



《全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材》编委会

全国特种作业人员  
安全技术培训考核  
统编教材

(新版)

# 焊接 与热切割作业

## 内容提要

本书依据国家安全生产监督管理总局令第 30 号《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》和《金属焊接与切割作业人员安全技术培训大纲》、《金属焊接与切割作业人员安全技术考核标准》的要求编写而成。主要介绍了金属焊接与热切割基础知识、气焊气割作业、焊条电弧焊与电弧切割作业、埋弧焊作业、气体保护焊作业、电阻焊作业、钎焊作业的基本原理、安全特点、设备组成及常用材料、工艺参数、安全技术要求和焊接与热切割作业安全用电、焊接与热切割防火防爆、焊接与热切割职业卫生与防护、特殊焊接与热切割作业安全技术、案例分析等内容。编写中充分考虑了新设备、新材料、新工艺的应用和生产中金属焊接与热切割作业人员的实际工作情况,重点突出了常用焊接与热切割方法的安全操作技术,既可供各级特种作业人员的安全技术培训机构使用,也可用于学员自学。

### 图书在版编目(CIP)数据

焊接与热切割作业/《全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材》编委会编著. —北京:气象出版社,2011. 1  
全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材:新版  
ISBN 978-7-5029-5161-0

I. ①焊… II. ①全… III. ①焊接-安全技术-技术培训-教材②切割-安全技术-技术培训-教材 IV. ①TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 010746 号

---

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮 政 编 码:100081  
总 编 室:010-68407112 发 行 部:010-68407948  
网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn> E-mail: qxcbs@cma.gov.cn  
责任编辑:彭淑凡 终 审:章澄昌  
封面设计:燕 彤 责任技编:吴庭芳  
印 刷:北京奥鑫印刷厂  
开 本:850 mm×1168 mm 1/32 印 张:12  
字 数:312 千字  
版 次:2011 年 1 月第 1 版 印 次:2011 年 1 月第 1 次印刷  
定 价:25.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

# 前 言

特种作业是指容易发生人员伤亡事故,对操作者本人、他人的安全健康及设备、设施的安全可能造成重大危害的作业。特种作业人员是指直接从事特种作业的从业人员。国内外有关资料统计表明,由于特种作业人员违规违章操作造成的生产安全事故,占生产经营单位事故总量的比例约 80%。目前,全国特种作业人员持证上岗人数已超过 1200 万人。因此,加强特种作业人员安全技术培训考核,对保障安全生产十分重要。

为保障人民生命财产的安全,促进安全生产,《安全生产法》、《劳动法》、《矿山安全法》、《消防法》、《危险化学品安全管理条例》等有关法律、法规作出了一系列的强制性要求,规定特种作业人员必须经过专门的安全技术培训,经考核合格取得操作资格证书,方可上岗作业。1999 年,原国家经贸委发布了《特种作业人员安全技术培训考核管理办法》(国家经贸委主任令第 13 号),对特种作业人员的定义、范围、人员条件和培训、考核、管理作了明确规定,提出在全国推广和规范使用具有防伪功能的 IC 卡《中华人民共和国特种作业操作证》,并实行统一的培训大纲、考核标准、培训教材及资格证书。本套教材是与之相配套并由原国家经贸委安全生产局直接组织编写的。

2001 年,原国家经贸委安全生产局的职能划入国家安全生产监督管理局,这套教材的有关工作随之转入新的机构,并在 2002 年经国家安全生产监督管理局《关于做好特种作业人员安全技术培训教材相关工作的通知》中加以确认。近年来,国家安全生产监督管理总

局相继颁布实施了《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》(国家安全生产监督管理总局第30号令,自2010年7月1日起施行)等一系列规章和规范性文件,重申了“特种作业人员必须接受专门的安全技术培训并考核合格,取得特种作业操作资格证书后,方可上岗作业”这一基本原则,同时对特种作业的范围、培训大纲和考核标准进行了必要的调整。

