



电焊工

操作技术指南

• 韩林生 主编



中国计划出版社



安装工人操作技术丛书

- 起重工操作技术指南
- 安装钳工操作技术指南
- 管道工操作技术指南
- 通风工操作技术指南
- 铆工操作技术指南
- 电气安装工操作技术指南
- 电焊工操作技术指南
- 气焊工操作技术指南



责任编辑：傅 温

装帧设计：北京大路策划咨询有限公司

ISBN 7-80058-663-4



9 787800 586637 >

ISBN 7-80058-663-4 / TU · 81

定价：22.00元

安装工人操作技术丛书

电焊工操作技术指南

韩林生 主编

中国计划出版社

1999 北 京



图书在版编目 (CIP) 数据

电焊工操作技术指南/韩林生主编. —北京: 中国计划出版社, 1999. 6

(安装工人操作技术丛书)

ISBN 7-80058-663-4

I. 电… II. 韩… III. 电焊-焊接工艺-指南 IV. TG443

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 20376 号

**安装工人操作技术丛书
电焊工操作技术指南**

韩林生 主编

☆

· 中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区月坛北小街 2 号 3 号楼)

(邮政编码: 100837 电话: 68030048)

新华书店北京发行所发行

世界知识印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/32 13 印张 290 千字

1999 年 6 月第一版 1999 年 6 月第一次印刷

印数 1—6000 册

☆

ISBN 7-80058-663-4/TU · 81

定价: 22.00 元

本书编写人员

主 编：韩林生

编写人员：韦 达 何柱国 郭久祺 伍建新
 漆洁明 赵居礼 钱 江 李金溥
 谭浩仁 张树仁 秦可法 席善助
 王建生 李为卫

内 容 提 要

本书介绍焊接电弧、焊接冶金和接头性能等电焊基础知识，并论述了焊接接头与焊缝、焊接方法和工艺、焊接设备、焊接应力和变形、焊接缺陷及检验、常用焊接材料、碳钢、合金钢、有色金属的焊接操作技术等。本书可作为电焊工自学读物及技术培训教材，其他工种也可参考。

目 录

第一章 焊接电弧	(1)
第一节 焊接电弧的构造及静特性	(1)
第二节 焊接电弧的引燃过程	(11)
第三节 焊接电弧的稳定性	(13)
第四节 焊接电弧的偏吹	(14)
第五节 电弧焊的熔滴过渡	(16)
第二章 焊接冶金和接头性能	(21)
第一节 焊接接头及其特点	(21)
第二节 焊接热循环	(22)
第三节 焊接冶金基础	(24)
第四节 焊缝的组织 and 性能	(31)
第五节 焊接热影响区的组织和性能	(35)
第六节 影响焊接接头性能的因素及其控制	(40)
第三章 焊接接头与焊缝	(46)
第一节 焊接接头型式	(46)
第二节 焊接坡口	(51)
第三节 焊缝形式	(53)
第四节 焊缝符号和焊接方法代号	(57)
第四章 焊接方法和工艺	(71)
第一节 手工电弧焊	(71)
第二节 氩弧焊	(86)
第三节 二氧化碳气体保护焊	(102)
第四节 埋弧自动焊	(109)

第五节	碳弧气刨	(115)
第五章	焊接设备	(119)
第一节	弧焊电源	(119)
第二节	手工电弧焊设备	(131)
第三节	埋弧自动焊设备	(158)
第四节	手工钨极氩弧焊设备	(175)
第五节	二氧化碳气体保护焊设备	(183)
第六章	焊接应力和变形	(195)
第一节	焊接应力和变形产生的原因	(195)
第二节	焊接残余变形	(204)
第三节	焊接应力	(218)
第七章	焊接缺陷及检验	(223)
第一节	焊接接头常见缺陷的分析	(223)
第二节	焊接缺陷的危害	(242)
第三节	焊接质量检验	(244)
第四节	焊接缺陷的返修	(261)
第八章	常用焊接材料	(264)
第一节	手工电弧焊焊接材料	(264)
第二节	手工钨极氩弧焊焊接材料	(282)
第三节	二氧化碳气体保护焊焊接材料	(285)
第四节	埋弧自动焊焊接材料	(286)
第九章	常用金属材料的焊接	(290)
第一节	钢的焊接性	(290)
第二节	碳素钢的焊接	(293)
第三节	普通低合金结构钢的焊接	(299)
第四节	铬钼耐热钢的焊接	(307)
第五节	不锈钢的焊接	(311)

