



HANGONG SHANGGANG JINENG TUJIE

埋弧焊

陈茂爱 齐勇田 等编著

注重技能实践 突出上岗就业



化学工业出版社

014036181



TG445
05

埋弧焊

陈茂爱 齐勇田 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

TG445/05



北航

C1715517

181380110

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,通过介绍常用的埋弧焊操作技术和典型焊接实例,引导读者理解与掌握埋弧焊的基本知识与实用操作技能,重点介绍埋弧焊设备及选用、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

埋弧焊/陈茂爱,齐勇田等编著. —北京:化学工业出版社,2014.2

(焊工上岗技能图解)

ISBN 978-7-122-19444-2

I. ①埋… II. ①陈…②齐… III. ①埋弧焊-图解
IV. ①TG445-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第003878号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:陈喆

责任校对:陶燕华

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7 字数180千字

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》六本。

本书是《埋弧焊》，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埋弧焊设备组成及选用、焊接材料选用、常见缺陷及解决办法、常见设备故障及排除方法，并结合实际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、齐勇田等编著，参加编写的还有姜丽岩、陈东升、娄小飞、张振鹏、张栋、霍玉双、宋思利、杨敏、魏星等。

限于编者水平有限，书中难免出现不足之处，恳请广大读者批评指正。

编著者



目 录

CONTENTS

第 1 章 埋弧焊的基础知识	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	7
1.1.6 电弧的热功率、热效率系数和功率密度	8
1.1.7 电弧的温度分布	10
1.1.8 焊接电弧的引燃	11
1.1.9 焊接电弧的稳定性	13
1.1.10 电弧的刚直性及磁偏吹	14
1.2 焊接方法及工艺的有关名词术语	17
1.2.1 焊丝熔化	17
1.2.2 熔滴过渡	18
1.2.3 飞溅和飞溅率	21
1.2.4 接头形式及坡口	22
1.2.5 焊接位置	26
1.2.6 焊缝及焊缝形状尺寸	28
1.2.7 厚板焊接	32
1.2.8 焊丝位置	33
1.2.9 焊缝缺陷	34
1.2.10 焊接符号	35
1.2.11 弧焊电源的外特性、电弧静态工作点	41

第2章 埋弧焊原理及设备 43

- 2.1 埋弧焊基本原理、特点及分类 43
 - 2.1.1 埋弧焊的基本原理 43
 - 2.1.2 埋弧焊的特点 44
 - 2.1.3 埋弧焊的分类 45
 - 2.1.4 埋弧焊的应用 46
- 2.2 埋弧焊的弧长自动调节 46
 - 2.2.1 自动化焊接方法的一般特点及要求 46
 - 2.2.2 细丝埋弧焊的弧长自动调节 47
 - 2.2.3 粗丝埋弧焊的电弧电压反馈调节 51
- 2.3 埋弧焊设备 55
 - 2.3.1 埋弧焊设备的组成及分类 55
 - 2.3.2 弧焊电源 57
 - 2.3.3 送丝机构、行走机构和机头调整机构 58
 - 2.3.4 控制系统 60
 - 2.3.5 辅助装置 60
 - 2.3.6 焊接变位装置 63
 - 2.3.7 典型埋弧焊设备及选用 73
 - 2.3.8 埋弧焊设备的使用 73
 - 2.3.9 埋弧焊设备常见故障及排除措施 77

第3章 埋弧焊的焊接材料 79

- 3.1 埋弧焊焊丝 79
 - 3.1.1 埋弧焊焊丝的牌号和型号 79
 - 3.1.2 埋弧焊常用焊丝的成分、性能和用途 80
 - 3.1.3 焊丝的选用 80
- 3.2 埋弧焊焊剂 84
 - 3.2.1 埋弧焊焊剂的分类 84
 - 3.2.2 埋弧焊焊剂的牌号和型号 88
 - 3.2.3 埋弧焊常用焊剂的成分、性能和应用 93
 - 3.2.4 焊剂与焊丝的选配 116

第 4 章 埋弧焊工艺及技术	124
4.1 焊前设计及准备	124
4.1.1 坡口设计及加工	124
4.1.2 焊件的装配及定位焊	126
4.1.3 焊接衬垫与打底焊	128
4.2 埋弧焊焊接参数的选择及焊接技术	131
4.2.1 焊接工艺参数的选择原则	131
4.2.2 平板对接焊工艺及技术	138
4.2.3 平板角接的焊接工艺及技术	147
4.2.4 环缝焊接工艺及技术	150
4.2.5 埋弧焊常见缺陷及防止措施	151
4.3 焊接实例	154
4.3.1 平板对接接头焊接实例——1500mm×700mm× 100mm 的 EH36Z25 高强度钢平板对接	154
4.3.2 平板角接接头焊接实例——吊车梁腹板与 翼板间的焊接	156
4.3.3 环焊缝焊接实例——电动机空心轴环缝焊接	161
4.3.4 马鞍形缝焊接实例——下降管与汽包间连接 焊缝的焊接	162
第 5 章 高效埋弧焊焊接方法及工艺	167
5.1 多丝埋弧焊	167
5.1.1 多丝埋弧焊的分类、特点及应用	167
5.1.2 双丝埋弧焊设备	168
5.1.3 双丝埋弧焊工艺	172
5.1.4 双丝埋弧焊焊接实例——50mm 厚 Q345C 的 平板对接	175
5.2 窄间隙埋弧焊	183
5.2.1 窄间隙埋弧焊的特点及应用	184
5.2.2 窄间隙埋弧焊设备	185
5.2.3 窄间隙埋弧焊工艺	187

