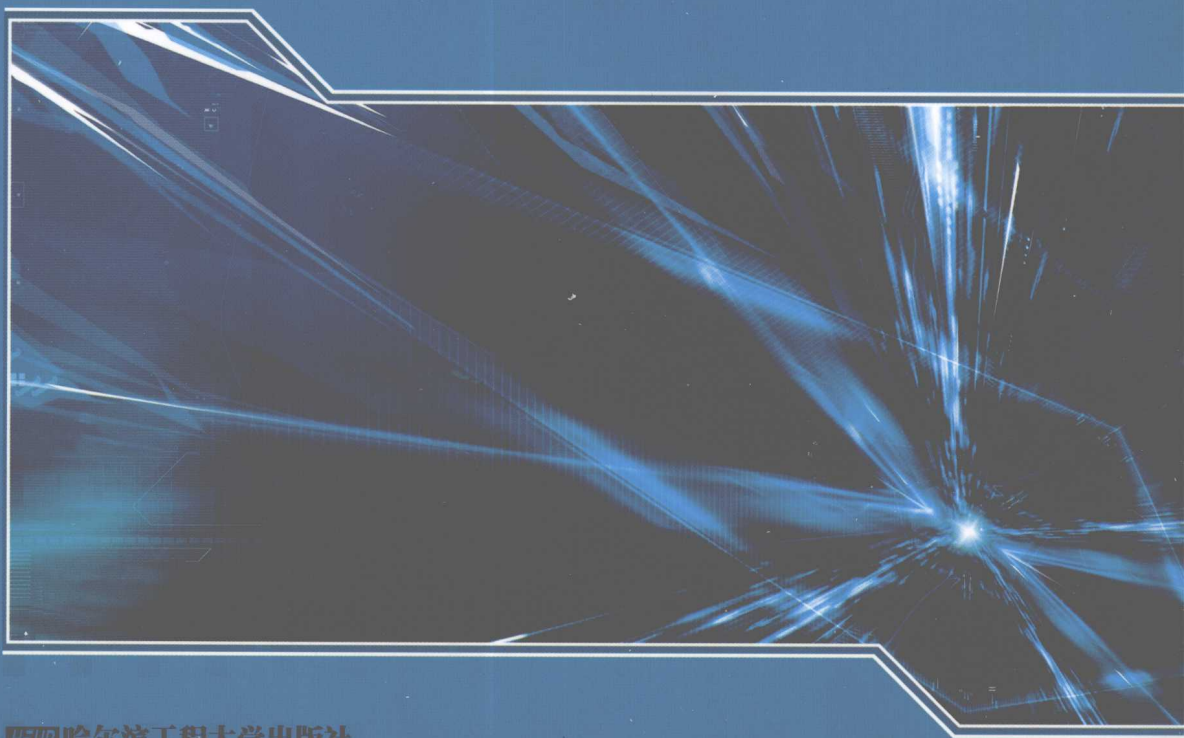




国防特色教材·核科学与技术

船用核反应堆运行管理

主编 张大发 主审 张金麟



HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

北京航空航天大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

北京理工大学出版社

西北工业大学出版社

51

046

防特色教材·核科学与技术

船用核反应堆运行管理

主编 张大发

主审 张金麟

哈尔滨工程大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书着重船用特点方面,以典型的船用压水堆为背景,论述了核反应堆的运行管理及其技术问题。本书的主要内容有船用核动力装置的特点以及核反应堆运行管理的任务;船用核反应堆的启动运行及其启动中的运行安全问题;船用核反应堆的功率运行、稳定工况和改变工况运行的过渡特性、运行中装置的强迫循环与自然循环相互转换的过渡特性及运行安全问题;核反应堆的停堆及其停堆后的运行安全问题;船用反应堆异常运行工况、主要事故工况的现象、过程及处理;船用反应堆装置系统的主要设备的运行管理问题;核安全管理中的技术问题、核安全文化、运行人员培训与管理等问题。

本书是高等学校船用核反应堆工程专业、运行管理专业的通用教材(建议教学时数为40学时,根据培养目标的不同,内容可以适当删减),同时可以作为从事核反应堆运行管理、核工程相关专业等科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

船用核反应堆运行管理/张大发主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2009.8

ISBN 978-7-81133-514-9

I. 船… II. 张… III. 船舶推进堆 IV. U664.151

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 152473 号

船用核反应堆运行管理

主编 张大发

责任编辑 石 岭

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区东大直街 124 号 发行部电话:0451-82519328 传真:0451-82519699

<http://press.hrbeu.edu.cn> E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

哈尔滨工业大学印刷厂 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:19 字数:340 千字

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷 印数:1 000 册

ISBN 978-7-81133-514-9 定价:39.50 元

前 言

船用核反应堆运行管理是一门涉及多种学科、技术复杂、安全性要求高、船用独立性很强的综合工程技术。核反应堆的研究、设计、建造、运行、维修、管理、退役都是反应堆科学技术中不可缺少的几个环节。而运行管理则客观实现把核能转为动能的极为重要的过程。反应堆运行管理过程中产生许多物理、热工水力等一系列技术问题。如何加强运行管理已成为发展船用、陆用核反应堆技术中的现实问题,引起了世界各国的重视。

