

**DIANLI GONGYE
CHANGYONG GANGCAI
HANJIE GONGYI
PINGDING**

**电力工业
常用钢材
焊接工艺
评定**

**曹 阳 张明坤 郭新伟 侯百万 主编
杨 富 审阅**



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力工业 常用钢材 焊接工艺 评定

曹 阳 张明坤 郭新伟 侯百万 主编
杨 富 审阅



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书对焊接工艺评定的基本概念、意义、目的、特点、规定和评定程序及具体实施过程进行了详细的归纳、总结和阐述,并收集了46份评定合格的焊接工艺评定报告,涵盖了电力行业高温高压乃至超超临界机组的钢材、规格、焊接方法等。

本书中焊接工艺评定报告所提供的焊接参数全部通过了工艺验证性试验,可作为广大电力行业焊接工作者参考的依据。

图书在版编目(CIP)数据

电力工业常用钢材焊接工艺评定 / 曹阳等主编. —北京: 中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-6771-2

I. 电… II. 曹… III. 电力工业-钢材-焊接工艺-评价 IV. TG457.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 022163 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008年3月第一版 2008年3月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13.5印张 325千字

印数 0001—3000册 定价 28.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

随着我国电力工业的高速发展,火电建设正向着高效率、高参数、大容量的超临界(CS)和超超临界(UCS)机组方向发展,截止到2006年底,全国发电装机容量已达到622GW。由于火电机组所用的钢材品种多、规格多、用量多、焊口多,使用条件苛刻,仅一台300MW锅炉就约有8万个焊口,用钢超过8000t,其中许多部件和焊口长期在高温、高压、烟气腐蚀和蒸汽氧化的工况环境下运行。因此,为保证电站用钢焊接工艺评定的符合性、正确性,提高焊接工程质量,确保火电机组稳定安全运行,我们编写了本书,以供从事火力发电厂设计、制造、安装、检修、培训及金属技术监督工作的广大技术人员查阅和使用,也可作为广大电力焊接工作者在从事焊接工艺评定和工程焊接时的参考书。

本书以大量焊接工艺评定合格的试验结果为基础,并参照相关文献,对焊接工艺评定的有关基本概念、焊接工艺评定的程序及具体实施过程进行了比较详细的归纳、总结和阐述,在内容上力求可行、准确、简明和实用。

本书提供的焊接工艺评定报告涵盖了高温高压电站锅炉常用钢材、超临界发电锅炉高温金属材料的焊接工艺评定数据和资料,具有普适性和电力行业的针对性。

本书由曹阳、张明坤、郭新伟、侯百万主编,韩德军、王晖、武宝华、滕叙华、闫太强、王旭、刘岩红、岳保光和韩佳泉等同志参与编写。全书由东北电网有限公司大连培训中心焊工培训中心曹阳同志统稿,国家电网公司杨富教授级高级工程师审阅。在此衷心感谢一直关心和支持我们焊接工艺评定工作的王瑞林、宋立忠、刘淑清、李明忠、信占义等老一辈焊接工作者为本书提供的指导。

尽管我们付出了一定的艰辛与努力,但由于水平和时间所限,不足和失误之处在所难免,我们竭诚欢迎焊接同仁不吝赐教,以利于完善与改进。

编 者

2007年12月

目 录

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 前言 | 1 |
| 第一章 概述 | 1 |
| 一、焊接工艺评定的概念 | 1 |
| 二、焊接工艺评定的意义 | 1 |
| 三、焊接工艺评定的目的 | 1 |
| 四、焊接工艺评定的历史和发展 | 1 |
| 第二章 如何进行焊接工艺评定 | 3 |
| 一、焊接工艺评定的依据 | 3 |
| 二、焊接工艺评定的适用范围 | 3 |
| 三、焊接工艺评定的特点 | 3 |
| 四、焊接工艺评定的条件 | 4 |
| 五、焊接工艺评定可解决的问题 | 4 |
| 六、焊接工艺评定的规定 | 4 |
| 七、焊接工艺评定的程序及实施 | 5 |
| 八、焊接工艺评定报告的整理 | 20 |
| 九、根据焊接工艺评定报告编制焊接工艺指导书 | 20 |
| 第三章 焊接工艺评定报告 | 21 |
| 一、20 钢焊接工艺评定报告 | 23 |
| 二、16Mn 钢焊接工艺评定报告 | 55 |
| 三、12Cr1MoV 钢焊接工艺评定报告 | 87 |
| 四、SA335P22 (10CrMo910) 钢焊接工艺评定报告 | 119 |
| 五、12Cr2MoWVTiB (钢 102) 钢焊接工艺评定报告 | 127 |
| 六、SA213T23 钢焊接工艺评定报告 | 139 |
| 七、SA213T91 钢焊接工艺评定报告 | 143 |
| 八、SA335P91 钢焊接工艺评定报告 | 147 |
| 九、SA213T92 钢焊接工艺评定报告 | 155 |

