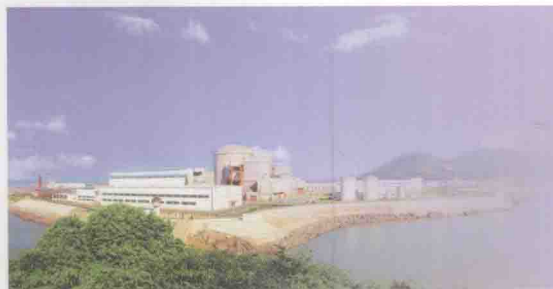




核电厂焊接



杨兰和 主 编
戚屯锋 副主编

中国核工业集团公司 编

中国原子能出版社

核 电 厂 焊 接

主 编 杨兰和

副主编 戚屯锋

中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

核电厂焊接/杨兰和主编. —北京:中国原子能出版社,2012. 1

ISBN 978-7-5022-5434-6

I. ①核… II. ①杨… III. ①核电厂—焊接—技术管理—教材 IV. ①TM623②TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 007142 号

内 容 简 介

本教材是根据中国核工业集团公司的要求而编写的,是中核集团 CP600 压水堆核电厂运行系列教材之一。可用于压水堆核电厂焊接专业人员基础理论培训及工作参考。

本教材以 RCCM—2000 及 RCCM—2002 补遗为主要参考,以 CP600 压水堆核电厂为例,全面、系统地讲述了核电厂在焊接管理领域里应进行的主要管理工作及其工作内容。其中主要内容包括核电厂常用材料的焊接,核电厂常用焊材的特性及焊材的管理,核电厂常用的焊接方法及核电厂特有设备的焊接,焊接过程中易出现的缺陷,焊工资格的管理及焊接工艺评定的管理,核电设备和管道焊缝标识标记,核电厂焊接检验及焊接安全技术等。

本教材可以帮助焊接专业技术人员系统了解核电厂焊接的基本内容和工作实践,以便更好地指导其完成焊接工作,为机组安全、可靠、经济地运行作出贡献。

核电厂焊接

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 王 青

技术编辑 丁怀兰 王亚翠

责任印制 潘玉玲

印 刷 保定市中华美凯印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 11.375 字 数 284 千字

版 次 2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-5434-6 定 价 56.00 元

网址:<http://www.aep.com.cn>

E-mail:atomep123@126.com

发行电话:010-68452845

版权所有 侵权必究

中国核工业集团公司 核电培训教材编审委员会

总 编 孙 勤
副 总 编 俞培根 叶奇蓁

编辑委员会

主 任 陈 桦
副 主 任 程慧平 孙习康 张 涛
委 员 仲卫东 刘志勇 马明泽 戚屯锋 邹正宇
顾颖宾 商幼明 缪亚民 赵 云 葛政法
周建虎 李苏甲 杨树录 李和香 段光荣

执行编委

谢 波 马寅军 王晓波 叶丹萌 莫银良
高小林 鲁忆迅 唐锡文 谢先林 蔡黎勇
修卫彬 刘 朔 肖 武 刘玉山

编委会办公室

姜福明 朱 黎 张红军 吴国安 程建秀
宫育锋 章 超 丁怀兰 黄 芳 戴 兵
廖昌斌 方朝霞 沈 阳 王亚翠

《核电厂焊接》

编 辑 部

主 编：杨兰和

副 主 编：戚屯锋

校 审：张兴田 丁有元 叶丹萌

编 写：王建军 唐世延 梁青松 席广俊 高 飞

李邱达 葛炼伟

编 辑：丁有元 张兴田 廖兰蜀 黄洁琳

统 审：毛正宥 唐锡文

总序

核工业作为国家高科技战略性产业,是国家安全的重要基石、重要的清洁能源供应,以及综合国力和大国地位的重要标志。

1978年以来,我国核工业第二次创业。中国核工业集团公司走出了一条以我为主发展民族核电的成功道路。在长期的核电设计、建造、运行和管理过程中,积累了丰富的实践和理论经验,在与国际同行合作过程中,实现了技术和管理与国际先进水平相接轨,取得了骄人的业绩。

中国核工业集团公司在三十多年的核电建设中,经历了起步、小批量建设、快速发展三个阶段。我国先后建成了秦山、大亚湾、田湾三大核电基地,实现了我国大陆核电“零”的突破、国产化的重大跨越、核电管理与国际接轨,走出了一条以我为主,发展民族核电的成功之路。在最近几年中,发展尤为迅猛。截至2008年底,核电运行机组11台,装机容量907.82万千瓦,全部稳定运行,态势良好。