本书着重从船用特点方面,以典型的船用压水堆为背景,论述了船用核反应堆的运行管理及其技术问题,着重对船用核反应堆运行与管理中发生的或可能遇到的一些基本技术问题加以分析和总结,使之系统化,以用于指导实践。教材的主要内容有:船用核动力装置的发展、特点以及船用核反应堆运行管理的任务及其核安全问题;船用核反应堆的启动、次临界、临界、超临界的过渡特性及其启动中的安全问题;论述船用核反应堆的功率运行的特征、稳定工况的参数监督、变工况的过渡特性分析、功率区运行中装置的强迫循环与自然循环相互转换的过渡特性及安全问题;论述反应堆的停堆及其停堆后的安全问题;简述了常见船用反应堆主要事故的现象、过程及处理;叙述了船用反应堆装置系统的主要设备(压力容器、蒸汽发生器、主泵、稳压器、主要阀门)的运行及其相关技术管理问题;叙述了核动力装置在核安全管理中的技术问题、核安全法规、核安全文化、运行人员培训与管理等问题。本书的特色在于突出船用核反应堆运行管理中的技术问题。

本书是高等学校船用核反应堆工程专业、运行管理专业的通用教材(建议教学时数为40学时,根据培养目标的不同,内容可以适当删除),同时可以作为从事核反应堆运行管理等科技人员的参考书。

本教材由海军工程大学张大发教授主编。海军工程大学毛景荣、张龙飞、陆古兵、陈登科等同志参加了第3章、第4章、第6章的相关章节的编写。

本书由中国工程院院士张金麟主审。

在教材编写过程中得到了哈尔滨工程大学阎昌琪教授、清华大学贾宝山教授、郑福裕教授的指导和帮助,同时得到了王金福、卞孟龙、李洪海等高工的技术支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

《船用核反应堆运行管理》教材涉及学科多,加之编者学识水平有限,书中难免有不妥之处,恳切希望使用本教材的高等院校师生及各研究、设计和生产单位的广大读者、专家学者给予批评和指正。

编 者
2009.6

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 舰船核动力应用与发展	1
1.2 船用核动力装置的特点	23
1.3 船用核反应堆运行工况与特点	27
1.4 船用核反应堆运行规程	29
1.5 船用核反应堆运行管理的任务	29
复习思考题	31
第 2 章 船用核反应堆的启动运行	33
2.1 初次启动	33
2.2 正常启动	43
2.3 核反应堆的最佳提棒程序	51
2.4 中子源与启动盲区	52
2.5 核反应堆启动运行安全分析	61
复习思考题	71
第 3 章 船用核反应堆的功率运行	73
3.1 船用核反应堆功率运行的特点	73
3.2 功率运行时的功率校正	78
3.3 核动力装置运行限值和条件	78
3.4 稳定工况运行	83
3.5 变工况运行	88
3.6 功率运行时堆内反应性的变化及估算	93
3.7 船用核反应堆功率运行安全分析	99
复习思考题	116
第 4 章 船用核反应堆的停闭运行	118
4.1 反应堆的冷停闭运行	118
4.2 反应堆的热停闭运行	121

4.3 反应堆的事故停闭	122
4.4 反应堆停闭后的剩余功率与安全分析	123
复习思考题	132
第5章 船用核反应堆的异常工况运行	134
5.1 异常工况运行与船舶生命力	134
5.2 环路流量不对称时的运行	134
5.3 环路温差不等的异常运行工况	135
5.4 单环路的运行	137
5.5 控制棒异常状态下的运行	139
5.6 其他异常工况下的运行	145
复习思考题	149
第6章 船用核反应堆的事故工况运行	150
6.1 概述	150
6.2 失水事故	151
6.3 主泵断电事故	156
6.4 反应性事故	158
6.5 蒸汽发生器 U 形管破裂事故	161
6.6 主蒸汽管道破裂事故	161
6.7 没有事故紧急停堆时的预期瞬态 A. T. W. S	165
复习思考题	166
第7章 船用核反应堆装置设备的运行管理	168
7.1 核反应堆装置的日常保养、定期检查和在役检查管理	168
7.2 核反应堆装置主要设备的管理	174
7.3 核动力装置主回路管道、阀门的运行管理	196
7.4 核动力装置水质控制管理	203
7.5 核动力反应堆换料运行管理	209
7.6 核动力装置设备质量管理	213
7.7 核动力装置的文件、信息管理	218
7.8 核反应堆装置的维修管理	220
7.9 核动力装置的辐射防护管理	230
复习思考题	238

第 8 章 核动力的核安全管理·····	240
8.1 核安全管理 ·····	240
8.2 核安全法规与安全文化 ·····	254
8.3 核动力运行人员管理 ·····	262
复习思考题·····	274
附录 1 核动力舰船简表 ·····	276
附录 2 单位换算表 ·····	286
参考文献·····	292

