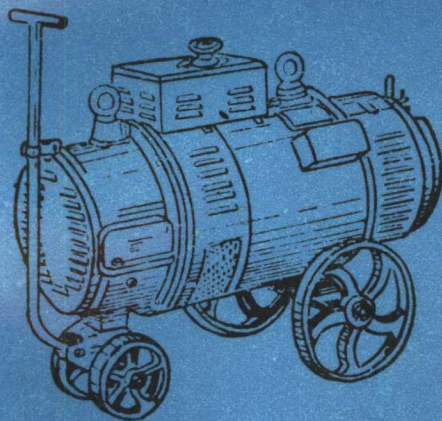


全国“星火计划”丛书

手工电弧焊技术

杜国华 编著



机械工业出版社



全国“星火计划”丛书

手工电弧焊技术

杜国华 编著

机械工业出版社

(京) 新登字054号

本书针对农村焊工大多来自农村知识青年, 缺乏焊工基础理论知识和操作技能的系统的培训, 参照初、中级焊工应知、应会的要求编写。全书分基础理论知识和焊接工艺实践两方面内容, 共九章。理论部分的叙述力求深入浅出, 操作技术的介绍密切结合生产实际。书中着重阐述了钢和铸铁的手工电弧焊技术, 目的在于使焊工通过对本书的学习, 初步掌握焊接理论和一定的操作技能, 对已具备初级水平的焊工, 也能从中得到进一步提高。

书中最后摘录了有关焊接专业新标准, 便于查找使用。

本书可供乡镇企业、厂矿企业焊工培训之用, 也可作为技工学校师生及有关技术人员的参考读物。

手工电弧焊技术

杜国华 编著

*

责任编辑: 俞逢英 版式设计: 冉晓华

封面设计: 方 芬 责任校对: 熊天荣

责任印制: 路 琳

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码: 100037

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

北京市房山区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $9^{3/4}$ · 字数 213 千字

1993年3月北京第1版·1993年3月北京第1次印刷

印数 00,001—05,350 · 定价 7.40元

*

ISBN 7-111-03303-5/TG·722

《全国“星火计划”丛书》编委会

主任委员

杨 浚

副主任委员 (以姓氏笔划为序)

卢鸣谷 罗见龙 徐 简

委 员 (以姓氏笔划为序)

王晓方	向华明	米景九	应曰珪
张志强	张崇高	金耀明	赵汝霖
俞福良	柴淑敏	徐 骏	高承增

序

经党中央、国务院批准实施的“星火计划”，其目的是把科学技术引向农村，以振兴农村经济，促进农村经济结构的改革，意义深远。

实施“星火计划”的目标之一是，在农村知识青年中培训一批技术骨干和乡镇企业骨干，使之掌握一、二门先进的适用技术或基本的乡镇企业管理知识。为此，亟需出版《“星火计划”丛书》，以保证教学质量。

中国出版工作者协会科技出版工作委员会主动提出愿意组织全国各科技出版社共同协作出版《“星火计划”丛书》，为星火计划”服务。据此，国家科委决定委托中国出版工作者协会科技出版工作委员会组织出版《全国“星火计划”丛书》，并要求出版物科学性、针对性强，覆盖面广，理论联系实际，文字通俗易懂。

愿《全国“星火计划”丛书》的出版能促进科技的“星火”在广大农村逐渐形成“燎原”之势。同时，我们也希望广大读者对《全国“星火计划”丛书》的不足之处乃至缺点、错误提出批评和建议，以便不断改进提高。

