

石油化工厂设备检修手册



焊 接

(第二版)

凌星中 编著

中国石化出版社

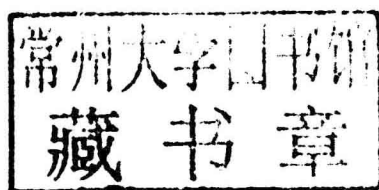
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石油化工厂设备检修手册

焊 接

(第二版)

凌星中 编著



中国石化出版社

内 容 提 要

本书为《石油化工厂设备检修手册》丛书中的焊接分册。全书共分三篇，第一篇介绍各种焊接方法；第二篇介绍不同焊接材料的焊接性能及焊接工艺；第三篇为焊接工程，除一般性介绍焊接结构学的基础知识外，重点介绍了各类常用石化设备，如球罐、反应器、储罐、复合板塔及特种管材的焊接。最后讲述焊接质量的管理如质量保证体系、焊工考试等内容。

书末附录收集了有关焊接各类标准的细目，便于读者检索，另外全文收集了若干常用的焊接资料，可供读者直接引用。

图书在版编目 (CIP) 数据

石油化工厂设备检修手册. 焊接 / 凌星中编著. —2 版.
—北京: 中国石化出版社, 2010. 12
ISBN 978-7-5114-0701-6

I. ①石… II. ①凌… III. ①石油化工-化工设备-检修-手册②焊接-石油化工-化工设备-检修-手册 IV. ①TE682-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 244202 号

未经本社书面授权，本书任何部分不得被复制、抄袭，或者以任何形式或任何方式传播。版权所有，侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 29.5 印张 741 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

定价: 80.00 元

出版说明

《石油化工厂设备检修手册》是在原《炼油厂设备检修手册》的基础上补充、修订、编写而成的。原手册共有五个分册，已于1980年前后陆续出版。廿年来，这套丛书为我国炼油工业的发展作出了应有的贡献，得到了现场工程技术人员的好评。

随着科学技术的飞速发展，我国的炼油工业技术水平不断提高，管理水平日趋完善；石油化学工业也犹如初升的太阳，在国家经济建设中占有越来越重要的地位。老装置的技术改造，新装置的建设 and 投产，以及各种技术条件、标准及规范的变化，对设备检修技术及管理水平提出了新的要求。因此，迫切需要重新组织编写一套设备检修丛书，这就是《石油化工厂设备检修手册》诞生的由来。

本手册以国家、部委颁发的最新规范、标准为准绳，密切联系生产实际、力求解决检修现场带有普遍性的问题，跟上检修技术不断发展的步伐。这次修订，增加了土建工程、防腐工程、吊装工程三个分册；并把转动设备和静止设备按类别划分为数个分册。同时，对原有各分册的内容也进行了充实，在原来以炼油厂设备检修为主线的基础上，注意增加了石油化工厂设备检修方面的内容。修订后的手册在具体内容上，更加贴近检修现场的实际情况。

修订后的《石油化工厂设备检修手册》的内容包括：基础数据、焊接、土建工程、防腐蚀工程、泵、压缩机组、容器、加热炉、换热器、工艺管线、吊装工程等若干个分册，将陆续组织出版。在组织编写过程中，得到了中国石油化工集团公司、中国石油天然气集团公司、中国石油大学等有关方面的大力支持，使手册得以顺利出版，特此表示感谢。

本书是炼油厂、石油化工厂、化工厂、建筑安装公司和检修公司等企业中从事石油化工设备检修、管理的工程技术人员和管理人员必不可少的工具书，也可供其他有关专业工程技术人员参考。

目 录

第一篇 焊接方法

第一章 焊接方法分类和选择	(1)
§ 1 焊接方法分类	(1)
§ 2 焊接方法的选择	(3)
第二章 焊条电弧焊	(5)
§ 1 原理和特点	(5)
§ 2 焊条电弧焊设备	(5)
§ 3 焊条	(8)
§ 4 焊接工艺	(9)
第三章 埋弧自动焊	(11)
§ 1 原理和特点	(11)
§ 2 弧焊电源及设备	(12)
§ 3 焊丝与焊剂	(14)
§ 4 焊接工艺	(17)
第四章 钨极惰性气体保护焊	(21)
§ 1 原理和特点	(21)
§ 2 弧焊电源及设备	(21)
§ 3 钨极和保护气体	(23)
§ 4 焊接工艺	(24)
第五章 熔化极气体保护电弧焊	(27)
§ 1 原理及特点	(27)
§ 2 弧焊电源及设备	(28)
§ 3 焊丝与保护气体	(29)
§ 4 焊接工艺	(30)
§ 5 熔化极气体保护电弧焊接新技术	(32)
第六章 等离子弧焊接和切割	(38)
§ 1 等离子弧焊接	(38)
§ 2 等离子弧切割	(41)
第七章 其他焊接方法	(44)
§ 1 气焊与气割	(44)
§ 2 电阻焊与高频焊	(44)
§ 3 钎焊	(45)
§ 4 电渣焊	(46)