| | |
|---|------------|
| 十、SA335P92 钢焊接工艺评定报告 | 159 |
| 十一、SUS347HTB 钢焊接工艺评定报告 | 163 |
| 十二、20/SUS347HTB 钢焊接工艺评定报告 | 167 |
| 十三、20/12Cr1MoV 钢焊接工艺评定报告 | 171 |
| 十四、12Cr1MoV/SUS347HTB 异种钢焊接工艺评定报告 | 183 |
| 十五、12Cr2MoWVTiB/SUS347HTB 异种钢焊接工艺评定报告 | 187 |
| 十六、T91/SUS347HTB 异种钢焊接工艺评定报告 | 191 |
| 十七、12Cr1MoV/T91 异种钢焊接工艺评定报告 | 195 |
| 十八、12Cr1MoV/P91 异种钢焊接工艺评定报告 | 199 |
| 参考文献 | 207 |

概述

一、焊接工艺评定的概念

焊接工艺评定是用于评定施焊单位是否有能力焊出符合有关规程和产品技术条件所要求的焊接接头,验证施焊单位制定的焊接工艺指导书是否合适。焊接工艺评定是在焊接性试验基础上进行的生产前工艺验证试验,焊接工艺评定工作是整个焊接工作的前期准备或基础性工作。焊接工艺评定工作是为了验证相关产品焊接工艺的正确性,选用特定的焊件或工程仿样进行的试验过程和结果评价,包括依据焊接任务书制定焊接工艺评定技术方案、资源配置,焊接实施、焊接试验及其结果评价的过程。使测定试件的焊接接头具有工程所要求的使用性能的各项技术指标,最后将全过程积累的各项焊接工艺因素、焊接数据和试验结果整理成具有结论性、推荐性的资料,形成焊接工艺评定报告。

二、焊接工艺评定的意义

焊接工艺评定是保证锅炉、压力容器和压力管道焊接质量的一个重要环节。焊接工艺评定是锅炉、压力容器和压力管道焊接前技术准备工作中一项不可缺少的重要内容,是国家质量技术监督机构进行工程审验中必检的项目,是保证焊接工艺正确和合理的关键环节,是保证产品焊接接头的各项性能符合技术条件和相应的标准要求的重要保证,并在保证产品焊接接头质量的前提下寻求提高焊接生产效率和最大限度地降低生产成本,获取最大的经济效益的可能性。

三、焊接工艺评定的目的

焊接工艺评定的目的如下:

- (1) 是锅炉、压力容器和压力管道及设备制造、安装、检修等生产过程和焊工培训教学应遵循的技术文件。
- (2) 是焊接质量管理所要执行的关键环节或重要措施。
- (3) 是反映一个单位施焊能力和焊接技术水平高低的重要标志。
- (4) 是行业规程和国家相关法规所规定的必须进行的工作。

四、焊接工艺评定的历史和发展

20世纪80年代以后,电力系统高温、高压机组不断涌现,尤其是近年来超临界、超超

临界机组的不断出现，随之而来的新钢种、新材料不断出现；国家和行业的标准如《蒸汽锅炉安全监察规程》、《压力容器安全监察规程》和《电力工业锅炉压力容器监察规程》等规程都严格规定要进行焊接工艺评定。在机组的安装、设备检修的实际工作中也都不同程度出现了由于焊接工艺不当而影响焊接接头质量，并造成了一定损失的情况。为了适应电力工业焊接技术的发展要求，出版了第一本电力行业的焊接工艺评定规程 SD 340—1989《火力发电厂锅炉、压力容器焊接工艺评定规程》。

SD 340—1989 出版后，电力行业的焊接工作者做了大量的基础工作，当时的东北电管局和华北电管局等都由上级主管部门专项拨款，按照这一规程进行了系统的、规范的和科学的焊接工艺评定。把材质按照类别、级别、规格尺寸、壁厚和管径分别按照规程所要求的适用范围系统进行涵盖，把规范参数按照大小线能量进行涵盖，把焊接方法按照实际工程的需要进行涵盖，完善了电力工业的焊接工艺、焊接技术管理的基础工作，彻底扭转了过去只注重焊工操作技艺水平的培训、焊缝外观优劣和无损探伤是否合格，而忽视焊接工艺对焊接质量、焊接接头性能影响的局面，充分认识到整体的焊接工艺实施才是保证焊接接头质量、满足工程使用要求的需要。