5.2.4	窄间隙埋弧焊焊接实例——筒节环缝的窄间隙埋弧焊	189
5.3	带极埋弧焊	192
5.3.1	带极埋弧焊的特点及应用	192
5.3.2	带极埋弧焊设备	193
5.3.3	带极埋弧焊工艺	193
5.3.4	带极埋弧焊堆焊实例——压力容器封头带极埋弧堆焊	197
第6章	埋弧焊安全技术	200
6.1	用电安全	200
6.1.1	用电安全基础知识	200
6.1.2	焊接触电事故的预防措施	203
6.2	焊接烟尘的危害及防护措施	209
6.2.1	焊接烟尘的危害	209
6.2.2	焊接烟尘的防护措施	210
参考文献		214

埋弧焊的基础知识

埋弧焊又称埋弧自动焊(简称 SAW),是最重要的电弧焊方法之一,具有效率高、焊接质量好、劳动条件好等特点,广泛用于锅炉、压力容器、造船、机车车辆、海洋平台制造等领域,而且还可用于耐磨或耐蚀涂层的堆焊以及工件表面的修复,在工业中发挥着非常重要的作用。

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

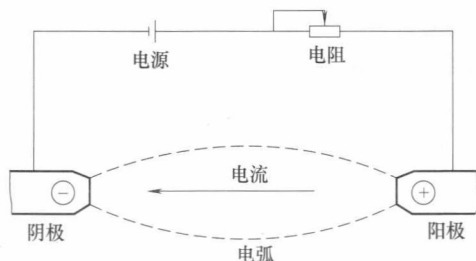


图 1.1 焊接电弧示意图

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，引入该单位是为了表示电离能方便。

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，其他条件相同的条件下，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(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光这种形式的电离。

(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、钍等)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。

埋弧焊时，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 阴极表面接受光射线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。在正弦波交流电弧中，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 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，放出相当于电离能的能量；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。

按弧焊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，电流波形见图 1.2。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联一个足够大的电感。脉冲电弧又分为直流脉冲电弧和交流脉冲电弧，电流波形见图 1.3。

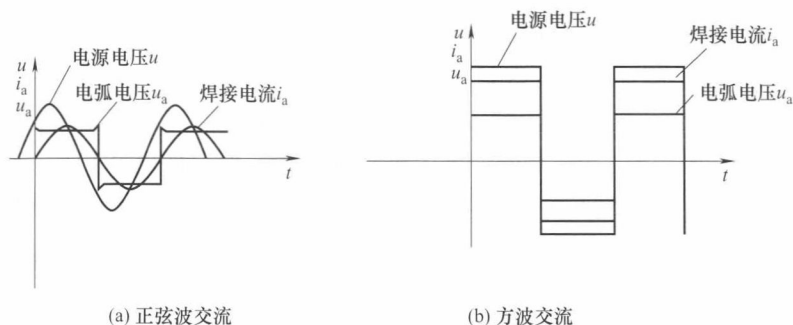


图 1.2 交流电流波形

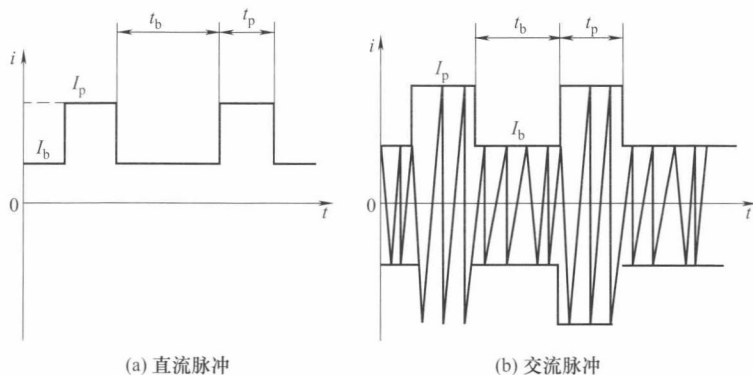


图 1.3 脉冲电流波形

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。埋弧焊、钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊（MIG）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保护电弧、焊剂层下“燃

