



核电厂

材料基础

阮於珍 主 编

中国核工业集团公司 编



原子能出版社

核电厂材料基础

主 编 阮於珍

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

核电厂材料基础/阮於珍主编. —北京:原子能出版社,2010.7
(核电厂新员工入厂培训系列教材)
ISBN 978-7-5022-4980-9

I. ①核… II. ①阮… III. ①反应堆材料—技术培训—教材 IV. ①TL34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 131760 号

内 容 简 介

本书主要介绍核电厂所用材料的基础知识。内容包括核岛所用材料(如核燃料、包壳材料、压力容器材料、堆内构件材料、冷却剂材料、慢化剂材料、反射材料、控制材料、屏蔽材料等)的功能、性质、堆内及事故工况下的行为等,对常规岛所用材料也作了简单的介绍。最后一章介绍了核电厂的老化管理及失效分析,并提供了分析实例。

本书是中国核工业集团公司《核电厂新员工入厂培训系列教材》之一,也可供从事核电工程的相关人员参考。

核电厂材料基础

出版发行 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 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 8.25 字 数 198 千字
版 次 2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-4980-9 定 价 42.00 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 余剑锋 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 马明泽 刘志勇 刘明章 李苏甲 李和香
赵 云 邹正宇 杨树录 段光荣 顾颖宾
商幼明 戚屯锋 缪亚民 仲卫东 周建虎

编委会办公室

姜福明 朱 黎 张红军 程建秀 黄 芳
方朝霞 沈 阳 宫育锋 章 超 丁怀兰
王亚翠 陈茂松 万德华 张曰智 郭维贺

执行编委

谢 波 马寅军 叶丹萌 莫银良 高小林
吴向东 鲁忆迅 唐锡文 蔡黎勇 刘 朔
肖 武 浦胜娣 刘玉山 王海平

核电厂新员工基础理论培训教材

编辑部

名誉主任 王乃彦

主任 李和香

副主任 肖武 李济民

顾问 (按姓氏拼音顺序排列)

李文焱 罗璋琳 浦胜娣 邵向业 郑福裕

编者 (按姓氏拼音顺序排列)

陈树明 丁云峰 郝老迷 李永章 刘惠枫

浦胜娣 阮於珍 苏淑娟 田传久 夏延龄

于宏 章超 张松梅 赵郁森 郑福裕

本册主编 阮於珍

本册校审 张汝娴

本册统审 (按姓氏拼音顺序排列)

薛新才 周寿康

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

《核电厂材料基础》是根据核电厂新员工(非操纵人员)基础理论培训的基本要求,在编写大纲、广泛听取核电厂意见的基础上编写而成的,是中国核工业集团公司核电培训教材编制规划中《核电厂新员工入厂培训系列教材》之一。

本教材共有八章,在第一章序言里对本教材的内容进行了综述,介绍了核电厂材料所面临的问题,各种核反应堆所用的材料、材料的分类等;第二章是金属学的基础知识的介绍,介绍了晶体、晶体结构、晶体缺陷、冷加工、热加工、热处理等一些影响材料性能的基本因素;第三章介绍了材料的物理性能、机械性能、腐蚀性能和辐照性能等概念及影响因素、预防方法等。从第四章起介绍核电厂的重要材料。第四章介绍核燃料,对各种核燃料进行了一般性的介绍,重点介绍了二氧化铀燃料的性能及堆内行为;第五章介绍包壳材料,对包壳的作用、包壳材料的要求及各种包壳材料进行了介绍,重点介绍了锆合金材料的性能及堆内行为,还对失水事故下的锆包壳行为进行了介绍;第六章介绍结构材料,重点介绍了压力容器材料的行为及终身监督的必要性,还介绍了堆内构件材料、安全壳材料、蒸汽发生器材料、管道材料等;第七章介绍其他材料,包括控制材料、慢化材料、冷却剂材料和屏蔽材料等。介绍了它们的功能、选材要求及压水堆所选用的材料等;第八章介绍老化管理和故障分析的理念。在教学中,如果时间允许可以介绍一些故障分析实例,使学员在故障分析中了解材料问题的复杂性。在实际环境下,各种因素导致的破坏是交织在一起的,应从设计、材料选择、工艺控制、使用管理诸多方面入手才能解决好材料问题,保证核电厂的安全高效运行。

