



# 钨极氩弧焊

陈茂爱 等编著

注重技能实践 突出上岗就业



化学工业出版社

014036180

TG444  
43



# 钨极氩弧焊

陈茂爱 等编著



TG444/43



化学工业出版社

· 北京 ·



北航

C1715516

081280110

本书是“焊工上岗技能图解”丛书之一。

本书从焊工上岗的技能要求出发,采用新标准、新规范,内容丰富,简明扼要,条理清晰,通俗易懂,注重实用性,通过介绍常用的钨极氩弧焊操作技术和典型焊接实例,引导读者理解与掌握氩弧焊的基本理论与实用操作技术,重点介绍操作技能、设备及选用、焊接材料、常见缺陷及解决办法、常见设备故障及排除方法等,并结合工程实际给出了典型实例。

本书既可作为焊工入门自学读物,也可作为焊工培训教材,亦可供从事焊接工作的技术人员以及相关专业科研院所、大专院校师生参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

钨极氩弧焊/陈茂爰等编著. —北京:化学工业出版社, 2014.2

(焊工上岗技能图解)

ISBN 978-7-122-19443-5

I. ①钨… II. ①陈… III. ①钨极惰气保护焊-图解  
IV. ①TG444-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第004198号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:杨帆

责任校对:宋玮

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:北京云浩印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张7¼ 字数187千字

2014年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:36.00元

版权所有 违者必究



## 前言

## FOREWORD



焊接技术是制造业的关键支撑技术之一，焊接技术工人是制造业的重要技术力量。随着我国经济的迅速发展，对焊接技术工人的需求不断增大，迫切需要一大批新的有生力量充实到焊工队伍中来。为满足焊接技术工人岗位技术培训，提高焊工的理论水平和实际操作技能的需要，化学工业出版社组织具有丰富理论知识和实践经验的有关专家编写了《焊工上岗技能图解》丛书，该套丛书包括《焊条电弧焊》、《钨极氩弧焊》、《熔化极气体保护焊》、《埋弧焊》、《钎焊》、《切割》等六本。

本书是《钨极氩弧焊》，在简要阐述这种方法的基本原理和知识要点的基础上，利用大量插图详细介绍了操作技能、设备组成及选用、焊接材料、常见缺陷及解决办法、常见设备故障及排除方法，并结合工程结构给出了典型应用实例。本书还给出了常用的焊接数据，如常见材料的典型焊接工艺参数、典型焊接设备的参数及性能等。

本书由陈茂爱、姜丽岩、陈东升、娄小飞、张振鹏、张栋、霍玉双、宋思利、杨敏、魏星等编写。

限于作者水平有限，书中难免出现错误或不当之处，恳请广大读者批评指正。

编者



# 目 录

## CONTENTS

<b>第 1 章 钨极氩弧焊基础知识</b> .....	1
1.1 焊接电弧的基础知识 .....	1
1.1.1 焊接电弧的本质 .....	1
1.1.2 电弧中带电粒子的产生方式 .....	2
1.1.3 焊接电弧的分类 .....	4
1.1.4 焊接电弧的结构 .....	6
1.1.5 电弧的静特性 .....	8
1.1.6 电弧的热功率、热效率系数和功率密度 .....	10
1.1.7 电弧的温度分布 .....	11
1.1.8 焊接电弧的引燃 .....	12
1.1.9 焊接电弧的稳定性 .....	15
1.1.10 电弧的刚直性及磁偏吹 .....	16
1.2 钨极氩弧焊的有关名词术语 .....	19
1.2.1 焊丝熔化 .....	19
1.2.2 熔滴过渡 .....	19
1.2.3 飞溅和飞溅率 .....	23
1.2.4 接头形式及坡口 .....	23
1.2.5 焊接位置 .....	27
1.2.6 焊缝及焊缝形状尺寸 .....	29
1.2.7 厚板焊接 .....	33
1.2.8 焊丝位置 .....	34
1.2.9 焊缝缺陷 .....	35
1.2.10 焊接符号 .....	36
1.2.11 弧焊电源的外特性及电弧静态工作点 .....	42

