



VVER-1000

核电厂换料机结构及操作



黄 潜 主 编
张福海 屈凡玉 副主编

中国核工业集团公司 编

中国原子能出版社

VVER-1000 核电厂 换料机结构及操作

主 编 黄 潜

副主编 张福海 屈凡玉

中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

VVER-1000 核电厂换料机结构及操作 / 黄潜主编. —北京:中国原子能出版社,2014.3
ISBN 978-7-5022-6153-5

I. ①V… II. ①黄… III. ①核电厂—反应堆装料
IV. ①TL353

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 004207 号

内 容 简 介

本教材系统介绍了田湾核电厂换料机的主要技术参数、换料机的机械结构及工作原理、装换料的工艺操作过程、换料前换料机的准备等内容。

本教材适合田湾核电厂换料机操作人员使用,也可作为其他工作人员进行核燃料相关工作时的参考资料。

VVER-1000 核电厂换料机结构及操作

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 杨树录 侯茸方
装帧设计 赵 杰
责任校对 冯莲凤
技术编辑 丁怀兰
印 刷 保定市中画美凯印刷有限公司
经 销 全国新华书店
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 6.5
字 数 163 千字
版 次 2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-6153-5 定 价 35.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>
发行电话: 010-68452845

E-mail: atomep123@126.com
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	何小剑			
委 员	李建峰	张振华	张建成	吴炳泉	戚屯锋	
	邹正宇	黄 潜	商幼明	缪亚民	卢铁忠	
	葛政法	周建虎	张 勇	李苏甲	杨树录	
	邵焕会	于鉴夫				

执行编委

王 刚	郭善兴	莫银良	陆言琳	王祥玉
杨 克	屈凡玉	蔡黎勇	唐锡文	谢先林
李 雁	王海平	祁昌明	丁怀兰	肖 武
张国华				

编委会办公室

霍颖颖	张红军	李兴雷	齐红心	章 超
刘 朔	侯茸方	黄 芳	方朝霞	李 丹
沈 阳				

《VVER-1000 核电厂换料机结构及操作》

编 辑 部

主 编 黄 潜

副 主 编 张福海 屈凡玉

编 写 周 礼

校 对 郑海全

审 核 尚衍智

统审专家 傅仁浦 尹凤奎

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21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

Handwritten signature of Sun Li in black ink.

2009 年 9 月 9 日

前 言

本教材系统地介绍了田湾核电厂换料机的主要技术参数、换料机的机械结构及工作原理、装换料的工艺操作过程、换料前换料机的准备。

本教材供田湾核电厂换料机操作人员学习使用,也可以作为其他工作人员进行核燃料相关工作时的参考资料。

在学习过程中,学员需将理论和实践结合起来,通过对现场设备的操作来提高核燃料操作的技能水平,从而达到最佳的培训效果。

由于编者水平有限,考虑不周,难免出现纰漏和错误,欢迎读者指出,以便于本教材升版及其他学员的共同提高。

目 录

第一章 绪 论

1.1 换料机设计	1
1.2 名词、术语解释	1

第二章 换料机的功能与设计参数

2.1 换料机的功能	2
2.2 换料机的设计参数	3

第三章 换料机整体构成、 技术参数及操作方式

3.1 换料机整体构成	5
3.2 换料机技术参数	6
3.3 换料机操作方式	8
3.3.1 控制状态	8
3.3.2 模拟状态	9
复习思考题	9

第四章 换料机操作基础

4.1 总则	10
4.2 状态的选择	10
4.3 控制系统的程序启动及关闭	11

4.3.1	Tenore NT 程序启动	11
4.3.2	用户进入 Tenore NT 系统或用户变更	12
4.3.3	系统主菜单界面	12
4.3.4	用户退出并关闭 Tenore NT 系统	15
4.4	控制工况的选择及工况操作界面	16
4.4.1	控制工况的选择	16
4.4.2	手动不带闭锁控制工况	17
4.4.3	大桥机构的操作界面介绍	17
4.4.4	小车机构的操作界面介绍	20
4.4.5	工作杆升降机构的操作界面介绍	21
4.4.6	燃料组件抓具机构的操作界面介绍	22
4.4.7	控制棒抓具机构的操作界面介绍	23
4.4.8	电视杆旋转机构的操作界面介绍	23
4.4.9	电视杆升降机构的操作界面介绍	24
4.4.10	工作杆旋转机构的操作界面介绍	24
4.4.11	拉断提升机构的操作界面介绍	26
4.4.12	燃料组件头部高度检测装置机构的操作界面介绍	27
	复习思考题	27

