

实用焊接手册

胡传 主 编
王国红 副主编

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书从实用角度出发,将生产实际中常见的各种焊接技术问题,经过总结、归纳,编写成简明实用的焊接技术手册,其内容包括:常用弧焊电源(弧焊变压器、直流电源、逆变电源)的特点、分类、应用及选购;常用焊接材料(焊丝、焊条、焊剂和熔剂、气体、钎料及钎剂、热喷涂材料)的种类、特性及选用原则;常用焊接方法(手弧焊、埋弧自动焊、CO₂气体保护焊、等离子弧焊、电渣焊、电阻焊、气焊规范的选择和应用),常用金属材料(碳钢及低合金钢、不锈钢、有色金属)的焊接工艺及其选用;常见焊接缺陷及补焊(含铸铁)的工艺及实例;焊接接头的性能试验及检验等。本书的主要特点是:密切联系生产实际,实用性较强;以图表为主,简明扼要,便于查阅。本书特别适用于初、中级焊工、技术人员、管理及采购人员阅读。

实用焊接手册

主 编 胡 传

副主编 王国红

北京工业大学出版社出版发行

各地新华书店经销

世界知识印刷厂印刷

1998年12月第1版 1998年12月第1次印刷

787mm×1092mm 32开本 14.5印张 401千字

印数: 1~4000册

ISBN 7-5639-0705-x/T·83

定价: 27.00元

前 言

本书从实用角度出发,将生产中经常需要用到的有关焊接设备、焊接材料、常用焊接方法及常见金属材料焊接工艺、常见焊接缺陷及补焊工艺、焊接接头力性及检验做了介绍,不求内容完备,但求简捷实用,目的是为在焊接生产一线的工人、技术人员及管理和采购人员服务。

本书主编胡传、副主编王国红。全书编写分工如下:常用弧焊电源(白韶军);焊接材料(刘建萍、章帆);常用焊接方法 3.1、3.2、3.4、3.5(胡传、刘颖)、3.3(白立来);3.6~3.12(王国红、王卫林);常见焊接缺陷及补焊修复(胡传、李立);焊接接头性能试验及检验(夏志东)。

本书编写中参考了大量资料,书后难以一一列举,在此一并向原作者致谢。焊接技术发展迅速,本书挂一漏万,在所难免,错误与不当之处、欢迎指正。

胡传

1998年8月于北京工业大学

目 录

一、常用弧焊电源

1.1 概述	(1)
1.1.1 焊接电弧的电特性	(1)
1.1.2 对焊接电源的要求	(3)
1.1.3 弧焊电源的分类	(7)
1.2 常用弧焊变压器	(10)
1.2.1 串联电抗器式弧焊变压器	(11)
1.2.2 增强漏磁式弧焊变压器	(12)
1.2.3 弧焊变压器的常见故障及排除方法	(14)
1.2.4 常用弧焊变压器的主要技术数据	(15)
1.3 直流弧焊电源	(17)
1.3.1 直流弧焊发电机	(17)
1.3.2 硅整流弧焊电源	(23)
1.3.3 晶闸管式弧焊整流器	(26)
1.4 逆变弧焊电源	(31)
1.4.1 逆变弧焊电源的外特性控制	(32)
1.4.2 逆变弧焊电源的特点	(33)
1.4.3 弧焊逆变器的分类	(34)
1.4.4 弧焊逆变电源的应用	(35)
1.5 常用弧焊电源的选择和使用	(42)
1.5.1 常用弧焊电源的型号标注方法	(42)
1.5.2 常用弧焊电源的选择	(42)
1.5.3 弧焊电源的使用和维护常识	(53)

二、焊接材料

2.1 焊丝	(54)
2.1.1 焊丝的分类	(54)

