



高等学校统编教材

船舶焊接

(修订本)

孙维善 主编

国防工业出版社

船舶焊接

(修订本)

孙维善 主编



国防工业出版社

(京)新登字106号

内 容 简 介

本书是1985年版本的修订本。全书共分九章，以造船生产中常用的电弧焊方法为主，介绍了电弧焊的基本理论、工艺方法、焊接材料及设备、焊接接头质量的检验、焊接应力与变形等，也介绍了金属材料的切割和焊接以及焊接结构断裂的防止等。

本书可作为高等院校船舶工程专业和海洋工程专业教材，也可供从事船舶焊接工作的技术人员参考。

船 舶 焊 接

(修订本)

孙维善 主编

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092毫米 16开本 印张12³/₄ 293千字

1992年8月第一版 1992年8月第一次印刷 印数：0001—1200册

ISBN 7-118-00991-1/U·84 定价：3.35元

出版说明

根据国务院国发〔1978〕23号文件批转试行的《关于高等学校教材编审出版若干问题的暂行规定》，中国船舶工业总公司承担了全国高等学校船舶类专业教材的编审、出版的组织工作。自1978年以来，完成了两轮教材的编审、出版任务，共出版船舶类专业教材116种，对解决教学急需，稳定教学秩序，提高教学质量起到了积极作用。

为了进一步做好这一工作，中国船舶工业总公司成立了“船舶工程”、“船舶动力”两个教材委员会和“船电自动化”、“惯性导航及仪器”、“水声电子工程”、“液压”四个教材小组。船舶类教材委员会（小组）是有关船舶类专业教材建设的研究、指导、规划和评审方面的业务指导机构，其任务是为作好高校船舶类教材的编审工作，并为提高教材质量而努力。

中国船舶工业总公司在总结前两轮教材编审出版工作的基础上，于1986年制订了《1986年——1990年全国高等学校船舶类专业教材选题规划》。列入规划的教材、教学参考书等共166种。本规划在教材的种类和数量上有了很大增长，以适应多层次多规格办学形式的需要。在教材内容方面力求做到两个相适应：一是与教学改革相适应；二是与现代科学技术发展相适应。为此，教材编审除贯彻“打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学”的原则以外，还注意了加强实践性教学环节，拓宽知识面，注重能力的培养，以适应社会主义现代化建设的需要。

这批教材由各有关院校推荐，同行专家评阅，教材委员会（小组）评议，完稿后又经主审人审阅，教材委员会（小组）复审。本规划所属教材分别由国防工业出版社、人民交通出版社以及各有关高等学校的出版社出版。

限于水平和经验，这批教材的编审出版工作还会有许多缺点和不足，希望使用教材的单位和广大师生积极提出宝贵意见，以便改进工作。

中国船舶工业总公司教材编审室

1988年3月

前 言

本书是在 1985 年版本的基础上, 根据中国船舶工业总公司船舶工程教材委员会意见, 并参照兄弟院校意见和建议进行修订的。

本次修订保持了原版本的章节体系与结构层次, 修订内容大体有以下几个方面: 补充了一些高效率焊接方法及焊接检验新技术; 将焊接结构脆性断裂扩展为焊接结构断裂的防止, 这样除脆性断裂外, 还包括了疲劳断裂与应力腐蚀断裂; 对焊接专用名词、术语及其定义, 按有关文献作了修改; 对原来阐述不够确切、不精练之处作了必要的文字修正; 各章之末给出复习题, 以便于读者学习; 为保持本书篇幅不变, 因此相应删去一些较为次要的内容。

本书在编写中力求深入浅出、理论联系实际。对于工艺性较强的部分尽量从理论上进行分析, 对于理论性较强的部分尽量结合生产实际加以阐述, 其目的在于培养学生分析和解决问题的能力。

