

气体保护焊

电力工业部气体保护焊培训班教材编写组
张修智 殷树言 赵崇仪 编著

电力工业出版社

内 容 提 要

本书比较系统地介绍了气体保护焊的基础理论,详细地介绍了惰性气体保护焊(TIG、MIG焊)、CO₂ 气体保护焊、混合气体保护焊(MAG 焊)和等离子弧焊等焊接工艺、设备、材料、焊管技术和安全防护。作者根据自己多年的教学和科研实践经验,并参考了国内外有关文献资料,比较详细地阐述了有关技术理论和生产中遇到的一些问题,理论联系实际,深入浅出。

本书可供广大焊接技术人员阅读,大专院校焊接专业师生参考,也可作为培训气体保护焊人员的教材。

气 体 保 护 焊

电力工业部气体保护焊培训班教材编写组

张修智 殷树言 赵崇仪 编著

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 14.5印张 325千字 4插图

1982年8月第一版 1982年8月北京第一次印刷

印数 00001—10730册 定价 1.50元

书号 15036·4340

前 言

近年来, 气体保护焊技术发展迅速。由于这种焊接方法具有质量好、效率高的优点, 所以在生产中的应用甚为广泛。尤其是在新材料、新结构不断出现和日益发展的情况下, 推广采用气体保护焊这一新技术就显得更为迫切。

在电力工业中, 随着大容量、高参数发电机组的日益增加, 对焊接质量也提出了更高的要求。根据建设和生产的需要, 电力部门从七十年代初开始采用气体保护焊(主要是氩弧焊), 用以改善和提高焊接质量。上海电力建设公司首先采用管道焊接的氩弧焊打底工艺。这一工艺立即得到了各地重视, 并纷纷要求学习和推广。为了满足各地迫切需要, 电力工业部先后举办了十多期氩弧焊培训班, 以期提高焊接技术人员及焊工的理论水平和操作技能。1979年, 电力工业部电力建设总局委托电力建设研究所焊接室再次举办了气体保护焊培训班, 并邀请了哈尔滨工业大学焊接教研室的老师讲课。根据学员和各方面的要求, 并鉴于目前专述气体保护焊的书籍较少, 我们将这期气体保护焊培训班的教材加以整理、修改和补充, 编写成书, 予以出版, 以满足焊接工作者及广大读者的愿望, 为祖国四化建设添砖加瓦。

本书共分九章, 其中第一、二、六章以及第七章的第一节和第九章由哈尔滨工业大学张修智副教授编写; 第三、四、五、八章由哈尔滨工业大学殷树言讲师编写; 第三章的第三节和第七章由哈尔滨工业大学赵崇仪讲师编写。

在本书编写过程中, 得到了电力建设研究所焊接室有关

领导和同志们的积极支持和帮助，有关公司和工厂也提供了部分实物照片和技术资料。初稿完成后，又得到电力建设研究所魏明德工程师、一机部郑州机械研究所齐国治工程师、哈尔滨工业大学王其隆副教授的审阅并提出了许多宝贵意见，在此一并致谢！

由于我们水平有限，本书缺点在所难免，望广大读者指正。

编 者

1981年11月

目 录

前 言

第一章 气体保护焊的基础理论	1
第一节 电弧导电的物理本质	1
一、电弧	1
二、在保护气氛中弧柱导电的机理	3
三、阴极区和阳极区导电的动力过程	12
第二节 电弧电压和弧长的关系	20
第三节 电弧各区能量的平衡	21
第四节 电弧的刚性	27
第五节 交流电弧燃烧的特点	30
第六节 气体保护作用	33
一、流体运动的状态	33
二、焊接时的气体保护作用	35
三、喷嘴结构对气体保护效果的影响	38
四、焊接工艺参数对保护效果的影响	42
第七节 熔化极气体保护焊熔滴过渡受力情况的 分析	45
第二章 钨极惰性气体保护焊(TIG焊)	57
第一节 氩弧焊中电弧燃烧的特点	58
第二节 交流TIG焊时产生直流分量的原因及其 消除措施	60
第三节 TIG焊的引弧和稳弧措施	65
一、TIG焊的引弧措施	65