2.1.2	焊丝的型号	(54)
2.1.3	焊丝的牌号	(56)
2.1.4	实芯焊丝	(58)
2.1.5	药芯焊丝	(59)
2.2	电焊条	(61)
2.2.1	焊条的组成、分类、型号与牌号	(61)
2.2.2	常用典型焊条的冶金性能	(79)
2.2.3	焊条质量及工艺性能评定	(81)
2.2.4	焊条的使用及保管	(89)
2.3	焊剂与熔剂	(90)
2.3.1	埋弧焊及电渣焊焊剂	(90)
2.3.2	气焊熔剂	(96)
2.4	焊接用气体	(98)
2.4.1	焊接用气体的性质及应用	(98)
2.4.2	保护气体的选用原则	(100)
2.4.3	焊接用气体容器(气瓶)的涂色标记	(102)
2.5	钎料与钎剂	(102)
2.5.1	钎料	(102)
2.5.2	钎剂	(110)
2.6	热喷涂用材料	(113)
2.6.1	喷涂用金属及合金线材	(114)
2.6.2	喷涂(熔)用金属粉末	(120)
2.6.3	喷涂用非金属粉末	(127)
2.6.4	喷涂用复合材料粉末	(131)

三、常用焊接方法

3.1	手工电弧焊接头、坡口型式及准备	(134)
3.1.1	手工电弧焊接头、坡口型式	(134)
3.1.2	坡口的制备	(134)
3.2	碳钢及合金钢的焊接	(146)
3.2.1	焊接规范的选取	(146)

3.2.2	其它焊接工艺条件	(149)
3.2.3	金属的焊接性	(149)
3.2.4	碳钢的焊接	(151)
3.2.5	普通低合金钢的焊接	(155)
3.2.6	耐热钢的焊接	(164)
3.2.7	低温钢的焊接	(167)
3.3	手工电弧焊的安全技术	(170)
3.3.1	弧光辐射	(170)
3.3.2	焊接烟尘及有害气体	(171)
3.3.3	触电	(172)
3.3.4	烫伤	(173)
3.3.5	防火及防爆	(174)
3.3.6	电焊安全教育	(175)
3.4	埋弧自动焊	(175)
3.4.1	焊接材料	(175)
3.4.2	接头型式及坡口形式	(177)
3.4.3	焊接规范的选择	(192)
3.5	CO ₂ 气体保护焊	(198)
3.5.1	CO ₂ 气体保护焊简介	(198)
3.5.2	CO ₂ 气体保护焊的焊接材料	(200)
3.5.3	CO ₂ 气体保护焊的焊接工艺	(200)
3.5.4	CO ₂ 气体保护电弧点焊	(210)
3.6	等离子弧焊	(211)
3.6.1	小孔法等离子弧焊	(213)
3.6.2	熔透法等离子弧焊	(215)
3.6.3	微束等离子弧焊	(216)
3.7	电渣焊	(220)
3.7.1	焊接材料	(220)
3.7.2	丝极电渣焊	(221)
3.7.3	熔嘴电渣焊	(226)
3.7.4	管极电渣焊	(229)

3.7.5	板极电渣焊	(231)
3.8	电阻焊	(235)
3.8.1	点焊	(235)
3.8.2	凸焊	(254)
3.8.3	缝焊	(258)
3.8.4	对焊	(265)
3.9	钎焊	(269)
3.9.1	钎料及钎剂	(270)
3.9.2	焊接工艺参数	(274)
3.9.3	炉中钎焊	(277)
3.9.4	感应钎焊	(283)
3.10	气焊	(283)
3.10.1	气焊用焊丝和熔剂及其选用	(283)
3.10.2	气焊工艺	(286)
3.11	不锈钢的焊接工艺	(293)
3.11.1	焊接材料的选用	(294)
3.11.2	奥氏体不锈钢的焊接工艺	(294)
3.11.3	铁素体不锈钢的焊接工艺	(323)
3.11.4	马氏体不锈钢的焊接工艺	(328)
3.12	常用有色金属的焊接	(332)
3.12.1	铝及铝合金的焊接	(332)
3.12.2	铜及铜合金的焊接	(340)

四、常见焊接缺陷及补焊修复

4.1	常见焊接缺陷	(354)
4.2	铸铁的补焊	(359)
4.2.1	铸铁的焊接性	(359)
4.2.2	焊接材料	(360)
4.2.3	补焊方法及工艺	(364)
4.2.4	补焊示例	(369)
4.3	补焊实例	(376)

