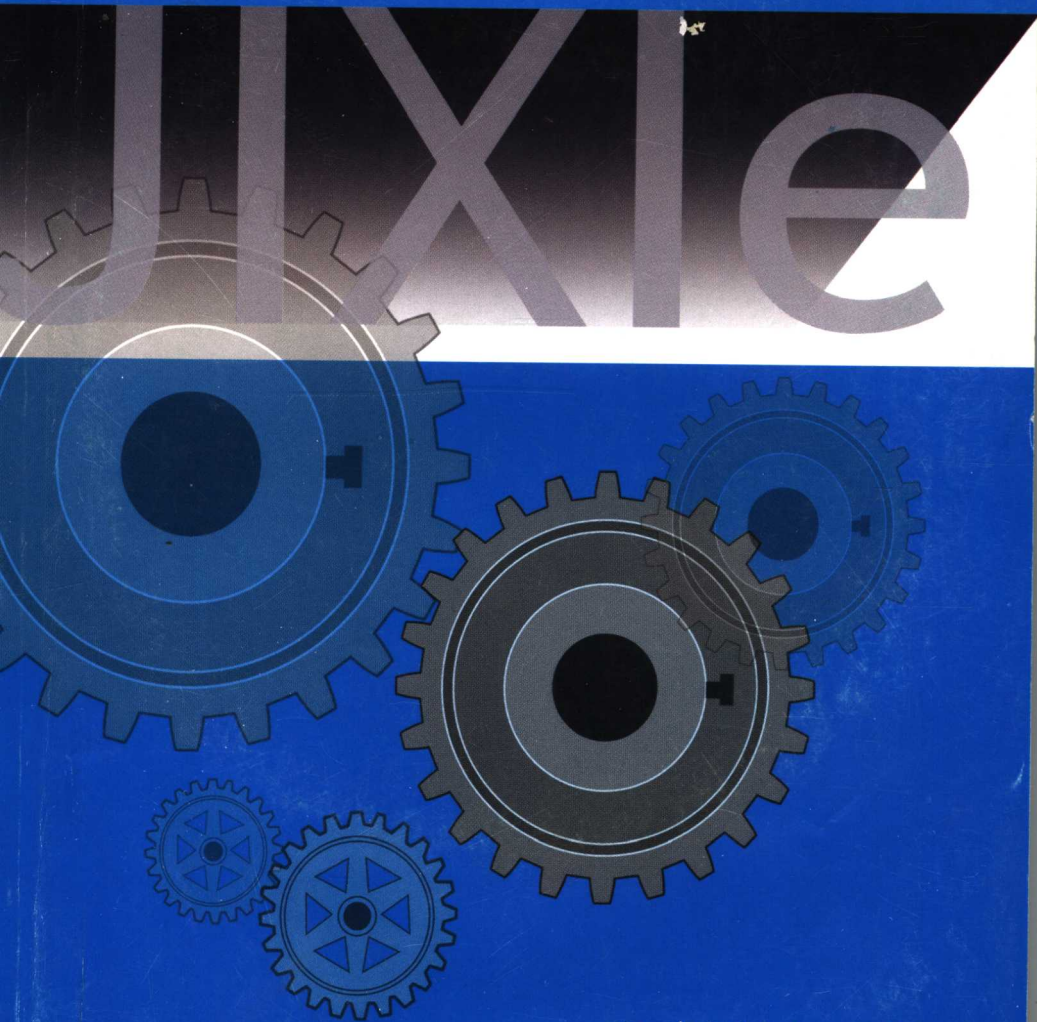




全国中等职业技术学校机械类专业

焊工工艺学课教学参考书

与《焊工工艺学》（第三版）配套



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校机械类专业

焊工工艺学课教学参考书

与《焊工工艺学》(第三版) 配套

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

焊工工艺学课教学参考书/邱葭菲主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006

全国中等职业技术学校机械类专业

ISBN 7-5045-5689-0

I. 焊… II. 邱… III. 焊接工艺-专业学校-教学参考资料 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 070126 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销
850 毫米×1168 毫米 32 开本 6.625 印张 171 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

定价: 17.00 元 (含光盘 2 张)