该规程实施十几年来，电力行业焊接工作者积累了丰富的经验，对焊接工艺评定的含义、内容以及实施的工作程序有了更深一层的理解。由于火力发电厂超临界、超超临界机组不断发展，原有的低碳钢的水冷壁、低合金钢的过热器、再热器、联箱以及蒸汽管道已经满足不了超临界、超超临界机组不断发展的要求，因此越来越多的高合金钢的新材料 T23、T91、P91、T92、P92、T122、P122、E911、NF12、TP347HFG、Super304H、HR3C、NF707 等钢材相继出现，这就使焊接工艺评定工作的难度也越来越大，对焊接工艺评定可靠性的要求也越来越高。高温金属材料和焊接技术制约着超临界、超超临界机组材料的使用和发展，每一种新材料必须经过焊接工艺评定合格才能应用到机组设备中。由此可见，焊接工艺评定合格与否制约着高合金钢技术的发展和超超临界机组的发展。

如何进行焊接工艺评定

一、焊接工艺评定的依据

如何正确理解焊接工艺评定的实质、内容、试验程序、检验过程、结果评定及适用范围,合理合法执行相关标准进行焊接工艺评定,必须清楚进行焊接工艺评定工作的依据。除应以《蒸汽锅炉安全技术监察规程》、《压力容器安全技术监察规程》、DL612—1996《电力工业锅炉压力容器监察规程》、DL/T 868—2004《焊接工艺评定规程》等规程作为焊接工艺评定工作的主要依据外,还应在焊接工艺评定过程中始终严格执行其他各有关规程,主要规程有JB 4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》、DL/T 869—2004《火力发电厂焊接技术规程》、DL/T 819—2002《火力发电厂焊接热处理技术规程》以及一些相关检验规程和其他有关规范标准和钢管制造手册等。这些资料分别对焊接工艺评定工作做了具体的要求并提供了技术要求,对指导企业正确实施焊接工艺评定起到了重要作用。

二、焊接工艺评定的适用范围

焊接工艺评定的适用范围:

(1) 焊接工艺评定适用于锅炉、管道、压力容器和承重钢结构等钢制设备的制作、安装、检修的焊接工作以及焊工培训和焊工技术考核。这些工作在实施前都要进行焊接工艺评定,以确定所拟订的焊接工艺的正确性、验证焊接工艺指导书是否合适。

(2) 焊接工艺评定适用于焊条电弧焊、钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊、药芯焊丝电弧焊、气焊、埋弧焊等焊接方法。

(3) 焊接工艺评定适用于从事制造、安装或检修工作的企业。

焊接工艺评定针对性强,各种产品的技术条件要求是不同的。如果产品是压力容器,则其工艺评定的试验结果应该符合压力容器标准规程和产品技术条件的要求;如果产品是承重钢结构,则其工艺评定试验结果应该符合该承重钢结构标准规程和产品技术条件的要求。焊接工艺评定工作就是以满足产品的技术条件和相关规程要求作为合格标准。

三、焊接工艺评定的特点

焊接工艺评定的特点如下:

(1) 焊接工艺评定是解决任一钢材在具体条件下的焊接工艺问题,而不是选择最佳工艺参数,通过焊接工艺评定所选择的焊接工艺参数具有一定的范围。

(2) 焊接工艺评定是解决在具体工艺条件下的使用性能问题，但不能解决消除应力、减少变形、防止焊接缺陷产生等涉及到整体质量的问题。

(3) 焊接工艺评定要以原材料的焊接性能为基础，通过焊接工艺评定可靠的技术条件试验去指导生产，避免了把实际产品当试验件的弊病。

(4) 焊接工艺评定试验过程中应排除人为因素，不要把焊接工艺评定与焊工技能评定混为一谈。主持焊接工艺评定工作的人员应有能力分辨出产生缺陷的原因是焊接工艺问题还是焊工的技能问题。如果是技能问题，应通过焊工培训来解决。

(5) 现有的焊接工艺评定规程所规定需要进行的试验，主要是焊接接头的常温力学试验，一般认为通过了外观检验、无损检测和常温力学试验，就通过了焊接工艺试验。对于电力行业高温、高压管道的新钢种，这个结果是不够的，还应考虑接头的高温持久试验、蠕变试验、应力腐蚀等试验。