第1章 绪 论

核反应堆的研究、设计、建造、运行管理、退役是发展反应堆科学技术中的几个不可缺少的环节,而反应堆的运行管理则是其中的一个极为重要的过程。它直接体现把核能转化为动能的现实。对于已建成的反应堆,运行与管理的好坏直接关系到核反应堆装置最优性能的发挥。同时核反应堆装置的经济性、安全性、可靠性,都要通过在役期间的运行与管理得以实现。因此,研究和加强核反应堆的运行与管理已是发展核动力技术过程中的一个重要的环节。

船用核反应堆的运行与管理与陆用反应堆运行与管理相比,又具有特殊的要求。首先船用核反应堆的工作场所一般远离陆地,独立在海上航行,装备、器材、技术、后援等的不足对运行与管理提出了更高的要求。另外,由于船用的特点,离靠码头、改变航速、频繁地改变功率等决定了船用核反应堆的机动性能。这就要求船用核反应堆运行与管理具有熟练的专业技能。再加上船用核反应堆运行与管理比常规船用动力装置更具有高温高压、强放射性的特点,这给运行管理又增加了难度。因此研究和学习船用核反应堆的运行与管理经验,是提高核动力舰船的航行能力,加强船用核反应堆运行安全的基本保证。本章就船用动力装置的发展、船用核动力装置的基本组成、特点和船用核反应堆运行管理任务及其核安全问题作以概述。

1.1 舰船核动力应用与发展

1.1.1 概述

以核反应堆为能源的动力装置称为核动力装置。核动力装置主要用于发电和推进动力,一般用于推进动力的核动力装置,往往也称作可移动核动力。可移动核动力大多用于舰船、飞机、航天等领域。

舰艇动力装置是为提供舰艇航行动力、保证舰艇操纵、保障舰艇安全、维持舰员生活、保护海洋环境等需要所设置的机械、设备和系统的总称。如果不是从功用的角度,而是从能量的角度来看舰艇动力装置,则它的本义是舰艇上各种形式能量(热能、机械能、电能等)的产生、转换、传输、分配的机械、设备和系统的总称。

目前,世界上可移动核动力主要用于舰船上,其他如飞机、航天等领域的可移动核动力的应用尚处在研究阶段。

船用动力装置按其使用的能源一般分为两大类:一类为应用常规能源(如煤、油等)作为动力的称为常规动力装置,另一类应用核能作为动力的称为核动力装置,而用于动力或直接发

电的反应堆,也称为动力堆。

由于核能在一定程度上已成为当今的重要能源之一,因此核电站以及核舰船等可移动核动力装置发展迅速,近年来尤其如此。自 1954 年第一艘以压水堆为动力的核潜艇建成以后,军用舰艇动力堆发展很快,相继建成了许多攻击型核潜艇、弹道导弹核潜艇和核动力航空母舰。至于核电站,1954 年世界上只有一座,到 2000 年已有几百个核电机组在运行。

根据不同的用途可移动核动力可以有不同的分法。按照反应堆的不同要求、用途和反应堆所用的不同材料,可以把可移动核动力反应堆设计成各样的型式。其一般分类方法如下:

- (1) 船舶推进用堆——利用核裂变能,作为船舶推进动力的反应堆;
- (2) 飞机推进用堆——利用核裂变能,作为飞机推进动力的反应堆;
- (3) 火箭推进用堆——利用核裂变能,作为火箭推进动力的反应堆;
- (4) 海洋潜水器用堆——利用核裂变能,作为潜水器推进动力的反应堆。

船舶核动力装置是以原子核反应堆作为推进动力的船舶动力装置。它包括核动力反应堆和为产生功率推动船舶前进所必需的有关设备,以及为提供装置正常运行、保证对人员健康和不会造成特别危害的那些需要的结构、部件和系统。

用于可移动核动力的堆型有多种,但大多应用压水堆堆型。从第一艘核潜艇建成后,压水堆有了迅速的发展。目前已建成的核潜艇大都使用轻水堆,而且从目前运行、建造或订货中的核电站数量来看,压水堆占大多数,是当前最受重视的堆型。

压水堆的燃料元件通常为棒状,由低浓缩 UO_2 陶瓷燃料做成的芯块封装在金属锆合金包壳内而制成。铀的浓缩度一般为 2% ~ 3%,或略高些。水为慢化剂,还兼作冷却剂。冷却水从堆芯流过时将热量导出堆外,使蒸汽发生器(二次侧)产生蒸汽,再由二回路把蒸汽导入汽轮机发电或直接做功。水的慢化性能以及导热性能都比较好,但对中子的吸收概率也较大,所以轻水堆必须采用低浓缩铀为燃料。为了把反应堆的出口水温提高到 300 °C 左右而不致沸腾,必须把压力提高到 14 ~ 16 MPa 左右,并需要有一个耐受高压的容器即压力容器来放置堆芯,故这种堆称为加压水慢化冷却反应堆,简称压水堆(PWR)。船用压水堆组成结构如图 1.1 所示。