五、焊接接头性能试验及检验

5.1	概论	(380)
5.1.1	焊接接头性能试验及检验	(380)
5.1.2	焊接缺陷的概念及分类	(380)
5.1.3	焊接检验的分类	(380)
5.1.4	焊接检验过程及主要内容	(382)
5.1.5	常见结构(件)类型及其焊缝质量等级	(390)
5.1.6	焊接检验标准	(392)
5.2	焊接接头化学分析	(394)
5.2.1	奥氏体不锈钢焊接接头晶间腐蚀试验	(394)
5.2.2	铬镍奥氏体不锈钢焊缝中铁素体含量的测定	(399)
5.2.3	焊缝金属的化学成分	(399)
5.3	焊接接头金相组织分析	(399)
5.3.1	焊接接头金相组织分析内容	(399)
5.3.2	焊接接头金相试样的制备	(400)
5.4	焊接接头、焊缝及熔敷金属的常用力学性能试验	(401)
5.5	超声检测	(401)
5.5.1	基本原理	(401)
5.5.2	基本操作	(404)
5.5.3	仪器设备	(406)
5.5.4	探伤灵敏度	(407)
5.5.5	缺陷性质的估判	(407)
5.5.6	探伤结果评定及缺陷等级分类	(408)
5.5.7	超声检测新技术	(412)
5.6	射线检测	(412)
5.6.1	基本原理	(412)
5.6.2	射线源的获得、特点及其应用	(412)
5.6.3	基本操作	(413)
5.6.4	探伤仪器设备	(413)
5.6.5	影响探伤灵敏度的因素	(417)

- 5.6.6 底片上缺陷影像的识别 (417)
- 5.6.7 探伤结果的评定 (419)
- 5.6.8 射线的防护 (421)
- 5.6.9 射线检测的发展 (422)
- 5.7 表面缺陷的检测 (423)
 - 5.7.1 磁粉探伤 (423)
 - 5.7.2 涡流探伤 (430)
 - 5.7.3 渗透检测 (436)
- 5.8 无损检测方法的选用 (447)

一、常用弧焊电源

1.1 概 述

1.1.1 焊接电弧的电特性

1.1.1.1 焊接电弧的物理本质

焊接电弧产生的基本原理是电极(如焊条或焊丝等)与工件之间的强烈气体放电。焊接电弧和其他气体放电的区别在于焊接电弧的阴极压降低、电流密度大。

当手弧焊引弧时,焊条与工件直接短路接触的瞬间,有个别突出点相接触,致使通过这些接触点的电流密度很大,产生大量的电阻热使电极金属表面发热熔化。从受热的阴极发射出大量电子,这些电子飞快地射向阳极,造成了气体的电离,使得电弧引燃。为了使中性的气体产生电弧并通过电流,就必须使气体分子(或原子)电离成为正离子和电子。而为了使电弧不断燃烧,就必须要求电弧的阴极不断发射电子以补充能量的消耗。总之,气体的电离和电子发射是电弧中存在的最基本的物理现象。

1.1.1.2 焊接电弧的电特性

焊接电弧沿着其长度方向分为三个区域,如图 1-1 所示。焊接电弧由阴极区、弧柱区和阳极区组成。阴极是发射电子的地方,同时又受到正离子的撞击。阳极与电源的正极相连接。阴极和阳极区都很窄,如阴极区宽度仅约为 $10^{-5}\text{cm} \sim 10^{-6}\text{cm}$,而阳极区的宽度仅约为 $10^{-3}\text{cm} \sim$

