

高等学 校 学 用 书

船舶蒸汽动力装置原理与设计

上海交通大学任文江編



北京科学教育編輯室

高等学校教学用书



船舶蒸汽动力装置原理与設計

上海交通大学任文江編

北京科学教育編輯室

本书内容是討論船舶蒸汽动力装置的原理与設計，主要是阐述整个船舶动力装置的理论基础和动力装置設計上所需解决的主要問題。主要内容包括热力循环和热綫图的分析討論，新型动力装置的介紹，选型和蒸汽参数的选择，发动机与螺旋桨的配合，动力系統的設計計算，輔助动力装置，并在以上內容的基础上介紹蒸汽动力装置的热平衡計算，然后介紹动力装置的部分負荷，机械设备的布置，軸系的设计計算与傳动设备，管路閥門附件和管路的計算，船舶系統，动力装置的操纵运行。

本书是作为高等工业学校船舶动力装置专业“船舶动力装置原理与設計”課程和船舶渦輪机专业同类課程的主要教材，同时可作为船舶鍋炉专业类似課程的主要参考书。教材內容是根据动力装置专业的要求而拟定，并且考虑到学生已学过基础課程，基础技术課程以及渦輪机，鍋炉，輔机等专业課程。根据本书所阐述的內容也可作为船舶动力装置設計部門，科学研究部門和工厂企业技术人員的参考。

船舶蒸汽动力装置原理与設計

上海交通大学任文江編

北京科学教育編輯室出版
商务印书館上海厂印刷
新华书店上海发行所发行

开本：850×1168 1/32 印張：23 7/16 字數：559,000

印數：601—1,800

1961年8月第1版 1962年7月上海第2次印刷

定价：3.29元

序 言

船舶是近代运输能力较大的一种交通工具，也是保卫祖国与巩固国防的一种重要工具，但过去在一个很长的历史时期中，船的推进仅仅是在利用人为和自然界的风力范围内。因此那时候船的运输能力和它所能胜任的工作受到很大的限制。自从十八世纪中叶造成了蒸汽机后，人类许久以来利用热能取得机械能的企图得以实现了。但是在船上应用蒸汽机还要稍后一些，1807年蒸汽机成功地用作船舶推进力以后，船的推进就不再受人力和天然风力的限制。因此船舶的运输能力和用途从此就起了重大的变化。此后，风帆船逐渐被机器动力船所代替，而水上运输便出现了新的面貌。

风帆船与机器动力船的基本差别就在于后者用一套动力装置来代替风帆，因此船舶动力装置的出现标志着水上运输技术的一个新的转折。但在最初使用动力装置时它的任务只是用于推进船舶，而现代船舶动力装置的任务不仅在于产生船舶推进力，并且还要满足船上所需要的各种“能”的消耗，因而它是现代船舶中的一个极为重要的组成部分。所以对船舶动力装置作全面而详细的分析研究，设计和制造出各种最优良的船舶动力装置，这是船舶动力装置工程师光荣而艰巨的任务。

我们伟大的祖国有着漫长的海岸线，有着无数的大小河川，有着发展造船工业的优良条件，但在反动统治的年代里造船工业得不到发展。解放以后短短的十年，祖国的造船工业已完全面貌一新，各种新型船舶不断出现。但是目前的水运事业还远未能满足

社会主义建設蓬勃发展的需要，因此建造出大量的装有各种优良的动力装置的新型船舶已是刻不容緩的任务。

船舶动力装置的设计和船舶本身的设计一样是一个非常复杂的任务，它要服从一系列对船舶动力装置提出的要求，船舶蒸汽动力装置发展现阶段的特点，是对动力装置所有指标的高度要求。因而要设计出一套完善的符合要求的船舶动力装置，就必须深入地掌握动力装置的设计原理和方法，掌握动力装置各部件和单元（如汽轮机，蒸汽机，锅炉，辅机等）的结构原理与计算，同时还需要具备一定深度的基础理论知识。

“船舶蒸汽动力装置与设计”是蒸汽动力装置专业及蒸汽发动机及装置专业学生的一门重要的专业课程，学习这门课程是在专业理论课程的后阶段进行的，根据教学计划在学习这门课程以前已经学过了蒸汽轮机，蒸汽往复机，蒸汽锅炉，辅助机械以及船舶结构原理等课程，因而本书的编写也是根据这个观点来进行的。