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

目 录

第一章 焊接技术概论.....	(1)
§ 1—1 概述.....	(2)
§ 1—2 焊接安全技术与劳动保护.....	(5)
第二章 气焊与气割.....	(12)
§ 2—1 气体火焰.....	(13)
§ 2—2 气焊.....	(16)
§ 2—3 气割.....	(22)
第三章 弧焊电源.....	(31)
§ 3—1 焊接电弧.....	(32)
§ 3—2 对弧焊电源的基本要求.....	(37)
§ 3—3 弧焊电源的分类及型号.....	(41)
§ 3—4 常用弧焊电源.....	(46)
第四章 焊条电弧焊.....	(50)
§ 4—1 焊条电弧焊的原理及特点.....	(51)
§ 4—2 焊条.....	(51)
§ 4—3 焊接接头类型及焊缝形式.....	(62)
§ 4—4 焊缝符号和焊接方法代号.....	(68)
§ 4—5 焊接工艺参数.....	(71)
§ 4—6 焊条电弧堆焊.....	(72)

第五章 金属熔化焊过程	(74)
§ 5—1 焊条、焊丝及母材的熔化.....	(75)
§ 5—2 焊接化学冶金过程.....	(78)
§ 5—3 焊缝结晶过程.....	(82)
§ 5—4 焊接热影响区的组织和性能.....	(83)
§ 5—5 控制和改善焊接接头性能的方法.....	(85)
第六章 焊接应力与变形	(88)
§ 6—1 焊接应力和变形的形成.....	(89)
§ 6—2 焊接残余变形.....	(90)
§ 6—3 焊接残余应力.....	(95)
第七章 埋弧焊	(99)
§ 7—1 埋弧焊原理.....	(100)
§ 7—2 埋弧焊机.....	(102)
§ 7—3 埋弧焊的焊接材料.....	(105)
§ 7—4 埋弧焊工艺.....	(108)
第八章 气体保护电弧焊	(110)
§ 8—1 气体保护电弧焊的原理及特点.....	(111)
§ 8—2 二氧化碳气体保护电弧焊.....	(113)
§ 8—3 氩弧焊.....	(118)
§ 8—4 熔化极活性混合气体保护焊.....	(125)
§ 8—5 药芯焊丝气体保护电弧焊.....	(126)
第九章 等离子弧切割、焊接和电阻焊	(129)
§ 9—1 等离子弧切割与焊接.....	(129)
§ 9—2 电阻焊.....	(136)

第十章 其他焊接、切割方法与技术	(145)
§ 10—1 钎焊	(145)
§ 10—2 电渣焊	(152)
§ 10—3 碳弧气刨	(153)
§ 10—4 先进的焊接方法与技术简介	(156)
 第十一章 常用金属材料的焊接	 (162)
§ 11—1 金属的焊接性	(163)
§ 11—2 金属材料常用焊接工艺措施	(165)
§ 11—3 碳素钢的焊接	(166)
§ 11—4 低合金高强度结构钢的焊接	(171)
§ 11—5 珠光体耐热钢的焊接	(174)
§ 11—6 低温钢的焊接	(176)
§ 11—7 不锈钢的焊接	(178)
§ 11—8 铸铁的焊补	(184)
§ 11—9 铝及铝合金的焊接	(186)
§ 11—10 铜及铜合金的焊接	(189)
 第十二章 焊接缺陷及检验	 (193)
§ 12—1 焊接缺陷分析	(193)
§ 12—2 焊接质量检验	(201)
§ 12—3 焊接缺陷的返修	(204)

第一章 焊接技术概论

一、教学目的与要求

1. 掌握焊接的定义、分类及优缺点。
2. 掌握防止触电及防止火灾、爆炸、中毒、辐射及特殊环境焊接的安全技术措施。
3. 理解焊接安全生产的重要性和焊接劳动保护措施。
4. 了解国内外焊接技术发展与应用概况。