四、焊接工艺评定的条件

(1) 电力工业发电设备中需以焊接方法实现连接的任何钢材，均应进行焊接工艺评定。

(2) 评定前，应了解钢材的焊接性。焊接性评价资料包括钢材技术参数、焊接裂纹敏感性试验报告和研究报告、应力腐蚀试验报告、公开发表的相关论文、公开的相关焊接工程总结等。

(3) 所有应用的各种焊接材料均应进行焊接工艺评定。

(4) 所有应用的焊接方法均应进行焊接工艺评定。

(5) 影响焊接接头力学性能的焊接条件和影响焊接线能量的工艺规范参数均应进行焊接工艺评定。

五、焊接工艺评定可解决的问题

焊接工艺评定可以解决的问题如下：

(1) 验证施焊单位是否具有焊接工艺评定的能力以及所拟定的焊接工艺方案是否正确，能否达到产品技术条件所要求的质量标准，是焊接工艺实行的可靠依据。

(2) 根据焊接工艺评定报告制订焊接作业指导书，用以指导实际焊接工作。

六、焊接工艺评定的规定

(1) 焊接工艺评定应以规程或技术标准的规定为依据进行。

(2) 焊接工艺评定的钢材和所选定的焊接材料应有可靠的质量证明资料和焊接性评价资料。

(3) 焊接工艺评定应在焊接性评价资料的基础上，制订评定工艺方案之后，于正式施焊产品之前进行。

(4) 所用的设备、器具和测定仪器等应处于正常工作状态和检定周期内。

(5) 焊接工艺评定试件的焊制应由本单位技术熟练的焊工担任，并应进行测量记录。

(6) 焊接工艺评定人员的资质条件应符合有关规程的要求。

(7) 工艺评定试验的合格标准应符合产品技术条件的规定。若产品技术条件没有规定合格标准，则试验包括力学试验、弯曲试验及产品技术条件规定的其他试验，其合格标准按有关规程执行。

(8) 焊接工艺评定全过程的技术资料积累应完整齐全。

七、焊接工艺评定的程序及实施

焊接工艺评定的程序是：编制和下达焊接工艺评定任务书—编制焊接工艺评定方案—焊制试件和检验试件—编制焊接工艺评定报告—根据焊接工艺评定报告编制焊接作业指导书（或称焊接工艺卡），作为指导焊工工程焊接必须遵循的工艺规则。

（一）编制和下达焊接工艺评定任务书

任务书的主要作用是下达评定任务，因此，其主要内容应为评定目的、评定指标、评定项目和承担评定任务人员的资质条件等。

1. 评定目的

以焊接出满足有关规程和产品技术条件要求的焊接接头为评定目的。

2. 评定指标的确定

根据规程和钢材的理论基础知识焊接性、焊接 CCT 曲线等，确定各项技术指标。按照 DL/T 869—2004《焊接工艺评定规程》的规定，要求焊缝金属的化学成分和力学性能（强度、塑性、韧性等指标）应与母材相当或不低于母材相应规定值的下限。

3. 评定项目的确定

根据工程的实际工作情况要求，按规程规定的适用范围做好项目的相关涵盖，确定好评定项目。

焊接工艺评定的项目确定应从以下几方面来考虑：

（1）钢材。焊接工程应用的钢材品种和规格繁多，如每种均进行评定，不但复杂且数量很多。为减少评定数量，且又能取得可靠的工艺，综合考虑钢材的化学成分、冶金性能、焊后热处理条件、力学性能、规格、设计和使用条件等因素，可将钢材划分成类别进行评定。按规程要求可以进行替代覆盖。

1) 钢材类级别划分。电力工业火力发电厂常用钢材按类级别划分，它们的划分方法是：按用途划分成 A、B、C 三个类别，而级别则以力学性能、化学成分和组织类型综合划分为 I、II、III 三个级别。几个规程钢材类别划法已统一，具体是：

