

Yashuidui Hedianzhan Hedao

Zhushebei Cailiao he Hanjie

压水堆核电站核岛 主设备材料和焊接

上海发电设备成套设计研究院

上海科学技术文献出版社

压水堆核电站核岛 主设备材料和焊接

上海发电设备成套设计研究院

上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

压水堆核电站核岛主设备材料和焊接/上海发电设备成套设计研究院编. —上海: 上海科学技术文献出版社, 2009. 4

ISBN 978-7-5439-3880-9

I. 压… II. 上… III. ①压水型堆-核电站-设备 ②压水型堆-核电站-焊接 IV. TM623.91

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第020676号

责任编辑: 忻静芬

封面设计: 汪 溪

压水堆核电站核岛主设备材料和焊接

上海发电设备成套设计研究院

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市长乐路746号 邮政编码200040)

全国新华书店经销

江苏常熟市人民印刷厂印刷

*

开本660X990 1/16 印张27.75 字数454 000

2008年12月第1版 2008年12月第1次印刷

ISBN 978-7-5439-3880-9

定价: 98.00元

<http://www.sstlp.com>

编 委 会

主 任：徐洪海

副主任：戴佩琨 张 瑞

主 编：戴佩琨

副主编：吴祖乾 张 晨

编 辑：邵濬泉 余 燕 倪国良 金伟芳

夏春申 胡兰芬 米大伟 李玉杰

前 言

核电是清洁高效、安全可靠的能源,推进核电建设是我国能源发展的重要方向,在未来数十年中将大力发展核电工业。

为加快我国核电设备生产的四个自主化,特别是材料和制造的国产化,我们编写了本书,供主设备设计、材料、焊接、制造、检验、运行和维修等有关单位以及大专院校、科研院所等有关工程技术人员参考,希望能对材料(包括焊接材料)国产化起到一定的促进作用,并且亦为制订我国自己设计制造的核岛承压设备用材料和焊接标准作好应有的准备。

本书分材料和焊接两部分。材料篇包括反应堆压力容器、堆内构件、蒸汽发生器和稳压器、蒸汽发生器传热管,以及核岛其他主设备如反应堆冷却剂泵体、冷却剂主管道、磁力提升控制棒驱动机构和主螺栓等章节;焊接篇包括低合金钢用焊接材料、奥氏体不锈钢用焊接材料、镍基合金焊接材料、钴基合金焊接材料、核岛主设备焊接工艺、焊接工艺评定等章节。这些章节基本上覆盖了核岛主设备用材料、焊接材料以及承压设备主要焊接工艺和焊接工艺评定等内容。

本书由上海发电设备成套设计研究院负责,组织本院及上海核工程研究设计院、上海电气集团重工集团有关专家共同编写。在编写过程中参阅了美国 ASME 标准、法国 RCC-M 标准和我国现有的核电有关标准,同时也得到了国内各生产企业、SMC(美国)、SANDVIC(瑞典)等公司的大力支持,在此一并表示感谢。文中难免有不足之处,敬请批评、指正。

上海发电设备成套设计研究院

徐洪海

目 录

上篇 材料篇

第1章 压水堆核电站主设备用钢	3
一、概述	3
二、反应堆压力容器的结构	5
三、钢的化学成分	11
四、制造	13
(一) 制造程序	13
(二) 熔炼及铸锭	13
(三) 锻造	14
(四) 热处理	14
(五) 最终力学性能试验用料	15
(六) 送买方的料	15
(七) 锻件的切削加工	15
五、钢的力学性能	15
(一) 拉伸性能要求	15
(二) 冲击性能要求	16
(三) 取样方向与部位	16
(四) 试样的数量及制备	19
(五) 结果及复试	19
(六) 材料拉伸强度和设计应力强度值的关系准则	20
(七) 压力容器材料的强度和断裂韧性	20
(八) 无延性转变温度(T_{NDT})的测定	22
(九) 参考无延性转变温度(RT_{NDT})的建立	24