本书所研究的对象是船舶蒸汽动力装置，它的主要任务是对船舶蒸汽动力装置作全面而详细的分析，叙述船舶蒸汽动力装置的原理与设计方法，研究各主要部件和单元的相互联系，并介绍某些单元的结构与计算。

根据上述任务，本课程的内容范围很广，但与其他课程有分工，它的主要内容包包括船舶动力装置的特点，基本要求，热力循环，热力线图，主要单元及参数的选择，船舶动力装置的系统及管路，船舶动力装置的热计算，船舶动力装置及其各单元的布置，辅助动力装置，船舶轴系，船舶系统，管路附件及计算，船舶蒸汽动力装置的操纵与运转等。这些内容的深度是能进行动力装置的设计和打下从事动力装置方面科学研究的基础。

本书以蒸汽轮机动力装置为主，至于蒸汽机装置本书也付与一定的篇幅。

本书主要根据苏联专家 И. А. 布庫斯同志所編的同名讲义，經過几年来的試教，参考了一些国内外資料并根据教学大綱加以整理和改編的。

目 录

序言

第一章 緒論 1

- § 1-1 船舶动力装置的发展簡史及我国造船工业的情况 1
- § 1-2 船舶动力装置的含义及其組成 8
- § 1-3 船舶动力装置的特点及其与固定式装置的不同 10
- § 1-4 船舶动力装置常用的几种技术經濟指标 14
- § 1-5 船舶的各种类型及特点以及对各种类型船舶的动力装置提出的要求 24

第二章 蒸汽动力装置的热力循环 50

- § 2-1 导言 50
- § 2-2 完全膨胀循环在船舶蒸汽动力装置中的应用 51
- § 2-3 再生循环(回热循环)的理論探討 64
- § 2-4 再生循环在实际船舶蒸汽动力装置中的应用 77
- § 2-5 重热循环(中間过热循环) 90
- § 2-6 蒸汽动力装置热力循环的主要結論 100

第三章 船舶蒸汽动力装置热綫图 103

- § 3-1 船舶蒸汽动力装置热綫图的分类 103
- § 3-2 船舶蒸汽动力装置的最簡單热綫图 104
- § 3-3 单級預热給水无多余加热蒸汽的热綫图(第一种方案) 110
- § 3-4 单級預热給水无多余加热蒸汽的热綫图(第二种方案) 113
- § 3-5 按照单級預热給水无多余加热蒸汽热綫图(第二种方案)工作的装置,其加热蒸汽最佳压力的决定 115
- § 3-6 单級預热給水加热蒸汽有多余的热綫图(第一种方案) 119
- § 3-7 单級預热給水有多余加热蒸汽的热綫图(第二种方案) 124
- § 3-8 二級預热給水无多余加热蒸汽的热綫图 128
- § 3-9 从主发动机中間級撤汽預热給水的熱綫图 131
- § 3-10 当主机中間級撤汽时主机耗汽量的决定 135
- § 3-11 主机撤汽与輔机乏汽混合利用預热給水及其他混合热綫图 138
- § 3-12 蒸汽动力装置热綫图的主要結論及热綫图的选择 139