第五章 换料机各部分结构与操作

5.1	大桥	28
5.1.1	大桥的主要构成及运行原理	28
5.1.2	大桥部件详解	29
5.1.3	大桥的运行操作	36
5.2	小车	39
5.2.1	小车的主要构成及运行原理	39
5.2.2	小车部件详解	40
5.2.3	小车的运行操作	43
5.3	电视杆旋转平台	44
5.3.1	电视杆旋转平台的主要构成及运行原理	44
5.3.2	电视杆旋转平台部件详解	44
5.3.3	电视杆旋转平台的运行操作	46
5.4	电视杆	46
5.4.1	电视杆的主要构成及运行原理	46
5.4.2	电视杆部件详解	47
5.4.3	电视杆的运行操作	50

5.5 工作杆与控制棒抓具	50
5.5.1 工作杆与控制棒抓具的主要构成及运行原理	50
5.5.2 工作杆与控制棒抓具部件详解	51
5.5.3 工作杆与控制棒抓具的运行操作	57
5.6 工作杆的旋转机构	58
5.6.1 工作杆旋转机构的主要构成及运行原理	58
5.6.2 工作杆旋转机构部件详解	59
5.6.3 工作杆旋转机构的运行操作	60
5.7 拉断提升机构	60
5.7.1 拉断提升机构的主要构成及运行原理	60
5.7.2 拉断提升机构的部件详解	60
5.7.3 拉断提升机构的运行操作	62
5.8 大桥的导线装置	62
5.9 轨道	63
5.10 棒束导向套、棒束检查支座及导向套存放支座	64
5.10.1 棒束导向套	64
5.10.2 棒束检查支座	65
5.10.3 棒束导向套存放支座	65
5.11 燃料组件头部高度检测装置	66
5.12 燃料组件底座检查装置	66
5.13 跌落燃料组件抓具	69
复习思考题	70

第六章 换料机高级操作与应急操作

6.1 水位管理	71
6.1.1 自动设置水位高度	71
6.1.2 手动设置水位高度	72
6.2 Move Object 移动对象	73
6.3 单元格坐标及物项信息的修改	74
6.3.1 单元格坐标信息修改	74
6.3.2 单元格内物项信息的修改	75
6.4 手动带闭锁工况控制操作	77
6.4.1 工况选择程序	77
6.4.2 控制页面的结构	78
6.4.3 机构启动操作流程	79

6.5 自动工况控制操作	80
6.5.1 操作界面介绍	80
6.5.2 自动工况的操作流程	85
6.5.3 循环执行中的注意事项	88
6.5.4 可执行的工艺循环	88
6.6 半自动工况控制操作	90
6.7 大桥、小车点动操作	90
6.8 应急操作	91
6.8.1 应急控制盘操作	91
6.8.2 手动驱动机构操作	92
操作题	92

第一章 绪 论

1.1 换料机设计

换料机的技术设计是以换料机技术任务书 CKA65091T3, 技术要求 428Ю08Д2 和技术规格书 428-ПП-362 为依据的。

用于田湾核电厂 1、2 号机组反应堆和乏燃料水池区域核燃料装载、倒换和卸出等相关的工艺运输操作, 同时检查燃料组件包壳密封性并将乏燃料组件装入乏燃料运输容器 TK-13。

1.2 名词、术语解释

在本教材中使用了下列名词或术语:

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| • 反应堆 | 用于放置反应堆的燃料组件 |
| • 换料井 | 用于放置燃料吊篮 |
| • 燃料吊篮(区别于堆芯吊篮) | 用于将新燃料由燃料厂房运入换料井中 |
| • 乏燃料水池 | 用于存放乏燃料及相关组件 |
| • 乏燃料水池燃料贮存格架 | 用于存放乏燃料或棒束存放架 |
| • 乏燃料水池密封容器贮存格架 | 用于存放密封容器 |
| • 密封容器 | 用于存放包壳破损的燃料组件 |
| • 换料机(型号 МПС-В-428) | 用于堆芯换料及相关组件配插 |
| • 控制棒组件 | 用于堆芯反应性控制及停堆 |
| • 可燃毒物棒组件 | 首炉燃料中用于平衡反应性 |
| • 工作杆 | 换料机主要功能部件可抓取燃料及相关组件 |
| • 燃料组件抓具 | 工作杆上用于抓取燃料的主要工作机构 |
| • 控制棒抓具 | 工作杆上用于抓取控制棒及可燃毒物棒的主要工作机构 |
| • 电视杆 | 用于监视工作杆工作的水下电视摄像装置 |
| • 在线吸漏系统 | 安装于换料机上在卸料过程中可初步检测燃料包壳破损 |
| • 离线吸漏系统(FBA) | 安装在乏燃料水池内可最终检测燃料包壳破损 |

