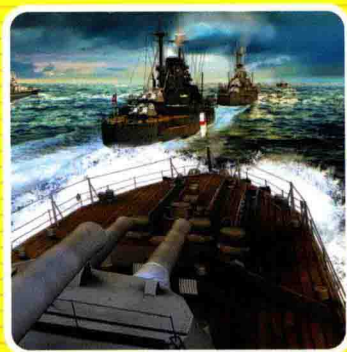


舰船推进系统选型概论

——像舰船总设计师那样思考

余放编



JIANCHUAN
TUIJIN XITONG
XUANXING GAILUN



国防工业出版社
National Defense Industry Press

舰船推进系统选型概论

——像舰船总设计师那样思考

余 放 编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

动力是舰船的“心脏”,是整艘舰船重要的组成部分。在舰船设计的最初阶段,就应开始慎重考虑推进系统。本书站在舰船总体设计师的角度着重介绍了推进系统的技术特点,以及舰船设计师如何根据其技术特点和约束条件来选择推进系统。全书共分11章。第1章~第7章主要讨论推进系统设备的组成;第8章~第10章着重介绍各种设备组成整套推进系统时,应考虑各种影响因素,以及选型过程中的若干约束条件,如设备的成本及可用性等;第11章列举了一些设计研究的方案。

本书主要是供舰船设计者和科研管理者使用的,也可作为大专院校船舶动力装置专业的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

舰船推进系统选型概论:像舰船总设计师那样思考/
余放编 . —北京:国防工业出版社,2017.1
ISBN 978-7-118-11095-1

I. ①舰… II. ①余… III. ①军用船—推进系统—
概论 IV. ①U674.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第255268号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 13½ 字数 249千字

2017年第1版第1次印刷 印数1—2000册 定价68.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

序 言

众所周知,关于舰船推进系统各种设备的出版物较多,但涉及系统本身的设计,或者说设计师如何为舰船推进系统选型的著作却很少。为了丰富国内舰船推进系统选型领域的研究资料,本书收集介绍了英国舰船行业科研人员的著述及观点,重点介绍推进系统的技术特点,以及舰船设计师如何根据其技术特点和约束条件进行推进系统的选型,这些观点均来自真实的海军舰船设计实践。

舰船设计需要引用广泛的专业知识。由于舰船设计各专业之间存在广泛的相互联系,所以人为地划分了一些界限。但是,舰船设计的特点要求我们任何专业的设计师都应首先把自己视为一名舰船设计者,其次才是具体专业的设计师。总之,本书主要是供舰船设计者使用的,尤其是那些负责为舰船推进系统选型的设计者。

关于舰船推进系统选型,英国舰船行业存在以下观点:

舰船设计是一个不断逼近的过程,需要时间使设计方案逐渐成熟。因为推进系统是舰船整体的一部分,一旦安装好了,就不容易更改,所以最重要的是应在舰船设计的最初阶段就开始慎重考虑推进系统。因为推进系统包括一些研制周期较长的设备,可能会造成舰船采购和推进系统设备研制之间进度上不同步。这些因素可能使得长期从事推进系统设备研制的科研人员,在其设备首次海上试验使用时,还不十分清楚舰船的总体性能,而这些性能很可能对设备产生重要影响。

推进系统选定后,还有大量细致的工作要做,但只要选择过程是成功的,详细设计阶段就不会有重大改变;或者说,当推进系统逐渐与该舰设计的其他特征相互影响时,就不会明显改变其特性(如不会大量增加重量等)。详细设计很重要,因为设计中如果考虑不周到,会给舰船使用及维护人员造成较大的困难。常常听到舰船使用人员抱怨管路铺设妨碍一台需要定期维护保养的设备的通道,而不管设计初期在重量和全寿命周期成本之间是否做出正确权衡。

在设计过程中,如果我们拥有成套完整的可用信息资料,就可方便地做出某些决策。然而有些时候,尤其在工程的初期,有许多决策只能基于不太充足的信息资料。人们必须利用现有的各种资料,并加以某些思考,尽量客观地做出判断。即使这样,仍将有某些决策只是一些推测:认为可能是舰船设计所必需的,因为建成舰船的用途可能与设计阶段所设想的有所不同。如果是这样,采取特