参加本书修订工作的, 除原作者孙维普同志外, 还有贾安东同志、奚道岩同志。本书由上海交通大学李传曦教授审阅, 他提出许多宝贵意见, 在此谨致深切谢意。

由于编者水平所限, 书中错误和疏漏之处在所难免, 诚恳希望同行专家、广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
第一章 电弧焊的基本理论	5
§ 1-1 焊接电弧	5
§ 1-2 焊缝的形成过程	11
§ 1-3 焊接接头的金相组织及其力学性能	16
复习题	21
第二章 手工电弧焊	22
§ 2-1 焊接接头和焊缝的形式	22
§ 2-2 手弧焊焊接技术	24
§ 2-3 电焊条	31
§ 2-4 手工弧焊机	42
复习题	48
第三章 埋弧自动焊	50
§ 3-1 埋弧焊的实质及其优越性	50
§ 3-2 船厂常用的埋弧自动焊接设备	51
§ 3-3 埋弧焊用的焊接材料	53
§ 3-4 埋弧自动焊工艺	55
复习题	64
第四章 气体保护焊及其他焊接方法	65
§ 4-1 CO ₂ 气体保护焊	65
§ 4-2 氩弧焊	73
§ 4-3 电渣焊	79
§ 4-4 水下焊接	87
复习题	92
第五章 金属的切割	93
§ 5-1 氧气切割	93
§ 5-2 等离子弧切割	100
§ 5-3 碳弧气刨	105
§ 5-4 水下切割	107
复习题	108
第六章 金属材料的焊接	109
§ 6-1 金属的焊接性	109
§ 6-2 合金结构钢的焊接	114
§ 6-3 铝及铝合金的焊接	129
复习题	131
第七章 焊接接头的质量及检验	133
§ 7-1 焊接接头质量及其检验的意义	133
§ 7-2 焊接接头的常见缺陷	133

VI

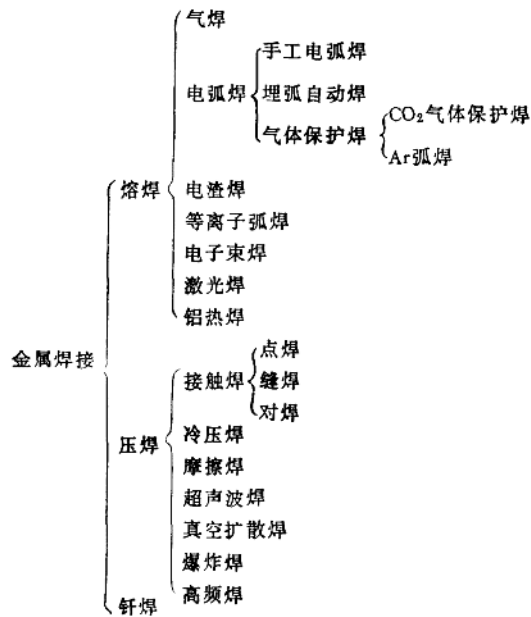
§ 7-3 船舶焊接质量检验常用的方法	135
复习题	140
第八章 焊接应力与变形	141
§ 8-1 焊接热过程	141
§ 8-2 焊接应力与变形产生的原因	143
§ 8-3 焊接应力	151
§ 8-4 焊接变形	157
复习题	174
第九章 焊接结构断裂的防止	175
§ 9-1 概述	175
§ 9-2 金属材料的断裂及其影响因素	177
§ 9-3 金属材料脆性断裂的抗裂性能试验方法	182
§ 9-4 预防船体结构脆性断裂的措施	190
复习题	197
参考文献	197

绪 论

在各种金属结构中，构件常用的连接方法有铆接与焊接两种，前者是可拆卸的连接，后者是不可拆卸的连接。

一、焊接方法的分类

随着生产和科学技术的不断发展，目前金属焊接方法的种类很多，如果按照焊接过程的特点区分，可以归纳为三大类，如下表所示。



(一) 熔焊

这一类焊接方法的共同特点是，利用局部热源将焊件的接合处及填充金属材料（有时不用填充金属材料）熔化，不加压力而互相熔合，冷却凝固后而形成牢固的接头。电弧焊、电渣焊等都属于这一类。

(二) 压焊

这一类焊接方法的共同特点是，焊件不论加热与否均施加一定压力，使两结合面紧密接触产生结合作用，从而使两焊件连接在一起。接触焊与摩擦焊等都属于这一类。

(三) 钎焊

钎焊与熔焊相似，却又有本质的区别。它是采用比母材熔点低的金属材料作钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料熔点却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。

