



青工业余教育教材

SHOUGONG DIANHUIHAN

手工电弧焊



浙江科学技术出版社

手 工 电 弧 焊

李铭棠 编写

浙江科学技术出版社

责任编辑：任路平
封面设计：邵秉坤

手 工 电 弧 焊

李铭棠 编写

*

浙江科学技术出版社出版

浙江新华印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

开本787×1092 1/32 印张4.375 字数91,000

1983年1月第 一 版

1983年1月第一次印刷

印数：1—10,000

统一书号：15221·34

定 价：0.38 元

编 者 的 话

随着我国国民经济的不断发展，焊接在各领域的应用越来越广泛，对焊接质量的要求也比过去严格。有关部门规定或健全了焊接质量检验及焊工考核等各项制度。当前，广大焊工正以国家主人翁的态度，不但努力提高操作技术，同时还刻苦学习，希望能尽快掌握有关焊接的理论知识，不断提高焊接质量。这些良好的愿望鼓励着编者重新编写本书，奢望对青年焊工有所帮助。

编写过程中，参考了原第一机械工业部一九七八年颁布的《工人技术等级标准》及全国锅炉、压力容器制造业手工焊接技术表演赛的有关资料。内容基本上参考部颁标准中对三级电焊工的要求来处理。书中对电弧、电源、交流电焊机原理及焊接裂纹等问题作了较为详细的阐述；对常用金属材料的焊接性能及焊接工艺也作了具体的介绍。

本书可作为焊工自学读本或焊工培训参考教材。

由于编者水平有限，在内容处理上可能存在着片面性，缺点和错误也在所难免，热忱地希望读者批评指正。

编 者

一九八二年六月

目 录

一 焊接电弧	(1)
(一) 电弧的特性	(1)
(二) 对电源的要求	(6)
二 手工电弧焊设备	(12)
(一) BX1-330 型交流电弧焊机结构及 工作原理	(12)
(二) BX3-300 型交流电弧焊机	(17)
(三) AX-320 型直流弧焊机	(20)
(四) ZXG1-250 型直流弧焊机	(22)
(五) BX1-330 型交流电弧焊机的外部接线	(24)
(六) 电弧焊机的使用和维护	(26)
(七) 电弧焊机常见故障及其产生原因	(27)
(八) 电弧焊常用工具和防护用具	(27)
(九) 电弧焊安全工作要点	(28)
三 焊条	(30)
(一) 焊丝	(30)
(二) 药皮	(32)
(三) 手工电弧焊焊条	(37)
(四) 焊条的选用	(45)
(五) 焊条质量的评价	(47)

(六) 焊条的保存和使用	(48)
四 手工电弧焊工艺	(51)
(一) 基本操作	(51)
(二) 接头形式及准备工作	(55)
(三) 焊接规范的选择	(58)
(四) 各种位置焊缝的焊接	(67)
(五) 焊接接头常见缺陷	(74)
(六) 焊接应力和变形	(81)
五 常用金属材料的焊接性能及焊接工艺	(94)
(一) 碳素结构钢的焊接	(95)
(二) 普通低合金钢及其焊接性能	(102)
(三) 不锈钢的焊接	(105)
(四) 铸铁及其焊接性能	(111)
(五) 铜及铜合金的焊接性能	(120)
(六) 铝及铝合金的焊接性能	(128)

一 焊 接 电 弧

电能可以通过不同的方式转变为热能、光能或其他的机械能。例如，电流通过电灯泡内的钨丝而发光；通过电炉的电热丝而产生热量；通过马达而得到旋转运动等。

电弧焊，就是利用电流通过两电极间隙时产生的电弧的热量来熔化金属，达到焊接的目的。

（一）电弧的特性

从外表看电弧象一团火，温度很高。但电弧并不是一般常见的那种燃烧现象，它是两电极间隙中（焊接时是焊条与工件之间）的一种持续而强烈的放电现象。实质上是电荷通过两电极之间的气体空间时产生的一种导电现象。其导电与通常金属的导电不同。金属本身拥有大量的自由电子，例如在一根金属导线两端加上一定的电压，其自由电子便能沿一定方向运动而形成电流。但电弧焊时，在没有产生电弧之前，在两电极端加上电压却不发生导电现象（除非所加的电压很高，使两电极间隙中的气体被击穿而导电）。这是因为两电极间隙中存在有空气，在正常状态下，气体是由中性的分子或原子组成，这些分子或原子虽然可以自由运动，但它本身是中性的，气体中不含带电粒子，所以即使在电场作用