(十) 影响压力容器寿命的主要因素	24
六、检验和试验	31
(一) 化学分析	31
(二) 金相检验	31
七、无损检验	31
(一) 超声波检验	31
(二) 磁粉检验	31
(三) 尺寸和外观检验	32
八、缺陷的清除和修补	32
附录 1 反应堆压力容器设计准则和要求	32
附录 2 反应堆压力容器承压热冲击评定准则	33
附录 3 RT_{NDT} 温度的测定	34
第 2 章 压水堆堆内构件材料	35
一、概述	35
(一) 奥氏体不锈钢	37
(二) 马氏体不锈钢	38
(三) 镍基合金	38
二、奥氏体不锈钢	39
(一) 奥氏体不锈钢棒材及中小锻件	39
(二) 奥氏体不锈钢大锻件	46
(三) 奥氏体不锈钢板	52
(四) 奥氏体不锈钢管	58
三、马氏体不锈钢	64
(一) 涉及的零件	64
(二) 制造	64
(三) 化学成分	65
(四) 力学性能	65
(五) 金相检验	68
(六) 无损检验	68
(七) 锻件尺寸检验	70
四、镍基合金	70
(一) 涉及的零件	70

(二) 制造	70
(三) 化学成分	71
(四) 力学性能	74
(五) 金相试验	74
(六) 无损检验	75
(七) 表面质量和尺寸检验	75
(八) 复验和重新热处理	76
附录 按 RCC-M 规范采购的堆内支承结构(CS)材料汇总表	76
第3章 蒸汽发生器和稳压器用钢	79
一、概述	79
(一) 蒸汽发生器的功能和安全性	79
(二) 蒸汽发生器的结构设计	79
(三) 稳压器的功能和工作原理	81
(四) 稳压器的结构设计	81
二、蒸汽发生器主要部件用钢	84
三、蒸汽发生器下封头和管板用钢	86
(一) 制造	87
(二) 热处理	89
(三) 钢的力学性能	90
(四) 重新热处理	93
(五) 在经模拟消除应力热处理的试料上进行的试验	93
(六) 基体金属见证件	94
(七) 外观检查	94
(八) 内部缺陷检查	94
(九) 缺陷部位的消除和修补	95
(十) 尺寸检查	95
(十一) 标记	95
(十二) 清洁—包装—运输	95
(十三) 试验报告	95
四、蒸汽发生器水室隔板用合金	96
(一) Inconel 690 合金板的熔炼	96
(二) 化学成分	96

(三) 制造程序	97
(四) 热处理	97
(五) 力学性能	97
五、蒸汽发生器支承板和流量分配板用钢	100
(一) 冶炼	100
(二) 化学成分	101
(三) 制造	101
(四) 力学性能	102
(五) 表面缺陷检验	105
(六) 内部缺陷检验	105
(七) 缺陷部位清除	106
(八) 原状验收再进行修补	106
(九) 其他	107
六、稳压器壳体用钢	107
(一) 牌号和冶炼	107
(二) 化学成分	107
(三) 制造	108
(四) 力学性能	108
(五) 试验	110
(六) 重新热处理	112
(七) 在经过模拟消除应力热处理的试料上进行的试验	112
(八) 外观检验	113
(九) 内部缺陷检验	113
(十) 缺陷部位清除	113
(十一) 尺寸检查	114
(十二) 标记	114
(十三) 清洁—包装—运输	114
(十四) 试验报告	114
第4章 蒸汽发生器传热管和其他镍基材料	115
一、概述	115
(一) 蒸汽发生器传热管的结构	116
(二) 传热管用钢的牌号	117

二、常用蒸汽发生器传热管材料	119
(一) 690 合金	119
(二) 600 合金	126
(三) 800 合金	133
附录 1 ASTM SB-163-2004 标准介绍	134
附录 2 俄罗斯 ГY 14-3-197-89 标准介绍	142
附录 3 法国 RCC-M 零部件采购规范介绍	144
第 5 章 核岛其他主设备用钢	151
一、反应堆冷却剂泵用钢	151
(一) 反应堆冷却剂泵泵体用钢	151
(二) 泵轴用钢	154
(三) 导叶用钢	155
(四) 导叶法兰用钢	156
(五) 紧固件主螺栓用钢	157
(六) 电机轴用锻件	157
(七) 飞轮盘用钢板	158
(八) 主法兰用锻件	159
二、冷却剂主管道用钢	160
(一) 化学成分	161
(二) 制造	162
(三) 力学性能	163
(四) 检查	164
三、磁力提升控制棒驱动机构用材料	165
(一) 驱动机构用奥氏体不锈钢	166
(二) 驱动机构用马氏体不锈钢	171
(三) 驱动机构用特殊合金	176
(四) 驱动机构用其他金属材料	180
四、反应堆压力容器用螺栓材料	180
(一) 概况	180
(二) 化学成分	181
(三) 制造	181
(四) 力学性能	183