§ 5 热喷涂	(46)
---------------	--------

第二篇 材料焊接

第八章 金属材料焊接性基础	(48)
§ 1 焊接冶金	(48)
§ 2 焊缝金属的凝固与组织转变	(53)
§ 3 焊接热影响区(HAZ – Heat Affected Zone)的组织转变	(55)
§ 4 焊接缺陷与质量检验	(58)
§ 5 焊接性试验方法	(62)
第九章 碳钢及合金结构钢的焊接	(71)
§ 1 碳素钢的焊接	(71)
§ 2 合金结构钢的焊接	(75)
第十章 不锈钢、耐热钢、异种钢及耐热耐蚀高合金钢的焊接	(108)
§ 1 不锈钢与耐热钢的焊接	(108)
§ 2 异种钢的焊接	(128)
§ 3 耐热耐蚀高合金的焊接	(137)
第十一章 铸铁的焊接	(153)
§ 1 铸铁的种类和性能	(153)
§ 2 铸铁焊接性分析	(155)
§ 3 灰口铸铁的焊接工艺特点	(157)
§ 4 球墨铸铁和白口铸铁的焊接工艺简介	(166)
第十二章 有色金属的焊接	(169)
§ 1 铝及铝合金的焊接	(169)
§ 2 铜及铜合金的焊接	(189)
§ 3 钛及钛合金的焊接	(206)

第三篇 焊接工程

第十三章 结构焊接基础	(218)
§ 1 焊接应力和变形	(218)
§ 2 焊接结构设计原则	(227)
第十四章 典型石化设备的制造	(229)
§ 1 球形容器	(229)
§ 2 立式储油罐	(238)
§ 3 热壁加氢反应器	(241)
§ 4 复合板塔器	(244)
§ 5 复合钢管	(248)
§ 6 管道焊接	(253)
第十五章 焊接修复及其他	(276)
§ 1 铸铁冷焊补实例	(276)
§ 2 其他焊接修复	(282)

§ 3 采用不锈钢药芯焊丝的手工 TIG 焊	(290)
§ 4 混合气体保护焊在薄板对接和低温压力容器制造上的应用	(292)
§ 5 在役压力容器超声波探伤	(297)
第十六章 焊接质量管理	(301)
§ 1 石油化工设备事故	(301)
§ 2 安全监察法规和设计制造标准	(302)
§ 3 质量保证体系	(303)
§ 4 焊接工艺评定	(305)
§ 5 焊工考试	(320)
附录	(324)
附录 1 GB/T 324—2008 焊缝符号表示法	(324)
附录 2 GB/T 985. 1—2008 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和 高能束焊的推荐坡口	(336)
附录 3 GB/T 985. 2—2008 埋弧焊的推荐坡口	(350)
附录 4 GB/T 985. 3—2008 铝及铝合金气体保护焊的推荐坡口	(359)
附录 5 各类焊条技术数据简明表	(366)
附录 6 各类焊丝简明表	(411)
附录 7 各类焊剂简明表	(416)
附录 8 各类焊粉简明表	(423)
附录 9 各类钎料简明表[符合 GB 6418—2008(铜基)、GB 10046—2008(银基)、 GB 10859—2008(镍基)]	(429)
附录 10 国内外焊条、焊丝及焊剂牌号对照表	(433)
附录 11 GB 9448—1999 焊接与切割安全	(444)
参考文献	(461)