本书在编写和出版过程中,得到了中国核工业集团公司领导的关心和支持,核工业研究生部组织策划了本书的编写和初审工作,核动力运行研究所、中核集团相关核电厂、原子能出版社等单位也给予了大力帮助;在本书大纲的审查、内容的研讨和审稿过程中,各方专家提出了宝贵的意见,在此一并表示诚挚的感谢!

由于编者水平有限,书中出现某些问题在所难免,敬请批评指正!

编者

2010年4月

目 录

第一章 序 言

1.1 反应堆系统	2
1.2 材料的分类	5
1.3 核电厂主要部件用材	6
复习思考题	8

第二章 金属学基础

2.1 晶体结构	9
2.1.1 空间点阵的主要特征	9
2.1.2 7大晶系	9
2.1.3 晶面指数和晶向指数	10
2.1.4 典型的晶胞结构	12
2.1.5 四面体间隙和八面体间隙	12
2.2 晶体缺陷	14
2.2.1 点缺陷	14
2.2.2 线缺陷	15
2.2.3 面缺陷	16
2.3 热处理基础	17
2.3.1 铁碳合金相图	17
2.3.2 热处理及材料性能改变	21
2.4 材料的常见缺陷	23
复习思考题	24

第三章 材料的性能

3.1 材料的物理性能	25
-------------------	----

3.1.1	密度	25
3.1.2	导热系数	26
3.1.3	热膨胀	27
3.2	材料的机械性能(力学性能)	27
3.2.1	硬度	28
3.2.2	拉伸性能	31
3.2.3	冲击性能	33
3.2.4	断裂韧性	35
3.2.5	蠕变性能	36
3.2.6	疲劳性能	37
3.3	材料的腐蚀性能	39
3.3.1	化学腐蚀和电化学腐蚀	39
3.3.2	局部的电化学腐蚀	39
3.4	材料的辐照性能	44
3.4.1	两种主要的辐照	44
3.4.2	辐照损伤机理	46
3.4.3	材料的辐照效应	47
	复习思考题	48

第四章 核燃料

4.1	理想核燃料的性能要求和燃料种类	50
4.2	核燃料简介	51
4.3	二氧化铀燃料	54
4.3.1	二氧化铀燃料的性能	54
4.3.2	二氧化铀燃料的堆内行为	58
4.4	核燃料循环	61
	复习思考题	61

第五章 包壳材料

5.1	包壳的工作环境和对包壳材料的要求	63
5.2	包壳材料简介	63
5.3	锆合金的发展	66
5.4	锆合金包壳管的制造工艺	68
5.5	锆合金包壳管的堆内行为	69

5.6 失水条件下锆合金包壳的行为	74
复习思考题	77

第六章 结构材料

6.1 压力容器材料	79
6.1.1 压水堆压力容器的特殊性	79
6.1.2 压力容器的选材要求	79
6.1.3 压力容器全寿期监督的必要性	81
6.1.4 压力容器制造的关键工艺	82
6.1.5 压力容器监督和监督试样的试验方法	83
6.2 奥氏体不锈钢	84
6.2.1 不锈钢的历史	84
6.2.2 不锈钢的分类及应用	85
6.2.3 奥氏体不锈钢的性能	87
6.2.4 奥氏体不锈钢中的常见相	89
6.3 镍基及铁镍基耐热合金	89
6.3.1 成分特点和强化措施	89
6.3.2 腐蚀性能	90
6.3.3 蒸汽发生器常见故障和预防措施	91
6.3.4 Inconel600, Inconel690, Incoloy800 合金的性能比较	92
6.3.5 腐蚀产物造成的一次系统放射性污染积累	92
6.4 核电厂结构常用的其他金属材料	92
6.4.1 碳钢	92
6.4.2 钛及钛合金	95
6.4.3 轴承合金	97
复习思考题	99

