

安 / 装 / 工 / 人 / 操 / 作 / 技 / 术 / 丛 / 书 /



电焊工

操作技术指南

○ 韩林生 主编



中国计划出版社



安装工人操作技术丛书

- 起重工操作技术指南
- 安装钳工操作技术指南
- 管道工操作技术指南
- 通风工操作技术指南
- 铆工操作技术指南
- 电气安装工操作技术指南
- 电焊工操作技术指南
- 气焊工操作技术指南



责任编辑：傅 强

装帧设计：北京大路策划咨询有限公司

ISBN 7-80058-663-4



9 787800 586637 >

ISBN 7-80058-663-4 / TU · 81

定价：22.00元

安装工人操作技术丛书

电焊工操作技术指南

韩林生 主编

中国计划出版社

1999 北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

电焊工操作技术指南/韩林生主编. —北京: 中国计划出版社, 1999. 6

(安装工人操作技术丛书)

ISBN 7-80058-663-4

I. 电… I. 韩… II. 电焊-焊接工艺-指南 N. TG443

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 20376 号

**安装工人操作技术丛书
电焊工操作技术指南**

韩林生 主编

☆

· 中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区月坛北小街 2 号 3 号楼)

(邮政编码: 100837 电话: 68030048)

新华书店北京发行所发行

世界知识印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/32 13 印张 290 千字

1999 年 6 月第一版 1999 年 6 月第一次印刷

印数 1 - 6000 册

☆

ISBN 7-80058-663-4/TU · 81

定价: 22.00 元

本书编写人员

主 编：韩林生

编写人员：韦 达 何柱国 郭久祺 伍建新
漆洁明 赵居礼 钱 江 李金溥
谭浩仁 张树仁 秦可法 席善助
王建生 李为卫

内 容 提 要

本书介绍焊接电弧、焊接冶金和接头性能等电焊基础知识，并论述了焊接接头与焊缝、焊接方法和工艺、焊接设备、焊接应力和变形、焊接缺陷及检验、常用焊接材料、碳钢、合金钢、有色金属的焊接操作技术等。本书可作为电焊工自学读物及技术培训教材，其他工种也可参考。

目 录

第一章 焊接电弧	(1)
第一节 焊接电弧的构造及静特性	(1)
第二节 焊接电弧的引燃过程	(11)
第三节 焊接电弧的稳定性	(13)
第四节 焊接电弧的偏吹	(14)
第五节 电弧焊的熔滴过渡	(16)
第二章 焊接冶金和接头性能	(21)
第一节 焊接接头及其特点	(21)
第二节 焊接热循环	(22)
第三节 焊接冶金基础	(24)
第四节 焊缝的组织性能	(31)
第五节 焊接热影响区的组织和性能	(35)
第六节 影响焊接接头性能的因素及其控制	(40)
第三章 焊接接头与焊缝	(46)
第一节 焊接接头型式	(46)
第二节 焊接坡口	(51)
第三节 焊缝形式	(53)
第四节 焊缝符号和焊接方法代号	(57)
第四章 焊接方法和工艺	(71)
第一节 手工电弧焊	(71)
第二节 氩弧焊	(86)
第三节 二氧化碳气体保护焊	(102)
第四节 埋弧自动焊	(109)

第五节	碳弧气刨	(115)
第五章	焊接设备	(119)
第一节	弧焊电源	(119)
第二节	手工电弧焊设备	(131)
第三节	埋弧自动焊设备	(158)
第四节	手工钨极氩弧焊设备	(175)
第五节	二氧化碳气体保护焊设备	(183)
第六章	焊接应力和变形	(195)
第一节	焊接应力和变形产生的原因	(195)
第二节	焊接残余变形	(204)
第三节	焊接应力	(218)
第七章	焊接缺陷及检验	(223)
第一节	焊接接头常见缺陷的分析	(223)
第二节	焊接缺陷的危害	(242)
第三节	焊接质量检验	(244)
第四节	焊接缺陷的返修	(261)
第八章	常用焊接材料	(264)
第一节	手工电弧焊焊接材料	(264)
第二节	手工钨极氩弧焊焊接材料	(282)
第三节	二氧化碳气体保护焊焊接材料	(285)
第四节	埋弧自动焊焊接材料	(286)
第九章	常用金属材料的焊接	(290)
第一节	钢的焊接性	(290)
第二节	碳素钢的焊接	(293)
第三节	普通低合金结构钢的焊接	(299)
第四节	铬钼耐热钢的焊接	(307)
第五节	不锈钢的焊接	(311)

第六节	异种钢的焊接	(319)
第七节	铝及铝合金的焊接	(322)
第八节	钢及铜合金的焊接	(327)
第九节	钛及钛合金的焊接	(333)
第十节	铸铁焊补	(337)
第十章	手工电弧焊操作工艺技术	(345)
第一节	酸性和碱性焊条操作特点	(345)
第二节	单面焊双面成形操作技术	(346)
第三节	各种位置焊缝的操作技术	(349)
第四节	管道手工电弧焊操作技术	(360)
第十一章	工程焊接	(371)
第一节	焊接在工程产品中的应用	(371)
第二节	焊接结构施工工艺流程的编制	(372)
第三节	一般焊接结构的焊接工艺过程和顺序	(373)
第四节	焊缝位置的选择与对口要求	(377)
第五节	常见结构焊接	(379)
第十二章	焊接安全与卫生	(388)
第一节	概述	(388)
第二节	手工电弧焊的安全与卫生	(389)
第三节	埋弧焊的安全与卫生	(395)
第四节	钨极氩弧焊的安全与卫生	(396)
第五节	CO ₂ 气体保护焊的安全与卫生	(397)
第六节	登高焊接作业的安全措施	(398)
附录	安装工人技术等级标准 (JGJ43-88)	
	(节选)	(400)

第一章 焊接电弧

电弧具有两个特性,即能放出大量的热和发出强烈的光。现今把电弧作为可移动的集中热源来熔化填充金属和母材,形成焊缝。电弧燃烧是否稳定直接影响焊接过程正常进行和焊接质量的好坏。因此,有必要弄清焊接电弧的实质和一些基本特性,掌握电弧放电的基本规律。本章就是从理论上对电弧的性质和作用进行分析,利用焊接电弧的知识来指导实际焊接操作,从而获得优质焊缝的目的。

第一节 焊接电弧的构造及静特性

一、焊接电弧的概念

焊接电弧是在一定条件下,两电极间产生强烈而持久的气体放电现象。电弧的电流很大,一般从几安培到几千安培,两电极间的电压较低,一般为 $20\sim 50\text{ V}$,电弧温度很高,绝对温度一般可达 $5\ 000\sim 30\ 000\text{ K}$ 。焊接电弧的主要作用是把电能转换成热能,同时产生机械能和光能。焊接时主要是利用其热能和机械能来达到连接金属的。

二、焊接电弧的产生机理

从电弧的外貌看,好像是一团光亮刺眼的弧焰,在两电极间燃烧。但它不是一般燃烧现象,实质上是两电极之间的气体空间的一种导电现象。由于电弧区各部分的物理性质不

同，电弧可分为三个区，如图 1-1。通常把靠近阴极表面的部分叫做阴极区，其电压降叫做阴极电压降。把靠近阳极表面的部分叫做阳极区，其电压降叫做阳极电压降，界于这两个区域之间的部分叫做弧柱区，其电压降叫做弧柱电压降。下面分别分析这三个区域的导电机理。

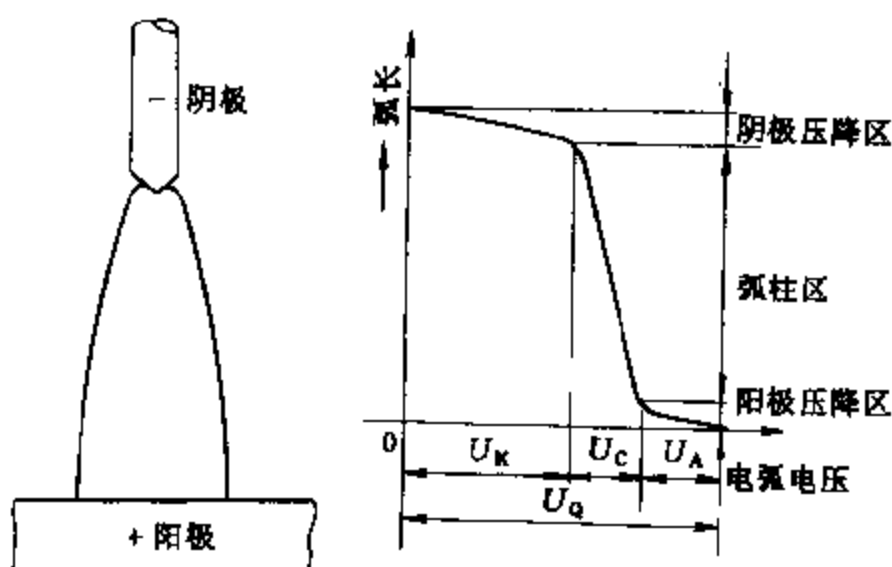


图 1-1 电弧各区域分布

U_Q 电弧电压； U_A —阳极电压降；

U_C —弧柱电压降； U_K —阴极电压降

1. 弧柱区的导电机理。通常情况下，气体不导电，电流通不过，电弧就不能自发地产生。那么为什么电极和工件间的气体会变成导电体呢？

不论固体、液体还是气体，能否呈现导电性能取决于在电场作用下是否拥有可自由移动的带电粒子。金属本身拥有大量的自由电子，所以只要加上电压，自由电子便产生定向运动形成电流。但金属中只有自由电子可以自由移动，而金属离子则不能自由移动。而气体导电后其所有导电粒子都可自由

移动，所以气体的导电过程和规律与金属不同。两电极间气体呈现导电性，并使电弧引燃和连续燃烧，这是电弧产生和维持的重要条件。使气体呈现导电性就是要把气体电离。气体电离后，原来气体中的一些中性粒子转变为电子和正离子，这时在电场作用下电流通过气体间隙而形成电弧。

我们知道，气体和自然界的一切物质一样，都是由原子组成的，原子本身又由带有正电荷的原子核和带有负电荷的电子组成的，而且电子是按照一定的轨道环绕原子核运动。核外电子由于受原子核的静电吸引力作用，所以它们不能随便脱离其运动轨道。在常态下，原子核所带的正电荷与核外电子所带的负电荷相等，这时原子是不带电的，对外不显电性的。要想使气体导电，必须设法使其原子中的电子摆脱原子核吸引的束缚而成为自由电子，中性的原子由于失去了带负电荷的电子而变成带正电荷的正离子，这时自由电子和正离子在电场作用下，分别向阳极和阴极作定向运动而导电。这种使中性的气体原子释放电子形成正离子的过程叫做气体放电。

如何使原子中的电子摆脱束缚而成为自由电子呢？要使电子从原子核中脱离出来，就需要克服原子核对它的吸引，因而需要供给一定的能量，在原子吸收外界能量后，电子就可以出现两种情况：一是当外界供给的能量不大时，电子只是从里层轨道跳到外层轨道，未能摆脱原子核的束缚，这一过程叫做“激励”。使中性粒子激励所需要的最低外加能量称为激励电位；另一种情况是当外界供给的能量足够大时，原子中的电子摆脱了原子核的束缚，成为自由电子。使原子分离成电子和离子，这一过程叫做“电离”。使原子电离所需要的能量称为电离电位（或电离功）。

电离电位的大小与气体物质的结构有关，不同气体电离时所需的电离功不同。电离功大表示这种气体难电离，也就是很难导电。电离功小，表示这种气体容易电离，导电也容易。表 1-1 列出各种元素所具有的电离电位和激励电位的大小。

表 1-1 某些元素的电离电位和激励电位

电位	元 素													
eV (电子伏特)	钾	钠	钡	钙	钛	锰	铁	氢	氧	氮	氩	氟	氖	氦
电离	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
激励	1.60	2.10	1.56	1.90	3.30	3.10	4.79	10.2	7.90	6.30	11.6	14.5	16.6	19.7

注：在原子物理学中，常用 eV（电子伏特）作为能量单位，1 eV（电子伏特）的能量就是一个电子在通过电势差等于 1 V 的一段路程上所需要或得到的能量（ $1 \text{ eV (电子伏特)} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ）。

从表中可以看出，碱金属的电离电位较低，气体的电离电位都比较高，惰性气体的电离电位更高。电弧中含有电离电位低的物质，则电弧容易引燃而且电弧稳定性好。因此，为了使手工电弧焊时电弧能容易引燃和稳定燃烧，常在焊条中加入一些电离电位比较低的物质，即含有钾、钠、钙的物质如水玻璃（ $\text{Na}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）、碳酸钠（ Na_2CO_3 ）、大理石（ Ca_2CO_3 ）等。

如前所述，气体的电离就是使气体的中性原子转变为带电粒子的过程。要使气体电离，就必须给这些中性原子以能量，以克服内部原子核与电子间的引力。焊接时，根据电离能量的来源不同，气体电离的形式可分为三种：一种是热电离，即在热作用下，使气体质点具有很高的动能，它们在无

规则的相互碰撞中产生电离，温度越高，热电离作用越大；另一种是电场作用下的电离，带电粒子在电场作用下，各作定向高速运动，产生较大的动能，当不断与中性粒子相碰撞时，则不断地产生电离。两电极间的电压越高，电场作用越大，则电离作用越强烈；还有一种叫光电离，中性粒子在光辐射的作用下产生的电离，称为光电离。

在焊接电弧的高温中，主要是热电离。弧柱为圆锥形剖面，弧柱中心温度最高，电离得最充分，大部分中性粒子电离或几乎全部电离。这种由正离子和同样数量的电子所组成的“气体”称为“等离子体”。等离子弧柱的温度和直径取决于通过电弧的电流数值。焊接电流主要是通过等离子弧柱传送的。

2. 阴极区的导电机理。阴极区就是靠近阴极表面的区域，它持续不断地向弧柱发射电子，使电弧能稳定燃烧。焊接时，气体的电离是产生电弧的重要条件，但是，如果只有气体电离而阴极不能发射电子，没有电流通过，那么电弧还是不能形成。因此阴极发射电子和气体电离一样，两者都是电弧产生和维持的重要条件。

一般情况下，电子在原子核周围作不规则地自由运动，它不能自由离开金属表面向外发射的，若外界供给自由电子的能量使它具有足够的动能，以致它完全可以摆脱内部粒子对它的束缚而逸出到外部空间时，就形成了电子发射。所加的外部能量越大，促使阴极发射电子作用就越强烈。我们把电子逸出金属表面所必须具有的最小动能叫做逸出功。其单位是“电子伏特”(eV)。不同的材料的逸出功数值不同。表1-2列出了某些元素的电子逸出功。

由表中可以看出，碱金属、稀土金属及金属氧化物的逸

表 1-2 一些电极材料的逸出功 $U_{\text{出}}$ (eV)

元素	B	K	Na	Ca	Th	Mg	Al	C	Cu	Fe
$U_{\text{出}}$	~2	2.02	2.3	2.84~ 3.2	3.38	3.74	3.95	2.5~ 4.4	4.33	4.18
元素	W	Al ₂ O ₃	MgO	ThO ₂	BaO	WC	W-Ba	W-Zr	W-Th	
$U_{\text{出}}$	4.54	3.90	3.31	3.1	~1.0	1.36	1.56	3.14	2.63	

出功较小,含有这些元素的金属发射电子的能力就强一些。每种材料发射电子的能力还与其它因素有关,如金属表面状态、致密性和含有氧化物的情况等。如果金属表面有氧化物或某些低逸出功的杂质存在,则由于组织不致密,原子排列不规则,原子引力不强,电子比较容易逸出。因此,焊条常常在药皮中加入较多的钾、钠、钙等化合物,使其易于发射电子,导电容易,从而促使电弧燃烧更稳定。

焊接时,根据供给阴极能量的来源不同,电子发射的形式有以下几类:热发射、电场发射和撞击发射等。阴极发射电子后,又从焊接电源获得新的电子。

(1) 热发射是由于阴极被加热,其表面达到最高的温度,使阴极表面的电子获得足够的能量而逸出。温度越高,则热发射作用越强烈。

(2) 电场发射是由于阴极表面附近有电场存在,电场对阴极表面的电子产生吸引力,电子可以获得足够的动能,从阴极表面发射出来。阴极表面附近的电场强度越大,就越容易把电子从金属表面拉出,电场发射作用越大。

(3) 撞击发射是由于运动速度高,能量大的正离子撞击

阴极表面时，将能量传递给阴极表面的电子，从而使阴极表面电子发射出去。

这几种电子发射形式在焊接电弧中都存在，而且常常同时存在，并相互促进；但在不同条件下，它们所起的作用有差异。例如，在引弧过程中，热发射和电场发射起着主要作用；当采用铜和铝等熔点较低的材料作阴极进行焊接时，由于材料本身熔点的限制，阴极表面不能达到很高的温度，因而热发射作用较弱，主要是电场发射；当采用钨、碳等熔点较高的材料作阴极时，由于它们可以被加热到很高温度，则热发射作用较显著，电场发射作用不是主要的。

3. 阳极区的导电机理。阳极区的导电机理比阴极区要简单的多，阳极吸收来自弧柱的电子，同时电子又不断地往弧柱补充。这样在阳极附近总保持有一定数量的电子流，这些电子形成空间电荷区，与阳极上的正电荷构成电场。而阳极区的正离子受到阳极的排斥，移向弧柱。

在焊接过程中，由于阳极金属受到电弧的急剧加热，阳极的温度很高，甚至使阳极的材料发生蒸发，产生金属蒸气引起热电离。另外，从弧柱中飞来的电子，在阳极区受到空间电场的加速后，沿途与金属蒸气中的粒子相碰撞，产生碰撞电离。热电离和碰撞电离相互作用，使阳极区电弧持续稳定地燃烧。

4. 焊接电弧的热分布。由于电弧三个区的电过程特点不同，由此引起各区域放出的能量及温度分布也是不相同的。

阴极区是靠负电极的区域，在阴极表面有一个明显的光斑点，它是电弧放电时，负电极表面上集中发射电子的微小区域，一般称为阴极斑点。阴极区的温度一般达 $2\ 100\sim 3\ 200\ ^\circ\text{C}$ ，放出的热量占整个电弧总热量的36%左右，阴极区

温度的高低主要取决于阴极的电极材料。

阳极区是紧靠正电极的区域,阳极表面也有光亮的斑点,它是电弧放电时,正电极表面上集中接收电子的微小区域,称为阳极斑点。阳极区温度一般达 $2\ 300\sim 3\ 900\text{ }^{\circ}\text{C}$,放出热量占电弧总热量的43%左右。

弧柱区介于阴极区和阳极区之间,由于阴极区和阳极区都很窄,因此弧柱的长度基本上等于电弧长度,弧柱中心温度可达 $5\ 700\sim 7\ 700\text{ }^{\circ}\text{C}$,放出热量占21%左右。弧柱的温度与弧柱中气体介质和焊接电流大小等因素有关。

在生产实践中,发现用不同的工艺方法焊接时,阳极与阴极的温度高低有变化,见表1-3。这是由于电弧各区域的电过程特点不同,因而电弧的阴极和阳极得到的能量也不同。

表 1-3 各种焊接工艺方法的阴极与阳极温度比较

工艺方法	一般手工 电弧焊	钨极 氩弧焊	熔化极 氩弧焊	CO ₂ 气体 保护焊	埋弧 自动焊
温度比较	阳极温度 > 阴极温度		阴极温度 > 阳极温度		

以上是直流电弧的热量和温度分布情况,而交流电弧由于电源的极性是周期性变化,所以两个电极区的温度趋于一致。

三、焊接电弧的静特性

电弧被引燃后,要使其稳定持久燃烧下去,需在两电极间保持一定数值的电压,即电弧电压。在一定弧长条件下,当电弧稳定燃烧时,电弧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静特性曲线，如图 1-2 所示。焊接电弧的电压和电流之间为非线性关系。电弧静特性曲线呈 U 形，它可分为三个区域：当电流较小时，随电流的增加电弧电压下降，电弧静特性属下降特性区；当电流增加到一定

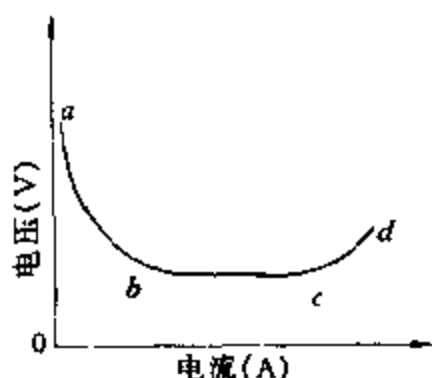


图 1-2 电弧的静特性曲线

值时，随电流增加，电弧电压基本不变，电弧静特性呈平特性；当电流更大时，电压随电流增加而增加，表现上升特性。为什么电弧静特性是非线性的变化规律呢？这是因为当电流较小时，发射电子的阴极斑点还未布满整个电极端面，若电流增加，在保证弧柱的电流密度基本不变的情况下，弧柱的断面将随电流的增加而增加。由于电流的大小与弧柱直径的平方成正比，弧柱表面积的大小与弧柱的直径成一次方关系。所以，对单位电流来讲，弧柱的散热面积减小了，弧柱散热面积的减小将引起弧柱内能的增加，弧柱温度升高，使电离度增加，改善了弧柱的导电性。当电流增加不大时，弧柱的电压下降。

当电流稍大时，电流增加引起弧柱导电性改善，而使弧柱电阻减小；与电流的增加在数值上几乎相平衡了，从而使电弧电压变化很小。

当电流较大时，阴极导电区受电极直径的限制，不可能无限增加，同时受电磁收缩力的作用，电弧断面将不能随电流增加而成比例地增加。另外随电流的增加，电弧的温度增加很少，则电离度的增加也很小，电弧的导电性不增加，所

以随电流的增加，电弧电压升高。

常见的电弧焊接方法，在一定条件下，电弧静特性各有区别。手工电弧焊的静特性无上升特性区，只有下降和平特性区；埋弧自动焊在正常电流密度下，静特性为平特性区，采用大电流焊接时，静特性为上升特性区；钨极氩弧焊在小电流焊接时，静特性为平特性区，而在大电流区间为平特性；细丝熔化极气体保护焊，由于电流密度较大，所以静特性曲线为上升特性区。

当电弧长度、周围气体的种类和压力不同时，都会影响电弧的静特性。一般情况下，电弧电压总是和电弧长度成正比地变化，电弧长度增加时，电弧电压升高，其静特性曲线的位置随之升高，见图 1-3；当使用导热系数较大的气体时，由于它对电弧的冷却作用加强，热损失增加，从而要求较大的能量与之平衡，在电流不变的情况下，电压必然要增加，所以使电弧电压升高；当气体的压力增加时，使气体的粒子密度增加，气体粒子从电弧中带走的总热量也增加，因此，气体压力增加，对电弧的冷却作用加强，将使电弧电压升高。

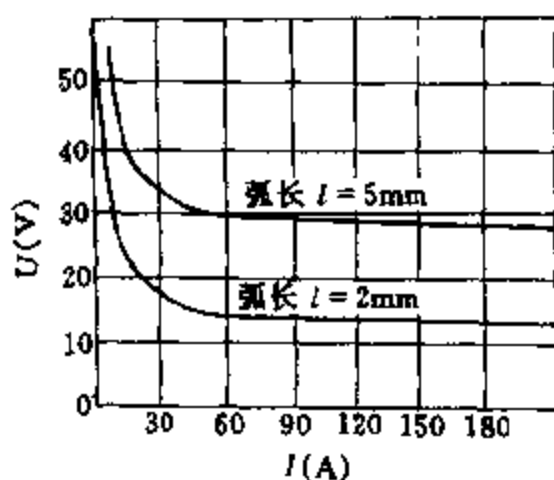


图 1-3 不同电弧长度的电弧静特性曲线

用及金属蒸气的存在,使焊条与焊件的间隙中气体温度增高,同时在电场作用下,这些高温气体产生电离,在焊条与焊件的气体间隙中充满带电粒子,因此具备了电弧燃烧条件。同时,被加热阴极上有电子飞出,撞击空气中的中性粒子,使气体发生碰撞电离,产生了正离子、负离子和电子。在电场作用下,带电粒子作定向运动,正离子移向阴极,负离子和电子移向阳极,并与两极发生碰撞,碰撞结果更加速了电子发射,最终电弧便引燃起来了。

焊接电弧引燃是否顺利,还与以下几个因素有关:焊接电流强度、电弧中电离物质、电源空载电压及其特性等。如果焊接电流大,电弧中存在易电离的物质,电源空载电压高,那么电弧引燃就比较容易,反之则困难。

接触引弧中又分爆裂引弧、慢送丝引弧及回抽引弧几种。爆裂引弧法常用于细丝熔化极半自动电弧焊中。该法是引弧时先接通焊接电源,然后送进焊丝,与工件发生短路,短路处因高电流密度的局部加热,使焊丝端部迅速熔化爆裂而引燃电弧。慢送丝引弧多用于粗丝熔化极气体保护焊中。这种方法在开始送丝时用比正常焊接低的送丝速度送进焊丝,接触短路引弧后,再提高送丝速度为所要求值。如果在慢送丝同时使行走小车也缓慢行走,则形成慢送丝划擦引弧,使引弧更加可靠。此法也适用于埋弧自动焊。另外埋弧自动焊中,多用回抽引弧法,引弧前使焊丝与工件相接触,引弧时接通焊接电流,在焊接回路短路状态下回抽焊丝引燃电弧,然后立即送丝使电弧稳定燃烧。

还有一种引弧方法主要用钨极氩弧焊,它不同于接触引弧,电极和工件不接触,而是利用高频及脉冲引弧。由于钨极氩弧焊采用钨棒作电极,如用接触法引弧,可能使接触

处产生夹钨缺陷，而且还会使钨极很快磨损。所以钨极氩弧焊都用非接触法引弧，在钨极和工件间加上一个高频高压或脉冲高压，使电极和工件的气体间隙被击穿，产生电火花放电，电火花可使间隙的气体电离，从而引燃电弧。

第三节 焊接电弧的稳定性

焊接过程中，由于各种原因会使电弧发生燃烧不稳定现象，如熄弧、飘移和磁偏吹等。电弧稳定燃烧是保证焊接质量和焊接过程正常进行的重要因素。因此维持电弧稳定燃烧非常重要。影响电弧不稳定燃烧的因素除焊工操作技术不熟练外，还与以下因素有关。

1. 焊接电源的影响。焊接电源特性符合电弧燃烧的要求，则电弧燃烧稳定。采用交流电源时，电流周期性变化，50 Hz 交流电每秒钟电弧熄灭和燃烧重复 100 次，而直流电源没有这种现象，因此直流电源比交流电源焊接电弧稳定。具有较高空载电压的焊接电源不仅引燃容易，而且电弧燃烧也稳定。因为空载电压高，电场作用强，电场作用下的电离及电场发射就强烈。此外供电网络电压太低也会导致焊接电源空载电压太低，也会使电弧稳定性下降，引弧困难。

2. 焊接电流的影响。焊接电流大，电弧温度就增高，电弧气氛中的电离程度和热发射作用就增强，电弧燃烧也就稳定。

3. 焊条药皮影响。焊条药皮中含有易电离的物质(如 K、Na、Ca 的氧化物)，电弧气氛中带电粒子多，提高了气体导电性，从而提高电弧燃烧的稳定性。如果药皮偏心、潮湿、变质、开裂等都使电弧燃烧不稳定。

4. 电弧长度影响。如果电弧太长，电弧就会发生剧烈摆动，从而破坏了焊接电弧的稳定性。

5. 其它因素影响。焊接区存在的油漆、油脂、水分和锈层等时，也会影响电弧燃烧的稳定性。此外环境风速、气流、电弧偏吹等均会造成电弧燃烧不稳定。

第四节 焊接电弧的偏吹

一、引起电弧偏吹的原因

在正常情况下电弧弧柱总是沿着焊条电极的轴线方向，随着焊条变换倾斜角度，电弧也跟着电极轴线方向改变。焊接电弧偏吹是指电弧燃烧时其弧柱轴线不和电极(或焊条)同一轴线而呈弯曲或偏离轴线的现象。

当弧柱周围受外作用力不均匀时就会造成电弧偏吹。引起电弧偏吹的原因有以下几方面：

1. 焊条药皮偏心。因焊条制造质量原因，焊条药皮在焊芯周围涂敷厚薄不均匀，焊接过程中，药皮较薄一侧很快熔化而使电弧外露，迫使电弧往外偏吹，见图 1-5。

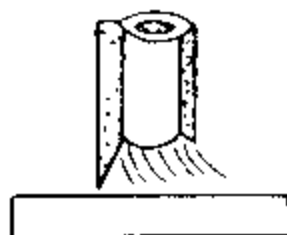


图 1-5 偏心焊条

2. 电弧周围气流的影响。电弧周围气体流动也会把电弧吹向一侧而造成偏吹。例如大气中风速影响；管道焊接时，管子中气流速度大引起偏吹。焊接过程中应检查周围气流来源、方向，并进行遮挡。

3. 磁偏吹。直流电弧焊时，由焊接回路所产生电磁力的作用而引起的电弧偏吹称为磁偏吹。这是因为直流电产生的

磁场在电弧周围分布不均匀而引起电弧偏吹。对于交流电源，一般不会产生明显的磁偏吹现象。

引起电弧磁偏吹的现象有：

(1) 由于接地线位置不正确，使电弧周围的磁场分布不均匀，从而造成电弧的偏吹。如图 1-6 所示，焊接电流沿回路产生的磁力线分布在电流通路四周，而在电流流经焊件通过电弧的拐弯处，在电弧两侧的磁力线分布就极

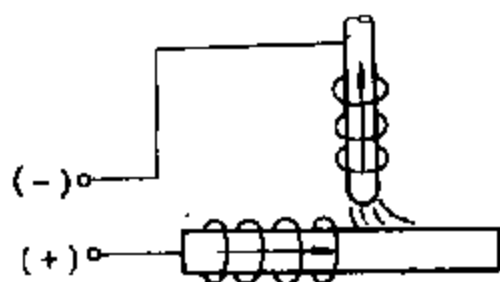


图 1-6 接地线位置不正确引起的电弧偏吹

不均匀，电弧左侧磁力线比右侧密集，使电弧向磁力线稀疏磁场较小的右侧偏吹。如果焊件接线点在右边，则电弧偏向左侧。电源极性的改变，只会改变磁力线的方向，但磁偏吹仍存在且方向不变。

(2) 铁磁物质引起的电弧偏吹。由于铁磁物质的导磁能力远远大于空气，因此，当焊接电弧周围有铁磁物质（如钢板）存在时，靠近铁磁体一侧的磁力线大部分通过铁磁体，使电弧同铁磁体之间的磁力线变得稀疏，而电弧另一侧磁力线显得密集，电弧自然向稀疏一侧偏。在 T 型接头角焊缝焊接时，电弧常常偏向一侧钢板。

焊接电弧磁偏吹与焊接电流有关，焊接电流越大，磁偏吹现象越严重。磁偏吹现象只发生在直流电源中，而交流电源磁偏吹现象很弱。

二、防止焊接电弧偏吹的方法

电弧偏吹给焊接工作带来很多困难，会引起气孔、未焊透、焊偏等缺陷产生，严重会使焊接工作无法进行。为减少偏吹对焊接操作的影响，通常采用以下几种方法：

1. 采用短弧焊接，尽量减少电弧偏吹，这种方法效果很好。

2. 操作时转动和改变焊条角度，使焊条偏吹方向转向熔池，这种方法应用较广泛。

3. 设法减少气流影响，对环境的大风可用挡板遮挡。管子焊接时，将管口堵住，防止气流对电弧影响。

4. 减少热对流影响，当焊接对口间隙较大的对接缝时，可在背面加垫板防止热对流影响，同时使电弧两侧的磁力线分布均匀来克服磁偏吹。

5. 适当选择焊件上接地线部位，使电流通道所产生磁场均匀分布，通常可采用接两根回路的方法，如图 1-7 所示。图中虚线是增加一路接地线，克服磁偏吹。

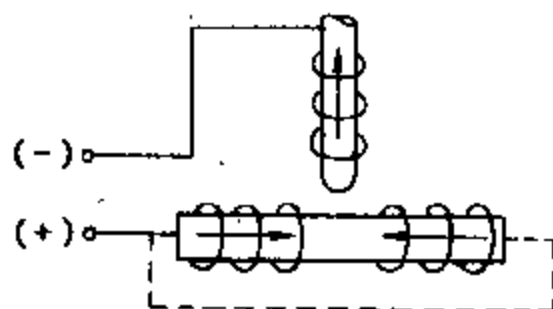


图 1-7 减少磁偏吹的接地线方法

第五节 电弧焊的熔滴过渡

电弧焊时，焊条（焊丝）端部在电弧作用下被强烈加热而熔化，熔化后的金属呈液态熔滴形式过渡到焊缝熔池中，这个过程称为熔滴过渡。

熔滴过渡的形式有滴状过渡、短路过渡和喷射过渡三种。这是由于作用于液体金属熔滴上的外力不同的缘故。了解熔滴过渡的形式和作用力，对焊接过程的稳定性、焊缝成型、飞溅及焊接接头的质量控制等有重要意义。

一、熔滴过渡的作用力

1. 熔滴重力。熔滴本身重力促使熔滴垂直下落脱离焊条（或焊丝）端部。平焊时，金属熔滴重力有利于熔滴过渡到熔池中。但在仰焊、立焊和横焊时，熔滴重力阻碍了熔滴顺利向熔池过渡，成为阻碍力。

2. 电磁压缩力。焊接时，焊条（或焊丝）端部的液体熔滴被看做是由许多载流导体组成，按电磁效应原理，熔滴上受到由四周向中心的径向电磁力，称为电磁压缩力。电磁压缩力促使焊条（或焊丝）端部液体金属横截面具有缩小倾向，促使熔滴很快形成。在熔滴细颈部分，电流密度很大，电磁压缩力随之增强，促使熔滴很快地脱离焊条（焊丝）端部向熔池过渡。显然，电磁压缩力对于任何空间位置的焊缝都有助于熔滴顺利过渡到熔池。

电磁压缩力大小与焊接时电流大小成正比。焊接时，一般焊条或焊丝上电流密度比较大，电磁力是熔滴过渡的一个主要作用力。

3. 电场纵向力。由于焊接时通过焊条（或焊丝）电流密度大于焊件的电流密度，因此焊条（焊丝）上产生的磁场强度要大于焊件上产生的磁场强度，因此产生了一个纵向的电场力。电场的纵向力总是从高电场强度指向低电场，所以无论哪种焊缝位置，始终是有利于熔滴向熔池过渡的。

4. 电弧气体吹力。焊条末端在电弧作用下，焊条药皮熔

化稍微落后于焊芯的熔化，致使焊条末端形成一个“喇叭”形套筒，如图 1-8 所示，药皮熔化时造气剂分解出的气体及焊芯碳元素氧化产生的 CO 气体，因高温加热而急剧膨胀在套筒内形成一股气流冲出，把熔滴吹到熔池中。不论何种焊缝位置，这种气流都有利于熔滴金属的过渡。

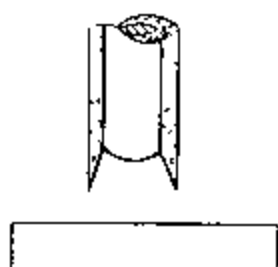


图 1-8 焊条末端套筒

5. 极点压力。由于电弧中电场作用，电弧中带电粒子撞击在两极的斑点上，便产生机械压力，这个力称为极点压力。直流正接时，电场正离子撞击在焊条（焊丝）端部，阻碍熔滴过渡。而反接时，阻碍熔滴过渡的是电子的压力。由于正离子比电子质量大，正离子产生的压力要比负粒子大。反接时容易产生细颗粒过渡，而正接时则不容易。

6. 表面张力。液态金属像其它液体一样，在没有外力作用时，其表面积会尽量缩小而呈现出现象叫表面张力。焊接时液态金属在表面张力作用下会成为球滴状，悬挂在焊条末端，一直维持到与熔池表面接触，当熔滴落入熔池后，表面张力促使液态金属熔滴连成一体。表面张力对平焊时熔滴过渡不利。而在仰焊等其它位置焊接时，表面张力可以克服重力影响而使熔滴和熔池中液态金属不易滴落，同时当熔滴与熔池接触时将熔滴拉入熔池，这都有利于熔滴过渡。

二、熔滴过渡的主要形式及其特点

焊接过程中，焊条（焊丝）端部因受电弧加热，熔化成熔滴过渡到焊件上。按熔滴的过渡形式不同可分为短路过渡、滴状过渡和射流过渡三种。熔滴过渡形式影响着电弧的稳定，

而且对焊缝成型和冶金过程有很大影响。

1. 短路过渡。当用较小的焊接电流、较低的电弧电压焊接时，由于电弧很短，焊条（焊丝）连续向熔池送进，所以熔滴长大到一定程度时，就与熔池接触，形成短路，这时短路电流产生较大的电磁收缩力及熔池表面张力，使熔滴迅速过渡到熔池，电弧重新点燃。如此不断重复这一过程，就形成稳定的短路过渡过程。短路过渡的特点是电弧稳定，飞溅较小。在 CO_2 气体保护焊的薄板焊接和全位置焊接中经常采用短路过渡形式。

在短路过渡焊接过程中，短路电流上升速度及短路电流峰值的大小，对焊接过程稳定性有很大影响，因而对焊接电源不仅要求有合适的静特性，而且要求有合适的动特性。

2. 滴状过渡。当采用较大的焊接电流和较高的电弧电压焊接时，熔滴以比焊丝直径大的颗粒状过渡，这时熔滴的尺寸取决于表面张力和熔滴重力的大小。这种过渡形式主要借助于熔滴自身重力落入熔池，不发生短路。

滴状过渡可分为粗滴和细滴过渡两种。粗滴过渡一般呈大颗粒状过渡，飞溅大，电弧不稳定，焊缝表面粗糙，生产中不宜采用。细滴过渡一般采用较大的焊接电流，作用在熔滴上的电磁收缩力增加，这时重力不再起决定作用，熔滴尺寸逐渐变小，过渡频率增高，飞溅减小，电弧稳定，焊缝成型好。在大电流 CO_2 气体保护焊中常采用细滴过渡。

3. 喷射过渡。熔滴呈细小颗粒并以喷射状态快速通过电弧空间向熔池过渡的形式称为喷射过渡。在熔化极氩弧焊中，当采用较小电流焊接时，熔滴底部产生电弧，电磁收缩力较小，熔滴在重力作用下呈大颗粒过渡。随着电流增加，电磁收缩力增大，使熔滴与焊丝间形成细颈，该处电流密度很高，

电弧呈圆锥状，熔滴以细小的颗粒状过渡到熔池，形成射流过渡。

喷射过渡特点是熔滴小，过渡频率高，电弧稳定，飞溅小，熔深大，焊缝成型美观，生产效率高等。

第二章 焊接冶金和接头性能

第一节 焊接接头及其特点

在安装焊接中，熔焊焊接方法应用较多。焊接接头是高温热源对基体金属进行局部加热同时与熔融的填充金属熔化凝固而形成的不均匀体。根据各部分的组织与性能的不同，焊接接头可分为三部分。如图 2-1 所示。

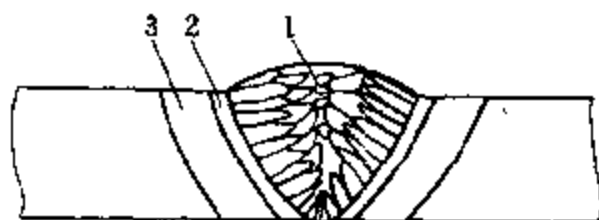


图 2-1 焊接接头组成示意图

1—焊缝金属；2—熔合区；3—热影响区

在焊接发生熔化凝固的区域称为焊缝，它由熔化的母材和填充金属组成。而焊接时基体金属受热的影响（但未熔化）而发生金相组织和力学性能变化的区域称为热影响区。熔合区是焊接接头中焊缝金属与热影响区的交界处，熔合区一般很窄，宽度为 0.1~0.4 mm。

由于焊接过程中焊接接头的上述三个区域距焊接热源的距离不同，其温度分布也不相同，所以它们的化学成分、组织和性能存在着较大差异。焊缝金属在加热熔化状态下，发生了复杂的化学冶金反应，最后凝固结晶，因此焊缝金属基

本上是一种铸造组织，化学成分与基体金属不同。热影响区受焊接热循环的影响，化学成分虽不变化，而组织和性能发生了变化。而熔合区的组织和性能变化更大。

因此，焊接接头具有组织和性能极不均匀的特点。这主要与母材的化学成分、焊接材料、接头型式、焊接方法和工艺、焊后热处理等因素有关。另外，焊接接头还容易产生各种缺陷，存在残余应力和应力集中等，这些都对焊接接头性能有很大影响。

第二节 焊接热循环

焊接过程中，在焊接热源作用下，焊件上某点温度随时间变化的过程称为焊接热循环。热循环描述了热源对基体金属的热作用，焊缝两侧基体金属随着与焊缝距离的不同，所经历的加热最高温度和冷却速度是不同的。因此焊接是一个不均匀的加热和冷却过程，焊接热循环对焊接接头的性能、应力和变形有很大影响。

一、焊接热循环的曲线

焊接热循环可用时间-温度曲线来描述，图 2-2 是热影响区靠近焊缝的某个点的热循环曲线。描述焊接热循环曲线的主要参数有加热速度、最高加热温度 T_m 、在高温加热停留时间 t_0 、冷却速度等。焊接热循环

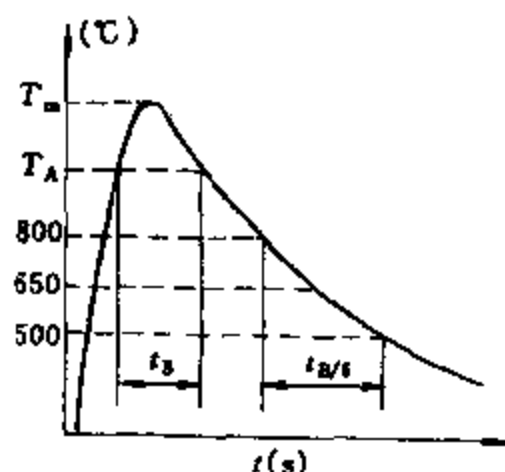


图 2-2 焊接热循环

的主要特点是加热和冷却速度快。

焊缝和热影响区的组织和性能，不仅与热循环中的最高温度和高温停留时间有关，而且与焊后冷却速度的快慢有直接关系，高温停留时间越长，过热区越宽，晶粒粗化越严重，金属的塑性和韧性就越差。当冷却速度过快，有淬硬倾向的钢材容易产生淬硬组织，引起焊接裂纹。

二、影响焊接热循环的因素

影响焊接热循环的主要因素有：线能量、预热和层间温度、板厚、接头型式以及材料本身的导热性能等。

1. 焊接线能量。电弧焊时由焊接热源输入给单位长度焊缝上的热量称为线能量，它与焊接电流、电弧电压和焊接速度有关，以下式表示：

$$q = \frac{IU}{v}$$

式中 I ——焊接电流 (A)；

U ——电弧电压 (V)；

v ——焊接速度 (mm/s)；

q ——线能量 (J/mm)。

从上式可知，如果电流、电压增大，线能量增大；焊接速度增大，线能量减小。线能量对焊接热循环有很大影响，线能量增加，焊接热影响区宽度增加，加热到1 100℃以上高温停留时间增长，冷却速度减慢，直接影响了焊接接头的组织和性能。对于强度级别较高的低合金高强钢、低温钢、不锈钢及复杂结构应严格控制线能量在允许范围内。经验表明，碳当量大于0.4%的低合金钢，焊接线能量就应加以控制。

2. 预热和层间温度。对有淬硬倾向的钢材，焊前预热的目的是为了降低焊缝和热影响区的冷却速度，减小淬硬倾向，防止冷裂纹，同时预热还可以改善接头的塑性，减小焊接残余应力。同样线能量的焊接，预热可显著降低冷却速度，但预热和不预热的高温停留时间基本一样，因此预热对热循环的影响十分有利，在焊接有淬硬倾向的钢材时，降低冷却速度的主要措施是焊前预热。

对于要求预热焊接的钢材，一般层间温度应略高于预热温度，控制层间温度也是为了降低冷却速度，防止冷裂纹产生，同时为了防止晶粒长大，性能恶化，应控制层间温度不宜过高。

3. 其它因素的影响。板厚增大时，冷却速度增大，高温停留时间减少。同一种材料，薄板焊接可不预热，但厚板时就需预热。

不同接头型式影响也不一样，角焊缝比对接焊缝冷却速度大，当板厚均为 12 mm 时，角焊缝冷却速度是对接焊缝的 3~4 倍。

材料导热性能好，冷却速度就大，导热性能差，冷却速度就小。

第三节 焊接冶金基础

熔焊时，在熔化金属、熔渣、气相之间进行一系列化学冶金反应，如金属的氧化、还原脱硫等，这些冶金反应将直接影响焊缝金属的化学成分、组织和性能。焊接化学冶金是在焊接过程中通过冶金处理的方法，消除焊缝金属中的有害杂质，增加有益的冶金元素，从而保证焊缝金属的各种性能。

一、焊接化学冶金过程的特点

1. 温度高，温度梯度大。焊接电弧温度一般可达6 000~8 000℃，使金属强烈蒸发，电弧周围的气体大量分解，分解后的气体原子或离子很容易溶解在液态金属中，熔池金属凝固结晶时来不及析出，就产生气孔。

熔池平均温度在2 000℃以上，而周围的母材金属是固态，两者温差相当大，因此加热不均匀使焊件产生内应力和变形。

2. 熔池体积小，凝固快。焊接熔池体积极小，加热和冷却速度很快，由局部金属熔化形成熔池，到结晶完了的全部过程一般只有几秒钟的时间，因此整个冶金反应常常达不到平衡，化学成分有很大不均匀性，易引起偏析等缺陷。

3. 熔池金属不断更新，反应接触面大，搅拌激烈。焊接时，由于不断有新的铁水及熔渣加入到熔池中参加反应，增加了冶金的复杂性。由于熔化金属以滴状过渡到熔池中，体积小，熔滴与气体及熔渣接触面大，加速了反应进行，同时熔池的激烈搅拌也有助于反应速度，利于熔池中气体逸出。

二、焊接冶金反应区

在焊接化学冶金过程中，还发生着复杂的物理反应，即不同物质作用相之间的扩散、迁移、搅拌等。手工电弧焊时，参与冶金反应的有熔化金属、熔渣和电弧气体；气焊和气体保护焊时，有气相和熔化金属相；电渣焊时有熔化金属和熔渣。

焊接冶金反应可分为几个区，如手工电弧焊分为药皮、熔滴和熔池3个反应区，而埋弧焊和气体保护焊焊接方法无药

皮反应区。

1. 药皮反应区。焊接时焊条药皮加热将发生以下反应：药皮所含结晶水化合水蒸发；有机物（造气剂）分解出大量气体如 CO 、 H_2O 、 H_2 等。分解出的气体对熔化金属起保护作用，但也会对金属和药皮中的铁合金产生氧化作用。

2. 熔滴反应区。从熔滴形成到过渡于熔池前的区域为熔滴反应区，由于熔滴与气体、熔渣的接触面大，熔渣与熔滴间反应激烈充分。主要反应有：金属蒸发、气体的分解和熔解、金属氧化与还原及合金化等。

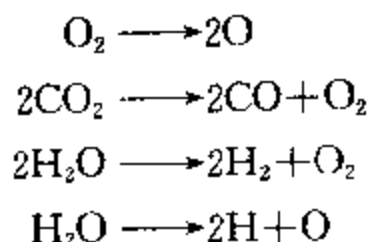
3. 熔池反应区。熔池反应区的反应与熔滴反应区基本相同，两者不同的是熔池平均温度低（约 2000°C ），反应时间较长（几秒到几十秒）。熔池中温度分布不均，前半部发生金属熔化和气体吸收，后半部发生金属凝固和气体析出。

三、气体与焊缝金属的作用

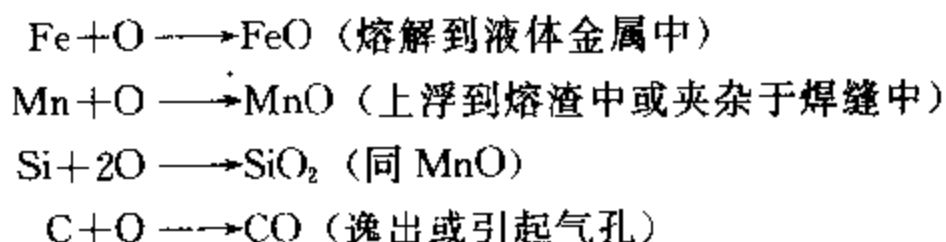
在焊接过程中，焊接区充满大量的气体，这些气体主要来自以下几个方面：（1）焊条药皮或焊剂中造气剂产生的气体；（2）周围的空气；（3）焊条药皮或焊剂由于未烘干在高温下分解成的气体；（4）焊丝或母材表面未清理干净的铁锈、水分、油、漆等，在电弧热作用下分解出的气体。这些气体不断地与熔池金属发生作用，有些还进入到焊缝金属中去，电弧区内气体主要有 CO 、 CO_2 、 H_2 、 O_2 、 N_2 、 H_2O 以及少量金属和熔渣的蒸气。其中 O_2 、 N_2 、 H_2 对焊缝质量影响最大。

1. 氧对焊缝金属的作用。焊接区的氧气主要来自电弧中氧化性气体如 CO_2 、 O_2 、 H_2O 等，药皮中的高价氧化物和焊件表面的铁锈、水分等分解产物。在高温下， O_2 、 CO_2 和 H_2O 将

分解出自由氧，其反应式为：



这些分解产物是原子状态下的氧，其活泼性高，将使铁和其它合金氧化，同时使焊缝增氧。其反应式为：



氧化的结果，使焊缝中的有益元素如 Si、Mn 大量烧损，氧化产物上浮到熔渣中去，有时也以夹杂形式存在于焊缝中。随着含氧量增加，焊缝金属的强度、塑性和冲击韧性降低，尤其冲击韧性降低更为明显。

熔池中氧与碳、氢反应，生成不溶于金属的气体 CO 和 H₂O，熔池结晶时来不及逸出就会形成气孔。

此外，氧还使焊缝金属的抗腐蚀性能、导电、导磁性能降低。

由于氧的危害较大，焊接时应控制氧的含量。首先减少或杜绝氧的来源途径，如控制焊接材料中的氧，焊前认真清除铁锈、水分、油脂等。其次从焊接工艺参数上控制，如电弧越长，熔滴易受空气中氧的侵害，尽量选用短弧焊接。此外可采取一系列的冶金措施脱氧。

2. 氮对焊缝金属的作用。焊接区中氮主要来自空气。氮能熔入液态金属中，氮在铁中溶解度随温度升高而增大，随着温度降低，其溶解度降低。当熔池液态金属凝固时，过饱

和的氮以气泡形式向外逸出，来不及逸出的就形成气孔。而剩余的氮与铁形成化合物，以针状复杂形式存在于焊缝中。氮的含量较高时，使焊缝金属强度、硬度升高，塑性、韧性降低。

由于氮的危害作用，焊接时须加强焊接区保护，防止大气中氮气侵入。电弧越长，氮易侵入熔池，熔池保护差，氮侵入也越多。电弧焊时只要采用正确操作方法，一般可有效防止氮的侵入。

3. 氢对焊缝金属的作用。焊接区的氢主要来自受潮的药皮或焊剂中水分，焊条药皮中的有机物，焊丝或焊件表面的铁锈、油脂、油漆等。

在高温下电弧中的水分分解为氢气和氧气，而氢分子又分解为原子氢。氢不和金属化合，但能溶解于铁（Fe）、镍（Ni）、铜（Cu）、铬（Cr）、钼（Mo）等金属中；随着温度升高，溶解度增加。

液态金属吸收大量的氢，当熔池快速结晶时，一部分氢逸出，大量过饱和的氢来不及逸出而形成气孔。而溶解于金属晶格中的原子氢会逐渐扩散聚集到显微空腔或缺陷内结合成分子氢并产生很高的压力，引起钢的塑性下降，产生氢脆现象。由于氢的聚集所产生的内应力还会引起显微裂纹、白点等，严重时引起冷裂纹。

由于氢的危害特别大，焊接时应严格控制氢含量，其措施有：

（1）选用低氢焊条或焊剂。

（2）焊接材料如焊条、焊剂、气体保护焊用的气体，焊接前应严格烘干或做干燥处理。

（3）认真清理焊丝和焊件坡口表面的铁锈、油脂、水

分等。

(4) 控制环境湿度，在雨、雾、雪天不宜露天焊接。

(5) 选择合理焊接工艺参数。手工电弧焊直流反接可降低焊缝氢含量。

(6) 焊后脱氢处理。焊后立即将工件加热至 $200 \sim 400^{\circ}\text{C}$ ，保温 2 h 以上，可将焊缝中溶解氢大量消除掉。

四、熔渣与焊缝金属的作用

焊接时熔渣与液态金属发生一系列物理化学反应，将焊缝中的有害杂质如氧、硫、磷等去除掉，同时可向焊缝过渡合金元素，调整焊缝化学成分和性能。

1. 焊缝的脱氧。由于氧使焊缝金属的强度、塑性、韧性及抗腐蚀性能均下降，而且引起气孔及冷、热脆性倾向增大，因此在熔池金属结晶前应进行脱氧，使焊缝金属中氧化夹杂物减少到最低程度。

在焊丝、药皮或焊剂中加入脱氧剂，通过其本身的氧化以替代被焊金属及合金元素不被氧化。在焊铁基合金时，常用锰铁、硅铁、钛铁、铝粉作脱氧剂。脱氧方式可分为先期脱氧、沉淀脱氧和扩散脱氧。

(1) 先期脱氧。在药皮加热阶段，脱氧剂与氧结合成氧化物进入熔渣中从而脱氧。

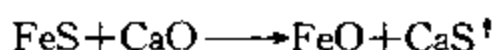
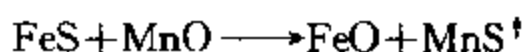
(2) 沉淀脱氧。在熔池中溶解的脱氧剂直接与 FeO 发生还原反应，脱氧产物上浮到熔渣里。

(3) 扩散脱氧。由于 FeO 既可溶解于液态金属中，也能溶解于熔渣中，当熔池中 FeO 不断扩散到熔渣中，使熔池金属含氧量降低，这种方法称为扩散脱氧。

2. 焊缝金属的脱硫。硫是钢中有害杂质之一，常以 FeS

形式存在。FeS可无限地溶解于液态铁中，而固态时溶解度很小。因此熔池结晶时FeS即析出，以低熔点共晶物析集于晶界上呈液态薄膜，因而在焊缝冷却时所造成的内应力作用下容易引起晶界开裂。

减少焊缝含硫量，首先是限制焊接材料中的含硫量，选用含硫低的焊接材料。其次是采用冶金方法脱硫，常使用脱硫剂Mn及碱性氧化物MnO、CaO脱硫。生成的MnS、CaS不溶于金属而进入溶渣中。其反应式为：



3. 焊缝金属脱磷。磷以铁的磷化物(Fe₂P、Fe₃P)形式存在于钢中，它能与铁形成低熔点共晶，聚集于晶界，易引起热裂。另外，这些低熔点共晶削弱了晶粒间结合力，使钢在常温或低温时变脆(即冷脆性)造成冷裂。因此磷在钢中是有害杂质。

为减少焊缝的含磷量，主要是控制母材和焊接材料中的含磷量，对于低碳钢和低合金钢含磷量限制在0.045%以下，合金钢应小于0.035%。

通过冶金方式脱磷比较困难，目前还没有理想的方法。

4. 焊缝金属的渗合金。焊接时由于熔池金属中的合金元素氧化蒸发，降低了焊缝金属的合金成分和机械性能。为了弥补烧损的合金元素，改善焊缝金属的组织 and 性能，通过焊接材料向焊缝金属添加一些合金元素，这种方法称为焊缝金属的渗合金。

渗合金主要通过合金焊丝、药芯焊丝、焊条药皮、焊剂来进行。焊条药皮常用的合金剂有：锰铁、钛铁、铬铁、钼铁等。

第四节 焊缝的组织性能

焊接过程中，当焊接热源离开熔池以后，熔池液态金属便开始冷却凝固形成焊缝。熔池金属从液态向固态的转变过程称为焊接熔池一次结晶。熔池凝固后，焊缝金属从高温冷却到室温还会发生固态的转变，产生不同的组织。焊缝金属在固态时发生的相变过程称为焊缝金属的二次结晶。焊缝金属的组织除与化学成分有关外，还取决于这两次结晶产生的组织。焊缝金属的性能与焊缝的组织有着密切的联系。

一、焊缝金属的一次结晶

1. 焊缝金属一次结晶的组织特征。焊缝金属一次结晶过程与一般金属结晶的规律一样，也是生核和长大两个基本过程。结晶时首先在熔池边缘熔合区母材晶粒上，沿着与散热相反的方向以柱状形态向熔池中心生长，直到相互阻碍时停止，即焊缝金属晶粒总是和熔合区附近的晶粒相互连接长大，如图 2-3 所示。

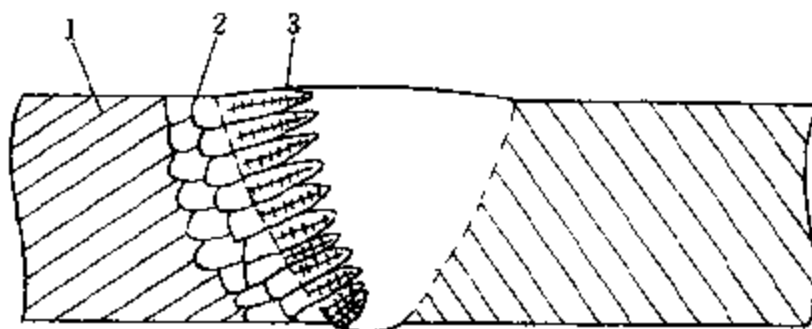


图 2-3 焊缝金属柱状晶组织状态

1—母材；2—熔合区；3—焊缝金属

这种柱状形态的晶体称为柱状晶。但有时焊缝中心也会出现等轴晶，出现等轴晶是由于液相中温度梯度很小（温差变化小），这时不仅在熔合区生核长大，同时在液相内部生核，向四个方向长大形成等轴树枝状晶粒。

2. 焊缝中的偏析。由于焊缝金属的结晶冷却速度很快，已凝固的焊缝金属化学成分来不及扩散趋于一致，因结晶先后形成而产生了成分不均匀性，即所谓偏析。偏析对焊缝的质量影响很大，它不仅由于化学成分不均匀而导致性能改变，同时也是产生裂纹、气孔、夹杂物等焊接缺陷的主要原因之一。

焊缝中的偏析，主要有显微偏析、区域偏析和层状偏析。

(1) 显微偏析。熔池结晶时，最先结晶的结晶中心金属最纯，而后结晶的部分含合金元素和杂质略高，最后结晶部分，即晶粒的外缘和前端含合金元素和杂质最高。因此，在一个晶粒内部或晶粒之间的化学成分是不均匀的，这种现象称为显微偏析。

影响显微偏析的主要因素是金属化学成分。因金属的化学成分决定金属结晶区间的大小，结晶区间越大，越容易产生显微偏析。低碳钢因其结晶区间不大，所以显微偏析现象不严重。高碳钢、合金钢由于合金元素较多，结晶区间增大，所以焊接时产生较严重的显微偏析，严重时甚至引起热裂纹等缺陷，所以焊后常需进行扩散及细化晶粒的热处理，以消除显微偏析现象。

(2) 区域偏析。熔池结晶时，由于柱状晶的不断长大和推移，会把杂质排向熔池中心，这样熔池中心的杂质含量比其它部位高，这种现象称为区域偏析。

焊缝的断面形状对区域偏析有很大影响，焊缝形状系数

小（即窄而深的焊缝），各柱状晶在焊缝中心相交，因此有较多的低熔点共晶物和杂质聚集在焊缝的中心，形成一个脆弱面，极易在焊缝中心产生热裂纹。焊缝形状系数大（即宽而浅的焊缝），低熔点共晶物和杂质聚集在焊缝上面，这种焊缝具有较高抗热裂纹能力。如图 2-4 所示。

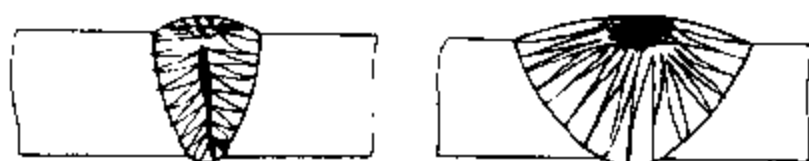


图 2-4 焊缝断面形状对偏析分布的影响

(3) 层状偏析。焊接熔池始终是处于气流和熔滴金属的脉动作用下，所以无论是金属的流动或者热量供应和传递都具有脉动的性质。这就可能使晶体的成长速度出现周期性地增加和减少，就会出现结晶前沿液体金属中杂质浓度的波动，所形成的周期性的偏析现象称为层状偏析。

层状偏析常集中了一些有害杂质，因而缺陷往往出现在偏析层中。焊接时由于断弧点的熔池搅拌不够强烈，常在弧坑处聚集较多的杂质，因此在焊缝收尾处有时会出现裂纹，这种火口裂纹多半是由于火口偏析所引起的。

二、焊缝金属的二次结晶

焊缝金属一次结晶后的金相组织基本都是奥氏体，随着温度降低，奥氏体转变为哪一种组织，与焊缝的化学成分、冷却速度和焊后热处理规范有关。因此不同钢材在不同焊接工艺条件下，所得到的焊缝组织是不同的。

低碳钢二次结晶组织为粗大柱状铁素体和少量珠光体。

冷却速度越快，珠光体含量越高，铁素体越少；冷却速度越慢，高温停留时间过长（如气焊、电渣焊），铁素体可呈粗大魏氏体组织。多层多道焊，后一层焊缝对前一层焊道具有热处理作用，部分柱状晶可以转化为细小的等轴晶，其组织为细小的铁素体和少量的珠光体。

对于低合金高强钢焊缝，当合金元素含量较小时，其二次结晶组织与低碳钢焊缝组织相似，一般冷却速度条件下为铁素体加少量的珠光体，当冷却速度过大时，会产生粒状贝氏体；当合金元素含量较高时，淬硬性较高的低合金高强钢，其二次结晶组织为贝氏体或低碳马氏体，高温回火后为回火索氏体。

对于铬-钼耐热钢，当合金元素含量较小（ $Cr < 5\%$ ），在焊前预热、焊后缓冷的条件下，二次结晶组织为珠光体和部分淬硬组织，高温回火后得到完全珠光体组织；当合金元素含量较多（ $Cr > 5\%$ ）的耐热钢，当焊接材料化学成分与母材相近时，在焊前预热、焊后缓冷的条件下，二次结晶组织为贝氏体，高温回火后为回火索氏体。当采用奥氏体钢焊接材料时，焊缝组织主要为奥氏体。

对于奥氏体不锈钢二次结晶焊缝组织为奥氏体加少量铁素体；对于铁素型不锈钢，当焊接材料与母材化学成分相近时，焊缝组织为铁素体，当采用铬镍奥氏体焊接材料时焊缝组织为奥氏体；对于马氏体型不锈钢，当焊接材料化学成分与母材相近时，焊缝组织为马氏体；回火后为回火马氏体；当采用铬镍奥氏体焊接材料时为奥氏体。

三、焊缝金属组织和性能关系

1. 一次结晶的组织与性能关系。焊缝一次结晶组织基本

是奥氏体,但不同的工艺条件下得到晶体状态是不一样的。细的柱状晶比粗大的柱状晶好,胞状晶比树枝晶好。粗晶使金属的强度、塑性和韧性都降低,热裂纹敏感性大。由于存在偏析,化学成分极不均匀,使焊缝金属的抗腐蚀性能、机械性能和抗裂性能不同程度降低,易产生热裂纹、气孔、夹杂物等缺陷。

2. 二次结晶的组织与性能关系。二次结晶组织的类型、特征和形态直接决定了焊缝金属的性能。

(1) 强度方面。马氏体的强度最高,铁素体和奥氏体较低。贝氏体比马氏体强度小,而比铁素体加珠光体组织强度大。

(2) 塑性和韧性方面。奥氏体的塑性和韧性最好。铁素体加珠光体组织次之。粒状贝氏体具有较低的强度和较好的韧性。高碳马氏体硬而脆,几乎无韧性,低碳马氏体具有一定的强度和较好的塑性和韧性。

(3) 晶粒度方面。晶粒越细,组织性能越好,晶粒粗大,组织性能变差。

第五节 焊接热影响区的组织和性能

焊接热影响区是指在焊接过程中,母材因受热的影响(但未熔化)而发生金相组织和机械性能变化的区域。在焊接热源的作用下,焊缝两侧金属将发生组织性能的变化,这是因为热影响区金属相当经受了一次热处理过程。热处理后的组织和性能与基体金属的化学成分及焊接热循环的特征有关,不同的钢材在不同的热循环作用下其组织性能差异较大。

下。铁素体和珠光体组织转变成奥氏体后晶粒严重长大，冷却后成为晶粒粗大的过热组织。过热区塑性很差，冲击韧性比基体金属低 25%~30%，是焊接接头中最危险区域，其性能最差。

3. 正火区。加热温度在 A_{c3} 以上至 $1\ 100^{\circ}\text{C}$ 之间。这时金属发生重结晶，铁素体和珠光体全部转变为奥氏体，然后在空气中冷却，得到晶粒均匀而细小的铁素体和珠光体组织，相当于正火热处理，又称细晶区或完全重结晶区。该区性能最好。

4. 不完全重结晶区。该区金属加热到 A_{c1} 至 A_{c3} 温度之间，珠光体转变为奥氏体，铁素体部分溶入奥氏体。在加热过程中，随着温度升高，奥氏体转变量随着增多，未溶入奥氏体的铁素体随之减少；在冷却过程中，奥氏体转变为细小的珠光体加铁素体，而未被溶入奥氏体的铁素体不发生转变。该区重结晶是不完全的，组织和晶粒大小都不均匀，接头性能有所下降。

以上四个区是焊接热影响区的主要特征，除此之外，如母材事先经过冷加工变形或由于焊接应力而造成变形，在加热 A_{c1} 以下区域，破碎的晶粒发生再结晶，则出现再结晶区，但金相组织无变化，仅塑性稍有改善。

焊接热影响区的宽度取决于焊接方法、板厚、线能量、接头型式等，不同的焊接工艺条件，热影响区的宽度是不同的。在正常规范下，以不同焊接方法焊接低碳钢时，热影响区的尺寸：钨极氩弧焊约为 1.5 mm，埋弧焊为 2.5~4 mm，手工电弧焊为 6~8.5 mm，电渣焊为 25~30 mm，气焊约为 27 mm。

二、易淬火钢热影响区组织

如图 2-6 所示,中碳钢、低碳和中碳调质钢等淬硬倾向较大的钢种,其焊接接头热影响区可分为三个区。

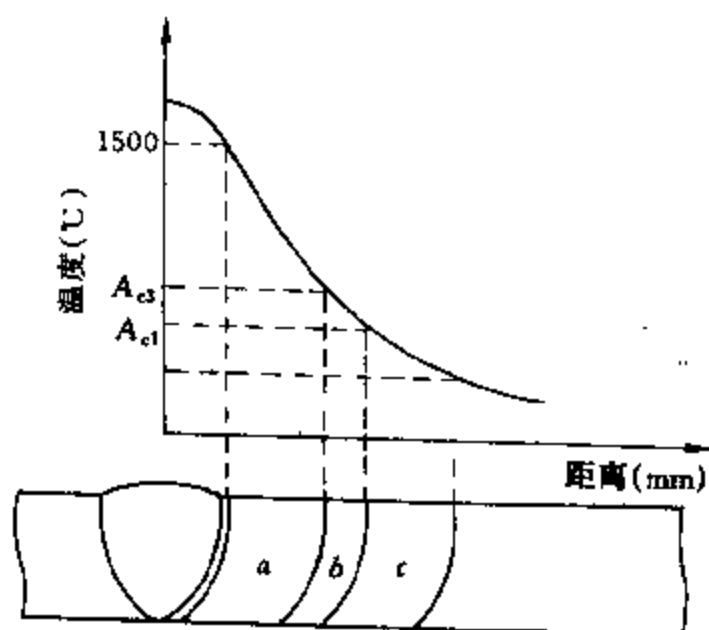


图 2-6 焊接热影响区分布

a—完全淬火区; b—不完全淬火区; c—回火区

1. 完全淬火区。加热温度超过 A_{c3} 以上的区域,由于淬硬倾向较大,焊后冷却得到淬火组织(马氏体)。在熔合线附近,晶粒严重长大,为粗大的马氏体组织,而在相当于正火区的部分得到细小的马氏体组织,在冷却速度较慢或含碳量较低,并采用小线能量焊接时也会出现贝氏体,从而形成与马氏体共存的混合组织。

2. 不完全淬火区。加热温度在 $A_{c1} \sim A_{c3}$ 之间的区域。这个区域内的铁素体不发生变化,只是不同程度的长大。珠光体、贝氏体等转变为奥氏体,在焊后快速冷却中转变为马氏

体。最后形成铁素体和马氏体的共存组织。如果碳和合金元素的含量低，冷却速度慢，也可能出现珠光体组织。

3. 回火区。对焊前为调质状态的母材，还可能发生不同程度的回火处理，称为回火区。

从上述三个区域的组织来看，易淬火钢热影响区出现的淬硬组织，对焊接质量是不利的。因此在焊接时必须采取预热和热处理的工艺措施，调节焊接时的热循环，消除淬硬组织，改善接头性能。

三、不锈钢接头热影响区组织

对于奥氏体不锈钢，热影响区可划分为：过热区、 σ 相脆化区和敏化区三部分。对于铁素体不锈钢，热影响区可划分为：过热区、 σ 相脆化区和475℃脆性区三部分。

1. 过热区。该区加热温度为1100~1500℃之间。不锈钢在加热和冷却过程中不发生相变，组织一直为奥氏体或铁素体。由于加热温度很高，晶粒长大严重。温度越高，高温时间越长，晶粒越粗大，导致金属的塑性和韧性下降。

2. σ 相脆化区。这个区加热温度在650~850℃之间。在这一温度区间如停留时间长，铁素体不锈钢就析出一种脆性相—— σ 相，一些奥氏体不锈钢在一定的条件下也可能析出 σ 相。 σ 相析出，削弱了晶间结合力， σ 相硬而脆，使金属塑性和韧性下降很厉害，也使抗腐蚀能力下降。

3. 敏化区。敏化区的加热温度为450~850℃之间。金属在该温度区间停留一定的时间后，奥氏体不锈钢中的碳和铬在晶粒边界化合，析出碳化铬(Cr_{23}C_6)，使晶界处奥氏体贫铬，当晶界附近金属含铬量低于12%时就失去了抗腐蚀能力。

4. 475℃脆性区。该区加热温度在400~600℃之间。在该温度区间停留一定时间,铁素体不锈钢的硬度显著提高,冲击韧性显著下降。这种现象称为475℃脆性。

综上所述, σ 相脆性区、敏化区和475℃脆性区是在一定焊接热循环条件下才出现的,只要焊接规范合理适当就可避免,尤其是控制敏感温度区间的停留时间,越短越好。实际生产中,常常采用小规范、单道焊、快速焊等工艺措施。

第六节 影响焊接接头性能的因素及其控制

影响焊接接头性能的主要因素有焊接材料、焊接工艺参数、操作方法、焊接方法、接头型式和焊后热处理等。

一、焊接材料的影响

焊接材料的选用应以保证焊缝金属的化学成分和性能与基体金属相近为前提。而大多数情况下,常常通过调节焊缝的化学成分以改善和提高焊缝的性能,这就要求焊缝金属化学成分与基体金属化学成分有区别。

焊接材料还要根据结构和接头的刚性、材料的焊接特点、接头性能要求等因素来选用。一经确定的焊材不允许随意代用,否则会造成重大的焊接质量事故。

实际生产中选用焊材主要从以下几方面考虑:

1. 对于低碳钢、低合金高强钢、低温钢一般不要求化学成分,而要保证性能要求。为提高焊缝抗裂性能应降低碳、硫、磷等杂质元素含量,此外通过焊材向焊缝加入钒、钛、镍、铝等细化晶粒合金,可保证强度和塑性,提高抗裂性。

2. 对于耐热钢、不锈钢的焊接，为保证焊接接头具有高温性能和抗腐蚀性能，焊接材料的化学成分应与基体金属大致相同。

3. 强度相近原则。对于结构件焊接接头，焊材选用一般按等强原则；有时为提高接头强度，消除接头的工艺缺陷影响，选用的焊接材料抗拉强度略高于基体金属，又称为高强原则；对有些拘束度大的结构，或有再热裂纹倾向的钢材，为提高焊接接头消除应力的蠕变塑性，焊接材料的抗拉强度以稍低于基体金属为宜，又称为低强原则。

4. 对重要结构和高温高压容器及管道的焊接，为减少接头的冷裂纹倾向，应采用低氢型碱性材料。

5. 当异种钢焊接，如焊缝两侧金属为低碳钢或低合金钢时，焊接材料选用成分与强度较高一侧相配或介于两者之间的焊条或焊丝；当焊缝两侧之一为奥氏体不锈钢时，可选用含镍量较高的不锈钢焊条或焊丝。

二、线能量的影响

焊接线能量及工艺参数直接影响了接头的热循环特性，因此对焊缝和热影响区的组织及性能也有影响。

当采用大线能量焊接，即大电流、慢速焊，则熔池大而深，形成深而窄的焊缝。焊缝金属得到粗大的柱状晶，偏析严重，接头过热区宽，晶粒长大严重，接头的塑性和韧性差。

当采用小线能量焊接，即小电流、快速焊，则熔池小而浅，形成宽而浅的焊缝，焊缝金属得到细小的柱状晶，偏析程度小，接头过热区窄，降低了晶粒长大的程度，焊接接头性能较好。

线能量的确定主要取决于过热区的脆化和冷裂两个因

素。不同的钢种应采用相应的线能量进行焊接。

对于不易淬火钢，采用小线量时冷裂倾向也不大，从提高过热区的塑性、韧性出发，线能量偏小较合适。

对于易淬火钢，不能采用大线能量焊接，而采用小线能量焊接。由于冷却速度快，过热区容易产生粗大的马氏体组织，易产生冷裂纹，因此常采用焊前预热、控制层间温度和焊后缓冷等工艺措施，避免过热区产生淬硬组织，防止产生冷裂纹。

对于奥氏体不锈钢，采用小线能量焊接，以减少热影响区在 $450\sim 850^{\circ}\text{C}$ 敏化温度区间的停留时间，使焊接接头保持良好的抗晶间腐蚀能力。

三、操作方法的影晌

操作方法有单道焊、多层多道焊、小电流快速、不摆动焊法和大电流、慢速焊、摆动焊法等。

单道大功率慢速摆动焊法的特点是焊接线能量大。操作时在坡口两侧的高温停留时间长，热影响区加宽，接头晶粒粗化，塑性和韧性降低。同时杂质元素偏析易集中在焊缝中心，容易引起热裂纹的可能。

多层多道焊，小电流、快速小摆动焊法特点是线能量小，热影响区窄，接头晶粒较细，塑性和韧性较好。杂质元素分布弥散，有害作用减小。同时多层多道焊由于后焊焊道对前一焊道及热影响区进行再加热，使再加热区的组织和性能发生变化，过热区晶粒被细化，使该区的塑性和韧性得到改善。

焊接 18-8 型奥氏体不锈钢时，为提高抗晶间腐蚀能力，应注意焊接操作方法、焊接顺序和坡口尺寸，避免在熔合线和过热区产生刃状腐蚀。

四、焊接方法的影响

1. 气焊。气焊热源温度低，加热速度慢，对熔池保护差，合金元素烧损较大，焊缝金属易产生过热组织，热影响区较宽，焊接接头性能较差。一般用于安装管道，特别是薄壁管道的焊接。

2. 手工电弧焊。手工电弧焊线能量不大，电弧区保护较好，热影响区较窄，焊接接头性能较好，广泛用于安装工程焊接中。

3. CO₂ 气体保护焊。CO₂ 气体保护焊的保护气体为氧化性气体，合金元素烧损严重，所以应采用含硅、锰的专用焊丝。由于 CO₂ 气体对焊接热影响区有冷却作用，故焊接热影响区窄，焊接接头性能好，尤其是接头抗裂性能好。由于 CO₂ 焊生产效率高，在钢结构件焊接中应用较多。

4. 手工钨极氩弧焊。由于采用氩气保护，合金元素不烧损，焊缝结晶组织较细，热影响区最窄，接头性能好。另外因为明弧操作，焊缝成型美观，在管道焊接的打底焊道中应用最广泛。

5. 埋弧自动焊。采用气渣保护，焊接线能量较手工电弧焊大，合金元素烧损较多，焊缝金属组织粗大，焊接接头性能较好。因为是自动焊，生产效率高，主要用于梁、柱等大型构件的长直焊缝焊接。

不同的焊接工艺方法有其不同的特点，因而对焊接接头的组织与性能有不同影响。选择焊接工艺方法时，应根据其对焊接接头组织和性能的影响，结合其它要求综合考虑。如在安装现场，为提高低碳钢和耐热钢管子的焊接接头质量，气焊已很少使用，一般尽量使用手工电弧焊和钨极氩弧焊。

五、预热和焊后热处理的影响

预热就是施焊前对焊件坡口处预先加热到某一温度范围(150~300℃)再进行焊接,其主要目的是降低接头区域的温差,减少焊接热影响区的淬硬倾向,有利氢的逸出,防止冷裂纹,改善接头的塑性和韧性。

焊后热处理的目的是消除残余应力或改善焊接接头的组织和性能。焊后热处理按其目的可分为许多种。

1. 消氢处理。消氢处理是焊后将焊缝立即加热至250~350℃并保温2~6h,然后空气中冷却。虽然不会使焊接接头的组织和性能发生变化,但可以加速焊缝中氢的扩散逸出,防止焊件产生延迟裂纹。

2. 消除应力热处理。消除应力热处理是焊后将焊缝加热到600~650℃范围内,保温一定时间,使焊接接头区应力松弛,从而达到消除残余应力的目的,保证结构使用安全可靠。主要用于拘束度大、刚性大的接头。

3. 改善性能热处理。

(1) 对于低碳钢、不易淬火的低合金高强度钢和低温钢,一般不需要进行焊后改善性能热处理。

(2) 对于易淬火的低合金高强度钢和耐热钢,为了改善接头的性能,提高高温性能,焊后须进行高温回火热处理,消除淬硬组织,并得到回火组织。

(3) 对于奥氏体不锈钢,为改善接头的抗晶间腐蚀性能,可在焊后进行稳定化处理(加热温度850℃,保温2h后空冷),使碳化铬充分析出,铬也得以充分扩散,消除贫铬层,从而提高抗晶腐蚀的能力。

(4) 对于铁素体不锈钢,焊后经600℃以上短时加热后

空冷，可消除 475℃ 脆性，加热到 930~980℃ 急冷，可消除 σ 相脆化，使焊接接头的性能得到改善。

(5) 对于马氏体不锈钢，其焊缝和热影响区有强烈的淬硬倾向和冷裂倾向，含碳量较高时更为敏感。焊后必须进行高温回火处理（回火温度一般为 730~790℃）。为获得具有足够韧性的细晶粒组织，高温回火前应使焊件冷却到 150~100℃，保温 2 h，使奥氏体的主要部分转变为马氏体，然后及时进行高温回火处理。如冷至室温再热处理，则有产生裂纹的危险；如热处理前初始温度过高，则会产生粗大的共晶组织。

第三章 焊接接头与焊缝

由于焊件厚度、结构形状及使用条件的不同，焊接时需采用不同的接头型式；同时，根据焊接的厚度，为了保证焊透、减小变形和便于操作，常开出各种形状尺寸的坡口；在施焊工件时，还会碰到不同空间位置的焊缝；这些，都要求焊工具体情况具体对待，采取相适应的操作技术，以获得优质的焊缝。

本章主要介绍焊接接头型式和焊缝形式，使焊工掌握必要的基本知识，从而做好焊前准备工作。

第一节 焊接接头型式

用焊接方法连接的接头称为焊接接头。焊接接头包括焊缝、熔合区和热影响区。

焊接接头型式主要有对接接头、T形接头、角接头、搭接接头四种。有时焊接结构中还有一些其它类型的接头型式，如十字接头、端接接头、卷边接头、套管接头、斜对接接头、锁底对接接头等。在国家标准 GB 985-88 中有详细规定。

一、对接接头

两焊件相对平行的接头称为对接接头，这种接头从力学角度看是较理想的接头型式，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，是焊接结构中采用最多的一种接头型式。

根据焊件厚度、焊接方法和坡口准备的不同，对接接头可分为不开坡口对接接头和开坡口对接接头两种。常见的接头型式见图 3-1 所示。

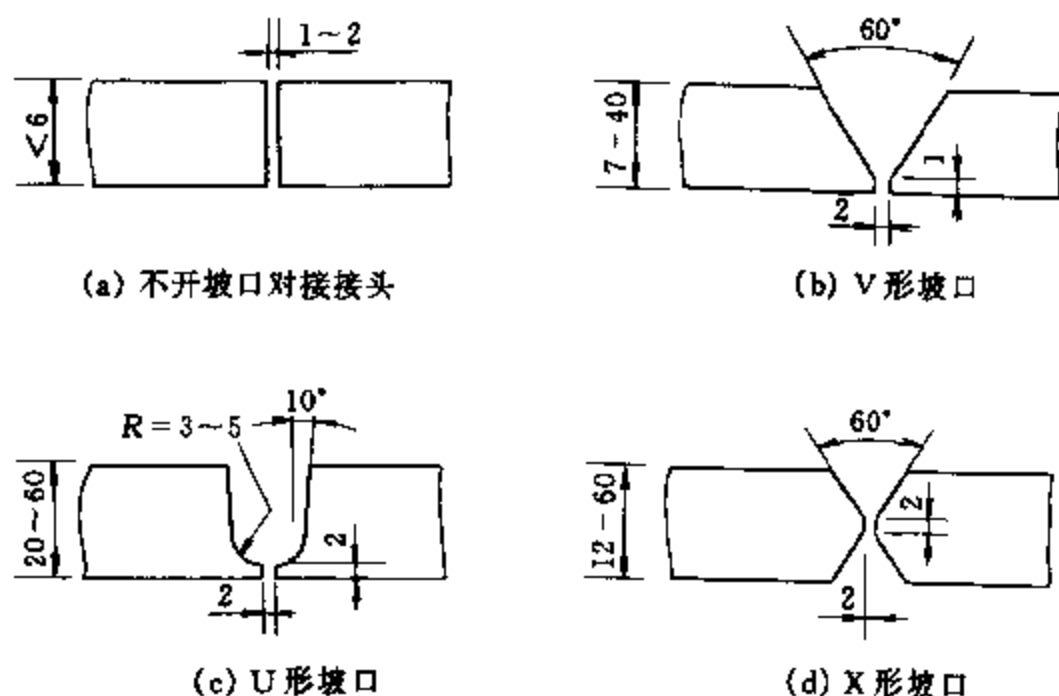


图 3-1 常见对接接头坡口形式

二、T 形接头

一焊件的端面与另一焊件表面构成直角或近似直角的接头，称为 T 形接头。T 形接头的型式如图 3-2 所示。

T 形接头在钢结构件中应用较多，作为一种联系焊缝，它能承受各方向的力和力矩。在选用时尽量避免单面角焊缝，因其根部有较深的缺口，承载能力很低。对于要求较高的焊件可采用 K 形坡口，根据受力状况决定是否根部焊透，这样比不开坡口而用大焊脚的焊缝经济，而且接头疲劳强度高。

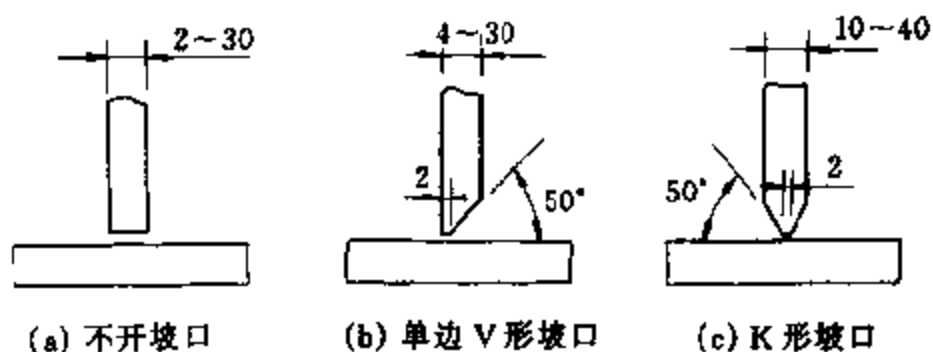


图 3-2 T形接头

三、角 接 接 头

两焊件端面间构成大于 30° 、小于 135° 夹角的接头，称为角接接头。角接接头的型式如图 3-3 所示。

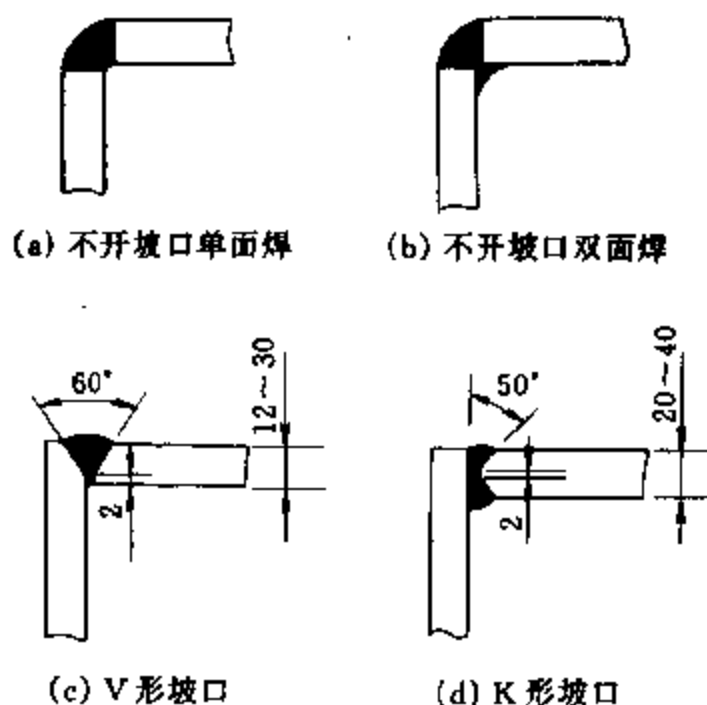


图 3-3 角接接头

角接接头一般用于不重要的焊接结构中。根据焊件厚度和坡口准备的不同，角接接头可分为不开坡口、单边 V 形坡

口、V形坡口及K形坡口四种形式，但开坡口的角接接头在一般结构中较少采用。图 3-3 中 (a) 是最简单的角接接头，承载性能差；(b) 是采用双面角焊缝，相对 (a) 比较，接头双面予以加强，承载能力较大；(c) 和 (d) 为开坡口接头，易焊透，具有较高的强度，但易引起层状撕裂缺陷。

四、搭接接头

两焊件部分重叠构成的接头称为搭接接头。这种接头应力分布不均匀，疲劳强度低，不是结构中理想接头，但这种接头装配要求不高，易于装配，在不重要的结构中应用也较广泛，如油罐的底板拼接常采用这种接头形式。搭接接头按结构形式和对强度的要求不同，可分为不开坡口、圆孔内塞焊以及长条孔角焊三种形式，如图 3-4 所示。