定的设计方案能阻止潜在的攻击吗？或者说，不是这样，这种方案能使胜利确定无疑吗？当无法预测上述细节时，那么有什么根据能判断各种备选方案呢？敌对各方都在彼此不断地评论各自的优势与劣势，并不断修改设计方案以对付不断变化的威胁。这就意味着，决定在舰上安装什么样的设备会影响敌方所采取的对策。例如，敌方发现了某些难以直接对付的防御能力，则会研发新武器或新战术，以威胁位于防御最薄弱方面的舰船。

在审查各种不同推进系统方案时，要谨防强行推销的做法。不要听信某人说某艘舰最高航速可达多少节，或者说另一艘舰1小时只使用多少吨燃油，或者一艘舰的机舱只有多少米长。不可能用简述或概述来说清楚一套推进系统的全貌，或者是该系统如何能很好地满足舰船设计的操作使用特点和其他特征。为尝试优化一台装置，必须审查舰船设计中众多的相互关联，而且必须进行折中权衡。一艘舰就是一种综合平衡的结果，因此，满足作战使用要求的最有吸引力的总体方案，也许不是该舰具有最高航速、最经济燃油消耗、最短的机舱长度或者无论什么别的独立特性。采用新设备或者不同等级的燃油，或是改变现有的保障系统，代价可能很昂贵。因为这样会涉及整个保障体系、备品、培训、手册及岸基设施。孤立地看，一种完全不同的舰船设计方案可能会节省一些费用，但考虑到它增加保障的成本，费用就会大大增加。这绝对不是说不要做重大修改，重要的是，这种修改要在现实环境下进行，既要考虑增益，又要考虑损失。

在许多情况下的问题是准确确定舰船设计师力图达到的目标。目标是要打赢一场战争（什么类型的战争——局部冲突或全球战争？）还是制止一场战争？或者只是想采购一艘讲求费效的舰船？上述所有目标都很难进行分析评价。“简单”地讲，目标就是一种讲求费效的设计方案。必须既要考虑费用，又要考虑效果，并绘制出相互关系图，才有望找出费效比最佳值。然而，实际上无论是费用还是效果都不容易确定。第10章讨论了确定费用真实含义的问题。确定效果比确定费用更难，因为最终效果要追溯到基本无法估量的事情：所设计的舰船是为了打赢一场战争还是制止一场战争？

目 录

第 1 章 蒸汽系统	1
1.1 概述	1
1.2 蒸汽循环	2
1.3 锅炉	3
1.4 循环	7
1.5 汽轮机	7
1.6 汽轮机控制	9
1.7 特征信号	10
1.8 近代蒸汽系统	11
1.9 辅机	14
第 2 章 柴油机	15
2.1 概述	15
2.2 发动机功率-转速包络线	16
2.3 燃油消耗曲线	21
2.4 分类	22
2.5 废热回收	23
2.6 燃烧	23
2.7 进排气管	24
2.8 过渡工况	24
2.9 舰船柴油机的优选系列	25
2.10 水下噪声与抗冲击	26
2.11 尺寸与重量	26
2.12 舰船运行模式	27
2.13 可维性	27

2.14	红外信号	27
2.15	潜艇柴油机	28
第3章	燃气轮机	29
3.1	概述	29
3.2	燃气轮机循环	30
3.3	舰用燃气轮机	36
第4章	核动力推进系统	48
4.1	概述	48
4.2	核反应	48
4.3	核反应堆	49
4.4	屏蔽	52
4.5	反应堆密封壳	53
4.6	压水反应堆	53
4.7	“萨凡纳”油轮	57
4.8	“奥托霍恩”号船	58
4.9	未来的应用	59
第5章	传动系统	63
5.1	齿轮装置	63
5.2	电力传动	79
5.3	轴系	84
5.4	推进器	85
第6章	监测与控制	97
6.1	概述	97
6.2	对推进控制系统的要求	98
6.3	模拟系统与数字系统	100
6.4	控制方式的选择	101
6.5	仿真	102
6.6	推进系统的控制	102
6.7	控制系统与舰员素质	104

第 7 章 燃料	106
7.1 概述	106
7.2 精炼	107
7.3 柴油	108
7.4 使用蒸馏油舰船的燃油系统	110
7.5 馏分混合物	114
7.6 渣油	115
7.7 煤	118
7.8 舰船用燃料的变化	121
第 8 章 推进系统集成	124
8.1 概述	124
8.2 推进系统模型	124
8.3 系统设计	125
8.4 舰船实用效果	126
8.5 联合动力装置	128
8.6 燃气轮机	128
8.7 柴油机	129
8.8 CODAG/CODOG	130
8.9 调距桨	131
8.10 辅助功率输出	133
8.11 低速运行	134
8.12 拖曳负荷	134
8.13 舰船机动期间推进过渡过程	135
第 9 章 推进系统设计的约束条件	141
9.1 概述	141
9.2 重量	141
9.3 空间	142
9.4 特征信号与冲击	147
9.5 工业基础	154
9.6 成本	155
9.7 变革的阻力	155