第七章 其他材料

7.1 控制材料	101
7.1.1 控制方式和控制特点	101
7.1.2 主要的控制材料	101
7.2 慢化和反射材料	103
7.2.1 对慢化和反射材料的要求	104
7.2.2 各种慢化(反射)材料的优缺点	104

7.3 冷却剂材料	105
7.3.1 冷却剂的功能	105
7.3.2 冷却剂材料的性能要求	105
7.3.3 常用的冷却剂	105
7.3.4 压水堆冷却剂的使用和限制	105
7.4 屏蔽材料	106
7.4.1 非金属屏蔽材料	106
7.4.2 金属屏蔽材料	106
7.4.3 混凝土	107
7.4.4 有机屏蔽材料	107
复习思考题	107

第八章 老化管理和失效分析基础

8.1 老化管理简介	109
8.1.1 关键设备	109
8.1.2 管理思路	109
8.1.3 管理方法探讨	110
8.2 失效分析基础	110
8.2.1 断裂的种类	111
8.2.2 断裂的过程	114
8.2.3 宏观和微观分析	114
8.2.4 样品切取注意事项及断口保护方法	115
复习思考题	115
参考文献	116
中文索引	117

第一章 序 言

我国的核工业发展是从1955年开始的,当时的主要方向为军用。改革开放以后,开始转入民用研究,为了资源的合理利用和环境保护,我国采取了积极发展核电的政策。

1972年开始筹建核电站,1981年11月由我国自行设计、施工,具有自主知识产权的工程项目——秦山一期30万千瓦(300 MW)核电站在国务院获正式批准建设。1985年开工,于1991年12月15日竣工并联网发电。

1982年12月国务院又正式批准从法国引进第二代核电项目——大亚湾90万千瓦(900 MW)核电厂的建设。1987年开工,1993年8月31日竣工并联网发电,1994年2月和5月两台机组分别投入商业运行。

核电站良好的安全性和经济性获得了公众的好评,并且我国经济的发展对能源的需求也愈来愈大,使我国核电发展进入了一个欣欣向荣的新时代。

到2008年底,我国的核电装机容量已达到907.82万千瓦,年发电量超过700亿千瓦时,占全国发电装机总容量的1.5%。

计划到2020年,我国的核电总装机容量将达到4000万~6000万千瓦,占全国发电装机总容量的4%。从现在起,每年都有2~3座大型核电站投入建设,我国核电的发展进入了一个快速发展阶段。我国的核电事业在发展中成长壮大,从自主设计到主要设备研制,施工建设和运行管理,各方面都取得了很大的成就。

在一片大好形势下是不是就没有问题了呢?问题还是有的。比如:我国的核电厂由于各种原因,堆型较多,应用的材料、工艺各不相同,存在的材料问题也比较多;另外,我国自主设计的电厂,关键设备制造还要依赖进口,问题比较复杂,材料问题是不可回避的;还有核电站的总造价过高,除了设备问题外还有建造中的工期问题,纵观世界上的核电厂建造中,发生工期延误的问题,大部分是材料问题引起的。要保证按期竣工就必须克服建造中的种种材料问题。因此,我国核电系统的国产化、标准化、安全管理等还有很长的路要走,还有不少材料方面的问题有待解决,材料问题不能不引起重视。

从另一方面来考虑,核反应堆能用于发电并获得广泛认可,必须要用尽可能低的花费来产生尽可能安全可靠的动力。其电力价格一定要有与煤、石油等化石燃料发电成本相比较的能力。而要达到这个目标是不容易的,因为核反应堆发电与水电、煤、石油、天然气发电的原理不同,材料的工作条件也不同。