(五) 检查、打磨与报告	186
附录	188

下篇 焊接篇

第6章 核岛主设备压力容器焊接用低合金钢焊接材料	195
一、概述	195
二、核岛主设备压力容器焊接用低合金钢焊接材料	196
(一) 核岛主设备压力容器焊接用低合金钢焊接材料的一般要求	196
(二) 300 MW 核岛主设备用低合金钢焊接材料的要求	197
(三) 600 MW 核岛主设备用低合金钢焊接材料的要求	197
(四) 某核电站一期工程核岛主设备用低合金钢焊接材料的要求	198
(五) 焊接材料试验的基本要求	199
三、核岛主设备用低合金钢手工电弧焊焊条	199
(一) 核岛主设备用低合金钢焊条标准	199
(二) 核岛主设备用低合金钢手工电弧焊焊条介绍	202
四、核岛主设备用低合金钢埋弧焊焊丝和焊剂	207
(一) 核岛主设备用低合金钢埋弧焊焊丝和焊剂标准	207
(二) 核岛主设备用低合金钢埋弧焊焊丝和焊剂介绍	210
附录1 低合金钢焊条的采购和验收规程	217
附录2 低合金钢埋弧焊焊丝和焊剂的采购和验收规程	221
第7章 核岛主设备焊接和堆焊用不锈钢焊接材料	227
一、概述	227
二、核岛主设备用不锈钢焊接材料	228
(一) 核岛主设备焊接用不锈钢焊接材料的要求	228
(二) 核岛主设备耐蚀层堆焊用不锈钢焊接材料的要求	230
(三) 不锈钢焊接和堆焊材料的试验项目及验收准则	232
三、核岛主设备焊接和堆焊用不锈钢焊条	235
(一) 核岛主设备用不锈钢焊条标准	235
(二) 不锈钢焊条介绍	238
四、核岛主设备埋弧焊和堆焊用不锈钢焊丝(焊带)和焊剂	243

(一) 核岛主设备用不锈钢焊丝(焊带)标准	244
(二) 埋弧焊和堆焊用不锈钢焊带(焊丝)和焊剂介绍	246
五、核设备气体保护焊用不锈钢实心焊丝	252
(一) 核设备用不锈钢实心焊丝标准	252
(二) 气体保护焊用不锈钢实心焊丝介绍	254
附录 1 不锈钢焊条的采购和验收规程	258
附录 2 埋弧焊用不锈钢焊丝(焊带)和焊剂的采购和 验收规程	263
附录 3 气体保护焊用不锈钢实心焊丝的采购和验收规程	269
第 8 章 核岛主设备焊接和堆焊用镍基合金焊接材料	275
一、概述	275
二、核岛主设备用镍基合金焊接材料	276
(一) 核岛主设备堆焊和焊接用镍基合金焊接材料的要求	276
(二) 镍基合金焊接和堆焊材料的基本要求	280
三、核岛主设备焊接和堆焊用镍基合金焊条	282
(一) 核岛主设备用镍基合金焊条标准	282
(二) 镍基合金焊条介绍	284
四、核岛主设备埋弧焊接和堆焊用镍基合金焊丝(焊带)	287
(一) 核岛主设备埋弧焊用镍基合金焊丝(焊带)标准	287
(二) 镍基合金焊带(焊丝)和焊剂介绍	291
五、核岛主设备气体保护焊接和堆焊用镍基合金焊丝	296
(一) 核岛主设备气体保护焊用镍基合金焊丝标准	296
(二) 镍基合金焊丝介绍	297
附录 1 镍基合金焊条采购和验收规程	301
附录 2 镍基合金堆焊用焊丝(焊带)和焊剂的采购和验收规程	305
附录 3 镍基合金焊丝的采购和验收规程	310
第 9 章 核岛主设备堆焊用钴基合金焊接材料	315
一、概述	315
二、核岛主设备用钴基合金堆焊材料	315
(一) 某 600 MW 核岛主设备对钴基合金堆焊材料的要求	315
(二) 对钴基合金堆焊材料的基本要求	316

