

# 焊接设备及焊接工艺基础知识

淮南田家庵发电厂高  
压焊接技术创新工作  
室

2019年7月 淮南

# 焊接电弧及弧焊电源知识

焊接是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使焊件达到结合的一种加工方法。根据焊接过程中金属所处的状态不同，可以把焊接分为熔焊、压焊和钎焊三类。

熔焊是利用局部加热使连接处的金属熔化再加入(或不加入)填充金属而结合的方法。熔焊的特点是焊件间产生原子的结合，焊接接头的力学性能较高，连接厚件、大件时的生产效率高，缺点是产生的应力、变形较大，热影响区发生组织变化。熔焊是工业生产中应用最广泛的一种焊接方法。

在焊接过程中，必须对焊件施加压力(加热或不加热)以完成焊接的方法称为压焊。压焊也是使原子间结合而焊接的。但接头力学性能比熔焊差，适宜于小型金属加工，焊后变形极小，机械化、自动化程度高。

采用比母材熔点低的金属材料作为钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料熔点、低于母材熔点温度，利用液态钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材相互扩散实现焊件连接的方法称为钎焊。钎焊的优点是加热温度低，接头平整、光滑，外形美观，应力及变形小；缺点是接头强度较低，装配时对装配间隙要求高。

# 第一节 焊接电弧的引燃方法及直流电弧的结构和温度

## 一、焊接电弧的性质及引燃方法

### 1. 焊接电弧的性质

两电极间强烈而持久的放电现象称为电弧。电弧是一种空气导电的现象。它具有两个特性，即能放出强烈的光和大量的热。焊接电弧是指由焊接电源供给的具有一定电压的两电极间或电极与焊件间气体介质中产生的强烈而持久的放电现象。

### 2. 电弧引燃方法

(1) 接触短路引燃法。将电极(焊条)与焊件接触短路产生短路电流，然后迅速将电极(焊条)提起2-4mm，这时电极(焊条)与焊件表面之间立即产生一个电压，使空气电离而产生电弧。接触法引弧主要用于焊条电弧焊和埋弧焊中。

(2) 高频高压引弧法。利用高压(2000-3000V)直接将两电极间的空气间隙击穿电离，引发电弧。由于高压对人身有危险，所以通常将其频率提高到150-260kHz。高频高压引弧法主要用于氩弧焊等、离子弧焊中。

## 二、直流电弧的结构

直流电弧由阴极区、阳极区和弧柱区组成，其构造如下图所示：

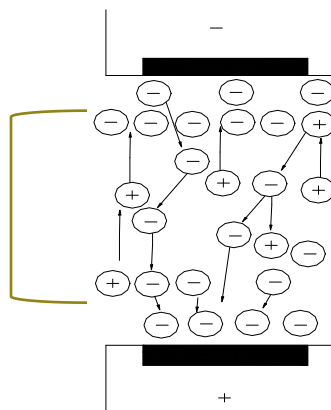
阴极区

阴极斑点

弧柱

阳极区

阳极斑点



### 1. 阴极区

电弧紧靠负电极的区域称为阴极区。阴极区很窄，电场强度很大。在阴极表面有一个明亮的斑，称为阴极斑点。它是电子发射时的发源地，电流密度很大，也是阴极区温度最高的地方。

### 2. 阳极区

电弧紧靠正电极的区域称为阳极区。阳极区比阴极区宽，在阳极表面也有一个光亮的斑点，称为阳极斑点。它是集中接收电子的微小区域。阳极区电场强度比阴极区小得多。

### 3. 弧柱区。

在阴极区和阳极区之间为弧柱区，其长度占强弧长的绝大部分。在弧柱区充满了电子、正离子、负离子和中性的气体分子或原子，并伴随着激烈的电离反应。

### 三、 焊接电弧的温度分布

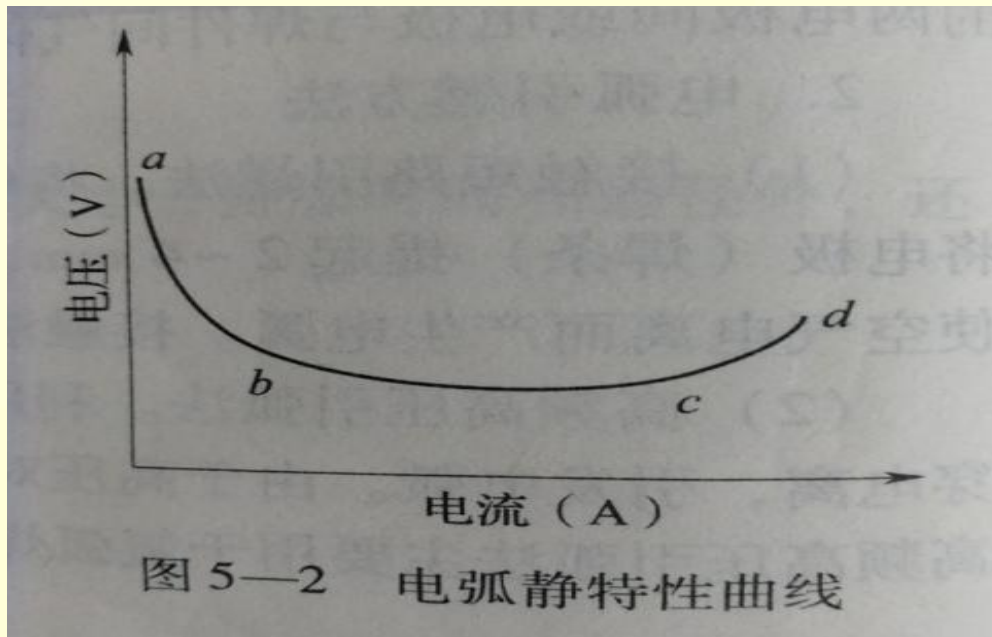
焊接电弧中三个区域的温度分布是不均匀的。如焊条电弧焊，一般情况下，阳极区温度高于阴极区温度，分别占放出热量的43%和36%，但都低于该种电极材料的沸点。弧柱区的温度最高，但沿其截面分布不均匀，其中心部温度最高，可达5000-8000K，离开弧柱中心线温度逐渐降低。（0 °C =273.15k）

## 第二节 电弧静特性曲线的意义、电弧电压和弧长的关系

### 一、电弧静特性曲线的意义

#### 焊接电弧静特性曲线及其意义

在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下，电弧稳定燃烧时，焊接电流和电弧电压变化的关系称为电弧的静特性。电弧静特性曲线如图5—2所示。电弧静特性曲线呈U形，它有三个不同区域，当电流较小时(ab区)，电弧静特性属于下降特性区，随着电流增加，电压减小；当电流稍大时(bc)，电弧静特性属于平特性区，也就是电流变化而电压几乎不变；当电流较大时(cd区)，电弧静特性属于上升特性区，电压随电流的增加而升高。



## 2. 不同焊接方法的电弧静特性曲线

不同的电弧焊方法，在一定的条件下，其静特性只是曲线的某一区域。

(1) 焊条电弧焊。由于使用电流受限制(焊接设备的额定电流值一般不大于500A)，故其静特性曲线无上升特性区，一般在平特性区。

(2) 埋弧焊。在正常电流密度下焊接时，其静特性为平特性区；采用大电流密度焊接时，其静特性为上升特性区。

(3) 钨极氩弧焊。一般在小电流区间焊接时，其静特性为下降特性区；在大电流区间焊接时，静特性为平特性区。

(4) 细丝熔化极气体保护焊。由于电流密度较大，所以其静特性曲线为上升特性区。

## 二、电弧电压和弧长的关系

电弧电压由阴极电压降、阳极电压降和弧柱电压降三部分组成。其中阴极电压降和阳极电压降在一定电极材料和气体介质的场合下基本上是固定的数值，弧柱电压降在一定的介质条件下与弧柱长度(实际上是电弧长度)成正比。所以电弧电压可表示为： $U=a+bL$

式中 $a$ ——阴极和阳极电压降之和，即 $U_{\text{阴}}+U_{\text{阳}}$ ，V；

$b$ ——弧柱单位长度上的电压降，V/mm；

$L$ ——弧柱长度，mm。

所以，当弧长拉长时，电弧电压升高；当弧长缩短时，电弧电压降低。

## 第三节 对弧焊电源的基本要求

### 一、对空载电压的要求

当焊机接通电网而输出端没有接负载(即没有电弧)时,焊接电流为零,此时输出端的电压称为空载电压,常用 $U_{空}$ 表示,在确定空载电压的数值时应考虑以下几个方面:

#### 1. 电弧的燃烧稳定

引弧时,必须有较高的空载电压,才能使两极间高电阻的接触处击穿。空载电压太低,引弧将发生困难,电弧燃烧也不够稳定。

#### 2. 经济性

电源的额定容量和空载电压成正比,空载电压越高,则电源容量越大,制造成本越高。

#### 3. 安全性

过高的空载电压会危及焊工的安全。

因此,我国有关标准中规定最大空载电压 $U_{空最大}$ 为:

弧焊变压器 $U_{空最大} \leq 80V$

弧焊整流器 $U_{空最大} \leq 90V$

弧焊发电机 $U_{空最大} \leq 100$  (单头焊机)

$U_{空最大} \leq 60v$  (多头焊机)



## 二、对短路电流的要求

当电极和焊件短路时，电压为零，此时焊机的输出电流称为短路电流。常用 $I_{短}$ 来表示，在引弧和熔滴过渡时经常发生短路。如果短路电流过大，电源将出现过载而有烧坏的危险，同时还会使得焊条过热，药皮脱落，并使飞溅增加。但是，如果短路电流太小，则会使引弧和熔滴过渡发生困难，因此，短路电流值应满足以下要求：

$$1.25 < I_{短} / I_{工} < 2$$

式中 $I_{工}$ ——工作电流，A；

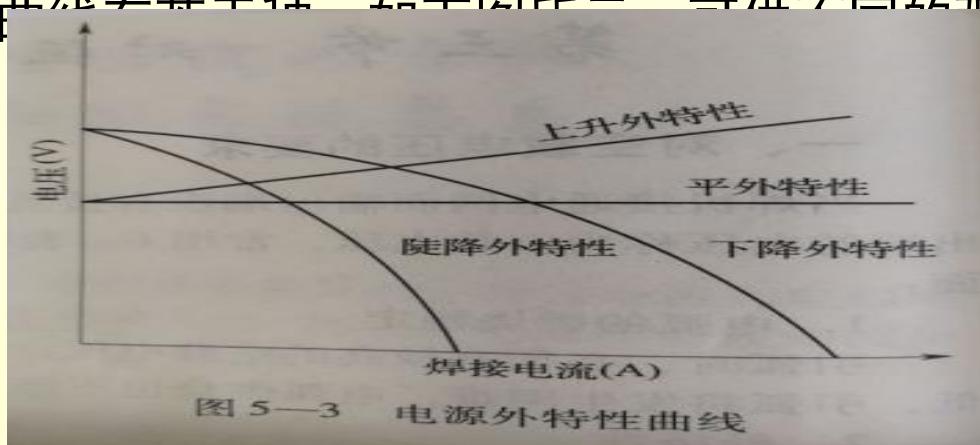
$I_{短}$ ——短路电流，A。

### 三、对电源外特性的要求

焊接电源输出电压与输出电流之间的关系称为电源的外特性，外特性用曲线来表示，称为外特性曲线。

弧焊电源外特性曲线的形状对电弧及焊接参数的稳定性有重要的影响。在弧焊时，弧焊电源供电，电弧作为用电负载，电源——电弧构成一个电力系统。为保证电源——电弧系统的稳定性，必须使弧焊电源外特性曲线的形状与电弧静特性曲线的形状做适当的配合。

弧焊电源外特性曲线有以下几种，如下图所示，可供不同的弧焊方法及工作条件选用。



电弧的静特性曲线与电源的外特性曲线的交点就是电弧燃烧的工作点。进行焊条电弧焊时要采用具有陡降外特性的电源。因为焊条电弧焊时电弧静特性曲线工作在平特性区，只有下降的外特性曲线才与其有交点。当采用陡降的外特性电源时，同样的弧长变化所引起的焊接电流变化比缓降外特性要小得多，有利于保持焊接电流的稳定，从而使焊接过程稳定。

## 四、对电源动特性的要求

焊接过程中，电弧总在不断地变化，弧焊电源动特性就是指弧焊电源对焊接电弧这样的动负载所输出的电流和电压与时间的关系。它是用来表示弧焊电源对负载瞬变的反应能力，弧焊电源动特性对电弧稳定性、熔滴过渡、飞溅及焊缝成形等有很大影响，它是直流弧焊电源的一项重要技术指标。

## 五、对电源调节特性的要求

当弧长一定时，每一条电源外特性曲线和电弧静特性曲线的交点中只有一个稳定工作点，即只有一个对应的电流值和电压值。

所以，选用不同的焊接参数时，要求电源能够通过调节得出不同的电源外特性曲线，即要求电源具有良好的调节特性。

## 六、焊机的型号

### 1. 焊机型号编制原则

我国焊机型号是按统一规定编制的。焊机型号采用汉语拼音字母及阿伯数字组成，其编排次序如下，其中前四项为产品符号代码，见表5-1

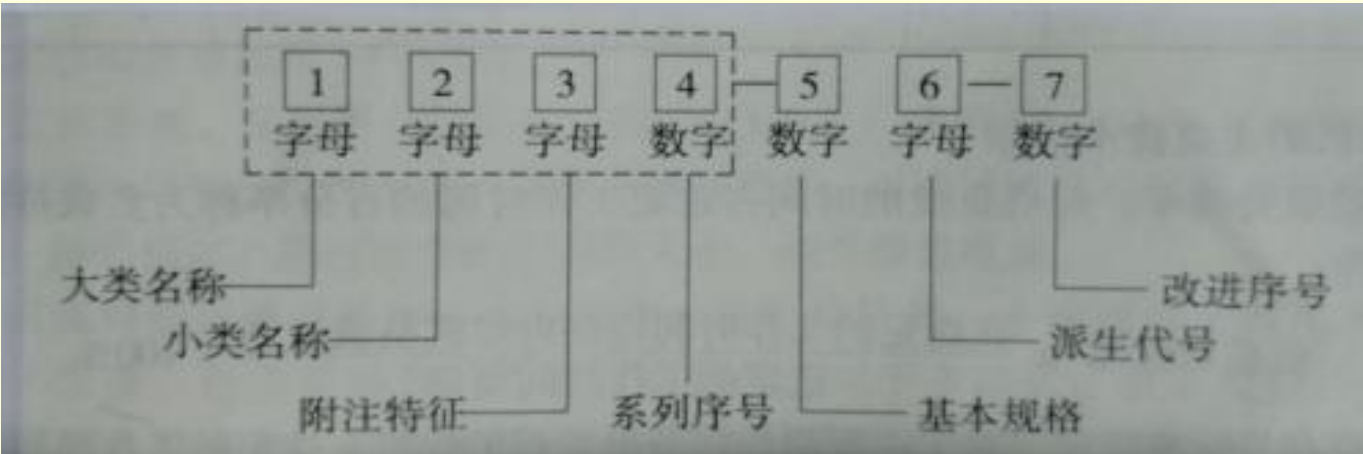


表5-1产品符号代码

产品名称	第一字母		第二字母		第三字母		第四字母			
	代表字母	大类名称	代表字母	小类名称	代表字母	附注特称	代表字母	系列序号		
焊条电弧焊机	B	交流弧焊机 (弧焊变压器)	X	下降特性	L	高空载电压	省略	磁放大器或饱和电抗器式		
			P	平特性			1	动铁芯		
							2	串联电抗器式		
							3	动圈式		
							4			
							5	晶闸管式		
			6	变换抽头式						
	A	机械驱动 的弧焊机 (弧焊发电机)	X	下降特性	省略	电动机驱动	省略	直流		
			P	平特性	D	单纯弧焊发电机			1	交流发电机
			D	多特性	Q	汽油机驱动				整流
					C	柴油机驱动			2	交流
					T	拖拉机驱动				
				H	汽车驱动					
焊条电弧焊机	Z	直流弧焊机 (弧焊整流器)	X	下降特性	省略	一般电源	省略	磁放大器或饱和电抗器		
			P	平特性	M	脉冲电源	1	动铁芯式		
			D	多特性	L	高空载电压	2	动线圈式		
					E	交直流两用电源	3	晶体管式		
							4	晶闸管式		
							5	变换抽头式		
							6	逆变式		
				7						

## 2.焊机的主要技术指标

(1)负载持续率。焊机负载的时间占选定工作时间的百分率称为负载持续率，用公式表示为：

负载持续率=选定的工作时间周期内焊机负载时间/选定的工作周期  
×100%

我国的有关标准规定，对于主要用作焊条电弧焊的焊机，选定的工作周期为5min如果在5min内，焊接时间为3min,则负载持续率即为60%。

对于不同的负载持续率，焊机有不同的允许使用的最大焊接电流值。

(2)额定值。是指对电源规定的使用限额，如电压、电流及功率的限额。按额定值使用设备是最经济合理、安全可靠的。超过额定值工作时，称为过载，严重过载将使设备损坏。

总之，使用焊机应根据其负载持续率和额定值选择工艺参数与时间。

# 第四节 常用交、直流弧焊机的构造和使用方法

## 一、常用交流弧焊机

弧焊变压器是一种具有下降外特性的降压变压器，通常又称为交流弧焊机。获得下降外特性的方法是在焊接回路中串联一可调电感，如图5—4所示为弧焊变压器的工作原理。此电感可以是一个独立的电抗器。也可以利用弧焊变压器本身的漏感来代替。

常用国产弧焊变压器的型号见表5—2。

类型	形式	国产常用牌号
串联电抗器类	分体式	BP
	同体式	BX—500 BX2—500、700、 <b>1000</b>
增强漏磁类	动铁芯式	BX1—135、300、 <b>315、500</b>
	动圈式	BX3—300、500 BX3—1—300、500
	抽头式	BX6—120、160

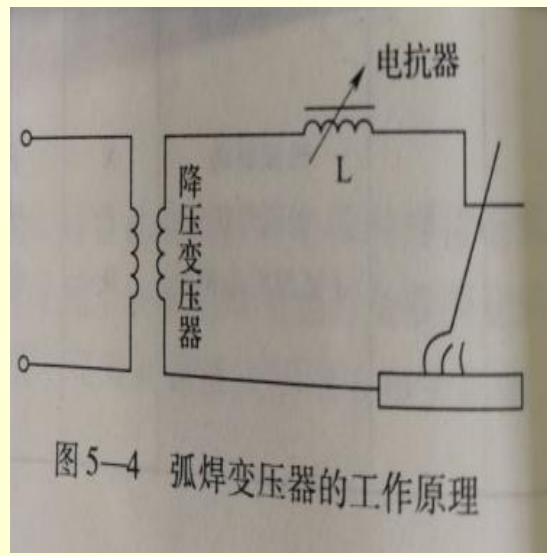


图5—4 弧焊变压器的工作原理

## 1.分体式弧焊机

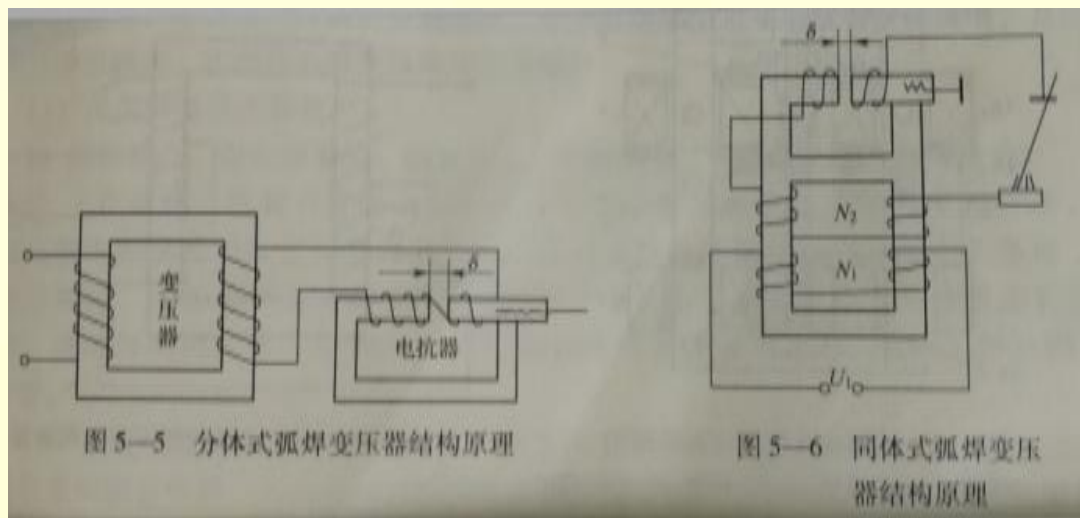
(1)结构特点。这类弧焊变压器分别由一台独立的降压变压器和一台独立的电抗器组成，其结构原理如图5—5所示。