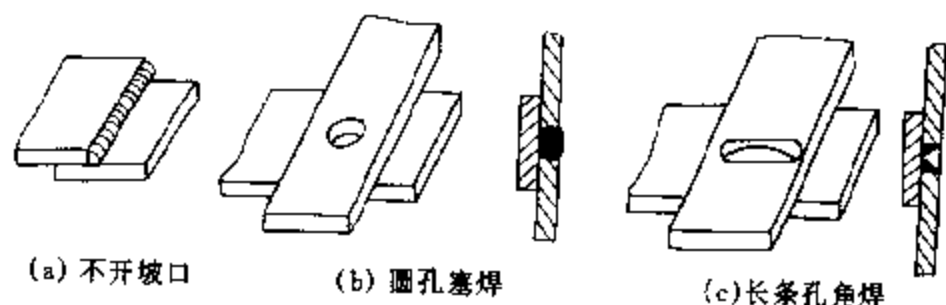


图 3-4 搭接接头

五、其它接头形式

1. 十字接头。三个焊件装配成十字形的接头，如图 3-5 所示。

2. 端接接头。两焊件重叠或两焊件表面之间的夹角不大于 30° 构成的端部接头，如图 3-6 所示。

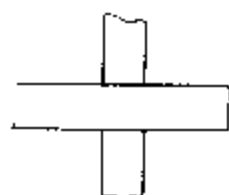


图 3-5 十字接头

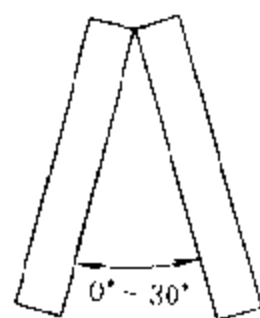
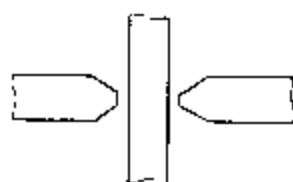


图 3-6 端接头

3. 卷边接头。焊件端部预先卷边的接头，如图 3-7 所示。



图 3-7 卷边接头

4. 套管接头。将一根直径稍大的短管套于需要被连接的两根管子的端部构成的接头，如图 3-8 所示。



图 3-8 套管接头

5. 斜对接接头。接缝在焊件平面上倾斜布置的对接接头，如图 3-9 所示。

6. 锁底对接接头。一个焊件端部放在另一焊件预留底边上所构成的对接接头，如图 3-10 所示。

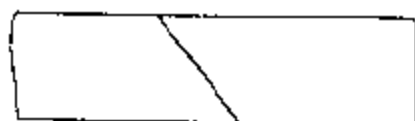
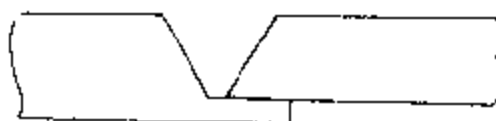


图 3-9 斜对接接头



3-10 锁底对接接头

第二节 焊接坡口

一、坡口作用及要求

开坡口是根据设计或工艺要求，将焊件待焊部位加工成一定几何形状，经装配后形成的沟槽，从而保证焊缝焊接质量和方便施焊。确定坡口几何尺寸的三要素为坡口角 α 、钝边 p 和间隙 c ，如图3-11所示。

1. 坡口角。对于壁厚较厚的焊件，为保证焊透，开坡口使接头张开一定角度，保证填充材料和焊接电弧能伸入到坡口根部，同时坡口角大小能控制焊缝的形状系数，并控制焊接规范的大小，从而减小热循环

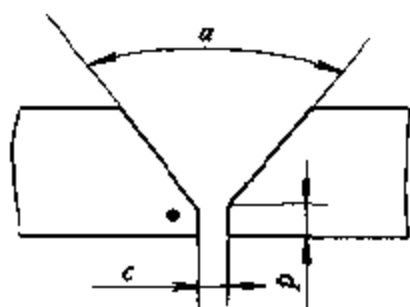


图 3-11 V形坡口

对焊接热影响区的影响。在保证上述条件下，坡口角应尽量采用小值，减少填充材料，从而减小焊接变形。

2. 间隙。主要是用来保证根部熔合良好并焊透，间隙应尽量选择小尺寸，过小则不能焊透，而过大容易烧穿，产生焊瘤，引起焊接变形大。

3. 钝边。与间隙一起控制根部熔池形状，保证焊透并根部成形良好。太大，则不易焊透；太小，则易烧穿并形成焊瘤。

二、焊接坡口的选择

坡口的形状和尺寸主要取决于焊件的厚度、焊接方法、焊接位置和工艺要求等。通常选择坡口时考虑以下几条原则：

1. 保证接头焊透。

2. 减少填充材料量。填充材料少，不仅节省焊接材料，提高生产率，而且能减小焊接变形和焊接应力水平。

3. 焊后变形尽可能小。可以在设计坡口时尽量选对称的坡口形状，用来控制焊接变形。

4. 坡口形状容易加工。

5. V形坡口特点是加工容易，但焊后焊件易产生角变形，焊材填充量大；X形坡口与V形坡口相比较，在相同厚度下，能减少焊材填充量约一半，焊后焊件变形和应力水平也小。所以X形坡口主要用于大厚度以及要求变形小的结构中；U型坡口的特点是金属填充量最少，焊件变形也小，但这种坡口加工困难，一般用于较重要的焊接结构。

三、焊接坡口加工

坡口的加工方法是根据设计图纸和工艺规范要求，结合工件的尺寸、形状及加工条件来选择的。

常见坡口加工方法有剪边、刨边、车削、铲削、磨削、热切割和碳弧气刨等。坡口加工质量对焊缝质量有很大影响，因此选用坡口加工方法应注意以下几个问题：

1. 尽量采用机械加工方法，对淬硬倾向大的材料，采用热加工，切口产生淬硬层，增加机加工难度。

2. 采用热切割或碳弧气刨加工坡口时，只适用淬硬倾向小的、可焊性良好的低碳、低合金钢材料，加工后应将坡口处的熔渣等杂物清理干净，对于坡口处的凹凸不平处应修磨平整。

3. 采用热切割下料时，应预留机加工余量，以便除掉淬硬层及过热组织。

4. 剪切板材边缘不得有裂纹、毛刺、棱角等缺陷。

5. 坡口加工尺寸和精度应符合工艺要求，坡口的平整度、直度、尺寸均匀性等直接影响着焊缝质量，焊前应仔细检查坡口加工质量和组对质量。

第三节 焊缝形式

一、焊缝的分类

焊缝就是焊件经焊接后所形成的结合部分。按不同的分类方法，焊缝分为下列几种类型：

1. 按焊缝在空间位置的不同划分。

(1) 平焊缝。是指焊缝倾角为 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，焊缝转角为 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的平焊位置施焊的焊缝，如图 3-12 所示。

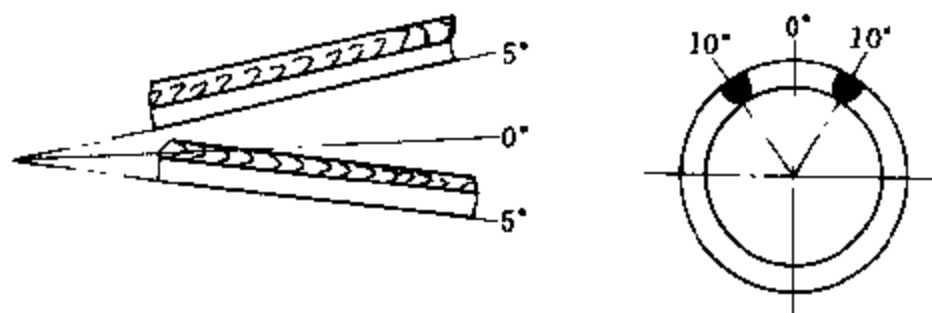


图 3-12 平焊缝

(2) 立焊缝。是指焊缝倾角为 $80^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ，焊缝转角为 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 的立焊位置施焊的焊缝，如图 3-13 所示。

(3) 横焊缝。是指焊缝倾角为 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，焊缝转角为 $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 的横焊位置施焊的焊缝，如图 3-14 所示。

(4) 仰焊缝。是指对接焊缝的焊缝倾角为 $0^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ，焊接转角为 $165^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ；角焊缝的焊缝倾角为 $0^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 、焊缝转角为

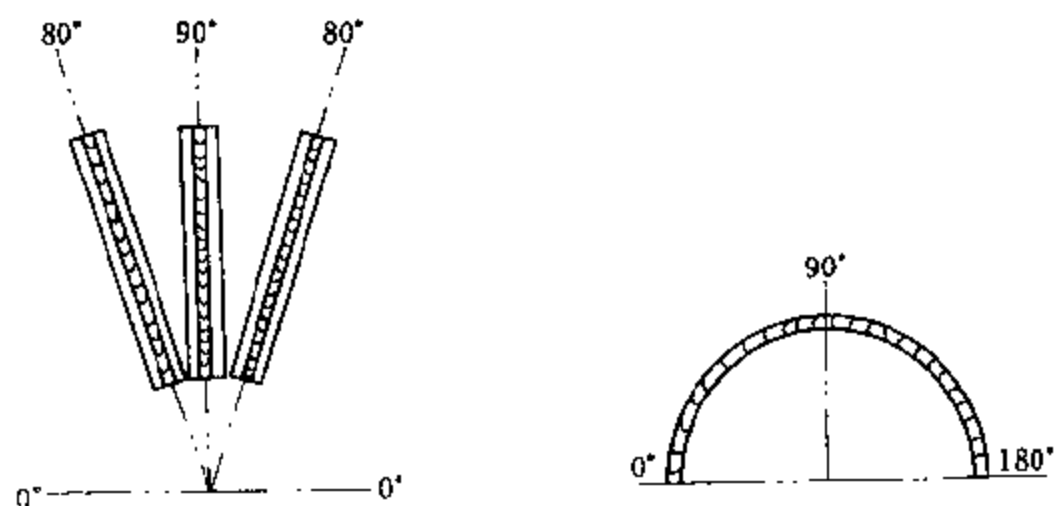


图 3-13 立焊缝

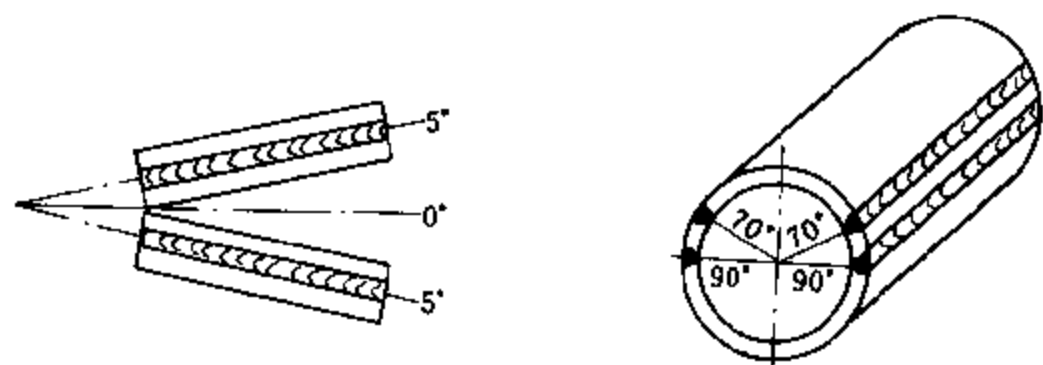


图 3-14 横焊缝

115°~180°的仰焊位置施焊的焊缝，如图 3-15 所示。

2. 按焊缝结合形式不同划分。

(1) 对接焊缝。指焊件的坡口面间或一焊件的坡口面与另一焊件表面间焊接的焊缝，如图 3-16 所示。

(2) 角焊缝。指沿两直交或近直交焊件的交线所焊接的焊缝，如图 3-17 所示。

3. 按焊缝断续情况划分。

(1) 定位焊缝。焊前为装配和固定焊件接头的位置而焊接的短焊缝称为定位焊缝。

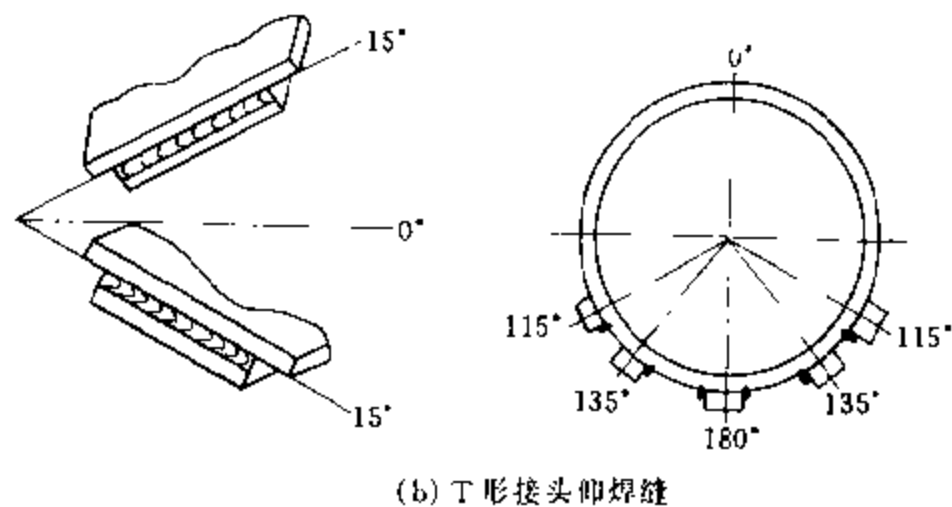
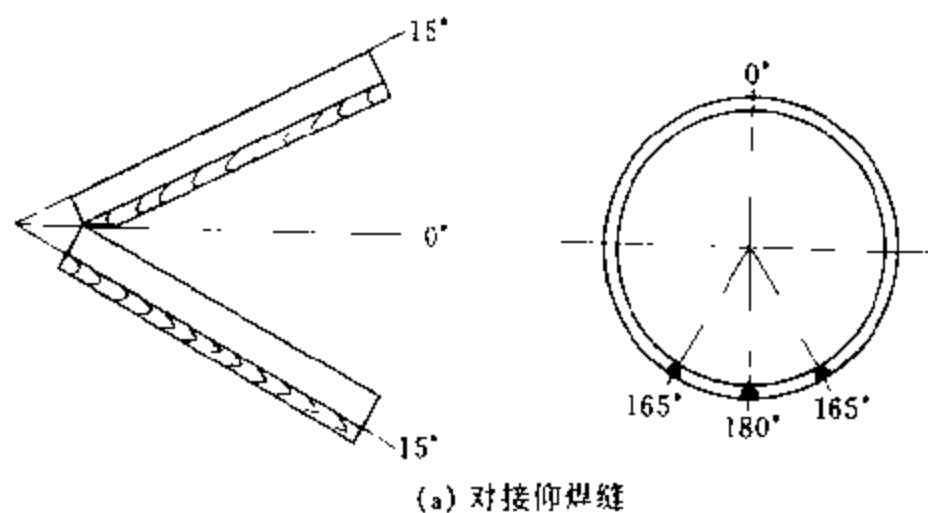


图 3-15 仰焊缝

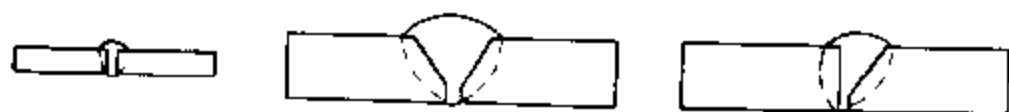


图 3-16 对接焊缝

- (2) 连续焊缝。沿接头全长连续焊接的焊缝。
- (3) 断续焊缝。沿接头全长焊接具有一定间隔距离的焊缝。

表 3-1 定位焊缝的尺寸 (mm)

焊件厚度	定位焊缝尺寸	
	长 度	间 距
<4	5~10	50~100
4~12	10~20	100~200
>12	15~30	100~300

第四节 焊缝符号和焊接方法代号

焊缝符号是在焊接结构图样上使用的统一代号，用来说明焊接工艺要求，它是一种工程技术语言。我国的焊缝符号和焊接方法代号是由国家标准 GB 324-88《焊缝符号表示法》和 GB 5185-85《金属焊接及钎焊方法在图样上的表示方法》来规定的。

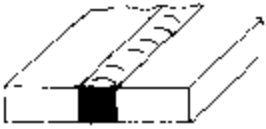




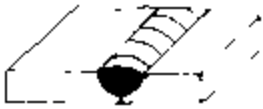
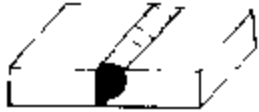

一、焊缝符号

焊缝符号主要由基本符号、辅助符号、补充符号、引出线和焊缝尺寸符号等组成。

1. 基本符号。基本符号是表示焊缝横剖面形状的符号，见表 3-2。

2. 辅助符号。辅助符号是表示焊缝表面形状特征的符号，见表 3-3。

表 3-2 基本符号

序号	焊缝名称	焊缝型式	符 号
1	I 形焊缝		
2	V 形焊缝		∨
3	钝边 V 形焊缝		∨
4	单边 V 形焊缝		∨
5	钝边单边 V 形焊缝		∨
6	U 形焊缝		U
7	单边 U 形焊缝		U
8	喇叭形焊缝		Y

续表 3-2





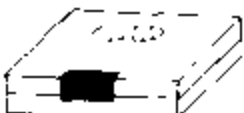



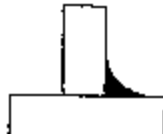





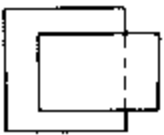

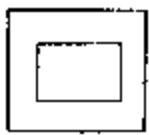

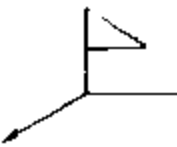

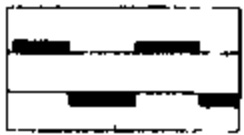
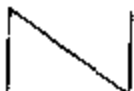
序号	焊缝名称	焊缝型式	符 号
9	单边喇叭形焊缝		
10	角焊缝		
11	塞焊缝		

表 3-3 辅助符号

序号	名 称	型 式	符 号	说 明
1	平面符号			表示焊缝表面齐平
2	凹陷符号			表示焊缝表面内陷
3	凸起符号			表示焊缝表面凸起

3. 补充符号。补充符号是为了补充说明焊缝的某些特征的符号，见表 3-4。

表 3-4 补 充 符 号

序号	名称	型 式	符 号	说 明
1	带垫板 符号			表示焊缝底部有垫板
2	三面焊缝 符号			要求三面焊缝符号的开口方向与三面焊缝的实际方向画得基本一致
3	周围焊缝 符号			表示环绕工件周围焊缝
4	现场符号			表示在现场或工地上进行焊接
5	交错断续 焊缝符号			表示双面交错断续分布焊缝

4. 指引线。指引线是表示指引焊缝位置的符号。由带箭头的指引线和两条基准线（一条为实线，另一条为虚线）组成。指引线指向有关焊缝处，基准线一般应为水平线。焊缝符号及尺寸标注在基准线上，必要时基准线末端加一尾部，作其它说明用（如焊接方法等），如图 3-18 所示。

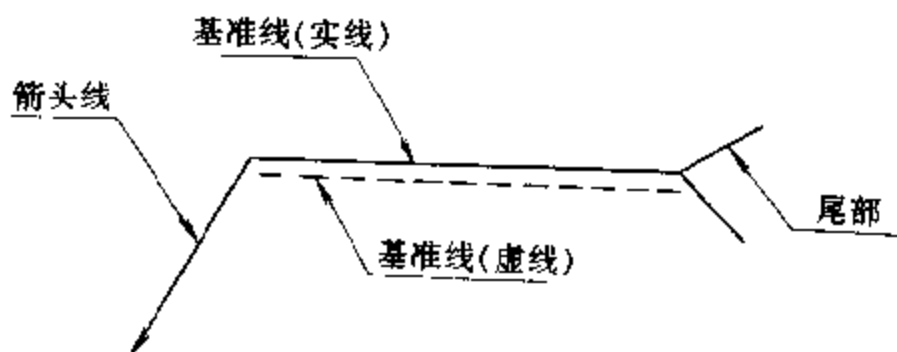



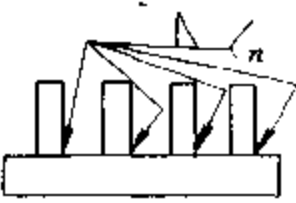
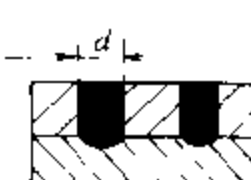

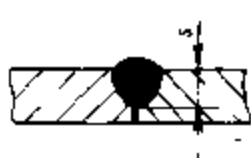
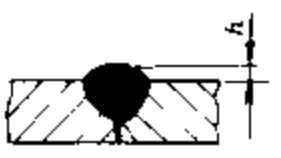
图 3-18 指引线

5. 焊缝尺寸符号。焊缝尺寸符号用来表示焊缝的几何尺寸，见表 3-5 所示。

表 3-5 焊缝尺寸符号

符号	名称	示意图	符号	名称	示意图
δ	板材厚度		p	钝边高度	
α	坡口角度		R	根部半径	
b	根部间隙		l	焊缝长度	
c	焊缝宽度		e	焊缝间隙	

续表 3-5

符号	名称	示意图	符号	名称	示意图
K	焊角高度		n	相同焊缝数量符号	
d	焊点直径		H	坡口高度	
s	熔透深度		h	焊缝增高量 (也称余高)	

二、焊缝符号的标注方法

完整的焊缝表示方法应包括上述基本符号、辅助符号、补充符号，以及指引线、一些尺寸符号和数据等。标注箭头线时，可指向焊缝或不指向焊缝，如图 3-19 所示。

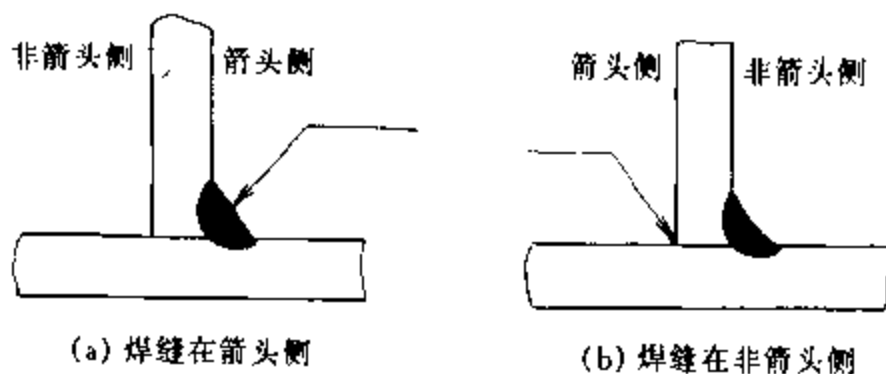


图 3-19 箭头线和接头的关系

基准线的虚线可在基准线的实线上侧或下侧，当焊缝在接头的箭头侧，则基本符号标在基准线的实线侧，如果焊缝在接头非箭头侧，则将基本符号标在基准线的虚线侧。标注对称焊缝或双面焊缝可不加虚线，如图 3-20 所示。

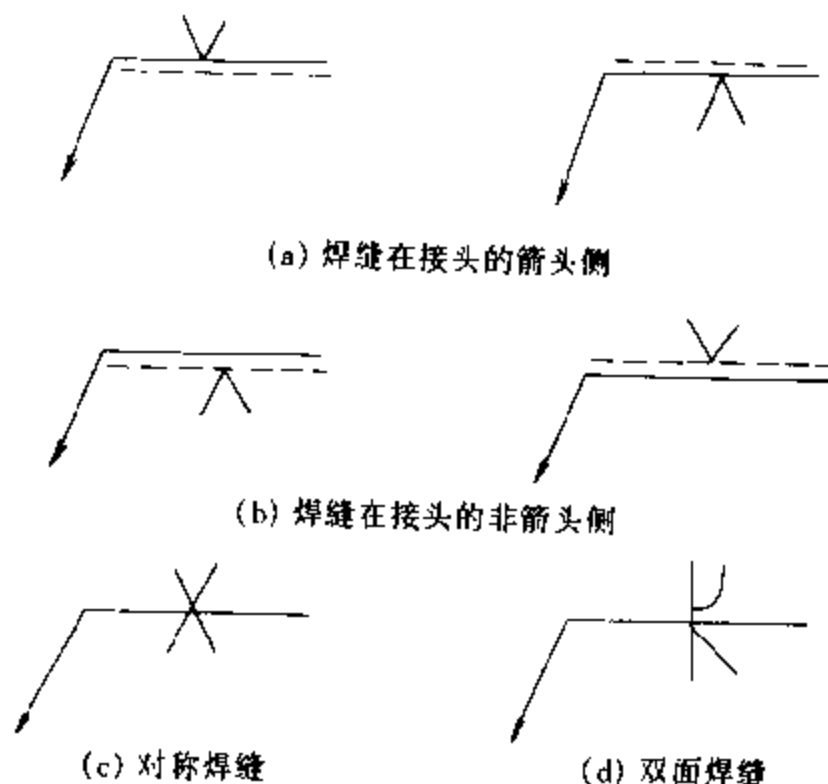


图 3-20 基本符号相对基准线的位置

焊缝尺寸符号及数据的标注原则如下：

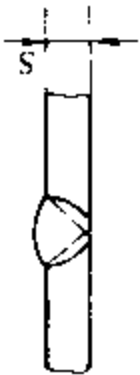
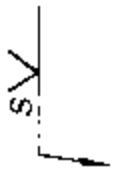
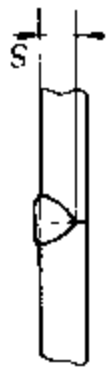
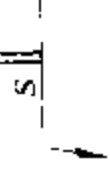
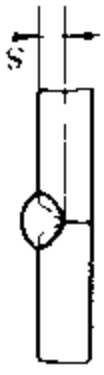
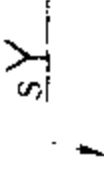

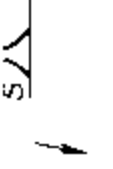
1. 在基本符号左边标注：钝边高度 p ，坡口高度 H ，焊角高度 K ，焊缝余高 h ，熔透深度 s ，根部半径 R ，焊缝宽度 c ，焊角直径 d 。

2. 在基本符号右边标注：焊缝长度 l ，焊缝间隙 e ，相同焊缝数量 n 。

3. 在基本符号上边标注：坡口角度 α ，根部间隙 b 。

焊缝尺寸标注示例见表 3-6。焊缝基本符号应用见表 3-7，焊缝基本符号与辅助符号的组合见表 3-8。


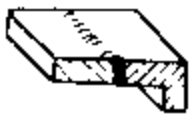
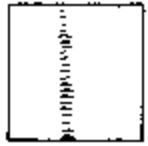






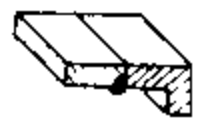
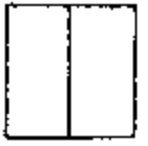

表 3-6 焊缝尺寸的标注示例

序号	名称	示意图	焊缝尺寸符号	示例
1	对接焊缝		S—焊缝有效厚度	
				
				
2	卷边焊缝		S—焊缝有效厚度	

续表 3-6

序号	名称	示意图	焊缝尺寸符号	示例
3	连续角焊缝		K—焊脚尺寸	
4	断续角焊缝		l—焊缝长度 (不计弧坑); e—焊缝间距; n—焊缝段数	
5	交错断续角焊缝		l } 见序号 4; e } n } K—见序号 3	

续表 3-7

序号	符号	示意图	图 示 法	标 注 方 法
4				
5				
6				

三、焊接方法代号

在焊接结构图样上，焊接方法可按国家标准 GB5185-85 的规定用阿拉伯数字表示，标注在指引线的尾部。常用焊接方法代号见表 3-9 所示。如果是组合焊接方法，可用“/”分开，左侧表示正面（或盖面）的焊接方法，右侧表示背面（或打底）焊接方法。例如 V 形焊缝先采用钨极氩弧焊打底，后用手工电弧焊盖面，则表示为 141/111。

焊缝符号和焊接方法代号标注示例见图 3-21 所示。该图表示 V 形坡口对接焊缝，背面封底焊，正面焊缝表面齐平，焊接方法为打底焊用手工钨极氩弧焊，盖面焊和封底焊用手工电弧焊。

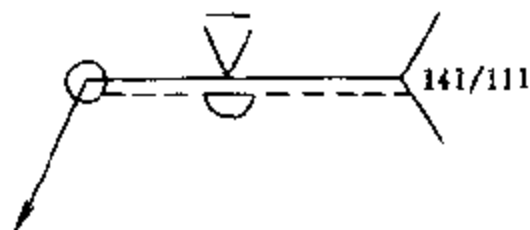


图 3-21

表 3-9 常用焊接方法代号

焊接方法名称	焊接方法代号	焊工考试规定代号
电弧焊	1	
手弧焊	111	△
埋弧焊	12	
丝极埋弧焊	121	M

续表 3-9

焊接方法名称	焊接方法 代号	焊工考试 规定代号
熔化极气体保护焊	13	
熔化极惰性气体保护焊 MIG	131	
熔化极非惰性气体保护焊 MAG	135	
非熔化极气体保护焊	14	
钨极惰性气体保护焊 TIG	141	W, (指手工)
气焊	3	
氧乙炔焊	311	Q

第四章 焊接方法和工艺

第一节 手工电弧焊

手工电弧焊是用手工操作焊条进行焊接的电弧焊方法。因其使用设备简单，操作方便、灵活，适应各种条件的焊接，在制造业和建筑安装行业中应用最广泛。

一、焊接的基本过程

焊接时，由于电弧热和电弧吹力作用下使焊件金属熔化，并在焊件上形成一个椭圆形凹坑，称为熔池。焊接过程中，焊条不断熔化，形成熔滴过渡到熔池中与焊件金属不断熔合，冷却结晶后形成焊缝，焊缝表面覆盖着一层渣壳即焊渣。焊件基体金属表面到熔池底部距离称为熔深，如图 4-1 所示。

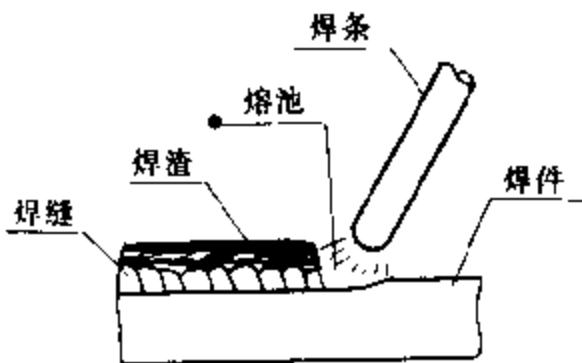


图 4-1 手工电弧焊基本过程

焊条熔化的金属不断的以熔滴形式向熔池过渡，这种过渡主要靠电弧吹力为主，此外还有金属熔滴的重力、表面张

力和电磁力等。

二、焊接工艺参数的选择

焊接工艺参数（焊接规范）是指焊接过程中影响焊接过程正常进行和焊接质量的诸要素。焊接工艺参数直接影响焊缝的形状、尺寸、焊接质量和生产率。

手工电弧焊的工艺参数主要有：焊条直径、焊接电流、焊接电压、焊接速度、焊接层数、电源种类及极性等。

1. 焊条直径的选择。为了提高生产率，应尽可能选用较大直径的焊条，但是用直径过大的焊条焊接，会造成未焊透或焊缝成形不良。焊条直径的选择与下列因素有关。

(1) 焊件厚度。薄焊件选用较小直径的焊条，厚度较大的焊件应选用较大直径的焊条。一般情况下，焊条直径与焊件厚度的选用关系可参见表 4-1。

表 4-1 焊条直径与焊件厚度的关系 (mm)

焊件厚度	≤1.5	2	3	4~5	6~12	>12
焊条直径	1.5	2	3.2	3.2~4	4~5	4~6

(2) 焊缝位置。相同板厚的焊件平焊时焊条直径比其它位置大。仰焊、横焊时最大直径不超过 4 mm，立焊最大直径不超过 5 mm。

(3) 焊接层数。多层焊接第一层焊缝焊条直径较小，打底焊道常选 $\phi 3.2$ mm 直径焊条，选用直径较大，会造成根部

焊不透、熔合不良等缺陷。其它各层根据板厚可选用较大直径焊条。

(4) 接头形式。对于搭接接头和要求不焊透的 T 形接头、角接接头，可选用较大直径的焊条，因为不会产生烧穿和熔合不良等现象。

2. 焊接电流的选择。焊接电流的大小直接影响焊接生产率和焊接质量。增大焊接电流能提高生产率，但电流过大易造成焊缝咬边、烧穿等缺陷，同时飞溅加大，焊条药皮发红脱落，导致焊接过程难以进行；电流过小易引起夹渣、未焊透等缺陷。

焊接电流大小主要决定于焊条直径和焊缝位置，其次是焊件厚度、接头形式、焊接层数、焊条类型等。焊接电流可按下式选择：

$$I = Kd$$

式中 I ——焊接电流 (A)；

d ——焊条直径 (mm)；

K ——经验系数，见表 4-2。

表 4-2 经验系数

焊条直径 (mm)	1~2	2~4	4~6
经验系数 K	25~30	30~40	40~60

当焊件厚度大，T 形接头、搭接接头或焊件散热较快时，应选用较大电流，经验系数取上限值。立焊和横焊电流应比平焊时小 10%~15%，仰焊时比平焊小 15%~20%。碱性焊

条应比同条件下的酸性焊条使用的电流小，否则焊缝中易形成气孔。

在实际施工生产中，焊工先选择大概的电流值，然后通过试焊来判断电流是否合适，其方法是：

(1) 根据飞溅大小判断。电流过大时，电弧吹力大，飞溅大，电弧发出爆裂声；电流过小时，电弧吹力小，熔渣和铁水不易分清。电弧发出声响柔软，溶池形状易保持，熔渣与铁水分离清楚，则电流合适。

(2) 根据焊条熔化状况判断。电流过大时，焊条药皮部位发红；电流过小时，电弧燃烧不稳定，易断弧，焊条容易粘在焊件上。

(3) 根据焊缝成形判断。电流过大时，熔深大、焊缝余高低、易产生咬边；电流过小时，焊缝窄，熔深浅，两侧熔合不良；电流合适时，焊缝两侧熔合良好，呈圆滑过渡。

3. 电弧电压的选择。手工电弧焊的电弧电压主要由电弧长度来决定。电弧长则电弧电压高，电弧短则电弧电压低。焊接时电弧不宜过长，否则电弧燃烧不稳定，对熔池的保护效果差，同时还易产生咬边、未焊透、外观成形不良等缺陷。

在焊接时应尽量采用短弧焊接。碱性焊条应比酸性焊条弧长更短些，防止气孔产生。

4. 焊接速度的选择。焊接过程中，焊接速度应适当，既要保证焊透，熔合良好，又要保证不烧穿。盖面层要保证焊缝宽度和高度符合要求。

焊接速度决定生产率，在保证焊缝质量的前提下，应加快焊接速度。过快时焊不透，过慢时易过热、烧穿。实际施

工中根据具体情况确定合适的焊接速度。

5. 焊接层数的选择。厚度较大的焊件，需采用多层焊。多层焊焊层厚度过大将影响接头的塑性、韧性，特别是一些要求高的钢材焊接，如低合金高强钢、低温钢等。根据经验，一般每层厚度约等于焊条直径的 0.8~1.2 倍，最大不超过 5 mm，这样既能保证质量，同时生产率也较高。

6. 电源极性的选择。焊件与焊机输出端正负极的接法有正接和反接两种。正接法就是焊件接正极，电极接负极的接线法，而反接法则接线法正好相反。对于交流电焊机，由于电源极性是交变的，所以不存在正接和反接。




选用极性时，主要根据焊条类型和焊件所需的热量来决定。用酸性焊条焊接时，由于药皮中含大量稳弧剂，电弧稳定性强，可采用交流电源。碱性焊条的电弧稳定性差，只能采用直流电源。酸性焊条采用直流电源当然也可以，但直流电源造价比交流电源高。

由于手工电弧焊时阳极区温度大于阴极区温度，使用酸性焊条时，如焊接厚板，可采用直流正接法，以获得较大的熔深；而焊接薄板时，采用直流反接法，可防止烧穿。酸性焊条采用交流电焊机时，其熔深介于直流正极性和反极性之间。




对于碱性低氢钠型焊条，任何情况都应采用直流反接法，这样可以减少飞溅现象和产生气孔倾向，使电弧稳定燃烧。

手弧焊的主要焊接规范是指焊条直径和焊接电流大小，而电弧电压和焊接速度，在手工电弧焊中不作数值上的具体规定，由焊工根据具体情况灵活掌握。各种焊接位置及接头形式下适用的手弧焊规范参数值可参照表 4-3。




表 4-3 手工电弧焊适用的焊接规范参数

焊缝 空间 位置	焊缝 横断面形式	焊件厚度 或焊脚尺 寸 (mm)	第一层焊缝		其它各层焊缝		封底焊缝	
			焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)
平 对 接 焊 缝		2	2	55~60	—	—	2	55~60
		2.5~3.5	3.2	90~120	—	—	3.2	90~120
		4~5	3.2	100~130	—	—	3.2	100~130
			4	160~200	—	—	4	160~210
			5	200~260	—	—	5	220~250
	5~6	4	160~210	—	—	3.2	100~130	
		—	—	—	—	4	180~210	
	≥6		4	160~210	4	160~210	4	180~210
			5	220~280	5	220~280	5	220~260
			4	160~210	4	160~210	—	—
≥12		4	160~210	5	220~280	—	—	




续表 4-3

焊缝 空间 位置	焊缝横断面形式	焊件厚度 或焊脚尺 寸 (mm)	第一层焊缝		其它各层焊缝		封底焊缝		
			焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	
立 对 接 焊 缝		2	2	50~55	—	—	2	50~55	
		2.5~4	3.2	80~110	—	—	3.2	80~110	
		5~6	3.2	90~120	—	—	3.2	90~120	
	7~10	3.2	90~120	4	120~160	4	120~160	3.2	90~120
		4	120~160						
	≥11	3.2	90~120	4	120~160	4	120~160	3.2	90~120
			120~160	5	160~200				
	12~18	3.2	90~120	4	120~160	4	120~160	—	—
			120~160						
	≥19	3.2	90~120	4	120~160	4	120~160	—	—
			120~160						
									
									


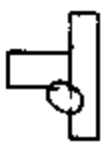
续表 4-3

焊缝 空间 位置	焊缝横断面形式	焊件厚度 或焊脚尺 寸 (mm)	第一层焊缝		其它各层焊缝		封底焊缝			
			焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)		
横 对 接 焊 缝		2	2	50~55			2	50~55		
		2.5	3.2	80~110	-		3.2	80~110		
		3~4	3.2	90~120	-		3.2	90~120		
			4	120~160			4	120~160		
			5~8	3.2	90~120	3.2	90~120	3.2	90~120	
					4	140~160	4	140~160	4	140~160
					4	140~160	4	140~160	4	140~160
			14~18	3.2	90~120	4	140~160	-		
			4	140~160						
			4	140~160	1	140~160				

续表 4-3

焊缝空间位置	焊缝横断面形式	焊件厚度或焊脚尺寸 (mm)	第一层焊缝		其它各层焊缝		封底焊缝	
			焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)
仰 对 接 焊 缝		2				2	50~67	
		2.5				3.2	80~110	
		3~5				3.9	90~110	
	3~8		3.2	90~120	3.2	90~120		
			3.2	90~120	1	110~160		
	≥9		1	110~160	1	110~160		
			3.2	90~120	4	140~160		
			4	140~160				
	≥19		4	110~160	1	110~160		

续表 4-3

焊缝 空间 位置	焊缝横断面形式	焊件厚度 或焊脚尺 寸 (mm)	第一层焊缝		其它各层焊缝		封底焊缝	
			焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)
平角接焊缝		2	2	55~65	—	—	—	—
		3	3.2	100~120	—	—	—	—
		4	3.2	100~120	—	—	—	—
			4	160~200	—	—	—	—
		5~6	4	160~200	—	—	—	—
			5	220~280	—	—	—	—
		≥7	4	160~200	5	220~230	—	—
			5	220~280	—	—	—	—
			4	160~200	4	160~200	4	160~220
			—	—	5	220~280	—	—

三、焊接操作技术

1. 引弧。引弧就是把电弧稳定地建立起来的过程。引弧技术的高低，直接影响接头质量和生产效率。

引弧时，首先把焊条端部与焊件接触，然后将焊条很快地提起，在焊条提起的瞬间，电弧即被建立起来。引弧的方法有两种，即划擦法和撞击法。

划擦法是将焊条末端在工件上划擦，使电弧引燃，然后迅速将焊条提起 3~4 mm，使之稳定燃烧，这种方法的优点是电弧容易引燃，操作容易掌握，引弧效率高。缺点是容易损坏焊件的表面，造成焊件表面有电弧擦伤的痕迹，在窄小的焊接面上不易操作。

撞击法也称直击法。它是将焊条末端垂直地在焊件始焊处轻微碰击，然后迅速地将焊条提起 3~4 mm；当焊条引燃后，保持一定的电弧长度，使电弧稳定燃烧。这种引弧法的优点是会使焊件表面造成划伤，不受焊接表面的大小及焊件形状的限制。缺点是引弧效率低，往往焊条与焊件碰击几次才能使电弧引燃和稳定燃烧，操作不易掌握。

在引弧过程中，最常见的现象是焊条末端与焊件粘在一起，这是因为焊条与工件接触后焊条没有迅速提起，造成焊条与焊件接触面间的液态金属凝固（施焊初期工件温度低，散热快，液态金属凝固快），这时焊机在短路状态下工作，长时间短路会导致焊机过载与烧损。碰到这种情况，应迅速将焊条左右扭摆几下，即可使焊条脱离焊件，或立即将焊钳脱开焊条。在引弧时，还应注意焊条不要提得太高，电弧过长会使电弧不能稳定建立和燃烧。

2. 运条。运条是手弧焊过程中最重要的操作技术，它直

接影响到焊缝成形、焊接熔池的冶金与结晶状况。熟练正确地运条方法是各种位置焊缝、各种接头与坡口形式以及各种金属材料获得优质接头的重要保证。

焊接时焊条做三个方向的运动,即向熔池方向送进焊条,沿焊接方向均匀移动,横向摆动。

在焊接过程中,焊条向熔池方向逐渐下送,是为了随着焊条的熔化来维持弧长不变,焊条送进速度与焊条的熔化速度是相适应的,如果送进速度太慢,会使电弧逐渐拉长,直至断弧;如果送进速度太快,会使电弧逐渐缩短,直至焊条与熔池发生固体短路,同样会导致电弧熄灭。而焊条向前移动,由焊条金属和被熔化的母材一起形成焊缝,焊条移动速度如果太快,将会造成未焊透、未熔合以及焊缝太窄等缺陷;如果移动速度太慢,会使焊件上焊缝金属堆积过高,或引起焊件烧穿。焊条的横向摆动是为了获得较宽的焊缝,其摆动的幅度是由焊条直径、坡口型式以及所要求的焊缝宽度来决定的。

焊缝的宽度与焊缝的厚度应有恰当的比例,即成型系数,一般分为窄焊缝和宽焊缝两种。窄焊缝的宽深比小于1,窄焊缝不利于熔渣和气体从熔池中上浮逸出,易出现夹渣和气孔等缺陷,因此焊接厚板时,应开 $55^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 的坡口,以使焊缝有足够的宽度并保证焊透。多层焊的第一道焊缝时,应适当摆动焊条,宽深比以2~3为宜。

手工电弧焊有许多种运条方法,实际操作中应根据焊缝的空间位置、焊接接头的型式、坡口的种类与尺寸、焊条的直径及焊接电流的大小,以及焊件和焊接材料的化学成分等具体情况来选择合适的运条方法,以获得优良焊缝的成型,并减少焊缝中的缺陷。常见运条方法有以下几种,见图4-2。

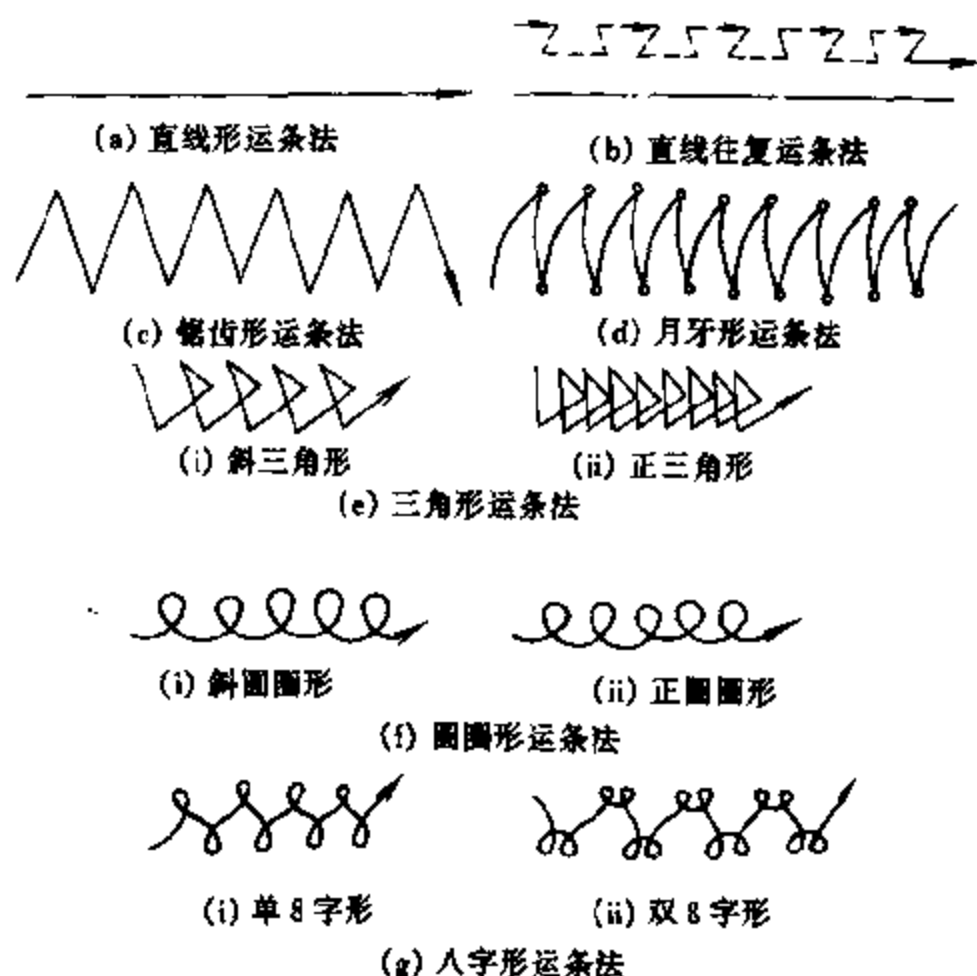


图 4-2 运条方法

(1) 直线形运条法。焊条做直线移动,不做横向摆动,所以电弧较稳定,焊缝成型好,能获得较深的熔深;但焊缝较宽,一般不超过焊条直径的 1.5 倍,所以这种方法多用于不开坡口的薄板焊接,或厚板的第一层焊道及多层多道焊中的焊接。

(2) 直线往复运条法。焊条末端沿焊缝的纵向做来回直线形摆动,这种方法的特点是焊接速度快,散热快,焊缝浅而窄,适用于薄板焊接和接头间隙较大的多层焊的第一层焊道。

(3) 锯齿形运条法。焊条末端做锯齿形摆动,并在两边稍停片刻,以防止咬边。摆动的目的是为了控制熔化金属的流动性和达到一定的焊缝宽度,以获得较好焊缝的成型。这

种运条法，操作容易，在实际生产中应用较广，多用于较厚钢板的焊接。其接头形式多为平焊或仰焊的对接接头，也用于立焊的对接和填角焊。

(4) 月牙形运条法。焊条末端沿焊接方向做月牙形左右摆动，并两边稍停留，以使边缘充分熔合。这种方法的特点是溶化金属保温时间较长，金属熔化良好，焊缝凝固缓慢，有利于气体和熔渣上浮到熔池表面，并且焊条摆动弧度较大，搅拌熔池充分，对提高焊缝质量有一定好处。在一般的平焊、立焊和仰焊位置都适用。

(5) 三角形运条法。焊条末端做三角形摆动。斜三角形运条法适用于平焊、仰焊位置的填角焊缝和横焊位置的坡口焊缝。特点是能借焊条的摆动来控制熔化金属，获得良好的焊缝的成型。正三角形运条法适用于坡口立焊和填角立焊，特点是一次能焊出较厚的焊缝断面，焊缝不易产生夹渣、气孔等缺陷，有利于提高生产率。

(6) 圆弧形运条法。焊条末端连续做圆弧形运动，并不断向前移动。斜圆弧形运条法适用于平焊、仰焊、横焊和角接焊缝焊接，其特点是容易控制熔融金属，不使其下淌，有利于焊缝成型。正圆弧形只适用于较厚焊件的平焊缝，其特点是能使熔化金属有足够高的温度，缓慢凝固，有利于熔池中的气体及熔渣上浮，获得较高的焊缝质量。

(7) 八字形运条法。焊条末端做八字形运动，并不断前进。这种运条法的特点是使焊缝边缘充分加热，使之熔化均匀，保证焊透，适于厚板多层焊的中间焊道和盖面焊道。

3. 焊缝的起头和收尾。焊缝的起头是焊缝的开始部分，通常称为引弧处。此处温度低，熔深浅，焊肉窄而高，容易产生各种缺陷。为了防止产生缺陷，可先将电弧稍提高一点，

对焊件进行必要的预热，然后再将电弧缩短到正常电弧长度进行施焊，有时常采用“回焊法”起弧焊接。

焊缝的收尾是焊缝的终止部分，通常称为熄弧处。焊接过程由于电弧的吹力，熔池呈凹坑状，并且低于已凝固的焊缝，因此，如果收弧时立即拉断电弧，则会产生弧坑缺陷。同时因收弧时熔池保护状况变差，使弧坑处易产生火口裂纹和气孔，因此收弧时一定要将弧坑填满。收弧方法有反复断弧法、划圈熄弧法和回焊熄弧法三种。反复断弧法是在熄弧处反复进行几次点弧，填满弧坑，此法不适于碱性焊条；划圈熄弧法是在熄弧处做圆圈形摆动，填满弧坑后断弧；回焊熄弧法是在熄弧处稍停顿，然后将焊条向回焊 20~30 mm，再将焊条拉向一侧，此法适用于碱性焊条。

4. 焊缝的接头。由于一根焊条只能焊有限长度的焊缝，对于长焊缝就存在接头。在焊缝接头处应力求均匀连接，避免接头过高，熔合不良，宽窄不均等缺陷。对于单面焊双面成型的接头处，应将接头处焊肉磨成缓坡形，然后焊接连接在一起。对于不同接头型式，应采用相适应的操作方法，防止产生接头缺陷。

第二节 氩弧焊

一、气体保护焊概述

气体保护电弧焊和手工电弧焊、埋弧自动焊一样，都是属于以电弧为热源的熔化焊接方法。手工电弧焊是采用渣-气联合保护的形式，以有效地保护焊接区，防止空气中有害气体的侵入，从而保证焊接接头的质量。

气体保护焊是采用气体保护的，即在电弧和熔化金属周

围造成局部的气体保护层,防止空气中的有害气体侵入电弧和熔池,以达到焊接过程的稳定,并得到高质量的焊缝。气体保护焊有许多优点,例如采用明弧焊,操作方便,适宜全位置焊接,不受空间位置的限制,有利于焊接过程的机械化和自动化;熔池和热影响区小,焊件变形与裂纹倾向不大;尤其适宜焊接化学性质活泼的金属和合金,如铝、铜、钛及其合金等。气体保护焊的缺点是不宜在有风的地方焊接,焊接设备复杂。

气体保护焊用气体种类有:氩气、氦气、氮气、氢气、二氧化碳气等。生产实践中,应用混合气体保护也很普遍,混合气体即在一种气体中加入一定分量的另一种气体,可以提高电弧的稳定性和焊接效果。

根据保护气体的化学性质和物理特性,不同气体的应用范围有所不同,氩气、氦气是惰性气体,适宜于化学性质活泼的金属,如铝、镁、钛等金属及其合金的焊接;氮气是还原性气体,对多数金属如钢、铝等是有害气体,但对于铜,是惰性的,不溶于铜,所以可作为铜及铜合金焊接的保护气体,生产中氮气常和其它气体混合使用;二氧化碳气体是氧化性气体,主要用于碳钢和低合金钢的焊接。

常用保护气体的选择见表 4-4 所列。

表 4-4 常用保护气体的选择

被焊材料	保护气体	混合比 (%)	化学性质	焊接方法
铝及铝合金	Ar		惰性	熔化极和钨极
	Ar+He	He: 10		
铜及铜合金	Ar		惰性	熔化极和钨极
	Ar+N ₂	N ₂ : 20		
	N ₂		还原性	熔化极

续表 4-4

被焊材料	保护气体	混合比 (%)	化学性质	焊接方法
不锈钢	Ar		惰性	钨极
	Ar+O ₂	O ₂ : 1~5	氧化性	熔化极
	Ar+O ₂ +CO ₂	O ₂ : 2; CO ₂ : 5		
碳钢及低合金钢	CO ₂		氧化性	熔化极
	Ar+CO ₂	CO ₂ : 15~20		
	CO ₂ +O ₂	O ₂ : 15~20		
钛及钛合金	Ar		惰性	熔化极和钨极
	Ar+He	He : 25		
镍基合金	Ar		惰性	熔化极和钨极
	Ar+He	He : 15~20		
	Ar+N ₂	N ₂ : 6	还原性	钨极

按电极形式分有：非熔化极和熔化极气体保护焊。按操作方法分有：手工、自动和半自动气体保护焊。本章着重介绍 CO₂ 气体保护焊和氩弧焊。

二、氩弧焊的基本过程

氩弧焊是用氩气作保护气体的一种气体保护焊，氩弧焊的焊接过程如图 4-3 所示，从焊枪喷嘴中连续喷出氩气，排除焊接区的空气而保护电极和熔化金属不受空气有害成分的侵害，同时利用电极（钨极或焊丝）与焊件之间电弧热，来熔化填充焊丝和基体金属，熔合凝固后形成焊缝。

氩弧焊按所用电极不同，分为钨极氩弧焊和熔化极氩弧焊两种。如图 4-3 所示。

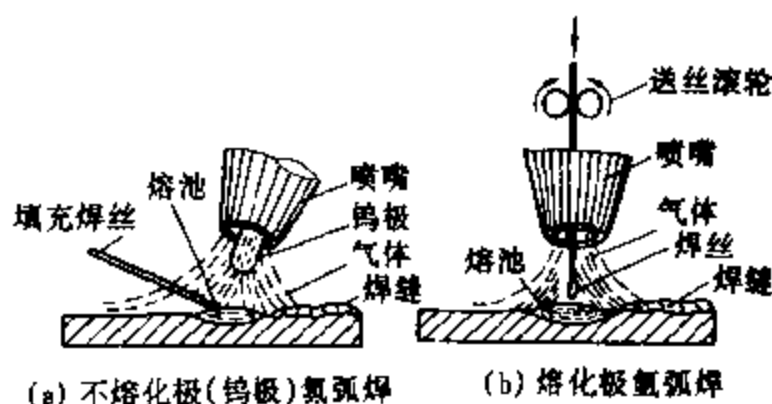


图 4-3 氩弧焊示意图

钨极氩弧焊是采用高熔点的钨棒作为电极，在氩气流的保护下，钨极和焊件之间引燃电弧，利用电弧热量熔化基体金属和填充焊丝，冷却凝固后形成焊缝。钨极只起发射电子，产生电弧作用，电极本身不熔化，故也称不熔化极氩弧焊（又称 TIG 焊）。钨极氩弧焊时，为了防止钨极的熔化和烧损，所用的焊接电流受限制，所以焊接电流不能太大，电弧功率较小，通常用于厚度小于 6 mm 的薄板焊接。按操作方式的不同，可分为手工钨极氩弧焊和自动钨极氩弧焊。焊接时可加填充焊丝，也可不加填充焊丝（即焊件自熔形成焊缝）。

熔化极氩弧焊是在氩气流的保护下，电弧在焊件和焊丝之间产生，焊丝不断送进，并熔化过渡到焊接熔池中，与液态的焊件金属混合，冷却凝固后形成焊缝。熔化极氩弧焊用焊丝作为电极，这样焊接电流可以大大提高，焊接熔深也大，因此熔化极氩弧焊（又称 MIG 焊）适用于中等厚度以上的焊件焊接。

三、氩弧的特性

由第一章焊接电弧的产生机理中，我们知道产生电弧放电的必要条件为：其一，电极间气体介质电离；其二，阴极发射电子。这两个过程与电极材料和气体介质有关。需要了解氩弧焊的电极材料和氩气放电的性能。

1. 氩气的放电性能。气体电离是引燃电弧的必要条件之一，使气体分子或原子电离所需的能量，即为电离势。氩气的电离势为 15.7 V，比起一般的金属蒸气大很多，相比其它保护气体也较高。由于氩的电离势较高，因此氩气电离所需要的能量较高，引燃电弧较困难。

由于氩气的原子体积很大，质量也很大，运动和扩散很困难，因此氩气的散热能力很低。另外由于氩气是单原子气体，温度升高后，直接电离为电子和离子，因此，消耗于电离的能量比较少。氩气还有的特点是热容量和导热率都较小，故只要较小的热量就可把电弧空间加热到高温，电弧热量不易散失，有利于气体热电离。因而在氩弧焊中，电弧一旦引燃，燃烧就很稳定。在各种保护气体中，氩弧的稳定性最好。

2. 电极材料。电极材料对电弧的稳定燃烧和焊接质量影响很大；对非熔化极氩弧焊来说，对电极材料的要求是：一是耐高温，电流容量大，焊接过程不熔化，损耗小。二是有较高的电子发射能力。

在现有的金属中，钨的熔点最高（达 3 400℃），沸点也很高（达 5 900℃），所以在非熔化电极氩弧焊中都用钨棒作电极，焊接过程电极不熔化，电弧较稳定。

为了使电弧稳定地燃烧，要求电极材料发射电子的能力

强，材料的逸出功越低、温度越高，发射电子的能力就越强。钨的逸出功为 4.54 V，相比碱金属、稀土金属较高。为了增强钨极发射电子的能力，在纯钨中加入 1%~2% 的氧化钍 (ThO_2)，即为钍钨极。由于钍是一种电子发射能力很强的稀土元素，因而电极电子发射能力显著提高。钍钨极与纯钨极比较，容易引弧，许用电流大，不易烧损，电弧稳定性好。但钍有放射性，虽然含量很低，仍对焊工身体健康有害，必须采取防护措施。

近年来新开发出铈钨极，是在纯钨中加入 2% 的氧化铈 (CeO)。由于铈钨极没有放射性危害，电子发射能力更高，所以铈钨极是目前最为理想的电极材料。

3. 钨极氩弧焊的电流种类和极性。钨极氩弧焊可以使用直流电，也可以使用交流电。电流种类和极性的选择，与被焊材料有关。

(1) 直流钨极氩弧焊。钨极氩弧焊采用直流电焊接时，电弧燃烧稳定性好，尤其采用直流正接时，电弧燃烧稳定性更好。

钨极氩弧焊采用直流反接时，由于电弧阳极温度高于阴极温度，使接正极的钨棒容易过热而烧损，为了不使钨极熔化，需限制钨极的许用电流，同时焊件上产生的热量不足，因而焊缝熔深浅而宽，生产效率低。因此直流反接应用范围较小，主要用来焊接铝、镁及其合金薄板。直流反接具有一种去除氧化膜的作用，一般称为“阴极破碎”作用。这是因为直流反接时，焊件是阴极，氩气电离后形成的大量正离子流向焊件，高速撞在金属熔池表面上，能够将高熔点且又致密的氧化膜撞碎，使焊接过程顺利进行，这种现象称为“阴极破碎作用”（或“阴极雾化”作用）。直流正接时，没有“破

碎”作用，因为撞在焊件表面的是电子，电子质量要比正离子质量小得多，撞击力很弱，所以不能使氧化膜破碎，焊接过程无法正常进行。在焊接铝、镁及其合金时，由于金属的化学性质活泼，极易氧化，形成熔点很高的氧化膜（如 Al_2O_3 ，熔点为 2050°C ，而铝的熔点为 650°C ），焊接时氧化膜覆盖在熔池表面，阻碍基体金属和填充金属的良好熔合，无法使焊缝很好成型。因此必须把被焊金属表面的氧化膜去除才能进行焊接。气焊时，是采用熔剂把氧化膜去除，氩弧焊时不用熔剂，而是依靠电弧的阴极破碎作用去除氧化膜。

钨极氩弧焊采用直流正接时，由于电弧在焊件的阳极区产生的热量大于钨极阴极区，致使焊件的熔深增加，焊接生产率高，而且钨极不易过热与烧损，所以对于同一焊接电流可以采用直径较小的钨棒，使钨极的许用电流增大。同时电流密度也大，使电子发射能力增强，电弧燃烧稳定性要比直流反接时好。因此，除了铝、镁及其合金外，其它金属的焊接都采用直流正接。

(2) 交流钨极氩弧焊。焊接铝、镁及其合金一般采用交流电源。因为采用直流反接时，钨极为正极，电弧的阳极温度比阴极温度高得多，所以钨极的烧损严重，电弧不稳定，钨极的许用电流很小，只有焊接薄板，电流很小时，才可使用直流反接焊接。为了改善钨极的冷却状况，同时又要产生阴极破碎作用，采用交流焊接电源可以达到这些要求，由于交流极性是不断变换的，在正极性的半周波里（钨极为阴极），钨极可以得到冷却，以减小烧损，而在反极性的半周波里（钨极为阳极），有阴极破碎作用，熔池表面的氧化膜可以去除，但是，采用交流焊接电源时，需要采取引弧、稳弧的措施和消除所产生的直流分量。

交流钨极氩弧焊的电压和电流波形如图 4-4 所示。由图 4-4 (a) 可知, 电弧电压的波形与电源电压波形相差很大, 这是因为电弧的电阻值不是常数, 而是随电弧空间和电极表面的温度时刻变化的结果。

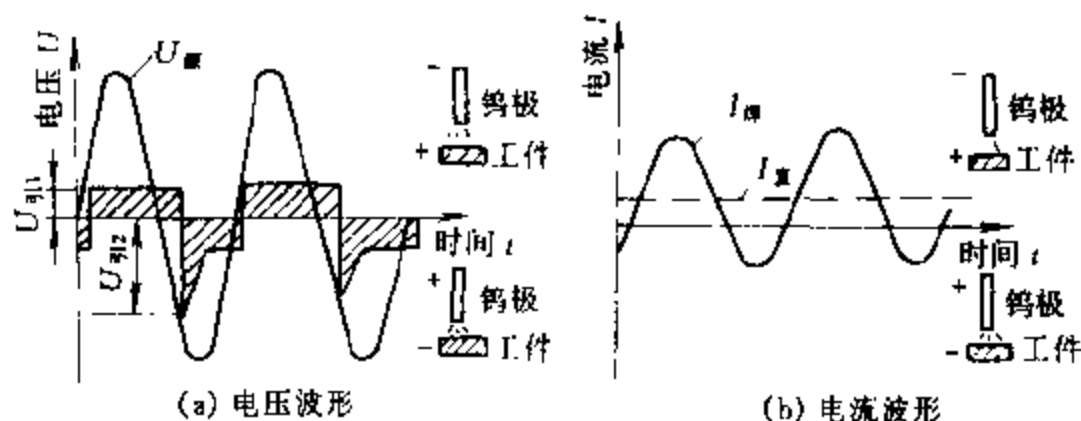


图 4-4 交流钨极氩弧焊的电压和电流波形

U_s —电源电压; U_{q11} —正半波引弧电压;

U_{q12} —负半波引弧电压; I_a —焊接电流; I_d —直流分量

由于交流电的焊接电流是 50 Hz 的正弦波, 所以电流每秒有 100 次通过零点, 当电流每次经过零点时, 电弧将瞬时熄灭, 然后再重新引燃, 电弧再引燃要求有一定的引燃电压, 一般都比正常的电弧电压要高, 所以只有电源电压增大到大于引燃电压时, 电弧才能引燃, 然后过渡到正常的电弧电压。

用交流电进行焊接时, 焊件和钨极的极性不断变换, 当正半波时, 钨极为负极, 由于钨极的熔点高, 导热系数低, 且断面尺寸小, 可使电极端部加热到很高的温度, 同时热量损失少, 这样钨极容易维持高温, 电子发射能力强, 电弧导电容易。因此电弧电流较大, 电弧电压较低, 对引燃电压的要求不高。而当在交流的负半波里, 焊件为负极, 由于焊件熔点低, 导热性能好, 断面尺寸大, 以致金属熔池表面不能加

热到很高的温度，电弧在焊件上产生的热量较少，使电子发射能力减弱，所以电弧电流较小，电弧电压及再引燃电压较高，电弧重新引燃困难，电弧稳定性很差。而对于熔化极氩弧焊，焊丝和母材是同一种材料，两者物理性能相同，散热能力不同只是由于截面不等，这种因极性变化而导电性能随之而变的现象就不那么显著。

从图 4-4 (b) 可知，两个半波的电流是不相等的，因为交流电弧里两个电极的电子发射能力有很大的差别，正负半波时的电弧导电情况不大相同，当钨极为阴极时半波电流大，为阳极时半波电流小。因此在这个交流电路中的电流是由两部分组成，一部分是真正的交流，另一部分则是直流。直流的方向同钨极为阴极的那个半波的方向相同，使负半波的电流减弱了，在焊接电路中产生的这个直流电流，称为直流分量，正负半波电流相差越大，直流分量也就越大。所形成的直流分量对焊接工艺及交流电源均不利：其一是削弱了“阴极破碎”作用；其二使焊接变压器的工作条件恶化，易损坏设备。

4. 引弧和稳弧措施及消除直流分量方法。氩气的电离势较高，引燃电弧困难，要求焊接电源具有较高的空载电压，而依靠提高空载电压的方法不安全。通常钨极氩弧焊是使用高频振荡器来引燃电弧。对于交流钨极氩弧焊，需使用脉冲稳弧器，以保证重复引燃电弧，并且常在焊接回路中串接电容，来消除交流回路中产生的直流分量。

(1) 高频振荡器。这是钨极氩弧焊设备的专门引弧装置，主要用于焊接开始时的第一次引弧。高频振荡器是一个高频高压发生器，可输出空载电压 2 000~3 000V，频率为 150~260 kHz 的高频高压电。由于其空载电压很高，能在电弧中空

间产生很强的电场，该电场一方面加强了阴极的电子发射作用，另一方面电子和离子在电弧空间被强电场加速，动能很大，碰撞时氩气就容易电离，克服氩弧不易引燃的困难，当钨极和焊件距离 2 mm 左右时，就能把电弧引燃。

(2) 脉冲稳弧器。交流钨极氩弧焊一般都采用脉冲稳弧器来稳弧。交流氩弧焊电弧不稳定的原因是电流通过零点之后重新引弧困难，负半波时需很高的引燃电压。如果在正半波向负半波转变瞬间，施加一个高压脉冲而迅速向电弧放电，就有利于电弧的重新引燃，而达到稳弧的目的。对脉冲稳弧的要求是，输出脉冲必须和焊接电源同步，也就是电流通过零点后，负半波开始输出足够功率的脉冲。一般脉冲电压 200 ~ 250 V，脉冲电流 2 A 左右，它可与高频振荡器联合使用。当高频振荡器保证第一次引弧后，然后用高压脉冲放电保证电弧重复引燃，这样解决了交流焊接的引弧和稳弧问题。

(3) 串联电容消除直流分量。在焊接回路串联电容，可以达到完全消除直流分量的目的。因电容器有顺利通过交流而阻止直流的作用，这就起到了消除直流分量的作用。电容量的选择，一般按最大焊接电流计算。一般为每安培电流需要 300 μF 。这种方法效果很好，使用较为普遍。

四、钨极氩弧焊工艺

1. 焊前准备。钨极氩弧焊时，必须对被焊材料的焊缝附近及焊丝进行焊前清理，除掉金属表面的油污、氧化膜等杂质。

清洗油污可用有机溶剂汽油、丙酮等擦洗。也可用下列溶剂去油，其成分为：磷酸钠 (Na_3PO_4) 50 g、碳酸钠 (Na_2CO_3) 50 g、水玻璃 (Na_2SiO_2) 30 g，加水 1 L，温度 65 $^{\circ}\text{C}$

清洗 5~8 min,再用 50℃ 净水冲洗,附在工件表面的溶液,最后用流动水冲洗,擦干。

去除氧化膜,可用钢丝刷、不锈钢丝刷等机械方法清除。也可用化学清洗法,如焊铝、镁等材料时,它们的化学性质很强,在空气中能生成一层厚厚的氧化膜,若焊前不清理,将严重影响焊接质量。一般铝、镁等材料用酸洗或碱洗去除氧化膜。焊接不锈钢时,用机械法清理即可。

2. 气体保护效果。在焊接过程中,氩气的保护效果会受到多种工艺因素的影响,如喷嘴结构、气体流量、电弧功率、焊接速度和接头型式等因素都影响着氩气的保护效果。

(1) 喷嘴到工件距离。喷嘴到工件距离增加,空气混入程度增加,保护效果恶化。距离太近又会影响焊工观察熔池。一般喷嘴距工件 10 mm 左右比较合适。

(2) 气体流量和喷嘴直径。气体流量主要根据喷嘴直径来选择,对于一定孔径的喷嘴,选用的氩气流量要适当,如流量过大,则气体流速增大,难以保持稳定的层流,对焊接区保护作用不利,同时带走电弧区的热量多,影响电弧稳定燃烧;而流量过小也不好,容易受到外界气流的干扰,以致降低气体保护效果。喷嘴直径也应合适,过小,保护范围窄,效果差;过大,影响焊工观察熔池。一般喷嘴直径 5~20 mm,氩气流量在 3~20 L/min 范围内。

(3) 焊接速度。在一定的钨极直径、焊接电流和氩气流量条件下,焊速过快,保护气流层由于受到空气的阻力而偏向一方,特别是高速氩弧焊时,这种现象很明显,焊速过大时,就会使电极和熔池失去保护。因此焊接速度增加时,要适当增加氩气的流量,以增加保护气流的刚度,加强保护作用。

(4) 焊接接头形式。不同的接头型式使氩气对工件表面

的覆盖作用也不同，如图 4-5 (a)、(b) 中工件是对接和填角焊缝时，气流可以很好地覆盖工件表面，保护效果好。而如图 4-5 (c)、(d) 所示的搭接焊缝和角接焊缝焊接时，由于空气容易沿工件表面从保护气流下面侵入焊接熔池，保护效果不好。如果采取加挡板的方法，可以提高气体保护效果，如图 4-6 所示。对于要求较高的工件焊接时，在焊缝背面也采用氩气保护，如图 4-7，反面氩气流量是正面焊接氩气流量的 30%~50%。如管子对接根部焊缝焊接时，常常在管子内充氩保护，能够提高保护效果，改善背面成型。钛材料焊接时，焊缝正反面应加保护罩充氩保护焊缝区。

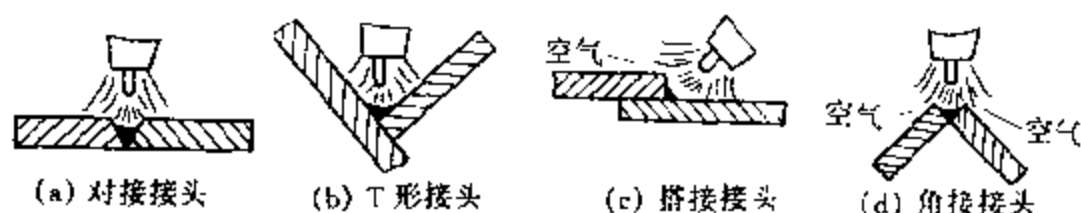


图 4-5 不同接头型式的氩气保护效果

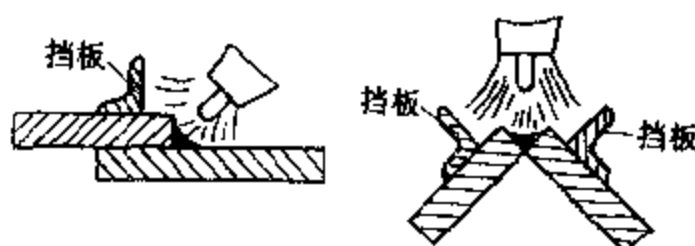


图 4-6 氩弧焊时临时挡板的安装

焊接过程气体保护效果的好坏，可用观察焊缝表面的色泽来评定。对于不锈钢材料，若焊缝表面呈银白、金黄色时，则气体保护效果良好，而出现灰色、黑色时，说明气体保护效果不好。铝及铝合金焊缝呈银白色最好，灰色、黑色最差。

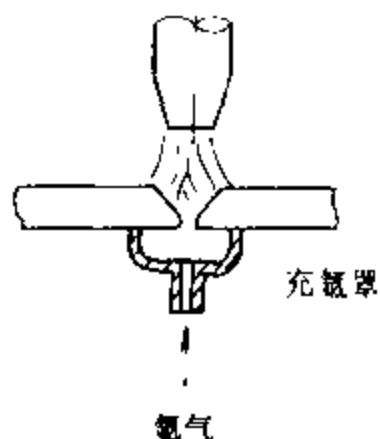


图 4-7 焊缝背面充氩保护

3. 焊接规范的选择。钨极氩弧焊规范参数的选择次序是，首先根据被焊材料和板厚选定焊接电流，然后就可相应确定钨极直径、喷嘴直径、氩气流量和焊接速度等参数。表 4-5 为铝及铝合金平对接板手工交流钨极氩弧焊的主要焊接工艺参数。

4. 钨极氩弧焊操作工艺。

(1) 引弧。一般专用氩弧焊设备设有引弧装置，先使钨极与待焊处保持一定距离，启动引弧器，这时高频电流或高压脉冲电流引起放电引燃电弧。使用简易氩弧焊设备，采用短路接触法引弧，钨极在试件上轻轻接触一下随即抬起即可引燃。

(2) 收弧。收弧方法不当，很容易产生弧坑、弧坑裂纹、气孔等缺陷。如设备有电流衰减装置，收弧时，应填满弧坑，按动电流衰减按钮，使电流逐渐减少后熄灭电弧，焊枪应保持不动，对于有延滞送气的设备，电弧熄灭后，喷嘴仍应对着收弧处数秒后再移开。如设备没有电流衰减装置，收弧时，不要突然拉断电弧，应填满弧坑，缓慢提起电弧。

(3) 操作要领。左手拿焊丝，右手握枪，右手指接触焊件作为支点以利电弧稳定。焊枪喷嘴与焊件表面保持后倾角 80° 左右，填充焊丝与焊件表面夹角 $10^\circ \sim 15^\circ$ 左右，焊丝倾角越小越好，不会影响氩气流。填丝时，缓慢送入熔池，待焊丝端头熔化后，移出熔池，然后再将焊丝重复送入，但焊丝端头不能离开氩气保护区，以免氧化；或将焊丝端头侵入熔

表 4-5 铝及铝合金手工钨极氩弧焊接工艺参数

板厚 (mm)	坡口形式			焊丝直径 (mm)	钨极直径 (mm)	喷嘴直径 (mm)	焊接电流 (A)	氩气流量 (L/min)	焊接层数 (正/反)
	形式	间隙 (mm)	钝边 (mm)						
1	I	0.5~2	—	1.5~2	1.5	5~7	30~60	4~6	1
1.5	I	0.5~2	—	2	1.5	5~7	40~70	4~6	1
2	I	0.5~2	—	2~3	2	6~7	60~80	4~6	1
3	I	0.5~2	—	3	3	7~12	120~140	6~10	1
4	I	0.5~2	—	3~4	3	7~12	120~140	6~10	1~2/1
5	V70°	1~3	—	4	3~4	12~14	120~140	9~12	1~2/1
6	V70°	1~3	2	4	4	12~14	180~240	9~12	2/1
8	V70°	2~4	2	4~5	4~5	12~14	220~300	9~12	2~3/1
10	V70°	2~4	2	4~5	4~5	12~14	260~320	12~15	3~4/1~2
12	V70°	2~4	2	4~5	5~6	14~16	280~340	12~15	3~4/1~2

池中，连续不断填入并向前移动。焊接过程尽量减少接头，尤其打底焊道，多层焊接时接头错开。应控制线能量防止打底焊道过热。

五、熔化极氩弧焊

1. 熔化极氩弧焊的特点。采用钨极氩弧焊虽然能获得优良的焊接质量，但因受到钨极许用电流的限制，所以焊接电流不能太大，熔深也受到影响。当焊件厚度在 6 mm 左右时需开坡口，进行多层焊及大厚度焊件需预热与保温。因此，中等厚度以上的焊件，钨极氩弧焊方法很难适应焊接的需求，其生产率低、焊接变形大、劳动条件差，不能满足中、厚板的焊接要求。

熔化极氩弧焊是用焊丝作为电极，所以焊接电流可以大大提高，因而能得到熔深大的焊缝，焊丝的熔敷速度较快，提高了生产率，特别适用于中等厚度和大厚度板材的焊接。例如厚度为 75 mm 的铝板，采用大电流 MIG 焊时，只需双面各焊一层，即可焊透。由于采用氩气作为保护气体，所以几乎可以焊接所有的金属，如铝、镁、钛及其合金等。

熔化极氩弧焊的熔滴过渡特点决定了熔滴过渡形式。当采用短路过渡或颗粒状过渡焊接时，由于飞溅严重，电弧重新引燃困难，焊件金属熔化不良及容易产生焊缝缺陷，所以熔化极氩弧焊一般不采用短路过渡或颗粒状过渡形式。在采用射流过渡的焊接过程中，焊丝的熔滴以很小微粒流形式高速射入熔池，使过渡过程稳定，飞溅减小，熔深增大，电弧的功率也较大。所以熔化极氩弧焊熔滴过渡多采用射流过渡的形式。

2. 熔化极氩弧焊的焊接工艺参数。熔化极氩弧焊的焊接

工艺参数有：焊丝直径、焊接电流、电弧电压、焊接速度、喷嘴直径、氩气流量等。

焊接电流和电弧电压是获得射流过渡形式的关键，一般焊接电流应大于临界电流值，电弧电压选低一些，这样可获得射流过渡形式。在焊接铝合金时，一般都选用较低的电弧电压，使熔滴呈现“亚射流过渡”。这时阴极破碎区大，焊缝成型好，焊接缺陷也较少。熔化极氩弧焊中，一般都采用直流反接（焊丝接正极）。直流反接，不仅电弧稳定，而且焊铝时可以清除熔池表面的氧化膜。

由于熔化极氩弧焊对熔池和电弧区的保护要求较高，而且电弧功率及熔池体积一般比钨极氩弧焊时大，所以氩气流量和喷嘴孔径要相应增大，通常喷嘴孔径为 20 mm 左右，氩气流量约为 30~60 L/min 范围内。

熔化极氩弧焊焊接纯铝的焊接工艺参数见表 4-6。

表 4-6 纯铝熔化极氩弧焊的焊接工艺参数

焊件厚度 (mm)	V 型坡口尺寸				焊丝直径 (mm)	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (m/h)	喷嘴孔径 (mm)	氩气流量 (L/min)
	钝边 (mm)	坡口角度 (°)	间隙 (mm)	焊接层数						
6	—	—	0~0.5	1	2.5	230~260	20~30	25~26	22	30~33
8	4	100	0~0.5	1	2.5	300~320	20~22	25~29	22	30~33
12	8	120	0~1	2	3	320~330	27~28	15	22	30~33
20	12	120	0~1	2	4	480~520	28~32	16~19	28	35~40

第三节 二氧化碳气体保护焊

一、CO₂ 气体保护焊的基本过程和特点

CO₂ 焊是用 CO₂ 作为保护气体，用焊丝和工件之间产生的电弧来熔化焊丝和工件的一种熔化极气体保护焊。

1. CO₂ 焊的焊接基本过程。CO₂ 焊的焊接过程如图 4-8 所示。电源的两输出端分别接在焊枪和焊件上，焊丝由送丝机构带动，经软管和导电嘴不断地向电弧区送给，同时，CO₂ 气体以一定的压力和流量流入焊枪，通过喷嘴后，形成一股保护气流，使熔池和电弧不受空气的侵入。随着焊枪的移动，熔池金属冷却凝固而成焊缝，从而将被焊的焊件连成一体。

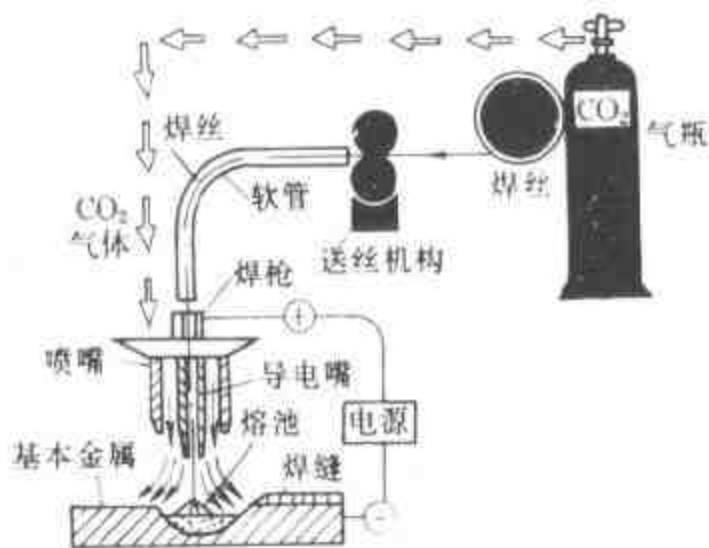


图 4-8 CO₂ 保护焊过程示意图

CO₂ 焊按所用的焊丝直径不同，可分为细丝 CO₂ 气保焊和粗丝 CO₂ 气保焊。按操作方式又可分为 CO₂ 半自动焊和 CO₂ 自动焊。CO₂ 半自动焊是用手工操作焊枪完成电弧热源

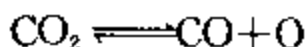
移动，而送丝、送气机构同 CO_2 自动焊相同，由相应的机械装置来完成， CO_2 半自动焊的机动性大，适用不规则或较短的焊缝， CO_2 自动焊主要用于较长的直焊缝和环焊缝。

2. CO_2 焊的特点。 CO_2 焊除了具有气体保护焊的共同优点外，还有以下优点：由于采用了高锰高硅型焊丝，所以具有较强的还原和抗锈能力，焊缝不易产生气孔；含氢量低，抗裂性能好；成本低，其成本为埋弧自动焊的 40%，为手工电弧焊的 37%~42%； CO_2 焊的焊接电流密度大，焊丝熔敷速度较高，焊后不用清渣，所以生产率高，其生产率比手工电弧焊提高 1~4 倍。 CO_2 焊因为有以上优点，近 30 多年来发展很快，它不仅用于低碳钢、低合金钢的焊接，而且还用于磨损件的堆焊和铸钢件缺陷的补焊。

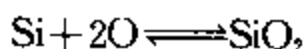
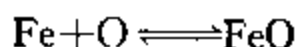
由于 CO_2 气体相对密度较大，在受电弧加热后体积膨胀也较大，所以在隔离空气，保护焊接熔池和电弧方面，效果相当好。但是在电弧气氛中具有较强的氧化性，使合金元素烧损，引起气孔以及焊接过程中产生飞溅等，这是 CO_2 焊接的主要问题。

二、 CO_2 焊接的冶金特点

CO_2 气体在电弧高温下，被分解成一氧化碳和氧，其分解程度与温度有关，温度越高，分解程度越大，分解方程如下：



其中 CO 在焊接条件下不溶于金属，也不与金属发生反应。而原子状态的氧使铁及合金元素迅速氧化，它们的化学反应式如下：



如果焊丝中含有足够的脱氧元素硅和锰，以及限制焊丝中的含碳量，就可以抑制上述的氧化反应，有效地防止CO气孔的产生和减少飞溅。

三、CO₂ 焊的熔滴过渡

CO₂ 焊主要有两种熔滴过渡形式：短路过渡和颗粒状过渡。不同的焊接规范，产生不同的熔滴过渡形式。

1. 短路过渡。采用细焊丝、小电流和低电压焊接时，则会形成熔滴的短路过渡过程。由于电弧长度很短，焊丝端部熔化的熔滴长大到一定程度时与熔池接触发生短路，此时电弧熄灭，形成焊丝与熔池之间的液态金属搭桥，熔滴金属在各种电弧力的作用下，很快地脱离焊丝端部过渡到熔池，随后电弧又重新引燃。这样周期性的短路-燃弧交替过程，称为短路过渡过程。

短路过渡主要适用于 $\phi 0.6 \sim \phi 1.6$ 之间的细焊丝，随着焊丝直径增大，飞溅增多，飞溅颗粒增大。由于短路频率很高，所以电弧非常稳定，飞溅小，焊缝成型良好。这种过渡形式是CO₂ 焊普遍使用的过渡形式，尤其适宜于薄板焊接及全位置的焊接。

2. 颗粒状过渡。当采用的焊接电流和电弧电压高于短路过渡条件时，会出现颗粒状过渡形式。由于电弧长度增大，焊丝熔化加快，使熔滴颗粒增大，形成颗粒状过渡，其过渡过程稳定性较差，飞溅较大，焊缝成型粗糙。

焊接电流和电弧电压对颗粒状过渡的稳定性有显著的影响。当焊接电流增大（电弧电压也相应增大）时，会使颗粒状过渡的熔滴体积减小，颗粒细化；且熔滴过渡频率增加，焊接过程较稳定，飞溅减少，母材熔深较大，适合于中等厚度

和大厚度焊件的焊接。

四、CO₂ 焊的飞溅问题

飞溅是 CO₂ 焊的主要缺点之一。通常颗粒状过渡过程的飞溅程度要比短路过渡过程严重得多。在一般情况下，飞溅金属的损失约占焊丝熔化量的 5%~10%，严重时约占 20%~30%。CO₂ 焊的大量飞溅，不仅增加了焊丝的损耗，并使焊件表面被金属熔滴溅污，影响外观质量。同时飞溅物容易造成喷嘴堵塞，使气体保护效果变差，导致焊缝易产生气孔。因此，应尽量减少飞溅，才能保证 CO₂ 焊的生产率和焊接质量。

减少飞溅的措施要针对其产生原因而制定。对于冶金反应中 CO 气体膨胀引起的飞溅，可采用含有锰、硅脱氧元素的焊丝，并降低焊丝中的含碳量，这种飞溅可大大减少；当使用正极性焊接时，正离子飞向焊丝端部的熔滴，机械冲力大，形成大颗粒飞溅。因此 CO₂ 焊应选用直流反接，这样，飞向焊丝端部的电子撞击力小，致使极点压力大为减小，飞溅也较少；短路过渡焊接时，如焊接电源的动特性不好，则飞溅较严重，当短路电流上升速度过快而短路峰值电流过大，使液体金属小桥突然爆断面产生小颗粒飞溅。而当短路电流上升速度过慢，短路电流峰值过小，使熔滴体积增大，焊丝成段软化而断落，引起大颗粒飞溅。减少这种飞溅的方法，主要是调节焊接回路中的电感值；当焊接工艺参数选择不匹配时，也会引起飞溅，因此正常焊接前，应通过试焊选择合适的焊接电流、电弧电压和回路电感等工艺参数。

五、CO₂ 焊的焊接工艺参数

CO₂ 焊的规范参数主要有：焊丝直径、焊丝伸出长度、气

体流量、焊接电流、电弧电压、焊接速度、电源极性和焊接回路电感等。

1. 焊丝直径。焊丝直径应根据焊件厚度、接头型式、焊接位置及生产率来选择。当焊接薄板或中厚板的平、立、仰、横焊时,采用直径 1.6 mm 以下的焊丝;中厚板的平焊位置焊接时,可以采用直径 1.6 mm 以上的焊丝。焊丝直径选择可参考表 4-7。

表 4-7 焊丝直径的选择

焊丝直径 (mm)	焊件厚度 (mm)	施焊位置
0.8	1~3	各种位置
1.0	1.5~6	
1.2	2~12	
1.6	6~25	
≥1.6	中厚	平焊、平角焊

2. 焊丝伸出长度。焊丝伸出长度大,焊丝容易过热而成段熔断,飞溅增加,气体保护效果差。焊丝伸出长度小,喷嘴到焊件距离小,喷嘴极易被飞溅堵塞。一般焊丝伸出长度为焊丝直径的 10 倍左右,约为 5~15 mm,不超过 15 mm。

3. 气体流量。 CO_2 气体流量应根据焊接电流、焊接速度、焊丝伸出长度、喷嘴直径来选择,过大或过小的气体流量都会影响气体保护效果。

细丝小电流短路过渡焊接时,气体流量为 5~15 L/min,粗丝大电流射流过渡焊接时,气体流量为 10~25 L/min。

4. 焊接电流。焊接电流应根据焊件厚度、焊丝直径、焊

接位置及熔滴过渡形式来决定。随着焊接电流增加，熔深和余高增加，焊缝宽度保持不变。采用 0.8~1.6 mm 焊丝，当短路过渡时，焊接电流在 50~230 A 内选择；颗粒状过渡时，焊接电流在 250~500 A 内选择。