二、焊接的优越性及其在造船工业中的地位

由于焊接技术先进、经济效益高，所以发展很迅速，并且很快在造船工业中得到广泛应用。在本世纪以前所建造的船舶多用铆接，从 30 年代起逐步采用了焊接，现在焊接已成为造船中连接金属构件最主要的方法。焊接对造船事业的发展极为重要，堪与木壳船向钢壳船的过渡相比拟。船舶建造工艺从铆接变为焊接，可以说是造船工业的第二次技术革命。

在造船工业中，焊接之所以能迅速取代铆接，并成为主要的连接船体构件的方法，根本原因在于它具有比铆接高得多的技术经济指标。

（一）焊接船体结构优越

1. 结构形式合理

焊接结构在接头处的整个截面是连续的，不像铆接结构那样因有铆钉孔而破坏了连续性；同时可使结构形式做得甚为合理。此外，熔敷金属重量约占构件重量的 1~1.5%，但在铆接结构中，铆钉重量占构件重量的 3.5~4%，再加上接头处的重叠板条，因而一般铆接船比焊接船多消耗材料约 10~20%。从图 0-1 中所示的几个基本接头可以看出焊接要比铆接省金属，而且接头既简单又美观。在同等排水量的情况下，焊接结构船舶比铆接结构船舶可增加载重量。

2. 结构强度高

焊缝的力学性能可与母材相等或稍高。

3. 焊接接头的不透水性好

由于焊缝致密，使结构形成整体，所以油密性和水密性高。即使结构因碰撞或过载而发生残余变形时，焊接接头仍能保持不致渗漏，所以焊接船体设置的隔离舱比铆接的少。

（二）投资省、劳动条件好、生产率高

焊接船体构件的加工量较铆接的少，加工机床也较少，因而投资省。由于焊接船体可采用分段式建造，使 60~70% 的船体装配焊接工作量可以移到车间内进行，因而改善了劳动条件，扩大了施工作业面，同时分段在装配焊接胎架上施工，有利于实现流水线生产方式、预舾装等等。所有这些都有利于提高劳动生产率和生产过程的自动化，从而大大缩短船舶建造周期。

事物都是一分为二的，从焊接船的使用经验和焊接船的破损事故中，人们总结了焊接船体结构的一些特点。其中突出的是焊接结构的刚性较大，整体性较强。正因为这个

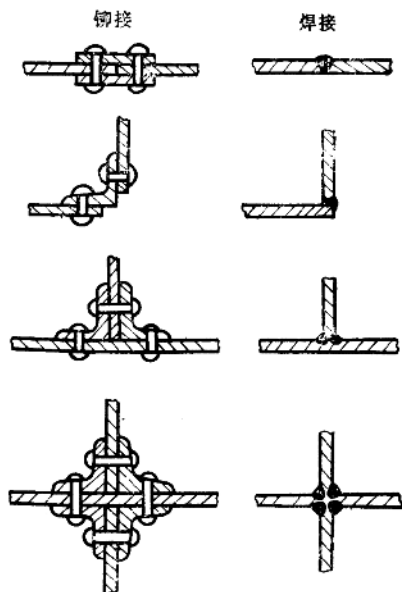


图0-1 铆接与焊接的比较

特点,所以遇有结构应力集中的区域,往往容易发生裂纹,而且当一个构件产生裂纹后,就会迅速蔓延和扩展。

因此在设计船舶时,就要根据焊接船体结构的特点,合理地设计其结构,以保证构件的力线婉顺,消除有可能产生应力集中的节点;在建造中就要运用正确的焊接工艺参数、合理的焊接顺序,减少焊接缺陷、焊接应力与变形。扬长避短,这样才能真正发挥焊接这一先进技术的作用,造出优质船舶。

