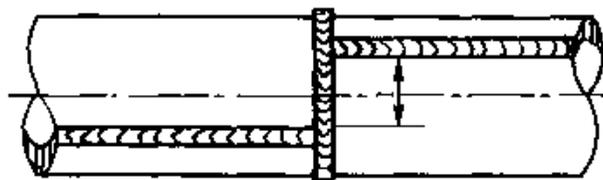


图 6-39 焊制管道对接方式

3) 除焊接及成形管件外的其他管子对接焊缝的中心到管子弯曲起点的距离不应小于管子外径, 且不应小于 100mm; 管子对接焊缝与支、吊架边缘之间的距离不应小于 50mm。需热处理的焊缝距支、吊架不得小于焊缝宽度的 5 倍, 且不得小于 100mm。管段上两对接焊缝中心面间的距离: 当公称直径大于或等于 150mm 时不应小于 150mm; 公称直径小于 150mm 时不应小于管子外径。

4) 不宜在焊缝及其边缘上开孔, 当不可避免时, 应对开孔直径 1.5 倍或开孔补强板直径范围内的焊缝进行无损检验, 确认焊缝合格后, 方可进行开孔。补强板覆盖的焊缝应磨平。

5) 卷管的纵向焊缝应置于易检修的位置, 且不宜在底部。

3. 其他有关技术要求

1) 焊接前, 应将坡口及坡口两侧的铁锈、污垢、油漆等清除干净。对于不锈钢管, 应在坡口两侧各 100mm 的范围内涂上白垩粉; 防止飞溅粘结的涂料配方 (质量分数) 如下: 白垩粉: 30%; 硅石: 30%; 水玻璃: 40%。

2) 要避免强力对口, 以免产生过大的内应力或焊接裂纹。采用卡具组对后拆除卡具时, 宜采用气割方法, 注意不要损伤母材。

3) 管道冷拉对口时使用的卡具, 应在焊接完毕, 焊缝冷却后方可拆除。如焊缝需热处理, 则卡具应在热处理后方可拆除。

4) 碳素钢及普通低合金钢管道的 I 级、II 级焊缝和合金钢、不锈钢管道焊缝, 宜采用氩弧焊打底, 焊条电弧焊填充、盖面。合金钢管焊

高等优点，相对于埋弧焊又克服了在野外较差的自然条件下使用设备复杂、操作不便的不足。因此，向下立焊以其焊接质量好、焊接速度快等优点，已经广泛地用于焊接工程，尤其是大口径薄壁长输管道的焊接。

向下立焊焊接工艺在长输管道建设的生产实践中不断发展，早期建设的管道由于管径小、压力低和冶金技术的限制，管道的现场焊接采用传统的向上立焊。随着管道工业的发展，X42、X46、X52、X56等钢管被广泛采用，20世纪60年代中后期，向下立焊焊接方法产生了，此时主要使用纤维素型立向下焊条，称为纤维素型向下立焊。但是，当纤维素型向下立焊用于大直径、厚壁管的焊接时，其焊接速度有时反而比不上向上立焊，难以体现出优质高效的优点。为了克服这些不足，适应管道钢材的变化，向下立焊焊接方法也在不断地发展完善，目前，向下立焊除了纤维素型向下立焊外，又出现了混合型向下立焊和复合型向下立焊等焊接方法。

金属管道的全位置向下立焊是一种新的焊接技术，它焊接速度快，焊缝成形美观，射线检测合格率高，尤其是焊道背面成形平缓、均匀，是焊条电弧焊一般常规向上断弧或连弧立焊不能比拟的。

(1) 优点 焊接热输入特别小；焊缝背面成形好；焊接速度较快；纤维素焊条抗裂性较好，抗气孔能力强。立向下低氢焊条焊缝的各项物理性能均优；设备、工具简单，特别适用于野外作业。

(2) 缺点 纤维素焊条和立向下焊低氢焊条价格较高；向下立焊时熔深较浅，焊道间打磨工作量增加。

1. 混合型向下立焊

混合型向下立焊是指在长输管道的现场组焊时，采用纤维素型焊条根焊、热焊、低氢型焊条填充焊、盖面焊的手工向下立焊焊接工艺，它主要适用于焊接材质级别高的管道。

提高输送压力是管道经济运行最重要的措施之一，随着这种变化，管道钢管发展的总趋势是大口径、高压力。由于作用在管壁上的应力与钢管管径和内压成正比，因此管径和内压的增加要求壁厚和钢的强度增加。而随着壁厚和钢的强度级别的增加，钢管出现断裂的几率增加，由此要求管线钢必须具备较高的韧性。随着管材冶金业的发展，微合金化控轧钢管的出现，高强度、高韧性管线钢的生产已经成为现实，高强度、高韧性管线钢在国外油气管道建设中已被广泛使用。在我国，宝钢

目前已经能够批量生产 X70 系列钢管，库都管道建设中使用了 X65 钢管。

钢级高的钢材的碳当量值一般较大，具有一定的淬硬倾向，以我国国产系列管线钢 X46、X52、X56 为例，它们的碳当量分别为：0.35%，0.36%，0.36%。而管线钢的现场焊接采用薄皮纤维素焊条的焊条电弧焊时，容易导致大量氢的渗入，同时焊接热输入低，冷却速度较快，容易产生高强度低韧性的低温转变产物，增加了冷裂纹的敏感性，因此在用纤维素焊条焊接钢级较高的管线钢时，钢管冷裂纹敏感性很大。

影响冷裂纹的主要因素有三个：焊接应力（包括内应力和外应力）、扩散氢造成的焊接接头脆化和钢材淬硬倾向。为了防止在钢级较高的管线钢焊缝及其热影响区周围产生氢致裂纹，要严格控制根部焊道的质量。即通过预热、后热或缓冷来降低冷却速度，给氢气的扩散逸出提供充分的机会；限制起吊高度，也就是限制作用在根部焊道上的悬臂荷载；严格控制焊接条件，采用气体保护焊或低氢型立向下焊条，减少氢的渗入。

实践证明，控制氢的来源是防止冷裂纹的有效途径。低氢型焊条由于焊缝金属中含氢量和含氧量较低，在相同条件下，其抗冷裂性和韧性均较纤维素焊条好，并且焊缝金属具有良好的综合力学性能。但是低氢型焊条具有电弧吹力不及纤维素焊条大、焊接操作不便、焊接速度慢等缺点，因此在钢级较高管线钢的焊接中采用了纤维素焊条和低氢型焊条混合的向下立焊，我们称之为混合型向下立焊。

混合型向下立焊焊接工艺在国际管道建设上使用较多，俄罗斯、美国、加拿大、荷兰及瑞典等国家在 20 世纪 80 年代后期的长输管道焊条焊中广泛采用混合型向下立焊焊接工艺。

前苏联比较注重对长输管道焊接的研究，随着综合性能良好的控轧、微合金化大口径钢管的出现，前苏联全苏长输管道建筑科学研究院研制了适用于长输管道的纤维素焊条和低氢型焊条。在许多国家焊接长输管道，从根焊、热焊到填充焊、盖面焊均采用纤维素焊条时，前苏联根据对冶金焊接性的长期研究，提出了纤维素焊条与低氢型焊条搭配使用的施焊方案，即根焊与热焊时采用纤维素焊条，焊接其他焊道及盖面焊时采用低氢型焊条的焊接工艺，采用这种工艺可使焊接接头质量进一步提高。

在我国，由于管道设计的限制，混合型向下立焊焊接工艺在国内的应用很少，并且有关规范要求管道全位置向下立焊根据不同材质、输送介质及管道运行温度选用焊条。SY/T4071—1993《管道向下立焊焊接工艺规程》中3.0.3（焊条的选用原则）规定：输油输水管道宜选用纤维素立向下焊条，输气管道宜选用低氢型立向下焊条。并推荐无论何种等级的管材，只要用于输气管道，根焊、热焊、填充焊及盖面焊均采用低氢型焊条，这固然保证了输气管道的焊接质量，但是也降低了焊接速度，提高了工程造价，牺牲了经济效益。

1996年，我国建设的陕京输气管道在国内长输管道中首次采用混合型向下立焊焊接工艺。陕京输气管道是我国采用向下立焊技术及进口钢材、焊材完成的第一条符合国际标准的压力钢管管道，也是我国目前输送距离最长、管径最大的天然气管道，线路工程用钢管管材为API5L×60级，管径660mm，壁厚7.1~14.3mm。由于管道沿途环境条件比较恶劣，要求焊接接头具有较高的低温冲击韧度，而通常的全纤维素型焊条焊接工艺难以达到低温韧性的要求，并考虑到满足质量要求及管道现场的实际情况，经过科研单位调查研究，科学试验及综合性能比较，并通过焊接工艺评定合格，选定了纤维素型焊条根焊、热焊和低氢型焊条填充焊、盖面焊的混合型焊条立向下焊接工艺。

实践证明，采用混合型向下立焊焊接工艺焊接钢级较高的管线钢获得了成功。

可以预见，随着管道工程对管线钢提出的更高要求，高强度、高韧性微合金化大口径钢管的应用日益广泛，混合型向下立焊焊接方法在未来几年内将成为长输管道现场焊接的主要方法。

混合型向下立焊采用低氢型焊条，国际上生产和应用低氢型立向下焊条是较为普遍的。但我国低氢型立向下焊条生产厂家较少，国内许多科研单位和厂家已经看到了这一点，纷纷开展了高强度低氢型立向下焊条的研制和生产工作。

2. 复合型向下立焊

复合型向下立焊是指对根焊层与热焊层采用向下立焊焊接方法，而对填充层与盖面层采用向上立焊焊接方法的焊接工艺，它主要用于焊接壁厚较大的管道。

同传统向上立焊相比较，相同壁厚的管道，向下立焊层数较多，这

也是向下立焊焊接工艺的特点。但是，当用于焊接大口径厚壁管时，向下立焊优质高效的优点便难以体现出来。

向下立焊热输入低，熔深较浅，焊道较薄，随着钢管壁厚的增加，焊道层数迅速增加，焊接时间与劳动强度加大。表 6-20 列出向下立焊与向上立焊在焊接厚壁管时所需的层数和道数。

表 6-20 不同壁厚钢管焊接层数及道数推荐表

| 壁 厚/mm | 向 上 立 焊 | | 向 下 立 焊 | |
|--------|---------|-----|---------|------|
| | 层 数 | 道 数 | 层 数 | 道 数 |
| 6~7 | 3 | 3 | 3~4 | 3~4 |
| 7~8 | 3 | 3 | 4 | 4~5 |
| 8~10 | 3~4 | 3~4 | 4~5 | 5~7 |
| 10~12 | 4 | 4~5 | 5~6 | 7~9 |
| 12~14 | 5 | 5~6 | 6~7 | 9~11 |

由此可以看出，采用单一的向下立焊工艺并不能充分发挥其焊接速度快的优势。这时若对根焊层与热焊层采用向下立焊，而对填充层与盖面层采用向上立焊，则可发挥两种工艺方法的优点，收到显著的经济效益。

苏州工业园区输水管道工程是我国与新加坡两国政府联合兴建的，此管道所用钢管规格为 $\phi 1400\text{mm} \times 14\text{mm}$ ，材质为 Q235-A。实践证明，焊接这种规格的钢管，若只采用向下立焊工艺，一道焊口需焊 7~8 层，而采用复合焊接工艺只需焊 4~5 层，一道焊口可节约纯焊接时间约 30min。对于根焊，若采用向上立焊工艺，由于采用灭弧焊法，一道焊口根焊完毕需灭弧 3000 次，纯焊接时间为 55min，而采用向下立焊工艺则可连续焊接，一道焊口根焊完毕，只需 35min。所以，在苏州工业园区输水管道工程中，对根焊层与热焊层采用向下立焊，而对填充层与盖面层采用向上立焊焊接工艺。

根焊层与热焊层采用纤维素向下立焊焊条 J425G，而填充层与盖面层采用了 J422 焊条。

现场实际焊接表明，采用这种复合焊接工艺，大大降低了焊工劳动强度，提高了效率，焊接一次合格率达 90% 以上，取得了良好的经济效益和社会效益。

6.3.2 向下立焊的操作技术与焊接参数

1. 焊前准备

1) 根据焊条牌号选择焊前烘干温度。纤维素型焊条烘干温度 70~80°C, 保温 0.5h; 低氢型焊条烘干温度 350~400°C, 保温 1~2h。

2) 管道施焊前应将坡口两侧各 50mm 宽的表面上的泥砂、油污、浮锈、水分、氧化物等杂物清理干净。

3) 管口的组对尺寸按表 6-21 要求进行。

表 6-21 管口组对尺寸

| 焊条类型 | | 单道坡口角度 /(°) | 钝边厚度 /mm | 对口间隙 /mm | 最大错边量 /mm | 错边长度 /mm |
|--------------|------|----------------|-------------|-------------|--------------|-----------------------------------|
| 纤维素型 下向焊条 | 推荐范围 | 30~35 | 1.2~2.0 | 1.2~2.0 | 0.8 | 任何情况下连续长度 $\leq 10\%L^{\text{①}}$ |
| | 容许范围 | 25~37 | 0.8~2.4 | 0.8~2.0 | 1.6 | |
| 低氢型 下向焊条 | 推荐范围 | 30~35 | 0.8~1.6 | 2.4~3.2 | 1.2 | 任何情况下连续长度 $\leq 10\%L^{\text{①}}$ |
| | 容许范围 | 27~40 | 0.8~2.4 | 2.0~3.6 | 1.6 | |

① L—管子周长 (mm)

2. 焊接

(1) 向下立焊采用纤维素型焊条和低氢型焊条的焊接参数见表 6-22 和表 6-23。焊接电源为直流反接。

表 6-22 纤维素型焊条焊接参数

| 焊接层名称 | 层内焊道数 | 焊条直径 /mm | 焊接电流 /A | 焊层厚度 /mm | 焊接速度 /(cm·min ⁻¹) |
|-------|----------|-------------|------------|-------------|----------------------------------|
| 根焊 | 1 | 3.2 | 70/130 | 2.0/2.5 | 10/30 |
| 填充焊 | 1~2 或 >2 | 3.2/4.0 | 110/165 | 2.0/2.5 | 20/25 |
| 盖面焊 | 1~2 或 >2 | 3.2/4.0 | 100/150 | 2.0/2.5 | 15/25 |

表 6-23 低氢型焊条焊接参数

| 焊接层名称 | 层内焊道数 | 焊条直径 /mm | 焊接电流 /A | 焊层厚度 /mm | 焊接速度 /(cm·min ⁻¹) |
|-------|----------|-------------|------------|-------------|----------------------------------|
| 根焊 | 1 | 3.2 | 70~120 | 2.0~2.5 | 6~20 |
| 填充焊 | 1~2 或 >2 | 3.2/4.0 | 115/155 | 2.0~2.5 | 20/25 |
| 盖面焊 | 1~2 或 >2 | 3.2/4.0 | 115/165 | 2.0~2.5 | 15/25 |

注: 焊条直径栏中“/”两面的参数与以后参数栏中“/”两面参数一一对应, 均为平均值。层内焊道数=坡口宽度/焊条直径+3mm。随管道壁厚的增加坡口宽度增加, 焊条基本不摆动。

(2) 焊条操作角度见图 6-40。打底焊、填充焊、盖面焊的焊条角度基本相同，只是弧长不同，焊缝的宽度主要由电弧的长短来控制。

(3) 操作技术 向下立焊的引燃电弧、接头和收弧过程与一般焊条电弧焊没有什么区别，但要求焊工要达到一定的熟练程度。操作要特别稳和准，这是因为在向下立焊时，用操作手法调整熔化金属的成形的余地很小。当熔池形成并达到一定要求时，进行焊接，焊接速度应均匀。

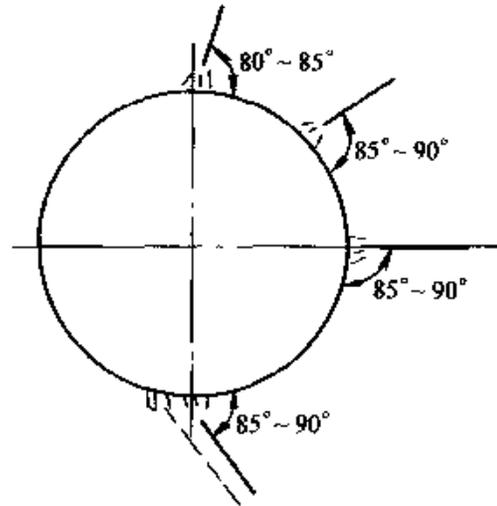


图 6-40 焊条操作角度

向下立焊的运条要求不摆动或做很小摆动，当摆动较宽时，不易控制熔化金属的成形，在焊缝的中间造成凹陷，同时也要求焊工操作要特别稳和准。

向下立焊的电弧长度不能太长，焊接熔池不宜过大，否则都会造成焊缝成形不好或产生气孔。

立焊时，电弧略长，使熔池保证一定的圆度，再下拉轻轻摆动。

仰焊位时，采用不完全熄弧法。引燃电弧后回至原处，短弧轻微往返形运条焊接。

操作时，一定要控制焊条运条角度，防止产生夹渣缺陷。熄弧时，电弧拉长直至熄灭，注意填满弧坑。

(4) 向下立焊技术的适用范围

向下立焊这种工艺方法适用于低合金高强钢的薄壁大直径管道（壁厚 $\leq 20\text{mm}$ ，管外径 $> 300\text{mm}$ ），特别是野外作业时，在达到一定质量要求的前提下，它既可以比焊条电弧焊速度快，又比手工钨极氩弧焊抗环境影响能力强。对于低合金高强钢，它可以形成非常小的焊接热输入量，使钢材优良的塑、韧性能在焊接接头上得到最大的满足。