第一篇 焊接方法

第一章 焊接方法分类和选择

§ 1 焊接方法分类

目前，国内外著作中焊接方法分类法的种类甚多，这里仅介绍两种分类方法。

一、按工艺过程特点分类

这是在各种著作中介绍最多的分类方法。首先按照焊接过程特点，将焊接方法划分为熔化焊、固相焊和钎焊三大类。每一类依据工艺特点又分成若干不同方法，见图 1-1。

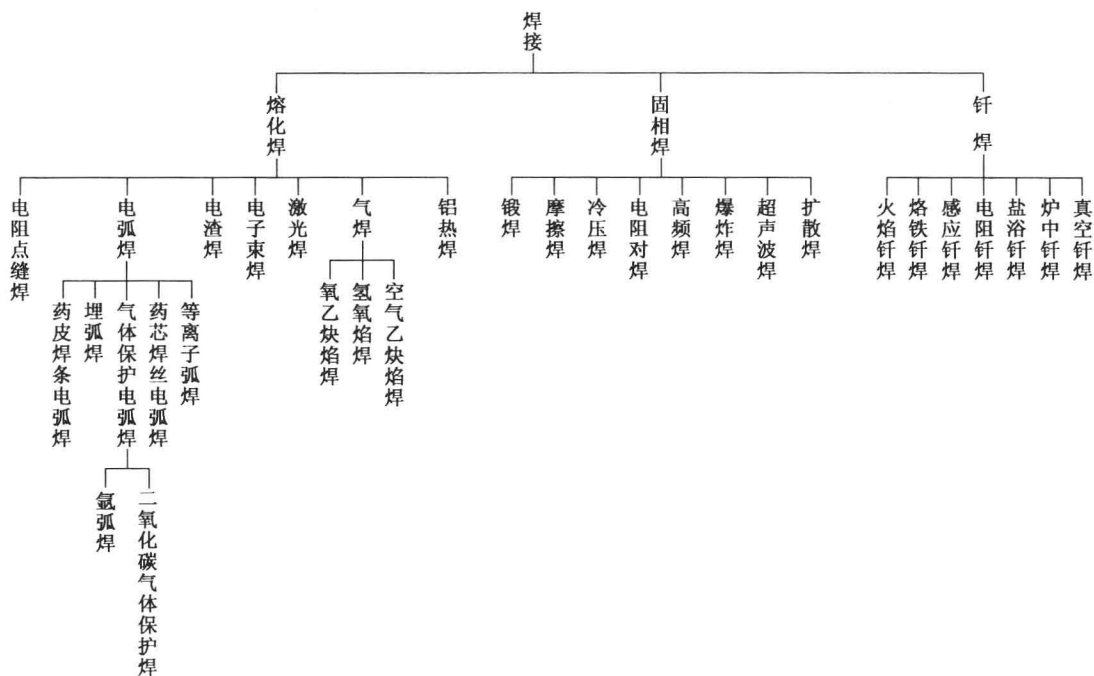


图 1-1 按焊接工艺特点分类

二、二元坐标法

由机械工程学会焊接分会编著的《焊接手册》推荐了一种新的分类方法，即二元坐标法。这种分类方法设计了两个坐标，即以焊接工艺特征为一类，在横坐标上分层列出其主次特征。以焊接时物理冶金过程特征为另一类，在纵坐标上分层列出其主次特征，见表 1-1。这种分类方法的突出优点在于同时反映了焊接工艺（焊接能源和保护方法）和焊接冶金这两大关键特征，因此是一种比较科学的分类方法。

表 1-1 焊接方法分类(二元坐标法)

表 1-1 焊接方法分类(一)至(四)																					
两材料结合时状态	焊接过程中手段	焊接方法类型	电 弧 热				电 阻 热				高能束	化学反应热		机械能		间接热能					
			涂料(焊剂)保护	气体保护				熔渣电阻	固 体 电 阻				电子束	激 光 束	火 焰	热 剂	炸 药	传 热 介 质			
									工 频			高 频						传 热 介 质			
									接触式	感应式		接触式						感应式	气 体	液 体	固 体
液相			焊条电弧焊	埋弧焊	水下电弧焊	电弧点焊	碳弧气刨	钨极氩弧焊	等离子弧焊	熔极气体保护焊	电渣焊										
		基本型	堆焊电弧堆焊	埋弧堆焊				钨极氩弧堆焊	等离弧堆焊	管状焊丝电弧堆焊											
		变型应用																			
		基本型																			
		变型应用			电容储能焊(放电)	电弧螺柱焊															
固相																					
			</																		