为了适应新的形势和要求,在总结经验并广泛征求各方面意见的基础上,我们根据国家安全生产监督管理总局第30号令,对这套教材进行了全新改版。新版的教材基本包括了全部的特种作业,共30余种教材,具有广泛的适用性。本次改版既充分考虑了原有教材的体系和完整性,保留了原有教材的特色,又根据新的情况,从品种和内容方面做了必要的修改和补充,力争形式新颖,技术先进,如增加了冶金煤气安全作业、危险化学品安全作业、烟花爆竹生产安全作业等新的品种,对于一些在新的特种作业目录中没有提到的原有品种及特种设备作业人员的培训教材,也予以保留。为了便于各地特种作业人员的培训和考核,还开发与之相配套的复审教材和考试题库供各地选用。本套教材不仅可供特种作业人员、特种设备作业人员及有关的管理人员、维修人员培训选用,也可供有关职业技术学校选用。

本套教材历经多次修订、编审和改版,曲世惠、王红汉、徐晓航、张静等为代表的一大批作者和以闪淳昌、杨富、任树奎、罗音宇等为代表的一大批专家为此套教材的出版作出了巨大贡献。本书第一、四、六、八章由李爽修订,第二章由牛恩辉修订,第三章由徐志远修订,第五、十二章由孟会敏修订,第七章由赵建军修订,第九章由张荣梅修订,第十章由孙文华修订,第十一章由吕少军等修订,限于篇幅,这里恕不一一列举,谨表衷心的感谢。

本书编委会

2010年10月

## 致 谢

本书在编写和修订改版的过程中,先后得到了以下单位(排名不分先后)的大力支持,在此表示衷心的感谢。

中国机械工业安全卫生协会  
上海柴油机股份有限公司  
一汽解放汽车有限公司  
东风汽车有限公司  
太原重型集团公司  
上海安科企业管理有限公司  
兰州通用机电技术研究所  
武汉钢铁公司  
齐重数控装备股份有限公司  
邯郸新兴重型机械有限公司  
厦门 ABB 开关有限公司  
安徽合力股份有限公司  
福田雷沃国际重工股份有限公司  
斗山工程机械(中国)有限公司  
山东普利森集团有限公司  
安徽江淮汽车股份有限公司

石家庄强大泵业股份有限公司  
武汉安全环保研究院  
天津市劳动保护教育中心  
河南省劳动保护教育中心  
北京市事故预防中心  
河南省安全生产监督管理局  
青岛市安全生产监督管理局  
首都经济贸易大学  
武钢矿业公司  
大冶有色金属公司  
鲁中冶金矿业公司  
淮南矿务局  
大冶铁矿  
铜录山铜矿  
梅山铁矿  
马钢南山铁矿  
南芬铁矿  
鸡冠咀金矿  
.....

# 目 录

<b>第一章 焊接与热切割基础知识</b> .....	( 1 )
第一节 焊接与热切割概述.....	( 1 )
第二节 金属学及热处理基本知识.....	( 7 )
第三节 常用金属材料的一般知识.....	( 12 )
第四节 焊接工艺基础知识.....	( 19 )
<b>第二章 气焊与气割</b> .....	( 35 )
第一节 气焊与气割的基本知识.....	( 35 )
第二节 气焊与气割常用装备.....	( 38 )
第三节 气焊与气割常用材料.....	( 70 )
第四节 气焊与气割火焰及工艺参数.....	( 80 )
第五节 输气管道安全技术要求.....	( 90 )
第六节 气焊与气割安全.....	( 93 )
<b>第三章 焊条电弧焊与电弧切割</b> .....	( 99 )
第一节 焊条电弧焊的工作原理、适用范围及安全特点 ...	( 99 )
第二节 焊条电弧焊设备的基本结构和工作原理.....	( 105 )
第三节 焊条及焊接参数的选择方法.....	( 118 )
第四节 焊条电弧焊的操作和安全要求.....	( 136 )
第五节 电弧切割的操作和安全要求.....	( 148 )
<b>第四章 埋弧焊</b> .....	( 159 )
第一节 埋弧焊的工作原理及特点.....	( 159 )