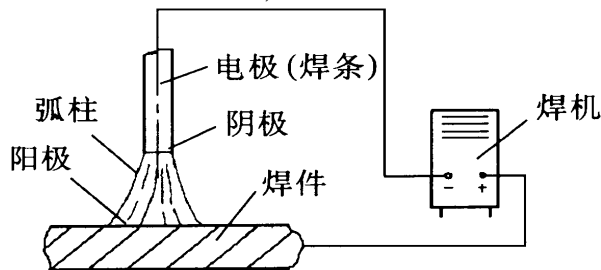


图 1-1 焊接电弧示意图

10^{-4} cm。所以，可以认为电弧的主要部分是弧柱，弧柱的长度近似等于电弧长度。人们研究发现，焊接电弧沿着其长度方向的电位分布是不均匀的，三个区域的电压总和称之为电弧电压。在一定气体介质下，电弧电压与电弧长度成正比，弧长不同时，电弧电压也不同。焊接电弧的电特性包括静特性和动特性。

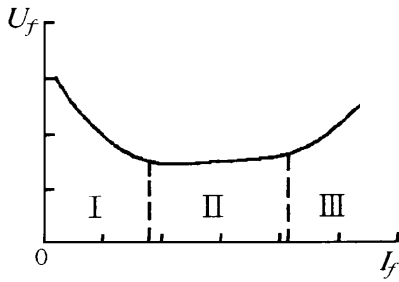


图 1-2 焊接电弧静特性形状

(1) 焊接电弧的静特性 在电极材料、气体介质和弧长一定的条件下，电弧稳定燃烧时，焊接电流与电弧电压变化的关系，称为焊接电弧的静态伏安特性，如图 1-2 所示。焊接电弧的静特性曲线近似呈 U 型曲线，表明焊接电弧是非线性负载。在 I 段，电弧电压随电流增加而下降，称之为下降特性段；在 II 段呈等压特性，称为平特性段；在 III 段，电弧电压随电流增加而上升，称为上升特性段。

(2) 焊接电弧的动特性 即对于一定弧长的焊接电弧，当焊接电流发生连续快速变化时，电弧电压瞬时值与焊接电流瞬时值之间的关系，称之为焊接电弧的动特性。由于焊接电弧是一个气体放电的过程，随焊接电流的增加，电弧空间温度在升高。但温度的变化总滞后于焊接电流的变化。由于电弧具有热惯性，使得焊接电弧的动特性曲线在电流上升和下降时，两条曲线不重合，形成回线。

1.1.1.3 焊接电弧的分类及特点

焊接电弧的性质与弧焊电源的种类、电弧的状态及周围的介质和电极材料有关。常用的电弧分类方法如下：

(1) 依据焊接电流种类 分为交流电弧、直流电弧和脉冲电弧(它包括直流脉冲电弧和交流脉冲电弧)。

(2) 依据焊接电弧状态 分为自由电弧(弧柱不受外力压缩)和压缩电弧(自由电弧的弧柱受到外力而产生热收缩、磁收缩及机械压缩效应而收缩形成能量密度高的电弧)。其中自由电弧又包括不熔化极电弧和熔化极电弧。

(3) 依照电极材料 分为熔化极电弧和不熔化极电弧。当采用惰

性气体保护焊时, 可选用钨极或掺入稀土金属的钨极作为不熔化电极; 采用直流钨极氩弧焊可以用来焊接薄板; 采用交流(脉冲)钨极氩弧焊可以用来焊接铝合金等有色金属。采用熔化极电弧焊时, 一般都采用保护气体。保护气体可以是惰性气体如氩气, 也可以是活性气体如二氧化碳气体等。采用光焊丝的熔化极电弧焊接时, 多采用直流弧焊电源, 特别是当用 CO_2 气体保护焊时一定要用直流弧焊电源; 而用惰性气体保护焊时, 则可以用脉冲弧焊电源、方波交流弧焊电源或普通交流弧焊电源。

1.1.2 对焊接电源的要求

弧焊电源是对焊接电弧提供电能的装置, 是电弧焊设备中的核心部分。弧焊电源的电气性能必须满足焊接电弧对电源的性能要求, 才能保证电弧的稳定燃烧, 并获得良好的接头。