第四章 复合装置的应用 151

§ 4-1	蒸汽—燃气轮机联合装置的概述及其在船上使用的远景	151
§ 4-2	蒸汽—燃气轮机联合装置的分类及其优缺点	155
§ 4-3	蒸汽—燃气联合循环的热力性能分析	162
§ 4-4	双汽装置	164
第五章 船舶动力装置主发动机与螺旋桨的配合, 动力装置型式及主要考数的选择		
§ 5-1	动力装置功率的决定和推进器的工作规律	172
§ 5-2	船舶发动机的特性线及其与螺旋桨的配合	178
§ 5-3	螺旋桨转速及其数目的选择	186
§ 5-4	初始蒸汽参数和主凝汽器压力的选择	188
§ 5-5	动力装置的型式和各单元的选择	199
第六章 船舶蒸汽动力装置的系统和管路及其机械设备的计算		
§ 6-1	滑油系统	215
§ 6-2	蒸汽锅炉的液体燃料系统	228
§ 6-3	炉仓输煤输渣的机械化装置	241
§ 6-4	锅炉鼓风系统	252
§ 6-5	冷凝装置的冷却系统	256
§ 6-6	凝水—给水系统	284
§ 6-7	汽轮机装置的封汽系统	315
§ 6-8	动力装置的放泄管路	318
§ 6-9	主蒸汽管路	320
§ 6-10	辅蒸汽管路及乏汽管路	331
第七章 船舶辅助装置		
§ 7-1	船舶发电站	340
§ 7-2	船舶辅助锅炉装置	354
§ 7-3	蒸发装置	356
§ 7-4	船舶辅助凝汽装置	367
第八章 船舶蒸汽动力装置的热平衡计算		
§ 8-1	热平衡计算的目的及方法	369
§ 8-2	逐渐近似法	370
§ 8-3	用华西列也夫教授的相对量法决定锅炉的出量	373
§ 8-4	根据载荷系数决定辅助机械和它们的驱动装置的效率	379
§ 8-5	辅助机械主要特性的决定	385
§ 8-6	整套动力装置机械设备的配备	399

§ 8-7 船舶蒸汽动力装置热平衡的具体计算	407
第九章 动力装置在部份载荷工况下的工作	414
§ 9-1 蒸汽透平在部份载荷工况下的工作	414
§ 9-2 蒸汽锅炉在部份载荷工况下的工作	421
§ 9-3 辅助机械在部份载荷工况下的工作	423
§ 9-4 蒸汽动力装置在部份载荷工况下的热平衡计算	428
第十章 蒸汽动力装置各部份尺度和重量的决定及其 机械设备的布置	430
§ 10-1 主机组定型尺寸的决定	430
§ 10-2 锅炉的定型尺寸计算及锅炉数目的决定	444
§ 10-3 机舱尺寸的决定	445
§ 10-4 机械设备布置的原则	446
§ 10-5 机舱室的位置及活力的保证	447
§ 10-6 机械设备的布置	452
§ 10-7 船舶动力装置的重量和重心的决定及消耗品的贮存与布置	469
第十一章 传动及轴系	488
§ 11-1 固定接合的直接传动	488
§ 11-2 齿轮传动	490
§ 11-3 电力传动	494
§ 11-4 液力传动	496
§ 11-5 变螺距螺旋桨传动的应用及其简单结构	507
§ 11-6 轴系	509
第十二章 船舶系统	588
§ 12-1 船舶系统的设计基础	588
§ 12-2 船仓系统	564
§ 12-3 测量管和空气管	581
§ 12-4 船仓讯号系统	583
§ 12-5 救火系统	584
§ 12-6 卫生系统	595
§ 12-7 房间取暖和冷却系统	602
§ 12-8 船舶仓室的通风	607
§ 12-9 压缩空气系统	619
第十三章 船舶管系配件及管子,管路的计算	622
§ 13-1 船舶管系配件	622
§ 13-2 管子	650

§ 13-3 管路計算.....	654
------------------	-----

第十四章 船舶蒸汽动力装置的操纵和检查, 試驗和运转

以及設計組織	694
--------------	-----

§ 14-1 船舶蒸汽动力装置的操纵和检查.....	694
----------------------------	-----

§ 14-2 船舶蒸汽动力装置的試驗和运转.....	713
----------------------------	-----

§ 14-3 船舶动力装置設計的組織.....	734
-------------------------	-----

第一章 緒論

§ 1-1 船舶动力装置的发展簡史及我国造船工业的情况

十八世紀末叶和十九世紀的初叶由于資本主义的发展和工业革命所引起的貿易的增长而提出了大力发展运输的任务。当时担负水上运输任务的帆船队已不能滿足迅速发展的貿易的需要。于是船舶技术便面临着改革的局面，因而便出现了必需建造利用机械发动机的动力而不依赖于大自然的力量来推进的船舶。动力机械最初应用在船舶上是在十九世紀初。