第二节	埋弧焊设备	(162)
第三节	埋弧焊的焊接材料	(165)
第四节	埋弧焊技术及安全操作	(169)
<b>第五章</b>	<b>气体保护电弧焊和等离子弧焊与切割</b>	<b>(172)</b>
第一节	气体保护电弧焊的工作原理、 适用范围和安全特点	(172)
第二节	钨极惰性气体保护焊及安全操作	(174)
第三节	熔化极气体保护焊工作原理和设备的组成	(189)
第四节	二氧化碳气体保护焊和 药芯焊丝电弧焊及其安全操作	(197)
第五节	熔化极惰性气体保护焊和 混合气体保护焊及其安全操作	(206)
第六节	等离子弧焊接与切割及安全操作	(212)
<b>第六章</b>	<b>电阻焊</b>	<b>(221)</b>
第一节	电阻焊的基本原理	(221)
第二节	电阻焊设备	(225)
第三节	电阻焊工艺参数及选择	(228)
第四节	电阻焊的安全操作技术	(233)
<b>第七章</b>	<b>钎焊</b>	<b>(235)</b>
第一节	钎焊原理及特点	(235)
第二节	常用钎焊方法	(238)
第三节	钎焊生产工艺	(243)
第四节	钎料及其选用方法	(246)
第五节	钎剂及其选用方法	(255)
第六节	常用金属材料的钎焊	(259)
第七节	常用钎焊方法的安全与防护	(263)



<b>第八章 特殊焊接与热切割作业安全技术</b> .....	(267)
第一节 化工及燃料容器、管道的焊补安全技术 .....	(267)
第二节 登高焊接与切割的安全技术.....	(277)
第三节 水下焊接与切割的安全技术.....	(280)
<b>第九章 焊接与热切割安全用电</b> .....	(288)
第一节 触电危害.....	(288)
第二节 触电防护技术.....	(292)
第三节 焊接与热切割安全用电技术.....	(299)
第四节 触电急救.....	(307)
<b>第十章 焊接与热切割的防火防爆</b> .....	(317)
第一节 燃烧与爆炸的基础知识.....	(317)
第二节 焊接与热切割作业中发生火灾、 爆炸事故的原因及防范措施.....	(327)
第三节 火灾、爆炸事故的紧急处理方法 .....	(329)
第四节 动火安全管理.....	(335)
<b>第十一章 焊接与热切割作业职业卫生与防护</b> .....	(340)
第一节 有害因素的来源及危害.....	(340)
第二节 焊接与热切割作业的职业卫生及防护措施.....	(350)
<b>第十二章 典型事故案例分析</b> .....	(363)
<b>参考文献</b> .....	(371)

## 第一节 焊接与热切割概述

### 一、焊接与热切割的基本原理及分类

#### (一) 基本原理

在金属结构及其他机械产品的制造中常需将两个或两个以上的零件按一定的形式和尺寸连接在一起,这种连接通常分两大类,一类是可拆卸的连接,就是不必损坏被连接件本身就可以将它们分开,如螺栓连接等,见图 1-1。另一类连接是永久性连接,即必须在毁坏零件后才能拆卸,如焊接,见图 1-2。

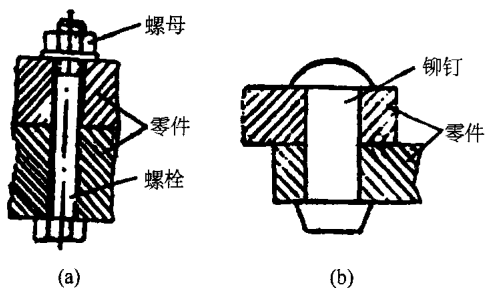


图 1-1 机械连接

(a)螺栓连接;(b)铆钉连接

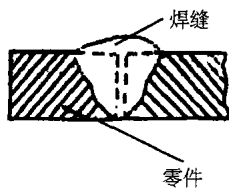


图 1-2 永久性连接焊接

焊接是通过加热或加压,或两者并用,并且使用或不用填充材料,使工件达到结合的方法。

为了获得牢固的结合,在焊接过程中必须使被焊件彼此接近到原子间的力能够相互作用的程度。为此,在焊接过程中,必须对需要结合的地方通过加热使之熔化,或者通过加压(或者先加热到塑性状态后再加压),使之造成原子或分子间的结合与扩散,从而达到不可拆卸的连接。