1.1.2.1 弧焊电源的电气特性

(1) 弧焊电源的外特性 在焊接电源内部参数不变的条件下, 改变电弧负载时, 弧焊电源输出的电压稳定值与输出的电流稳定值之间的关系曲线称为弧焊电源的外特性。

(2) 弧焊电源的调节性能 如图 1-3 所示, 电弧电压和电流是由电弧静特性与弧焊电源外特性曲线相交的一个稳定工作点决定的。对应一定的弧长, 只有一个稳定工作点。焊接时需根据被焊工件的材质、厚度与坡口形式等选用不同的焊接工艺参数, 调节弧焊电源的输出参数, 从而调节电源的外特性。

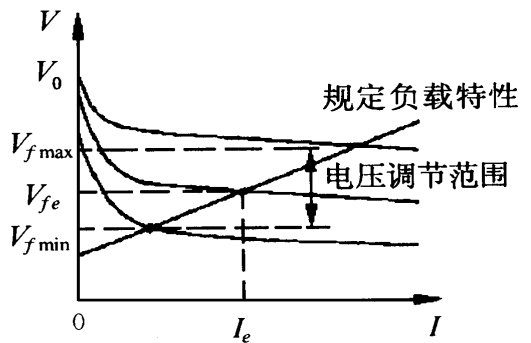


图 1-3 焊接电源-电弧系统工作状态图

- 1—普通照明电源平直外特性曲线
- 2—焊接电源陡降外特性曲线
- 3—电弧燃烧的静特性曲线
- 4—电弧燃烧点

(3) 弧焊电源的空载电压 即在焊接引弧前弧焊电源输出端所具有的端电压。空载电压主要与引弧性和稳弧性有关。

(4) 弧焊电源稳态短路电流 在弧焊电源外特性上, 当电弧引燃和金属熔滴过渡到熔池时经常发生短路, 即电弧电压为零时对应的电流为稳态短路电流。对于下降特性的弧焊电源一般要求稳态短路电流 I_{wd} 对焊接电流 I_f 的比值范围为

$$1.25 < \frac{I_{wd}}{I_f} < 2$$

(5) 弧焊电源的负载持续率与额定值 弧焊电源的输出功率取决于它自身的温升, 而弧焊电源的温升除取决于焊接电流的大小外, 还取决于负荷的状态。如长时间连续焊接, 温升自然要高些; 而间歇短时间焊接, 则温升就会低些。因而, 同一容量的电源在断续焊接时, 弧焊电源的允许使用的电流就大些。对于不同的负荷状态, 可以用负载持续率 FS 来表示某种负荷状态, 即:

$$FS = \frac{\text{负载持续运行时间}}{\text{负载持续运行时间} + \text{休止时间}} \times 100\% = \frac{t}{T} \times 100\%$$

在电源的电流调节范围内, 按不同的负载持续率 FS 工作时, FS 、 I_f 与额定值 FS_e 、 E_e 的关系如下:

$$I_f = \frac{FS_e}{FS} I_e$$

手弧焊时, 工作周期 T 定为 5 min, 自动焊或半自动焊时, T 规定为 20 min、10 min 和 5 min。按国家新标准, FS 则有 35 %、60 % 和 100 % 三种。手弧焊电源一般取 60 %, 自动或半自动焊电源一般取 100 % 或 60 %。弧焊电源铭牌上规定的额定电流 I_e 就是指在规定的环境下, 按额定负载持续率 FS_e 规定的负载状态工作时, 在允许温升限度下所输出的电流值。

