

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

焊 接 工 艺

(焊 接 专 业)

主 编	陈云祥			
参 编	李荣雪	王建勋	蔡建刚	
	李 莉	赵丽玲		
责任主审	崔占全			
审 稿	徐 瑞	赵越超		

机 械 工 业 出 版 社

《焊接工艺》教材是根据 2001 年国家教育部颁布的中等职业教育焊接专业“焊接工艺”教学大纲编写的，是焊接专业的必修课程。

本书内容：第一至六章，主要介绍各种常用的焊接方法；第七至十二章，主要介绍常用金属材料的焊接性及焊接工艺；第十三章，介绍焊接污染及控制。该书力求贯彻中职教育培养高素质劳动者和中、初级专门人才的目标。取材上注重理论的实用性，以电弧焊方法和常用材料为重点，深入浅出，章末附有复习思考题。

图书在版编目（CIP）数据

焊接工艺/陈云祥主编. —北京：机械工业出版社，2002.7

中等职业教育国家规划教材. 焊接专业

ISBN 7-111-08546-9

I. 焊… II. 陈… III. 焊接工艺—专业学校—教材 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2001）第 039499 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：董连仁 版式设计：霍永明 责任校对：魏俊云

封面设计： 责任印制：

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

200 年 月第 版·第 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆· 印张· 千字

0 001— 册

定价： 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

前 言

《焊接工艺》教材是根据 2001 年 5 月国家教育部中等职业教育焊接专业“焊接工艺”课程教学大纲编写的，是中等职业学校焊接专业的必修课程。其任务是讲述各种焊接方法的过程、特点和应用；各种基本焊接方法中影响焊接质量的工艺参数；讲述常用金属材料的焊接性及焊接工艺，为学生正确掌握和使用焊接技术打下良好的基础。

全书共分十三章，第一章至第六章主要介绍各种常用的焊接方法；第七章至第十二章主要介绍了常用金属材料焊接性及焊接工艺；第十三章主要介绍焊接污染及控制。本书力求贯彻中职教育培养高素质劳动者和中、初级专门人才的目标。取材上注重了理论的实用性，删除了一些与中职培养目标不相符的专深理论知识，叙述上注重了深入浅出。全书以目前应用最广泛的电弧焊方法和常用金属材料为讨论的重点内容，同时简要地介绍了焊接新技术与新工艺，每章末均附有复习思考题供复习之用，使学生通过本课程的学习了解所必须的焊接工艺的基本知识和基本技能。

本书第一章至第四章由浙江机电职业技术学院陈云祥编写；第五、六、十三章由北京机械工业学校李荣雪编写；第七、八章、第十一、十二章由兰州石化职业技术学院王建勋、蔡建刚编写；第九章由渤海船舶职业学院李莉老师编写；第十章由渤海船舶职业学院赵丽玲编写。全书由陈云祥主编，由董芳审阅。本书的责任主审崔占全教授，审稿徐瑞教授、赵越超教授。

由于编者专业知识有限，书中一定会在内容上有欠妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2002 年 1 月

目 录

前言	
绪论	1
一、焊接在现代工业中的地位及发展概况	1
二、焊接工艺与焊接方法及金属材料的焊接性	2
三、本教材的内容和学习方法	3
复习思考题	3
第一章 气焊与气割	4
第一节 概述	4
第二节 气焊用气体和焊接材料	4
一、气焊用气体	4
二、气焊用焊接材料	5
第三节 气焊设备及工具	7
第四节 气焊工艺	8
一、气体火焰	8
二、气焊接头的种类及坡口形式	9
三、气焊焊接参数	10
第五节 气割	11
一、气割的基本原理	11
二、气割设备	12
三、气割工艺	13
四、气割方法的应用与发展	14
复习思考题	15
第二章 埋弧焊	16
第一节 概述	16
一、埋弧焊过程	16
二、埋弧焊的特点	17
三、埋弧焊的应用范围	17
第二节 埋弧焊的冶金过程特点及焊接材料	18
一、冶金过程特点	18
二、焊接材料及选用	18
第三节 埋弧焊工艺	20
一、焊前准备	20
二、埋弧焊主要焊接参数的选择	21
三、埋弧焊技术	24
四、埋弧焊的常见缺陷及防止方法	27
第四节 埋弧焊的其它方法	28
一、多丝埋弧焊	28
二、带极埋弧焊	29
三、窄间隙埋弧焊	29
复习思考题	30
[实验] 埋弧焊工艺实验	30
第三章 熔化极气体保护焊	33
第一节 概述	33
一、熔化极气体保护焊的分类及特点	33
二、熔化极气体保护焊的应用	34
第二节 熔化极惰性气体保护焊	34
一、熔化极惰性气体保护焊的特点	34
二、熔化极惰性气体保护焊的保护气体和焊丝	34
三、熔化极惰性气体保护焊焊枪	36
四、熔化极惰性气体保护焊工艺	36
第三节 熔化极活性混合气体保护焊	40
一、熔化极活性混合气体保护焊的特点	40
二、熔化极活性混合气体保护焊常用气体及适用范围	41
三、熔化极活性混合气体保护焊工艺	42
第四节 二氧化碳气体保护焊	43
一、二氧化碳气体保护焊的特点及应用	43
二、CO ₂ 焊的焊接材料	46
三、CO ₂ 焊焊枪	47
四、CO ₂ 焊工艺	49
第五节 熔化极气体保护焊的其它方法	53
一、脉冲熔化极气体保护焊	53
二、窄间隙活性混合气体保护焊	53
三、药芯焊丝 CO ₂ 气体保护焊	54
复习思考题	55
[实验] 二氧化碳气体保护焊工艺实验	56