核电厂是利用核燃料在反应堆中核裂变或核聚变放出的能量来发电的。核裂变或核聚变放出的能量是很大的,因此材料的工作条件是十分恶劣的。核电厂中材料在高温、高压、强辐照和腐蚀的环境下工作,材料必须经受高温、高压、强辐照和大的温度梯度,并且还必须抗腐蚀。它所面临的条件比迄今为止我们所遇到的任何工程所面临的条件要复杂得多。因此人们常说:“The importance of the behavior of the reactor materials can not be over-emphasized.”也就是说材料问题无论如何强调也不会过分。

一个核反应堆的建成,不论其取得能量的物理理念、物理模式怎样好,如果不能找到与



之条件相适应的材料,在实际中也不可能成功。比如熔盐堆、聚变堆的开发遇到的严重问题就是材料问题。

核反应堆材料在压水堆(PWR)条件下的工作温度是 $290\sim 320\text{ }^{\circ}\text{C}$,压力约 15.5 MPa ($13\sim 16\text{ MPa}$),压水堆的工作温度是由于材料的局限而决定的,而压力是为了保证冷却水不沸腾而定下的,从而我们也可以看到材料问题的重要;重水堆(Candu堆)条件下的工作温度是 $260\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$,压力是 10 MPa ;而在快堆(FBR)条件下的工作温度是 $550\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$,常压;不仅有温度、压力的影响,由于核反应堆材料暴露在辐照场内,经受 α 、 β 、 γ 射线,中子、裂变产物的强辐照,在辐照下材料会发生降级、老化;在这些辐照中,高能快中子辐照对结构材料的影响极大,它会造成材料的强化和脆化;而裂变产物由于其质量大,射程短,对结构材料的影响不大,但对燃料会产生很大的影响。

在运行条件下,材料承受很大的温度梯度。燃料棒芯块中心的温度可达 $2\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,甚至熔融,而压水堆冷却剂的温度是 $290\sim 320\text{ }^{\circ}\text{C}$,快堆冷却剂的温度是 $550\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$,材料承受的温度梯度可达 $2\ 000\sim 4\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 。

在反应堆中,材料不仅要承受大的温度梯度,同时还要承受环境中腐蚀介质的侵蚀。不但有外来的腐蚀介质,在堆内环境下,辐照还会引起水的辐射分解,成为腐蚀介质(裂变产物中的I、Cs等会腐蚀包壳)。

此外,为了迅速带出热量,所用的材料还要有好的热传导性能,并保持一定的机械强度,因此材料的工作环境是十分恶劣的,对材料的要求也是十分苛刻的,我们的目标(低价格、高性能)是极具挑战性的。

切尔诺贝利核电站事故以来,由于对核系统安全性的考虑,对材料的性能要求也越来越高,合理选材就显得越来越重要。在欧美国家,最早的一批核电厂陆续进入设计寿期,是退役还是继续使用?这个问题直接与经济效益挂钩。如果核电厂能延长使用至40年、50年甚至60年,将会产生很大的经济效益。而一个核电厂是否能延期,能延期多少年?主要考虑的因素是反应堆的部件在辐照条件下所产生的硬化、脆化和疲劳等因素所造成的材料降级和老化,能否让反应堆再继续安全使用若干年。

1.1 反应堆系统

核反应堆的主要功能如下:

- 1) 导出核裂变释放的能量来发电(如核电厂),供热或用作其他动力(如核潜艇)。
- 2) 增殖、生产新的核燃料(如钚-232 \rightarrow 铀-233,铀-238 \rightarrow 钚-239)。
- 3) 生产放射性同位素(如钼-钨靶件,医用同位素等)。
- 4) 作科学研究和中子的应用(如中子衍射,中子掺杂,中子照相等)。