第二章 换料机的功能与设计参数

2.1 换料机的功能

换料机用来进行田湾核电厂 1 号和 2 号机组反应堆换料工艺的主要操作机械,型号为 МПБ-В-428,也可用于具有类似反应堆装置的其他核电厂。换料机可以完成以下工艺操作:

- 1) 将带或不带控制与保护系统控制棒(带或不带可燃毒物棒)的燃料组件从安放在换料井中的吊篮中转移到乏燃料水池贮存格架或反应堆中;
- 2) 将密封容器从安放在换料井中的密封吊篮中转移到乏燃料水池的贮存格架中;
- 3) 将控制与保护系统控制棒(或可燃毒物棒)从安装在吊篮中或乏燃料水池贮存格架中的存放支架或燃料组件中转移到位于反应堆或乏燃料水池中的其他燃料组件中;
- 4) 在堆芯区域将燃料组件从一个存放位置转移到另一存放位置;
- 5) 在堆芯区域将控制与保护系统控制棒(或可燃毒物棒)从一个燃料组件放到另一个燃料组件中;
- 6) 将安放在反应堆中的燃料组件中的控制与保护系统控制棒(或可燃毒物棒)转移到安装于乏燃料水池贮存格架中的燃料组件或存放架中;
- 7) 将燃料组件从反应堆转移到乏燃料水池中;
- 8) 将乏燃料组件从乏燃料水池贮存格架转移到乏燃料运输容器 TK-13 中;
- 9) 从破损燃料组件诊断系统容器上取下盖子并将它放到存放支架中;
- 10) 将燃料组件从反应堆转移到破损燃料组件诊断系统容器中;
- 11) 将破损燃料组件诊断系统容器的盖子从存放支架中取出,并密封破损燃料组件诊断系统容器;
- 12) 将经过检查的燃料组件根据检查结果从破损燃料组件诊断系统容器转移到反应堆、乏燃料水池贮存格架单元或密封容器中;
- 13) 解除密封容器的密封并将盖子从密封容器转移到容器盖子存放支架中;
- 14) 将密封容器盖子从存放支架中取出并对密封容器进行密封;
- 15) 必要时借助拉断提升机构从堆芯区域中抽取卡涩的燃料组件;
- 16) 将控制与保护系统控制棒(或可燃毒物棒)从安装在反应堆中的燃料组件转移到安装在乏燃料水池中的燃料组件或存放架中;
- 17) 将燃料组件和密封容器从乏燃料水池贮存格架的一个贮存单元转移到另一贮存单元中;
- 18) 借助于摄影摄像系统查看燃料组件和控制与保护系统控制棒(或可燃毒物棒)的表面状况和标记,并检查堆芯吊篮中用于安放燃料组件的支撑座;
- 19) 借助于燃料组件安装高度检查装置,检查燃料组件头部在堆芯区域的安装高度;

20) 使用棒束观测支座查看棒束表面状况;

21) 借助于跌落燃料组件抓取装置,抓取倾倒在堆芯吊篮区域的燃料组件,并将它竖直放立在堆芯区域。

2.2 换料机的设计参数

依据 ПН АЭГ-5-006-87 的规定,换料机属于抗震 I 级设备。在堆室倾斜度为 1:1 000 的情况下,换料机可以保证其功能。换料机的设计工作环境参数(安全壳内)如下:

(1) 换料工况

- 温度 288~313 K(15~40 °C)
- 绝对压力 0.085~0.103 MPa
- 相对湿度 达 90%
- 总活度 7.4×10^7 Bq/m³
- 吸收剂量强度 达 1.0×10^{-4} Gy/h

(2) 正常工作工况

- 温度 288~333 K(15~60 °C)
- 绝对压力 0.085~0.103 MPa
- 相对湿度 达 90%
- 总活度 7.4×10^7 Bq/m³
- 吸收剂量强度 达 1.0 Gy /h