## (二)焊接方法的分类

按照焊接过程中金属所处的状态及工艺的特点,可以将焊接方法分为熔化焊、压力焊和钎焊三大类。熔化焊是利用局部加热的方法将连接处的金属加热至熔化状态而完成的焊接方法。在加热的条件下,增强了金属原子的功能,促进原子间的相互扩散,当被焊接金属加热至熔化状态形成液态熔池时,原子之间可以充分扩散和紧密接触。因此冷却凝固后,即可形成牢固的焊接接头。常见的气焊、电弧焊、电渣焊、气体保护焊、等离子弧焊等均属于熔化焊。

压力焊是利用焊接时施加一定压力而完成焊接的方法。这类焊接有两种形式,一是将被焊金属接触部分加热至塑性状态或局部熔化状态,然后施加一定压力,以使金属原子间相互结合形成牢固的焊接接头,如锻焊、电阻焊、摩擦焊和气压焊等就是这种类型的压力焊方法。二是不进行加热,仅在被焊金属接触面上施加足够大的压力,借助于压力所引起的塑性变形,以使原子间相互接近而获得牢固的压挤接头,这种压力焊的方法有冷压焊、爆炸焊等。

钎焊是把比被焊金属熔点低的钎料金属加热熔化至液态,然后使其渗透到被焊金属接缝的间隙中而达到结合的方法。焊接时被焊金属处于固体状态,工件只适当地进行加热,没有受到压力的作用,仅依靠液态金属与固态金属之间的原子扩散而形成牢固的焊接接头。钎焊是一种古老的金属永久连接的工艺,但由于钎焊的金属结合机理与熔焊和压焊是不同的,并且具有一些特殊的性能,所以在现

代焊接技术中仍占有一定的地位,常见的钎焊方法有烙铁钎焊、火焰钎焊、感应钎焊等多种方法。

焊接方法的分类如图 1-3 所示。

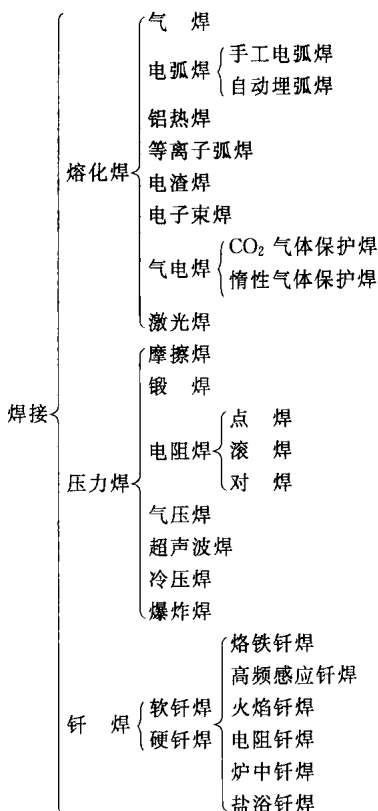


图 1-3 焊接的分类

### (三)热切割的方法和分类

按照金属热切割过程中加热方法的不同可以把切割方法分为火焰切割和电弧切割。

### 1. 火焰切割

按加热气源的不同,分为以下几种。

#### (1)气割

气割(即氧—乙炔切割)是利用氧—乙炔预热火焰使金属在纯氧气流中能够剧烈燃烧,生成熔渣和放出大量热量的原理而进行的。

#### (2)液化石油气切割

液化石油气切割的原理与气割相同。不同的是液化石油气的燃烧特性与乙炔气不同,所使用的割炬也有所不同:它扩大了低压氧喷嘴孔径及燃料混合气喷口截面,还扩大了对吸管圆柱部分孔径。

#### (3)氢氧源切割

利用水电解氢氧发生器,用直流电将水电解成氢气和氧气,其气体比例恰好完全燃烧,温度可达 $2800\sim 3000^{\circ}\text{C}$ ,可以用于火焰加热。

#### (4)氧熔剂切割

氧熔剂切割是在切割氧流中加入纯铁粉或其他熔剂,利用它们的燃烧热和废渣作用实现气割的方法为氧熔剂切割。

### 2. 电弧切割

电弧切割按生成电弧的不同可分为:

#### (1)等离子弧切割

等离子弧切割是利用高温高速的强劲的等离子射流,将被切割金属局部熔化并随即吹除、形成狭窄的切口而完成切割的方法。

#### (2)碳弧气割

碳弧气割是使用碳棒与工件之间产生的电弧将金属熔化,并用压缩空气将其吹掉,实现切割的方法。

## 二、焊接与热切割的发展概况及应用

### (一)焊接与切割技术的发展概况

我国是最早应用焊接技术的国家之一。根据考古发现,远在战

国时期的一些金属制品,就已采用了焊接技术。从河南辉县玻璃阁战国墓中出土的文物证实,其殉葬铜器的本体、耳、足就是利用钎焊来连接的;在900多年前宋代科学家沈括所著的《梦溪笔谈》一书,就提到了焊接方法。其后,在明代科学家宋应星所著的《天工开物》一书中,对锻焊和钎焊技术也作了详细的叙述。上述事实说明,我国是一个具有悠久焊接历史的国家。

气焊大约是在1892年前后出现,那时使用的是氢气—氧气混合气体。氢氧混合气体的燃烧温度最高能达到 $2000^{\circ}\text{C}$ 左右,因此,只能焊接较薄的工件,而且使用氢气很不安全,容易发生爆炸事故。所以,在工业上未被广泛采用。

到了1895年,发明了用电炉制造碳化钙(俗称电石)的方法之后,又发现了乙炔气(电石与水接触后产生的气体)和氧气混合燃烧,可以得到更高的温度( $3200^{\circ}\text{C}$ ),在1903年,氧气—乙炔气火焰被运用到金属焊接上去,奠定了气焊技术的基础。

近代主要的焊接技术——电弧焊,是在电能成功地应用于工业生产之后发展起来的。20世纪初,作为焊接设备的正式产品——手工电弧焊机问世。20年代后期电阻焊和40年代后期埋弧焊、惰性气体保护焊相继获得应用。50年代 $\text{CO}_2$ 气电焊、电渣焊、摩擦焊、电子束焊、超声波焊和60年代等离子弧焊、激光焊、光束焊相继出现,使焊接技术达到了新的水平。近年来,太阳能焊机、冷压焊机等新型焊接设备开始研制,特别是在焊接生产自动化及电子计算机在焊接切割生产中的应用方面有很大发展,将会使焊接切割技术的发展达到一个新阶段。

## (二) 焊接与热切割的应用

焊接是一种应用范围很广的金属加工方法,与其他热加工方法相比,它具有生产周期短、成本低,结构设计灵活,用材合理及能够以小拼大等一系列优点,从而在工业生产中得到了广泛的应用。如造船、电站、汽车、石油、桥梁、矿山机械等行业中,焊接已成为不可缺少

的加工手段。在世界主要的工业国家里每年钢产量的45%左右要用于生产焊接结构。在制造一辆小轿车时,需要焊接5000~12000个焊点,一艘30万吨油轮要焊1000 km长的焊缝,一架飞机的焊点多达20万~30万个。此外,随着工业的发展,被焊接的材料种类也愈来愈多,除了普通的材料外,还有如超高强钢、活性金属、难熔金属以及各种非金属的焊接。同时,由于各类产品日益向着高参数(高温、高压、高寿命)、大型化方向发展,焊接结构越来越复杂,焊接工作量越来越大,这对于焊接生产的质量、效率等提出了更高的要求。同时也推动了焊接技术的飞速发展,使它在工业生产中的应用更为广阔。

### 三、学习焊接与热切割安全技术的必要性

随着生产的发展,焊接技术的应用愈来愈广泛,与此同时,伴随出现的各种不安全、不卫生的因素严重地威胁着焊工及其他生产人员的安全与健康。为切实保护工人的安全与健康,由国家安全生产监督管理总局通过并于2010年7月1日起施行的《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》(国家安全监管总局第30号令)和国家标准《特种作业人员安全技术考核管理规则》(GB 5306—1985)中都明确规定:焊接与热切割作业是特种作业,直接从事特种作业者,称特种作业人员。特种作业人员,必须进行与工种相适应的、专门的安全技术理论学习和实际操作训练,并经考核合格取得国家安全生产监督管理总局统一制作的安全技术操作证后方准独立作业。