进入新世纪,党中央、国务院和中央军委对核工业发展高度重视、极为关怀,对核工业做出了新的战略决策。胡锦涛总书记指出:“无论从促进经济社会发展看,还是从保障国家安全看,我们都必须切实把我国核事业发展好”。发展核电是优化能源结构、保障能源安全、满足经济社会发展需求的重要途径。2007年10月,国务院正式颁布了《核电中长期发展规划(2005—2020年)》。核电进入了快速、规模化、跨越式发展的新阶段。

在中国核电大发展之际,中国核工业集团公司继续以“核安全是核工业的生命线”的核安全文化理念和“透明、坦诚和开放”的企业管理心态,以推动核电又好又快又安全发展为己任,为加速培养核电发展所需的各类人才,组织核电领域专家,全面系统地对核电设计、工程建造、电站调试、生产准备和生产运营等各阶段的知识进行了梳理,构造了有逻辑性、系统性的核电知识体系,形成了覆盖核电各阶段的核电工程培训系列教材。

这套教材作为培养核电人才的重要工具,是国内目前第一套专业化、体系化、公开出版的核电人才培养系列教材,有助于开展培训工作,提高培训质量、节约培训成本,夯实核电发展基础。它集中了全集团的优势,突出高起点、实用性强,是集团化、专业化运作的又一次实践,是中国核工业 50 余年知识管理的积淀,是中国核工业 10 万人多年总结和实践经验的结晶。

21 世纪是“以人为本”的知识经济时代,拥有足够的优秀人才是企业持续发展的重要基础。中国核工业集团公司愿以这套教材为核电发展开路,为业界理论探讨、实践交流提供参考。

我们要继续以科学发展观为指导,认真贯彻落实党中央、国务院的指示精神,积极推进核电产业发展。特别是要把总结核电建设经验作为一项长期的工作来抓,不断更新和完善人才教育培训体系。

核电培训系列教材可广泛用于核电厂人员培训,也可用于核电管理者的学习工具书,对于有针对性地解决核电厂生产实践和管理问题具有重要的参考价值。

中国核工业集团公司总经理



2009 年 9 月 9 日

前 言

在核电厂设备制造、安装及检修过程中,焊接是一项不可或缺的特殊工艺过程,也是备受关注的安全生产相关活动。由于焊缝自身的力学性能不均匀性、材料不均匀性以及焊缝设计、焊接质量控制等多种因素的影响,焊接接头容易发生缺陷,并在随后的电厂运行中,在诸如应力、温度、辐照、氢吸附、腐蚀、振动和磨损等各种因素的作用下,引起接头材料性能的变化,甚至造成缺陷的萌生和扩展,成为核电厂部件、设备和系统的薄弱环节。

为了更好地指导压水堆核电厂开展焊接管理工作,充分了解核电厂焊接工作的特性、焊接管理工作的流程和特点,特编写本教材。本教材以 CP600 压水堆核电厂为例,全面、系统地讲述了核电厂在焊接管理领域里应进行的主要管理工作及其工作内容。其中主要内容包括核电厂常用材料的焊接,核电厂常用焊材的特性及焊材的管理,核电厂常用的焊接方法及核电厂特有设备的焊接,焊接过程中易出现的缺陷,焊工资格的管理及焊接工艺评定的管理,核电设备和管道焊缝标识标记,核电厂焊接检验及焊接安全技术等。

该教材的主要编写人员有王建军、唐世延、梁青松、高飞、葛炼伟、李邱达、席广俊等,校核人员主要有张兴田、丁有元等。本教材的编写得到了核电秦山联营有限公司培训教育委员会和内外部专家的指导,在此一并表示感谢!

本教材可供压水堆核电厂焊接管理工作参考,也可供新近从事核电厂焊接管理专业人员作为学习和培训教材使用。

由于编者自身的知识水平所限,书中难免有片面、不妥,甚至谬误之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者
2011年9月

目 录

第一章 核承压设备的 安全功能和部件分级

1.1 安全功能	1
1.1.1 安全功能的条目	1
1.1.2 安全功能的应用	2
1.1.3 安全功能的顺序排列	2
1.2 安全等级	3
1.2.1 总述	3
1.2.2 承压机械设备	4
1.2.3 非承压机械设备	5
1.2.4 燃料组件和燃料相关组件	6
1.2.5 电气设备	6
1.2.6 构筑物	7
1.2.7 核承压设备的分类、安全等级及安全功能的 应用举例	8
复习思考题	11