1.1.2.2 弧焊工艺对弧焊电源的要求

1. 电源外特性应适应弧焊工艺的要求

表 1-1 列出了常用弧焊电源外特性形状的种类及其应用范围。

2. 具有适当的空载电压

弧焊电源的空载电压应能保证焊接引弧容易、电弧稳定燃烧、电弧功率稳定、符合经济效益并确保人身安全。表 1-2 列出了常用弧焊电源空载电压取值范围。

表 1-1 弧焊电源外特性形状的分类及应用范围

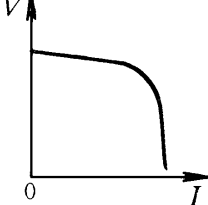
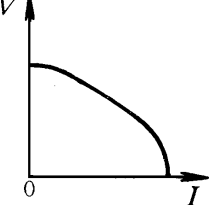
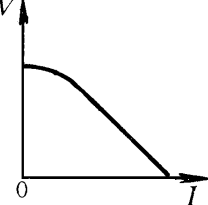
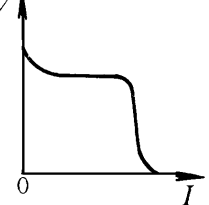
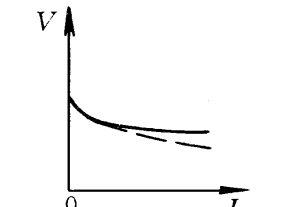
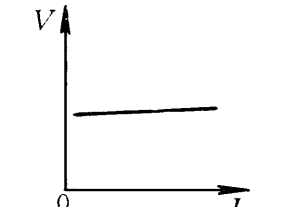
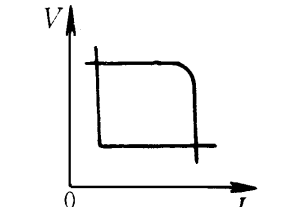
外特性	下 降 特 性			
图 形				
特 征	<p>在运行范围内, I_f 常数, 又称垂直下降特性或恒流特性</p>	<p>$V = f(I)$ 图形接近 1/4 椭圆, 又称缓降特性, 其焊接电流变化较恒流特性大</p>	<p>在运行范围内, $V = f(I)$ 图形接近一斜线, 又称缓降特性</p>	<p>在运行范围内, 恒流带外拖, 外拖的斜率和拐点可调节</p>
一般适用范围	<p>钨极氢弧焊、非熔化极等离子弧焊</p>	<p>一般焊条手弧焊、变速送丝埋弧焊</p>	<p>一般焊条手弧焊, 特别适合立焊、仰焊、粗丝 CO_2 焊、埋弧焊</p>	<p>一般焊条手弧焊</p>
外特性	平 特 性		双阶梯形特性	
图 形				
特 征	<p>在运行范围内, v 常数, 又称恒压特性, 有时电压稍有下降</p>	<p>在运行范围内, 随电流增加, 电压稍有增高, 有时称上升特性</p>	<p>由 型和 型外特性切换而成双阶梯外特性</p>	
一般适用范围	<p>等速送丝的粗细丝气体保护焊和细丝 (直径 < 3 mm) 埋弧焊</p>	<p>等速送丝的细丝气体保护焊 (包括水下焊)</p>	<p>熔化极脉冲弧焊, 微机控制的脉冲自动弧焊</p>	

表 1-2 常用弧焊电源的空载电压 U_0 值

电源类型	手弧焊电源	埋弧焊电源	直流 TIG 焊	弧焊发电机
空载电压	(55 ~ 70) V	(70 ~ 90) V	(75 ~ 100) V	100V

3. 具有良好的动特性

表 1-3、表 1-4 列出了弧焊发电机和弧焊整流器的动特性指标。

表 1-3 弧焊发电机动特性指标

整定值	电 流 (A)	额定电流		25% 额定电流	
	电 压 (V)	$U_f = (20 + 0.04I_f)$	20V	$U_f = (20 + 0.04I_f)$	20V
动特性要求	(1) 空载至短路, 瞬时短路电流峰值对稳定短路电流之比 I_{sd}/I_{wd}	2.5	—	3	—
	(2) 短路至空载, 恢复电压最低值 (V) U_{min}	30	—	20	—
	(3) 负载至短路, 瞬时短路电流峰值对负载电流之比 I_{fd}/I_f	—	2.5	—	3

表 1-4 弧焊整流器动特性指标

项 目		整 定 值		指标
		电 流 (A)	电 压 (V)	
空载至短路	$\frac{I_{sd}}{I_f}$	额 定 值	$U_f = 20 + 0.04I_f$	3
		20% 额定值		5.5
负载至短路	$\frac{I_{fd}}{I_f}$	额 定 值		1.5
		20%		2.5
				3