6.3.3 向下立焊技术使用的焊接材料

向下立焊技术使用的焊条主要为纤维素型和碱性低氢型两大类。

纤维素型焊条主要特点是药皮发气较早（约 150°C ）且多，熔池铁液稍稠，但浸润性很好。在根焊的背面可以很明显看到成形很好，过渡

圆滑，根焊背面成形的优势是任何焊接方法都不能媲美的。同时，由于其对口间隙小，焊接速度快、效率高的优势也比较突出。另外，纤维素型焊条焊接的焊缝气孔较少见。纤维素型焊条使用时要注意烘干温度不要超过 80℃。

碱性低氢型立向下焊条，目前我国还没有生产，国际上生产和应用是较为普遍的。碱性低氢型立向下焊条在使用方面的特点不如纤维素型焊条那么明显，只是在热输入量小时熔深较大。碱性低氢型立向下焊条的端头必须有引弧剂，即使这样，出气孔的几率也较高，如果因各种原因停弧，剩下的焊条无法再用，这对焊接设备和焊工操作工艺水平的要求较高。陕西进京天然气管线使用的是奥地利博乐尔公司生产的 E8018-G 碱性低氢型立向下焊条，在克服引弧气孔方面，有其独到之处，即：这种焊条钢芯的引弧端头为一“凸”形， $\phi 4\text{mm}$ 焊条端头只有 $\phi 1.5\sim 2.0\text{mm}$ ，并且焊条药皮要包严。引弧时，瞬间电流密度很大，使小范围的发热量也很大，这样一来，无论从促进焊条药皮的发气还是从建立电弧的角度讲都是有优势的。

目前，世界各国包括中国都按照 AWS（美国焊接协会）标准生产焊条，在焊条的包装和说明书中除了本国的牌号型号外都标注了相当于 AWS 标准的型号，这样，给选择焊条提供了很大方便。常用的焊条与母材匹配，可按表 6-24 的数据选择。

表 6-24 常用焊条与母材匹配

| 管线材质 | 所选焊条型号 | 采用标准 |
|-----------|---------------|------|
| 10 钢、20 钢 | E6010、E7010X | AWS |
| Q345、Q420 | E7010X、E8010C | AWS |

6.3.4 适用于向下立焊的电焊机

采用向下立焊技术，要使用合适的电焊机才可缩短焊接时间。在选用电焊机时要考虑的先决条件是，针对不同的任务（在某一地点进行设备安装或在有管道的建筑工地上），可使用各种不同的电焊机。在设备安装中，在有电源的情况下，可以使用整流器，或者逆变整流器。

1. 焊接整流器

一个可靠的向下立焊电焊机应具备以下 6 个条件：

1) 具备直流供电电源；

2) 把管子边缘加工成“U”字形和“V”字形后，在两管之间的距离为0.5~1.0mm时，可毫无问题地进行焊接；

3) 焊弧的长度只有焊条直径的1/4；

4) 焊接电流在35A时，电弧不断；

5) 飞溅少；

6) 焊接电流的强度，必须可以根据电弧的长度和焊缝的大小，自动的进行调节。

市场上常见的焊接整流器不具备以上的条件。新开发的逆变器，可以满足带刷焊接发电机曲线图上的要求。

另一个优点是逆变整流器很轻，功率很小，该逆变整流器也可与15kV·A的焊接发电机连接，使焊接电流可达到250A。

2. 带刷直流发电机

带刷直流发电机，通过其特殊的发电方式，形成绝对笔直的直流电流曲线，从而使焊条均匀的熔敷在材料上。它甚至可在电弧不中断的情况下，焊接出只有0.8~1.5mm的焊缝（焊缝越小焊接越经济）。

在停电的情况下可使用带刷发电机。尽管如此，它还是可以达到向下立焊的理想曲线图。

电焊机的功率可达到350A，因此它适用于停电时的管道安装工作。在管道安装中，使用的最粗的纤维素焊条直径为5.5mm，最高可以用260A的电流进行焊接。因此，在选用电源时应注意，在向下立焊技术中，用碱性焊条不需要更大的电流强度，因为最粗的药芯只有4mm。

3. 电焊机的配备件

在地下管道工程中，预防事故的措施对机器来说也是很重要的，所以利用柴油，提供交流电或多相电流的电焊机，一定要进行GW308绝缘检测，或装一个与其相匹配的保护开关，如VDE100。柴油电焊机的遥控器只允许12V的低保护电压。

6.4 管道维修焊接实例

6.4.1 泄漏管道的补焊

在锅炉运行过程中，某些充水管道有时会发生穿孔泄漏现象，此时如果停产将管道内的水全部排尽进行补焊，将会使生产受到极大损失。

为此可采用带水补焊的方法，现介绍如下。

1) 根据泄漏孔的大小选择合适的螺栓、螺母。

2) 先把螺母按图 6-41 所示，焊到泄漏处，然后拧上螺栓，使泄漏停止或减弱，最后再把螺栓与螺母焊到一起，漏孔即被完全堵死，锅炉便能很快进入正常运行。

3) 由于是带水管道的补焊，因此应选择对水、气、铁锈不敏感的酸性焊条。

4) 补焊时选择小直径焊条，焊接电流应为焊条直径的 50~60 倍。

此法的优点是：不管漏孔大小，都可用相应的螺母进行补焊，且螺栓螺母极易寻找，补焊堵漏省时省力，效率高。

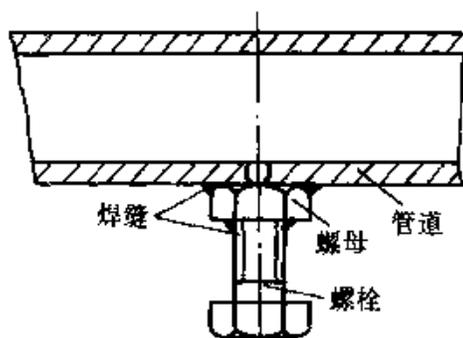


图 6-41 堵漏补焊

6.4.2 蒸汽管道的带压补焊

蒸汽管道由于长期使用或腐蚀导致管子某些地方穿透泄漏是每个企业维修工作中经常遇到的情况。为保证蒸汽管道正常运行，带压补焊的焊前处理和选择合适的补焊工艺非常重要，具体处理方法和补焊工艺如下。

1. 补焊前对泄漏气的处理

(1) 鑿堵法 管道在出气压力为 0.2MPa 这样低时也难以进行焊条电弧焊，因此，补焊前首先要把泄漏蒸汽堵住后才能补焊。鑿堵法就是用尖头锤或鑿子在距孔 2mm 左右处锤击漏气孔周围的金属，使其挤向孔内，将孔暂时缩小堵住。此法适用于原焊缝上或管上因砂眼、气孔、夹渣等造成的泄漏，但对管道已被严重腐蚀，管壁已相当薄，一鑿即穿的泄漏是不能用此法的，这时宜采用放空法。

(2) 放空法 放空法是按孔的大小或线的长短选配一段约 250mm 长的管子，先在一端焊好一个放空阀门（打开）。另一端加工成一定弧度后罩在漏气孔上，让气从阀门放出，焊好角焊缝后关闭阀门即可。

2. 补焊工艺

(1) 鑿堵后的熄弧点焊法 鑿堵只是表面和暂时的。鑿堵后的补焊，在工艺上应控制好两点：一是母材熔深要尽量浅；二是熔池要冷却

快。此处的熄弧点焊法比常用的熄弧焊法断弧时间要长，须等熔池完全凝固后方可再引弧，引弧位置应在已凝固熔池的后半部，引弧后即向补焊方向拉灭电弧以牵引熔池铁液向前。此法补焊一般应焊3个层次。第一层为封住层，用铁液封住漏点。采用直流反接，小直径焊条（ $\phi 2.5\text{mm}$ ），下限电流，以快速熄弧点焊法慢慢点焊，焊层宜薄。第二层为验证层，此层仍以小参数工艺熄弧点焊。焊验证层时，如果发现泛泡，则表明前层并未完全封住，应停止验证，须再塞堵再封，直至验证已封住为止。第三层为盖面层，在验证封住后，可按正常焊法连弧焊接，由外围向中心加宽加厚焊盖面层，采用直流正接，焊条直径可选2.5mm或3.2mm，电流为常规电流。

(2) 放空管角焊缝的焊接 在无压力下角焊缝是容易焊接的，但这里带压角焊缝的焊接是比较困难的，因为有以下3种情况：

1) 罩口处有排气。放空管罩上后，漏气不能全部从阀门内放出，仍有一部分从罩口间隙处排出。

2) 电弧被吸入。当气从阀门内放走时，在气压高、流速急时，会吸入罩口外的空气，因此电弧也被一并吸入。

3) 蒸汽管壁太薄。当低压蒸汽管壁被腐蚀得很薄时，电弧极易烧穿管壁。

因此，焊带压蒸汽管的角焊缝时，应根据具体情况采用如下特殊的工艺措施：

1) 控制好电弧方向。蒸汽管壁越薄，电弧偏向罩管的角度也越大。

2) 加夹套管紧箍。当管壁薄得难以焊条电弧焊时，可采用加夹套管内衬橡胶或纸箔紧箍的临时办法急救，以解燃眉之急。

3) 由上向下熄弧点焊流补法。当电弧被吸入时可采用此法，即电弧不直接在角焊缝处引弧，而是让熔化的铁液流下堵住。

4) 覆板加焊放空管。覆板可加大面积，避开局部薄壁点。

5) 罩口弧度应加工适度。罩口弧度适度能使放空管罩口罩得紧密，以减少罩口处的排气。

6) 先点焊挡板或小管。罩口处的排气若是由漏气偏向或分散所致，可在偏向旁先点固一小块挡板或加焊一段（约50mm）小管（小于放空管尺寸），使漏出气从正面集中排出，从而减少罩口处的排气。

蒸汽管带压补焊在采用堵、放、焊、包等工艺方法后基本上是可以得到成功的。但是，在补焊过程中对补焊程序必须应予以周密考虑和谨慎操作，特别是在难度较高、情况复杂时，更应先研究好补焊方案后再实施补焊操作。

6.4.3 输油管线的在线焊接

长输油管线在石油输送过程中，由于输送介质或周围土壤对管线的腐蚀以及局部机械损伤等原因，需要对损伤部位进行现场加固或焊接修复。另外，由于输送工艺的改变或损伤管道的更换，要求现场安装分输支管。

由于石油的易燃易爆性，进行管道修复和加固是一项很危险的工作。在维修时，首先停输卸压，然后在要修复或更换的部位两端钻孔卸油封堵，用压缩空气、氮气或水进行清理，在确保管内残留油气不会燃烧或爆炸时，才可以进行焊接施工。这种施工方案的主要缺点是：油气停输造成明显的经济损失；油气排泄造成浪费并污染环境；施工周期长。

输油管线不停输，在线焊接施工，现已取得了相当的进展。在施工中常采用两种技术：套管修理焊接和带压打孔安装支管焊接。套管修理焊接是采用两块半圆弧形板对接套贴在待修的部位，然后在套管和修理管道之间进行填角焊缝焊接。带压打孔安装支管焊接是在需要安装支管进行分输的部位，焊接带法兰的接管，在不停输的情况下打孔，通过法兰连接支管。

在线焊接技术的关键主要有两个方面：首先管壁不能焊接烧穿，引起介质泄漏甚至起火爆炸，造成人身伤亡事故；其次是保证焊接接头质量。不停输焊接时，管内流体不断带走管壁上的热量，使焊接区冷却加快，焊接接头硬度增加，既容易形成冷裂纹，又对焊接接头的抗腐蚀性能不利。同时还要尽可能降低在线焊接的残余应力及其他附加应力。输油管线在线焊接时常见的缺陷及防止措施如下：

- 1) 焊接烧穿。在带压管道上施焊时，如焊接熔池下方的金属不能承受熔池重力或内压应力时，就会出现烧穿泄漏现象。焊接前需要用超声波测厚仪检查焊接部位管道的实际厚度，然后根据需要的熔深确定焊接参数或焊接热输入。影响烧穿的因素主要是壁厚、焊接参数、钢管内压、焊条药皮类型、管内介质的种类及流动条件等。通常壁厚增加、管

内介质流速增加、管内压降低均使焊接烧穿的危险减小。另外，纤维素型等酸性焊条可能容易烧穿，而碱性焊条就较不容易烧穿。壁厚 6.4mm 钢管的焊接试验表明，采用直径 2.5~3.2mm 碱性焊条，在正常焊接工艺规范条件下，钢管内表面很难达到 980°C，可以不考虑烧穿的问题。

现在也有采用计算机模拟计算来判断管壁烧穿危险性的。在计算中可输入焊接参数（焊接电流、电弧电压、焊接速度及预热温度）和介质工作条件（介质类型、压力及流速）以及管壁厚度等参数预测管道内表面的温度，并进而判断管壁是否会烧穿。

2) 氢致裂纹。管内介质的流动，加速焊接区的冷却，促使焊接接头硬化及氢致裂纹的产生。为了避免焊接氢致裂纹的形成，除了采用低氢焊接材料和降低焊接应力外，必须设法降低焊接热影响区的硬度，并减少淬硬组织的构成比例。为此对焊接热输入、焊接预热温度以及回火焊道技术的配合应用提出了要求。

目前有两种方法预测在线管道焊接时的冷却速度：一种是 Battelle 提出的热分析方法，采用便携式微机和二维热传导方程的数值解，输入管道的尺寸及介质运行参数，预测焊缝的冷却速度及管道内表面的温度，能预测套管与修理管道间角焊缝根部焊道的冷却速度，以及支管与主管间根部角焊缝的冷却速度。另一种是 Edison 焊接研究所的现场测试方法，测量管内流动介质带走管壁热量的能力。该方法采用气体火焰，将管道外表面直径 50mm 的区域加热到 300~325°C，然后采用数字式接触测温计及秒表测出该加热区从 250°C 到 100°C 的冷却时间，根据沿管长方向 6 个测量的平均值，确定介质对管壁的散热能力。根据在试验室和现场已经建立的经验关系，就可以预测焊缝的冷却速度，按照允许硬度下的临界冷却速度，可确定焊接参数及热输入。

限制焊接热输入，除了有利于防止烧穿外，还有利于避免奥氏体晶粒过分长大导致材料韧性的降低。因此，在使用小热输入焊接的情况下，可给出最低预热温度，以防止焊接冷裂纹的发生。

回火焊道技术使用得当，能可靠地控制焊接接头的硬度。回火的效果与焊道位置、焊接顺序及采用的热输入有关。回火焊道位置的偏差，可能没有效果或反而增加焊接接头的硬度。为此也可采用小热输入多层焊技术，图 6-42 所示是英国天然气公司采用的套管焊接工艺，先采用