(2)工作原理。变压器电网电压(220V/380V)降到60-80V(空载电压)，串联电抗器使变压器输出特性下降，获得下降外特性，以满足电弧稳定燃烧的需要。串联电抗器有一活动铁芯，通过改变铁芯间隙大小，调节焊接电流。

分体式弧焊变压器有单站、多站两种。对于单站式，小电流焊接时电弧不稳定,另外结构不紧凑，经济指标低，目前已不生产。对于多站式，设备投资少，利用率高，电网三相负载均匀，但灵活性差，变压器故障将影响多个工位，电能及电工材料耗量比较大。

## 2.同体式弧焊机

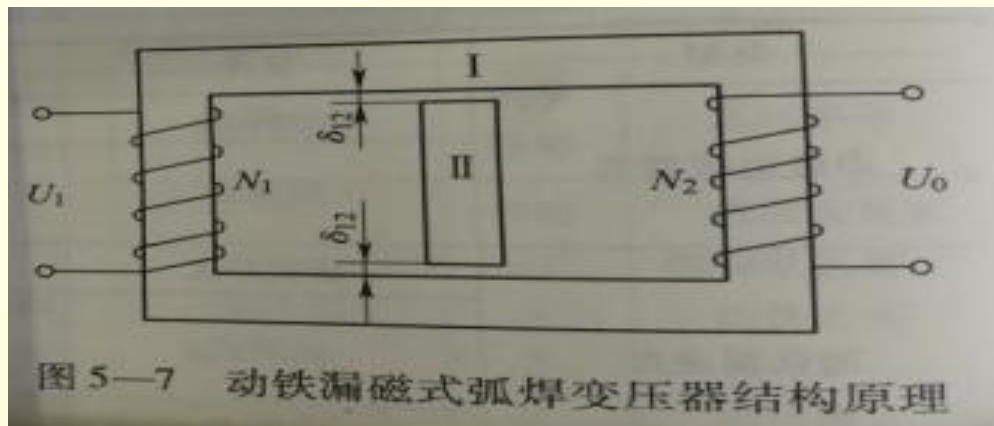
(1)结构特点。焊机由一台具有平特性的降压变压器上面叠加一个电抗器组成，其结构原理如图5-6所示，变压器与电抗器有一个共同的磁轭。变压器一次绕组分别绕在变压器侧柱上，二次绕组与电抗器线圈串联后向电弧供电，电抗器铁芯中间留有可调的间隙 $\delta$ ,以调节焊接电流。



(2)工作原理。同体式弧焊变压器与分体式弧焊变压器的工作原理基本上相同，只是由于同体式弧焊变压器与电抗器有一个共同的磁轭，使结构变得紧凑，并能部分节省铁芯的材料。

### 3.动铁漏磁式弧焊机

(1)结构特点。焊机由一台一次、二次绕组分别绕在两边心柱上的变压器，中间再插入一个活动铁芯所组成，其结构原理如图5—7所示。



(2)工作原理。由于变压器的一次、二次绕组分别绕在两边的心柱上。产生很大的漏磁，二次绕组就起了一个相当于电抗器线圈的作用，并且由于中间还有一活动铁芯，焊接时活动铁芯中形成磁分路，造成更大的漏磁，使二次电压迅速下降，从而获得了下降的外特性。当活动铁芯由里向外移动时，漏磁减少焊接电流增大；反之，焊接电流减小。

### 4.动圈式弧焊机

(1)结构特点。焊机有一个高而窄的口字形铁芯，目的是保证一次、二次绕组之间的距离 $\delta_{12}$ 有足够的变化范围，动圈式弧焊变压器的结构如图5—8所示。变压器的一次、二次绕组分别做成匝数相等的两盘，用夹板夹成一体。一次绕组固定于铁芯底部，二次绕组可用螺杆带动，摇动手柄则上下移动，改变距离 $\delta_{12}$ ，从而调节电流。 $\delta_{12}$ 越大，漏磁增加，焊接电流减小；反之，焊接电流增大。

(2)工作原理。由于变压器的一次、二次绕组分成两部分安放，使得两者之间造成较大的漏磁，焊接时使二次电压迅速下降，从而获得下降的外特性。



## 5.抽头式弧焊机

抽头式弧焊变压器结构原理如图5—9所示。其基本工作原理与动圈式弧焊变压器相似。一次绕组分绕在口字形铁芯的两个心柱上，而二次绕组仅绕在一个心柱上。所以，一次、二次绕组之间产生较大的漏磁，从而获得下降外特性。电流调节是有级的。

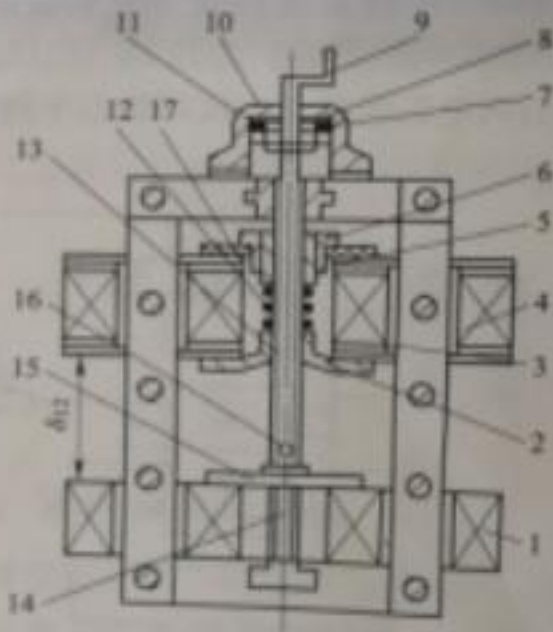


图5—8 动圈式弧焊变压器的结构

- 1—一次绕组 2—下夹板 3—下衬套 4—二次绕组
- 5—螺母 6—上衬套 7—弹簧垫圈 8—铜垫圈
- 9—手柄 10—螺杆固定压板 11—滚珠轴承
- 12—压力弹簧 13—螺杆 14—螺钉 15—压板

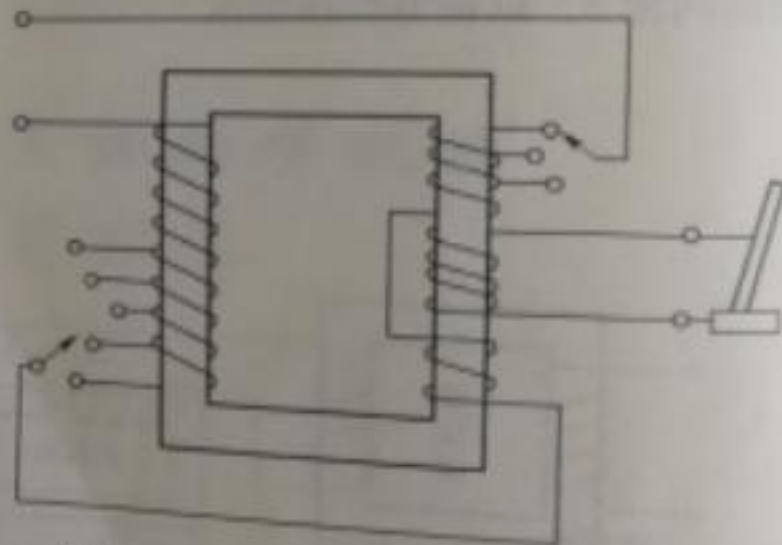


图5—9 抽头式弧焊变压器结构原理

## 二、常用直流弧焊机

### 1. 直流弧焊发电机

直流弧焊发电机由一台异步电动机和一台弧焊发电机组成。属20世纪50年代产品，体积大，笨重，耗材多，噪声大，效率低，制造过程中耗能高，加工工艺复杂。每台焊机比晶闸管整流焊机多耗材65%，每年多耗电4000kW·h，效率低20%。但由于直流弧焊发电机具有电弧燃烧稳定、可靠性好、经久耐用等特点，应用一直较为广泛。

(1) 结构特点。主要由三相交流电动机、发电机电枢、发电机励磁极及绕组、换向片、电刷、控制盘等组成。

(2) 工作原理。下降外特性的获得一般是使工作磁通随焊接电流的增加而迅速降低。采用的方法有增设去磁绕组、利用电枢反应等。

(3) 常用型号和规格。AX-320、AX<sub>1</sub>-500、AX<sub>4</sub>-300分别属于裂极式、差复励式、换向极式。

## 2.弧焊整流器

弧焊整流器是一种将交流电经变压、整流转换成直流电的焊接电源。用硅整流器作为整流元件的称为硅整流焊机，采用晶闸管的称为晶闸管整流弧焊机。

### (1)硅整流焊机

1)结构特点。它由三相降压变压器、饱和电抗器、整流器组、输出电抗器、通风及控制系统等部分组成。

2)工作原理。磁饱和电抗器相当于一个很大的电感，空载时无焊接电流通过，因此不产生压降，电源输出较高的空载电压，焊接时由于磁饱和电抗器通交流电，且电流越大压降也越大，从而使电源获得陡降的外特性。

### (2)晶闸管整流弧焊机

1)结构特点。由电源系统、触发系统、控制系统、反馈系统等几部分组成。

2)工作原理。电流负反馈电路和电压反馈电路均由集成运算放大器构成，电流负反馈电路使弧焊机获得陡降外特性；电压反馈电路使弧焊机获得电流外拖、电弧吹力外拖、连弧与断弧选择及飞溅控制等功能。由于电路中设有防止振荡的校正环节，故本焊机动特性十分理想。常用的晶闸管整流弧焊机有**ZX5—250**、**ZX5—400**等。

**(3) 逆变式弧焊机(弧焊逆变器)。**将直流电变换成交流电称为逆变，实现这种变换的装置叫做逆变器。为焊接电弧提供电能，并具有弧焊方法所要求性能的逆变器称为弧焊逆变器或逆变式弧焊机。弧焊逆变器是一种新型的弧焊电源。

**1)结构特点。**主要由三相全波整流器、逆变器、降压变压器、低压整流器、电抗器组成。

**2)工作原理。**

弧焊逆变器工作时，将三相**50Hz**交流网路电压经输入整流器和输入滤波器后变成直流电，通过大功率电子开关元件(晶闸管、晶体管、场效应管或绝缘栅双极晶体管**IGBT**)的交替开关作用，逆变成几千至几千万赫兹的中频交流电，再经中频变压器降至适合焊接的几十伏交流电，如再经输出整流器整流和输出滤波器滤波，则可输出适合焊接的直流电。弧焊逆变器的逆变系统主要有以下两种：

①交流 ➡ 直流 ➡ 交流。

②交流 ➡ 直流 ➡ 交流 ➡ 直流。

通常弧焊逆变器多采用后一种系统，故还可把弧焊逆变器称为逆变弧焊整流器。弧焊逆变器的优点是高效节能，效率可达**80%-90%**；质量轻，体积小，整机质量仅为传统的弧焊电源的**1/10-1/5**；具有良好的动特性和弧焊工艺性能；所有焊接参数均可无级调整；具有多种外特性,能适应各种弧焊方法，如焊条电弧焊、气体保护焊、等离子弧焊及埋弧焊等，并适合于作机器人的弧焊电源。弧焊逆变器的缺点是设备复杂，维修需要较高技术等。常用的国产型号有**ZX7-250**、**ZX7-400**、**ZX7-630**等。

# 第六章 常用电弧焊工艺知识

## 第一节 焊条电弧焊的工艺特点与焊接参数

### 一、焊条电弧焊的工艺特点

#### 1. 优点

- (1) 工艺灵活，适应性强。适用于碳钢、低合金钢、耐热钢、低温钢和不锈钢等各种材料的平、立、横、仰各种位置以及不同厚度、结构和形状的焊接。
- (2) 质量好。与气焊电渣焊相比，金相组织细，热影响区小，接头性能好。
- (3) 易于通过工艺调整(如对称焊等)来控制变形和改善应力。
- (4) 设备简单，操作方便。

#### 2. 缺点

- (1) 对焊工要求高，焊工的操作技术和经验直接影响产品质量好坏。
- (2) 劳动条件差。焊工在工作时必须手脑并用，精神高度集中，而且还要受到高温烘烤，有毒、烟、尘和金属蒸气的危害。
- (3) 生产效率低。由于是手工操作，且不能连续焊接，故生产效率低。

#### 3. 应用范围

在造船、锅炉及压力容器、机械制造、建筑结构、化工设备等制造和修行业中都广泛使用焊条电弧焊。

## 二、焊条电弧焊的焊接参数

选择合适的焊接参数，对提高焊接质量和生产效率是十分重要的。

焊接参数(焊接规范)是指焊接时为保证焊接质量而选定的各物理量。

### 1. 焊条种类和牌号的选择

主要根据母材的性能、接头的刚度和工作条件选择焊条，焊接一般碳钢和低合金钢主要是按等强原则选择焊条的强度级别，对一般结构选用酸性焊条，重要结构选用碱性焊条。

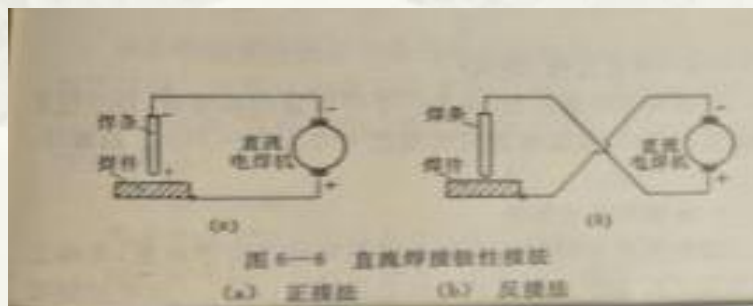
### 2. 焊接电源种类和极性的选择

进行焊条电弧焊时采用的电源有交流和直流两大类，根据焊条的性质进行选择。通常，酸性焊条可同时采用交直流两种电源，一般优先选用交流弧焊机。碱性焊条由于电弧稳定性差，所以必须使用直流弧焊机，对药皮中含有较多稳弧剂的焊条，也可使用交流弧焊机，但此时电源的空载电压应较高。

采用直流电源时，焊件与电源输出端正、负极的接法叫做极性。

焊件接电源正极，焊条接电源负极的接线法叫做正接，也称正极性。

焊件接电源负极，焊条接电源正极的接线法叫做反接，也称反极性。



极性的选择原则如下:

碱性焊条常采用反接, 因为碱性焊条正接时电弧燃烧不稳定, 飞溅严重, 噪声大。使用反接时, 电弧燃烧稳定, 飞溅很小, 而且声音较平静、均匀。

(2)酸性焊条如使用直流电源时通常采用正接。因为阳极部分的温度高于阴极部分, 所以用正接可以得到较大的熔深, 因此, 焊接厚钢板时可采用正接, 而焊接薄板、铸铁、有色金属时应采用反接。采用交流电源时, 不存在正接和反接的接线法。

### 3. 焊条直径

焊条直径可根据焊件厚度进行选择。厚度越大, 选择的焊条直径应越粗, 焊条直径与焊件厚度的关系见表6-1。但厚板对接接头坡口打底焊时要选用较细的焊条。另外, 接头形式不同, 焊缝空间位置不同, 焊条直径也有所不同, 例如, T形接头应比对接接头使用的焊条粗些, 立焊、横焊等空间位置比平焊时所选用的应细一些。对接接头坡口打底焊时要选用较细的焊条。立焊时焊条最大直径不超过5mm, 横焊、仰焊焊条直径不超过4mm。

焊件厚度	2	3	4—5	6—12	>13
焊条直径	2	3.2	3.2—4	4—5	4—6

焊条直径与焊件厚度的关系见表6--1



## 4. 焊接电流的选择

焊接电流是焊条电弧焊最重要的焊接参数，也是焊工在操作过程中唯一需要调节的参数，而焊接速度和电弧电压都是由焊工控制的。选择焊接电流时，要考虑的因素很多，如焊条直径、药皮类型、工件厚度、接头类型、焊接位置、焊道层次等。但主要由焊条直径、焊接位置和焊道层次来决定。

(1) 焊条直径。焊条直径越粗，焊接电流越大，每种直径的焊条都有一个最合适的电流范围，见表6-2，还可根据下面的经验公式计算焊接电流：

$$I = (35 \sim 55) d$$

式中  $I$  焊接电流，A；

$d$  焊条直径，mm。

焊件厚度 (mm)	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	6
焊条电流(A)	25~40	40~65	50~80	100~130	160~210	260~270	260~280

表6-2 各种直径焊条使用电流的参考值

(2) 焊接位置。在平焊位置焊接时，可选择偏大些的焊接电流。横焊、立焊、仰焊位置焊接时，焊接电流应比平焊位置小10%-20%。角焊电流比平焊电流稍大些。

(3) 焊道层次。通常焊接打底焊道时，特别是焊接单面焊双面成形的焊道时，使用的焊接电流要小，这样才便于操作和保证背面焊道的质量；焊填充焊道时，为提高效率，通常使用较大的焊接电流；而焊盖面焊道时，为防止咬边和获得较美观的焊缝，使用的电流稍小些。另外，碱性焊条选用的焊接电流比酸性焊条小10%左右。不锈钢焊条比碳钢焊条选用电流小20%左右等。

总之，电流过大或过小都易产生焊接缺陷。电流过大时，焊条易发红，使药皮变质，而且易造成咬边、弧坑等缺陷，同时还会使焊缝过热，促使晶粒粗大。

## 5. 电弧电压

焊条电弧焊时，电弧电压是由焊工根据具体情况灵活掌握的，其原则一是保证焊缝具有符合要求的尺寸和外形；二是保证焊透。

电弧电压主要取决于弧长。电弧长，电弧电压高；反之，则低。在焊接过程中，一般希望弧长始终保持一致，而且尽可能用短弧焊接。所谓短弧，是指弧长为焊条直径的0.5-1.0倍，超过这个限度即为长弧。

## 6. 焊接速度

在保证焊缝所要求的尺寸和质量的前提下，由焊工根据情况灵活掌握。速度过慢，热影响区加宽，晶粒粗大，变形也大；速度过快，易造成未焊透、未熔合、焊缝成形不良等缺陷。

## 7. 焊接层数的选择

在厚板焊接时，必须采用多层焊或多层多道焊。多层焊的前一条焊道对后一条焊道起预热作用，而后一条焊道对前一条焊道起附加热处理作用（退火或缓冷），有利于提高焊缝金属的塑性和韧性。每层焊道厚度不大于4mm。

## 第二节 埋弧焊的工艺特点与焊接参数

埋弧焊是电弧在焊剂层下燃烧进行焊接的方法，是目前应用

广泛的一种焊接方法。

### 一、埋弧焊的工艺特点及应用范围

#### 1. 优点

- (1) 生产效率高。埋弧焊保护效果好，没有飞溅，焊接电流大，热量集中，电弧穿透能力强，焊缝熔深大，且焊接速度快。
- (2) 质量好。焊接规范稳定，熔池保护效果好，冶金反应充分，性能稳定，成形美观。
- (3) 节省材料和电能。电弧能量集中，散失少，耗电少，中、薄焊件可不开坡口，减少填充金属。
- (4) 改善劳动条件，降低劳动强度。电弧在焊剂层下燃烧，弧光、有害气体对人体危害小。