第六节	异种钢的焊接	(319)
第七节	铝及铝合金的焊接	(322)
第八节	铜及铜合金的焊接	(327)
第九节	钛及钛合金的焊接	(333)
第十节	铸铁焊补	(337)
第十章	手工电弧焊操作工艺技术	(345)
第一节	酸性和碱性焊条操作特点	(345)
第二节	单面焊双面成形操作技术	(346)
第三节	各种位置焊缝的操作技术	(349)
第四节	管道手工电弧焊操作技术	(360)
第十一章	工程焊接	(371)
第一节	焊接在工程产品中的应用	(371)
第二节	焊接结构施工工艺规程的编制	(372)
第三节	一般焊接结构的焊接工艺过程和顺序	(373)
第四节	焊缝位置的选择与对口要求	(377)
第五节	常见结构焊接	(379)
第十二章	焊接安全与卫生	(388)
第一节	概述	(388)
第二节	手工电弧焊的安全与卫生	(389)
第三节	埋弧焊的安全与卫生	(395)
第四节	钨极氩弧焊的安全与卫生	(396)
第五节	CO ₂ 气体保护焊的安全与卫生	(397)
第六节	登高焊接作业的安全措施	(398)
附录	安装工人技术等级标准 (JGJ43-88)	
	(节选)	(400)

第一章 焊 接 电 弧

电弧具有两个特性,即能放出大量的热和发出强烈的光。现今把电弧作为可移动的集中热源来熔化填充金属和母材,形成焊缝。电弧燃烧是否稳定直接影响焊接过程正常进行和焊接质量的好坏。因此,有必要弄清焊接电弧的实质和一些基本特性,掌握电弧放电的基本规律。本章就是从理论上对电弧的性质和作用进行分析,利用焊接电弧的知识来指导实际焊接操作,从而获得优质焊缝的目的。

第一节 焊接电弧的构造及静特性

一、焊接电弧的概念

焊接电弧是在一定条件下,两电极间产生强烈而持久的气体放电现象。电弧的电流很大,一般从几安培到几千安培,两电极间的电压较低,一般为 $20\sim 50\text{ V}$,电弧温度很高,绝对温度一般可达 $5\,000\sim 30\,000\text{ K}$ 。焊接电弧的主要作用是把电能转换成热能,同时产生机械能和光能。焊接时主要是利用其热能和机械能来达到连接金属的。

二、焊接电弧的产生机理

从电弧的外貌看,好像是一团光亮刺眼的弧焰,在两电极间燃烧。但它不是一般燃烧现象,实质上是两电极之间的气体空间的一种导电现象。由于电弧区各部分的物理性质不

同,电弧可分为三个区,如图 1-1。通常把靠近阴极表面的部分叫做阴极区,其电压降叫做阴极电压降。把靠近阳极表面的部分叫做阳极区,其电压降叫做阳极电压降,界于这两个区域之间的部分叫做弧柱区,其电压降叫做弧柱电压降。下面分别分析这三个区域的导电机理。