<b>第2章 钨极氩弧焊原理、焊接材料及设备</b>	44
2.1 钨极氩弧焊特点、分类及应用	44
2.1.1 基本原理	44
2.1.2 钨极氩弧焊的特点	44
2.1.3 钨极氩弧焊的分类	46
2.1.4 钨极氩弧焊的应用	46
2.2 钨极氩弧焊的焊接材料	46
2.2.1 保护气体	46
2.2.2 电极材料	49
2.2.3 填充金属	51
2.3 电流的种类及极性	67
2.3.1 直流钨极氩弧焊	67
2.3.2 交流钨极氩弧焊	69
2.3.3 脉冲钨极氩弧焊	72
2.4 钨极氩弧焊设备	75
2.4.1 钨极氩弧焊设备的组成	75
2.4.2 典型钨极氩弧焊设备及选用	87
2.4.3 钨极氩弧焊设备的使用及维护	103
2.4.4 常见故障及排除措施	104
<b>第3章 板材的钨极氩弧焊工艺及技术</b>	106
3.1 板材的钨极氩弧焊工艺	106
3.1.1 焊前清理	106
3.1.2 常用接头及坡口类型	108
3.1.3 工艺参数的选择原则	109
3.1.4 典型焊接工艺参数	120
3.1.5 钨极氩弧焊中常见的问题及缺陷	126
3.2 钨极氩弧焊的手工操作技术	128
3.2.1 基本操作过程及时序	128
3.2.2 引弧	128
3.2.3 焊枪的握持及运行形式	129

3.2.4	填丝 .....	135
3.2.5	接头方法 .....	138
3.2.6	熄弧 .....	138
3.2.7	左焊法和右焊法 .....	139
3.3	钨极氩弧焊实例 .....	139
3.3.1	0.5mm 厚不锈钢薄板圆筒纵缝的自动钨极 氩弧焊 .....	139
3.3.2	5mm 铝合金板的对接焊 .....	141
3.3.3	3mm 厚不锈钢板的 T 形接头角焊缝焊接 .....	142
<b>第 4 章</b>	<b>管子的钨极氩弧焊 .....</b>	<b>145</b>
4.1	管子的对接焊 .....	145
4.1.1	管子对接焊工艺 .....	145
4.1.2	管子对接打底焊操作技术 .....	151
4.1.3	管子对接焊实例 .....	153
4.2	管板焊接 .....	158
4.2.1	管板焊接接头形式 .....	158
4.2.2	骑坐式管板焊接 .....	160
4.2.3	插入式管板焊接 .....	163
4.3	管子及管板的全位置自动 TIG 焊 .....	163
4.3.1	管子全位置自动焊 .....	163
4.3.2	管板自动 TIG 焊机 .....	165
<b>第 5 章</b>	<b>钨极氩弧焊的改进形式 .....</b>	<b>170</b>
5.1	热丝 TIG 焊 .....	170
5.1.1	热丝 TIG 焊的原理、特点及应用 .....	170
5.1.2	热丝 TIG 焊设备 .....	171
5.2	等离子弧焊 .....	173
5.2.1	等离子弧焊的特点及应用 .....	173
5.2.2	等离子弧焊设备的组成及分类 .....	177

5.2.3	双弧现象 .....	185
5.2.4	离子弧焊工艺 .....	189
<b>第6章 钨极氩弧焊安全技术 .....</b>		<b>198</b>
6.1	用电安全 .....	198
6.1.1	用电安全基础知识 .....	198
6.1.2	焊接触电事故的预防措施 .....	200
6.2	用气安全及防爆防火 .....	206
6.2.1	用气安全 .....	206
6.2.2	防火防爆措施 .....	207
6.3	辐射的危害及防护措施 .....	208
6.3.1	弧光辐射的危害及防护措施 .....	208
6.3.2	高频磁场的辐射及防护 .....	209
6.3.3	放射性辐射及防护 .....	209
6.4	焊接烟尘的危害及防护措施 .....	210
6.4.1	焊接烟尘的危害 .....	210
6.4.2	焊接烟尘的防护措施 .....	211
<b>参考文献 .....</b>		<b>216</b>