## 2. 缺点

- (1) 只适用于水平或倾斜度不太大的位置焊接。
- (2) 由于焊剂成分是 $MnO$ 、 $SiO_2$ 等金属及非金属氧化物，因此难以用来焊接铝、钛等氧化性强的金属和合金。
- (3) 设备比较复杂。仅适用于长焊缝和环形焊缝的焊接。由于需要导轨行走，所以对于一些形状不规则的焊缝无法焊接。
- (4) 当电流小于100A时，电弧稳定性不好，不适合焊接厚度小于1mm的薄板。
- (5) 由于熔池较深，对气孔敏感性大。

## 3. 应用范围

埋弧焊是工业生产中高效焊接方法之一。可焊接各种钢板结构。焊接碳素结构钢、低合金结构钢、不锈钢、耐热钢、复合钢材等。在造船、锅炉、桥梁，起重机械及冶金机械制造业中应用最广泛。

## 二、埋弧焊的焊接参数

### 1. 焊接电流

当其他条件不变时，电流是决定熔深的主要因素，增大电流能提高生产效率，但在一定焊接速度下，焊接电流过大会使热影响区过大，易产生焊瘤及焊件被烧穿等缺陷；若电流过小，则熔深不足，产生熔合不好、未焊透、夹渣等缺陷，并使焊缝成形变坏。

### 2. 焊接电压

当其他参数不变时，焊接电压是决定熔宽的主要因素。焊接电压过大时，焊剂熔化量增加，电弧不稳，严重时会产生咬边和气孔等缺陷。

### 3. 焊接速度

当其他参数不变时，焊接速度过快时，会产生咬边、未焊透、电弧偏吹和气孔等缺陷，以及焊缝余高小而窄，成形不好；焊接速度太慢，则焊缝余高过高，形成宽而浅的大熔池，焊缝表面粗糙，容易产生满溢、焊瘤或烧穿等缺陷；焊接速度太慢而且焊接电压又太高时，焊缝截面呈“蘑菇形”，容易产生裂纹。

## 4.焊丝直径与伸出长度

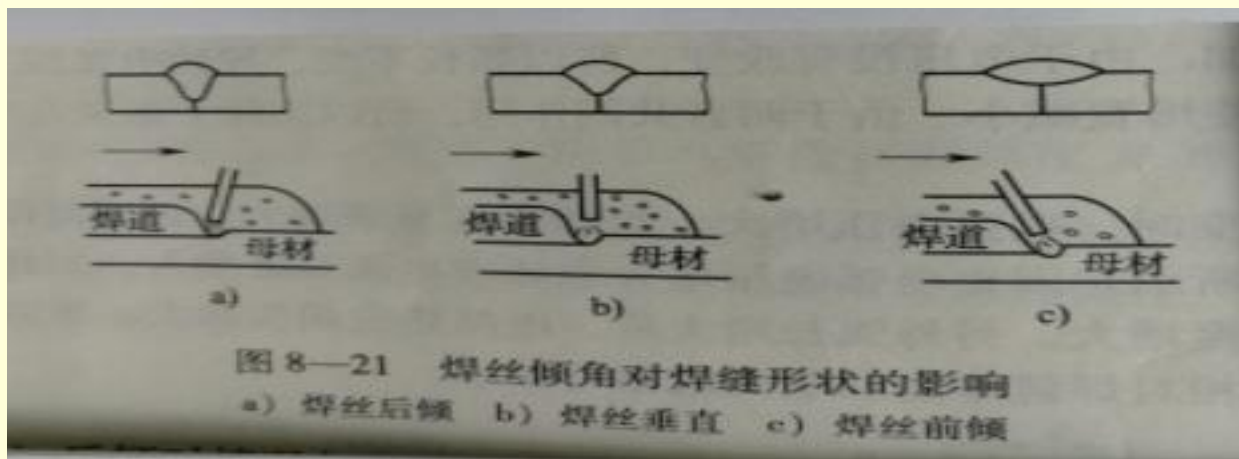
焊接电流不变时，减小焊丝直径，因电流密度增加，熔深增大，焊缝成形系数减小，因此，焊丝直径要与焊接电流相匹配，见表6—3。焊丝伸出长度增加时，熔敷速度和金属增加。

焊丝直径 (mm)	2	3	4	5	6
电流密度 (A/mm <sup>2</sup> )	63-125	50-85	40-63	35-50	28-42
焊接电流 (A)	200-400	350-600	400-700	500-800	800-1200

表6—3不同直径焊丝的焊接电流范围

## 5.焊丝倾角

单丝焊时焊件放在水平位置，焊丝与工件垂直，如图8-21b所示。当采用前倾焊时如图8-21c所示，适用于焊薄板。焊丝后倾时，焊缝成形不良，如图8-21a所示，一般只用于多丝焊的前导焊丝。



## 6. 焊件接头形式及焊件的空间位置

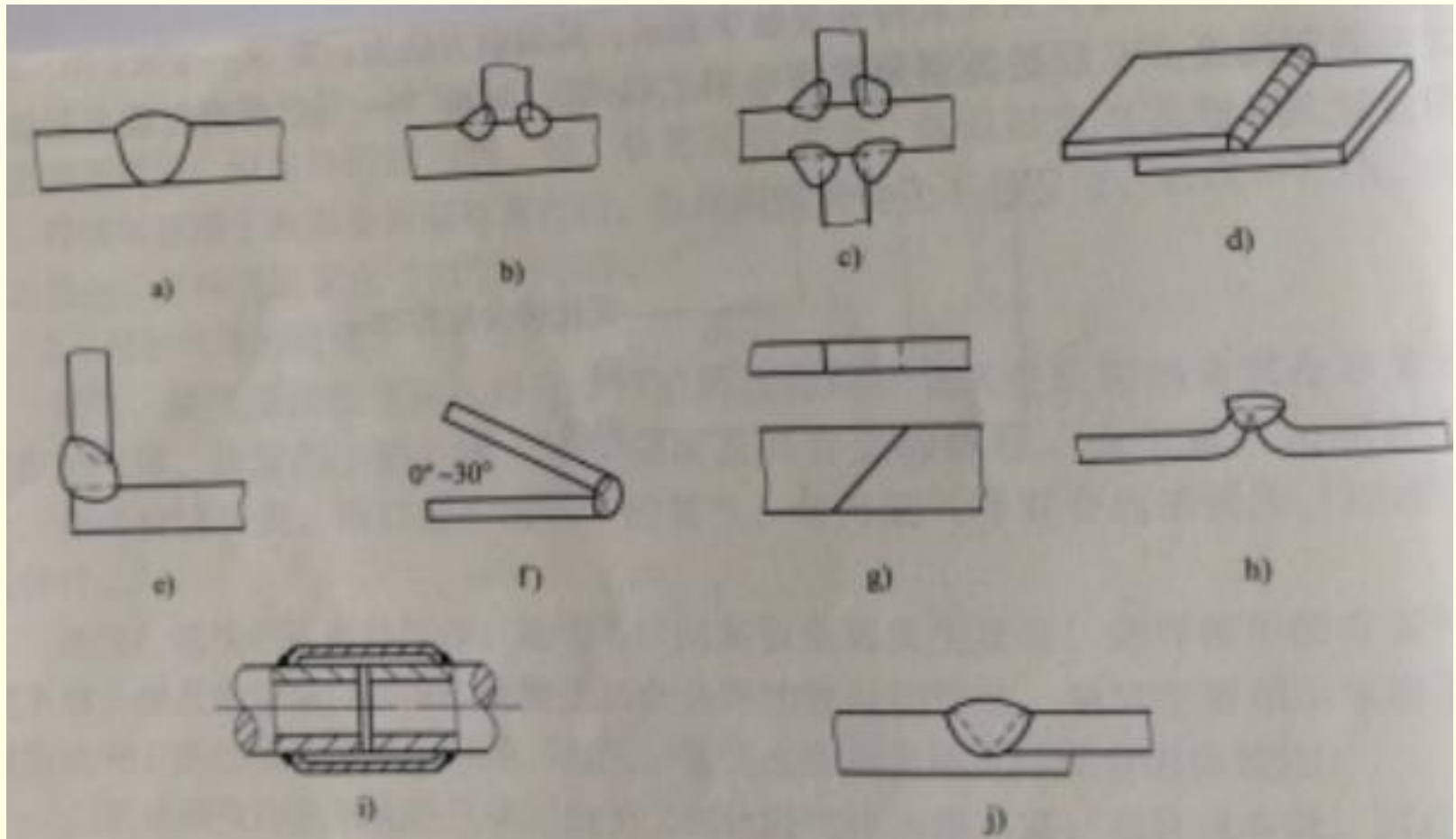


图 8—1 焊接接头的形式

- a) 对接接头 b) T形接头 c) 十字接头 d) 搭接接头 e) 角接头  
f) 端接接头 g) 斜对接接头 h) 卷边接头 i) 套管接头 j) 锁底接头



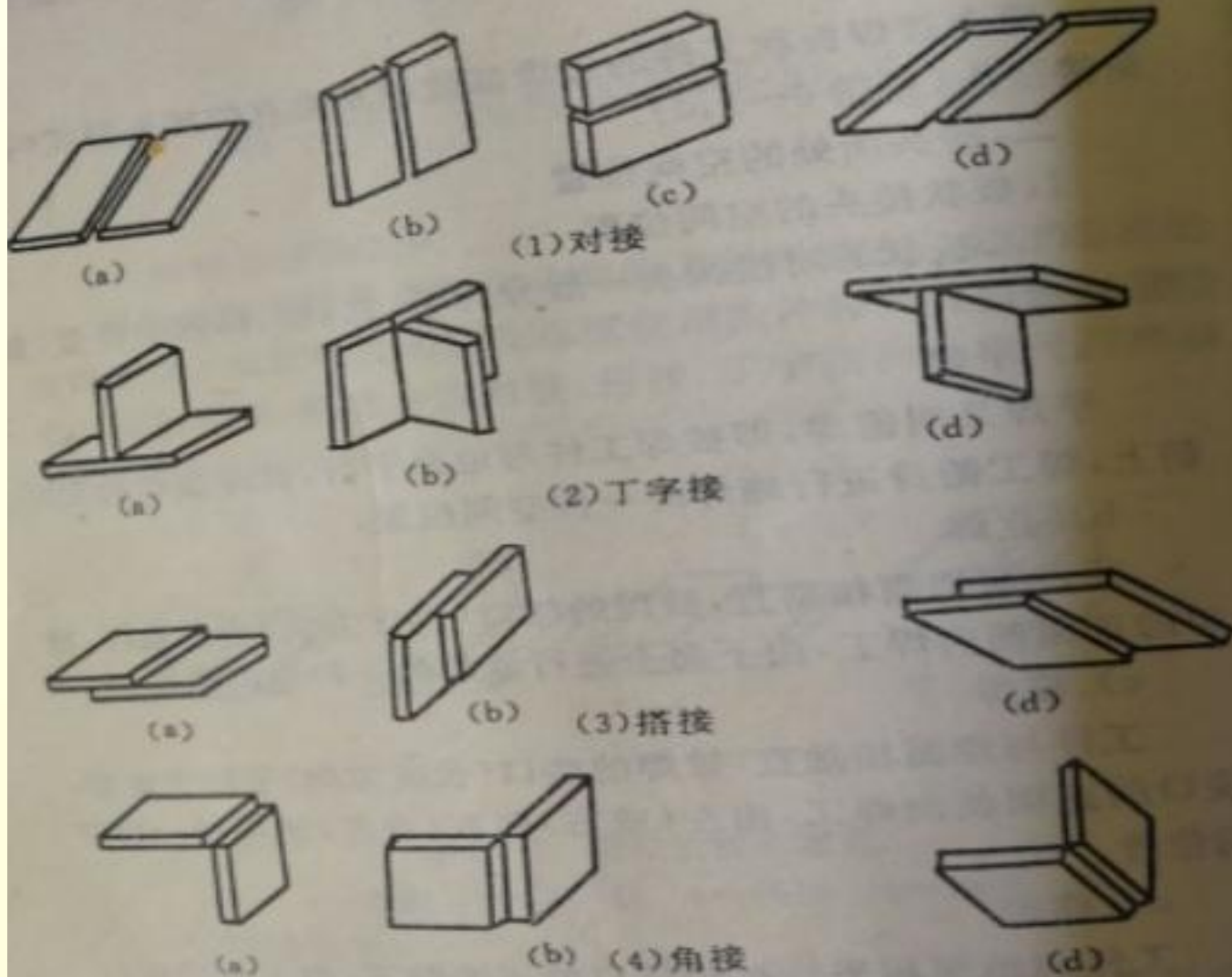
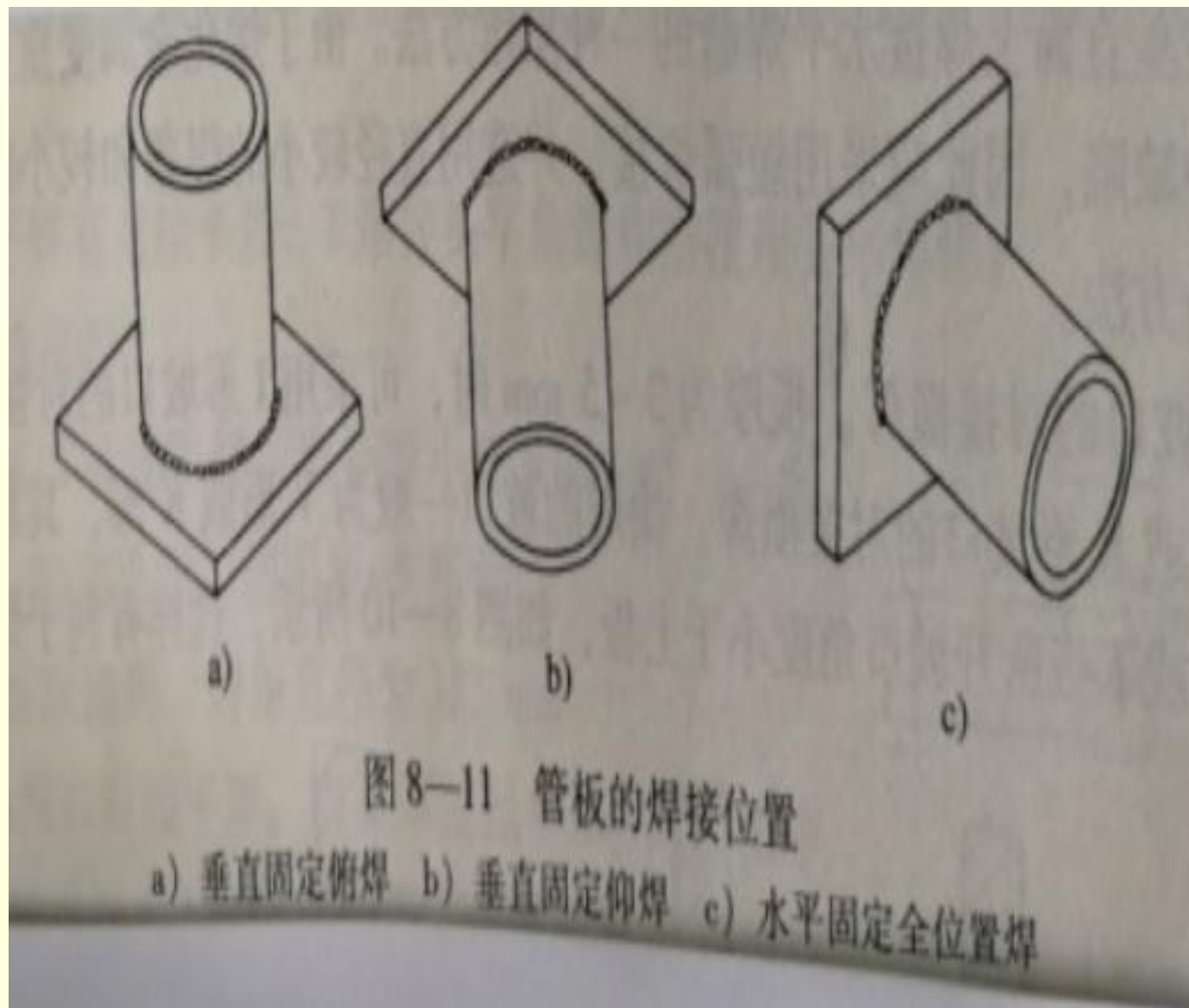


图 6—2 板状接头的空间位置  
 (a) — 平焊位置 (b) — 立焊位置  
 (c) — 横焊位置 (d) — 仰焊位置



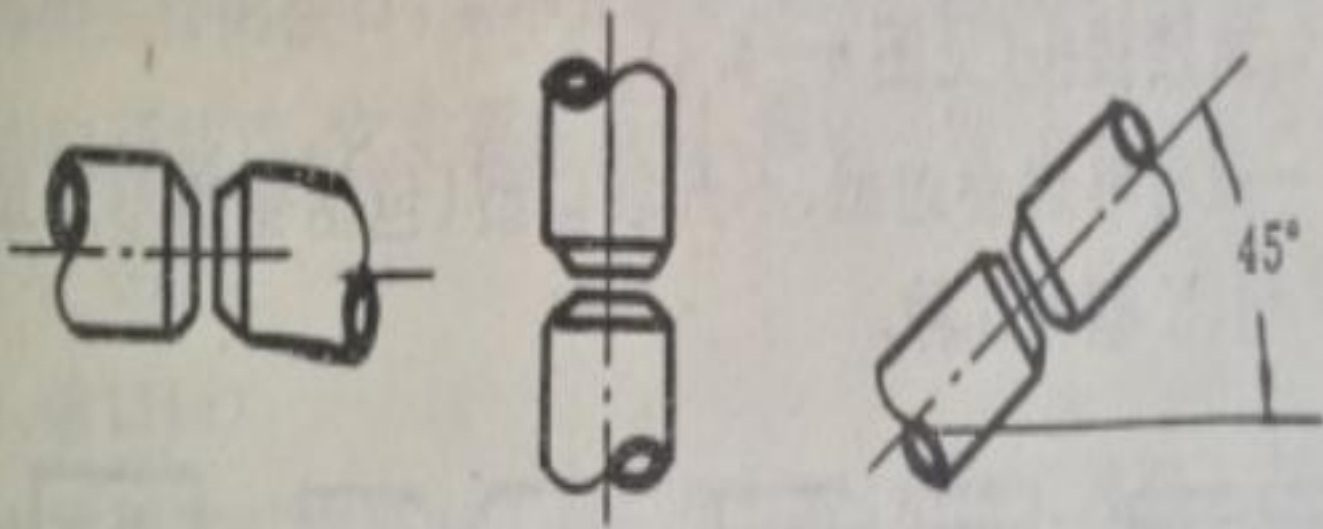


图 6~3 管状接头的空间位置

a—水平固定管 b—垂直固定管 c—斜固定管

# 7. 装配间隙与坡口角度

表 6-1 常用焊接坡口型式及尺寸

接头类型	坡口型式	图形	焊接方法	焊件厚度 ( $\delta$ ) 毫米	接头结构尺寸			适用范围
					坡口角度 ( $\alpha$ ) 度	钝边 (P) 毫米	间隙 (b) 毫米	
对接	I 型		气焊 电焊	<3 ≤3	— —	— —	1~2 1~2	一般结构和容器
	V 型		气焊 电焊	≤6 ≤16	30°~35°	0.5~2 1~3	1~2 1~3	各类管道、容器及中、厚件承重结构
	X 型		电焊	≥16	30°~35°	2~4	2~3	大型容器和重要承重结构
丁字接	无坡口型		气焊 电焊	<4 <16	— —	— —	0~2	结构
	单 V 型		电焊	≤20	50°~60°	1~2	1~2	结构
	K 型		电焊	>20	50~60	1~2	1~2	大型厚结构
搭接			气焊 电焊	≤4 ≥4	— —	— —	0~2	容器和结构
角接	V 型		气焊 电焊	<4 ≥4	30~35°	1~2	1~2	容器