§ 2 焊接方法的选择

焊接方法选择的基本原则是：保证焊接产品的质量、生产率高、生产费用低。表 1-2 是常用材料适用的焊接方法。

表 1-2 常用材料适用的焊接方法

材 料	厚度/mm	焊接方法																									
		焊条电弧焊	埋弧焊	气保护金属极电弧焊				管状焊丝电弧焊	气保护钨极电弧焊	等离子弧焊	电渣焊	气电焊	电阻焊	闪光焊	气焊	扩散焊	摩擦焊	电子束焊	激光焊	硬钎焊					软钎焊		
				射流过渡	潜弧	脉冲弧	短路电弧													火焰钎焊	炉中钎焊	感应加热钎焊	电阻加热钎焊	浸渍钎焊		红外线钎焊	扩散钎焊
碳钢	~3	△	△			△	△		△				△	△	△			△	△	△	△	△	△	△			
	3~6	△	△	△	△	△	△	△	△				△	△	△		△	△	△	△	△	△	△	△			
	6~19	△	△	△	△	△		△				△	△	△	△		△	△	△				△	△			
	>19	△	△	△	△	△		△		△	△		△	△		△	△						△	△			
低合金钢	~3	△	△			△	△		△				△	△	△	△		△	△	△	△	△	△	△			
	3~6	△	△	△		△	△	△	△				△	△		△	△	△	△	△	△		△	△			
	6~19	△	△	△		△		△					△	△	△	△	△	△	△				△	△			
	>19	△	△	△		△		△		△			△		△	△	△						△	△			
不锈钢	~3	△	△			△	△		△	△			△	△	△	△		△	△	△	△	△	△	△			
	3~6	△	△	△		△	△	△	△	△			△	△		△	△	△	△	△			△	△			
	6~19	△	△	△		△		△		△			△		△	△	△	△	△				△	△			
	>19	△	△	△		△		△			△				△	△	△	△	△				△	△			
铸铁	3~6	△												△					△	△			△	△			
	6~19	△	△	△				△						△					△	△	△		△	△			
	>19	△	△	△				△						△					△				△	△			
镍和合金	~3	△				△	△		△	△			△	△	△			△	△	△	△	△	△				
	3~6	△	△	△		△	△		△	△			△	△		△	△	△	△	△		△	△				
	6~19	△	△	△		△			△				△		△	△	△	△	△			△					
	>19	△		△		△				△			△		△	△		△				△					
铝和合金	~3			△		△			△	△			△	△	△	△		△	△	△	△	△	△	△			
	3~6			△		△			△				△	△		△	△	△	△		△		△	△			
	6~19			△					△				△			△	△	△	△		△		△	△			
	>19			△						△	△		△			△		△	△				△	△			
钛和合金	~3					△			△	△			△	△		△	△	△	△			△	△				
	~3~6			△		△			△	△			△	△		△	△	△	△				△	△			
	6~19			△		△			△	△			△	△		△	△	△	△				△	△			
	>19			△		△							△			△		△	△				△	△			
铜和合金	~3					△			△	△			△				△		△	△			△	△			
	3~6			△		△				△			△			△	△	△	△				△	△			
	6~19			△									△			△	△	△	△				△	△			
	>19			△									△			△		△	△				△	△			

材 料	厚度/mm	焊接方法																									
		焊条电弧焊	埋弧焊	气保护金属极电弧焊				管状焊丝电弧焊	气保护钨极电弧焊	等离子弧焊	电渣焊	气电焊	电阻焊	闪光焊	气焊	扩散焊	摩擦焊	电子束焊	激光焊	硬钎焊						软钎焊	
				射流过渡	潜弧	脉冲弧	短路电弧													火焰钎焊	炉中钎焊	感应加热钎焊	电阻加热钎焊	浸渍钎焊	红外线钎焊		扩散钎焊
镁和合金	~ 3				△			△										△	△	△	△				△		
	3 ~ 6			△		△		△					△				△	△	△	△				△			
	6 ~ 19			△		△							△				△	△	△	△				△			
	> 19			△		△							△				△							△			
难熔合金	~ 3				△			△	△				△					△		△	△	△		△	△		
	3 ~ 6			△		△			△				△				△		△	△	△			△			
	6 ~ 19												△														
	> 19												△														

注：△表示被推荐。

第二章 焊条电弧焊

§ 1 原理和特点

焊条电弧焊又称手工电弧焊，是应用最广泛的一种焊接方法。它是手工操作焊条，在焊条和工件之间产生稳定燃烧的电弧，并将焊条和母材融合一体形成熔池，随着焊条(电弧)的向前推进。熔池的液态金属逐步冷却结晶形成焊缝。其过程如图 2-1 所示。

焊条电弧焊与其他电弧焊方法比较，其优点是设备简单、操作灵活、对接头的装配要求低。但缺点是对焊工操作技术要求高、劳动条件差、生产率低。并且，由于一些活泼金属(如钛、钨、锆等)对氧的污染非常敏感，焊条的保护无法防止这些金属氧化，因此不宜采用焊条电弧焊焊接。一些低熔点的金属(如铅、锡、锌及其合金等)，因电弧的温度太高，也不宜采用。

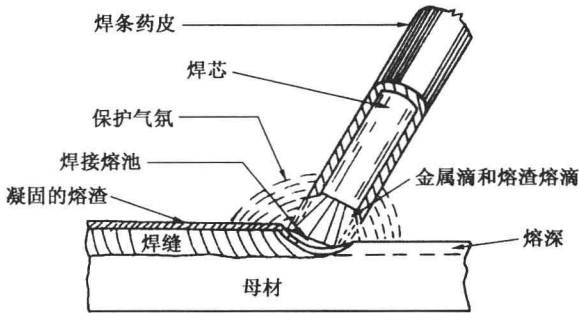


图 2-1 焊条电弧焊

§ 2 焊条电弧焊设备

一、电弧的静特性

电弧静特性又称静态伏安特性，它是指在弧长不变条件下，电弧电压与流经电弧的电流之间的函数关系，其形状如图 2-2 所示。在常规电流范围内，电弧电压几乎不随电流变化，即电弧的伏安特性为平特性。当弧长增加时，电弧电压亦增加，即伏安特性向上平移。