第四章 钨极惰性气体保护焊	57	二、钎焊的分类及应用	90
第一节 概述	57	三、钎焊工艺	91
一、钨极氩弧焊的基本原理	57	第三节 高能量密度焊	94
二、钨极氩弧焊的分类及特点	57	一、电子束焊的特点及应用	94
三、钨极氩弧焊的应用	58	二、激光焊的特点及应用	95
第二节 钨极氩弧焊的电流种类和极性	58	复习思考题	95
一、直流钨极氩弧焊	58	[实验] 电阻焊（点焊）工艺实验	95
二、交流钨极氩弧焊	60	第七章 金属材料焊接性分析方法	97
三、脉冲钨极氩弧焊	62	第一节 金属的焊接性	97
第三节 钨极氩弧焊工艺	62	一、金属焊接性的概念	97
一、焊前准备	62	二、影响焊接性的因素	97
二、TIG 焊焊枪	64	第二节 金属焊接性评定与试验	98
三、工艺参数的选择	65	一、焊接性评定的内容	98
四、TIG 焊加强保护效果的措施	67	二、常用的焊接性试验方法	99
第四节 钨极氩弧焊的其它方法	68	复习思考题	103
一、钨极氩弧点焊	68	[实验] 不同材料的焊接性分析	104
二、热丝钨极氩弧焊	69	第八章 碳钢的焊接	106
复习思考题	70	第一节 低碳钢的焊接	106
第五章 等离子弧焊接与切割	71	一、低碳钢的焊接特点	106
第一节 概述	71	二、低碳钢的焊接工艺	106
一、等离子弧	71	三、低碳钢典型零件焊接	108
二、等离子弧特性及应用	71	第二节 中碳钢的焊接	108
三、等离子弧发生器	73	一、中碳钢的焊接特点	108
四、双弧现象及其影响	75	二、中碳钢的焊接工艺	109
第二节 等离子弧焊	75	三、中碳钢典型零件焊接	109
一、等离子弧焊的基本方法及应用	75	第三节 高碳钢的焊接	110
二、等离子弧焊工艺	76	一、高碳钢的焊接特点	110
三、等离子弧堆焊及喷涂简介	78	二、高碳钢的焊接工艺	110
第三节 等离子弧切割	79	复习思考题	111
一、等离子弧切割原理及特点	79	第九章 合金结构钢的焊接	112
二、等离子弧切割工艺	80	第一节 概述	112
三、提高切割质量的途径	81	第二节 合金结构钢的焊接性	114
四、其它等离子弧切割方法简介	82	一、合金元素对合金结构钢焊接性的影响	114
复习思考题	83	二、合金结构钢焊接性分析	115
第六章 其它焊接方法	84	第三节 合金结构钢的焊接工艺	116
第一节 电阻焊	84	一、焊接材料的选择	116
一、电阻焊的分类及特点	84	二、焊接方法选择	118
二、电阻焊的基本原理	86	三、焊前准备	119
三、点焊与缝焊	88	四、焊接工艺参数的选择	120
四、电阻对焊与闪光对焊	89	五、焊后热处理	121
第二节 钎焊	90	六、焊后检验	121
一、钎焊的原理及特点	90		

第四节 典型合金结构钢的焊接工艺	122	二、铸铁的焊接性	136
一、Q345（16Mn）钢的焊接工艺	122	第二节 灰铸铁的焊接工艺	138
二、13MnNiMoNb 钢厚板的 焊接工艺	122	一、同质焊缝的焊条电弧焊	138
复习思考题	123	二、异质焊缝的焊条电弧冷焊	139
第十章 不锈钢的焊接	124	三、灰铸铁的气焊	142
第一节 概述	124	四、灰铸铁的钎焊	143
一、不锈钢的类型	124	第三节 球墨铸铁的焊接	144
二、不锈钢的性能特点	124	一、球墨铸铁的焊接特点	144
第二节 不锈钢的焊接性	125	二、球墨铸铁的焊接工艺	144
一、合金元素对不锈钢接头耐蚀性 的影响	125	复习思考题	145
二、不锈钢的焊接性分析	126	[实验] 灰铸铁补焊	145
第三节 不锈钢的焊接工艺	128	第十二章 常用有色金属的焊接	147
一、奥氏体不锈钢的焊接工艺	128	第一节 铝及铝合金的焊接	147
二、铁素体不锈钢的焊接工艺	131	一、铝及铝合金的焊接性	147
三、马氏体不锈钢的焊接工艺	132	二、铝及铝合金的焊接工艺	148
第四节 奥氏体不锈钢典型结构的 焊接工艺	132	第二节 铜及铜合金的焊接	154
一、试件的准备及技术要求	132	一、铜及铜合金的焊接性	155
二、焊前准备与试件的装配	132	二、铜及铜合金的焊接工艺	156
三、焊接工艺参数选择及操作要点	133	第三节 钛及钛合金的焊接	158
第五节 异种钢焊接	134	一、钛及钛合金的焊接性	158
一、珠光体钢与奥氏体钢的焊接性	134	二、钛及钛合金的焊接工艺	159
二、珠光体钢与奥氏体钢的 焊接工艺	135	复习思考题	160
复习思考题	135	第十三章 焊接污染及控制	161
第十一章 铸铁的焊接	136	第一节 焊接污染	161
第一节 铸铁的种类、性能与焊接性	136	一、电焊烟尘与危害	161
一、铸铁的种类及性能特点	136	二、焊接有害气体与危害	161
		三、焊接电弧光辐射的危害	162
		第二节 焊接污染物的控制途径	163
		参考文献	165