压水堆主要优点是结构紧凑、体积小、功率密度(即堆芯单位体积所产生的功率)高;单堆电功率大,例如可达 1 500 MW;平均燃耗也较深(反应堆到工作寿期終了,每吨铀或其他核燃料平均释放的能量称为燃耗深度);建造周期短,造价便宜;而且因采用多道屏障,放射性裂变产物不易外逸,加之具有水的温度反应性负效应,所以比较安全可靠。压水堆的主要缺点是水的沸点不高,提高热工参数受到一定的限制,热效率相对较低;压力容器制造要求较高;设备比较复杂;此外,与以天然铀为燃料的堆型相比,它还需要铀同位素分离、浓缩铀元件制造、化学后处理等规模较大的配套工厂。但总的来说,压水堆的各种工艺都已比较成熟。自 1954 年第一座潜艇动力堆建成至 1979 年,在这 25 年之中压水堆经过了从军用到民用、从舰船到陆用的发展过程,其经济性、安全性等各方面的指标都有了许多改进,20 世纪 70 年代实现了标准化

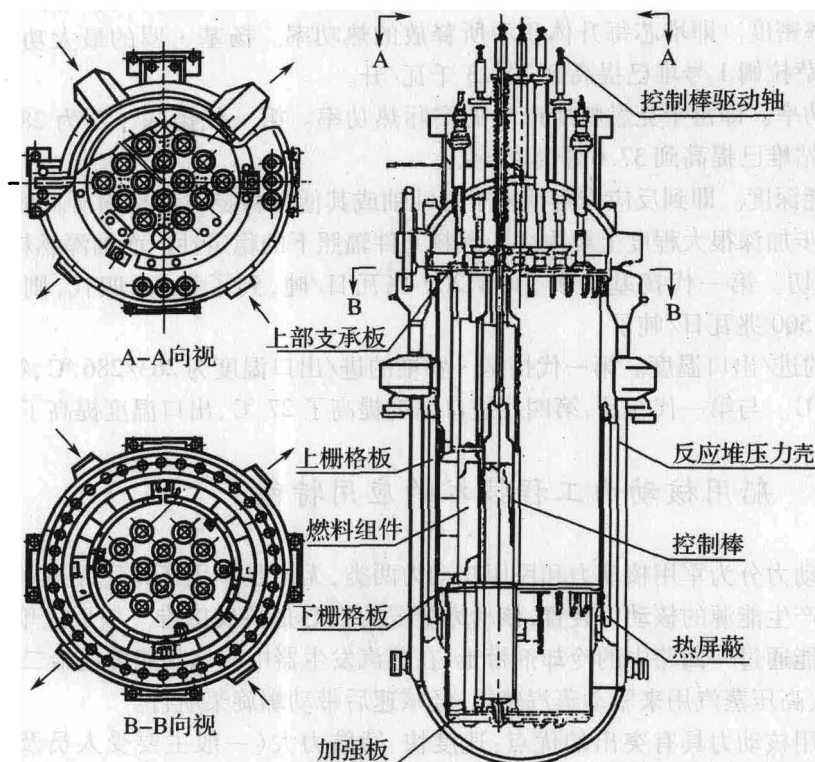


图 1.1 船用压水堆组成结构示意图

与系列化,各方面都已比较成熟。按电站堆的主要技术指标特别是单堆电功率大小,压水堆大约可分成以下四代:

(1)第一代,单堆总电功率在 300 兆瓦以下,如美国 1961 年开始发电的扬基·罗等;

(2)第二代,单堆总电功率在 600 兆瓦左右,如美国 1968 年投入运行的哈达姆海峡电站堆,输出总电功率为 600 兆瓦;联邦德国 1972 年正式运行的施塔德 KKS (Stade KKS) 电站堆,输出总电功率为 662 兆瓦;

(3)第三代,单堆输出总电功率在 900 兆瓦左右,如 1972 年开始发电的美国齐翁电站堆,净电功率为 1 050 兆瓦;

(4)第四代,单堆输出总电功率在 1 200 兆瓦左右,如 1976 年建成的联邦德国比布利斯 B,净电功率为 1 182 兆瓦;1990 年以后,单堆输出总电功率已达 1 500 兆瓦。

从四代压水堆几个主要技术指标(或称技术参数)的比较可知,除了堆的热功率随电功率的增加而增加外,各主要技术指标也都随着电功率的增加而有所改进。

(1)电站净效率。即电站输出电功率与反应堆热功率之比,它与发电成本密切相关。第

一代的效率大致在 28.5%, 到第二、三代已提高到 31% ~ 32%, 第四代则约为 33%。

(2) 功率密度。即堆芯每升体积中所释放的热功率。扬基·罗的最大功率密度为 90.1 千瓦/升, 而萨拉姆 1 号堆已提高到 101.3 千瓦/升。

(3) 比功率。即每千克燃料所产生的实际热功率。第一代扬基·罗为 28.9 千瓦/千克, 但齐翁 1 电站堆已提高到 37.6 千瓦/千克。

(4) 燃耗深度。即到反应堆寿期末了每吨铀或其他燃料装载量平均所释放的总能量。燃耗能否进一步加深很大程度上要取决于燃料元件辐照下的稳定性。而加深燃耗对于降低燃料成本关系密切。第一代扬基·罗为 14 200 兆瓦日/吨, 到了第三、四代, 则已分别加深到 21 800 及 32 500 兆瓦日/吨了。