建国以后,焊接技术与其他事业一样很快地发展起来,研究成功许多新工艺、新设备和新材料。焊接技术由只能用于修理工作,而发展到在国民经济和国防建设各部门中的广泛应用。造船事业的不断前进与焊接技术的发展密切相关。1954年我国自己设计制造了铆焊结构的客货轮,使手工电弧焊接在造船中获得了迅速发展,随之在埋弧自动焊的应用方面也取得了丰富的经验。70年代初,我国一些船厂向焊接自动化、高效率化方向迈开了大步,试验成功许多先进焊接技术,如铜衬垫压力架式单面焊双面成形自动焊、双丝铜滑块单面焊双面成形自动焊、垂直自动焊、重力焊等等。这些焊接新工艺,与加工、装配等新工艺一起促进了造船工业的自动化、流水线生产,加速了船舶建造速度。70年代我国成批地建造了万吨级远洋货轮、50000 t级油轮。80年代世界造船行业普遍萧条,而我国造船事业却呈现空前繁荣景象。为适应多造船、快造船的需要,中国船舶工业总公司大力组织推广高效率焊接方法和节能焊接设备工作,并预期在“七五”计划末期使高效率焊接方法(除普通手工电弧焊之外的焊接方法)的应用率在整个造船行业达到50%。这一具有战略意义的工作促进了我国造船事业的发展,不仅年造船吨位有较大幅度提高,而且为国外建造了大批新型、大型、特种用途船舶以及多种类型海洋平台,从而揭开了我国造船史新的一页。这充分显示了改革开放方针的正确。

三、本课程的内容

焊接技术几乎在所有工业部门中都要采用,涉及的面甚广,内容也极为丰富,但本课程不可能包罗焊接技术的全部内容,而只是介绍一些与造船有关的焊接方法、焊接工艺以及焊接应力与变形等。具体有下面一些内容。

1. 电弧焊的基本理论

它包括焊接电弧、焊缝的形成过程和焊接接头的金相组织及性能。

2. 常用的焊接方法

包括手工电弧焊、埋弧自动焊、气体保护焊和其他焊接方法,介绍它们的焊接工艺、焊接材料和焊接设备。在第二章中还介绍了焊接冶金中的一些基本理论知识。

由于金属的切割也是船舶建造过程中重要加工手段,而且与焊接热源相同,所以本书中也介绍了一些金属的氧气切割、等离子弧切割和碳弧气刨的基本知识。

3. 焊接应力与变形

这部分讲述焊接应力与变形产生的原因、影响焊接变形的因素、焊接应力对焊接结构的影响、减少焊接应力与变形的措施。

4. 金属材料的焊接

这部分内容是在讲述金属材料焊接性概念及其试验方法之后,重点讲述了低合金结构钢、铝及其合金的焊接,其中还重点讲述了金属材料焊接中常出现的裂纹问题。

5. 焊接接头的质量检验

这部分综述了焊接接头中经常出现的缺陷，并对船厂中常用的两种无损检验方法作了重点介绍。

6. 焊接结构断裂的防止

这部分讲述金属材料断裂的类型及影响因素、金属材料脆性断裂的抗裂性能试验方法和预防船体结构脆性断裂的措施。

第一章 电弧焊的基本理论

目前造船工业中采用的主要焊接方法有手弧焊、埋弧焊和气体保护焊。这些焊接方法有各自的工艺特点和适用范围，这将在以后的各章中分别予以介绍。由于它们统属于电弧焊，所以有许多共同之点，本章内容就是介绍电弧焊的几个基本理论问题，包括焊接电弧、焊丝熔化过渡、焊缝的形成过程、焊接接头的金相组织及其力学性能等。

§ 1-1 焊 接 电 弧

一、焊接电弧的产生过程

图 1-1 为手弧焊接示意图。焊接时，将焊条与焊件各接到电弧焊机的一个极上，当焊条接触焊件而又随即拉开的瞬间，在焊条端部和焊件之间就会产生明亮的电弧。

电弧是一种气体放电现象。在一般情况下，气体呈现中性，是不导电的。要使气体导电，则必须使气体的中性质点（分子或原子）离解成为带电荷的电子和正离子。

在一定情况下，气体分子或原子中的电子从外界获得足够的能量，能脱离原子核的束缚而成为自由电子，失去电子的原子成为正离子。这种使中性气体分子或原子变成电子和离子的过程叫做电离，经电离的气体才有导电作用。使气体电离所