① 碳素钢及普通低合金钢为一类，代号为“A”。其级别为：

碳素钢（含碳量 $\leq 0.35\%$ ）代号为 AI。

普通低合金钢（ $Re \leq 400\text{MPa}$ ）代号为 AII。

普通低合金钢（ $Re > 400\text{MPa}$ ）代号为 AIII。

② 热强钢及合金结构钢为一类，代号为“B”。其级别为：

珠光体钢代号为 BI。

贝氏体钢代号为 BII。

马氏体钢代号为 BIII。

③ 不锈钢为一类，代号为“C”。其级别为：

马氏体不锈钢代号为 CI。

铁素体不锈钢代号为 CII。

奥氏体不锈钢代号为 CIII。

2) 钢材类级别在评定中的基本规定。

① 首次应用的钢材，必须进行评定。

② 评定用的钢材与实际（工程）应用的钢材应相同。

③ 同类同级，但不同牌号钢材的评定工艺，可以相互替代。

④ 同类别中，高级别钢材的评定工艺适用于低级别钢材，反之不可。

⑤ 高类别评定合格的钢材，在一定条件下可以替代低类别钢材，但其工艺必须以代替钢材类别的评定条件和工艺参数施焊，否则不可替代。

⑥ 对 B 类马氏体钢和不锈钢，由于其合金含量是前述钢材的几倍，因此，简单的替代关系不再适用。

⑦ 常用的国外钢材，根据化学成分按国内钢材类级划分，可与国内相应类级的钢材同等对待。划分不上的要进行工艺评定。

3) 异种钢的划分。

异种钢焊接接头钢材组合基本上分为两大类：一类为金属组织类型相同而化学成分不同，如低碳钢与低合金钢的焊接接头，它们均属珠光体组织类型，且物理性能差别较小，仅是化学成分不同；另一类为金属组织类型和化学成分都不相同而物理性能差别较大，如低合金珠光体钢与高合金马氏体钢或奥氏体不锈钢的焊接接头。

异种钢焊接接头的主要特征是形成的焊接接头存在着化学成分、金相组织、力学性能和焊接残余应力分布等的不均匀性，而焊接过程就需针对这些问题，采取必要的工艺措施加以解决。

DL/T 752—2001《火力发电厂异种钢焊接技术规程》中对异种钢接头是根据钢材供货金相组织形态划分的，以电力工业常用钢材及其钢材组合形式，分为 3 类 6 组：

① A 类异种钢接头。焊接接头一侧为奥氏体钢，另一侧为其他组织钢材。具体类型有：A+M、A+B、A+P 三组。

② M 类异种钢接头。焊接接头的一侧为马氏体钢，另一侧为其他组织钢材，具体类型有：M+B、M+P 两组。

③ B 类异种钢接头。焊接接头的一侧为贝氏体钢，另一侧为珠光体钢，具体类型有：B+P 一组。

(2) 试件厚度。

1) 对接焊缝适用于焊件厚度。

① 评定试件厚度为 $1.5\text{mm} \leq \delta < 8\text{mm}$ 时，适用于焊件厚度的范围规定是：下限值为 1.5mm ，上限值为 2δ ，且不大于 12mm 。

② 评定试件厚度为 $8\text{mm} \leq \delta \leq 40\text{mm}$ 时，适用于焊件厚度的范围规定是：下限值为 0.75δ ，上限值为 2δ 。

③ 评定试件厚度 $\geq 40\text{mm}$ 时，上限值不限。

④ 管状对接接头试件直径不大于 140mm ，壁厚 $\geq 20\text{mm}$ ，适用于焊件厚度为评定试件厚度。

2) 角接焊缝适用于焊件厚度。

已进行评定的角接接头厚度 δ ，适用于焊件厚度的范围与对接接头厚度规定相同，但试件厚度按下列规定计算：

① 板—板角焊缝试件厚度为腹板的厚度。

② 管板角焊缝试件厚度为管壁厚度。

③ 管座角焊缝试件厚度为支管壁厚度。

此外，埋弧焊双面焊、小径厚壁和不等厚度试件等要仔细查阅规程，按规程要求执行。

(3) 焊接方法。各种焊接方法应单独评定，不得互相代替。采取一种以上焊接方法组合形式的评定，每种焊接方法可单独评定，亦可组合评定。应用时，每种焊接方法的焊缝金属厚度应在各自评定的适用范围内。例如：采用氩弧焊焊接根层（厚度为 3mm），焊条电弧焊填充和盖面工艺（厚度共 9mm）进行焊接工艺评定，属于两种焊接方法组合评定。评定合格的焊接工艺除组合工艺有效外，还适用于：