## 8.焊剂层厚度与粒度

焊剂层厚度增大时，熔宽减小，熔深略有增加，焊剂层太薄时，电弧保护不好，容易产生气孔或裂纹；焊剂层太厚时，焊缝变窄，成形系数减小。

焊剂颗粒度增大，熔宽加大，熔深略有减小；但焊剂颗粒度过大，不利于熔池保护，易产生气孔。

## 第三节 手工TIG焊的工艺特点与焊接参数

### 一、手工TIG焊的工艺特点

TIG焊又称钨极氩弧焊或非熔化极氩弧焊。

#### 1.基本原理

氩弧焊是利用惰性气—氩气保护的一种电弧焊接方法，如图6—1所示。从喷嘴中喷出的氩气在焊接区造成一个厚而密的气体保护层，隔绝空气，在氩气层流的包围中，电弧在钨极和工件之间燃烧，利用电弧产生的热量熔化焊件，从而获得牢固的焊接接头。

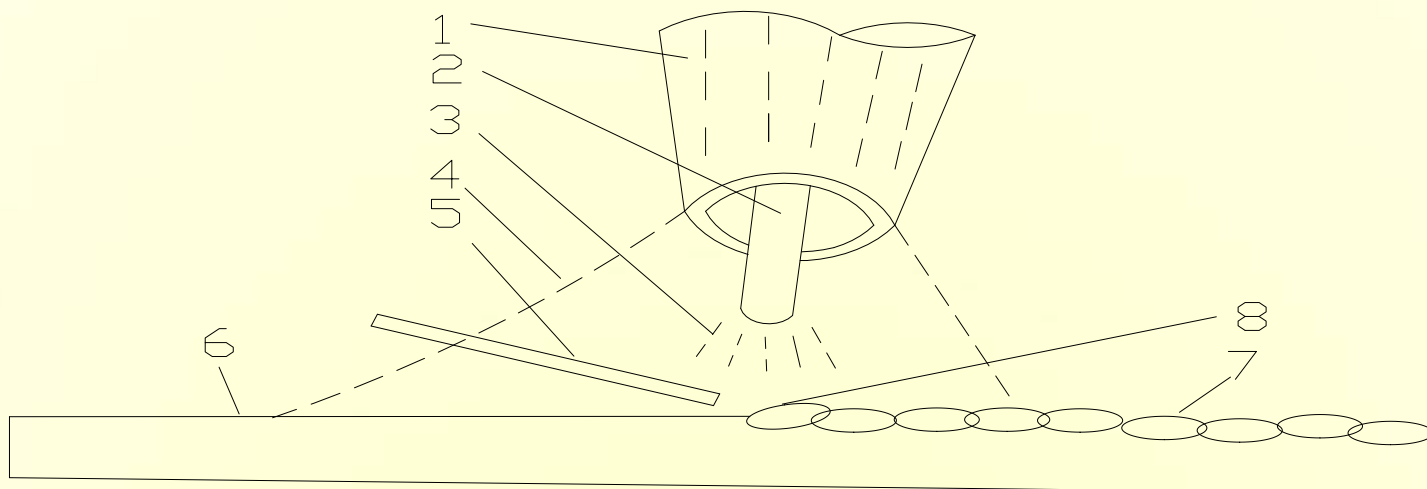


图6-1钨极氩弧焊

1-喷嘴 2-钨极 3-电弧 4-氩气流 5-焊丝 6-焊件 7-焊缝 8-熔池

## 2.主要特点

- (1)保护效果好，焊缝质量高，氩气不与金属发生反应，也不溶于金属，焊接过程基本上是金属熔化与结晶的简单过程，因此焊缝质量高。
- (2)焊接变形与应力小，因为电弧受氩气流冷却和压缩作用，电弧的热量集中且氩弧的温度高，故热影响区很窄。焊接薄件具有优越性。
- (3)电弧功率较低，仅适用于厚度小于**6mm**焊件焊接，且大多采用手工焊，焊接效率低。
- (4)成本高，目前主要用于打底焊和有色金属的焊接。
- (5)氩弧焊电势高，引弧困难。需要采用高频引弧及稳弧装置等。
- (6)氩弧焊产生的紫外线是焊条电弧焊的**5—30**倍;生成的臭氧对焊工危害较大。放射性的钍钨极对焊工也有一定的危害。所以，推广使用铈钨电极对焊工的危害较小。

## 3.应用范围

几乎所有的金属材料都可进行焊接，特别适宜焊接化学性质活泼的金属。常用于铝、镁、铜、钛及其合金以及低合金钢、不锈钢和耐热钢等材料的焊接。

## 二、焊接参数

1.焊接电源种类和极性，电源种类与极性可根据焊件材质进行选择，见表6—4。

电源种类与极性	被焊金属材料
直流正极性	低碳钢、不锈钢、低合金高强度钢、耐热钢、铜及铜合金、钛及钛合金
直流反极性	适用于各种金属的熔化极氩弧焊，TIG焊很少用
交流电源	铝、镁及其合金

采用直流正接时，工件接正极，温度较高，适用于焊厚工件及散热快的金属，钨棒接负极，温度低，可提高许用电流，同时钨极烧损少。直流反接时，钨板接正极，烧损多。所以TIG焊很少采用。但此时具有“阴极破碎”作用。

采用交流钨极氩弧焊时，在焊件为负极、钨极为正极的半周波里，阴极有去除氧化膜的破碎作用，即“阴极破碎”作用。在焊接铝、镁及其合金时，其表面有一层致密的高熔点氧化膜，若不及时去除，将会造成未熔合、夹渣、焊缝表面形成皱皮及内部气孔等缺陷。利用钨极在正半波时正离子向熔池表面高速运动，可将金属表面的氧化膜撞碎，避免产生焊接缺陷。所以，通常用交流钨极氩弧焊来焊接氧化性强的铝、镁及其合金。

## 2.钨极直径

主要按焊件厚度、焊接电流大小和电源极性来选取钨极直径。如果钨极直径选择不当，将造成电弧不稳定，钨棒烧损严重和焊缝夹钨。



### 3.焊接电流

根据工件的材质、厚度和接头空间位置选择焊接电流。过大或过小的焊接电流都会使使焊缝成形不良或产生焊接缺陷。表6—5列出了不同直径、在不同电源极性条件下允许使用的电流范围。

钨极直径(mm)	直流正极性(A)	直流反极性(A)	交流(A)
1	15-80	--	20-60
1.6	70-150	10-20	60-120
2.4	150-250	15-30	100-180
3.2	250-400	25-40	160-250
4.0	400-500	40-55	200-320
5.0	500-750	55~80	290-390

表6—5不同电源极性和不同直径钨极的许用电流范围

### 4.电弧电压

电弧电压由弧长决定，弧长增加，焊缝宽度增加，熔深减小，气体保护效果随之变差，甚至产生焊接缺陷。因此，应尽量采用短弧焊。

### 5.氩气流量

随者焊接速度和弧长的增加，气体流量也应增加；喷嘴直径、钨极伸出长度增加时，气体流量也应相应增加。若气体流量过小，则易产生气孔和焊缝被氧化等缺陷；若气体流量过大，则会产生不规则紊流，反而使空气卷入焊接区，降低保护效果。另外还会影响电弧稳定燃烧。可按下式计算氩气流量：

$$Q=(0.8-1.2)D$$

式中Q--氩气流量，L/min；D--喷嘴直径，mm。

## 6.焊接速度

氩气保护是柔性的，当遇到侧向空气吹动或焊速过快时，则氩气气流会产生弯曲，保护效果减弱。如果适当地加大氩气流量，气流挺度增大，可以减小弯曲程度。因此，氩弧焊时应注意气流的干扰以及防止焊接速度过快。

## 7.喷嘴直径

增大喷嘴直径的同时应增加气体流量，此时保护区大，保护效果好。但喷嘴过大时不仅使氩气的消耗量增加，而且可能使焊炬伸不进去，或妨碍焊工视线，不便于观察和操作。因此，常用的喷嘴直径一般取**5-14mm**为宜。

## 8.喷嘴至焊件的距离

这里指的是喷嘴端面与工件间的距离，这个距离越小，保护效果越好。所以，喷嘴至焊件间的距离应尽可能小些，但过小将使操作、观察不便。因此，通常取喷嘴至焊件间的距离为**5-15mm**。

## 第四节 熔化极气体保护焊的工艺特点与分类

气体保护电弧焊是用外加气体作为电弧介质并保护电弧和焊接区的电弧焊方法，简称气体保护焊。根据电极材料不同，气体保护电弧焊可分为非熔化极气体保护焊和熔化极气体保护焊。

### 一、熔化极气体保护焊的原理及特点

#### 1. 熔化极气体保护焊的原理

熔化电极的气体保护电弧焊是采用连续送进可熔化的焊丝与焊件之间的电弧作为热源来熔化焊丝和焊件，形成熔池和焊缝的焊接方法。为了得到良好的焊缝并保证焊接过程的稳定性，应利用外加气体作为电弧介质并保护熔滴、熔池和焊接区金属免受周围空气的有害作用。

#### 2. 熔化极气体保护焊的特点

(1) 采用明弧焊，一般不必用焊剂，没有熔渣，熔池可见度好，便于操作。而且保护气体是喷射的，适宜进行全位置焊接，不受空间位置的限制，有利于实现焊接过程的机械化和自动化。

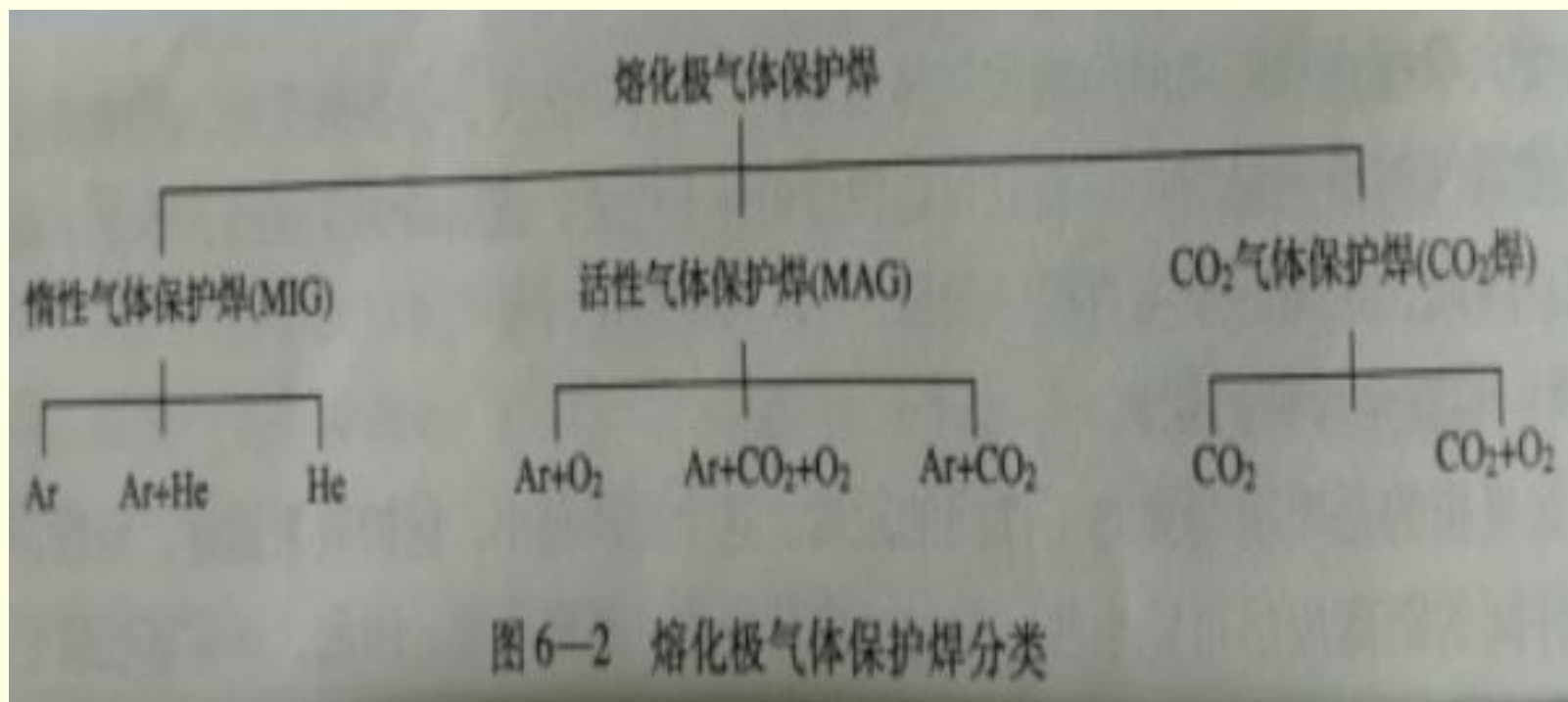
(2) 由于电弧在保护气流的压缩下热量集中，焊接熔池和热影响区很小，因此，焊接变形小，焊接裂纹倾向不大，尤其适用于薄板焊接。

(3) 采用氩气、氦气等惰性气体保护，焊接化学性质较活泼的金属或合金时，可获得高质量的焊接接头。

(4) 气体保护焊不宜在有风的地方施焊，在室外作业时须有专门的防风措施，此外，电弧光的辐射较强，焊接设备较复杂。

## 二、熔化极气体保护焊的分类及应用

(1) 熔化极气体保护焊按保护气体的成分不同，可分为熔化极惰性气体保护焊(MIG)、熔化极活性气体保护焊(MAG)、 $\text{CO}_2$ 气体保护焊( $\text{CO}_2$ 焊)三种，如图6—2所示。



常用的熔化极气体保护焊工艺的特点及应用见表6—6。

表6—6熔化极气体保护焊工艺的特点及应用

焊接方法	保护气体	特点	应用范围
CO <sub>2</sub> 焊	CO <sub>2</sub> 、 CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>	优点是生产效率高，对油、锈不敏感，冷裂倾向小。焊接变形和焊接应力小，操作简便，成本低，可进行全位置焊。缺点是飞溅较多，弧光较强，很难用交流电源焊接及在有风的地方施焊等。熔滴过渡形式主要有短路过渡和滴状过渡。	广泛应用于焊接低碳钢、低合金钢，与药芯焊丝配合可以焊接耐热钢、不锈钢及用于堆焊等。特别适宜于薄板焊接。
熔化极惰性气体保护(MIG)	Ar、Ar+He、 He	几乎可以焊接所有金属材料，生产效率比钨极氩弧焊高，飞溅小，焊缝质量高，可进行全位置焊。缺点是成本较高，对油、锈很敏感，易产生气孔，抗风能力弱等。熔滴过渡形式有喷射过渡和短路过渡。	几乎可以焊接所有金属材料，主要用于焊接有色金属、和合金钢，不锈钢。或用于碳钢及低合金钢管道及接头打底焊道的焊接。能焊薄板、中板和厚板焊件
熔化极活性气体保护焊(MAG)	Ar+O <sub>2</sub> 、 Ar+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> 、 Ar+CO <sub>2</sub>	MAG焊克服了CO <sub>2</sub> 气体保护焊和熔化极惰性气体保护焊的主要缺点。飞溅小，熔敷系数提高，合金元素烧损比CO <sub>2</sub> 焊小，焊缝成形、力学性能好，成本比惰性气体保护焊低，比CO <sub>2</sub> 焊高。熔滴过渡形式主要有喷射过渡和短路过渡	可以焊接碳钢、低合金钢、不锈钢等，能焊薄板、中板和厚板焊件

(2)熔化极气体保护焊按所用的焊丝类型不同，分为实芯焊丝气体保护焊和药芯焊丝气体保护焊。

(3)熔化极气体保护焊按操作方式不同，可分为半自动气体保护焊和自动气体保护焊。

### 三、熔化极气体保护焊常用气体及应用

熔化极气体保护焊常用的气体有氩气(Ar)、氦气(He)、氮气(N<sub>2</sub>)、氢气(H<sub>2</sub>)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)及混合气体。常用保护气体的应用见表6—7。

被焊材料	常用气体	混合比(%)	化学性质	焊接方法
铝及铝合金	Ar		惰性	熔化极
	Ar+He	$\psi_{\text{He}}=10$		
铜及铜合金	Ar		惰性	熔化极
	Ar+N <sub>2</sub>	$\psi_{\text{N}_2}=20$		熔化极
	N <sub>2</sub>		还原性	
不锈钢	Ar+O <sub>2</sub>	$\psi_{\text{O}_2}=1-2$	氧化性	熔化极
	Ar+O <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub>	$\psi_{\text{O}_2}=2; \psi_{\text{CO}_2}=5$		
碳钢及低合金钢	CO <sub>2</sub>		氧化性	熔化极
	Ar+O <sub>2</sub>	$\psi_{\text{CO}_2}=20-30$		
	CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>	$\psi_{\text{CO}_2}=10-15$		
钛钎及其合金	Ar		惰性	熔化极
	Ar+ He	$\psi_{\text{He}}=25$		
镍基合金	Ar+ He	$\psi_{\text{He}}=15$	惰性	熔化极

## 1. 氩气(Ar)和氦气(He)

氩气、氦气是惰性气体，对化学性质活泼且易与氧起反应的金属，是非常理想的保护气体，故常用于铝、镁、钛等金属及其合金的焊接。由于氦气的消耗量很大，而且价格昂贵，所以很少用单一的氦气，常和氩气等混合起来使用。

## 2. 氮气(N<sub>2</sub>)和氢气(H<sub>2</sub>)

氮气、氢气是还原性气体，氮气可以与多数金属起反应，是焊接中的有害气体，但不溶于铜及铜合金，故可作为铜及铜合金焊接的保护气体。氢气已很少单独应用。氦气常与其他气体混合起来使用。

## 3. 二氧化碳(CO<sub>2</sub>)

二氧化碳是氧化性气体。由于二氧化碳来源丰富，而且成本低，因此值得推广应用，目前主要用于碳钢及低合金钢的焊接。

## 4. 混合气体

混合气体是一种保护气体中加入适当分量的另一种（或两种）其它气体。应用最广泛的是在惰性气体氩气(Ar)中加入少量的氧化性气体（CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>或其混合气体）用这种气体作为保护气体的焊接方法称为熔化极活性气体保护焊，英文简称为**MAG**焊，由于混合气体中氩气所占比例大，故常称为富氩混合气体保护焊，常用来焊接碳钢、低合金钢和不锈钢。现在生产中用得最广泛的是用**80%**的氩气+**20%**的二氧化碳焊接碳钢及低合金钢。

## 四、焊接新工艺简介

随着科学技术的不断发展，在焊接技术领域里也出现了不少先进的焊接工艺方法，如真空电子束焊、超声波焊、激光焊、扩散焊、爆炸焊等焊接方法，使得焊接技术的应用日趋广泛。下面做简单介绍。

### 1、真空电子束焊

电子束焊是利用加速和聚焦的电子束轰击置于真空或非真空中焊件所产生的热能进行焊接的方法，真空电子束焊就是电子束焊的一种，也是目前发展较成熟的一种先进工艺。真空电子束焊与其现有焊接方法相比，具有许多优点。如电子束能量密度很高，约为电弧焊的5000多倍，所以焊接速度快；又因焊接时的电子束电流很小，线能量较低，热循环快，则使焊件的热影响区和变形极小；焊缝深而窄，深宽比可达20：1，这对焊接不开坡口的单道焊缝是十分有利的；由于在真空环境下焊接，而且熔池金属无金属电极的沾污，故焊缝金属的纯度极高。