自从十八世紀中叶創立了热力过程的理論后，1766年出现了世界上第一部万能蒸汽机。而实际上将蒸汽机应用到船上的是在1802年，可是在旧社会里这第一艘蒸汽机船在試驗的前夕被帆船占有者弄沉了。随后一直到1807年才正式出现了明輪推进器的蒸汽机船“克莱尔蒙特”号，并且試驗成功。这条船第一次航行以32小时完成150里的距离，亦即具有每小时約5里的速度。“克莱尔蒙特”号的制造成功揭开了船舶技术史上新的一頁。以后明輪推进器的蒸汽机船續有建造，但是使用明輪在海上航行有很大困难而必需創造另一种型式的推进器。于是螺旋桨便因而产生，但是当时提出了很多种型式的螺旋桨推进器，直到1840年前后才出现了比較完善的螺旋桨式推进器。

在我国，根据目前已知的历史資料，1862年由于当时的客观需要安庆的徐青、华蘅芳等人集体設計和制造成功我国第一部蒸汽机，次年制成木壳輪船“黄鵠”号，船长約五十余尺，每小时能行

四十余里。

十九世纪下半年代的特征是蒸汽机船的蓬勃发展,到十九世纪末叶蒸汽往复机已达到了很大的马力和高度的完善程度,并且出现了各种型式的蒸汽往复机。但是由于蒸汽往复机存在一系列的缺点,不能满足对舰队和商船的日益增长的要求。因而便出现了其他型式的发动机。

在十九世纪末和二十世纪初,开始出现了一种新型式的发动机——蒸汽轮机。1892年在俄国开始了试验性涡轮机装置的建造,可惜在建成后试验没有圆满结束。1896年在英国制成了蒸汽轮机船“透平尼亚”号,并在泰晤士河上进行试验,船的速度达到32节,这在当时是惊人的。由于这种发动机的巨大优点,因此它在军舰上开始得势,随后在大型商船上也得到广泛的采用。当然初始的汽轮机是不很完善的,也曾受到些挫折而且推迟了它的应用。但是汽轮机与蒸汽机比较起来优点是这样的明显,使当时舰队和商船的发展得到了能够满足一定要求的发动机。自此以后,在大功率的船舶,特别是军舰上,蒸汽轮机便处于主要地位。

开始所使用的汽轮机都是直连式的,在1909—1910年才建成了齿轮减速机构。在同一时期也出现了船用汽轮机电动装置。在现代,大的军舰和商船都是以汽轮机作为主机的,而汽轮机的功率在一根轴上可达到75,000马而,装置总功率达到300,000匹马力。

差不多与采用汽轮机的同时也在船上开始应用内燃发动机。1903年春天世界上第一艘内燃机船“万达尔”号开始运行。它装有三台120匹马力的柴油机。每台柴油机带动一部发电机,而每部发电机所发出的电流供给一部电动机,每部电动机驱动一只螺旋桨,“万达尔”号不仅是世界上第一艘内燃机船,而且也是世界上第一艘采用电力推进的船舶。自此以后,由于柴油机动力装置效

率高以及柴油机技术不断改善，它的使用便愈来愈广。在某些类型船舶上，由于柴油机所具有的特殊适应性，例如快艇，潜水艇，水翼艇等，柴油机装置已经成为唯一的或主要的动力装置型式。

在近代，除了采用蒸汽轮机装置以外，已开始采用一种新型式的发动机——燃气轮机，它最初应用在柴油机的增压上，以后才作为军舰和商船的主机和发电机的原动机。燃气轮机的主要特点是重量轻，尺寸小，设备简单。燃气轮机装置有二种型式，一种是燃烧室式，与航空用的相类似。目前来说它的效率还较低，一般考虑用在军用船舶上。另一种是自由活塞发气器燃气轮机，它的效率较好，已经在民用船舶上试用。1955年法国最先制成使用这种动力装置的船舶，至今使用情况良好。

原子能的发现和利用为船舶动力装置开辟了一个新的前途。伟大的苏联在建成了世界第一个原子能发电站后，在1959年建成了世界上第一艘原子破冰船，这艘世界上最大的破冰船已在1959年9月正式运行，这是苏联在船舶上和平利用原子能的先例。这艘原子破冰船主发动机的功率为44,000马力，排水量为16,000吨，装有汽轮机电力传动的蒸汽动力装置。在其他国家，到目前为止还没有建造出和平用途的原子能船舶。但是在有些国家的文献中提出了把原子能动力装置用在货船和油船上的问题，并且已经完成了原子运输船“原子航海者”号的设计。