二、教学难点、重点

1. 焊接的定义、分类及优缺点。
2. 防止触电及防止火灾、爆炸、中毒、辐射及特殊环境焊接的安全技术措施。

三、学时分配表

章节名称	学时	合计
§ 1—1 概述	2	6
§ 1—2 焊接安全技术与劳动保护	4	

四、教材分析与教学建议

§ 1—1 概 述

1. 金属连接的方式

在金属结构和机器的制造中，经常需要用一定的连接方式将两个或两个以上的零件按一定形式和位置连接起来。金属连接的方式可分为两大类：一类是可拆卸连接，即不必毁坏零件（连接件、被连接件）就可以拆卸，如螺栓连接、键和销连接等。另一类是永久性连接，也称不可拆卸连接，其拆卸只有在毁坏零件后才能实现，如铆接、焊接和粘接等。

需要注意的是，有些教材将拆卸时仅连接件毁坏而被连接件不毁坏的情况也归纳为可拆卸的连接，如铆接。而将连接件和被连接件全部毁坏后才能实现拆卸的连接方式称为永久性连接。通常可拆卸连接不用于制造金属结构，而用于零件的装配和定位；永久性连接通常用于金属结构或零件的制造中。

2. 焊接的定义

焊接就是通过加热或加压，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工艺方法。

由此可见，焊接最本质的特点就是通过焊接使焊件达到结合，从而将原来分开的物体形成永久性连接的整体。要使两部分金属材料达到永久连接的目的，就必须使分离的金属相互非常接近，使之产生足够大的结合力，才能形成牢固的接头。这对液体来说是很容易的，而对固体来说则比较困难，需要外部给予很大的能量如电能、化学能、机械能、光能、超声波能等，这就是金属焊接时必须采用加热、加压或两者并用的原因。

3. 焊接分类

这是本章的教学重点之一，教学过程注意各种焊接方法的比较，以便把握各自特点。

按照焊接过程中金属所处的状态不同，可以把焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊3类。

熔焊是在焊接过程中，将焊件接头加热至熔化状态，不加压力完成焊接的方法。目前熔焊应用最广，常见的气焊、电弧焊、电渣焊、气体保护电弧焊等属于熔焊。

压焊是在焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热）以完成焊接的方法。如电阻焊、摩擦焊、气压焊、冷压焊、爆炸焊等属于压焊。

钎焊是采用比母材熔点低的钎料作填充材料，焊接时将焊件和钎料加热到高于钎料熔点，低于母材熔点的温度，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连接焊件的方法。常见的钎焊方法有烙铁钎焊、火焰钎焊等。

4. 焊接的特点

焊接与铆接、铸造相比，可以节省大量金属材料，减轻结构的质量，成本较低；简化加工与装配工序，工序较简单，生产周期较短，劳动生产率高；焊接接头不仅强度高，而且其他性能（如耐热性能、耐腐蚀性能、密封性能）都能与焊件材料相匹配，焊接质量高；劳动强度低，劳动条件好等。

焊接的主要缺点是产生焊接应力与变形，焊接中存在一定数量的缺陷，产生有毒有害的物质等。

目前世界各国年平均生产的焊接结构用钢已占钢产量的45%左右，所以焊接是目前应用极为广泛的一种永久性连接方法。

5. 焊接技术发展史

近代焊接技术从1885年出现碳弧焊开始，直到20世纪40年代才形成较完整的焊接工艺体系。特别是40年代初期出现了优质电焊条后，焊接技术得到了一次飞跃。现在世界上已有50余种焊接工艺方法应用于生产中。焊接方法的发展简史见表1—1。

表 1—1

焊接方法的发展简史

焊接方法	发明年代	发明国家	焊接方法	发明年代	发明国家
碳弧焊	1885	前苏联	冷压焊	1948	英国
电阻焊	1886	美国	高频电阻焊	1951	美国
金属极电弧焊	1892	前苏联	电渣焊	1951	前苏联
热剂焊	1895	德国	CO ₂ 气体保护电弧焊	1953	美国
氧乙炔焊	1901	法国	超声波焊	1956	美国
金属喷涂	1909	瑞士	电子束焊	1956	法国
原子氢焊	1927	美国	摩擦焊	1957	前苏联
高频感应焊	1928	美国	等离子弧焊	1957	美国
惰性气体保护电弧焊	1930	美国	爆炸焊	1963	美国
埋弧焊	1935	美国	激光焊	1965	美国