下，也不产生定向运动，故不导电。

因此，要使两电极间隙中的气体导电，首先必须有一个产生带电粒子的过程。带电粒子在电场力的作用下向两电极运动而导电，例如带负电的电子向正电性的阳极运动，带正电的正离子则向阴极运动。原子是由原子核和围绕原子核运动的外层电子所组成，原子核带正电，电子带负电，整个原子对外呈中性。若某些电子因某种原因脱离了原子核，这时的原子称为正离子，它呈正电性。中性气体分子或原子分离为正离子和电子的现象称为电离。

那么，电弧焊时这些带电粒子是怎样产生的呢？电弧又是怎样导电的呢？我们知道一切物质无论是固体、液体或气体都是由原子组成的，而这些原子并非固定不动的。例如金属中原子就是在一定的位置作热振动，气体分子或原子则可以较自由地运动。当金属被加热时，其原子振动就加剧，金属表面就有部分原子的外层电子飞出（一般称为热发射）。其次在温度升高时，气体中粒子运动速度增高，因为气体粒子的热运动是无规则的运动，粒子之间会发生相互碰撞，如果其运动速度足够高（亦即动能足够大），那么在碰撞时有可能将原子外层电子击出而变成带电粒子，这就是热电离。这些带电粒子即上述的电子、正离子及负离子在电场力的作用下，以极高的速度向正、负电极运动。当撞击到两电极时，其动能可转变为热能及光能。此外，这些带电粒子也会发生复合（例如电子与正离子复合成原子）并放出大量的能量。所以电弧具有很高的温度并带有紫外线强光。

1. 电弧的引燃

手工电弧焊时,电弧是发生于焊条与工件之间的空隙中,但在电弧没有引燃之前,这空隙中充满着空气。已如上面所谈,空气是不导电的,电流不能在空气中通过。因此,即使在两电极端加以相当的电压,也不能自动地产生电弧。只有使这空隙间的气体电离,即产生带电粒子,这些带电粒子在电场力作用下,不断地向两极运动才能形成电弧。

手工电弧焊时,是利用短路方法来引燃电弧的。常用的是敲击法或擦划法(见图1—1)。使焊条先与工件接触形成短路,然后立刻拉起并保持2~4毫米距离,即能形成电弧。这是因为焊条接触时(如图1—2所示),焊条末端

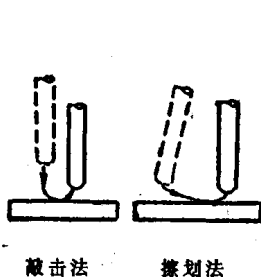


图1—1 引弧方法

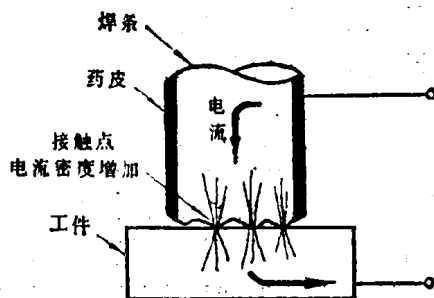


图1—2 焊条与工件表面接触短路

与工件实际上只有少数几点接触,电流就在这些接触点通过。由于导电的面积小,电流密度很大,这些接触点立刻被加热达到熔化甚至气化。由于温度升高,电子就从阴极发射出来。电子以高速向阳极运动,中途碰撞其他气体分子和原子,又可使其电子脱离原子而电离,这就形成持续的电弧。

2. 电弧的极性、结构与温度

电弧焊可用直流或交流电源。在用直流电源时，可将工件接正极，焊条接负极，称正接法；将工件接负极，焊条接正极，称反接法。

用直流电源焊接时，电弧结构如图 1—3 所示，它由阴极区、阳极区和弧柱区所组成。各区域的温度随所用电极材料而不同。所用电极材料的沸点高则电弧温度亦高。例如在碳极电弧焊时，阴极区温度约为 3500°K ，阳极区温度约为 4100°K 。