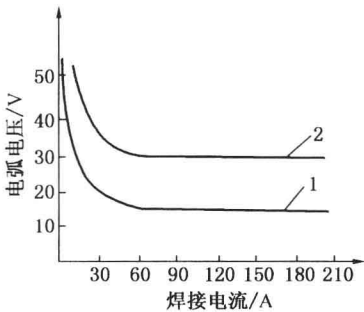


图 2-2 电弧伏安特性

1—弧长 $l=2\text{mm}$ ；2—弧长 $l=5\text{mm}$

二、弧焊电源的外特性

在电源内部参数一定的条件下，改变负载时，电源输出电压与输出电流之间的关系称为电源的外特性。

焊条电弧焊电极尺寸(焊条直径)较大，电流密度较低(通常为 $10 \sim 25\text{A/mm}^2$)。在电弧稳定燃烧条件下，其伏安特性是平特性，因此焊接电源应具有下降的外特性。由于焊条电弧焊过程中弧长经常发生变化，因此，为了保证焊接规范的稳定，应尽可能减小焊接电流的波动，以获得均匀一致的焊缝。显然，电源的外特性还应是陡降的，见图 2-3。

三、弧焊电源的动特性

焊条金属受热形成熔滴进入熔池过程，经常会出现短路，电弧电压和焊接电流不断地发

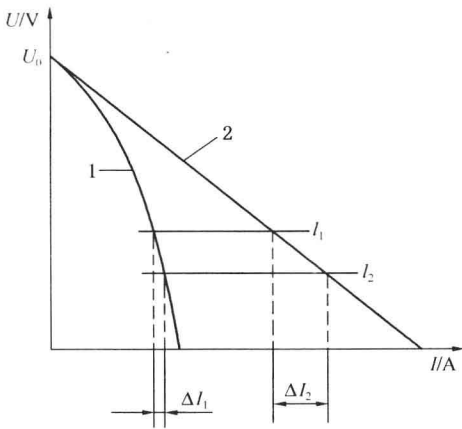


图 2-3 外特性形状对电流稳定性的影响
1—陡降外特性曲线；2—缓降外特性曲线

生瞬间变化，因此焊接电弧对供电的弧焊电源来说是一个动态负载。所谓弧焊电源动特性，是指电弧负载状态变化时，弧焊电源输出电压与电流的响应过程，可以用弧焊电源的输出电流和电压对时间的关系，即 $U=f(t)$ ， $i=f(t)$ 来表示，它说明弧焊电源对负载的适应能力。

焊条电弧焊时，无论从空载到短路还是从负载到短路都会出现电流峰值。此短路电流峰值太大，将引起严重飞溅。因此，对短路电流峰值是有所限制的。表 2-1 是弧焊整流器的动特性考核指标。交流弧焊电源的电磁惯性小，动特性均能符合要求。

表 2-1 弧焊整流器动特性考核指标

动特性考核指标		整 定 值		指标
		电流/A	电压/V	
空载至短路	I_{hd}/I_h	额定值	$U = 20 + 0.04I$	≤ 3.0
		25% 额定值		≤ 5.5
负载至短路	I_{hd}/I_h	额定值		≤ 2.5
		25% 额定值		≤ 3.0

注：I 为负载电流。

四、焊条电弧焊电源的选择

焊条电弧焊电源分交流和直流两种。交流电源结构简单，成本低，空载损失小；但电弧稳定性差，只适用于酸性焊条焊接。直流电源的突出优点是电弧稳定，且可用于碱性焊条，因而能获得优质焊缝；缺点是空载损失较大。此外，由于直流电弧周围磁场分布不均匀，则消除电弧磁偏吹将是生产中值得注意的一个问题。

交流电源有三种型式的弧焊变压器，即动铁芯式、动绕组式和抽头式。表 2-2 是常用弧焊变压器型号技术数据。

直流弧焊电源中过去广泛使用的弧焊发电机，由于结构复杂、成本高、空载损失大，已逐渐被弧焊整流器所取代。

逆变弧焊电源是目前世界上一种新兴的高效节能电源，它的工作原理是输入三相 380V、50/60Hz 的交流电，经整流后由逆变器（大功率电子开关，如晶闸管、晶体管、场效应管）的交替开关作用，又将直流电变成几千至几万赫兹的中频交流电，再分别经中频变压器、整流器和电抗器的降压、整流和滤波，以获得所需要的焊接电压和电流。逆变弧焊电源，由于应用先进的电子技术，以小巧的中频变压器取代了传统焊机中笨重的工频变压器，因此它突出的优点是高效节能、重量轻、体积小，具有良好的动特性和弧焊工艺性能，且所有焊接工艺参数均可无级调节，但制造技术要求高。逆变弧焊器的应用已越来越广泛，且具有更新换代的发展趋势。绝缘双极晶体（IGBT）克服了大功率晶体管（GTR）开关速度慢，驱动功率较大而且存在二次击穿问题及场效应管（MOSFET）导通电阻大，通态损耗较大的缺点，成为一种理想的开关器，而得到广泛应用。表 2-3 是常用 IGBT 逆变弧焊整流器型号、技术数据。