二、交流TIG焊用的脉冲稳弧器	72
第四节 TIG焊所用的焊接材料和工艺	74
一、所用的焊接材料	74
二、TIG焊工艺	79
第五节 脉冲TIG焊 (PTIG焊)	88
一、直流脉冲TIG焊 (DC.PTIG焊)	88
二、交流脉冲TIG焊 (AC.PTIG焊)	95
第三章 CO ₂ 气体保护焊 (CO ₂ 焊)	97
第一节 CO ₂ 焊的冶金特点及焊接材料	99
一、CO ₂ 与液体金属的作用	99
二、合金元素的过渡问题	102
三、脱氧问题	108
四、气孔问题	110
五、裂纹问题	115
六、焊接材料	117
第二节 CO ₂ 焊焊接过程的特点	120
一、气体保护焊时熔滴过渡的几种形态	120
二、CO ₂ 焊的颗粒状过渡	122
三、CO ₂ 焊的短路过渡	128
四、CO ₂ 焊的半短路过渡	138
五、CO ₂ 焊的飞溅问题	139
第三节 电弧自身调节特性	145
第四节 CO ₂ 焊工艺	150
一、焊接规范	151
二、焊前准备	159
三、规范选择	162
四、焊接操作和常见的缺陷	168
第五节 药芯焊丝CO ₂ 焊	172
一、药芯焊丝	172

二、药芯焊丝用的焊接设备	174
三、典型焊接规范	175
四、药芯焊丝 CO_2 焊的特点	176
第四章 熔化极惰性气体保护焊(MIG焊)	178
第一节 熔化极氩弧焊的特点	178
第二节 熔滴过渡的特点	180
一、射滴过渡	180
二、射流过渡	181
三、亚射流过渡	191
第三节 混合气体的影响	197
一、混合气体保护焊的熔滴过渡	197
二、混合气体对飞溅的影响	205
三、混合气体对焊缝成形的影响	207
四、混合气体对焊丝熔化速度的影响	210
五、混合气体对冶金作用的影响	213
第四节 熔化极氩弧焊工艺	223
一、铝及其合金的焊接工艺	223
二、不锈钢的焊接工艺	229
三、低碳钢和低合金钢的焊接工艺	233
第五章 熔化极脉冲气体保护焊	240
第一节 电控制的熔化极脉冲焊	240
一、电弧形态和熔滴过渡特点	240
二、脉冲焊规范对焊接过程的影响	253
三、焊接规范对熔池保持能力的影响	259
四、熔化极脉冲焊的应用	263
第二节 低频脉冲熔化极氩弧焊	265
第三节 脉冲送丝气体保护焊	267
第六章 等离子弧焊接与切割	271
第一节 等离子弧概述	271

一、等离子弧	271
二、等离子弧的几种基本形式	276
三、等离子弧的静特性及对电源外特性的要求	279
第二节 等离子弧切割	280
一、等离子弧切割过程的实质与特点	280
二、等离子弧切割的枪体结构	282
三、等离子弧切割工艺	287
第三节 等离子弧焊接	298
一、等离子弧焊接的工艺特点	298
二、等离子弧焊接的分类及焊缝形成的过程	299
三、等离子弧焊接工艺	304
第七章 气体保护焊设备	307
第一节 电弧静特性及其对电源特性的要求	308
一、焊接电弧的静特性	308
二、电弧静特性对弧焊电源特性的要求	310
第二节 气体保护焊电源	318
一、气体保护焊电源的分类	318
二、交流弧焊电源	319
三、直流弧焊电源	324
四、脉冲弧焊电源	374
第三节 气体保护焊的控制装置	385
一、控制程序及线路	385
二、送丝及焊接小车的调速	387
三、自动焊焊丝干伸长的自动控制	393
四、钨极氩弧焊电弧长度的自动控制	396
第四节 气体保护焊的机械装置	397
一、半自动焊的送丝机构	398
二、气体保护焊的焊枪和焊炬	402
第五节 气体保护焊的供气系统	404

一、CO ₂ 气体保护焊的气路系统	404
二、氩弧焊的气路系统	407
第八章 全位置气体保护焊焊管技术及其应用实例	409
第一节 若干焊接技术问题	409
一、焊接方法的选择	409
二、摆动技术	414
三、引弧与收弧技术	419
四、稳定质量的途径	422
第二节 应用实例简介	425
一、手工钨极氩弧焊管的焊口打底工艺	425
二、锅炉排管全位置钨极氩弧焊	429
三、厚壁管道窄间隙横向自动焊	432
四、磁性爬车式全位置自动焊管机	435
五、卡环式大口径厚壁管全位置自动焊	437
六、磁性软轨小车式全位置自动焊机	441
第九章 气体保护焊的安全技术和防护措施简介	445
参考文献	450
照片	453