# 第1章

## Chapter 01

# 钨极氩弧焊基础知识

钨极氩弧焊（简称 TIG 焊）是一种电极不熔化的电弧焊方法，其焊接过程稳定，焊接质量好。这种方法可用来焊接各种金属，特别适合于铝、镁、钛及不锈钢薄板的焊接。

## 1.1 焊接电弧的基础知识

### 1.1.1 焊接电弧的本质

电弧是一种气体放电现象（特殊的气体导电现象），即电荷在气体中产生并在阴、阳两个电极间定向运动的过程，如图 1-1 所示。电弧可将电能方便地转变为热能、光能和机械能，因此以电弧作为热源的各种电弧焊方法在工业中得到了广泛应用。需要注意的是，工程实践中经常使用“燃弧”、“电弧燃烧”、“引燃电弧”和“熄弧”等说法，其实电弧并不是一种燃烧现象，而是一种特殊的

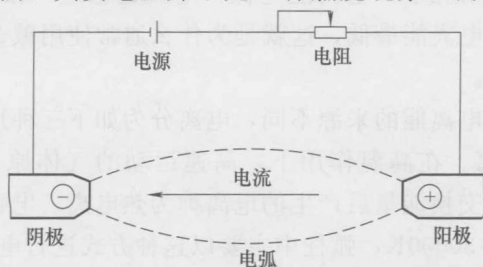


图 1-1 焊接电弧示意图

气体导电现象，它与气焊中使用的火焰是完全不同的东西。

气体中一般没有带电粒子（电子、正离子、负离子等），因此电弧的产生需要利用一定的方式诱发出带电粒子。引弧过程就是电弧的诱发过程。引燃后，电弧导电过程本身会自动产生导电所需要的带电粒子。

实际焊接过程中，被焊工件一般作为一个电极，另一个电极是焊丝、钨极或焊条。一般情况下，工程上通常将焊丝、钨极或焊条称为电极，而不将工件称为电极。

### 1.1.2 电弧中带电粒子的产生方式

#### (1) 电离

在外加能量作用下，中性气体原子或分子分离成正离子和电子的现象称为电离。

气体分子或原子在常态下是由数量相等的正电荷（原子核）和负电荷（电子）构成的一个稳定系统，对外呈中性。要破坏这个稳定系统形成电离就需要对其施加外来能量。气体原子或分子分离出一个外层电子所需要的最小能量称为电离能，单位为焦耳（J）或电子伏（eV）。电子伏为1个电子被1V的电压加速所得到的能量。

用电子伏（eV）作单位的电离能除以电子带电量得出的单位为伏特的物理量称为电离电压。电离电压和电离能都是表示物质电离难易程度的物理量。

电弧空间中气体的电离能大小对电弧稳定性有很大的影响，其他条件相同的情况下，电离能越低，电弧越稳定。在各种原子中，碱金属原子的电离能最低，这就是为什么通常使用碱金属碳酸盐作稳弧剂的原因。

根据引起电离能的来源不同，电离分为如下三种形式：

① 热电离。在高温作用下，高速运动的气体原子（或分子）在相互碰撞并交换能量后产生的电离称为热电离。电弧弧柱的温度通常为5000~30000K，弧柱中主要以这种方式进行电离。