电子束焊的主要缺点是设备复杂，成本高，使用维护较困难，对接头装配质量要求严格，需要防护X射线等。



## 2、超声波焊

利用超声波的高频振荡能对焊件接头进行局部加热和表面清理，然后施加压力实现焊接的一种压焊方法，称为超声波焊。

超声波焊接的焊点形成主要靠高频机械振动，金属不需要加热到很高温度（远低于熔点）就形成接头，焊接所需要的能量比接触焊小得多，因此焊点和热影响区的组织与性能变化极小，焊后的残余应力和变形也很小。它可以焊接用一般焊接方法难于焊接的材料，如高导热性、高导电性的轻金属及其合金和其他耐高温的特殊材料（如钼）。也可以进行异种金属甚至物理性能差别很大的金属（如铝与铜、钢与钨、铝与镍等）间的焊接，以及非金属与金属之间的焊接。

焊前的焊件接触面清理要求不高，只需要除去油污，一般不需要清理氧化膜。由于超声波焊接有许多优点，这就增加了焊接技术的应用范围，在国内外的航空火箭工业中获得了大量的应用。

### 3、激光焊

激光是一种新能量，激光可以用来焊接、切割，打孔或其它加工。激光焊是以聚焦的激光束作为能源轰击焊件所产生的热量进行焊接的方法。

激光束能准确聚焦为很小的光点（直径为 $10\mu\text{m}$ ），故焊缝可以极为窄小。辐射能量大、且极为集中，穿透深度大（用 $90\text{kWCO}_2$ 激光器焊接，溶深可达 $51\text{mm}$ ），加热温度可达 $5000\sim 9000^\circ\text{C}$ ，可以熔化和焊接所有金属。焊接作用时间极短（ $1\text{ms}$ 左右），故焊件不易氧化。不论是在真空、保护气体或空气中焊接，效果几乎同等，能在任何空间进行焊接。整个焊接过程都非常快，其凝固速度为其他熔化焊方法的 $10\sim 100$ 倍，故焊接热影响区极小，几乎看不出。晶粒为极细的树枝状结晶。

由于激光焊接具有上述特点，所以它被用于仪器、微型电子工业的超小型元件和宇宙技术中的特殊材料的焊接，可以焊接同种或异种材料。

### 3、激光焊

激光是一种新能量，激光可以用来焊接、切割，打孔或其它加工。激光焊是以聚焦的激光束作为能源轰击焊件所产生的热量进行焊接的方法。

激光束能准确聚焦为很小的光点（直径为 $10\mu\text{m}$ ），故焊缝可以极为窄小。辐射能量大、且极为集中，穿透深度大（用 $90\text{kWCO}_2$ 激光器焊接，溶深可达 $51\text{mm}$ ），加热温度可达 $5000\sim 9000^\circ\text{C}$ ，可以熔化和焊接所有金属。焊接作用时间极短（ $1\text{ms}$ 左右），故焊件不易氧化。不论是在真空、保护气体或空气中焊接，效果几乎同等，能在任何空间进行焊接。整个焊接过程都非常快，其凝固速度为其他熔化焊方法的 $10\sim 100$ 倍，故焊接热影响区极小，几乎看不出。晶粒为极细的树枝状结晶。

由于激光焊接具有上述特点，所以它被用于仪器、微型电子工业的超小型元件和宇宙技术中的特殊材料的焊接，可以焊接同种或异种材料。

## 4、扩散焊

扩散焊接是近几年才应用的一种新的焊接方法。它是将两个接触的金属材料加热到略低于固相线的温度，并施加一定的压力，此时焊件产生一定的显微变形，经过较长的时间后，便由于他们的原子互相扩散而得到永久的结合。为了防止金属接触面的热循环被氧化污染，扩散焊接一般都是在真空或保护气体中进行的。加热、加压产生必要的显微变形是为了金属接触面原子相互扩散而创造条件，加速原子的扩散。

扩散焊接的特点是：加热温度低，对基体金属的性能影响小，能用于连接不适于熔化焊接的材料。焊接接头成分，性能都与焊件金属相近似，利用显微镜也难看出接合面。它特别适用于要求真空密封、与基本金属等强度和不变形小零件。它是制造真空密封、耐热、耐振和不变形接头的唯一方法。因此在工业生产中很快得到广泛的应用。

## 5、爆炸焊

利用炸药产生的冲击力造成焊件的迅速碰撞，实现连接焊件的一种压焊方法，称为爆炸焊。爆炸焊接过程是“冷过程”，因为整个焊接过程只有几微秒，它在爆炸热量未传到金属结合面时，焊接就已完成。因此无热影响区，金属的性能变化很小。这与一般焊接方法有很大差别。因此用一般焊接方法较难焊接的材料，可用爆炸焊接。如熔点相差很大的铝与钢、热膨胀系数相差很大的钛与不锈钢都可用爆炸焊接。由于两种金属都不熔化，因此在两金属结合面上也不会出现脆性金属间化合物。

爆炸焊接接头具有双重连接特点，即冶金特点的连接与犬牙交错的机械连接，故接头强度高。

为了进一步降低能耗和减少污染排放，改善环境，提高发电厂效率，600MW超临界、超超临界机组在我国越来越多，1000MW超超临界机组也相继投产，取得了很大的进步。但与国外先进水平相比仍然有很大的差距，而且我国现有超临界机组的新型耐热钢基本是依赖进口，为了尽快缩小与发达国家的差距，我们需付出更大的努力。

## 第五节 电弧焊常见焊接缺陷的产生原因及防止方法

### 一、焊缝形状和尺寸不符合要求

焊缝表面高低不平，焊缝宽窄不齐，尺寸过大或过小、角焊缝单边以及焊脚不符合要求，均属于焊缝表面尺寸不符合要求，如图6—2所示。

#### 1. 产生原因

焊件坡口角度不对，装配间隙不均匀，焊接速度不当或运条手法不正确，焊条和角度选择不当或改变，埋弧焊焊接参数选择不正确等都会造成这种缺陷。

#### 2. 防止方法

选择适当的坡口角度和装配间隙；正确选择焊接参数，特别是焊接电流值；采用恰当的运条手法和角度，以保证焊缝成形均匀一致。

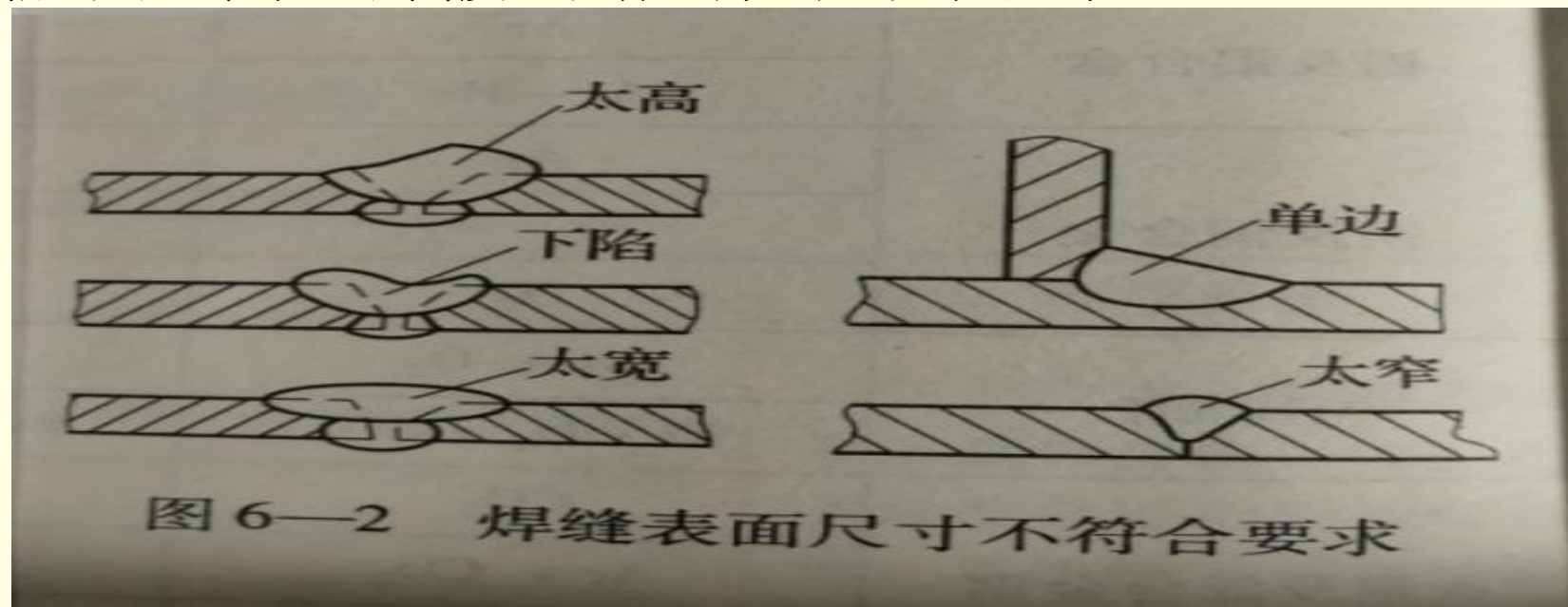


图6—2 焊缝表面尺寸不符合要求

## 二、焊接裂纹

在焊接应力及其他致脆因素的共同作用下，焊接接头局部地区的金属原子结合力遭到破坏而形成的新界面所产生的缝隙叫做焊接裂纹。它具有尖锐的缺口和大的长宽比特征。

### 1.热裂纹的产生原因与防止方法

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做热裂纹。

(1)产生原因。是由熔池冷却结晶时受到的拉应力作用和凝固时低熔点共晶体形成的液态薄层共同作用的结果。增大任何一方面的作用，都能促使形成热裂纹。

### (2)防止方法

1)控制焊缝中有害杂质的含量，即碳、硫、磷的含量，减少熔池中低熔点共晶体的形成。

2)预热，以降低冷却速度，改善应力状况。

3)采用碱性焊条，因为碱性焊条的熔渣具有较强的脱硫、脱磷的能力。

4)控制焊缝形状，尽量避免得到深而窄的焊缝。

5)采用收弧板，将弧坑引至焊件外面，即使发生弧坑裂纹，也不影响焊件本身。

。

## 2.冷裂纹的产生原因及防止方法

焊接接头冷却到较低温度时(对钢来说在 $M_s$ 温度以下或 $200-300^{\circ}\text{C}$ )产生的焊接裂纹叫做冷裂纹。

(1)产生原因。主要发生在中碳钢、低合金和中合金高强度钢中。原因是焊材本身具有较大的淬硬倾向，焊接熔池中溶解了大量的氢，以及焊接接头在焊接过程中产生了较大的拘束应力。

(2)防止方法。从减少这三个因素的影响和作用着手。

1)焊前按规定要求严格烘干焊条、焊剂，以减少氢的来源。

2)采用低氢型碱性焊条和焊剂。

3)焊接淬硬性较强的低合金高强度钢时采用奥氏体不锈钢焊条。

4)焊前预热。

5)后热。焊后立即将焊件的全部(或局部)进行加热或保温、缓冷的工艺措施叫做后热。后热能使焊接接头中的氢有效地逸出，所以是防止延迟裂纹的重要措施。但后热加热温度低，不能起到消除应力的作用。

6)适当增加焊接电流，减慢焊接速度，可减慢热影响区冷却速度，防止形成淬硬组织。



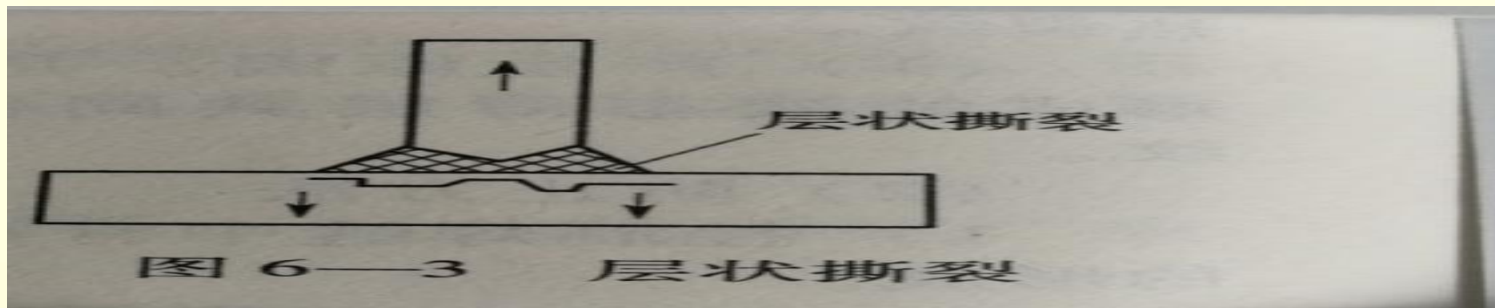
### 3.再热裂纹的产生原因与防止方法

焊后焊件在一定温度范围再次加热(消除应力热处理或其他加热过程)而产生的裂纹叫做再热裂纹。

再热裂纹一般发生在焊接热影响区的粗晶区,大体沿熔合线发展,沿晶间开裂。再热裂纹多发生在含有沉淀强化元素(如铬、钼、钒等)的低合金高强度钢、珠光体耐热钢、奥氏体不锈钢和某些镍基合金的焊接接头中。再热裂纹的产生存在一个敏感温度区,这个区因材料的不同而异,如沉淀强化的低合金钢为**500—700℃**。防止再热裂纹的措施:第一是控制母材中铬、钼、钒等合金元素的含量;第二是减小结构钢焊接残余应力;第三是在焊接过程中采取减小焊接应力的工艺措施,如使用小直径焊条、小参数焊接、焊接时不摆动焊条等。

### 4.层状撕裂的产生原因与防止方法

焊接时焊接构件中沿钢板轧层形成的阶梯状的裂纹叫做层状撕裂,如图6-3所示。



产生层状撕裂的原因:轧制钢板中存在着硫化物、氧化物和硅酸盐等非金属夹杂物,在垂直于厚度方向的焊缝应力作用下(图中箭头),在夹杂物的边缘产生应力集中,当应力超过一定数值时,某些部位的夹杂物首先开裂并扩展,以后这种开裂在各层之间相继发生,连成一体。形成层状撕裂的阶梯形。

防止层状撕裂的措施是严格控制钢材的硫含量,在与焊缝相连接的钢材表面预先堆焊几层低强度焊缝,采用强度级别较低的焊接材料。

### 三、气孔

焊接时，熔池中的气泡在凝固时未能逸出，残存下来形成的孔穴叫做气孔。

#### 1. 产生原因

铁锈和水分。对熔池一方面有氧化作用，另一方面又带来大量的氢。焊接方法。埋弧焊时由于焊缝大，焊缝厚度深，气体从熔池中逸出困难，故生成气孔的倾向比焊条电弧焊大得多。

(3)焊条种类。碱性焊条比酸性焊条对铁锈和水分的敏感性大得多，即在同样的铁锈和水分含量下，碱性焊条十分容易产生气孔。

(4) 电流种类和极性。当采用未经很好烘干的焊条条进行焊接时，使用交流电源，焊缝最易出现气孔；直流正接气孔倾向较小；直流反接气孔倾向最小。采用碱性焊条时，一定要用直流反接。如果使用直流正接，则生成气孔的倾向显著加大。

(5)焊接参数。焊接速度加快，焊接电流增大，电弧电压升高都会使产生气孔的倾向增大。

#### 2.防止方法

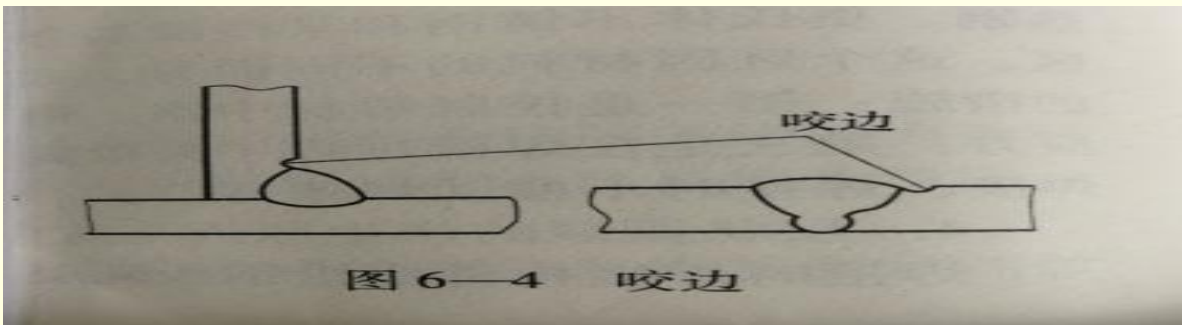
(1)对焊条电弧焊焊缝两侧各10mm,埋弧焊两侧各20mm内，仔细清除焊件表面上的铁锈等污物。

(2)煤条、焊剂在焊前按规定严格烘干，并存放于保温筒中，做到随用随取。

(3)采用合适的焊接参数，使用碱性焊条焊接时一定要采用短弧焊。

#### 四、咬边

由于焊接参数选择不当，或操作工艺不正确，沿焊趾的母材部位产生的沟槽或凹陷叫做咬边，如图6—4所示。



##### 1. 产生原因

主要原因是焊接参数选择不当，焊接电流太大，电弧过长，运条速度和焊条角度不适当等。

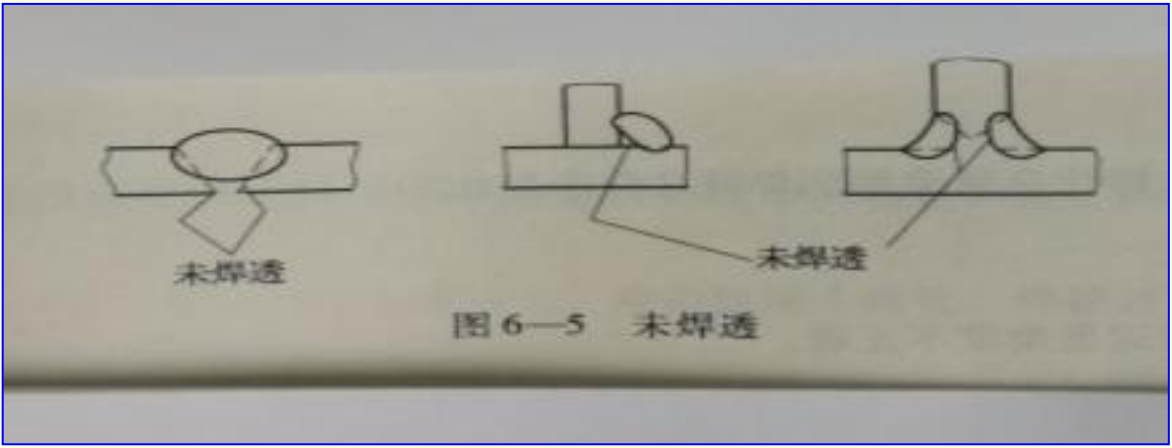
##### 2. 防止方法

选择正确的焊接电流及焊接速度，电弧不能拉得太长，掌握正确的运条方法和运条角度。

埋弧焊时一般不会产生咬边。

#### 五、未焊透

焊接时接头根部未完全熔透的现象叫做未焊透，如图6—5所示。



## 1.产生原因

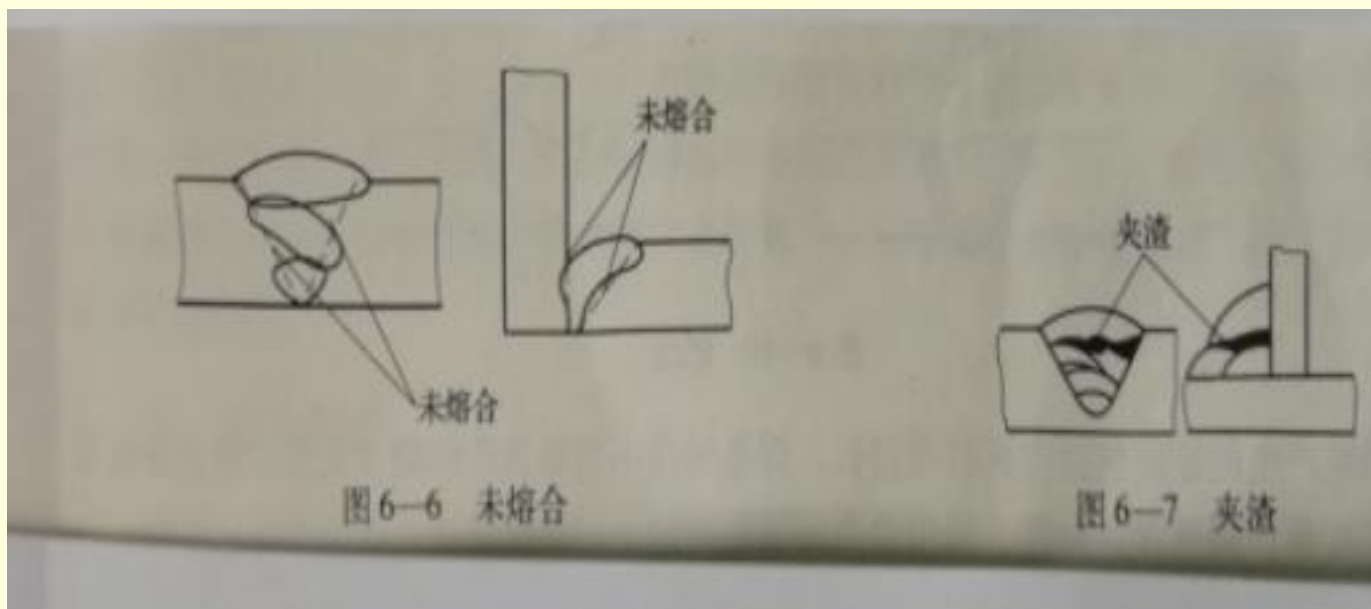
焊缝坡口钝边过大，坡口角度太小，焊根未清理干净，间隙太小；焊条或焊丝角度不正确，电流过小，速度过快，弧长过大；焊接时有磁偏吹现象；或电流过大，焊件金属尚未充分加热时焊条已急剧熔化；层间或母材边缘的铁锈、氧化皮及油污等未清理干净，焊接位置不佳，焊接可达性不好等。