《全国“星火计划”丛书》编委会

1987年4月28日

目 录

序

引言	1
----------	---

第一章 电弧及电弧焊接原理	3
---------------------	---

一、焊接电弧	3
--------------	---

二、手工电弧焊原理	13
-----------------	----

三、钢的焊接性及其评定方法	28
---------------------	----

第二章 焊缝、焊接接头和焊接坡口	38
------------------------	----

一、焊缝和焊接接头	38
-----------------	----

二、焊接坡口	53
--------------	----

第三章 焊接用钢和焊条	63
-------------------	----

一、焊接用钢	63
--------------	----

二、焊条	92
------------	----

第四章 焊接设备	106
----------------	-----

一、手工电弧焊电源概述	106
-------------------	-----

二、交流弧焊电源	114
----------------	-----

三、直流弧焊电源	116
----------------	-----

四、整流弧焊电源	119
----------------	-----

第五章 焊接应力与变形	123
-------------------	-----

一、焊接应力与变形的概念	123
--------------------	-----

二、焊接变形	128
--------------	-----

三、焊接应力	148
--------------	-----

第六章 手工电弧焊的工艺及操作技术	155
-------------------------	-----

一、焊接工艺	155
--------------	-----

VI

二、基本操作要领	165
三、钢板的焊接	178
四、管子的焊接	199
五、手工电弧焊安全技术	209
第七章 常用钢材的焊接	215
一、碳素钢的焊接	215
二、低合金钢的焊接	218
三、不锈钢的焊接	234
四、异种钢的焊接	244
第八章 铸铁焊补	251
一、铸铁的一般知识	251
二、铸铁的焊补工艺	255
第九章 焊接缺陷和焊接检验	265
一、焊接缺陷的产生原因及其危害	265
二、焊接缺陷的检验	273
三、焊接缺陷的预防和返修	285
附录	292
附录 A 国际通用化学元素符号表	292
附录 B 与手工电弧焊有关的焊接标准名称摘录	293
附录 C 焊条新旧型号对照表	295
主要参考文献	303

引 言

在熔焊、压焊和钎焊三大领域中，以熔焊的应用面最广，而在熔焊诸分支中又以电弧焊占压倒优势。

虽然从青铜时代起就有了焊接方法的应用，但焊接介入现代工业，实际上只是从氧-乙炔气焊、碳弧焊和金属极电弧焊诞生以后才开始的。自从1882年发明碳弧焊以来，弧焊方法还仅仅经历了百年历史，而弧焊开始替代气焊，实际上应归功于本世纪30年代使用厚药涂料焊条的手工电弧焊方法的兴起。尽管半个世纪以来弧焊方法已经有了很大的发展，埋弧焊、气体保护焊、等离子弧焊和各种高能焊方法相继出现，但手工电弧焊依然而且仍将保持其在焊接领域里举足轻重的地位。尤其在钢铁材料的焊接上，呈手工电弧焊与气体保护焊、埋弧焊三足鼎立的局面，在很长时期内仍将继续。

涂料焊条手工电弧焊，由于其适应性——可适用于绝大多数可焊金属材料的焊接；灵活性——可进行各种厚度、各种位置和各种形状焊缝的焊接；设备简单，投资费用少；焊接质量可以保证等优点，因此问世至今，一直是焊接领域中应用最广的焊接方法。在我国的焊工中，手工电弧焊工几乎占到90%以上。尤其是大量中小企业和遍布神州大地的无数乡镇企业的焊接加工，几乎都是清一色的手工电弧焊。提高他们的焊接技术不仅有助于产品质量的改进和生产成本的降低，而且对整个国民经济的发展都有一定的作用。

与具有复杂功能的机械化、自动化焊接方法不同，手工电弧焊操作在更大程度上是一种“手艺”，要求工人有更高

的操作技能。衡量手工电弧焊技术的高低，除了一定的基础知识以外，在很大程度上是“手艺”的优劣，而不是设备的先进程度。正如书法家可以用一支普通小学生习字用的毛笔写出一手好字一样，一个技术熟练的优秀手弧焊工也可以用一台普通手弧焊机焊出相当漂亮的焊缝来。但正因为是“手艺”，就会有一定的“诀窍”，掌握“诀窍”有助于技术的迅速提高。这些“诀窍”既来自优秀焊工的经验总结，也可以说是理论与实践结合的必然产物。本书所企望于广大读者的，就是在消化必要理论知识的基础上去掌握这些“诀窍”，然后举一反三，熟练运用，必能收到事半功倍之效。当然，要掌握诀窍，重要的莫过于实践。

第一章 电弧及电弧焊接原理

一、焊 接 电 弧

(一) 焊接电弧的产生及其主要特性

1. 焊接电弧的产生

在正常情况下，空气或其它气体并不导电，即电流不能通过空气或其它气体传送。这是由于组成气体介质的分子或原子都是中性的，不存在带电质点。但如果能使气体介质中的分子或原子电离成离子和电子，就具备了导电的条件。这时，在一定的电场力作用下，带电粒子不断向两极运动，在气体介质中就会有电流流过。气体电离的现象产生电弧，气体电弧是一种自持气体放电。放电过程通常伴随有声、光、热产生。