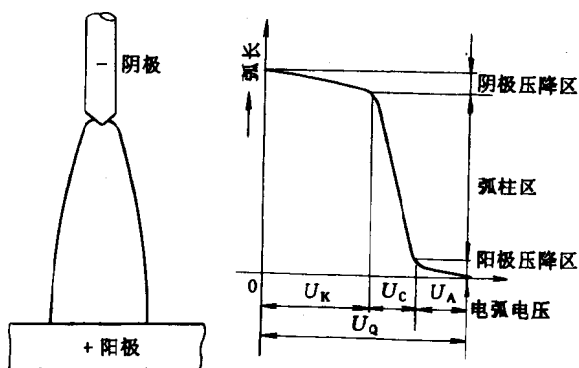


图 1-1 电弧各区域分布

U_Q —电弧电压; U_A —阳极电压降;

U_C —弧柱电压降; U_K —阴极电压降

1. 弧柱区的导电机理。通常情况下,气体不导电,电流通不过,电弧就不能自发地产生。那么为什么电极和工件间的气体会变成导电体呢?

不论固体、液体还是气体,能否呈现导电性能取决于在电场作用下是否拥有可自由移动的带电粒子。金属本身拥有大量的自由电子,所以只要加上电压,自由电子便产生定向运动形成电流。但金属中只有自由电子可以移动,而金属离子则不能自由移动。而气体导电后其所有导电粒子都可自由

移动，所以气体的导电过程和规律与金属不同。两电极间气体呈现导电性，并使电弧引燃和连续燃烧，这是电弧产生和维持的重要条件。使气体呈现导电性就是要把气体电离。气体电离后，原来气体中的一些中性粒子转变为电子和正离子，这时在电场作用下电流通过气体间隙而形成电弧。

我们知道，气体和自然界的一切物质一样，都是由原子组成的，原子本身又由带有正电荷的原子核和带有负电荷的电子组成的，而且电子是按照一定的轨道环绕原子核运动。核外电子由于受原子核的静电吸引力作用，所以它们不能随便脱离其运动轨道。在常态下，原子核所带的正电荷与核外电子所带的负电荷相等，这时原子是不带电的，对外不显电性的。要想使气体导电，必须设法使其原子中的电子摆脱原子核吸引的束缚而成为自由电子，中性的原子由于失去了带负电荷的电子而变成带正电荷的正离子，这时自由电子和正离子在电场作用下，分别向阳极和阴极作定向运动而导电。这种使中性的气体原子释放电子形成正离子的过程叫做气体放电。

如何使原子中的电子摆脱束缚而成为自由电子呢？要使电子从原子核中脱离出来，就需要克服原子核对它的吸引，因而需要供给一定的能量，在原子吸收外界能量后，电子就可以出现两种情况：一是当外界供给的能量不大时，电子只是从里层轨道跳到外层轨道，未能摆脱原子核的束缚，这一过程叫做“激励”。使中性粒子激励所需要的最低外加能量称为激励电位；另一种情况是当外界供给的能量足够大时，原子中的电子摆脱了原子核的束缚，成为自由电子。使原子分离成电子和离子，这一过程叫做“电离”。使原子电离所需要的能量称为电离电位（或电离功）。

电离电位的大小与气体物质的结构有关，不同气体电离时所需的电离功不同。电离功大表示这种气体难电离，也就是很难导电。电离功小，表示这种气体容易电离，导电也容易。表 1-1 列出各种元素所具有的电离电位和激励电位的大小。

表 1-1 某些元素的电离电位和激励电位

电位	元 素												
eV (电子伏特)	钾	钠	钡	钙	钛	锰	铁	氢	氧	氮	氫	氟	氖
电离	4.33	5.11	5.19	6.10	6.80	7.40	7.83	13.5	13.6	14.5	15.7	16.9	21.5
激励	1.60	2.10	1.56	1.90	3.30	3.10	4.79	10.2	7.90	6.30	11.6	14.5	16.6
													19.7

注：在原子物理学中，常用 eV（电子伏特）作为能量单位，1 eV（电子伏特）的能量就是一个电子在通过电势差等于 1 V 的一段路程上所需要或得到的能量（1 eV（电子伏特）= 1.6×10^{-19} J）。

