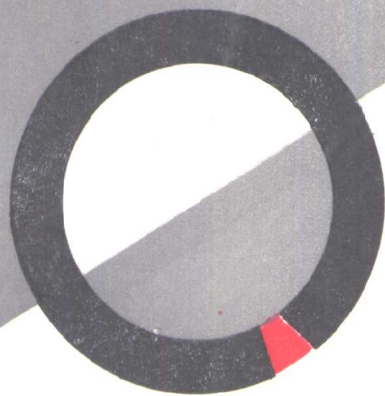


金属管焊接

董定元 苏学仕 编著



机械工业出版社

金属管焊接

董定元 苏学仕 编著



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书依据国内实际生产经验和试验研究成果,以中、小直径的金属管或管件的环缝焊接为主,阐述了金属管的各种熔焊和压焊工艺方法和使用设备,介绍了有关各种材料的金属管和管件的熔焊工艺和实例。同时,也简单地介绍了金属管焊接接头质量分析和质量检验方法。

本书可供工矿企业从事金属管和管件焊接的工人与工程技术人员参考之用。

金属管焊接

董定元 苏学仕 编著

责任编辑:俞逢英 责任校对:韩 晶

封面设计:方 芬 版式设计:冉晓华

责任印制:卢子祥

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

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 $9^{3/8}$ ·字数206千字

1992年月2北京第1版·1992年2月北京第1次印刷

印数 00,001—6,000·定价:5.60元

ISBN 7-111-02248-3/TG·578

前 言

国民经济各部门以及国防、城市建设、居民生活等都离不开钢管，如输线管、锅炉管、石油管、电线管、各种导管、水管、煤气管和机械结构用管等。随着经济的发展，钢管的使用量越来越大。

钢管分无缝和有缝两种，有缝钢管又称电焊管。钢管的材质，除普通碳钢外，还有低合金钢、合金钢、不锈钢和有色金属等，通常将所有材质的钢管统称为金属管。

有些部门使用的金属管性能要求较高。如石油、天然气及化工部门输送原油、天然气的管线输送管，要求直径较大，管壁较薄，强度较高；油井用管，包括油管、套管和钻杆等，要求具有很高的屈服强度、耐硫化氢腐蚀和耐冲压等；化工用管，要求耐高、低温，耐高、低压和耐各种介质腐蚀。又如电站、锅炉用管，包括蒸汽发生器管、过热蒸汽管、水管、烟管、空气预热器管和加热器管等，要求用小直径厚壁管，内径要均匀光滑，并具有优良的常温和高温特性以及高度的可靠性，特别是核能发电站用各种钢管，一般除上述基本要求外，还要求耐腐蚀、耐冲击、耐放射脆化和保持组织的稳定性。再如航空、航天工业所用各类导管，要求管径小、管壁薄、强度高，耐高、低温，耐腐蚀，耐冲击以及具有高度的气密和可靠性，主要使用无缝管。

一般使用性能要求较低的有机制造和建筑结构用管，如汽车、自行车各种管件，建筑用建造钢管桩，输电塔、脚

手架、运动场、体育器械以及民用钢木家具等用钢管，通常都采用电焊管。

应当指出，随着国民经济的发展，钢材的产量也会逐渐增长，而钢管占全部钢材的比例也会越来越大，其中电焊管在全部钢管中所占比例也随之增大，例如，1978年我国钢管占全部钢材的比例为5%，而电焊管占全部钢管的比例为45%左右，可见电焊管生产的重要性。

随着焊接技术的进步，电焊管，特别是中、小直径的电焊管，已使用到重要的锅炉制造工业中。据资料报道，美国在50年代末，全部锅炉管的一半多已改用电焊管，英国1951年前后开始在船用锅炉上做锅炉管和过热蒸汽管使用，联邦德国交通部和保险协会从1968年开始批准使用电焊锅炉管。电焊管的生产将随着工业和技术的发展而有很大的增长趋势。