核反应堆的种类很多,分类的方式也很多。如按使用目的分类,一般可分为生产堆、研究堆、动力堆。

生产堆主要用于生产聚变或可裂变核材料如:氚、铀-233和钚-239等。

研究堆,对应不同的目的又有不同的种类:如用于研究燃料和堆芯材料用的材料试验堆(如法国的Osillos);用于中子衍射、同位素生产和物理、化学、生物等多用途的研究堆(如:中国原子能科学研究所的101重水堆,492游泳池堆)等。

动力堆是本课程涉及的重点,即利用核反应能转换为电能以获取动力满足国民经济各方面需要的反应堆或直接转换为动力的反应堆(如潜艇用堆等)。

下面我们介绍一下世界上核电厂常用的堆型。

常见的动力堆有压水堆、沸水堆、重水堆、高温气冷堆、快中子增殖堆等。我国现有压水堆电厂和重水堆电厂,在建的还有实验快中子增殖堆电站。

核反应动力堆系统都设计有蒸汽转化系统,由蒸汽推动汽轮机来发电,因此就有核岛和常规岛之分。一般水堆(压水堆、沸水堆、重水堆)的热效率约 30%,而钠冷快堆的热效率可达 40%。

几种常用的动力堆:

沸水堆(BWR):这是一种直接沸腾的水堆。蒸汽从堆芯直接产生,就如一个锅炉产生蒸汽一样(如图 1-1-1)。它的外壳是一个钟罩形的压力容器,堆芯燃料组件排列成 $n \times n$ 正方形栅阵。一回路水的压力与压水堆相比是比较低(约 6.86 MPa),因此,一回路冷却水就在堆芯内发生沸腾,经过汽水分离,产生的蒸汽直接送往汽轮机发电。因此,沸水堆是只有一个回路的堆。

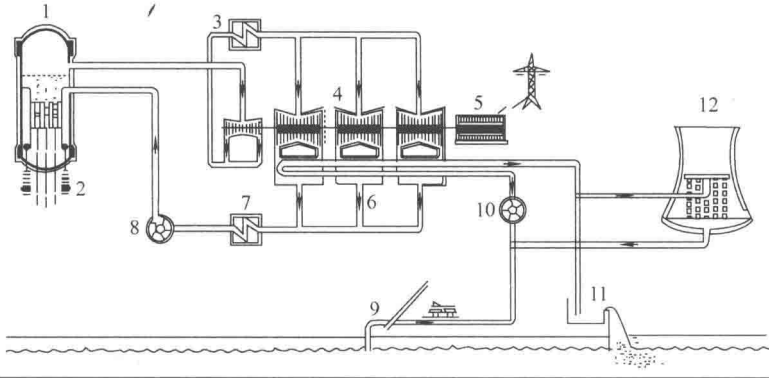


图 1-1-1 沸水堆电站系统

1—反应堆;2—循环泵;3—汽水分离再热器;4—汽轮机;5—发电机;6—冷凝器;7—再加热器;
8—给水泵;9—冷却水净化系统;10—冷却水泵;11—溢水池;12—冷却塔

压水堆(PWR):压水堆的压力比沸水堆高,压水堆一般有两个水回路,两个回路之间是蒸汽发生器(steam generator)。如图 1-1-2 所示,它由核反应堆,一回路系统(高温高压),二回路系统及其他辅助系统组成。一回路水压力为 15.5 MPa,在蒸汽发生器中,一回路水把热能传递给二回路并使二回路水获得能量转化为蒸汽,传入汽轮机推动汽轮机发电。