焊接电弧是金属或碳电极与焊件之间产生的一种强烈气体放电现象。电弧的温度高、热量集中，足以熔化所有金属，因此是一种理想的焊接热源。

当焊条头部的金属焊芯与焊件表面接触时，由于接触面不是绝对平坦的，只有个别凸出部分真正接触，大部分表面仍呈分离状态。因此从微观意义上说，只是点接触，而非面接触。当电流通过这些接触点时，由于接触面积甚小，使通过这些接触点的电流密度很大，从而产生大量的电阻热，使这些接触点迅速熔化，甚至汽化、蒸发，造成自由电子大量从阴极发射，并在电场作用下高速向阳极运动。自由电子在高速运动过程中碰撞电极空间气体介质的中性原子或分子，

使之电离成离子和电子，产生气体放电现象。由阴极发射的自由电子和气体电离后产生的电子、阳离子、少量阴离子在电场作用下各自向两极运动，于是就形成了焊接电弧。图 1-1 为手工电弧焊时电弧的形成过程。

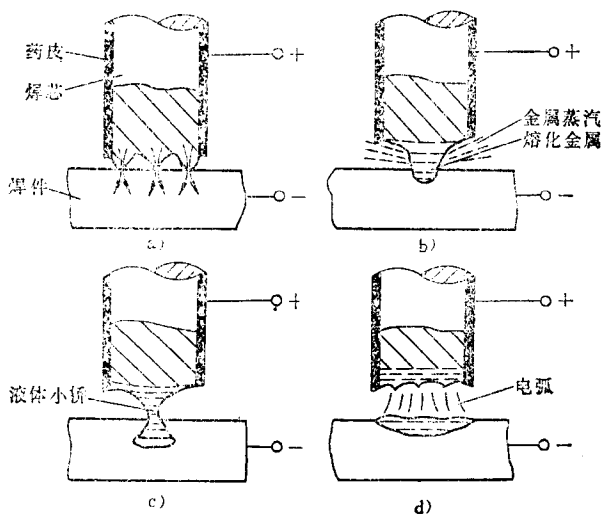


图1-1 手工电弧焊时电弧的形成过程

a) 焊芯与焊件接触 b) 接触处金属局部熔化、蒸发 c) 在电磁力作用下形成液体小桥 d) 小桥收缩爆裂后形成电弧

2. 焊接电弧的特性

(1) 焊接电弧的稳定性 焊接电弧引燃后，要求在一定的弧长范围内，维持稳定燃烧，而不是偏吹、摇摆、乍引乍熄，否则就不能进行正常焊接。

焊接电弧的稳定性，除焊工技能因素以外，尚取决于焊

接电源的种类和极性，焊条药皮成分，气流特点，磁偏吹和焊接处存在异物等因素。一般说来用直流电源比交流电源稳定；直流反接比直流正接稳定；焊条药皮中含低电离电位的物质越多越稳定；焊机的空载电压越高越稳定；环境气流流速越小越稳定；焊接处的铁锈、氧化皮、油污、水分等异物越少越稳定；电弧磁偏吹越小越稳定。

(2) 焊接电弧的刚直性 焊接电弧的刚直性又称电弧刚性或挺度。在正常工作情况下，焊接电弧的轴线应沿着焊条中心线方向，不管焊条与焊件之间的角度如何。焊接电弧的这种性质有助于控制焊缝成形，适宜于各种形状和位置的焊件的焊接。焊接电弧的刚性越好，即在一定弧长条件下，电弧轴线与焊条轴线越能保持一致，则越有利于焊工的操作。在一般情况下，电弧的刚性与焊接电流大小、焊条周围冷气流的流速以及药皮所产生的保护气体的性质和多少有关。焊接电流越大、弧长越短、焊条周围冷气流的流速越大、药皮所产生的象 CO_2 这样的保护气体量越多，则焊接电弧的刚性就越好。反之亦然。

(3) 焊接电弧的静特性 焊接电弧作为焊接回路中的一个负载，与普通电阻性电路不同。普通电阻性电路，由于假设电阻为一固定不变的

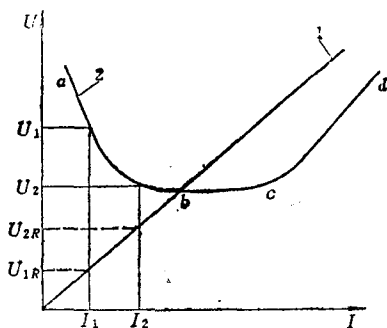


图1-2 焊接电弧的静特性曲线
1—电阻静特性曲线 2—电弧静特性曲线

常数,因此在理论上服从欧姆定律,即电阻两端的电压降与通过电阻的电流值成线性(正比)关系,如图1-2所示。由于焊接电弧的电阻大小与电弧温度相关,后者的大小又取决于焊接电流的变化,故随着焊接电流的改变,电弧电阻将相应地改变。因而电弧两端的电压降与电弧电流不成线性关系,而是形成如图1-2所示的特定形状的曲线,这种曲线称为焊接电弧的静特性曲线。