(5) 堆的进/出口温度。第一代扬基·罗堆的进/出口温度为 263/286 °C, 第四代比布利 B 为 290/324 °C。与第一代相比, 第四代进口温度提高了 27 °C, 出口温度提高了 38 °C。

1.1.2 船用核动力工程技术的应用特色

船用核动力分为军用核动力和民用核动力两类, 无论是军用还是民用其关键都是主动力利用核裂变产生能源的核动力装置, 核动力装置的核心是核反应堆。核反应堆中原子核裂变所产生的热能通过一回路中的冷却剂带走, 在蒸汽发生器中将该热能传递给二回路中的水, 所产生的高温、高压蒸汽用来驱动蒸汽轮机, 经减速后带动螺旋桨航行。

舰船使用核动力具有突出的优点: 速度快、续航力大(一般主要受人员及生活供给的限制)、核燃料的质量与整个装置的质量比例低, 提高了船舶的有效载荷。对于水下潜艇, 核动力反应堆不需要大量空气就可以长期在海底航行。但是船用核动力与陆地核电厂装置相比, 具有其特殊性。由于舰船的空间和质量有限, 为提高船舶的有效载荷、航速和机动性能, 要求核动力装置体积小而轻, 动力设备布置紧凑。同时因舰船长期在海洋环境中工作, 所以要求核动力系统、设备、操纵机构等能在摇摆、冲击和振动条件下稳定可靠地工作。另外, 船用核动力与陆地动力装置相比, 由于舰船的机动性特点, 动力装置需频繁地改变功率, 且航行中运行工况变化也较大, 同时由于舰船上工作人员活动场所较小, 运行条件恶劣, 对整个运行管理增加了难度。此外, 舰船在海洋上可能会遭到碰撞、触礁、着火、爆炸等意外事件, 为保证在沉没事故下不发生核污染事故, 舰船核动力必须设置有效的安全防护措施, 确保核安全。由于舰艇动力装置在使用上与陆用动力装置有很大区别, 因此对舰艇动力装置的战术技术性能的要求上有些特殊的考虑。除要满足功率大、尺寸小、质量轻、经济性好、抗冲击、可靠性高、寿命长、易于操作、便于维修等基本要求外, 舰艇动力装置还要充分保证舰艇快速性、操纵性、机动性、隐蔽性、生命力等性能的正常发挥。

核舰船的优点之一就是装载的核燃料少, 可提供给船舶很大的续航力, 对于增加船吨位和提高船舶航速来说, 其经济上的优越性也是十分重大的。一艘大型的 73 550 千瓦(10 万轴马

力)的快速舰船,全速航行1小时,大约要消耗35吨燃油,但是该船采用压水型反应堆的核动力推进装置,1小时仅需消耗17克铀-235核燃料。为了保证能每小时净消耗掉这个质量,按目前船用反应堆存在的核装料不均匀、能耗比较浅、需要尽量一次多装料等不足的现实技术水平考虑,参照日本“陆奥”号核动力船装料标准来推算,若该船全速航行一年,以9000小时计,它所携带的核燃料二氧化铀,最多也只需27.5吨,其中铀-235含量约970千克。这样,与船舶9000小时满功率航行的燃油消耗量相比,核燃料二氧化铀的装载量只是燃油的1/11400。除了有很长的续航力这个优点以外,由于核反应不是燃烧反应,因此核燃料“燃烧”就不需要氧气供应,省去了过去要不断地为推进船舶前进的动力装置输送氧气的操作,这对于核动力潜艇来讲,是又一个极为可贵的突出优点。核动力装置作为船舶推进动力的另一优点是功率比较大,在要求船舶具有较高的平均航速和较大的续航力情况下,由于功率大、耗用燃料少,使得核动力装置在核燃料的供应、核燃料的运输和核燃料的装载量等方面,也获得了极为突出的长处。核动力装置与锅炉蒸汽轮机动力装置相比较,其运行特性较为稳定,且易于控制,其负荷跟踪特性也比较好,压水堆核动力装置本身所固有的那种特殊的负温度效应的自调节特性,能够使反应堆装置可以较迅速地随着汽轮机进汽阀开度变化而自动跟踪调节,这一特点增大了核动力装置的操纵机动性能,对于核动力装置的控制是十分有利的。

船用核动力与常规船用动力相比具有以下明显的特征。

(1) 强放射性

核动力反应堆在核裂变释放巨大能量的同时,伴随着大量放射性物质的生成,在产生的裂变产物中,有容易从二氧化铀芯块中逸出的稀有气体氪(Kr)、氙(Xe)及易溶于水的卤族同位素,并有堆内积累的裂变产物和放射性,从而给人们对核动力装置的运行、维修、管理带来极大的困难。