重水堆(PHWR):其慢化剂和冷却剂都是重水。重水堆的结构与轻水堆不同,反应堆的堆本体是一个水平放置的圆筒形容器,称为排管容器(calandria)(见图 1-1-3)。在容器内贯穿水平管道(排管),排管内是燃料管道(fuel channel)或压力管(pressure tube),压力管内装有燃料棒束。排管容器中盛有低温低压的重水慢化剂,排管内,压力管外是二氧化碳,起隔热的作用,燃料管道里装有天然铀燃料棒束和高温高压重水冷却剂。冷却剂通过燃料管道将热量带出来,经蒸汽发生器产生蒸汽,推动汽轮机发电。它的燃料棒是短型的,可以在不停堆的条件下实现换料。它也有两个水回路系统,由于一次水呈 8 字运行,装有两台蒸汽发生器。

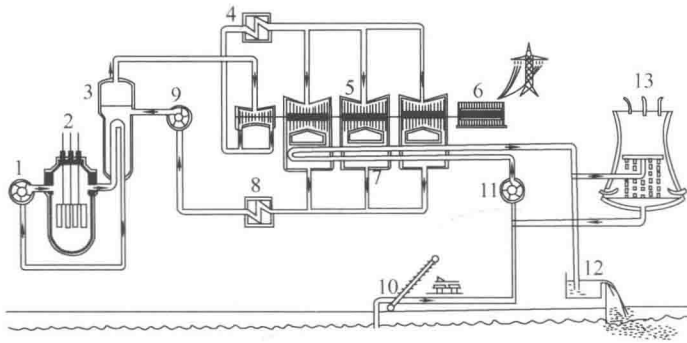


图 1-1-2 压水堆电站系统

1—主泵；2—压水反应堆；3—蒸汽发生器；4—汽水分离再热器；5—汽轮机；6—发电机；7—冷凝器；
8—再热器；9—给水泵；10—冷却水净化系统；11—冷却水泵；12—溢水池；13—冷却塔

液态金属快中子增殖堆(LMFBR):这种反应堆与以上介绍的不一樣,它是以液态钠为冷却剂的,它一般有多条回路。一回路二回路都是液态钠,中间有热交换器用以隔离一回路的放射性。如图 1-1-4 和图 1-1-5 所示,快堆的堆芯由燃料区和再生区组成。在快堆运行中,一方面消耗燃料,另一方面大量的铀-238 俘获中子后转化为钚-239,从而达到增殖的目的。快堆用于发电,是通过热量传递,将堆芯能量带出,使回路中的水汽化,由蒸汽带动汽轮机发电。