第二章 核电厂的质量保证

2.1 核电厂质量保证法规	12
2.2 核电厂质量保证概述	13
2.2.1 核电厂质量保证的基本要求	13
2.2.2 质量保证大纲的法规依据	13
2.2.3 质量保证的分级	14
2.3 核电厂质量保证安全规定	15
2.3.1 HAF003 的主要内容	15
2.3.2 HAF003 及其相关导则	17
复习思考题	17

第三章 核承压设备常用材料

3.1 核承压设备常用材料概述	18
3.1.1 核承压设备用钢的基本要求	18
3.1.2 基本许用应力极限的确定	18
3.2 核承压设备常用材料的分类	19
3.3 核承压设备常用材料性能	22
3.3.1 力学性能	22
3.3.2 残留元素的控制	22
3.3.3 抗晶间腐蚀性能	22
3.3.4 化学成分要求	23
3.3.5 见证件	24
3.3.6 常用钢材的性能	25
复习思考题	27

第四章 焊接材料

4.1 焊接材料分类	28
4.1.1 焊芯	29
4.1.2 实芯焊丝	29
4.1.3 药芯焊丝	29
4.1.4 电焊条	30
4.1.5 焊剂	33
4.1.6 钎料与钎剂	34
4.1.7 保护气体	35
4.2 焊接材料选用原则和管理导则	36
4.2.1 焊条选用原则	36
4.2.2 熔炼焊剂选用原则	38
4.2.3 保护气体选用原则	39
4.3 焊接填充材料的评定与验收	40
4.3.1 焊接填充材料的评定	40
4.3.2 填充材料的验收	42
4.4 焊接材料的存放和使用管理	45
4.4.1 焊接材料的存放	45
4.4.2 焊接材料的发放	46
4.4.3 焊接材料的使用管理	46
复习思考题	47

第五章 常用焊接方法

5.1 焊接方法的分类及特点	48
5.2 焊条电弧焊	49
5.2.1 焊条电弧焊的工艺特点	49
5.2.2 焊条电弧焊的工艺参数	49
5.2.3 焊条电弧焊技术	50
5.3 钨极氩弧焊的工艺特点	51
5.3.1 钨极氩弧焊工艺参数的选择	52
5.3.2 钨极氩弧焊的操作技能	52
5.3.3 TIG 焊手工摇摆操作法	53
5.4 埋弧焊	53
5.5 铜管钎焊	54
5.6 轴瓦巴氏合金补焊	55
5.6.1 轴瓦气孔的补焊	55
5.6.2 轴瓦磨损处的补焊	56
5.6.3 巴氏合金轴瓦剥离修复	56
复习思考题	57

第六章 焊工和焊接操作工资质

6.1 焊工和焊接操作工的考核	58
6.1.1 核级焊工和焊接操作工的考核	58
6.1.2 非核级焊工和焊接操作工的资格管理	65
6.2 焊工、焊接操作工资格证的维护	70
6.2.1 核级焊工资格证的维护	70
6.2.2 非核级焊工资格证的维护	70
复习思考题	71

第七章 核电厂设备制造和 维修的焊接工艺

7.1 核设备的焊接要求	72
7.2 母材验证及焊接材料的评定	72

7.2.1	焊接材料的采购、试验验收和使用的规定	73
7.2.2	焊接填充材料的评定	74
7.3	焊接工艺评定	75
7.3.1	焊接工艺评定的目的和意义	75
7.3.2	进行焊接工艺评定工作的依据	76
7.3.3	焊接工艺评定的基本准则	76
7.3.4	焊接工艺评定的程序	76
7.3.5	焊接工艺评定应注意的问题	76
7.4	核电厂常用钢材的焊接	77
7.4.1	高强度钢的焊接方法	77
7.4.2	奥氏体不锈钢的焊接	77
7.4.3	奥氏体-铁素体不锈钢的焊接	78
7.4.4	马氏体不锈钢的焊接	79
7.4.5	镍合金的焊接	79
7.4.6	异种金属的焊接	80
7.4.7	复合钢板的焊接	81
7.4.8	奥氏体不锈钢和镍基合金耐蚀堆焊	82
	复习思考题	83

第八章 核承压设备中特殊 焊接技术和要求

8.1	概述	84
8.1.1	特殊焊接技术项目及其重要性	84
8.1.2	模拟试验	84
8.1.3	产品焊缝实施前的条件	86
8.2	主管道焊接技术	87
8.2.1	概况	87
8.2.2	主管道的现场安装	88
8.3	波动管的焊接技术	92
8.3.1	波动管焊缝构成(每个回路)	92
8.3.2	焊前准备	93
8.3.3	焊接实施	93
8.3.4	焊缝检验	94
8.3.5	焊接见证件	94
8.4	控制棒驱动机构“Ω”环的焊接技术	94
8.4.1	焊接材料	94
8.4.2	试验设备	95