从表中可以看出，碱金属的电离电位较低，气体的电离电位都比较高，惰性气体的电离电位更高。电弧中含有电离电位低的物质，则电弧容易引燃而且电弧稳定性好。因此，为了使手工电弧焊时电弧能容易引燃和稳定燃烧，常在焊条中加入一些电离电位比较低的物质，即含有钾、钠、钙的物质如水玻璃（ $\text{Na}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）、碳酸钠（ Na_2CO_3 ）、大理石（ Ca_2CO_3 ）等。

如前所述，气体的电离就是使气体的中性原子转变为带电粒子的过程。要使气体电离，就必须给这些中性原子以能量，以克服内部原子核与电子间的引力。焊接时，根据电离能量的来源不同，气体电离的形式可分为三种：一种是热电离，即在热作用下，使气体质点具有很高的动能，它们在无

规则的相互碰撞中产生电离，温度越高，热电离作用越大；另一种是电场作用下的电离，带电粒子在电场作用下，各作定向高速运动，产生较大的动能，当不断与中性粒子相碰撞时，则不断地产生电离。两电极间的电压越高，电场作用越大，则电离作用越强烈；还有一种叫光电离，中性粒子在光辐射的作用下产生的电离，称为光电离。

在焊接电弧的高温中，主要是热电离。弧柱为圆锥形剖面，弧柱中心温度最高，电离得最充分，大部分中性粒子电离或几乎全部电离。这种由正离子和同样数量的电子所组成的“气体”称为“等离子体”。等离子弧柱的温度和直径取决于通过电弧的电流数值。焊接电流主要是通过等离子弧柱传送的。

2. 阴极区的导电机理。阴极区就是靠近阴极表面的区域，它持续不断地向弧柱发射电子，使电弧能稳定燃烧。焊接时，气体的电离是产生电弧的重要条件，但是，如果只有气体电离而阴极不能发射电子，没有电流通过，那么电弧还是不能形成。因此阴极发射电子和气体电离一样，两者都是电弧产生和维持的重要条件。

一般情况下，电子在原子核周围作不规则地自由运动，它不能自由离开金属表面向外发射的，若外界供给自由电子的能量使它具有足够的动能，以致它完全可以摆脱内部粒子对它的束缚而逸出到外部空间时，就形成了电子发射。所加的外部能量越大，促使阴极发射电子作用就越强烈。我们把电子逸出金属表面所必须具有的最小动能叫做逸出功。其单位是“电子伏特”(eV)。不同的材料的逸出功数值不同。表1-2列出了某些元素的电子逸出功。

由表中可以看出，碱金属、稀土金属及金属氧化物的逸

表 1-2 一些电极材料的逸出功 $U_{\text{出}}$ (eV)

元素	B	K	Na	Ca	Th	Mg	Al	C	Cu	Fe
$U_{\text{出}}$	~2	2.02	2.3	2.84~ 3.2	3.38	3.74	3.95	2.5~ 4.4	4.33	4.18

元素	W	Al ₂ O ₃	MgO	ThO ₂	BaO	WC	W-Ba	W-Zr	W-Th
$U_{\text{出}}$	4.54	3.90	3.31	3.1	~1.0	1.36	1.56	3.14	2.63

出功较小。含有这些元素的金属发射电子的能力就强一些。每种材料发射电子的能力还与其它因素有关,如金属表面状态、致密性和含有氧化物的情况等。如果金属表面有氧化物或某些低逸出功的杂质存在,则由于组织不致密,原子排列不规则,原子引力不强,电子比较容易逸出。因此,焊条常常在药皮中加入较多的钾、钠、钙等化合物,使其易于发射电子,导电容易,从而促使电弧燃烧更稳定。