绪 论

一、焊接在现代工业中的地位及发展概况

1. 焊接在现代工业中的地位

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，使工件达到结合的一种工艺方法。焊接是在工业产品的制造过程中，将零件（或构件）连接起来最常采用的一种加工方法。

在工业生产中采用的连接方法，主要分为可拆连接和不可拆连接两大类。螺钉、键、销钉等连接方式属于可拆连接，它们通常不用于制造金属结构，而是用于零件的装配和定位工作中。不可拆连接有铆接、焊接和粘接等几种方式，它们通常用于金属结构或零件的制造中。其中铆接应用较早，但它工序复杂、结构笨重、材料消耗也较大，因此，现代工业中已逐步被焊接所取代。胶接虽然工艺简单，而且在粘接过程中对被粘材料的组织和性能不产生任何不良影响，但受胶粘剂的影响，其接头强度一般较低，也使其应用受到了限制。相反，焊接方法不但易于保证焊接结构等强度的要求，而且相对来说工艺比较简单，加工成本也比较低廉，所以目前还没有其它方法能够比焊接更为广泛地应用于金属结构件的连接。

据工业发达国家统计，每年仅需要进行焊接加工之后使用的钢材就占钢材总产量的 45% 左右。我国也约有 35%~45% 的钢材要经过焊接才能变为工业的最终产品。

焊接作为制造业的基础工艺与技术，为工业经济的发展作出了重要的贡献。在人类引以为自豪的各个领域，如航空航天、核能利用、电子信息、海洋钻探、高层建筑等，都利用了焊接技术的先进成果。

2. 焊接的发展概况

焊接是一门古老而又年轻的加工方法，远在我国古代就有使用锻焊和钎焊的实例，如在著称世界的秦始皇陵中出土的铜车马上就发现了钎焊的焊缝。明代的科学著作《天工开物》上就有关于锻焊的记载：“凡铁性逐节粘合，涂以黄泥于接口之上，入火挥槌，泥滓成枵而去，取其神气为媒合，胶合之后，非灼红斧斩永不可断也。”

但是，目前工业生产中广泛应用的焊接技术，却是 19 世纪末和 20 世纪初现代科学技术发展的产物。1885 年碳极电弧的发明，开创了电弧作为工业热源应用的先河。而 1892 年发现金属极电弧后，特别是 1930 年前后出现了涂药焊条以后，电弧焊才真正意义的应用于工业生产。电阻焊是 1886 年发明的，此后逐渐完善为电阻点焊、缝焊和对焊方法，电阻焊的大规模工业应用也几乎跟电弧焊同时代。

20 世纪是焊接技术发展最活跃的时期，很多重要的焊接方法均出世于这一时期。期间物理学中发现了一些功率密度比电弧高出几个数量级的电子束、等离子束、激光束等新型热源。因而也应运而生了真空电子束焊、等离子束焊和激光焊。这些高能束焊接技术的工业应用，业已成为焊接技术向优质、高效、低耗、清洁、灵活的技术方向发展的代表。在 20 世纪后半叶，焊接自动化程度亦得到了很大的提高。由原来的手工操作的电弧焊为主，发展到以更加环保、经济、高效、优质的气体保护焊及自动焊为主。数字化焊接更进一步促进了焊接生产自动化、

智能化的发展，并使焊接生产利用 Internet 实现远程控制成为现实。

事实上，各种新的焊接技术和方法，正是在新科技的推动下，在实际生产中不断提出的新需求的带动下向前发展起来的。

在今天，焊接作为一种传统技术正面临着 21 世纪的挑战。一方面，材料科学进入 21 世纪已显示出五个方面的变化趋势，即从黑色金属向有色金属变化；从金属材料向非金属材料变化；从结构材料向功能材料变化；从多维材料向低维材料变化；从单一材料向复合材料变化。新材料的连接对焊接技术提出了更高的要求。

另一方面，基于计算机技术的先进制造技术如计算机辅助焊接 (CAW)、焊接机器人、计算机集成制造系统 (CIMS) 等的蓬勃发展，正从信息化、集成化、系统化、柔性化等几个方面改变着焊接技术的生产面貌。

此外，Internet 上的一些焊接专业网站如：中国焊接学会 (www. cws. com. cn)；中国焊接信息网 (www. weldnet. com. cn)。另外，国际上著名的焊接专业网站如：美国爱迪生焊接研究所 (www. ewi. org)；美国焊接协会 (www. amweld. org) 等。这些均为广大焊接工作者提供了最及时、最广泛的焊接专业咨询及最便捷的交流与学习机会。

但应该看到，目前我国焊接技术的总体水平与工业化国家还有一定的差距，尚需广大焊接工作者更加奋发和努力。

二、焊接工艺与焊接方法及金属材料的焊接性

焊接工艺是指制造焊件所有有关的加工方法和实施要求，包括焊接准备、材料选用、焊接方法选定、焊接参数、操作要求等。显然，了解各种焊接方法和掌握被焊材料的焊接性是合理制定焊接工艺的关键。本教材主要讲述的就是各种常用的焊接方法和常见金属材料的焊接性。

1. 焊接方法及分类

焊接方法是指某特定的焊接方法，如埋弧焊、气体保护焊等，其含义包括该方法所涉及的冶金、电、物理、化学及力学性能等内容。如何对现有的焊接方法进行科学的分类是一个非常有意义的问题。正确的分类不仅可以帮助我们了解、学习各种焊接方法的特点和本质，而且可以为科学工作者开发新的焊接技术提供有力的根据。