第一章 气体保护焊的基础理论

第一节 电弧导电的物理本质

一、电 弧

电弧，早已为大家所熟知。作为焊接热源来说，由于电弧的发现和应用，极大地向前推动了工业和科学技术的发展，使之发生了一次很大的飞跃，从本质上改变了金属的结合方式，极大地提高了劳动生产效率，使金属结构的形式和生产过程更趋于完善和合理。因此，引起了人们对电弧广泛的研究和高度的重视，采用了一系列先进的科学方法来探讨电弧的物理本质。

电弧是一个能量高度集中的、炽热的电热体，一般情况下，它的温度可达 $5000\sim 30000\text{K}$ ，某些情况下甚至可达 50000K 以上。通过电弧的形式把电能直接转换成热能。所以，实质上它就是一个特殊形式的电-热能量转换器。

在两个导体之间加上适当的电压，在线路中串入一个可变电阻和电流表，两导体间留有一定的间隙（如图1-1所示），一般情况下，由于在两个导体电极之间，充满了空气（或保护气体），所以在电的回路中是没有电流通过的，是

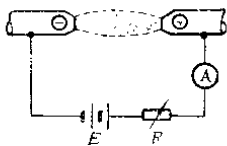


图 1-1 电弧的产生

不导电的。这说明空气或保护气体确实是一个良好的绝缘体。但是，如果将两电极之间的气体用适当的方式加热，使

空气的温度逐渐升高，达到某一温度后，发现在回路中开始逐渐有了一点微弱的电流通过；再随着空气温度的提高，电流值也相应由小变大，从微弱放电（如暗放电、火花放电、辉光放电），直到发生电弧放电，产生高温灼亮的电弧。同样，用其它方式（如用足够强的放射线照射两电极之间的气体），也可发现有类似的导电现象。将两电极间的电压提高到能“击穿”间隙，或将两电极互相接触后再分开，都可以产生电弧。

焊接电弧是一种强烈的气体放电，它的特点是电流大（可从几安培到几千安培），而两个电极间的电压却比较低（可由10几伏到100伏，焊接电弧电压一般为10几伏到50伏）。

电弧从外貌看，就像是一团炽热化的火焰，其焰流从电极的端头喷出，在空间形成一个火焰体。由于电弧各个部位的电-物理性质不同，人们往往把靠近阴极表面的部分叫做阴极区，而把靠近阳极表面的部分叫做阳极区，介于这两个区域之间的部分叫做电弧弧柱（以后，简称为弧柱）。实际上电弧就是由这三个部分所组成：阴极区、阳极区和弧柱，如图1-2（a）所示。

弧柱，中间部分略略向外膨胀，稍呈凸形；靠近两极的部分，尺寸略有缩小，形成腰鼓状（如两钨棒间的电弧）。

由图1-2可以看出：电弧的总长度

$$L = l_{\text{阴}} + l_{\text{柱}} + l_{\text{阳}}$$

式中 $l_{\text{阴}}$ 、 $l_{\text{柱}}$ 、 $l_{\text{阳}}$ ——分别代表阴极区、弧柱和阳极区的长度。

但是，在实际上， $l_{\text{阴}}$ 和 $l_{\text{阳}}$ 相对于弧长是非常小的（ $l_{\text{阴}} \approx 10^{-5} \sim 10^{-6}$ 厘米，而 $l_{\text{阳}} \approx 10^{-3} \sim 10^{-4}$ 厘米），所以在实际测量电

弧长度时，往往可以把 $l_{阴}$ 和 $l_{阳}$ 忽略不计，使 $L \approx l_{柱}$ 。

长期的研究结果表明：电弧电压在这三个区域中分布的情况是不同的，如图 1-2 b 所示。在靠近两个极的部分都有一个较陡的电压降，它们分别被称为阴极压降 ($U_{阴}$) 和阳极压降 ($U_{阳}$)；而在较长的弧柱区域中电压的降落比较缓慢，其电压降为 $U_{柱}$ 。由此可见，电弧电压实际上也是由这三部分压降所组成，即

$$U = U_{阴} + U_{柱} + U_{阳}$$

这些概念在研究电弧的过程

中，都占有重要的地位。电弧的这些性能，特别是其电-物理性能，对于焊接过程的成功应用、研制合理的焊接设备和确定比较理想的工艺参数等等，都有极重要的意义。因此对电弧的电-物理性能的研究也就成为研究电弧理论的重要内容。下面将对它作进一步的分析。