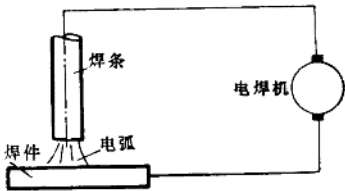


图1-1 焊接回路简图

表1-1 常见元素及气体的电离能

元 素		电 离 能 (eV)	元 素		电 离 能 (eV)
名 称	符 号		名 称	符 号	
钾	K	4.33	硫	S	10.30
钠	Na	5.11	碳	C	11.22
钡	Ba	5.19	氯	Cl	13.00
锂	Li	5.40	氢	H	13.50
铝	Al	5.96		H ₂	15.40
钙	Ca	6.10	氧	O	13.50
铬	Cr	6.74		O ₂	12.20
钒	V	6.76	一氧化碳	CO	14.10
钛	Ti	6.80	二氧化碳	CO ₂	13.70
锰	Mn	7.40	氮	N	14.50
镁	Mg	7.61		N ₂	15.50
铜	Cu	7.70	氩	Ar	15.70
铁	Fe	7.83	氟	F	17.40
硅	Si	7.94	氖	Ne	21.50
钨	W	8.00	氦	He	24.50
			水	H ₂ O	12.60
				OH	13.80

需的能量叫做电离能。不同气体或元素，由于原子构造不同，其电离能也不同。常见元素及气体的电离能如表 1-1 所示。电离能越低的物质，越容易电离。

焊接电弧的产生，从现象上来看，虽然是在焊条与焊件接触又拉开的一瞬间形成的，但实际上可以分为“短路-空载-燃弧”三个极短的阶段。下面分别研究这三个阶段。

(一) 短路

焊条与焊件接触形同短路。由于焊条表面与焊件表面都不可能是绝对平整，而只是有几个突出的地方相接触，电流就从这些接触点流过（见图 1-2 (a)）。由于接触点的面积很小，所以流过这些点的电流密度极大，在接触点上产生大量电阻热。电阻热使接触点的温度骤然升高，部分金属熔化和蒸发，并使焊条药皮中某些易分解的或低沸点的物质（K、Na 等元素）变成蒸气，也就是在两极间充满金属元素蒸气，为即将发生的电离创造了物质条件。同时由于电阻热的作用，也使阴极表面的电子获得了能量，运动速度加快，并从阴极表面逸出。电子因受热而逸出电极表面的这一运动，称为热发射。电极获得的热量越多，温度越高，则热发射出来的电子数量越多。

表1-2 几种金属及其表面氧化物的逸出功

金属名称		钾	钙	钨	铝	铜	铁	钨
纯金属	逸出功	2.02	2.12	3.78	4.25	4.36	4.48	4.54
表面带有氧化物	(eV)	0.46	1.8	3.18	3.90	3.85	2.92	—

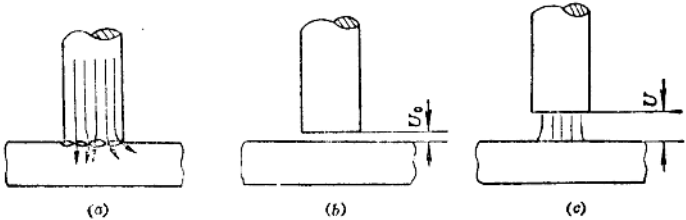


图1-2 焊接电弧的引弧过程
(a) 短路；(b) 空载；(c) 燃弧。

电子只有得到足够的能量才能逃出阴极表面，这个能量叫做逸出功，单位是电子伏特 (eV)。各种物质的构造不同，它们的逸出功也各不相同，如表 1-2 所示。逸出功越低的物质，热发射能力越强。当金属表面带有杂质（氧化物、硫化物及其他金属夹杂）时，元素的逸出功大大降低，热发射的能力显著增加。例如当 W 中含有 0.5% 氧化钍 (ThO₂) 时，它在高温时的热发射能力将比纯 W 增加几十倍。

总之，在短路过程中，在比正常焊接电流大得多的短路电流作用下，产生大量电阻热，从而使阴极表面的电子迅速进行热发射，与此同时还生成大量金属元素的蒸气，这就是短路阶段的主要作用。

(二) 空载

焊条与焊件短路并随之将焊条拉开的瞬间，而且电弧尚未形成时，电源处于空载状

态 (见图 1-2(b))。

空载时的电压较高 (如手弧焊机的空载电压 $U_0 = 50 \sim 70 \text{ V}$)，这个电压完全加在焊条端面与焊件之间的很短距离 ($10^{-6} \sim 10^{-5} \text{ cm}$) 内，在焊件与焊条之间形成很大的电场强度。在这个强大电场作用下，电子脱离原子核的束缚而从阴极表面曳出，这叫电场发射。