立向下低氢型焊条在管道表面堆焊熔敷层，然后按回火焊道的方案布置盖面焊道，效果较好。

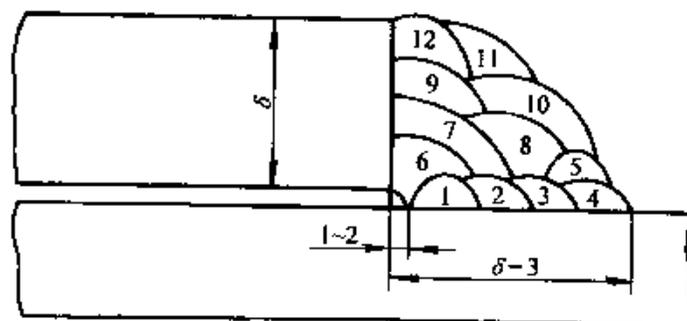


图 6-42 套管角焊缝多层焊工艺

第 7 章 铝、铝合金及其管道的焊接

7.1 铝及铝合金的分类

铝及铝合金可分为工业纯铝、非热处理强化铝合金、热处理强化铝合金、铸造铝合金。铝合金分类示意图见图 7-1。铝合金的分类及性能特点见表 7-1。

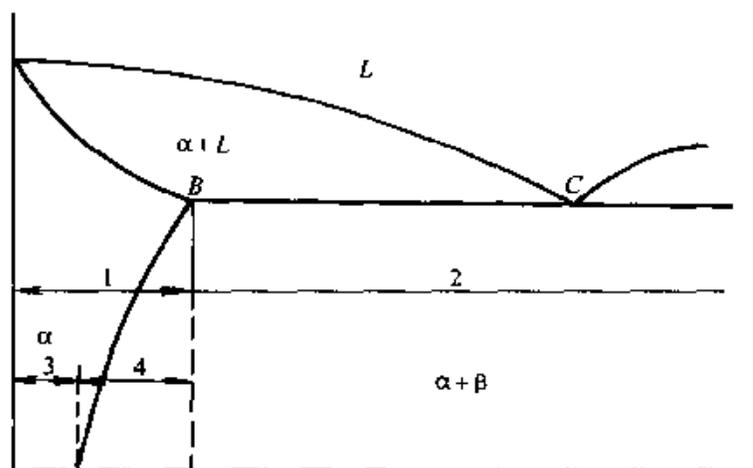


图 7-1 铝合金分类示意图

1—变形铝合金 2—铸造铝合金 3—非热处理强化的铝合金 4—热处理强化的铝合金

表 7-1 铝合金分类及性能特点

| 分 类 | 合金名称 | 合 金 系 | 性 能 特 点 | 示 例 |
|-------|--------|----------------|----------------------|-----------------|
| 铸造铝合金 | 简单铝硅合金 | Al-Si | 铸造性能好,不能热处理强化,力学性能较低 | ZL102 |
| | 特殊铝硅合金 | Al-Si-Mg | 铸造性能良好,可热处理强化,力学性能较高 | ZL101 |
| | | Al-Si-Cu | | ZL107 |
| | | Al-Si-Mg-Cu | | ZL105, ZL110 |
| | | Al-Si-Mg-Cu-Ni | | ZL109 |

(续)

| 分 类 | 合金名称 | 合 金 系 | 性 能 特 点 | 示 例 | |
|-------|------------|-------|-----------------|------------------------|------------|
| 铸造铝合金 | 铝铜铸造合金 | Al-Cu | 耐热性好, 铸造性能与抗蚀性差 | ZL201 | |
| | 铝镁铸造合金 | Al-Mg | 力学性能高, 抗蚀性好 | ZL301 | |
| | 铝锌铸造合金 | Al-Zn | 能自动淬火, 宜于压铸 | ZL401 | |
| | 铝稀土铸造合金 | Al-RE | 耐热性能好 | | |
| 变形铝合金 | 不能热处理强化铝合金 | 防锈铝 | Al-Mn | 抗蚀性、压力加工性与焊接性能好, 但强度较低 | 3A21 |
| | | | Al-Mg | | 5A05 |
| | 可热处理强化铝合金 | 硬铝 | Al-Cu-Mg | 力学性能高 | 2A11, 2A12 |
| | | 超硬铝 | Al-Cu-Mg-Zn | 温度强度最高 | 7A04, 7A09 |
| | | 锻铝 | Al-Mg-Si-Cu | 锻造性能好 耐热性能好 | 2A14, 2A50 |
| | | | Al-Cu-Mg-Fe-Ni | | 2A70, 2A80 |

非热处理强化铝合金通过加工硬化、固溶强化提高力学性能, 特点是强度中等、塑性及耐蚀性好, 又称防锈铝, 代号为 LF $\times\times$, 焊接性良好, 是焊接结构中应用最广的铝合金。热处理强化铝合金是通过固溶、淬火、时效等工艺提高力学性能。经热处理后可显著提高抗拉强度, 但焊接性较差, 熔化焊时产生焊接裂纹的倾向较大, 焊接接头的力学性能严重下降。热处理强化铝合金包括硬铝 (LY $\times\times$)、超硬铝 (LC $\times\times$) 等。

7.2 铝及铝合金的焊接性

纯铝的熔点为 660°C, 熔化时不发生颜色变化。铝对氧的亲合力很

强，在空气中很容易氧化成致密难熔的氧化膜（ Al_2O_3 ，熔点 2050°C ），它可防止铝继续氧化。铝及铝合金熔化焊时有如下困难和特点：

(1) 铝和氧的亲合力很大，在铝及铝合金表面总有一层难熔的氧化铝膜，远远超过铝的熔点，这层氧化铝膜不溶于金属并且妨碍被熔融填充金属润湿。在焊接过程中应将氧化膜清除或破坏掉。

(2) 铝的导热性和导电性约为低碳钢的 5 倍，焊接时需要更高的热输入，应使用大功率或能量集中的热源，有时还要求预热。

(3) 铝的线胀系数约为低碳钢的 2 倍，凝固时收缩率比低碳钢大两倍。因此，焊接变形大，若工艺措施不当，易产生裂纹。熔焊时，合金的焊接性首先体现在抗裂性上。在铝中加入铜、锰、硅、镁、锌等合金元素可获得不同性能的合金，铝合金的裂纹敏感性如图 7-2 所示。

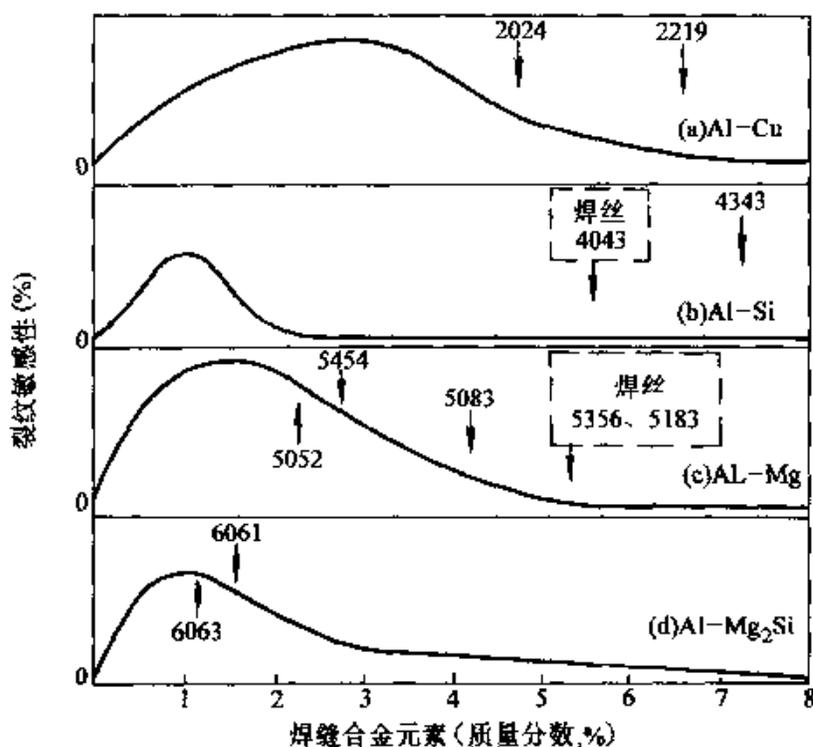


图 7-2 铝合金的裂纹敏感性

(4) 金属的固态和液态色泽不易区别，焊接操作时掌握温度困难；铝在高温时强度很低，焊接时易引起金属塌陷或下漏。

(5) 焊后焊缝易产生气孔，焊接接头易发生软化。

对铝合金进行焊接，可以用多种不同的焊接方法，部分铝及铝合金的相对焊接性见表 7-2。

表 7-2 部分铝及铝合金的相对焊接性

| 焊接方法 | 焊接性及适用范围 | | | | | | | 说明 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|----------|----------------------|
| | 工业纯铝 | 铝锰合金 | 铝镁合金 | | 铝铜合金 | 适用厚度 | | |
| | 1070 1100 | 3003 3004 | 5083 5056 | 5052 5454 | 2014 2024 | 推荐 | 可用 | |
| TIG 焊(手工、自动) | 很好 | 很好 | 很好 | 很好 | 很差 | 1~10 | 0.9~25 | 填丝或不填丝, 厚板需预热, 交流电源 |
| MIG 焊(手工、自动) | 很好 | 很好 | 很好 | 很好 | 较差 | ≥ 8 | ≥ 4 | 焊丝为电极, 厚板需预热和保温。直流反接 |
| 脉冲 MIG 焊(手工、自动) | 很好 | 很好 | 很好 | 很好 | 较差 | ≥ 2 | 1.6~8 | 适用于薄板焊接 |
| 气焊 | 很好 | 很好 | 很差 | 较差 | 很差 | 0.5~10 | 0.3~25 | 适用于薄板焊接 |
| 焊条电弧焊 | 较好 | 较好 | 很差 | 较差 | 很差 | 3~8 | — | 直流反接, 需预热, 操作性差 |
| 电阻焊(点焊、缝焊) | 较好 | 较好 | 很好 | 很好 | 较好 | 0.7~3 | 0.1~4 | 需要电流大 |
| 等离子弧焊 | 很好 | 很好 | 很好 | 很好 | 较差 | 1~10 | — | 焊缝晶粒小, 抗气孔性能好 |
| 电子束焊 | 很好 | 很好 | 很好 | 很好 | 较好 | 3~75 | ≥ 3 | 焊接质量好, 适用于厚件 |

7.3 铝及铝合金的焊接工艺

1. 焊接材料

(1) 焊丝 铝及铝合金焊丝分为同质焊丝和异质焊丝两大类。为了得到性能良好的焊接接头, 应从焊接构件使用目的考虑, 选择适合于母材的焊丝作为填充材料。

选择焊丝首先要考虑焊缝成分要求, 还要考虑产品的力学性能、耐腐蚀性能, 结构的刚性、颜色及抗裂性等问题。选择熔化温度低于母材的填充金属, 可大大减小热影响区中晶间裂纹倾向。对于非热处理合金的焊接接头强度, 按 1000 系、4000 系、5000 系的次序增大。含镁 3% 以

上的 5000 系的焊丝，应避免在使用温度 65°C 以上的结构中采用，因为这些合金对应力腐蚀裂纹很敏感，在上述温度和腐蚀环境中会发生应力腐蚀龟裂。用合金含量高于母材的焊丝作为填充金属，通常可防止焊缝金属裂纹。铝及铝合金焊丝的化学成分见表 2-18。在选择焊材时，焊丝选用应综合考虑母材的化学成分、力学性能和使用条件等因素，并应符合下列规定：

1) 纯铝焊接时，应选用纯度与母材相近的焊丝；

2) 铝镁合金焊接时，应选用含镁量等于或略高于母材的焊丝，见表 7-3。

表 7-3 铝及铝合金焊丝的用途

| 名 称 | 牌 号 | 用 途 |
|---------|------------------|--------------------------|
| 2 号纯铝丝 | SAI-2 | 焊接纯铝及要求不高的铝合金 |
| 3 号纯铝丝 | SAI-3(相当于丝 301) | 焊接抗裂性要求较高的纯铝、铝锰合金 |
| 铝硅 5 焊丝 | SAISi5(相当于丝 311) | 焊接除铝镁合金以外的铝合金，抗裂性好 |
| 铝锰 1 焊丝 | SAIMn1(相当于丝 321) | 焊接铝锰及其他铝合金，焊缝耐蚀性好 |
| 铝镁 2 焊丝 | SAIMg2 | |
| 铝镁 3 焊丝 | SAIMg3 | |
| 铝镁 5 焊丝 | SAIMg5(相当于丝 331) | 焊接铝镁及其他铝合金，焊缝有良好的耐蚀及力学性能 |

3) 铝锰合金焊接时，应选用与母材成分相近的焊丝或铝硅合金焊丝；

4) 异种铝合金焊接时，应选用与抗拉强度高一侧的母材相近的焊丝，见表 7-4。

表 7-4 异种铝管焊接时焊丝选用

| 母材牌号(新牌号/旧牌号) | 填充焊丝[新牌号(旧牌号)] |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1070A~8A06 + 3A21/L1~L6 + LF21 | SAIMg1、SAISi5、3A21(LF21) |
| 5A02 + 3A21/LF2 + LF21 | SAIMg5、5A03(LF3) |
| 5A03 + 3A21/LF3 + LF21 | SAIMg5、5A05(LF5) |
| 5A05(5A06) + 3A21/LF5(LF6) + LF21 | SAIMg5、5A06(LF6) |
| 1070A~8A06 + 5A02/L1~L6 + LF2 | SAIMg5、5A03(LF3) |
| 1070A~8A06 + 5A03/L1~L6 + LF3 | SAIMg5、5A05(LF5) |
| 1070A~8A06 + 5A05/L1~L6 + LF5 | SAIMg5、5A06(LF6) |
| 1070A~8A06 + 5A06/L1~L6 + LF6 | 5A06(LF6) |

- 5) 铝及铝合金焊接时, 也可用母材切条作填充金属;
6) 铝及铝合金焊丝选用, 应符合表 7-5 的规定。

表 7-5 铝及铝合金焊丝的选用

| 母材牌号(新牌号/旧牌号) | 焊丝牌号[新牌号(旧牌号)] |
|----------------------------|--|
| 1070A/L1 | 1070A(L1) |
| 1060/L2 | SAI-2、1070A(L1)、1060(L2) |
| 1050A/L3 | SAI-2、SAI-3、1060(L2)、1050A(L3) |
| 1035/L4 | SAI-2、SAI-3、1035(L4) |
| 1200/L5 | SAI-2、SAI-3、1035(L4)、1200(L5) |
| 8A06/L6 | SAI-2、SAI-3、1200(L5)、8A06(L6) |
| 5A02/LF2 | SAIMg-2、SAIMg-3、SAIMg-5、5A02(LF2)、5A03(F3) |
| 5A03/LF3 | SAIMg-3、SAIMg-5、5A03(LF3)、5A05(LF5) |
| 5A05/LF5 | SAIMg-5、5A05(LF5)、5A06(LF6) |
| 5A06/LF6 | 5A06(LF6) |
| 5A11/LF11 | SAIMg-5、5A11(LF11) |
| 5A21/LF21 | SAIMn、SAISi-5、5A21(LF21) |
| 1070A~8A06+5A21/L1~L6+LF21 | SAIMn、SAISi-5、5A21(LF21) |
| 5A02+5A21/LF2+LF21 | SAIMg-5、5A03(LF3) |
| 5A03+5A21/LF3+LF21 | SAIMg-5、5A05(LF5) |
| 5A05+5A21/LF5+LF21 | SAIMg-5、5A06(LF6) |
| 5A06+5A21/LF6+LF21 | SAIMg-5、5A06(LF6) |
| 1070A~8A06+5A02/L1~L6+LF2 | SAIMg-5、5A03(LF3) |
| 1070A~8A06+5A03/L1~L6+LF3 | SAIMg-5、5A05(LF5) |
| 1070A+8A06+5A02/L1~L6+LF2 | SAIMg-5、5A06(LF6) |
| 1070A+8A06+5A06/L1~L6+LF6 | 5A06(LF6) |

(2) 保护气体 焊接铝及铝合金的惰性气体有氩气(Ar)和氦气(He)。氩气的技术要求为氩 $>99.9\%$, 氧 $<0.005\%$, 氢 $<0.005\%$, 水分 $<0.02\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 氮 $<0.015\%$ 。氧、氮增多, 均恶化阴极雾化作用。氧 $>0.3\%$ 则使钨极烧损加剧, 超过 0.1% 使焊缝表面无光泽或发黑。

TIG 焊时, 交流加高频焊接选用纯氩气, 适用大厚板; 直流正极性焊接选用氩气+氮气或纯氮。

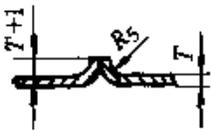
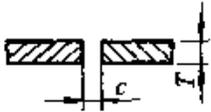
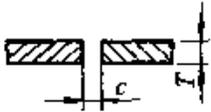
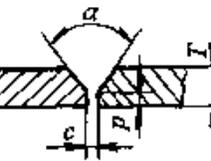
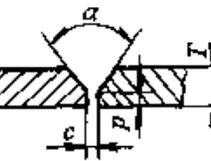
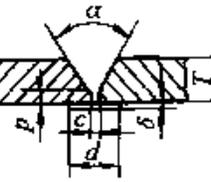
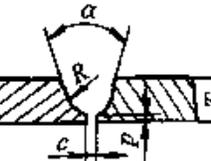
MIG 焊时, 当板厚 $<25\text{mm}$ 时, 采用纯氩气; 当板厚为 $25\sim 50\text{mm}$ 时, 采用添加 $10\%\sim 35\%$ 氮气的氩气+氮气混合气体; 当板厚为 $50\sim 75\text{mm}$ 时, 宜采用添加 $10\%\sim 35\%$ 或 50% 氮气的氩气+氮气混合气体。当板厚 $>75\text{mm}$ 时, 推荐用添加 $50\%\sim 75\%$ 氮气的氩气+氮气混合气体。