三、核岛主设备堆焊用钴基合金焊条	316
(一) 核岛主设备用钴基合金焊条标准	317
(二) 钴基合金焊条介绍	317
四、核岛主设备堆焊用钴基合金焊丝和填充丝	319
(一) 核岛主设备堆焊用钴基合金焊丝和填充丝标准	319
(二) 钴基合金焊丝和填充丝介绍	320
附录 1 钴基合金焊条的采购和验收规程	320
附录 2 钴基合金焊丝和填充丝的采购和验收规程	323
第 10 章 核岛压力容器焊接工艺	327
一、概述	327
二、反应堆压力容器焊接基本要求	327
三、反应堆压力容器焊接	328
(一) 反应堆压力容器主焊缝焊接	330
(二) 大面积不锈钢堆焊	332
(三) 进出水接管焊接	333
(四) 接管与安全端焊接	334
四、蒸汽发生器的焊接	335
(一) 蒸汽发生器管板镍基合金堆焊	337
(二) 蒸汽发生器管子管板焊接	338
五、堆内构件吊篮筒体的焊接	339
第 11 章 焊接工艺评定	340
一、概述	340
(一) 焊接工艺评定过程及目的	340
(二) 焊接工艺评定指导书内容	341
(三) 焊接工艺评定报告(PQR)内容	341
(四) 焊接工艺评定试件的实施要求	342
二、ASME 规范的焊接工艺评定	342
(一) 评定的基本规则	343
(二) 重新评定的规则	345
(三) 试件、试样的制备和检验	350
(四) 评定不合格的处理	357

(五) 最终热处理后返修区域焊接工艺评定的规定	357
三、RCC-M 规范的焊接工艺评定	359
(一) 概述	359
(二) 对接焊缝评定的基本规则	360
(三) 耐蚀层堆焊评定	375
(四) 特殊焊缝评定	382
(五) 热交换器管子与管板的焊接评定	384
(六) 管道焊缝评定	388
四、ASME 规范与 RCC-M 规范在焊接工艺评定上的主要差别	392
(一) 评定方法	392
(二) 车间	393
(三) 母材形状和尺寸	393
(四) 坡口型式	393
(五) 焊接位置和焊接方向	393
(六) 焊接工艺和参数	393
(七) 试验项目和取样部位	393
(八) 返修焊和补焊	394
(九) 焊接工艺评定的转让	394
(十) 评定的有效期	394
附录: 焊接工艺规程和工艺评定报告推荐格式	395
 第 12 章 焊接工艺评定实例	399
一、概述	399
二、反应堆压力容器主焊缝焊接工艺评定	400
(一) 反应堆压力容器主焊缝焊接工艺说明	400
(二) 反应堆压力容器主焊缝焊接工艺评定要求	401
(三) 焊接工艺评定试验项目	402
三、反应堆压力容器内壁不锈钢带极堆焊工艺评定	404
(一) 反应堆压力容器内壁不锈钢带极堆焊工艺说明	404
(二) 反应堆压力容器内壁不锈钢带极堆焊工艺评定要求	405
(三) 堆焊工艺评定试验项目	406
四、反应堆压力容器接管与安全端异种材料焊接工艺评定	407
(一) 反应堆压力容器接管与安全端焊接工艺说明	407

(二) 反应堆压力容器接管与安全端焊接工艺评定要求	408
(三) 焊接工艺评定试验项目	410
五、反应堆压力容器顶盖驱动管座焊接工艺评定	410
(一) 反应堆压力容器顶盖驱动管座焊接工艺说明	410
(二) 反应堆压力容器顶盖驱动管座焊接工艺评定要求	411
(三) 驱动管座焊接工艺评定试验项目	413
六、蒸汽发生器管板镍基合金堆焊工艺评定	413
(一) 蒸汽发生器管板镍基合金堆焊工艺说明	413
(二) 蒸汽发生器管板镍基合金堆焊工艺评定要求	415
(三) 堆焊工艺评定试验项目	416
七、蒸汽发生器管子管板焊接工艺评定	416
(一) 蒸汽发生器管子管板焊接工艺说明	416
(二) 蒸汽发生器管子管板焊接工艺评定要求	417
(三) 焊接工艺评定试验项目	418
(四) 管子管板焊接接头补焊工艺评定	419
八、堆内构件吊篮筒体焊接工艺评定	419
(一) 堆内构件吊篮筒体焊接工艺说明	419
(二) 堆内构件吊篮筒体焊接工艺评定要求	419
(三) 焊接工艺评定试验项目	421
九、堆内构件钴基合金堆焊工艺评定	423
(一) 堆内构件钴基合金堆焊工艺说明	423
(二) 堆内构件钴基合金堆焊工艺评定要求	423
(三) 堆焊工艺评定试验项目	425
十、堆焊层修补焊接工艺评定	425
(一) 堆焊层修补焊接工艺说明	425
(二) 补焊工艺评定要求	426
(三) 补焊工艺评定试验项目	427

上

篇



材 料 篇