5. 电弧电压。电弧电压必须与焊接电流相匹配，它的大小直接影响到焊缝成型、飞溅、气孔及焊接过程的稳定性。实际生产中，电流和电弧电压的匹配关系可按图 4-9 所示的范围进行选择，这样焊接过程是稳定的。

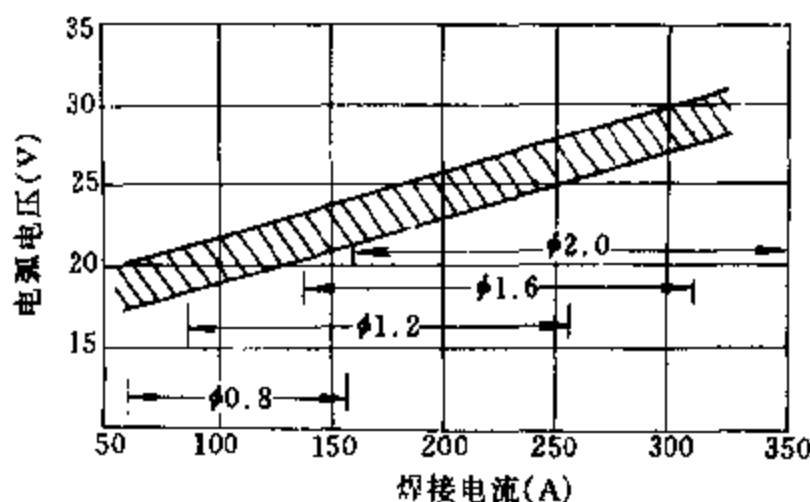


图 4-9 短路过渡时电弧电压与焊接电流关系

6. 焊接速度。在一定的条件下，焊速增加，焊缝的熔宽和熔深减小。焊速过快，会引起焊缝产生咬边、气孔、未焊透等缺陷。焊速过慢，会引起过热，焊接变形增大。一般 CO_2 半自动焊的焊速在 15~30 m/h。

7. 电源极性。电源极性一般采用直流反极性，这样飞溅小，电弧稳定。

8. 焊接回路电感。焊接回路的电感值应根据焊丝直径和电弧电压来选择。不同直径焊丝的合适电感值见表 4-8 所示。一般通过试焊的方法来确定，若焊接过程稳定，飞溅很少，则

此电感值是合适的。

表 4-8 不同直径焊丝合适的电感值

焊丝直径 (mm)	0.8	1.2	1.6
电感值 (mH)	0.01~0.08	0.10~0.16	0.30~0.70

六、CO₂ 焊操作工艺特点

半自动 CO₂ 焊,用手工操作焊枪完成电弧热的移动,而送丝、送气等同自动 CO₂ 焊完全一样,由机械装置完成。半自动 CO₂ 焊机机动性大,适用不规则、各种位置的焊缝的焊接。在工程结构焊接中,半自动 CO₂ 焊应用较多,自动 CO₂ 焊应用较少。

半自动 CO₂ 焊操作手法相比手工电弧焊较简单,焊枪只做向前移动和小范围横向摆动,而半自动 CO₂ 焊枪较笨重,增加了焊工的劳动强度。

1. 引弧。引弧有短路引弧法和送丝引弧法。

2. 熄弧。熄弧时,焊枪保持不动,对住收弧位置,间断短路 2~3 次填满弧坑,然后切断电源,送丝停止,送气滞后关闭。一般用电压衰减熄弧法较多,常见设备都有电压衰减装置和延时送气装置。

第四节 埋弧自动焊

一、埋弧自动焊特点及应用

埋弧焊又称焊剂层下电弧焊,是焊接生产中应用广泛的一种机械化、高效率的焊接方法。

1. 埋弧自动焊的优点。

(1) 焊接生产率高。因为埋弧焊可采用较大的焊接电流，电弧加热集中；因此电弧熔深能力和焊丝熔化效率都比手工电弧焊大大提高。相比手工电弧焊，生产率可提高5~30倍，被焊金属越厚，则生产率越高。

(2) 焊缝质量高。因熔池电弧区有熔渣和焊剂保护，空气中有害气体很难侵入，焊缝中含氮量和含氧量都大大降低。同时由于焊接速度快，线能量集中，故热影响区宽度窄，焊接变形小，焊缝外观光滑平整。

(3) 节省焊接材料和电能。由于电弧热源集中，热容量大，焊缝熔深大，需要金属填充量少，一般不开坡口单面一次焊接的熔深可达20 mm，同时电弧区被熔渣壳严密封闭，烧损和飞溅很小，隔热效果好，使得电弧热能充分用于熔化焊丝和母材，电弧热利用率比手工电弧焊高几倍。

(4) 焊工劳动条件好。由于实现焊接过程机械化，操作简便，同时因为是埋弧，减少弧光对焊工眼睛的刺射和飞溅对焊工身体的烧伤。烟尘放出少，焊工劳动条件大大改善。

2. 埋弧自动焊的缺点。

(1) 由于焊缝上覆盖一层颗粒状焊剂，所以主要用水平位置的焊接。其它位置目前还无法焊接。

(2) 由于是自动焊，适应性较差，因而对焊件装配质量要求较高，对焊接胎具要求较高。

(3) 设备复杂，维修保养工作复杂。机动灵活性差，只适于长焊缝的焊接。

(4) 由于埋弧焊剂成分主要是氧化锰、氧化硅等氧化物，不适于焊接铝、钛等氧化性强的金属及合金。

3. 埋弧焊的应用。由于以上诸多优点，埋弧焊在造船、

化工容器、锅炉、桥梁、起重机械及冶金机械制造中广泛应用，主要用于焊接碳素结构钢、低合金结构钢、耐热钢及不锈钢等钢板结构，也可用于堆焊耐磨耐蚀合金或用于镍基合金、铜合金的焊接。

二、埋弧自动焊的基本过程

埋弧自动焊是一种电弧在颗粒状焊剂下燃烧的熔焊方法，电弧埋在焊剂下，故称为埋弧焊，见图 4-10。

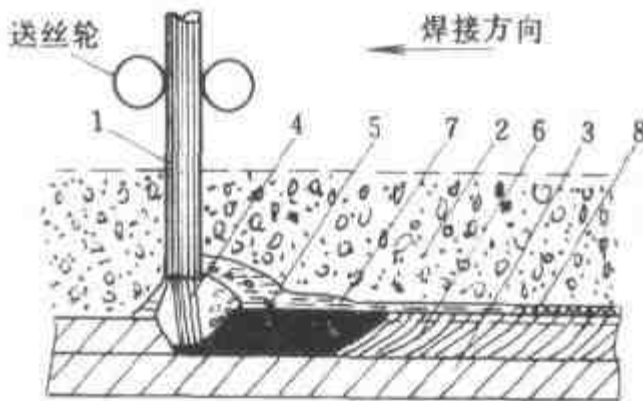


图 4-10 埋弧自动焊示意图

- 1—焊丝；2—焊剂；3—母材；4—电弧；5—熔池；
6—焊缝；7—熔渣；8 渣壳

焊接过程中，焊丝通过送丝机构送入颗粒状焊剂下，与焊件之间产生电弧，焊丝与焊件熔化形成熔池，熔池金属结晶成焊缝，部分焊剂熔化形成熔渣，并在电弧区形成封闭空间，液态熔渣凝固后成为渣壳，覆盖在焊缝金属上面。随着焊接电弧沿焊接方向移动，焊丝不断地送进并熔化，焊剂也不断地撒在电弧周围，使电弧埋在焊剂层下燃烧，完成自动焊接过程。

三、埋弧焊焊缝形状尺寸

焊缝宽度 B 与焊缝熔池深度 H 之比，称为焊缝形状系数，以字母 ψ 表示，用公式表示即为， $\psi = B/H$ 。它表示了焊缝形状尺寸的特征，如图 4-11 所示。焊缝形状系数对焊缝质量影响很大， ψ 值过小时，焊缝形状深而窄，容易产生气孔、夹渣、结晶裂纹等缺陷； ψ 值过大，焊缝浅而宽，容易产生未焊透、未熔合缺陷，同时浪费材料。焊接时，必须控制焊缝形状，使 ψ 值在 1.3~2 之间。



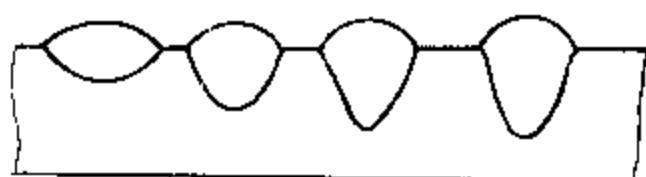
图 4-11 焊缝形状

形状系数 ψ 影响着焊缝的工艺质量，而焊缝金属的化学成分、金相组织和机械性能，由熔合比 γ 大小来确定。熔合比是指熔化的母材在焊缝金属中所占的比例。如图 4-11 所示， S_m 为母材金属熔化横截面积， S_H 为焊缝填充金属横截面积，则 S_m 与整个焊缝横截面积 ($S_m + S_H$) 的比值即为熔合比， $\gamma = S_m / (S_m + S_H)$ 。熔合比大时，母材中有害杂质会大量进入焊缝金属中，影响焊缝金属的组织 and 性能，一般采用小的熔合比。

四、焊接工艺参数对焊缝质量的影响

埋弧焊的焊接工艺参数有：焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝直径和其它工艺因素等。

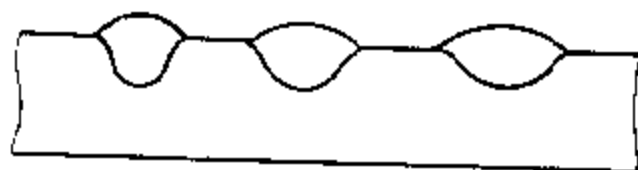
1. 焊接电流。当其它参数不变，焊接电流增大时电弧吹力增强，使熔深增大，对焊缝宽度影响不大。另外，电流增大，焊丝熔化量增大，焊缝余高增加。焊接电流对焊缝形状的影响如图 4-12 所示。电流过大，熔深显著增加，形成窄而深的焊缝，易产生气孔、夹渣、结晶裂纹等缺陷，还会引起烧穿现象。电流过小，电弧燃烧不稳定，焊缝成型不良并易产生未熔合缺陷。



焊接电流增大,其它参数不变

图 4-12 焊接电流对焊缝形状的影响

2. 电弧电压。当其它工艺参数不变，电弧电压增加，焊缝宽度明显增加，而熔深和余高有所下降。电弧电压对焊缝形状的影响如图 4-13 所示。电弧电压降低，焊缝宽度减小，焊缝变得高而窄。



焊接电压增大,其它参数不变

图 4-13 焊接电压对焊缝形状的影响

过高或过低的电弧电压，都会产生不利影响，引起焊缝成形不良等缺陷。

3. 焊接速度。当其它工艺参数不变，焊接速度增大，电

弧对母材加热能量减小，焊缝宽度明显减小，而此时由于电弧后拖向后倾斜，对熔池底部液态金属排出作用加强，熔池深度略有增加，如图 4-14 所示。当速度增加到一定值后，熔深和熔宽都随速度增大而减小。实践证明，当焊速在 40 m/h 以内时，熔深通常随焊速增大而略有增加，焊速超过 40 m/h 以后，熔深和熔宽都随之减小。焊接速度过大，则焊件与填充金属容易产生未熔合的缺陷。焊速应与选定的电弧电压和焊接电流相匹配，才能获得优质的焊缝。

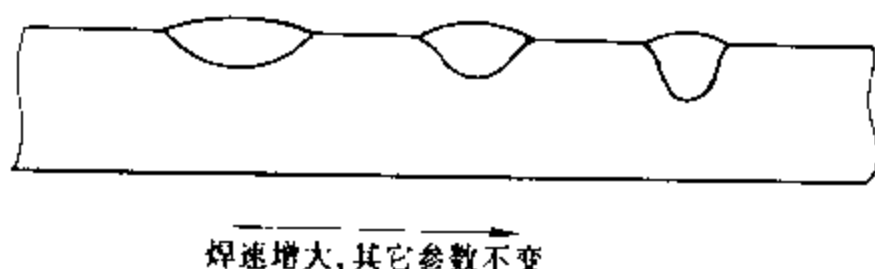


图 4-14 焊接速度对焊缝形状的影响

4. 焊丝直径。当焊接电流不变，焊丝直径增大，使电流截而增大，电流密度减小，电弧吹力减弱，电弧摆动作用加强，焊缝的熔宽增加而熔深减小；焊丝直径减小时电流密度增大，电弧吹力加强，焊缝熔深增加。

焊丝直径根据焊件厚度、坡口形式和设备条件来选择。

5. 焊丝倾斜和焊件倾斜。焊丝向焊接方向倾斜称为后倾，反焊接方向倾斜则为前倾。焊丝后倾时，电弧吹力对熔池液态金属的作用加强，有利于电弧的深入，熔深和余高增大，而熔宽减小。焊丝前倾时，电弧对熔池前面焊件预热作用加强，熔宽增大，而熔深减小。

当焊件倾斜呈上坡焊时与焊丝后倾情况相似，焊缝熔深和余高增加，熔宽减小，易形成窄而高的焊缝，当上坡焊角

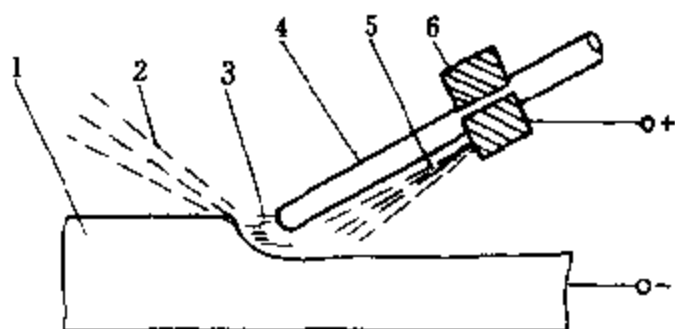


图 4-15 碳弧气刨示意图

1—工件；2—熔化金属；3—电弧；4—碳棒；
5—压缩气流；6—刨钳

相比风铲，碳弧气刨劳动强度低，生产率高。清除焊缝缺陷时，能准确发现细小缺陷的位置及性质。碳弧气刨可分为手工碳弧气刨和自动碳弧气刨。手工碳弧气刨适用范围广，易于掌握操作，目前应用很普遍。

二、手工碳弧气刨工艺参数

1. 电源极性。碳弧气刨必须采用陡降外特性的直流电源。对于碳钢、合金钢和不锈钢应采用直流反接极性，对于铸铁、铜及铜合金应采用直流正接极性。

2. 电极材料与电流。碳弧气刨电极材料应选用专用碳棒，碳棒断面形状一般为圆形。常用碳棒规格有 $\phi 4$ 、 $\phi 5$ 、 $\phi 6$ 、 $\phi 7$ 、 $\phi 8$ 、 $\phi 9$ 、 $\phi 10$ 、 $\phi 12$ 。碳棒直径应根据被刨工件的厚度和刨槽宽度来选择，工件越厚，碳棒直径越大；刨槽越宽，碳棒直径越大，一般碳棒直径比刨槽宽度小 2 mm 左右。

为了提高生产率，碳弧气刨使用电流较大，一般情况下，电流值可取碳棒直径的 50 倍左右。如碳棒直径为 $\phi 8$ mm，其

电流可为 400 A 左右。

3. 压缩空气。碳弧气刨用的压缩空气必须清洁和干燥，必要时管路应加滤油水装置。常用的压缩空气压力为 0.4~0.6 MPa。

4. 刨削速度。刨削速度应适中，刨削速度太快，会引起夹碳现象；太慢，则刨槽过宽且不规则。一般刨削速度为 0.5~1.0 m/min。

5. 电弧长度。电弧长度过长，会引起操作不稳定；过短则产生夹碳现象。一般尽量采用短弧，电弧长度为 1~2 mm。

6. 碳棒伸出长度。碳棒由把钳口到电弧端的长度为伸出长度。碳棒伸出长度越长，压缩空气对熔池的吹力减弱，不能顺利地将熔化金属吹走。一般伸出长度为 80~100 mm，当碳棒烧损至 20~30 mm 时，应重新调整使伸出长度为 80~100 mm。

三、碳弧气刨的操作技术

操作时，应先送气后引弧，熄弧时先熄灭电弧后断气，碳棒与焊件夹角 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ，直线向前运行不摆动。夹角大，刨槽深；夹角小，刨槽浅。

刨削速度要保持均匀，均匀清脆的嘶嘶声表示电弧稳定，这时得到光滑均匀的刨槽。速度太快易短路；太慢易断弧，刨槽质量也差。

厚钢板的深坡口刨削时，宜采用分段多层刨削法。

刨槽后应清除刨槽及其边缘的熔渣和氧化皮，用钢丝刷清除刨槽内的碳灰和铜斑。

碳弧气刨工艺参数选用见表 4-9。

表 4-9 碳弧气刨工艺参数

规格	电流 (A)	槽宽 (mm)	槽深 (mm)	气刨速度 (m/min)	适用板厚 (mm)
φ5	250	~6.5	~4	—	4~8
φ6	280~300	~8	~4	—	6~10
φ7	300~350	~10	~5	1.0~1.2	8~12
φ8	350~400	~12	~5	0.7~1.0	10~15
φ10	450~500	~14	~6	0.4~0.6	>15

焊的低压交流电，由主变压器及所需的调节部分和指示装置等组成。它具有结构简单、易造易修、成本低和效率高等优点，但其波形为正弦波、电弧稳定性较差、功率因数低。一般应用于手工电弧焊、埋弧焊和钨极氩弧焊等方法。

(2) 矩形波交流弧焊电源。它采用半导体控制技术来获得矩形波交流电流，其电弧稳定性好，可调参数多，功率因数高。它除了用于交流钨极氩弧焊外，还可用于埋弧焊，甚至可代替直流弧焊电源用于碱性焊条手弧焊。

(3) 直流弧焊发电机。一般由特种直流发电机和获得所需外特性的调节装置等组成。它的缺点是空载损耗较大、效率低、噪声大、造价高和维修难，优点是过载能力强、输出脉动小，可用作各种弧焊方法的电源；也可由柴油机驱动用于没有电源的野外施工。

(4) 弧焊整流器。它是把交流电经降压整流后获得直流电的电器设备，由主变压器、半导体整流元件以及获得所需外特性的调节装置等组成。与直流弧焊发电机比较，它具有制造方便、价格低、空载损耗小和噪声小等优点，而且大多数可以远距离调节，能自动补偿电网电压波动对输出电压、电流的影响。可用作各种弧焊方法的电源。

(5) 弧焊逆变器。即逆变电源，它把单相或三相交流电经整流后，由逆变器转变为几百至几万 Hz 的中频交流电，经降压后输出交流或直流电。整个过程由电子电路控制，使电源具有符合需要的外特性和动特性。它具有高效、节电、重量轻、体积小、功率因数高和焊接性能好等独特的优点。可用于各种弧焊方法，是一种最有发展前途的新型弧焊电源。

(6) 脉冲弧焊电源。焊接电流以低频调制脉冲方式馈送，一般是由普通的弧焊电源与脉冲发生电路组成，也有其

它结构形式。它具有效率高、输入线能量较小、可在较宽范围内控制线能量等优点。这种弧焊电源用于对热输入量比较敏感的高合金材料、薄板和全位置焊接，具有独特的优点。

二、对弧焊电源的基本要求

从焊接工艺角度出发，弧焊电源应满足下述要求：

- (1) 引弧容易；
- (2) 保证电弧稳定燃烧；
- (3) 保证焊接规范稳定；
- (4) 具有足够宽的焊接规范调节范围。

因此，弧焊电源在电气性能上，应该具备一般的电力电源所不具有的某些特点。

1. 对电源外特性的要求。在电源内部参数一定的条件下，改变负载时，电源输出的电压稳定值 U_y 与输出的电流稳定值 I_y 之间的关系曲线—— $U_y = f(I_y)$ 称为电源的外特性。一般分为下降特性和平特性两类。下降特性根据斜率的不同又可分为垂直下降（恒流）特性、缓降特性和恒流带外拖特性等。常用电弧焊方法要求的电源外特性如下：

(1) 手工电弧焊应采用缓降特性的弧焊电源，如图 5-1 所示，并要求其稳态短路电流与焊接电流之比 $\frac{I_{sd}}{I_f}$ 小于 2。最好采用恒流带外拖特性的弧焊电源，如图 5-2 所示。它既可体现恒流特性使焊接规范稳定的特点，又通过外拖增大短路电流，提高了引弧性能和电弧熔透能力。而且可以根据焊条类型、板厚和工件位置的不同来调节外拖拐点和外拖部分斜率，以使熔滴过渡具有合适的推力，从而得到稳定的焊接过程和良好的成型焊缝。

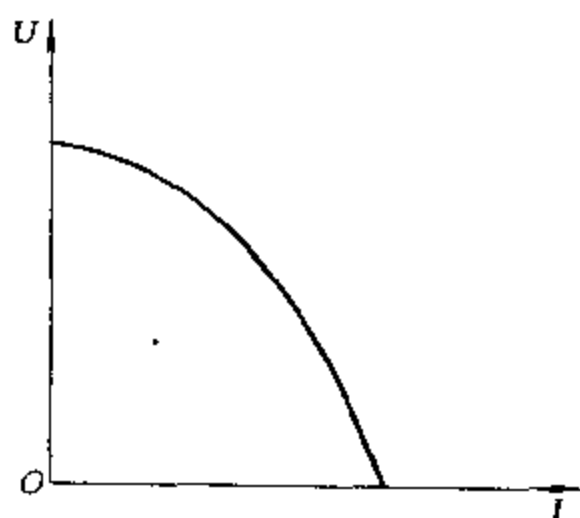


图 5-1 缓降特性

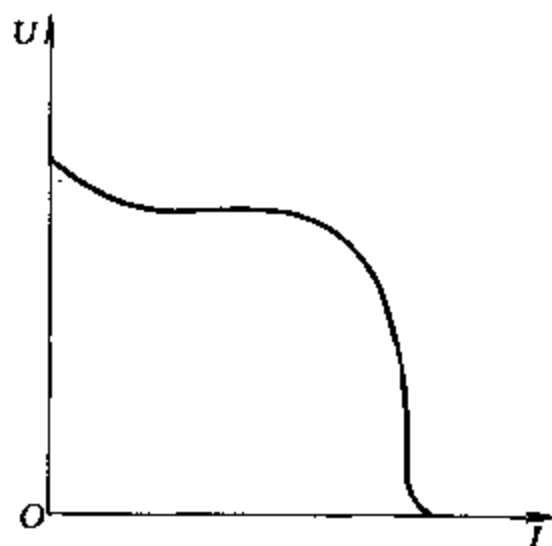


图 5-2 恒流带外拖特性

(2) 埋弧焊，通常的埋弧焊（焊丝直径大于 3 mm），焊丝中电流密度较小，电弧静特性是平的，电弧自身调节作用不强，不足以在弧长变化时维持焊接规范稳定，应采用变速送丝控制系统，利用电弧电压作为反馈量来调节送丝速度。当弧长增长时，电弧电压增大迫使送丝速度加快，因而弧长得

以恢复。这种强制调节作用的强弱，与电源外特性形状无关。选择较陡的下降外特性，如图 5-3，则在弧长变化时引起的电流偏差较小，有利于焊接规范的稳定。

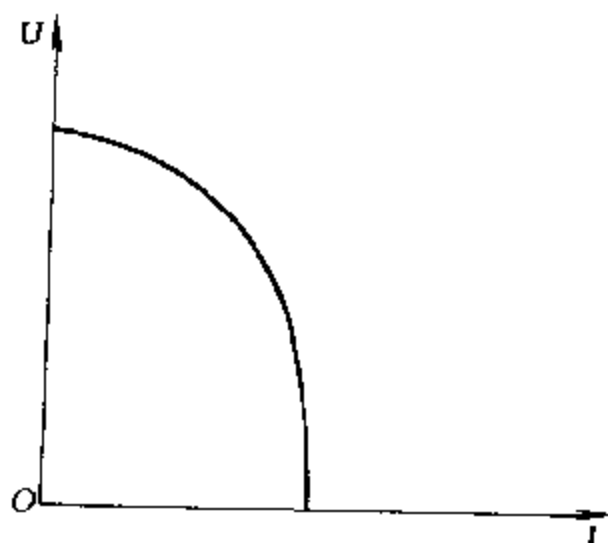


图 5-3 较陡的下降特性

细丝（直径小于 3 mm）埋弧焊，焊丝中电流密度大，电弧静特性是上升的，电弧的自身调节作用较强。当弧长变化时，引起电流和焊丝熔化速度的变化，使弧长得以恢复，这种作用称为电源电弧系统的自身调节作用。在焊丝中电流密度较大、电弧静特性为上升的条件下，采用等速送丝控制系统，应尽可能采用平的外特性，如图 5-4，这时自身调节作用才足够强烈，可使焊接规范稳定。此外，使用平外特性电源还具有短路电流大，易于引弧，有利于防止焊丝回烧和粘丝等好处。

(3) 钨极氩弧焊 (TIG)，电弧静特性是平的或略上升的，稳定焊接规范主要是指稳定焊接电流，最好采用恒流特性的电源，如图 5-5 所示。

(4) CO_2 气体保护焊，电弧的静特性是上升的，电弧的自

身调节作用较强，采用等速送丝控制系统，应采用平电源外特性（见图 5-4），这时自身调节作用才足够强烈，可使焊接规范稳定。采用微升外特性的电源虽然可进一步增强自身的调节作用，但因其会引起严重的飞溅等原因而一般不采用。

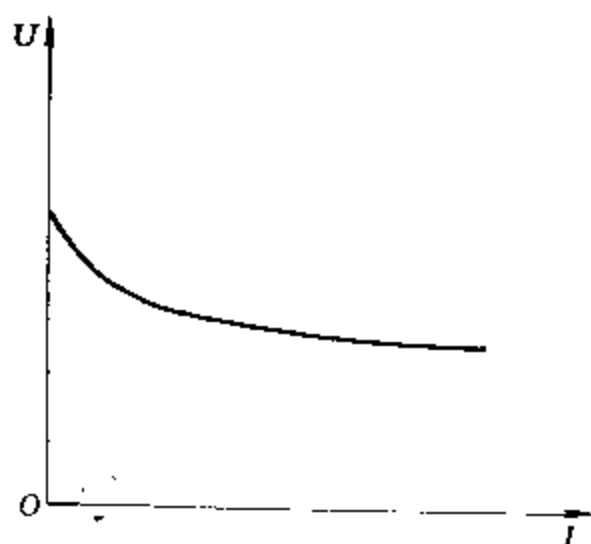


图 5-4 平特性

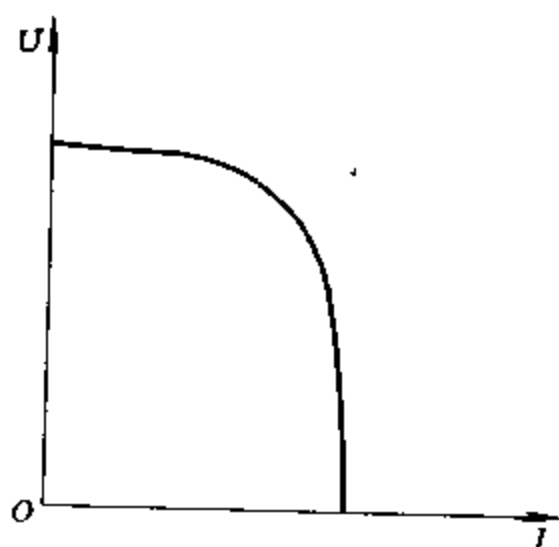


图 5-5 恒流特性

2. 对电源动特性的要求。电源对负载状态突然变化的反应能力，即焊接电源适应电弧变化的特性称为电源的动特性。电弧的引燃和燃烧看起来很简单，实际上在引弧和电弧燃烧

过程中发生了许多眼睛看不出的变化。例如，手工电弧焊引弧时，焊条与工件相碰，焊接电源要迅速提供合适的短路电流；焊条抬起时，焊接电源要很快达到空载电压。焊接时，熔滴从焊条过渡到熔池，也频繁地发生上述的短路和重新引弧过程。如果焊接电源输出的电流和电压不能很快地适应电弧这些过程中的变化，电弧就不能稳定燃烧甚至熄灭。焊接电源中一般都有带铁芯的线圈，电流通过这些线圈时受到一定的阻碍，特别是在电流变化的一瞬间，阻碍最大，这种阻碍称为感抗。感抗的大小，影响电弧的引燃、稳定性和飞溅程度，所以，焊接电源应有合适的感抗，以保证具有良好的动特性。

3. 对弧焊电源空载电压的要求。电源的空载电压确定应遵循以下几项原则：

(1) 保证引弧容易。空载电压愈高，则引弧愈容易。

(2) 保证电弧的稳定燃烧。为确保交流电弧稳定燃烧，要求： $U_0 \geq (1.8 \sim 2.25) U_i$ 。

(3) 保证电弧功率稳定。为了保证电弧功率稳定，要求： $1.57 < \frac{U_0}{U_i} < 2.5$ 。

(4) 要有良好的经济性。空载电压愈高，所需的铁铜材料就愈多，重量也愈大，对经济性愈不利。同时还会增加能量的耗损，降低弧焊电源的效率。

(5) 保证人身安全。为确保焊工的安全，对空载电压必须加以限制。

综上所述，在设计弧焊电源确定空载电压时，在满足弧焊工艺需要、确保引弧容易和电弧稳定的前提下，应尽可能采用较低的空载电压，以利于人身安全和提高经济效益。通

用的交、直流弧焊电源的空载电压规定如下：

(1) 交流弧焊电源。手工弧焊电源 $U_0 = 55 \sim 70 \text{ V}$ ，埋弧自动焊电源 $U_0 = 70 \sim 90 \text{ V}$ 。

(2) 直流弧焊电源。弧焊变压器 $U_0 \leq 80 \text{ V}$ ，弧焊整流器 $U_0 \leq 85 \text{ V}$ ，弧焊发电机 $U_0 \leq 100 \text{ V}$ 。

4. 对电源稳态短路电流的要求。在引弧和熔滴过渡时，经常发生短路，如果稳态短路电流过大，电源将出现过载烧坏的危险。同时还会使焊条过热，药皮脱落，并使飞溅增加。但是，如果稳态短路电流不够大，则会使引弧和熔滴过渡发生困难。

因此，对于具有下降外特性的电源，一般规定其短路电流应满足下述条件：

$$1.25 < \frac{I_{\text{sd}}}{I_f} < 2$$

式中 I_{sd} 为稳态短路电流，即在电源的外特性上，当 $U_f = 0$ 时对应的电流； I_f 为焊接电流。

5. 对电源调节特性的要求。焊接时，根据焊件材质、厚度、几何形状、焊接位置等的不同，要选用不同直径的焊条、焊丝，以及不同的焊接规范。

当弧长一定时，每一条电源外特性曲线与一定弧长的电弧静特性曲线有一个交点——稳定工作点。每一工作点都对应一个确定的电流值和电压值。

选用不同的焊接规范时，要求电源能通过调节，得到不同的电源外特性，使之与电弧静特性曲线相交于不同的点，获得不同的电流值。由于稳定工作点一般总是在电弧静特性曲线的平坦段，所以电压值基本不变。图 5-6 中 (a)、(b) 为手工电弧焊常用的调节特性，其中以 (b) 为理想；(c) 为埋弧

焊常用的调节特性；(d) 为熔化极气电焊常用的调节特性。

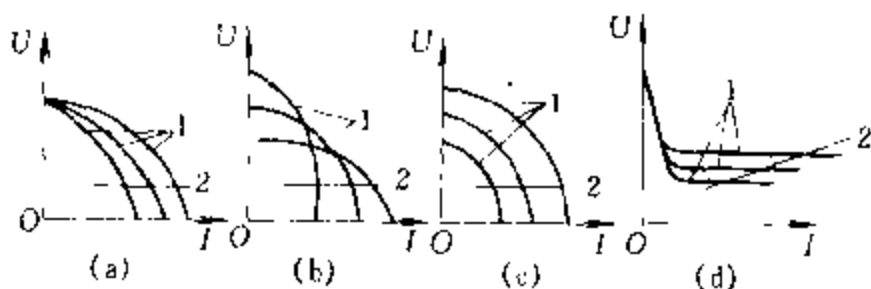


图 5-6 几种电源外特性的调节特性示意图

1—电源外特性；2—电弧静特性

三、弧焊电源的选择和使用

1. 弧焊电源的选择。弧焊电源虽然具有一定的通用性，但在不同的场合表现出来的工艺特点及其经济性是有区别的，为此，必须根据具体的工作条件，恰当地选择焊接电源。

(1) 电源的种类和外特性的选择。一般的交流弧焊电源比直流弧焊电源具有结构简单、使用可靠、维修容易、效率高和成本低等一系列优点，因此，在满足技术要求的前提下，应尽量采用交流电源。但交流电源在焊接时电弧的稳定性不如直流电源，直流电源不但电弧稳定性高，且能满足较高的工艺要求。

对于手工电弧焊，若用酸性焊条焊接一般的金属结构，由于焊条的稳弧性好，应尽量选用交流电源；若用碱性焊条焊接重要的结构，则应选用直流电源，且多用直流反接。手弧焊所用的电源，其外特性必须是下降的，大型焊接车间所用的多工位的多站式弧焊变压器虽然是一个平特性的三相变压器，但在使用时，也必须在每站串入电抗器（或电阻箱），使电弧在下降的外特性下进行工作。

对于埋弧焊，一般选用容量较大的交流弧焊变压器；如果产品质量要求高，应选用直流弧焊发电机或弧焊整流器。埋弧焊电源应具备有陡降或平缓的外特性，若用等速送丝可选用平特性，用变速送丝可选用陡降特性。

对于钨极氩弧焊，应采用恒流特性的交流电源或直流电源。焊铝、镁及其合金时，为利用阴极雾化作用清理氧化膜，并减轻钨极烧损，必须用交流；焊其它金属最好用直流，其优点是电弧的稳定性比交流好，可用小的电流焊薄壁件，采用直流正接，可减轻钨极烧损。

对于CO₂气体保护焊，对等速送丝式而言，可选用平特性的弧焊整流器和弧焊逆变器；对变速送丝而言，可选用下降特性的弧焊整流器和弧焊逆变器。

(2) 电源功率的选择。焊接时的主要规范是焊接电流，选择弧焊电源的功率，最简便的方法是按照所需要的焊接电流对照电源型号后面的数字（表示电源额定电流的大小，如BX3-300，表示为动圈式，额定电流为300 A），选择其容量就可以了。

弧焊电源在工作时，变压器及其它一些部件将会发热，若温度过高，将会损坏绝缘甚至烧坏某些元件，因此，应注意控制温度，不能使之过高。温升不但与电流大小有关，还与通电的时间长短有关，所以焊机出厂时在铭牌上不但注明允许的额定电流，而且注明额定负载持续率。负载持续率（也叫暂载率）是用来表示焊接电源工作状态的参数，用FS表示，它是在选定的工作周期内，允许焊机连续负载的时间，计算方法如下：

$$FS = \frac{\text{在选定的工作时间内负载的时间}}{\text{选定的工作周期}} \times 100\%$$

$$= \frac{t}{T} \times 100\%$$

式中 T 为弧焊电源的工作时间周期，为负载与休息时间之和。手工电弧焊规定电源工作周期 T 为 5 min，其它焊接方法规定电源工作周期 T 为 5 或 10 min。

弧焊电源铭牌上规定的额定电流，就是在额定负载持续率下允许使用的最大电流。若实际使用的持续率低于额定负载持续率，则使用的电流可以大于额定电流；反之，使用的电流应低于额定电流。根据下述公式可以计算出在实际负载持续率 FS 时的许用焊接电流 I ：

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

式中 I_e ——额定电流值；

FS_e ——额定负载持续率。

例如，已知某手工电弧焊电源的额定焊接电流为 $I_e = 300$ A，额定负载持续率为 $FS_e = 60\%$ ，则在其它负载持续率下的许用电流根据上述公式计算的结果见表 5-1。

表 5-1 不同负载持续率下的许用电流

FS (%)	20	40	50	60	80	100
I (A)	520	367	329	300	260	232

由表 5-1 可见，如果使用的电流为 367 A，则负载持续率为 40%，即在 5 min 内（手工电弧焊规定电源工作周期为 5 min），只能焊 2 min，至少应休息 3 min。若需要长时间连续工作，即负载持续率为 100%，则使用的焊接电流不得超过 232 A，才能保证电源的温升不超过允许值。

选择弧焊电源，除上述两项外，还应注意满足不同焊接

方法及焊接工艺提出的其它要求,如对电源空载电压的要求、动特性要求以及调节特性要求等。

2. 弧焊电源的使用与维护。正确使用和维护弧焊电源,不仅能保持其正常工作,而且能延长使用寿命。

弧焊电源的使用与维护常识如下:

(1) 使用前必须按焊机说明书或有关标准对电源进行检查,并尽可能了解清楚其基本原理。

(2) 焊接时,仔细检查各部分接线是否正确,接头是否拧紧,防止接头接触不良,避免元件发热或烧损。

(3) 弧焊电源必须在铭牌规定的电流调节范围内和相应的负载持续率下工作,以免温升过高,破坏正常工作。

(4) 使用硅整流弧焊整流器时,注意硅元件的保护和冷却,风扇是否正常鼓风,磁放大器是否振动或受到撞击,以免影响性能的稳定性。

(5) 电源移动时,必须停止焊接,并切断电网电源。

(6) 机内要保持清洁,定期用压缩空气吹净灰尘,定期通电和检查维修。

(7) 要建立必要的管理和使用制度。

弧焊电源的串、并联使用:

(1) 串联。当电源空载电压不够(如等离子弧切割时需要上百伏甚至数百伏空载电压),需要将两台或两台以上电源串联时,注意应尽量采用同型号焊机,特别注意要采用顺接,即各台焊机正负相连接。

(2) 并联。当一台电源的电流不够用时,可把多台电源并联使用。在并联使用中要注意两点:一是电源的空载电压要相等,否则会在电源内部出现均衡电流,造成无用的电能损耗;二是电源的极性必须同性相连接。对于直流电源,即

正与正、负与负相接。对于交流电源，必须注意同各端相接。例如，两台交流电源并联时，为了检查并联接线的正确性，可以将两台电源的次级线圈的任意各一个接线端相连接，然后将另两个接线端跨接一个 220 V 的灯泡，若灯泡不亮则说明接线正确，若灯泡发亮，表明接线错误，此时应将其中一台电源的次级线圈的接线端交换，即能得到正确的并联。

第二节 手工电弧焊设备

一、交流电焊机

交流电焊机是以弧焊变压器为电源，配以焊钳等辅助工具的电弧焊设备。弧焊变压器是具有下降外特性的降压变压器，配有调节和指示装置。除用于手工电弧焊外，还可作为碳弧气刨、堆焊、埋弧焊和半自动焊的电源。由于交流焊机结构简单、维护方便、效率高、节省电能和材料等优点，加上用于交流电焊接的优质焊条大量生产，故交流焊机得到广泛的应用。

交流电焊机按其结构形式可分为串联电抗式和增强漏磁式，前者分为分体式和同体式，后者分为动铁式、动圈式和抽头式。目前国内生产的交流电焊机品种很多，常用的交流电焊机牌号及其主要技术数据见表 5 2。

1. BX₁-330 型交流电焊机。BX₁-330 型交流电焊机是目前国内使用较广的一种焊机，其结构原理是属于动铁芯漏磁式类型，工作原理如图 5-7。

焊机最基本的原理即是变压器的降压原理。初级绕组和次级绕组的一部分绕在铁芯柱的一侧，起降压变压器的作用，并且是建立空载电压的主要部分。次级绕组的另一部分绕在

表 5-2 常用交流电焊机型号及主要数据

型 号	BX- 500	BX ₁ - 135	BX ₁ - 330	BX ₃ - 120	BX ₃ - 200	BX ₃ - 300	BX ₁ - 500						
变压器种类	同体式	动铁式		动 圈 式									
初级电压 (V)	220 或 380												
接法	I	I	I	I	I	I	I						
电流调节范围(A)	510~ 700	25	50	50	160	20	50	30	80	40	115	60	170
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		95	150	180	450	55	160	85	200	125	400	190	670
空载电压(V)	60	75	60	70	60	75	65	80	65	75	60	70	60
额定暂载率(%)	65	65	65	60	60	60	60						
额定焊接电流(A)	500	135	330	120	200	300	500						
额定工作电压(V)	30	30	30	30	30	30	30						
220 V时初级电流(A)	145	41	96	37.2	—	93.5	151						
380 V时初级电流(A)	84	23.5	56	21.5	—	54	87.4						
效率 (%)	86	78	80	81	81.5	83	87						
功率因数	0.52	0.58	0.5	0.45	—	0.53	0.52						
外形 尺寸	长 (mm)	810	676	870	484	525	670						
	宽 (mm)	410	464	530	445	460	610						
	高 (mm)	800	560	790	680	690	970						
重量 (kg)	290	100	185	100	122	190	271						
初级电源接线截面积 (mm ²)	25 或 16	10 或 6	16 或 10	10 或 6	—	16 或 10	25 或 16						

另一个铁芯柱上，起电抗器的作用，并建立空载电压的另一部分。焊机工作时，由于电抗和漏磁作用，产生下降的外特性。空载时，次级回路中没有电流，电抗绕组中没有压降，因此，具有较高的空载电压，便于引弧。负载时，次级回路中有电流通过，电抗绕组产生电抗，与原电压的方向相反，并使漏磁显著增加，因此，有降低焊接电压作用。短路时，短路电流很大，电抗绕组中产生很大的电压降，使次级绕组的电压接近于零，这样就限制了短路电流的大小。

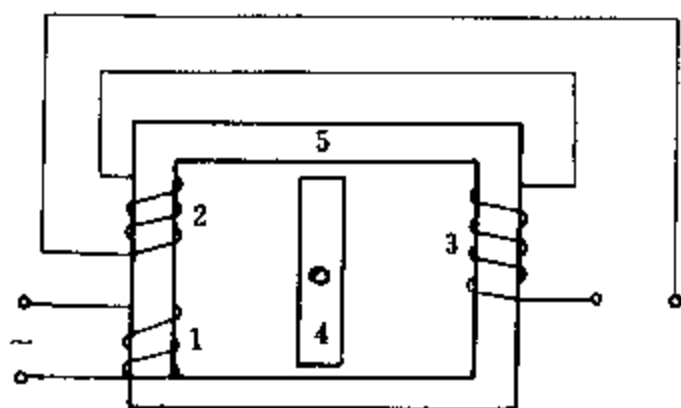


图 5-7 BX₁-330 型交流焊机原理图

1—初级绕组；2、3—次级绕组；4—动铁芯；5—窗形固定铁芯

这种焊机焊接电流有粗调和细调两种，粗调是通过次级线圈不同的接法及改变次级线圈的匝数进行的。在次级线圈的接线板上有两种接线方法，见图 5-8。当连接片接在 I 位置时，空载电压为 70 V，焊接电流调节范围为 50~180 A；连接片接在 II 位置时，空载电压为 60 V，焊接电流调节范围为 160~450 A。

焊接电流的细调节是通过改变可动铁芯的位置进行的。转动手柄改变动铁芯与主铁芯的相对位置，从而改变了漏磁

的大小。当转动手柄使可动铁芯离开主铁芯时，漏磁减小，焊接电流增大，反之，则焊接电流减小。

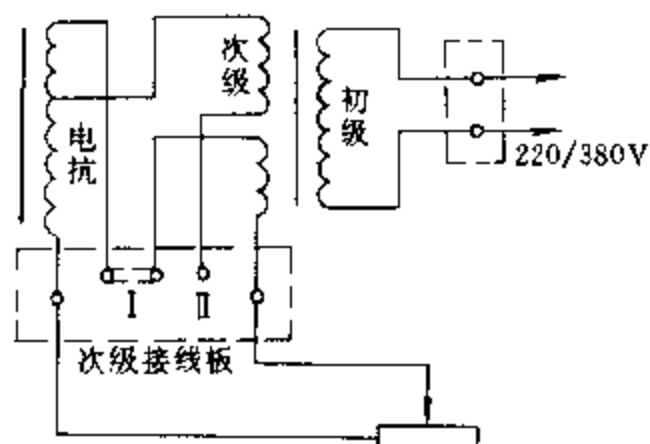


图 5-8 BX₁-330 焊机电流粗调节

2. BX₃-300 型交流电焊机。BX₃-300 型交流电焊机的结构属于增强漏磁式中的动圈式类型，这类焊机具有效率高、电流调节范围大、小电流焊接时电弧非常稳定以及噪声小等优点。

这种焊机是一台动圈式单相变压器，变压器的初级线圈分成两部分，固定在两铁芯的底部。次级线圈也分成两部分，装在两铁芯柱的上部并固定于可动的支架上。利用调节手轮转动螺杆，可以使次级线圈沿铁芯做上下移动，从而改变初级与次级线圈之间的距离，调节漏磁的大小，以此来调节电流的大小。焊机的下降特性是借助初、次级线圈的漏磁作用而获得的，其基本原理与 BX₁-330 型交流电焊机基本相似。

BX₃-300 型交流电焊机焊接电流的调节有粗调节和细调节两种。粗调节是通过改变初级、次级线圈的连接方式，分为串联（接法 I）和并联（接法 II）两种。当进行粗调节接

法转换时，首先将焊机电源切断，按图 5-9 进行转换。然后，再将电源转换开关转到相应的接法。当初、次级线圈接成接法 I 时，空载电压为 75 V，焊接电流调节范围为 40~125 A；当初、次级线圈接成接法 II 时，空载电压为 60 V，焊接电流调节范围为 115~400 A。

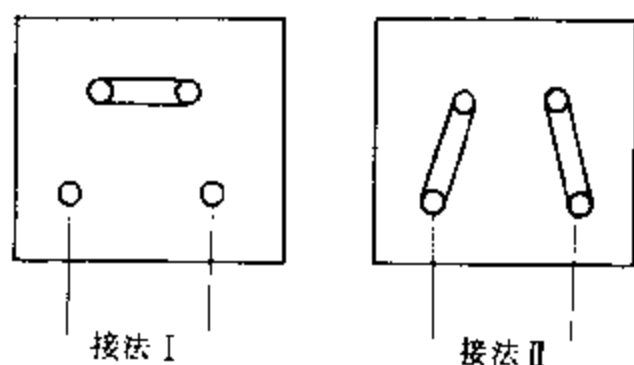


图 5-9 电流粗调节

细调节在两种接法中，均可转动手柄改变初、次级线圈间的距离，即改变它们之间的漏抗大小，从而改变了焊接电流的大小。当初、次级线圈间的距离愈大，两者间的漏磁愈多，这样产生的漏抗就增大，使漏抗上压降增加，焊接电流减小；相反，当初、次级线圈的距离愈少，则漏磁也愈少，从而漏抗也减小，而导致焊接电流增加。

3. BX-500 型交流电焊机。BX-500 型交流电焊机其结构属于串联电抗器式中的同体式类型，变压器与电抗器铁芯组成一体，二者不但有电的串联，还有磁的联系。其优点是结构紧凑和省料。

BX-500 型交流电焊机的结构，下部是变压器，上部是电抗器，两部分是连在一起的，铁芯形状像一个日字形，并在上部装有可动铁芯，通过转动手柄移动可动铁芯，改变它与

固定铁芯间的间隙大小，可改变漏磁的大小，从而达到调节电流大小的目的。

BX-500 型交流电焊机的工作原理见图 5-10。焊机的下降特性是通过电抗线圈所产生的电压降而获得的。空载时由于无焊接电流通过，电抗线圈不产生电压降，因此，空载电压基本上等于次级电压。焊接时，由于焊接电流通过电抗线圈产生电压降，从而获得下降的外特性。短路时，同样由于很大的短路电流通过电抗线圈，产生了很大的电压降，使次级线圈输出的电压接近于零，从而限制了短路电流的大小。

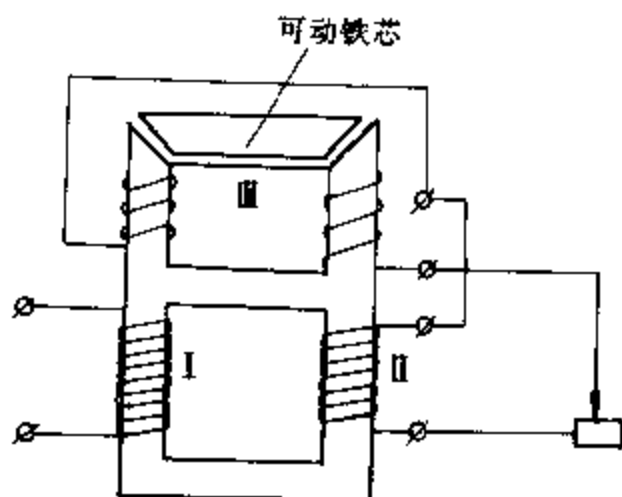


图 5-10 BX-500 型交流电焊机原理图

BX-500 型交流电焊机只有一种调节电流的方法，它是利用移动可动铁芯，来改变与固定铁芯的间隙大小而获得的。当顺时针方向转动手柄，使两铁芯间隙增大，线圈的电感值减小，即感抗减小，电流在电抗线圈上的压降减小，使焊接电流增大；反之则焊接电流减小。

4. 交流电焊机的使用和维护保养。

(1) 严格按照焊机铭牌上标的技术数据使用焊机，不得

超载使用。

(2) 应在空载状态下调节电流。

(3) 焊机工作时，不允许有长时间短路。特别应该注意，在不进行焊接时，要防止焊把与焊件接触造成短路现象。

(4) 使用焊机前，应检查：焊机各处接线是否正确，导线各接头是否连接可靠；电流是否符合要求，电流调节性能是否完好；焊机内部是否有异物。

(5) 工作时，铁芯不应有强烈振动，压紧铁芯的螺丝应拧紧。开盖检查时，应先拉断电源闸刀。

(6) 加强维护保养工作，保持焊机内外清洁，保证焊机和焊接软线绝缘良好。

(7) 经常给焊机调节电流装置的螺杆、螺母等部件加润滑油，经常检查各接线板是否有烧损或其它损坏现象。

(8) 定期检查焊机电路的技术状况。

5. 交流电焊机常见故障及消除方法。在安装现场，交流焊机使用很普遍，数量也很多。由于各种原因，焊机会产生各种故障，使焊机失去原有的性能，影响设备的使用。焊机产生故障，应及时进行检修。交流电焊机常见故障及消除方法见表 5-3。

表 5-3 交流电焊机常见故障及消除方法

故障特征	可能产生的原因	消除方法
焊机过热	焊机过载	减小使用的焊接电流
	变压器线圈短路	消除短路现象
	铁芯螺杆绝缘损坏	恢复绝缘

续表 5-3

故障特征	可能产生的原因	消除方法
焊接过程中电流忽大忽小	焊接电缆与焊件接触不良	使之接触良好
	可动铁芯随焊机的振动而移动	设法消除可动铁芯的移动
可动铁芯在焊接过程中发出强烈的嗡嗡声	可动铁芯的制动螺丝或弹簧太松	旋紧螺丝, 调整弹簧的拉力
	铁芯活动部分的移动机构损坏	检查修理移动机构
焊机外壳带电	初级线圈或次级线圈碰壳	检查并消除碰壳处
	电源线碰罩壳	消除碰罩壳现象
	焊接电缆误碰罩壳	消除碰罩壳现象
	未接接地线或接触不良	接妥接地线
焊接电流太小	焊接电缆过长, 压降太大	减小电缆长度或加大直径
	焊接电缆卷成盘形, 电感很大	将电缆放开, 不使其成盘形
	电缆与接线柱或与焊件接触不良	使接头处接触良好

二、旋转直流电焊机

为了提高电弧的稳定性及焊接过程的稳定性, 在许多情况下要求使用直流弧焊电源。旋转直流电焊机是弧焊发展史上, 较早使用的设备, 它曾起过重要作用。其优点是经久耐

用、过载能力强、输出电流脉动小、规范、受电网波动影响小；其缺点是电磁惯性大、电源动特性不好、耗电多、费材料和噪声大。

随着半导体技术的发展，新型直流焊机的不断出现，它逐渐退居次要地位，在我国已规定不许生产这种焊机。由于不少企业有这种焊机，为发挥原有设备的作用，旋转直流焊机仍有相当广泛的应用，特别是在野外安装、维修没有动力电源的场合，以汽油机或柴油机为动力的旋转直流焊机可以发挥很大作用。

1. 旋转直流电焊机的基本原理。旋转直流电焊机，也叫直流弧焊发电机，其基本原理与一般直流发电机一样，当电枢转动时，其绕组切割由励磁系统所产生的磁通而感应电势（输出电压），整流发电。发电机的感应电势的大小，与磁通及转子速度成正比，当转速一定时，输出电压是与磁通量成正比。直流弧焊发电机的磁场，由励磁系统产生。在励磁回路内产生一个与励磁磁通方向相反的去磁磁通，该磁通随负载电流的增大而增大，这样合成磁通就随负载电流（即焊接电流）的增大而减小，发电机的输出电压就降低，从而使直流弧焊发电机获得下降的外特性。

根据产生去磁磁通的不同方法，旋转直流弧焊机分为：

- (1) 差复式，用串联绕组去磁。
- (2) 裂极式，用电枢反应去磁。
- (3) 换向极去磁式。

2. 常用的两种旋转直流电焊机的构造。

(1) AX-320 型直流弧焊机。它是由一台裂极式直流弧焊发电机和一台感应电动机组成，顶部装有变阻器，靠它实现电流的调节，机身下装有轮子，机架前端装有手柄，便于移动。

AX-320 型弧焊机设有串联去磁绕组，它是利用电枢反应而获得陡降外特性的，除了体积较大外，其它性能均较好，在手工电弧焊中应用较广泛。

这种发电机的结构和一般电机不同，虽有四个磁极，但在空间不是南北极交替排列，所以从磁路上看，实际为两极发电机，如图 5-11 所示。其中 N_1 和 S_1 称为主磁极，在它的颈部开有缺口，以减小铁芯截面积，使它在工作中处于饱和状态。磁极 N_2 和 S_2 叫做横极，磁极做到极靴肥大，同时也没有缺口，工作时处于非饱和状态。

在磁极几何中性面上装有主电刷 a 和 b ，在 a 、 b 电刷中间又装了一个辅助电刷 c 。焊接发电机的两组并励绕组就接在主电刷 a 和辅助电刷 c 上。其中一组不可调节的绕组分布于四个磁极上，另一组可调节的绕组只绕在横极上，并在它的回路中串有一个可调电阻，用以调节励磁电流而达到调节焊接电流的目的，如图 5-11 所示。

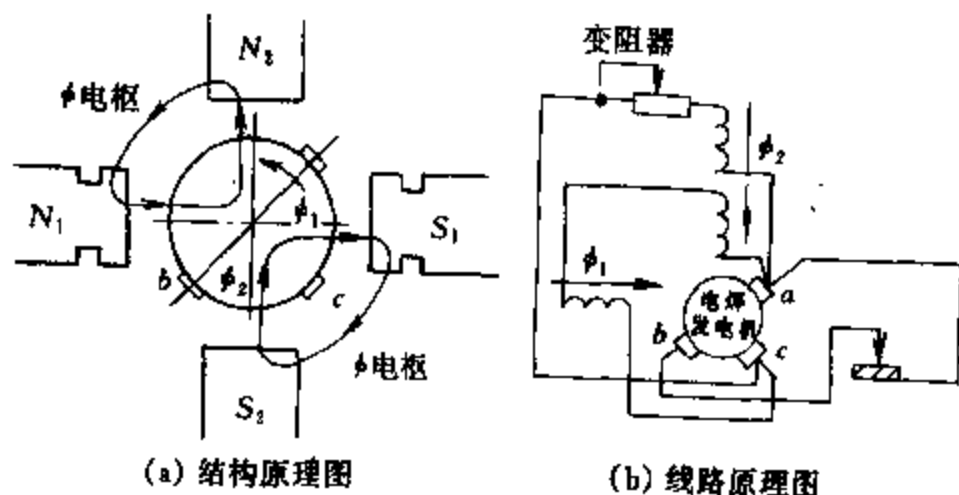


图 5-11 AX-320 型直流弧焊机原理图

焊接电流的粗调节可通过机头处的手柄移动电刷来进行；细调节是调节装在机壳顶部的可变电阻，改变横磁极的

励磁电流来进行的。

(2) AX₁-500 型直流弧焊机。它是由一台三相异步电动机和一台差复励式焊接发电机组组合而成，下部装有轮子，便于移动，在工厂中应用较为广泛。

该焊机具有并励和串励去磁绕组，它借串联去磁绕组和电枢反应的去磁作用获得陡降的外特性。发电机有四个主磁极、四个辅助磁极，有两对主电刷 *a*、*b*，还有一对辅助电刷 *c*。并励绕组接在“+”电刷 *a* 与辅助电刷 *c* 之间，它分布在所有四个主磁极上，而串联去磁绕组仅分布在其中的两个磁极上，如图 5-12。这样就改善了工作状态。

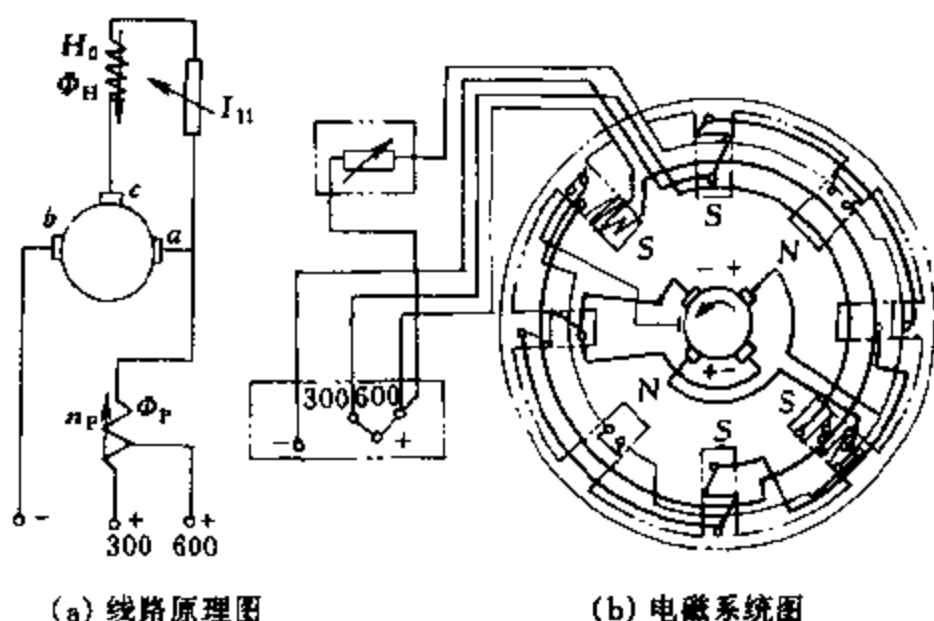


图 5-12 AX₁-500 型直流弧焊机原理图

为了调节电流，串联绕组有抽头，用改变接线的方法进行粗调节；用装在顶部的可变电阻实现细调节。

3. 常用几种旋转直流电焊机的主要数据见表 5-4。

表 5-4 常用旋转直流电焊机的主要数据

焊机型号	AX ₁ -165	AX ₃ -300	AX-320	AX ₁ -500
焊机类别	并励串联 去磁式	换向极 去磁式	裂极式	他励串联 去磁式
空载电压 (V)	40~75	55~68	50~80	60~90
额定工作电压 (V)	30	30	30	40
额定负载持续率 (%)	60	60	50	65
额定焊接电流 (A)	165	300	320	500
电流调节范围 (A)	40~200	40~375	45~320	120~600
电动机功率因数	0.87	0.86	0.87	0.88
机组效率 (%)	52	53	52	54
电动机功率 (kW)	6	10	14	26
重量 (kg)	210	235	560	960
外形 尺寸 (mm)	长	840	860	1 195
	宽	420	500	600
	高	700	815	992
				1 100

4. 旋转直流电焊机的使用与维护。

(1) 严格按照焊机铭牌上标的技术数据使用焊机，不得超载使用。

(2) 应在空载状态下调节焊接电流。

(3) 焊机工作时，不允许有长时间短路。特别应该注意，在停止焊接时，要防止焊钳与焊件接触造成短路现象。

(4) 使用焊机前，应检查下列内容：

1) 检查各处接线是否正确, 极性是否接对, 电流范围是否符合要求, 接头连接是否可靠, 外壳是否可靠接地等。

2) 检查焊机内部是否有妨碍转动的障碍物。

3) 检查闸箱的保险丝或熔片是否完好, 电流调节性能是否完好。

4) 检查整流器(换向器)的颜色是否正常, 表面是否光滑, 有无残疵、焦痕和硬伤, 云母片是否高出整流器的表面, 如有以上现象, 应立即进行修理。

5) 检查电刷表面是否平滑, 与整流器接触是否良好, 压力是否合适。如接触不良或电刷损坏和磨损, 应立即修理或更换。

6) 启动前应将变阻器调到最小位置, 焊机必须在空载状态下启动。

7) 启动后应检查焊机的转向是否正确, 若出现反转, 应立即停车。应将电动机三相进线中任意两相交换, 改变转向。

(5) 工作时, 应首先检查整流器和电刷, 如发现振动或火花颜色和大小不正常(微小的点状, 带淡黄绿色或暗红色的火花是正常的; 大量针状带红色的火花是不正常的, 此时电刷烧损严重; 绿白色的剧烈火花甚至是环花, 则是危险的), 应立即停机, 通知电工修理。其次是检查转动有无杂声, 若声音不正常, 应停机修理。最后应检查线圈发热情况, 如运转不久发生过热现象, 应立即停机修理。

(6) 需要加强维护保养工作, 保持焊机内外清洁, 保证焊机和焊接缆线绝缘良好, 若有破损或烧坏, 应立即修好。轴承应经常加油, 每年应换油 1~2 次, 加油量不超过轴承室的 1/2。并应定期由电工检查焊机电路的技术状况, 校正电流表和电压表。

(7) 新的或长久未用的焊机，使用前应用摇表检查绕组间、绕组与机壳间的绝缘电阻，若低于 $0.5\text{ M}\Omega$ ，应将焊机烘干，使绝缘恢复。旧设备也应经常检查。

5. 旋转直流电焊机常见故障及清除方法。旋转直流电焊机与交流电焊机相比，对于露天作业、日晒雨淋、尘埃侵入的适应力更差，所以在安装现场使用旋转直流电焊机时更应加强维护。旋转直流电焊机的常见故障及消除方法见表 5-5。

表 5-5 旋转直流电焊机常见故障及消除方法

故障特征	可能产生的原因	消除方法
电动机反转	三相感应电动机与网路线接错	将三相线中任意二线调换
启动后，电动机转速很低，并发出嗡嗡声	三相线保险丝中有一相被烧断	更换保险丝
	电动机的定子线断线	消除断线现象
正常启动后发现电刷没火花	电刷和换向器接触不良	清理电刷和换向器的接触面
	电刷被卡住或松动	调整电刷在电刷架中的间隙
	换向片间之云母突出	去除突出云母，拉深云母槽，使它低于换向器表面 1 mm
焊接过程中电流忽大忽小	焊接电缆与焊件接触不良	使焊接电缆与焊件接触良好
	电流调节器的可动部分随焊机的震动而移动	设法抵制电流调节器可动部分的移动
焊机过热	焊机过载	关掉焊机，让其冷却，或减小焊接电流

续表 5-5

故障特征	可能产生的原因	消除方法
焊机过热	电焊发电机电枢线圈短路	消除短路现象
	换向器短路	消除短路现象
	换向器表面污染	清理换向器表面污染

三、硅整流焊机

硅整流焊机是一种直流电弧焊电源，它是通过变压和整流将电网供应的交流电变为直流电。由于目前所用整流元件全部是硅元件，故称为硅整流焊机或硅弧焊整流器。与旋转直流电焊机相比，它具有以下优点：

- (1) 易造好修，节省材料，减轻重量，降低成本，提高效率。
- (2) 易于获得不同形状的外特性，以满足不同焊接工艺的要求。
- (3) 动特性及输出电流波形易于控制，适应性强。
- (4) 噪声小。

由于它有以上优越性，因而发展很快，逐渐替代了旋转直流焊机而成为我国普及推广的一种直流焊接电源。

硅整流焊机按工作原理可分为：磁放大器或动圈式和可控硅整流式等几种类型。其中前两种焊机主要由变压器和整流器组成。我国目前使用的主要就是这两种焊机，下面将着重介绍。

目前国内常用几种硅整流焊机的主要数据见表 5-6。

表 5-6 常用的几种硅整流焊机主要技术数据

焊机型号		ZXG-200	ZXG-300	ZXG-500	ZXG _g -300
结构形式		磁放大器式	磁放大器式	磁放大器式	动圈式
空载电压 (V)		70	70	70	70
工作电压 (V)		25~30	25~30	25~40	30
额定暂载率 (%)		60	60	60	60
电流调节范围 (A)		10~200	15~300	25~500	40~340
焊接 电流 (A)	额定暂载率时	200	300	500	340
	10%暂载率时	155	230	387	—
电源电压 (V)		380	380	380	380
相数		3	3	3	3
额定输入容量 (kVA)		15.55	21	38	21.7
外形尺寸 (mm)	长	570	600	650	680
	宽	410	440	500	475
	高	825	940	1 020	865
重量 (kg)		170	220	235	150

1. 磁放大型式弧焊整流器。这类硅整流焊机是依靠磁放大器来得到陡降或其它形式外特性的。目前已成系列 (ZXG 系列), 应用较广, 以 ZXG-300 和 ZXG-500 型最为常见, 现重点介绍 ZXG-300 型硅整流焊机的构造和工作原理。

(1) 构造。ZXG-300 型焊机的构造见图 5-13。它是由三相主变压器、三相磁饱和电抗器、硅整流器组、输出电抗器、通风机组和控制系统等部分组成。

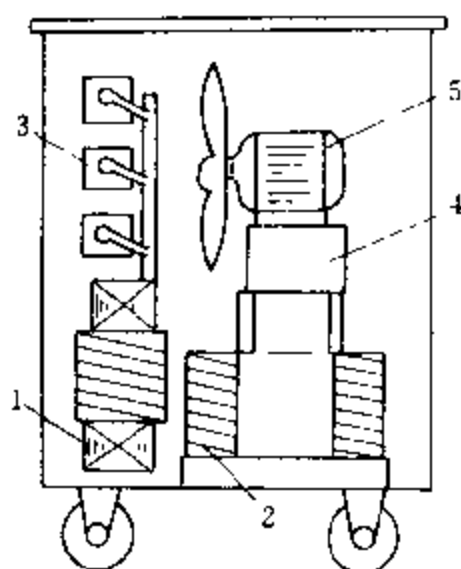


图 5-13 ZXG-300 型硅整流弧焊机结构示意图

1—三相主变压器；2—三相磁饱和电抗器；

3—硅整流器组；4—输出电抗器；5—通风机组

三相主变压器：作用是将网络电压降到焊接所需电压，供给三相磁放大器。

三相磁放大器：它是焊机的主要部件，由六只饱和电抗器和六只硅整流二极管组成。由六只饱和电抗器组成的三相磁饱和电抗器，其作用是保证获得焊接所需的下降特性和调节焊接电流的大小。由六只硅整流二极管组成的硅整流器组，分别与六只饱和电抗器串联，接成三相桥式全波整流电路，并用冷却风扇通风冷却。

输出电抗器：它是一只串联在焊接回路中，带有间隙的铁芯式电抗器。其作用是进一步减小输出电流的脉动程度和改善焊机的动特性，减少焊接时飞溅，稳定电弧。

通风机组：主要起冷却保护硅元件的作用。

(2) 工作原理。图 5-14 是 ZXG-300 型焊机电气原理图。

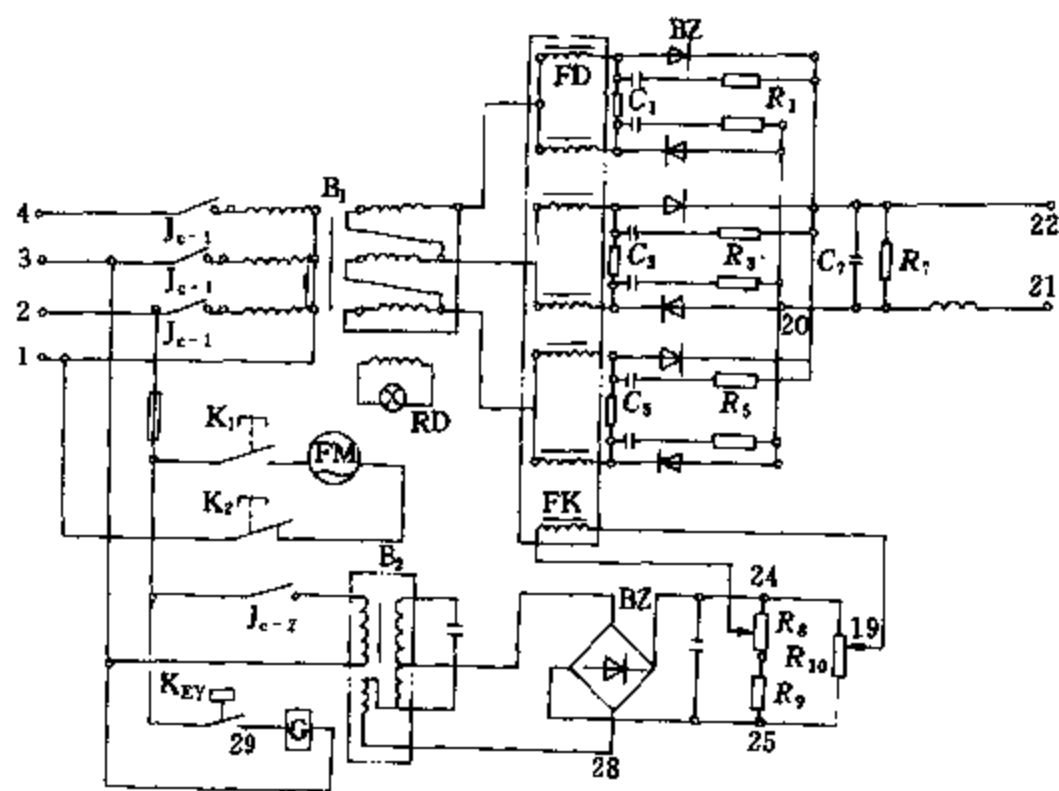


图 5-14 ZXG-300 型弧焊硅整流电焊机电气原理图

该机工作原理如下：

1) 启动：按开关 K_1 ，风扇电机 FM 运转，风压开关 K_{EY} 闭合，主接触器 J_{c-1} 闭合，三相降压变压器 B_1 工作。与此同时， J_{c-2} 闭合，控制变压器 B_2 工作，磁放大器运行，硅整流器工作，输出一定的直流电压，这就是焊机的空载电压，由于焊机没有进行焊接工作，焊接电流为零，磁放大器的电抗绕组 FD 电抗压降几乎为零，使焊机输出端具有较高的空载电压，便于引弧。

2) 焊接：由于有焊接电流输出，电抗绕组 FD 通过交流电，使电抗绕组获得较大的电抗压降，并随电流的增大，电

抗压降也随之增大，从而得到陡降外特性。当出现短路时，短路电流很大，FD 通过的交流电急骤增加，它产生的压降使工作电压几乎接近于零，从而限制了短路电流。

3) 电流的调节：改变控制回路磁盘电阻 R_{10} ，使磁放大器控制绕组 FK 中直流电发生变化，铁芯中的磁通就相应发生变化，从而改变了磁放大器交流绕组 FD 的电流，达到调节输出电流的目的。为了减少网路电压波动对焊接的影响，在控制回路中采用了铁磁谐振式稳压器，以保证励磁电流的稳定，减少对焊接电流的影响。

4) 停机：按 J_{C2} ，风扇电机 FM 停止，风压减小，风压开关 K_{EY} 开启，主接触器 J_{C1} 断开，主回路断电。同时， J_{C2} 断开，控制回路断电，焊机全部停止工作。

2. 动圈式弧焊整流器。这类焊机仍然采用三相桥式电路，有 ZXG_1 型和 ZXG_6 型，其中应用较广的为 ZXG_1-300 型和 ZXG_6-300 型焊机，下面介绍 ZXG_6-300 型焊机的结构和原理。

ZXG_6-300 型焊机采用三相动绕组来调节电流并得到陡降的外特性。由三相变压器、整流器组、转换开关、保护电容等组成。

三相变压器系三相动绕组式，具有陡降外特性的变压器。三个铁芯由铁轭连接组成放射形铁芯，使三相漏抗一致，以保证三相电流平衡。初级绕组固定在铁芯下部，次级绕组安装在铁芯上部，由可动支架将三相连接，可借手柄转动螺杆，使次级绕组沿铁芯柱上、下移动。如图 5-15 所示。改变初、次级绕组间距离，即改变它们之间的漏抗值，从而改变焊接电流的大小。初、次级绕组间距离越大，漏磁越大，焊接电流减小。反之，焊接电流增大。

整流器组由六个 200 A/150 V 的硅整流元件，组成三相桥式全波整流回路。

转换开关是用来对初、次级绕组并联（大档）、串联（小档）进行换接，实现电流粗调节。

为了防止焊接回路中出现的冲击电压击穿硅元件，装有电阻、电容保护及交流侧硅堆保护装置。

ZX₆-300 型焊机的电气原理见图 5-16。

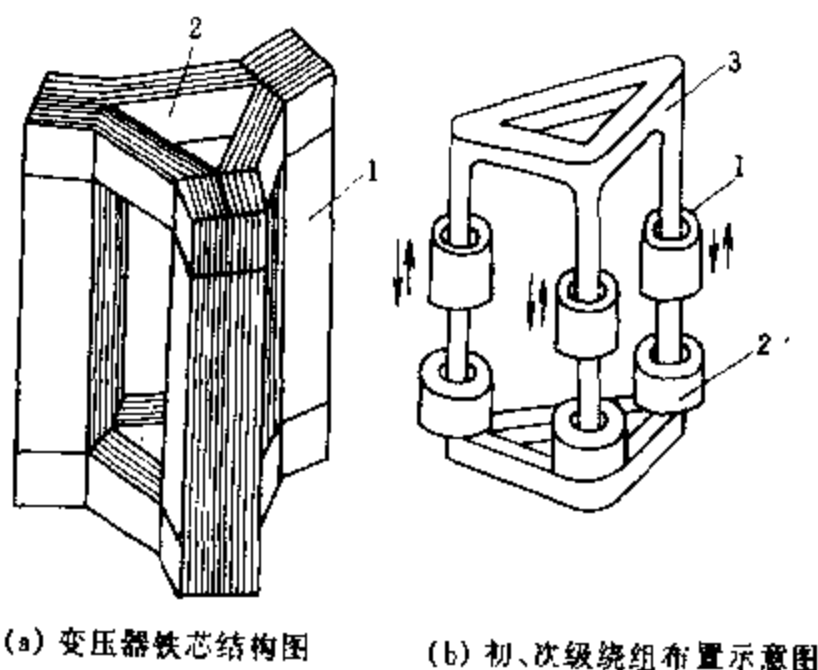


图 5-15 三相动圈式硅整流焊机变压器结构示意图

(a) 1—铁芯柱；2—铁轭；

(b) 1—次级绕组；2—初级绕组；3—变压器铁芯

动圈式弧焊整流器有较好的动特性，不需要输出电抗器。因此，与磁放大器式整流器相比，具有线路、结构简单和重量轻等优点，但不足之处是振动和噪声较大，无法进行网路补偿和远距离电流调节。

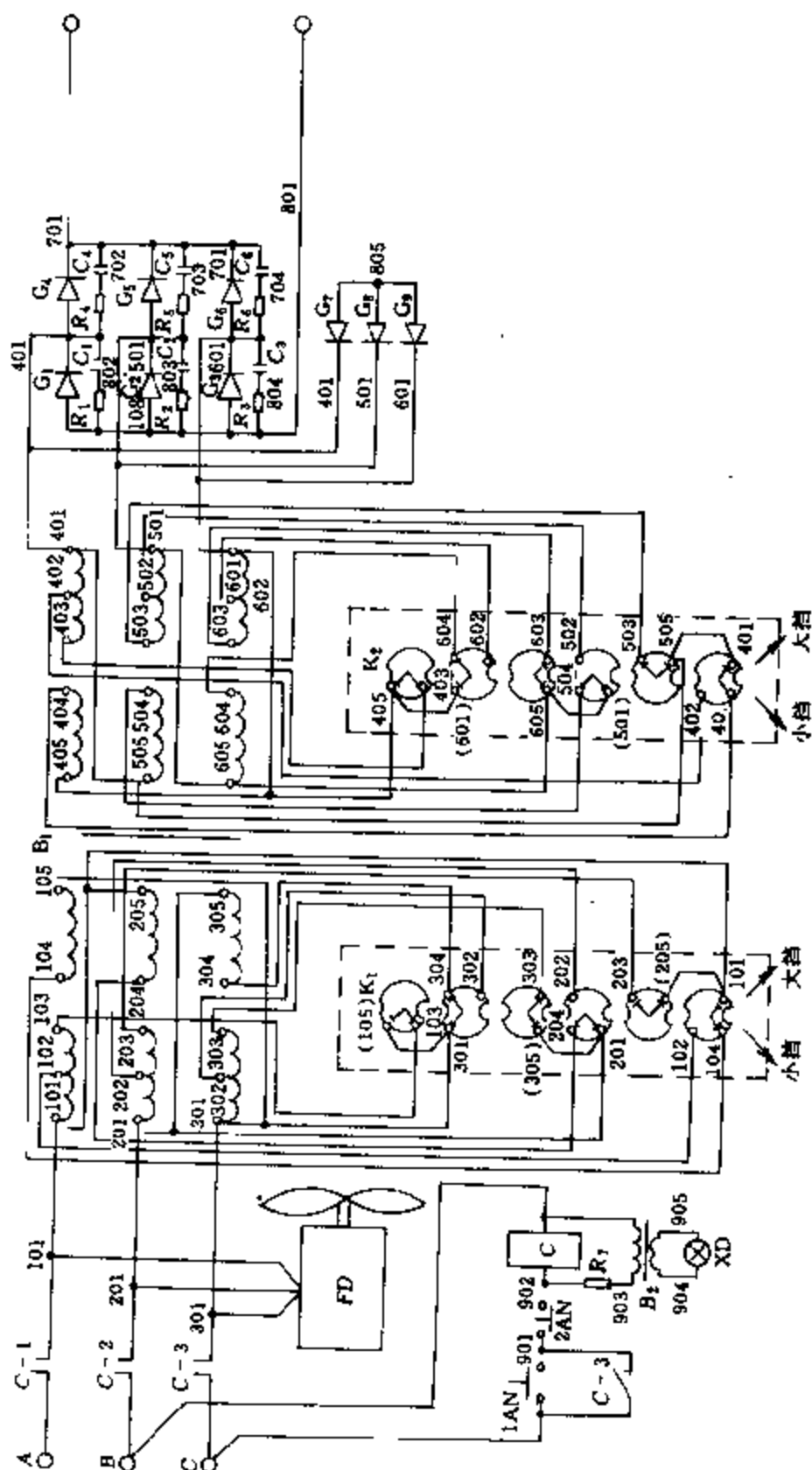


图 5-16 ZXG6-300 型弧焊机电气原理图

3. 硅整流焊机的使用和维护。

(1) 焊接前,先要仔细检查焊机各部分的接线是否正确,检查接头是否拧紧,特别要检查焊接电缆的接头是否拧紧,以防接头过热或烧损。

(2) 接通电流后或进行焊接时,不得任意移动焊机。如要移动焊机,应在停止焊接、切断电源后进行。

(3) 在焊接使用过程中,不得随意打开焊机的顶盖,否则将会使焊机内部风冷效果变差,从而使焊机线圈过热,或使其它跌落物损坏冷却风扇或焊机。

(4) 焊机接通电源空载运转时,听焊机声音是否正常;观察冷却风扇是否鼓风,如无不正常情况,即可开始焊接工作。

(5) 焊机内部要保持清洁,应定期用压缩空气吹净灰尘,并检查修理。

(6) 焊机通风系统(冷却风扇)发生故障,在未修复前,不许继续使用。

(7) 焊机必须在铭牌规定的电流调节范围及在相应的负载持续率下工作。

(8) 要注意硅整流元件的保护和冷却,若硅整流元件损坏,需更换新的才能继续使用。

4. 硅整流焊机常见故障及消除方法。硅整流焊机常见故障及消除方法见表 5-7。

表 5-7 硅整流焊机常见故障及消除方法

故障特征	可能产生的原因	消除方法
焊机空载电压太低	网路电压过低	调整电压至额定值
	变压器次级绕组匝间有短路	消除短路现象
	磁力启动器接触不良	使之接触良好

续表 5-7

故障特征	可能产生的原因	消除方法
焊接电流调节失灵	控制绕组中间短路或断线	消除短路或断线现象
	焊接电流控制器接触不良	使之接触良好
	控制整流回路元件击穿	更换元件
焊接电流不稳定	主回路交流接触器抖动	消除抖动
	电压开关抖动	消除抖动
	控制绕组接触不良	使其接触良好
风扇电动机不转	保险丝或熔断器熔断	更换保险丝或熔断器
	电动机引线或绕组断线	接妥或修复
	开关接触不良	使之接触良好
焊接过程中焊接电压突然降低	主回路全部或部分产生短路	修复线路
	整流元件击穿	更换元件, 检查保护线路
	控制回路断路或电位器未整定好	检修调整控制回路
焊机外壳带电	电源线误碰罩壳	检查并消除碰壳现象
	未接地线或接地不良	接妥地线
	变压器、电抗器、风扇及控制线路元件等碰罩壳	消除碰罩壳现象

四、逆变焊机

逆变焊机, 也叫弧焊逆变器, 是一种新兴的、最有发展前途的弧焊电源。自 20 年代初以来, 随着电子技术和大功率快速开关电子元件的不断发展, 逆变技术除了应用在电工、电

热、电化学等方面之外，已逐步地引进焊接领域。弧焊逆变器于1981年首次出现在国际焊接与切割的博览会上，它具有省料和节能等突出优点。现在各类弧焊逆变器已相继研制成功，并逐步应用于工业生产中。

1. 弧焊逆变器的基本原理。以晶闸管式弧焊逆变器为例加以说明。图5-17所示为晶闸管式弧焊逆变器的原理方框图。由图可见，单相式三相50 Hz的交流网路电压先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、晶体管或场效应管）的交替开关作用，变成几百到几千Hz的中频电压，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，则可将中频交流变为直流输出。

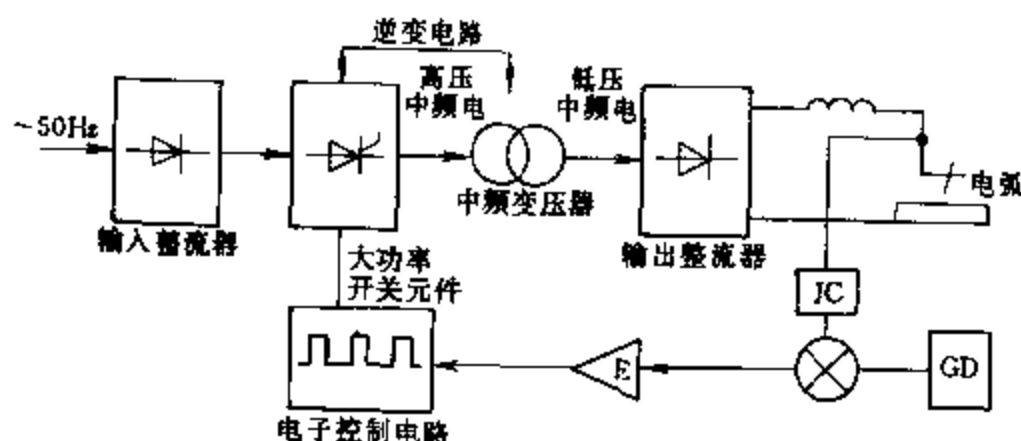


图 5-17 晶闸管式弧焊逆变器的基本原理方框图

简言之，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。

由此可见，在弧焊逆变器中可以采用如下两种体制：

- (1) “AC—DC—AC”；
- (2) “AC—DC—AC—DC”。

目前常用后一种体制，特别是在音频范围内，更是如此，故又可把它称为逆变式弧焊整流器。

2. 弧焊逆变器的外特性及规范调节。根据各种弧焊工艺方法的需要，通过电子控制电路和电弧电压、电流反馈，弧焊逆变器可以获得各种形状的外特性。

弧焊逆变器的规范调节方法大致有两种：

(1) 定脉宽调频率：脉冲电流宽度不变，通过改变逆变器的开关频率来调节规范。频率愈高，工作电流就愈大。通常，晶闸管式弧焊逆变器就采用这种方法调节规范参数。

(2) 定频率调脉宽：脉冲电流频率不变，通过改变逆变器开关脉冲的脉宽比（占空比）来调节规范参数。脉宽比愈大，则工作电流也愈大。晶体管式、场效应管式弧焊逆变器都适合采用这种规范调节方法。

3. 弧焊逆变器的优点。与弧焊变压器、直流弧焊发电机、弧焊整流器等传统弧焊电源相比，弧焊逆变器具有如下优点：

(1) 高效节能。效率可达到80%~90%；功率因数可提高到0.99；空载损耗极小，是一种节能效果十分显著的弧焊电源。

(2) 重量轻、体积小。主变压器的重量仅为传统弧焊电源主变压器的几十分之一；整机重量仅为传统弧焊电源的1/5~1/10；整机体积也只有传统弧焊电源的1/3左右。

(3) 具有良好的动特性和弧焊工艺性：它采用电子控制电路，可以根据不同的焊接工艺要求，设计出合适的外特性形状，并保证具有良好的动特性，从而可进行各种位置的焊接，获得优良的焊接工艺性能。

4. 弧焊逆变器的分类。逆变器的大功率快速开关电子元件可以采用晶闸管、晶体管或场效应管，因此，按所用的器

件进行分类，弧焊逆变器可分为晶闸管式弧焊逆变器、晶体管式弧焊逆变器和场效应管式弧焊逆变器等三种类型。

五、手工电弧焊工具

为了保证焊接过程的顺利进行和保障焊工安全，手工电弧焊时，应具有下列各种工具和辅助工具。

1. 电焊钳。

电焊钳的作用是夹住焊条和传导电流。它主要由上下钳口、弯臂、弹簧、直柄和手柄等组成。焊钳的构造，对焊接质量影响很大，因此，对电焊钳有导电性能好、重量轻、夹焊条要牢固及装换焊条方便等要求。

除特殊要求外，一般有 300 A、500 A 两种规格，以安全、轻便和耐用为宜。

2. 焊接电缆。焊接电缆的作用是传导焊接电流，对其有下列要求：

(1) 一般要求用多股紫铜软线制成，且要有足够的导电截面积；

(2) 柔韧性要好，容易弯曲，这样既便于操作，又减轻焊工劳动强度；

(3) 绝缘性良好，以免发生短路损坏焊机或损伤焊件。

焊接电缆的长度应根据工作时的具体情况而定，不要过长。焊接电缆截面积大小应根据焊接电流大小决定。焊接电缆截面积和允许的焊接电流见表 5-8。

表 5-8 焊接电缆截面积和允许的焊接电流

焊接电缆截面积 (mm^2)	25	50	70	95
最大焊接电流 (A)	200	300	450	600

3. 面罩及护目玻璃。面罩的作用是保护焊工的面部，免受强烈的电弧光及金属飞溅的灼伤。面罩有手持式和头戴式两种，可根据不同的工作情况进行选用。

面罩是由轻而坚韧的深褐色或暗红色纤维板制成。在面罩正面有安置护目玻璃片的铁框，内有弹簧钢片压住护目玻璃，起固定作用。

护目玻璃又称黑玻璃，用作减弱电弧光的强度、过滤红外线和紫外线。焊接时，焊工通过护目玻璃观察熔池情况，以便掌握和控制焊接过程，并使眼睛免受弧光灼伤。

护目玻璃片的颜色有深浅之分，焊工应根据使用的焊接电流大小和焊接方法及本人的视力进行选用。国产护目玻璃片的色号及适用电流范围见表 5-9。

表 5-9 护目玻璃片的色号及适用焊接电流范围

护目玻璃色号	颜色深浅	适用焊接电流范围 (A)
9	较 浅	<100
10	中 等	100~350
11	较 深	>350

为了防止护目玻璃片被金属飞溅物损坏，在护目玻璃片内外，各用普通白玻璃进行保护。

4. 辅助工具。焊工常用的辅助工具有焊条筒、尖头榔头、钢丝刷及凿子等。为了防止焊工被弧光和飞溅金属损伤及防止触电，焊接时必须戴好皮革手套、工作帽和穿白帆布工作服、脚盖、绝缘鞋等；另外，焊工在清除焊渣时，应戴平光镜。