2. 焊前准备

(1) 焊件坡口制备应符合下列规定:

1) 坡口形式和尺寸应符合设计和焊接作业指导书的规定, 当无规定时, 应符合表 7-6~表 7-8 的规定。

表 7-6 铝及铝合金手工钨极氩弧焊坡口形式及尺寸

| 项次 | 厚度 T /mm | 坡口名称 | 坡口形式 | 坡口尺寸 | | | 备 注 |
|----|---------------|-----------|---|---------------|---------------|---------------------------------|--|
| | | | | 间隙 c /mm | 钝边 p /mm | 坡口角度 $\alpha(\beta)(^\circ)$ | |
| 1 | 1~2 | 卷边 |  | — | — | — | 卷边高度 $T+1$ 不添加焊丝 |
| 2 | <3 | I 形坡口 |  | 0~1.5 | | | 单面焊 |
| | 5~12 | II |  | 0.5~2.5 | | | 双面焊 |
| 3 | 3~5 | V 形坡口 |  | 0~2.5 | 1~1.5 | 70~80 | ①横焊位置坡口角度上半边 $40^\circ\sim 50^\circ$, 下半边 $20^\circ\sim 30^\circ$; ②单面焊坡口根部内侧最好倒棱; ③U形坡口根部圆角半径为 $6\sim 8\text{mm}$ |
| | 5~12 | □ |  | 2~4 | 1~2 | 60~70 | |
| 4 | 4~12 | 带垫板 V 形坡口 |  | | | | |
| 5 | >8 | U 形坡口 |  | 0~2.5 | 1.5~2.5 | 55~65 | |

(续)

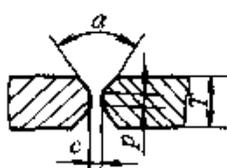
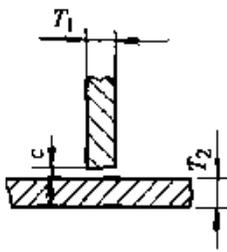
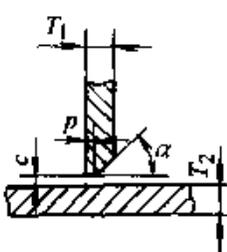
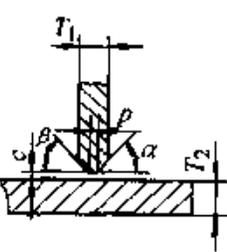
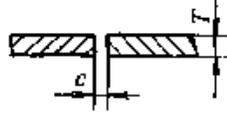
| 项次 | 厚度 T /mm | 坡口名称 | 坡口形式 | 坡口尺寸 | | | 备注 |
|----|---------------|-------------|---|---------------|---------------|---------------------------------|----|
| | | | | 间隙 c /mm | 钝边 p /mm | 坡口角度 $\alpha(\beta)(^\circ)$ | |
| 6 | >12 | X形坡口 |  | 0~2.5 | 2~3 | 60~80 | |
| 7 | ≤ 6 | 不开坡口 T形接头 |  | 0.5~1.5 | | | |
| 8 | 6~10 | T形接头单边 V形坡口 |  | 0.5~2 | ≤ 2 | 50~55 | |
| 9 | >8 | T形接头对称 K形坡口 |  | 0~2 | ≤ 2 | 50~55 | |

表 7-7 铝及铝合金熔化极氩弧焊坡口形式及尺寸

| 项次 | 厚度 T /mm | 坡口名称 | 坡口形式 | 坡口尺寸 | | | 备注 |
|----|---------------|------|---|---------------|---------------|---------------------------------|----|
| | | | | 间隙 c /mm | 钝边 p /mm | 坡口角度 $\alpha(\beta)(^\circ)$ | |
| 1 | ≤ 10 | I形坡口 |  | 0~3 | | | |

(续)

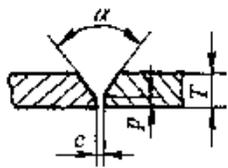
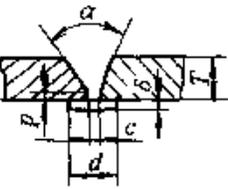
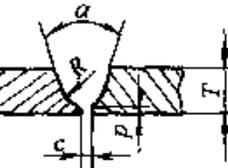
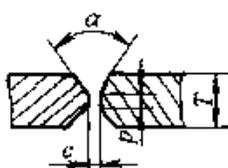
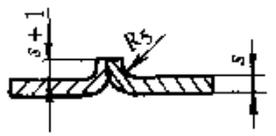
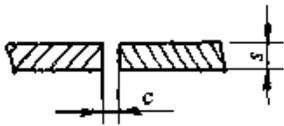
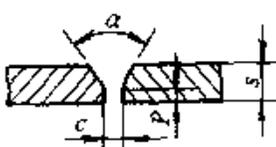
| 项次 | 厚度 T /mm | 坡口名称 | 坡口形式 | 坡口尺寸 | | | 备注 |
|----|---------------|-------------|--|---------------|---------------|---------------------------------|----|
| | | | | 间隙 c /mm | 钝边 p /mm | 坡口角度 $\alpha(\beta)(^\circ)$ | |
| 2 | 8~20 | V形坡口 |  | 0~3 | 3~4 | 60~70 | |
| 3 | 8~25 | 带垫板 V形坡口 |  | 3~6 | | 50~60 | |
| 4 | >20 | U形坡口 |  | 0~3 | 3~5 | 40~50 | |
| 5 | >8 | X形坡口 |  | 0~3 | 3~6 | 70~80 | |
| | >26 | | | | 5~8 | 60~70 | |

表 7-8 氧乙炔焊坡口型式与尺寸

| 坡口型式 | 壁厚 S /mm | 间隙 C /mm | 钝边厚度 p /mm | 坡口角度 α /($^\circ$) |
|---|---------------|---------------|-----------------|--------------------------------|
|  | <2 | — | — | — |
|  | <3 | 1~1.5 | — | — |
|  | 3~10 | 2~4 | 0.5~2 | 75±5 |

2) 坡口加工应采用机械方法, 或等离子弧切割, 切割后的坡口表面应进行清理, 并应达到平整光滑、无毛刺和飞边。

(2) 焊件坡口、垫板及焊丝清理

1) 化学清理 化学清理效率高, 质量稳定, 适用于清理焊丝以及尺寸不大、批量生产的工件。小型工件可采用浸洗法。去除铝表面氧化膜的化学处理方法见表 7-9。

表 7-9 去除铝表面氧化膜的化学处理方法

| 溶 液 | 浓 度 | 温度/°C | 容器材料 | 工 艺 | 目 的 |
|-------------|-----------------------------|-------|-----------|---------------------------------|-------------------|
| 硝酸 | 50% 水 50% 硝酸 | 18~24 | 不锈钢 | 浸 15min, 在冷水中漂洗, 然后在热水中漂洗, 干燥 | 去除薄的氧化膜, 供熔焊用 |
| 氢氧化钠 加硝酸 | 5% 氢氧化钠 95% 水 | 70 | 低碳钢 | 浸 10~60s, 在冷水中漂洗 | 去除厚氧化膜, 适用于所有焊接方法 |
| | 浓硝酸 | 18~24 | 不锈钢 | 浸 30s, 在冷水中漂洗, 然后在热水中漂洗, 干燥 | |
| 硫酸 铬酸 | 硫酸 CrO ₃ 水 | 70~80 | 衬铝的 钢罐 | 浸 2~3min, 在冷水中漂洗, 然后在热水中漂洗, 干燥 | 去除因热处理形成的氧化膜 |
| 磷酸 铬酸 | 磷酸 CrO ₃ 水 | 93 | 不锈钢 | 浸 5~10min, 在冷水中漂洗, 然后在热水中漂洗, 干燥 | 去除阳极化处理镀层 |

焊丝清洗后可在 150~200°C 烘箱内烘焙 0.5h, 然后存放在 100°C 烘箱内随用随取。清洗过的焊件不准随意乱放, 应立即进行装配、焊接, 一般不要超过 24h。已超过 24h 的, 焊前采用机械方法清理后再进行装配焊接。

大型焊件受酸洗槽尺寸限制, 难于实现整体清理, 可在焊口两侧各 30mm 的表面区域用火焰加热至 100°C 左右, 涂擦室温的 NaOH 溶液, 并加以擦洗, 时间略长于浸洗时间, 除净焊接区的氧化膜后, 用清水冲洗干净, 再中和、光化后, 用火焰烘干。

化学清理的顺序及方法见表 7-10。

表 7-10 铝及铝合金管坡口与焊丝化学清理顺序和方法

| 清理工序 | 1 | 2 | | | 3 | 4 | | | 5 | 6 |
|-----------------|---------|---------------------|-----------|------------|-----|---------------------------------|-----------|------------|-----|-----------------|
| 工序名称 | 除油 | 碱 洗 | | | 冲 洗 | 中 和 钝 化 | | | 冲 洗 | 干 燥 |
| | | NaOH 溶液浓度 (%) | 温度 /°C | 时间 /min | | HNO ₃ 溶液浓度 (%) | 温度 /°C | 时间 /min | | |
| 纯铝 ^① | 丙酮等有机溶剂 | 13~18 | 室温 | 10~15 | 清 水 | 25~30 | 室温 | 1~3 | 清 水 | 无油压缩空气吹干或室温自然干燥 |
| | | 5~10 | 50~60 | 1~5 | | | | | | |
| 防锈铝 | | 5~10 | 50~60 | 4~5 | | | | | | |

① 两种碱溶液可任选其一。

2) 机械清理 通常先用丙酮、四氯化碳或汽油擦洗去除表面油污, 然后可根据零件形状采用切削方法, 如使用风动或电动铣刀, 亦可使用刮刀、锉刀等工具。对较薄的氧化膜可采用不锈钢的钢丝刷清理表面, 不宜采用纱布、砂纸或砂轮打磨。当剪切有氧化膜的金属时, 氧化膜可能嵌入切口边缘, 用化学清洗法很难去除, 这时需要用刮、挫或打磨等机械方法来清除。经机械清理后的接头端面及邻近的正反面, 还要用丙酮或酒精擦洗, 以去除残留的脏物或油污。

(3) 焊件组对应符合下列规定:

1) 焊接定位焊缝时, 应采用与正式焊接相同的焊丝和焊接工艺, 并应由合格焊工施焊。

2) 设备、容器定位焊缝的长度、间距和高度宜符合表 7-11 规定, 管道定位焊缝尺寸应符合表 7-12 的规定。

表 7-11 设备、容器定位焊缝尺寸 (mm)

| 板 厚 | 间 距 | 焊缝高度 | 长 度 | |
|------|---------|------|-------|-------|
| | | | 纵 缝 | 环 缝 |
| 1~3 | 20~60 | 1~3 | 5~15 | 10~20 |
| 3~8 | 60~180 | 3~4 | 15~25 | 20~30 |
| 8~14 | 180~250 | 3~6 | 20~30 | 30~40 |
| >14 | 250~350 | 4~6 | 30~50 | 40~70 |

表 7-12 管道定位焊缝尺寸 (mm)

| 公称直径 | 位置与数量 | 焊缝高度 | 长度 |
|------------------|----------|----------|-------|
| ≤ 50 | 对称 2 点 | 根据焊件厚度确定 | 5~10 |
| $> 50 \sim 150$ | 均布 2~3 点 | | 5~10 |
| $> 150 \sim 200$ | 均布 3~4 点 | | 10~20 |

3) 正式焊接前应对定位焊缝进行检查, 当发现缺陷时, 应及时处理。定位焊缝表面的氧化膜应清理干净, 并应将其两端修整成缓坡形。

4) 拆除定位板时, 不应损伤母材, 应将拆除后所残留的焊疤打磨至与母材表面齐平。

5) 当焊缝背面需加永久性垫板时, 垫板材质应符合设计规定。当设计无规定时, 垫板材质应与母材相同, 垫板上应开有容纳焊缝根部的沟槽。当焊缝背面需加临时垫板时, 垫板应采用对焊缝质量无不良影响的材质。

6) 管道的对接焊缝内壁应齐平, 内壁错边量应符合下列规定:

a. 当壁厚 δ 小于等于 5mm 时, 内壁错边量不应大于 0.5mm;

b. 当壁厚 δ 大于 5mm 时, 内壁错边量不应大于 0.1δ 且不应大于 2mm。

7) 设备、容器对接焊缝的错边量应符合表 7-13 的规定。

表 7-13 设备、容器对接焊缝错边量 (mm)

| 母材厚度 δ | 错边量 | |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | 纵向焊缝 | 环向焊缝 |
| $\delta \leq 5$ | ≤ 0.5 | $\leq 0.2\delta, \text{且} \leq 5$ |
| $\delta > 5$ | $\leq 0.1\delta, \text{且} \leq 2$ | |

8) 不等厚对接焊件组对时, 薄件端面应位于厚件端面之内。当表面错边量超过 3mm 或内壁错边量大于 2mm 时, 应按本节 6) 条的规定对焊件进行加工。

(4) 焊前预热 在焊前最好不进行预热, 因为预热可加大热影响区的宽度, 降低某些合金焊接接头的力学性能。但对厚度超过 5~8mm 的厚大铝件焊前需进行预热, 防止变形和未焊透, 减少气孔等缺陷。通常预热到 90°C 即足以保证在始焊处有足够的熔深, 预热温度很少超过

150°C, 含 4.0%~5.5% 镁的铝镁合金的预热温度不应超过 90°C。

3. 焊接工艺

(1) 铝及铝合金的气焊 气焊主要用于厚度较薄 (0.5~10mm) 的铝及铝合金件以及对质量要求不高或铸件补焊的铝及铝合金和铝铸件。

1) 气焊的坡口形式及尺寸 气焊铝及铝合金时, 不宜采用搭接接头和 T 形接头, 这种接头难以清理流入缝隙中的残留熔剂和焊渣。为保证焊件焊接时既焊透而又不塌陷和烧穿, 可以采用带槽的垫板, 垫板一般用不锈钢或纯铜等制成, 带垫板焊接可获得良好的反面成形, 提高焊接生产率。

2) 气焊熔剂的选用 气焊熔剂分含氯化锂和不含氯化锂两类。含氯化锂熔剂的熔点低, 熔渣的熔点、黏度低、流动性好, 能润湿展开在焊口, 与氧化膜形成低熔点的渣上浮到焊缝表面, 焊后熔渣易清除, 适用于薄板和全位置焊接。其缺点是吸湿性强, 氯化锂价格较贵。不含锂的熔剂熔点高、黏度大、流动性差, 焊缝易形成夹渣, 适于厚件焊接。对于搭接接头、不熔透角焊缝和难以完全清理掉残留熔渣的焊缝以及含镁较高的铝镁合金选用熔剂时, 不宜采用含钠组成物的熔剂。

将粉状熔剂和蒸馏水调成糊状 (每 100g 熔剂约加入 50mL 蒸馏水) 涂于焊件坡口和焊丝表面, 涂层厚 0.5~1.0mm, 或用灼热的焊丝直接蘸熔剂干粉使用, 这样可减少熔池中水分的来源, 减少气孔。调制好的熔剂应在 12h 内用完。

3) 焊嘴和火焰的选择 根据焊件厚度、坡口形式、焊接位置、焊工技术水平确定焊嘴的大小, 气焊时焊件厚度、焊炬规格、焊嘴号码、焊嘴孔径及乙炔消耗量等数据见表 7-14。

表 7-14 气焊时焊件厚度、焊炬规格、焊嘴号码、
焊嘴孔径及乙炔消耗量

| 板厚/mm | 1.2 | 1.5~2.0 | 3.0~4.0 | 5.0~7.0 | 7.0~10 | 10.0~20.0 |
|----------------------------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|
| 焊炬型号 | H01-6 | H01-6 | H01-6 | H01-12 | H01-12 | H01-20 |
| 焊嘴号 | 1 | 1~2 | 3~4 | 1~3 | 1~4 | 4~5 |
| 焊嘴孔径/mm | 0.9 | 0.9~1.0 | 1.1~1.3 | 1.4~1.8 | 1.6~2.0 | 3.0~3.2 |
| 焊丝直径/mm | 1.5~2.0 | 2.0~2.5 | 2.0~3.0 | 4.0~5.0 | 5.0~6.0 | 5.0~6.0 |
| 乙炔消耗量/(L·h ⁻¹) | 75~150 | 150~300 | 300~500 | 500~1400 | 1400~2000 | 2500 |