二、在保护气氛中弧柱导电的机理

1. 气体的电离

从上面所说的电弧现象，人们不禁要问：这种“奇怪”的放电现象物理实质是什么？为什么本来是一种良好绝缘体

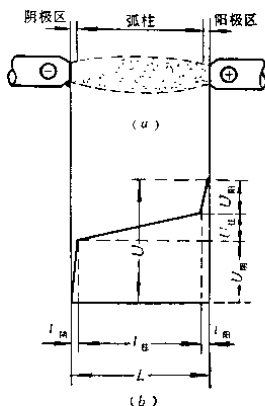


图 1-2 电弧的组成区域和
各区电压的分布
(a)组成区域；(b)电压分布

的气体间隙，却能变成具有如此强烈导电性的“气体导体”呢？这些问题，长期来吸引了众多著名的学者，对此进行不懈的探索。但只有在近代物理学、特别是原子物理学、量子物理学和电磁学等得到很大发展的今天，人们才有可能从物质结构的微观方面，揭开这个问题的“谜”。

大家知道：世界上一切物质都是由不同的分子所组成，而分子又由比它更小的原子所组成。原子也不是最小的基本粒子，它又由原子核和围绕原子核周围作不断旋转运动的电子所组成。这些电子都严格地按着一定的规律，一层一层地分布在原子核的周围，并按着一定的规律绕原子核作高速的旋转运动，由于受着原子核的静电吸引力的作用，所以它们也就不可能随便地脱离其运动轨道而跑掉，从而在它们之间保持着一种动平衡的稳定状态。此时，原子核中所带的正电

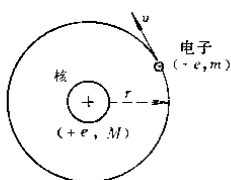


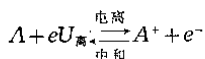
图 1-3 氢原子的结构模式示意图

荷与周围的电子所带的负电荷是等量的，所以，在一般情况下，从原子的总体来看，是不带电性的，即呈电中性。通常我们所接触到的气体就是属于这种状态，它们都不呈现电性，是一个很好的绝缘体。图 1-3 所示的就是在原子结构中最简单的氢原子结构模式，图中， e 为电子电荷，等于 4.80

$\times 10^{-10} e.S.U. = 1.60 \times 10^{-19}$ 库仑； m 为电子的质量，等于 9.10×10^{-28} 克（静止质量）； M 为原子核的质量，等于电子质量的 1840 倍。

当外界以某种方式传给原子能量时，则其周围电子的活

动能也就随之增加，运动更加剧烈，有时还有可能发生一些“越轨”的行动，从里层跳到外面的电子层。这就是原子受激励的结果。处于这种状态的原子，叫做原子的受激状态。如果加给原子的能量超过了一定的限度，电子就会完全脱离原子核吸引力场的作用范围，而“自由”地跑掉。从原子结构模式知道，处于最外层的电子，距离原子核最远，受核的束缚力也最小，也最容易脱离原子核而跑掉。这样就破坏了原子原来的平衡状态，使这个原子中的电子减少，从而使它带上正电性。而脱离原子核的电子，由于其本身带有负电荷，而呈现负电性。这种把中性的粒子（原子或分子）解离成两种带不同电荷的带电粒子的过程，叫作电离（Ionization）。带正电荷的粒子，叫正离子；带负电荷的粒子，叫负离子，或叫电子。电离反应式可表示为：



式中 A ——表示中性的气体粒子；

A^+ ——电离后带正电荷的气体粒子（正离子或阳离子）；

e^- ——带负电荷的粒子（电子）；

$eU_{\text{离}}$ ——电离功。

两个电极之间的空气间隙之所以在加热后能够导电，就是由于产生了电离的结果，使原来是中性的气体粒子变成了带正电荷的正离子和带负电荷的电子，这些带电粒子在外界电场力的作用下，分别能够单独行动，在电场中按着自己的规律作定向的移动：正离子向负极移动，而电子则向正极移动（如图1-4所示），于是气体就导电了。由此可见，气体的电离是气体能够由绝缘体变成导体必要的先决条件。