## 2.防止方法

正确选用和加工坡口尺寸，保证必需的装配间隙，正确选用焊接电流和焊接速度，认真操作，防止焊偏等。

## 六、未熔合

熔焊时，焊道与母材之间或焊道与焊道之间未完全熔化结合的部分叫做未熔合，如图6—6所示。



### 1.产生原因

层间清渣不干净，焊接电流太小，焊条偏心，焊条摆动幅度太窄等。

### 2.防止方法

加强层间清渣，正确选择焊接电流，注意焊条摆动等。

## 七、夹渣

焊后残留在焊缝中的熔渣叫做夹渣，如图6—7所示。

### 1.产生原因

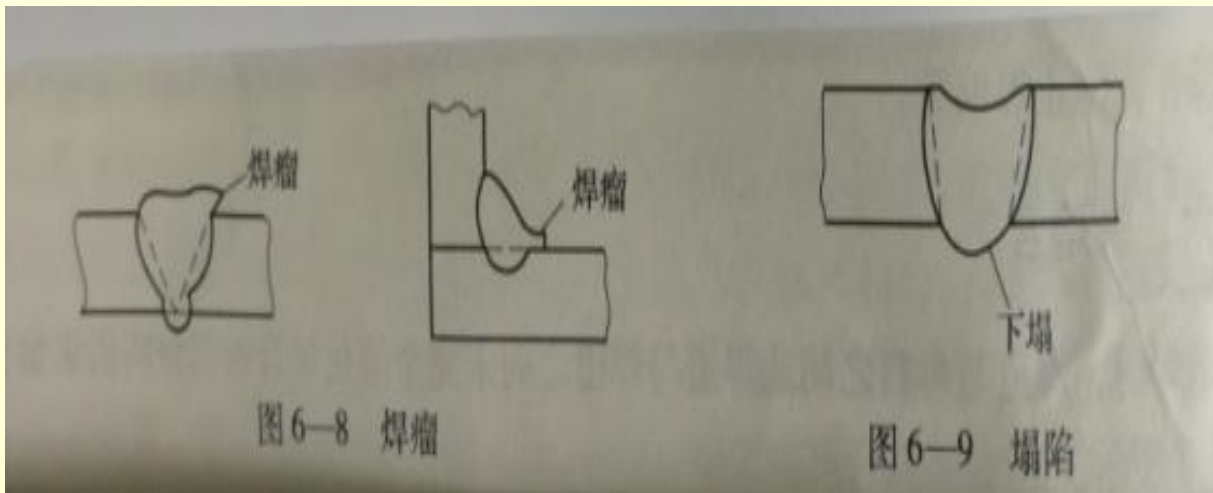
焊接电流太小，以至于液态金属和熔渣分不清；焊接速度过快，使熔渣来不及浮起；多层焊时清渣不干净；焊缝成形系数过小以及焊条角度不正确等。

### 2.防止方法

采用具有良好工艺性能的焊条，正确选用焊接电流和运条角度，焊件坡口角度不宜过小，多层焊时认真做好清渣工作等。

## 八、焊瘤

焊接过程中，熔化金属流淌到焊缝之外未熔化的母材上形成的金属瘤叫做焊瘤如图6—8所示。



## 1.产生原因

操作不熟练和运条角度不正确。

## 2.防止方法

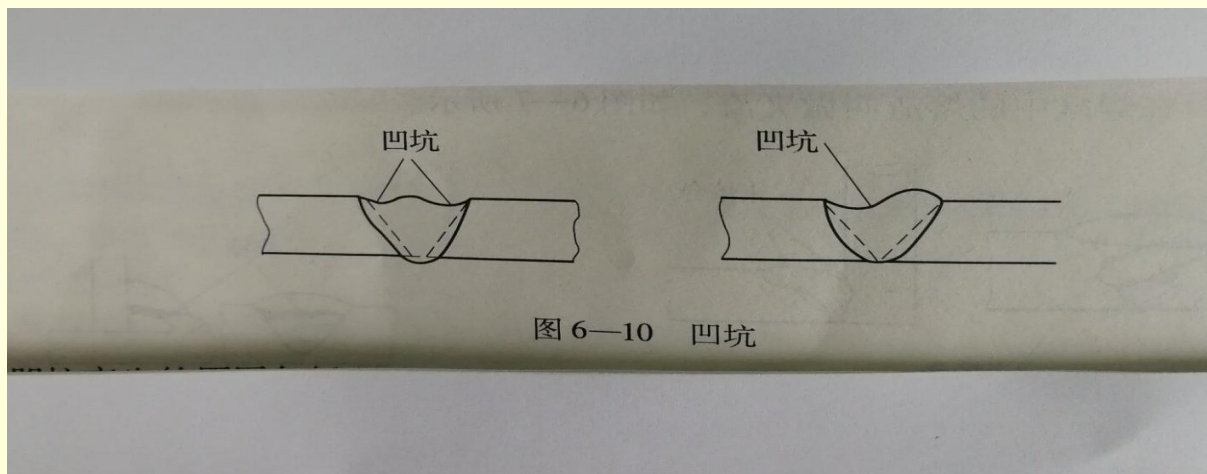
提高操作技术水平。正确选择焊接参数，灵活调整焊条角度，装配间隙不宜过大，严格控制熔池温度，不使其过高。

## 九、下塌

单面熔化焊时，由于焊接工艺不当，造成焊缝金属过量透过背面，而使焊缝正面塌防、背面凸起的现象叫做下塌，如图6—9所示。

## 十、凹坑

焊后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叫做凹坑，如图6—10所示。背面的凹坑通常叫做内凹。凹坑会减小焊缝的工作截面。



凹坑产生的原因包括电弧拉得过长，焊条倾角不当和装配间隙太大等。防止方法是采用短弧焊，调整焊条角度，采用恰当的装配间隙。

## 十一、烧穿

焊接过程中，熔化金属自坡口背面流出，形成穿孔的缺陷叫做烧穿。

烧穿产生的原因是对焊件加热过度。

防止方法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。另外，还可以采用衬垫、焊剂垫、自熔垫或使用脉冲电流防止烧穿。

## 十二、夹钨

进行钨极惰性气体保护焊时，由钨极进入焊缝中的钨粒叫做夹钨。夹钨的性质相当于夹渣。

夹钨产生的原因主要是焊接电流过大，使钨极端头熔化，焊接过程中钨极与熔池接触以及采用接触短路法引弧等。

防止方法是降低焊接电流，采用高频引弧。

## 第六节 焊接应力与变形

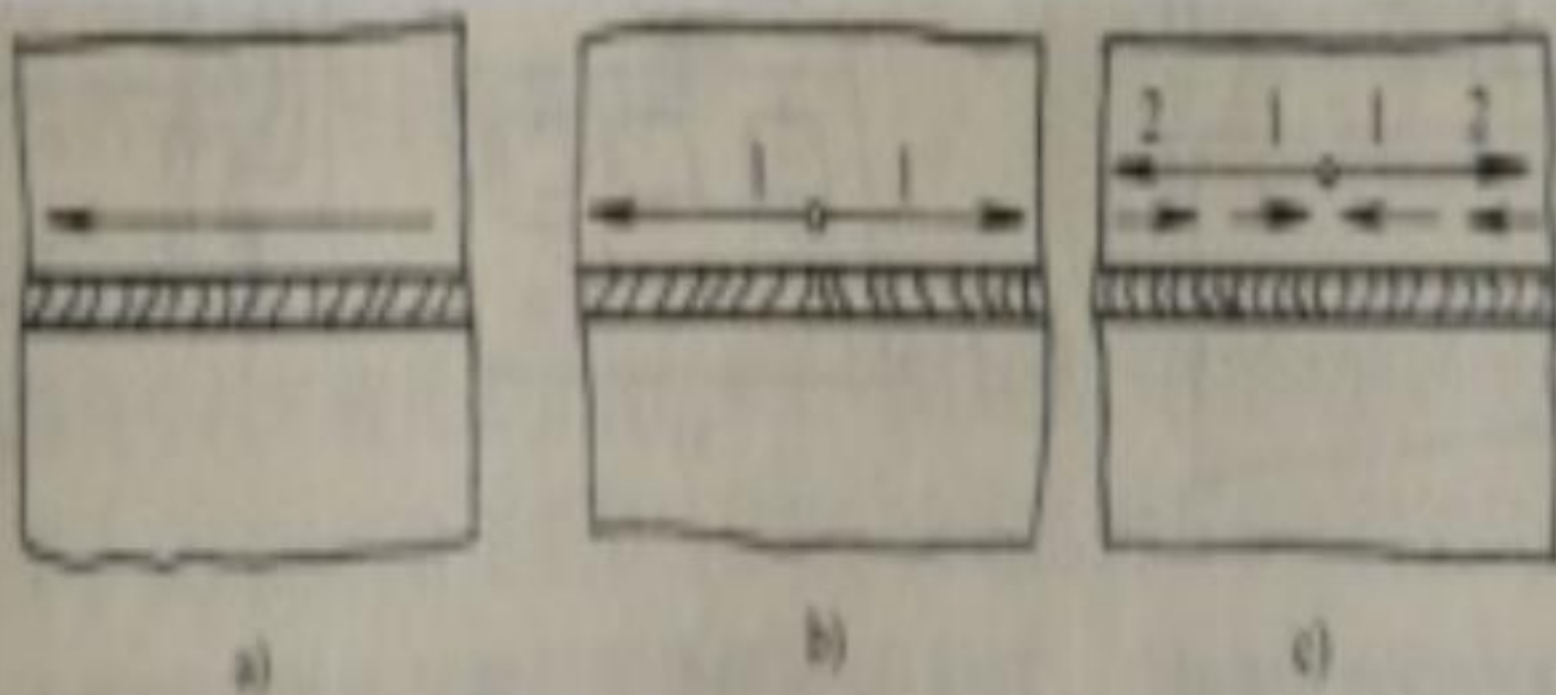


图 5—139 长焊缝的焊接方向和顺序  
(图上数字为焊接顺序)

a) 变形最大 b) 变形较小 c) 变形最小



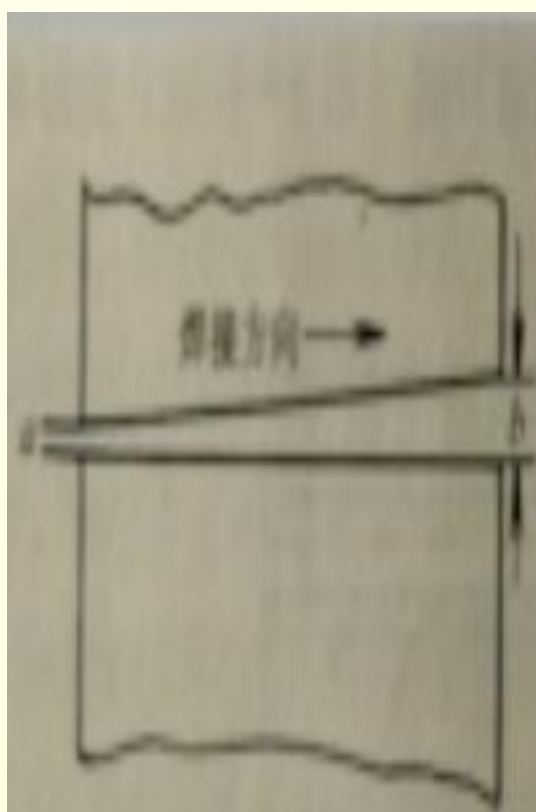
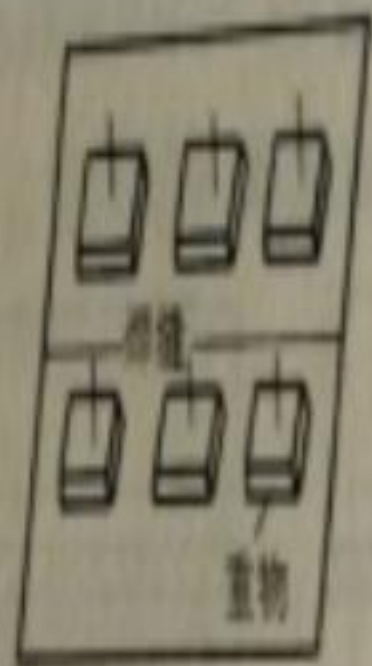
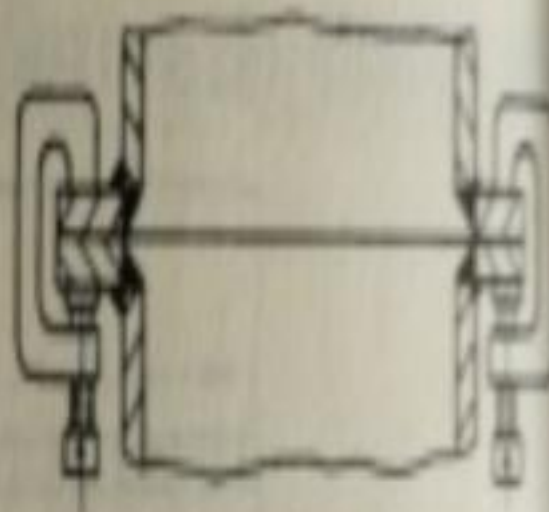


图 5—142 装配间隙的反变形



a)



b)