② 电场作用下的电离。带电粒子（主要是电子）在电场作用下被加速，获得额外的电场能量，碰撞到中性原子后将获得的电场

能量交给中性原子而引起的电离。

③ 光电离。气体原子（或分子）吸收光辐射的能量而产生的电离。焊接电弧中基本不发生这种形式的电离。

## （2）电子发射

在外加能量作用下，阴极表面连续向外发射电子的现象称电子发射。

电子逸出阴极表面产生电子发射所需要的最小能量称为逸出功。单位为焦耳或电子伏。

当用电子伏（eV）作单位的逸出功除以电子的带电量，得出的单位为伏特的物理量称为逸出电压。

阴极的逸出功对电弧的稳定性具有很大的影响。其他条件相同的情况下，阴极的逸出功越小，电弧越稳定。阴极逸出功的大小取决于阴极材料的种类、掺杂元素及表面状态。金属表面有氧化物或其他掺杂元素时均可使逸出功大大降低，例如在钨极氩弧焊的钨极上掺入含有少量的钍或铈的氧化物时，电子发射能力在高温下会增加数千倍。

按其逸出功的来源不同，阴极电子发射可分为热电子发射、场致电子发射、光电子发射和撞击电子发射等四种形式。

① 热电子发射。阴极表面温度很高时，某些电子具有大于逸出功的动能而逸出到阴极表面外电弧空间的现象称为热电子发射。

大电流钨极氩弧焊时，钨极表面可被加热到很高的温度（可达4000~5000K），电子具有足够的动能，可进行强烈的热电子发射。这种温度很高、热发射能力很强的阴极通常称为热阴极，而熔点很高的阴极材料（例如钨、碳等）称为热阴极材料。

② 场致电子发射。阴极表面如果有强电场存在，阴极表面电子会受到很大的库仑力，在该力的作用下产生的电子发射称为场致电子发射。阴极表面电场强度越大，则场致电子发射能力越强。

小电流钨极氩弧焊时，阴极温度较低，其表面往往会产生强电场，电子发射以场致电子发射为主，这样的阴极称为冷阴极。

在钨极氩弧焊的非接触式引弧过程中，电子也主要通过场致电

子发射方式产生。

③ 光电子发射。阴极表面接受光辐射的能量而释放出自由电子的现象称为光电子发射。光电子发射在焊接电弧中几乎不会发生。

④ 撞击电子发射。运动速度较高，能量大的重粒子（如正离子）撞击阴极表面，将能量传递给阴极而产生的电子发射称为撞击电子发射。

### (3) 负离子

一定条件下，电弧中某些活泼性非金属原子或分子（如 F、Cl 等）会吸附电子形成负离子。该过程是放热过程，在电弧中的产生概率很低，只产生在温度较低的电弧周边处或正弦波交流电弧电流过零点时。

负离子尽管也是带电粒子，但由于其质量比电子大得多，在同样的电场作用下，其运动速度比电子慢得多，因此其导电能力就比电子小得多。大量负离子的产生势必会降低电弧的导电性能。在交流电弧中，如果有易形成负离子的卤族元素，则电弧会非常不稳定。因此  $\text{CaF}_2$  含量高的焊剂不能用于正弦波交流埋弧焊。

### (4) 带电粒子的复合

在电弧燃烧过程中，不但有带电粒子产生，而且还会发生带电粒子的复合。所谓带电粒子复合就是电子与正离子相互碰撞后形成中性粒子的过程。带电粒子的复合是放热过程，放出相当于电离的能量。因此，它只能发生在温度较低的电弧周边处或正弦波交流电弧电流过零点时。

## 1.1.3 焊接电弧的分类

焊接电弧有多种分类方法：

按焊接电源种类可分为交流电弧、直流电弧、脉冲电弧。交流电弧一般仅用于焊条电弧焊（SMAW）、埋弧焊（SAW）、钨极氩弧焊（TIG）等焊接方法，电流波形如图 1-2 所示。交流电弧又分为正弦波交流电弧和方波交流电弧。方波交流电弧稳定性与直流电弧几乎相同，而正弦波交流电弧稳定性较差，通常需要在焊接回路