目前，焊接方法分类法种类甚多，通常情况下，按其焊接过程特点将其分为熔焊、压焊和钎焊三大类。每大类又按不同的方法细分为若干小类，如图 0-1 所示。

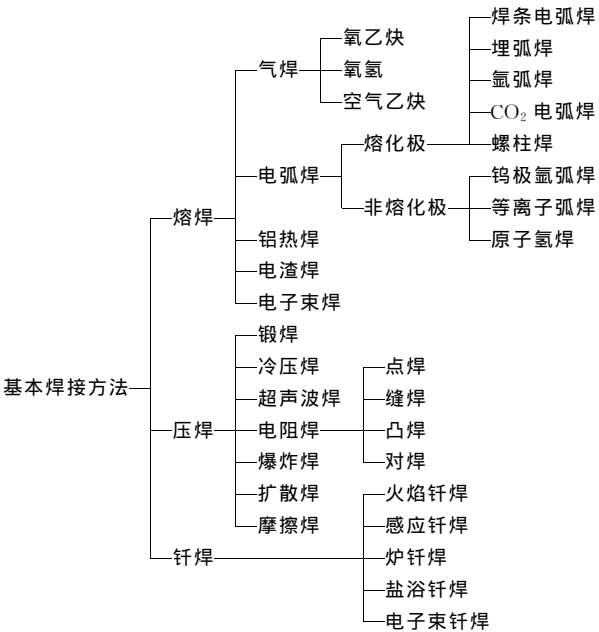


图 0-1 焊接方法分类

2. 金属材料的焊接性

金属材料的焊接性是指材料在限

定的施工条件下焊接成按规定设计要求的构件，并满足预定服役要求的能力。换句话说，焊接性是指被焊材料在焊接加工中形成完整焊接接头的能力，以及已焊成的接头在使用条件下安全运行的能力。

在焊接生产实践中不难发现，不同的被焊材料因其成分与状态不同，焊接后将对其组织与性能产生不同的影响。例如普通低碳钢，几乎可以用任何焊接方法焊接，并且焊缝都能保证质量，热影响区也无明显变化。但对于 $w_c > 0.3\%$ 的碳钢或某些合金钢来说，为了获得优质的焊接接头必须采用特殊的工艺措施。对某些金属，防止焊接缺陷并不十分困难，但为了全面满足母材的性能要求，仍需辅以专门的工艺措施。这些都表明不同的金属获得优质焊接接头的难易程度不同，或者说各种金属对焊接工艺的适应性不同。因此，了解和掌握金属材料的焊接性，是能否合理制定焊接工艺的先决条件。

金属的焊接性与铸造性、机械加工性一样，同属于金属材料的工艺性能。实践证明，金属的焊接性与材料成分、焊接方法、构件类型、使用要求等因素都有密切的关系，所以焊接性并不是金属材料的固有性能，而是随焊接技术的发展而变化的，不能脱离这些因素而单纯从材料本身的性能来评价焊接性。因此，很难找到某一项技术指标来概括材料的焊接性，只有通过综合多方面的因素，才能分析焊接性问题。

三、本教材的内容和学习方法

本教材是根据新修订的中等职业学校焊接专业“焊接工艺”课程教学大纲编写的，是介绍各种焊接方法及常用金属材料焊接性的一门主要专业课程。

本教材讲述的主要内容为：

- 1) 各类基本焊接方法的特点及应用范围。
- 2) 各类基本焊接方法中影响焊接质量的工艺参数及其合理选择和控制。
- 3) 金属的焊接性及其试验方法。
- 4) 常用焊接结构的焊接性特点及焊接工艺。

“焊接工艺”课程是以“焊接电工”、“金属熔化焊基础”课程为前导的一门专业课程。因此在学习本教材之前，应先修完上述课程，并进行过专业生产实习积累必要的基础知识。只有将上述知识学以致用，融会贯通，才能更扎实地学习好本教材。

《焊接工艺》是焊接专业的主要专业课教材之一，也是一门实践性很强的课程，因此学习本教材时应与其它课程和教学环节（如实习、课程设计等）配合，特别注意理论联系生产实际，培养自己分析问题和解决实际问题的能力。即不但应注意学好教材本身所介绍的内容，还要注意掌握分析各种焊接方法的思路；学会分析影响焊接质量的工艺因素，了解常用焊接方法的操作技术。同时，要特别重视实验和操作环节，才会有更好的学习效果。

复习思考题

1. 什么是焊接？与其它连接方法相比其优越性是什么？
2. 焊接方法怎样分类？各有什么特点？
3. 什么是金属的焊接性？影响材料焊接性的因素有哪些？了解金属的焊接性有何意义？
4. 如何才能学好本课程？

第一章 气焊与气割

在生产中，利用可燃气体与助燃气体混合燃烧所释放出的热量作热源进行金属材料的焊接或切割，是金属材料热加工常用的工艺方法之一。本章首先介绍气焊的基本原理、特点及应用，然后介绍气焊用气体、焊接材料、设备及工具和焊接工艺，最后介绍气割的原理及应用。

第一节 概 述

气焊是利用气体火焰作为热源的一种焊接方法。它借助可燃气体与助燃气体混合后燃烧产生的火焰，将接头部位母材金属和焊丝熔化，使被熔化的金属形成熔池，冷却凝固后形成一个牢固的接头，从而使两焊件连接成一个整体。最常用的气焊是氧乙炔焊，如图 1-1 所示。