1) 氩弧焊单独焊接。

评定焊缝金属厚度为 3mm，其适用厚度范围为 1.5~6mm。

2) 焊条电弧焊单独焊接。

评定焊缝金属厚度为 9mm，其适用厚度范围为 6.75~18mm。

上述 Ds/Ws 焊缝焊接工艺也可单独进行氩弧焊、焊条电弧焊焊接工艺评定合格后，组合使用。

气焊焊接方法的评定，适用于焊件的最大厚度与评定试件厚度相同。

(4) 试件的类型。

1) 板状试件评定合格的工艺适用于管状试件，反之亦可，但要考虑各种焊接位置。例：板平立仰可以代替水平固定管，板垂直可以代替垂直管。

2) 对接试件的评定适用于角接试件。

3) 全焊透试件的评定，适用于非全焊透试件。

4) 板状角焊缝试件评定合格的焊接工艺，适用于管与板或管与管的角焊缝，反之亦可。

(5) 焊接材料。

1) 焊条、焊丝、焊剂等焊接材料，随着焊接过程的进行要熔化掉，并以填充金属形式熔入焊缝金属中，是焊缝金属的主要组成部分。选定和改变它们对焊接接头的焊缝金属性能有极大影响，但是它们品种繁多，给评定带来很大困难。为减少评定数量，合理进行评定，因此，焊接材料的选择与钢材的选用原则一样，按类别划分（见表 2-1 及表 2-2），以利于评定工作进行。

表 2-1 焊条分类

| 类 级 别 | | | | 焊条型号 | 相应标准号 |
|----------------|----|-----------------------------------|-----|-----------------------|-----------|
| 类 别 | 代号 | 级 别 | 代号 | | |
| 碳素钢及 普通低合金钢 | A | 碳素钢 (含碳量 $\leq 0.35\%$) | I | E43 $\times\times$ | GB/T 5117 |
| | | | | E50 $\times\times$ | |
| | | 普通低合金钢 ($Re\leq 400\text{MPa}$) | II | E50 $\times\times$ -G | GB/T 5118 |
| | | | | E55 $\times\times$ -G | |
| | | 普通低合金钢 ($Re>400\text{MPa}$) | III | E60 $\times\times$ -G | GB/T 5118 |
| | | | | E70 $\times\times$ -G | |

续表

| 类 级 别 | | | | 焊条型号 | 相应标准号 |
|---------------|----|------|-----|--------------|-----------|
| 类 别 | 代号 | 级 别 | 代号 | | |
| 热强钢及 合金结构钢 | B | 珠光体钢 | I | E50××-A1 | GB/T 5118 |
| | | | | E55××-B1 | |
| | | | | E55××-B2 | |
| | | | | E55××-B2L | |
| | | | | E55××-B2-V | |
| | | | | E55××-B2-VW | |
| | B | 贝氏体钢 | II | E55××-B3-VWB | GB/T 5118 |
| | | | | E60××-B3 | |
| | | | | E55××-B3-VNb | |
| | B | 马氏体钢 | III | E5MoV-×× | GB/T 983 |
| | | | | E9Mo-×× | |
| | | | | E11MoVNiW-×× | |
| E11MoVNi-×× | | | | | |
| 不 锈 钢 | C | 马氏体 | I | E410-×× | GB/T 983 |
| | | 铁素体 | II | B430-×× | GB/T 983 |
| | | 奥氏体 | III | E347-×× | GB/T 983 |
| | | | | E308-×× | |
| | | | | E308L-×× | |
| E309L-×× | | | | | |
| E310-×× | | | | | |

表 2-2

各种焊接方法焊丝分类

| 类级别 | | | | 气焊、埋弧焊 | | 气体保护焊 | | 氢弧焊 | | 药芯焊丝 | |
|----------------------------------|-----|-------------------------------------|-----------------------|--|------------|------------------|----------|---------|-------|--------------------------|---------|
| 类别 | 代号 | 级别 | 代号 | 焊丝型号 | 相应标准号 | 焊丝型号 | 相应标准号 | 焊丝型号 | 相应标准号 | 焊丝型号 | 相应标准号 |
| 碳素 钢及 普通 低合 金钢 | A | 碳素钢 (含 C≤0.35%) | I | H08、H08A、 H08E、H08Mn、 H08MnA H08MnXtA | GB/T 14958 | ER49-1 | GB/T8110 | TIG-J50 | | EF××43× ×EF××50 ×× | GB10045 |
| | | | | ER50-2 ER50-3 ER50-4 ER50-5 | | | | | | | |
| | | 普低钢 (Q _s ≤ 400MPa) | II | H10Mn2、 H10MnSi、 H10Mn2Si | GB/T 14958 | ER50-6 ER50-7 | GB/T8110 | | | — | |
| 普低钢 (Q _s > 400MPa) | III | H08MnMoA H08Mn2MoA H08Mn2MoVA | ER55-D2 ER55-D2-Ti | | | | | — | | | |