补充资料 焊接技术的新发展

随着工业和科学技术的发展,焊接技术也在不断进步,焊接已从单一的加工工艺发展成为综合性的先进工艺技术。焊接技术的新发展主要体现在以下几个方面:

1. 提高焊接生产率,进行高效化焊接。如焊条电弧焊中的铁粉焊条、重力焊条和躺焊条工艺,埋弧焊中的多丝焊、热丝焊、窄间隙焊接,气体保护电弧焊中的气电立焊、热丝 MAG 焊、TIME 焊等,是常用的高效化焊接方法。

2. 提高焊接过程自动化、智能化水平。国外焊接过程机械化、自动化程度很高。按焊丝与焊接材料之比来计算机械化、自动化程度,1999 年日本为 80%,西欧为 74%,美国为 71%。焊接机器人的应用是提高焊接过程自动化水平的有效途径,应用焊接专家系统、神经网络系统等都能提高焊接过程智能化水平。目前,我国在这方面还比较落后,手工焊接所占比例仍很大,还有待发展。

3. 研究开发新的焊接热源。焊接工艺几乎运用了世界上一

切可以利用的热源，如火焰、电弧、电阻、激光、电子束等。但新的更好更有效的焊接热源研发一直在进行，例如采用两种热源的叠加，可获得更强的能量密度，如等离子束加激光、电弧中加激光等。

§ 1—2 焊接安全技术与劳动保护

1. 焊接安全生产的重要性

焊工在焊接时要与电、可燃及易爆的气体、易燃液体、压力容器等接触，焊接时会产生一些因素如有害气体、金属蒸气、烟尘、电弧辐射、高频磁场、噪声和射线等，有时还要在高处、水下、容器设备内部等特殊环境作业。所以，焊接生产中存在一些危险因素，如触电、灼伤、火灾、爆炸、中毒、窒息等，因此必须重视焊接安全生产。

国家有关标准明确规定，金属焊接（气割）作业是特种作业，焊工是特种作业人员。特种作业人员须进行培训并经考试合格后，方可上岗作业。

下面我们主要分析焊接安全生产中预防触电和预防火灾、爆炸的知识。

2. 预防触电

触电是焊接操作的主要危险因素。我国目前生产的焊条电弧焊焊机的空载电压限制在 90 V 以下，工作电压为 25 ~ 40 V；埋弧焊焊机的空载电压为 70 ~ 90 V；电渣焊焊机的空载电压一般是 40 ~ 65 V；氩弧焊、CO₂ 气体保护电弧焊焊机的空载电压是 65 V 左右；等离子弧切割机的空载电压高达 300 ~ 450 V；所有焊机工作的网路电压为 380 V 或 220 V，50 Hz 的交流电，都超过安全电压（一般干燥情况为 36 V，高空作业或特别潮湿场所为 12 V），因此触电危险是比较大的，必须采取措施预防触电。

补充资料

电流对人体的危害

电流对人体的危害有电击、电伤和电磁场生理伤害3种类型。

电击是指电流通过人体内部，破坏心脏、肺部或神经系统的功能，通常称为触电。绝大部分触电事故是由电击造成的。

电伤是指加热工件的火星飞溅到皮肤上引起的烧伤。

电磁场生理伤害是指在高频电磁场作用下，使人产生头晕、乏力、记忆力衰退、失眠多梦等神经系统的症状。

下面我们一起来分析焊接操作中可能造成触电的原因，以帮助我們理解教材中详细介绍的在工作中预防触电的措施。

触电可分为直接接触和间接接触，直接接触是直接触及焊接设备正常运行时的带电体或靠近高压电网和电气设备而发生触电。间接触电是触及意外带电体（正常时不带电，因绝缘损坏或电气设备发生故障而带电的导体）而发生触电。

(1) 直接接触

1) 在更换焊条、电极和焊接过程中，焊工的手或身体某部接触到焊条、焊钳或焊枪的带电部分，而脚或身体其他部位与地或工件间无绝缘保护而触电。当焊工在金属容器、管道、锅炉或金属结构内部施工，或当人体大量出汗，或在阴雨天、潮湿地方焊接时，特别容易发生这种触电事故。