五、辅助器材

焊钳：又称电焊把，是用以夹持焊条进行焊接的工具。它应安全、轻便、耐用，市售有

300A、500A 两种规格。

面罩：有盾式和盔式两种。面罩上的护目玻璃按颜色深度分号，7~8 颜色较浅，9~10 颜色中等，11~12 颜色较深，焊接电流小时选用颜色浅的玻璃，反之选用深色玻璃。

焊接电缆：焊接电缆应采用多股细铜线电缆，一般可选用 YHH 型电焊橡皮套软电缆。电缆断面可根据额定焊接电流参考表 2-4 选择，电缆长度一般不超过 20~30m。

表 2-2 常用弧焊变压器型号、技术数据

产品名称	型 号	电源电压/ V	输入容量/ kVA	额定工作 电压/V	空载电 压/V	额定焊接 电流/A	电流调节 范围/A	额定负载 持续率/%
动铁芯式 弧焊变 压器	BX1-125	380/220	7.9	23	55	125	40~125	20
	BX1-160	380/220	9.9~11.2	24.4	55~67	160	40~160	20
	BX1-200	380/220	10.6~14.7	26~28	50~70	200	40~200	20/35
	BX1-250	380/220	17.1~18.5	28~30	66~70	250	50~250	20/35/60
	BX1-315	380/220	22.5~25.5	30.6~32.5	72~76	315	60~315	20/35/60
	BX1-400	380	29~32	36	74~76	400	80~400	35/60
	BX1-500	380	38~41	40	75~78	500	100~500	35/60
动绕组式 弧焊变压器	BX1-630	380	49.6~52.5	44	75~80	630	125~630	35/60
	BX3-160	220/380	12.9	24.4~26.4	78	160	32~160	20/35
	BX3-250	220/380	18.4	28~30	78/70	250	50~250	20/35/60
	BX3-300	220/380	20~24	30~32	78/70	300	60~300	20/35/60
	BX3-315	380	22.5~25	32.6	75/70	315	60~315	35/60
	BX3-400	380	28.9~31	36	75/70	400	80~400	35/60
	BX3-500	380	30~40	40	78/70	500	100~500	35/60
	BX3-630	380	45~50.5	44	78/70	630	120~630	35/60
抽头式 弧焊变压器	BX3-800	380	65~69.4	44	75/80	800	150~850	60/100
	BX6-125	380/220	8~8.7	23	48~55	125	40~125	20
	BX6-160	380/220	9~12	24.4	54~65	160	50~160	20
	BX6-200	380/220	12~15	26~28	54~60	200	60~200	20/35
	BX6-250	380/220	13~18	28~30	50~56	250	70~250	20/35/60
	BX6-315	380/220	19~22	32.6	72	315	75~315	20/35/60
	BX6-400	380	28	36	72	400	80~400	35/60
	BX6-500	380	40	40	76	500	100~500	35/60

表 2-3 常用 IGBT 逆变弧焊整流器型号、技术数据

产品名称	型号	电源电压/V	额定输入 容量/kVA	空载电压/V	额定工作 电压/V	额定焊接 电流/A	电流调节 范围/A	额定负载 持续率/%
IGBT 逆变 弧焊整流器	ZX7-125	3-380	3.5~4	70~80	25	125	12~125	20/35/60
	ZX7-160	3-380	5.5~6	70~80	26.4	160	16~160	20/35/60
	ZX7-200	3-380	7~9	70~80	28	200	20~200	20/35/60
	ZX7-250	3-380	10~14	70~80	30	250	25~250	35/60
	ZX7-315	3-380	14~18	70~80	32.6	315	32~315	35/60
	ZX7-400	3-380	21~27	70~80	36	400	40~400	35/60
	ZX7-500	3-380	27~32	70~80	40	500	50~500	35/60
	ZX7-630	3-380	34~42	70~80	44	630	63~630	35/60

表 2-4 推荐铜芯电缆最大断面积

额定电流/A	100	125	160	200	250	315	400	500	630
电缆断面积/mm ²	16	16	25	35	50	70	95	120	150