气焊应采用中性焰或微弱碳化焰，严禁采用氧化焰。若用氧气较强的氧化焰会使铝强烈氧化；而乙炔过多，会促使焊缝产生气孔。

4) 定位焊缝 为防止焊件在焊接中产生尺寸和相对位置的变形，焊件焊前均需要定位焊。由于铝的线胀系数大、导热速度快、气焊加热面积大，因此，定位焊缝较钢件应密一些。见表 7-11、表 7-12。

定位焊用的填充焊丝与产品焊接时相同，定位焊接前应在焊缝间隙内涂一层气剂。定位焊的火焰功率比气焊稍大。

5) 气焊操作 铝及铝合金加热到熔化时颜色变化不明显，给操作带来困难，可根据以下现象掌握施焊时机。当加热表面由光亮银白色变成暗淡的银白色，表面氧化膜起皱，加热处金属有波动现象时，即达熔化温度，可以施焊；用蘸有熔剂的焊丝端头触及加热处，焊丝与母材能熔合时，即达熔化温度，可以施焊；母材边棱有倒下现象时，母材达熔化温度，可以施焊。

气焊薄板可采用左焊法，焊丝位于焊接火焰之前，这种焊法因火焰指向未焊冷金属，故热量散失一部分，有利于防止熔池过热、热影响区金属晶粒长大和烧穿。母材厚度大于 5mm 可采用右焊法，此法焊丝在焊炬后而，火焰指向焊缝，热量损失小，熔深大，加热效率高。气焊厚度小于 3mm 的薄件时，焊炬倾角为 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ，气焊厚件时，焊炬倾角为 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，焊丝与焊炬夹角为 $80^{\circ} \sim 100^{\circ}$ 。

6) 焊后处理 在焊后 1~6h 之内，应将残留的熔剂、熔渣清洗掉，以防引起焊件腐蚀。清理工序如下。

a. 焊后将焊件放入 $40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 的热水槽中浸渍，最好用流动的热水，用硬毛刷刷焊缝及焊缝附近残留熔剂、熔渣的地方，直至清除干净。

b. 将焊件浸入硝酸溶液中。当室温为 25°C 以上时，溶液含量的质量分数为 15%~25% 时，浸渍时间为 10~15min。室温为 $10 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 时，溶液含量的质量分数为 20%~25% 时，浸渍时间为 15min。

c. 将焊件置于流动热水（温度为 $40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ）的槽中浸渍 5~10min。

d. 用冷水将焊件冲洗 5min。

e. 将焊件自然晾干，也可放在干燥箱中烘干或用热空气吹干。

(2) 铝及铝合金的钨极氩弧焊(TIG 焊) TIG 焊工艺最适于焊接

厚度小于 3mm 的薄板，工件变形明显小于气焊和焊条电弧焊。交流 TIG 焊阴极具有去除氧化膜的清理作用，可以不用熔剂，避免了焊后残留熔剂、熔渣对焊件的腐蚀，接头形式可以不受限制，焊缝成形良好，表面光亮。氩气流对焊接区的冲刷使接头冷却加快，改善了接头的组织和性能，适于全位置焊接。由于不用熔剂，焊前清理的要求比其他焊接方法严格。

焊接铝及铝合金最佳的工艺方法是交流 TIG 焊和交流脉冲 TIG 焊，其次是直流反接 TIG 焊。通常，用交流焊接铝及铝合金时可在载流能力、电弧可控性以及电弧清理作用等方面实现最佳配合，故大多数铝及铝合金的 TIG 焊都采用交流电源。采用直流正接（电极接负极）时，热量产生于工件表面，形成深熔透，对一定尺寸的电极可采用更大的焊接电流，即使是厚截面也不需预热，且母材几乎不发生变形。虽然很少采用直流反接（电极接正极）TIG 焊方法来焊接铝，但这种方法在连续或补焊薄壁热交换器、管道和壁厚均在 2.4mm 以下的类似组件仍有着熔深浅、电弧容易控制、电弧有良好的净化作用等优点。

1) 钨极 常用钨极材料分纯钨、钍钨及铈钨等。

2) 焊接参数 交流电特点是负半波（工件为负）时，有阴极清理作用，正半波（工件为正）时，钨极因发热量低，不容易熔化。为了获得足够的熔深和防止咬边、焊道过宽和随之而来的熔深及焊缝外形失控，必须维持短的电弧长度，电弧长度大约等于钨极直径。纯铝、铝镁合金手工钨极氩弧焊的工艺参数见表 7-15。为了防止起弧处及收弧处产生裂纹等缺陷，有时需要加引弧板和引出板。当电弧稳定燃烧，钨极端部被加热到一定的温度后，才能将电弧移入焊接区。自动钨极氩弧焊的工艺参数见表 7-16。

钨极脉冲惰性气体保护焊扩大了 TIG 焊的应用范围，特别适用于焊接精密零件。在焊接时，高脉冲提供大电流值，这是在留间隙的根部焊接时为完成熔透所需的；低脉冲可冷却熔池，这就防止接头根部烧穿。脉冲作用还可以减少向母材的热输入，有利于薄铝件的焊接。交流钨极脉冲氩弧焊有加热速度快、高温停留时间短、对熔池有搅拌作用，焊接薄板、硬铝可得到满意的焊接接头，交流钨极脉冲氩弧焊对仰焊、立焊、管子全位置焊、单面焊双面成形，可以得到较好的焊接效果。铝及铝合金交流脉冲 TIG 焊的工艺参数见表 7-17。

表 7-15 纯铝、铝镁合金手工钨极氩弧焊的焊接参数

| 板厚 /mm | 钨极直 径/mm | 焊接电流 /A | 焊丝直径 /mm | 氩气流量 /(L·min ⁻¹) | 喷嘴孔 径/mm | 焊接层数 正面/背面 | 预热温度 /°C | 备 注 |
|-----------|-------------|------------|-------------|---------------------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| 1 | 2 | 40~60 | 1.6 | 7~9 | 8 | 正 1 | — | 卷边焊 |
| 1.5 | | 50~80 | 1.6~2.0 | | | | | 卷边焊或 单面对接焊 |
| 2 | 2~3 | 90~120 | 2~2.5 | 8~12 | 8~12 | 1~2/1 | — | 对接焊 |
| 3 | 3 | 150~180 | 2~3 | | | | | |
| 4 | 4 | 180~200 | 3 | 10~15 | 10~12 | 1~2/1 | — | V 形坡口 对接焊 |
| 5 | | 180~240 | 3~4 | | | | | |
| 6 | 5 | 240~280 | 4 | 16~20 | 14~16 | 1~2/1 | — | |
| 8 | | 260~320 | | | | 2/1 | 100 | |
| 10 | | 280~340 | | | | 4~5 | 100~150 | |
| 12 | 5~6 | 300~360 | 4~5 | 18~22 | 16~20 | 3~4/1~2 | 150~200 | |
| 14 | | | | | | | 340~380 | |
| 16 | 6 | 360~400 | 5~6 | 25~30 | 20~22 | 4~5/1~2 | 200~220 | |
| 18 | | | | | | | 200~240 | |
| 20 | | | | | | | 200~260 | |
| 16~20 | | | | | | | 340~380 | 16~22 |
| 22~25 | 6~7 | 360~400 | 30~35 | 20~22 | 3~4/3~4 | 200~260 | | |

表 7-16 自动钨极氩弧焊的焊接参数

| 焊件厚度 /mm | 焊件层数 | 钨极直径 /mm | 焊丝直径 /mm | 喷嘴直径 /mm | 氩气流量 /(L·min ⁻¹) | 焊接电流 /A | 送丝速度 /(m·h ⁻¹) |
|-------------|------|-------------|-------------|-------------|---------------------------------|------------|-------------------------------|
| 1 | 1 | 1.5~2 | 1.6 | 8~10 | 5~6 | 120~160 | — |
| 2 | | | 1.6~2 | | 12~14 | 180~220 | |
| 3 | 1~2 | 4 | 2 | 10~14 | 14~18 | 220~240 | 65~70 |
| 4 | | | | | | 240~280 | |
| 5 | 2 | 5 | 2~3 | 12~16 | 16~20 | 280~320 | 70~75 |
| 6~8 | 2~3 | 5~6 | 3 | 14~18 | 18~24 | 280~320 | 75~80 |
| 8~12 | | | | | | 6 | 3~4 |

表 7-17 铝及铝合金交流脉冲 TIG 焊的焊接参数

| 母材 | 板厚 /mm | 钨极直径 /mm | 焊丝直径 /mm | 电弧电压 /V | 脉冲电流 /A | 基值电流 /A | 脉宽比 /% | 气体流量 /L·min ⁻¹ | 频率 /Hz |
|------|-----------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|------------------------------|-----------|
| 5A03 | 1.5 | 3 | 2.5 | 14 | 80 | 45 | 33 | 5 | 1.7 |
| | 2.5 | | | 15 | 95 | 50 | | | 2 |
| 5A06 | 2 | | 2 | 10 | 83 | 44 | | | 2.5 |
| 2A12 | 2.5 | 13 | | 140 | 52 | 36 | 8 | 2.6 | |

3) 铝及铝合金 TIG 焊的常见缺陷及其防止措施

a. 气孔

产生原因 氩气纯度低或氩气管路内有水分、漏气等；焊丝或母材坡口附近焊前未清理干净或清理后又被污物、水分、汗水等粘污；焊接电流和焊速选择过大或过小；熔池保护欠佳，电弧不稳，电弧过长，钨极伸出过长等。

防止措施 保证氩气的纯度；焊前认真清理焊丝、焊件，清理后及时焊接，并防止再次污染；更新送气管路，选择合适的气体流量，调整好钨极伸出长度；正确选择焊接工艺参数。必要时，可以采取预热工艺，焊接现场装挡风装置，防止现场有风流动。

b. 裂纹

产生原因 焊丝合金成分选择不当，当焊缝中的含 Mg 量小于 3%，或 Fe、Si 杂质含量超出规定时，裂纹倾向就增大；焊丝的熔化温度偏高时，会引起热影响区液化裂纹；高温停留时间长，组织过热；结构设计不合理，焊缝过于集中或受热区温度过高，造成接头拘束应力过大；弧坑没填满，出现弧坑裂纹等。

防止措施 所选焊丝的成分与母材要匹配；减小焊接电流或适当增加焊接速度；正确设计焊接结构，合理布置焊缝，使焊缝尽量避免应力集中处，选择合适的焊接顺序；加入引弧板或采用电流衰减装置，填满弧坑。

c. 未焊透

产生原因 焊接速度过快，弧长过大，焊件间隙、坡口角度、焊接电流均过小，钝边过大；工件坡口边缘的毛刺、底边的污垢焊前没有除净；焊炬与焊丝倾角不正确。

防止措施 正确选择间隙、钝边、坡口角度和焊接参数；加强氧化膜、熔剂、熔渣和油污的清理；提高操作技能等。

d. 焊缝夹钨

产生原因 接触引弧所致；钨极末端形状与焊接电流选择不合理，使尖端脱落；填丝触及热钨极尖端和错用了氧化性气体。

防止措施 采用高频高压脉冲引弧；根据选用的电流，采用合理的钨极尖端形状；减小焊接电流，增加钨极直径，缩短钨极伸出长度；更换惰性气体；提高操作技能，勿使填丝与钨极接触等。

e. 咬边

产生原因 焊接电流太大, 电弧电压太高, 焊炬摆幅不均匀, 填丝太少, 焊接速度太快。

防止措施 降低焊接电流与电弧长度, 保持摆幅均匀, 适当增加送丝速度或降低焊接速度。

铝及铝合金钨极氩弧焊 (TIG 焊) 常见缺陷、产生原因及防止措施见表 7-18。

表 7-18 铝及铝合金钨极氩弧焊 (TIG 焊) 常见缺陷、产生原因及防止措施

| 缺 陷 | 产 生 原 因 | 防 止 措 施 |
|---------------|---|---|
| 气孔 | (1) 氢污染 (2) 焊接参数不当 | (1) 加强对焊件、填充金属、喷嘴等的清理工作 (2) 加大气体流量和焊接电流, 减小焊接速度和钨电极伸出长度 |
| 裂纹 | (1) 焊缝金属中镁含量不足 (2) 拘束度过大 (3) 弧坑未填满 (4) 熔池过大过热 | (1) 正确选用焊丝 (2) 合理选择焊接顺序 (3) 采用电流衰减填满弧坑或加引弧板、引出板 (4) 减小焊接电流 |
| 未焊透 | (1) 电流太小, 弧长过大, 焊速太快 (2) 间隙过小, 钝边过大, 坡口角太小 (3) 表面和层间存在氧化物 | (1) 正确选择焊接参数 (2) 正确进行接头和坡口准备 (3) 加强焊前清理 |
| 焊缝表面粗糙, 成形不规则 | (1) 电弧不稳定 (2) 钨电极污染 (3) 气保护不充分 (4) 电流值不正确 | (1) 保持正确的电弧长度, 减小直流分量 (2) 钨电极伸出长度要适当, 操作技术要熟练 (3) 正确选择氩气流量, 焊前加强对焊枪的清理, 防止穿堂风 (4) 正确选择电极材料及尺寸、焊接参数 |

(3) 铝及铝合金的熔化极氩弧焊 (MIG 焊) MIG 焊焊接铝及铝合金通常采用直流反极性。焊接薄板、中等厚度板材时, 可用纯氩作保护气体; 焊接厚大件时, 采用 (Ar + He) 混合气体保护, 也可采用纯氩

保护。焊前一般不必预热，板厚较大时，也只需预热起弧部位。根据焊炬移动方式的不同，MIG 焊可分为半自动 MIG 焊和自动 MIG 焊。

1) 熔化极自动惰性气体保护焊(MIG 焊) 根据焊件厚度选择坡口尺寸、焊丝直径和焊接电流等焊接参数。部分纯铝、铝镁合金和硬铝自动 MIG 焊的焊接参数见表 7-19。自动氩弧焊熔深大，6mm 的铝板对接焊时可不开坡口。当厚度较大时一般采用大钝边，但需增大坡口角度以降低焊缝的余高。

2) 熔化极半自动氩弧焊 熔化极半自动氩弧焊多采用平特性电源，焊丝直径为 1.2~3.0mm。可采用左焊法，焊炬与工件之间的夹角为 75°，以提高操作者的可见度。

熔化极半自动氩弧焊的定位焊缝应设在坡口反面，定位焊缝的长度为 40~60mm，纯铝熔化极半自动氩弧焊的焊接参数见表 7-20。对于相同厚度的铝锰、铝镁合金，焊接电流应降低 20~30A，氩气流量增大 10~15L/min。

脉冲 MIG 焊可以将熔池控制的很小，容易进行全位置焊接，尤其焊接薄板、薄壁管的立焊缝、仰焊缝和全位置焊缝是一种较理想的焊接方法。

熔化极脉冲氩弧焊电源是直流脉冲，脉冲 TIG 焊的电源是交流脉冲。它们的焊接参数基本相同。纯铝、铝镁合金半自动熔化极脉冲氩弧焊的焊接参数见表 7-21。

4. 铝及铝合金管道手工钨极氩弧焊及半自动氩弧焊焊接规定

- (1) 从事焊接作业的焊工，均应按规范要求进行考试。
- (2) 焊接前焊件表面应保持干燥，无特殊要求时可不预热。
- (3) 焊接前应在试板上试焊，当确认无气孔后再进行正式焊接。
- (4) 宜采用大电流快速施焊法，焊丝的横向摆动不宜超过其直径的 3 倍。