(2) 高温高压水

对于压水型核动力装置而言,反应堆一回路系统内储存有大量的高温高压水,这些水中带有数量不可忽视的放射性物质。一旦反应堆及其一回路系统管道破裂或设备故障,将会使大量高温水从破口喷射出来进入堆舱,迅速汽化。更为严重的是,由于冷却剂不断流失,使燃料元件露出水面而得不到冷却,导致其逐渐熔化。在一回路系统中,无论冷却剂温度变化或容积波动都会引起一回路系统压力的相应变化。压力过高将导致系统、设备损坏;压力过低则使堆芯局部沸腾,甚至出现容积沸腾。因此既要防止超压,又要防止压力过低造成冷却剂汽化。

(3) 衰变热

核动力反应堆停闭后,堆芯内中子链式裂变反应虽然中止,但是积累的裂变产物及俘获产物继续发射 β 和 γ 射线,这些射线在与周围物质的相互作用时迅速转化为热能,这就是衰变热。如不及时移出衰变热,将会引起堆芯过热和燃料元件包壳破损,导致裂变产物的释放。这些是常规动力所没有的,给管理带来了特殊问题。

另外,核动力设备与一般动力设备相比,还具有以下几个特点:①一回路系统的主要设备

带有放射性,给日常管理和维修带来困难;②要求有较高的安全可靠,以确保动力装置的安全;③核动力装置中的每个设备都是动力系统统一的、连续性的过程,任一设备、环节中出现异常都将影响动力装置的运行,因此要求设备管理应具有较强的系统性、连续性和协调性。

1.1.3 舰船动力与核动力装置

船用动力装置按其使用的能源不同一般分为两大类:一类为应用常规能源(如煤、油等)作为动力的称为常规动力装置,另一类应用核能作为动力的称为核动力装置。但是船用动力装置也往往以推进装置的类型进行分类。推进装置的特点一般体现在动力装置的类型、动力传递方式、推进器种类三个方面。由不同类型的动力装置、不同形式的传动方式和不同类型的推进器进行合理组合,可组成多种型式的推进装置。在这些推进装置中,动力是核心。因此,根据动力装置型式的不同来划分更具有普遍意义。舰船动力按主机能量的热工转换方式来分类,可将动力装置分成蒸汽轮机动力装置、燃气轮机动力装置、柴油机动力装置和核动力装置四种基本类型。

1. 船用蒸汽动力装置

根据主机运动方式的不同,蒸汽动力装置有往复式蒸汽机和汽轮机两种。往复式蒸汽机最早应用于海船。由于它具有结构简单、运转可靠、管理方便等优点,在过去很长的一段时期内占据着统治地位。但由于其经济性差,尺寸、质量大,不能适应机组功率增长的需要,现在已经被其他船用发动机所代替。回转式汽轮机自从 19 世纪末问世并装船使用以来,由于受到柴油机的挑战,发展一直比较缓慢。这种发动机运转平稳,摩擦、磨损较少,振动、噪声较轻,但热效率低,要配置质量、尺寸较大的锅炉、冷凝器、减速齿轮装置以及其他辅助机械,因此装置的总质量和尺寸均较大,这就限制了它在中小船舶中的应用。然而最近十几年来,由于回转式汽轮机发展了系列化、通用化和简单化的装置,降低了造价,提高了蒸汽初始参数,采用中间过热和废热充分回收利用系统,大幅度降低了燃油消耗率;解决了繁重的锅炉水垢清洗问题;采用低螺旋桨转速等一系列措施,再加上这种装置对燃料适应性好的优点,故应用范围有所扩大。不少资料表明,在功率超过 22 000 kW 和船速超过 20 kn 时,汽轮机动力装置比柴油机动力装置更为优越。蒸汽动力装置组成原理如图 1.2 所示。

2. 船用柴油机动力装置

柴油机不仅是热效率最高的一种热机,而且还具有启动迅速、安全可靠、装置的质量较轻、功率范围大(从几 kW 至数万 kW)等一系列优点,因此船舶主机及发电机副机现在多用这种发动机。船舶以柴油机动力装置占绝对优势的状况,在今后一个相当长的时间内还将继续下去。在中、大型民用船舶上所使用的柴油机有大型低速和大功率中速两大类。这两种柴油机