中串接一个足够大的电感。脉冲电弧又分为直流脉冲电弧和交流脉冲电弧，电流波形如图 1-3 所示。

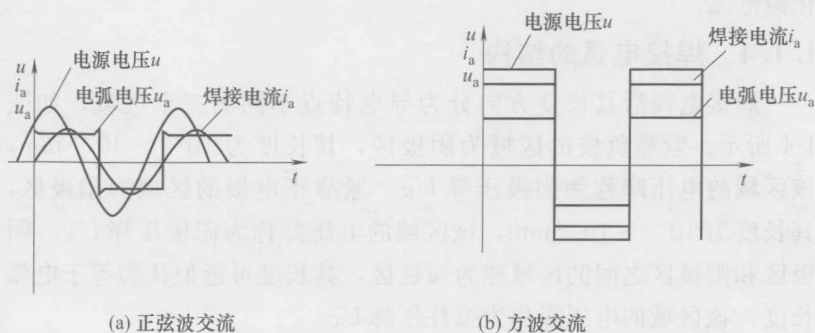


图 1-2 交流电流波形

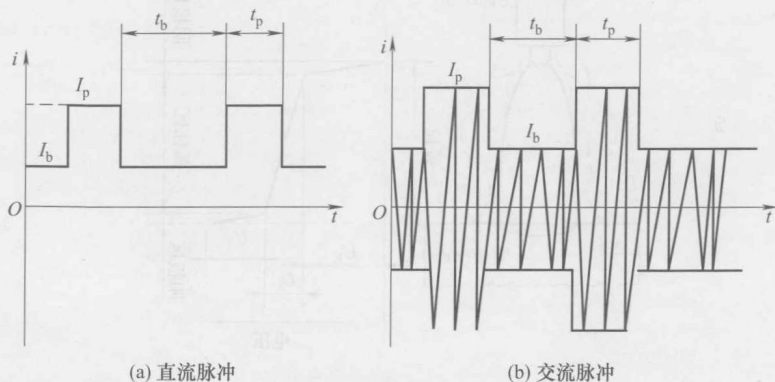


图 1-3 脉冲电流波形

$I_b$ —基值电流； $I_p$ —脉冲电流； $t_b$ —脉冲间歇时间； $t_p$ —脉冲持续时间

按电弧状态可分为自由电弧、压缩电弧。钨极氩弧焊、埋弧焊电弧、熔化极氩弧焊（MIG）及焊条电弧焊的电弧均为自由电弧，等离子弧属于压缩电弧。

按电弧周围保护介质类型可分为气体护电弧、焊剂层下“燃烧”的电弧，除了埋弧焊以外，几乎所有电弧焊方法均采用气体进行保护。

按电极材料可分为非熔化极电弧和熔化极电弧。钨极氩弧焊电弧及等离子电弧焊电弧是非熔化极电弧，气体电弧焊的电弧均为熔化极电弧。

### 1.1.4 焊接电弧的结构

焊接电弧沿其长度方向分为导电特点不同的三个区域，如图1-4所示。紧靠负极的区域为阴极区，其长度为 $10^{-5} \sim 10^{-6}$  mm，该区域的电压降称为阴极压降 $U_K$ 。紧靠正电极的区域为阳极区，其长度为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$  mm，该区域的电压降称为阳极压降 $U_A$ 。阴极区和阳极区之间的区域称为弧柱区，其长度可近似认为等于电弧长度，该区域的电压降称为弧柱压降 $U_C$ 。