续表

| 类级别 | | | | 气焊、埋弧焊 | | 气体保护焊 | | 氢弧焊 | | 药芯焊丝 | |
|-------------|------------|--------------|------------|----------------------|------------|-------------------------------|-------|---------|-------|------|-------|
| 类别 | 代号 | 级别 | 代号 | 焊丝型号 | 相应标准号 | 焊丝型号 | 相应标准号 | 焊丝型号 | 相应标准号 | 焊丝型号 | 相应标准号 |
| 热强钢及合金结构钢 | B | 珠光体钢 | I | H08MoCrA | GB/T 14958 | ER55-B3 | — | TIG-R10 | — | — | — |
| | | | | H08CrMoA | | ER55-B2L | | TIG-R30 | | | |
| | | | | H13CrMoA | | ER55-B2 | | — | | | |
| | | | | H08CrMoVA | | ER55-B2-V | | TIG-R31 | | | |
| | | H08CrMnSiMoV | — | — | | | | | | | |
| | | A | — | — | — | | | | | | |
| 贝氏体钢 | II | H08Cr2MoA | GB/T 14958 | ER62-B3、 ER62-R3L | — | TIG-R34 TIG-R40 TIG-R43 | — | — | — | | |
| 马氏体钢 | III | H1Cr5Mo | GB/T 14958 | — | — | TIG-R70 TIG-R82 | — | — | — | | |
| 不锈钢 | C | 马氏体 | I | H1Cr13、H2Cr13 | GB/T 14958 | — | — | — | — | — | — |
| | | 铁素体 | II | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 奥氏体 | III | H0Cr19Ni9 | GB/T 14958 | — | — | — | — | — | — |
| | | | | H1Cr19Ni9 | | | | | | | |
| | | | | H0Cr19Ni9Ti | | | | | | | |
| H0Cr19Ni9Nb | | | | | | | | | | | |
| H1Cr25Ni20 | GB/T 14958 | — | — | — | — | — | — | — | | | |

2) 对于国外的焊条、焊丝和焊剂,可在应用前查询有关资料或经试验验证,确认符合要求后方可使用。如国外的焊条、焊丝和焊剂的化学成分、力学性能与国内焊材表中某种相近,则可划入相应类级别中,与国内焊材等同对待。未列入焊材表中的焊条、焊丝和焊剂,如化学成分、力学性能、工艺特性与表中某种相近,也可划入相应类级中,可以应用;不能划入者,应另行评定。