4. 具有良好的调节特性

弧焊电源必须具有很多条可以均匀调节改变的外特性曲线族, 以保证焊接接头质量。图 1-4、图 1-5 表示下降和水平外特性电源的可调参数。

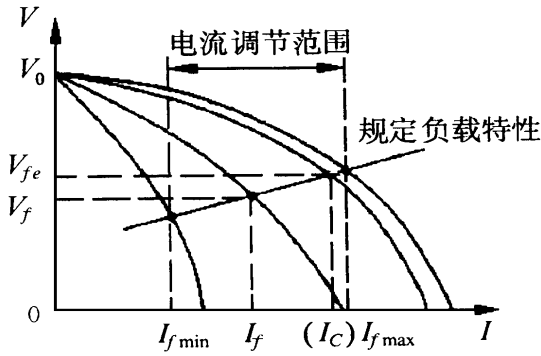


图 1-4 下降外特性电源的可调参数

$I_{f \min}$ —最小焊接电流； $I_{f \max}$ —最大焊接电流； I_f —电弧焊时工作电流； U_f —电弧焊时弧焊电源的负载电压； U_0 —弧焊电源空载电压； U_{fe} —弧焊电源额定工作电压

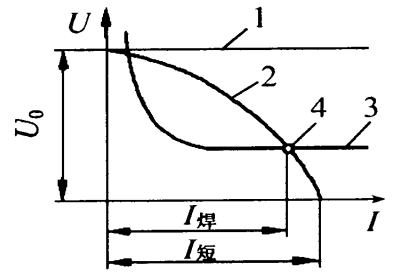


图 1-5 平特性电源的可调参数

I_e —电弧焊时额定工作电流； U_{fe} —电弧焊时额定工作电压； $U_{f \max}$ —弧焊电源最大调节输出电压； $U_{f \min}$ —弧焊电源最大调节输出电压

1.1.3 弧焊电源的分类

传统的弧焊电源的电气控制方式采用两种：机械控制和电磁控制式。人们通过手动机械地移动弧焊变压器铁心或绕组的位置，或者换接抽头来改变漏抗并控制漏抗的大小从而控制弧焊电源的外特性和动特性，这类弧焊电源称之为机械控制式弧焊电源。它包括动铁式、动圈式、抽头式等弧焊变压器，它的特点是电源的外特性、动特性主要取决于弧焊电源的自身结构。电磁式弧焊电源通过改变电源主回路中饱和电抗器的磁饱和程度或弧焊发电机磁路中去磁效果来控制电源的外特性、动特性。这类弧焊电源包括串联饱和电抗器式弧焊变压器、磁放大器式弧焊整流器和弧焊发电机等。另一类弧焊电源的外特性、动特性的控制是完全借助于电子线路进行闭环控制的弧焊电源，称之为电子弧焊电源。它可以对弧焊电源的外特性进行任意控制，来满足不同弧焊方法的需求。这类电源中发展最为迅速的即是弧焊逆变电源，它具有效率高、体积小、适应性强等优点。表 1-5 列出各种类型的弧焊电源。表 1-6 列出了不同的弧焊电源在各种电弧焊方法中的适应性。

表 1-5 常用弧焊电源的种类
弧焊电源

交流弧焊电源	直流弧焊电源	脉冲弧焊电源	逆变式弧焊电源
弧焊变压器	弧焊整流器	晶闸管式 磁放大器式 直流弧焊发电机	绝缘栅双极晶体管式 场效应管式 晶体管式 晶闸管式
串联电抗器式 增强漏磁式 动铁心式	硅二极管式 磁放大器式 增强漏磁式 正常漏磁式	直流弧焊电动机 直流弧焊柴(汽)油发电机	其它 场效应管和绝缘栅双极晶体管式 晶体管式
抽头式 数字开关式	晶闸管式 直流弧焊电动机		
逆变器式 晶闸管电抗器式			

表 1-6 常用弧焊电源的型号及主要技术数据

结构特征及型号 技术数据	磁放大器式	动圈式	同体式	动圈式
	ZXG-300	ZXG1-250	BX2-1000	BX3-300
额定焊接电流 (A)	300	250	1 000	300
电流调节范围 (A)	15 ~ 300	62 ~ 300	400 ~ 1 200	40 ~ 400