气焊与电弧焊相比，它的优点是：

- 1) 设备简单，移动方便，在无电力供应地区可以方便进行焊接。
- 2) 可以焊接很薄的工件。
- 3) 焊接铸铁和部分有色金属时焊缝质量好。

气焊的缺点是：

- 1) 热量较分散，热影响区及变形大。
- 2) 生产率较低，不易焊较厚的金属。
- 3) 某种金属因气焊火焰中氧、氢等气体与熔化金属发生作用，会降低焊缝性能。
- 4) 难以实现自动化。

由于气焊火焰具有温度低的特点，它特别适用于薄板的焊接以及低熔点材料的焊接，能用于工具钢和铸造类需要预热和缓冷的材料的焊接，同时还广泛应用于有色金属的钎焊及硬质合金堆焊，以及用于磨损和报废件的补焊。

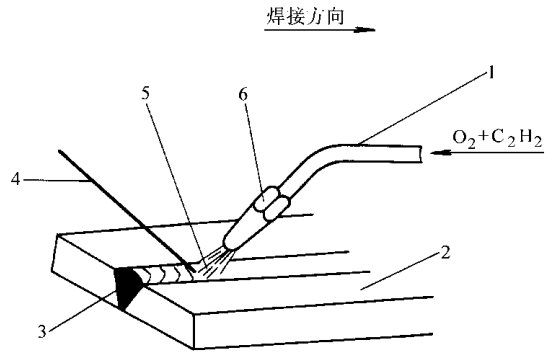


图 1-1 氧乙炔焊示意图

1—混合气管 2—焊件 3—焊缝
4—焊丝 5—火焰 6—焊嘴

第二节 气焊用气体和焊接材料

一、气焊用气体

气焊用气体由助燃气体（氧气）和可燃气体（乙炔、液化石油气等）两部分组成。可燃气体的种类很多，常见可燃气体的发热量及火焰温度见表 1-1。其中乙炔是目前最常用的可燃气体。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

表 1-1 可燃气体的发热量及火焰温度

气 体	发热量/ $\text{J} \cdot \text{L}^{-1}$	火焰温度/ $^{\circ}\text{C}$	气 体	发热量/ $\text{J} \cdot \text{L}^{-1}$	火焰温度/ $^{\circ}\text{C}$
乙炔	52753	3200	煤气	20934	2100
氢	10048	2160	沼气	33076	2000
丙烷、丁烷	8876	2000			

(1) 氧气 氧气是气焊（气割）时必须使用的气体。氧在常温和标准大气压下是无色无臭的气体，密度为 $1.43\text{kg}/\text{m}^3$ 。在大气压下温度降到 -182.96°C 时，氧由气态变为蓝色的液态，在 -218.4°C 时形成淡蓝色的固体。气焊和气割必须选用高纯度的氧气，才能获得所需的导热强度。一般工业用气体氧的纯度被分为两级；一级纯度质量分数不低于 99.5% ，常用于质量要求较高的气焊（气割）；二级纯度不低于 98.5% ，常用于没有严格要求的气焊（气割）。

(2) 乙炔 乙炔的分子式为 C_2H_2 ，是未饱和的碳氢化合物，在常温和大气压力下为无色气体。工业用乙炔混有许多杂质如硫化氢、磷化氢等，故有刺鼻的特殊气味，密度为 $1.17\text{kg}/\text{m}^3$ 。乙炔的沸点为 -82.4°C ，温度在 -83.6°C 时成为液体，温度低于 -85°C 时成为固体。气体乙炔能溶解于水、丙酮等液体，在常温常压下 1L 丙酮能溶解 23L 乙炔。

乙炔是一种危险的易燃、易爆气体，不论是液体或固体，在一定条件下可能因摩擦、冲击而爆炸。

工业用乙炔主要由水分解电石而得到。

(3) 丙烷、丁烷 是石油工业副产品，也称液化石油气，主要成分是丙烷（ C_3H_8 ）、丁烷（ C_4H_{10} ）等碳氢化合物。这些物质在常温和大气压下呈气态，当表压力升到 $0.8\sim 1.5\text{MPa}$ 时即变为液体——液化石油气。气态时为一种略带臭味的无色气体，在标准状态下的密度为 $1.8\sim 2.5\text{kg}/\text{m}^3$ ，比空气重。

此气体在纯氧中燃烧的火焰温度可达 2800°C 左右。达到完全燃烧所需的氧气量比乙炔约大一倍。液化石油气在氧气中燃烧速度约为乙炔的一半。若此气体与空气混合，丙烷占 $2.3\%\sim 9.5\%$ 体积时，遇有火星也会爆炸。

二、气焊用焊接材料

1. 气焊丝

气焊时，焊丝不断地送入熔池内，并与熔化的基本金属熔合形成焊缝。焊缝的质量在很大程度上与气焊丝的化学成分和质量有关，因此焊丝的正确选用是非常重要的。

(1) 气焊丝选用的原则

1) 考虑母材金属的力学性能。气焊丝的化学成分是影响焊接接头力学性能的主要因素。因此，一般应根据焊件的成分来选用焊丝。还要考虑焊件的受力情况，对焊接接头强度要求高的焊件，应选用比母材金属强度高的或等强度的焊丝。