图 5—143 刚性固定法

a) 焊薄板时用重物固定 b) 用夹具固定

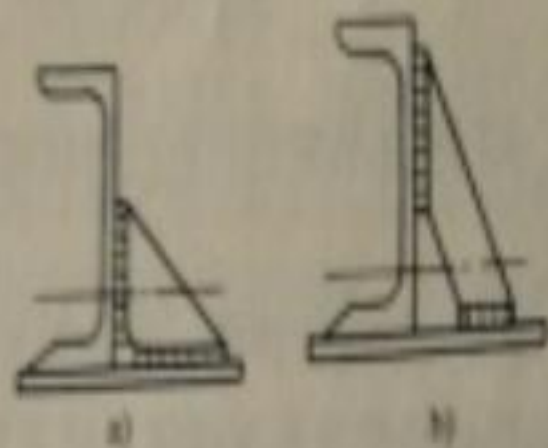


图 5—140 合理安排焊缝位置  
a) 焊缝不合理 b) 焊缝合理

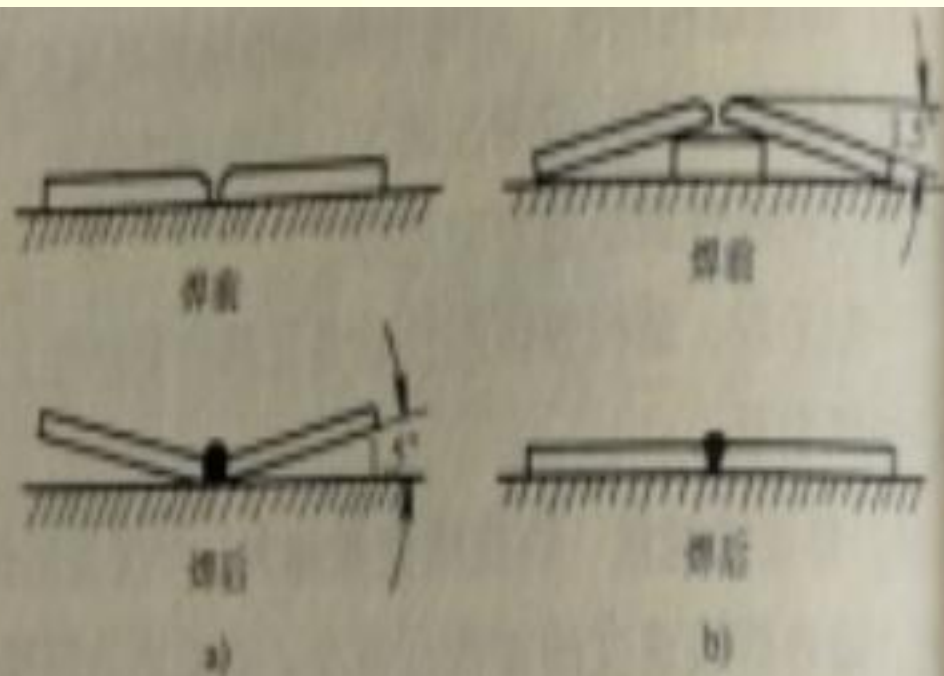


图 5—141 Y形坡口对接的反变形  
a) 产生角变形 b) 采取反变形

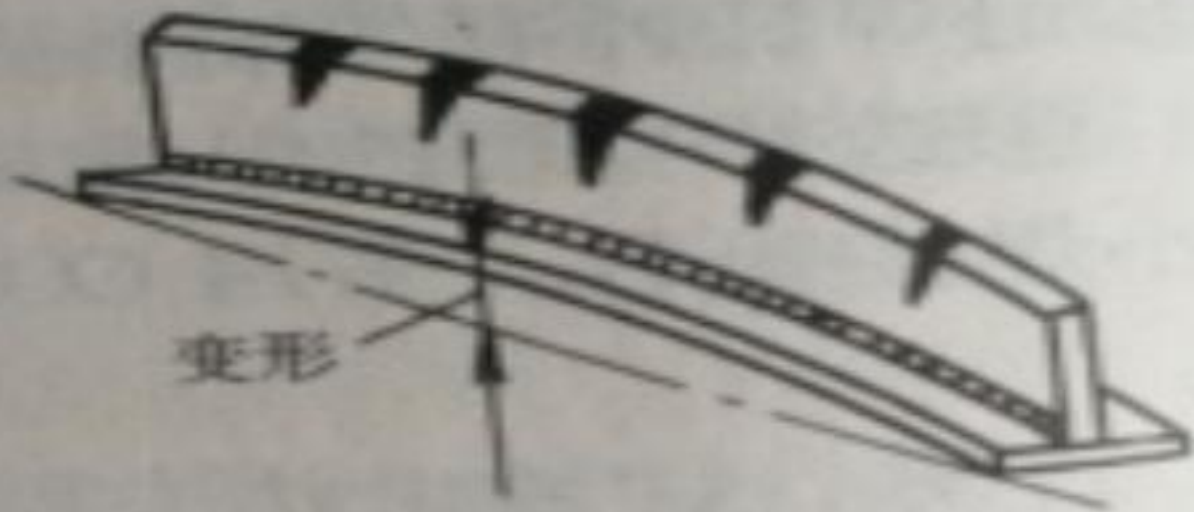
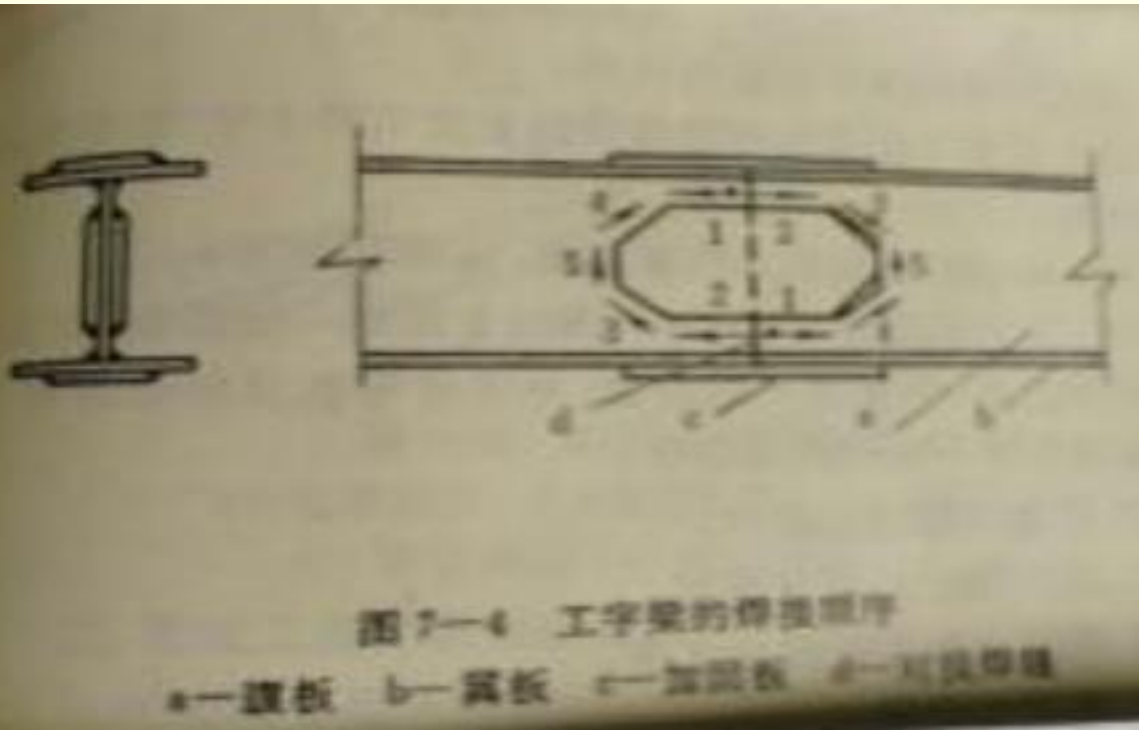


图 5—146 T形梁的上拱三  
角形加热矫正法



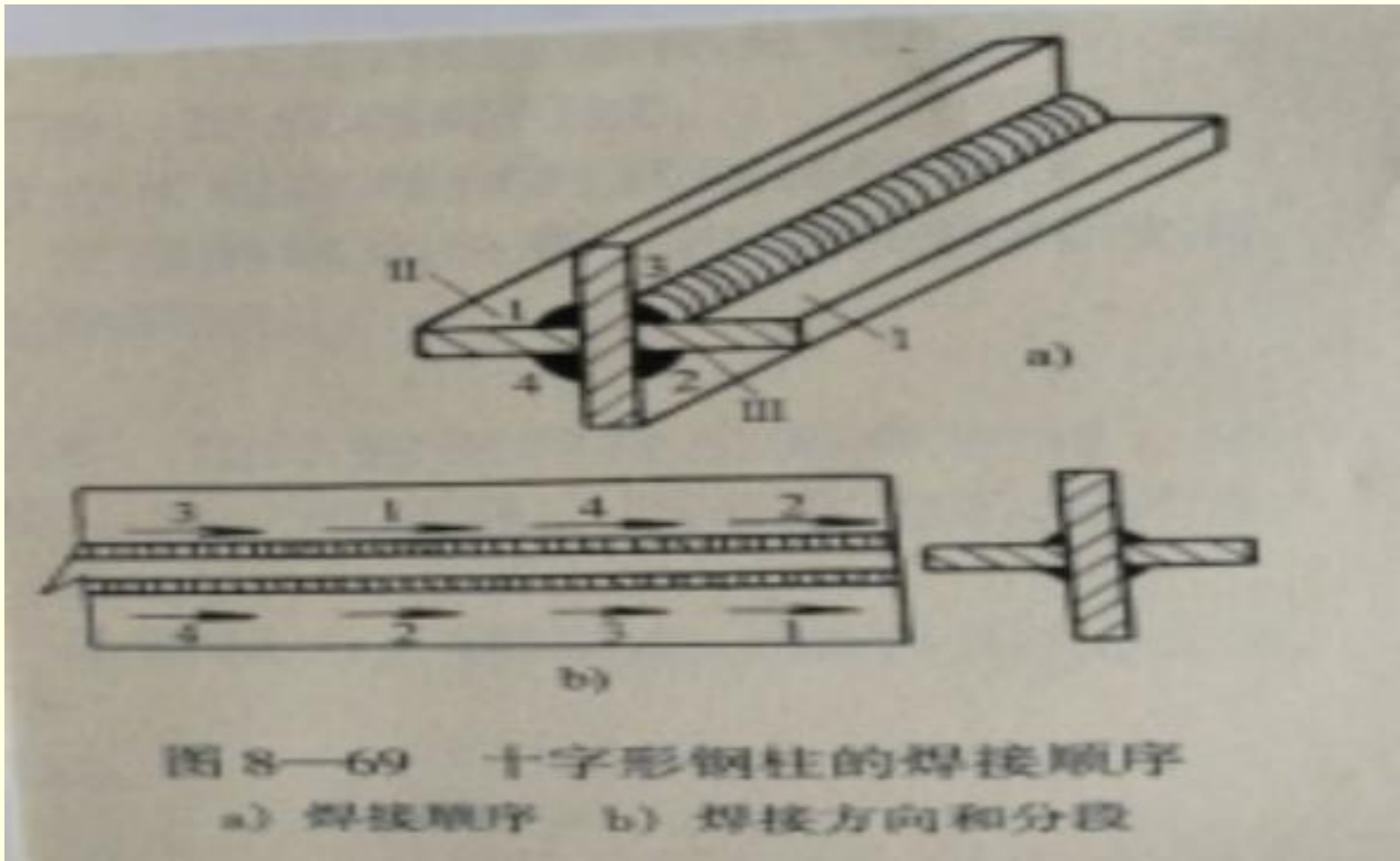
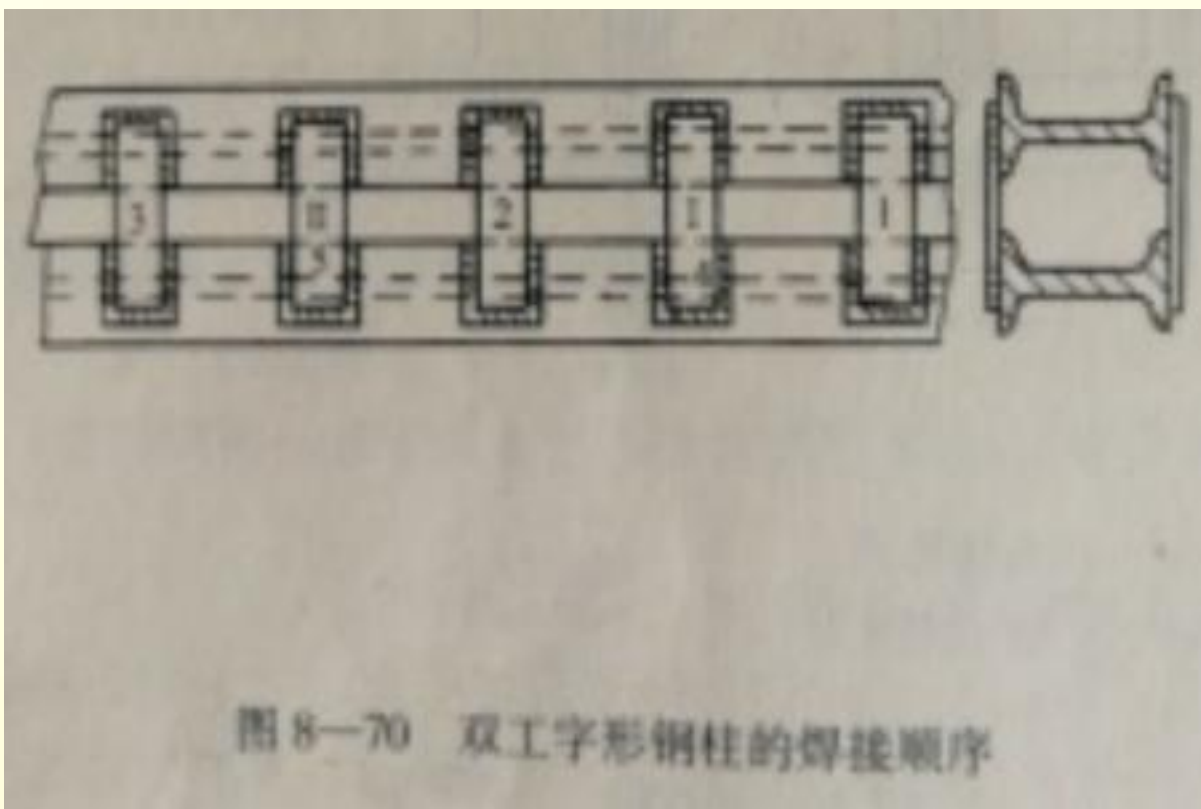
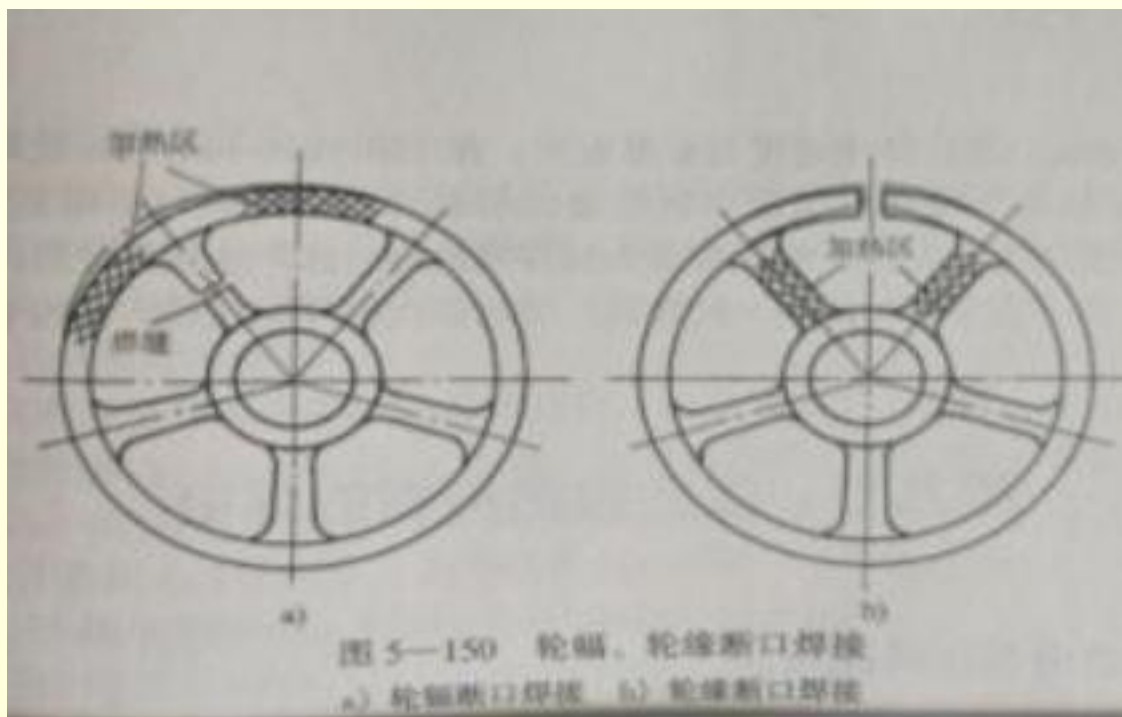


图 8—69 十字形钢柱的焊接顺序

a) 焊接顺序 b) 焊接方向和分段



先焊正面的加强板**1.2.3**。翻过去再焊背面的加强板**4.5**，随后焊**1.2.3**背面的加强板，再翻过来焊**4.5**正面的加强板。根据柱的长短和加强板的多少，跳焊距离可每隔两块或三块焊一块，总之要求是两面交错进行焊接。



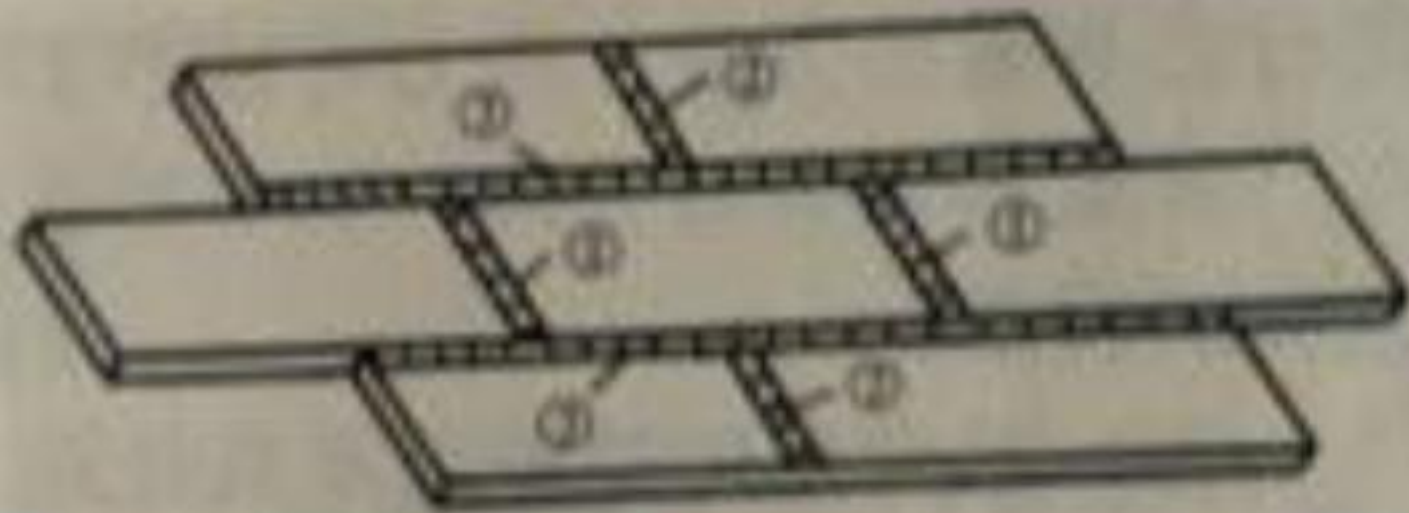


图 5—147 按焊缝布置确定焊接次序



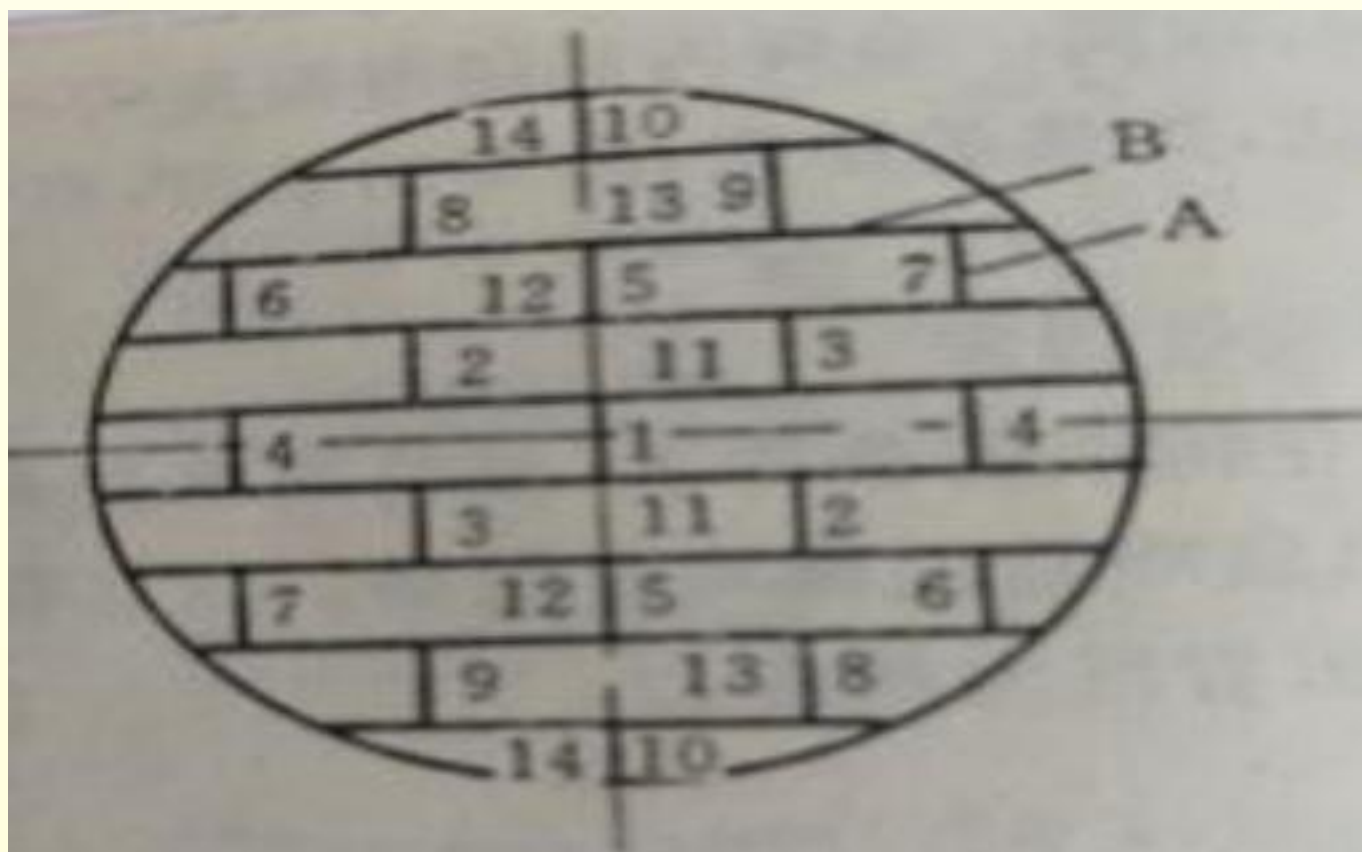


图 7—3 容器底板焊接顺序

A—纵向焊缝 B—横向焊缝

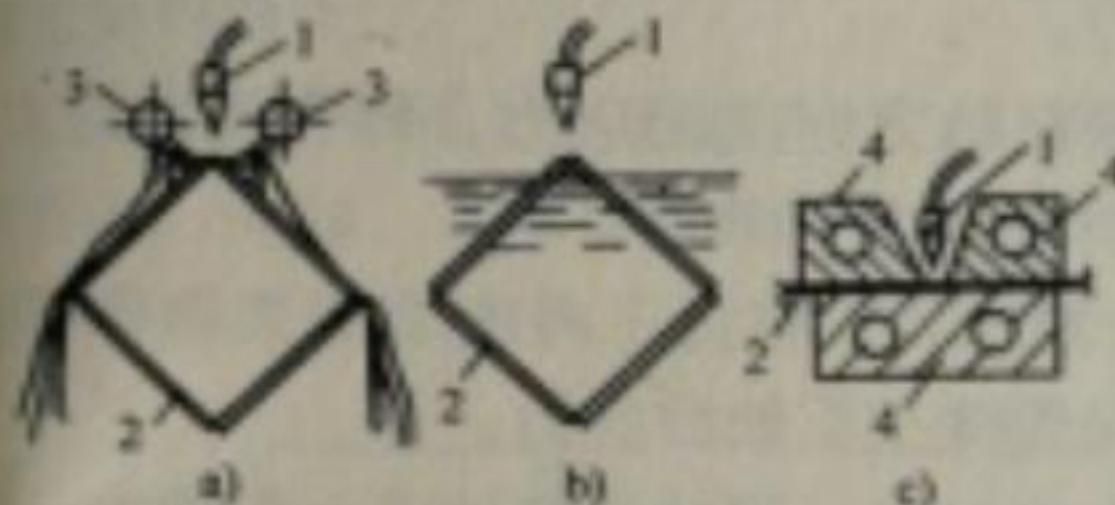


图 5—144 用散热法减小焊接变形

a) 喷水冷却    b) 浸入水中冷却    c) 用水冷铜块冷却  
 1—焊炬    2—部件    3—喷水管    4—水冷铜块

3) 焊接平面上交叉焊缝时，应采用保证交叉点部位不易产生缺陷、刚性拘束较小的焊接顺序。例如，T形焊缝和十字形焊缝应按图 5—148a、b、c 所示的顺序焊接；图 5—148d 为不合理的焊接顺序。