综上所述，金属管在国民经济各部门中占有十分重要的地位，因此，金属管的焊接和接头质量也占有十分重要的地位。由于电焊管属于专门制造业，其焊接方法在所有国内外电焊管制造专著中都有详尽介绍，该类专著已出版不少，因此，本书不作过多论述。

本书依据国内研究试验成果和实际生产经验，以手工电弧焊和气体保护焊方法为重点，结合中、小直径金属管的环缝焊接，介绍有关金属管熔焊、压焊法的基本原理、特点、设备，各种材料金属管的焊接实例、质量分析和接头质量检验。

由于本书编著实践领域局限，技术水平不高，在编著过程中，某些错误在所难免，敬请读者指正！

本书由清华大学龚国尚副教授审稿，由首都机械厂程世

杰同志绘图，为此付出了辛勤的劳动。此外，在编写过程中，有些同志为我们提供了宝贵资料，给了我们有益的帮助，在此一并致谢！

编者1990年11月

目 录

前言

第一章 金属管的熔焊	1
一、金属管手工电弧焊	1
二、金属管气焊	33
三、金属管CO ₂ 气体保护焊	45
四、金属管氩弧焊	56
五、金属管等离子弧焊	95
六、金属管道埋弧焊	119
第二章 金属管的压焊	137
一、金属管电阻和闪光对焊	137
二、金属管摩擦焊	149
三、金属管高频接触和感应焊	167
四、金属管磁控旋转电弧对焊	180
第三章 各种金属材料管的熔焊	193
一、碳钢管的焊接	193
二、普通低合金钢管的焊接	199
三、珠光体耐热钢管的焊接	207
四、热强钢管的焊接	214
五、不锈钢管的焊接	220
六、铝和铝合金管的焊接	227
七、铜和铜合金管的焊接	236
八、钛和钛合金管的焊接	243
九、锆和锆合金管的焊接	250
十、异种钢钢管的焊接	254
第四章 金属管焊接接头质量分析	261

一、金属管焊接接头常见缺陷.....	261
二、金属管焊接接头质量分析.....	266
三、缺陷的现场返修.....	276
第五章 金属管焊接接头质量检验	281
一、接头外形尺寸检查.....	281
二、致密性试验与水压试验.....	282
三、无损探伤.....	283
四、金属管焊接接头机械性能试验.....	291

第一章 金属管的熔焊

近年来，国内外科学技术发展很快，焊接作为各种金属联接的工艺方法之一，也不例外得到迅速发展。由于焊接工艺方法多种多样，因此金属管的焊接方法也多种多样。一般在生产实际的应用中，大直径管采用熔焊法，如埋弧焊， CO_2 气体保护焊，氩弧焊打底、手工电弧焊盖面焊，手工电弧焊等。电焊管采用埋弧焊、气体保护焊、压焊中的电阻焊、闪光焊和高频感应或接触焊等。中、小直径管大多采用气焊、手工电弧焊、氩弧焊、等离子弧焊以及旋弧焊、摩擦焊、电阻焊和闪光对焊等。对电焊螺旋管，大多采用埋弧焊、 CO_2 气体保护焊。最近几年也有研究单位试验应用等离子弧焊法，焊接电焊管的直缝和螺旋管。在长距离管道铺设中，所采用的主要焊接工艺方法是，用纤维素型焊条或碱性药皮焊条的手工电弧焊，以及半自动或全自动气体保护焊。

一、金属管手工电弧焊

手工电弧焊是指焊接电弧，在金属焊条和焊件母材之间的放电，并利用电弧热量使两者熔化而形成熔池，冷凝后形成接头的一种焊接方法。除采用躺焊和倚焊法外，金属焊条都是用手工操作，因此称手工电弧焊或简称手弧焊。