焊接时,根据供给阴极能量的来源不同,电子发射的形式有以下几类:热发射、电场发射和撞击发射等。阴极发射电子后,又从焊接电源获得新的电子。

(1) 热发射是由于阴极被加热,其表面达到最高的温度,使阴极表面的电子获得足够的能量而逸出。温度越高,则热发射作用越强烈。

(2) 电场发射是由于阴极表面附近有电场存在,电场对阴极表面的电子产生吸引力,电子可以获得足够的动能,从阴极表面发射出来。阴极表面附近的电场强度越大,就越容易把电子从金属表面拉出,电场发射作用越大。

(3) 撞击发射是由于运动速度高,能量大的正离子撞击

阴极表面时，将能量传递给阴极表面的电子，从而使阴极表面电子发射出去。

这几种电子发射形式在焊接电弧中都存在，而且常常同时存在，并相互促进；但在不同条件下，它们所起的作用有差异。例如，在引弧过程中，热发射和电场发射起着主要作用；当采用铜和铝等熔点较低的材料作阴极进行焊接时，由于材料本身熔点的限制，阴极表面不能达到很高的温度，因而热发射作用较弱，主要是电场发射；当采用钨、碳等熔点较高的材料作阴极时，由于它们可以被加热到很高温度，则热发射作用较显著，电场发射作用不是主要的。

3. 阳极区的导电机理。阳极区的导电机理比阴极区要简单的多，阳极吸收来自弧柱的电子，同时电子又不断地往弧柱补充。这样在阳极附近总保持有一定数量的电子流，这些电子形成空间电荷区，与阳极上的正电荷构成电场。而阳极区的正离子受到阳极的排斥，移向弧柱。

在焊接过程中，由于阳极金属受到电弧的急剧加热，阳极的温度很高，甚至使阳极的材料发生蒸发，产生金属蒸气引起热电离。另外，从弧柱中飞来的电子，在阳极区受到空间电场的加速后，沿途与金属蒸气中的粒子相碰撞，产生碰撞电离。热电离和碰撞电离相互作用，使阳极区电弧持续稳定地燃烧。

4. 焊接电弧的热分布。由于电弧三个区的电过程特点不同，由此引起各区域放出的能量及温度分布也是不相同的。

阴极区是靠负电极的区域，在阴极表面有一个明显的光斑点，它是电弧放电时，负电极表面上集中发射电子的微小区域，一般称为阴极斑点。阴极区的温度一般达 $2\,100\sim 3\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，放出的热量占整个电弧总热量的36%左右，阴极区

温度的高低主要取决于阴极的电极材料。

阳极区是紧靠正电极的区域,阳极表面也有光亮的斑点,它是电弧放电时,正电极表面上集中接收电子的微小区域,称为阳极斑点。阳极区温度一般达 $2\,300\sim 3\,900\text{ }^{\circ}\text{C}$,放出热量占电弧总热量的43%左右。

弧柱区介于阴极区和阳极区之间,由于阴极区和阳极区都很窄,因此弧柱的长度基本上等于电弧长度,弧柱中心温度可达 $5\,700\sim 7\,700\text{ }^{\circ}\text{C}$,放出热量占21%左右。弧柱的温度与弧柱中气体介质和焊接电流大小等因素有关。

在生产实践中,发现用不同的工艺方法焊接时,阳极与阴极的温度高低有变化,见表1-3。这是由于电弧各区域的电过程特点不同,因而电弧的阴极和阳极得到的能量也不同。

表 1-3 各种焊接工艺方法的阴极与阳极温度比较

工艺方法	一般手工 电弧焊	钨极 氩弧焊	熔化极 氩弧焊	CO ₂ 气体 保护焊	埋弧 自动焊
温度比较	阳极温度>阴极温度		阴极温度>阳极温度		

以上是直流电弧的热量和温度分布情况,而交流电弧由于电源的极性是周期性变化,所以两个电极区的温度趋于一致。

三、焊接电弧的静特性

电弧被引燃后,要使其稳定持久燃烧下去,需在两电极间保持一定数值的电压,即电弧电压。在一定弧长条件下,当电弧稳定燃烧时,电弧电压与焊接电流之间的关系,称为电