(5) 引弧宜在引弧板上进行，纵向焊缝宜在引出板上熄弧。引弧板和引出板的材料应与母材相同。

(6) 手工钨极氩弧焊的焊丝端部不应离开氩气保护区，焊丝与焊缝表面的夹角宜为 15°，焊枪与焊缝表面的夹角宜为 80°~90°。

(7) 多层焊时宜减少焊接层数，层间温度宜冷却至室温，且不应高于 65°C。层间的氧化铝等杂物应采用机械方法清理干净。

表 7-19 部分纯铝、铝镁合金和硬铝自动 MIG 焊的焊接参数

| 板材 牌号 | 焊丝型号 (编号) | 板材 厚度 /mm | 坡口 形式 | 坡口尺寸 | | | 焊丝 直径 /mm | 喷嘴 直径 /mm | 氩气流量 ($L \cdot \min^{-1}$) | 焊接电 流/A | 电弧 电压 /V | 焊接速度 ($m \cdot h^{-1}$) | 备 注 | |
|---------------|--------------------|-----------------|----------|-----------|----------------------|-----------|-----------------|-----------------|---------------------------------|------------|----------------|------------------------------|--------|-----|
| | | | | 钝边 /mm | 坡口角 度/ $^{\circ}$ | 间隙 /mm | | | | | | | | |
| 5A05 | SAIMg-5 (HS331) | 5 | — | — | — | — | 2.0 | 28 | 240 | 21~22 | 42 | 单面焊双面成形 | | |
| 1060 1050A | SAI-3 (HS39) | 6 | — | — | 0~0.5 | 22 | 2.5 | 30~35 | 230~260 | 26~27 | 25 | | | |
| | | 8 | — | | | | | | | | | | | |
| | | 8 | — | 4 | 0~1 | 28 | 3.0 | 40~45 | 300~320 | 310~330 | 27~28 | 18 | | |
| | | 10 | — | 6 | | | | | | | | | | |
| | | 12 | — | 8 | | | | | | | | | | |
| | | 14 | — | 10 | | | | | | | | | | 100 |
| | | 16 | — | 12 | | | | | | | | | | |
| | | 20 | V型 | 16 | | | | | | | | | | |
| 25 | | 21 | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | 8 | | | | | | | | | | | | |
| 5A02 | SAIMn | 18 | — | — | — | 4.0 | 50~60 | 320~350 | 28~30 | 24 | | | | |
| 5A03 | (HS331) | 20 | — | 120 | — | 4.0 | 50~60 | 450~470 | 29~30 | 18.7 | | | | |
| | | 25 | — | — | — | 4.0 | 50~60 | 450~700 | 28~30 | 18 | | | | |
| | | 25 | — | — | — | 4.0 | 50~60 | 490~520 | 29~30 | 16~19 | | | | |
| 2A11 | SAISi-5 (HS311) | 50 | 双V | 6~8 | 75 | 0~0.5 | — | — | 450~500 | 24~27 | 15~18 | 可采用双面U形 坡口,钝边6~8mm | | |

注: 1. 正面层焊完后必须铲除焊根, 然后进行反面层的焊接。

2. 焊炬向前倾斜 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。

表 7-20 纯铝熔极半自动氩弧焊的焊接参数

| 板厚 /mm | 坡口形式 | 坡口尺寸/mm | 焊丝直径 /mm | 焊接电流 /A | 焊接电压 /V | 氩气流量 /(L·min ⁻¹) | 喷嘴直径 /mm | 备注 |
|-----------|-------------|-------------------------------------|-------------|------------|------------|---------------------------------|-------------|---------------|
| 6 | 对接 | 间隙 0~2 | 2.0 | 230~270 | 26~27 | 20~25 | 20 | 反面采用垫板,仅焊一层焊缝 |
| 8 | | 间隙 0~2,钝边 2,坡口角度 70° | 2.0 | 240~280 | 27~28 | 25~30 | 20 | 正面焊两层,反面焊一层 |
| 10 | | | 2.0 | 280~300 | 27~29 | 30~36 | 20 | |
| 12 | | | 2.0 | 280~320 | 27~29 | 30~35 | 20 | 正反均焊一层 |
| 14 | 单面 V 形坡口 | 间隙 0~0.3,钝边 10,坡口 角度 90°~100° | 2.5 | 300~330 | 29~30 | 35~40 | 22~24 | |
| 16 | | | 2.5 | 300~340 | 29~30 | 40~50 | 22~24 | |
| 18 | | | 2.5 | 360~400 | 29~30 | 40~50 | 22~24 | 正面焊两层,反面焊一层 |
| 20~22 | | 间隙 0~0.3,钝边 16~18, 坡口角度 90°~100° | 2.5~3.0 | 400~420 | 29~30 | 50~60 | 22~24 | |
| 25 | | | 2.5~3.0 | 420~450 | 30~31 | 50~60 | 22~24 | |

表 7-21 纯铝、铝镁合金半自动熔化极脉冲氩弧焊的焊接参数

| 合金 牌号 | 板厚 /mm | 焊丝直径 /mm | 基值电流 /A | 脉冲电流 /A | 电弧电压 /V | 脉冲频率 /Hz | 氩气流量 /(L·min ⁻¹) | 备 注 |
|----------|-----------|-------------|------------|------------|------------|-------------|---------------------------------|------------------------|
| 1035 | 1.6 | 1.0 | 20 | 110~130 | 18~19 | 50 | 18~20 | 喷嘴孔径 16mm 焊丝牌号 1035 |
| | 3.0 | 1.2 | | 140~160 | 19~20 | | 20 | 焊丝牌号 1035 |
| 5A03 | 1.8 | 1.0 | 20~25 | 120~140 | 18~19 | | 20 | 喷嘴孔径 16mm 焊丝牌号 5A03 |
| 5A05 | 4.0 | 1.2 | | 160~180 | 19~20 | | 20~22 | 喷嘴孔径 16mm 焊丝牌号 5A05 |

(8) 对厚度大于 5mm 的立向焊缝, 宜采用两人双面同步氩弧焊工艺。

(9) 当钨极氩弧焊的钨极前端出现污染或形状不规则时, 应进行修正或更换钨极。当焊缝出现触钨现象时, 应将钨极、焊丝、熔池处理干净后方可继续进行施焊。

(10) 当熔化极氩弧焊发生导电嘴、喷嘴熔入焊缝时, 应将该部位焊缝全部铲除, 更换导电嘴和喷嘴后方可继续施焊。

(11) 手工钨极氩弧焊和熔化极氩弧焊的焊接工艺参数宜符合表 7-15~表 7-21 的规定。

(12) 焊件应采用下列防止变形措施:

1) 对易产生磁偏吹的焊缝, 组对时使用的工夹具应采用非磁性材料。

2) 焊接顺序应对称进行, 当从中心向外进行焊接时, 具有大收缩量的焊缝宜先施焊, 整条焊道应连续焊完。

3) 不等厚对接焊件焊接时, 应采取加强拘束措施, 防止对应于焊缝中心线的应力不均匀。

4) 焊件宜进行刚性固定或采取反变形方法, 并应留有收缩余量。

第 8 章 铜、铜合金及其管道的焊接

铜具有面心立方结构，具有非常好的加工成形性。铜的密度为 $0.89 \times 10^4 \text{kg/m}^3$ ，约是铝的 3 倍。它的导电率及热导率略低于银，约是铝的 1.5 倍。铜及铜合金具有优良的导电、导热性能，冷、热加工性能良好，具有高的抗氧化性以及抗淡水、盐水、氨碱溶液和有机化学物质腐蚀的性能，但在氧化性的酸中很容易被腐蚀，铜合金还具有较高的强度。在电气、管道、动力、化工等工业部门中应用较广。

8.1 铜及铜合金的焊接性

由于铜的热导率高，热容量大，熔焊时容易产生未熔合与未焊透，故应采用能量集中、大功率的热源并配合预热措施。在工件厚度较薄或结构刚度较小，又无防止变形措施时，焊后很容易产生较大的变形，而当焊接接头受到较大的刚性约束时，易产生焊接应力。焊接铜及铜合金时极易产生热裂纹；也常产生气孔，纯铜焊缝中的气孔主要是氢气孔。焊缝金属在凝固时，容易形成粗大的树枝状结晶，合金元素和杂质容易在晶界上偏析，氧化亚铜与铜形成的低熔共晶体分布在晶界上，这样就削弱了铜在高温时的晶间结合力。

铜及铜合金根据其成分的不同其焊接性又各有特点，焊接时应引起重视。常采用以下措施控制铜及铜合金的焊接缺陷。

(1) 尽量采用加热面积小、能量密度大、功率大的焊接方法，采取焊前预热、适当的焊接次序、焊后锤击和热处理等工艺措施，以保证填充金属与母材很好的熔合、细化晶粒、减小和消除应力，防止变形。

(2) 降低母材、填充金属中氧、铅、铋、硫等对焊接质量影响大的杂质含量，正确选用母材和填充金属。例如，对于重要的铜结构，为了清除氧的不良影响，必须选用脱氧铜做母材。焊前清除母材、焊材表面的氧化膜，选用含有铝、钛等强氧化剂的焊丝，采用熔剂等方法以减少氧的来源，并对熔池进行脱氧。

(3) 防止合金元素氧化与蒸发。焊接黄铜时可选用含硅的填充金属,并在工艺上适当降低焊接时的温度,提高焊接速度,尽量减少熔池处于高温的时间,防止黄铜中锌的氧化与蒸发;焊接锡青铜时,可采用含硅、磷等脱氧剂的焊丝,并用硼砂和硼酸作熔剂,以防止锡的氧化;焊接铝青铜时,为防止铝的氧化,可采用氯化盐和氟化盐组成的熔剂。通过焊接材料向熔池过渡易氧化和蒸发的合金元素、变质处理、惰性气体保护等工艺措施也可在一定程度上保证熔池合金元素的含量。

8.2 铜及铜合金的焊接工艺

1. 焊接方法与焊接材料

焊接铜及铜合金需要大功率、高能束的焊接热源。热效率越高、能量越集中对焊接越有利。铜及铜合金熔焊焊接方法的选择见表 8-1。

表 8-1 铜及铜合金熔焊焊接方法的选择

| 焊接方法(热效率 η) | 纯铜 | 黄铜 | 锡青铜 | 铝青铜 | 硅青铜 | 白铜 | 备 注 |
|-------------------------|----|----|-----|-----|-----|----|---|
| 钨极气体保护焊 (0.65~0.75) | 好 | 较好 | 较好 | 较好 | 好 | 好 | 用于薄板(小于 12mm), 纯铜、黄铜、锡青铜、白铜采 用直流正接,铝青铜用交流, 硅青铜用交流或直流 |
| 熔化极气体保护焊 (0.70~0.80) | 好 | 较好 | 较好 | 好 | 好 | 好 | 板厚大于 3mm 可用,板厚 大于 15mm 优点更显著,电 源机型为直流反接 |
| 等离子弧焊(0.80~ 0.90) | 较好 | 较好 | 较好 | 较好 | 较好 | 好 | 板厚在 3~6mm 可不升坡 口,一次焊成,最适合 3~ 15mm 中厚板焊接 |
| 焊条电弧焊(0.75~ 0.85) | 差 | 差 | 尚可 | 较好 | 尚可 | 好 | 采用直流反接,操作技术 要求高,使用板厚 2~10mm |
| 埋弧焊(0.80~ 0.90) | 较好 | 尚可 | 较好 | 较好 | 较好 | — | 采用直流反接,适用于 6 ~30mm 中厚板 |
| 气焊(0.30~0.50) | 尚可 | 较好 | 尚可 | 差 | 差 | — | 易变形,成形不好,用于厚 度小于 3mm 的不重要结构 中 |
| 碳弧焊(0.50~ 0.60) | 尚可 | 尚可 | 较好 | 较好 | 较好 | — | 采用直流正接,电流大、电 压高,劳动条件差,目前已逐 渐被淘汰,只用于厚度小于 10mm 的铜件 |

钨极氩弧焊对于厚度 $\delta = 1 \sim 4\text{mm}$ 的板材最适宜采用。这种方法能量密度大、惰性气体对熔池保护效果好、有冷却作用、变形小、价格相对适中、焊接质量好。焊接厚度 $\delta < 8\text{mm}$ 的纯铜可以不进行预热。埋弧自动焊对 $\delta = 6 \sim 30\text{mm}$ 的中厚板可采用，其电弧功率大、穿透能力强、焊接质量高、成本低，焊接时可以降低预热温度，劳动条件较好。

焊接材料的选用应符合下列规定：

- 1) 纯铜焊接应选用含有脱氧元素、抗裂性好的焊丝。
- 2) 黄铜焊接应选用含锌量少、抗裂性好的焊丝。
- 3) 铜及铜合金焊丝及焊剂宜按表 8-2 选用。

表 8-2 铜及铜合金焊丝及焊剂的选用

| 序 号 | 母 材 | | 焊 丝 | | 焊 剂 |
|-----|-----|-----------|----------|-----|--------|
| | 类 别 | 牌 号 | 牌 号 | 代 号 | |
| 1 | 纯铜 | T2 | HSCu | 201 | 气剂 301 |
| 2 | | T3 | HSCu | 201 | 气剂 301 |
| 3 | | T4 | HSCu | 201 | 气剂 301 |
| 4 | | TU2 | HSCu | 201 | 气剂 301 |
| 5 | 黄铜 | H62 | HSCuZn-3 | 223 | 气剂 301 |
| 6 | | H68 | HSCuZn-3 | 223 | 气剂 301 |
| 7 | | HFe59-1-1 | HSCuZn-4 | 224 | 气剂 301 |

(1) 焊丝 选用铜及铜合金焊丝时，除了满足对焊丝的一般工艺、冶金性能要求外，最重要的是控制其中杂质的含量和提高其脱氧能力，防止焊缝出现热裂纹及气孔缺陷。常用的铜及铜合金焊丝与性能见表 2-22。焊接纯铜用焊丝主要加了硅、锰、磷等脱氧元素，对导电性要求高的纯铜焊件，不宜选用含磷的焊丝。在黄铜焊丝中加硅可以防止锌的蒸发、氧化，提高熔池金属的流动性、抗裂性及耐蚀性。加入铝可作合金剂同时可脱氧和细化焊缝组织，提高接头塑性、耐蚀性。铜及铜合金焊丝的牌号、化学成分见表 2-23。

焊丝中加入铁可提高焊缝的强度、硬度和耐磨性，但塑性有所降低。焊丝中加入锡可提高熔池金属的流动性，改善焊丝的焊接性能。在焊丝中加入单个或复合元素钛、铅、硼脱氧效果更有效，在气体保护焊

中得到很好的应用。

(2) 焊剂 为防止熔池金属氧化和其他气体侵入, 并改善液体金属的流动性, 气焊、碳弧焊、埋弧焊、电渣焊都使用焊剂, 不同焊接方法所用的焊剂是不同的。

气焊、碳弧焊焊铜通用的焊剂主要有硼酸盐、卤化物或它们的混合物组成, 见表 8-3。

表 8-3 铜及铜合金气焊、碳弧焊用焊剂

| 牌 号 | 化学成分(%) (质量分数) | | | | | | 熔点 /°C | 应用范围 |
|-------------|---|--------------------------------|---------|-------|---------|---------------------|-----------|---------------|
| | Na ₂ B ₄ O ₇ | H ₃ BO ₃ | NaF | NaCl | KCl | 其他 | | |
| 标 CJ301 | 17.5 | 77.5 | — | — | — | AlPO ₄ 5 | 650 | 铜及铜合金气焊、钎焊 |
| 准 CJ401 | — | — | 7.5~9.0 | 27~30 | 49.5~52 | LiAl13.5~15 | 560 | 青铜气焊 |
| 非 标 准 | 1 | 20 | 70 | 10 | — | — | — | 铜及铜合金气焊及碳弧焊通用 |
| | 2 | 56 | — | — | 22 | — | — | — |
| | 3 | 68 | 10 | — | 20 | — | — | — |
| | 4 | LiCl15 | — | KF7 | 30 | 30 | 45 | — |

(3) 焊条 焊条电弧焊用的铜焊条分为纯铜焊条、青铜焊条两类, 应用较多的是青铜焊条。黄铜中的锌容易蒸发, 极少采用焊条电弧焊, 必要时可采用青铜焊条。青铜焊条除了可以用于焊接各种青铜、黄铜外, 还可以用于轴承等承受金属间摩擦、磨损和耐海水腐蚀零件的堆焊以及容易产生裂纹的铸铁件的焊补等。铜及铜合金焊条见表 8-4。

表 8-4 铜及铜合金焊条

| 焊条 牌号 | 国标 | 药皮 类型 | 焊接 电源 | 焊缝主要成分 (%) | | 焊缝金属性能 | 主要用途 |
|----------|-------|----------|----------|---------------|---------------------------------------|--|-----------------------------------|
| T107 | ECu | 低氢 型 | 直流 反接 | 纯铜 > 99 | | $\sigma_b \geq 176\text{MPa}$ | 在大气及海水介质中具有良好的耐蚀性, 适用于脱氧或无氧铜构件的焊接 |
| T207 | ECuSi | 低氢 型 | 直流 反接 | 硅 青铜 | Si-3 Mn < 1.5 Sn < 1.5 Cu 余量 | $\sigma_b > 340\text{MPa}$ $\delta_5 > 20\%$ 110~130HV | 适用于纯铜、硅青铜及黄铜的焊接以及化工管道等内衬的堆焊 |

(续)

| 焊条 牌号 | 国标 | 药皮 类型 | 焊接 电源 | 焊缝主要成分 (%) | 焊缝金属性能 | 主要用途 |
|----------|--------|----------|----------|-----------------------------------|--|---|
| T227 | ECuSnB | 低氢 型 | 直流 反接 | Sn-8 磷青铜 P \leq 0.3 Cu 余量 | $\sigma_1 \geq 270\text{MPa}$ $\delta_5 > 20\%$ 80~115HV | 适用于纯铜、黄铜磷青铜的焊接 以及磷青铜轴衬、船舶推进器叶片 等的堆焊 |
| T237 | FCuAl | 低氢 型 | 直流 反接 | Al-8 铝青铜 Mn \leq 2 Cu 余量 | $\sigma_b > 410\text{MPa}$ $\delta_5 > 15\%$ 120~160HV | 适用于铝青铜及其他铜合金,铜 合金与钢的焊接以及铸件焊补 |