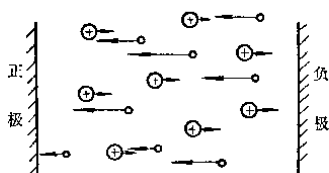


图 1-4 带电粒子（正离子和电子）在电场中作定向移动示意图

⊕ 正离子；⊖ 电子；→ 运动方向

为使电子从原子核的静电吸引力作用范围中脱离出来，就需要克服此静电吸引力，因而需要供给它一定的能量。对不同的元素在电离时所需要的能量是不同的。我们把能使一个外层电子脱离原子核而电离所需要的最小的能量，叫作电离势，以 $U_{离}$ 来表示，其单位是电子伏特（ eV ）。使第一个电子电离的电离势称为一次电离势，电离后能够获得一价的正离子（ A^+ ）；使第二个电子电离的电离势，其值大于一次电离势，叫作二次电离势，电离后能够获得 2 价的正离子（ A^{++} ），以此类推。据 Busz, Finkelburg 的数据，在 1 个大气压的氩气中，钨极和铜电极之间 500 安的电弧中，其中心部分的温度可达 30000K，在氩气的粒子中各种粒子的电离情况如表 1-1 所示。气体电离势的大小，表示该气体电离难易的程度。电离势越大的元素，越难电离，也就越难导

表 1-1 在 30000K 温度下 Ar 电离的情况

粒子种类	电 子	A	A^+	A^{++}	A^{+++}
密度(10^{15} 个/厘米 ³)	160	0	11	70	1

电；相反，电离势越小，就越容易导电了。表 1-2 中列出了一些元素的电离势。

表 1-2 一些元素的电离势 ($U_{离}$) (电子伏)

元素	Cs	K	Na	Ba	Li	Al	Ca	Cr	Ti	Mo	Mn	Ni	Mg	Cu
$U_{离}$	3.89	4.34	5.14	5.21	5.39	5.95	6.11	6.76	6.82	7.10	7.43	7.63	7.64	7.72

元素	Fe	W	Si	Cd	C	Cl	H	O	CO	N	Ar	F	He
$U_{离}$	7.87	7.98	8.15	8.98	11.26	13.01	13.60	13.61	14.01	14.53	15.76	17.42	24.58

由表1-2可以明显地看出：K、Na等碱金属的电离势很低，H、O、N等气体的电离势则比较高，而Ar、He等气体的电离势更高。这就是为什么在含有K、Na等稳弧元素的气氛中，比较容易导电、引弧，电弧燃烧也比较稳定的重要原因。

实践还证明：气体电离的程度，除了与气体本身的物理属性和原子结构有关外，与气体的温度 (T) 也有极大的关系。气体的温度越高，则电离的程度也越充分，导电性能也越好；相反，温度越低，则电离得越不充分，气体导电的性能也就越差。

M.N.Saha在研究太阳外围气氛电离时，应用热力学的理论，推导出了电离度 (X) 和温度 (T) 之间的关系：

$$\frac{X^2}{1-X^2} p = 3.16 \times 10^{-7} T^{2.5} e^{-\frac{e U_{离}}{k T}}$$

式中 X ——电离度，

$$X = \frac{\text{电子或正离子的密度(个/厘米}^3\text{)}}{\text{电离前中性粒子的密度(个/厘米}^3\text{)}}$$

p —— 气体压力；

T —— 气体的温度 (K)；

e —— 电子电荷 (库伦)；

$U_{\text{离}}$ —— 气体的电离势 (伏)；

k —— 鲍茨曼常数 (1.38×10^{-16} 尔格/K)；

e —— 自然对数底 (2.718)

将上式两边取对数并经过整理后，可写为：

$$\lg\left(\frac{X^2}{1-X^2}p\right) = -\frac{5040}{T}U_{\text{离}} + 2.5\lg T - 6.50$$

按此关系可以求得各种元素在不同温度下的电离度。图 1-5 为一些元素在一个大气压情况下所求得的电离度与温度的关系。

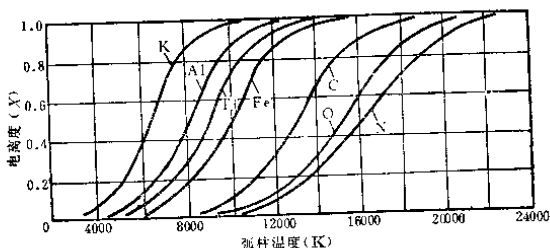


图 1-5 一些元素的电离度与温度的关系

实践证明，对于某一气体介质来说，在一定温度和压力的条件下，一方面它在不断地发生电离，但不是唯一的过程。实际上，发生电离过程的同时，电子和离子也不断地发生碰撞，使电子和离子又重新结合起来，变成中性的原子或