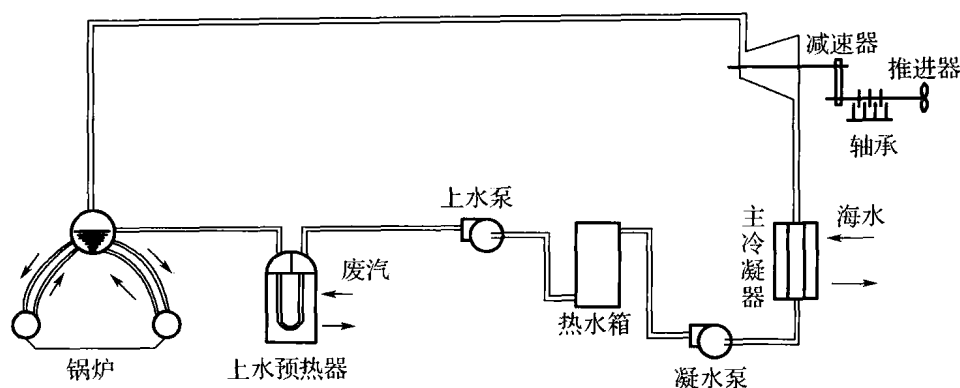


图 1.2 蒸汽动力装置组成原理图

在激烈竞争的同时又互相促进,都在迅速地发展着。大型低速柴油机动力装置自 20 世纪 60 年代起发展得特别迅速。一方面是由于当时船舶向大型化、高速化发展,需要大功率的发动机;另一方面由于废气涡轮增压技术的进步,可燃用更低质的燃料,降低了比油耗,为大型低速机发展提供了可能。20 世纪 70 年代两次能源危机的冲击和相继出现的航运事业不景气,从节能需要出发,船舶已不再向大型化和高速化方向发展,除专业化船舶外,一般货船的航速都降至 14 kn 左右。为了适应这种形势,大型低速柴油机的尺度不但不再增加,而且缸径也都回到 1 000 mm 以内,并出现了缸径只有 260 mm 的低速机。从 20 世纪 70 年代末至今围绕着节能这一中心,大型低速柴油机的结构不断改进,大体每隔两年就推出一种新机型。可以认为,降低耗油率、提高经济性仍然是今后发展的方向之一。船用柴油机动力装置组成原理如图 1.3 所示。

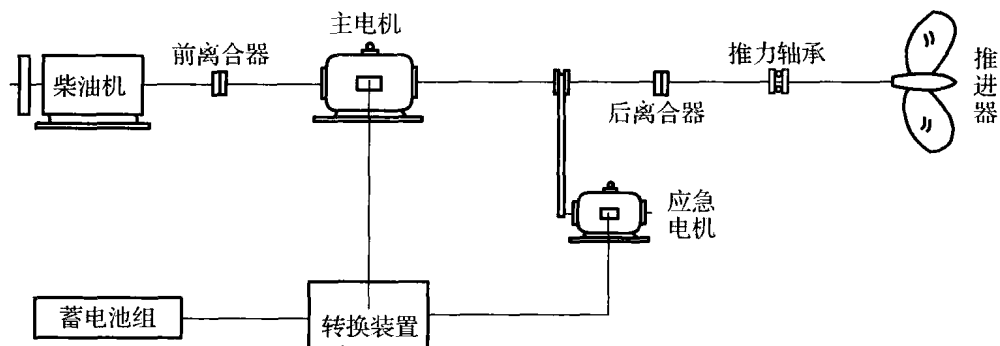


图 1.3 船用柴油机动力装置组成原理图

3. 船用燃气轮机动力装置

燃气轮机动力装置是 20 世纪 30 年代燃气轮机开始兴盛以后发展起来的,第一批作为商船主机出现在 20 世纪 50 年代。它的优点是单位质量和尺寸小、机动性高、操纵管理简便、便于实现自动化,但它的经济性差、进排气管道大、机舱布置困难、装置较复杂、叶片及燃气发生器在高温高压状态下工作、寿命较短。船用燃气轮机动力装置组成原理如图 1.4 所示。

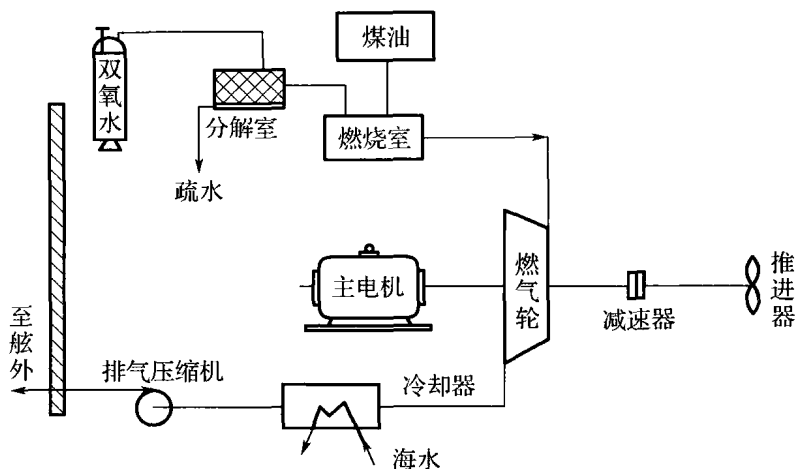


图 1.4 船用燃气轮机动力装置组成原理图

4. 船用核动力装置

利用核裂变产生能源的动力装置称为核动力装置,核动力装置的核心是核反应堆。船用核动力装置的特点是速度快、续航力大、核燃料的装载质量少、机动性强。根据其用途船用核动力装置一般可分为两类:一类为民用核动力船舶,如原子能破冰船、核动力客商船和海洋考察船等,这些民用船舶上的核动力装置与陆上核电厂压水堆动力装置基本相似;另一类为军用核动力舰船,如核动力航空母舰、巡洋舰、潜水艇等。无论民用还是军用船舶核动力装置,它们的工作原理是一样的,即通过核燃料的核裂变产生能量,经蒸汽发生器产生蒸汽推动汽轮机做功,进而驱动推进器工作。