8.4.3	工艺评定试验	95
8.4.4	试验中遇到的问题及解决办法	97
8.4.5	结论	98
复习思考题		98

第九章 焊接接头分类及性能

9.1	焊接接头的分类及表示方法	100
9.1.1	焊接接头及其特点	100
9.1.2	焊接接头的基本类型	100
9.2	焊缝符号及焊接工艺参数	104
9.2.1	焊缝符号	104
9.2.2	焊接工艺参数对焊缝的影响	109
9.3	焊接接头的力学性能	110
9.3.1	焊接接头的均匀性	110
9.3.2	焊接接头的基本力学性能测试	111
复习思考题		115

第十章 常见焊接缺陷

10.1	焊接缺陷的分类	116
10.1.1	焊接缺陷	116
10.1.2	焊接缺陷的分类方法	116
10.2	焊接缺陷产生的原因	117
10.2.1	裂纹	117
10.2.2	气孔	122
10.2.3	夹杂物	123
10.2.4	未熔合	124
10.2.5	未焊透	124
10.2.6	咬边	124
10.2.7	焊瘤	125
10.2.8	塌陷	125
10.2.9	烧穿	125
10.2.10	凹坑与弧坑	126
10.2.11	电弧擦伤	126
10.2.12	飞溅	126

10.3 焊接缺陷防止措施	126
10.3.1 裂纹	127
10.3.2 气孔	130
10.3.3 夹杂物	131
10.3.4 未熔合	131
10.3.5 未焊透	131
10.3.6 咬边	132
10.3.7 焊瘤	132
10.3.8 塌陷	132
10.3.9 烧穿	132
10.3.10 凹坑与弧坑	133
10.3.11 电弧擦伤	133
10.3.12 飞溅	133
复习思考题	133

第十一章 焊接检验

11.1 焊接检验的方法	135
11.1.1 非破坏性检验	135
11.1.2 破坏性检验	137
11.2 焊前检验	138
11.2.1 文件检查	138
11.2.2 作业现场检查	139
11.3 焊接过程检验	140
11.3.1 组对检查	140
11.3.2 焊接工艺控制	140
11.4 焊后检验	141
11.4.1 产品检验	141
11.4.2 焊接工艺评定试验等的检验	142
复习思考题	143

第十二章 核电厂设备和管道 焊缝标识标记

12.1 标识和标记	144
12.2 核电厂主要设备的标识标记	145
12.2.1 反应堆压力容器	145

12.2.2	蒸汽发生器	146
12.2.3	稳压器	148
12.2.4	反应堆冷却剂泵	149
12.3	管道焊缝的标识标记	150
12.3.1	管道的参考标记	150
12.3.2	环焊缝	150
12.3.3	纵焊缝	151
12.3.4	管嘴和射线插塞	152
12.3.5	焊接支吊架	152
12.4	制作标识标记的方法	155
12.4.1	制作标记的方法	155
12.4.2	制作临时标记的方法	156
12.5	标识标记的变化规则	156

第十三章 焊接安全技术

13.1	焊接安全卫生的一般要求	159
13.1.1	焊接的有害因素	159
13.1.2	焊接设备安全技术	161
13.1.3	焊接劳动卫生及个人防护	161
13.2	常用焊接方法的安全技术	162
13.2.1	电弧焊的安全技术	162
13.2.2	气体保护焊的安全技术	165
13.2.3	埋弧焊的安全技术	165
	复习思考题	166

第一章 核承压设备的安全功能和部件分级

一座核电厂的合理设计要求考虑很多因素,而这些因素的综合作用决定了核电厂总的安全性和可靠性。设计中必须考虑诸如自然现象和人为事件等与厂址有关、又能影响电厂安全运行的因素。核电厂内有许多构筑物、系统和部件对总的安全性和可靠性起着重要作用,另外还必须认真考虑电厂运行的各方面,只有这样,才能在寿期内维持高度的安全性。