第三节 埋弧自动焊设备

一、对埋弧自动焊机的要求

为了焊接过程自动化,埋弧自动焊机应能完成下列动作:

1. 引燃电弧。一般是先使焊丝与工件短路,焊机启动时,能自动地使焊丝上抽并引燃电弧,当达到一定的弧长时,焊丝又自动地下送,开始焊接。

2. 焊接。使焊丝按预定的规范向电弧区送进,并以选定的焊接速度沿焊件坡口向前移动,进行焊接,并在焊接过程中能保持焊接规范的稳定。

3. 熄弧。应先停止焊丝送给,再切断电源,这样既可使弧坑填满,又不致使焊丝与焊件“粘”住。

二、埋弧自动焊机的分类

1. 按用途分为通用焊机和专用焊机,前者可广泛用于各种结构的对接、角接、环缝和纵缝等焊接;后者则只能用来焊接某些特定的结构或焊缝。

2. 按送丝方式分为等速送丝式和电弧电压均匀调节式两种,前者适用于细焊丝或高电流密度的情况;后者适用于粗焊丝或低电流密度的情况。

3. 按行走机构形式分为小车式、门架式和悬臂式三种,通用埋弧自动焊机大部分采用小车式行走机构。

4. 按焊丝(电极或电弧)数目分为单丝、双丝和多丝焊机。目前国内生产应用的大多是单丝焊机,使用双丝或多丝焊机是提高埋弧自动焊生产率的有效途径,已日益受到重视。

国产埋弧自动焊机的型号及主要技术数据见表 5-10。

表 5-10 埋弧自动焊机的型号及主要数据

型号	MZA-1000	MZ-1000	MZ ₁ -1000	MZ ₂ -1500	MZ ₃ -500	MZ ₆ -2×500
送丝型式	弧压自动调节	弧压自动调节	等速送丝	等速送丝	等速送丝	等速送丝
焊机结构特点	埋弧、明弧 两用焊机	焊机	焊机	悬挂式 自动机头	电磁爬行 小车	焊机
焊接电流 (A)	200~1200	400~1200	200~1000	400~1500	180~600	200~600
焊丝直径 (mm)	3~5	3~6	1.6~5	3~6	1.6~2	1.6~2
送丝速度 (m/h)	30~360 (弧压反馈)	30~120 (弧压 35 V)	52~403	28.5~225	108~420	150~600
焊接速度 (m/h)	2.1~78	15~70	16~126	13.5~112	10~65	8~60
焊接电流种类	直流	直流或交流	直流或交流	直流或交流	直流或交流	交流
控制箱电源电压 (V)	380	380	220 或 380	220 或 380	220 或 380	220 或 380
送丝速度调整方法	用电器无级调速 (用改变可控硅导通角来改变直流电动机转速)	用电器自动调整直流电动机转速	调换齿轮	调换齿轮	用自耦变压器无级调整直流电动机转速	用自耦变压器无级调整直流电动机转速
焊接速度调整方法						

三、埋弧自动焊机的结构特点

埋弧自动焊机是由机械、电源和控制系统三个主要部分组成，它们的主要特点如下：

1. 机械结构。以 MZT-1000 型自动焊机的焊接小车为例来说明自动焊机的机械结构特点（其它各种自动焊机的结构均与其大同小异）。图 5-18 为焊接小车的外形结构，它由送丝机头、行走小车、机头调节机构、导电嘴以及焊丝盘、焊剂斗等部件组成，通常还装有控制盒。

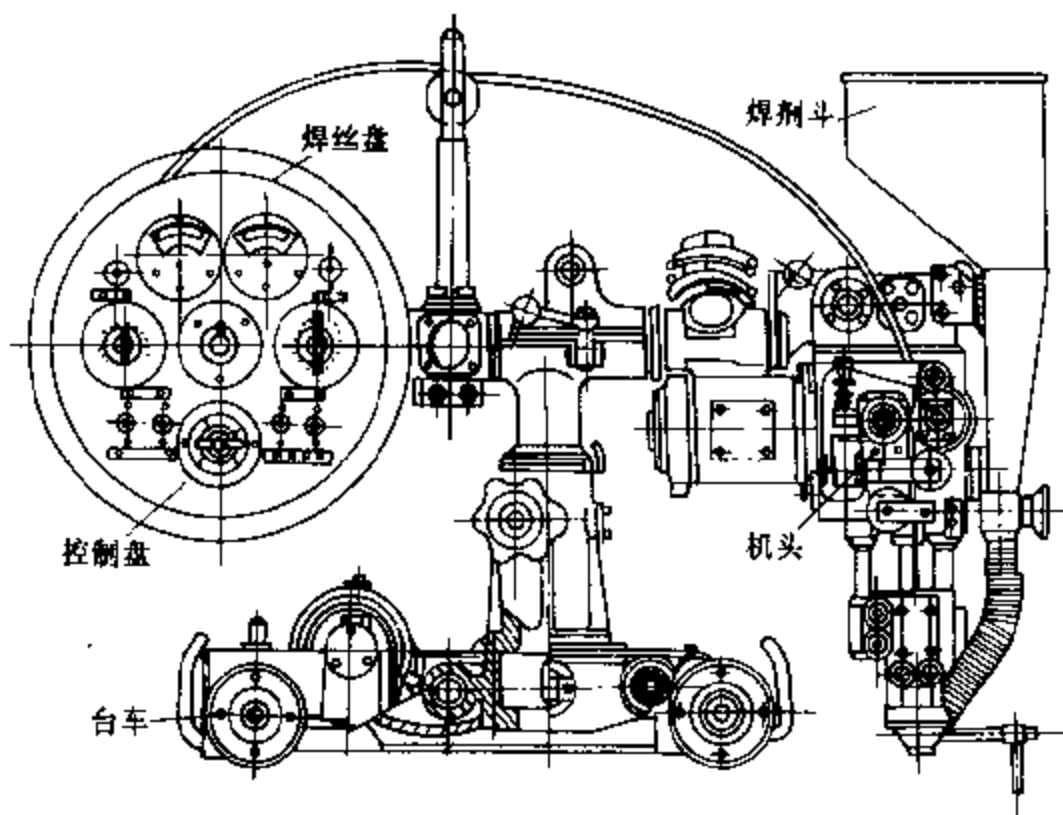


图 5-18 MZT-1000 型自动焊小车

(1) 送丝机头。其主要作用是将焊丝自动输送到电弧焊接区，它包括送丝传动系统、送丝滚轮和矫直滚轮等。

(2) 行走小车。包括行走传动机构、行走轮及离合器等。行走电动机经两级蜗轮蜗杆减速后带动小车两只行走轮。行走轮一般应为橡胶绝缘轮，或设法使小车与导电嘴绝缘。爪形离合器通过手柄操作，当离合器脱离时小车可由手推动，合上时则由电动机驱动。

(3) 机头调节机构。为了使焊机能适应各种类型焊缝焊接，并使焊丝对准焊缝，送丝机头应有足够的调节自由度，图 5-19 为 MZT-1000 型自动焊小车机头的调节自由度及调节范围。其 x 、 y 为移动方向调节，调节范围分别为 60、80 mm，一般由螺纹传动副手工调节，并可在焊接过程中连续进行。 α 、 β 、 γ 为转动角度调节，调好后用螺丝夹紧固定，焊接过程中不宜调节。

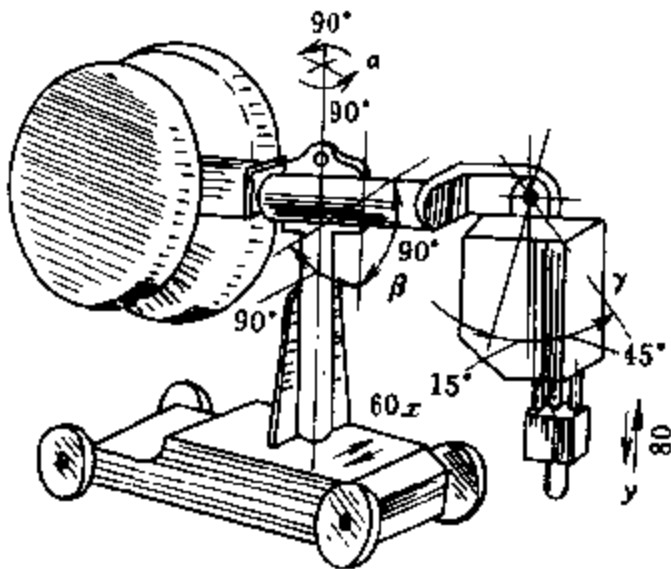


图 5-19 MZT-1000 型焊车可调部件示意图

焊筒体环缝的悬臂式焊机中，上述调节机构 x 、 y 方向移动以及 α 方向转动等均可分别由电动机驱动，传动机构型式一般为链传动或齿条传动。

(4) 导电嘴。安装在焊头上的铜制导电嘴（耐磨铜合金制成）是为了将电流导至焊丝用的。导电嘴分为三种不同的结构形式，见图 5-20。

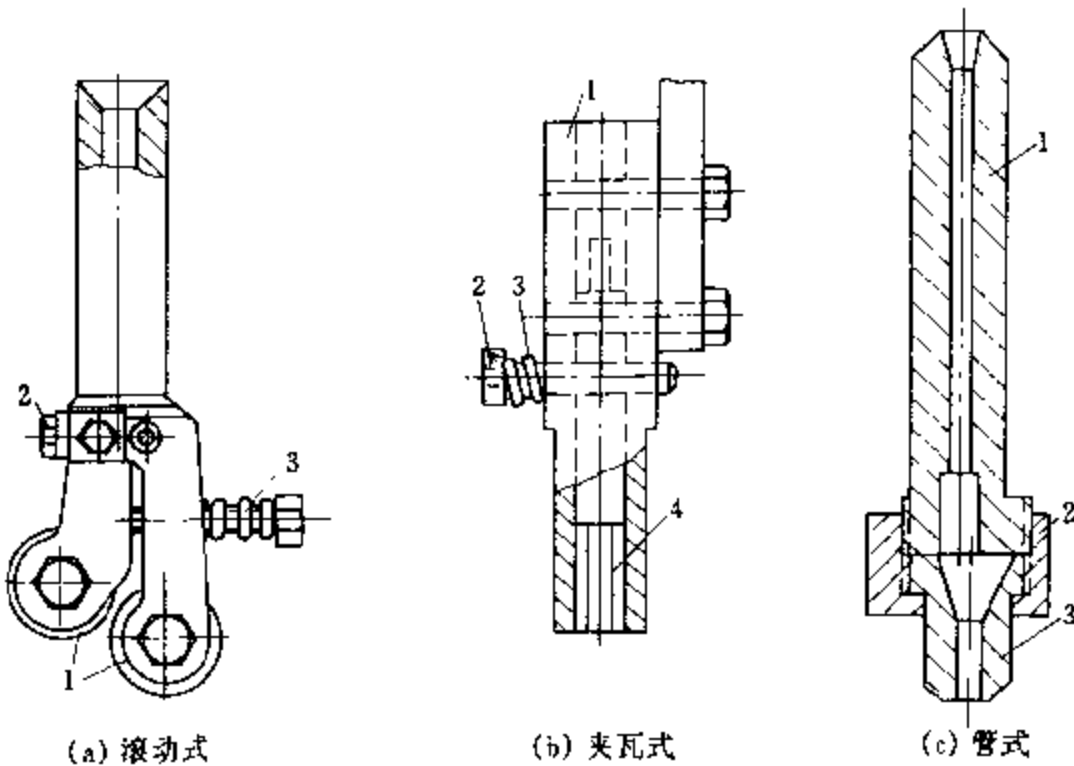


图 5-20 导电嘴结构示意图

- (a) 1—导电滚轮；2—旋紧螺钉；3—弹簧
 (b) 1—接触夹瓦；2—旋紧螺钉；3—弹簧；4 可换衬瓦
 (c) 1—导电杆；2—螺帽；3—导电嘴

滚动式导电嘴由装在导电板上的两个耐磨铜滚轮组成。焊接电线接在导电板上。为使接触导电良好，焊丝靠弹簧的张力夹紧在两个滚轮之间。弹簧张力由旋紧螺钉来调节。

夹瓦式导电嘴是由两个带槽的铜瓦组成。用两个带弹簧的螺钉使一夹瓦压向另一夹瓦，以保证夹瓦与焊丝之间良好的接触。焊接电缆用螺柱接在固定夹瓦上。为了延长使用寿命，可在夹瓦的沟槽中对不同直径的焊丝更换衬瓦。这种结

构的导电嘴可以有效地导引焊丝的方向，并容许有较大的磨损。

偏心式导电嘴，也称管式导电嘴，是由导电杆和导电嘴组成。导电嘴用耐磨合金铬铜制成。导电杆有直的，也有弯的。导电嘴与导电杆不在同一个圆心上，因此，通过导电杆的焊丝在导电嘴的端头中受到弯曲，并由于焊丝的弹性而在端头的出口处造成必要的接触压力。

(5) 焊剂回收器。通用小车式埋弧焊机一般不带有焊剂回收装置，而用手工回收。大型专用焊机一般装有焊剂回收装置。目前一般的焊剂回收器均是利用 3~4 个大气压的压缩空气造成局部负压实行吸附的，结构形式有电动吸入、气动吸入和吸压式等多种。

2. 电源。埋弧自动焊可采用交流或直流电源进行焊接，可根据产品焊接要求及焊剂型号选定电源。采用直流电源时，一般采用直流反极性，以获得较大熔深。

埋弧自动焊电源外特性应为下降型的，空载电压要求在 70~80 V 以上。由于焊接电流较大，电源的额定电流一般在 700~1 000 A 以上。常见的埋弧自动焊的交流电源有 BX₂-1000 型，为同体式弧焊变压器，用异步电动机正、反转调节电抗器的空气隙改变外特性。直流电源有 ZXG-1000 R、ZDG-1000 R（饱和电抗器式整流型，用调节电抗器励磁电流改变外特性）。小电流埋弧焊也可借用 AX₁-500 型等手弧焊电源，但这时必须注意所用的电流上限不应超过按 100% 负载持续率折算的数值。

3. 控制系统。通用小车式埋弧自动焊机的控制系统包括：电源外特性控制、送丝和小车拖动控制及程序自动控制（其中主要是引弧和熄弧自动控制）。大型专用焊机还包括横臂升

降收缩、立柱旋转和焊剂回收等控制系统。

四、常用的埋弧自动焊机

1. MZ-1000 型埋弧自动焊机。MZ-1000 型埋弧自动焊机是根据对电弧电压自动（强制）调节原理设计的均匀调节式自动焊机。它适合焊接水平位置或与水平面倾斜不大于 15° 的各种有或无坡口的对接焊缝、搭接焊缝和角接焊缝等，并可借助转胎进行圆形焊件内、外环缝的焊接。

(1) 结构。该机由 MZT-1000 型焊接小车、MZP-1000 型控制箱和焊接电源构成。

焊接小车如图 5-18 所示，由机头、控制盘、焊丝盘、焊剂斗和行走台车等部分组成。送丝机头和行走小车分别由两只直流电动机通过各自的传动系统驱动。弧压 35 V 时，送丝速度在 30~120 m/h 范围内，焊接速度在 15~70 m/h 范围内都能均匀调节。焊车驱动轮与传动机构之间装有爪形离合器，用手柄控制合与离，以决定小车自动行走或用手推动。导电嘴内备有衬套，可按焊丝粗细或磨损情况进行更换。

控制箱内装有发电机组、接触器、继电器、变压器和整流器等电动装置，用来对焊接程序进行控制，自动调节焊接规范。当电器控制系统失灵时能自动切断电源。

焊接电源采用交流电时可配 BX₂-1000 型焊机，采用直流电时可用 AX₁-500 型弧焊发电机或 ZXG-1000 型、ZDG-1000R、ZPG₇-1000 型等弧焊整流器。

(2) 工作原理及操作。MZ-1000 型自动焊机配用交流电源时的电气原理如图 5-21。

1) 空载调整。

a. 接通开关 K₁，冷却风扇 FD 启动；电动机 YD 启动，发

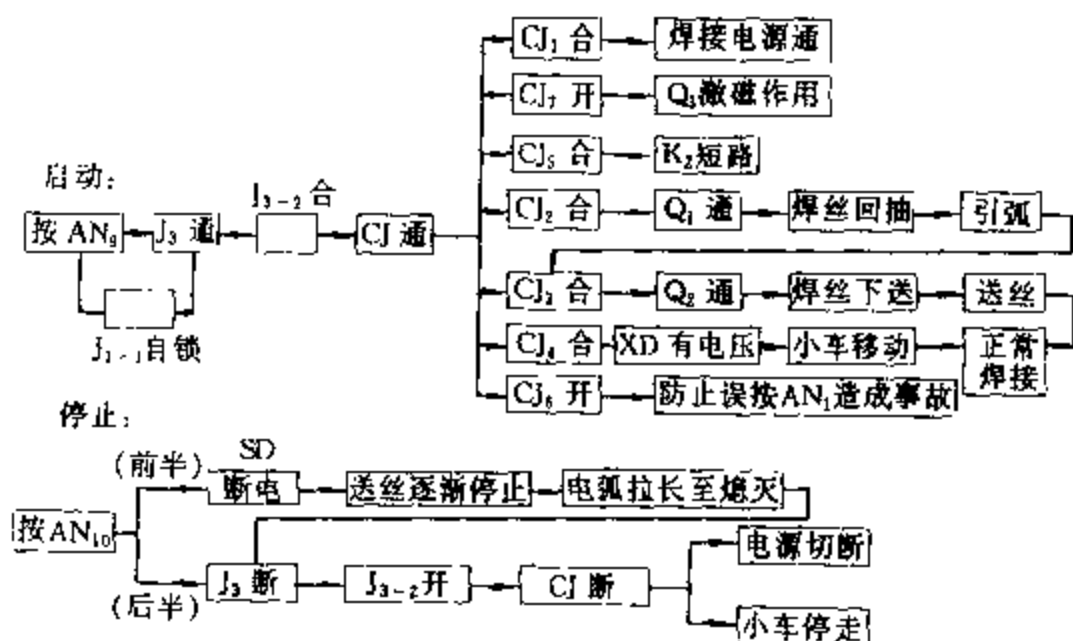


图 5-22 MZ-1000 焊机动作程序方框图

3) 电源的改装。

电焊机制造厂生产的 MZ-1000 型焊机一般按交流电源接线出厂供货，用户如果改用直流电源只需略加改动。图 5-23 为 MZ-1000 型焊机用直流弧焊发电机时的电路原理图。

(3) MZ-1000 型焊机的外部接线图。图 5-24 和图 5-25 分别为采用交流和直流电源时的 MZ-1000 型焊机的外部接线图。与图 5-22 和图 5-23 对照，可明白每一条外部接线的作

2. MZ₁-1000 型埋弧自动焊机。MZ₁-1000 型埋弧自动焊机属等速送丝式（电弧自调节），焊接小车轻便，控制线路简单，适用于对接、搭接、船形角焊缝和筒体的内、外环缝和直缝的焊接。若用 $\phi 1.6$ mm 的细焊丝，还可焊接 2~3 mm 厚的薄板结构。

(1) 结构。MZ₁-1000 型埋弧自动焊机由焊接小车、控制

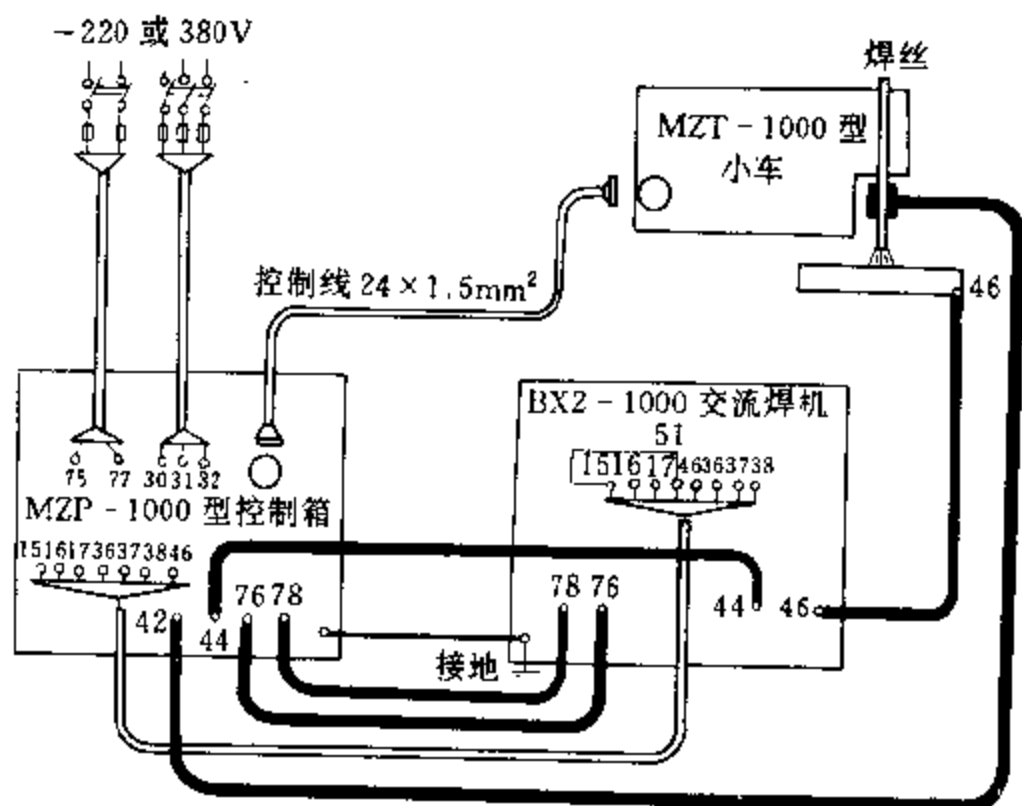


图 5-24 用交流电源时 MZT-1000 型焊机的外部接线图

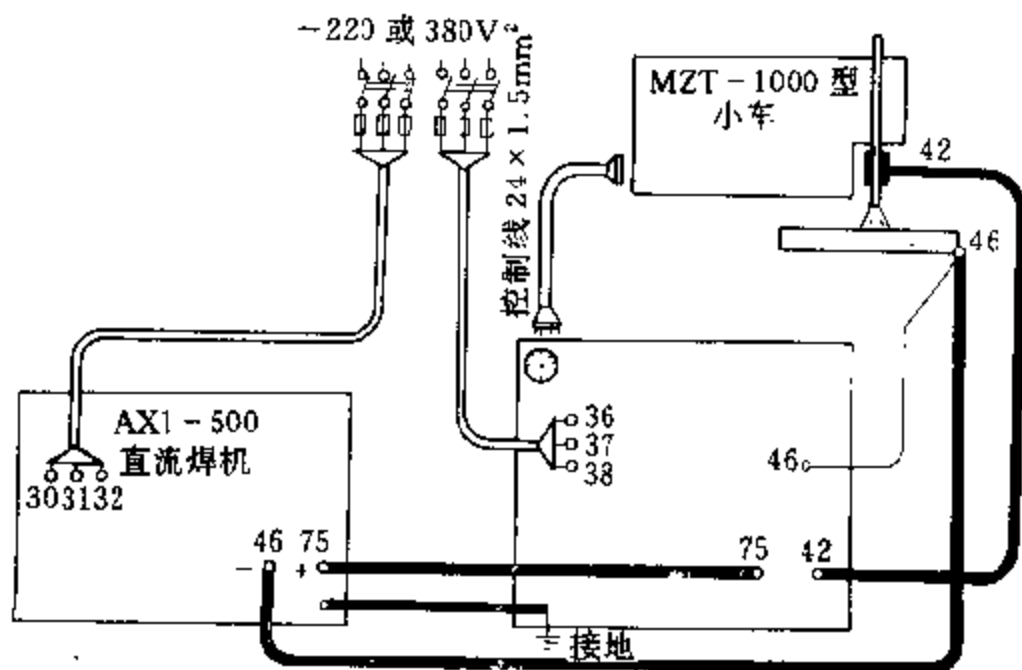


图 5-25 用直流电源时 MZT-1000 型焊机的外部接线图

箱和电源三部分组成。焊接电源可配有相当容量的交流或直流电源，以缓降特性为好。生产中常用 BX₂-1000 型同体式弧焊变压器，其电抗器铁芯是由电动机驱动，便于远控调节，也可用一台或两台并联的 AX₁-500 型直流弧焊发电机或某种弧焊整流器。

焊接小车结构可分为电机传动部件和回转托架两大部分。传动部分由电机、减速装置、驱动行走机构和送丝机构组成。回转托架由按钮板、焊丝盘、仪表板和焊剂斗等组成。

控制箱中装有接触器、继电器、变压器、电流互感器和分流器等装置，用以实现焊接过程程序控制。

(2) 工作原理与操作。该焊机是采用机构方法来达到调速的目的。焊接时，依靠电弧自身的调节作用来维持弧长相对稳定。当焊接电弧受外界干扰而弧长增加（即电弧电压升高）时，焊接电流减小，这就导致了焊丝熔化速度减慢，电弧由长变短（即电弧电压下降）趋向给定值。反之，电弧变短时，电弧电压降低，焊接电流增大，焊丝熔化速度加快，弧长由短变长趋向给定值。

按“向下一停 1”或“向上一停 2”按钮，预先调整焊丝与工件表面刚刚接触并覆盖好焊剂。当按下“启动”按钮时，电源回路接通，给接触处加上短路电流，同时焊丝上抽，电弧随机引燃，这时操作者应观察焊机上的电弧电压表，当电压达到 40 V 左右时，便可松开按钮，电机反转使焊丝下送，进入正常焊接。当需要停止焊接时，先按“向下一停 1”按钮，使驱动送丝和焊车的电机停止。因为此时电源尚未切断，故电弧便沿着静止的焊丝向上“返烧”，将弧坑逐渐填满，当弧长增长到无法维持时，便自行熄灭。然后再按“向上一停 2”按钮，切断焊接电源并使线路恢复到初始状态。

五、埋弧自动焊机的使用方法

1. 安装。焊机在安装前应熟悉电气线路工作原理、内部接线和安装图，在此基础上注意以下几点：

(1) 安装前检查各设备元件的铭牌，使用电压应与网路电压相等。

(2) 安装时查对接线编号，严格按图安装。控制回路与焊接回路的闸刀应分开，并配有合适的熔断器。

(2) 焊接电源和控制箱必须可靠接地。

(4) 外部接线应用专用橡皮绝缘导线连接，不能草率代用，必须考虑导线截面及其绝缘问题。

(5) 所有接头要牢靠，保证接触良好。

2. 调试。埋弧焊机安装、检查完后，应对焊机进行调试，步骤大致如下：

(1) 合上控制电源闸刀和控制箱上的转换开关，检查各种电动机的转向是否正确。

(2) 按“向上”、“向下”、“启动”、“停止”按钮，分别观察电气线路工作是否正常。

(3) 拨动焊车空运转开关，旋转焊车速度调整器指针，焊车电机应有转速的变化。合上焊车离合器，焊车应行走。

(4) 按焊接电流增大或减小按钮，拖动电动机应旋转，使电抗器可动铁芯向外或向内移动。

(5) 电气线路工作正常后，装焊丝和焊剂，调整焊接规范，进行试焊。

3. 焊机的操作方法。焊机的操作主要分为四个阶段：

(1) 焊前准备。

1) 准备焊丝、焊剂，并去污、烘干。

续表 5-11

故障特征	可能产生的原因	排除方法
按下“启动”按钮，线路正常工作，但引不起弧	<ol style="list-style-type: none"> 1. 焊接电源未接通 2. 电源接触器接触不良 3. 焊丝与焊件接触不良 4. 焊接回路无电压 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 接通焊接电源 2. 检查修复接触器 3. 清理焊丝与焊件的接触点 4. 检查焊接回路熔断器
启动后，焊丝一直向上抽	电弧反馈的 46 号线未接或断开（对 MZ-1000 型焊机）	将 46 号线接好
线路工作正常，焊接规范正确，而焊丝给送不均匀，电弧不稳	<ol style="list-style-type: none"> 1. 焊丝给送压紧滚轮太松或已磨损 2. 焊丝被卡住 3. 焊丝给送机构有故障 4. 网路电压波动太大 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调整或调换给送滚轮 2. 清理焊丝 3. 检查焊丝给送机构 4. 焊机可使用专用线路
焊接过程中焊剂中断输送或输送量很小	<ol style="list-style-type: none"> 1. 焊剂用完 2. 焊剂斗阀门处被渣壳或杂物堵塞 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 添加焊剂 2. 清理并疏通焊剂斗
焊接过程一切正常，而焊车突然停止行走	<ol style="list-style-type: none"> 1. 焊车离合器脱开 2. 焊车轮被东西阻挡 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 关紧离合器 2. 排除阻挡物
按下“启动”按钮后，继电器作用，而接触器不能正常工作	<ol style="list-style-type: none"> 1. 中间继电器失常 2. 接触器线圈有问题 3. 接触器磁铁面生锈或污垢太多 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 检修中间继电器 2. 检修接触器 3. 用 0 号砂纸或油光锉打磨接触器磁铁面

续表 5-11

故障特征	可能产生的原因	排除方法
焊丝没有与工件接触, 焊接回路有电	焊车与工件之间绝缘破坏	1. 检查焊车车轮绝缘情况 2. 检查焊车下面是否有金属与焊件短路
焊机“启动”后, 焊丝末端周期性与焊件“粘住”或常常断弧	1. “粘住”是因为电弧电压太低、焊接电流太小或网路电压太低 2. 断弧是因为电弧电压太高, 焊接电流太大或网路电压太高	1. 增加电弧电压或焊接电流 2. 减小电弧电压或焊接电流 3. 改善网路负荷状态
焊丝在导电嘴中摆动, 导电嘴以下的焊丝不时发红	1. 导电嘴磨损 2. 导电不良	更换或清理导电嘴
导电嘴末端随焊丝一起熔化	1. 电弧太长, 焊丝伸出太短 2. 焊丝给送和焊车皆已停止, 而电弧仍在燃烧 3. 焊接电流太大	1. 增加焊丝送进速度和焊丝伸出长度 2. 检查焊丝和焊车停止的原因 3. 减小焊接电流
焊接电路接通时, 电弧未引燃, 而焊丝粘结在焊件上	焊丝与焊件之间接触太紧	使焊丝与焊件轻微接触
焊接停止后, 焊丝与焊件粘住	1. “停止”按钮按下速度太快 2. 不经“停止1”而直接按下“停止2”	1. 慢慢按下“停止”按钮 2. 先按“停止1”, 待电弧自然熄灭后, 再按“停止2”

第四节 手工钨极氩弧焊设备

钨极氩弧焊是气体保护焊的一种，通常又称作“TIG”焊，它是“钨极惰性气体保护焊”的英文缩写。钨极氩弧焊又分为手工钨极氩弧焊和自动钨极氩弧焊，下面只介绍现场安装常用的手工钨极氩弧焊设备。

一、钨极氩弧焊设备的主要结构

手工钨极氩弧焊机结构如图 5-26 所示，它主要由焊接电源、焊炬、供气及供水系统、焊接控制装置等部分组成。

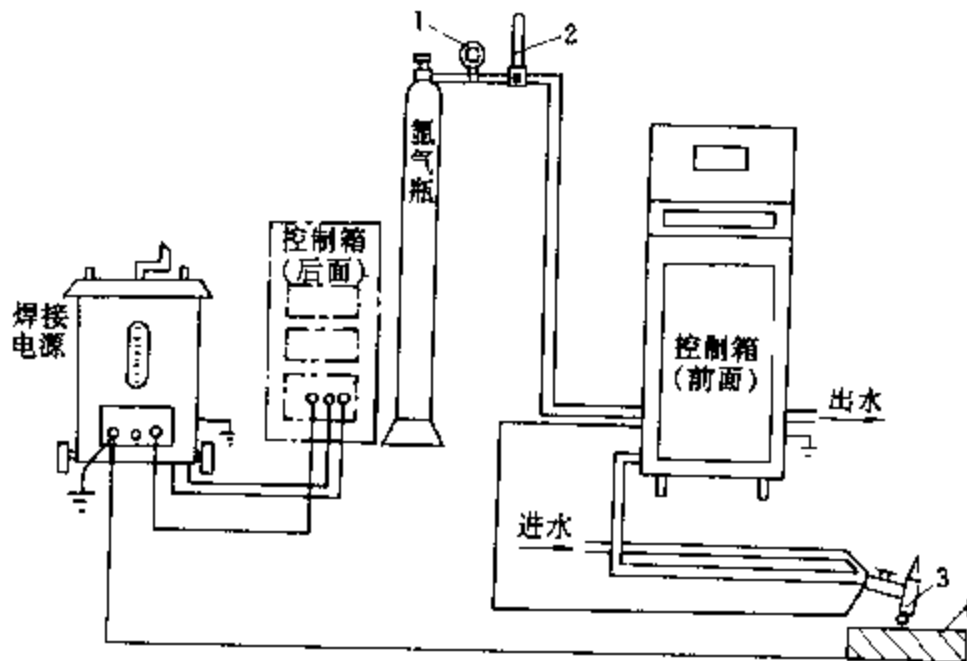


图 5-26 钨极氩弧焊机结构图

1—减压表；2—流量计；3—焊炬；4—工件

二、钨极氩弧焊电源

钨极氩弧焊可以采用直流电源、交流电源或交直流两用

电源。无论是直流还是交流都采用陡降外特性或垂直外特性电源，其目的是为了在弧长发生变化时尽量减小对焊接电流的影响。采用直流电源时，常用 ZXG₇-300 型等硅整流焊机；采用交流电源时则采用焊接变压器，用电容器消除焊接回路中的直流分量。交直流焊机常采用饱和电抗器式单相整流电源。

三、引弧器及稳弧器

由于钨极氩弧焊不宜采用接触引弧方法，则引弧器成为钨极氩弧焊机的一个专用装置。目前引弧器主要有可控硅高压脉冲引弧器和高频振荡引弧器两种。

用高压脉冲引弧不会产生高频电压而影响焊工的健康，但这种方法可击穿的气体间隙较小，因此，目前多数氩弧焊机还是用高频振荡引弧器。

高频振荡器与焊接电源可并联或串联使用，高频在导线上传导时的损耗很大，所以，高频输出端到电弧的电缆线应尽量短一些。调节高频振荡器的火花放电器的放电电极间隙，可以调节高频的强度，放电间隙以 1.5 mm 左右为宜。如果间隙太小，放电电压太低；间隙太大，不能正常工作。使用交流电源时，高频振荡器不仅用于引弧，还用来稳弧。

四、焊 炬

焊炬也称焊枪，其性能的优劣直接影响焊接质量和焊工的劳动强度。良好的焊炬应具有可靠的气体保护效果，且耗气量小；导电可靠，冷却良好，大电流焊枪应采用水冷枪体；电极装卡牢固，便于更换，与喷嘴的同心度好；结构紧凑轻

便，便于焊接操作。手工钨极氩弧焊炬主要由枪体、喷嘴、电极夹持装置、电缆、氩气输入管、水管和按钮开关等组成，其作用是夹持钨极，传导电流和输送氩气。

为使氩气的保护效果良好，焊炬应是径向进气，出气口采用圆柱形喷嘴，具有较长的导气道应加有“气筛”装置，以使氩气进入焊炬后，气流减速，均匀镇静，从而减少涡流，保持层流，提高保护效果。气筛

是用有许多小孔的金属薄片或金属丝网制成，气流流过气筛可以进一步稳定、均匀。常用的圆柱形喷嘴如图 5-27，其主要尺寸为： $d_2 = (2.5 \sim 3.5) d_1$ ， $h = (1.4 \sim$

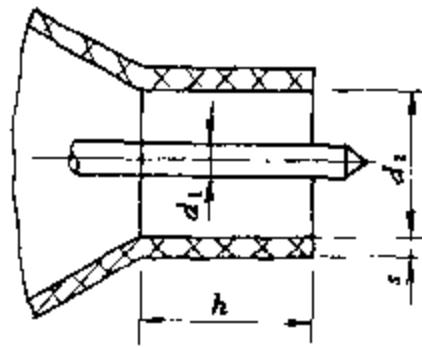


图 5-27 圆柱形喷嘴

$1.6) d_2 + (7 \sim 9) \text{ mm}$ ， $s = 1.5 \sim 2 \text{ mm}$ ， d_1 为钨极直径。喷

嘴内腔应光滑均匀，常用陶瓷材料制成，如果用金属材料制造，由于金属喷嘴容易过热沾上飞溅，故喷嘴直径应略大些。一般手工钨极氩弧焊的喷嘴内径为 5~16 mm。

手工钨极氩弧焊枪的种类很多，在定型产品中有水冷和空冷之分。通用的水冷却焊枪如图 5-28 所示，其特点是结构简单、轻巧、气体保护性能良好且使用方便。

五、供气系统

供气系统主要包括氩气瓶、减压器、气体流量计及电磁气阀等。氩气瓶中的高压氩气经过减压器减压，再经过流量计、电磁气阀送到焊炬。

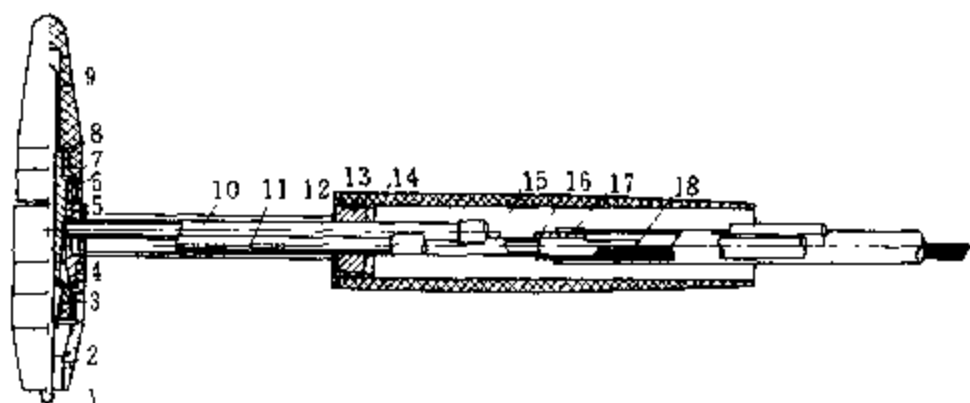


图 5-28 水冷式焊枪的结构示意

- 1—钨极；2—喷嘴；3—夹头；4—接头；5—枪体套；6—枪体；
 7—压紧螺帽；8—螺母；9—保护帽；10—进气管；11—出水管；
 12—橡皮套管；13—手柄接头；14—手柄；15—进水管；
 16—接头；17—进水皮管；18—电缆

氩气瓶构造与氧气瓶相类似，外表涂灰色漆，满瓶压力为 15 MPa，容积一般为 40 L，容量为 6 m³。瓶内氩气不得全部用完，以免空气进入瓶内，造成下次瓶内气体不纯，影响焊接质量。一般焊接用氩气的纯度应 $\geq 99.9\%$ 。

气体流量计是标定通过气体流量大小的装置，通常应用的有两种型式：LZB 型转子流量计（单一的）和 301-1 型流量计（是将减压器与流量计制成一体的）。转子流量计主要由一个垂直的锥形玻璃管与管内的金属浮子所组成，当气体自下而上通过锥形玻璃管时，浮子随气体流速大小而飘浮于不同高度，气流越大，浮子位置越高，因而根据浮子位置的高度就可以确定气体的流量，其大小可以直接从玻璃管刻度上读出来。

减压器用以减压和调压，且有稳压的作用，一般用氧气减压器。电磁阀是一只用电磁铁通断的阀门，通电时电磁铁

吸合接通气路，断电时阀门芯在弹簧作用下复位，切断气路。

六、供水系统

通水是主要用来冷却焊接电缆、焊炬和钨极的，如果焊接电流小于 100 A 时，就不需要用水冷。为保证冷却水接通并有一定的压力后才能启动焊接设备，通常在氩弧焊机中设置保护装置——水压开关。水压开关与电源连锁，当水压不足时，焊机不能启动，只有水量充裕，水压开关才能起作用。

七、焊接程序控制

程序控制的作用是将保护气体的给送和切断、引弧工作、电流衰减和切断等程序协调起来，保证正常的焊接工作。最简单的焊接程序是：

1. 有水冷时先开通冷却水，确保焊炬等得到水冷却；预通氩气，驱除管路、焊炬及焊接区的空气，形成保护区。
2. 接通焊接电源，接通高频振荡器或高压脉冲线路，引燃电弧开始焊接。
3. 直流氩弧焊时，电弧引燃后切断高频振荡器；交流时，高频振荡器不切开，在焊接过程中起稳弧作用。有的交流氩弧焊机用高压脉冲稳弧器保证稳弧，不需高频振荡器稳弧。
4. 焊接结束时，切断焊接电源，或经电流衰减后切断电源。
5. 延时切断氩气，保护灼热的钨极和焊接区不受空气污染氧化。

焊接控制程序的方框图如图 5-29 所示。

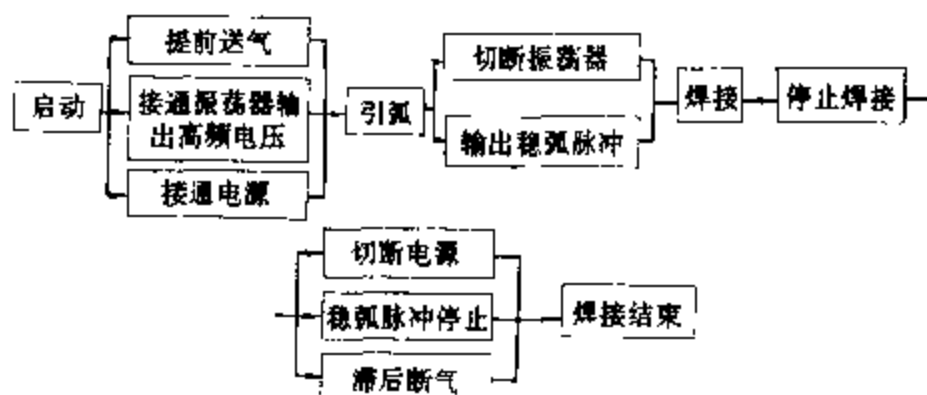


图 5-29 手工钨极氩弧焊控制程序方框图

八、手工钨极氩弧焊机简介

随着氩弧焊技术的广泛应用，钨极氩弧焊机的类型日益增多，现将部分定型的手工钨极氩弧焊机的主要技术数据列于表 5-12。

表 5-12 常用手工钨极氩弧焊机的主要技术数据

型 号	NSA-300	NSA ₁ -300	NSA ₂ -300-1	NSA ₄ -300
电源电压 (V)	220 或 380	220	380	380
额定工作电压 (V)	20	12~20	12~20	25~30
焊接电流调节范围 (A)	50~300	30~300	50~300	20~300
额定焊接电流 (A)	300	300	300	30
电源种类	交流	直流	交、直流	直流
额定暂载率 (%)	60	60	60	60
钨极直径 (mm)	2~6	2~6	1~6	1~5

续表 5-12

型号	NSA-300	NSA ₁ -300	NSA ₂ -300-1	NSA ₁ -300
氩气流量 (L/min)	20	25	25	15
冷却水流量 (L/min)	1	1	1	1
配用电源	BN-500 型 及 GAL-300 型电抗器	AX-320 型 及 PZ-300 型 镇定变阻器	ZXG ₃ -300-1	ZXG ₇ -300-1
用途	用于焊接 铝及铝合金	焊接 1~ 10 mm 厚度 的不锈钢、高 合金钢及铜 等金属	用于焊接 铝及铝合金、 不锈钢、高合 金钢、钛钢等	用于焊接 不锈钢、高合 金钢、铜及其 它有色金属

九、手工钨极氩弧焊机常见故障及消除方法 (见表5-13)

表 5-13 手工钨极氩弧焊机常见故障及消除方法

故障特征	可能产生的原因	消除方法
电源开关接通, 指示灯不亮	开关损坏	更换开关
	保险丝烧断	更换保险丝
	控制变压器损坏	检修变压器
	指示灯损坏	更换指示灯
控制线路有电, 但焊机不能启动	开关接触不良	检修或更换
	启动继电器或热继电器故障	检修继电器
	控制变压器损坏	更换或检修

续表 5-13

故障特征	可能产生的原因	消除方法
无振荡或振荡火花微弱	高频引弧器故障	检修引弧器
	火花放电器间隙不当	调整放电盘间隙
	放电盘云母击穿	更换云母片
	放电器电极烧坏	清理和调整电极
有振荡放电,但引不起电弧	焊接电源接触器故障	检修接触器
	控制线路故障	检修控制线路
	焊件接触不良	使其接触良好
电弧引燃后,焊接过程电弧不稳定	稳弧器故障	检修稳弧器
	消除直流分量的元件故障	检修或更换元件
	焊接电源故障	检修焊接电源
焊机启动后,无氢气输出	气路阻塞	疏通气路
	电磁气阀故障	检修电磁气阀
	控制线路故障	检修控制线路
	气体延时线路故障	检修延时线路

第五节 二氧化碳气体保护焊设备

二氧化碳气体保护焊是 50 年代初发展起来的一种熔化极气体保护电弧焊。它分为细丝二氧化碳半自动焊和自动焊，粗丝二氧化碳自动焊。二氧化碳半自动焊机包括焊接电源、送丝机构、焊枪和控制系统、供气系统；自动焊机除上述设备，还有焊接小车。本节着重介绍应用广泛的二氧化碳（ CO_2 ）半自动机。

一、焊接电源

为保证电弧稳定，一般采用直流电源。因使用的电流密度高，加之 CO_2 气体的强烈冷却作用使电弧急剧收缩，电弧静特性工作在上升段。为了使电弧有较强的自身调节作用，一般均使用平特性或上升特性的焊接电源。 CO_2 焊机的工作电压调节范围一般为 17~30 V，而平特性焊接电源的空载电压可以与工作电压很接近，空载电压可以较低。

细丝 CO_2 焊的熔滴过渡形式为短路过渡，短路频率高达每秒数十至百余次，电弧是处在周期性的燃弧-熄弧过程中，而每一次循环所经历的时间只有几毫秒。电源要能适应这样频繁的变化，必须具有良好的外特性，即具有足够大的空载电压恢复速度与合适的短路电流增长速度。

能满足上述这些要求的电源类型很多，目前 CO_2 焊机常用的焊接电源有抽头式和磁放大器式，它们都属于硅整流式焊接电源（ZPZ 型）。此外，还有可控硅调压式电源、滑调式、自调电感式硅整流电源，以及采用加复励方式的旋转直流电源等。

二、送丝系统

CO₂ 气体保护焊通常采用等速送丝系统,基本要求是:能稳定、均匀地给送焊丝,并且调速要方便,结构应牢固轻巧。半自动焊的送丝方式有推丝式、拉丝式和推拉式三种,如图 5-30 所示。



图 5-30 送丝方式示意图

推丝式送丝,送丝与焊枪机构是分开的,焊丝由送丝机构推送,通过一段软管进入焊枪。所以焊枪结构简单、轻便,但送丝通过软管时阻力较大,因而软管长度受到限制,一般只能在离焊机 3~5 m 范围内操作。

拉丝式送丝,是直接将送丝机构和焊丝盘装在焊枪上,这样就不用软管,避免焊丝通过软管的阻力,送丝速度均匀稳定,但焊枪重量增加,焊工的劳动强度较大。

推拉式送丝,是以上两种送丝方式的结合,送丝时以推为主,焊枪上的送丝机,仅起随时将软管中焊丝拉直的作用,使软管中的送丝阻力大大减小,从而软管长度可以加长,而

仍然保持送丝畅通，速度稳定。这种送丝方式的送丝软管可以加长到 15 m 左右，甚至更长，扩大了半自动焊的操作距离。

目前生产中用得最多的是推丝式送丝方式。推丝式送丝系统包括送丝机构、调速器、送丝软管及焊丝盘等。

1. 送丝机构。送丝机构由送丝电动机、减速装置、送丝滚轮及压紧机构等组成，如图 5-31 所示。为了适应不同的使用要求，通常与焊丝盘一起，把送丝机构做成手提式、小车式或悬挂式。

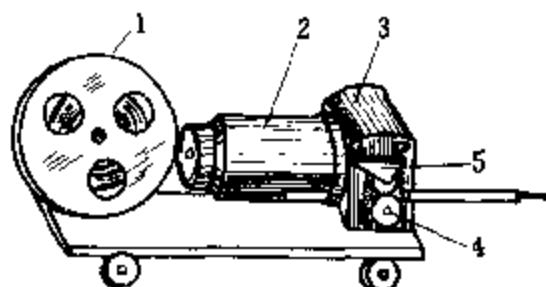


图 5-31 推丝式送丝机构示意图

1—焊丝盘；2—送丝电动机；3—减速装置；

4—送丝滚轮；5—压紧装置

2. 调速器。调速器用来调节送丝速度，一般采用可变送丝电动机电枢电压的方法，实现送丝速度的无级调节。目前，应用最为普遍的是可控硅整流器调速方法。

3. 送丝软管。

送丝软管是导送焊丝的通道，对软管的要求是内径大小要均匀合适；焊丝通过的摩擦阻力小；应有较好的挺度和弹性。

目前使用的送丝软管主要有三种形式：尼龙软管、外包

电缆的弹簧软管（既作送丝又作导电）、外包弹簧钢丝的弹簧软管。后两种用得较多，弹簧软管一般采用 $\phi 2$ mm的弹簧钢丝（如65 Mn）绕制而成。弹簧软管内径应与焊丝很好地配合，以便提供均匀稳定的送丝条件。对于推丝式送丝弹簧软管内径，一般要求比焊丝直径大0.5~1 mm。

三、焊 枪

焊枪的主要作用是向熔池和电弧区输送保护性良好的气流和稳定可靠地向焊丝供电，并将焊丝准确地送入熔池。半自动焊枪根据送丝方式的不同，可分为推丝式、拉丝式和推拉式三种；根据选用的焊丝直径不同，可分为粗丝和细丝两种。

1. 推丝式焊枪。主要用于给送直径1 mm以上的焊丝。推丝式焊枪有手枪式和鹅颈式两种结构形式。

推丝式焊枪结构简单，轻巧灵活，是目前应用比较普遍的一种焊枪。不过对送丝软管的要求比较高，而且软管不宜过长。

2. 拉丝式焊枪。因送丝机构和焊丝盘都装在焊枪上，故焊枪结构复杂，比较笨重。通常只适用于直径0.5~0.8 mm的细丝焊接。

3. 推拉式焊枪。其中以三滚轮式运用较多，这种焊枪的特点是结构简单，重量轻，送丝速度稳定和操作灵活。

4. 焊枪的喷嘴和导电嘴。喷嘴和导电嘴是焊枪的主要零件，也是影响焊接工艺性能的重要因素。

一般半自动焊枪的喷嘴孔径为16~22 mm，不应小于12 mm，以使气体保护充分，且气量消耗又少。但也不宜太大，以致观察熔池不便。喷嘴采用紫铜或陶瓷材料制作，其

形状以圆柱形的较好，也有用圆锥形的。使用前，可在喷嘴的内外表面涂以硅油，这样容易清除飞溅物。

导电嘴的形状如图 5-32。导电嘴孔径的大小，对送丝速度和焊丝干伸长度有很大影响。如孔径过大或过小，会造成焊接规范不稳定因而影响焊接质量，同时导电嘴长度要适宜，以保证导电性能良好及送丝顺利。导电嘴常用紫铜制作，也有采用铬青铜和磷青铜等材料制作。

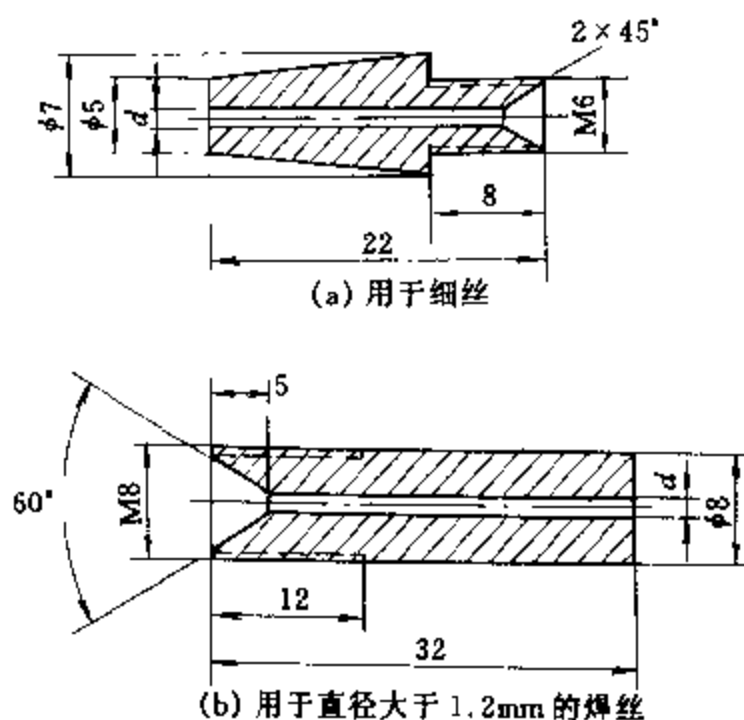


图 5-32 导电嘴

四、供气系统

供气系统的作用是将钢瓶中的液态 CO_2 变成合乎要求的、具有一定流量的 CO_2 气体，并及时送到焊接电弧区。 CO_2 供气系统由气瓶、加热器和高、低压干燥器、减压器、流量计及电磁气阀等组成，如图 5-33 所示。

1. 加热器和干燥器。加热器的作用是对气体进行加热。

瓶装液态 CO_2 在转变成气态的过程中要吸收大量的热，使气体温度降到 0°C 以下。为防止 CO_2 中的水结成冰将减压阀冻坏和堵塞气路，所以在减压前必须对 CO_2 气体进行加热。加热器一般采用电热式，用 36 V 交流电源使电阻丝通电发热，其功率约为 $75\sim 100\text{ W}$ 。

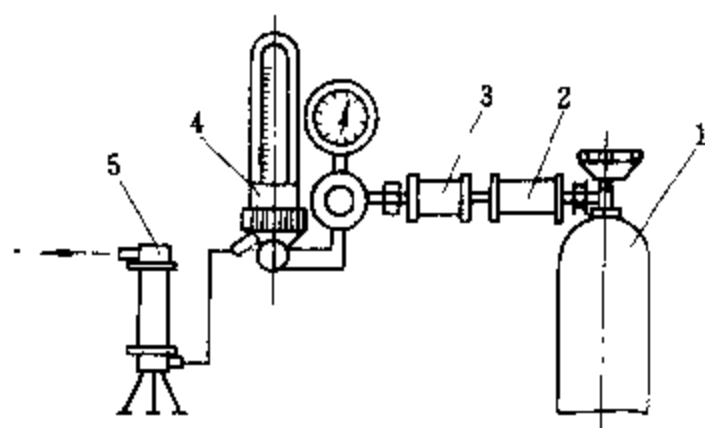


图 5-33 供气系统装置

- 1— CO_2 气瓶；2—加热器；3—高压干燥器；
4—减压器、流量计；5—低压干燥器

干燥器的作用是进一步吸收 CO_2 气体中的水分，接在减压阀前面的称为高压干燥器，接在减压阀后面的称为低压干燥器，这些应根据气体纯度和焊接质量要求而选用。

2. 减压器和流量计。减压器的作用是将高压 CO_2 气体变为低压气体，并调节气体的流量。 CO_2 气体的工作压力为 $1\sim 2$ 个大气压，所以可直接使用低压力的乙炔减压器，也可用经改装后的氧气减压器，即将低压表内的弹簧片（弧形扁管）换成较软的材料。

流量计是用来测量 CO_2 气体的流量，常用的有玻璃转子流量计和减压器与流量计一体的 301-1 型浮标式流量计。

3. 气阀。气阀是用来控制 CO_2 气体的送气与停气。若准确性要求高时，通常采用电磁气阀由控制系统来完成气体的输送和停止。另外，也可直接采用机械的气阀开关手工控制。

五、控制系统

控制系统的作用是对 CO_2 气体保护焊的供气、送丝和供电系统实现控制。自动焊时，还要完成焊接小车行走或工件运转等动作。

1. 对送丝系统的控制。即对送丝电机的控制，应保证电机能够完成对焊丝的正常送进和停止动作，焊前调整焊丝杆伸长度及送丝速度，在焊接过程中要保持稳定的送丝速度。

2. 对送气系统的控制。大致包括三个过程：引弧时要求提前送气约 $1\sim 2\text{ s}$ ，以排除引弧区的空气；焊接时气流要均匀可靠；结束时，因熔池金属尚未冷却凝固，应滞后停气 $2\sim 3\text{ s}$ ，给予继续保护。

3. 对供电系统的控制。是指对焊接主电源的控制，这与送丝部位密切相关。供电可在送丝之前接通，或与送丝同时接通，但在停电时，要求送丝先停而后再断电，这样可以避免焊丝末端与熔池粘接，而影响弧坑处焊缝质量。

CO_2 气体保护半自动焊的焊接控制程序如图 5-34 所示。

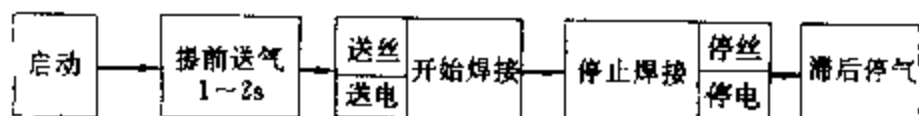


图 5-34 CO_2 气体保护半自动焊焊接控制程序方框图

六、二氧化碳气体保护焊机

随着 CO₂ 气体保护焊技术的不断进步, 其应用越来越广泛, CO₂ 气体保护焊机的发展也很快。现将几种常用的半自动 CO₂ 气体保护焊机主要数据列于表 5-14, 供选择、使用时参考。

表 5-14 几种常用的半自动 CO₂ 气体
保护焊机的主要数据

型 号	NBC-200	NBC ₁ -300	NBC ₁ -500-2	NBC ₄ -500
电源电压 (V)	380	380	220	380
工作电压调节范围 (V)	17~30	17~30	15~42	15~42
焊接电流调节范围 (A)	40~200	50~300	35~500	35~500
额定焊接电流 (A)	200	300	500	500
额定暂载率 (%)	—	—	60	60
送丝速度 (m/min)	1.5~9	2~8	1.3~13	1.7~25
焊丝直径 (mm)	0.5~1	0.8~1.4	0.8~2	0.8~2
CO ₂ 气体流量 (L/min)	6~12	20	25	25
用 途	用于低碳钢、低合金钢薄板焊接	用于板厚小于 8mm 的低碳钢、低合金钢焊接	用于低碳钢、低合金钢薄板和中厚板的焊接	用于点焊或半自动焊接低碳钢

续表 5-14

型 号	NBC-200	NBC ₁ -300	NBC ₁ -500-2	NBC ₁ -500
备 注	—	—	配用 ZPG1-500 型电源	配用 ZPG1-500 型电源

七、半自动二氧化碳气体保护焊机的使用与维护

1. 焊机应按外部接线图正确接线，焊机外壳必须可靠接地。
2. 经常检查焊枪喷嘴和导电杆之间的绝缘情况，以防焊枪喷嘴带电。
3. 操作者工作完毕或临时离开工作场地，必须切断焊机电源，并关闭气源。
4. 必须定期检查送丝软管以及弹簧管的工作情况。
5. 经常检查导电嘴与焊丝之间的间隙，保证焊丝处于喷嘴的中央。如果导电嘴孔径被严重磨损时，应及时更换。
6. 经常检查送丝滚轮压紧情况和磨损程度，防止焊丝打滑。
7. 定期检查送丝电动机碳刷，如果严重磨损时应及时更换。
8. 经常检查加热器、干燥器的工作情况。
9. 定期检查弧焊电源和控制部分的工作情况。

八、二氧化碳焊机故障及其排除

半自动二氧化碳焊机常见故障及其排除方法见表 5-15。

表 5-15 半自动二氧化碳焊机常见故障
产生原因及排除方法

故障特征	产生原因	排除方法
焊丝送进不均匀	焊枪开关或控制线路接触不良	检修拧紧
	送丝滚轮压力调整不当或磨损	调整送丝轮压力或更换新滚轮
	送丝软管接头处或内层弹簧管松动或堵塞	清洗修整
	焊丝绕制不好, 时松时紧或有弯曲	换一盘焊丝或重绕, 调直焊丝
	焊枪导电部分接触不好, 导电嘴孔径太小不合适	检修或换新
焊接过程发生熄弧现象和焊接规范不稳	导电嘴打弧烧坏或内孔径太大	更换导电嘴
	焊丝弯曲太大, 使焊丝送不出	调直焊丝
	焊接规范不合适	调整合适规范
	送丝滚轮磨损	更换滚轮
焊丝在送给滚轮和导电杆进口管处发生卷曲	导电嘴与焊丝粘住	更换导电嘴
	导电嘴内径太小, 配合太紧	更换合适导电嘴
	导电杆进口离送丝轮太远	缩短两者间距离

续表 5-15

故障特征	产生原因	排除方法
焊丝在送给滚轮和导电杆进口管处发生卷曲	弹簧软管内径小或堵塞	清洗或更换弹簧软管
	送丝滚轮导电杆与送丝管不在一条直线上	调直
焊接电流小	电缆接头松	拧紧
	电缆与工件接触不良	工作表面应清理干净
	电缆与焊枪导电杆接触不良	拧紧螺母
	焊枪导电嘴间隙大	更换合适导电嘴
	焊枪导电嘴与导电杆接触不良	拧紧连接处
	送丝电机转速提不高	检查电机及供电系统
焊接电压低	网路电源电压低	调大一档
	三相电源单相断路: 1. 单相保险丝烧断 2. 硅整流元件单相击穿	1. 更换保险丝 2. 更换坏元件
	三相变压器单相断电或短路	排除断电或短路现象
	接触器单相不供电	检修, 使之接触良好
电压失调	焊接线路接触不良或断线	拧紧松动处, 接通断线

续表 5-15

故障特征	产生原因	排除方法
电压失调	三相多线开关损坏	检修或更换
	变压器抽头接触不良	使之接触良好
	大功率硅管击穿	换新
	变压器烧损	检修或更换
	线路接触不良或断线	用万用表逐级检查
电流失调	焊接回路故障	用万用表逐级检查
	送丝电机及其线路故障	用万用表逐级检查
	可控硅调速线路故障	用万用表逐级检查
	自耦变压器断线或接触不良	检修
气体保护不良	电磁气阀故障	修理气阀
	电磁气阀电源故障	修理电源
	气路阻塞	检查气路导管
	气路接头漏气	紧固接头
	飞溅阻塞喷嘴	消除飞溅, 清理喷嘴
	气瓶内气体用完	更换气瓶
	减压表冻结	找出原因, 采用适当措施

第六章 焊接应力和变形

焊接过程中，由于焊接热循环的特点，焊件受到不均匀的加热，同时由于冶金作用，材料理化方面的作用，这样在焊件内部产生应力和变形。焊接应力和变形直接影响着结构的制造质量和性能。因此掌握焊接应力和变形的基础知识，防止和控制焊接应力和变形，是保证焊接质量的重要内容。

第一节 焊接应力和变形产生的原因

一、变形的基本概念

物体在受到外力作用时，会发生形状和尺寸的改变，这种现象称为变形。金属材料在外力作用下，能发生两种不同性质的变形。当外力解除后，金属恢复到原来的形状和尺寸的变形称为弹性变形，当外力去除后不能恢复到原始状态，而成了永久性变形的变形称为塑性变形。

金属材料产生变形的大小，取决于外力的大小以及材料本身的强度、刚性等。金属受外力作用时，当应力小于屈服强度时产生弹性变形；当外力增加到一定程度大于屈服强度时，金属发生屈服，不仅产生弹性变形还产生塑性变形。

二、应力的基本概念

物体受到外力作用发生变形的同时，其内部也产生一种

与外力相抗衡的抗力而阻止变形，这种力称为内力。内力与外力大小相等，方向相反。物体单位面积上引起的内力称为应力。受拉伸时引起的是拉应力，受压缩时为压应力。

应力并不都是由外力所引起的，在没有外力作用条件下存在于物体内部的应力称为内应力。如由于物体不均匀加热而引起的温度应力，即是内应力的一种，内应力的特点是在物体内部某一截面上自平衡。

三、焊接变形和应力的产生

焊件在焊接时，由于电弧不均匀的加热，使焊件热膨胀和冷收缩也不均匀，这样在焊接接头内部产生了应力，即焊接应力。而由于焊接应力作用下，焊件形状和尺寸发生的变形称为焊接变形。当焊接结束，焊件完全冷却后仍留在焊接接头的应力和变形称为焊接残余应力和残余变形。一般情况下所说的焊接应力和变形，均指焊接残余应力和残余变形。

焊接时应力和变形形成主要取决于焊接热过程，以及焊件在焊接过程中受拘束的条件。

1. 均匀加热时引起应力和变形的原因。为了便于了解焊接过程应力和变形的原因，先对均匀加热时产生的应力与变形进行讨论。假设有一钢制杆件，有三种不同的约束状态，现分别讨论三种情况下对杆件进行均匀加热与冷却时的应力与变形。

(1) 自由状态的杆件，杆件两端无任何约束，如图 6-1 所示。当对钢杆均匀加热时，杆件必然由于受热膨胀而变粗伸长，如图中虚线所示。然后均匀冷却，钢杆由于冷却收缩而恢复到原来的形状和尺寸。由于整个热胀和冷缩过程中，钢杆始终处在自由无约束的状态下，最后当温度完全恢复到原

来的温度状态时，所以最终将不会出现应力和变形。

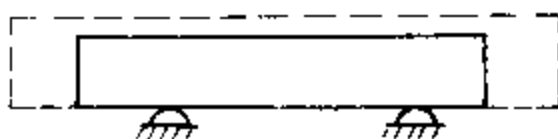


图 6-1 自由状态的杆件

(2) 不能自由膨胀的杆件，杆件两端被阻于两壁之间，只限制杆件的伸长变形，对其收缩变形没有约束作用，如图 6-2 所示。当对杆件进行加热时，由于受热膨胀，杆件要伸长，但由于杆件两端受阻，实际上没有伸长，相当于将杆件在自由状态下加热伸长了 ΔL ，然后加压使杆件缩短了 ΔL ，此时，在杆件内部产生了压应力。

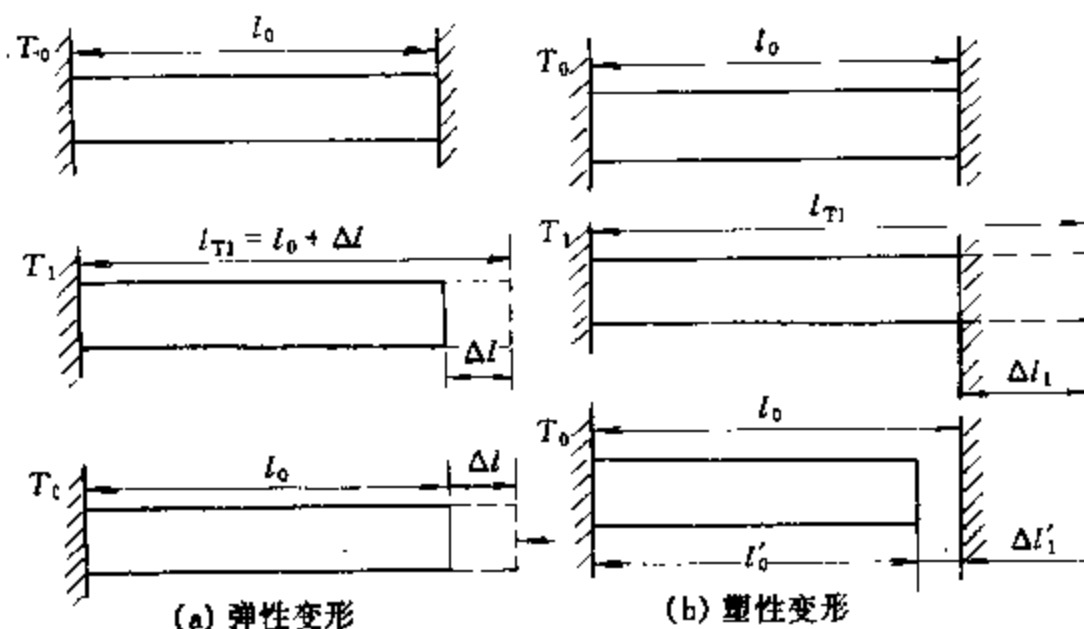


图 6-2 不能自由膨胀的杆件

当温度冷却至原来状态时，杆件能否恢复原来的尺寸，其内部有无应力产生，这和加热产生的变形性质有关。如果杆件加热过程中，由于两端约束而产生的压缩变形在弹性变形

范围内，那么当温度完全恢复到原来的状态后，杆件仍能恢复到原来的尺寸，如图 6-2 (a) 所示，杆件内无应力存在。但是如果压缩变形超出了弹性变形的范围，杆件冷却恢复原来温度状态后，不能恢复原来的尺寸，反而缩短了。这是因为，虽然压缩变形中的弹性变形部分消失复原了，而塑性变形却保留下来，如图 6-2 (b) 所示，杆件中仍没有应力存在。总之，在这种约束条件下，杆件冷却后可能缩短，但不会产生应力。

(3) 两端完全固定的杆件，杆件两端加热时不能自由膨胀，冷却时也不能自由收缩，如图 6-3 所示。

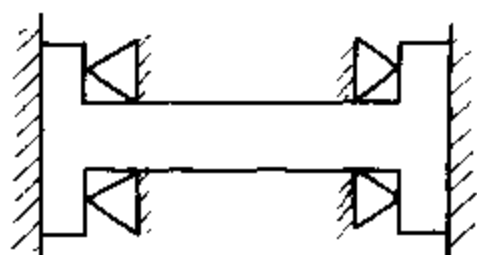


图 6-3 两端完全固定的杆件

当加热时杆件受热膨胀要伸长，由于两端约束不能伸长，于是杆件将产生压缩变形，同时杆件内部也产生压应力，这与第二种情况加热时产生应力和变形是完全相同的。但是当冷却恢复到原来的温度状态时，如果加热时产生的压缩变形属于弹性变形，那么冷却后杆件既不产生变形，也不产生应力。如果压缩变形中有塑性变形，那么杆件冷却后要缩短，但由于两端刚性约束的限制而使其无法收缩，这就使杆件相当于受到拉伸，拉伸的长度等于加热时产生的压缩塑性变形量。这样在杆件内就会出现拉伸应力，即拉伸残余应力，如果残余应力大于杆件固有的强度极限时，杆件将被拉断。

2. 不均匀加热及焊接过程引起变形与应力的原因。前面介绍了均匀加热与冷却条件下,杆件的应力与变形的各种不同情况。而在实际焊接过程中,热源温度高且连续移动,焊件加热和冷却速度快,焊件受到不均匀的加热和冷却,因此焊件的焊接应力和焊接变形是在不均匀的热作用条件下产生的。

下面以平板对接接头电弧焊为例,分析焊接时焊接应力和变形产生的原因。

(1) 纵向焊接应力和变形的产生原因。假设将焊件分割成许多互不相连的小板条,越靠近焊缝的小板条其温度越高,越远离焊缝的小板条温度越低,温度分布如图 6-4 所示。

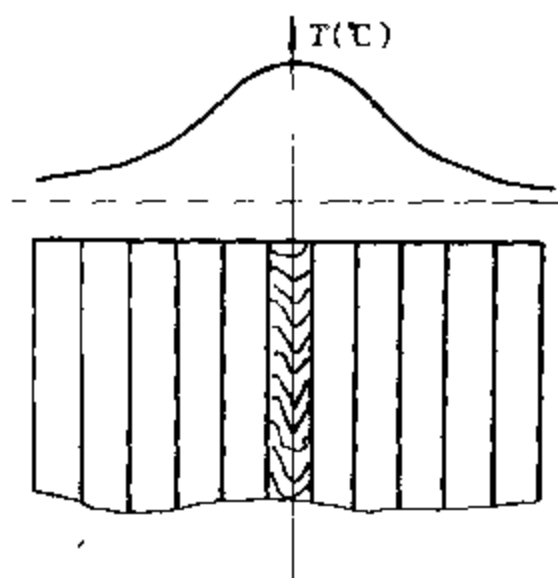


图 6-4 对接板焊接加热温度分布

由于小板条受热要膨胀,而各板条的加热温度不同,所以伸长量也不一样,紧靠焊缝的板条伸长量最大,远离焊缝的板条伸长量逐渐变小,由于板条互不相连,各自可以自由变形,因此在加热过程中将形成如图 6-5 (a) 所示的阶梯形端面。实际焊件中这些假想分割的小板条是一个整体,各个

小板条互相牵制，不可能自由变形，焊缝附近温度较高伸长较大的部分受到两侧温度较低伸长较小金属的牵制而被压缩并产生压应力，而两侧金属则受到焊缝附近温度较高，伸长较大的金属的作用而被拉伸并产生拉应力，最终焊件伸长量介于最大伸长和最小伸长之间，焊件端面伸长平移到 $a-a'$ 。随着温度的升高，焊缝附近金属受热膨胀的伸长量也大，因而受到的压应力也大，对于碳钢来说，在 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右屈服极限几乎为零，对变形没有任何抗力，因此焊缝附近金属加热温度超过 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的金属，在压应力的作用下产生了塑性变形，从而引起焊件在冷却后产生焊接残余应力和焊接残余变形。

在冷却过程中，这些假想板条要冷却收缩，由于各板条互不相连，各自可以自由变形，而且在加热过程中焊缝附近区域金属产生了压缩塑性变形，因此这个区域的板条要比焊缝两侧其它区域的板条收缩的更短，形成如图 6-5 (b) 所示的阶梯形端面。而实际上这些板条是一个紧密相连的整体，变形时互相牵制，不可能自由收缩。收缩大的区域受到两侧收缩小的区域的制约，相当于将收缩大的区域“拉长”；而收缩小的区域受到中间收缩大的区域的牵制，相当于被“压短”。最后使焊件端面平移到介于最大收缩量和最小收缩量之间的某个位置 $b-b'$ ，如图 6-5 (b) 所示。

焊件中应力分布如图 6-6 所示，中间区域由于被拉伸而产生拉应力，两侧区域由于被压缩而产生压应力，这种冷却至室温仍存在于焊件中的应力就是残余应力，产生的变形就是残余变形。

(2) 横向焊接应力和变形的产生原因。焊后产生的横向变形主要是横向缩短，其原因与纵向焊接变形的原因相似。由

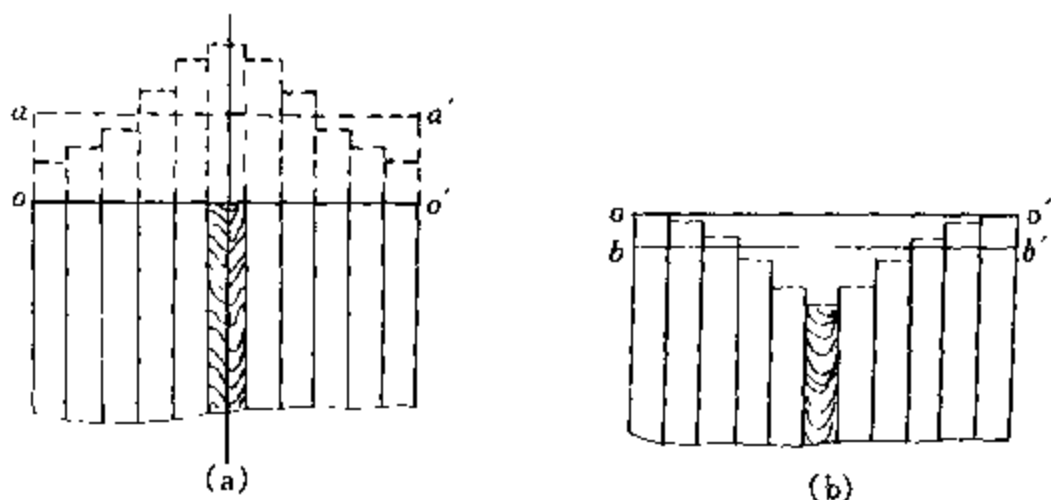


图 6-5 对接板焊接加热伸长和缩短

$o-o'$ 为板原始端面； $a-a'$ 为板加热伸长实际端面；
 $b-b'$ 为板冷却收缩实际端面；点划线为假想小板条伸长、缩短

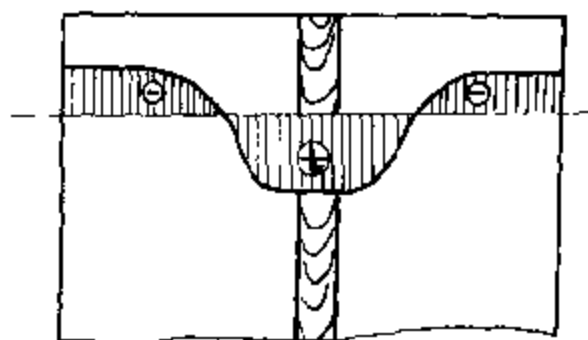


图 6-6 焊接接头纵向内应力的分布

于是不均匀加热，使焊件的受热部分不能自由膨胀和收缩，靠近焊缝的金属由于在加热过程中产生了压缩塑性变形，冷却后导致焊件产生横向缩短。一般对接焊的横向收缩与板厚及坡口形式有关，板厚越大，横向收缩量也越大；坡口角度越大，横向收缩量也越大。

同样焊接一条直缝，如果焊接顺序和方向不同，会出现不同的横向焊接应力和变形。对于横向焊接残余变形，最后焊的部分横向变形最大。如图 6-7 所示，两块对接板焊接时，

先焊上焊点 A, 由于此时焊件能自由伸缩, 加热时未产生压缩塑性变形, 因此冷却后钢板的间隙变化不大; 在焊接焊点 B 时, 钢板上端能够自由伸缩, 在受热膨胀时, 上端间隙张大, 使 B 点附近金属加热时未受到拘束而产生明显的压缩变形, 所以冷却后, 钢板间隙仍变化不大; 在焊接焊点 C 时, 焊点 C 附近金属受热要膨胀, 但受到 A、B 两焊点的制约, 使焊点 C 附近的金属受到了压缩, 这样在冷却后就出现了较大的横向收缩变形。

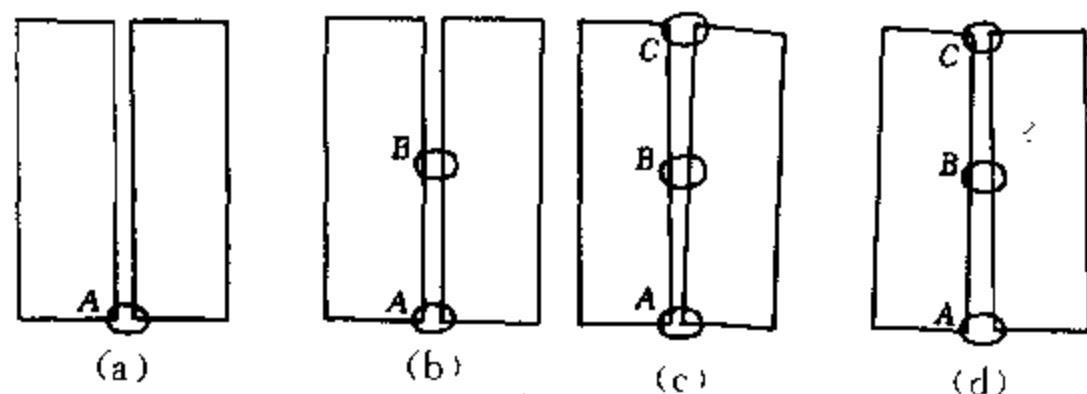


图 6-7 焊接先后对焊件横向变形的影响

对于横向焊接残余应力, 由于先焊的部分先冷却, 后焊的部分后冷却, 因此先冷却的部分将限制后冷却部分的收缩变形, 使最后焊接的部分承受拉应力。如图 6-8 所示, 该对接接头装配顺序按图所示依次点焊, 由于 1、2 两点先点焊, 当点焊 3 点时, 已经冷却的 1、2 两点将对 3 点的收缩造成约束, 相当于将该点“拉长”, 使该点承受拉应力, 而 2 点承受压应力, 三个焊点的应力状态就像以 2 点为支点的杠杆系统, 1 点也承受拉应力。

不同的焊接顺序和方向直接影响焊接残余应力的分布状态, 图 6-9 所示几种不同焊接条件下由于冷却先后不同所造成的横向应力状态。

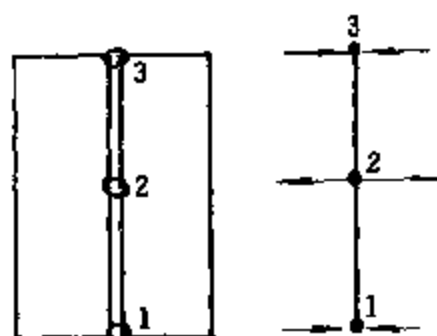


图 6-8 焊缝冷却造成的应力与变形

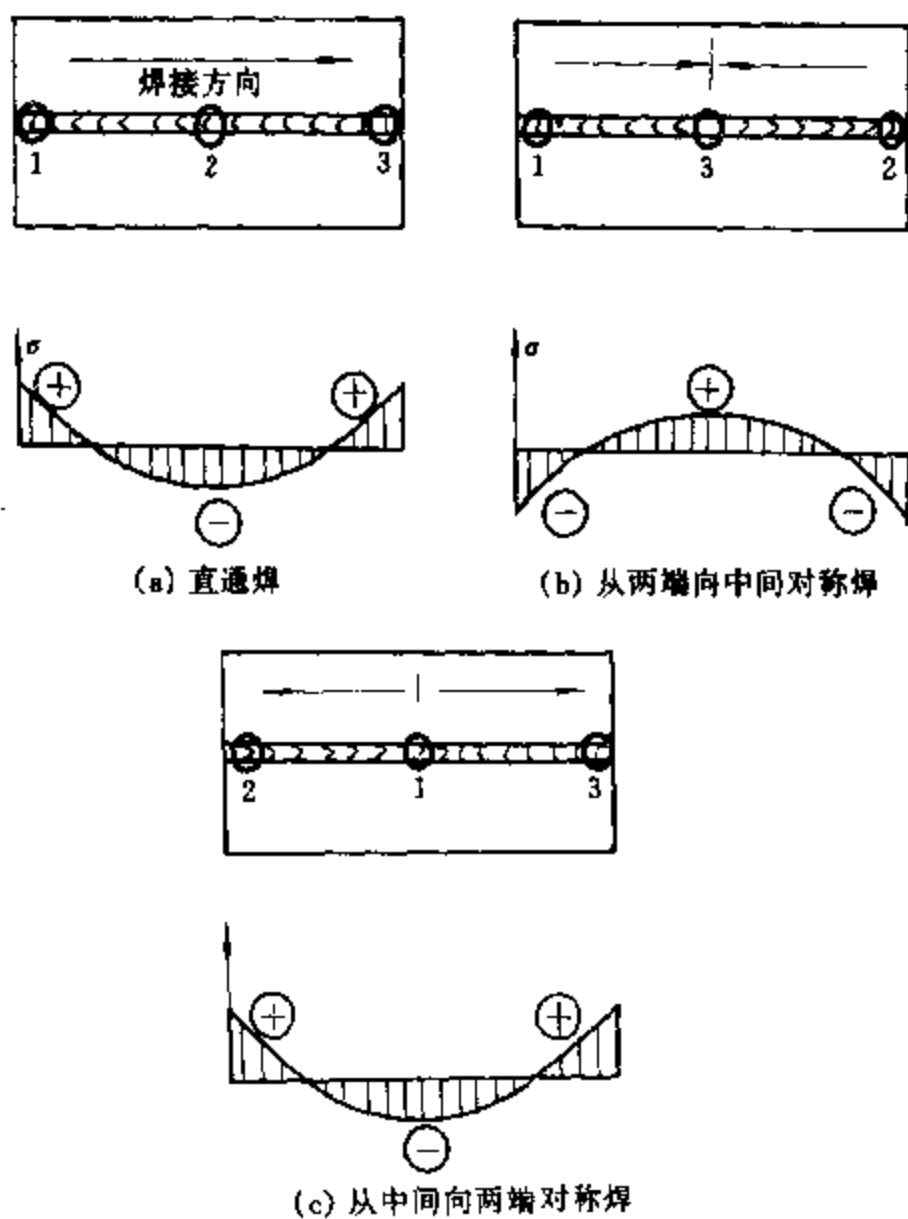


图 6-9 各种不同焊接顺序所造成的横向压力

第二节 焊接残余变形

一、焊接残余变形的分类及产生原因

焊接残余变形是焊接后残存于结构中的变形。焊接残余变形主要分为以下几种：纵向变形、横向变形、角变形、弯曲变形、波浪变形、扭曲变形和错边变形等。它们在焊接结构中往往不是单独出现的，而是同时出现，且互相影响。下面分别介绍几种焊接变形产生的原因。

1. 纵向变形。焊后纵向变形主要是纵向缩短，如图 6-10 所示。焊缝的纵向收缩量一般是随焊缝长度的增加而增加。对接焊缝的纵向收缩量大约为焊缝长度的 $1/1000$ ，它比横向收缩小得多。角焊缝的纵向收缩量一般与角焊缝横截面积和接头总横截面有关，角焊缝横截面积越大，纵向收缩量也大；当工件较厚、较宽时，即接头总横截面积较大时，产生很强的拘束，限制了纵向收缩，则纵向收缩量较小。

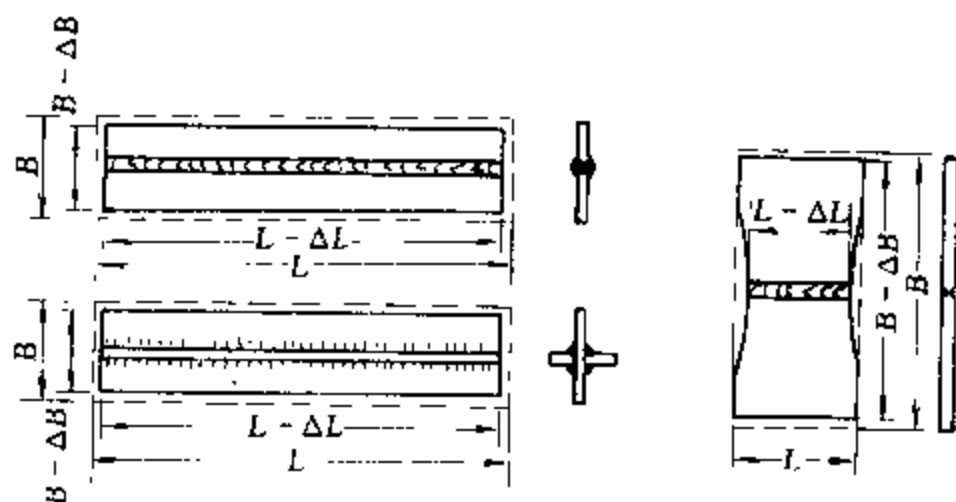


图 6-10 纵向和横向收缩变形示意

纵向收缩变形与母材的线膨胀系数、多层焊和焊接顺序等有关。母材线膨胀系数大，其焊后焊缝纵向收缩量也大，如不锈钢和铝的焊后收缩量就比碳钢大；同一焊接接头，多层焊比单层焊的变形小，多层焊的第一层引起的变形量最大，这是因为焊第一层时焊件的刚性较小，其余各层引起的变形越来越小；采用直通焊时，纵向收缩变形量最大，而采用分段退焊或分段跳焊时，纵向收缩变形量较小。