空载时由于强电场的作用而引起的发射是相当强烈的，但由于热发射和电场发射都只是刚刚开始，还不能使两极间的气体充分电离，因此电弧尚未产生，但已为燃弧创造了条件。

(三) 燃弧

由阴极发射出来的电子，在电场作用下产生加速运动，以很高的速度射向阳极，电子在通过两极空间时，又与极间的气体中性质点碰撞，而将其中的电子撞出轨道，形成所谓撞击电离。此时自由电子数和离子数逐渐多起来。极间气体的电离程度与阴极电子发射及电场强度有关。阴极电子发射越强烈，则碰撞电离的作用越剧烈。当电弧长度不变，两极间的电压越高，电场力的作用就越大，则碰撞电离的作用也越强烈。

在电弧高温 (弧柱中心温度达 $5000 \sim 8000 \text{ K}$) 作用下，原子核外电子获得热能以很高速度运动，并从距离原子核较近的轨道跃迁到较远的轨道，当电子获得的能量使其产生的离心力大于原子核对它的引力时，便脱离轨道形成为自由电子，原子因失去电子而成为正离子，这就是气体的热电离。温度越高，热电离的作用就越大。

此种连锁反应的电离过程使极间的中性质点变成带电的电子和正离子。电子与正离子分别跑向两极进行中和，于是产生电弧 (见图 1-2(c))。

上述三个阶段是在极短的时间内连续进行的，通常称为引弧。

在电弧燃烧过程中仍继续进行着热发射和电场发射，同时还进行着光发射和碰撞发射。

在电弧中除电子和正离子之外，还可能产生负离子。这是在一定条件下，有些中性原子或分子吸附一个电子而形成的。各种元素吸附电子形成负离子的倾向决定于它们的电子亲和能。元素的电子亲和能越大，形成负离子的倾向越大。而元素的电子亲和能的大小决定于原子构造。卤族元素 (F、Cl、Br、I) 的电子亲和能最大， O_2 、 H_2 、 N_2 、Li、Na 等电子亲和能较小，而惰性气体 (Ar、He) 不能形成负离子。

电子是电弧导电过程中的主要角色。负离子虽然带有与电子相同的电荷，但因为它的质量比电子大得多，所以不能有效地传送电荷。负离子的生成使自由电子数量减少，从而削弱了电弧的导电性，使电弧燃烧的稳定性降低。

二、焊接电弧的构造及其静特性

(一) 焊接电弧的构造及温度

焊接电弧由三部分组成，即阴极区、阳极区和弧柱，如图 1-3 所示。

1. 阴极区

阴极区是在靠近阴极端部的地方。在这个区域中电压降较大，约为电弧气体介质的电离电压。该区沿弧长方向甚短，大约为 10^{-5} cm ，所以该区的电场强度很大，可以达到 10^6 V/cm ，这是电场发射的原因。

在阴极端面上,有一个很小的亮斑,称为阴极斑点。阴极斑点是电子集中发射的地方,电流密度很大。阴极区的电流由电子流与正离子流两部分组成,电子流流向阳极,正离子流流向阴极。阴极斑点的温度约为 $2700 \sim 5000 \text{ K}$ 。温度的高低与阴极材料有关。电极材料的熔点越高,阴极斑点的温度也越高,它一般和电极材料的沸点相当。

2. 阳极区

阳极区是在靠近阳极的地方,阳极区稍长,约为 $10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ cm}$ 。在阳极端部表面也有一个光亮的斑点,称为阳极斑点。通过弧柱的电子经阳极区的电场作用而加速运动,集中射到阳极斑点上。阳极斑点的电流密度很大,温度较阴极斑点高些。阳极区的电流基本上由电子流组成。

阳极区的电压降比阴极电压降小,且不受电极材料和电弧气体介质的影响。一般阳极电压降约为 2.5 V 左右。由于阳极区的电压降较小,而其长度又比阴极区大,所以它的电场强度比阴极区小得多。