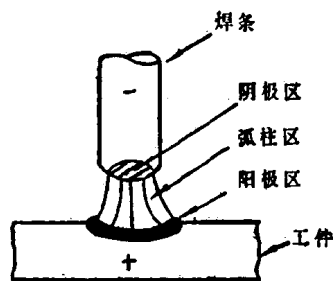


图 1—3 电弧结构

$^{\circ}\text{K}$ 。用钢焊条焊接时，阴极区温度约为 2400°K ，阳极区温度约为 2600°K 。弧柱区的温度一般不受电极材料的影响，而与弧柱区内的气体性质有关。因为弧柱区的能量主要由正离子与电子或负离子复合（或称中和）时释放出的能量转化而来的（这能量亦即原来使气体电离时所消耗的能量）。所以弧柱区的能量和温度与其中的气体的电离能力和电流大小有关。弧柱中气体介质越容易电离，气体电离时吸收的能量越少，在复合时，放出的能量也就越少，则弧柱中的能量和温度也越低。反之，气体介质越难电离，弧柱的能量和温度就越高。弧柱的温度高于阴极和阳极的温度，弧柱中心温度可达 $6000\sim 8000^{\circ}\text{K}$ 。由上所述，可见阳极区的温度高于阴极区。因此，在一般情况下，采用正接法，工件是阳极，温度

较高，可以提高生产率。但在使用低氢型焊条时，则需要用反接法，因为低氢型焊条用正接法容易出现气孔和断弧。

用交流电源时，因交流电的极性是变化的，也就不存在正接法与反接法，两电极温度是相等的。由于交流电的极性是变化的，因此，电弧的稳定性不及直流。

3. 电弧的特性

电弧焊时，电弧起着把电能转变为热能的作用，因此它是焊接回路中的一个负载。在这一点上它与普通电阻是相似的。但由于电弧的导电机理与电阻不同，所以其特性却不同。当电流通过电阻时，电阻两端便产生电压降，电压降与通过的电流值成正比，如图 1—4 虚线 2 所示，而且其比值基本不变（即服从于欧姆定律 $U=IR$ ），在电阻的阻值为一定时要增大通过电阻的电流，则必须提高电阻两端的电压，相反亦然。虚线 2 即为电阻的静特性曲线。但电弧则不同，电弧两端的电压降与通过电弧的电流值并不成正比，而且其比值是随电流值的不同而变化的，其变化情况如图 1—4 曲线 1 所示。可以这样来理解曲线 1，即只有满足曲线 1 所示的电流、电压关系，电弧才能稳定燃烧。如图 1—4 电流在 I_1 时只有电压为 V_1 下电弧是稳定燃烧的，电压低于或超出 V_1 ，电弧都不能稳定燃烧。同

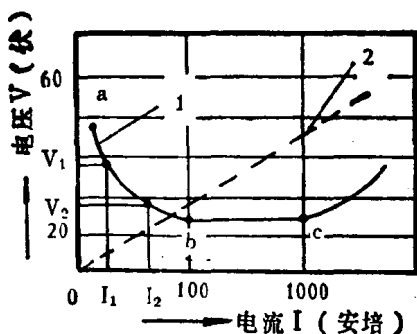


图 1—4

样电流为 I_2 时电弧也只能在电压为 V_2 时才是稳定燃烧的。

曲线 1 称为电弧的静特性曲线。从曲线 1 可以看出, 在电流较小时, 电弧电压是随电流的增加而降低的, 正如曲线 a—b 段所示。当电流超过 b 点并在 b—c 之间时, 电弧电压不随电流的变化而变化。当电流大于 c 点 (约 1000 安培左右) 时, 随着电流的增加, 电弧电压又上升。

通常手工电弧焊时, 电流大都在 b—c 范围内, 因此, 这时电流变化, 为维持电弧稳定燃烧的电压并不变化。

此外, 从实验中人们还发现电弧电压与电弧长度有关。在一定的电流值情况下, 电弧长度增加 (亦即焊条与工件间距离拉长), 保持电弧稳定燃烧的电压也升高。图 1—5 表

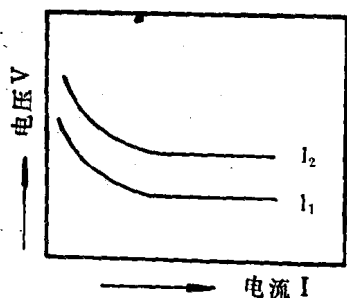


图 1—5

明了这种情况。图中 l 表示电弧长度, 电弧长度由 l_1 增长至 l_2 时, 整条电弧静特性曲线上升。因此, 可以想象, 在焊接时电弧长度不可避免地会发生变化, 因而电弧两端电压也会产生少量的变化。了解电弧的静特性对分析焊接过程中的一些问题