2. 横向变形。焊后产生的横向变形主要是横向缩短，如图 6-10 所示。

对接接头的横向变形大小与焊接线能量、焊缝坡口形式、焊缝截面以及焊接工艺有关。对于单道焊对接接头，横向变形主要取决于坡口形式，坡口角度越大，间隙越大，则焊缝横截面积也越大，所需焊接线能量也越大，产生的横向收缩变形也较大。对于多道和多层焊对接接头，则还应考虑焊缝的层数和道数，以及每层和每道焊缝的焊接规范。一般第一层引起的变形量大。分的层数越多，变形也就越小。横向收缩的大小还与组装后的点固和装夹的情况有关。点固焊缝越长，间距越小，装夹的刚度越大，横向变形就越小。

对接接头的横向收缩，随焊缝金属量的增加而增加，随着板厚和坡口角度的增大而增大。在板厚相同的条件下，埋弧焊的收缩量比手工电弧焊小，而气焊的收缩量比手工电弧焊大。对接接头横向收缩量可用下式进行估算：

$$\Delta B = 0.18 \frac{S_H}{\delta}$$

式中 ΔB ——对接接头横向收缩量 (mm)；

S_H ——焊缝横截面积 (mm²)；

δ ——板厚 (mm)。

3. 角变形。横向收缩变形在厚度方向上的不均匀分布，往往引起焊件的角变形。常见角变形如图 6-11 所示。

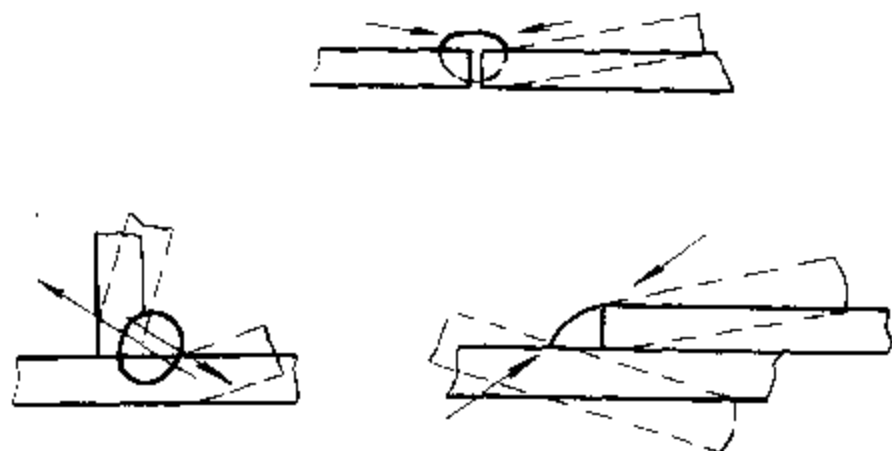


图 6-11 几种焊接接头的角变形

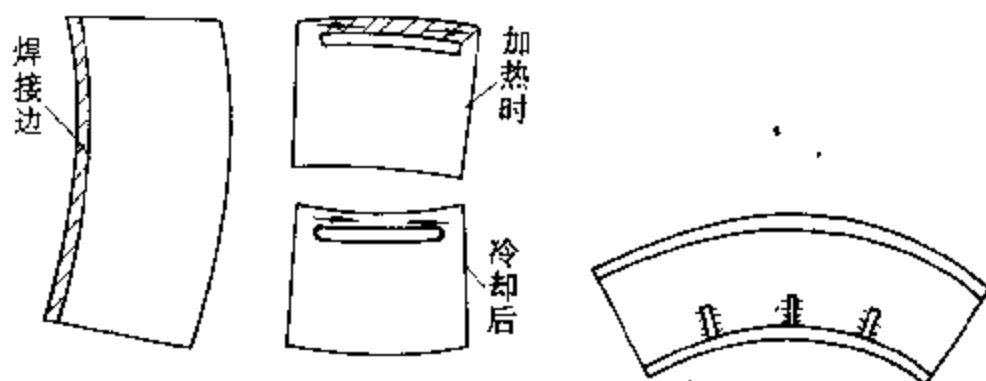
就对接焊缝而言，如果钢板很薄，可以认为在钢板厚度方向上的温度分布是均匀的，这时就不会产生角变形。但在焊接较厚钢板时，在钢板厚度方向上的温度分布不是均匀的。温度高的一面受热膨胀较大，另一面膨胀小甚至不膨胀。由于焊接面膨胀受阻，出现了较大的横向压缩塑性变形。这样，在冷却时就产生了在钢板厚度方向上收缩不均匀的现象，焊接一面收缩大，另一面收缩小，这种在焊后由于焊缝的横向收缩使得两连接件间相对角度发生变化的变形叫做角变形。

对接接头坡口角度越大，角变形就越大。采用双面坡口代替单面坡口，可减小角变形。相同板厚及坡口形式，焊层数越多，角变形越大，此外多道焊比多层焊的角变形大。

T 型接头角焊缝引起的角变形，主要取决于板厚和焊脚尺寸。焊脚尺寸大，变形大；焊脚尺寸小，变形也小。当板较薄时，由于板在厚度方向加热较均匀，因此引起的角变形较小，而当板较厚（大于 10 mm）时，随板厚增加，变形角

度减小，原因是刚度增大。

4. 弯曲变形。弯曲变形主要由纵向收缩和横向收缩所引起。当焊缝在构件中的位置不对称时，焊后由纵向收缩（或横向收缩）引起了焊件向一侧弯曲。如图6-12所示。



(a) 由纵向收缩变形造成的弯曲变形 (b) 焊缝横向收缩造成的弯曲变形

图 6-12 弯曲变形

弯曲变形量与焊接收缩力和焊缝偏心距成正比，而与构件的刚度成反比。焊缝位置对称，或接近于截面中性轴，则弯曲变形小。但是焊缝对称的构件，如果生产中采用不合理的装配焊接次序，仍然可以产生较大的弯曲变形，如工字梁的组装焊接。

弯曲变形常出现在较长的工件中，如梁、柱、管道等焊件，给这些焊接结构的使用带来较大危害，生产中应采取有效的措施来减小弯曲变形。

细长构件，如梁、柱等结构的纵向收缩量和挠度，可用下式作初步估算：

单层焊的纵向收缩量 ΔL 和挠度 f 分别为

$$\Delta L = \frac{K_1 \cdot S_H \cdot L}{S} (\text{mm})$$

$$f = \frac{K_1 \cdot S_H \cdot e \cdot L^2}{8I} (\text{cm})$$

式中 S_H ——焊缝截面积；
 S ——焊件截面积；
 L ——焊件长度；
 e ——焊缝到焊件中性轴的距离；
 I ——焊件截面惯性矩；
 K_1 ——系数。

对于不同的材料和不同的焊接方法， K_1 值是不同的，当采用手工电弧焊时，低碳钢 K_1 取值为 0.048~0.057，奥氏体钢 K_1 值为 0.076；当采用 CO_2 焊时，低碳钢 K_1 值为 0.043；当采用埋弧焊时，低碳钢 K_1 值为 0.071~0.076。

多层焊的纵向收缩量和挠度应乘以系数 K_2 ，上面公式中 S_H 应为一层焊缝金属的截面积。

$$K_2 = 1 + 85 \cdot \frac{\sigma_s}{E} \cdot n$$

式中 σ_s ——材料抗拉屈服强度值；
 E ——材料的弹性模量；
 n ——层数。

5. 波浪变形。焊后焊件呈波浪形如图 6-13 所示，这种变形在薄板焊接结构中最容易产生。薄板焊接时，远离焊缝的区域产生压应力，压应力超过临界值就会使薄板失稳，并在边缘形成局部凸起，产生波浪变形。

一般板厚与板宽比值越小，临界应力也越小，也越容易出现失稳。为减小波浪变形，可采取措施降低焊接压应力和提高临界压力。一般可通过减少焊接量、降低线能量或增加散热来解决。如采用断续焊、小线能量的焊接方法、加水急

冷或加水冷衬垫等方法。提高临界应力可通过增加板厚，减小板宽的方法。

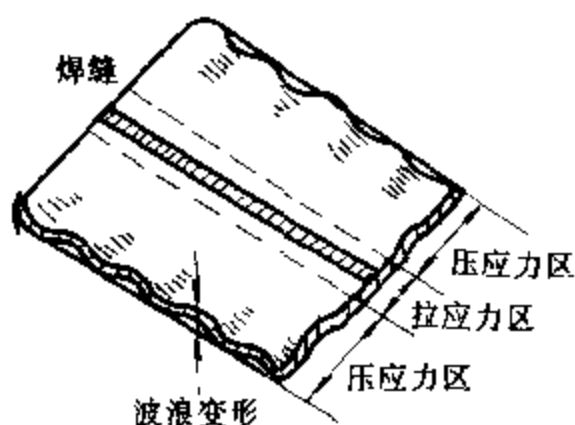


图 6-13 波浪变形

6. 扭曲变形。焊缝角变形沿长度方向分布不均匀和工件的纵向错边将会使工件产生扭曲，如图 6-14 所示。它的产生原因很多：装配质量不好，即在装配之后焊接之前的焊件位置和尺寸不符合图样的要求；构件的零部件形状不正确，而强行装配；焊件在焊接时位置搁置不当；焊接顺序及方向不当等。

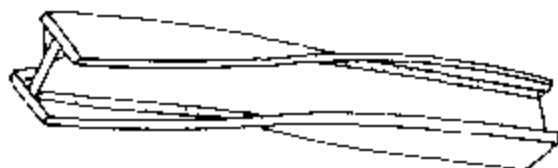


图 6-14 扭曲变形

7. 错边变形。焊接过程中，两焊接件的热膨胀不一致，可能产生长度方向上的错边和厚度方向上的错边，如图 6-15 所示。错边变形将造成结构几何形状不连续性，产生很大附加应力，影响结构强度及使用安全。

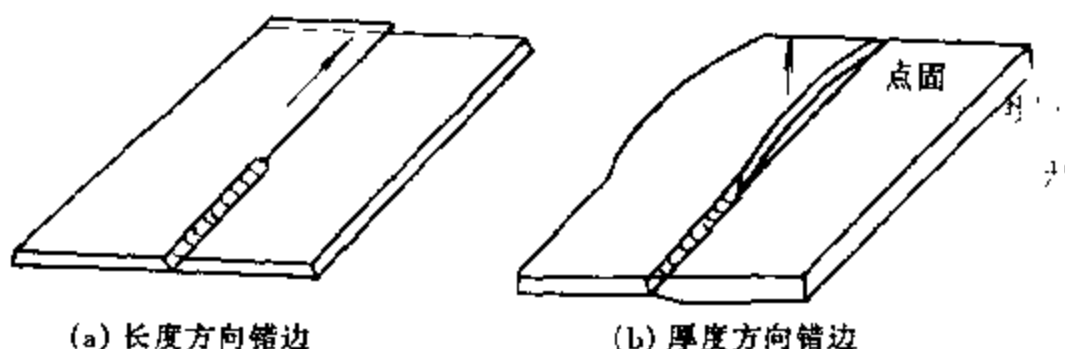


图 6-15 焊接错边

接头两侧金属受热不平衡是产生错边的重要原因。如电弧偏离一侧板、两侧板的散热条件不同、两侧板的形状及材料刚度不同等，都会造成一侧受热伸长量较大，另一侧较小。

二、焊接变形的危害性

焊接变形是焊接结构生产中常常出现的问题，而且无法完全阻止变形的产生。焊接变形不但造成构件几何尺寸的误差，而且降低承载能力，有些变形如角变形，能引起较大的附加弯曲应力，降低了构件的承载能力和使用安全性。较大的变形还将导致构件无法整体装配和安装等。当生产中变形量超过允许范围，为矫正变形将耗用大量的人力和工时。变形过大时，则无法矫正，导致焊件报废。因此，焊接变形的危害较大，生产施工中应采取合理的、有针对性的工艺措施防止变形发生。

三、影响焊接残余变形的因素

1. 焊缝在结构中的位置。焊缝在结构中位置不对称，最易引起弯曲变形。当焊缝处于焊件断面中性轴的一侧时，焊

后，焊件将向焊缝的一侧弯曲。焊缝距焊件的断面中性轴的距离越大，则焊件就越易产生弯曲变形。对于复杂结构件，往往在整个焊接结构的中性轴两侧都有许多焊缝，但是由于两焊缝的数目各不相同，而且焊缝距中性轴的距离也不相同，因此也会使结构发生整体变形。

2. 结构刚性。刚性是结构抵抗变形的能力。金属结构的刚性大小主要取决于结构的截面形状及其尺寸的大小。结构抵抗拉伸变形的刚性主要取决于结构截面积的大小，截面积越大则抵抗拉伸变形能力越大。结构抵抗弯曲变形的刚性主要取决于结构的截面形状和尺寸大小，截面尺寸大则抗弯曲变形能力大；结构抵抗扭曲变形的刚性主要取决于结构截面形状和尺寸大小，如结构截面是封闭形式的，则抗扭曲变形的能力就越强，不封闭的则抗扭能力弱。

一般来说，短而粗的焊接结构，刚性较大，细而长的焊接结构，刚性较小。为了提高结构的抗变形能力，设计焊接结构时应考虑以提高结构的刚性为前提，避免因结构刚性较小而产生较大的焊接残余变形。

3. 装配焊接顺序。焊接结构的刚性是在装配、焊接过程中逐渐增大的，结构整体的刚性总比它的零件或部件的刚性大，因此，采取合理的装配焊接顺序可提高结构刚性，减少焊接变形。如对于截面对称、焊缝布置也对称的简单结构，一般先装配成整体，然后再按焊接的顺序进行生产，这样可大大减小变形。但若采取边装配边焊接的顺序进行生产，焊接变形较大；而对于焊接结构复杂、尺寸较大，如大型立式油罐的底板焊接，如果采用整体装配后再焊接的顺序，则结构刚性拘束增加而使焊接应力增大，同时还容易引起局部失稳、产生波浪变形，可采取局部分段装配焊接的顺序，有利于减小变形。

采取了合理的装配顺序,还需有合理的焊接顺序相配合,才能达到减少焊接变形的效果。一般对称布置的焊缝,最好由偶数的焊工同时对称焊接,这样可使各焊缝所引起的变形相互抵消;非对称布置的焊缝,一般先焊焊缝少(或短)的一侧,后焊焊缝多的一侧,这样可使先焊焊缝所引起的变形部分得到抵消。

总之,装配、焊接的顺序是影响焊接结构残余变形的主要因素之一,在生产施工中,可以利用它来控制焊接结构的变形,即使是对于不对称的焊接结构,也同样可达到减少变形的目的。

4. 其它因素。影响焊接残余变形的因素还有许多,如下所述,它们均不同程度地影响焊接残余变形。

选用能量集中的焊接方法,合适的焊接工艺参数可显著减小变形。焊接过程中,焊件受热越多,金属受热的体积越大,则焊件的变形也越大。因此,一般气焊的焊后变形要比电弧焊大,采用较小的线能量焊接焊后变形也随之减小。

焊缝尺寸越大,变形越大;坡口尺寸越大,填充金属越多,变形也越大。焊缝装配间隙过大,坡口角度过大,均会增加焊后的变形量。

对于长直焊缝,采用直通焊变形最大;跳焊或分段退焊,变形较小;从中心向两端逐段退焊,变形最小。

四、焊接变形的预防措施

1. 设计措施。

(1) 合理选择焊缝尺寸及形式:焊缝尺寸直接影响着焊接工作量和焊接变形的大小。焊缝尺寸大,则焊后变形也大。因此在保证焊接质量的前提下,应尽量选用较小的焊缝尺寸

和坡口形式。例如，结构中的肋板与腹板间的角焊缝，并不承受很大应力，没有必要采用大尺寸的焊缝。

(2) 减少不必要的焊缝：在保证结构强度的前提下，采用间断焊缝代替连续焊缝可显著地减少变形量。在焊接结构中，常采用肋板来提高薄板结构的稳定性，但不适当地大量采用肋板，不但会增大装配和焊接工作量，而且焊接变形大。

(3) 合理安排焊缝位置：焊缝应尽量对称于截面中性轴，或者接近中性轴，这对梁、柱等结构的挠曲变形有显著的效果。

2. 工艺措施。

(1) 预留余量法：焊缝纵向和横向的缩短可通过焊缝收缩量的估算，在备料加工时预先留出收缩余量。例如较长的梁、柱制作过程中，一般下料时应预留收缩余量，用来防止因焊缝的纵向收缩量过大引起结构尺寸达不到设计要求尺寸。

(2) 反变形法：事先估计好结构变形的大小和方向，然后在装配时给予一个相反方向的变形，使其与焊接变形相抵消，使焊后构件保证设计要求。例如，为了防止对接接头的角变形，可以预先将焊接坡口处垫高，如图 6-16 (a)。为了防止工字钢的翼板产生焊接角变形，可以将翼板预先反方向压弯，如图 6-16 (b) 所示。

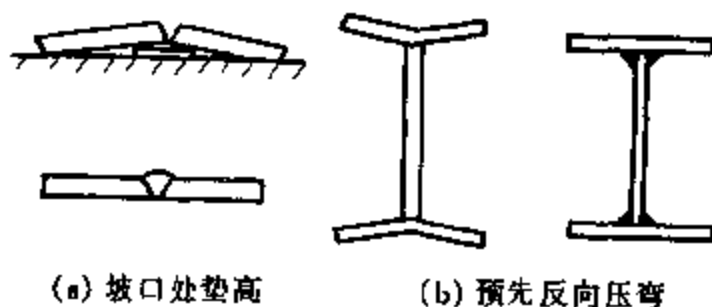


图 6-16 反变形法焊接示意

这种方法在生产实际中应用广泛。例如细长的梁、柱，锅炉汽包、联箱等，焊前常预制一个反变形。

(3) 刚性固定法：将焊件在焊前固定在具有足够刚性的基础上，限制焊接变形，在焊件完全冷却后再松开焊件。用这种方法防止角变形和波浪变形比较有效。但对于挠曲变形，其效果远不及反变形法。

刚性固定法可以降低焊接变形量，但容易在焊件中产生较大的残余应力，对重要的结构件或焊接淬硬性大的材料不宜采用。

(4) 合理选择焊接方法和规范：选用小线能量的焊接方法和规范参数，可以有效地防止焊接变形。例如采用 CO_2 半自动焊来代替气焊和手工电弧焊，不但生产效率高，而且可以减少变形。

(5) 选择合理的装焊顺序：在大型或复杂的焊接结构施工中，装配和施焊对构件整体变形影响很大。工程中常采取的方法有：先整体装配后焊接，以此控制变形，如组合工字梁的组焊；不能整体装配，或结构复杂的构件，可以分件装配后再总装焊接。分件装焊时，应使焊缝尽量对称，对不对称布置或收缩量大的焊缝，采取合理的施焊顺序使其自由收缩，从而不影响整体结构的变形。

(6) 选择合理的焊接方向和顺序：对于对称布置焊缝可采取对称焊接，生产实际中采用较多，如大直径圆周焊缝焊接等。对于不对称焊缝，可先焊接焊缝少的一侧，后焊接焊缝多的一侧。

对于长直焊缝，避免采取直通焊，可分段焊接，改变焊接方向，使局部焊缝造成的变形减小或相互抵消，从而减少总体变形。长直焊缝采取不同顺序的施焊方法有：分中对称

焊法，跳焊法，分段退焊法，分中分段退焊法等，如图 6-17 所示，退焊法和跳焊法的每段长度一般为 一根焊条施焊长度，为避免增加接头，常取 200~400 mm。

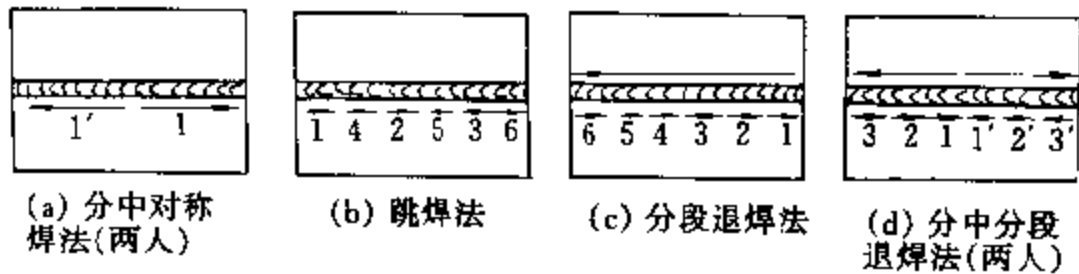


图 6-17 不同顺序的施焊方法

(7) 散热法：将焊接处的热量迅速散走，使焊接接头金属受热区域大大减小，以达到减少焊接变形的目的。通常采用浸水散热，垫紫铜块方法较多。散热法可使焊接变形大大减小。但这种方法对具有淬火倾向的钢种不宜采用。如图 6-18 所示，为常见几种散热法焊接。

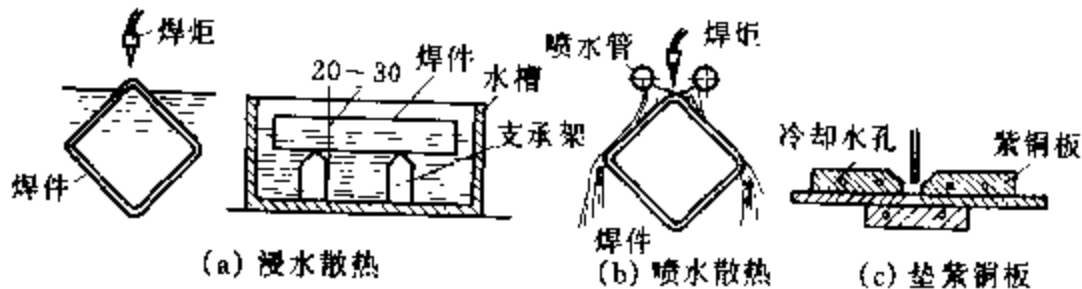
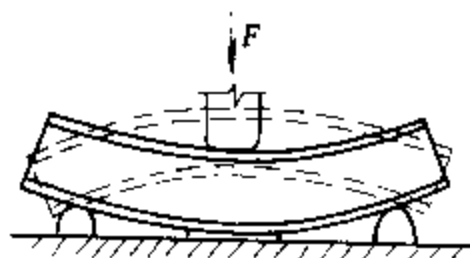


图 6-18 散热法焊接

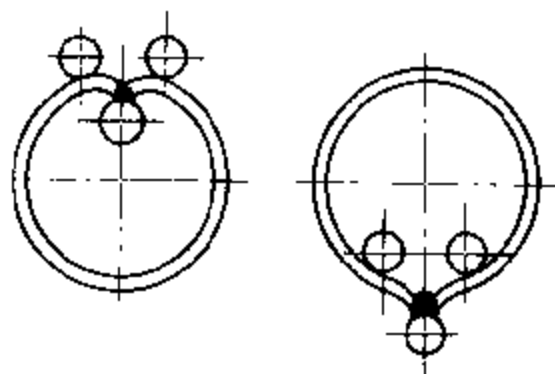
五、焊接变形的矫正

在实际施工中，虽然采取了有效的预防变形的措施，但难免还会产生或大或小的变形。当变形超出技术条件要求的允许范围时，则应进行矫正。矫正变形方法有机械矫正法和火焰矫正法。

1. 机械矫正法。此法是利用外力使构件产生与焊接变形方向相反的塑性变形，使两者互相抵消。图 6-19 (a) 为采用加压机构来矫正工字形梁的焊接变形。图 6-19 (b) 为利用滚床矫正圆筒体纵缝焊后引起的棱角度误差。



(a) 加压矫正法



(b) 滚床矫正法

图 6-19 机械矫正法

机械矫正法对构件材料的性能有所影响，对于低合金结构钢构件，焊后应先消除应力，再矫正，否则矫正困难且易断裂。

机械矫正法使用的机械有：千斤顶、压力机和滚床等。

2. 火焰矫正法。该法是利用火焰加热变形构件的伸长部分，产生热压缩塑性变形来抵消原有的变形。

火焰矫正法应掌握火焰加热引起变形的规律，以便确定合理的加热位置、火焰能率和加热方法。火焰加热法只需要一般的气焊炬，方法简便，机动灵活，生产上广为利用。适

用于低碳钢和部分普低钢结构。

图 6-20 为非对称性工字钢的上挠曲变形,可在上盖板上加热矩形面积和在腹板上部加热三角形面积来矫正。

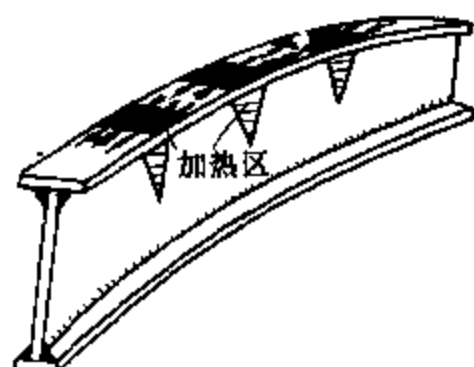


图 6-20 气体火焰矫形

低碳钢和低合金钢加热温度为 $600\sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$,即材料呈褐红色至樱红色之间。不能过高,以防金属过烧。加热方式有点状、线状和三角形三种,如图 6-21 所示。

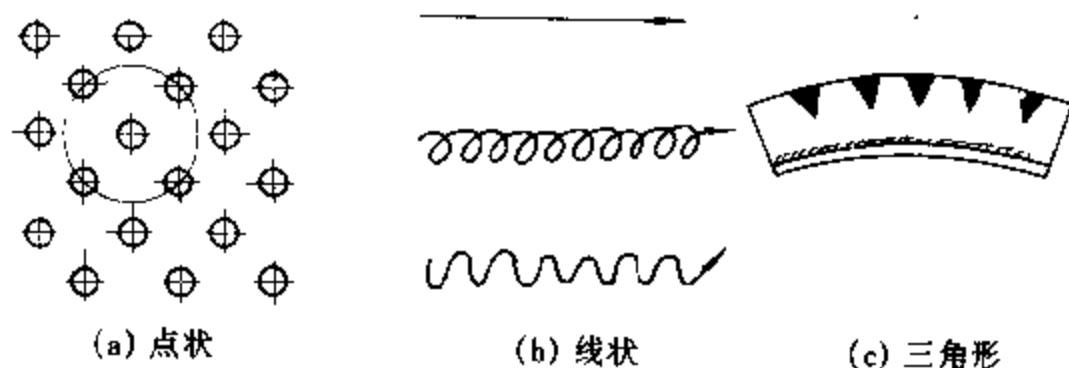


图 6-21 加热方式

(1) 点状加热:一般应用于波浪变形的矫正,加热点的直径不小于 15 mm ,加热点的间距应随变形量的大小而定,一般在 $50\sim 100\text{ mm}$ 范围内。矫正过程中,每加热一个点,立即用木槌捶打加热点及其周围,然后浇水冷却。

(2) 线状加热:火焰沿直线方向移动或同时在宽度方向

做横向摆动。加热线的横向收缩大于纵向收缩，主要通过横向收缩来抵消原有变形。加热线越宽，横向收缩越大，一般加热线宽度取钢板厚度 0.5~2 倍。这种矫正方法多用于变形较大或刚性较大的结构。

(3) 三角形加热：加热区呈三角形，加热的部位在弯曲变形构件伸长变形一侧，三角形的底边在被矫正构件的边缘，顶点指向构件中性轴，如图 6-21 所示。为提高矫正效果，可多个焊炬同时加热，用水急冷，施加外力等。这种方法常用于矫正厚度较大、刚性大的弯曲变形，如工字梁或框架结构的弯曲变形。

第三节 焊接应力

一、焊接应力的分类

1. 按形成原因分类。

(1) 热应力（温度应力）：由于焊接时温度分布不均匀而引起的应力。

(2) 组织应力：由于焊接热循环引起局部金属组织变化而产生的应力。如奥氏体分解为珠光体或转变为马氏体时，都会引起体积膨胀，并受到周围金属的阻碍而产生的应力就是组织应力。

(3) 凝缩应力（收缩应力）：焊接时金属熔池从液态凝固成固态，其体积发生收缩受到周围金属的限制而形成的应力。

2. 按应力的作用形式分类。可分为拉应力和压应力。

3. 按应力对焊缝的作用方向分类。可分为纵向应力和横向应力。

4. 按应力所处的空间状态分类。

(1) 线应力：只沿一个方向存在的应力，也称为单向应力，在薄板对接焊缝和表面堆焊焊缝常产生这种应力。

(2) 平面应力：这种应力存在于焊件一个平面不同方向上，也称双向应力。在较厚板的对接焊缝和交叉焊缝处的应力状态就是平面应力。

(3) 体积应力：应力在工件中沿空间三个方向作用，所以也称空间应力。这种应力存在于大厚度焊件对接焊、空间立体交叉焊的结构上。体积应力危害最大，其应力水平较高，在具有裂纹、未焊透等缺陷的缺口尖端部位，使材料塑性能力下降，易导致结构脆性断裂。

二、焊接应力的危害性

1. 焊接应力是产生热裂纹和冷裂纹的主要原因之一。当焊接应力峰值超过母材屈服强度时，就会产生裂纹。特别在易淬火材料，或刚性大的结构中表现较明显。

2. 焊接应力降低结构的使用性能和安全性。当残余应力与工作应力叠加，使总的应力水平提高，超过材料屈服强度时，对塑性好的材料，会消耗塑性甚至引起塑性破坏。而对塑性差（脆性材料）的材料，当应力峰值超过强度极限时，导致结构脆性破坏。特别是在低温、动载荷条件下，焊接残余应力、结构的应力集中和工作应力三者的叠加使结构危害性大大增加，会导致结构突然破坏，造成的损失无法估量。

3. 拉伸残余应力是造成设备和压力容器应力腐蚀的主要原因。拉伸应力与腐蚀介质的共同作用下，使焊缝处的裂纹尖端逐渐扩展，最终导致低应力脆性破坏。这种破坏常发生在盛放、接触腐蚀介质的容器和管道中。

4. 影响机加工的质量。在机加工中，由于机械加工去掉

一部分材料，破坏原来工件中内应力平衡，残余应力要释放并重新平衡，引起工件机加工精度和尺寸发生变化。

三、焊接应力的降低和消除

控制焊接残余应力，可在焊接结构的设计时予以考虑，尽量减少焊缝数量和尺寸，避免交叉焊缝，将焊缝布置在工作应力较小的位置等。这在设计图样和规范标准中都有具体要求。

在焊接结构和焊接方法确定的情况下，采用合理的工艺措施，可以降低残余应力的峰值和应力分布范围等。具体工艺措施有：

1. 焊前预热。在焊前对焊件全部（局部）进行加热，目的是减小焊接区和结构整体的温差，减缓焊后冷却速度，从而减小焊接应力。预热温度常取 $150\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，根据材料和结构刚性等来选取。此法常用于易裂材料的焊接。

2. 加热减应区法。在焊接一些刚性很大的特殊构件时，选择构件的适当部位进行加热使之伸长，然后再进行焊接，这样焊接残余应力可大大减小。这个加热部位叫做“减应区”。如图 6-22 所示，图中缺口为补焊区；网纹为加热减应区；箭头为热膨胀方向。在焊接加热和冷却时，焊缝和加热区的热胀冷缩是同方向的，使焊缝区伸缩自由度增加，从而减小了内应力。采用此法，一些刚性大、可焊性差的焊件可以进行焊接或修复等。

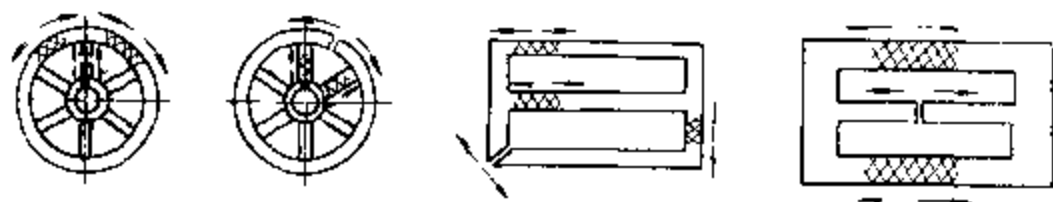


图 6-22 加热减应区法示意图

3. 采取合理的焊接顺序和方向。

(1) 施焊顺序尽量使焊缝能自由收缩，减少焊缝金属变形的拘束度。如长焊缝或大型结构件焊接时，焊接顺序应从中间向两端或四周进行，焊接方向指向焊缝的自由端。如锅炉管板、换热器管板的焊接常采用米字型放射状焊接顺序。大型容器底板拼接焊时，应从内到外依次焊接装配。

(2) 收缩量大的焊缝先焊。因为先焊收缩量大的焊缝，焊缝收缩阻力小，故应力也小。如结构中有对接焊缝和角焊缝，应先焊收缩量大的对接焊缝。

(3) 平面交叉焊缝应先焊横向焊缝，保证横向焊缝在焊后有自由收缩的可能。同时，后焊焊道施焊前，先将先焊焊道的焊缝金属铲掉，修好坡口，避免在交叉处产生引熄弧防止产生缺陷。如图 6-23 所示。

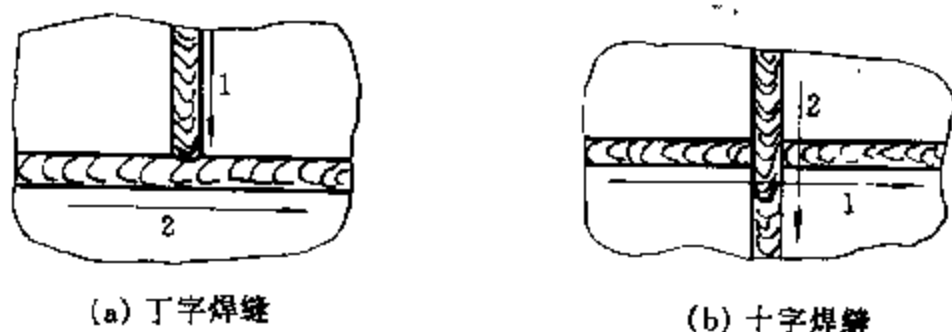
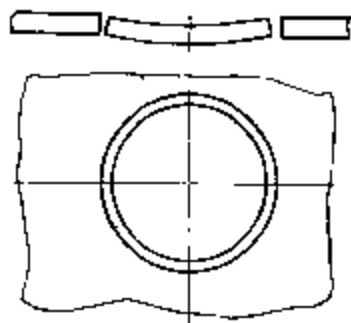


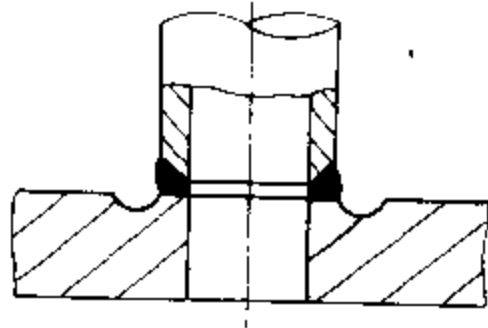
图 6-23 交叉焊缝焊接顺序

4. 选用小线能量施焊。焊接时尽量选用小直径焊条，小的焊接电流，减小焊件加热范围，从而减小焊接应力。

5. 预留收缩量。使焊件焊接时能自由收缩，增加变形的自由度。这种方法常用在封闭圆周焊缝的焊接中，如筒体的补板，重要厚壁容器的骑座式管座焊接等，如图 6-24 所示。



(a) 反变形增加自由度



(b) 开缓和槽降低刚性

图 6-24 降低局部刚性的措施

6. 捶击焊道。每一焊道在红热状态下，用圆头手锤等捶击使焊缝金属延伸，抵消收缩时的收缩量，从而降低应力。多层焊时第一道和表面焊道不要捶击，以防产生根部裂纹和表面硬化。

焊后消除残余应力的常用方法是对焊件进行整体或局部高温回火热处理，达到松弛应力、降低应力峰值等效果。安装工地因条件限制常采用局部热处理工艺。

其它消除残余应力的方法还有机械拉伸法、温差拉伸法和振动法等。

第七章 焊接缺陷及检验

随着现代科学技术的发展，锅炉、压力容器、化工机械、航空航天器和原子能工程等，向着高参数及大型化方向发展，其工作条件日益苛刻。因此，这些焊接结构件的焊接接头必须是高质量的，否则，运行中出现事故必将造成人民生命和财产的重大损失。

焊接生产过程中，由于受各种复杂因素的影响，接头中会产生一些缺陷，对焊接接头进行必要的检验，是保证焊接质量的一项重要措施。高质量焊接接头的获得，一方面靠先进的焊接技术来保证，另一方面还要靠先进的质量管理和检验方法来控制，后者尤为重要。

第一节 焊接接头常见缺陷的分析

焊接过程中，在焊接接头中产生的不符合设计或工艺文件要求的缺陷，称为焊接缺陷。焊接缺陷的类型很多，按其在焊缝中的位置，可分为内部缺陷和外部缺陷两类。

外部缺陷，也叫表面缺陷，它位于焊缝外表面，用肉眼或低倍放大镜就可以看到，例如，焊缝尺寸不符合要求，咬边、弧坑、表面气孔或裂纹等。

内部缺陷，位于焊缝内部，可用破坏性试验或无损探伤来发现，如未焊透、气孔、夹渣、裂纹等。

焊接接头的缺陷，按照它的性能可以分为三类：(1) 焊

缝尺寸不符合要求；(2) 组织构造缺陷，如气孔、裂纹；(3) 性能上的缺陷，如焊接接头的机械性能、抗腐蚀性能不满足技术条件要求等。

对于熔化焊方法，气孔、夹渣、未焊透、裂纹等是常见的缺陷。对于各种缺陷，首先应了解它的危害性和产生原因，然后采取相应的工艺措施，防止缺陷的产生和消除已产生的缺陷，从而保证产品的质量。本节着重介绍熔化焊过程中一些常见缺陷的产生原因及防止措施。

一、焊缝成型及尺寸不符合要求

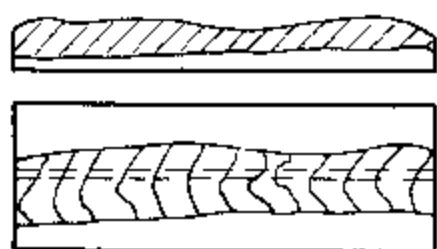
焊缝成型是指熔化焊时，液态焊缝金属冷凝后形成的外形。焊缝成型及尺寸不符合要求一般有以下几种情况：(1) 焊缝成型不良，波纹粗糙，高低不平；(2) 焊缝宽度不匀，太宽或太窄；(3) 对接焊缝未填满，焊缝低于母材或余高太高；(4) 角焊缝尺寸或形状（指凸度、凹度）不符合要求。如图 7-1 所示。

焊缝成型不良、宽度不一致除造成焊缝成型不美观外，还影响焊缝与基体金属的结合强度。焊缝低于母材，接头强度满足不了强度要求；焊缝余高太高，会造成应力集中，影响接头承受疲劳载荷的能力。角焊缝焊角尺寸太小，影响接头强度；角焊缝外形凸度太大，也会造成应力集中，影响接头承受疲劳载荷的能力。

产生焊缝成型和尺寸不符合要求的原因很多，主要有以下几种：(1) 焊件坡口角度不当或装配间隙不均匀；(2) 焊接电流过大或过小；(3) 手工焊或半自动焊速度掌握不匀，运条不当，角度选择不当；(4) 自动焊规范参数选择不当。

为防止上述情况，应注意选择正确的焊件坡口角度及装

配间隙；正确选择焊接电流；手工焊或半自动焊要熟练地掌握运条手法和速度，随时适应焊件坡口形状及间隙的变化；自动焊时要选择合适的规范参数；对角焊缝要注意保持正确的焊条角度和运条速度，操作手法要根据焊脚尺寸而定。



焊缝高低不平,宽度不齐,波形粗劣



加强高过高或过低

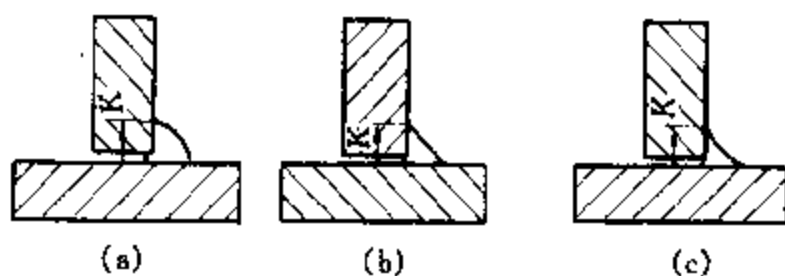


图 7-1 焊缝尺寸不符合要求

二、裂 纹

在焊接应力及其它致脆因素共同作用下，焊接接头中局部地区的金属原子结合力遭到破坏形成的新界面而产生的缝隙，称为焊缝裂纹。它具有尖锐的缺口和大的长宽比的特征，是焊接结构中最危险的缺陷，也是各种材料焊接中时常遇到的问题。根据裂纹产生的温度和时间，可分为热裂纹、冷裂

纹和再热裂纹。

1. 热裂纹。焊接过程中，焊缝和热影响区金属冷却到固相线附近的高温区产生的焊接裂纹叫热裂纹。热裂纹主要发生的晶界处，由于裂纹形成的温度较高，在与空气接触的开口部位表面有强烈的氧化特征，呈蓝色或天蓝色，这是区别于冷裂纹的重要特征。根据裂纹形成的机理不同，热裂纹可分为结晶裂纹、液化裂纹和高温失塑裂纹。

热裂纹大部分是沿着焊缝树枝状结晶的交界处产生和发展的，如图 7-2 所示。最常见的情况是沿焊缝中心长度方向开裂，有时也分布在两个树枝状晶体之间或焊缝表面及弧坑表面。

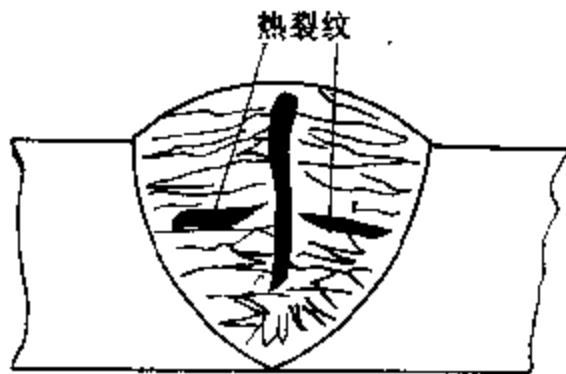


图 7-2 热裂纹产生部位

(1) 热裂纹产生的原因：熔池结晶时所受到的拉应力是焊缝产生热裂纹的必要条件。拉应力的大小主要取决于结构形式、接头刚性、熔池冷却速度和焊接顺序。而熔池内含有熔点温度比较低的共晶杂质是产生热裂纹的内在因素。因为熔池冷却过程中，在高温时，由拉应力造成的晶粒间隙都能被液体金属所填满，不会产生热裂纹。然而温度连续下降，柱状晶体徐徐生成，由于低熔点共晶的存在，就会在拉应力作

用下，造成晶粒间隙或已结晶的固体金属层间形成强度较低的晶间薄层，使晶间薄层被拉开而造成空隙，当液态的低熔点共晶又不足以填充此间隙时，则形成了裂纹。因此，热裂纹可看成是拉应力和低熔点共晶两者联合作用而形成的。

(2) 预防热裂纹的措施：1) 严格限制母材和焊材中有害杂质（如 S、P）的含量；2) 焊前预热，减慢焊缝冷却速度，减小焊接应力，这是防止热裂纹的有效措施；3) 适当提高焊缝的形状系数（焊缝的熔宽与熔深的比值），可以提高焊缝抗裂纹能力。窄而深的焊缝将使杂质集中在柱状晶对称部位，在较小的拉应力作用下就有可能造成焊缝中间裂纹；反之，宽而浅的焊缝有利于低熔点共晶物浮出，从而减小裂纹倾向；4) 调节焊缝的化学成分，改善焊缝组织和细化晶粒，可以提高焊缝的抗裂性能。例如，对低合金高强钢，焊缝中加入锰能降低硫的有害作用。在焊丝或焊条中加入钛、铝等合金元素，能细化晶粒，分散低熔点共晶物的分布，使之不能呈连续的网状分布，从而避免热裂纹产生；(5) 采用碱性焊条和焊剂提高脱硫能力，采用收弧板或终焊时应逐渐断弧，并填满弧坑以防止冷却速度过快和偏析而在弧坑处形成热裂纹。

2. 冷裂纹。焊接接头冷却到较低的温度下（对于钢来说在 M_s 温度以下）时产生的裂纹，称为冷裂纹。其特点是表面光亮，无氧化特征。

冷裂纹可以在焊后立即出现，也有时经过一段时间（几小时、几天甚至更长时间）才出现。对于焊后不是立即出现的冷裂纹，称为延迟裂纹，它是裂纹中一种比较普遍的形态。因为延迟裂纹不是焊后立即可以发现，因此它的危害性比起其它形态的裂纹就更为严重。

常见的冷裂纹可分为氢致裂纹、淬火裂纹和层状撕裂。层状撕裂大多数是在 150°C 以下或冷却到室温经过数小时后产生的，它是在焊缝快速冷却过程中，在板厚方向拉伸应力作用下，在钢板中产生的与母材轧制表面平行的裂纹。常发生在 T 形接头和角接接头上，如图 7-3 所示。

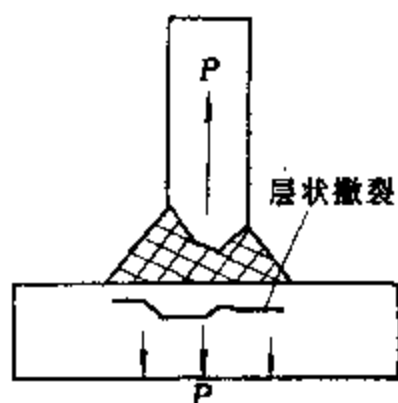


图 7-3 层状撕裂位置

根据冷裂纹产生的部位，一般分为焊道下裂纹、焊趾裂纹和焊根裂纹，如图 7-4 所示。焊道下裂纹是发生在靠近焊道的热影响区内，特别是在淬硬倾向较大的钢材，且含氢量较高的热影响区更易发生。焊趾裂纹是沿应力集中的焊缝和母材交界的焊趾处开始延伸的裂纹。焊根裂纹是沿应力集中的焊缝根部所形成的裂纹。

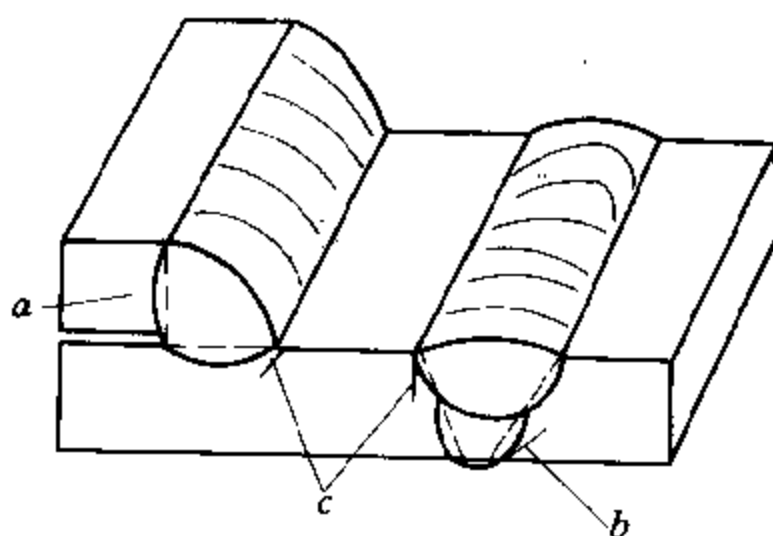


图 7-4 不同部位的冷裂纹

a—焊道下裂纹；b—焊根裂纹；c—焊趾裂纹

热裂纹是晶界开裂，开裂面上有氧化的色彩；而冷裂纹既有沿晶界开裂，也有穿过晶粒延伸或一条连续的冷裂纹既沿晶界发展，又穿过晶粒而延伸，且开裂面上看不到氧化色彩，这也表明冷裂纹是在较低温度下产生的。

(1) 冷裂纹产生的原因：形成冷裂纹有三个基本条件：母材有一定的淬硬倾向、焊缝中含有一定数量的扩散氢向热影响区扩散聚集以及存在较大的拉伸应力。这三个条件相互影响，在不同情况下，三者中任何一个因素可能成为导致产生冷裂纹的主要因素，但不是惟一因素。在多数情况下，氢是诱发冷裂纹最活泼的因素。而层状撕裂的主要原因则是轧制钢材中存在严重的层状非金属夹杂物，致使厚度方向上的拉伸塑性很差，在板厚方向上若存在较大的拉应力，则导致层状撕裂。

(2) 防止冷裂纹的措施：防止冷裂纹主要从降低扩散氢含量、改善组织和降低焊接应力等方面采取措施。在冶金方面，采用优质的低氢型焊接材料，并严格控制氢的来源，焊前烘干焊条和焊剂，仔细清除焊接区的污物及油、水、锈等杂物。在工艺措施方面，焊前预热是防止冷裂纹产生的有效措施。采取焊后加热（即后热）或将预热温度在焊后仍保持一段时间，使扩散氢能充分从焊缝中逸出，对于防止延迟裂纹有明显的效果。采用合适的焊接线能量，线能量越大则焊接接头冷却时间越长，因而热影响区就可以减轻或避免淬火，同时也有利于氢的逸出，降低了冷裂纹倾向。但线能量过大，在热影响区可能产生过热组织，使晶粒增大，反而降低焊接接头的抗裂性能。焊后对焊件进行热处理，一方面能消除焊接残余应力，另一方面又能改善组织，这对于消除延迟裂纹、改善热影响区的塑性、韧性都有良好的效果。另外，采用合

理的装配及焊接顺序，降低接头应力水平，对提高接头抗裂性大有好处。

3. 再热裂纹。工件焊接后，若再次被加热（如消除应力热处理、多层焊或使用过程中被加热）到一定温度而产生的裂纹称为再热裂纹。它发生在焊接接头热影响区熔合线附近的粗晶区中，起始点一般在接头表面的焊趾部位，或者焊缝根部的应力集中处，裂纹从粗晶区发展至热影响区的细晶区终止，具有穿晶裂纹特征，其断口有被氧化的颜色。

(1) 再热裂纹产生的原因。再热裂纹多发生在含铬、钼、钒、硼等低合金高强钢或低合金耐热钢、含铌的奥氏体不锈钢以及析出硬化显著的镍基耐热合金材料中。

由于焊件被再次加热，原接头处应力松弛产生变形，同时第一次热循环过程中饱和固溶碳化物析出沉淀硬化相，造成晶体内强化，当晶界的塑性不足以承受应力松弛产生的变形，就会产生裂纹。再热裂纹往往发生在焊接残余应力较大的部位。具有再热裂纹最敏感的钢种，其温度范围是 580~650℃。

(2) 再热裂纹的防止措施。

1) 控制基体金属和焊缝金属的化学成分，减少基体金属中促使形成再热裂纹的合金元素。钒、铌、钛、钼、铬、铜等合金元素对钢材的再热裂纹敏感性有很大影响，其中钒、铌影响最大，其它合金元素按顺序依次减小。

2) 减少结构刚性和焊接残余应力。如采取预热、焊后缓冷措施，采用小直径焊条小规范进行焊接等。

3) 施焊时焊条不要摆动、分段施焊、捶击焊道等。

4) 焊后进行回火处理。回火温度不超过再热裂纹敏感温度，可使一部分碳化物析出，减小再热裂纹的敏感性。

采取以上措施可以减少或防止再热裂纹。

三、气 孔

焊接时，熔池中的气泡在凝固时未能逸出而残留下来形成的空穴称为气孔。气孔可分为单个气孔、密集气孔、条状气孔和针状气孔等，如图 7-5 所示。气孔是焊接时常见的缺陷。

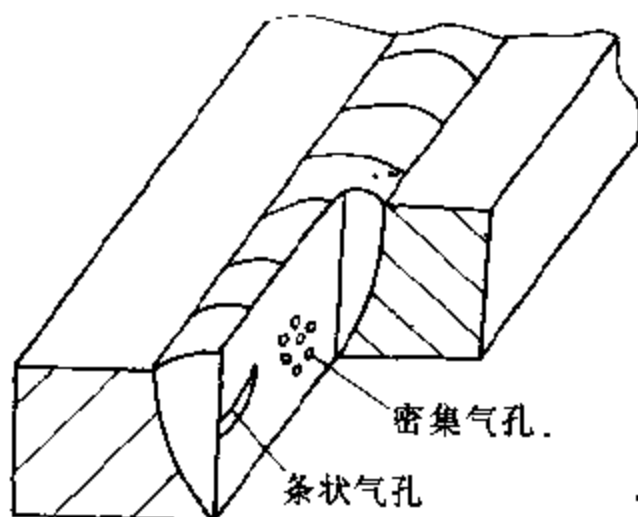


图 7-5 焊缝中的气孔

1. 气孔产生的原因。产生气孔的原因是由于熔池金属在高温时，吸收了较多的气体，冷却时，由于气体在金属中的溶解度急剧下降，气体来不及逸出而残留在焊缝金属内聚集成气孔。气孔的形成与下列因素有关：

(1) 焊接时空气的侵入、焊接冶金过程中所产生的气体、溶解于母材和焊材中的气体以及母材和焊材上的油、锈等脏物在受热后分解产生的气体等，都是形成气孔的气体来源。

(2) 焊接材料的影响。焊条或焊剂受潮，在使用前未按规定要求烘干；焊条药皮变质、脱落或因烘干温度过高而使

药皮部分成分变质失效；焊剂中混入污物等，均易使焊缝中产生气孔。

(3) 焊接工艺的影响。手工电弧焊时，采用过大电流造成焊条发红，药皮变质或脱落，保护失效；碱性低氢焊条焊接时，电弧过长使空气侵入；电弧偏吹或电弧不稳定使空气侵入；焊接速度过快，熔池在高温存在时间变短，气孔产生倾向变大。

2. 防止气孔产生的措施。

(1) 焊前清理干净焊丝及焊接坡口表面及附近油、锈等污物及氧化皮。

(2) 不得使用药皮开裂、剥落、变质、偏心或焊芯锈蚀的焊条，被脏物污染的焊条、焊剂不许使用。

(3) 焊条和焊剂按规定的温度和保温时间进行烘干。低氢型焊条应放在保温筒中随用随取。在空气中暴露较长时间的焊条、焊剂应重新烘干才能使用。

(4) 严格按照焊接工艺文件规定的参数进行施焊。

(5) 碱性焊条施焊时应短弧操作，若发现焊条偏心要及时转动或倾斜焊条。

四、夹 渣

焊后残留在焊缝中的熔渣称为夹渣。其形状比较复杂，一般呈线状、长条状、颗粒状及其它形式。主要发生在坡口边缘和每层焊道之间非圆滑过渡的部位，在焊道形状发生突变或存在深沟的部位也容易产生夹渣。如图 7-6 所示。在横焊、立焊或仰焊时产生的夹渣比平焊多。

夹渣的存在，会降低焊缝金属的强度。在焊缝金属塑性较差、承受疲劳载荷的情况下，还可能发展成为裂纹，因此，

对焊缝金属内部的夹渣必须给予限制。



图 7-6 焊缝中的夹渣

1. 夹渣产生的原因。

(1) 坡口角度小，焊缝深而窄，造成熔渣来不及浮出焊缝表面而残留在焊缝中。

(2) 多层多道焊时清渣不干净。

(3) 熔渣粘度高、熔点高。

(4) 焊接电流过小，使熔池凝固过快。

(5) 操作不当，使熔渣和熔池金属不能充分分开。

2. 防止夹渣的措施。避免产生夹渣的主要方法是：

(1) 采用具有良好工艺性能的焊条。

(2) 焊件坡口角度不宜太小，多层多道焊时，避免在狭小区域及截面突变处焊接。出现此类情况时，应将焊接部位修整合适，然后施焊。

(3) 焊件必须清除干净锈及氧化皮，多层多道焊时必须清除干净焊渣。

(4) 适当增大焊接电流，使熔池冷却速度减慢，使熔渣浮出焊缝。

(5) 焊接过程中注意观察熔池及熔渣的流动情况，操作手法得当，使熔渣易于浮出。

五、未 熔 合

在焊缝金属与母材之间或焊道金属与焊道金属之间未完

全熔化结合的部分称为未熔合。常出现在坡口的侧壁、多层焊的层间及焊缝的根部。如图 7-7 所示。空穴型未熔合的危害性与体积性夹渣类似，而面积型（片状）未熔合的危害与裂纹相似。

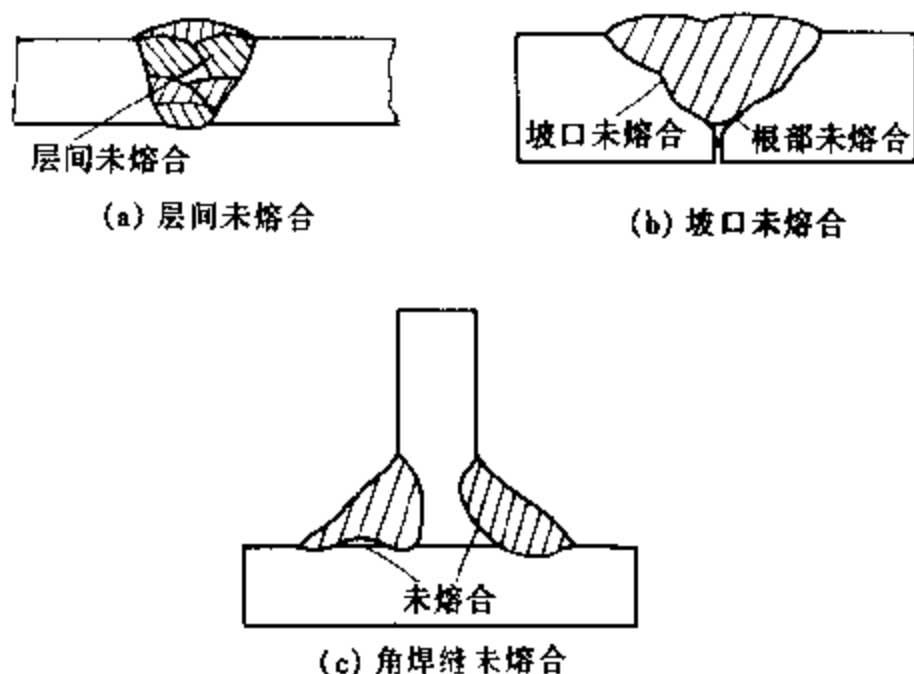


图 7-7 未熔合

1. 未熔合产生的原因。

(1) 电流过小或电弧偏移和运条不当，使母材或下层、邻近焊道等未能充分熔化。

(2) 坡口清理不彻底，有油、锈、氧化皮等杂物，使熔合不良。

(3) 多层多道焊时清渣不干净，使焊缝熔合不良，并伴随着夹渣。

2. 未熔合的防止措施。

(1) 适当提高焊接电流。

- (2) 避免电弧偏吹。
- (3) 操作方法得当，使焊道及母材充分熔化。
- (4) 认真清理坡口及焊道表面。

六、未 焊 透

焊接时，母材金属之间应该熔合而未焊上的部分称为未焊透。出现在单面焊的坡口根部及双面焊的坡口钝边，如图7-8所示。未焊透会造成较大的应力集中，往往从其末端产生裂纹。未焊透的部位往往也存在着夹渣。

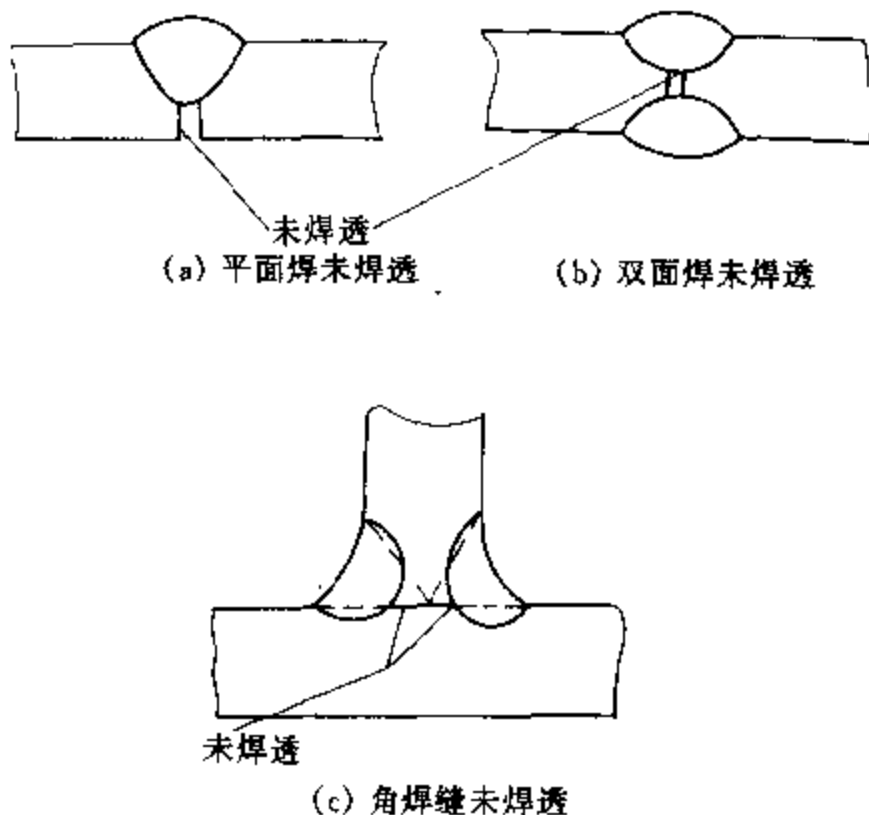


图 7-8 未焊透

1. 未焊透的产生原因。

(1) 坡口尺寸不合理。如角度过小、间隙过小、钝边过大等。

- (2) 双面焊时，反面焊时未清根或清根不彻底。
- (3) 焊接规范不当。如焊接电流过小、速度过大。
- (4) 手工焊时操作运条不当。
- (5) 自动焊时焊丝未对准或焊偏。

2. 未焊透的防止措施。

- (1) 选择合理的焊接规范参数和坡口尺寸。
- (2) 双面焊时清根要彻底。
- (3) 熟练掌握操作技巧。
- (4) 自动焊时保证焊丝对准，防止焊接过程中焊偏。

七、咬 边

由于焊接规范参数选择不当，或操作工艺不正确，沿焊缝的母材部位产生的沟槽或凹陷称为咬边，也称咬肉。在横焊和仰焊位置容易发生咬边，如图 7-9 所示。咬边是常见的焊缝外观缺陷，它减弱了焊接接头的强度，并且在咬边处形成应力集中，承载后可能在咬边处产生裂纹，从而导致构件破坏。

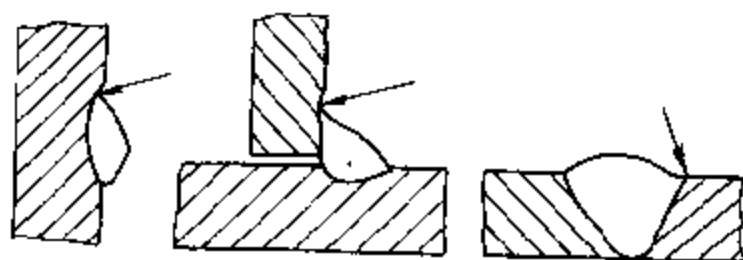


图 7-9 咬边

1. 咬边的产生原因。咬边产生的原因视不同情况而异，如平焊时焊接电流太大以及运条速度不合适；在角焊缝及横、立、仰位置焊接时，焊条角度不当，电弧过长及电流太大；在埋弧自动焊时由于焊接速度过高而造成。

2. 防止咬边产生的措施。防止焊缝产生咬边的主要措施有：选择适当的电流、保持运条均匀；角焊缝及横、立、仰位焊接时焊条要采用合适的角度和保持一定的电弧长度；埋弧自动焊时要正确选择焊接规范。

八、焊 瘤

焊接过程中，熔化金属流淌到焊缝之外未被熔化的母材上所形成的金属瘤称为焊瘤，如图 7-10 所示。焊瘤存在于焊缝表面，在其下面往往伴随着未熔合、未焊透缺陷。它不但影响了焊缝的成型美观，而且，由于焊缝金属的堆积，使焊缝的几何形状发生突变而造成应力集中。

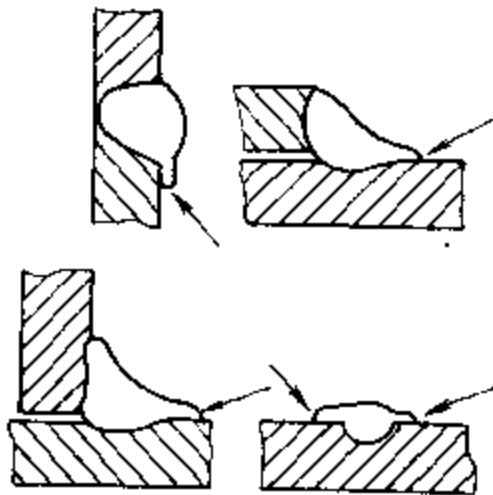


图 7-10 焊瘤

焊瘤产生的主要原因是操作不熟练和运条不当，使熔池温度过高、凝固慢，一部分金属流淌到焊缝外形成的。立焊时，若使用过大的电流而操作不当，则更容易引起焊瘤。

防止产生焊瘤的最重要措施是提高焊工的技术熟练程度；另外还需选用合适的焊接规范、坡口尺寸，使用碱性焊条时宜采用短弧操作，运条速度要均匀等。

九、烧穿

焊接过程中，熔化金属自坡口背面流出，形成穿孔的缺陷就是烧穿。烧穿常发生于打底焊道的过程中及薄板对接焊缝或管子对接焊缝中。在烧穿的周围常有气孔、夹渣、焊瘤和未焊透等缺陷。

造成烧穿的主要原因是焊件加热过甚，如焊接电流过大、焊件间隙太大、焊接速度过慢以及电弧在焊缝某处停留时间过长等。

防止烧穿的主要措施是正确选择焊接电流和焊接速度；严格控制焊件的装配间隙，并保持间隙均匀；对局部间隙过大处可用细焊条、小电流先焊一层。

对于烧穿的部位，必须认真清除穿孔周围的熔渣，并修整出适当的坡口后局部补焊，待与未烧穿的部位平整后再焊接下一焊道。

十、凹坑和弧坑

1. 凹坑。凹坑是指在焊缝表面或焊缝背面形成的低于母材表面的局部低洼部分，如图 7-11 所示。

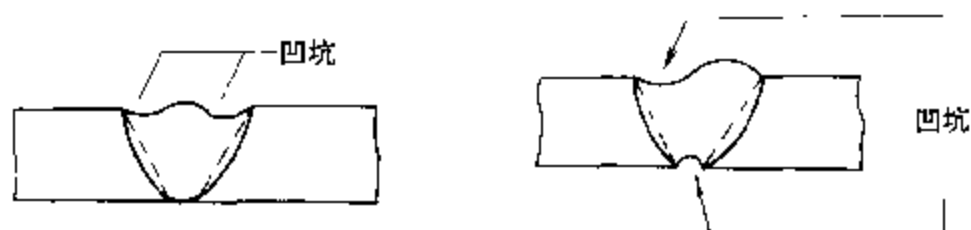


图 7-11 凹坑

产生焊缝表面凹坑的原因主要是坡口截面不均匀，在截面大处填充金属未能填满坡口而形成的凹坑；也可能是焊接

速度控制不均匀或多层焊时焊接层数与焊接速度没有配合好所致。

焊缝背面凹坑主要是由于填充金属不够，焊缝金属凝固收缩而形成凹坑；或由于焊接规范参数不当，操作不当，熔池金属在表面张力作用下未能充分下沉而造成凹坑。这种缺陷在单面焊双面成型和单面带垫板焊缝中常有出现。

焊缝出现凹坑应进行补焊。

2. 弧坑。弧坑是指焊缝收弧处产生的下陷现象，如图7-12所示。焊缝收弧处的弧坑，往往使该处焊缝的强度严重减弱，还有可能在受力情况下，在弧坑处产生裂纹而导致构件破坏。在有些情况下，焊缝在冷却过程中会在弧坑处产生裂纹，即所谓的弧坑裂纹。

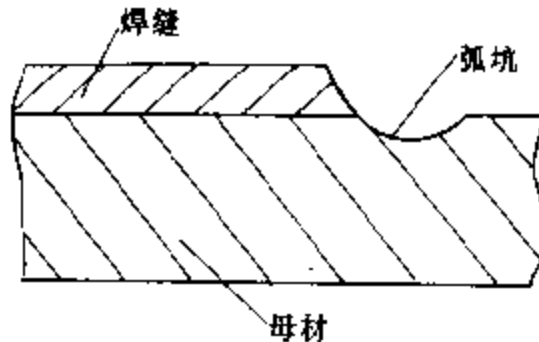


图 7-12 弧坑

焊缝产生弧坑的原因，主要是熄弧时间过短，填充金属未能填满弧坑；在自动埋弧焊时，主要是没有分两步按下“停止”按钮，即未先停丝后切断电源。

为了防止弧坑的产生，当手弧焊时，必须注意在收弧过程中焊条需在熔池处作短时间的停留或几次环形运条，使足够的熔敷金属填满熔池。在自动埋弧焊时，要分两步按下“停止”按钮，目的是为了填满弧坑。

十一、严重飞溅

熔化焊过程中，熔化的金属颗粒和熔渣向周围母材飞散的现象称为飞溅。在手工电弧焊时，产生少量的飞溅是正常的，但在一般情况下出现了异常严重的飞溅现象，这就不能认为是正常的。严重的飞溅不仅影响操作而且浪费焊材，影响焊缝表面整洁，严重时甚至损伤母材表面，如图 7-13 所示。

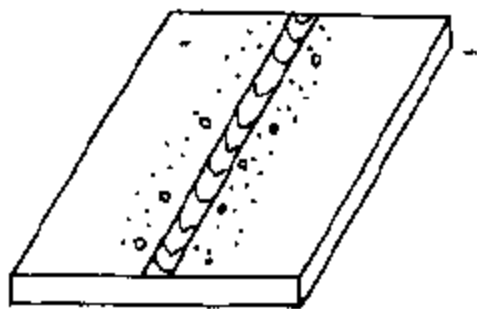


图 7-13 严重飞溅

造成严重飞溅的原因有以下几点：

1. 焊条变质，如药皮开裂、钢芯锈蚀等。
2. 焊条受潮。受潮焊条在焊接过程中因水分分解而产生大量气体，溶解在熔滴中的气体在电弧高温作用下由于体积膨胀而炸裂，从而引起严重飞溅现象。
3. 对碱性焊条，使用直流正接时也会产生大量飞溅。
4. 当电源设备性能不良，以及接地的焊接电缆接法不当而产生磁偏吹时，也会产生严重飞溅。

防止飞溅的主要措施是：当使用碱性焊条（如 J 506、J 507 等）时，必须按规定要求把焊条烘干，使用时放在焊条保温筒中，受潮后的焊条应重新烘干；使用时还必须注意极性（直流反接），并应选用性能良好的焊机，以及注意接地电缆的位置，防止发生严重磁偏吹。

十二、其它缺陷

1. 错边和角变形。由于两个焊件没有对正而造成板的中心线平行偏差称为错边，如图 7-14 (a) 所示。

当两个焊件没有对正或由于焊接变形而造成它们的表面不平行或不成预定的角度称为角变形，如图 7-14 (b)、(c) 所示。

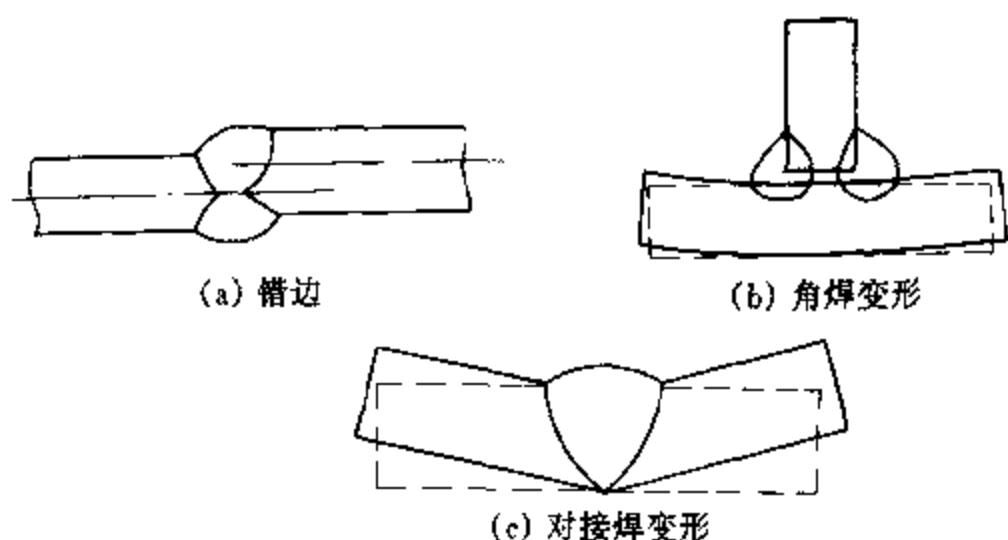


图 7-14 错边和角变形

2. 夹钨。夹钨是在钨极惰性气体保护焊时，由于电流过大，钨极局部熔化而坠入熔池留在焊缝中的缺陷。

3. 电弧损伤。在焊缝坡口外部引弧时产生于母材金属表面上的局部损伤。如果在坡口外随意引弧，或因焊把或缆线绝缘不好造成弧击，有可能形成弧坑裂纹，且容易被忽视、漏检，成为事故的隐患。

第二节 焊接缺陷的危害

焊接缺陷归纳起来可分为面状性缺陷（射线底片上表现为线状缺陷）和体积性缺陷（射线底片上表现为点状缺陷）。通常把气孔、夹渣等内部缺陷称为体积性缺陷，在压力容器、锅炉等制造行业标准上规定了允许存在的尺寸和数量；把裂纹、未熔合、未焊透等称为面状性缺陷，其危害性很大，均不允许存在。

焊接缺陷对接头质量的影响，主要是对结构负载强度和耐腐蚀性能的影响。由于缺陷的存在减小了结构承载的有效截面积，更主要的是在缺陷周围产生了应力集中。因此，焊接缺陷对结构的静载强度、疲劳强度、脆性断裂以及抗应力腐蚀开裂都有很大的影响。由于各类缺陷的形态不同，所产生的应力集中程度也不同，因面对结构的危害程度也各不一样。

一、体积性缺陷的危害性

气孔、夹渣等体积性缺陷的危害性主要是降低焊接接头的承载能力。因为这些缺陷占据了焊缝金属一定的体积，使焊缝金属截面减小，从而也就相应降低了接头的强度。

如果气孔穿透焊缝表面，特别是穿透接触介质的焊缝表面，介质积存在孔穴内。当介质有腐蚀性时，将形成集中腐蚀，孔穴逐渐变深、变大，以至于腐蚀穿孔面泄漏。

夹渣边缘如果呈尖锐形状，还会在该处产生应力集中。

二、面状性缺陷的危害性

裂纹、未焊透、未熔合等面状性缺陷，因为缺陷的端部

呈尖锐状，在锅炉、压力容器等构件承受载荷的情况下，尖锐端部有明显的应力集中，当应力水平超过尖锐端部的强度极限，面状缺陷就会延伸扩展，以至于贯穿整个截面而造成构件失效、破断。特别是当焊接接头处于脆性状态时，面状性缺陷的扩展速度极快，还可能造成脆性断裂事故。脆性断裂是一种低应力断裂，是在没有塑性变形情况下产生的快速、突发性断裂或粉碎性爆炸，其危害性极大。

面状性缺陷和腐蚀性介质接触时，介质积存于缺陷缝隙内，时间一长，介质还可能浓缩，腐蚀性加大，在焊接接头残余应力的作用下，形成应力腐蚀的条件，裂纹就会延伸扩展，应力腐蚀继续作用，裂纹不断发展，以致造成构件失效。当材料处于脆性状态时，也同样会引起脆性断裂或爆炸事故。

焊缝内的面状性缺陷由于应力集中系数较大，因而对疲劳强度的影响较大。含裂纹的构件与占同样面积的气孔的构件相比，前者的疲劳强度比后者降低15%。对未焊透而言，随着其面积的增加疲劳强度明显下降。而且这类面状性缺陷对疲劳强度的影响还与负载的方向有关。通常疲劳裂纹是从表面引发的，因此当缺陷露出表面或接近表面时，其疲劳强度的下降要比缺陷埋藏在内部的明显得多。

三、其它外部缺陷的危害性

对于焊缝的形状不良、角焊缝的凸度过大及错边、角变形等焊接接头的外部缺陷，也都会引起应力集中或者产生附加的应力。

错边和角变形能引起附加的弯曲应力，对构件的脆性破坏也有影响，并且角变形越大，破坏所需应力越低，越容易破坏。

咬边对疲劳强度的影响很大，比气孔、夹渣的影响大得多，带咬边的焊接接头在 10^6 次循环的疲劳强度大约为完好接头的 40%，其影响还与负载方向有关。此外，焊缝的成型不良，焊趾区、焊根的未焊透、错边和角变形等外部缺陷都会引起应力集中，很易产生疲劳裂纹而造成疲劳破坏。

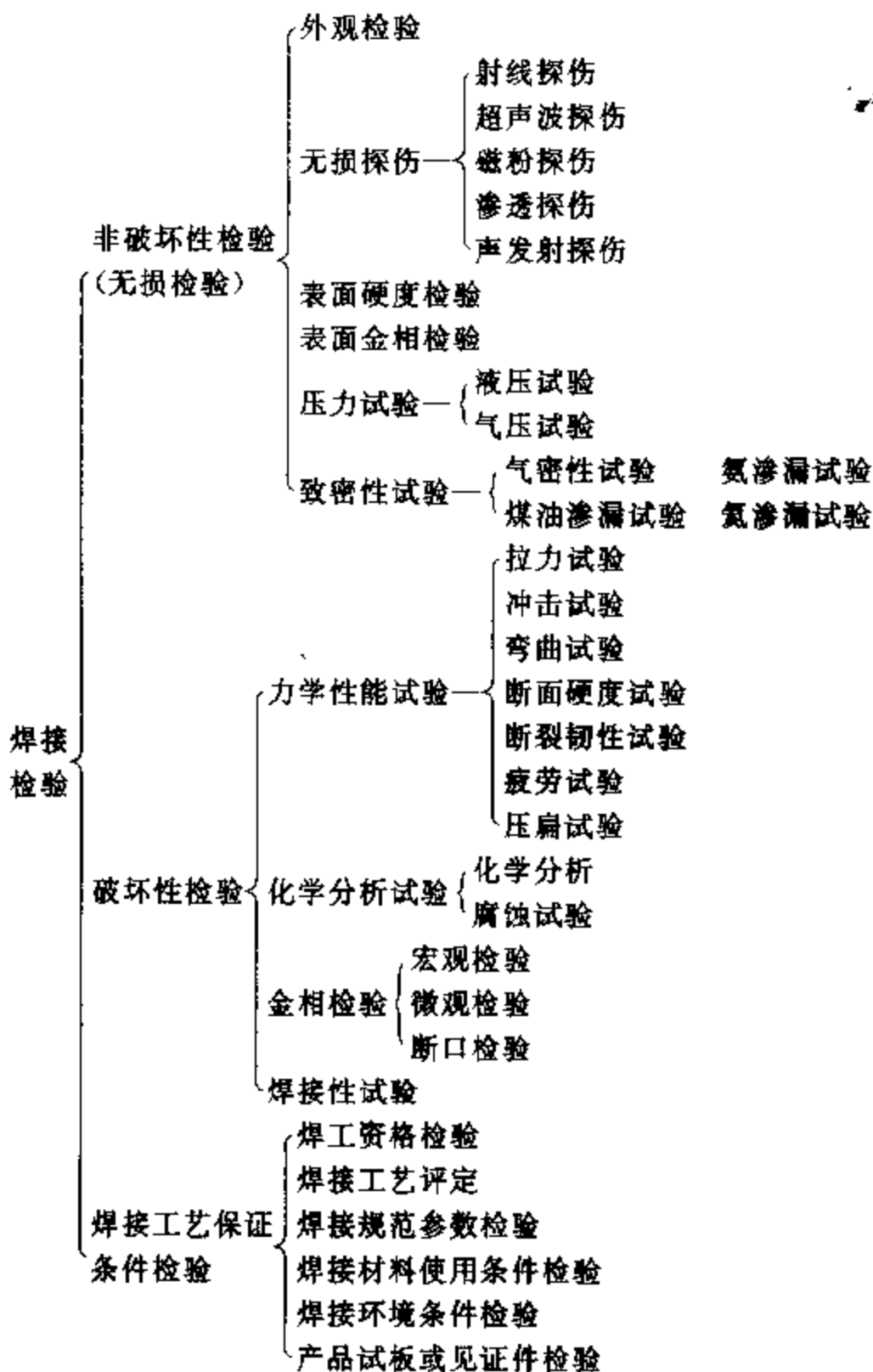
通常应力腐蚀开裂总是从表面开始。如果焊缝表面有缺陷，则裂纹很快在那里形成，因此，焊缝表面的粗糙波纹、结构上的死角、拐角、缺口、缝隙等对应力腐蚀有很大影响。另外，造成应力集中的外部缺陷对应力腐蚀有很大影响。

第三节 焊接质量检验

在整个焊接结构生产中，检验工作占着相当重要的地位，尤其对电弧焊接来说，更具有重要意义，这是因为电弧焊焊接质量尚未达到足够的稳定性。焊接质量检验的目的就是通过不同的方法检查出焊接接头中的缺陷，并且按相应的标准或规定，对焊接接头质量作出评价，对不符合质量要求的缺陷，要及时地清除掉并重新进行补焊，从而保证焊接结构的安全使用。对于锅炉、压力容器等产品的制造、安装和修理单位，焊接检验的另一重要目的就是要对保证焊接接头质量的工艺条件进行检查，查出可能影响接头质量的工艺条件的变化，并且予以改正。

一、焊接检验分类

焊接检验可分为非破坏性检验（即无损检验）、破坏性检验和焊接工艺保证条件的检验。检验方法如下：



焊前检验的主要内容有：

(1) 检查技术文件（图纸、工艺规程等）是否完善、齐备；

(2) 检查基体金属的材料标记、表面质量状况及下料尺寸等；

(3) 检查焊接材料牌号是否符合工艺规定，是否按有关规定进行验收、烘干和清理；

(4) 焊件坡口边缘的检验，包括检查坡口尺寸、粗糙度、有无裂纹等缺陷及清理是否干净等；

(5) 检查焊件装配情况，包括对装配尺寸、坡口尺寸、间隙、错边量及定位焊缝等的检查；

(6) 检查焊工的资格是否符合有关规定；

(7) 检查焊接设备及辅助设备是否完好，仪表是否按规定检定及是否在检定有效期内；

(8) 检验焊接环境的温度、湿度、风、雨等，是否符合有关规定。

2. 焊接过程中检验。焊接过程不仅指形成焊缝的过程，尚应包括焊前预热、焊完后热和焊后热处理过程。焊接过程中，焊工直接操纵焊接设备并能充分地接近焊接区、随时观察焊接情况、及时调整焊接参数，以适应焊缝成型及质量要求，因此，焊工的自检能积极主动地控制焊接质量。

焊接过程中检验的内容包括：

(1) 检查焊接预热及层间温度；

(2) 检查焊接参数，如电流、电压、速度、气体流量等；

(3) 层间清理、熔合、焊透、表面状况等的检查；

(4) 检查焊接顺序及施焊方向是否符合规定；

(5) 检查焊完后热的温度和保温时间；

(6) 检查焊后热处理的装炉温度、升温速度、保温温度、时间、降温速度等。

3. 焊后检验。焊接结构件虽然在焊前和焊接过程中进行了有关检验,但由于制造过程中外界因素的变化或规范参数、网压的波动等仍有可能产生焊接缺陷,因此,有必要进行焊后检验。

焊后检验的内容包括:

(1) 外观检查,检查焊缝表面成型、尺寸、表面缺陷及清洁情况等;

(2) 无损检验,如射线、超声波、磁粉等探伤、表面硬度检查;

(3) 产品试板或见证件的破坏性试验,如拉力、弯曲、冲击、腐蚀等试验;

(4) 致密性检验,如气密性试验、煤油渗漏试验;

(5) 焊缝强度检验,如水压试验、气压试验。

4. 安装调试质量的检验。安装调试质量检验包括两个方面:其一,对现场组装的焊接质量进行检验;其二,对产品制造时的焊接质量进行现场复查。

现场组装焊缝的焊接检验与制造过程中的焊接检验基本相同,也包括焊前检验、焊接过程中的检验和焊后检验。现场复查的焊接检验主要包括:

(1) 检查资料的齐全性;

(2) 核对质量证明文件;

(3) 检查实物与质量证明文件的一致性;

(4) 按有关安装规程和技术文件规定进行检验;

(5) 对产品重要部位、易产生质量问题的部位、运输中易破损和变形的部位进行重点检查。

5. 产品服役质量的检验。焊接结构件在役运行时，可用声发射技术对产品的质量进行监控，确定其中缺陷的产生、运动和发展情况，并对结构的寿命进行评定，从而保证设备的安全使用。

四、无损检验

1. 外观检验。外观检验，也叫目视检验，一般以肉眼观察为主，有时也可利用5~20倍的放大镜、样板、测量尺等进行检查。进行这种检验的目的，一是为了发现焊缝的咬边、表面气孔和裂纹、凹坑、弧坑、焊瘤等缺陷，二是为了检查焊缝的外表成型和尺寸。

2. 射线探伤。射线探伤是检验焊缝内部缺陷准确而又可靠的方法之一，它可以非破坏地显示出缺陷在焊缝内部的形状、位置和大小。

射线探伤是利用射线可穿透物质和在物质中有衰减的特性来发现缺陷的一种方法，也称为射线检验。射线探伤在锅炉、压力容器上使用的射线种类主要有X射线、 γ 射线和高能电磁波，它们是一些波长很短的电磁波，其中以X射线和 γ 射线的应用最广泛。

(1) 射线探伤原理。X射线是在X光管的两极接上高电压(150~400 kV)，使阴极放出的热电子获得很高的能量，撞击在阳极上而放出波长很短的X射线，如图7-15，这种射线的特性是能够透过很厚的金属及其它物体。 γ 射线是利用镭、钴或铀等放射性元素放射出的 γ 射线，它的波长比X射线更短，能够穿透更厚的金属。 γ 射线源是放在铅盒内，使用时将开口的面向着被检验的焊缝，如图7-16所示。

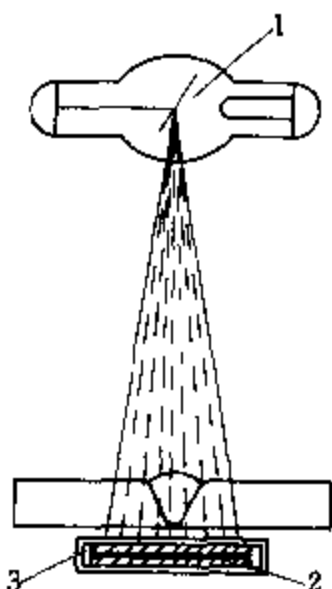


图 7-15 X 射线透视原理示意
1—X 射线管；2—底片；3—底片夹

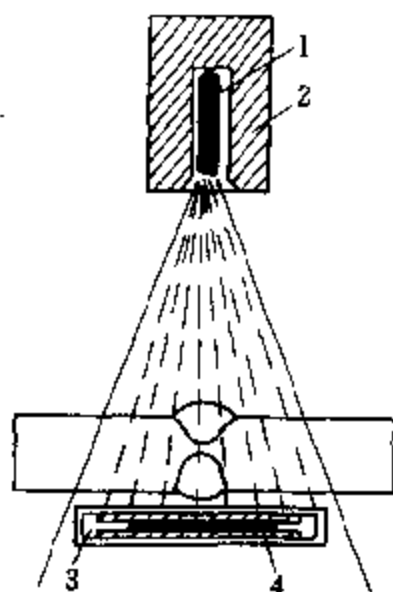


图 7-16 γ 射线透视原理示意
1—射线源；2—铅盒；
3—底片夹；4—底片

X 射线和 γ 射线都是电磁波，都能不同程度地透过不透明的物体，使照相胶片感光 and 使某些化学元素和化合物产生荧光等。射线探伤主要是利用射线的这种性能。由于射线通过不同物质被吸收的程度不同，金属密度越大、厚度越大，射线被吸收的越多。因此，射线通过被检查的焊缝时，在缺陷处和无缺陷处被吸收的程度不同，使得射线透过接头后，强度的衰减有明显的差异，使放置在工件背面的胶片感光程度不同。通过缺陷处的射线对胶片感光较强，胶片冲洗后颜色较深，无缺陷处则底片感光弱，冲洗后颜色较浅，这样观察底片上的影像，就能发现焊缝内有无缺陷及缺陷的种类、大小和分布。