电弧静特性曲线的物理意义如下:

1) 电弧静特性曲线是一条底部平坦的U形曲线,可以分成三个区域: ab 、 bc 及 cd 。 ab 段曲线呈下降趋势,表明在焊接电流较小时,电弧电压是随焊接电流的增加而降低的。 bc 段是接近于平行横坐标的直线,表明在一定焊接电流范围内,电弧电压将不随焊接电流的变化而变化。由于手工电弧焊所使用的焊接电流几乎都在 bc 段的范围以内,故电弧静特性曲线的这一性质有着重要的现实意义。 cd 段曲线呈上升趋势,表明在焊接电流进一步增加时,维持电弧稳定燃烧的电弧电压也将随焊接电流的增加而增加。

2) 电弧电压与电弧长度密切相关。在焊接电流一定时,弧长的增加或减小,都将使保持电弧稳定燃烧的电弧电压发生相应变化。弧长增加时,电弧电压增加,反之亦然。图1-2、图1-3表明,当弧长由 l_1 增长为 l_2 时,电弧电压即由 U_1 增加至 U_2 。在曲线的 bc 段,弧长改变时,电弧的静特性曲线只作相对于横坐标的平行移动。由此可见,手工电弧焊时在一定的电流范围内,弧长的稍稍变动(例如在2~5mm范围内)并不会影响电流的改变。尽管实际操作时,不论是焊工的技能因素,还是焊件的位置或不平度因素,以及运条时摆动和跟踪熔池的要求,都会时时改变弧长。但根据电弧静特性曲线这

一特性,却有可能维持要求的电流不变,这对手工电弧焊操作显然是十分有利的。

(二) 焊接电弧的热量分布

1. 焊接电弧的组成

焊接电弧由阴极区、弧柱区和阳极区三部分组成。在靠近阴极和阳极处,各有一个明亮的斑点,分别称为阴极斑点和阳极斑点。阴极斑点集中向弧柱和阳极方向发射电子流,对维持电弧稳定燃烧具有重要意义,但其尺寸很小,厚度极薄,只有 10^{-5}cm 数量级。

阴极温度的高低主要取决于所选用的电极材料和所能达到的电流密度,但一般都低于阴极材料的沸点温度。阳极斑点是由电子对阳极表面撞击而形成的,其尺寸略大于阴极斑点。由于阳极能量只消耗于材料的熔化和蒸发,而不需要消耗发射电子的能量,因此当阴、阳极使用相同材料时,阳极区的温度比阴极区略高。弧柱区

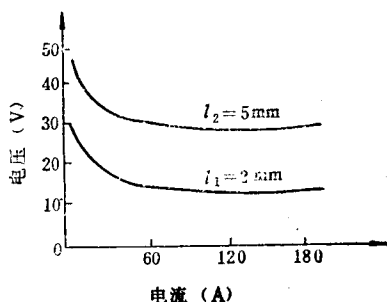


图1-3 弧长变化对电弧静特性曲线的影响

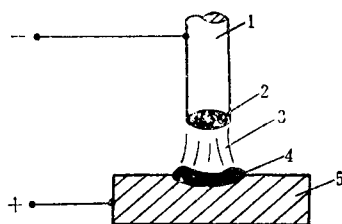


图1-4 焊接电弧的组成示意图

1—焊条 2—阴极区 3—弧柱

4—阳极区 5—焊件

处于阴极区和阳极区之间。与阴极区和阳极区相比较，弧柱区的长度要大得多，因此弧柱区的长度可以近似地看成电弧的长度。弧柱的温度由于不受材料沸点的限制，因此通常都比两极区为高，但要受电弧电流和放电气体种类的影响。图1-4是电弧各部分组成的示意图。

2. 焊接电弧的温度和热量分布

焊接电弧各区域的温度和热量分布是不相同的，以弧柱中心为最高，可达到6000~8000K，阳极区次之，阴极区最低。随所使用电极材料的不同，阳极区和阴极区所能达到的温度也不同。表1-1为不同电极材料的阳极区和阴极区所能达到的温度。