3) 各类别的焊条、焊丝应分别评定。同类别而不同级别者,高级别的评定可适用于低级别;在同级别焊条中,经酸性焊条评定者,可免做碱性焊条评定。

4) 填充金属由实芯焊丝改变为药芯焊丝或反之,需评定。

5) 改变填充金属成分需评定。

6) 改变可燃气体或保护气体种类,取消背面保护气体需评定。

7) 异种钢焊接的材料选择应遵照 DL/T 752—2001《火力发电厂异种钢焊接技术规程》的规定原则。

8) 对于国外材料,尤其是高合金钢用焊接材料,应该充分掌握该材料的基本性能。与产品使用性能直接相关的一些重要指标应该通过试验取得验证后才能使用。

(6) 管子试件直径。一般规程对管子直径的评定没有严格规定。电力工业中,因各种管

子规格繁多，考虑到工艺上差异较大，故作出如下规定：

1) 当评定试件管子外径 $D_0 \leq 60\text{mm}$ 、采用氩弧焊焊接方法时，其工艺适用于焊件管子
的外径不规定。

2) 其他管径的评定，适用于焊件管子外径的范围为：下限 $0.5D_0$ ，上限不规定。

(7) 试件的焊接位置。电力工业针对行业特点，对评定的焊接位置和适用范围做了专门
规定，见表 2-3。有如下情况时，还应遵守下列规定：

1) 在立焊位中，当根层焊道从上向焊改为下向焊或反之，应重新评定。

2) 直径由不大于 60mm 管子的气焊、钨极氩弧焊，除对焊接工艺参数有特殊要求外，一
般仅对水平管进行评定，即可适用于焊件的所有焊接位置。

3) 管子全位置自动焊时，必须采用管状试件进行评定，不可用板状试件评定替代。

表 2-3 评定的焊接位置和适用范围

| 试件 类型 | 评定的焊接位置 | 适用焊件焊接位置 | |
|----------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| | | 板状 | 管状 |
| 板状 | 平焊 (1G) | 1G 及 1F、2F | 1F、1G |
| | 横焊 (2G) | 1G、2G 及 1F、2F | 1F、1G、2G 及 2F |
| | 立焊 (3G) | 1G、3G 及 1F、3F | 1F、1G、5G 及 4F、5F |
| | 仰焊 (4G) | 1G、3G、4G 及 1F、2F、3F、4F | 1F、1G、5G 及 4F、5F |
| | 横焊 (2G)+立焊 (3G)+仰 焊 (4G) | 所有位置 | 1G、2G、5G 及 1F、2F、4F、5F |
| 管状 | 水平转动焊 (1G) | 1G 及 1F、2F | 1G |
| | 垂直固定焊 (2G) | 2G 及 2F | 1G、2G 及 2F |
| | 水平固定焊 (5G) | 1G、3G、4G 及 1F、3F、4F | 1G、5G 及 4F、5F |
| | 垂直及水平固定焊 (2G+5G) | 1G、2G、3G、4G 及 1F、2F、3F、4F | 1G、2G、5G 及 2F、4F、5F |
| | 45° 固定焊 (6G) | 所有位置 | 所有位置 |

注 1 在立焊位中，当根层焊道从上向焊改为下向焊，或反之，应重新评定。

注 2 直径 $D_0 \leq 60\text{mm}$ 中管子的气焊、钨极氩弧焊，对水平固定焊进行评定可适用于焊件所有焊接位置。

注 3 管子全位置自动焊时，必须采用管状试件进行评定，不可用板状试件代替。

(8) 预热与层间温度。

预热温度与以下因素有关：

- 1) 被焊钢材的含碳量和合金含量。
- 2) 焊件的结构形状和接头的拘束度。
- 3) 焊接材料的扩散氢含量。
- 4) 焊件和周围的环境温度。

预热温度的确定：

1) 理论公式：查阅资料理论公式有很多，可根据实际条件进行选择。本书选择日本伊藤
公式参考确定预热温度，此公式与碳当量、扩散氢含量和壁厚有关，其计算式为

$$P_{cm} = C + \frac{M}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + \frac{Cu}{20} + 5B \quad (\%)$$

$$P_w = p_{cm} + \frac{H}{60} + \frac{\delta}{600}$$

式中 H——扩散氢含量，低氢型焊条约为 30mL/kg；

δ ——壁厚。

$$\text{预热温度} = 1440P_w - 392$$

2) 小铁研试验方法。以斜 Y 坡口不产生冷裂纹为限。

3) 参考相关规程及其他相关资料。

如果评定试件预热温度超过拟订的下列参数时，应该重新评定：

1) 评定试件预热温度降低 50℃；

2) 有冲击韧性要求的焊件，层间温度提高超过 50℃。

层间温度不应高出预热温度。层间温度过高，会降低冲击韧性。

(9) 焊后热处理。

1) 焊后热处理应严格按照各类钢材的热处理规定进行。焊后热处理与焊接操作完成的间隔时间应符合 DL/T 819—2002《火力发电厂焊接热处理技术规程》的规定。

2) 中间需要进行检验和不能一次将试件焊完的，要进行后热处理后再进行焊接。

(10) 焊接规范参数和操作技术。

当焊接规范参数和操作技术出现变化时，应按其参数类型重新评定或变更工艺指导书。

1) 气焊时，火焰性质的改变，由氧化焰改变为还原焰，或反之；

2) 自动焊时，改变导电嘴到工件间的距离；

3) 焊接速度变化范围比评定值大 10%；

4) 从手工焊改为自动焊，或反之；

5) 各种焊接器具型号或尺寸的改变；

6) 增加或取消焊缝背面清根；

7) 焊前或层间清理的方法或程度的改变；

8) 对焊缝焊后有无锤击；

9) 从无摆动改为摆动法，或反之；

10) 左向焊改变为右向焊，或反之；

11) 由立向上焊改变为立向下焊；

12) 自动焊中焊丝摆动宽度及频率和两端停顿时间的改变；

13) 从单面焊改变为双面焊；

14) 多道焊改变为单道焊；

可以综合考虑以上十四个方面要求或其他特殊条件，确定焊接工艺评定的项目。

(二) 编制焊接工艺评定方案

以低合金耐热钢 10CrMo910、 $\phi 273 \times 28\text{mm}$ 和高合金耐热钢 P91、 $\phi 325 \times 30\text{mm}$ 为例介绍编制工艺评定方案的方法。

(1) 编制工艺评定方案的基础要求。

1) 复核钢材、焊条材质单。复核钢材、焊条材质单，其技术指标应符合相关标准的规定，