§ 3 焊 条

一、焊条组成及其作用

焊条由焊芯和涂层(药皮)组成。

焊芯既是电极,又是填充金属,可采用专用的金属丝。

药皮是由矿石粉末、金属粉末、有机物和化工制品等原料按一定比例配制后压涂在焊芯表面上的一层涂料。其作用在于焊接时通过造气、造渣来改善焊条的焊接工艺性(如提高电弧稳定性、减少飞溅及改善焊缝成型),隔离空气以防止高温的焊缝金属氧化,对液态焊缝金属进行脱氧、去硫、去磷、去氢和渗合金等冶金处理,从而由化学成分上保证获得优质的焊缝。

二、焊条分类

我国国家标准局将焊条按化学成分划分为若干类,并制定了相应的焊条型号和焊条标准,国家机械工业委员会则在焊接材料产品样本中将焊条按用途划分为十大类,并制定了相应的焊条牌号和熔敷金属的主要性能数据。表 2-5 列出两种分类方法的大类代号及其对应关系。

表 2-5 国家标准焊条型号焊条牌号的对应关系

焊条型号			焊条牌号			
国家标准编号	名 称	代号	类别	名 称	代号	
					字母	汉字
GB/T 5117—1995	碳钢焊条(还包括 $\sigma_b = 490\text{MPa}$ 的低合金钢焊条)	E	一	结构钢焊条	J	结
GB/T 5118—1995	低合金钢焊条(包括 $\sigma_b = 490 \sim 830\text{MPa}$ 的强度钢焊条、铬和铬钼耐热钢焊条和部分低温钢焊条)	E	一	结构钢焊条	J	结
			二	钼和铬钼耐热钢焊条	R	热
			三	低温钢焊条	W	温
GB/T 983—1995	不锈钢焊条	E	四	不锈钢焊条	G	铬
					A	奥
GB/T 984—2001	堆焊焊条	ED	五	堆焊焊条	D	堆
GB/T 10044—2006	铸铁焊条	EZ	六	铸铁焊条	Z	铸
GB/T 13814—2008	镍及镍合金焊条	ENi	七	镍及镍合金焊条	Ni	镍
GB/T 3670—1995	铜及铜合金焊条	ECu	八	铜及铜合金焊条	T	铜
GB/T 3669—2001	铝及铝合金焊条	TAI	九	铝及铝合金焊条	L	铝
—	—	—	十	特殊用途焊条	TS	特

通常还可按熔渣性质分为酸性焊条和碱性焊条。熔渣以酸性氧化物为主的焊条称为酸性焊条。熔渣以碱性氧化物和氟化钙为主的焊条称为碱性焊条。低氢型焊条是碱性焊条,其他药皮类型焊条则均属酸性焊条。

碱性焊条与强度级别相同的酸性焊条比较,其焊缝金属的延性和韧性高,氢含量低、抗

裂性好,但焊接工艺性能(电弧稳定性、飞溅、脱渣性)较差,对锈、水、油污的敏感性大而容易出气孔,有毒气体和烟尘多,故毒性也较大。

碳钢焊条型号用大写字母 E 和四位数字表示,如 E4303,前两位数字表示熔敷金属抗拉强度的最小值,单位为 kgf/mm^2 ($1\text{MPa} = 0.1\text{kgf/mm}^2$),第 3 位数字表示焊条的焊接位置,第 3 和第 4 位数字的组合表示药皮类型及焊接电流种类。

各类焊条简明技术数据见附录 5。

三、焊条的选用、管理和使用

焊条的选用原则是:

(1) 保证焊缝金属的使用性能。对于普通结构钢通常要求焊缝金属与母材等强度。对于焊缝性能(延性、韧性)要求高的重要结构,或容易产生裂纹的钢材和结构(硫、磷含量高、工件厚度大或刚性大、施工环境温度低等),焊接时应选用抗裂性好的低氢焊条;对于耐热钢、耐蚀钢则应选用与母材化学成分相同的焊条。

(2) 有良好的焊接工艺性能。如电弧稳定、操作方便,抗气孔、夹渣、未焊透性能好,因此在能满足焊缝金属使用性能前提下,首选酸性焊条为好。对于特定场合的焊接,如向下立焊、管道焊接、底层焊接、盖面焊接、重力焊接时,可选用相应的专用焊条。

(3) 在保证使用和工艺性能前提下,应选择成本低、效率高的焊条。

焊条的管理和使用应按照 JB/T 3223—1998《焊接材料质量管理规程》执行。

焊条药皮容易吸潮,用潮湿焊条焊接时,容易产生气孔和裂纹。因此施焊前必须对低氢焊条进行烘干,烘干温度为 $350 \sim 450^\circ\text{C}$,保温 2h。烘干后放在 $100 \sim 150^\circ\text{C}$ 的恒温箱内,随用随取。酸性焊条一般可不烘干。