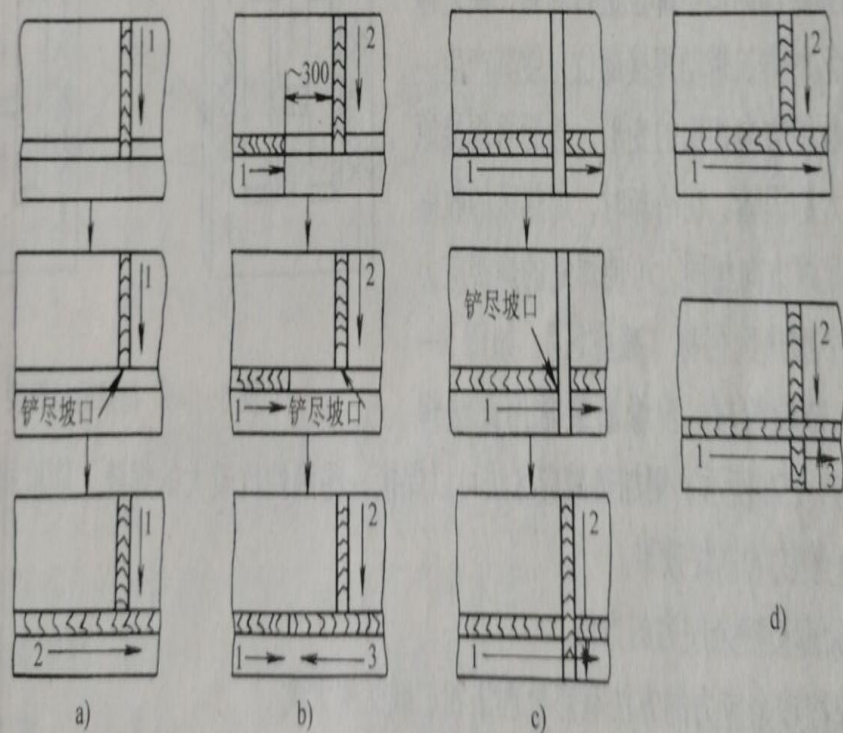


图 5—148 交叉焊缝的焊接顺序

此外，还应先焊在工作时受力较大的焊缝，使焊接应力合理分布。

## 第七节 焊接区中有害气体的危害

### 一、氢的危害

氢主要来源于焊条药皮、焊剂中的水分、药皮中的有机物、焊件和焊丝表面的污物(如铁锈和油污)、空气中的水分等。

氢是焊缝中十分有害的元素，它的主要危害包括：①氢脆性：引起钢的塑性严重下降。②产生气孔和冷裂纹。③白点：碳钢和低合金钢焊缝如含氢量较高，常常会在焊缝金属的拉断面上出现如鱼目状的一种白色圆形斑点，称为白点，直径一般为**0.5-3mm**。白点的出现使焊缝金属的塑性大大下降。

## 二、氧的危害

焊接时，氧主要来自于电弧中的氧化性气体(如 $O_2$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$ 等)、药皮中的氧化物以及焊接材料表面的氧化物。通常氧以原子氧和氧化亚铁( $FeO$ )两种形式溶解在液态铁中。

随着焊缝中含氧量的增加，其强度、硬度和塑性明显下降，同时还会引起金属的热脆、冷脆和时效硬化。氧对焊缝金属的物理性能和化学性能也有影响，如降低焊缝的导电性、导磁性和耐腐蚀性等。溶解在熔池中的氧还易形成 $CO$ 气孔，还会烧损焊接材料中有益的合金元素，使焊缝性能变差。在熔滴中，氧和碳过多时易造成飞溅，影响焊接过程的稳定性。

。

## 三、氮的危害

焊接区周围的空气是氮的主要来源。

氮是提高焊缝金属强度，降低塑性和韧性的元素，并且是在焊缝中产生气孔的主要原因之一。

# 常用零件在标注与焊缝符号表示方法

## 三、焊接及相关工艺方法代号

在焊接结构图上，为简化焊接方法的标注和说明，国家标准（GB/T 5185—2005）规定了用阿拉伯数字表示焊接及相关工艺方法的代号。常用的焊接及相关工艺方法代号见表 1—17。

表 1—17

常用的焊接及相关工艺方法代号

焊接及相关工艺方法	代号	焊接及相关工艺方法	代号
电弧焊	1	气焊	3
焊条电弧焊	111	氧燃气焊	311
埋弧焊	12	氧乙炔焊	311
单丝埋弧焊	121	氧丙烷焊	312
多丝埋弧焊	123	压焊	4
熔化极气体保护电弧焊	13	摩擦焊	42
熔化极惰性气体 保护电弧焊（MIG）	131	扩散焊	45
熔化极非惰性气体 保护电弧焊（MAG、CO <sub>2</sub> ）	135	电子束焊	51
非惰性气体 保护的药芯焊丝电弧焊	136	激光焊	52
非熔化极气体 保护电弧焊	14	电渣焊	72
钨极惰性气体 保护电弧焊（TIG）	141	气电立焊	73
等离子弧焊	15	螺柱焊	78
电阻焊	2	火焰切割	81
点焊	21	空气电弧切割	821
缝焊	22	等离子弧切割	83
凸焊	23	电弧气刨	87
闪光焊	24	火焰硬钎焊	912
电阻对焊	25	软钎焊	94

表 1-10

焊缝符号

代号	名称	示意图	代号	名称	示意图
1	对接焊缝		1	对接焊缝	
2	坡口对接		2	角接	
3	坡口对接		3	搭接、单面或双面 盖焊、贴焊	
4	卷边对接		4	对接焊缝	
5	熔透		5	对接焊缝	
6	卷边对接		6	对接焊缝	
7	坡口对接		7	制孔对接焊缝	
8	对接焊缝		8	角接	

图 1—28 焊缝尺寸符号的标注位置

表 1—18 焊缝尺寸符号的标注示例

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	$S \text{ Y}$
2	连续角焊缝		K: 焊脚	$K \text{ } \triangle$
3	断续角焊缝		l: 焊缝长度 (不计弧坑) e: 焊缝间距 n: 焊缝段数 K: 焊脚	$K \text{ } \triangle \quad n \times l(e)$
4	交错断续角焊缝		l: 焊缝长度 (不计弧坑) e: 焊缝间距 n: 焊缝段数 K: 焊脚	$\frac{K}{K} \text{ } \triangle \quad \frac{n \times l}{n \times l} \left[ \frac{e}{e} \right]$
5	塞焊缝或槽焊缝		l: 焊缝长度 (不计弧坑) e: 焊缝间距 n: 焊缝段数 c: 槽宽	$c \text{ } \sqcap \quad n \times l(e)$
			e: 焊缝间距 n: 焊缝段数 d: 孔径	$d \text{ } \sqcap \quad n \times (e)$
6	缝焊缝		l: 焊缝长度 (不计弧坑) e: 焊缝间距 n: 焊缝段数 c: 焊缝宽度	$c \text{ } \text{---} \quad n \times l(e)$
7	点焊缝		n: 焊缝段数 e: 焊缝间距	$d \text{ } \bigcirc \quad n \times (e)$

- (1) 焊缝横截面上的尺寸标在基本符号的左侧。
  - (2) 焊缝长度方向的尺寸标在基本符号的右侧。
  - (3) 坡口角度、坡口面角度、根部间隙等尺寸标在基本符号的上侧或下侧。
  - (4) 相同焊缝数量符号标在尾部。
5. 焊接方法代号的标注位置  
焊接方法代号标注在基准线实线末端的尾部符号中。



# 安全文明生产

## 一、正确执行安全技术操作规程

为了保障焊工的安全和健康，促进企业的生产安全，对从事焊接生产的焊工，必须遵守有关焊接安全操作规程，在这方面国家已制定相应的国家标准，如GB9448—1999(焊接与切割安全)，它主要包括三大部分安全技术操作规程的内容：

### 1. 气焊与气割的安全操作规程，它包含：

- (1) 氧气瓶与乙炔瓶的安全作用。
- (2) 减压阀与回火防止器的安全使用。
- (3) 焊炬与割炬的安全使用。
- (4) 气焊与气割用胶管的安全使用。
- (5) 气焊与气割中的劳动保护技术。

### 2. 焊接安全操作规程，它包括：

- (1) 焊接设备的安全使用。
- (2) 焊钳与焊接电缆的安全使用。
- (3) 各种焊接方法的安全技术。
- (4) 焊接作业中的劳动保护技术。

### 3. 特殊条件与材料的安全操作规程

此外，各生产单位还就特殊的材料和特殊的生产条件制定有相应的安全操作技术规程，如：

- (1) 铅焊安全操作技术规程。
- (2) 黄铜焊接安全操作技术规程。
- (3) 塑料焊接安全操作技术规程。
- (4) 登高焊割作业安全技术规程(注：焊工在离地面2m以上的地点进行焊割作业称高空焊接作业)。
- (5) 水下焊割作业安全技术规程。
- (6) 化工、燃料容器及管道焊制作业安全技术规程。

## 二、按企业有关文明生产的规定，做到工作场地整洁，工件、工具摆放整齐

目前各企业普遍推行全面质量管理，注重考评职工个人的管理意识，考核班组作业现场。具体要求如下：

- (1) 厂房门窗窗明壁净，各种图表、标语整洁。
- (2) 按定置图归类存放物品，标志清晰，摆放整齐、平稳。
- (3) 保持地面平整清洁，无积水、烟头纸屑，无残料焊条头，无油垢痕迹。
- (4) 应保证安全通道畅通，无占道现象。
- (5) 工具箱应摆放整齐合理，工量具放置合理。
- (6) 机台常用工夹具摆放合理。
- (7) 应防止生产过程中零部件磕碰划伤，合理配置专用工位器具。

### 三、焊接作业前的安全检查

#### 1. 焊接作业场地的安全检查

(1) 焊接与切割作业现场的设备、工具材料应排列有序，现场不得有乱堆乱放现象；应有必要的通道，这些通道能满足焊接生产的需要，如车辆通道宽度应 $\geq 3\text{m}$ ，人行通道应 $\geq 1.5\text{m}$ 。

(2) 焊接作业现场面积应宽阔，要求每个焊工作业面积 $\geq 4\text{m}^2$ ，地面要干燥；工作场地要有良好的自然采光或局部照明设施，照明设施工作面的光照度应在 $50\text{--}100\text{lx}$ 。

(3) 焊接操作前，必须检查焊机接线是否正确，电流调整是否可靠；应装有独立的专用电源开关，其容量应符合要求；控制开关应选用的是封闭式的低压断路器或铁壳开关；不应存在多台焊机共用一个电源开关的现象，如出现这种情况必须严格禁止并立即纠正。

(4) 检查焊机外壳应可靠接地(或接零)保护，接地(或接零)应符合要求。

(5) 焊接作业现场 $10\text{m}$ 范围内，各类可燃、易燃物品应清除干净；室内作业通风应良好，多地点焊接作业之间有弧光防护屏。

(6) 室外登高焊接作业现场有合格的安全网、登高梯、脚手板等；在地沟、坑道、检查井、管段和半封闭地段等处焊接作业时，检查有无爆炸和中毒危险。

(7) 检查焊接和切割工作地点，有符合要求的防火设施。

## 2. 焊接作业所用工具的安全检查

- (1) 检查焊炬、割炬气路应畅通，射吸能力及气密性应符合要求。
- (2) 检查焊钳的导电性、隔热性、夹持焊条应牢固、更换焊条方便；焊钳规格(有300A, 500A)符合要求；焊钳与电缆的连接牢靠，接触方便且不得外露。
- (3) 检查面罩下弯司、头箍不应松动；护目镜遮光号应符合要求，有罩在黑玻璃上的无色透明玻璃片。
- (4) 角向磨光机检查时，主要看砂轮转动应正常，无漏电现象，砂轮片坚固牢靠，砂轮片无裂纹，破损，杜绝在使用过程中砂轮突然破碎伤人。

## 3. 焊接作业所用夹具的安全检查

检查夹紧工具的夹紧力、焊件装卡应方便、可靠。检查压紧工具的压紧力，特别是带有螺钉的夹具，要检查夹具上的螺钉应转动灵活，若有锈蚀，则应除锈。拉紧工具有杠杆、螺钉等，焊前检查应完整好用。撑具是扩大或撑紧用的一种工具，利用螺钉或正反螺杆来撑紧，检查是否好用。

# 安全用电的基本知识

在现代工业中应用各种焊接方法，除少数集几种外，绝大部分是直接应用电能的，或是以电为动力实行焊接，故焊工在焊接时经常接触电源和电气设备，可能因设备故障或操作失误等原因造成触电事故和火灾等。所以，焊接时的安全用电直接关系到个人生命和国家财产的安危。

## 一、造成触电事故的原因

造成焊工触电事故的原因很多，但归纳起来不外乎安全的操作行为和ari备不安全状态两个方面。

### 1.属于操作行为的事故

(1)在更换焊条、电极和焊接的操作中，手或身体某部位接触到焊条、焊钳或焊枪的带电部分，而脚或身体其他部分对地和金属结构间无绝缘防护。

如在金属容器、管道、锅炉、船舱或金属构架上施焊时，或当身上大量出汗、阴雨天、潮湿地点焊接时。

(2)在接线，调节焊接参数和移动焊接设备时，手或身体某部位碰触到接线柱、极板等带电体而造成触电。

(3)在登高焊接时，触及低压线路或靠近高压网路引起的触电事故。

(4)利用厂房金属结构、管道、轨道、天车吊钩或其他金属体搭接作为焊接回路而发生触电事故。

## 2.属于设备故障的事故

(1)焊接设备罩壳漏电，人体碰触罩壳而触电。造成罩壳漏电的原因如下：

1)由于线圈潮湿导致绝缘损坏。

2)焊机长期超载运行或短路发热，致使绝缘能力降低、烧损而漏电。

3)焊机安装地点和方法不符合安全要求，遭受振动、碰击，而使线圈或引线绝缘受到机械损伤，并与铁芯和罩壳短路。

4)维护及检修不善或工作现场混乱，致使小金属物(如铁丝、铁屑、铜线或小铁管头之类)端碰到接线柱、电线头等带电体，另一端碰到铁芯或罩壳而漏电。

(2)由于焊接设备或线路发生故障而引起的事故，如焊机的火线与零线接错，使外壳带电而造成触电事故。

(3)焊接过程中，人体触及绝缘破损的电缆、破裂的胶木闸盒等。

## 二、预防触电事故的技术措施

人体触及带电体就会引起触电，所以只要人不接触带电体，或带电导体的电压很低，或带电体与大地电位相等，或采用漏电保护装置等措施，就能预防触电事故的发生，为此目前常采用下列措施：

### 1. 隔离措施

隔离措施是指不使人接触带电导体。通常有两方面安全措施：

(1) 安全距离。包括线路间、设备间和安全作业及检修时应留有一定的安全距离

(2) 屏护。对带电设备或装置采用防护罩壳、遮栏等方法实行隔离。

### 2. 绝缘措施

绝缘措施是指把带电体用绝缘物封闭起来。

焊接设备的带电部分(如一次和二次绕组间、绕组与外壳间)必须符合绝缘标准要求，其绝缘电阻值均不得小于 $1\text{M}\Omega$ 。

对于手持式电动工具的绝缘电阻值应不低于 $2\text{M}\Omega$ 。一般低压设备绝缘电阻值要大于 $0.5\text{M}\Omega$ 。

### 3.保护接地

保护接地是指将正常情况下不带电的金属壳体，用导线和接地极与大地连接起来以保障人身安全。它只适用于三相三线制的中性线、中性点不接地的供电系统。

通常接地装置可以用打入地下深度不得小于**1m**、接地电阻小于等于**4Ω**、截面积不得小于**12mm<sup>2</sup>**的铜棒或无缝钢管作为接地极，如敷设于地下的自来水管或与大地可靠连接的建筑物的金属结构等，但严禁采用易燃、易爆的输气管道或容器作为自然接地极。

### 4.保护接零

保护接零是指将正常情况下不带电的金属壳体铜电网的零线可靠地连接起来。保护接零适用于三相四线制电源，中性点直接接地的配电系统是目前绝大多数企业所采用的安全措施之一。



## 5.保护切断与漏电保护装置

保护切断与漏电保护装置是为了防止焊接设备虽然采取了保护接地或保护接零，但发生碰壳时的短路电流不足够大时，就不能及时使熔断器中的熔丝熔断，或使自动开关跳闸，所以仍有触电危险，为了确保人身安全防止触电事故，还必须采用漏电保护装置，这就是目前国际上较为流行的“双保险”防触电措施，它还能预防漏电引起的电气火灾事故。常用的漏电保护装置有电压式与电流式两种。

## 6.安全电压

安全电压是为防止触电事故而采用的特定电源供电的电压系列，共分成6V、12V、24V、36V、42V、五个等级，这个电压系列上限值。在任何情况下，两导体间或任一导体与地之间不得超过交流(50-500Hz)有效值50V。

根据有关安全技术标准，对特定作业环境下的安全电压还做了以下规定：

(1)对于比较干燥而触电危险较大的环境，规定安全电压为36 V

。

(2)对于潮湿而触电危险性又较大的环境，规定安全电压为12 V

。

(3)对于水下或其他由于触电而容易导致严重二次事故的环境，规定安全电压为3V。

标准还规定了不能使用自耦变压器来获得手提工作灯或控制按钮的安全电压，因自耦变压器输出的“低电压”与网络电压没有隔离，故仍无安全保障。

## 7.焊机空载自动断电保护装置

因焊机的空载电压远大于安全电压(通常交流弧焊机不大于**80V**、直流弧焊机不大**90V**),所以,采用空载自动断电保护装置不但可以避免更换焊条及其他辅助作业时产生触电的危险,同时,还可减少空载运行时的电力损耗。

### 三、影响触电伤害程度的主要因素

影响触电伤害程度的主要因素除了与通过人体的电流大小、持续时间和途径外,还与电流的种类、频率和人体状况有关。

**谢谢大家!**

---