(2) 射线探伤的特点。射线探伤适用于检查工件的内部

缺陷，而且检查结果可用底片作为依据进行存档。射线探伤对于气孔、夹渣、凹坑等体积性缺陷，由于在透照方向上有明显厚度差，即使很小的缺陷也较容易检查出来，灵敏度高。而对于裂纹、未熔合、未焊透那样的面状缺陷，只有在与射线束平行方向有一定厚度的缺陷才容易检查出来，如果与射线束垂直或倾斜角较大，就很难检查出。

X射线与 γ 射线检验的比较：X射线透照时间短，速度快；被检查的焊缝厚度小于30 mm时，其显示缺陷的灵敏度高；但设备复杂，费用大，穿透能力较 γ 射线小。而 γ 射线设备轻便，操作简便，有可能在X射线装置不可能达到的地方应用它，尤其适合现场安装焊缝的探伤；穿透能力强，能透照300 mm厚的钢板；透视时不需要电源，野外工作比较方便；在检查环焊缝时可一次周向曝光，节约了时间；但透视时间较长，透视小于50 mm的焊缝时，显示缺陷的灵敏度小。

(3) 射线探伤时对缺陷的识别。为了有利于焊缝质量跟踪和提高返修合格率，焊工应该会识片，分析缺陷的性质、位置和产生原因。下面介绍典型缺陷在底片上的识别方法。

气孔：归纳起来大致可分为单个气孔、密集气孔和链状气孔。在底片上呈黑色圆点或椭圆形黑点，四周轮廓清晰，其黑度一般是中心处较大而均匀地向边缘减小。分布不一致，有稠密的，也有稀疏的。

夹渣：在底片上分条状、点状夹渣。点状夹渣呈单独黑点，外观不太规则，带有棱角，黑度均匀；条状夹渣呈宽而短的粗线条状；长条形的夹渣，线条较宽，宽度不一致。

未焊透：在胶片上是一条断续或连续的黑直线，起始端和末端一般没有尖角现象，同时还要根据坡口及钝边位置来判断黑线是否是未焊透。

未熔合：在底片上的位置往往偏离焊线中心线，它与夹渣影像的区别在于底片上黑色条状的一侧呈平直状，另一侧呈弯曲状。而夹渣两侧黑色条纹不规则，均不在一条直线上。

裂纹：在底片上多呈现略带曲折的、波浪状的黑色细条纹，有时也呈现直线细纹，轮廓较为分明；两端较为尖细，中部稍宽，不太有分枝；两端黑色逐渐变浅，直至消失。

(4) 射线探伤焊缝质量的评级。根据 GB 3323—87《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》，根据缺陷的性质、缺陷的尺寸及数量将焊缝质量分为 I、II、III、IV 共四级，质量依次降低。产品的重要程度不同，焊缝质量等级要求不同，焊缝质量等级由图纸设计人员根据有关法规、标准进行确定。

I 级焊缝内应无裂纹、未熔合、未焊透和条状夹渣。

II 级焊缝内应无裂纹、未熔合和未焊透。

III 级焊缝内应无裂纹、未熔合以及双面焊和加垫板的单面焊中的未焊透。不加垫板的单面焊中的未焊透长度允许有一定量。

IV 级焊缝，焊缝缺陷超过 III 级者为 IV 级。

对钢制压力容器对接焊缝的缺陷等级评定，应按照 JB 4730-94《压力容器无损检测》进行。焊缝缺陷同样分为四个等级，与 GB 3323—87 基本相同。

3. 超声波探伤。利用超声波探测材料内部缺陷的无损检验方法，就是超声波探伤，也称为超声波检验。超声波探伤也是锅炉、压力容器等产品的一种主要探伤方法。

(1) 超声波探伤的原理。超声波是一种人耳听不见的高频率音波（频率超过 20 000 Hz）。超声波探伤的原理是利用具有压电效应的压电换热器，将高频脉振荡电流转换为超声波，通过耦合介质（甘油、合成浆糊等）传入工件中。由于

超声波有很强的穿透能力，在工件中按一定的方向传播。当超声波传播中遇到工件内部缺陷和工件的界面时，又会反射回来，又由换能器接收并转换为高频脉冲振荡电信号，经接受放大后在指示器的荧光屏上显示出回波的反射脉冲。测量超声波从缺陷处和界面反射波的时间差，就能从屏幕的波形显示区判断工件内部有无缺陷和分析缺陷的部位和形状。如图 7-17 所示。这种方法称为反射法。同样原理，也可测量超声波从缺陷处和界面反射波之间的频率差（调谐法）或透过工件的能量差（穿透法），来判断工件内部的缺陷情况。其中，测量时间差的反射法应用最为普遍。

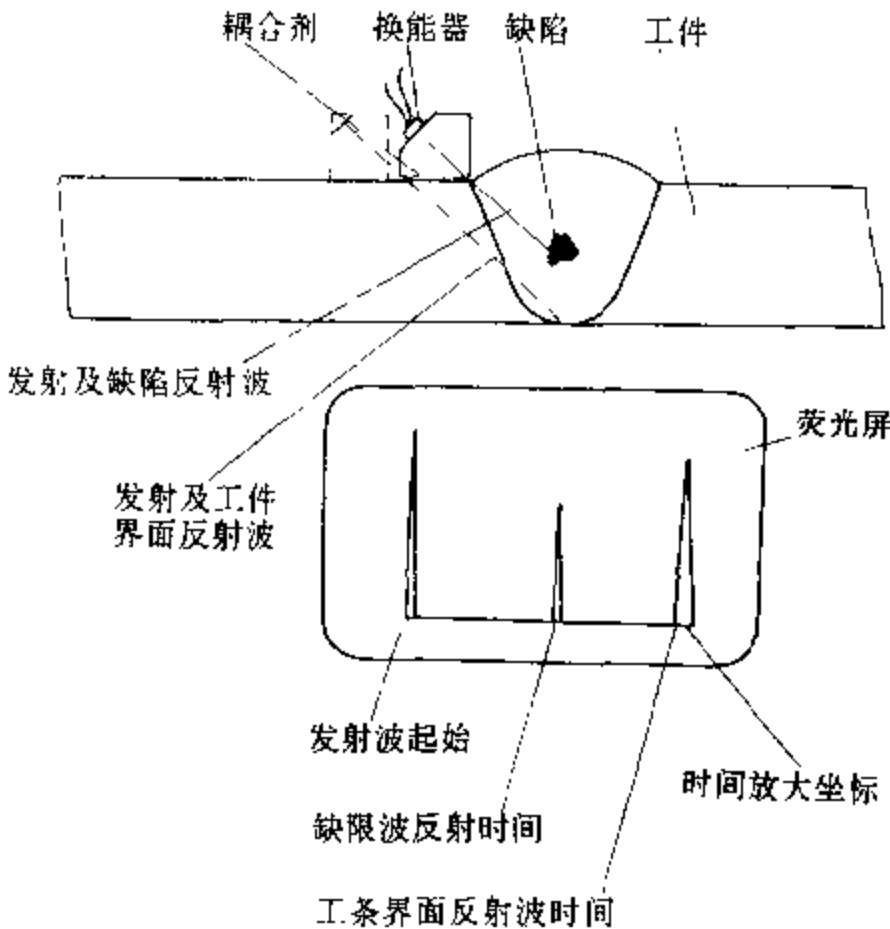


图 7-17 超声波探伤原理图

(2) 超声波探伤的特点。超声波探伤的特点表现在它对于面状性缺陷如未焊透、未熔合、裂纹等的探伤灵敏度很高，而对于体积性缺陷，尤其是球面体积性缺陷（如气孔）的探伤灵敏度不如射线探伤高。若缺陷不是相当大或不是密集的，就不易得到足够的缺陷反射波而被漏检。超声波探伤的另一特点是，其可靠性在很大程度上取决于探伤人员的技术水平、工作责任感以及探伤仪器的灵敏度，加之探伤过程不能自动记录，只能由探伤人员自行记录，因此，探伤结果的凭证不如射线探伤底片直观、可靠。

超声波探伤比射线探伤具有灵敏度高、周期短、成本低、效率高，对人体无害等优点。其缺点是对工件表面要求平滑光洁，辨别缺陷能力较差，对于缺陷没有直观性，对操作者要求技术较高，需要具有丰富经验的专业人员进行此项工作。

(3) 超声波探伤焊接缺陷的评定。由于超声波探伤缺陷的检测不直观，且要求操作者水平较高，焊工很难像了解射线探伤那样熟悉超声波探伤的情况，一般只能根据专业探伤人员出具的探伤报告来掌握焊缝质量情况。

4. 磁粉探伤。磁粉探伤是通过对铁磁材料进行磁化所产生的漏磁场，来发现其表面或近表面缺陷的无损检验法，又称为磁力探伤。其原理是铁磁材料通过外加磁场磁化后，若在工件表面或浅层存在缺陷，则产生漏磁现象。当磁粉撒布或涂刷在工件表面时，磁粉将被缺陷处漏磁场吸附，产生磁粉堆积，磁力线在该处弯曲，磁粉堆积处就是缺陷所在部位。如图 7-18 所示。

磁粉探伤分为磁粉法、磁敏探头法和录磁粉，其中常用的为磁粉法。

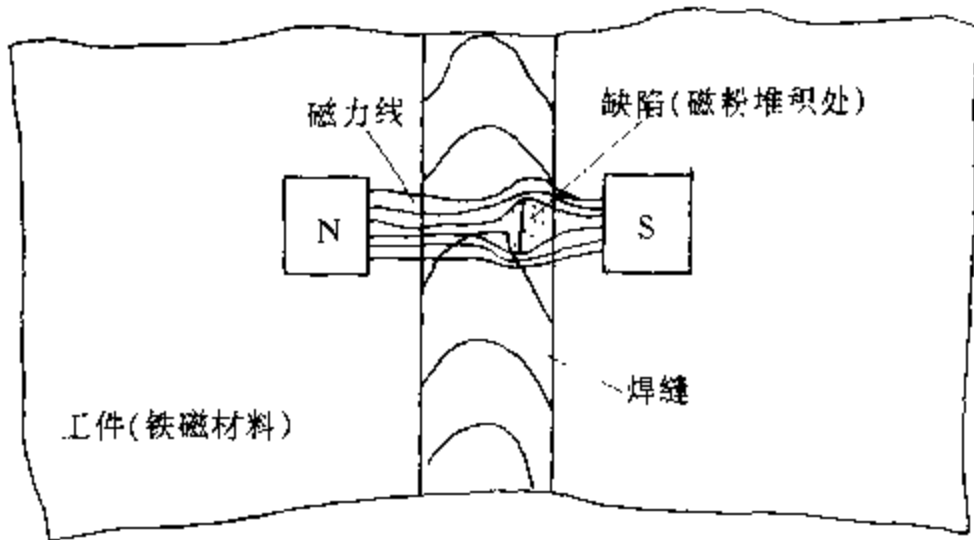


图 7-18 磁粉探伤原理

磁粉法探伤有干法和湿法两种。用干法时，零件充磁后撒上磁粉；湿法是在磁化的焊缝表面刷上磁粉混浊液。探伤时，根据被吸附在缺陷处磁粉的形状、多少、厚薄程度来判断缺陷的大小和位置。磁粉法提供的缺陷分布和数量是直观的，并且可以用光电式照相法将其摄制下来，故得到了广泛的应用。

磁粉探伤只适用于铁磁性材料的工件，主要检查薄壁件或焊缝表面及近表面的缺陷，并且缺陷必须与磁力线方向垂直。磁粉探伤的灵敏度取决于漏磁场的强弱，它是由缺陷的位置、尺寸和材料的磁化强度等因素所决定。

5. 渗透探伤。渗透探伤是利用带有荧光染料（荧光法）或红色染料（着色法）渗透剂的渗透作用，显示缺陷痕迹的无损检验法。渗透探伤包括着色法和荧光法。

渗透探伤是利用毛细现象，将渗透性强的液体渗进材料表面缺陷后，再用显示剂显示出缺陷的部位和形状，其原理

如图 7-19 所示。着色法用着色剂来显示缺陷，而荧光法用荧光液代替着色剂，并需在紫外线照射下才能显示缺陷的荧光图像，如图 7-20 所示。着色法不需专门装置，只要配制适宜的着色剂、显现粉，即可获得检验结果，所以用途较广泛。

渗透探伤可用来检测铁磁性材料或非铁磁性材料的表面裂纹、折叠、分层、疏松等表面缺陷。

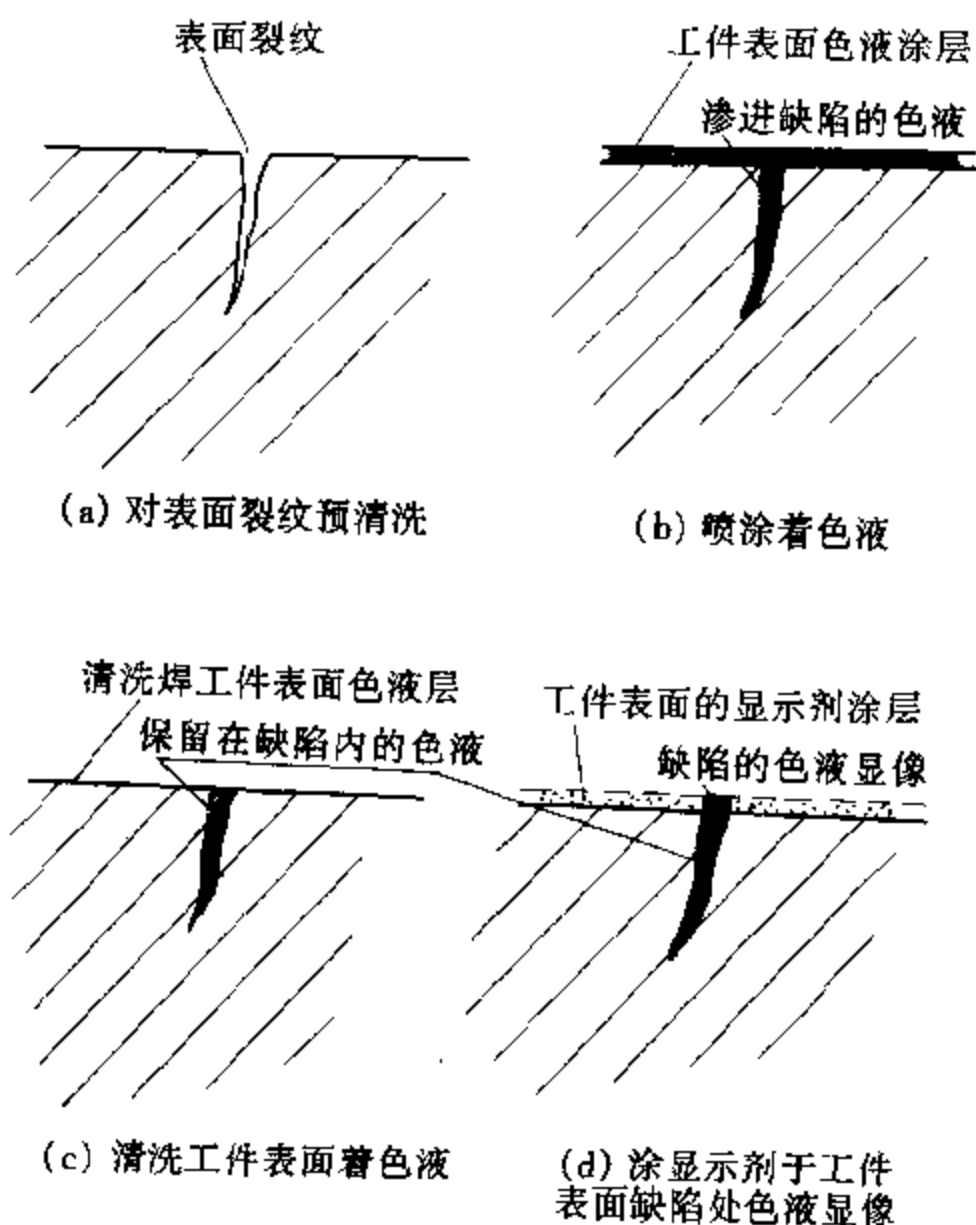


图 7-19 渗透探伤原理

6. 压力试验和致密性试验。压力试验和致密性试验是一种综合性检验，除了验证锅炉、压力容器、管道等是否具备在最高工作压力下安全运行所需的承压能力和各连接部位的严密性外，也可以发现焊接接头是否有穿透性缺陷或极其细微孔隙而导致泄漏。压力试验也叫强度试验。

7. 表面硬度和表面金相检验。这是两种辅助检验手段，通过对表面的硬度和金相检验，可以观察焊接接头，特别是过热区的硬度和组织，从而分析热影响区的淬硬程度、焊接线能量及热处理规范是否合适。这两种检验方法是在役锅炉和压力容器常用的定期检验辅助方法。对于具有腐蚀或应力腐蚀条件的设备，表面金相检验还可以检查和分析腐蚀情况、应力腐蚀和高温蠕变倾向，也是设备事故分析的必要手段。

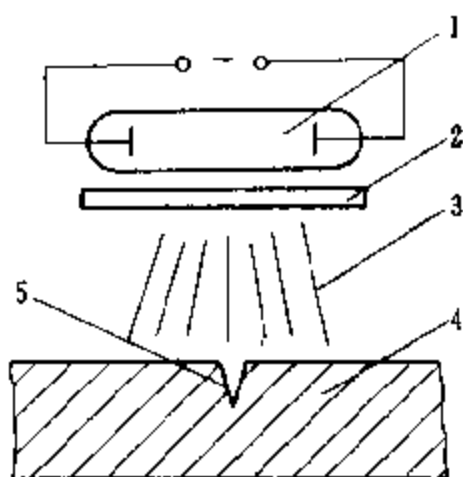


图 7-20 荧光探伤原理

- 1—紫外线光源；2—滤光板；
3—紫外线；4—被检验工件；
5—充满荧光物质的缺陷

五、破坏性检验

1. 机械性能试验。机械性能试验是鉴定产品及焊缝金属质量的重要指标，试验包括：拉力试验、弯曲试验、冲击试验、硬度试验、压扁试验、断裂韧性试验和疲劳试验等。这些试验只能对焊接试板加工成试样来进行。一般是在焊接试验试板、焊接工艺评定试板和产品焊接试板上进行，从试验

结果来测定或验证产品焊接接头是否具有所要求的使用性能。必要时，也可在产品焊缝上取样试验。

(1) 拉力试验：拉力试验是为了测定焊接接头或焊缝金属的抗拉强度、屈服强度、断面收缩率和延伸率等性能指标，这是测定焊接接头及焊缝金属性能的重要指标。根据试验位置可分为接头拉伸试验和焊缝金属拉伸试验。根据试验温度可分为常温拉伸试验和高温拉伸试验。

(2) 弯曲试验：又称冷弯试验，是测定焊接接头的致密性和塑性，以试样任何部位出现第一条裂纹时的弯曲角度作为评定标准，也可以把试样弯曲到规定角度后，以拉伸面出现的裂纹和焊接缺陷的尺寸作为评定标准。

焊接接头的弯曲试验分为纵向弯曲和横向弯曲试验。纵向弯曲试验又分为纵向面弯和纵向背弯；横向弯曲试验又分为面弯、背弯和侧弯。

(3) 冲击试验：冲击试验是为了测定焊缝金属和热影响区的韧性和缺口敏感性，这是焊接接头的一项重要性能指标。冲击试样有 U 形和 V 形，一般常用 V 形试样。

试验时，将试样放在支座上，摆锤从一定高度落下，测定试样的冲击吸收功 A_K ，根据冲击吸收功 A_K 判断焊接接头的冲击韧性和缺口敏感性。根据试验温度，冲击试验可分为常温和低温冲击试验。

(4) 其它试验。

硬度试验是为了测定焊接接头各个部位的硬度，所用仪器为硬度计。硬度指标有洛氏硬度 (HRA、HRB 及 HRC)、维氏硬度 (HV)、布氏硬度 (HB) 等。

压扁试验是测定管子上焊接接头压扁时的塑性。

断裂韧性试验是为了检验焊接接头抵抗缺陷开裂或裂纹

扩展的能力，主要是用于对带有缺陷的结构件进行安全评定时必需的数据。

疲劳试验是用来测定焊接接头在交变载荷作用下的强度。按试样受力的不同分为抗压疲劳、弯曲疲劳和冲击疲劳等。

2. 金相检验。金相检验是为了观察和分析由于焊接热循环过程和冶金反应所造成的金相组织变化和组织缺陷。金相检验又分为宏观检验和微观检验。

宏观金相检验是直接肉眼或借助低倍放大镜（小于30倍）来观察焊接接头的断面组织，包括焊接接头的焊缝、半熔合区和热影响区的界限和尺寸以及焊接缺陷。断口分析也是宏观金相的一种，可以了解焊接缺陷的形态、产生的部位和扩展的情况。

微观金相检验是用100~1500倍显微镜观察焊接接头的显微组织和显微缺陷。

3. 化学分析试验。

(1) 焊缝金属的化学分析：焊缝金属的化学分析是检查焊缝的化学成分，以分析或间接判断焊缝性能。化学分析的试样，应从堆焊层内或焊缝金属内取得。

(2) 腐蚀试验：腐蚀试验的目的是在给定条件下，确定金属的抗腐蚀性能，估计产品的使用寿命；分析产生腐蚀的原因，找出防止或延缓腐蚀的方法。常用的腐蚀试验方法有晶间腐蚀试验、应力腐蚀试验、疲劳腐蚀试验、大气腐蚀试验和高温腐蚀试验等。

六、焊接工艺保证条件检验

焊接工艺保证条件检验是锅炉、压力容器等重要结构保

证焊接质量的重要措施，尤其对于不能使用直接检验方法进行检验的焊接缺陷，往往只能对焊接工艺保证条件的检验来代替直接检验，这种检验和无损检验同等重要，其主要内容包括：

1. 焊工资格评定。也叫焊工考试，其目的是评定焊工是否具有焊出优质焊缝（无缺陷或少缺陷）的能力，即焊接产品所需的技能。

施焊锅炉、压力容器的焊工应按劳动部颁发的《锅炉压力容器焊工考试规则》的规定进行考试。考试分为基本知识考试和操作技能考试。考试合格后，由持有相应资格项目的焊工施焊产品。

2. 焊接工艺评定。焊接工艺评定的过程是：拟定焊接工艺指导书，然后制备试件，检测试件接头的各项性能，提出评定报告。从而验证拟定的焊接工艺的正确性。进行焊接工艺评定的焊工必须是本单位技能熟练的焊工。

3. 焊接材料和施焊环境检验。焊接材料必须符合相应的标准，并按规定进行验收、烘干、发放、使用及回收。

施焊环境的温度、湿度及风、雨、雪等应符合有关规定。

4. 焊接规范参数检验。就是对影响焊接工艺过程及焊缝性能的规范参数进行检验，使其符合焊接工艺规程规定，从而保证焊缝的质量。

5. 产品焊接试板或见证件的检验。对压力容器等产品，由于不能对接头的性能进行直接测定，用产品焊接试板、焊接工艺纪律检查试板或焊接见证件代表产品焊缝进行各项性能检测，从而掌握产品焊接质量情况。一般要求试板、见证件由产品施焊焊工按产品焊接相同的工艺参数进行施焊，并尽量在筒体纵缝延长线上与筒体纵缝同时焊出。

第四节 焊接缺陷的返修

经焊接质量检验，发现有超过标准允许的焊接缺陷均应该返修。应当指出，真正实施严格的焊接质量控制和焊接工艺保证条件的检验，只可能在极个别的条件下才会出现少量焊接缺陷。当焊缝中产生大量的缺陷，说明焊接过程有问题，应加强质量控制，改善工艺措施，减小焊缝返修，提高焊接质量和效率。

一、焊接缺陷的确定

返修前，应尽可能准确地确定缺陷的种类、部位和尺寸，从而保证返修一次成功。对于表面及近表面缺陷，可通过目视、磁粉、渗透等无损检验方法进行确定；对内部缺陷，可通过射线、超声波等无损探伤方法进行确定。

二、返修方案的确定

对于锅炉、压力容器等重要产品，焊接缺陷返修前应制订返修方案，返修方案应经过有关人员审批。返修方案的制订应立足于保证一次返修合格的基础上制订。

三、焊接缺陷的清除

焊接缺陷的清除应根据材料的特点、板厚、缺陷的性质、部位、尺寸等，采用机械磨削或碳弧气刨的方法。

机械磨削可以用电动或风动砂轮打磨、铣削或手工风铲、扁铲凿削等方法清除缺陷，这些方法属于冷加工，清除缺陷过程不会使焊接接头受热而产生组织和性能的变化，但是效

率低，劳动强度大。它适用于屈服点大于 400 MPa 的普低钢、高合金铬镍钢、耐腐蚀钢和复合钢。

碳弧气刨是利用碳极电弧的高温，把焊接缺陷部位的金属局部加热到熔化状态，同时用压缩空气把熔化金属及氧化渣吹掉的方法。它具有效率高、操作灵活方便等优点；但它是一种热加工方法，使焊接接头再次受热，而且操作不慎还可能形成渗碳、夹碳、铜斑、粘渣等缺陷。因此，在碳弧气刨后应用砂轮打磨干净沟槽或用其它方法认真清理沟槽才能防止这些缺陷对补焊质量的影响。这种清除缺陷方法可用于低碳钢、强度不高的低合金钢和无耐蚀要求的不锈钢材料。如果冷裂倾向大的材料用这种方法清除缺陷，应采取预热措施，防止淬硬和产生冷裂纹。

缺陷消除应彻底、干净，这是保证返修成功的关键，缺陷清除是否干净可通过清除过程中观察掌握，也可借助无损探伤方法检查。清除缺陷后待补焊的坡口的形状和大小，应便于补焊操作，过渡要圆滑，尺寸应尽量小，减少补焊工作量。

四、补焊要点

1. 补焊方法一般以手工电弧焊为主，它适用于各种复杂的补焊坡口、各种焊接位置和材料的补焊。对于薄件及补焊工作量很小的补焊，可采用手工钨极氩弧焊。对于补焊焊缝较长、工作量大的可采用原来的自动焊方法。

2. 对于补焊部位数量多、且相邻间距较小的补焊，这时应将各个缺陷挖补坡口连接起来，成为一个长坡口焊缝，这样可使补焊处焊接应力水平降低，减少焊接变形量，且便于补焊操作，容易保证质量。

3. 补焊时的焊接材料、焊接工艺规范（包括焊前预热、后热等）应与正式焊缝焊接时基本相同。采用的焊条直径可比正式焊缝焊接时小一些、预热温度高一些。操作时宜采用多层多道焊，严格控制层间温度，层间接头应错开。

4. 对不需焊后消除应力热处理的结构件补焊，补焊过程可以逐层锤击，以消除部分焊接应力，减少裂纹倾向，尤其是对裂纹倾向较大的材料补焊。对需焊后热处理的构件，焊缝返修应在热处理前进行，如热处理后发现缺陷还需返修，则返修后需重新热处理。

5. 焊缝返修完后，将补焊部位打磨圆滑过渡，以减小应力集中。

6. 补焊后应放置一段时间（一般要求 24 h 以上）以后，按原焊缝要求的探伤方法及合格标准对补焊区进行检验。如果返修部位仍发现有缺陷，说明缺陷清除不彻底或返修操作工艺不当，应认真分析原因，加强质量控制，制订返修方案，重新进行返修。由于多次返修会对焊接接头质量有不良的影响，因此，同一部位的返修次数应尽量少，对锅炉、压力容器等重要结构件，规定同一部位的返修次数一般不得超过两次。

第八章 常用焊接材料

焊接时消耗的各种材料通称为焊接材料，主要包括有焊条、焊丝、焊剂和保护气体等。

第一节 手工电弧焊焊接材料

手工电弧焊用焊接材料是焊条，它是涂有药皮供手工电弧焊用的熔化电极。掌握各种焊条的特点和性能，才能正确选用焊条，从而获得优质焊缝，另外又能提高焊接效率。

一、焊条的组成

焊条由焊芯和药皮两部分组成。

1. 焊芯。焊条中被药皮包覆的金属芯称为焊芯。焊接时，焊芯有两个作用：一是传导焊接电流，产生电弧，把电能转换成热能；二是焊芯本身熔化作为填充金属，与液体母材金属熔合形成焊缝。

手工电弧焊时，焊芯金属约占整个焊缝金属的50%~70%，所以焊芯的化学成分直接影响焊缝的质量。用做焊芯的钢丝是经特殊冶炼的，是焊接专用焊丝的一种，具有规定的牌号和成分。低碳钢和低合金钢焊条一般均采用H08A或H08E焊芯。各种类型高合金钢焊条一般采用与熔敷金属成分相近似的合金焊芯。

通常所说的焊条直径就是指焊芯直径，生产中应用最广

泛的焊条规格是 $\phi 3.2$ 、 $\phi 4$ 和 $\phi 5$ 三种。焊条长度是指焊芯的长度，一般均在200~550 mm之间。

2. 药皮。压涂在焊芯表面的涂料层称为药皮。药皮是由各种粉料和粘结剂按一定比例配制而成的。

(1) 药皮的作用。

1) 机械保护作用：焊接时，焊条药皮熔化产生大量气体，将熔化金属与空气隔绝开来，防止空气中的氧、氮侵入。同时药皮熔化形成的熔渣覆盖着熔滴和熔化金属，不仅隔绝空气，保护焊缝金属，而且还能减缓焊缝的冷却速度，有利于焊缝金属的结晶。

2) 冶金处理作用：通过熔渣与熔化金属冶金作用，除去有害杂质如氧、氢、硫、磷等，并添加有益的合金元素，从而获得需要的机械性能。

3) 改善焊缝工艺性能：药皮中添加专门的粉料，能使电弧稳定燃烧，飞溅小，焊缝成型好，易脱渣和熔敷效率高等。

(2) 药皮的组成。焊条药皮是由各种矿物质、铁合金和金属物、有机物、化工产品（水玻璃等）等原料组成。按其在焊接过程所起的作用可分为八类：

1) 稳弧剂：主要起稳定电弧的作用。一般采用电离电位低的物质，焊接时易电离，增强电弧空间的导电性能。常用的稳弧剂有碳酸钾、碳酸钠、钾硝石、大理石和钛白粉等。

2) 造气剂：主要作用是形成保护气氛，以隔绝空气侵入。常用的碳酸盐类矿物质有大理石、菱镁矿和白云石等，有机物类有木粉、纤维素和淀粉等。

3) 造渣剂：主要作用是能形成具有一定物理化学性能的熔渣，产生良好的机械保护作用和冶金处理作用。常用造渣

剂如钛铁矿和大理石等。

4) 脱氧剂：主要作用是对焊缝金属脱氧。常用的脱氧剂有锰铁、硅铁和铝铁等。

5) 合金剂：主要作用是向焊缝金属掺入有益的合金成分，以补偿被烧损或蒸发的合金元素和添加某些特殊性能要求的合金元素。

6) 稀释剂：主要作用是降低焊接熔渣的粘度，增加熔渣的流动性。常见的有萤石、长石、钛铁矿等。

7) 粘结剂：主要作用是将各种药皮组成粉料牢固地粘结在焊芯上。常用的是水玻璃。

8) 增塑剂：主要作用是改善涂料的塑性和滑性，便于压涂在焊芯上，又称成型剂。常用的有云母、白泥、钛白粉。

组成药皮的各种物质，往往同时起几种作用。例如，大理石既有稳弧作用，又是造气剂和造渣剂。

(3) 药皮的类型。根据药皮材料中主要成分的不同，焊条药皮可分为八种类型。

1) 钛型：药皮中加入 35% 以上的氧化钛和一定数量的硅酸盐、锰铁及少量有机物。这类药皮电弧燃烧稳定，飞溅少，易于脱渣，焊波特别光滑美观，熔深小，适用于全位置焊接。焊接电源交、直流两用。

2) 钛钙型：药皮中含有 30% 以上的氧化钛和小于 20% 钙或镁的碳酸盐。这类药皮电弧燃烧较稳定，熔渣流动性好，熔深一般，脱渣容易，飞溅少，焊波美观，适用于全位置焊接。焊接电源为交、直流两用。

3) 钛铁矿型：药皮中加入 30% 以上钛铁矿的焊条。这种药皮熔渣流动性好，熔深较深，脱渣容易，飞溅一般，焊波整齐，适用于全位置焊接，交、直流两用。

4) 氧化铁型：药皮中含有大量氧化铁及较多锰铁的焊条。这类焊条熔化速度快，生产效率高，电弧燃烧稳定，熔深较大，飞溅稍多，适于中厚板的平焊工作。焊接电源交、直流两用。

5) 纤维素型：药皮中含有 15% 以上有机物和 30% 左右氧化钛的焊条。焊接时，有机物分解出大量气体，电弧穿透力强，熔深深，熔化速度快，熔渣少，脱渣容易，飞溅一般，适于全位置焊接，特别适宜于立焊和仰焊，可交、直流两用。

6) 低氢型：药皮主要由碳酸盐及氟化物等碱性物质组成。这类焊条焊接工艺性能一般，焊波较高，脱渣较难，适用于全位置焊接，具有良好的抗裂性能和机械性能。气孔敏感性较强，焊前清理要求较严，短弧操作，直流反接。

7) 石墨型：药皮中含有大量的石墨。采用低碳钢芯的石墨型药皮焊条，焊接工艺性能较差，飞溅较多，烟雾较大，熔渣极少，适用于水平位置焊接。石墨型药皮焊条引弧容易，药皮强度较差，抗裂性较差，焊条尾部容易发红，宜采用小电流施焊，交、直流两用。通常这类药皮用于配制铸铁焊条和堆焊焊条。

8) 盐基型：药皮主要由氯化物和氟化物组成，用以配制铝及铝合金焊条。这类药皮熔点低，熔化速度快，焊接工艺性差，焊接时要求电弧很短。药皮吸潮性强，焊前必须烘干。焊接电源为直流。

在上述类型药皮的基础上，加入 30% 以上的铁粉，可分别称为铁粉××型，例如铁粉钛型。加入铁粉后，能提高焊条工艺性能和熔敷效率。

对于含有酸性氧化物较多，强碱性氧化物较少的钛型、钛钙型、钛铁矿型、氧化铁型、纤维素型焊条，一般称为酸性

焊条。而低氢型焊条药皮中含有较多碱性物质，称为碱性焊条。

二、焊条的分类

1. 按焊条用途分为九类。

(1) 低碳钢和低合金钢焊条：主要用于低碳钢和低合金钢的焊接。

(2) 钼和铬钼耐热钢焊条：主要用于焊接珠光体耐热钢。

(3) 不锈钢焊条：主要用于焊接不锈钢和热强钢。

(4) 堆焊焊条：用于获得耐磨或耐蚀堆焊层焊接。

(5) 低温钢焊条：用于低温条件下工作的焊件焊接。

(6) 铸铁焊条：用于铸铁焊补。

(7) 镍及镍合金焊条：用于镍及镍合金的焊接、堆焊、铸铁焊补、异种金属焊接。

(8) 铜及铜合金焊条：用于焊接铜及铜合金、铸铁、异种金属等。

(9) 铝及铝合金焊条：用于铝及铝合金的焊接。

2. 按熔渣酸碱度分为两种。

(1) 酸性焊条：其熔渣的成分主要是酸性氧化物 (SiO_2 、 TiO_2 、 Fe_2O_3)。药皮中含有各种氧化物，具有较强的氧化性，合金元素烧损较多；同时电弧气氛中氧电离后形成负离子与氢离子有很大的亲和力，生成氢氧根离子 (OH)，从而防止氢离子熔入液态金属中，所以这类焊条对铁锈不敏感，焊缝很少产生由氢引起的气孔。

酸性焊条脱氧不完全，同时酸性氧化物不能有效脱硫，因此焊缝金属的机械性能较低，一般用于焊接不重要的钢结构。

(2) 碱性焊条：其熔渣的成分主要是碱性氧化物 (CaO)，

并含有较多的铁合金作为脱氧剂和合金剂。焊条脱氧性能好，合金元素烧损少，焊缝金属合金化效果好。由于电弧中含氧量低，去氢效果差，容易产生氢气孔，因此焊前除铁锈、油、水分要求严格。由于药皮中加入一定量的萤石（ CaF_2 ），焊接过程中与氢化合生成氟化氢（ HF ），具有去氢作用。但萤石不利于电弧稳定，焊接时需采取直流反极性。

碱性熔渣脱氧较完全，又能有效消除硫，合金元素烧损少，焊缝含氢量低，所以焊缝金属的机械性能和抗裂性较好，适于重要的碳钢结构和合金钢的焊接。

三、焊条牌号的编制方法

各类焊条按主要性能的不同可分为若干型号，这在国家标准中有详细规定，而每种型号的焊条可以有多种牌号的产品。每种牌号的焊条的具体性能由制造厂在该牌号焊条说明书中提出。

1. 结构钢焊条牌号。牌号由汉字“结”（或“J”）加三位数字组成，“结”表示结构钢焊条，前两位数字表示焊缝金属抗拉强度等级，第三位数字表示药皮类型及焊接电源，见表 8-1 和表 8-2。

表 8-1 结构钢焊条抗拉强度等级（MPa）

焊条 牌 号	熔敷金属 抗拉强度	熔敷金属 屈服点	焊 条 牌 号	熔敷金属 抗拉强度	熔敷金属 屈服点
J 42×	420	300	J 70×	700	500
J 50×	500	350	J 80×	800	--
J 55×	550	400	J 90×	900	-
J 60×	600	450	J 10×	1 000	--

表 8-2 结构钢焊条药皮类型

焊条牌号	药皮类型	焊接电源	相当国标型号
J × × 1	高钛钾型	交流或直流	E × × 13
J × × 2	钛钙型	交流或直流	E × × 03
J × × 3	钛铁矿型	交流或直流	E × × 01
J × × 4	氧化铁型	交流或直流正接	E × × 20
J × × 5	高纤维素钾型	交流或直流反接	E × × 11
J × × 6	低氢钾型	交流或直流反接	E × × 16
J × × 7	低氢钠型	直流反接	E × × 15

2. 钼和铬钼耐热钢焊条牌号。牌号前第一位汉字“热”（或 R）表示钼和铬钼耐热钢焊条。牌号中第一位数字表示焊缝金属主要化学成分等级，见表 8-3。第二位数字表示化学成分同等级中的不同牌号。第三位数字表示药皮类型和电源种类，规定与表 8-2 相同。

表 8-3 铬钼耐热钢焊条主要化学成分

焊条 牌 号	熔敷金属化学组成类型 (%)	
	Cr	Mo
R 1 × ×	-	0.5
R 2 × ×	0.5	0.5
R 3 × ×	1	0.5
R 4 × ×	2.5	1
R 5 × ×	5	0.5
R 6 × ×	7	1
R 7 × ×	9	1
R 8 × ×	11	1

3. 不锈钢焊条牌号。牌号前加“铬”(或G)字,表示铬不锈钢焊条,牌号前加“奥”(或A)字,表示奥氏体不锈钢焊条。牌号中第一位数字,表示焊缝金属主要化学成分组成等级,见表8-4。第二位数字表示化学成分同等级中的不同牌号。第三位数字表示药皮类型和焊接电源种类,规定与表8-2相同。

表 8-4 不锈钢焊条主要化学成分

焊 条 牌 号	熔敷金属化学组成类型 (%)	
	Cr	Ni
G 2××	13	—
G 3××	17	—
A 0××	18 (超低碳)	9
A 1××	18	9
A 2××	18	12
A 3××	25	13
A 4××	25	20
A 5××	16	25
A 6××	15	35
A 7××	铬锰氮不锈钢	
A 8××	18	18
A 9××	待发展	

4. 其它类型焊条牌号。牌号前加“温”（或 W）字表示低温钢焊条；加“堆”（或 D）字表示堆焊焊条；加“镍”（或 Ni）字表示镍及镍合金焊条；加“铜”（或 T）字表示铜及铜合金焊条；加“铝”（或 L）字表示铝及铝合金焊条。

对于特殊性能焊条，分别在牌号末尾加一或二个汉字（或汉语拼音）用作标注，如牌号末尾加“D”表示打底层焊条；加“X”表示向下立焊焊条；加“H”表示超低氢焊条；加“GM”表示盖面专用焊条；加“DF”表示低尘焊条等。

四、焊条型号编号方法

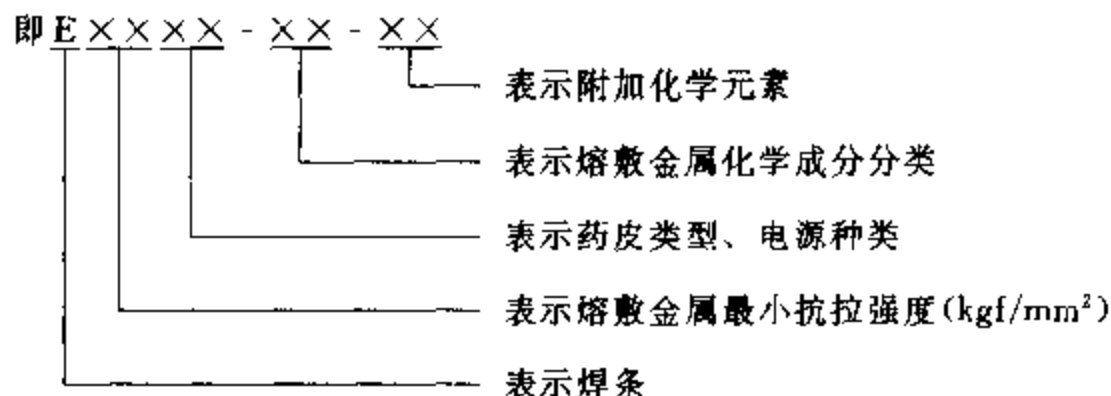
1. 按国家标准规定碳钢焊条型号的编号方法。焊条型号由字母“E”和四位数字组成，字母“E”表示焊条；前两位数字表示熔敷金属抗拉强度最小值，单位为： $\times 10$ MPa；第三位数字表示焊条的焊接位置，“0”和“1”表示焊条适用于全位置焊接（平、立、横、仰焊），“2”表示焊条适用于平焊及平角焊，“4”表示焊条适用于向下立焊；第三位和第四位数字组合时表示焊接电流种类及药皮类型。

常见碳钢焊条的型号列表 8-5。

2. 低合金钢焊条型号编制方法。低合金钢焊条型号 E×××× 的编制方法与碳钢焊条相同，只是在 E×××× 后附有后缀字母，表示熔敷金属的化学成分分类代号，并以短划“-”与前面数字分开。当还附加化学成分时，直接用元素符号表示，并以短划“-”与前面后缀字母分开。

表 8-5 低碳钢焊条分类

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类	对应焊条牌号
E 43 系列——熔敷金属抗拉强度 ≥ 420 MPa				
E 4300	特殊型	平、立 仰、横	交流或直流	J 420 管
E 4301	钛铁矿型			J 423
E 4303	钛钙型			J 422
E 4310	高纤维素钠型		直流反接	J425
E 4311	高纤维素钾型		交流或直流反接	J425
E 4312	高钛钠型		交流或直流正接	
E 4313	高钛钾型		交流或直流	J421
E 4315	低氢钠型		直流反接	J427
E 4316	低氢钾型		交流或直流反接	J426
E 4320	氧化铁型		横角焊	交流或直流正接
E 4322		平	交流或直流	J424
E 4323	铁粉钛钙型	平、横 角焊	交流或直流	J422 铁
E 4324	铁粉钛型			
E 4327	铁粉氧化铁型		交流或直流正接	
E 4328	铁粉低氢型		交流或直流反接	
E 50 系列 熔敷金属抗拉强度 ≥ 490 MPa				
E 5001	钛铁矿型	平、立 仰、横	交流或直流	J 503
E 5003	钛钙型			J 502
E 5011	高纤维素钾型		交流或直流反接	J 505
E 5014	铁粉钛型		交流或直流	
E 5015	低氢钠型		直流反接	J 507
E 5016	低氢钾型		交流或直流反接	J 506
E 5018	铁粉低氢型			J506 铁



其中化学成分分类代号中，A 表示碳-钼钢焊条；B 表示铬-钼钢焊条；C 表示镍-钢焊条；NM 表示镍-钼钢焊条；D 表示锰-钼钢焊条；G、M 或 W 表示其它低合金钢焊条。

常见低合金钢焊条型号列表 8-6。

表 8-6 常见低合金钢焊条型号

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类	对应焊条牌号
E 50 系列——熔敷金属抗拉强度 ≥ 50 kgf/mm ² (490 MPa)				
E 5015-×	低氢钠型	平、立 仰、横	直流反接	J 507
E 5016-×	低氢钾型		交流或直流反接	J 506
E 5018-×	铁粉低氢型			J 506Fe
E 55 系列				
E 5503-×	钛钙型	平、立 仰、横	交流或直流	J 552
E 5515-×	低氢钠型		直流反接	J 557
E 5518-×	铁粉低氢型		交流或直流反接	J 556
E 60 系列				
E 6015-×	低氢钠型	平、立 仰、横	直流反接	J 607
E 6016-×	低氢钾型		交流或直流反接	J 606
E 6018-×	铁粉低氢型			

续表 8-6

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类	对应焊条牌号
E 70 系列				
E 7013-X	高钎钾型	平、立 仰、横	交流或直流	
E 7015-X	低氢钠型		直流反接	J 707
E 7016-X	低氢钾型		交流或直流反接	J 706
E 75 系列				
E 7515-X	低氢钠型	平、立 仰、横	直流反接	J 757
E 7516-X	低氢钾型		交流或直流反接	
E 7518-X	铁粉低氢型			
E 85 系列				
E 8515-X	低氢钠型	平、立 仰、横	直流反接	J 857
E 8516-X	低氢钾型		交流或直流反接	
E 8518-X	铁粉低氢型			

3. 不锈钢焊条型号编制方法。

(1) 字母“E”表示焊条。

(2) 熔敷金属含碳量用“E”后的一位或两位数字表示，具体意义为：“00”表示含碳量不大于0.04%；“0”表示含碳量不大于0.10%；“1”表示含碳量不大于0.15%；“2”表示含碳量不大于0.20%；“3”表示含碳量不大于0.45%。

(3) 熔敷金属含铬量以近似值的百分比含量表示，并以短划“-”与表示含碳量的数字分开。

(4) 熔敷金属含镍量以近似值的百分比含量表示，并以短划“-”与表示含铬量的数字分开。

(5) 当熔敷金属中含有其它重要合金元素，可在含镍量

百分比含量后缀元素符号,当元素平均含量低于1.5%时,型号中只标明元素符号,而不标注具体含量;当元素平均含量等于或大于1.5%、2.5%、3.5%……时,一般在元素符号后面相应标注2、3、4……等数字。

(6) 焊条药皮类型及焊接电流种类在焊条型号后面附加15或16数字代号表示,15表示药皮为碱性,直流反接;16表示药皮为碱性或其它类型药皮,交流或直流反接。

常见不锈钢焊条列表 8-7。

表 8-7 不锈钢焊条分类

焊条型号	对应牌号	焊条型号	对应牌号
E 0-5 Mo-××		E 0-18-12 Mo2V-× ×	A 232, A 237
E 1-5 MoV-××		E 0-19-13 Mo2Cu2- ××	A 222
E 0-7 Mo-××		E 00-19-13 Mo2Cu2 -××	A 032
E 0-9 Mo-××		E 0-19-13 Mo3-××	A 242
E 1-9 Mo-××		E 00-19-13 Mo3-× ×	
E 1-11 MoVNi-××		E 1-23-13-××	A 307, A 302
E 2-11 MoVNiW-× ×		E 00-23-13-××	A 062
E 1-13-××	G 202, G 207	E 1-23-13 Nb-××	
E 0-13-5 Mo-××		E 1-23-13 Mo2-××	A 312

续表 8-7

焊条型号	对应牌号	焊条型号	对应牌号
E 0-17-××	G 302, G 307	E 00-23-13 Mo ₂ × ×	A 042
E 1-19-9 MoMn ₄ - ××		E 2-26-21-××	A 402, A 407
E 1-19-9 MoW ₂ Nb- ××		E 3-26-21-××	A 432
E 0-19-10-××	A 102, A 107	E 1-26-21 Nb -××	
E 00-19-10-××	A 002	E 1-26-21 Mo ₂ -××	A 412
E 0-19-10- Nb-××	A 132, A 137	E 1-30-9-××	
E 0-19-10 Mo ₂ -××		E 0-16-5 MoCu ₄ Nb- ××	
E 00-19-10 Mo ₂ -××		E 1-16-8 Mo ₂ -××	
E 0-18-12 Mo ₂ -××	A 202, A 207	E 1-16-25 Mo ₆ N- ××	A 507, A 502
E 00-18-12 Mo ₂ - ××	A 022	E 2-16-35-××	
E 0-18-12 Mo ₂ Nb- ××	A 212	E 3-16-35-××	

五、焊条的选用

焊条选用应遵循以下几点：

1. 与母材的机械性能和化学成分相配。

(1) 对于结构钢（低碳钢、中碳钢、普通低合金钢等）的

焊接，可选择相应强度等级的焊条。应注意，并不是焊缝强度比母材高出越多越好，一般是等于或稍高于母材，如果过高，则反而有害。当结构刚性大，受力情况复杂时，应选用比母材强度低一级的焊条，以保证焊缝有良好的塑性和韧性。

(2) 对于耐热钢、耐腐蚀钢的焊接，应选择化学成分与母材相近或相同的焊条，从而保证焊接接头的特殊性能。

(3) 当母材成分中含碳、硫、磷等较高时，应选用抗裂性较好的碱性焊条。

2. 考虑焊件的工作条件及使用性能。

(1) 对于承受动载荷和冲击载荷的焊接结构，以及低温条件下工作的工件，都应采取碱性焊条为宜。

(2) 对于不锈钢等耐腐蚀材料，应选用相应耐腐蚀焊条。对于耐热钢材料，应选用相应的耐热钢焊条。

3. 考虑工件的几何形状、刚度、焊前准备和焊接位置。

(1) 对于形状复杂或刚性较大的焊件，为防止产生较大内应力引起裂纹，应选用抗裂性好的焊条。

(2) 由于某种条件限制，焊接部位难以清理干净，应选用对铁锈、油污和氧化皮敏感性小，抗气孔性能较强的酸性焊条。

(3) 因条件限制焊接部件不能翻转时，应选能在任何空间位置进行焊接的焊条。

4. 考虑工艺条件、生产率和成本。

(1) 在没有直流焊机的情况下，应选用交直流两用的低氢焊条。

(2) 薄板焊件宜采用 E 4313，焊件不易烧穿。

(3) 在满足使用性能和操作性能的前提下，应选用规格大、效率高的焊条。

(4) 在使用性能基本相同时应尽量选择价格较低的焊条。

(5) 为提高生产效率, 提倡选择铁粉型焊条、重力焊条、立向下焊条。

除以上原则外, 为了保障焊工的健康, 在允许的情况下应尽量多采用酸性焊条。在密封容器或通风条件差的场合下应选择低尘型焊条。

常用电焊条的应用范围见表 8-8。

表 8-8 常用电焊条的焊接适应钢种

焊条型号	对应牌号	适用的焊接钢种牌号
E 4303	J 422	Q 235、10、20、25
E 4316	J 426	20R、20HP、20g
E 4315	J 427	20R、20HP、20g
E 5003	J 502	25、16Mn、15MnV
E 5016	J 506	16Mn、16MnR、16MnRC、15MnVR
E 5015	J 507	16Mn、16MnR、16MnRC、15MnVR
E 5016-G	J 506RH	16MnDR、16MnD
E 5015-G	J 507RH	16MnDR、15MnD
E 5515-G	J 557	15MnVRC、20MnMo
E 6016-D ₁	J 606	15MnVNR
E 6015-D ₁	J 607	15MnVNR
E 7015-D ₂	J 707	18MnMoNbR、20MnMoNb、15MnMoV
E 5515-B ₁	R207	12CrMo

续表 8-8

焊条型号	对应牌号	适用的焊接钢种牌号
E 5515-B ₂	R307	15CrMo、15CrMoR
E 5515-B ₂ -V	R317	12Cr1MoV
E 5015-G	J 507MoW	10MoWvNb
E 6015-B ₃	R407	12Cr2Mo1、12Cr2Mo、12Cr2Mo1R
E 1-5MoV-15	R507	1Cr5Mo
E 0-19-10-16	A 102	1Cr18Ni9Ti、0Cr19Ni9
E 0-19-10-15	A 107	1Cr18Ni9Ti、0Cr19Ni9
E 0-19-10Nb-16	A 132	1Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni11Ti
E 0-19-10Nb-15	A 137	1Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni11Ti
E 00-19-10-16	A 002	00Cr18Ni10、00Cr19Ni11
E 0-18-12Mo2-16	A 202	0Cr17Ni12Mo2、0Cr13
E 0-18-12Mo2-15	A 207	0Cr17Ni12Mo2、0Cr13
E 00-18-12Mo2-16	A 022	0Cr18Ni12Mo2Ti、0Cr18Ni12Mo3Ti
E 0-18-12Mo2Nb-16	A 212	0Cr18Ni12Mo2Ti、0Cr18Ni12Mo3Ti
E 0-19 13Mo3-16	A 242	0Cr19Ni13Mo3
E 1-13-16	G202	0Cr13
E 1-13-15	G207	0Cr13
E 0-17-16	G302	1Cr13
E 0-17-15	G307	1Cr13

六、焊条的保管、使用与鉴定

焊条的保管、使用与鉴定是焊接工作中的一个重要内容，它直接影响焊接质量的好坏。每个焊工都应知道焊条贮存、保管的规则，防止焊条保管和使用不当，而引起重大的焊接质量事故。

1. 焊条保管要求。

(1) 各类焊条必须分类、分牌号存放，避免不同牌号的焊条混放在一起。

(2) 焊条必须存放于通风良好、干燥的仓库内，距地垫高和距墙 300 mm 以上，达到空气流通，以防受潮变质。

(3) 重要焊接工程使用的焊条，特别是低氢型焊条，最好贮存在专用仓库内，仓库必须保持 10~35℃ 的温度和小于 60% 的相对湿度。

2. 焊条的使用要求。

(1) 重要焊接结构的焊接中，使用的焊条必须具有产品质量证明书。合格的焊条才能使用。

(2) 焊条的烘干要求。

对于低氢型焊条在使用前必须烘干，烘焙温度 350~400℃，保温 1~2 h。

对于酸性焊条要视其受潮情况，在 70~150℃ 烘焙 1 h。贮存良好的焊条一般使用前可不再烘干。

焊条烘焙时应缓慢加热，保温，缓冷，不可直接将焊条放入高温的烘箱中，也不可突然从高温烘箱中取出，防止药皮开裂。应随烘随用，不宜反复烘焙。烘干后焊条应放入保温箱内，防止反潮。

3. 焊条的鉴定。

(1) 药皮外观质量检查：要求无砂眼、鼓包、偏心、药皮脱落缺陷，表面光滑。

(2) 焊条干燥程度检查：将几根焊条放在两只手掌内相互滚击，如发出清脆的金属声响，即表示为干燥的焊条；如听见低沉沙沙声，即表示为受潮焊条。如果焊接时，焊条药皮表面有水蒸气蒸发出来，或有脱块现象，说明焊条潮湿。

(3) 焊条工艺性能和熔敷金属理化检验：对于无产品质量说明书或对质量有怀疑以及用于重要产品的焊条，使用前应焊接试件用来检验焊条的工艺性能和熔敷金属机械性能等。

第二节 手工钨极氩弧焊焊接材料

一、氩 气

Ar 是无色、无味的情性气体，在焊接时作为保护气体使用。由于制氩时不可避免地含有氧、氮、水分等杂质，所以焊接用氩气的纯度要求很高，一般为大于 99.99%。

氩气通常用高压瓶贮存、使用，满瓶时氩气压力为 15 MPa，瓶体涂灰色，并写有“氩”字字样。使用时不能将瓶内氩气用尽，一般留有 0.2~0.3 MPa 的表压，以防空气倒灌进瓶内。

二、焊 丝

焊丝在焊接时作为填充金属并用来导电，还可起合金化作用。

手工钨极氩弧焊所用的焊丝应尽量采用专用焊丝，也可从被焊金属上切条作为填充焊丝。电力建设系统研制的专用

氩弧焊钢焊丝列于表 8-9，表中“TIG”表示非熔化极焊。“J”表示碳素结构钢，两位数字表示焊缝金属强度等级 (kg/mm^2)；“R”表示耐热钢焊丝，其后数字表示主要化学成分等级，“10”表示钼钢，“30”表示铬钼钢，“31”表示钼钒钢，“40”表示 2.5Cr+1Mo 钢。其余焊丝牌号与钢材牌号规则相同。

表 8-9 钢管氩弧焊打底推荐焊丝

焊丝牌号	适用钢种范围	适用钢号
TIG-J 50	低碳钢、 $\sigma_s < 390$ 的低合金钢	10, 20, 16Mn
TIG-R 10	Mo 0.5%	16Mo, 15Mo3
TIG-R 30	Cr 1%-Mo	12CrMo, 15CrMo
TIG R 31	Cr 1%-0.5Mo-V	12CrMoV, 12Cr1MoV
TIG-R 40	Cr 2.25%-Mo 1%	12Cr2MoWVTiB

铜及铜合金焊丝牌号及应用列于表 8-10，铝及铝合金焊丝牌号及应用列于表 8-11。表中“丝”(H)表示焊丝，其后数字表示主要化学成分分类代号。以上氩弧焊焊丝还适用于气焊、碳弧焊。

表 8-10 铜及铜合金焊丝

牌号	名称	主要化学成分 (%)	主要用途
丝 201	特制紫铜焊丝	Sn~1.1 Si~0.4 余为 Cu	用于紫铜氩弧焊及氧乙炔气焊时作为填充材料

续表 8-10

牌号	名称	主要化学成分 (%)	主要用途
丝 202	低磷铜焊丝	P~0.3 余为 Cu	用于紫铜氧乙炔气焊及 碳弧焊时作为填充材料
丝 220	锡黄铜焊丝	Cu~59 Sn~1 余为 Sn	用于黄铜的氧乙炔气焊、 氩弧焊时作为填充材料
丝 221	锡黄铜焊丝	Cu~60 Sn~1 余为 Zn	用于黄铜的氧乙炔气 焊、碳弧焊时作为填充材 料
丝 222	铁黄铜焊丝	Cu~58 Sn~0.9 Si~0.1 Fe~0.8	
丝 224	硅青铜焊丝	Cu~62 Si~0.5 余为 Zn	

表 8-11 铝及铝合金焊丝

牌号	名称	主要化学成分 (%)	主要用途
丝 301	纯铝焊丝	Al~99.5	焊接纯铝或要求不高的铝合金
丝 311	硅铝合金 焊丝	Si~4.5~6 余 Al	通用焊丝
丝 321	铝锰合金 焊丝	Mn~1.3 余 Al	焊接铝锰及其它铝合金
丝 331	铝镁合金 焊丝	Mg~5.0 Mn~0.4 余 Al	焊接铝镁及其它铝合金

第三节 二氧化碳气体保护焊焊接材料

一、二氧化碳气体

CO₂ 是无色无味气体，焊接时能有效保护焊接电弧区。

焊接用 CO₂ 气体由气瓶贮存供使用，气瓶为黑色，并标注“二氧化碳”字样。焊接用 CO₂ 气体纯度要大于 99%，其中所含的水分、空气等杂质越少越好。使用时，如发现 CO₂ 气瓶内水分较多，可将气瓶倒置 1~2 h，然后打开阀门放掉下沉水分。由于 CO₂ 气瓶内为压缩液态 CO₂，当施工环境温度较低时，可在供气管路上加装加热器。使用时不能将 CO₂ 气体用尽，应余留 1~2 kg/cm² 表压，防止空气倒灌进瓶内。

二、焊 丝

为了保证焊缝金属具有足够的机械性能，防止产生气孔，CO₂ 焊用焊丝必须比母材含有更多的 Si、Mn 脱氧元素，同时还应限制焊丝中的含碳量。目前用于低碳钢和低合金钢的焊丝牌号及用途见表 8-12。

表 8-12 CO₂ 焊常用焊丝牌号及用途

焊丝牌号	用 途
H08MnSi H08MnSiA	焊接低碳钢及 $\sigma_s \leq 300$ MPa 的低合金钢
H08Mn2SiA H04Mn2SiTiA	焊接低碳钢和某些低合金高强度钢
H10MnSiMo	焊接某些低合金高强度钢

CO₂ 半自动焊常用焊丝直径有 $\phi 0.8$ 、 $\phi 1.0$ 、 $\phi 1.2$ 、 $\phi 1.6$ mm 等几种，CO₂ 自动焊大多采用 $\phi 2.0$ 、 $\phi 3.0$ 、 $\phi 4.0$ 等几种。一般焊丝表面镀铜可防止生锈。

第四节 埋弧自动焊焊接材料

一、焊 丝

焊丝在埋弧焊中作为填充金属并作为电极起导电作用。埋弧焊的焊丝与手工电弧焊焊条的钢芯，同属一个国家标准。按焊丝成分和用途，可分为碳素结构钢、合金结构钢和不锈钢三大类，常见焊丝牌号及用途列于表 8-13。

常用焊丝直径为 $\phi 2$ 、 $\phi 3$ 、 $\phi 4$ 、 $\phi 5$ 、 $\phi 6$ mm 等几种。焊丝使用前表面油锈要清除干净。

表 8-13 常用埋弧焊焊丝牌号及用途

焊丝牌号	适用焊接钢种牌号
H08	Q 235、10、20、25
H08Mn	
H08A	20R、20HP、20g
H08MnA	
H08Mn2MoVA	09Mn2V、18MnMoNbR、20MnMoNb、15MnMoV
H10MnSi	16Mn、16MnR、15MnVR、20MnMo
H10Mn2	
H08MnMoA	15MnV、20MnMo、15MnVNR
H13CrMoA	12CrMo、15CrMo

续表 8-13

焊丝牌号	适用焊接钢种牌号
H08CrMoVA	12Cr1MoV
H1Cr5Mo	1Cr5Mo
H0Cr20Ni10Ti	1Cr18Ni9Ti, 0Cr18Ni9Ti
H00Cr21Ni10	00Cr18Ni10
H00Cr19Ni12Mo2	0Cr17Ni12Mo2
H0Cr20Ni14Mo3	

二、焊 剂

埋弧焊用焊剂相当于手工电弧焊的药皮，焊接时熔化形成熔渣，保护电弧区和熔化金属，防止焊缝中产生气孔和裂纹，同时对焊缝金属渗合金，改善和提高焊缝金属机械性能。

1. 焊剂的分类。按制造方法分为熔炼焊剂和烧结焊剂。熔炼焊剂是将各种矿物原料混合后，在电炉中熔炼，然后经过水冷粒化而成。熔炼焊剂呈玻璃状，颗粒强度高，化学成分均匀。目前生产中应用最多。

烧结焊剂是将各种矿物质、粘结剂等，按一定比例制成颗粒状混合物，并加热到 700~900℃ 烧结成块，再粉碎而成。烧结焊剂颗粒强度低，且容易吸潮。

还有一种粘结焊剂，也称陶质焊剂，它是将各种矿物质、粘结剂等混合制成颗粒状，经低温烘干而制成。

按化学成分分类，以焊剂中 SiO_2 、 MnO 、 CaF_2 的含量高低，分成不同的焊剂类型。可参看表 8-14 和表 8-15。

2. 焊剂牌号。牌号前加“焊剂”(或 HJ) 表示熔炼焊剂。

牌号中第一位数字表示氧化锰的平均含量，见表 8-14。牌号第二位数字表示二氧化硅、氟化钙的平均含量，见表 8-15。牌号第三位数字表示同一类型焊剂的不同牌号。

烧结焊剂以“SJ”及其后的数字表示，数字代表渣系类别及牌号编号。常用的有 SJ 101、SJ 301 等。

表 8-14 焊剂牌号与氧化锰含量

牌 号	焊剂类型	MnO 平均含量 (%)
HJ1××	无锰型	<2
HJ2××	低锰型	2~15
HJ3××	中锰型	15~30
HJ4××	高锰型	>30
HJ5××	陶质型	—
HJ6××	烧结型	—

表 8-15 焊剂牌号与二氧化硅、氟化钙含量 (%)

牌 号	焊剂类型	SiO ₂ 平均含量	CaF ₂ 平均含量
HJ×1×	低硅、低氟	<10	<10
HJ×2×	中硅、低氟	10~30	<10
HJ×3×	高硅、低氟	>30	<10
HJ×4×	低硅、中氟	<10	10~30
HJ×5×	中硅、中氟	10~30	10~30
HJ×6×	高硅、中氟	>30	10~30
HJ×7×	低硅、高氟	<10	>30
HJ×8×	中硅、高氟	10~30	>30

3. 焊剂与焊丝的选配。焊接时，选用焊剂要配以合适的焊丝，才能保证焊缝金属得到所需要的化学成分和力学性能。

焊接低碳钢和普通低合金钢时，通常选用熔炼型焊剂，焊剂与焊丝配合方式有两种：一种是高锰高硅焊剂（如焊剂 430、焊剂 431），配合低锰焊丝（H08A）或含锰焊丝（H08MnA），这种熔渣氧化性强，抗气孔能力好，焊缝抗裂性能好；另一种是无锰高硅或低锰高硅焊剂（焊剂 130、焊剂 230）配合高锰焊丝（H10Mn2），这种熔渣氧化性弱，脱渣性好，而焊缝的抗氢气孔和抗裂性能较差。

第九章 常用金属材料的焊接

金属材料在焊接过程要经过一系列复杂的物理、化学过程，在接头区内可能产生缺陷，使接头失去连续性，或者降低了接头区金属固有的基本性能，影响焊接结构的使用寿命，严重者可导致焊接事故发生。因此研究和确定金属的焊接性，对于分析和解决可能产生的问题，研究和选择焊接材料，合理选定焊接工艺等有十分重要的意义。

第一节 钢的焊接性

一、焊接性的概念

金属的焊接性指金属材料焊接的难易程度。主要指在一定的焊接工艺条件下，获得优质焊接接头的难易程度。焊接性越差，则工艺措施越复杂。

焊接性包括两个方面的内容：

1. 接合性能。接头在焊接过程形成焊接缺陷的敏感性。
2. 使用性能。接头在一定使用条件下可靠运行的能力。

金属焊接性是一系列性能的综合表现。对于不同材料，不同工作条件下的焊件，焊接性的主要内容不同。例如，普通低合金结构钢、耐热钢、高合金耐热钢等，对于淬硬和冷裂纹比较敏感，因此在焊接这些材料时，如何解决淬硬和冷裂的问题是焊接性的主要内容；又如焊接奥氏体不锈钢时，晶间腐蚀和热裂纹是主要问题，也是其可焊性的主要问题。对

于同一种金属，当采用不同焊接方法、焊接材料及不同的工作条件下，其焊接性差别可能很大。焊接性是一个相对概念。

二、影响焊接性的因素

金属材料的焊接性好坏主要取决于材料的化学成分。同时还与采用的焊接材料、焊接方法、焊接工艺条件以及结构的复杂程度、刚性、使用条件等有密切关系。

1. 材料因素。包括材料本身和使用的焊接材料。两者直接影响焊接质量。当焊材选用不当时，会引起焊缝化学成分不合格，机械性能和使用性能降低，严重时会导致接头报废无法使用。

2. 工艺因素。同一种焊件，采用不同的焊接方法和工艺措施时，其焊接性是不同的。例如，不同的材料对焊接方法的选择是有条件的，钛合金就不能采用气焊和手工电弧焊，而用氩弧焊则焊接质量能够保证。

不同的焊接方法，其焊接热源的密度、加热温度的高低、热输入量大小等都不同，选择焊接方法时要充分考虑。否则，焊接性好的材料因焊接方法选用不当，造成焊接性变差。

工艺措施包括焊前预热、焊后缓冷、去氢处理、消应力处理等，它们对防止焊接缺陷，降低焊接应力，改善使用性能等是十分重要的措施。

3. 结构因素。合理的焊接接头设计结构会改善接头的焊接性。应使接头处于刚性较小的状态，焊接时能自由伸缩，能防止焊接裂纹产生。截面突变、焊缝余高过大、十字焊缝等都易引起应力集中，降低接头使用寿命。

4. 使用条件。焊接结构的使用条件有高温、低温、腐蚀介质等条件，以及静载、动载条件。使用条件越苛刻，焊接

(2) 确定合适的焊接工艺参数。

(3) 用于研制新材料。

直接焊接性试验包括抗裂性试验和焊接接头使用性能试验两方面。

直接抗裂性试验方法有 GB 4675.1—84《斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法》、GB 4675.3—84《T 形接头裂纹试验方法》以及十字接头裂纹试验方法、可变刚性裂纹试验方法、十字搭接裂纹试验方法、Z 向拉伸法等。以上是不需专用装置的裂纹试验方法，适宜生产制造单位测定焊接性。对于定量精确的方法，如刚性拘束裂纹试验 (RRC)、拉伸拘束试验 (TRC)、插销试验等，需要专用装置，适宜于研究单位测定用。

使用性能试验是用来对焊接接头的性能进行测试，从而保证使用性能安全可靠。常用的使用性能试验有冲击韧性试验、弯曲试验等。

第二节 碳素钢的焊接

碳素钢是以铁为基础，以碳为主要合金元素的铁碳合金。碳素钢是工业中应用很广的金属材料。

根据碳素钢中含碳量的高低，可以分为以下三类：

1. 低碳钢：含碳量 0.02%~0.25%。
2. 中碳钢：含碳量 0.25%~0.60%。
3. 高碳钢：含碳量 0.60%~2.0%。

根据钢中有害杂质硫、磷的含量，可分为普通碳素钢、优质碳素钢和高级优质碳素钢。

1. 普通碳素钢：含 $P \leq 0.045\%$ ， $S \leq 0.05\%$ 。

2. 优质碳素钢：含 P、S 均 $\leq 0.035\%$ 。
3. 高级优质碳素钢：含 P $\leq 0.035\%$ ，S $\leq 0.03\%$ 。

一、低碳钢的焊接

1. 低碳钢的种类牌号、性能及用途。普通碳素钢的牌号由代表屈服点的字母、数值、质量等级符号、脱氧方法符号等四个部分按顺序组成。主要钢种有：Q195，Q215A、B，Q235A、B、C、D，Q255A、B，Q275。其中 Q 表示钢的屈服点，为“屈”字汉语拼音第一个字母；数字“235”表示钢的屈服点 σ_s 值的大小，单位为 MPa；A、B、C、D 分别为质量的四个等级，其中 A 级质量最差，D 级质量最好；表示脱氧方法的符号 F 表示沸腾钢，b 表示半镇静钢，Z 表示镇静钢，TZ 表示特殊镇静钢。

优质碳素钢的钢号用两位数字表示。这两位数字表示该钢含碳量的万分率，如 20 钢，表示钢中平均含碳量为 0.20%，常见的钢号有：15、20、25、30、35、40、45 等，含碳量小于 0.25% 的优质碳素钢即为优质低碳钢，含碳量在 0.25%~0.6% 之间的优质碳素钢即为优质中碳钢。高级优质碳素钢在钢号后附加“高”或“A”字。含锰量较高的优质碳素钢，应将锰元素标出，如 15Mn、60Mn 等。

在一般碳素结构钢的基础上为满足某些专业用途的特殊需要，发展了一些专业用钢，如锅炉钢、容器钢、焊接气瓶用钢、桥梁用钢、船用钢、铁道用钢等。锅炉钢在钢号后加“g”字，容器用钢加“R”字，焊接气瓶用钢加“HP”字母等。

普通低碳钢主要用来制造焊接结构件和一般不重要的机器零件，如用其轧制型钢、钢筋、钢板、钢管，制作钉子、铆

钉、螺杆、连杆和销子等。

优质低碳钢主要用于制造重要的机器零件和焊接结构，如锅炉、压力容器用板材和管材，承受较大载荷的锻件、机加工件。

2. 低碳钢的焊接特点。

(1) 由于含碳及其它合金元素少，低碳钢塑性好，淬硬倾向小，是焊接性最好的金属。

(2) 一般情况下，在焊接过程中不需要采取预热和焊后热处理的工艺措施。只有当工件厚度较大或气温过低时，才适当预热 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 所有焊接方法都适宜，而且适应各种位置的施焊，对焊接工艺和操作技术的要求比较简单。

(4) 焊缝产生冷裂缝、气孔的倾向较小，只有当母材或焊接材料含磷、硫杂质较多时，才有可能产生热裂纹。电弧保护不良时，焊缝金属可能受到氧化或氮化。

(5) 不需要选用特殊和复杂的设备，对焊接电源没有特殊要求，一般交、直流弧焊机都可焊接。

3. 低碳钢常用的焊接方法和焊接材料。

所有的焊接方法都适用于低碳钢焊接，并都能保证焊接接头的良好质量。常见最多的是手工电弧焊、埋弧自动焊、 CO_2 气体保护焊、电渣焊等。

手工电弧焊时，焊条的选择是根据低碳钢的强度等级选用相应强度等级的结构钢焊条，并考虑结构的工作条件选用酸性或碱性焊条。当焊接重要的或裂纹敏感性较大的结构时，常常采用低氢性碱性焊条，焊缝金属的抗裂性和低温冲击韧性较好。常用低碳钢焊接的焊条选择可参考表 9-1。

表 9-1 常用低碳钢焊接的焊条选择

钢 号	选用的焊条型号		施焊条件
	一般结构(包括厚度不大的中、低压力容器)	焊接动载荷,复杂和厚板结构,重要受压容器及低温下焊接	
Q235	E4315 E4303 E4301 E4320 E4310	E4316 E4315 (或 E5016 E5015)	一般不预热
10、15、15g、 20、20g	E4303 E4301 E4320 E4310	E4316 E4315 (或 E5016 E5015)	一般不预热
20g、25、30	E4316 E4315	E5016 E5015	厚板结构 预热 150℃

采用埋弧焊焊接 Q235、15、20、20 g 钢时,对于一般结构,可采用 H08A 焊丝和焊剂 431 或焊剂 430;对于重要的结构,应采用 H08MnA 焊丝和焊剂 431。焊接时,要认真清理坡口及其周围的油、锈等杂质,焊剂要烘干,否则,很容易产生气孔。

CO₂ 气体保护焊焊丝可选用 H08Mn₂Si 或 H08Mn₂SiA。

电渣焊焊丝为 H10Mn₂ 或 H10Mn₂MoA,焊剂为焊剂 360 或焊剂 431。

除电渣焊外,低碳钢焊后一般不需要进行热处理。只有当工件较厚、刚性很大或对接头要求高时,则要做焊后热处理,目的是消除焊接应力和改善接头组织性能。

二、中碳钢的焊接

由于中碳钢的含碳量比低碳钢高，焊接性较差，常见的有 35 钢、45 钢和 55 钢等。

1. 中碳钢的焊接性。由于含碳量较高，淬硬倾向增大，焊接性变差。可焊性远不如低碳钢。焊接时主要问题是：

(1) 容易在焊缝中产生气孔和热裂纹：由于含碳量较高，凝固温度区间增加，偏析现象随之增大，产生热裂纹倾向也增大。同时由于焊缝金属含碳量较大，产生 CO 气孔的可能性大。

(2) 容易在热影响区产生冷裂纹：中碳钢焊接时，在热影响区产生塑性很低的淬硬组织，含碳量越高，淬硬倾向越大。当板材较厚，刚性较大时，在热影响区易产生冷裂纹。当焊缝金属含碳量较高时，也可能产生冷裂纹。

2. 中碳钢的焊接工艺。为了保证焊后不产生裂纹，获得合格的焊接接头，焊接中碳钢时应采取以下措施：

(1) 尽量选用碱性焊条：由于碱性焊条抗冷裂和抗热裂性能较好，焊接时焊缝抗裂性能提高。当焊缝不要求与母材同强度时，可用强度较低的低氢型碱性焊条，可提高焊缝的塑性和韧性，减小焊缝的淬硬倾向。中碳钢焊接时焊条选用见表 9-2。

特殊情况下，可采用铬镍不锈钢焊条焊接或焊补中碳钢。此时焊前可以不预热，也不会产生近缝区裂纹。这类焊条有奥 307、奥 407 等。采用这类焊条焊接中碳钢时电流要小，焊接层数要多，熔深要浅。

根据中碳钢的焊接、焊补经验，采用先在坡口表面堆焊一层过渡层焊缝然后再焊接效果较好。堆焊过渡层焊条采用

含碳量低、强度低、塑性好的焊条，如纯铁焊条。

表 9-2 中碳钢焊接的焊条选用

钢 号	焊接性	选用的焊条型号	
		不要求等强度	要求等强度
35、ZG35	较 好	E4303 E4301 E4315 E4316	E5015 E5016
45、ZG45	较 差	E4303 E4315 E5015 E5016	E5515 E5516
55、ZG55	较 差		E6016-D ₁ B6015-D ₁

(2) 预热措施：预热是中碳钢焊接的一项重要工艺措施，预热能减缓焊接接头的冷却速度，减少淬硬倾向和焊接应力，有利于焊接过程中氢的逸出，防止冷裂纹产生。

预热温度一般根据含碳量、刚性来选择。一般情况，35号钢和45号钢（包括铸钢）预热温度为150~250℃。含碳量更高或厚度、刚性较大时，预热温度相应提高到250~400℃。

(3) 焊接操作工艺要点：坡口宜开U形，以减少母材金属熔入量，使焊缝含碳量降低；焊接第一层焊缝时，尽量采用小电流焊接，采用多层多道焊，以减少母材金属熔入量；对于刚性大的结构，焊接顺序和方向应使接头尽可能具有最大的自由收缩，降低焊接应力；采用锤击焊缝的方法，以减小焊接应力，细化晶粒；操作时，保持慢速焊，保证焊透，避免夹渣、未熔合等缺陷；焊后尽可能缓冷，放在石灰中，或

炉内缓冷，避免产生淬硬组织；焊后热处理，对含碳量高，厚度大、刚性大的焊件，焊后作 600~650℃ 的消应力回火处理。

3. 高碳钢的焊补。高碳钢由于含碳量更高，焊接性很差，一般情况仅用于焊补或堆焊。

焊件强度要求高时选用 E7015 (结 707) 或者 E6015 (结 607) 等低氢焊条，强度要求低时用 E5016 (结 506)、E5017 (结 507) 等，也可选用铬镍不锈钢焊条焊接。焊前应将焊条在 350~400℃ 下烘焙 1 h。

焊接工艺与中碳钢相似。为了防止产生裂缝，采用预热是重要的措施，预热温度比中碳钢高，一般在 300℃ 以上，焊接过程始终保持这个温度，焊后应缓冷，放在石灰中或用保温棉包严实，避免冷却速度过快，产生淬硬组织。对于刚性较大的焊件，为防止延迟裂纹的产生，焊后应立即进行 650℃ 高温回火处理。

焊接时应注意以下事项：1) 采用小电流和慢焊速，以减少母材的熔深和减小冷却速度；2) 锤击焊缝，以减小焊接应力，改善组织；3) 坡口一般开 U 形，先用小直径焊条在坡口上直线运条堆焊，然后再进行焊接。

第三节 普通低合金结构钢的焊接

在碳素钢的基础上加入一定量的合金元素就是合金钢。加入合金元素后，可以提高钢的机械性能，具有强度高、塑性和韧性良好的特点，同时也可获得一些特殊的使用性能，如高温、低温、耐蚀等。加入合金元素总量不超过 5%，称为低合金钢；高于 10%，称为高合金钢。高合金钢主要为了获得特殊的物理化学性能，如耐腐蚀、耐高温或低温等。低合金

钢主要是为获得高的强度。按使用用途，合金钢可分为合金结构钢和合金工具钢。应用较广泛是普通低合金结构钢（也称普通低合金钢），这种钢中加入合金元素总量在3%之下。本节重点介绍这种钢的焊接问题。

一、普通低合金钢的牌号、性能和用途

合金结构钢的牌号由含碳量的万分率和元素的化学符号组成，元素化学符号后面的数值表示该合金元素平均含量的百分率。如合金元素含量上限不超过1.5%时，牌号中只写元素符号，不标明含量。如果平均含量超过1.5%，在该元素后面标出近似百分率。如含量为1.8%，则用“2”表示。如09Mn2，表示平均含碳量0.09%，含Mn约2%的合金结构钢。

普通低合金钢是在低碳钢的基础上加入一定量的合金元素，利用普通的炼钢设备和冶炼方法炼成的钢种，它的主要特点是强度高、塑性和韧性良好，焊接和其它加工性能较好，广泛用于压力容器、车辆、发电设备、船舶、起重机械、桥梁，以及航空、航天等金属结构中。

常见普通低合金钢的牌号见表9-3。

二、普通低合金钢的焊接性

普通低合金钢由于加入了合金元素，增加了材料的淬硬倾向，随着强度等级的提高，其淬硬倾向相应增大，强度等级较低的如300~400 MPa级普低钢的焊接性能接近于普通低碳钢，而对强度级大于500 MPa以上的普低钢，可焊性差，焊接时必须采用一定的工艺措施。

普低钢焊接时易发生的主要问题：

1. 热影响区具有较大的淬硬倾向。强度较低，含碳量较小的普低钢淬硬倾向不太明显，随着强度等级的提高，其淬硬倾向相应变大。焊后焊件冷却速度越大，其淬硬倾向越大，而冷却速度决定于焊件的厚度、尺寸、焊接方法、接头型式、焊接工艺参数、预热温度等。因此选择合理的焊接工艺方法，避免热影响区产生淬硬组织，从而防止冷裂纹的产生。

表 9-3 普通低合金钢的分类

强度钢分类	热处理状态	牌 号
300 MPa	热轧	09Mn2、09Mn2Cu、09Mn2Si、09MnV 12Mn、09MnNb、18Nbb
350 MPa	热轧	12MnV、14MnNb、14MnNbb、16Mn 16MnCu、16MnRe
400 MPa	热轧	15MnV、15MnVRe、15MnVCu、16MnNb、 15MnTi
	正火	15MnTi、15MnTiCu、14MnMoNb
450 MPa	正火	15MnVN、15MnVNCu、14MnVTiRe
500 MPa	正火+回火	18MnMoNb、14MnMoV、14MnMoVCu
550 MPa	正火	14MnMoVB

2. 焊接接头的冷裂纹。焊接普低钢时，常在焊缝金属和热影响区产生冷裂纹。尤其在高强厚板结构中，最易产生冷裂纹。冷裂纹是在焊后 A_3 以下温度冷却过程产生的，往往在焊后放置一段时间（几小时或几天）才发生。焊接接头的淬

硬组织、含氢量和拘束应力是产生冷裂纹的必要条件。因此防止措施是针对产生的原因来采取的。

3. 焊接接头再热裂纹。再热裂纹是在含有较多碳化物形成元素（如 Cr、Mo、V），并可产生沉淀强化的低合金高强度钢焊接接头中，往往会在焊后消应力处理过程中产生，它的发生部位多在熔合线区，一般认为是在热处理中发生的变形超过了热影响区金属的塑性变形能力而引起的。为防止再热裂纹，可选择强度等级较低的焊条，使焊后热处理中塑性变形集中于焊缝金属，可以缓冲应力避免热影响区开裂。或者采取预热措施、控制焊接热输入量防止粗晶脆化等。

4. 热裂纹和液化裂纹。钢的热裂纹与杂质元素 S 有关，而 C、Si、Ni 元素都能促进 S 的有害作用。C、Si 可降低 S 在固溶体中溶解度，促使 S 偏析。Ni 促使 S 形成熔点更低的硫化物。正常情况下，普低钢含碳量较低，含 Mn 量较高，焊缝中不会产生热裂纹，只有原材料化学成分不符合规定杂质元素 S、P 含量偏高时才可能产生。

液化裂纹是在热影响区靠近熔合线的过热奥氏体晶界形成的一种晶间微裂纹，它与母材含硫量有关。此外工艺因素也影响液化裂纹的形成。线能量越大，晶粒越粗大，晶界熔化越严重，液化裂纹产生倾向也越大。因此焊接时应避免高线能量的焊接。

此外，高强钢 T 形接头或角接头中，还会沿钢材轧制方向产生层状撕裂。

因此低合金高强钢焊接时，应根据母材化学成分、板厚、接头形式等，合理选择线能量，选用低氢焊接材料，确定预热温度。对厚度较大焊件还必须采取后热或焊后热处理措施等，以降低热影响硬度，提高塑性和韧性，消除氢和应力的

影响。

三、焊接材料的选择

焊接材料的选择,应根据焊件的化学成分、机械性能、接头刚性、坡口形式以及使用要求来决定。普低钢的焊接材料可按等强或低强原则来选择,只要求机械性能一致,不要求化学成分完全一致。

一般来说,对于强度等级为 300 MPa 级的强度钢,可选强度相同的酸性焊条;对于强度等级为 350~400 MPa 级的钢,应根据技术要求和刚性等条件,选用酸性或碱性焊条;强度等级更高的钢,应选用碱性焊条。对刚性大、板较厚的结构件应尽量选用碱性焊条,因为碱性焊条具有良好的抗热裂、冷裂的性能。

焊接普低钢用焊条、焊丝和焊剂的选择见表 9-4。

四、几种常用普低钢的焊接工艺要点

1. 16Mn 钢的焊接。16Mn 钢属于 350 MPa 级的普低钢,在钢构件和容器等制造中应用最广泛。具有良好的焊接性,在大厚度、大刚性结构上进行小工艺参数、小焊道焊接时有可能出现裂纹,在低温条件下进行焊接也容易产生裂纹。因此采用预热和大的焊接规范,增加线能量,减缓热影响区的冷却速度,从而减小热影响区的淬硬倾向。

16Mn 钢预热条件及温度见表 9-5。

(1) 16Mn 钢手工电弧焊:焊条选用强度等级为 E50 的焊条,如 E5016、E5015、E5003、E5501 等,对于强度要求不太高的焊条,可选用 E4316、E4315 焊条。

表 9-4. 焊接普低钢时焊条、焊丝及焊剂的选用

类别	钢材牌号	手工电弧焊 焊条型号	埋弧自动焊		施工条件
			焊丝牌号	焊剂牌号	
300 MPa 级	09MnV, 09Mn2 09Mn2(Cu), 12Mn 09Mn2(Si), 18Nb	E4303 E4301 E4316 E4315	H08A H08MnA	焊剂 431	— 一般情况不 预热
		不开坡口 中板开坡口 厚板开坡口	H08A H08MnA H10Mn2 H10MnSi H10Mn2	焊剂 431 焊剂 350	
350 MPa 级	16Mn, 14MnNb 16MnCu, 14MnNb 16MnRe, 12MnV 16MnSiCu	E5003 E5001 E5016 E5015	不开坡口 中板开坡口 厚板开坡口	焊剂 431 焊剂 350	— 一般情况不 预热
		不开坡口 中板开坡口 厚板深坡口	H08MnA H10MnSi H10Mn2 H08Mn2Si H08MnMoA	焊剂 431 焊剂 350 焊剂 250	
400 MPa 级	15MnV, 15MnVCu 15MnVRe, 15MnTi 15MnTiCu, 16MnNb	E5016 E5015 E5501 E5516 E5515	不开坡口 中板开坡口 厚板深坡口	焊剂 431 焊剂 350 焊剂 250	— 一般情况不 预热或预热 100 ~150°C
强 度 钢					

续表 9-4

类别	钢材牌号	手工电弧焊 焊条型号	埋弧自动焊		施工条件
			焊丝牌号	焊剂牌号	
强度 钢	15MnVN 15MnVNCu 15MnVTiRe	E5516 E5515 E6016 D ₁ E6015-D ₁	H08MnMoA	焊剂 431 焊剂 350	预热 150℃ 以 上施焊
	13MnMoNb 14MnMoNb 14MnMoVCu	E7015-D ₂	H08Mn2MoA H08MnMoVA	焊剂 350 焊剂 250	预热 150℃ 以 上施焊
	14MnMoVB	E7015-D ₂	H08Mn2MoVA	焊剂 350 焊剂 250	预热 250℃ 以上 施焊