§4 焊 接 工 艺

一、接头设计

接头设计的主要任务是确定接头形式和坡口的形状和尺寸。焊条电弧焊的基本接头形式有对接、搭接、角接和 T 形接。制备坡口的目的是为了焊透和保证有效的焊缝金属厚度。有 Y 形、X 形、U 形等各种形状的坡口。在接头设计时还应考虑的因素是对结构的适应性、焊接成本。坡口形式及尺寸一般随板厚变化,并与焊接方法、焊接位置等因素有关,详见附录 2《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》。

根据焊件结构形式、板厚、材料的不同,坡口制备方法也不尽相同,常用的坡口加工方法有剪切、刨削、车削、专用坡口切割机加工、氧-乙炔切割、碳弧气刨等。

二、焊前准备

焊前准备主要包括焊条烘干、工件的清理、组对和预热等四个环节。

焊条烘干和工件清理的目的都是为了减少焊缝中的氢,从而防止气孔和延迟裂纹产生。这对于使用碱性焊条时尤为重要。预热可以减小接头焊后冷却速度,避免产生淬硬组织和裂纹增加熔深和熔宽。是否预热和预热温度要根据工件材质、板厚、施焊环境温度和具体结构要求,以及有关技术标准和已有的资料确定或试验确定。

三、焊接工艺参数选择

1. 焊条直径

主要根据工件厚度选择,焊条直径与被焊钢板厚度的关系见表 2-6。还要考虑所处的

焊接位置及待焊接头形式，如平焊且厚度大的工件，可采用大直径焊条及较大的焊接电流，而开坡口多层焊第一层，且又非平焊位置焊接，应选用较小的焊条直径。

表 2-6 焊条直径与板厚的关系

焊件厚度/mm	<4	4~8	>8~12	>12
焊条直径/mm	≤板厚	φ3~4	φ4~5	φ5~6

2. 焊接电流

焊接电流大小一般根据焊条直径初步选择表 2-7 并进一步考虑板厚、接头形式、焊接位置、工件材质和焊条等因素，T 形接和搭接、施焊环境温度低及板厚大时，均由于导热快，焊接电流应大一些。非平焊位置，为了易于控制焊缝成形，焊接电流要小一些。不锈钢焊接时，为了减小影响晶间腐蚀的程度，焊接电流应小一些。对于重要结构(如锅炉和压力容器)，要经过焊接工艺评定合格以后，才能最后确定焊接电流等焊接工艺参数。

表 2-7 焊接电流与焊条直径的关系

焊条直径/mm	1.6	2.0	2.5	3.2	4	5	6
焊接电流/A	25~40	40~65	50~80	100~130	160~210	200~270	260~300

四、焊接操作要点

- (1) 定位焊时，要用合格的正式焊条焊接。定位焊道不应处于交叉焊缝处。对双面焊反面清根的焊缝，定位焊道应放在反面。在满足强度要求前提下，定位焊缝尺寸应尽可能小一些，定位焊缝中不应有明显的裂纹、夹渣等缺陷。
- (2) 引弧应在焊接部位上进行。将焊条端在靠近开始焊接部位轻击或划擦工件引燃电弧，然后迅速略微提起，形成一个合适的长度，并移至起焊点。当焊条和工件粘住时，应立即掰开，防止焊条过热。
- (3) 运条的目的是为了稳定弧长，保持熔池形状(始终如一的圆形或椭圆形)，获得均匀一致的焊缝。运条可分解成三个基本动作：焊条向熔池送进(形成稳定的弧长)；以一定速度沿焊接方向移动；横向摆动(控制焊缝形状)。
- (4) 收弧时不应造成凹陷的弧坑，以免减弱焊缝强度和产生应力集中，从而导致弧坑裂纹。为填满弧坑，可采用划圈收弧法、回焊收弧法或反复熄弧—引弧收弧法。
- (5) 单面焊双面成型技术的关键是第一层焊道的熔孔成形操作，它有连弧法和断弧法两种操作方法。
连弧法的基本操作过程是划擦引弧，稳弧 1~1.5s 预热坡口，压低电弧将熔滴送至坡口钝边处并形成熔孔，同时听到电弧穿透的声响，然后直线小摆运条，维持熔孔大小一致，直至完成整条焊缝。
断弧法的基本操作过程是划擦引弧，压低电弧 1~1.5s，此时听到电弧穿透坡口发出的声响，同时看到金属开始熔化形成熔池出现熔孔，即建立起所谓熔池座，然后迅速提出焊条，熄灭电弧，在前一个熔池座的 1/2~2/3 的地方重新引燃电弧，熄灭电弧……依此循环完成整条焊缝。