(3) 一回路“小泄漏”工况

- 温度 达 363 K(90 °C)
- 绝对压力 0.079~0.17 MPa
- 相对湿度 (达 90%) 汽-气混合物
- 总活度 3.7×10^7 Bq/m³
- 吸收剂量强度 达 1.0 Gy /h
- 工况持续时间 达 10 h
- 设计工况出现次数 1 次/a
- 整个寿命循环次数 20 次

(4) 一回路“大泄漏”工况

- 温度 达 423 K (150 °C)
达 463 K(190 °C)可持续 10 h
- 绝对压力 0.085~0.103 MPa
- 相对湿度 达 90%
- 总活度 7.4×10^7 Bq/m³
- 吸收剂量强度 达 100 Gy /h
- 工况持续时间 达 24 h
- 设计工况出现次数 1 次/寿期
- 整个寿命循环次数 1 次



(5) 超设计事故工况

- 温度
 - 达 438 K (165 °C)
 - 达 523 K (250 °C) 可持续 1 h
 - 达 480 K (207 °C) 可持续 5 h
- 绝对压力 0.7 MPa
- 相对湿度 达 100 %
- 总活度 5.0×10^{14} Bq /m³
- 吸收剂量强度 达 2.0×10^4 Gy /h
- 工况持续时间 达 24 h
- 设计工况出现次数 1 次/寿期
- 整个寿命循环次数 1 次

寿期内吸收剂量积累值(考虑到超设计事故)——不大于 4×10^5 Gy/h(10^6)。

换料机在工况 1 允许工作,在工况 2 允许短时间工作,在工况 3~5 不允许工作。

换料机应该能接受“大泄漏”和“小泄漏”工况下的环境参数,甚至能接受反应堆安全壳的密封性和强度试验时出现的环境参数。

强度试验的温度在 15~60 °C,利用四昼夜时间,把压力分阶段提高到绝对压力 0.56 MPa,然后在该压力下保持一昼夜。试验次数为 1 次,在机组启动之前、安全壳部件改造之后进行。

密封性试验要求:

- 1) 每次关闭安全壳后,把安全壳压力提高到绝对压力 0.17 MPa;
- 2) 在要求压力下保持时间达两昼夜;
- 3) 空气的试验温度为 15 °C。

在事故工况后,应该进行换料机的检修,以验证换料机的工作性能,积极应对、设法弥补事故工况产生的后果,必要时,更换失效的部件和电气测量仪表。

换料机在“大泄漏”和“小泄漏”工况时,可能经受含有下列成分的溶液的强烈冲洗:硼酸 $16 \sim 20$ g/dm³,氰氨溶液 $100 \sim 150$ mg/dm³,碱性 K^+ $1.0 \sim 1.5$ mg/dm³。因此溶液的温度在“小泄漏”后应该处于 20~90 °C 之间,在“大泄漏”后应该处于 20~150 °C 之间。

第三章 换料机整体构成、技术参数及操作方式

3.1 换料机整体构成

换料机(如图 3-1-1 所示)主要由大桥、小车组成。大桥沿着布置于反应堆中央大厅+34.1 m 标高的轨道移动。在小车上布置着换料机所有的工作机构:工作杆、拉断提升机构、电视杆及摄像头等。导线装置是为了向布置于换料机上的电气装置传输电缆,同时也是为了控制机械装置的传输电缆。导线装置把换料机和放置在反应堆大厅的电气端子柜连接起来。



图 3-1-1 换料机外观

换料机通过布置于安全壳外控制厂房专用控制间内的控制台进行远程控制。换料机及其工作范围内设备主要由以下几部分组成:

(1) 大桥

用于换料机在工作范围内沿 x 轴方向移动。

(2) 小车

用于换料机在工作范围内沿 y 轴方向移动。

(3) 工作杆

换料机抓取和运输燃料等相关物项的主要功能部件,在换料机工作范围内沿 z 轴方向移动。主要包括燃料组件抓具和控制棒抓具。

(4) 拉断提升机构

当燃料组件在堆芯杯座内出现卡涩时,在按规程进行加力或其他处理无效后可选择使用的强力提升装置。

(5) 电视杆及摄像头

对换料机的移动及水下部件的操作可进行实时监控,此设备安装在工作杆旁的电视杆旋转平台上,类似工作杆可沿 z 轴移动,同时摄像头的角度和焦距均在一定范围内可调节。

(6) 导线装置

用于换料机电气、仪控电缆固定及同时可随换料机一起移动的装置。

(7) 轨道

大桥、小车移动的固定路径。大桥移动的轨道固定在 UJA 34 m 厂房地面上,小车移动轨道固定在大桥的横梁上。