表 9-5 16 Mn 钢手工电弧焊预热温度

焊件厚度 (mm)	预 热 温 度
<16	$\geq -10^{\circ}\text{C}$ 时不预热, $< -10^{\circ}\text{C}$ 预热 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$
16~24	$\geq -5^{\circ}\text{C}$ 时不预热, $< -5^{\circ}\text{C}$ 预热 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$
25~40	$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 时不预热, $< 0^{\circ}\text{C}$ 预热 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$
>40	预热 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$

(2) 16Mn 钢的埋弧自动焊: 焊剂选高锰、高硅型的焊剂 HJ431、HJ350 等, 配合 H08A、H08MnA、H10Mn2、H10MnSi 等焊丝。当不开坡口时, 可选用 H08A 焊丝, 对于开坡口焊件, 选用合金元素含量较高的焊丝 H08MnA、H10Mn2、H10MnSi, 这样可保证机械性能。

(3) 16Mn 钢的 CO_2 气体保护焊: 采用细丝和粗丝都可以, 焊丝牌号 H08Mn2SiA、H10MnSi。

2. 15 MnV 和 15 MnTi 钢的焊接。这两种钢属于 400 MPa 级的普低钢, 由于加入 V 或 Ti 元素, 钢的强度增高, 同时细化晶粒效果好, 钢材的过热倾向小, 具有良好的焊接性。当板厚小于 32 mm, 在 0°C 以上施焊时, 可不预热。当板厚大于 32 mm 或在 0°C 以下施焊时, 应预热 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$, 焊后采用 $550\sim 650^{\circ}\text{C}$ 的回火处理。

(1) 15MnV 和 15MnTi 钢的手工电弧焊: 对于厚度不大、坡口不深的结构, 可采用 E5001、E5003、E5016、E5015 等焊条, 厚度较大的结构可采用 E5016、E5015、E5515-G 焊条。

(2) 15MnV 和 15MnTi 钢的埋弧自动焊: 厚度较小、刚性小的焊件, 可采用 H08MnA 焊丝配合焊剂 HJ431; 厚度较大或坡口较深的焊缝则采用 H10Mn2、H08Mn2Si 焊丝配合

焊剂 HJ431 或 HJ350；对于特大厚度深坡口的焊缝可采用 H08MnMoA 焊丝配合焊剂 HJ431、HJ350 或 HJ250。

(3) 15MnV 和 15MnTi 钢的 CO₂ 气体保护焊：可采用焊丝 H08Mn2Si。

3. 18MnMoNb 钢的焊接。该钢属于 500 MPa 级普低钢，是一种中温压力容器用钢，焊接时有一定的淬硬倾向，焊接性较好，焊前一般需要预热，预热温度 200~250℃，为防止焊后产生延迟裂纹，焊后应及时进行 650℃ 的回火处理。

(1) 18MnMoNb 钢的手工电弧焊，焊条选用强度等级 650 MPa 的碱性焊条，如 E6016-D、E7015-D₂。焊前应严格烘干焊条，彻底清理坡口油锈等。

(2) 18MnMoNb 钢的埋弧自动焊：可选用 H08Mn2MoA 或 H08Mn2MoVA 两种焊丝，配合焊剂 250 或 350。焊接层间温度控制 300℃ 以下。

第四节 铬钼耐热钢的焊接

铬钼耐热钢是指以铬、钼为基本合金元素的低合金钢。此材料一般可用于 600℃ 以下，具有很好的抗氧化性和热强性。抗氧化性指在高温下不因氧化而起皮的性能。热强性是指在高温下材料具有较高的高温强度。此类耐热钢价格便宜，广泛用于电站设备、石油化工等部门高温条件下的重要结构材料。由于它的基体组织是珠光体或珠光体和铁素体的混合物，又称为珠光体耐热钢。

一、铬钼耐热钢的焊接性

由于钢中加入铬、钼、钒等合金元素，虽然提高了钢的

热强性，但也增大了钢的淬透性，在近缝区（熔合线附近）存在淬硬脆化和延迟裂纹倾向，尤其含钒钢在焊后热处理或高温长期工作中还会产生再热裂纹。

二、铬、钼耐热钢的焊接工艺要点

1. 焊条的选择。应根据钢材牌号及介质的工作温度选择焊条牌号，选择耐热钢焊条主要是根据化学成分，而不根据机械性能。为了确保焊接接头的高温性能不低于基体金属，焊条的合金含量应与焊件相当或者略高一些。铬钼耐热钢用焊条见表 9-6。

表 9-6 珠光体耐热钢焊条

牌 号	国 标	主 要 用 途
R107	E5015-A ₁	用于工作温度在 510℃ 以下的 15Mo 等珠光体耐热钢的焊接
R202	E5503-B ₁	用于工作温度在 510℃ 以下的 12CrMo 等珠光体耐热钢的焊接
R207	E5515-B ₁	用于工作温度在 510℃ 以下的 12CrMo 等珠光体耐热钢的焊接
R307	E5515-B ₂	用于工作温度在 520℃ 以下的 15CrMo 等珠光体耐热钢的焊接
R317	E5515-B ₂ -V	用于工作温度在 540℃ 以下的 12CrMoV 珠光体耐热钢的焊接
R327	E5515-B ₂ -VW	用于工作温度在 570℃ 以下的 15CrMoV 等珠光体耐热钢的焊接

续表 9-6

牌 号	国 标	主 要 用 途
R337	E5515-B ₂ -VNB	用于工作温度在 570℃ 以下的 15CrMoV 等珠光体耐热钢的焊接
R347	E5515-B ₃ -VWB	用于工作温度在 620℃ 以下的相应耐热钢的焊接
R400	E6000-B ₃	用于 Cr2.5Mo 等珠光体耐热钢的焊接
R407	E6015-B ₃	用于 Cr2.5Mo 等珠光体耐热钢的焊接
R507	E1-5MoV-15	用于 Cr5MoV 等珠光体耐热钢的焊接
R707	E1-9Mo-15	用于 Cr9Mo 耐热钢及过热器管道的焊接
R802	E1-11Mo-V-16	用于工作温度在 565℃ 以下的 1Cr11MoV 耐热钢的焊接
R807	E1-11Mo-VNiW-15	用于工作温度在 565℃ 以下的 1Cr11MoV 耐热钢的焊接
R817	E2-11Mo-VNiW-15	用于工作温度在 585℃ 以下的耐热钢的焊接

2. 预热。为了尽量避免淬硬和冷裂纹，焊前应预热 150~300℃，并在焊接过程中保持这一层温。当在低温环境下施焊时，预热温度应适当提高。另外焊接较厚焊件时，也要适当提高预热温度。对于薄壁小直径管，由于接头刚性小，一般可不预热。常见铬钼耐热钢焊接工艺规范见表 9-7。

表 9-7 常用铬钼耐热钢焊接工艺规范

钢 号	预热温度	焊条型号	焊后热处理
12CrMo	$\delta > 10$ mm 时预热 200~250℃	E5515-B ₁ (R207)	680~720℃回火
15CrMo 15CrMoR		E5515-B ₂ (R307)	
20CrMo	任意厚度预热 250~350℃	E5515-B ₂ (R307)	650~680℃回火
12Cr1MoV	$\delta > 6$ mm 时预热 200~250℃	E5515-B ₂ -V (R317)	710~750℃回火
12Cr2Mo 12Cr2Mo1 12Cr2Mo1R	$\delta > 6$ mm 时预热 200℃以上	E6015-B ₃ (R407)	680~720℃回火

3. 保温焊和连续焊。保温焊是指整个焊接过程中，应使坡口周围（100 mm 范围）始终保持在预热温度以上，这样有利于提高可焊性和氢的逸出。

连续焊是指焊接过程不要间断，最好一次焊完。如必须中断时，应采取保温缓冷措施。再焊时仍应加热到预热温度。对薄壁小直径管，应控制层间温度小于 300℃，防止焊口发红过热。

4. 焊后缓冷和焊后热处理。铬钼耐热钢焊后原则上应进行焊后缓冷处理，一般是焊后立即用石棉布覆盖焊缝及近缝区。焊缝在缓冷过程中，可减少淬硬倾向，利于氢的逸出，以免降温过快，造成风淬而产生裂纹。

对于要求焊后热处理的焊件，采取缓冷措施冷却后，应

立即进行热处理，目的是消除焊缝内应力，改善接头金属组织，防止延迟裂纹产生。

对于有再热裂纹敏感性的钢件，热处理时避免在敏感温度区域，如 102 钢 (12Cr2MoWVB) 再热脆性敏感温度为 720℃，焊后热处理在此温度升速快一些，不能停留。

对于不便进行焊后热处理的焊件，也可选用具有一定高温性能、塑性较好的铬镍不锈钢焊条，如 E0-18-12Mo2-16 (A202)、E1-23-13-16 (A302)、E1-23-13Mo2-16 (A312) 等，焊前仍需预热，焊后一般不热处理。

5. 不得强制对口。由于耐热钢冷裂倾向大，焊接时焊缝拘束度不能过大，尽量在自由状态下焊接。尤其厚板焊接时，妨碍焊缝自由收缩的夹具、卡具应尽量避免使用。

第五节 不锈钢的焊接

一、不锈钢简介

通常所说的“不锈钢”实际上是耐酸钢、耐热钢和不锈钢的总称。能抵抗大气腐蚀的钢为不锈钢；能抵抗某些酸性介质腐蚀的钢为耐酸钢；在高温下具有良好抗氧化性和高温强度的钢为耐热钢。由于耐酸钢和耐热钢同时能抵抗大气的腐蚀，故习惯上也包括在不锈钢内。

不锈钢一般含有 12% 以上的 Cr，另外加入 Ni、Mn、Mo、Nb、Ti 等元素，以改善不锈钢的组织 and 性能。

不锈钢的分类方法很多，一般可按不锈钢的化学成分分类，有高铬型不锈钢和高铬镍型不锈钢；按金相组织分类，有铁素体不锈钢、马氏体不锈钢和奥氏体不锈钢。

不锈钢广泛应用于石油化工、医疗器械、食品机械、航

空及航天、原子能工程以及日常生活中。由于奥氏体不锈钢比其它不锈钢具有更优良的耐腐蚀性、耐热性和塑性，可焊性良好，是应用最广泛的一种钢。

二、铁素体不锈钢的焊接

铁素体不锈钢一般含有 16% 以上的 Cr 和微量的 C。例如 Cr17、Cr17Ti、Cr28、0Cr13Al。铁素体不锈钢具有抗硝酸腐蚀的特殊性能，所以在硝酸设备制造中常常使用铁素体不锈钢。

1. 焊接的主要问题。焊接过程中，由热循环影响，近缝区晶粒显著长大。线能量越大，晶粒长大越严重，塑性和韧性急剧下降，接头脆化，冷裂纹倾向增大。因此焊接时控制热输入量，快速冷却，防止晶粒长大脆化，有时对防止裂纹以及提高耐腐蚀性能也有好处。

另外铁素体钢还有 475℃脆性、 σ 相析出脆性问题。

2. 焊接工艺要点。焊接方法可选用手工电弧焊、埋弧焊和钨极氩弧焊。焊条或焊丝可选用同化学成分的材料，焊前应预热，焊后退火处理。不预热焊可采用 25-13 型、25-18 型奥氏体钢填充材料。

焊接操作时，小电流、快速、单道不摆动焊，多层焊应控制层间温度。

常见铁素体不锈钢焊条选择、预热、后热见表 9-8。

三、马氏体不锈钢的焊接

马氏体不锈钢，以 Cr12、1Cr13、2Cr13、00Cr13Ni6 为代表。钢从高温空冷下来得到马氏体组织，热处理后具有稳定的机械性能，这类钢对淡水、海水、蒸汽和大气具有足够

的耐腐蚀性，在强腐蚀介质（如盐水溶液、硝酸及某些低浓度有机酸）中具有良好的耐腐蚀性，因此主要用来制造承受冲击载荷的零件，如汽轮机叶片、水轮机叶片等。

表 9-8 铁素体不锈钢焊条选用

钢 号	预热温度	焊条型号	焊后热处理
1Cr17	120~200℃	E0-17-16 (G302)	750~800℃回火
1Cr17 1Cr17Mo	不预热	E0-18-12Mo2-15 (A207)	不热处理
1Cr25	不预热	E1-23-13-15 (A307)	760~780℃回火

马氏体不锈钢的焊接性较差，因为它的淬硬倾向较强，塑性和韧性低，焊后残余应力较大，很容易在焊缝或近缝区产生冷裂纹。当焊接时冷却速度过小时，晶粒容易长大粗化，显著降低接头塑性。

为防止冷裂纹，焊接时应预热 250~400℃，控制层间温度不低于预热温度，焊后及时进行热处理，不待冷至室温，而在 100~150℃保温后随即进行。

马氏体不锈钢焊接可以采用氩弧焊，也可以采用手工电弧焊。选择焊材时，应尽量使焊缝与母材化学成分一致。在不易采取预热和热处理的条件下，可采用奥氏体钢焊条或焊丝，以得到奥氏体组织的焊缝，保证接头足够的塑性和韧性、松弛应力。

常用马氏体不锈钢的焊条选择见表 9-9。

表 9-9 马氏体不锈钢焊条选择

钢号	接头性能要求	焊条型号	预热或热处理
0Cr13	抗大气腐蚀	G202, G207	预热 150~350℃
1Cr13	耐酸耐热	G207	后热 700~730℃
2Cr13	塑性好抗裂	A402, A407	不预热, 不后热
1Cr11MoV	热强性	R802 R807	预热 300~400℃, 焊后冷至 150℃, 再 700℃回火
1Cr12WMoV	热强性	R807 R817	预热 300~400℃, 焊后冷至 100℃, 再 740~760℃回火
X10CrMo91 (HT-7)	热强性	R707	预热 300~400℃, 焊后立即 760~780℃回火
Cr11WMoV (F11, F12)	热强性	R817	预热 400~450℃, 焊后冷至 150℃, 再 750~770℃回火

四、奥氏体不锈钢的焊接

奥氏体不锈钢一般含有 18%左右的铬和适量镍。Cr18Ni8 (通常称为 18-8) 不锈钢是奥氏体不锈钢的典型代表。其它还有 1Cr18Ni9Ti、Cr18Ni12Nb、Cr18Ni12Mo2、Cr18Ni12Mo2Ti、Cr18Ni12Mo3Ti 等。

奥氏体不锈钢在氧化性介质和某些还原性介质中都具有十分良好的耐腐蚀性, 它的焊接性也良好。因此在尿素装置、

高压加氢装置、医疗器械、食品设备、造纸机械等工业中都广泛采用奥氏体不锈钢。

铬镍奥氏体不锈钢按照含碳量可分为超低碳型奥氏体不锈钢 ($C \leq 0.03\%$)、低碳型奥氏体不锈钢 ($C \leq 0.06\%$) 和高碳型奥氏体不锈钢 ($C \leq 0.15\%$) 三种。在含碳量较高的奥氏体不锈钢中，常常加入稳定元素钛或铌，来提高它的抗晶间腐蚀性能。

1. 奥氏体不锈钢焊接的主要问题。奥氏体不锈钢焊接性良好，但如果焊材选用不当或焊接工艺不正确时，会产生晶间腐蚀、刃状腐蚀、热裂纹和接头脆化。

(1) 晶间腐蚀和刃状腐蚀。晶间腐蚀是 18-8 型奥氏体不锈钢最易出现、最危险的一种缺陷，在经过焊接加热后，有可能使焊缝或热影响区在腐蚀介质中产生晶间腐蚀。

一般认为晶间腐蚀是因为碳化铬在晶界析出造成的。不锈钢在 $450 \sim 850^\circ\text{C}$ 温度范围内停留时，奥氏体晶粒内的碳将以碳化铬形式沿奥氏体晶界析出，这种碳化物为 Cr_{23}C_6 ，Cr 主要来自晶粒表层，析出时晶粒内的 Cr 来不及补充，结果在靠近晶界的晶粒表层造成贫 Cr，当贫铬层的含铬量小于 12% 时，就失去了抗腐蚀的能力。在腐蚀介质作用下，晶间贫 Cr 层遭到腐蚀破坏，这种腐蚀发生于奥氏体晶粒边界，所以称为晶间腐蚀。

刃状腐蚀是晶间腐蚀的一种特殊形式，它主要发生在含有稳定剂钛、铌的奥氏体钢焊接接头中，一般刃蚀产生在紧贴熔合线的过热区上，其形状像刀刃状，因此取名为“刃状腐蚀”。刃蚀的产生，一般是由于刃蚀部位经过两次加热，即：第一次经受了高温 ($>1200 \sim 1300^\circ\text{C}$)，第二次经受了中温 (恒温 $450 \sim 850^\circ\text{C}$ 或焊接热源峰温 $600 \sim 1000^\circ\text{C}$) 加热，这是

产生刃蚀的必要条件。在双面焊接的焊接接头、多层焊、交叉焊以及焊缝接头的地方都可能发生刃状腐蚀。

受到晶间腐蚀的不锈钢，从表面上看来没有痕迹，肉眼看不出来，只有敲打时才发现失去金属的清脆声，当受到应力时即会沿晶界断裂，几乎完全丧失强度。

为防止焊接接头的晶间腐蚀，可采取以下措施。

1) 选用含碳量低的母材和焊材。如超低碳不锈钢（如00Cr18Ni10）不会产生晶间腐蚀。

2) 添加稳定化元素。在焊件金属和焊接材料中加入 Ti、Nb 等与碳亲和力比铬强的元素，避免碳与铬结合。

3) 采用双相组织。在焊缝中加入 Cr、Si、Mo、V 等铁素体形成元素，以获得一定的铁素体相，可有效防止晶间腐蚀发生。

4) 采取固溶处理或稳定化处理。固溶处理是指焊后将接头加热到1 050~1 100℃，此时碳重新溶入奥氏体中，然后迅速冷却，稳定奥氏体组织。稳定化处理是指焊后将接头加热到 850~900℃保温 2 h 的热处理，使晶粒内铬扩散到晶界，从而防止晶界贫铬。

5) 采取小线能快速冷却的方法。采取小电流、快速、短弧、多道焊等措施，焊件上加铜垫板，或直接浇水冷却，缩短接头在危险温度区间停留的时间。多层焊时，与介质接触的一面焊道最后施焊，避免重复进行敏化温度区间的加热。先焊焊道完全冷却后再焊下一层。

(2) 热裂纹。奥氏体不锈钢焊接最容易产生焊缝的纵向和横向裂纹、火口裂纹、根部裂纹和层间裂纹等。常见高镍的单相奥氏体不锈钢更易发生。

热裂纹主要是由于奥氏体不锈钢的导热系数小，而线膨

胀系数大，焊后产生较大的焊接内应力；钢中的碳、硫、磷、镍等会在熔池中形成低熔点共晶物；奥氏体不锈钢的液、固相线区间较大，结晶时间长，焊缝结晶形成方向性较强的柱状晶结构，杂质偏析现象严重。低熔点的共晶物聚集于晶间形成液态夹层，在拉应力作用下开裂形成热裂纹。

防止热裂纹的措施：选用硫、磷含量低的母材和焊材；采用双相组织，少量铁素体可细化晶粒，打乱树枝状方向，防止杂质偏析；采用碱性焊条、小电流、快速焊，收弧要慢，填满弧坑等。

(3) 接头脆化。高铬奥氏体不锈钢接头在 $600\sim 820^{\circ}\text{C}$ 长时间加热，将析出 σ 相。 σ 相硬而脆，将接头脆化，塑性降低。防止接头脆化的措施是加大冷却速度，控制层间温度，小线能量焊接等。

2. 焊接工艺要点。

(1) 焊前准备。下料和加工坡口采用机械加工或等离子切割，采用碳弧气刨时应严格打磨掉渗碳层。对坡口两侧 $20\sim 30\text{ mm}$ 范围内的油污等杂物清理干净，可用丙酮、乙醇等有机溶剂脱脂。为避免飞溅金属损伤不锈钢表面，在焊件坡口两侧涂上石灰水或防飞溅剂等。

(2) 焊条选择。不锈钢焊条药皮分钛钙型和低氢型两种。钛钙型酸性焊条使用的较多，其焊缝抗腐蚀性良好，焊条工艺性良好，脱渣容易，电弧稳定，飞溅小，而且焊缝成型美观。低氢型碱性焊条抗裂性良好，抗热裂性较高，但成型不如钛钙型焊条，抗腐蚀性也较差，因此，焊接裂纹敏感性较大的产品或构件时，可采用低氢焊条。

(3) 焊接方法和工艺的选择。采用手工电弧焊时，可以焊薄板，也可以焊厚板。为了防止焊接接头出现晶间腐蚀，并

且避免焊接热裂纹，铬镍奥氏体不锈钢焊接应选用低线能量的焊接参数。采用小电流、快速焊、低电压，运条不做横向摆动，窄焊道焊接。厚板多层焊时，每焊完成一层清除焊渣，并控制层间温度小于 150°C 。与腐蚀介质接触的焊缝，为防止过热而产生晶间腐蚀，应尽量最后焊。为防止焊缝过热，焊后可采取强制冷却措施，如用水冷，压缩空气吹，加快接头冷却速度。不准在焊件上随便引弧，以免损伤焊件表面，影响耐腐蚀性。

采用氩弧焊时，具有电弧能量大，热量集中，而且有氩气流的冷却作用，焊缝热影响区小，有利于提高焊接接头的抗晶间腐蚀性能，也有利于减小焊接变形等优点。应用较广的是手工钨极氩弧焊，用于焊接 $0.5\sim 3\text{ mm}$ 薄板或者薄壁管，在厚壁管的根部焊道单面焊双面成型工艺中也普遍采用钨极氩弧焊。对于厚度大于 3 mm 的不锈钢，也可采用熔化极氩弧焊。熔化极氩弧焊的特点是生产率高，焊缝热影响区小，焊件变形小和耐腐蚀性好等。氩弧焊时焊前准备工作同手工电弧焊一样，焊丝一般采用与母材同成分的焊丝，也可从母材上剪下板条作为焊丝。不锈钢氩弧焊采用的氩气纯度一般不应低于 99.6% 。焊接时尽量避免横向摆动，焊速要适当快些。

(4) 焊后热处理。为了提高接头的性能，焊后可进行固溶处理或稳定化处理。

固溶处理的目的是为了提高接头耐蚀性，将工件加热到 $1050\sim 1110^{\circ}\text{C}$ 温度范围，使焊接析出的碳化铬重新溶入奥氏体中，然后在水中迅速冷却。

稳定化处理是将工件加热至 $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，保温足够长时间，使铬充分扩散到晶界附近贫铬层。稳定化处理可大大降低接头的残余应力，即使接头再加热到敏化温度，产生晶间

腐蚀的可能性也很小。

第六节 异种钢的焊接

在化工设备和电站设备中，常常遇到异种钢的焊接。最常见的是常温下工作的焊接结构中的碳钢或低合金结构钢与不锈钢的焊接。如受压容器的支座与容器本体相连接的焊缝就是异种钢接头，其中支座一般采用普通碳素结构钢，而受压容器根据耐压级别、介质等可能采用低合金钢或者不锈钢。

异种钢的焊接是指将两种不同化学成分或组织性能的母材通过焊接连接在一起。根据两种母材组织和化学成分的不同，异种钢焊接可分为两种：一种是金属组织相同而化学成分不同的异种钢焊接接头；另一种是金属组织和化学成分都不相同的异种钢焊接接头。本节主要介绍不同碳钢和合金钢的焊接。

一、焊接时的主要问题

当焊缝和母材合金成分相差太大时，熔合线区合金元素就要再分配，进行扩散迁移，使熔合线区化学成分分布不均匀，同时可能产生脆性组织，引起接头性能下降。

当两种不同钢的线膨胀系数相差较大时，其异种钢接头的熔合线区会产生较大的热应力，使接头性能变差，容易发生破坏。

二、焊接工艺特点

1. 不同钢号的碳素钢、低合金钢之间的焊接。焊接时，焊缝金属应保持力学性能，焊接材料按合金元素成分较低的

钢材（或强度级别低的钢材）选用焊条。当两种钢的合金元素含量（或强度级别）相差太大，可选用介于两者之间的。预热温度和回火温度应根据合金元素含量高（或强度级别高）的钢号来选取。不同钢号相焊推荐选用焊条见表 9-10。

表 9-10 异种钢相焊推荐焊条

类别	钢 号	焊条型号	对应 牌号
碳素钢、 低合金钢 和低合金 钢相焊	Q235-A (A ₃) + 16Mn	E4303	J422
	20、20R+16MnR	E4315	J427
		E5015	J507
	20R+20MnMo	E4315	J427
		E5015	J507
	20R、Q235-A (A ₃) +15MnMoV	E4315	J427
		E5015	J507
	16MnR+15MnMoV	E5015	J507
	15MnVR+20MnMo	E5515-G	J557
15MnVR+15MnMoV	E5515-G	J557	
碳素钢、 低合金钢 和铬钼耐 热钢相焊	Q235-A(A ₃)+15CrMo、1Cr5Mo	E4315	
	16MnR+15CrMo	E5015	
	20、20R、16MnR+12Cr1MoV	E5015	
	15MnMoV+12CrMo、15CrMo	E7015-D ₂	J707
	15MnMoV+12Cr1MoV	E7015-D ₂	J707

续表 9-10

类别	钢 号	焊条型号	对应 牌号
奥氏体高 合金钢与 碳素钢、 低合金钢 相焊	Q235-A(A ₃)+0Cr18Ni9Ti	E1-23-13-16	A302
		E1-23-13Mo2-15	A312
	20、20R+0Cr18Ni9Ti	E1-23-13-16	A302
		E1-23-13Mo2-15	A312
	16MnR+0Cr18Ni9Ti	E1-23-13-16	A302
		E1-23-13Mo2-15	A312
	20MnMo+0Cr18Ni9Ti	E1-23-13-16	A302
		E1-23-13Mo2-16	A312
	15CrMo+0Cr18Ni9Ti	E2-26-21-16	A402
		E2-26-21-15	A407

2. 碳素钢、低合金钢与奥氏体高合金钢之间的焊接。焊接时，焊缝金属应保持抗裂性能和力学性能。焊接材料采用铬镍奥氏体钢焊条，由于珠光体钢对焊缝金属的铬镍有稀释冲淡作用，使奥氏体形成元素含量不足，因此应选用铬镍含量比奥氏体钢母材较高的奥氏体钢焊条。

当接头刚性较大时，为了降低接头应力水平，防止接头熔合区脆性破坏，宜选用含镍量高的焊条（如 A402）焊接。推荐焊条选用见表 9-10。

第七节 铝及铝合金的焊接

一、铝及铝合金的简介

· 铝是银白色的轻金属，密度小 (2.7 g/cm^3)，熔点低 (658°C)，具有良好的塑性、导电性、导热性和耐腐蚀性。在航空、汽车、机械制造、电力及化学工业中大量应用铝及铝合金。

纯铝的强度较低，为了提高强度，常加 Mn、Mg、Si、Cu 及 Zn 等合金元素。

铝合金根据化学成分和制造工艺可分为变形铝合金和铸造铝合金。变形铝合金又可分为两类：热处理强化铝合金和非热处理强化铝合金。

热处理强化铝合金经热处理后强度高，但焊接性差，目前在熔焊结构中应用较少。按合金性能可分为三类：硬铝 (LY)、锻铝 (LD) 和超硬铝 (LC)。硬铝主要是 Al-Cu-Mg 合金，如 LY11、LY12；锻铝一般属于 Al-Mg-Si-Cu 系合金，高温塑性好，便于冲压和压力加工，可用于锻件，如 LD2、LD10；超硬铝主要是 Al-Zn-Mg-Cu 合金，常温下强度很高，如 LC4。

非热处理强化铝合金主要有 Al-Mn 合金和 Al-Mg 合金，它的特点是强度中等、塑性及抗腐蚀性好、焊接性良好，易于用压力加工成各种半成品。由于其耐蚀性良好，又称为防锈铝合金。常见牌号如 LF2、LF3、LF6、LF21。

铸造铝合金主要有 Al-Si 合金、Al-Mg 合金、Al-Zn 合金及 Al-Cu 合金，这类合金铸造性能好，有足够的强度，并有较好的抗腐蚀性和耐热性，焊接性尚好。铸造铝合金常用来

制造发动机、内燃机的机壳和零件。

二、铝及铝合金的焊接性

在铝及铝合金焊接件中，较常用的是变形铝合金和工业纯铝。本节就着重介绍纯铝、铝镁合金及铝锰合金的焊接特点。

1. 铝的氧化。铝和氧有很强的亲和力，在常温和高温下与氧生成一层致密的氧化膜 (Al_2O_3)，由于氧化膜熔点高达 $2050^{\circ}C$ ，远远超过铝合金的熔点（一般为 $660^{\circ}C$ 左右），焊接时，氧化铝薄膜会阻碍金属之间良好结合，容易引起熔合不良与夹渣，而且氧化膜还吸附了大量的水分，焊接时会促使焊缝生成气孔。因此，焊前必须严格清理坡口及焊丝表面的氧化膜，在焊接过程加强保护，随时清除新产生的氧化膜。

2. 易产生气孔。气孔是铝及铝合金焊接时经常出现的缺陷。焊接时产生的气孔主要是氢气孔。这是因为，铝及铝合金由液态凝固时，氢在铝中的溶解度发生很大变化，急剧下降（近 20 倍），这种液态铝金属中将有大量氢气析出，形成气孔，同时铝及铝合金密度小，气泡在熔池里浮升速度小，再加上铝导热性强，熔池凝固快，焊缝产生气孔的倾向很大。

防止气孔形成的主要措施是减少氢的来源，促使气泡上浮。如焊前必须清理焊件和焊丝上的氧化膜、油污、潮气等，提高保护气体纯度，采用合理的工艺规范等。

3. 热裂纹。纯铝和大部分非热处理强化铝合金的焊接裂纹倾向很小，只有在结构刚性很大或杂质含量多的时候才会形成。只有热处理强化铝合金由于成分较复杂，经常会产生热裂纹问题，特别是在焊接刚性拘束的大厚度焊件时裂纹倾

向更大。铝及铝合金产生热裂纹的原因和焊接应力有关，由于铝的线膨胀系数比铁将近大一倍，而其凝固的收缩率又比铁大两倍，因此铝焊件的焊接应力大。此外，过多的低熔点共晶物存在时，都促使形成热裂纹。

防止铝及铝合金焊接热裂纹应从减少焊接应力、调节熔池金属成分、改善熔池结晶条件、改进接头设计、选择合理的焊接工艺参数和适应母材特点的焊接材料等几个方面来考虑。

4. 其它。除以上几点以外，焊接铝及铝合金还应注意以下几点：

(1) 铝导热快，热容量大，焊接时要消耗较大的功率，焊接必须采用功率大或热量集中的焊接热源，有时还须预热，否则会产生未焊透等缺陷。

(2) 铝的线膨胀系数比铁约大一倍，凝固时收缩率比铁大两倍，所以焊件易变形。

(3) 铝及铝合金由固态转变为液态时，没有明显的颜色变化，所以不能判断熔池的温度，而在高温时液态铝强度很低，因温度过高无法察觉而导致烧穿、焊漏，因此焊接时需加垫板等承托熔池金属，以防止烧穿。

三、铝及铝合金的焊接工艺要点

1. 焊前准备。

(1) 焊前清理是保证铝及铝合金焊接质量的重要工艺措施。一般用机械方法或化学方法把焊口及焊丝表面的油污、氧化膜等清理干净，清理后要注意保持干净，并尽可能立即施焊，以免氧化。化学清理是用酸或碱液溶解金属表面的氧化膜，常与脱脂工序同时进行。常用5%~10%氢氧化钠溶液

(60~70℃) 浸泡焊丝或工件坡口部位, 约 10 min, 使氢氧化钠与氧化铝作用生成易溶的氢氧化铝, 然后用清水冲洗并干燥, 化学清洗效率高、质量稳定, 适用于焊丝及尺寸不大、成批生产的工作。机械清理时, 先用丙酮、松香水、四氯化碳等有机溶剂擦拭表面以除油, 然后用钢丝刷或铜丝刷, 或用刮刀, 将焊口附近氧化膜清除干净, 一般不宜用砂轮打磨, 因为砂粒留在金属表面, 焊接时会产生缺陷。

(2) 预热: 由于铝导热性大, 热容量大, 因此为了防止焊缝区热量的大量流失, 焊前可对焊件进行预热。薄小铝件一般不用预热。厚度超过 5~8 mm 的厚大铝件, 一般预热 100~300℃, 可以用氧乙炔焰、电炉等来加热。

2. 焊后清理。焊后残留于焊缝表面的熔渣及气焊熔剂仍有很强的腐蚀作用, 在空气中水分的作用下, 破坏金属表面的氧化铝薄膜, 使铝件腐蚀损坏。因此焊后应随即清除工件上残存的熔剂和焊渣。

焊后清理方法很多, 可用 60~80℃ 的热水冲刷, 然后用 60~80℃ 的稀铬酸 (2%) 溶液浸洗 5~10 min, 最好用清水冲洗干净; 也可用热水冲洗或蒸汽冲刷。

3. 铝及铝合金的气焊。目前, 铝及铝合金应用最多的焊接方法是气焊和氩弧焊。

氧乙炔焊, 特别适于焊接薄板及小零件, 它是一种比较简单、灵活方便的焊接方法。

(1) 焊丝: 选择焊丝应考虑母材化学成分、接头的抗裂性能和使用要求。

一般可选用与焊件金属化学成分相同的焊丝, 也可从基体金属上切条代用。常见焊丝牌号参见表 8-11。

丝 311 是一种通用焊丝。采用这种焊丝焊接时, 金属流

动性好，焊缝金属有较高的抗裂纹性能，也能保证一定的机械性能，一般常用于焊接除铝镁合金以外的其它各种铝合金。丝 311 的简易鉴别方法是，将焊丝在火焰中烧一下，马上取出，如果是丝 311，其表面应有黑色斑点。

(2) 气焊熔剂：铝及铝合金气焊时必须使用铝焊熔剂——“气剂 401”。它是一种白色粉状混合物，极易吸潮和氧化，使用时用水调成糊状后涂于焊丝和焊件表面。气焊熔剂的作用是：熔解和清除覆盖在熔池表面的氧化膜，并在熔池表面形成一层较薄的熔渣，保护熔池金属不被氧化。排除熔池的气体、氧化物及其它夹杂物。

(3) 火焰选择：火焰应选用中性焰或轻微碳化焰，采用左焊法施焊。

4. 铝及铝合金氩弧焊。氩弧焊是焊接铝及铝合金较完善的焊接方法。由于氩气的保护作用和氩离子对氧化膜的阴极破碎作用，所以氩弧焊时可以不用熔剂，这就避免了焊后清渣的工序。另外，由于氩弧保护作用好，热量集中，因此，焊后焊缝质量好，成型美观，热影响区小，焊件变形小。目前，焊接铝及铝合金用得最多的方法是氩弧焊。

钨极氩弧焊一般适用于焊接薄板 (≤ 6 mm)，钨极氩弧焊的电源应采用交流电源，这样既对熔池表面铝的氧化膜有“阴极破碎”作用，又可采用较高的电流密度。

熔化极氩弧焊电弧功率大，热量集中，热影响区小，效率高，适用于焊接厚度大于 8 mm 以上的铝或铝合金焊件，熔化极氩弧焊应采用直流反接电源，对熔池表面有“阴极破碎”作用，焊接时电流尽量选大点，实现射流过渡。

第八节 铜及铜合金的焊接

一、铜及其合金简介

根据所含的合金元素不同,铜及铜合金可以分为紫铜、黄铜、青铜及白铜等。

1. 紫铜。纯铜的颜色呈紫红色,故称紫铜。纯铜具有很高的导电性、导热性、耐腐蚀性和良好的塑性,易于热压和冷压加工。用工业纯铜制成的各种规格的紫铜板、带、管、棒及紫铜线材,在电力工业和动力机械等部门用于制造导体、散热器、冷凝器等。

工业纯铜按所含杂质多少分为四级,纯铜牌号以“T”为首,后面附以级别数字。如 T1、T2、T3、T4。后附顺序号数字越大,纯度越小。含氧量低于 0.01% 的铜,称为无氧铜,如 Tu1、Tu2。以磷脱氧的铜称为磷脱氧铜,如 TP1、TP2。

铜的性能与杂质含量有很大关系,不论含量多少,都会使铜的性能降低。所有杂质都导致导电性能降低,其中磷最明显,但磷是铜的一个良好脱氧剂。

纯铜在退火状态具有高的塑性,但强度较低,在 400~700℃ 的高温下,强度和塑性却大大降低。经过冷加工后的纯铜,强度和硬度大大提高,而塑性降低很大。冷加工后的铜经 550~600℃ 退火,可使塑性完全恢复。

2. 黄铜。黄铜是铜与锌组成的合金。仅由铜和锌组成的合金称为普通黄铜,普通黄铜的机械性能、耐腐蚀性能和加工性能比紫铜高,价格比紫铜便宜,所以应用广泛。

为改善黄铜的机械性能、耐腐蚀性能和工艺性能,再加入锡、锰、铅、硅、铝、镍或铁等元素,这种黄铜称为“特殊

黄铜”，如锡黄铜、锰黄铜、铅黄铜等。特殊黄铜可分为压力加工黄铜和铸造黄铜。

普通黄铜的牌号是用汉语拼音字母“H”加上数字来表示的。H表示黄铜，数字表示含铜量。如H62，是指含铜62%，含锌约为38%的普通黄铜。特殊黄铜的牌号还要用化学元素符号表示加入元素及其含量。如HSn62-1，是指含铜62%，含锡约为1%，其余为含锌量的特殊黄铜。

3. 青铜。铜与锡、铅、硅、铝等元素的合金称为青铜。青铜具有高的耐磨性能，良好的机械性能、铸造性能和耐腐蚀性能，广泛用于耐磨、耐蚀零件。

常用青铜的牌号由汉语拼音字母和数字表示。如ZQSn10，其中Z表示铸造，Q表示青铜，Sn表示含锡元素，10表示锡的平均含量为10%，余量为铜。

4. 白铜。白铜是铜与镍的合金。仅由铜和镍组成的合金称为普通白铜。含有锰、铁、锌、铝等元素的合金称为锰白铜、铁白铜、锌白铜和铝白铜等。白铜可分为结构用和电工用两种。

二、焊接时的主要问题

1. 难熔合。铜及其合金的导热系数约为钢的8倍，焊接时大量的热被传导出去，母材熔焊温度不易保持，难以局部熔化，因此必须采用大功率、热量集中的热源，厚大工件还需采取预热措施。

2. 易变形。铜及其合金的热胀冷缩性大，线膨胀系数比低碳钢约大50%以上，由液态转变为固态时收缩性也大，因此工件在焊后易产生变形，对于刚性大的焊件常因内应力增高而产生裂纹。

3. 气孔。铜及其合金液态金属能溶解大量的氢，而冷却凝固过程中，溶解度大为降低，如过剩的氢在焊接条件下来不及逸出，便形成气孔，并导致裂纹。因此焊前应去除焊件和焊接材料吸附的水分、油污等；焊接过程加强保护效果；选择合适工艺参数，降低冷却速度，以利氢的逸出。

4. 氧化。铜在液态时，容易被氧化为氧化亚铜，焊缝金属结晶时，氧化亚铜和铜形成低熔点共晶物，分布在铜的晶界上，大大降低了接头的机械性能，产生热裂纹。防止氧化的措施：一是焊前清理焊件及焊接材料表面的氧化物及水分；二是选用含有脱氧元素的焊接材料。

5. 热裂纹。由于晶间存在氧、铅、铋、磷等杂质形成的低熔点共晶物和较大的焊接应力所引起。为了防止热裂纹，必须严格限制母材和焊接材料的有害元素的含量，采取减少焊接应力的工艺措施，如焊前预热，选择合理的焊接顺序，焊后缓冷等。

三、纯铜的焊接

纯铜的焊接可采用气焊、手工电弧焊、钨极氩弧焊、埋弧焊等。焊接方法的选择应根据铜的种类、工件厚度、生产条件等综合考虑选择。

1. 焊前准备。坡口加工尽量采用机械加工，常用风铲或刨边机。焊前应认真清除焊丝表面和焊件坡口两侧的 20~30 mm 范围内的氧化膜、油污等杂物。清理方法有机械清理和化学清理，同铝及铝合金的焊前清理方法。

由于熔池中铜液的流动性很好，为防止铜液从坡口背面流失，特别是焊接厚板及单面焊双面成型时，接头根部需采用衬垫。衬垫有两种：可拆衬垫和永久衬垫。可拆衬垫应在

焊后不与焊缝粘住，焊后可拆除掉。永久衬垫是用与母材同材质的材料做成，焊后永久地留在焊件上，仅适用于要求不高或使用条件允许的结构。常用的可拆衬垫有紫铜垫、钢垫、石棉垫等。

由于紫铜导热性很高，焊接厚大工件时常需要预热。预热温度一般为 $300\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。

2. 纯铜的气焊。焊丝可用丝 201（紫铜焊丝）或丝 202（低磷铜焊丝），还可以用一般的紫铜丝或基体金属的剪条。焊粉可用气剂 301（硼砂）。

由于紫铜导热性高而热容量大，因此应选用号码较大的焊嘴。对于薄板、小工件预热温度为 $300\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，厚板、大工件预热温度 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，为了防止热量散失，焊件最好放在石棉板等绝热材料的衬垫上焊接。

气焊紫铜应采用中性焰。氧化焰会使熔池氧化，在焊缝中生成脆性的氧化亚铜，碳化焰则会产生一氧化碳和氢气，进入焊缝中形成气孔。

3. 纯铜的手工电弧焊。手工电弧焊可选用 T107 或 T227 牌号焊条或型号为 TCu、TCuSnA 的两种焊条。其中 TCu 的焊芯是纯铜，TCuSnA 的焊芯成分是磷青铜，药皮都是低氢钠型，电源用直流反接性。

焊接时采用短弧，焊条不宜做横向摆动，焊条做往复的直线运动，可改善焊缝的成型，同时可延长焊缝处于液态的时间，利于气泡逸出。焊后最好用手锤捶击焊缝，可消除应力和改善焊缝质量。

4. 纯铜的钨极氩弧焊。钨极氩弧焊适用于焊接较薄的焊件和厚件底层焊道的焊接，其操作灵活、工件变形小、焊缝成型美观、接头质量高。

焊丝与气焊相同，电源用直流正极性。焊前预热可保证焊缝根部焊透，提高焊接速度。板厚小于 3 mm 时，预热温度为 150~300℃，板厚大于 3 mm 时，预热温度为 350~500℃。预热温度不宜过高，否则不仅使劳动条件恶化，并使焊接热影响区扩大，降低焊接接头的机械性能。

四、黄铜的焊接

黄铜焊接时的主要问题是锌的蒸发。由于锌的熔点为 419℃，沸点为 906℃，在焊接过程很容易蒸发。锌的大量蒸发，易使焊缝产生气孔，并降低焊缝的机械性能和抗腐蚀性能，同时锌在蒸发时产生白色烟雾，影响焊工操作，因此，在焊接过程中应加强通风。

1. 黄铜的气焊。由于气焊火焰温度低，焊接黄铜时，锌的蒸发比电弧焊少，所以气焊是焊接黄铜最常用的方法。特别适用于薄件和小件的焊接。

焊丝可采用丝 221、丝 222、丝 224 等。这些焊丝中含有 Si、Sn、Fe 等元素，能够防止和减少熔池中锌的蒸发和烧损，利于保证焊缝的机械性能。也可用基体金属剪条作填充金属。气焊用焊粉为气剂 301。

焊前必须仔细清理焊件坡口及焊丝表面。由于黄铜的热导率比紫铜小，因此焊前预热温度可略低。一般厚度大于 10 mm 的焊件才需要预热到 400~550℃。焊接火焰应采用轻微的氧化焰，气焊后，可在 550~650℃ 温度下进行退火，以消除焊缝应力和改善焊缝的性能。

2. 黄铜的手工电弧焊。手工电弧焊一般采用青铜焊芯的铜焊条，牌号为 T207(型号为 TCuSi)、T227(型号 TCuSnB)，对焊补要求不高的黄铜铸件可采用紫铜焊条 TCu。

焊接电源采用直流电源。焊件厚度大于 14 mm，为了改善焊缝成型，需预热 150~250℃。操作时应当用短弧焊接，不做摆动，只做沿焊缝的直线运动，快速焊。

3. 黄铜的钨极氩弧焊。焊丝可选用丝 221、丝 222 和丝 224，也可用与母材同成分的材料作填充焊丝。由于以上焊丝的含锌量高，焊接过程中烟雾很大，故一般采用青铜 QSi3-1 作为填充焊丝。

焊接电源可以用直流正接，也可以用交流。用交流焊接时，Zn 的蒸发比直流正接时少。一般焊前不预热，当焊件板厚大于 10 mm 时才需预热。采用较大电流快速焊，焊后应加热到 300~400℃ 进行退火处理，消除焊接应力，以防止焊件产生裂纹断裂。

五、青铜的焊补

青铜的焊补主要用于铸件缺陷和损坏机件的补焊。

锡青铜焊接时易开裂，对刚性大的焊件需预热至 400~500℃。由于锡青铜在高温时有脆性，故在焊接时不允许有冲击，焊后不要立即搬动。焊后加热到 480℃，快冷至室温，可提高焊缝金属的塑性和抗应力腐蚀的能力。常用的焊接方法是气焊，应采用中性焰，焊丝用锡青铜焊丝 SCuSn 或与母材成分相同的青铜棒。

铝青铜焊接时主要困难是熔池表面易产生难熔的三氧化铝，使熔池金属不易与填充金属熔合，同时热裂纹倾向也较大。预热、控制层间温度和焊后速冷是铝青铜焊接的重要措施。采用气焊时，应选用铝青铜焊丝作填充金属，火焰为中性焰。由于气焊很难消除铝的氧化物，一般常采用钨极氩弧焊来焊接，用交流电，利用“阴极破碎”来击碎熔池表面的

铝氧化膜，焊接电流比焊紫铜时小 25%~30%。

第九节 钛及钛合金的焊接

钛及钛合金作为结构材料有许多突出优点，目前在航空、航天、石油、化工等许多领域应用越来越广泛，人们预言不久的将来钛将取代其它材料而成为继钢和铝之后应用最广的金属之一。

一、钛及钛合金的简介

1. 钛金属的性能特点。

(1) 密度小、比强度高，钛的比强度超过铝及铝合金。

(2) 耐高温性能好：相比铝合金，钛合金的耐热性要高得多，在 300~500℃ 高温下，钛合金仍具有足够高的强度，而铝合金及镁合金一般只能在低于 150~250℃ 范围内作为结构材料。同时钛合金耐低温性能也很优良，某些钛合金在 -253℃ 还能保持良好的塑性和韧性。

(3) 抗腐蚀性能强：由于钛合金表面具有一层致密坚固的氧化膜，因此钛合金抗腐蚀性能强，可耐大多数的酸、碱、盐等腐蚀介质。

另外钛合金具有一些特殊的功能，如记忆功能、超导功能和吸氢功能等。

2. 钛及其合金的种类。工业纯钛的塑性和韧性好，特别是低温冲击韧性好，抗腐蚀性好，可焊性也好。国产工业纯钛有 TA1、TA2、TA3 三种，随代号末尾数字的增大，杂质含量依次增大。

由于工业纯钛的屈服强度和抗拉强度不够高，而且随温

度的提高,强度显著降低,为此,人们在工业纯钛的基础上发展了许多高强度的钛合金。根据组织和性能的特点,钛合金分为三种类型: α 钛合金(含 Al、Sn 等元素较多,退火状态可得到单相 α 组织)、 β 钛合金(含 Mo、V 等合金元素较多,空冷状态可得到单相 β 组织)、 $\alpha+\beta$ 钛合金(同时加入易形 α 相和 β 相的两类元素,退火态得到 $\alpha+\beta$ 双相组织)。其相应代号为 TA、TB、TC。用于焊接结构较多的是工业纯钛及 α 钛合金。

二、焊接时的主要问题

1. 接头脆化。钛是化学性非常活泼的金属,常温下虽然钛与氧生成致密的氧化膜而保持很高的稳定性和耐蚀性,但在高温状态下,极易吸收氧、氮、氢等气体,氧、氮、氢溶入金属中以脆性相析出,造成接头脆化,严重的会引起裂纹。

与其它金属相比,钛及钛合金的熔点高、导热性差、比热小,且电阻系数大。因此焊接时熔池蓄热量大,过热区高温停留时间长,冷却缓慢,容易导致过热区产生晶粒粗大现象,使接头性能下降,脆性增高,因此焊接时尽量选小的线能量。

2. 冷裂纹。钛及钛合金焊接时很少产生热裂纹,而焊后焊缝及热影响区在较低温度下会出现冷裂纹。在热影响区,有时也会出现延迟裂纹,这种现象是由于氢的扩散与聚集引起的。冷裂纹的产生机理与钢产生冷裂纹的机理相同,也是三大要素:淬硬组织、焊接应力和氢的作用。

3. 气孔。气孔是钛及钛合金焊接时的常见缺陷。尤其在焊缝熔合线附近形成气孔,有时以单个形式出现,有时以连续的或密集的形式出现。在熔合线处易出现气孔的主要原因是由于氢在钛中的溶解度随温度的下降而升高。

防止气孔的主要途径是严格控制母材及焊接材料中的

氢、氧、碳等杂质含量，认真清理工件及焊丝表面的油、水分等，减少氢、氧的来源，严格控制保护气体的纯度。同时，还要选择好焊接规范，保持线能量不要太小，也不要太大。过小，熔池凝固快，气泡来不及逸出；太大，则高温停留时间长，增加了气体的污染及晶粒长大现象。

三、钛及钛合金的焊接工艺要点

1. 焊接方法的选择。由于钛及钛合金的化学性很活泼，与氮、氢、氧的亲合力大，因此不能用手工电弧焊、气焊、 CO_2 气体保护焊等焊接方法，生产中经常采用钨极氩弧焊、等离子弧焊及真空电子束焊等。

氩弧焊是应用最广泛的焊接方法。而等离子弧焊因其电弧热集中，焊接热影响区小，工件内应力和变形小，目前用来焊接钛及钛合金也较多，焊缝质量比氩弧焊更高。

2. 焊前严格清理，选择纯度高的焊材。焊接前必须认真清理工件和焊丝。可先用酒精、四氯化碳等有机溶剂去除工件及焊丝表面的油污等杂质，然后进行酸洗（常用 35%~45% 体积的 HNO_3 与 1%~3% 体积的 HF ，温度 40~65℃ 左右，洗涤 15~30 min。工件若无法酸洗，可用硬质合金刮刀刮削焊口边缘宽 15~20 mm 表面，彻底去除氧化膜。

焊丝和母材的纯度要符合要求，杂质的含量不能超过规定含量。氩气纯度要求不低于 99.99%。

3. 气保护。焊接钛金属时，焊接区的气保护要求很严格。氩弧焊时，不仅要保护焊缝及电弧区，而且对加热温度 400℃ 以上的热影响区及焊缝背面也要加以保护，以防止空气中气体杂质侵入。氩弧焊的喷嘴直径要加大，喷嘴到工件距离要尽量短，同时在焊枪上附加一个喷氩拖罩，如图 9-1。焊缝背

面也要用带凹槽的垫板，垫板凹槽内充氩。对于几何形状复杂或小结构件的钛金属可在充氩箱内施焊。

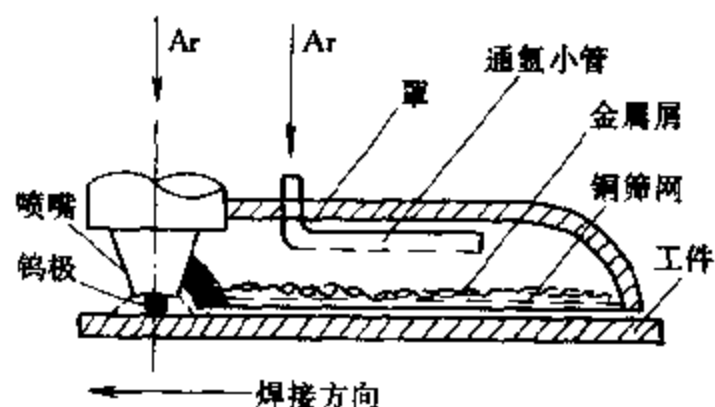


图 9-1 焊钛材用氩弧焊焊枪示意图

气保护效果以焊后焊缝附近表面金属颜色来判断。当焊后呈银白色，则表示保护效果最好；若有氧化，则表面颜色发生变化，黄色为轻微氧化（表面产生 TiO ），蓝色为稍微严重氧化（表面产生 Ti_2O_3 ），灰色或紫色为氧化很严重（表面产生 TiO_2 ）。

4. 焊接规范选择。为避免过热产生脆化组织，一般选小线能量，即小电流，快速焊。手工钨极氩弧焊接钛合金的规范可参照表 9-11。

表 9-11 钛及钛合金手工钨极氩弧焊参考规范

板厚 (mm)	钨极直径 (mm)	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	合金流量 (L/min)		
				焊 枪	拖 焊	衬 垫
0.6	1.5	20~25	6.0	8~10		1~2
0.8	1.5	25~35	5.0~5.2	8~10		1~2
1.0	1.5~2.0	35~45	14~16	8~10		1~2
1.2	3	50~80	11~14	10~15	15~25	10~15

注：钨极氩弧及等离子弧焊用直流正接，陡降外特性电源。熔化极氩弧焊用直流反接，平特性电源。

第十节 铸铁焊补

一、铸铁简介

铸铁是含碳量大于 2% 的铁碳合金，并含有一定数量的 Si 和少量的 Mn。S、P 通常为杂质。为了获得某些特殊性能而加入 Al、Cr、Mo、Ni、Cu 等合金元素，则称为合金铸铁。

铸铁虽然强度和塑性不如钢，但却具有优良的减震性、抗腐蚀性、铸造性和切削加工性能，而且成本低廉，所以在机械制造业中得到广泛应用。

碳在铸铁中存在的状态，可以是化合状态的渗碳体 (Fe_3C)，也可以是自由状态的石墨。根据碳存在的状态及石墨的形状，可将铸铁分为白口铸铁、灰口铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁四种。

1. 白口铸铁。当铸件中石墨化元素（如碳、硅）较少或阻碍石墨化元素（如硫）较多，或铸件冷却速度较大时，碳几乎全部以渗碳体 (Fe_3C) 的形式存在，使铸铁断口呈银白色，故称为白口铸铁。由于含有大量硬而脆的渗碳体，这种铸铁硬度大，脆性高，无法机械加工，在机械制造中很少使用，一般只用于轧辊、犁铧等耐磨零件。

2. 灰口铸铁。灰口铸铁中碳以片状石墨存在并分布在基体中，片状石墨是碳元素自由存在的一种形态，非常疏松润滑。灰口铸铁的断口呈暗灰色，故称为灰口铸铁。这种铸铁具有耐磨、吸震、优良的切削加工性及较小的缺口敏感性等优良性能。但是石墨强度很低，塑性几乎为零，因此灰口铸铁强度较低，塑性几乎为零。所以灰口铸铁耐压不耐拉，常用作不受冲击、载荷较低的盖、罩、壳体，机床底座、床身

和工作台等。

灰口铸铁牌号形式为“HT×××”。其中“HT”表示灰口铸铁，HT后面有三位阿拉伯数字，表示抗拉强度最小值，单位为MPa。常见灰口铸铁牌号有HT100、HT150、HT200、HT250。

3. 球墨铸铁。球墨铸铁是在浇铸前向铁液中加入一定球化剂，使石墨以球状分布在基体中，因而其机械性能得到很大提高，既有灰口铸铁的优良性能外，又有高强度性能及一定的塑性、韧性。常用来制作抗冲击的铸件，如曲轴、连杆、齿轮、蜗轮、轧辊、轴承座、汽车后桥壳等。常用牌号有QT400-15、QT450-10、QT500-7、QT600-3、QT700-2等。牌号中“QT”表示球墨铸铁，QT后三位数字表示抗拉强度最小值，单位为MPa，最后两位数字表示最小伸长百分率。

4. 可锻铸铁。可锻铸铁是白口铸铁毛坯经900~1000℃长时间退火，使渗碳体分解成絮状石墨，因而强度、塑性较高，常用来制作形状复杂、塑性和韧性要求较高的小型零件，如汽车差速器、变速箱的拨叉、刹车蹄、拖车挂钩和水管弯头等。常用牌号有KTH300-06、KTH350-10、KTZ450-06、KTZ550-04等。牌号中“KT”表示可锻铸铁，“H”表示黑心。

二、铸铁的焊接特点

焊补铸铁件遇到的第一个困难是补焊区容易产生白口组织。在母材和焊缝的交界处常产生呈白亮的白口层（熔合区变为白口组织）。白口层硬度高，焊后加工不动。白口区脆性大，焊接接头很容易沿这个区域发生破坏。第二个困难是焊接时容易在热影响区和焊缝金属中产生热应力裂纹和热

裂纹。

1. 白口产生的原因和防止方法。由于铸铁件传热速度较型砂快得多，焊接熔池又很小，焊接时冷却速度较铸造时快许多倍，加上填充材料石墨化元素不足，因此铸铁补焊时易产生白口组织。特别是熔合区，成分与母材相近冷却速度更快，更易产生白口组织。

采用石墨化元素含量多的铸铁焊条，配合适当的工艺措施，可避免白口组织产生。一种焊条是灰铸铁作焊条芯，外涂石墨型药皮，如铸 248 焊条。另一种焊条是焊条芯为低碳钢，药皮中加入适量的强石墨化元素，如铸 208 焊条。

采用非铸铁焊接材料（镍基、铜基、高钒钢等异质焊条）也可避免焊缝金属产生白口组织。但由于熔合区成分比较接近母材，焊后冷却速度又很快，电弧冷焊时熔合区可产生白口组织，解决方法之一是采取预热，减慢冷却速度。而对于不允许预热或预热困难的铸件，可采用小电流、小直径或从背面水冷的方法。这样一来，焊接规范小，熔池小，冷却速度快，从而减小了熔深，使熔合区的石墨来不及溶解就已凝固，白口组织基本上不产生。

采用钎焊方法进行焊补铸铁，由于钎焊过程铸件本身不熔化，可以完全避免白口组织。

2. 热应力裂纹产生的原因和防止方法。由于铸铁强度低、塑性差，当焊接残余拉应力超过铸铁的强度时，就会形成裂纹。另外当熔合区有白口组织存在时，在焊接应力作用下，也会产生裂纹，甚至产生焊缝和母材剥离现象。

防止热应力裂纹的方法有热焊法、加热减应区法、电弧冷焊法等。

3. 热裂纹产生的原因和防止方法。热裂纹大多发生在非

铸铁材质焊缝金属上，当采用结构钢焊条、镍基焊条、镍铜合金焊条焊接铸铁时，由于铸铁母材含碳量很高，往往含有较多的硫、磷等杂质，使非铸铁组织的焊缝金属中碳、硫、磷及硅等元素含量增高，因而焊缝金属热裂倾向明显增大。在窄而深的熔池和带有凹坑的弧坑易产生热裂纹。

防止热裂纹措施有：采用宽而浅的焊缝，坡口底部为圆弧形，从而减少熔合比；采用小电流、快速不摆动焊，减小熔深，缩短焊缝金属高温停留时间；收弧时填满弧坑，防止弧坑裂纹产生。

三、灰口铸铁的补焊

灰口铸焊的电弧焊方法很多，选择哪种方法，应根据零件的工作条件、承受的载荷种类和结构形状等因素而定，这样才能保证焊补的质量。目前常用电弧焊的方法有热焊法、半热焊法和冷焊法。铸铁焊条的选择可参考表 9-12。

表 9-12 铸 铁 焊 条

焊条名称	统一牌号	符合国标	焊芯组成	药皮类型	焊缝金属	电源种类	用途
氧化型钢芯铸铁焊条	铸 100	TZG-1	碳钢	氧化型	碳钢	交、直流	一般灰口铸铁件
高钒铸铁焊条	铸 116	TZG 2	碳钢 (高钒药皮或高钒钢)	低氢型	高钒钢	直流 (反接) 或交流	强度较高的灰口铸铁(否则焊缝易剥离),球墨铸铁,可锻铸铁

续表 9-12

焊条名称	统一牌号	符合国标	焊芯组成	药皮类型	焊缝金属	电源种类	用途
高钒铸铁焊条	铸 117	TZG-3	碳钢 (高钒药皮) 或高钒钢	低氢型	高钒钢	直流 (反接)	强度较高的灰铸铁(否则焊缝易剥离)、球墨铸铁、可锻铸铁
钢芯石墨化型铸铁焊条	铸 208	TZG-2	碳钢	石墨型	灰铸铁	交、直流	一般灰铸铁(须预热至 400°C,刚度较小时可以不预热)
钢芯球墨铸铁焊条	铸 238	TZG-4	碳钢 (药皮中加球化剂)	石墨型	球墨铸铁	交、直流	球墨铸铁(500°C 热焊,焊后正火或退火处理)
纯镍铸铁焊条	铸 308	TZNi	纯镍	石墨型	镍	直流 (正接) 或交流	重要灰铸铁,可加工,如机床面,气缸加工面
镍铁铸铁焊条	铸 408	TZNiFe	镍铁合金	石墨型	镍铁合金	直流 (正接) 或交流	球墨铸铁、重要灰铸铁,可加工,但熔合区较铸 308、铸 508 稍硬
镍铜铸铁焊条	铸 508	TZNiCu	镍铜合金	石墨型	镍铜合金	直流 (正接) 或交流	灰铸铁,可加工,强度、抗裂性较差
铜铁铸铁焊条	铸 607	TZCuFe	紫铜	低氢型	铜-铁混合	直流 (反接)	灰铸铁,抗裂性好,加工性差,强度较低,常用于气缸非加工面焊补
铜铁铸铁焊条	铸 612	TZCuFe	铜芯 铁皮或 铜包铁 芯	缺钙型	铜-铁混合	交直流	灰铸铁,抗裂性好,加工性差,强度较低,常用于气缸非加工面焊补

1. 电弧冷焊法。电弧冷焊法常采用非铸铁组织的焊条，按焊后加工性分为两类：一类是铜-铁铸铁焊条、高钒铸铁焊条和氧化型钢芯铸铁焊条，有时用碳钢焊条 E4315 (J427)、E5015 (J507)、E4303 (J422) 等，这类焊条用于焊后不需机械加工的铸件冷焊；另一类是镍基铸铁焊条，即纯镍、镍铜合金或镍铁合金铸铁焊条，这类焊条用于焊后需要机械加工的铸件冷焊。电弧冷焊的工艺要点是短段、断续、分散焊，小电流快速不摆动焊，每段焊后锤击。冷焊的特点是在较低的温度下焊接，一般都采用小规范加断续焊，待工件冷到不烫手时 ($50\sim 60^{\circ}\text{C}$)，再焊下一道焊缝，以降低局部过热，减小应力，缩短脆性温度区停留时间，防止白口和裂纹产生。对于采用 E4303、E5016 等结构钢焊条焊接时，比较理想的焊接方法是采用瞬间点焊法在坡口底部熔敷一层过渡层，具体作法是：选用小直径 2.5 mm 或 3.2 mm 的焊条，焊接电流不能过大或过小， $\phi 3.2$ mm 焊条可采用 120~130 A 电流，不移动电弧进行点焊，熔合良好（溶池润湿母材）时立即断弧，形成一个圆形焊点，停弧 1~2 s 后，再焊下一个焊点，逐渐焊好打底层，最后在打底层上采用通常电弧冷焊工艺施焊。

2. 电弧热焊法和半热焊法。当补焊区处于大型铸件的中心部位，四周刚性大，不能自由地热胀冷缩，焊补区易产生裂纹，应采用热焊法能有效防止热应力裂纹产生。

热焊法就是焊前将铸铁预热至 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ （呈暗红色），而且焊接过程中始终保持这个温度，焊后保温缓冷，此法只能采用铸铁芯或钢芯石墨化铸铁焊条。

对于钢芯石墨化型铸铁焊条，由于石墨化能力强，可采用半热焊法。半热焊法就是将铸铁预热到 $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，采用长弧连续堆焊，使用较大电流，不锤击，焊后缓冷。其工艺

基本上与热焊法相同，只是预热温度低一些、劳动条件较好。

铸铁件不大时，可以整体预热。铸件尺寸较大，采用局部预热时，应正确规定局部预热面积和范围。当铸件刚性大时，局部预热范围较小，可能产生不利作用，铸件预热时应均匀缓慢加热，防止加热不均匀引起铸件开裂。对于能够选出加热减应区的铸件，应将减应区同时加热，使补焊区在冷却过程中与减应区同时自由收缩，这样对防止铸件裂纹，效果更好。

四、球墨铸铁的补焊

球墨铸铁的焊接性能与灰口铸铁基本相似，白口和裂纹是焊接的主要问题。

由于球墨铸铁机械性能较高，通常用于重要场合。焊补时一般采用手工电弧焊，可采用同质焊条或异质焊条。同质焊条是指焊缝为球墨铸铁，如采用铸铁芯或钢芯石墨化铸铁焊条。异质焊条则是采用镍铁及高钒焊条，焊缝组织与母材不一致。

对于刚性不大的铸件可采用不预热大规范连续焊工艺。但刚性较大的铸件应预热 $400\sim 700^{\circ}\text{C}$ 或采用加热减应区法。补焊工艺为逐段连续多层堆焊，采用长弧、大电流焊接。为提高机械性能，焊后应进行退火处理。

五、可锻铸铁的补焊

可锻铸铁焊接时主要问题是白口。常用补焊方法有钎焊和电弧焊。

当采用钢芯石墨球化通用铸铁焊条焊接时，可以不预热，采用小电流、多层连续焊工艺。焊后焊缝可以加工。

当采用电弧冷焊时，焊条有 E4303 (J422)、E5016 (J506)、铸 116、不锈钢焊条等。采用如前所述的瞬间点焊法施焊，用不移动电弧点焊，熔敷满坡口底部以后，再用电弧冷焊工艺填满坡口。

第十章 手工电弧焊操作工艺技术

第一节 酸性和碱性焊条操作特点

酸性和碱性焊条由于药皮类型不同，从而决定了两者操作特点也不相同，差别如下：

1. 电源种类的不同。酸性焊条可采用交流或直流焊接电源，当采用交流焊机时，操作时易产生断弧现象；碱性焊条多用直流焊机，操作时易发生电弧偏吹现象。

2. 工艺性能差别。酸性焊条工艺性能较好，熔渣流动性和覆盖性好，脱渣容易，电弧稳定，飞溅小，焊缝外形美观，焊波细密、平滑。

碱性焊条工艺性能一般，熔渣流动性好而覆盖性较差，脱渣性较差，只有采用直流电源电弧才能稳定燃烧，电弧吹力较大，易产生咬边缺陷，焊缝易凸起，焊波粗糙。

3. 使用焊接电流的差别。在同等条件下，碱性焊条的焊接电流比酸性焊条小约 10%~15%。

4. 引弧、运条和收弧方法的差别。酸性焊条引弧时可采用划擦法或撞击法，而碱性焊条宜用划擦法引弧。

一般情况下，酸性焊条正常弧长约为焊条直径大小，而碱性焊条的正常弧长约为焊条直径的一半，属于短弧操作。

酸性焊条收弧时可采用反复断弧法、划圈收弧法或者回焊收弧法，而碱性焊条不能采用反复断弧法，常用回焊收弧法。

5. 熔池状态的差别及控制。平焊时，酸性焊条焊接的熔渣高出熔池表面 2~3 mm，熔渣反应激烈，呈黑白两色不断翻腾。熔池的铁水呈亮白色且不断波动，铁水波动是因为氧化还原反应产生的气体排出现象。

平焊时，碱性焊条焊接时熔渣高出熔池约 1 mm 左右，熔渣反应不激烈，呈黑红色且不太翻腾。熔池的铁水呈亮白色且平稳不太波动，如熔池铁水波动起泡，则说明焊件除锈不彻底或焊条未烘干等，焊缝很可能产生气孔缺陷。

第二节 单面焊双面成型操作技术

单面焊双面成型指在开坡口的焊件上单面施焊时获得双面成型的焊缝（即焊缝正面、背面均具有良好的内在和外观质量）。适于无法进行背面清根的工件（如管子对接焊缝），单面焊双面成型操作方法难度较大，要求操作人员具有熟练的操作技能。

一、单面焊双面成型的分类

1. 按焊接工艺方法分为。

(1) 连续电弧焊（连弧焊）。

(2) 间断灭弧焊（灭弧焊）。

2. 按电弧熔化坡口根部的机理分。

(1) 击穿焊法。

(2) 不击穿焊法（渗透焊法）。指坡口间隙小，钝边大的情况下，焊接时电弧没有穿透坡口根部，通过熔化的铁水渗透到背面。它容易使接头在半熔化状态下连接在一起，甚至形成“冷接”，产生根部未熔合缺陷等。因此这种焊接方法在

实际工程上不用。

目前，工程焊接中广泛采用灭弧焊击穿焊法和连弧焊击穿焊法，它依靠电弧的穿透能力直接熔透坡口根部，焊条熔化的熔滴金属与焊口根部熔化金属共同组成熔池，最后结晶形成焊缝。

二、灭弧焊的操作技术

灭弧焊是通过调节电弧的燃烧和熄灭时间以及运条动作，来控制熔池形状、熔池温度，实现单面焊双面成型。

1. 灭弧焊的特点。

(1) 对焊接工艺参数要求较低，焊接电流变化对接头质量影响不敏感。

(2) 容易控制熔池状态，接头质量可靠。

(3) 装配质量要求低，生产中适用性大。

(4) 缺点是熔池气体保护性差，易产生气孔，生产效率低。

2. 灭弧焊的操作要领。先在焊件始焊端前方 10~15 mm 处的坡口面上引燃电弧，然后将电弧移至始焊处稍加横向摆动时对焊件预热 1~2 s，当坡口根部两侧钝边产生“汗珠”时，立即压低电弧，约 1~2 s 后，可听到电弧穿透坡口发出的“噗喇”声响，此时已打开熔

孔，快速灭弧。参看图 10-1 当熔池金属尚未完全凝固处于半熔化状态时，再次将焊条对准熔池 II 区，使之自然引弧，电弧引燃后，对熔池 I 区和熔池前沿根部预

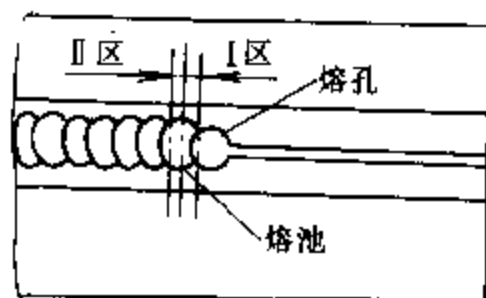


图 10-1 灭弧焊

热 1~2 s, 压低电弧, 击穿焊件根部, 当听到“噗喇”声响后, 应快速使电弧带着熔滴透过熔孔, 此时快速抬起灭弧, 稍有迟缓, 可能造成烧穿缺陷。依上述方法连续施焊, 即可实现单面焊双面成型焊接。

灭弧焊过程中, 灭弧位置不能在熔池前方, 而应将电弧抬起回焊 10~15 mm 熄弧, 动作要干净利索, 每次熔池形状保持一致, 从而保证打底焊道背面宽度和高度一致。

灭弧焊的频率应根据坡口的钝边、间隙来确定, 一般为 60~80 次/min。各种位置灭弧焊的焊条倾角见图 10-2。

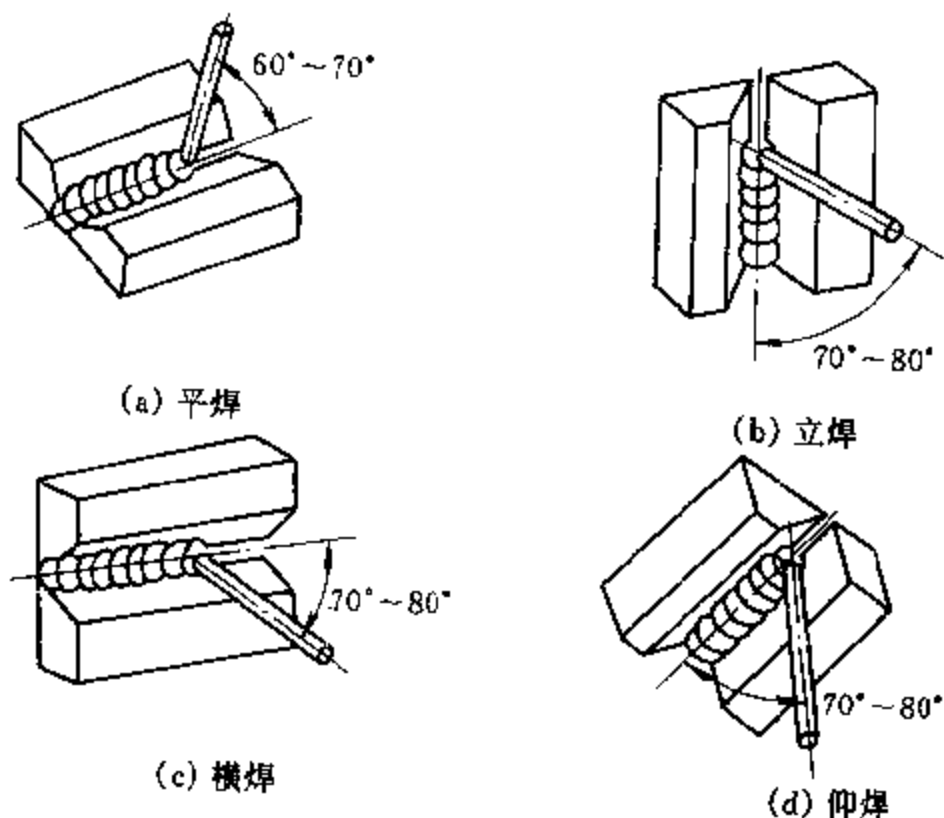


图 10-2 各种位置灭弧焊时焊条倾角

三、连弧焊的操作技术

连弧焊是通过连续短弧焊接实现单面焊双面成型。

度，为了保证焊透，减小变形和便于操作，常在焊件上开出各种形状与尺寸的坡口，这些都要求焊工采取相应的操作技术，以保证获得优良的焊接质量。

手工电弧焊按焊缝的位置可分为平焊、立焊、横焊和仰焊。对于不同位置的焊缝应采取相应的操作技术，本节主要介绍各种位置的焊接操作技术特点。

一、平 焊

焊缝处于水平位置，或工件稍带倾斜，这种位置的焊接叫做平焊。平焊时熔滴金属靠重力落入熔池，熔池中的渣和铁木不易流失，因此，操作容易而且能保证焊缝质量。相比其它位置焊缝，可采用较大直径的焊条和焊接电流，使生产率大大提高。在实际生产中，经常将焊缝安排和平焊位置施焊，尽量避免其它位置的焊接。

平焊分为对接平焊和角焊两种。

1. 对接平焊。对接平焊是生产中应用最广泛的焊接方式，焊接时，根据焊件厚度，可分为不开坡口和开坡口两种。

当板厚小于 6 mm 时，可采用不开坡口，焊接正面焊缝时应使熔深达到工件厚度的 $2/3$ 左右，反面焊缝可用稍大的电流焊接。对于重要的焊缝，焊反面焊缝前，必须将焊根清理开槽，再用稍大些电流焊接。焊接时为了保证焊缝成型及搅拌熔池，焊条有一定的倾斜角度。见图 10-3。

当焊件厚度等于或大于 6 mm 时，应开坡口，通常采用多层焊。第一层焊缝应采用小直径焊条，运条方法根据间隙大小确定，间隙小时可用直线运条法，间隙大时可用直线往复式运条法，这样能保证焊透又能防止烧穿。待第二层焊接时，可采用较大直径焊条，并配以较大的电流，将第一层焊道中

的缺陷如气孔、夹渣熔化掉，运条方式采用直线运条法或小锯齿形运条法。以后各层焊接，采用锯齿形运条法，逐层摆动范围加宽，每层焊缝不应过厚，否则容易产生夹渣、层间未熔合等缺陷，每焊完一层焊道，要把表面的熔渣和飞溅清除干净，相邻焊层的接头相互错开，焊接方向相反，以保证焊缝质量和减小变形。焊最后一层焊道时，应适当降低电流，防止产生咬肉缺陷，运条要均匀，从而获得光滑美观的焊缝表层。



图 10-3 对接平焊的焊条角度

2. 角接平焊。角接平焊时经常产生咬边、未焊透等缺陷，施焊时应采取相应的焊条角度和运条方法。

角焊时当焊脚小于 6 mm 的焊缝，用直径 4~5 mm 焊条，用锯齿形或斜圆圈形运条法进行单道焊。当焊脚为 6~8 mm 时，采用多层焊，第一层用直径 4~5 mm 焊条，以直线形运条为宜；第二层用直径 5 mm 焊条，用斜圆圈形运条法。当焊脚大于 8 mm 时，宜用多层多道焊，在焊接第一道焊缝时，可用较大的电流，以得到较大的熔深，焊第二道焊缝时，由于焊件温度升高，应用较小的电流和较快的焊速，以防止上板边缘产生咬边缺陷。

焊条的角度根据焊件厚度的变化而调整，焊条角度应使电弧热主要集中在厚度较大的一侧，见图 10-4 所示。

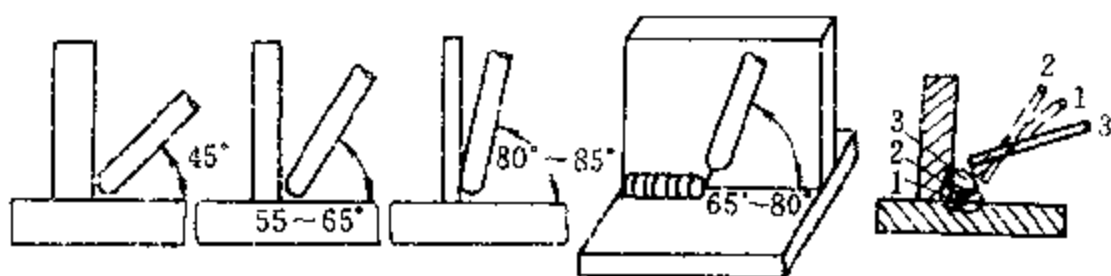


图 10-4 平角焊焊条角度

3. 船形焊。为了克服平角焊时易产生咬边和焊脚不均匀的缺陷，尽可能把焊件放在船形位置焊接，见图 10-5。采用船形焊，焊缝平整美观，且利于采用大直径焊条和大电流焊接，生产率高。运条时可采用月牙形或锯齿形方法。

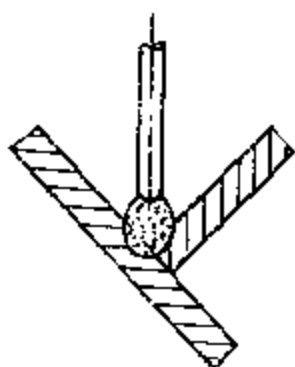


图 10-5 船形焊

二、立 焊

立焊是焊接垂直平面上垂直方向的焊缝，由于在重力作用下，焊条熔化所形成的熔滴及熔池中的熔化金属要向下淌，这样就使焊缝成型困难，操作难度增大。操作时可采取以下措施：选择小直径的焊条（直径 4 mm 以下），使用较小的焊接电流（比平对接焊小 10%~15%），这样熔池体积小，冷却凝固快，可避免液态金属下淌；采用短弧焊接，利用电弧吹力托住熔池金属，同时短弧也利于熔滴过渡；焊条与焊件成 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 夹角，电弧正对着焊件焊口处，如图 10-6 所示，这样电弧吹力能托住熔池金属，有利于焊缝成型。

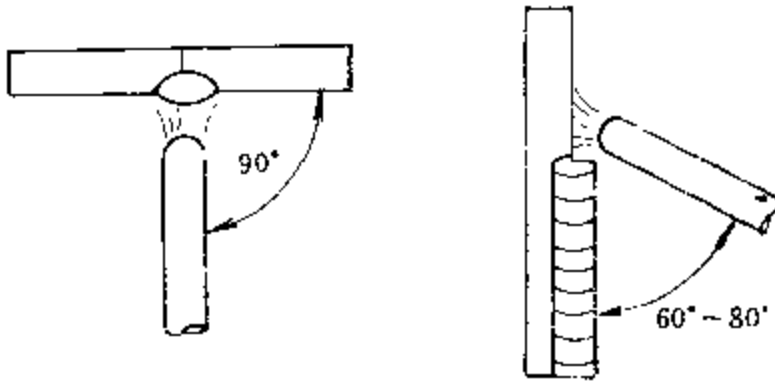


图 10-6 立对接焊焊条角度

生产中常用自下往上焊，另外可采用向下专用焊条进行自上往下焊。

1. 不开坡口立对接焊。薄板一般不开坡口，焊接时容易产生烧穿、咬肉和变形等缺陷，常采用跳弧法或灭弧法焊接。跳弧法就是当熔滴脱离焊条末端过渡到熔池后，立即将电弧向上提起，其长度不应超过 6 mm，当熔池凝固缩小到焊条直径 1~1.5 倍时，再向下压低电弧，在原熔池上引燃电弧，如此循环完成焊接过程。灭弧法操作与上节讲述相同，即引燃电弧完成一次熔滴过渡，立即熄灭电弧，当熔池凝固一段时间，待熔池金属尚未完全凝固处于半熔化状态时，再次引弧。

焊接过程要随时观察熔池形状，当有咬肉缺陷时，焊条可在咬肉部位稍微停一会，然后再抬起电弧，如发现熔化金属下淌，可能产生焊瘤等缺陷，应立即灭弧，让熔池降温冷却。对于严重成型不良的部位，应铲去重焊，也可用电弧吹掉后再向上焊接。

对接立焊的焊缝接头处易产生夹渣，焊缝凸起过高等缺陷，焊接时尽量减少接头，更换焊条要迅速，缩短更换焊条占用时间。当接头处熔池铁水与熔渣混在一起时，应稍微拉

长电弧，增加电弧预热时间，同时将焊条角度加大，与焊件成 90° 夹角，这样熔渣与铁水就会分离开，熔渣滚向下方。

2. 开坡口对接立焊。对于厚板，一般开坡口焊接，并采用多层多道焊，保证每层焊道熔合良好，宽窄高低均匀，避免出现中间高两侧低，甚至两侧形成尖角的现象，给清渣带来困难，而且会因成型不良而造成夹渣、未焊透等缺陷。

打底层焊接时，应选用直径较小的焊条和较小的焊接电流。对厚板可采用小三角形运条法，对中厚板或较薄板可采用小月牙形、锯齿形或跳弧焊法。运条时中间焊道快，两侧稍慢，防止中间焊道熔化金属下淌造成成型不良缺陷。

表面层的前一层焊缝焊接时，一方面要使各层焊缝凸凹不平的成型得到调整，为表层打好基础，另一方面，这层焊道一般应低于焊件表面 1 mm 左右，而且焊道中间应有些凹，以保证表层焊缝成型美观。

表层焊缝即多层焊的最外层焊缝，应满足焊缝外形尺寸的要求，运条方法可根据焊缝余高的不同加以选择，如要求余高稍大时，做月牙形摆动，如要求稍平时，焊条做锯齿形摆动。运条速度要均匀一致，当运条到两侧边缘时，要稍微压低电弧并稍做停留，这样有利于熔滴过渡和防止咬边。当运条到中间焊道应稍快些，以防止产生焊瘤。

3. 立角焊。立角焊是指T字接头焊件处于立焊位置时的焊接操作。立角焊时和对接立焊操作有许多相似之处，如用小直径焊条和短弧焊接等。立角焊时要注意以下几点：

(1) 焊条的位置：为了使两焊件能够均匀受热，保证熔深和提高效率，应注意焊条的位置和倾斜角度。如果所焊两块焊件厚度相同时，焊条与两焊件的夹角应左右相等，而焊条与焊缝中心线的夹角保持 $60^\circ\sim 80^\circ$ 。

(2) 熔化金属的控制：立角焊操作的关键是如何控制熔池金属，随时观察熔池金属冷却过程，焊条要按熔化金属的冷却情况有节奏地上下摆动。在立角焊过程中，当引弧后出现第一个熔池时，电弧应较快地抬高；当看到熔池瞬间冷却成一个暗红色时，将电弧下降到弧坑处，并使熔滴下落时与前面熔池重叠 $2/3$ ，然后电弧再抬高。应注意的是，如果前一个熔池尚未冷却到一定程度，就过急地送入焊条，会造成熔滴之间熔合不良；而焊条送入动作过慢时，会造成熔滴之间熔合不良。如果焊条放置的位置不正确，会使焊波脱节，影响焊缝美观和焊接质量。

(3) 焊条摆动：应根据不同的板厚和焊脚尺寸的要求选择适当的运条方法。对焊脚尺寸较小的焊缝，可采取直线往复形运条方法；对焊脚尺寸要求较大的，可采取月牙形、三角形、锯齿形等运条方式。为了避免出现咬边等缺陷，除选用合适的电流外，焊条在焊缝的两侧应稍停留片刻，使熔化金属能填满焊缝两侧边缘部分。焊条摆动宽度应不大于所要求的焊脚尺寸，如要求焊出 10 mm 宽的焊脚时，焊条摆动宽度范围应在 8 mm 以下，否则焊缝两侧不整齐。

(4) 局部间隙过大时的焊接方法：当遇到局部间隙超过焊条直径时，可预先采用下行焊的方法，使熔化金属把过大的间隙填满后，再进行正常焊接，这样做可提高工效，并大大减少金属的飞溅和电弧偏吹。对间隙过大的薄焊件，采取这种方法，还有减少变形的效果。

三、横 焊

横焊是焊件处于垂直而接口处于水平的焊接操作。横焊时，由于重力作用，熔化金属容易下淌而产生各种缺陷，因

此应采用短弧焊接，并且选用较小直径的焊条和较小的焊接电流，以及适当的运条方法，否则难以获得良好的焊缝成型。

1. 不开坡口的对接横焊。当板厚小于 6 mm 不开坡口横焊时，应采用双面焊接，正面焊时，焊条的直径宜用 3.2 mm 或 4 mm。焊条倾角为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ，并与下板成 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 的角度（如图 10-7）。

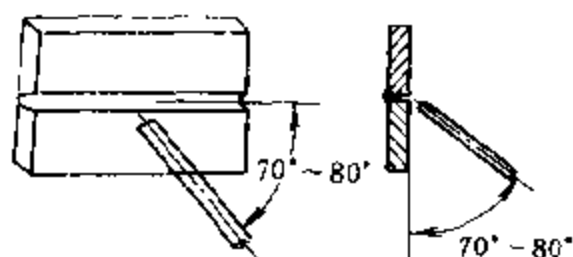


图 10-7 横焊焊条角度

焊件较薄，可用直线往复形运条法，这样可借焊条向前移动的机会，使熔池得到冷却，使熔池中的熔化金属有机会凝固，可以避免烧穿。焊件较厚时，可采用短弧直线形或小斜圆弧形运条法，以得到合适的熔深。焊接速度应稍快些，且要均匀，避免焊条的熔化金属过多地聚集在某一点上，形成焊瘤和焊缝上部咬边，而影响焊缝成型。

2. 开坡口的对接横焊。当焊件较厚时，一般可开 V 形、单 V 形或 K 形坡口，如图 10-8。坡口特点是下面焊件不开坡口或坡口角度小于上面的焊件，这样有助于避免熔池金属下淌，有利于焊缝成型。

开坡口对接横焊时，可采用多层或多层多道焊，其焊道排列如图 10-9 所示。焊接第一道焊缝时，应选用细焊条，一般为 3.2 mm 焊条，运条方法可根据接头的间隙大小来选择。间隙较大时，宜用直线往复形运条法焊接。第二道用直径 3.2