烧”的电弧，埋弧焊电弧属于后者。

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。埋弧焊电弧属于熔化极电弧。

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 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 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 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 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 。

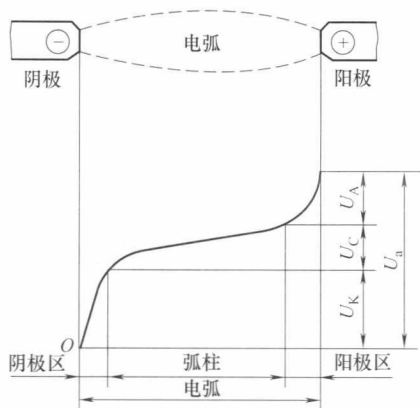


图 1.4 焊接电弧的结构

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。埋弧焊焊接电流很大, 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去除, 则覆盖在熔池上面, 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成正比关系, 如图 1.5 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 1.6 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, 该段称为下降特性段; 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, 该段称为平特性段; 电弧电流更大时 (Ⅲ段), 电弧电压随电流的增加而上升, 该段称为上升特性段。

不同的焊接方法使用电弧静特性的不同区段。埋弧焊、钨极氩弧焊、焊条电弧焊、粗丝 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 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。

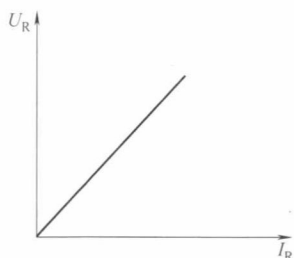


图 1.5 金属导体的伏安特性

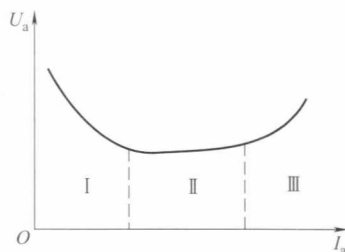


图 1.6 电弧的静特性

(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，电弧气体介质的稳弧性越差，例如气体热导率大，电弧电压就越大，电弧静特性曲线上移，反之则电弧静特性曲线下移；埋弧焊在焊剂中加入稳弧剂时，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。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。

1.1.6 电弧的热功率、热效率系数和功率密度

(1) 电弧热功率

焊接时电弧将电能基本上全部转变为热能，因此，电弧的产热功率 Q 等于其电功率：

$$Q = I_a U_a$$

式中， I_a 为焊接电流； U_a 为电弧电压。焊接电弧的产热功率实际上是三个区域的产热功率之和。阴极的产热功率为 $P_K = I_a$

($U_K - U_w$)，这部分热量主要用于加热阴极， U_w 为阴极材料的逸出电压；阳极的产热功率为 $P_A = I_a(U_A + U_w)$ ，这部分热量主要用于加热阳极；弧柱区的产热功率为 $P_C = I_a U_C$ ，这部分热量一般不能用来加热工件和焊丝，大部分通过对流和辐射的形式散失到周围环境中。电弧热量在两个极区的分布主要取决于焊接方法，对于熔化极电弧焊，阴极区的产热大于阳极区，而非熔化极电弧焊正好相反。

(2) 热效率系数

电弧的热量并不能全部用来加热焊丝和工件，通常将实际用来加热工件的电弧功率称为有效功率 Q_0 ：

$$Q_0 = \eta Q$$

η 为电弧的热效率系数，它取决于焊接方法、焊接工艺参数及周围环境条件。常用电弧焊方法的热效率系数见表 1.1。

表 1.1 常用电弧焊方法的热效率系数

焊接方法	埋弧焊 (SAW)	熔化极氩弧焊 MIG	钨极氩弧焊 (TIG)	CO ₂ 电弧焊	等离子弧焊 (PAW)	
					熔入法	小孔法
热效率系数/%	80~90	65~85	60~70	75~90	60~75	45~65

埋弧焊由于电弧被埋在焊剂下面，通过辐射和对流损失的热量小，因此热效率最高。熔化极氩弧焊时，熔化焊丝的热量最终通过熔滴过渡传递给母材，其热效率系数较高。而钨极氩弧焊和等离子弧焊时，加热钨极的热量不能传递给工件，因此，其热效率系数较低。CO₂ 电弧焊飞溅率较大，飞溅颗粒导致的热损失大，其热效率系数也较小。

在其他条件不变的情况下，随着电弧电压升高，弧长增大，通过对流、辐射等损失的弧柱热量增加，热效率系数 η 降低。

(3) 功率密度

电弧是通过一定面积的斑点加热工件的，单位面积上的有效热功率称为功率密度。事实上，加热斑点上功率密度并不一致，在电弧轴线处最大，从中心到周围逐渐降低。通常给出的是焊接电弧的