船用核动力装置(压水型)一般由反应堆、一回路系统、二回路系统、电力系统、推进轴系几大部分组成。典型的船舶压水型动力装置组成原理与布置如图 1.5,图 1.6,图 1.7 所示。

(1) 反应堆、一回路系统(核岛)

反应堆、一回路系统是利用反应堆核燃料裂变放出的热,产生蒸汽的装置。船舶压水堆动力装置通常是单堆两条环路(三条环路等)的配置形式,即一回路系统是由完全相同的,各自

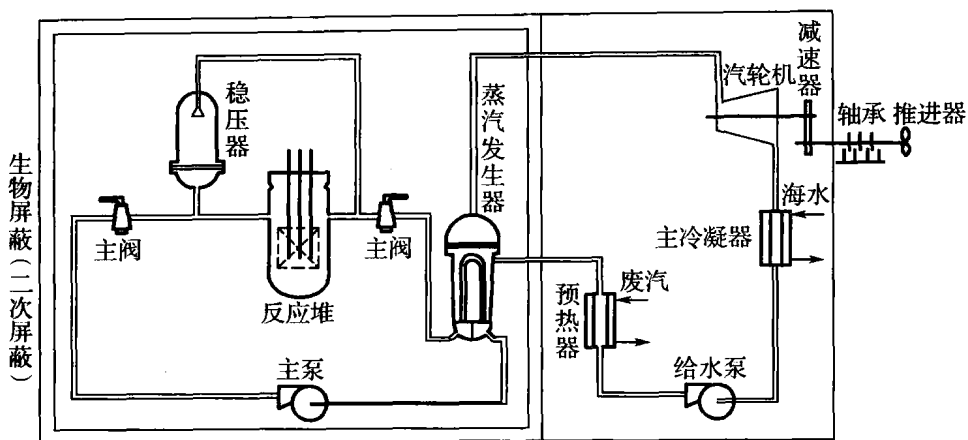


图 1.5 典型核动力船舶动力系统组成原理图

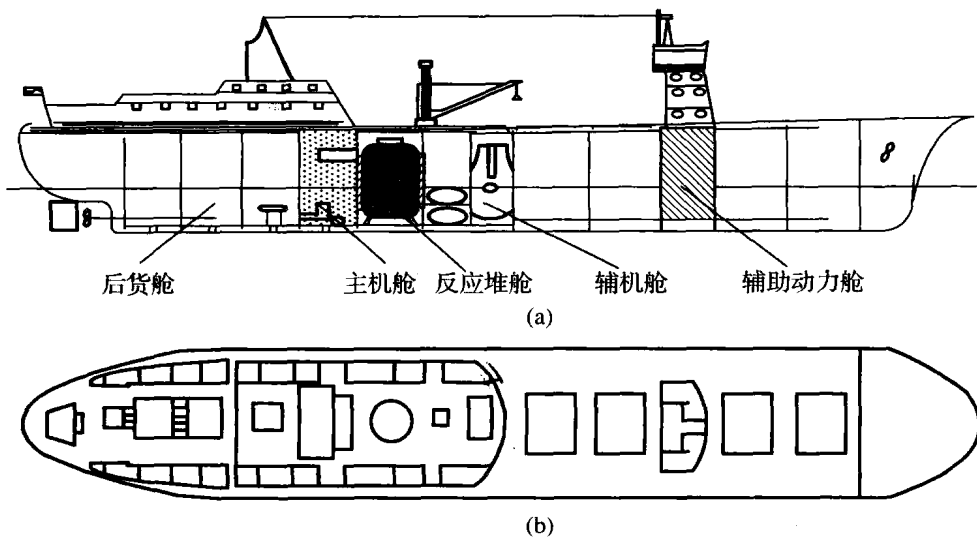


图 1.6 典型核动力船舶舱室布置图

独立且相互对称、平行而并联在反应堆压力壳接管上的密闭环路。其中每一条环路都是由一台蒸汽发生器,两台反应堆冷却剂泵,反应堆进、出口接管处的各一只冷却剂隔离阀和连接这些设备的主回路冷却剂管道组成。兼作反应堆慢化剂和冷却剂的高温、高压水,在反应堆冷却剂泵的驱动下,流经反应堆堆芯,吸收了核燃料裂变放出的热能后,强迫出堆,流经蒸汽发生器,通过蒸汽发生器的大量U形传热管壁面,把热量尽可能多地传到U形管外侧的二回路系统的蒸汽发生器给水,然后流回反应堆冷却剂泵,再重新被送进反应堆,吸收堆芯核燃料持续