3. 弧柱

弧柱是在阳极区和阴极区中间的一段。它的长度比阴极区和阳极区大得多,占弧长的绝大部分,可以认为弧柱长度基本等于电弧的长度。

弧柱区充满气体分子和原子,以及由它们电离出来的电子、正离子和负离子。在弧柱区发生着激烈的反应,既有中性质点的碰撞电离和热电离,又有带正、负电荷质点的复合。由于其中进行着能量的充分交换,所以弧柱的温度最高,可达 $5000 \sim 8000 \text{ K}$ 。

在弧柱的长度方向上,带电质点的分布是均匀的,所以弧柱压降与弧长成比例。在弧柱的径向上,带电质点的密度分布极不均匀,中心密度大而周围密度小,温度分布也以弧柱中心处高而周围低。

由上述可知,电弧电压由三部分组成,即阴极压降、弧柱压降和阳极压降。可表示为

$$U_a = U_y + U_{ya} + U_s = a + bl_a$$

式中 U_a ——电弧电压 (V);

U_y ——阴极电压降 (V);

U_{ya} ——阳极电压降 (V);

U_s ——弧柱电压降 (V);

$a = U_y + U_{ya}$;

b ——单位长度的弧柱压降,一般为 $20 \sim 40 \text{ V/cm}$;

l_a ——电弧长度 (cm)。

(二) 焊接电弧的静特性

焊接电弧是焊接回路中的负载,它起着把电能转变为热能的作用。在这一点上它与普通电阻有相似之处,但又有很大差异。普通电阻两端电压降与负载电流的关系服从欧

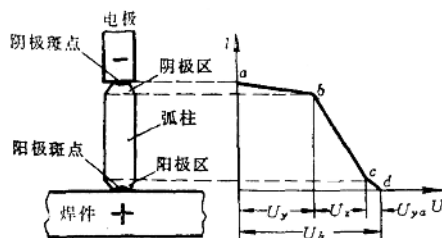


图1-3 电弧的构造和电压降的分布图
 U_y —阴极电压降; U_s —弧柱电压降; U_{ya} —阳极电压降;
 U_a —电弧电压。

姆定律, 即 $U=IR$ 。在常温下或温升不高时, 电阻为常数, 电流与电压呈直线关系(见图 1-4 中的线 1)。电弧两端的电压降与通过电弧的电流不成正比, 而是随电流值的不同而变化。在电弧长度一定时, 电弧两端的电压与焊接电流之间的关系称为电弧静特性。电弧静特性呈 U 形, 如图 1-4 中曲线 2 所示。

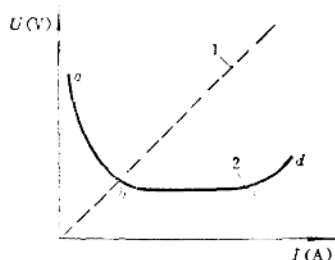


图1-4 普通电阻静特性与电弧静特性曲线
1—普通电阻静特性；2—电弧静特性。

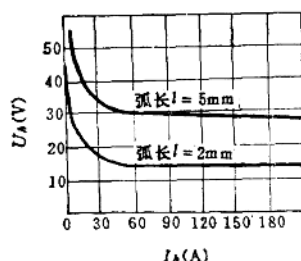


图1-5 不同弧长的电弧静特性曲线

手弧焊时, 电弧静特性通常在水平段; 而细丝 CO_2 保护焊时, 电弧静特性才出现上升段。

在一般情况下, 电弧电压 U_A 与弧长 l 成正比地变化, 如图 1-5 所示, 即电弧越长电压越高。

(三) 焊接电弧的稳定性

焊接电弧的稳定性是指电弧电压和焊接电流能否保持相对稳定, 同时也要保持一定的弧长、不偏吹、不摇摆、不熄灭。电弧稳定与否, 对焊接质量影响很大, 从而也影响到产品质量。影响电弧稳定性的因素有以下几方面。

1. 弧焊电源

弧焊电源种类和极性都影响电弧的稳定性。直流电焊电弧要比交流电的电弧稳定, 空载电压较高的弧焊电源其电弧较空载电压低的稳定; 有良好动特性的弧焊电源容易保证电弧稳定。