尽管国内外自动化焊接正在被推广和不断地提高，但对那些结构和位置复杂、需在现场安装施工的、短的焊缝等各种条件下的管道和管件，仍大量采用手工电弧焊的工艺方法

来完成的，这是由于手工电弧焊所使用的设备简单，操作方便灵活。因此，手工电弧焊是在国内外都是无法被代替的、焊接各种金属管的重要方法之一。

国内外焊接工作者对手工电弧焊的注意力，都放在焊接电源和焊条配方的改进上。发展和研究出多种弧焊电源和适合各种金属管专用的焊条，从而保证了各种条件下所使用的金属管的焊接质量。

1. 手工电弧焊基本原理和特点

手工电弧焊基本热源是焊接电弧。电阻热和药皮化学反应热所占热量很少，当电阻热过高时，将给焊接过程带来不利影响，因为电阻热是焊接电流通过焊条时产生的，过高的电阻热将使焊条药皮在进入熔化区前就发红、变质，甚至脱落，失去保护熔池和冶金作用，这在使用不锈钢焊条时尤为突出。药皮化学反应所产生的热量，一般情况下仅占全部热量的1%~3%，因此常被忽略不计。

电弧是气体放电的一种形式。焊接电弧是由焊接电源供给，在具有一定电压的两电极间或电极与焊件间，在气体介质中产生强烈而持久的放电现象。

产生焊接电弧的最简便方法是，将焊条与被焊件母材接触形成短路，然后迅速拉开，此时，在焊条与母材之间便产生电弧，如图1-1所示。

产生焊接电弧的原理

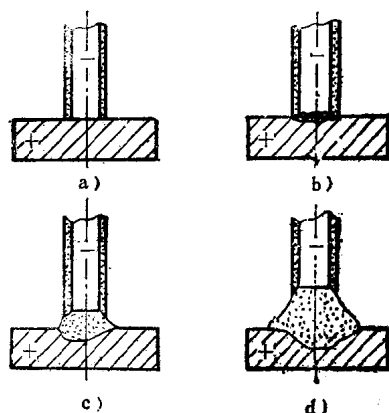


图1-1 焊接电弧起弧过程示意

是，当焊条与母材接触短路时，短路电流是很大的，而焊条与母材的接触面并非是理想的平面接触，其中，某些凸起点首先接触（图1-1 a），于是很大的短路电流集中在某些凸起处通过，在这些通过电流的凸起点上的电流密度很大，几乎在瞬间就将金属加热到熔化状态（图1-1 b），当焊条拉开时，熔融金属截面减小（图1-1 c），电流密度加大，熔化金属温度进一步升高，甚至汽化。当焊条离开焊件表面时，由于高温，阴极将产生强烈的电子热发射，而两极在焊接电源电压的作用下，还将发生强电场发射，电子热发射和强电场发射所产生的大量电子具有很大的动能，它碰撞极间中性气体原子或分子时，使气体发生电离而开始作电弧放电。

电弧分为阴极区、弧柱区和阳极区。弧柱区中心温度最高，可达 $5000\sim 30000\text{K}$ ，某些情况下可达 50000K 以上。阴极斑点温度达 $2200\sim 3500\text{K}$ ，阳极斑点温度达 $2450\sim 4240\text{K}$ 。电弧产生的热量加热熔化焊条金属和母材，使熔池凝固后成为手工电弧焊的焊缝。

焊接电弧的特点是维持电弧放电的电压较低，一般为 $10\sim 50\text{V}$ ，电弧中电流大，从几安到几千安。手工电弧焊方法的优点是设备简单，操作灵活方便。保证焊接质量，主要取决于弧焊电源、焊条质量、操作者技术熟练程度和工艺施工方法。

2. 金属管手工电弧焊设备

金属管手工电弧焊所用设备，包括焊接电源、软电缆和焊钳三部分和其它结构手工电弧焊所用设备基本相同。

（1）焊接电源 焊接电弧能否稳定地燃烧，是保证获得优质焊接接头的主要因素之一，在决定电弧稳定燃烧的各因素中，首要的因素是焊接电源。对弧焊电源的基本要求有

以下几点:

1) 要有适当的空载电压 空载电压对引弧和维持电弧燃烧都有重要作用。空载电压越高, 则加在焊条和焊件之间的电压越高, 电子势能越大, 越有利于阴极电子发射和气体电离, 因此电弧越易引燃, 越易维持电弧稳定燃烧, 但空载电压太高, 会对操作者产生触电危险。

根据我国国家标准规定, 目前生产的直流弧焊电源空载电压大多在 $40\sim 90\text{V}$ 之间, 交流弧焊电源空载电压在 $60\sim 85\text{V}$ 之间, 整流弧焊电源空载电压在 $55\sim 85\text{V}$ 之间。

2) 要有合适的外特性 具有陡降或下降外特性的电源, 不仅能保证电弧稳定地燃烧, 且能保证焊接短路时不会产生过大电流而将电源设备损坏, 因此手工电弧焊电源的外特性应选用陡降或下降外特性。其中, 短路电流一般规定为焊接电流的 $120\sim 130\%$, 最大不超过 150% 。

3) 要有良好的动特性 动特性是指焊接电源适应电弧变化的特性。动特性好坏可简单地反映出电源回路的感抗大小, 感抗过大或过小都会使电弧的引燃和稳定性变坏。

4) 要能灵活、可靠地调节焊接规范 焊接规范对手工电弧焊而言, 主要指焊接电流。电源要保证能灵活、可靠地调节焊接电流, 并保证一定的调节范围。一般弧焊电源能调节范围最大电流不得小于最小电流的 $4\sim 5$ 倍, 即可满足使用要求。

弧焊电源, 目前按结构形式分为旋转式直流弧焊发电机、交流弧焊变压器、整流式弧焊整流器三大类。每类又有多种型号、规格, 现简单列举如下。

旋转式直流弧焊发电机有如下产品: 裂极式的有AX-320、AX-320-1、AXD-320。换向式的有AX3-300、

AX3-300-1、AX4-300、AX4-300-1。差复励式的有AX-160、AX1-165、AX-250、AX-300、AX5-500等。适用野外无电源施工场地,可用柴(汽)油机驱动直流弧焊发电机,如AXC-320、AXC1-320、AXC1-400、AX7-400-1、AXQ1-160、AXQ2-2×250、AXQ7-250以及供野外土质松地区用AXT1-2×250、AXT7-2×250等。

交流弧焊变压器方面:动铁心式的有BX1-160、BX1-200、BX1-250、BX1-300、BX1-330、BX1-330-1、BX1-400、BX1-500,常用型为BX1-330;动圈式的有BX3-120、BX3-120-1、BX3-160、BX3-200、BX3-250、BX3-300、BX3-300-1、BX3-300-2、BX3-400、BX3-500、BX3-500-1、BX3-500-2等;手提抽头式的有BX-120、BX5-120、BX6-120、BX6-120-1、BX6-120-2、BX-200等。

整流弧焊机磁放大器式有的,无反馈式的ZXG7-500、ZXG7-300-1,内反馈式(部分)的ZXG-300、ZXG-400、ZXG-500;动铁或动圈式的有ZXG1-250、ZXG1-300、ZXG1-400、ZXG1-500、ZXG1-160、ZXG6-300-1;交直两用式的有ZXG3-300-1、ZXG9-150;高压引弧式的有ZXG12-165;硅闸管式的有ZDK-160、ZDK-250、ZX5-250、ZX5-400、ZDK-300、ZDK-500等。另外还有晶体管整流弧焊机。

为保证焊接管道根部焊透,不允许采用断续灭弧,以形成连续的焊缝时,可采用如图1-2所示的简单管道根部封底引弧装置。

图1-2中的引弧装置,只是在AX-320弧焊电源的励磁线圈上接两根引出线,一头接在手持面罩上的按钮开关上,另一头接在滑动调节器的中心线柱上。引弧时,手按按钮形成短路,焊机输出大电流,引弧后,松开按钮,焊机输出正常