特种作业是指容易发生人员伤亡事故,对操作者本人、他人及周围设施的安全有重大危害的作业。直接从事这些作业的人员,即特种作业人员的安全技术素质及行为对于安全状况是至关重要的,许多重大、特大事故就是因为这些作业人员的违章造成的。鉴于特种作业人员在安全生产工作的重要性,《劳动法》、《矿山安全法》、《煤炭法》等法律法规都对特种作业人员的培训、考核、管理提出了要求。

特种作业人员的培训、考核发证工作,已经成为安全生产监督管理的一项基本内容。

焊工在作业过程中需要与各种易燃易爆气体、压力容器和电机电器接触。作业过程中会产生有毒气体、有害粉尘、弧光辐射、高频电磁场、噪声和射线等。上述危害因素在一定条件下可能引起爆炸、火灾、烫伤、急性中毒(锰中毒)、血液疾病、电光性眼炎和皮肤病等职业病症。此外还可能危及设备、厂房和周围人员安全,给国家和企业带来不应有的损失。

学习焊接安全技术的目的在于使有关的管理人员、操作工人掌握焊接操作的基本原理、操作安全及防护的方法,严格执行国家标准《焊接与切割安全》(GB 9448—1999)及各项有关安全操作规程,保证安全生产以及遇到紧急情况时能及时做出适当的处理,从而保护操作者自己和周围人员及厂房设备不遭到损害。

随着焊接新技术的不断出现,职业安全与卫生的措施也要不断地发展才能适应安全工作的需要。焊接安全技术研究的主要内容是防火、防爆、防触电以及在尘毒、磁场、辐射等条件下如何保障工人的身心健康实现安全操作。作业人员只有详细地了解焊接生产过程的特点和焊接工艺、工具及操作方法,才能深刻地理解和掌握焊接安全技术的措施,严格地执行安全规程和实施防护措施,从而保证安全生产,避免发生事故。

## 第二节 金属学及热处理基本知识

### 一、金属晶体结构的一般知识

众所周知,世界上的物质都是由化学元素组成的,这些化学元素按性质可分成两大类:

第一大类是金属,化学元素中有 83 种是金属元素。固态金属具



有不透明、有光泽、有延展性、有良好的导电性和导热性等特性,并且随着温度的升高,金属的导电性降低,电阻率增大,这是金属独具的一个特点。常见的金属元素有铁、铝、铜、铬、镍、钨等。

第二大类是非金属,在化学元素中有 22 种,非金属元素不具备金属元素的特征,而且与金属相反,随着温度的升高,非金属的电阻率减小,导电性提高。常见的非金属元素有碳、氧、氢、氮、硫、磷等。

我们所焊接的材料主要是金属,尤其是钢材,其性能不仅取决于它的化学成分,而且取决于它的组织,为了了解钢材的组织及对性能的影响,我们必须先从晶体结构讲起。

### (一)晶体的特点

对于晶体,大家并不生疏。食盐、水结成的冰,都是晶体。一般的固态金属及合金也都是晶体。并非所有固态物质都是晶体。如玻璃、松香之类就不是晶体,而属于非晶体。

晶体与非晶体的区别不在外形,而在内部的原子排列。在晶体中,原子按一定规律排列得很整齐。而在非晶体中,原子则是散乱分布着,至多有些局部的短程呈规则排列。

由于晶体与非晶体中原子排列不同,因此性能也不相同。

### (二)典型的金属晶体结构

金属的原子按一定方式有规则地排列成一定空间几何形状的结晶格子,称为晶格。金属的晶格常见的有体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格,如图 1-4 所示。

铁属于立方晶格,随着温度的变化,铁可以由一种晶格转变为另一种晶格。这种晶格的转变,称为同素异晶转变。纯铁在常温下是体心立方晶格(称为  $\alpha$ -Fe);当温度升高到  $910^{\circ}\text{C}$  时,纯铁的晶格由体心立方晶格转变为面心立方晶格(称为  $\gamma$ -Fe);再升温到  $1390^{\circ}\text{C}$  时,面心立方晶格又重新转变为体心立方晶格(称为  $\delta$ -Fe),然后一直保持到纯铁的熔化温度。纯铁的这种特性非常重要,是钢材之所