采用直流电焊接时, 由于弧焊电源有正、负两极, 因而有两种不同的接法: 将焊件接到弧焊电源的正极, 焊条接至负极, 这种方法叫正接, 又称正极性(见图 1-6(a)), 反之, 将焊件接至负极, 焊条接至正极, 称为反接, 或称反极性(见图 1-6(b))。通常应根据焊条性质和焊件厚度来选定不同的接法。如用碱性焊条时, 必须采用直流反接才能使电弧燃烧稳定。

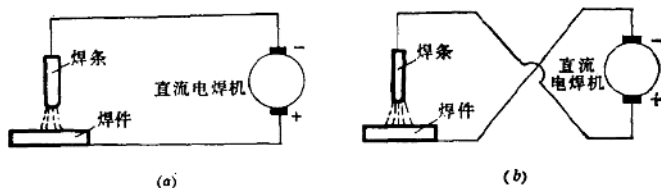


图1-6 用直流电焊机时极性的不同接法
(a) 正接; (b) 反接。

2. 焊条药皮

当焊条药皮中含有较多低电离电位元素（如K、Na等）或它们的化合物时，容易保证电弧燃烧稳定。而药皮中含有较多氟化物时，由于在气体电离过程中，氟容易获得电子而形成负离子，使自由电子大量减少，而且负离子还能与正离子结合成中性质点，使电弧导电性变差，因而降低了电弧的稳定性。

焊条偏心（即焊条药皮厚薄不均匀），容易引起电弧偏吹；药皮局部剥落的焊条，电弧偏吹较之偏心焊条更为严重。

3. 气流

在露天（如室外船台）进行弧焊时，风对电弧的稳定性影响很大，严重时甚至无法施焊。

4. 焊接处不清洁

焊接处若有铁锈、水分及油污等物质，它们在焊接时要吸热分解，因此消耗了电弧的热能，影响电弧稳定燃烧。

5. 电弧的磁偏吹

正常状态下，电弧的轴线与焊条轴线是一致的（见图1-7的（a）、（b）），但有时发现电弧偏离焊条中心线而形成偏吹（见图1-7（c）、（d））。电弧偏离熔池以后，熔池金属容易受有害气体的侵入，结果使焊缝产生气孔、未焊透、焊偏等缺陷。

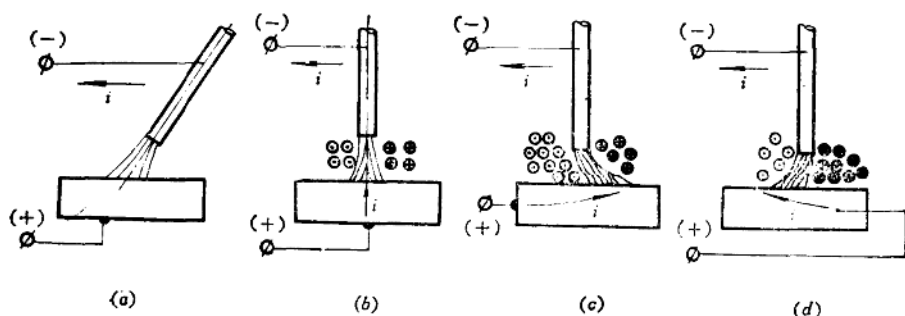


图1-7 正常的焊接电弧和电弧的磁偏吹

我们知道，在有电流流过的导体周围要产生磁场，而磁场又反过来对载流导体产生作用力。当按照图1-7（c）、（d）那样接线用直流电焊接时，在焊条（或电弧）两侧的磁力线分布很不均匀，因此作用力不平衡，电弧偏向磁通密度较小的一侧，此即磁偏吹。电弧的磁偏吹程度随焊接电流增加而急剧增加。

还有一种情况也会导致磁偏吹，就是在电弧附近有铁磁性物质存在，部分磁力线通过铁磁物质，使近铁磁物质一侧的空间磁力线减少，也会出现不平衡的磁力线，使电弧偏向铁磁物质一侧（见图1-8）。

在焊接过程中，为了防止和减少电弧的磁偏吹现象，可适当改变接地线的位置，例如把图1-7（c）的接线改成（b）的方式，尽可能使弧柱周围的磁力线分布均匀，或