由于原子燃料中能量的异常集中，可以用极小量的燃料而获得巨量的能量，因而在船舶上使用就可以长期航行而无需携带和增添大量的燃料。象6,000马力的原子发动机每小时消耗的铀不过1克左右，现在一艘较大的轮船渡过太平洋要燃烧六千多吨的煤，可是如果利用原子能的话，只要用不到2.5公斤的铀。原子动力装置在潜水艇上有特别的优点，因为原子燃料完全不需要空气助燃，所以潜水艇便可以长期在水下航行而不必经常到水面上补

充空气。利用原子燃料的优点是很明显的，但是原子反应堆在目前还相当笨重，所以一般认为只宜用于馬力大，航程远的大型船舶，然而随着科学技术的发展这个问题也会逐步得到解决。不久的将来一定会出现更多的原子能动力装置船舶。

以上所述的是在世界范围内船舶动力装置从发生到今天的简单发展情况。

在我国，建立现代造船工业早在 1865 年就开始了。在这以前安庆的徐青，华蘅芳等人曾制成了我国第一艘蒸汽机船“黄鹄”号。1865 年清政府在上海成立了江南制造局，1867 年迁高昌庙现在的江南造船厂厂址。1868 的年制成木壳輪船“惠吉”号，长 36.4 米，寬 8.3 米，載重 600 吨，馬力 392 匹。1866 年清政府又在福建馬尾建立了福洲船政局，1867 年造成第一艘木壳輪船“万年青”号，长 72.6 米，寬 8.24 米，排水量 1450 吨，馬力 150 匹。以后这两个厂也續有建造各种船舶。但是由于当时的滿清政府以及其后的国民党反动政府的腐敗无能，再加上帝国主义的压迫，造船工业一直得不到发展。許多年来所造船只寥寥无几，各造船厂大都是修船任务或者是建造些小型船舶。造船工人受着帝国主义和反动統治者的双重压迫。在 1921—1922 年間上海江南造船厂曾建造过四艘远洋貨船，載重为 10,200 吨，馬力 3,430 匹，試航速率达 13.86 节，这是旧中国所造的最大船舶。

新中国成立以后，造船工业获得了新的生命。党和政府关怀着年轻的造船工业的发展。随着国民經济和航运事业的发展中国的造船工业也迅速地发展起来。在第一个五年計划期間，所造船只不但数量多，而且类型复杂。在新造的船舶中都尽量采用了新的科学技术成就，而且遵循了社会主义的技术方針。例如在这期間建造的有民主十号，民主十一号沿海客貨輪，黄河破冰船，1200 匹馬力海洋拖輪等，性能都极良好，其他还有一些航行于长江的船

船，而且还对一些陈旧的和打捞起来的船只进行恢复性的修理和改装工作。

在1957年展开了伟大的全民正风运动后，广大工农群众的政治觉悟进一步提高了。他们破除了迷信，解放了思想，发扬了敢想敢说敢干的共产主义风格，奇迹不断出现。1958年7月底大连造船厂所造的沿海货轮“和平25号”比预定计划提前八个月完工，造船周期为七个月，这艘船的排水量为8730吨，载重量为6026吨。这艘船不但是我国近三十五年所造的最大船舶，而且在设计和制造过程中都采用了世界最新技术成就。船上的主机、锅炉、发电机、轴系等全部由国内自制。这艘船的造成标志着我国造船工业已能独立发展。后来上海江南造船厂所造同型船舶“和平28号”也于八月分完工，船台周期仅83天。奇迹愈来愈多，大连造船厂所造第一艘万吨远洋货轮也下水了，船台周期仅58天，而这是我国造船史上最大的船舶。这样快的建造速度早已超过英国和日本。其后上海船舶修造厂所造的3000吨载重量沿海货轮下水，船台周期仅35天。其他如民主十四号、十五号和十六号也相继在沪东造船厂完工。但中国的造船工人远不以此为满足，跃进是无止境的，1959年上海的江南造船厂、中华造船厂和沪东造船厂所造的同型船舶的船台周期都较1958年缩短很多，例如江南造船厂所造的5000吨海轮“和平58”号船台周期仅58天，而沪东厂的3000吨海轮船台周期只有16天。在产品设计和方面也相继完成了一些国家建设需要的大型和新型船舶和动力装置的设计。