如果焊件工况承受冲击力，应选用韧性好的焊丝。如果要求焊件耐磨，则应选用耐磨材料的焊丝。总之，选用焊丝材料的原则之一就是要符合焊件力学性能的要求。

2) 考虑焊接性。选用焊丝除了考虑强度外，还要考虑焊缝金属和母材金属的熔合及其组

织的均匀性。一般要求焊丝的熔点应等于或略低于母材金属的熔点。否则，在气焊过程中容易形成烧穿、咬边或夹渣等缺陷。

焊接性良好的焊丝填入焊缝熔池后，焊缝金属和熔合线处的晶粒组织细密，熔池金属没有沸腾、喷溅现象。检查焊丝的焊接性时，可用气焊火焰把焊丝一端熔化后观察一下，如果略为呈现油亮而粘稠状态，凝固后焊缝表面光亮、没有裂纹、塌陷、粗糙等现象，这种焊丝就是较好的。

3) 考虑焊件的特殊要求。焊接对介质和温度有特殊要求的焊件，应选用能满足这些要求的焊丝。

(2) 常用气焊丝的型号和用途

1) 碳素结构钢焊丝 一般低碳钢焊件采用的焊丝有 H08A；重要的低碳钢焊件用 H08Mn、H08MnA；中强度焊件用 H15A；强度较高的焊件用 H15Mn。

焊接强度等级为 300~350MPa 的普通碳素钢时，采用 H08A、H08Mn 和 H8MnA 等焊丝。

焊接优质碳素钢和低合金结构钢时，可采用碳素结构钢焊丝或合金结构钢焊丝，如 H08Mn、H08MnA、H10Mn2 以及 H10Mn2MoA 等。

碳素结构钢和合金结构钢焊丝的牌号、代号及化学成分可参见相关国家标准。

2) 铸铁用焊丝 铸铁焊丝分为灰铸铁焊丝和合金铸铁焊丝，其型号、化学成分可参见相关国家标准。

2. 气焊熔剂

(1) 气焊熔剂的作用 气焊过程中，被加热的熔化金属极易与周围空气中的氧或火焰中的氧化合生成氧化物，使焊缝中产生气孔和夹渣等缺陷。为了防止金属的氧化及消除已经形成的氧化物，在焊接有色金属、铸铁以及不锈钢等材料时必须采用气焊熔剂。

气焊熔剂可以在焊前涂在焊件的待焊位置上或涂在焊丝上；也可以在气焊过程中将焊丝沾上熔剂后再添加到熔池内。在高温下熔剂熔化与熔池内的金属氧化物或非金属夹杂物相互作用形成熔渣，浮在焊接熔池的表面，覆盖着熔化的焊缝金属，从而可以防止熔池金属的氧化并改善焊缝金属的性能。

(2) 气焊熔剂的种类 气焊熔剂分为化学熔剂和物理熔剂两种。

1) 化学熔剂。这类熔剂由一种或几种酸性氧化物或碱性氧化物组织，所以也称为酸性熔剂或碱性熔剂。其中酸性熔剂如硼砂、硼酸、二氧化硅等，主要用于焊接铜及其合金、合金钢等。焊接时形成的氧化亚铜、氧化锌和氧化铁等是碱性氧化物，因此，要采用酸性熔剂。碱性熔剂如碳酸钾和碳酸钠等，主要用于补焊铸铁。由于此时熔池内形成高熔点的二氧化硅（熔点 1350℃），所以采用碱性熔剂。

2) 物理熔剂。这类熔剂有氯化钾、氯化钠、氯化锂、氟化钾、氟化钠、硫酸氢钠等，主要用于焊接铝及其合金。在气焊铝及其合金时，熔池表面形成一层二氧化铝薄膜，这种化合物不能被酸性或碱性熔剂中和，直接阻碍焊接过程的顺利进行。因此必须用有物理作用的熔剂将三氧化二铝溶解，从而获得高质量的焊缝。

(3) 常用气焊熔剂及选用 气焊熔剂应根据母材金属在气焊过程中所产生的氧化物的种类来选用。所选用的熔剂应能中和或溶解这些氧化物。常用气焊熔剂的种类、用途及性能见表 1-2。

表 1-2 常用气焊用熔剂的种类、用途及性能

熔剂型号	代号	应用范围	基 本 性 能
熔剂 101	CJ101	不锈钢及耐热钢	熔点约为 900°C 。有良好的湿润作用，能防止熔化金属被氧化，焊后熔渣易清除
熔剂 201	CJ201	铸 铁	熔点约为 650°C 。呈碱性反应，富潮解性，能有效地去除铸铁在气焊时所产生的硅酸盐和氧化物，有加速金属熔化的功能
熔剂 301	CJ301	铜及铜合金	系硼基盐类，易潮解，熔点约为 650°C 。呈酸性反应，能有效地消除氧化铜和氧化亚铜
熔剂 401	CJ401	铝及铝合金	熔点约为 560°C 。呈碱性反应，能有效地破坏氧化铝膜，因富有潮解性，在空气中能引起铝的腐蚀，焊后必须将熔渣清除干净

第三节 气焊设备及工具

气焊设备及工具主要由氧气瓶、氧气减压器、乙炔发生器（或乙炔瓶）、乙炔减压器回火保险器、焊炬和橡皮管等组成，如图 1-2 所示。

1. 氧气瓶

氧气瓶是贮存和运输高压氧气的容器。瓶体漆成天蓝色，并漆有“氧气”黑色字样。氧气瓶容量一般为 40L，额定工作压力为 15MPa。

2. 减压器

减压器是将气瓶中高压气体的压力减到气焊气割所需压力的一种调节装置。减压器不但能减低压力、调节压力，而且能使输出的低压气体的压力保持稳定，不会因气源压力降低而降低。气焊气割用减压器有氧气减压器、乙炔减压器和丙烷减压器等。