表1-1 不同电极材料的阳极区和阴极区温度 (K)

电极材料	材料沸点	阴极区温度	阳极区温度
碳	4640	3500	4100
铁	3271	2400	2600
铜	2580	2200	2450
钨	3173	2370	2450
钼	6200	3000	4250

注：阴极和阳极为同种材料，电弧中气体介质为空气。

弧柱中心的温度虽然最高，但由于弧柱区带电质点的密度和气体介质的电离度沿径向分布并不均匀，因此弧柱区温度从中心向四周呈陡降状态，使弧柱区提供的热量仅占电弧总热量约21%。弧柱区沿电弧轴线方向的温度分布则是均匀的。阴极区和阳极区的热量分布，据测算分别占电弧总热量的36%和43%，为电弧焊的主要热量来源。其中阴极区的热量

主要来自正离子撞入时所释放出来的能量，而阳极区的热量主要来自自由电子撞入时所释放出来的能量。

以上是用直流电施焊时的情况。若用交流电施焊，由于电源的极性以 50Hz 的频率作周期性地改变，故两电极区域的温度和热量分布趋于一致，可近似地看作直流施焊时阴极区和阳极区两者的平均值。

（三）焊接电弧的极性和电弧偏吹

1. 焊接电弧的极性

极性就是进行直流电弧焊或电弧切割时，焊件与电源输出端正、负极的接法。焊件接电源正极，电极（指焊条、焊丝或钨极）接电源负极的接法，称为正接，也称正极性。焊件接电源负极，电极接电源正极的接法，称为反接，也称反极性。正接和反接的具体接线方法如图1-5所示。用交流电施焊或切割时，由于正、负极在焊件与电极间作周期性地交替改变，因此不存在极性問題。

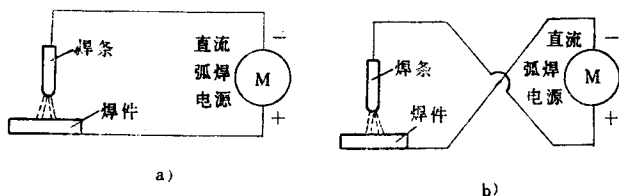


图1-5 焊接电弧的极性

a) 正极性 b) 反极性

2. 极性的应用和鉴别

（1）极性的应用 电弧的极性对焊接和切割有着重要意义。手工电弧焊和碳弧气刨时，由于电焊条或碳棒和被焊或被刨削工件分别作为焊接电弧的两个极，而两极的温度和

热量在直流电弧中是不相同的，阳极区温度和热量明显高于阴极区，因此，焊件和焊条或碳棒接到正极或负极的效果是有区别的。采用酸性焊条手工电弧焊时，厚度较大的焊件宜采用正极性接法，以增加熔深；厚度较小的焊件宜采用反极性接法，以避免烧穿。用手工电弧焊进行堆焊时，为增加焊条的熔敷速度以及降低母材对堆焊层的稀释率，也应采用反接。采用碱性低氢焊条手工电弧焊时，则必须使用反极性接法。这是因为正接时从熔池方向射来的正离子流将阻碍熔滴过渡，造成飞溅增加和引起电弧不稳定。采用反接法还可促使熔池表面的氢离子与电子中和形成氢原子，以减少氢气孔量。采用交流电源焊接时，酸性焊条可获得的熔深介于直流正接和反接之间。碱性低氢焊条只有在药皮中添加一定量的低电离电位物质以增加电弧稳定性后，方可用于交流电源施焊。

碳弧气刨时，采用反接法可以增加被电弧熔化金属的含碳量[⊖]，从而降低熔融金属的凝固温度，改善流动性，使刨削过程得以稳定进行，得到的刨槽均匀光洁。正接时效果适得其反，往往使刨削不能正常进行。

(2) 极性的鉴别 常用三种方法鉴别焊接电弧的极性：

1) 电压表鉴定法 用直流电压表的正负极分别跨接焊机出线端的两极，若电压表指针反转，则表示焊机出线端的极性与电压表指示的极性相反，否则就表示与电压表指示的极性相同。

2) 盐水鉴别法 将连接焊机出线端的两根导线的一头浸入盐水中（注意勿使两导线短路），通电后，产生气泡较

⊖ 据测定，正接时熔化金属的含碳量为0.38%，反接时能达到1.44%。