~4 mm 的焊条，采用斜圆圈形运条法焊接。

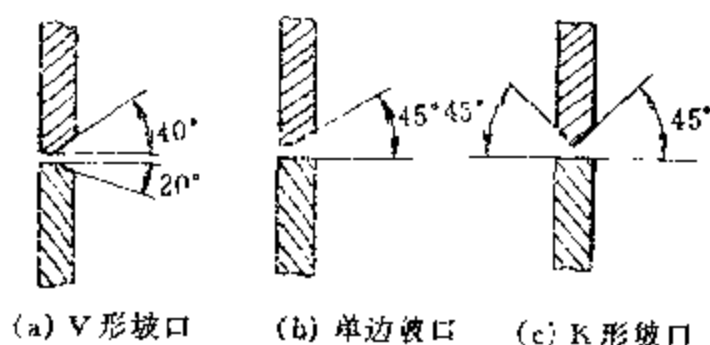


图 10-8 横焊接头的坡口型式

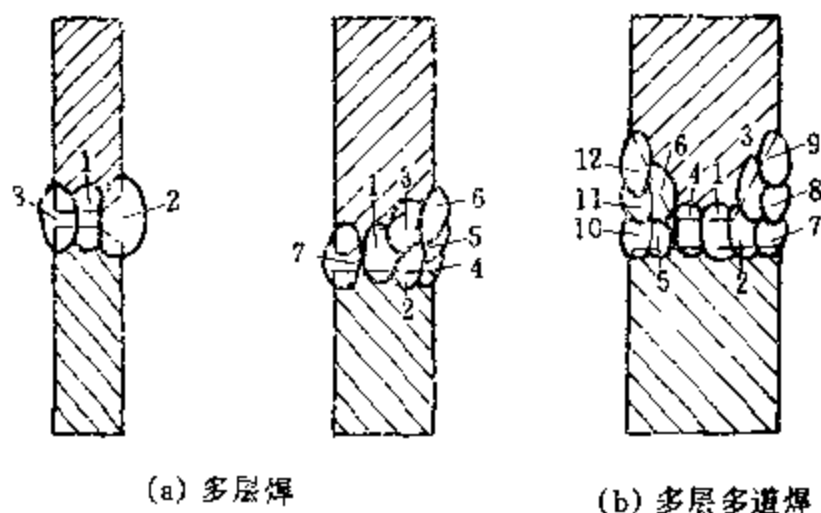


图 10-9 开坡口横焊焊道的排列顺序

在施焊过程中，应保持较短的电弧长度和均匀的焊接速度，为了更有效地防止焊缝表面咬边和下部产生熔化金属下淌现象，每个斜圆圈形与焊缝中心的斜度不得大于 45° ，如图 10-10。当焊条末端运到斜圆圈形上面时，电弧应更短，并稍停片刻，使较多的熔化金属过渡到焊缝上去。然后缓慢将电弧引到焊缝的下边，即原先电弧停留点的旁边。电弧就这样往复循环运动，才能有效地避免各种缺陷，使焊缝成型良好。

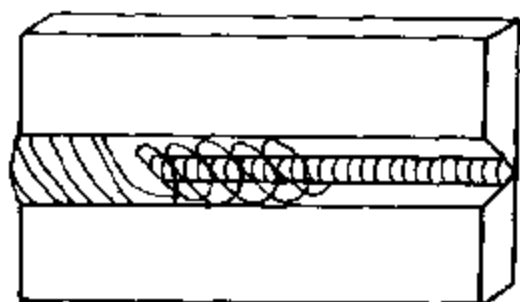


图 10-10 开坡口横焊时的斜圆圈运条法

当焊件厚度大于 8 mm 时,应采用多层多道焊,这样能更好地避免由于熔化金属下淌造成焊瘤,保证焊缝成型良好。运条方法用直线形,保持短弧和适当的焊接速度,同时焊条角度应根据各焊缝的位置来进行调节,如图 10-11,焊条直径可用 3.2~4 mm。

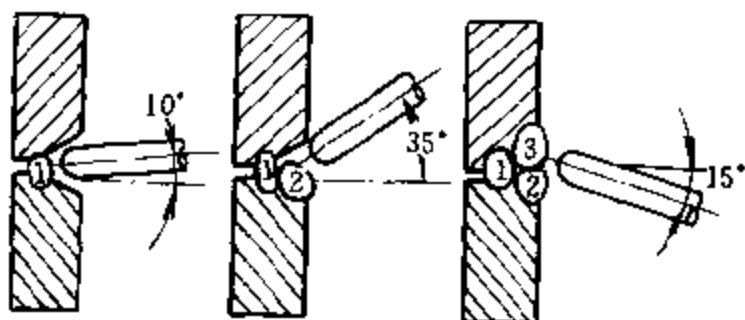


图 10-11 开坡口多层多道焊的焊条倾角

四、仰 焊

仰焊是几种焊接方式中最困难的一种。这是由于仰焊时熔池倒悬在焊件下面,使焊缝成型困难。同时在施焊中,常发生熔渣超前现象,所以在运条方面要比平焊、立焊更困难。

在仰焊时,必须注意尽可能维持短弧,使熔滴金属在很短的时间内由焊条过渡到熔池中去,促进焊缝成型。焊条直

径和焊接电流要比平焊时小，以便减小焊接熔池的面积，使焊缝容易成型。

当焊件的厚度为 4 mm 左右时，仰焊可采用不开坡口对接焊，焊条直径为 3.2 mm，焊条与焊缝两侧成 90° ；与焊接方向保持 $80^\circ\sim 90^\circ$ ，如图 10-12 所示。在整个施焊过程中，焊条要保持在上述位置均匀地运条。

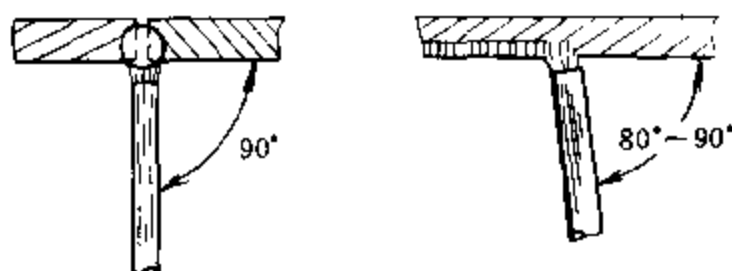


图 10-12 仰焊时焊条角度

运条方法可采用直线形式和直线往复形式。直线形式可用于焊接间隙小的接头，直线往复形式可用于焊接间隙稍大的接头。电流应选择得合适，但不宜过小，否则不能得到足够的熔深，并且电弧不稳，难以掌握，焊缝质量亦难以保证。

当焊件厚度大于 5 mm 时，对接仰焊均开坡口。对于开坡口对接仰焊的第一层焊缝，宜于直线形式或直线往复形式运条方法。焊缝表面要平直，不允许呈凸形。第二层以后均宜用锯齿形或月牙形运条方法。无论用哪种运条方法，进行仰焊时，均应形成较薄的焊道。

焊缝的排列顺序与其它位置焊缝的一样，如图 10-13。焊条的角度应根据每一道的位置做相应的调整，以有利于熔滴金属的过渡和能获得较好的焊缝成型为原则。

丁字接头的填角仰焊比对接坡口仰焊较易掌握，焊脚小于 6 mm 时，宜用单层焊；焊脚大于 6 mm，采用多层多道焊，

较易操作。焊条角度和焊道顺序如图 10-14 所示。为了提高生产率，如技术熟练，则可以使用较大直径的焊条和稍大的焊接电流。

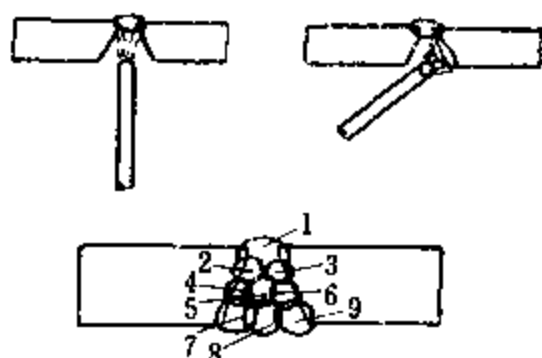


图 10-13 开坡口对接仰焊
多层多道焊法

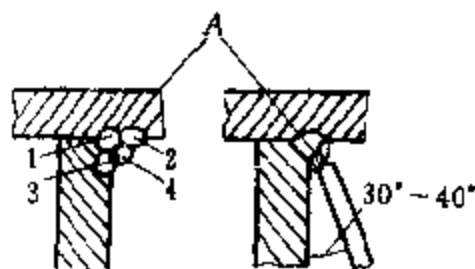


图 10-14 填角仰焊焊条角度
和焊道顺序

第四节 管道手工电弧焊操作技术

在安装工程中，各种工业管道的敷设，焊接是不可少的工序。由于使用场合和要求的不同，管道焊接是多种多样的，例如电线管、给排水管，各种介质的石油、化工用工业无缝钢管，锅炉用供热高温高压管，煤气、天然气输送管等，不同使用场合的管子焊接技术也不相同。管道焊接常用手工电弧焊、气焊、钨极氩弧焊等，而应用较为广泛的是手工电弧焊。

一、管道焊接焊前准备

1. 装配和组对。管道焊接的焊接质量优劣，很大程度上取决于装配组对的正确与否。坡口加工和组对间隙，直接影响焊接操作和焊接质量。坡口角度、钝边、间隙任一不合适

都会引起焊接操作难度加大和各种焊接缺陷。

由于管道使用中的特殊要求，管道厚度和材质，以及对焊缝质量要求等不同，管道焊接的坡口形式及尺寸各不相同，通常以 V 形坡口用得最多，还有用于高压管路的 U 形坡口，以及带有垫圈的 V 形坡口，如图 10-15。

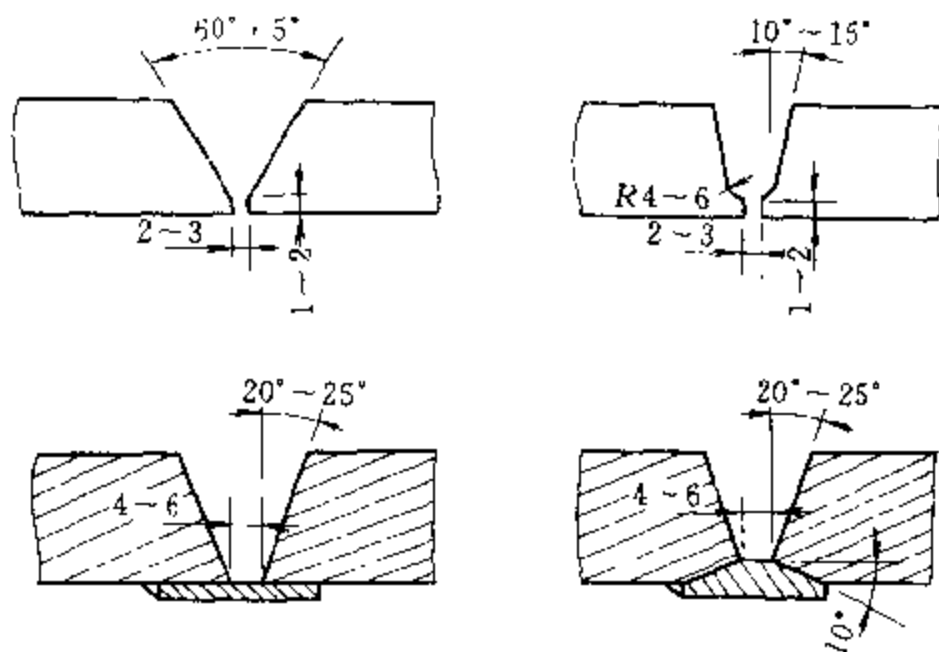


图 10-15 各种管道坡口形式

管道焊口两侧坡口应将油、锈、水分等清理干净，打磨露出金属光泽。

管道焊口组对时，应采用适用的卡具等，保证两管中心线在同一直线上。

2. 定位焊。管道焊接开始前，应校正装配位置，准备好焊接工具等后，进行点固焊。

由于点固焊缝最容易产生缺陷，对于重要管道的点固焊切不可轻视，往往因为点焊工艺不当，导致焊口报废或返修。

点固焊缝一般不少于 3 处，占固焊缝长度为 15~50 mm。由于点固焊缝一般留在焊口上，作为整个焊缝金属的组成部

分，要和正式施焊时同等看待，所用焊条、焊接规范等必须认真选定。高压管道的点固焊，一般最好由负责施焊该焊口的焊工自己去焊，点固焊后认真检查，如发现有裂纹、未焊透、夹渣、气孔等缺陷，必须修整或铲掉重焊。为了保证焊接时点固缝和正式焊接焊缝接头处能够焊透熔合良好，应将点固焊缝两端修磨成缓坡。

二、水平转动管的焊接操作技术

管道焊接时，如条件许可，尽量采用水平转动焊接。这种焊接操作方法比较容易掌握，焊接质量易于保证。

第一层焊道采用单面焊双面成型操作方法施焊，焊接时管子的转动速度与焊接速度必须一致，焊接位置可选在立焊位置焊接或在斜立焊位置焊接，见图 11-16 (a)。在立焊位置焊接时，能保证根部很好熔合与焊透，铁水和熔渣很好的分离，特别适于对口间隙小时；在斜立焊位置焊接时，除了具有上述立焊位置优点外，还具有平焊位置操作方便的优点。

填充和盖面层的焊道焊接位置和焊条倾角如图 10-16 (b、c) 所示。在近于最高点的上坡位置施焊，熔渣和铁水能很好分离。图 10-16(c) 中，组对间隙合适时 α 取 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ；组对间隙较小时 α 取 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ；组对间隙较大时 α 取 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。

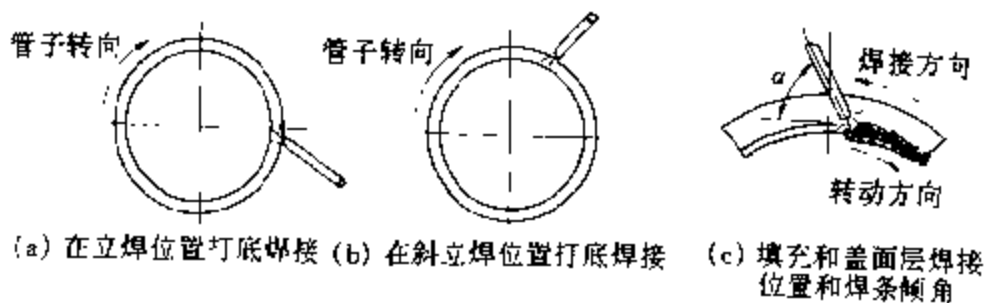


图 10-16 转动管子焊接位置及焊条倾角

焊接根部焊道时，可采用连弧焊或灭弧焊。运条做横向小幅摆动，中间快、两侧慢，焊条不做向前运条动作，而是管子向后转动。

三、水平固定管（吊管）的焊接操作技术

水平固定管焊接空间位置有仰焊、下爬坡、立焊、上爬坡和平焊几部分，也称为全位置焊接。

1. 水平固定管的焊接特点。

(1) 管件空间焊接位置沿环形不断地变化，焊接时，焊条的运条角度和施焊者姿势必须随时变化，因此操作比较困难。

(2) 由于第一层焊道采用单面焊双面成型操作，在仰焊、下爬坡部位铁水向下坠落，在上爬坡和平焊处铁水向管内流入，因此坡口根部常常产生缺陷。在仰焊处易产生根部不透和塌腰，在平焊处易产生焊瘤等。对于根部透度要求高，不允许有焊瘤和塌腰的焊口，施焊者需有高超的操作水平。

2. 水平固定管的操作工艺。

(1) 无衬垫 V 形坡口第一层焊接。组对装配时，考虑到后焊部位的对口间隙的收缩，对直径较大的管子，在平焊位置的组对间隙适当放大些，如图 10-17 所示。

第一层焊缝是整个管道焊接接头的基础焊缝，必须保证其质量。焊接时，将整个焊口圆周沿纵向轴线分成两个半圆，从仰焊部位开始，各自按仰焊、仰立焊、立焊、上爬坡焊及平焊顺序将半个圆周焊完。各个位置焊接的运条角度变化如图 10-18 所示。

焊接时从仰焊部位中心提前 10~20 mm（此值视管径大小而定，管径小者选下限）处开始引弧起焊，从坡口面引弧

至始焊处，用长弧预热，当坡口内有汗珠状铁水时，迅速压短电弧，熔穿坡口根部，当发出“噗喇”声响后，此时焊条熔滴进入间隙与基体金属熔合，再进行灭弧焊或连弧焊操作，并继续向前施焊。在焊前半圈时，应在水平位最高点过去10~20 mm处熄弧，并在起焊处与熄弧处的两端焊出缓坡。

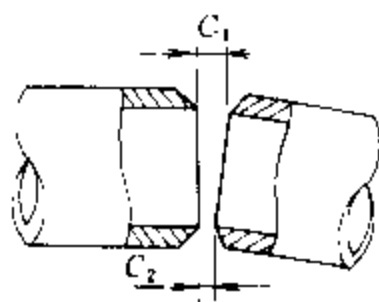


图 10-17 V形坡口组对装配

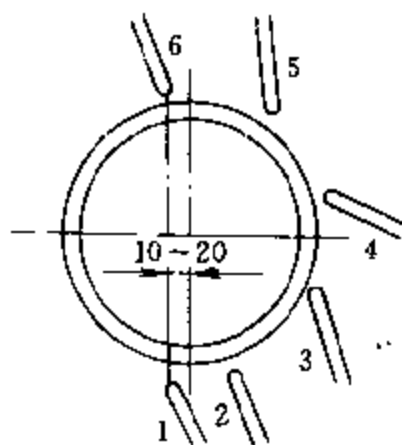


图 10-18 分半圆运条角度

在仰焊和仰立焊位置，电弧最好半作用于熔池，半作用于坡口钝边，使焊缝根部熔透。在上爬坡焊过渡到平焊部位时，使电弧顶着熔池（顶火焊）。在立焊位置，焊条角度向下倾斜成 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ，电弧指向熔池中心，用短弧焊接。

坡口角度，组对间隙较合适时，可采用连弧焊。当间隙大小不规则时，可采用灭弧焊法。第一层焊道焊缝厚度不宜大，否则会引起气孔、成型不良等缺陷。

为了保证接头处质量可靠，当运条至定位焊缝的相接处，或后半圈焊道与前半圈焊道的首尾相接处，应适当降低焊接速度，用电弧熔穿坡口根部，使其充分熔合。如定位焊缝的两端和前半圈的起焊端与收尾端未焊出缓坡时，应用砂轮、扁铲等工具将其修整成缓坡，以便与其接头。如采用酸性焊条

时，可用电弧将已焊焊缝的端头部位熔割去 10 mm 左右，使焊缝起点形成一条带有缓坡形状的割槽，有利于运条过渡前进，此种方法可以割去可能存在的缺陷。水平固定焊时，两半圈焊道接头状况如图 10-19 所示。

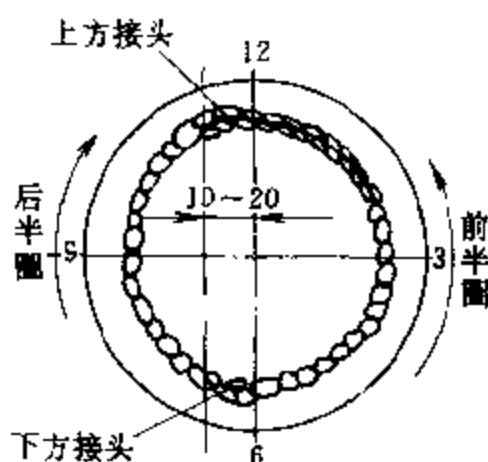


图 10-19 水平管两半圈焊道接头情况

(2) 带垫圈的 V 形坡口第一层焊接。带有垫圈的管道焊接焊缝，都用于高压管路，垫圈固定于焊缝根部，焊接时能确保焊缝根部熔合良好，而且管内壁清洁无焊渣。其焊接方法如下：

1) 单道焊：这种方法适用于组对间隙较小的垫圈，组对后用单道焊缝连接坡口两侧，开始焊接时，从坡口一侧引弧预热后，在坡口中间的垫圈上起焊，开始电弧不要压得太短，用直线运条法起焊 5~10 mm 后再压低电弧，此时焊条稍做横向摆动，电弧在坡口两侧停留时间要长些，中间移动快些，使坡口两侧充分熔合，同时避免电弧将垫圈烧穿。

带有垫圈的管壁厚度较大，可采用摆幅较小的月牙形运条方法焊接第一层，各个位置的焊条握持角度，前半圈焊道的引弧、收弧部位与无垫圈 V 形坡口焊接相同。

2) 双道焊及多道焊：这种方法适用于组对间隙较大的垫圈，组对后用双道焊缝或多道焊缝连接坡口两侧。如图 10-20 所示。

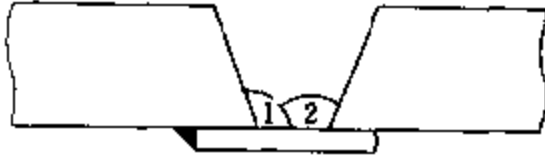


图 10-20 双道焊对口焊接方式

组对装配时，可以将两根管子和垫圈同时装配在一起，或者先将垫圈焊于坡口一侧，焊完一道焊缝清渣后，再把另一根管子装配到垫圈上。

运用双道或多道焊接第一层，可以防止由于局部热量集中而使垫圈烧穿，同时还可以防止产生根部裂缝。

(3) 水平固定管的填充层和盖面层焊接：管道焊接的第二层焊道或以后几层焊道，使用的电流要大些，这样可以把第一层焊道存在的缺陷熔化掉，并改善了焊缝金属组织，填充层焊缝要注意坡口两侧的熔合情况，防止在坡口两侧形成沟槽、夹渣、未熔合等缺陷。盖面层焊接要坡口填满，并有适当的余高和宽度，一般情况下，焊缝余高控制在 $0\sim 3\text{ mm}$ 以内，焊缝宽度为坡口边缘两侧各熔敷 $1\sim 2\text{ mm}$ 的宽度为宜。

固定管焊接时，各层接头应错开，采用焊条直径不超过 4 mm 为宜。焊条在各位置的握持角度，以及前半圈焊道的引弧、熄弧方法和部位，与无衬垫 V 形坡口第一层焊接相同。

在仰焊、立焊部位的运条速度和焊接速度要快，使形成厚度较薄并且内凹或平直形状的焊缝。平焊位置运条动作和焊接速度应缓慢，使焊缝形成凸起形状，如图 10-21 所示。



图 10-21 水平固定管盖面层焊前焊缝形式

盖面层的前一层，焊接时不应将坡口面边缘焊上或使电弧吹出凹坑，否则，在焊盖面层焊缝时，焊工无法保证焊缝的直线度及宽窄均匀性。

当焊接重要的中碳钢管和合金钢管时，在盖面层焊道上堆焊一层退火焊道，可使焊缝得到退火作用，改善焊接接头的机械性能。退火焊道必须位于焊缝中心，与坡口边缘相距 3~4 mm，不要使之与基体金属相接触，如图 10-22 所示。

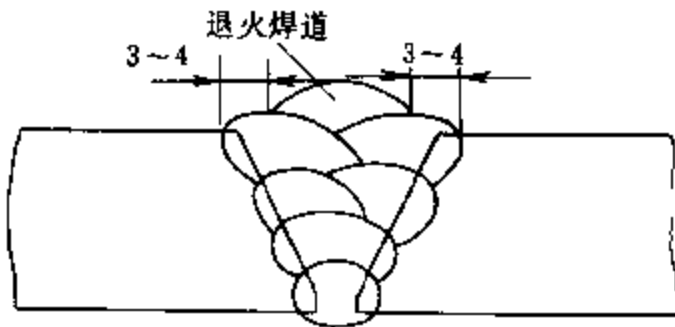


图 10-22 最后层退火焊道示意图

四、垂直固定管的焊接操作技术

1. 垂直固定管的焊接特点。

(1) 液态熔池金属因自重下坠，在坡口上侧会引起咬边缺陷；在坡口下侧易产生熔合不良、边缘未焊透等缺陷；熔池成型差，焊缝表面凹凸不平滑。

(2) 常采用多层多道焊施焊，易引起层间夹渣和层间熔合不良缺陷。

2. 无衬垫 V 形坡口垂直固定管焊接操作工艺。

(1) 第一层焊接：为了使熔渣与铁水分离，保证根部熔透良好，宜采用直线形或斜齿形的灭弧焊或者连弧焊运条，运条角度如图 10-23 所示。施焊时，从坡口面引弧至始焊处，用长弧预热，当坡口内有汗珠状铁水时，迅速压低电弧，熔穿坡口根部，当发出“噗喇”声响后，再进行灭弧焊或连弧焊操作。

(2) 填充层和盖面层焊接：多采用直线运条多层多道焊，在坡口内，由下而上逐道逐层敷置焊道，如图 10-24 所示。焊条与管子轴线夹角随焊道位置变化，上面焊道比下面焊道小。但焊条与管子切线的夹角与第一层相同，始终保持不变。运条到比较凸的焊波，焊速宜快一些，运条到比较凹的焊波应使焊速慢一些，以使焊道平整。当运条时熔渣覆盖熔池时，可将电弧稍抬高并向后运条，将熔渣吹向后方，与铁水分离。每焊完一层清理焊渣一次，焊道之间不清渣，以改善焊缝成型。

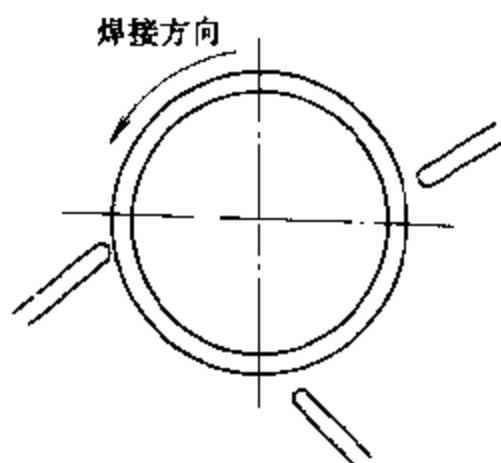


图 10-23 运条角度



图 10-24 多层焊顺序

五、倾斜固定管的焊接

这种管子是介于水平固定管和垂直固定管之间的一种焊接操作，如图 10-25 所示。根部焊接与水平固定管的焊接相同。多层焊时，当管子倾斜角大于 45° 时就运用垂直固定管的焊接方法（图 10-25 (a)）。当倾斜角小于 45° 时，可用水平固定管焊接方法（图 10-25 (b)）。

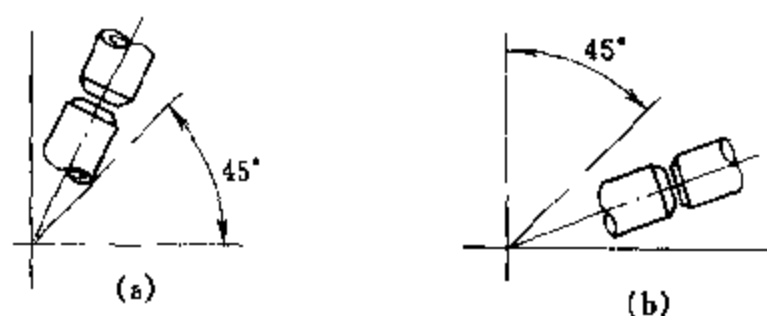


图 10-25 管子斜焊方式

对于倾斜的固定管子，焊接操作难度较大，相比其它位置，倾斜固定管难以获得美观的焊缝，尤其是接头处。其对口要求及点固焊与水平固定管的焊接相同。焊接操作打底层时，分两半焊接，因管子是倾斜的，铁水有从坡口上坠落趋势，施焊时焊条应偏于垂直位置。从仰焊部位起弧，采用灭弧焊或连弧焊法向前焊接。接头方法同水平固定管。多层焊时，仍分两半焊成，从仰焊部位起弧，运条方式与打底层相似，但可稍做水平方向的横向摆动，尤其是盖面层，运条方法是否合适是获得平整盖面层的关键，不论管子倾斜度大小，焊条总是保持与管子垂直，并在水平线上左右摆动，如图 10-26 所示，摆动到两侧时，要停留足够时间，使熔化金属

覆盖量增加，以防止出现咬边，但因横向摆动幅度较大，为了不使铁水下坠，焊条在坡口下侧的停留时间比上侧略长。

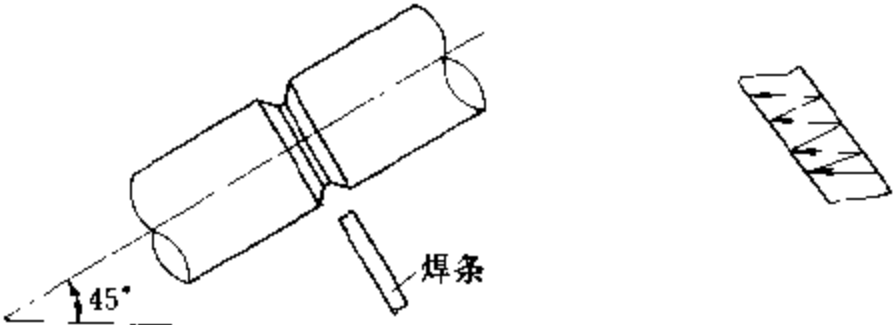


图 10-26 倾斜固定管焊条操作位置及运条方法

第十一章 工程焊接

第一节 焊接在工程产品中的应用

金属结构在我国国民经济的各个部门,例如石油化工、采矿钻探、重型机械、房屋建筑、航天航空等工业得到了广泛应用。各种金属结构是通过焊接、铆接、螺栓连接等方式而制成的结构。

相比铆接、铸造和锻造结构,焊接结构的发展较晚。它比铆接结构有较多的强度和刚度,结构重量较轻,而且施工简便,因此,在机器制造中,已基本上取代了铆接结构。起重、挖掘等大型设备、船体、车辆、锅炉和各种容器等现在都已采用焊接结构。

焊接结构大多用轧制的板材、型材和管材焊成,也可以用铸件、锻件组焊而成,给结构设计提供了很大的灵活性。它的壁厚可以相差很大,可按受力状况最合理地配置材料重量,结构内可以有不同材质,可按工作需要不同部位选用不同强度的耐磨、耐腐蚀、耐高温等性能的材料,它外形平整加工余量少,简化了铸锻件的结构,减少或完全省掉了木模和锻模的制造工时和费用,生产效率高,生产成本低。

尤其在石油化工、热力管道等安装工程中,焊接应用更加广泛。

第二节 焊接结构施工工艺流程的编制

由于焊接结构的大小、重量、繁简及工艺要求有所不同，所以焊接操作前应编制工艺流程，选择合理的设备、工装、焊接规范、焊接顺序等，从而指导焊接作业施工，保证焊接结构的制造质量。

一、编制内容

根据产品特点尽可能采用最合理科学的技术，主要内容如下：

1. 确定各零部件的加工方法、工艺规范和工艺措施（有时需要通过大量的工艺试验如可焊性试验、焊接工艺评定试验等来确定）。
2. 确定合理的生产过程和工艺路线。
3. 确定每一工序需用的生产设备和辅助设备（包括设备的规格和型号），如电焊机、工艺装备等。
4. 确定各工序需用的辅助材料（电焊条、焊剂、保护气体等）和各种等级的工人数量等。
5. 确定各工序及成品检查和验收的标准。

制定工艺过程内容的多少和详细程度，取决于产品的复杂程度和设计技术要求等。

二、编制步骤

1. 技术准备。首先是了解产品的用途、工作性质和生产性质。因为生产性质是决定工艺水平的主要依据。其次是仔细分析研究产品图纸。着重从以下五方面分析：（1）研究产

品结构的工艺性；(2) 审核产品图纸是否完整；(3) 分析产品的受力状况，明确各部件的重要性；(4) 研究产品的技术条件和特点。(5) 熟悉产品质量检验的要求。

2. 产品的工艺过程分析。在技术准备的基础上，根据图纸，研究产品结构工艺特点。对关键的零部件或工序应深入分析研究，同时要考虑生产性质、生产能力和技术条件等。

3. 制定工艺过程。制定工艺过程应完成下列内容：

(1) 确定产品的装配焊接顺序。对于复杂结构件，将产品分解为若干部件，分别制定各部件的装配焊接顺序和整体装配顺序。

(2) 确定各零部件在装配焊接过程中各工序的加工方法及相应的工艺措施。

(3) 确定所必需的装配、焊接和备料等生产设备的名称、规格和型号，对非标准设备也应提出技术要求。

(4) 一般情况下应编制装配焊接工艺卡，详细规定各生产工序的技术要求、工装、设备等。对于单件或小批量生产的工件，编制生产路线即可，来说明整个生产过程及简要的工艺措施。

第三节 一般焊接结构的焊接 工艺过程和顺序

制造一个焊接结构的产品，需要备料、装配、焊接、检验等工序。下面主要介绍备料工序和装配工序。

一、备 料

焊接结构的备料，一般指钢材复验、钢材矫正、放样号

料、下料切割、成型加工等工序。

1. 钢材复验。一般情况下，钢材的品种规格应符合国家标准或订货技术条件的规定，按钢厂的质量保证书来进行验收，如产品有特殊要求，可进行必要项目的抽查复验。

对于重要的焊接结构，如高温高压的锅炉、容器、管道等，所用钢材应经过严格的、全面的技术检验，才能确保结构安全使用。

2. 钢材矫正。钢材在轧制、运输或存放过程中，常会产生表面不平整、弯曲、扭曲等缺陷，如这些缺陷超出允许范围，必须矫正。钢材矫正方法有冷作矫正和加热矫正两种。冷作矫正的基本原理是借助外力作用使钢材的变形获得矫正，而加热矫正是对钢材先加热到一定温度再进行矫正。

3. 放样号料。

(1) 放样：放样是根据设计图纸，按构件的实际尺寸用几何作图的方法，把构件画在钢材或样台上，画放样图的过程称为放样。对于复杂结构的线型曲线，还须进行钣金展开。根据放样图制出的样板和样杆作为号料、下料工序的依据。制作新产品时，下料前进行放样还能检查图纸尺寸是否正确。

(2) 号料：用样板或样杆在钢材上划线叫号料。号料的方法主要有集中号料法和套料法，其目的是最大限度地提高钢材的利用率。

集中号料法是把相同厚度的钢板构件和相同规格的型钢构件，集中在一起号料的方法。采用该方法能够减少浪费，提高生产效率。

套料法就是把同厚度的各种不同形状的构件和同一形状的构件合理布置在一张板上（或一节型材上），做到充分利用材料。

4. 下料。焊接结构用料的剪裁工序称为下料。下料工序有气割、剪切、锯切、冲切等，这要根据钢材的厚度、外形和设备条件而选用。常用的下料方法是剪切和氧乙炔气割。

5. 成型加工。将下料切割所得到的构件毛料，采用人工或机械的工艺方法，使板材或型材加工成需要的形状，称为成型加工。常用的有滚弯、压弯、折弯等方法。根据构件的加热与否的情况，又可分为冷弯和热弯。常用的成型加工设备有卷板机、弯管机、折方机和压力机等。

二、焊接结构的装配

任何焊接结构都是由许多零部件组成的，将各个已加工好的部件，按一定的技术条件，通过装配及焊接的方法联接成整体，这个过程称为装配焊接过程。焊接结构都是先装配后焊接，所以装配质量的好坏决定了产品质量。对装配工序的要求是：保证装配的正确性，符合图纸尺寸；装配定位后构件不得发生移动、倾斜和扭转；同时应满足焊接工艺的要求。

1. 焊接结构的装配方法。常用的装配方法有：画线装配法、仿形装配法、胎架装配法以及平放装配法等。这些方法往往是联合应用的。

画线装配法有两种：一种是在装配平台上按结构的实际尺寸画线，也称为地样装配法；第二种是在构件上画出有关联接件的接合线，称为接合线装配法。

仿形装配法主要用于对称的焊接结构，根据地样装配出第一个平面的结构，并予以固定，然后再用它作底样，在其上面进行复制装配。

胎架装配法主要用于表面形状较复杂，又不便于定位、夹

紧或大批量生产的焊接结构。使用符合结构形状或轮廓的一种专用胎具来装配，装配质量和生产效率高。

平放装配法就是把立置的结构平放在地上进行装配，然后再在安装的地点矗立的方法。细而长的圆筒形结构常采用该法装配。

2. 焊接结构装配的定位夹紧。构件装配位置确定后，采用装配夹具，以使构件牢固地定位，这些方法称为定位夹紧。构件装配过程中，应确定可靠合理的定位夹紧方式，应有利于减少焊接应力和变形。为了控制和减少某一个方向的焊接变形，就应刚性地夹牢，为了减少焊接应力，在某个方向上应允许焊件位移，这就无需刚性夹紧。

装配夹具主要用来确保被装配产品获得准确的形状和尺寸。一般在构件夹紧后，采用定位焊方法加以固定，然后可拆除装配夹具。因产品制造工艺、产品结构和生产条件等因素的不同，可采用装配夹具和焊接夹具合为一体的夹具，也可分开采用装配夹具和焊接夹具。焊接夹具主要是使工件翻转（或回转），以获得理想的焊接位置，如生产中常将焊缝设计在平焊位置施焊，尽量避免立焊和仰焊，以降低焊接操作难度，提高焊缝质量。

3. 焊接结构的装焊过程。对于小型、简单的焊接结构，可以一次装配完成，然后进行焊接。而对于大型的、复杂的焊接结构，常将整体结构分部件装配、焊接，一般可分为以下三个阶段进行装焊：

(1) 部件装焊：就是把下料或成型加工好的构件装配焊接成部件的过程。部件结构简单，零件少。

(2) 分段装焊：就是把各个部件组合装配焊接成一个较大部件的过程。分段装焊成的部件结构要复杂一点。

(3) 总体装焊：就是将分段组合装配焊接形成整体结构的过程。总装时要确定总装方案和工艺措施。

大型结构分阶段装焊，能够确保各部件的装焊质量，有利于施工和吊运等。

第四节 焊缝位置的选择与对口要求

一、焊缝位置的选择

由于焊接接头不可避免存在焊接缺陷，同时产生残余应力和残余变形，因此焊缝是焊接结构中的薄弱区。对于重要的焊接结构，焊缝位置应尽量避免避开结构受力状况复杂的区域，在结构主要承力部位尽量避免布置焊缝。在重要的焊接工程结构中，焊缝位置一般都在图样或技术文件中标明，但在现场安装中，由于安装现场情况复杂，许多焊口需要根据现场空间来确定位置，如不恰当的布置焊口，会给结构使用带来隐患，或者引起施焊操作困难等问题。

焊缝位置的确定一般考虑以下几方面：

1. 避免应力集中。焊件结构尺寸突变的部位是应力集中区，焊缝的位置应避开这个应力集中区，否则，焊接应力与集中应力叠加，造成焊接接头处应力集中水平加剧，严重者可导致较大的变形或者焊缝开裂事故。

实际施工过程中，焊缝位置不能随便确定，要充分考虑结构受力状况。在受力状况复杂、应力集中的部位避免设置焊口。例如，承压管道焊口要避开管子弯曲起点、支吊架边缘一定的距离（50~150 mm），相邻焊口至少有 150 mm 的距离；承压容器的筒体相邻纵缝距离要大于 3 倍板厚的距离，并且大于 100 mm；受压容器封头（管板）与筒节的环境中心线

到封头（管板）弯曲起点的距离不少于壁厚加 15 mm，一般为 25~50 mm；容器筒体上的管座焊缝一般情况不允许布置在立焊缝及其热影响区；避免十字交叉焊缝。

2. 方便焊接操作和施工。焊缝的布置要方便焊工操作，减少高空作业的焊口，避免障碍物多的焊口，尽量采用平焊焊口，避免仰、立、横焊焊口。在实际施工中，应根据具体情况合理设置，方便施工作业。

对于少量的安装焊口，在焊接操作无法进行施工或者无法保证质量的情况下，可以增加焊口数量，重新设置焊口位置及空间，方便施工。

3. 选择对接接头，避免角接接头。由于对接接头的力学性能较角接接头好，应尽量将焊口设计成对接口。

二、对 口 要 求

焊口组对要求应符合设计图样和工艺规范等技术条件的规定，焊工不能随便更改接头形式、坡口形状和尺寸、焊缝位置等。对于承受压力的管道、容器或重要的结构，焊前组对质量直接影响焊接接头的质量，焊工应引起足够的重视。

焊口组对是焊前的一道重要工序，一般应注意以下几点：

1. 焊前应将焊口两侧表面及坡口处认真清理油、锈等杂质，在焊缝两侧 10~20 mm 范围内打磨露出金属光泽，对于重要的不锈钢、有色金属等焊前还应进行化学清理。

2. 同厚度的对接焊口，应保证焊件内外表面平齐，错边量一般不超过板厚的 15%。对于不等厚度焊件，组对前将较厚的焊件削薄与较薄的焊件同厚，削薄斜度比为 1:4。

3. 对接管口的端面应与管子中心线垂直，其端面斜度不得大于管子外径的 1%，最大不得超过 2 mm。

4. 按技术文件要求保证坡口形状和尺寸要求,坡口间隙不能过大,也不能过小;严禁在坡口内填充焊丝、钢筋等异物。更不能用热胀伸长法缩小间隙。

5. 避免强力组对,尽量减少焊口的附加外应力,降低开裂倾向。

第五节 常见结构焊接

在日常工程施工中,会遇到各种各样的焊接结构,由于设计要求、结构特点和生产条件的不同,应采用相适应的焊接工艺,综合考虑以上因素,确定最经济合理的制造工艺方案。下面介绍几种常见工程焊接结构的工艺特点。

一、金属结构的焊接

常见的金属结构有梁、柱、钢架等。其一般用型材和板材等组焊而成。由于其受力情况复杂,对各焊接连接节点的布置和焊缝应给予重视,如节点布置不合理,易引起结构安全性大大降低;如组焊方法不当,产生较大的焊接残余应力和变形,将大大降低结构的承载能力,甚至发生结构断裂的恶性事故。

1. 梁的焊接。最常见的梁是如图 11-1 所示的工字梁,这种梁焊接的主要问题是变形。为了防止上下两个翼板产生角变形,应先对翼板 1 和 2 加以反变形,如图 11-2 (a) 所示。四条角焊缝焊接顺序见图 11-2 (b) 所示。焊接每条角焊缝时采用分

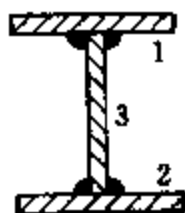


图 11-1 工字梁的焊接

段退焊法如图 11-2 (c)，采用这种方法，梁的变形最小。

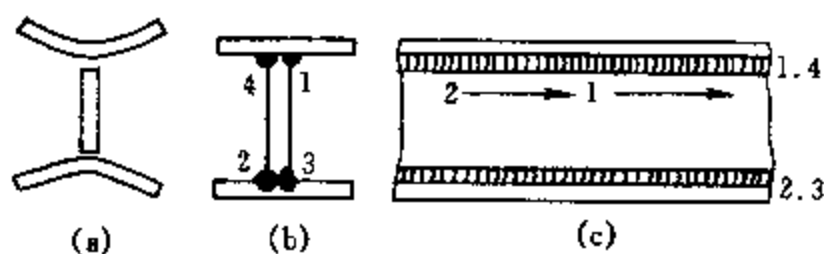


图 11-2 工字梁的焊接次序

2. 柱的焊接。

(1) 双工字钢柱的焊接。双工字钢柱是由两个工字钢和若干加强连接板组焊而成的，如图 11-3。先整体装配点焊在一起，然后焊接。焊接时先焊一侧加强板 1、3、5、7 等，翻过去再焊另一侧对应加强板 1'、3'、5'、7' 等。跳焊完后，翻过来焊正面的 2、4、6、8 加强板，再翻过去焊接反面的 2'、4'、6'、8' 加强板。加强板的跳焊也可间隔两块或三块等，这要根据加强板的多少而定。总之要求两面交错焊接，并且跳焊。

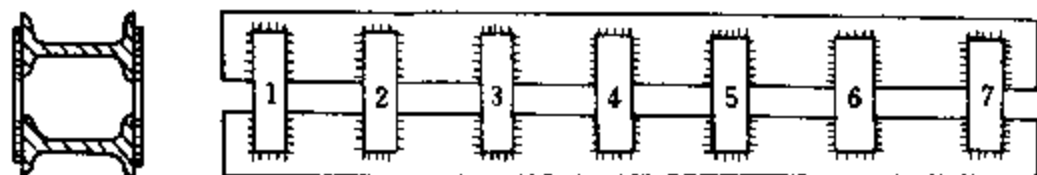


图 11-3 双工字钢柱体的焊接示意

(2) 十字形钢柱的焊接。十字形钢柱是由三块钢板拼焊而成的，如图 11-4 所示。先将板 I、II 与板 III 组对装配在一起，然后按图 11-4 (a) 所示的顺序进行焊接。每道角焊缝采用分段跳焊法，如图 11-4 (b)。焊缝长短视柱的长度而定。注意板 I 和板 II 的角焊缝是交错进行焊接的。为了减少变形，可采用强制固定法。

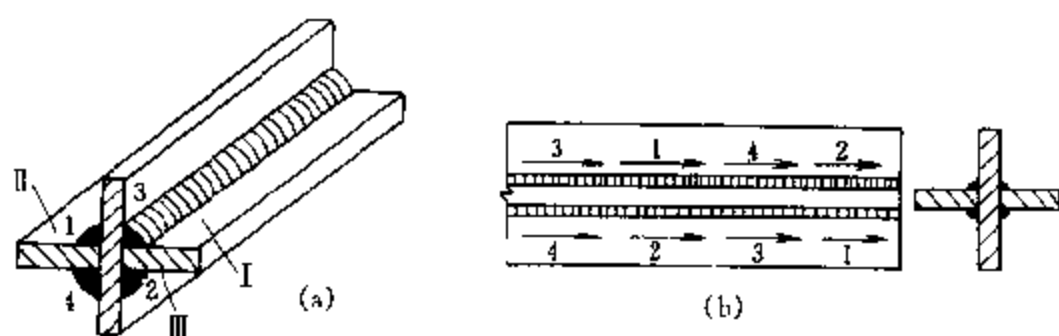


图 11-4 十字形钢柱的焊接顺序

3. 梁和柱对接。因梁和柱都是由型钢组焊而成，在组装制造梁（柱）前，应先将型钢拼接缝接头焊完。各类型钢（角钢、槽钢和工字钢）对接口的施焊顺序按图 11-5 所示。

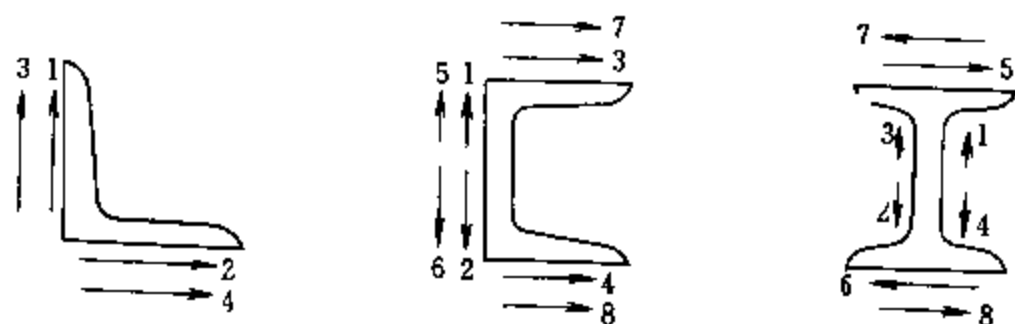


图 11-5 型钢对接施焊顺序

梁和柱对接焊口的施焊顺序可参照型钢焊口施焊顺序。当其接头有盖板（加强板）时，每块盖板焊缝宜用分段跳焊法（最好采用多层多道焊，减少应力和变形），如图 11 6 所示。

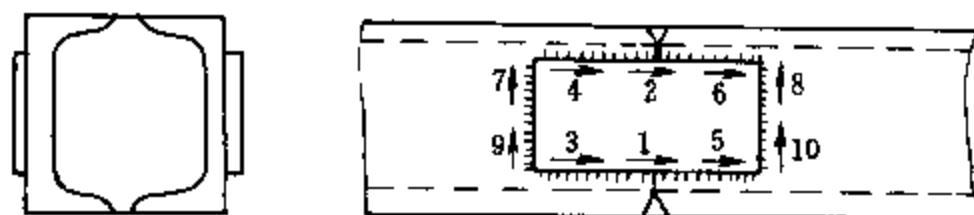


图 11-6 对接缝盖板的施焊顺序

4. 钢架的焊接。如图 11-7 所示钢架，所有焊缝应尽量采用平焊位置，最好是船形焊位置，焊接前各节点处均匀支撑、垫平，各节点焊接要分散，以上下左右对称跳焊各焊缝，如图 11-7 所示的焊接顺序①、②、③……。

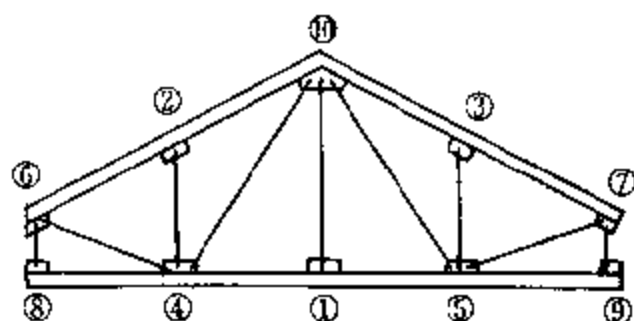


图 11-7 钢架焊接顺序

由于节点焊缝密集，应力较大，因此应采取分散应力的焊法，如图 11-8 所示，先焊主弦杆与节点板的焊缝 1 和 2，再焊直立杆与节点板的焊缝 3 和 4，最后焊斜拉杆与节点板的焊缝 5、6、7 和 8，对于较长焊缝 1 和 2，宜从中间向两端施焊。节点板与杆件的横向焊缝不能焊。

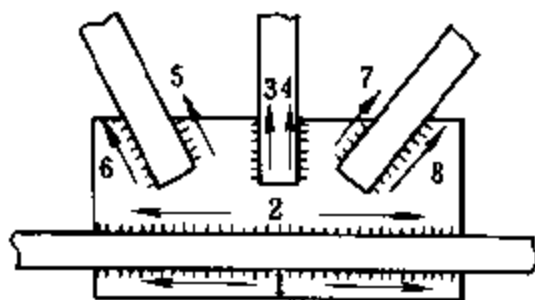


图 11-8 钢架节点④的焊接

所有焊缝不能一次焊成，均先焊第一层，待一侧全部焊缝第一层焊完，翻转构件，再焊另一侧第一层焊道。第一层焊完后，即对构件整体变形进行测量，如变形量小，可续焊

其余各层焊缝；如变形量较大，应及时采取措施予以消除。

也可采用多人对称焊，其优点为效率高，施焊时不需翻转构件，但施焊位置较难。

二、立式油罐的焊接

1. 立式油罐结构及其焊接特点。立式油罐由罐底、罐壁和顶盖三部分组成，各部分是用钢板拼焊的，如图 11-9 所示。图中 I 为顶盖，II 为罐壁，III 为罐底。罐底与罐壁之间由双面角焊缝连接，此处负荷最大，焊脚尺寸也大，焊后产生的收缩应力比较大。为防止罐体失稳变形，应使罐底的环缝收缩不牵连到罐底的主体上，处于自由状态。

2. 安装顺序。对于小型油罐采用展开安装法，对展型油罐常采用倒装法进行制作与安装，倒装法具有运输方便、减少吊装设备、安装速度快等优点，目前应用很普遍。

下面介绍倒装法的制作安装顺序。倒装法就是先从顶盖开始制作，接着按从上到下顺序组对罐壁筒节，最后焊接罐底板与罐壁筒体的连接焊缝。

(1) 罐顶的焊接。罐顶一般是由许多块瓜瓣形钢板拼焊而成的锥形体，如图 11-10。为了减少焊接变形，必须采取合理的焊接顺序。图 11-10 所示的罐顶有 12 块瓜瓣板，可由四名或六名焊工按对称位置同时焊接，即 1、4、7、10 或 1、3、5、7、9、11 道焊缝同时进行逆向退焊，然后，再对 2、5、8、11 或 2、4、6、8、10、12 道焊缝进行焊接，退焊的方向自中心向四周。

(2) 罐壁的焊接。罐壁是由多圈钢板围成的，每圈钢板预先用多块弧形钢板对接拼焊而成。一般情况罐壁相邻圈的钢板搭接联接，其直径上小下大，便于自上而下进行组装。

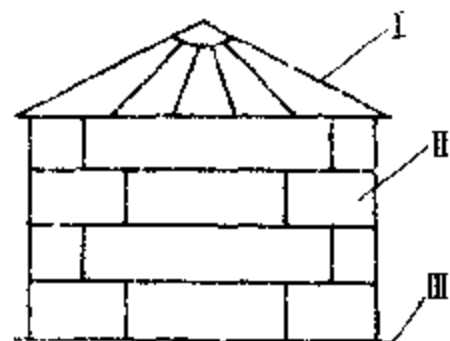


图 11-9 立式油罐

I - 顶盖； II - 罐壁； III - 罐底

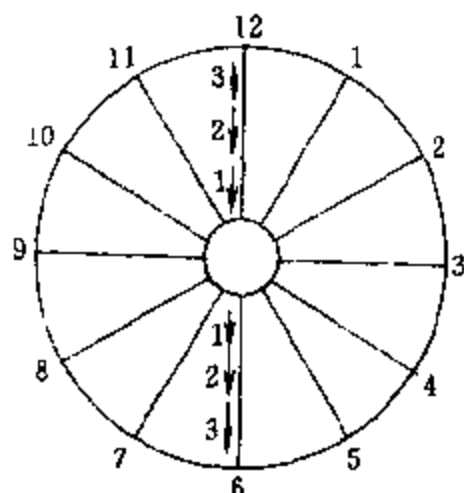


图 11-10 罐顶焊接顺序

先组焊第一圈罐壁与顶盖的连接环缝，即通常所说的腰缝，后组焊第二圈与第一圈的环缝……，依次焊完所有罐壁的连接焊缝，总的要求是先焊每圈的立焊缝，后焊环缝。其环形焊缝的施焊方法可按图 11-11 所示进行。罐壁与罐底的角焊缝应双面焊接。

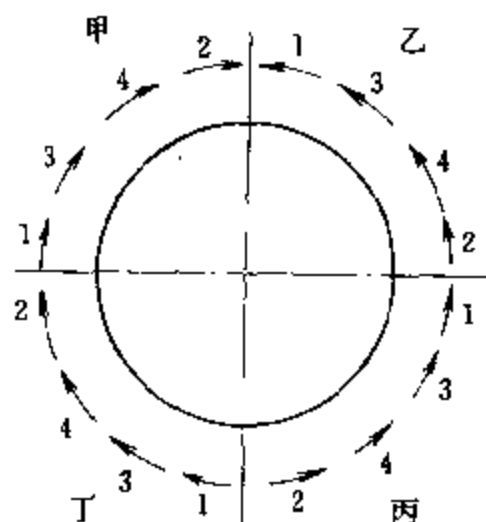


图 11-11 四名焊工的环形焊缝的施焊方法

(3) 罐底板的焊接。油罐底板由许多钢板拼焊而成，采用搭接焊缝。根据排板方式不同，可分为有围边及无围边两种，如图 11-12，图中 (a) 为有围边罐底，(b) 为无围边的罐底。

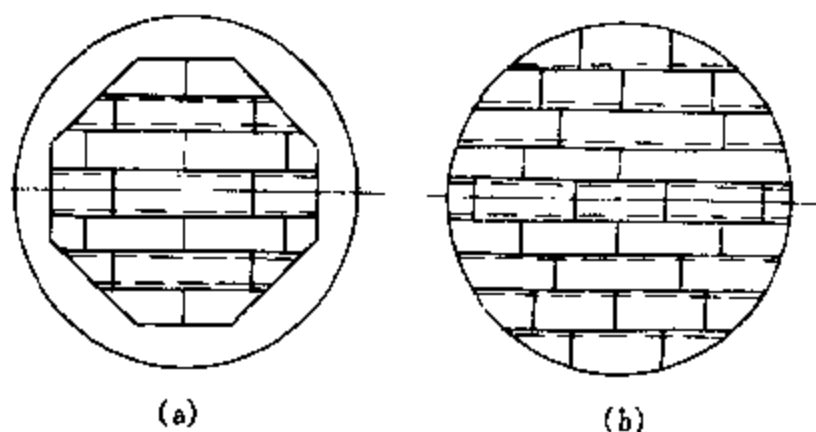


图 11-12 罐底结构

图中 (a) 罐底围边钢板之间的连接采用对接形式，图中 (b) 罐底与靠边缘的底板之间的连接，也是从搭接过渡到对接，否则与罐壁的连接是不能焊接的。边板的连接采用对接焊缝，以使底板罐壁的环形接触平整。由中部板的搭接过渡到边板的对接，其做法是：将其中一块钢板割成一搭接宽度的缺口，并将切口边缘下压，与另一块钢板对平即可。该焊缝暂不焊，待罐壁与边板环形角焊缝焊接之后焊接，这样做可以将角焊缝的收缩应力缓冲到边板上去。

焊接顺序是罐底焊接变形大小的关键。先将所有罐底钢板组对点焊好，根据焊缝数量，配备适当数量的焊工进行焊接。焊接时，先焊短焊缝（即纵缝）。为减小变形，最好采用逐步退焊法，然后焊接长焊缝，采用从中间起焊分段退焊。注意焊长焊缝时，焊到搭接转对接缝时，应留出暂不焊。

三、球罐的焊接

球罐在石油、化工等部门应用很广，这是因为它与圆筒形容器相比有显著的优点，结构受力均匀，能承受高压等。图 11-13 为球罐示意图。

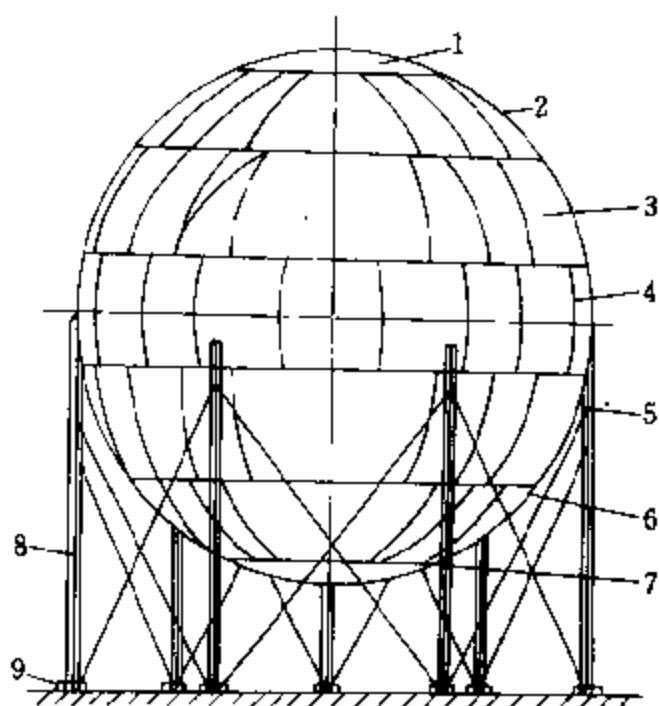


图 11-13 球罐示意图

1—北极；2—北极温带；3—北温带；4—赤道；5—南温带；
6—南极温带；7—南极；8—支柱；9—基础。

1. 球罐的结构。球罐主要由球壳板、支柱、底座、基础、平台扶梯等部分组成。球壳共分为七个带，即北极、北极温带、北温带、赤道、南温带、南极温带和南极。每带由许多块球瓣组成。

2. 球罐组装。球壳的组装方案主要取决于起重设备的能力、运输条件和焊接方法。

对于中小直径球罐常采用“环带组装法”，即把球瓣片分

别拼装焊接成南北极带、南北温带、赤道带等，然后把各带整圈组装成球。采取该法的优点是：减少高空作业，有利于焊工施焊，保证焊接质量。

对大直径的球罐，采取成带组装与大片散装相结合，现场整装焊接方法，即北极带、北温带、南极带、南温带成带组装，其余各带散装，这样有利于减少强力组装，减小组装应力。

3. 球罐焊接特点。球罐系大型焊接容器，球罐质量的优劣很大程度取决于焊接质量。

由于球壳板通常采用低合金钢，可焊性较低碳钢差，容易产生裂纹。球罐焊缝又长，以 $1\ 000\text{ m}^3$ 球罐为例，其焊缝长度超过 500 m ，因而，对球罐整个施焊过程必须严格控制，按工艺规程、规范进行，以确保工程质量。

焊接顺序安排原则是先焊相邻两带的立缝，后焊环缝。立缝、环缝焊接时一般先焊里侧。总之，一定要遵循对称、分段、反向、多层焊接的方法。由多名焊工同时、同速、同规范施焊。

在焊接时，第一层焊缝最关键，该层焊缝焊肉要薄，均匀熔透，杜绝气孔和裂纹的产生。

第十二章 焊接安全与卫生

第一节 概 述

一、焊接安全卫生防护的意义

焊接技术是现代化工业生产中一种重要的金属加工工艺，在冶金、造船、原子能、建筑、桥梁、化工和机械制造等工业部门得到广泛的应用。

焊接工作者在焊接施工中，要与各种易燃易爆气体、压力容器、焊接及电气设备等接触，焊接过程中又会产生有毒气体、有害粉尘、弧光辐射、高频电磁场、噪声和火花飞溅等。这些不安全和不卫生因素，在一定条件下会引起火灾、爆炸、烫伤、中毒、触电、高空坠落或职业危害等事故，导致死亡、工伤和经济损失，又能造成焊工尘肺、慢性中毒、血液疾症、电光性眼疾和皮肤病等职业病症。安全生产和卫生防护是关系到操作者的身体健康和生命财产安危的大事，党和国家对此极为重视，国务院“关于加强企业生产中安全工作的几项规定”和历次全国安全工作会议，对安全问题都有明确规定，要求一定做到安全生产，并把焊工列为特殊工种之一，且要求：“凡属特殊工种的工人，必须进行专门的安全操作技术教育，经考试合格后，才能准许他们操作。”

二、焊接安全卫生的一般要求

1. 提高对安全生产重要性的认识，了解有关安全的基础

知识，熟悉并掌握焊接施工的安全卫生、防护技术。

2. 加强安全教育。凡从事焊接生产的车间、班组，必须加强安全教育，制订切实可行的安全措施，并组织有关人员对工作定期进行检查。

3. 严格执行安全规程。焊接安全规程的内容很多，企业应根据各自的工作特点制订切实可行的安全操作规程。焊接一般安全操作规程应包括如下内容：

(1) 焊接施工时，必须穿戴好工作服、工作鞋（绝缘鞋）、工作帽、手套、眼镜等防护用品。

(2) 焊接施工前后，均应对作业现场及周围环境进行认真检查，确认没有可能引起火灾和爆炸的隐患时，方可进行作业或离开现场。

(3) 焊接车间、场地，必须配备完好的防火器材、通风装置和灭火防护措施。露天作业应采用挡风措施。风力超过5级时不准露天作业。

(4) 对带电或具有压力的容器、设备进行焊接作业时，事先必须切断电源或泄除压力，否则不得进行焊接。

(5) 采用安全灯照明时，一般情况行灯电压为36V，若潮湿环境或在金属容器内部进行施工，其行灯电压应为12V。

(6) 若在容器内施工，应由两名以上焊工轮换作业，随时注意容器内作业焊工的安全情况，遇有危险象征时，应立即采取保护措施。

第二节 手工电弧焊的安全与卫生

手工电弧焊时，由于明弧作业，且操作距电弧很近，对人体危害因素较多，所以，焊接施工过程中尤应注意安全与

防护。

一、电对人体的伤害及其防护

人体是电的导体之一，当人体与带电导体、漏电设备的外壳或其它带电物体接触时，均有可能对人体造成伤害。轻则导致对人体灼伤、电烙伤等伤害，重则使人体内部器官产生麻痹、痉挛，甚至刺激中枢神经系统而影响心脏正常功能，更严重者则导致死亡。

通常把 36 V 规定为安全电压，而在潮湿且触电危险性又较大的环境（如金属容器、管道内施工），安全电压规定为 12 V。而焊接设备的初级电压为 380 V 或 220 V，电弧焊机的次级空载电压一般在 60 V 以上，超过了安全电压。因此，焊工施焊作业时，必须注意防止触电事故的发生，并且要求做到：

1. 焊接作业前，应先检查焊机外壳接地或接零是否可靠，电缆接电是否良好，否则不得合闸作业。

2. 推拉电源闸刀开关时，应穿戴干燥皮手套且侧偏头部，以防面部被电火花灼伤。

3. 焊接作业时，切忌身体依靠被焊工件，尤其夏季易出汗使衣服潮湿的情况下。在金属容器内或狭窄工作场所施焊，应采用橡胶或其它绝缘衬垫，以保证人体与工件间的良好绝缘，并要求两人轮换作业，以相互照顾。更换焊条应戴好手套。使用手提行灯，应视工作条件不得超过 36 V 或 12 V。

4. 焊接电缆必须完整、绝缘可靠，其连线接头不得超过两个，且要求接头的包扎型式、绝缘程度应符合电气安全要求。作业时，要注意避免电弧高温、炽热焊缝金属或碾压等情况发生，以便保护电缆绝缘层。如发现电缆、焊钳有所损坏，必须立即进行检修或更换。

5. 焊接地线电缆与工件的连接必须可靠,严禁使用厂房的金属结构、管道、导轨或其它金属物体作为焊接回路导线。

6. 焊钳应有良好的绝缘和隔热能力,焊接完毕应将焊钳置于可靠地方后再切断电源,以免焊钳与工件间产生短路而烧毁焊接设备。

7. 焊接设备的安装、检修,须由电工切断电源后进行,焊工不得私自拆卸或检修。

8. 施工中有人触电时,不可用手直接拽拉触电者,应首先切断电源。如触电者处于昏迷状态,要立即施行人工呼吸,并尽快送往医院抢救,避免触电者因抢救不及时,失去抢救机会而死亡。

二、电弧光的伤害及其防护

焊接电弧是一种强烈的辐射源,其弧光由可见光和不可见光组成,不可见光包括红外线和紫外线。弧光辐射作用在人体上,被人体内组织吸收,通过热作用、光作用或电离作用后,可使人体组织发生急性或慢性损伤。弧光对人体的影响如下:

可见光:可使人感到耀眼、炫目,一般情况下由于眼睛本能的保护作用,其影响不大,但由于可见电弧光的强度比肉眼正常承受的光度大万倍,若较长时间受到照射,会使眼睛疼痛、视线模糊、流泪。

红外线:被人体吸收后,通过热作用而使人产生灼热感觉,长期作用会使人体温升高,引起头痛、眩晕、呕吐,眼睛受到强烈辐射后,会感到强烈的灼痛,产生闪光幻觉。长期接触可能造成红外线白内障,视力减退,形成早期老花眼,严重时可导致失明。

紫外线：适量的紫外线对人体健康有益，但焊接电弧产生的紫外线，由于比较强烈，所以，对人的皮肤和眼睛易造成损害。当皮肤受到紫外线辐射后，通过光化学作用而产生发痒、变红、触痛有烧灼感，以后变黑、脱皮；作用强烈时，还伴有头痛、头晕、易疲劳、神经兴奋、发烧、失眠等症状；当眼睛受紫外线过度照射后，会引起眼睛的急性角膜炎、结膜炎，称为电光性眼炎（俗称晃眼），使人感到疲乏、畏光、红肿、疼痛、流泪以及眼睑痉挛，甚至头痛和视线模糊等，如受长期作用，可严重破坏视网膜，造成视力下降，甚至失明。此外，弧光产生的紫外线辐射，对纤维也有很强的破坏能力，尤以棉织品最甚，可致使棉布工作服氧化、褪色、变质而易碎。

焊接施工时应注意弧光的防护，具体措施如下：

1. 焊接作业时，必须按有关规定穿戴好白色工作服、鞋、帽、手套和眼镜等防护用品，不允许卷起衣袖、敞开衣领或将上衣扎在裤内。

2. 焊接操作时必须使用适用、可靠且镶有特制滤光镜片的防护面罩。滤光镜片对可见光、红外线、紫外线应有良好的吸收或反射能力，并根据焊工视力和焊接电流的强度加以选择。

3. 为防止焊接弧光伤害他人，可在焊接作业场地周围设置具有耐火、隔热性能的防护屏风，操作引弧时要注意避闪周围人员。

4. 如发生因电弧光引起电光性眼炎，一般采用奶汁点治法、凉物敷盖法、凉水浸敷法和火烤治疗法进行治疗或去医院就诊。

三、有害物质对人体的影响及其防护

焊接过程中会产生一些有害气体、烟尘、金属蒸汽等有害物质，如在电弧高温作用下，电焊条产生的氧化铁、氧化锰、氟化物、二氧化钛、二氧化硅等烟尘，来自钢板表面涂层的氧化锌、氧化镉、丙烯醛、甲醛等有毒气体和各种金属粉尘，以及由于焊接电弧的紫外线辐射，使空气中氧、氮元素形成的一氧化氮、二氧化氮、氧转化成的臭氧和焊接过程中产生的一氧化碳等气体。这些气体、烟尘、金属蒸汽对人的有害作用如下：

1. 造成呼吸、神经系统损伤：可使人胸闷无力、喉咙嘶哑、咳嗽、厌食、头晕、头痛或有发烧感冒之感。

2. 尘肺：肺叶丧失弹性，纤维化，使人感到胸闷、气短、呼吸困难，并咳嗽多痰、心痛等。

3. 氟中毒：使人嗓痛、午夜发烧，第二天早晨烧退，但身感疲倦、无力，严重者可影响到骨骼。

4. 锰中毒：少量锰对人无害，但甚者可使人神经系统遭损伤，易失眠、性功能下降，月经失调、手脚易颤抖等。

5. 不锈钢烟尘中的铬、镍等元素有致癌倾向。

为有效防止有害物质对人体的伤害，应采取下列措施：

1. 焊接通风。焊接通风措施是消除焊接尘毒和改善劳动条件的有力措施。根据动力来源和通风范围的区别，焊接通风的方式分为自然通风和机械通风，根据通风的范围又分为局部通风和厂房全部通风。

如厂房具有标准的整体通风条件，创造出良好的作业环境，当然最为理想。但这无疑会使设备投资、管理费用甚至厂房造价加大，而且也未必能完全满足实际的焊接生产变化

的需要，如单件小批生产，容器、管道内施焊等。因此，目前多数工厂采取强化局部的机械通风，配以厂房自然整体通风和适量的机械通风。局部机械通风一般有送风和排气（又称抽风）两种方式。送风是采用电风扇直接吹散焊接烟尘和有毒气体的通风方法，这种方法只能暂时将焊接操作区的有害物质吹走，相反却污染了整个车间内的空气，因此，这种方法不宜在车间内采用。局部机械排气，是将所产生的有害物质用机械的力量由焊接区域排出，或将经过滤净化后的空气再送入焊接区域，此种方法使用效果良好，操作灵活方便，设备费用低廉，应用较为普遍。

局部机械排气措施繁多，常用的有：固定式、移动式和随机式三种。固定式排烟罩适用于焊接操作地点固定、工件较小的情况。设置这种排烟罩，应符合以下要求：排气途径合理，即有毒气体、粉尘等不经过操作者的呼吸地带，排出口的风速以 $1\sim 2\text{ m/s}$ 为宜；风量应该自行调节；排出管的出口高度必须高出作业厂房顶部 $1\sim 2\text{ m}$ 。可移式排烟罩，它具有可以根据焊接地点和操作位置的需要随意移动的特点，因而在密闭船舱、化工容器和管道内施焊或在大作业厂房非定点焊时，采用它效果良好。使用这种装置时，将吸风头置于电弧附近，开动风机，即能有效地把烟尘和有毒气体吸走。随机式排烟罩，特点是固定在自动焊头上或其附近，排风效果显著，一般使用微型风机或气力引射子为风源。

2. 个人防护措施。尽管作业环境良好，如果忽视个人防护，人体仍有受害危险，尤其在密闭容器及管道内作业，因此，加强个人的防护措施至关重要。一般个人防护措施除穿戴好工作服、鞋、帽、手套、眼镜、口罩和面罩等防护用品外，必要时可采用送风盔式面罩及防护口罩。

四、烫伤、火灾及其防护

焊接施工时，由于明弧作业而产生的焊接火花和熔化金属的飞溅，极易引起烫伤或火灾。为防止此类事故的发生，一般要采取下列措施：

1. 施焊时，应按有关规定穿戴好防护用品。若长时间进行仰焊操作，应穿皮革上衣或带皮套袖，并且不得将上衣扎在裤内或敞开领口。

2. 焊接作业场地不得存有木材、木屑、油脂或其它易燃、易爆物品。此类物质一般要离焊接现场 5~10 m，且需用防火材料遮盖。露天作业要采取防风措施。风力超过 5 级，不得焊接。

3. 高空焊接作业，要采取预防措施，注意防止焊接火花、熔化金属散落而灼伤他人或引起火灾。

第三节 埋弧焊的安全与卫生

埋弧焊的安全技术与手工电弧焊基本相同，但由于埋弧焊设备较为复杂，所以要求埋弧焊焊工除掌握手工电弧焊的安全技术外，还应注意以下几点：

1. 操作前检查所用设备的接地线是否可靠，导线连接有否松动，绝缘是否良好，以及控制箱外壳、接线板护罩是否盖好等，如有异常，应立即进行调整、检修或更换，否则不得使用。

2. 埋弧焊剂使用前必须进行必要的筛选与烘干，避免焊接过程中因杂物的混入而引起焊接质量事故和对人体的伤害。使用过程中，要注意防止焊剂的中断送给，以免因弧光

闪露而引起电光性眼炎。

3. 敲除焊渣时必须配戴防护眼镜，以防渣粒伤害眼睛。

4. 在埋弧焊操作机及升降架上作业时，要求脚下地板绝缘良好，整洁可靠，以免触电和绊倒伤人。

5. 埋弧焊机出现电气故障时，必须切断电源后由电工进行检修，焊工不得擅自进行处理。

第四节 钨极氩弧焊的安全与卫生

钨极氩弧焊具有电流密度大、弧柱集中和电弧温度高等特点，电弧产生的紫外线辐射，约为普通手弧焊的5~30倍，红外线辐射约为普通手弧焊的1~1.5倍，从而，臭氧的含量加大，随着焊接电流值的增加、电弧时间的延长，致使在有限的空间内施焊时，臭氧的浓度可增大到危险程度。在焊接过程中，还会产生二氧化氮、一氧化碳等有害气体和金属粉尘、蒸汽。这些都会给焊工身体造成不同程度的影响。

钨极氩弧焊电极使用的钍钨棒是天然放射性物质，能放出 α 、 β 、 γ 三种射线。焊接操作时，基本危害形式是含有钍及其衰变产物的烟尘被吸入体内，它们很难被排出体外，因而形成内照射。射线不超过容许值，一般不会对人体产生危害，但是人体长期受到超容许剂量的照射，或者放射性物质经常少量进入并蓄积在人体内，则可能引起病变，造成中枢神经系统、造血器官和消化系统的疾病，严重的发生放射病。根据对钨极惰性气体保护焊的测定，一般都低于最高允许值，但在钍钨棒磨尖、修理，特别是贮存地点，放射线浓度远远高于焊接地点，可达到或接近最高允许浓度。

钨极氩弧焊常用高频振荡器来引弧，在引弧瞬间（2~

3 s)会产生高频电磁场。手工钨极氩弧焊,焊工手部的电磁场强度为 100 V/m,超过卫生标准(20V/m)五倍多,焊工身体其余部位超过 2~3 倍。长期接触较强的高频电磁场,能引起人的神经功能紊乱和神经衰弱,表现为头昏、乏力、消瘦和血压下降等症状。

钨极氩弧焊,除应遵守手工电弧焊的有关规定外,还应该注意以下几点:

1. 为防止紫外线、红外线的伤害,焊接施工时,要穿戴好盔式面罩、毛、丝或皮革制工作服、护目镜和皮制手套等防护用品。

2. 高频振荡器只用于引弧,引燃电弧后要立即切断高频,并注意人体绝缘。

3. 作业场地要有良好的通风设施,以防臭氧和焊接烟尘的伤害。容器、管道内施焊时,还需配有局部通风装置,并戴有通风换气装置的盔式面具和口罩。

4. 电极材料尽量不用钍钨极,而用铈钨或钇钨电极。若用钍钨电极,在磨削时,应戴口罩,工作后应以流动水和肥皂清洗手脚。手套、口罩和工作服应经常清洗。电极磨削的砂轮应装有吸尘装置。钍钨极应有专门的储存地方,存放量大时,应藏于厚壁铁箱内,并安装排风管,将毒气排出室外。

5. 焊工应定期进行身体检查,积极采取措施,以保证人体健康。

第五节 CO₂ 气体保护焊的安全与卫生

CO₂ 气体保护焊目前应用较多的是半自动焊,也是明弧作业,且电流密度大、电弧温度高、弧光强,二氧化碳在电

弧高温作用下,还会产生有毒的一氧化碳气体,因此,CO₂气体保护焊除应遵守手工电弧焊的有关规定外,还应注意以下几点:

1. 在CO₂气体保护焊的工作场地或在容器、管道内进行作业的,必须采取适当的通风措施。

2. 由于CO₂气体保护焊时飞溅多,弧光辐射强烈,因此,焊工要穿帆布工作服,戴皮手套和防护罩。

3. 装有液态CO₂的气瓶,不能在太阳下暴晒或用火烤,以免连续加热而引起瓶内压力增加而发生爆炸的危险。

4. 在提纯CO₂中的水分时,将气瓶倒置前应小心轻放,以免将气瓶阀撞坏而造成意外事故。

5. CO₂气体预热器的电源必须采用36V低压电,并注意工作结束时,将电源切断。

第六节 登高焊接作业的安全措施

焊工在离地面2m以上的地点进行焊接操作时,称为登高焊接作业。安装焊工需经常登高进行焊接工作。

登高焊接作业除要遵守一般焊接安全技术要求外,还要注意下列安全措施:

1. 接近高压线或裸导线排时,或距离低压线小于2.5m时,必须停电,并在电闸上挂“有人工作,严禁合闸”的警告牌。

2. 高空作业应设有监护人,焊接电源开关设在监护人近旁,监护人密切注视着焊工的动态,遇到危险征兆时,应立即切断电源,并进行抢救。登高焊接不得使用带有高频振荡器的焊接设备,以防万一麻电而失足摔落。

3. 凡登高焊接作业者,必须使用标准的防火安全带,不能用耐热差的尼龙安全带。安全带应紧固牢靠,安全绳长度不超过 2 m。

4. 凡登高进行焊接操作和进入登高作业区域,必须戴好安全帽。

5. 登高梯子要符合安全要求,梯子应防滑、防倒,上下端要放置牢靠,与地面夹角不应大于 60° 。使用人字梯时,夹角在 $40^\circ \pm 5^\circ$ 为宜,用限跨铁钩挂住。不准两个人同在一个梯子上或人字梯的同一侧同时作业,不要爬到梯子顶档上工作。

6. 脚手板宽度单行人道不得小于 0.6 m,双行人道不得小于 1.2 m,上下坡不得大于 1:3,板面要钉防滑条和安装扶手。板材要经过检查,强度足够,不得有机械损伤和腐蚀。使用安全网要张挺,注意质量,不得留缺口,要层层翻高。

7. 登高作业所用的焊条、工具、小零件等必须装在牢固的无孔洞的工具袋内,防止落下伤人。随时清理一切物品,不得在空中投掷物件,特别是焊条头不得乱扔,否则可能会烫伤、砸伤地面人员,甚至能引起火灾。

8. 在火星所及的范围内,必须彻底清除可燃易爆物品,一般在地面 10 m 之内用栏杆隔离。设专人照看火情,工作结束后要认真检查是否留有火种。确认无隐患后,方可离开现场。

9. 严禁将手把电缆线缠在身上操作,以防触电。

10. 登高焊接人员必须是经过体检健康合格者,患有高血压、心脏病、精神病和癫痫病以及医生证明不能登高作业者一律不准登高。

11. 恶劣天气(6级以上大风、下雨、下雪和雾天等)不得登高作业。

附录 安装工人技术等级标准

(JGJ 43-88) (节选)

电焊工初级工技术等级标准

初级工应知：

1. 识图的基本知识、看懂焊接符号、切割符号表示的意义。
2. 常用工具、仪表（电流表、电压表、气体流量计、测温计），装气钢瓶的构造、规格、使用及维护保养的知识。
3. 自用焊接设备（手工电弧焊机、氩弧焊机、二氧化碳气体保护焊机、埋弧焊机等）的型号、结构、性能、工作原理、使用规则和维护保养的知识。
4. 常用金属材料（钢、有色金属、铸铁等）的种类、牌号、化学成分、机械性能和焊接性能的知识。
5. 常用焊条、焊丝、焊剂、钨极的种类、牌号、规格、性能、适用范围、使用及保管的方法。
6. 常用焊接方法的种类、特点、适用范围及基本操作方法。自然条件对焊接的影响及应采取的措施。
7. 一般焊接规范参数，参数间的关系及对质量的影响。
8. 常用焊接接头的型式、坡口角度、间隙、钝边等参数对焊接变形和焊接质量的影响。各种接头的焊接方法。
9. 低合金钢和压力容器焊接的一般知识、正接法、反接法的适用范围及其对焊接质量和焊条熔化的影响。

10. 碳弧气刨的基本原理，所用工具、设备、工艺参数、操作方法及适用范围。

11. 常见焊接缺陷的种类、产生的原因、危害及防止的方法。

12. 焊接变形的原因及防止方法。

13. 一般铸铁、铸钢的焊接知识。

14. 电工、管工、铆工的基本知识。

15. 高空或狭窄环境、容器内作业的安全技术要求。

16. 了解本工种的焊接操作规程、验收规范及质量评定标准。

初级工应会：

1. 自用焊接设备和辅助设备的正确使用、维护及简单修理。

2. 焊接材料、钨极的正确使用与保管，焊条、焊剂的烘干、变质的鉴别。

3. 根据不同构件的材质、厚度、坡口型式、焊接位置等条件，正确选用焊接材料和焊接方法。

4. 一般低碳钢、低合金钢构件、低中压管道、低压容器、单面焊、双面成型的操作方法，贮槽、油罐等进行全位置的焊接。

5. 正确使用碳弧气刨清理焊根。

6. 吊车工字梁及天车轨道的焊接。

电焊工中级工技术等级标准

中级工应知：

1. 常用焊接设备，等离子切割设备的种类、型号、结构、性能、工作原理、使用规则和维护保养知识及水路、气路、电

气等系统的一般知识。

2. 一般金属工艺学的基本知识。

3. 钢材可焊性的计算方法及不同自然条件对可焊性影响的一般知识。

4. 焊条药皮、焊剂、焊丝、钨极、保护气体的主要成分、性能和作用。

5. 常用合金钢、不锈钢、铸铁、有色金属材料的焊接方法、焊接规范和焊接材料的选择原则。

6. 焊接接头的组成、特点、热影响区的组织、机械性能的变化及影响因素。

7. 根据构件形状,了解焊接应力的分布情况及减少焊接应力与变形的知识。

8. 常见的各种异种钢接头,焊接材料及焊接工艺。

9. 气体保护焊,等离子切割的工艺参数及对质量的影响。

10. 焊缝强度计算的知识及各种接头试件的取样方法。

11. 常用焊接检验的方法、缺陷的识别及评定的一般知识。

12. 有关工种的施工程序和配合关系。

13. 班组管理知识。

中级工应会:

1. 看懂焊接构件图及一般管道图,并绘制焊接施工图。

2. 常用焊接设备的检查、维护、调整及故障处理。

3. 焊条工艺性能的试验。

4. 高碳钢部件、有色金属、不锈钢管道及容器的全位置焊接。

5. 常用各种异种钢、复合钢的焊接。

6. 高温、高压合金钢管道、容器及低温钢管道、容器的焊接。
7. 根据工件材质及焊接环境,按工艺要求对焊件进行焊前预热、焊后缓冷及焊后热处理。
8. 掌握储气柜、油罐、回转室等工程的焊接工艺,并处理施工中的一般技术疑难问题。
9. 动力站、气体站工艺管道的焊接。
10. 铜、铝母线的氩弧焊、碳弧焊的焊接。
11. 一般铸件(铸钢、铸铁)的焊接与铸件缺陷的修补、复杂件的堆焊。
12. 主持分项工程的焊接,编制分项工程的技术措施,确定焊接程序,计算焊接工程全部工件。

电焊工高级工技术等级标准

高级工应知:

1. 各种焊接设备的构造、电气原理、使用方法和维护知识。
2. 焊接冶金的基本理论。
3. 控制复杂构件变形和焊接应力的方法及应力与变形的相互关系。
4. 焊接的物理性能试验和无损探伤知识。
5. 高温、高压锅炉、压力容器的焊接工艺。
6. 新技术、新工艺、新材料、新设备的技术要求及应用知识。
7. 电子计算机、脉冲、数控在焊接技术中的应用及等离子、电子束焊接的工艺特点和原理。

高级工应会:

1. 新材料可焊性的试验及焊接工艺评定。
2. 编制焊接技术方案，提供焊接原始技术资料。
3. 各种高温、高压、超高压管道和容器，承受巨大冲击力构件的焊接。
4. 在特殊情况下，做任何位置上的焊接。
5. 评定焊接材料的工艺性，确定焊接工艺。
6. 主持全部焊接工程，鉴定焊接工程质量。初步鉴定底片等级。
7. 传授焊接技能，并解决焊接中的技术关键和疑难问题。
8. 参加施工组织设计的编制，提出本专业的实施意见。

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 电焊工操作技术指南

作者 =

页数 = 4 0 4

S S 号 = 1 1 0 8 2 5 6 6

出版日期 =

录

第一章焊接电弧

- 第一节 焊接电弧的构造及静特性
- 第二节 焊接电弧的引燃过程
- 第三节 焊接电弧的稳定性
- 第四节 焊接电弧的偏吹
- 第五节 电弧焊的熔滴过渡

第二章焊接冶金和接头性能

- 第一节 焊接接头及其特点
- 第二节 焊接热循环
- 第三节 焊接冶金基础
- 第四节 焊缝的组织性能
- 第五节 焊接热影响区的组织和性能
- 第六节 影响焊接接头性能的因素及其控制

第三章焊接接头与焊缝

- 第一节 焊接接头型式
- 第二节 焊接坡口
- 第三节 焊缝形式
- 第四节 焊缝符号和焊接方法代号

第四章焊接方法和工艺

- 第一节 手工电弧焊
- 第二节 氩弧焊
- 第三节 二氧化碳气体保护焊
- 第四节 埋弧自动焊
- 第五节 碳弧气刨

第五章焊接设备

- 第一节 弧焊电源
- 第二节 手工电弧焊设备
- 第三节 埋弧自动焊设备
- 第四节 手工钨极氩弧焊设备
- 第五节 二氧化碳气体保护焊设备

第六章焊接应力和变形

- 第一节 焊接应力和变形产生的原因
- 第二节 焊接残余变形
- 第三节 焊接应力

- 第七章焊接缺陷及检验
 - 第一节 焊接接头常见缺陷的分析
 - 第二节 焊接缺陷的危害
 - 第三节 焊接质量检验
 - 第四节 焊接缺陷的返修
- 第八章常用焊接材料
 - 第一节 手工电弧焊焊接材料
 - 第二节 手工钨极氩弧焊焊接材料
 - 第三节 二氧化碳气体保护焊焊接材料
 - 第四节 埋弧自动焊焊接材料
- 第九章常用金属材料的焊接
 - 第一节 钢的焊接性
 - 第二节 碳素钢的焊接
 - 第三节 普通低合金结构钢的焊接
 - 第四节 铬钼耐热钢的焊接
 - 第五节 不锈钢的焊接
 - 第六节 异种钢的焊接
 - 第七节 铝及铝合金的焊接
 - 第八节 铜及铜合金的焊接
 - 第九节 钛及钛合金的焊接
 - 第十节 铸铁焊补
- 第十章手工电弧焊操作工艺技术
 - 第一节 酸性和碱性焊条操作特点
 - 第二节 单面焊双面成形操作技术
 - 第三节 各种位置焊缝的操作技术
 - 第四节 管道手工电弧焊操作技术
- 第十一章工程焊接
 - 第一节 焊接在工程产品中的应用
 - 第二节 焊接结构施工工艺流程的编制
 - 第三节 一般焊接结构的焊接工艺过程和顺序
 - 第四节 焊缝位置的选择与对口要求
 - 第五节 常见结构焊接
- 第十二章焊接安全与卫生
 - 第一节 概述
 - 第二节 手工电弧焊的安全与卫生
 - 第三节 埋弧焊的安全与卫生
 - 第四节 钨极氩弧焊的安全与卫生
 - 第五节 CO₂ 气体保护焊的安全与卫生
 - 第六节 登高焊接作业的安全措施
- 附录 安装工人技术等级标准 (J G J 4 3 -

(节选)