3. 乙炔发生器和乙炔瓶

乙炔发生器是使水与电石进行化学反应，从而产生一定压力乙炔气体的装置。乙炔发生器有低压和中压两种。前者乙炔压力低于 0.007MPa ，后者乙炔压力为 $0.007\sim 0.13\text{MPa}$ 。两者相比，中压乙炔发生器应用要比低压乙炔发生器更广泛。目前，在我国乙炔发生器正在逐步被乙炔瓶所取代。

乙炔瓶是贮存和运输乙炔的容器。瓶体漆成白色，并漆有“乙炔”红色字样。瓶内装有浸满着丙酮的多孔性填料，可使乙炔 1.5MPa 的压力安全地贮存在瓶内。使用时，必须用乙炔减压器将乙炔压力降低到 0.103MPa 方可使用。多孔性填料通常用质轻而多孔的活性炭、木屑、浮石和硅藻土等合制而成。乙炔瓶比乙炔发生器安全，而且卫生。

4. 焊炬

焊炬是用于控制火焰进行焊接的工具，其功用是将可燃气体与氧气按一定比例混合后以一定速度喷出。使用各种号码焊嘴时的混合气体流速见表 1-3。

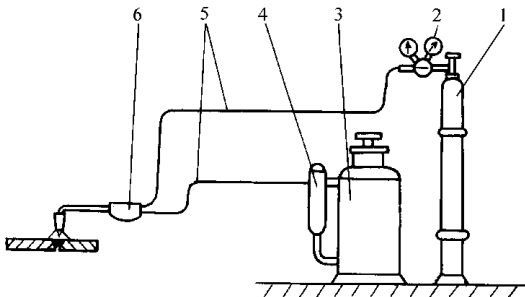


图 1-2 气焊设备组成

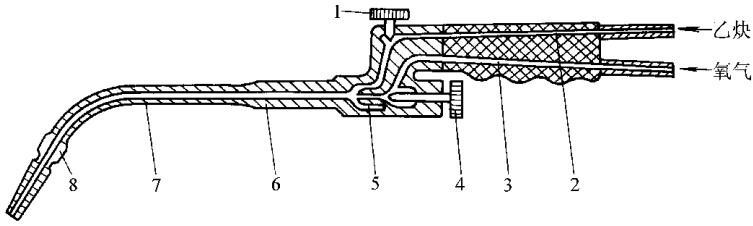
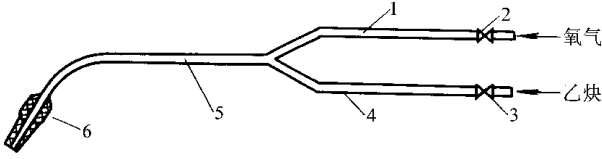
1—氧化瓶 2—减压器 3—乙炔发生器
(乙炔瓶) 4—回火保险器 5—橡皮管 6—焊炬

表 1-3 各种焊嘴的混合气体流速

焊嘴号码	1 号	2~3 号	4~6 号	7 号
混合气体流速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	60~80	80~120	120~140	140~160

焊炬的分类及特点见表 1-4。目前，我国应用最广的为射吸式焊炬。等压式焊炬由于使用中压或高压乙炔，尚未获得广泛应用。

表 1-4 焊炬分类及特点

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

5. 橡皮管

氧气橡皮管应为黑色，内径为 8mm，工作压力为 1.5MPa，试验压力为 3.0MPa。乙炔橡皮管应为红色，内径为 10mm，工作压力为 0.5MPa 或 1MPa。连接焊炬或割炬的橡皮管不能短于 5m，一般在 10~15m 为宜，太长了会增加气体流动的阻力。

另外，为了安全必须设置回火保险器，是防止火焰向燃气管路或气源回烧的保险装置。

第四节 气 焊 工 艺

一、气体火焰

1. 气焊火焰的种类及特点

气焊火焰是可燃性气体（或可燃液体蒸气）与氧气混合燃烧而形成的。乙炔与氧混合燃

烧所形成的火焰，一般称为氧乙炔焰。氧乙炔焰具有很高的温度（约 3200℃），加热集中，这是目前气焊中采用的主要火焰。

氧乙炔焰由于混合比不同有三种火焰：中性焰、氧化焰和碳化焰，如图 1-3 所示。

(1) 中性焰 是氧乙炔混合比（体积）为 1.1~1.2 时燃烧所形成的火焰。其特征为亮白色的焰心端部有淡白色火焰闪动,时隐时现。中性焰的内焰区气体为 CO 和 H₂，无过量氧，也没有游离碳，因此呈暗紫色。中性焰的内焰实际上并非中性，而是具有一定的还原性，故有人称中性焰为正常焰。中性焰应用最广。

(2) 碳化焰 是氧乙炔混合比（体积）小于 1.1 时的火焰。其特征是内焰呈淡白色。这是因为碳化焰的内焰有多余的游离碳。碳化焰具有较强的还原作用，也有一定的渗碳作用。