2) 在接线、调节焊接电流和移动焊接设备时，手或身体某部接触到接线柱等带电体而触电。

3) 在高处焊接作业时触及低压线路或靠近高压网路引起的触电事故。

(2) 间接接触

1) 焊接设备的绝缘烧损、振动或机械损伤，使绝缘损坏部位碰到机壳，而人碰到机壳引起触电。

2) 焊机的火线和零线接错，使外壳带电而导致触电。

3) 焊接操作时人体碰到了绝缘损坏的电缆、胶木刀开关带

电部分而触电。

3. 预防火灾和爆炸

焊工焊接时，电弧及气体火焰的温度很高并产生大量的金属火花飞溅物，而且在焊接过程中还会与可燃及易爆的气体、易燃液体、可燃的粉尘或压力容器等接触，都有可能引起火灾甚至爆炸。因此焊工在工作时，必须防止火灾及爆炸事故的发生。

下面我们就来分析一下爆炸发生的条件。

(1) 可燃气体爆炸 工业上大量使用的可燃气体，如乙炔、天然气等，与氧气或空气均匀混合达到一定限度，遇到火源便会发生爆炸。这个限度称为爆炸极限，常用可燃气体在混合气体中所占的体积分数来表示。例如，乙炔与空气混合爆炸极限为2.2%~81%，乙炔与氧气混合爆炸极限为2.8%~93%，丙烷或丁烷与空气混合爆炸极限分别为2.1%~9.5%和1.55%~8.4%。

(2) 可燃液体爆炸 在焊接场地或附近放有可燃液体时，可燃液体或可燃液体蒸气达到一定浓度，遇到焊接火花就会发生爆炸，如汽油蒸气与空气混合的爆炸极限为0.7%~6%。

(3) 可燃粉尘爆炸 可燃粉尘如镁、铝粉尘及纤维素粉尘等，悬浮于空气中，达到一定浓度范围时，遇到焊接火花也会发生爆炸。

(4) 密闭容器爆炸 对密闭容器或受压容器焊接时，如不采取适当措施（如卸压）也会产生爆炸。

了解了以上爆炸发生的条件，在焊接操作中我们就更应按教材中介绍的措施操作，预防火灾和爆炸的发生。

补充资料

焊接过程中的有害因素

焊接过程中产生的有害因素有有害气体、焊接烟尘、弧光辐射、高频电磁场、噪声和射线等。各种焊接方法焊接过程中产生的有害因素见表1—2。

表 1—2

焊接过程中的有害因素

焊接方法	有害因素						
	弧光辐射	高频电磁场	焊接烟尘	有害气体	金属飞溅	射线	噪声
酸性焊条电弧焊	轻微		中等	轻微	轻微		
碱性焊条电弧焊	轻微		强烈	轻微	中等		
高效铁粉焊条电弧焊	轻微		最强烈	轻微	轻微		
碳弧气刨	轻微		强烈	轻微			轻微
电渣焊			轻微				
埋弧焊			中等	轻微			
实心细丝 CO ₂ 焊	轻微		轻微	轻微	轻微		
实心粗丝 CO ₂ 焊	中等		中等	轻微	中等		
钨极氩弧焊(铝、铁、铜、镍)	中等	中等	轻微	中等	轻微	轻微	
钨极氩弧焊(不锈钢)	中等	中等	轻微	轻微	轻微	轻微	
熔化极氩弧焊(不锈钢)	中等		轻微	中等	轻微		

(1) 焊接烟尘

焊接金属烟尘的成分很复杂,焊接黑色金属材料时,烟尘的主要成分是铁、硅、锰。焊接其他金属材料时,烟尘中还有铝、氧化锌、钼等。其中主要有毒物是锰。使用碱性低氢型焊条时,烟尘中含有极毒的可溶性氟。焊工长期呼吸这些烟尘会引起头痛、恶心,甚至导致尘肺及锰中毒等。

(2) 有害气体

在各种熔焊过程中,焊接区都会产生或多或少的有害气体。特别是电弧焊中在焊接电弧的高温和强烈的紫外线作用下,产生有害气体的程度尤甚。所产生的有害气体主要有臭氧、氮氧化物、一氧化碳和氟化氢等。这些有害气体被吸入体内,会引起中毒,影响焊工健康。