2. 焊接工艺及焊接参数

(1) 焊丝及焊件表面的清理 焊件坡口及两侧不小于20mm范围内的表面及焊丝,应采用丙酮或四氯化碳等有机溶剂除去油污,并应采用机械方法或化学方法清除氧化膜等污物,使之露出金属光泽;当采用化学方法时,可用30%硝酸溶液浸蚀2~3min,用水洗净并干燥。

铜及铜合金焊前清理及清洗方法见表8-5。

表 8-5 铜及铜合金的焊前清理及清洗方法

| 目的 | 清 理 内 容 及 工 艺 措 施 | |
|-------|--|--|
| 去油污 | (1) 去氧化膜之前,将待焊处坡口及两侧各30mm内的油、污、脏物等杂质用汽油、丙酮等有机溶剂进行清洗 (2) 用10%氢氧化钠水溶液加热到30~40℃对坡口除油→用清水冲洗干净→置于35%~40%的硝酸(或10%~15%的硫酸)水溶液中浸渍2~3min 清水洗刷干净,烘干 | |
| 去除氧化膜 | 机械清理 | 用风动钢丝轮或钢丝刷或砂布打磨焊丝和焊件表面,直至露出金属光泽 |
| | 化学清理 | 置于70mL/L HNO ₃ + 100mL/L H ₂ SO ₄ + 1mL/L HCl 混合溶液中进行清洗后,用碱水中和,再用清水冲净,然后用热风吹干 |

注:经清洗合格的焊件应及时施焊。

(2) 接头形式及坡口制备 由于搭接接头、丁字接头、内角接接头散热快,不易焊透,焊后清除流入焊件缝隙中的熔剂和熔渣很困难,因此尽可能不采用。应采用散热条件好的对接接头、端接接头,并根据母材厚度和焊接方法的不同,制备相应的坡口。对不同厚度(厚度差超过

3mm) 的纯铜板对接焊时, 厚度大的一端必须按规定削薄。采用单面焊接接头, 特别是开坡口的单面焊焊接头又要求背面成形时, 必须在背面加上成形垫板。一般情况下, 铜及铜合金工件不易实现立焊和仰焊。焊件坡口制备应符合下列规定:

1) 焊件的坡口形式和尺寸应符合设计和焊接工艺指导书的规定, 当无规定时, 宜符合表 8-6 及表 8-7 的规定;

表 8-6 纯铜管手工钨极氩弧焊坡口类型与尺寸

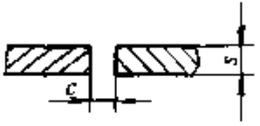
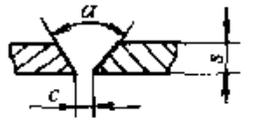
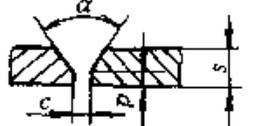
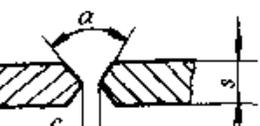
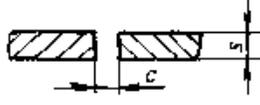
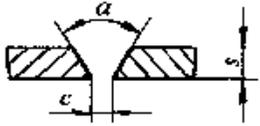
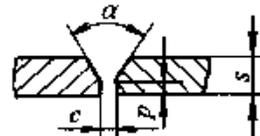
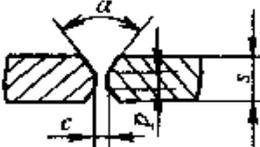
| 坡口类型 | 壁厚 s/mm | 间隙 c/mm | 钝边厚度 P/mm | 坡口角度 $\alpha/(\circ)$ |
|---|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|
|  | ≤ 2 | 0 | — | — |
|  | 3~4 | 0 | — | 65 ± 5 |
|  | 5~8 | 0 | 1~2 | 65 ± 5 |
|  | 10~14 | 0 | — | 65 ± 5 |

表 8-7 黄铜氧乙炔焊坡口类型与尺寸

| 坡口类型 | 壁厚 s/mm | 间隙 C/mm | 钝边厚度 P/mm | 坡口角度 $\alpha/(\circ)$ | 备注 |
|---|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|
|  | ≤ 2 | — | — | — | 不加填充金属 |
|  | ≤ 3 | 0~4 | — | — | 单面焊 |
| | 3~6 | 3~5 | — | — | 双面焊不能 两侧同时焊 |

(续)

| 坡口类型 | 壁厚 s/mm | 间隙 C/mm | 钝边厚度 P/mm | 坡口角度 $\alpha/(\circ)$ | 备注 |
|---|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|----|
|  | 3~12 | 3~6 | 0 | 65 ± 5 | |
|  | >6 | 3~6 | -3 | 65 ± 5 | |
|  | >8 | 3~6 | -4 | 65 ± 5 | |

2) 纯铜及黄铜的切割和坡口加工应采用机械方法, 或等离子弧切割。

(3) 焊件的组对应符合下列规定:

1) 管道对接焊缝组对应内壁齐平, 内壁错边量不应超过管壁厚度的 10%, 且不大于 2mm。

2) 设备、容器、卷管对接焊缝错边量应符合下列规定:

a. 纵焊缝的错边量应小于等于 0.1δ , 且不应大于 2mm;

b. 环焊缝的错边量应小于等于 0.2δ , 且不应大于 5mm。

3) 不等厚对接焊件的组对, 当错边量大于 3mm 或管道焊缝单面错边量大于 2mm 时, 应按图 6-5 的规定对焊件进行加工。

4) 设备、容器相邻筒体或封头与筒体组对时, 纵缝之间的距离不应小于 100mm。

5) 不宜在焊缝及其边缘上开孔。

(4) 气焊 铜及铜合金用氧乙炔焰焊接时, 应按表 8-2 选用铜及铜合金焊丝及焊剂, 当工作压力 PN 为 1.6MPa 以上的铜管或黄铜管采用气焊时, 乙炔气应进行脱硫和脱水。

当黄铜采用氧乙炔焊时, 工艺要求为:

- 1) 黄铜采用氧乙炔焊时, 应采用微氧化焰, 并采用左焊法施焊。
- 2) 施焊前应对坡口两侧 150mm 范围内均匀预热, 当厚度 5 ~ 15mm 时, 预热温度为 400~500°C, 厚度大于 15mm 时应为 550°C。
- 3) 施焊前应将一定长度焊丝加热, 并将被加热的焊丝放入铜焊粉中蘸上一层焊药, 然后进行施焊。
- 4) 焊接时宜采用单层单道焊。若采用多层焊接时, 应采用多层单道焊。底层宜选用细焊丝, 其他各层宜采用较粗焊丝, 以减少焊接层数。各层表面焊渣应清除干净, 接头应错开。
- 5) 异种黄铜焊接时, 火焰应适当偏向熔点较高一侧, 以保证两侧母材熔合良好。
- 6) 黄铜氧乙炔焊炬型号及焊丝直径的选用应符合表 8-8 的规定。

表 8-8 黄铜氧乙炔焊焊炬型号及焊丝直径选用

| 焊件厚度 /mm | 焊丝直径 /mm | 焊炬型号 | 乙炔流量/(L/h) | | 乙炔压力 /MPa |
|-------------|-------------|------------------|------------|----------|--------------|
| | | | 焊 嘴 | 预热嘴 | |
| 1~3 | 2~3 | H01-2 | 100~150 | — | 0.05~0.06 |
| 3~4 | 3 | H01-6 | 100~300 | — | 0.05~0.06 |
| 4~6 | 4~5 | H01-6 | 225~350 | 225~350 | 0.05~0.06 |
| 6~10 | 4~8 | H01-12 | 500~700 | 500~700 | 0.06~0.07 |
| >10 | 6~8 | H01-12 H01-20 | 750~1000 | 750~1000 | 0.06~0.07 |

铜及铜合金气焊工艺要点见表 8-9。

表 8-9 铜及铜合金气焊工艺要点

| 材 料 | 焊 丝 | 焊剂 | 火焰性质 | 预热温度 | 焊后处理温度 |
|---|----------------------|-------|-------------|--|--|
| 二号铜(T2) 三号铜(T3) 四号铜(T4) 磷脱氧铜(TU) | SCu-2 | 粉 301 | 中性 | 板厚 5 ~ 15mm 为 400 ~ 500°C; 板厚大于 15mm 为 600 ~ 700°C | 水韧性处理: 500 ~ 600°C |
| 62 黄铜(H62) 68 黄铜(H68) 59-1-1 铁黄铜 (HFe59-1-1) | HSCuZn-3 HSCuZn-5 | 粉 301 | 中性或弱 氧化性 | 板厚 5 ~ 15mm 为 400 ~ 500°C; 板厚大于 15mm 为 550°C | 消除焊接应力退火, 400 ~ 450°C, 软化退火: 550 ~ 600°C |

磷脱氧铜的气焊参数见表 8-10。

表 8-10 磷脱氧纯铜的气焊参数

| 板厚 /mm | 填充焊丝 直径 /mm | 根部间隙 /mm | 乙炔气流量 /(L/min) | 预热气流量 /(L/min) | 焊炬及喷嘴号码 |
|-----------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1.5 | 1.6 | 无 | 4 | 无 | H01-2 焊炬, 4~5 号喷嘴 |
| 3.0 | 2.0 | 1.5 | 6 | 无 | H01-6 焊炬, 3~4 号喷嘴 |
| 4.5 | 3.0 | 2.0 | 8 | 12 | H01-12 焊炬, 1~2 号喷嘴 |
| 6.0 | 4.0 | 3.0 | 12 | 12 | H01-12 焊炬, 2~3 号喷嘴 |
| 9.0 | 5.0 | 4.5 | 16 | 16 | H01-12 焊炬, 3~4 号喷嘴 |
| 12.0 | 6.0 | 4.5 | 16 | 16 | H01-12 焊炬, 3~4 号喷嘴 |

(5) 电弧焊工艺 电弧焊中所用的焊条能使铜及铜合金焊缝中含氧量、含氢量增加, 并且使其中的锌蒸发严重, 容易形成气孔。因此, 在焊接过程中应严格控制焊接参数。

在应用焊条电弧焊时, 焊条在焊接前要严格经 200~250°C、2h 烘干, 彻底的去皮中吸附的水分。在焊接前和多层焊的层间应对工件进行预热。预热温度要根据材料的热导率和工件的厚度等来确定。纯铜预热温度应在 300~600°C 范围内选择; 黄铜导热比纯铜差, 为了抑制锌的蒸发也必须预热至 200~400°C; 锡青铜和硅青铜预热不应该超过 200°C; 磷青铜的流动性差, 必须预热不超过 250°C。

为了改善焊接接头的性能, 同时减少焊接应力, 焊后可对焊缝和接头进行热态和冷态的锤击。对要求较高的接头, 则应采用焊后高温热处理消除应力和改善接头韧性。铜及铜合金焊条电弧焊的焊接工艺参数见表 8-11。

表 8-11 铜及铜合金焊条电弧焊的焊接参数

| 材料 | 板厚/mm | 坡口形式 | 焊条直径/mm | 焊接电流/A | 备 注 |
|----|-------|------|---------|---------|---|
| 纯铜 | 2 | I 形 | 3.2 | 110~150 | 铜及铜合金手工焊条所选用的电流一般可按公式 $I \approx (3.5 \sim 4.5)d$ (其中 d 为焊条直径) 来确定, 并要求如下: ①随着板厚增加, 热量损失大, 焊接电流选用高限, 甚至可能超过直径的 5 倍 ②在一些特殊的情况下, 工件的预热受限制, 也可适当提高焊接电流予以弥补 |
| | 3 | I 形 | 3.2~4 | 120~200 | |
| | 4 | I 形 | 4 | 150~220 | |
| | 5 | V 形 | 4~5 | 180~300 | |
| | 6 | V 形 | 4~5 | 200~350 | |
| | 8 | V 形 | 5~7 | 250~380 | |
| 黄铜 | 10 | V 形 | 5~7 | 250~380 | |
| | 2 | I 形 | 2.5 | 50~80 | |
| | 3 | I 形 | 3.2 | 60~90 | |

(续)

| 材料 | 板厚/mm | 坡口形式 | 焊条直径/mm | 焊接电流/A | 备注 |
|-----|-------|------|---------|---------|--|
| 铝青铜 | 2 | I形 | 3.2 | 60~90 | 铜及铜合金手工焊条所选用的电流一般可按公式 $I \approx (3.5 - 4.5)d$ (其中 d 为焊条直径) 来确定, 并要求如下: ①随着板厚增加, 热量损失大, 焊接电流选用高限, 甚至可能超过直径的 5 倍 ②在一些特殊的情况下, 工件的预热受限制, 也可适当提高焊接电流予以弥补 |
| | 4 | I形 | 3.2~4 | 120~150 | |
| | 6 | V形 | 5 | 230~250 | |
| | 8 | V形 | 5~6 | 250~280 | |
| | 12 | V形 | 5~6 | 280~300 | |
| 锡青铜 | 1.5 | I形 | 3.2 | 60~100 | ①随着板厚增加, 热量损失大, 焊接电流选用高限, 甚至可能超过直径的 5 倍 ②在一些特殊的情况下, 工件的预热受限制, 也可适当提高焊接电流予以弥补 |
| | 3 | I形 | 3.2~4 | 80~150 | |
| | 4.5 | V形 | 3.2~4 | 150~180 | |
| | 6 | V形 | 4~5 | 200~300 | |
| | 12 | V形 | 6 | 300~350 | |
| 白铜 | 6~7 | I形 | 3.2 | 110~120 | 平焊 |
| | 6~7 | V形 | 3.2 | 100~150 | 平焊和仰焊 |

铜和铜合金焊条电弧焊的工艺要点见表 8-12。

表 8-12 铜和铜合金焊接工艺要点

| 类别 | 主要特点 | 工艺措施 | 热规范 | 焊条 | 备注 |
|-----|---|--|--|---------------------|--|
| 纯铜 | 由于铜的热导率大, 热散失快, 热输入不足时焊接接头可能发生不熔合或未焊透 | (1) 铜和铜合金焊条电弧焊, 通常采用较大的焊接电流, 较高的预热温度和层间温度 | 预热 400~500°C | T107、T207、T227、T237 | (1) 焊条电弧焊、焊缝成形和焊缝质量差; 不推荐采用。只有在小批量, 且用其他方法又难以接近焊接接头的场合, 才使用焊条电弧焊 |
| 黄铜 | 由于铜及其合金的线胀系数大, 导热性强, 所以热影响区宽, 焊件易变形, 若焊件刚性很大, 则会产生很大的焊接应力 | (2) 焊接接头须有较大的间隙和坡口角, 较多的定位焊缝 | 预热 250~350°C | T227、T237 | (2) 黄铜焊接性较差, 一般不宜使用焊条电弧焊 |
| 锡青铜 | 焊接时由于氧化铜及某些合金元素、杂质能与铜形成低熔点共晶, 分布于晶界, 因此易产生裂纹。此外, 还会产生气孔 | (3) 由于流动性好, 应尽量在平焊位置焊接。磷青铜和白铜可实现全位置焊接。高流动性铜及铜合金焊接时, 必须使用碳、石墨、铜合金材质的衬带或衬环 | 预热 150~200°C, 层温 < 200°C, 焊后加热至 480°C 后快冷 | T227 | (3) 青铜、白铜焊接性较好 |
| 铝青铜 | | (4) 选用低氢焊条, 直流反接法、短弧焊接 | 含 Al < 7%, 预热 < 200°C 含 Al > 7%, 预热 620°C 厚度 $\delta < 3\text{mm}$, 不预热 | T237 | |
| 硅青铜 | | (5) 焊件表面必须清除油污、氧化皮、水分等 | 不预热, 层温 < 100°C, 焊后锤击焊缝, 消除应力 | T207 | |
| 白铜 | | (6) 焊后用平头锤锤击焊缝, 消除应力 | 不预热, 层温 < 70°C | T237 | |

(6) 埋弧焊工艺 埋弧焊接铜及铜合金时,板厚小于20mm的工件在不预热和不开坡口的条件下可获得优质接头,使焊接工艺大为简化,特别适合于中厚板的长焊缝焊接。纯铜、青铜埋弧焊的焊接性能较好,黄铜的焊接性尚可。