(3) 氧化焰 是氧乙炔的混合比大于 1.2 时火焰。其特征是焰心端部无淡白色火焰闪动，内焰，外焰分不清。氧化焰有过量的氧，因此氧化焰有氧化性。

中性焰焰心外 2~4mm 处温度最高，达 3150℃ 左右。因此，气焊时焰心离开工件表面 2~4mm，此时热效率最高，保护效果最好。

2. 各种火焰的适用范围

根据焊接材料来选择不同性质的火焰，才能获得优质的焊缝。各种金属材料气焊时所采用的火焰见表 1-5。

表 1-5 各种金属材料气焊火焰的选择

焊 件 材 料	应 用 火 焰	焊 件 材 料	应 用 火 焰
低碳钢	中性焰	铬镍不锈钢	中性焰或轻微碳化焰
中碳钢	中性焰或轻微碳化焰	纯铜	中性焰
低合金钢	中性焰	锡青铜	轻微氧化焰
高碳钢	轻微碳化焰	黄铜	氧化焰，或减少锌蒸发
灰铸铁	碳化焰或轻微碳化焰	铝及其合金	中性焰或轻微碳化焰
高速钢	碳化焰	铅、锡	中性焰或轻微碳化焰
锰钢	轻微氧化焰	镍	碳化焰或轻微碳化焰
镀锌铁皮	轻微氧化焰	蒙乃尔合金	碳化焰
铬不锈钢	中性焰或轻微碳化焰	硬质合金	碳化焰

二、气焊接头的种类及坡口形式

1. 气焊接头的种类

常用的气焊接头形式有卷边接头、对接接头及角接头等几种，如图 1-4 所示。焊接接头的形式可根据焊件厚度、结构形式、强度要求和施工条件等情况选定。

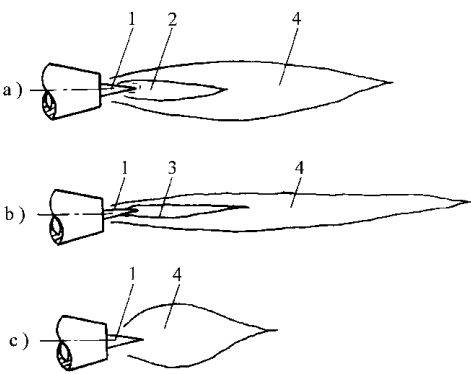


图 1-3 氧乙炔焰

a) 中性焰 b) 碳化焰 c) 氧化焰
1—焰心 2—内焰（暗红色）
3—内焰（淡白色） 4—外焰

一般气焊接头采用对接接头形式。气焊 0.5~1mm 的薄钢板时，宜采用卷边接头及角接头；当板厚小于 3mm 时，亦可采用 I 形坡口的对接接头；当板厚等于或大于 4mm 时，可采用 Y 形坡口。

2. 气焊焊缝坡口的基本形式与尺寸

在 GB/T 985—1988 标准中规定了钢焊接接头的各种坡口形式与尺寸。可以根据板厚 δ 从该标准中查出装配间隙 b 。如果焊件厚度较大，需要开坡口，亦可从该标准中查出相应的坡口形式及尺寸。

三、气焊焊接参数

气焊焊接参数通常包括焊丝的牌号、直径，熔剂，火焰性质与火焰能率，焊嘴的倾角，焊接方向和焊接速度等。

1. 焊丝直径的选择

焊丝直径是根据工件厚度选择的。选择焊丝直径时，可参见表 1-6。

表 1-6 气焊焊丝直径的选择

工件厚度/mm	1~2	2~3	3~5	5~10	10~15	>15
焊丝直径/mm	1~2	2	2~3	3~4	4~6	6~8

2. 气焊火焰的性质和火焰能率的选择

(1) 火焰性质的选择 火焰性质是根据焊件材料的种类及其性能来选择的。一般来说，对于需要尽量减少元素烧损和增碳的材料，气焊时应选用中性焰；对于允许和需要增碳及还原气氛的材料，可选用碳化焰；而对于母材金属含有低沸点元素（Sn、Zn 等）的材料，因需要生成氧化薄膜覆盖在熔池表面，以保护这些元素不再蒸发的材料，应选用氧化焰，也可以参照表 1-5 选用。

(2) 火焰能率的选择 火焰能率是以每小时可燃气体（乙炔）的消耗量（L/h）来表示的，其物理意义是表示单位时间内可燃气体所提供的能量（热能）。

焊接不同的焊件时，要选择不同的火焰能率。如果焊接较厚的焊件，熔点较高的金属，导热性较好的铜、铅及其合金，就要选用较大的火焰能率，才能保证焊缝焊透；反之，焊接薄板时，火焰能率就要适当地减少以防烧穿。

火焰能率的大小，主要取决于氧乙炔混合气体的流量。流量的粗调，主要是靠更换焊炬型号和焊嘴号码来实现；流量的细调则可调节气体调节阀。焊嘴号码应根据母材金属的厚度、熔点和导热性能等因素来选定，可参见表 1-3。

3. 焊炬倾角的选择

焊炬倾角是指焊炬中心线与焊件平面之间的夹角 α 。焊炬倾角大，热量散失少，焊件得到的热量多，升温快；焊炬倾角小，热量散失多，焊件受热少、升温慢。因此，在焊接厚度大，熔点较高或导热性较好的焊件时，或开始焊接时，为了较快地加热焊件和迅速形成熔池，焊炬的倾角要大些；反之，可以小些。焊接碳素钢时焊炬倾角与焊件厚度的关系如图 1-5 所示。

4. 焊接方向

气焊方向可有两种，如图 1-6 所示。左向焊适用于焊接薄板，右向焊适用于焊接厚度较大

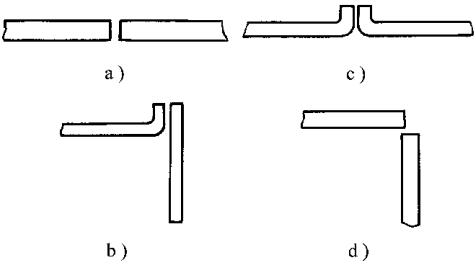


图 1-4 气焊常用的接头形式

a)、b) 对接接头 c) 卷边接头 d) 角接头