船舶机器制造是我国造船工业的薄弱环节。在过去以及解放初期的大部分船舶仍只是采用蒸汽往复机，那时我们还不能制造汽轮机和大型柴油机。但是在1958年基本试制成功了2000匹马力等大型船用柴油机，2000匹马力的船用柴油机已正式安装在3000吨货轮上使用。其他还完成了许多新型主辅机的设计，并开

始向大型和尖端进军如自由活塞燃气轮机，汽轮机，蒸汽轮机，大馬力船用柴油机等。这一切都说明了我們已初步的正在改变着船机落后于船体的局面，把我国的船舶建造水平迅速提高到适应国民經济和国防建設所需要的水平。

总结了以上所述的国内外船舶动力装置的发展情况来看，标志船舶动力装置发展的主要是推进装置，因为船舶动力装置的主要任务是发出动力推进船舶。从推进装置的全部发展历史来看，它的发展主要由如下几个方面构成的：

1. 发动机及其他主要部件的发展；
2. 燃料种类的发展；
3. 推进器的发展；
4. 傳动方式的发展；
5. 自动化的发展。

这些发展是在当时的客观形势的要求下以及当时在物质上已具备了条件的情况下进行的。同时这五个方面的发展是相互影响，有时是互为条件的。

机器动力船的出现是由于风帆船已不能适应当时日益增长的貿易的需要。汽轮机的出现也是在蒸汽机不能够满足对动力装置馬力大，重量尺寸小和經濟性良好的要求而誕生和发展起来的。当然蒸汽机也在为它的生存而斗争着，正在不断地克服自己的缺点，例如許多新型式的蒸汽机和联合装置的出现。最初的船用汽轮机是与螺旋桨直接连接的，轉速很低，因此直径需很大而級数达100~200多級，这样的汽轮机极笨重，效率也很低。为了解决这个困难，也就必需采取了减速的傳动方式，因而齿輪减速便出现，同时对于汽轮机装置来说由于适应某些船舶的操纵性等要求，如破冰船等类型船舶，也使用着电力傳动。

燃气轮机的出现进一步減輕了重量和尺寸，而沒有了第二級

工质就使設備大大緊湊。

随着蒸汽往复机的不断完善和汽輪机的发展的同时推进装置的其他部分也在适应发动机的要求而发生变化。例如以鍋炉来說，火管式鍋炉由于不能适应大功率和高参数的要求，因而便有水管鍋炉的出現。而对于水管鍋炉来說为了进一步地減輕重量尺寸和增加輻射热面，提高参数和出率，也就出現了双鼓筒的水管鍋炉，增压燃燒鍋炉等，同时为了提高出率和可靠性便有强力循环的水管鍋炉出現。

推进器的构造由于早期的明輪推进器不能滿足海上航行的要求而出現了螺旋桨推进器，后来也出現了其他型式的推进器如豎軸式推进器和可变螺距螺旋桨等。

在使用燃料的种类方面，在蒸汽机出現的时候煤是唯一的燃料，后来由于油矿資源的逐步发现和炼油工业的发展，再加上发动机的功率不断增加，液体燃料在某些船舶和某些国家中已成为主要的燃料了。但是煤和石油的資源都是有限的，而且这些燃料都要占据船舶一定的排水量和容积，因此必需寻求解决的办法。原子能的发现和利用提供了一个主要的解决途徑。原子燃料所需的重量比起煤和石油来說是微不足道的。

自动控制技术在船舶动力装置的使用也表征船舶动力装置发展的一个方面，由于工业装置不断朝向高参数，高强烈度，高速和大容量发展，这就使得有些工作过程应用人工控制感到困难，甚至不可能，而且为了減輕劳动强度，节省劳动力和提高运行經濟性，自动控制正在愈来愈广泛地在船舶动力装置中采用。

除了机器設備的发展外，由于在蒸汽动力装置中使用的工质是水蒸汽，但水蒸汽的热力性质不很完美，不能显著地提高装置的效率，因而出現了使用他种工质，例如双汽装置，但在船上还未建造过。