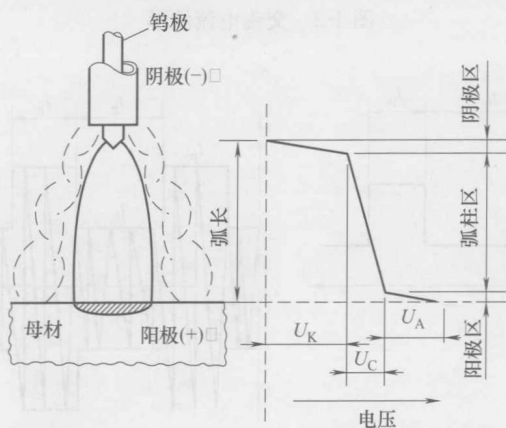


图 1-4 钨极氩弧的结构

在弧柱区，电弧周围存在着由电弧电流引起的环形电磁场，它具有压缩电弧的趋势，电弧自身磁场的这种压缩作用称为电磁收缩效应。电磁收缩效应使弧柱受到很大的压力，并形成速度很高的高温气流，该高温气流被称为等离子流。等离子流的速度接近音速。

阴极区是阴极和弧柱的电连接区域。在该区域的温度降和电位降相对较大。阴极区产生电子并提供给弧柱区，而电弧的稳定燃烧取决于该区域是否能稳定地产生电子流。钨极和碳极能够以热发射

的方式发射电子，因为两者均具有很高的熔点，且其发射电子能力很强。它们可用作非熔化极材料，由于钨的熔点最高，焊接中一般选用钨做非熔化极。

在电弧另一端的阳极区是阳极和弧柱的电连接区域。阳极的温度与弧柱的温度有明显的差别，弧柱的温度比阳极要高得多。阳极区温度较低是由于它靠近热传导率高、熔点低的工件。阳极区和阴极区产生的热量高于弧柱。图 1-5 示出了钨极氩弧各个区域的温度分布。从图中可看出电弧各个位置的温度是不同的，不同的电流下同一位置的温度也会有所不同。

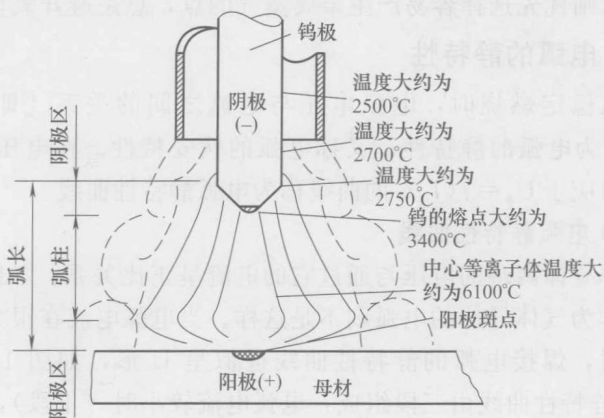


图 1-5 钨极氩弧各个区域的温度分布

电弧电流较小的情况下，阴极压降和阳极压降较大，而弧柱压降较小。电弧电压等于这三部分之和：

$$U_a = U_A + U_K + U_C$$

阳极压降主要取决于电弧电流和阳极材料，随着电弧电流的增大，阳极压降迅速下降。而阴极压降主要取决于阴极材料和气体介质等。焊接条件一定时，阴极压降和阳极压降基本上是固定值，而弧柱压降则在与弧柱长度成正比。因此，电弧电压总是随着弧长的增大而增大。钨极氩弧焊的焊接电流通常较大，阳极压降几乎可忽略不计，而阴极压降则较大。

在一定条件下，特别是电流较小时，电弧电流通过电极表面上一些孤立的点进入电极。这些点称为电极的活性斑点。在阴极表面的活性斑点称为阴极斑点，在阳极表面的活性斑点称为阳极斑点。阴极斑点的尺寸通常比阳极斑点小些。阴极斑点优先产生在阴极表面的氧化膜上，这样电流通过氧化膜导通，氧化膜因受到质量大的正离子撞击而破碎，这种作用被称为阴极雾化作用。该作用对于铝及铝合金、镁及镁合金的焊接非常重要。因为这些活泼金属表面有一层致密的氧化膜，焊接过程中如果不能将其去除，则会覆盖在熔池上面，阻碍电弧热量进入熔池，易导致未焊透、夹渣等缺陷。而阳极斑点则优先选择容易产生金属蒸气的点，总是避开氧化膜。