1) 焊丝与焊剂的选择 焊接铜及铜合金可选用标准的高硅高锰焊剂而获得满意的工艺性能。但不可避免会发生合金元素向焊缝过渡。对接头性能要求高的工件宜选用焊剂 260、焊剂 150 或选用近年研制成功的陶质焊剂、氟化物焊剂。

2) 焊接工艺参数 铜及铜合金埋弧焊焊接参数见表 8-13。铜的埋弧焊通常是采用单道焊进行。厚度小于 20~25mm 的铜及铜合金可采用不开坡口的单面焊或双面焊。厚度更大的工件最好开 U 形坡口(钝边为 5~7mm) 并采用并列双丝焊接(丝距约为 20mm)。

表 8-13 铜及铜合金埋弧焊焊接参数

| 材料 | 板厚/mm | 接头、坡口形式 | 焊丝直径/mm | 焊接电流/A | 电弧电压/V | 焊接速度/(m·h ⁻¹) | 备注 | |
|-------|-------|----------|----------------|-----------|-----------|---------------------------|---------|---|
| 纯铜 | 5~6 | 对接不开坡口 | — | 500~550 | 38~42 | 45~40 | — | |
| | 10~12 | | — | 700~800 | 40~44 | 20~15 | — | |
| | 16~20 | | — | 850~1000 | 45~50 | 12~8 | — | |
| | 25~30 | 对接 U 形坡口 | — | 1000~1100 | 45~50 | 8~6 | — | |
| | 35~40 | | — | 1200~1400 | 48~55 | 6~4 | — | |
| | 黄铜 | 16~20 | 对接、单面焊 | — | 850~1000 | 45~50 | 12~8 | — |
| | | 25~30 | 角接 U 形坡口 | — | 1000~1100 | 45~50 | 8~6 | — |
| | | 35~40 | | — | 1200~1400 | 48~55 | 5~3 | — |
| 45~60 | | — | | 1400~1600 | 48~55 | 5~3 | — | |
| 青铜 | 4 | — | 1.5 | 180~200 | 24~26 | 20 | 单面焊 | |
| | 4 | — | 1.5 | 140~160 | 24~26 | 25 | 双面焊 | |
| | 8 | — | 1.5 | 360~380 | 26~28 | 20 | 单面焊 | |
| | 8 | — | 1.5 | 260~300 | 29~30 | 22 | 封底焊缝 | |
| | 12 | — | 2.0 | 450~470 | 30~32 | 25 | 单面焊 | |
| | 12 | — | 2.0 | 360~375 | 30~32 | 25 | 封底焊缝 | |
| | 18 | — | 3.0 | 650~700 | 32~34 | 30 | 封底焊缝 | |
| | 18 | — | 3.0 | 700~750 | 32~34 | 30 | 第二道 | |
| 铝青铜 | 10 | V 形坡口 | 焊剂层厚度/mm 25 | 450 | 35~36 | 25 | 双面焊 | |
| | 15 | V 形坡口 | 25 | 550 | 35~36 | 25 | 第一道 | |
| | 15 | V 形坡口 | 30 | 650 | 36~38 | 20 | 第一道 | |
| | 15 | V 形坡口 | 30 | 650 | 36~38 | 25 | 封底焊缝 | |
| | 26 | X 形坡口 | 30 | 750 | 36~38 | 25 | 第一道 | |
| | 26 | X 形坡口 | 30 | 800 | 36~38 | 20 | 第二道(外层) | |

3) 垫板及引弧板 埋弧焊使用的焊接热输入较大, 熔化金属多, 为防止液体铜的流失和获得理想的反面成形, 无论是单面焊还是双面焊, 反面均采用各种形式的垫板。垫板与铜板的接触面要吻合很好, 需要专门机械加工。为了保持焊剂垫层有一定的透气性以利焊缝中的气体的析出, 又不对反面成形造成很大的压力使焊缝底部向下凹, 应选颗粒度稍大的焊剂 (2~3mm) 作为垫剂层, 而且焊垫层应有一定的厚度, 一般不小于 30mm。

(7) 钨极气体保护焊 (TIG) 工艺 钨极气体保护焊具有电弧能量集中、保护效果好、热影响区窄、操作灵活的突出优点。它已经成为铜及铜合金熔焊方法中应用最广泛的一种, 特别适合于中、薄板和小件的焊接和补焊。铜及铜合金 TIG 焊的焊接参数见表 8-14。

表 8-14 铜及铜合金 TIG 焊的焊接参数

| 材料 | 板厚 /mm | 钨极直径 /mm | 焊丝直径 /mm | 焊接电流 /A | Ar 气流量 /(L·min ⁻¹) | 预热温度 /°C | 备 注 |
|-------------|-----------|-------------|-------------|------------|-----------------------------------|-------------|-------------------------|
| 纯 铜 | 0.3~0.5 | 1 | — | 30~60 | 8~10 | 不预热 | — |
| | 1 | 2 | 1.6~2.0 | 120~160 | 10~12 | | — |
| | 1.5 | 2~3 | 1.6~2.0 | 140~180 | | | — |
| | 2 | 2~3 | 2 | 160~200 | 14~16 | | — |
| | 3 | 3~4 | 2 | 200~240 | | 可实现单面焊双面成形 | |
| | 4 | 4 | 3 | 220~260 | | | 300~350 |
| | 5 | 4 | 3~4 | 240~320 | 16~20 | 350~400 | 60°V 形坡口双面焊 |
| | 6 | 4~5 | 3~4 | 280~360 | | 400~450 | 钝边 1.0mm |
| | 10 | 5~6 | 4~5 | 340~400 | 20~22 | 450~500 | 正面焊 2 层, 反面焊 1 层, V 形坡口 |
| | 12 | 5~6 | 4~5 | 360~420 | | | |
| 硅 青 铜 | 1.5 | 3 | 2 | 100~130 | 8~10 | 不预热 | I 形坡口 |
| | 3 | | 120~160 | 12~16 | | | |
| | 4.5 | 3~4 | 2~3 | | 150~220 | | V 形接头 |
| | 6 | 4 | 3 | 180~250 | 16~20 | | |
| | 9 | | 3~4 | 250~300 | 18~22 | | |
| 12 | 4 | | 270~330 | 20~24 | | | |
| 锡 青 铜 | 0.3~1.5 | 3 | — | 90~150 | 12~16 | 不预热 | 卷边接头 |
| | 1.5~3.0 | | 1.5~2.5 | 100~180 | | | I 形接头 |
| | 5 | 4 | 4 | 160~200 | 14~16 | | V 形接头 |
| | 7 | | | 210~250 | 16~20 | | |
| | 12 | | | 5 | 260~300 | | |

(续)

| 材料 | 板厚 /mm | 钨极直径 /mm | 焊丝直径 /mm | 焊接电流 /A | Ar 气流量 /(L·min ⁻¹) | 预热温度 /°C | 备 注 |
|-------------|-----------|-------------|-------------|------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 铝 青 铜 | ≤1.5 | 1.5 | 1.5 | 25~80 | 8~10 | 不预热 | I形接头 |
| | 3.0 | 4 | 4 | 130~160 | 12~16 | 150 | V形接头 |
| | 5.0 | 4 | 4 | 150~225 | 16 | | |
| | 6.0 | 4~5 | 4~5 | 150~300 | | | |
| | 9.0 | 4~5 | 4~5 | 210~330 | | | |
| | 12.0 | | | 250~325 | | | |
| 白 铜 | 3 | 4~5 | 1.5 | 310~320 | 12~16 | 不预热 | B10 自动焊, I形 |
| | <3 | | 3 | 300~310 | | | B10 手工焊, V形 |
| | 3~9 | | 3~4 | 300~310 | | | B30 手工焊, I形 |
| | <3 | | 3 | 270~290 | | | B30 手工焊, V形 |
| | 3~9 | | 5 | 270~290 | | | |

由于受钨极载流能力的限制, 焊接电流增大是有限度的, 对焊接板厚小于 3mm 的构件, 不开坡口; 板厚在 4~10mm 时, 一般开 V 形坡口; 板厚大于 10mm 开双 Y 形坡口。在焊接时通常采用左焊法, 焊前用高频振荡器引弧或在碳块、石墨块上接触引弧然后移入坡口区焊接。当纯铜采用钨极氩弧焊时, 工艺要求为:

- 1) 铜管焊接位置宜采用转动焊; 铜板焊接位置宜采用平焊。
- 2) 每条焊缝应一次连续焊完, 不得中断。

纯铜钨极氩弧焊应符合下列规定:

- 1) 焊接时应采用直流电源, 母材接正极;
- 2) 焊前应检查坡口的质量, 不应有裂纹、分层、夹渣等缺陷, 当发现缺陷时, 应修磨或重新加工;
- 3) 焊前应将铜焊剂用无水酒精调成糊状涂敷在坡口或焊丝表面, 并应及时施焊;
- 4) 当焊件壁厚大于 3mm 时, 焊前应对坡口两侧 150mm 范围内进行均匀预热, 预热温度应为 350~550°C;
- 5) 当焊接过程中发生触钨时, 应将钨极、焊丝和熔池处理干净后, 方可继续施焊;
- 6) 进行预热或多层焊时, 应及时去除焊件表面及层间的氧化层, 焊缝层间温度应控制在 300~400°C。

黄铜焊后热处理应符合下列规定：

1) 黄铜焊后应进行热处理，热处理焊件前应采取防变形的措施。热处理加热范围以焊缝中心为基准，每侧不应小于焊缝宽度的3倍。

2) 热处理温度应符合设计及焊接作业指导书的规定，当无规定时，可按下列常规的热处理温度进行：

a. 消除焊接应力退火的热处理温度应为 400~450℃；

b. 软化退火的热处理温度应为 500~600℃。

3) 对热处理后进行返修的焊缝，返修后应重新进行热处理。

(8) 熔化极氩弧焊工艺(MIG) 熔化极氩弧焊(MIG)可用于所有的铜及铜合金的焊接。对于厚度大于 3mm 的铝青铜、硅青铜和铜镍合金最好选用此种方法焊接。

1) 填充材料 选用焊丝的原则与 TIG 焊几乎相同。铜和铜合金 MIG 焊时用的填充金属见表 8-15。

表 8-15 铜和铜合金 MIG 焊时用的填充金属

| 焊 丝 | 名 称 | 适用母材 |
|------------|------|----------------|
| ERCu | 铜 | 铜 |
| ERCuSi-A | 硅青铜 | 硅青铜、黄铜 |
| ERCuSn-A | 磷青铜 | 磷青铜、黄铜 |
| ERCuNi | 铜镍合金 | 铜镍合金 |
| ERCuAl-A2 | 铝青铜 | 铝青铜、黄铜、硅青铜、锰青铜 |
| ERCuAl-A3 | 铝青铜 | 铝青铜 |
| ERCuNiAl | 铝青铜 | 镍铝青铜 |
| ERCuMnNiAl | 铝青铜 | 锰铝青铜 |
| RCuZn-A | 船用黄铜 | 黄铜、铜 |
| RCuZn-B | 低烟黄铜 | 黄铜、锰青铜 |
| RCuZn-C | 低烟黄铜 | 黄铜、锰青铜 |

2) 焊接参数 铜及铜合金 MIG 焊的焊接参数见表 8-16。

为了提高焊接效率，MIG 焊采用直流反极性、大电流、高焊速，这样可以提高电弧的稳定性。与 TIG 焊相比，焊接同样厚度的铜件，焊接电流增加 30% 以上，焊速可提高 1 倍。大电流有利于电弧的稳定，高速焊接对避免一些铜合金的热脆性和近缝区晶粒长大都有好处。

MIG 焊具有较强的穿透力，不开坡口的极限尺寸及钝边比 TIG 焊

时要增大，坡口角度可偏小，一般不留间隙。只有在焊接流动性较差的硅青铜时才需要把坡口角度增大到 80° 。熔化极气体保护焊，对厚度小于 3mm 的铜时需采用 J 形坡口接头，根部间隙为 0 时可用铜衬垫。

表 8-16 铜及铜合金 MIG 焊的焊接参数

| 材料 | 板厚 /mm | 坡口 形式 | 焊丝直径 /mm | 焊接电流 /A | 焊接电压 /V | Ar 气流量 /(L·min ⁻¹) | 预热温度 /°C |
|-------------|-----------|----------|-------------|------------|------------|-----------------------------------|-------------|
| 纯 铜 | 3 | I | 1.6 | 300~350 | 25~30 | 16~20 | — |
| | 5 | I | 1.6 | 350~400 | 25~30 | 16~20 | 100 |
| | 6 | V | 1.6 | 400~425 | 32~34 | 16~20 | 250 |
| | 6 | I | 2.5 | 450~480 | 25~30 | 20~25 | 100 |
| | 8 | V | 2.5 | 460~480 | 32~35 | 25~30 | 250~300 |
| | 9 | V | 2.5 | 500 | 25~30 | 25~30 | 250 |
| | 10 | V | 2.5~3 | 480~500 | 32~35 | 25~30 | 400~500 |
| | 12 | V | 2.5~3 | 550~650 | 28~32 | 25~30 | 450~500 |
| | 12 | X | 1.6 | 350~400 | 30~35 | 25~30 | 350~400 |
| | 15 | X | 2.5~3 | 500~600 | 30~35 | 25~30 | 450 |
| | 20 | V | 4 | 700 | 28~30 | 25~30 | 600 |
| 22~30 | V | 4 | 700~750 | 32~36 | 30~40 | 600 | |
| 黄 铜 | 3 | I | 1.6 | 275~285 | 25~28 | 16 | — |
| | 9 | V | 1.6 | 275~285 | 25~28 | 16 | — |
| | 12 | V | 1.6 | 275~285 | 25~28 | 16 | — |
| 锡 青 铜 | 1.5 | I | 0.8 | 130~140 | 25~26 | — | — |
| | 3 | I | 1.0 | 140~160 | 26~27 | — | — |
| | 6 | V | 1.0 | 165~185 | 27~28 | — | — |
| | 9 | V | 1.6 | 275~285 | 28~29 | 18 | 100~150 |
| | 12 | V | 1.6 | 315~335 | 29~30 | 18 | 200~250 |
| | 18 | | 2 | 365~385 | 31~32 | — | — |
| 25 | | 2.5 | 440~460 | 33~34 | — | — | |
| 铝 青 铜 | 3 | I | 1.6 | 260~300 | 26~28 | 20 | — |
| | 6 | V | 1.6~2.0 | 280~320 | 26~28 | 20 | — |
| | 9 | V | 1.6 | 300~330 | 26~28 | 20~25 | — |
| | 10 | X | 4.0 | 450~550 | 32~34 | 50~55 | — |
| | 12 | V | 1.6 | 320~380 | 26~28 | 30~32 | — |
| | 16 | X | 2.5 | 400~440 | 26~28 | 30~35 | — |
| | 18 | V | 1.6 | 320~350 | 26~28 | 30~35 | — |
| | 24 | X | 2.5 | 450~500 | 28~30 | 40~45 | — |

参 考 文 献

- 1 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
- 2 《化工厂机械手册》编辑委员会编. 化工厂机械手册(二). 北京: 化学工业出版社, 1991
- 3 沈松泉, 黄振仁、顾竟成主编. 压力管道安全技术. 南京: 东南大学出版社, 2001
- 4 《安装》杂志编辑部编. 安装工程实用技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001
- 5 柳金海编. 管道工程设计施工及维修实用技术大全. 北京: 中国建材工业出版社, 2000
- 6 岳进才编. 压力管道技术. 北京: 中国石化出版社, 2001
- 7 中国安装协会组织编. 管道施工实用技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- 8 尹士科, 杨鸣山, 干移山, 夏林肯合编. 国内外焊丝焊剂简明手册. 北京: 兵器工业出版社, 1993
- 9 尹士科, 朱明生, 干移山, 董连仁合编. 国内外焊条简明手册. 北京: 兵器工业出版社, 1993
- 10 刘展, 宋应龙编著. 压力管道焊接. 北京: 学苑出版社, 2002
- 11 柳金海编. 管道工程安装维修手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994
- 12 李亚江著. 特殊及难焊材料的焊接. 北京: 化学工业出版社, 2003
- 13 沈惠塘编著. 焊接技术与高招. 北京: 机械工业出版社, 2003
- 14 机械工业标准化技术服务部. 焊接标准汇编. 北京: 机械科学研究院, 1999
- 15 俞尚知主编. 焊接工艺人员手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1992
- 16 朱玉义主编. 焊工实用技术手册. 南京: 江苏科学技术出版社, 2003
- 17 《焊接工艺基础》编写组. 焊接工艺基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1982
- 18 程训义主编. 建筑安装工程焊接实用手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996
- 19 杨绿乔, 郑安涛, 郑克敏编著. 塑料管道工程设计与施工. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990
- 20 李公藩编著. 塑料管道施工. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001
- 21 孙逊编. 聚烯烃管道. 北京: 化学工业出版社, 2002