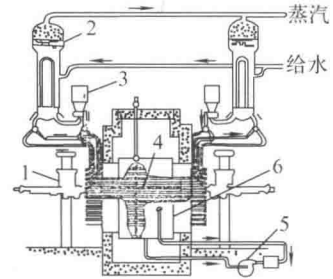


图 1-1-3 CANDU 型反应堆

1—装料机；2—蒸汽发生器；3—主循环；
4—燃料；5—慢化剂泵；6—排管容器

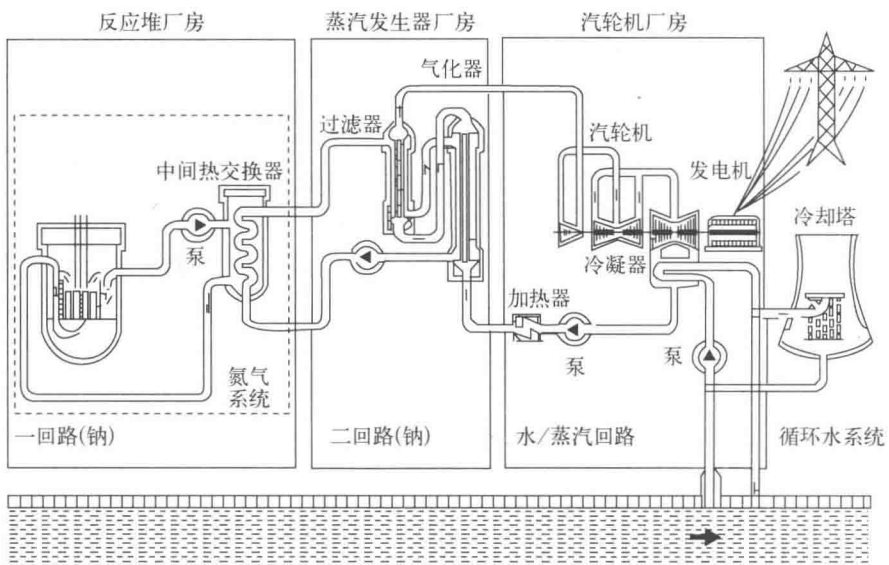


图 1-1-4 快堆电站系统(回路式)

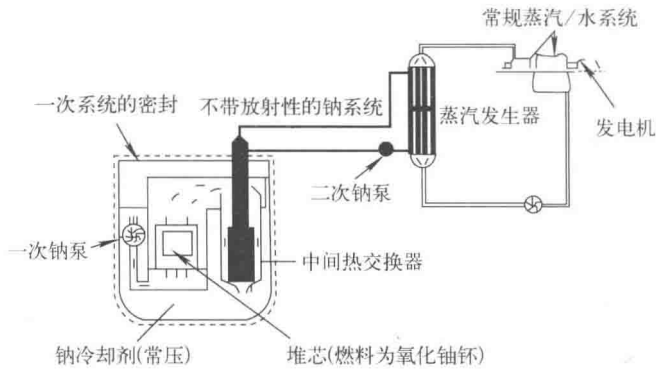


图 1-1-5 快堆电站系统(池式)

1.2 材料的分类

核电厂用的材料通常分为常规岛用材和核岛用材：

(1) 常规岛用材料：凡是不暴露于放射性环境或一次水回路的材料都属于这一类。

由于这类材料与一般工业用材没特殊的区别，本课程不作为重点讲，主要涉及蒸汽发生器的用材。

(2) 反应堆核岛用材料：由于这部分材料暴露在辐射场内，存在核材料的特殊问题，是本课程的重点内容。这部分可以再进行进一步分为核燃料和非核燃料两部分。

1) 核燃料：在反应堆中使用的易裂变物质及可转换物质统称为核燃料。它包括易裂变核素和可转换核素两部分。

易裂变核素是指任何能量中子都能引起核裂变的核素。如铀-235、铀-233、钚-239。

可转换核素是指某核素在俘获高能中子(>1 MeV)以后会转换为易裂变核素。如钚-232、铀-238 吸收中子后可转化为铀-233、钚-239，这种核材料称为可转换核素。

核燃料中必须含有易裂变核素 ^{235}U 、 ^{233}U 、 ^{239}Pu 中的一种或两种，才能够产生裂变并释放裂变能。

2) 非核燃料(又称结构材料)由以下几部分组成：

包壳材料，结构材料，慢化材料，冷却剂材料，反射材料，控制材料及屏蔽材料。

① 包壳材料：是指包裹核燃料的材料。包壳是燃料与冷却剂隔离的屏障，也是反应堆安全的第一道屏障。它的作用是防止燃料与冷却剂反应；防止裂变产物逃逸；保持燃料棒的完整性。

它的运行工况非常苛刻。要求材料具有小的中子吸收截面、高的导热系数、强度高、韧性好、耐腐蚀、抗辐照、热稳定性好等。

② 结构材料：主要是指堆芯和一回路的结构材料。包括压力容器材料、管道材料、堆芯吊篮、泵、阀门、螺栓等的材料以及蒸汽发生器材料等。这些材料不仅要求有好的强度、韧性、抗辐照、耐腐蚀，还必须有最小的诱发放射性，以便维护保养和处置。

③ 慢化材料：是指通过中子与材料原子之间的弹性碰撞来降低中子能量，使高能快中子变为能被裂变原子俘获，并激发另一次裂变的热中子的材料。与中子反应必须散射截面