电流值。例如， $\phi 2.5\text{mm}$ 的焊条，正常电流值为 $60\sim 65\text{A}$ ，选用引弧电流一般比焊接电流大 $30\sim 40\text{A}$ ，此时滑动调节器的中心线柱选在 $90\sim 105\text{A}$ 处。对引弧电流过大或过小都可随意选择接点。

此种引弧装置不仅能保证引弧可靠，且在更换焊条接头或封闭接头时，还能用大电流迅速熔穿焊缝的端部，保证充分熔合和接头的平整。封底用引弧装置还解决了实践中用小直径焊条封底时因电流小、引弧困难，尤其在中间接头和封闭接头时质量难以保证的问题。

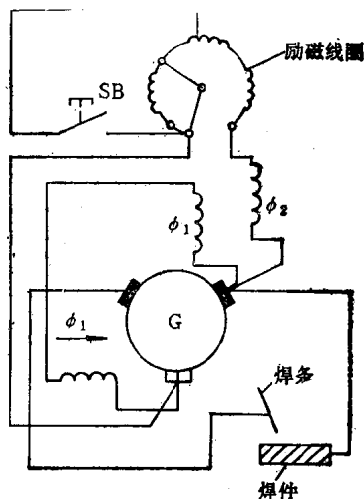


图1-2 封底用引弧装置

焊接金属管道和管件

时，手工电弧焊电源的选择，主要决定于金属管材料的性质、结构要求、焊条选用种类和直径、工厂现有条件等。如对有些金属管要求强度高、抗裂性要好、结构主要承受动载荷，要求用低氢型焊条时，一般宜选用直流弧焊电源。如焊接有些铝及铝合金的金属管时，最好选用交流弧焊变压器作电源。若确定了电源种类后，可再选用具体型号规格。

(2) 焊钳 焊钳的作用是夹持焊条和传导焊接电流。焊钳由上下钳口、弯臂、弹簧、直柄、胶木手柄和固定销等组成。要求焊钳的导电性好、重量轻、夹持焊条牢固以及换装焊条方便等。常用定型焊钳的型号有G352和G582两种。G352的技术条件是，允许安全电流为 300A ，连接焊接电缆孔径

为 $\phi 14\text{mm}$ ，适用焊条直径为 $\phi 2\sim 5\text{mm}$ ，重为 0.5kg 。G582分别为 500A 、孔径 $\phi 18\text{mm}$ 、焊条 $\phi 4\sim 8\text{mm}$ 和重 0.7kg 。

为工作方便，焊接工作者也可根据实际工作情况，自制经济、耐用、轻便的焊钳，如三叉式焊钳等。

(3) 电缆 焊接用电缆是为了传输焊接电流。因此，一般要选用足够的导线截面积、易弯曲、柔软性好、绝缘性和耐磨性都好的软性特制电缆。

焊接特制的软电缆有YHH型橡皮护套电缆和YHHR型特软电缆，它是用多股紫铜软线制成的。

选择焊接电缆的截面时，对 20m 以下长度的电缆，可选电流密度为 $4\sim 10\text{A}/\text{mm}^2$ 的进行核算。一般焊接电缆长度不宜过长，对要求很长的电缆其接头不超过2个，且宜在焊工操作部位 2m 左右处接截面较小的软电缆与焊钳相联，以便增加柔度和减轻电缆重量，降低焊工的劳动强度。

电缆导线截面与许用电流以及长度的关系见表1-1。

表1-1 导线截面与电流、长度的关系

导线长度(m) 截面 (mm²) 电流(A)		20	30	40	50	60	70	80	90	100
100		25	25	25	25	25	25	25	28	35
150		35	35	35	35	50	50	60	70	70
200		35	35	35	50	60	70	70	70	70
300		35	50	60	60	60	70	70	85	85
400		35	50	60	70	70	85	85	95	95
500		50	60	70	85	85	95	95	120	120
600		60	70	85	85	85	95	120	120	120