排出烟尘和有害气体的有效措施是加强通风和加强个人防护,如戴防尘口罩、防毒面罩等。

(3) 弧光辐射

弧光辐射包括可见光、红外线和紫外线。过强的可见光耀眼眩目；红外线会引起眼部强烈的灼伤和灼痛，发生闪光幻觉；紫外线对眼睛和皮肤有较大的刺激性，可引起电光性眼炎。各种明弧焊、保护不好的埋弧焊等都会形成弧光辐射。弧光辐射的强度与焊接方法、工艺参数及保护方法等有关， CO_2 焊弧光辐射的强度是焊条电弧焊的 2~3 倍，氩弧焊是焊条电弧焊的 5~10 倍，而等离子弧焊割比氩弧焊更强烈。为了防护弧光辐射，必须根据焊接电流来选择面罩中的电焊防护玻璃，玻璃镜片遮光号的选用见表 1—3。

表 1—3 玻璃镜片遮光号的选用

焊接电流 (A) 焊接、切割方法	镜片遮光号			
	≤30	30~75	75~200	200~400
电弧焊	5~6	7~8	8~10	11~12
碳弧气刨			10~11	12~14
焊接辅助工	3~4			

(4) 高频电磁场

当交流电的频率达到每秒振荡 10~30 000 万次时，它周围形成的高频率的电场和磁场称为高频电磁场。等离子弧焊割、钨极氩弧焊采用高频振荡器引弧时，会形成高频电磁场。焊工长期接触高频电磁场，会引起神经功能紊乱和神经衰弱。防止高频电磁场的常用方法是将焊枪电缆和地线用金属编织线屏蔽。

(5) 射线

射线主要是指等离子弧焊割、钨极氩弧焊的钍产生放射线和电子束焊产生的 X 射线。焊接过程中放射线影响不严重，钍钨极一般被铈钨极取代，电子束焊的 X 射线防护主要以屏蔽以减少泄漏。

(6) 噪声

在焊接过程中，噪声危害突出的焊接方法是等离子弧切割、等离子喷涂以及碳弧气刨，其噪声达 120~130 dB 以上，强烈的噪声可以引起听觉障碍、耳聋等症状。防噪声常用的方法是带耳塞和耳罩。

4. 焊接劳动保护

焊接劳动保护是本章的教学重点之一，它是为保障焊工在焊接生产过程中的安全和健康所采取的措施。焊接劳动保护应贯穿于整个焊接过程中。加强焊接劳动保护的措施主要应从两方面来控制：一是选用安全卫生性能好的焊接技术及提高焊接机械化、自动化程度；二是加强焊工的个人防护。推荐选用安全卫生性能好的焊接技术措施，见表 1—4。

表 1—4 安全卫生性能好的焊接技术措施

目 的	措 施
全面改善安全卫生条件	(1) 提高焊接机械化、自动化水平 (2) 对重复性生产的产品，设计程控焊接生产线 (3) 采用各种焊接机械手和机器人
取代手工焊，以消除焊工触电的危险和电焊烟尘危害	(1) 优先选用安全卫生性能好的埋弧焊等自动焊方法 (2) 对适宜的焊接结构采用高效焊接方法 (3) 选用电渣焊
避免焊工进入狭窄空间焊接，以减少焊工触电和电焊烟尘对焊工的危害	(1) 对薄板和中厚板的封闭和半封闭结构，应优先采取利用各类衬垫的埋弧焊单面焊双面成形工艺 (2) 创造条件，采用平焊工艺 (3) 管道接头，采用单面焊双面成形工艺
避免焊条电弧焊触电	每台焊机应安装防电击装置
降低氩弧焊的臭氧发生量	在氩气中加入 0.3% 的一氧化碳，可使臭氧发生量降低 90%

续表

目 的	措 施
降低等离子切割的烟尘和有害气体	(1) 采用水槽式等离子切割工作台 (2) 采用水弧等离子切割工艺
降低电焊烟尘	(1) 采用发尘量较低的焊条 (2) 采用发尘量较低的焊丝