及理解焊接设备的结构、原理, 埋弧自动焊原理等方面都有一定的帮助。

(二) 对电源的要求

由于电弧具有上述的特点, 操作时是以短路的方式来引

燃的；而且焊接过程中也不可避免地会出现断弧及重新引弧的情况；操作时电弧长度也会发生变化，因此在焊接过程中要获得稳定的电弧，对电源就提出了一些特定的要求。一般供电电网的电源特性不能满足电弧特性的要求，故不能直接用作焊接电弧的电源。通常是利用电焊机改变其特性后才能作为电弧焊的电源。因为一般用电，如照明用电、电力拖动等，要求在负载变化（即输出电流变化）时，输出电压保持不变，即如图1—6所示具有平的外特性（直线A）。今若以斜线1表示某电阻 R_1 的静特性，它与直线A交于点1，根据欧姆定律，这时通过电阻的电流为

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

这时电源供给电阻的电功率为

$$P_1 = V_1 \times I_1$$

当电阻改为 R_2 ，则其静特性曲线与电压外特性曲线交于点2，此时通过电阻 R_2 的电流为

$$I_2 = \frac{V_1}{R_2}$$

通过电阻的电功率为

$$P_2 = V_1 \times I_2$$

假如电源的外特性不是平特性，而是如图1—6上虚线B所示，是下降的（即电流增大时电源电压比原来低）。那么电阻 R_2 的静特性曲线与虚线B交于点2'，此时通过电阻

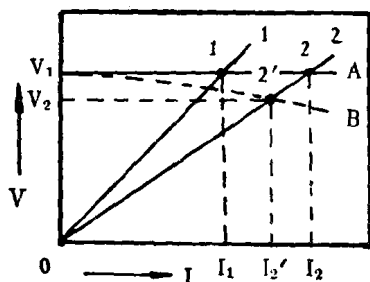


图1—6

的电流为 I_2' ，电源供给电阻的电功率为 $P_2' = V_2 \times I_2'$ 。

显然， V_2 小于 V_1 ， I_2' 小于 I_2 ， P_2' 当然也小于 P_2 。这就是说这时电源不能按原来设想那样的电功率提供给电阻。举个简单的例子来说明，如果原来线路中接有一只40瓦灯泡并发出一定的亮度，如果接上十只这样的灯泡，由于电源的外特性是下降的，那么所有这十只灯泡的亮度都降低。所以作为一般用电的电源希望具有平的外特性。

但是，具有平特性的电源却不能满足手工电弧焊时保持电弧稳定燃烧的要求。这一点可作如下的分析。如图1—7

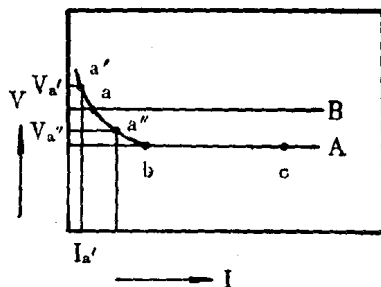


图 1—7

所示，具有平特性A的电源，看起来在焊接电流 $b-c$ 范围内与图上所示电弧静特性曲线所要求的电弧电压与电流相一致，但在开始时由于电源电压低于电弧要求的电压，不能引燃电弧。另外，从具有平特性的电源B

来看，它与静特性曲线相交于 a 点，但电弧并不能在此点稳定燃烧。因为，当电弧导电情况略有变化时，譬如电弧电阻增大，电流减小到 I_a' 。这时，根据电弧静特性要求，电源应供给电弧以电压 V_a' ，才能保证电弧稳定燃烧。但这时电源电压低于电弧要求的电压，迫使电流向减小方向发展，而这样则将导致电源电压相应更低于电弧要求的电压（因电流减小， a 点左方静特性曲线更向上翘），电弧将趋向熄灭。反之，假设电弧已在 a 点引燃，若电弧因某种原因（例如其电阻变小）电流增大，按其静特性曲线，电弧应在 a'' 点