3. 金属管手工电弧焊用焊条

正确地选用焊条有助于金属管焊接过程中不产生气孔和

裂纹等缺陷，保证管子焊接接头的机械性能，满足或达到相应的特殊性能等指标要求，例如，对低、中、高温性能，特殊介质中抗腐蚀性能等要求。

焊条，包括国外进口的焊条，其种类繁多，它们有各自的性能和应用范围，选用是否恰当，对焊接质量、生产率和产品成本有直接影响，因此要特别注意正确地选用。一般要注意以下几点：

(1) 要根据母材金属的力学性能和化学成分进行选用。力学性能一般按母材与焊缝金属等强度来选择而不能选用高于母材金属强度来选焊条。对某些管材，有时选用焊接性好，但强度稍低的焊条焊接，并利用通过改变接头型式来达到满足焊缝强度的要求。对耐热钢和不锈钢焊条的选用，还应保证接头的特殊性能。对异种金属管子对接焊缝，选用焊条金属的化学成分时，原则上是保证对两种管材金属都有良好的焊接性和保证满足其中最低的母材金属强度要求。对含 C、S、P 元素较高的管材，应选用抗裂性、抗气孔性较强的焊条，例如，碱性焊条比酸性焊条抗裂性要好，氧化钛钙型焊条比钛铁矿型焊条的抗气孔性能强。

(2) 要考虑焊件的工作环境和使用情况。若管件承受动载荷或冲击载荷，对冲击韧性和延伸率有较高要求，则宜选用低氢型焊条。若管件应用在腐蚀介质中，应根据介质种类、浓度、温度和性质，选用不锈钢类的焊条。若管件在低温或高温条件下工作，应选用低温或高温下机械性能好的焊条。

(3) 要注意管件使用 and 性能特点及施工单位现有设备配备情况。对管路复杂、管壁厚、其应力大而复杂、易产生裂纹的管子，应选用抗裂性较好的焊条，有时还需配合应用

焊前预热和焊后热处理工序。某些管件受条件限制,不能转动,此时,应选用全位置型焊条。某些管件的焊接部位焊前无法清理干净或坡口处存在油、锈、氧化皮等污染物时,可选用对上述物质敏感性小的酸性焊条,以免产生气孔等。在无直流弧焊电源的施工现场,应选用交流或交、直流两用型焊条。若管件需焊前预热,焊后需热处理,而施工现场又无条件时,则选用特殊型焊条来弥补。

焊条方面的国家标准有GB5117—85《碳钢焊条》、GB5118—85《低合金钢焊条》、GB983—85《不锈钢焊条》等。焊条型号是根据熔敷金属的抗拉强度、药皮类型、焊接位置和焊接电源性质来划分碳钢和低合金钢焊条。根据所含C、Cr、Ni以及其它合金元素成分、药皮类型、焊接电源性质来划分不锈钢焊条的。

焊条表示方法、强度、化学成分等,详见上述国家标准。

对电站常用钢管焊接用焊条的选择,参见表1-2。

表1-2 电站常用钢管焊条的选择^①

钢管材料	20	15CrMo	12Cr1MoV	10CrMo 910	12Cr2Mo MVB (钢102)	12Cr3Mo VSiTiB (J11钢)
焊条型号	E5015 (结507) E4315 (结427)	E5515-132 (热307)	E5515-132 -V (热317)	E6015-B (热407)	E5515-B3 -VWB (热347)	E6015-B3 -VNB (热417)

① 焊条型号按GB5117—85、GB5118—85标准。

在采用管子下向焊工艺时,焊条应选用相应下向焊用焊条,例如结507下管焊条等。

下面介绍几种专用于管子焊接用焊条。

(1) 结420管焊条 焊条配方见表1-3。