### 1.1.5 电弧的静特性

电弧稳定燃烧时，电弧电压与电流之间的关系 [即  $U_a = f(I_a)$ ] 称为电弧的静特性，又称电弧的伏安特性。在电压-电流坐标系中对应于  $U_a = f(I_a)$  的曲线称为电弧静特性曲线。

#### (1) 电弧静特性曲线

固体导体两端的电压与通过它的电流呈正比关系，如图 1-6 所示。而作为气体导体的电弧则不是这样。当电弧电流在很大的范围内变化时，焊接电弧的静特性曲线近似呈 U 形，如图 1-7 所示。该 U 形静特性曲线由三段组成：电弧电流较小时（I 段），电弧电压随着电流的增加而下降，称该段为下降特性段；电弧电流较大时（II 段），电弧电压基本上不随电流的变化而变化，称该段为平特性

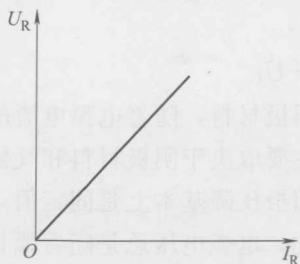


图 1-6 金属导体的伏安性

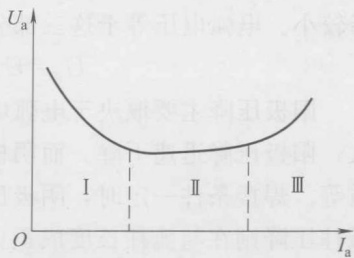


图 1-7 电弧的静特性



段；电弧电流更大时（Ⅲ段），电弧电压随电流的增加而上升，称该段为上升特性段。

不同的焊接方法使用电弧静特性的不同区段。钨极氩弧焊、埋弧焊、焊条电弧焊、粗丝  $\text{CO}_2$  气体保护焊工作在电弧静特性的水平段；小电流钨极氩弧焊、微束等离子弧焊以及脉冲钨极氩弧焊电弧通常处于下降段；而细丝  $\text{CO}_2$  气体保护焊、大电流 MIG 焊、等离子弧焊等通常工作在电弧静特性的上升段。

## (2) 影响因素

① 电弧气体介质的成分。在其他条件相同的情况下，如果电弧气体介质的稳弧性较差，例如钨极氩弧焊时，利用氦气（He）代替氩气（Ar）作保护气体时，电弧电压会明显增大，电弧静特性曲线上移，如图 1-8 所示；药芯焊丝电弧焊焊药中加热稳弧剂时，电弧电压明显降低，电弧静特性曲线下移；气体保护焊气体介质中有多原子分子时，电弧电压增大，电弧静特性曲线上移。

② 气体介质的压力。气体介质的压力增大会导致电弧电压增大。例如埋弧焊焊剂层较厚时，或焊剂颗粒尺寸较小时，电弧气氛介质的压力增大，导致电弧电压增大。

③ 弧长的影响。当弧长增加时，电弧电压增高，如图 1-8 所示。在实际焊接过程中，弧长对电弧电压的影响是最主要的，为了保持电弧电压及电流稳定不变，总是要求保持恒定的弧长。

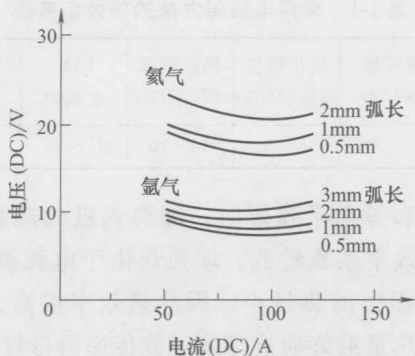


图 1-8 非熔化极电弧的典型伏安特性