稳定燃烧，其相应要求的电压为 V_a' ，但此时电源电压高于电弧要求的电压，迫使电流进一步增大，同样，电弧也不能稳定燃烧。

如果电源具有如图 1—8 所示的所谓陡降外特性，则能满足电弧稳定燃烧的要求。所谓陡降的外特性，即电源的电压与电流关系如图 1—8 曲线所示，随着电流的增大其电压

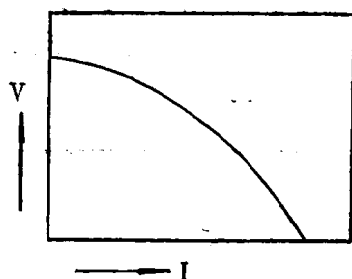


图 1—8

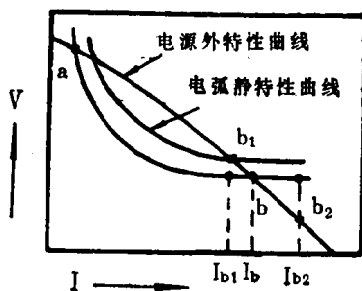


图 1—9

很快地下降。这样，如图 1—9 所示，电源外特性曲线与电弧静特性曲线相交于 a 、 b 两点。在 a 点电弧并不能稳定燃烧，这已在上面作了分析。但交点 b 却是电弧稳定燃烧点。因为如果有任何原因促使电弧偏离 b 点时，它都能自动回复到 b 点。现分析如下：若电流由 I_b 减小到 I_{b1} ，这时电源电压高于电弧要求的电压，它将促使电流增加而回复到 b 点。若电流由 I_b 增加到 I_{b2} ，这时电源电压低于电弧要求电压，它将促使电流减小而回复到 b 点，所以 b 点是电弧稳定燃烧点。

当电弧长度变化时，譬如电弧长度增加时，已如前述，电弧静特性曲线上移（亦即在同样电流下，要保持电弧稳定燃烧需要较高的电压），但静特性曲线仍与电源外特性相交，并能在相应的 b_1 点稳定燃烧。

由此可见，手工电弧焊的电源必须具有陡降的外特性。

焊接电流的大小，可以通过改变焊机的外特性曲线来实现。图 1—10 (A) 中在同样电弧长度下，电源外特性由 A 改为 B，则焊接电流由 I_A 增大至 I_B 。另外，由图 1—10 (B) 可以看出，当电弧长度变化时，焊接电流是发生变化的。外特性为 A 情况下，当电弧长度由 l_1 增加到 l_2 ，其电流变化值为 ΔI_A 。外特性为 B 的电源，电弧长度由 l_1 增大至 l_2 时其电流变化值为 ΔI_B 。显然，用外特性较陡的电源 A 时，弧长变化而引起的电流变化较小，即电流较稳定。

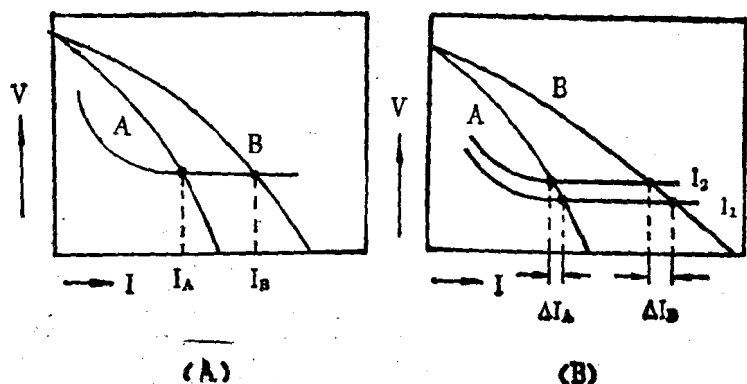


图 1—10

在手工电弧焊电焊机的产品说明书中，均提供该机的外特性曲线。

综合起来，手工电弧焊时对电源的要求是：

①能提供足够的引弧电压及燃弧电压（即空载电压及工作电压）。一般空载电压，直流为40伏以上，交流为55伏以上。电源应具有陡降的外特性。

②短路时电流不能太大。

③焊接过程中，电弧长度经常发生变化，要保持电弧稳定燃烧，电压必须相应地变化。而且变化要灵敏。

④电流大小应能在一定范围内调节，但在规定电流值焊接时，其电流变化要小。

由于一般电源不能满足电弧稳定燃烧的要求，因此交流电弧焊时，是利用焊接变压器改变其特性并满足上述要求；直流电弧焊时，则利用一特殊的直流发电机或整流器来供电。