我们应该认识到,核电厂某些系统、部件和构筑物对安全的作用要比另一些系统、部件和构筑物更大。目前国际上大都以确定论法和概率论法或混合采用这两种方法来确定对安全有关的系统、部件和构筑物的分级。在确定论法中常对那些安全上重要的,其损坏能导致重大的放射性释放事故的系统、部件和构筑物提出各种要求。这些要求是强行规定的,不需要考虑损坏的概率或缓解效应。概率论法则根据要求某一安全功能起作用的概率以及该安全功能失效的后果来评价安全的重要性,此法在确定各系统、部件和构筑物的安全重要性的相对顺序时特别有用。

正确划分安全功能和部件的安全等级是正确选择和采用设计规范、标准的前提,因而国家核安全局于1986年10月30日批准发布了《用于沸水堆、压水堆和压力管式反应堆的安全功能和部件分级》导则(HAD102/03)。本导则是对《核电厂设计安全规定》有关条款的说明和补充,编写本导则的目的是为划分核电厂内与安全有关的构筑物、系统和部件的安全功能和部件的安全等级提供具体指导。

1.1 安全功能

为保证必要的安全性,电厂设计必须满足下列安全功能要求:

(1) 必须为在某些运行工况和事故工况期间和之后的安全停堆和维持停堆状态提供必要的手段;

(2) 必须在某些运行工况和事故工况期间和之后,为停堆后从堆芯排出余热提供必要的手段;

(3) 必须为减少可能的放射性物质释放、为保证运行工况期间和之后的任何释放不超过规定限值,事故工况期间和之后的任何释放不超过可接受的限值提供必要的手段。

1.1.1 安全功能的条目

(a) 防止发生不可接受的反应性瞬变;

(b) 在所有停堆动作完成后将反应堆保持在安全停堆状态;

(c) 按要求关停反应堆以防止预计运行事件发展为事故工况和减轻事故工况的后果;

(d) 在冷却剂流失事故后,在必须采取停堆行动才能使堆芯得到可接受的冷却情况下,



关停反应堆；

(e1) 在事故工况(不包括反应堆冷却剂压力边界失效事故)期间和之后,保持足够的反应堆冷却剂总量用以冷却堆芯；

(e2) 在所有运行工况期间和之后,保持足够的反应堆冷却剂总量用以冷却堆芯；

(f) 在反应堆冷却剂系统压力边界失效之后,从堆芯排出余热以限制燃料损坏；

(g) 在反应堆冷却剂系统压力边界完整的情况下,在某些运行工况或事故工况期间,从堆芯排出余热；

(h) 将其他安全系统的热量转移到最终热阱；

(i) 作为一种支持性功能,为安全系统提供必要的公用设施；

(j) 保持堆芯内的燃料包壳可接受的完整性；

(k) 保持反应堆冷却剂系统压力边界的完整性；

(l) 限制放射性物质在事故工况期间和之后,从反应堆安全壳内向外释放；

(m) 在反应堆安全壳以外发生放射性物质释放的事故工况期间和之后,使公众和厂区人员受到辐射照射保持在可接受的限值以内；

(n) 在所有运行工况下将放射性废物和气载放射性物质的排放或释放限制在规定的限值以内；

(o) 对核电厂厂区的环境状况保持控制,以便各安全系统能够正常运行,并为进行安全上重要操作的运行人员提供必要的可居留性；

(p) 在所有运行工况期间,对在反应堆冷却剂系统以外,但仍在厂区以内运输或贮存的辐照过的燃料的放射性进行控制；

(q) 从存储在反应堆冷却剂系统以外,但仍在厂区以内的辐照过的燃料中排出衰变热；

(r) 使贮存在反应堆冷却剂系统以外,但仍在厂区以内的燃料保持足够次临界度；

(s) 当某一部件或构筑物的损坏会损害某一功能时,防止该部件或构筑物发生损坏或限制其损坏引起的后果。

1.1.2 安全功能的应用

安全功能条目可用来达到下列两个或其中任一目的：

(1) 提供一张参考的安全功能条目表,作为确定某一系统、部件或构筑物能否执行或有助于执行某一项或几项安全功能的基础。

(2) 根据所考虑的特定的最终用途,现将每项功能按其安全的重要性的大小排列先后顺序,然后按照这一顺序将这些功能分组,每组称为一个“安全等级”。在对其他类型部件,或对诸如抗震要求、质量保证等其他方面进行分级时,可能会证明制定这种安全等级是很有用的。

1.1.3 安全功能的顺序排列

安全功能指的是为完成上述的安全要求所必需的那些功能。某一安全功能失效可能导致安全性的降低,从而引起辐射的增加。

一般来说,安全等级的划分取决于所要分级的科目、因设备失效而受影响的安全功能的数目以及其他各种因素。不管对哪种科目进行分级,也不管划分为多少个安全等级,这种分