9.8 可用性、可靠性及可维性	157
9.9 易损性	166
9.10 舰员配备	168
第 10 章 推进系统的成本要素	170
10.1 概述	170
10.2 评价成本的方法	171
10.3 影响成本的因素	173
第 11 章 设计研究举例	187
11.1 概述	187
11.2 例 1:是否需要研制新机型	187
11.3 例 2:新设计舰船推进系统的选型	195
11.4 例 3:续造舰船推进系统的选型	204
参考文献	208

第1章 蒸汽系统

1.1 概述

由于航空母舰和核潜艇在一个国家的地位越来越重要,所以我们要关注蒸汽系统。

自19世纪初出现轮机工程开始,蒸汽系统就一直在舰船上应用。直到20世纪初船舶蒸汽系统才开始使用燃油。在19世纪蒸汽系统设计方面的进展很快,由初期小于100kPa压力工作的活塞式蒸汽系统,到20世纪初发展成为以2100kPa压力工作的三重膨胀发动机。锅炉技术取得了巨大进步,由筒式锅炉取代了19世纪初广泛使用的箱式锅炉,满足了工作压力提高的需要。在这个时期的前期,海水被用作工作流体,但这样首先必须使海水淡化,因为随着锅炉装置高度开发利用,海水有关的腐蚀和水垢导致的问题越来越多。

大约在石油燃料获得海军认可的前后,汽轮机诞生了。汽轮机公开试验的消息,刊载于1897年《舰船评论》上,曾轰动一时。7年后,英国海军有了一艘汽轮机动力巡洋舰。两年后,“无畏”号舰成为英国第一艘汽轮机动力战舰。到了1912年,所有新型的重要舰船都用汽轮机作动力。活塞式蒸汽机继续应用在小型战舰上,并且运行得很好。直到20世纪70年代,最后的活塞式蒸汽机才离开英国海军舰船。

多年来,蒸汽系统不断地发展。在某些领域某个时期发展进程超过了其他系统。那个时期,都是使用可靠并经试验过的部件,以在舰船首次航行时将失误操作期间可能产生的风险降到最低。但这种做法延缓了蒸汽系统变革的过程以及达到更高蒸汽参数水平的进展。

当较高压力和温度的蒸汽导向一个尺寸较小、效率较高的装置时,有一种连续驱动力来增加这两个参数。20世纪70年代,英国海军成功建造了以燃油蒸汽系统作为动力的新型舰船。最后一艘“利安德”(Leander)级护卫舰,一些“郡”(County)级驱逐舰和“布里其布托尔”(Bristol)舰在70年代初都开始了它们的运行生涯,至少它们的推进动力部分都使用蒸汽。这些舰船的最先进之处是所用蒸汽压力达到4800kPa,温度达到510℃。到第二次世界大战前,美国蒸

汽推进系统的发展已超过英国,并且一直领先。最新的燃油蒸汽水面舰船用 8300kPa 压力和 510℃ 温度的蒸汽运行。有些舰船已采用了压力燃烧锅炉。俄罗斯海军拥有多种级别的燃油蒸汽战舰,其中有些仅是最近才露面的,很难得到关于它们设计的细节。

1.2 蒸汽循环

一个基本的蒸汽循环可以从一台以定压向锅炉供水的给水泵开始。热量被用于加热给水并产生一定温度和压力的蒸汽,作为锅炉的输出。这些蒸汽经过一蒸汽轮机,并保持其压力低于大气压。蒸汽被冷凝,然后工作流体被泵抽到给水系统,最后到达给水泵吸入口。这个过程表示在温-熵图上,如图 1.1 所示。

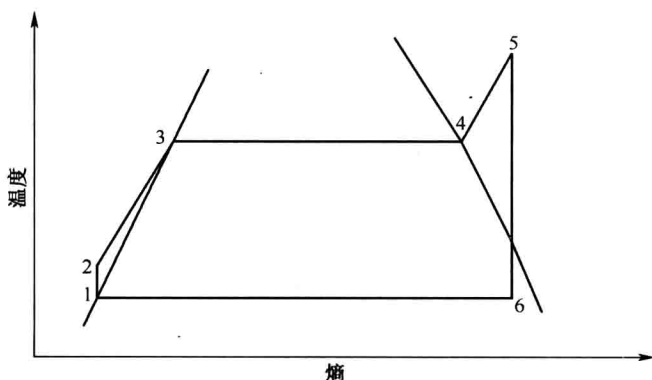


图 1.1 Rankine 循环

其中:

1-2 为给水从冷凝器泵到锅炉入口的绝热过程。

2-3 为水在锅炉中的定压加热过程。

3-4 为定压加热蒸发过程。

4-5 为蒸汽在定压下的过热过程。

5-6 为蒸汽在涡轮中绝热膨胀过程。

6-1 为冷凝器中系统的放热过程。

上述过程称为 Rankine 循环。

这个系统工作时需要各种辅助机械,诸如给锅炉提供燃烧空气的鼓风机、滑油系统,从给水系统中排除空气和非凝结气体的装置,以及可以允许随功率需要变化而改变给水要求的给水系统,这里仅仅列出几种。多年来,蒸汽一直作为大多数辅助机械的动力。蒸汽轮机可驱动泵和鼓风机,蒸汽可用于空气引射泵中,

以去除工作空间内的空气和非凝结气体,也可用于加热器等。蒸汽用于这些辅助机械有其吸引力,因为这些设备需要的蒸汽量与用于推进装置中的蒸汽量相比是很小的,所以对锅炉的尺寸和重量的影响适中。不管怎样,以蒸汽为动力的每台机械必须有蒸汽进出的管道、阀门和与其他机械的交叉连接,所有这些设备遍布机舱。其目的是提高个别机械的效率(小型汽轮机效率通常不是很高的),减少管道铺设和渗漏源(在某些设计中接头和阀门出现过重大问题)。某些机械已经改用电力驱动。

基本蒸汽系统可进一步完善,以提高其各方面的性能,例如收集汽封和密封装置周围漏泄的蒸汽,并送回到给水系统,从而减少需要生产的给水量。蒸汽循环还有许多其他特性,可使某些性能得到进一步改善,但通常要在空间、重量、复杂性、维修或费用等方面付出一些代价。

尽管“标准的”燃油蒸汽动力装置已有某些实例,但对舰船用蒸汽动力装置的惯例一直是进行专门设计。除像锅炉和汽轮机等大型设备以外,许多其他设备的尺寸相对适度,以便能把它适当地布置在机舱的各个位置。因此,使用燃油蒸汽系统的舰船设计初期是较灵活的,因为某些较小的辅助机械可从一个舱移到另一个舱。为了使装置达到足够的可用性和可靠性,在任何舰船设计中都可能有许多锅炉和汽轮机,这也会增加设计初期阶段可能要研究的变数。可以将锅炉集中安装在舰船的某一小区,而汽轮机安装在另一小区(小型舰船通常如此);也可将一套锅炉/汽轮机装在一区,而另一套锅炉/汽轮机装在另一区。这两种方案各有所长。作为所有这些选择的结果,有许多不同的蒸汽系统采用多种技术途径,目的在于强调设计的某一特性或另一特性。

商船并没有随英国海军进入燃气轮机时代。大型商船,特别是需要大功率的高速船均倾向于使用蒸汽系统。20世纪70年代石油危机之前,所生产的蒸汽装置的平均尺寸逐渐增加(尽管当时情况如此,事实上,柴油机发出的最大可用功率正在增大,且其效率高于小功率蒸汽系统,柴油机势必垄断这部分市场)。随着动力装置平均尺寸增大,锅炉和汽轮机的设计采用了先前开发陆用装置所用的措施,因为大型舰船动力装置要求的蒸汽产量正在接近陆用装置。蒸汽压力和温度不断升高。70年代,随着燃油价格的迅速上涨,商船蒸汽系统设计集中于试图生产具有高热效率的装置,但其结果仍低于柴油机。贸易上的不景气,导致大型舰船订货推迟,航速降低。因此,受蒸汽系统支配的市场规模也减小了。

1.3 锅 炉

蒸汽动力装置的输出功率取决于动力装置设计中的许多因素,但主要取决

于蒸汽流量和蒸汽状态参数。这些参数是有内在联系的。较高的蒸汽状态参数,对于给定输出功率(图 1.2)会导致较低的蒸汽流量。然而,当考虑锅炉设计时,在一定条件下根据产出一定蒸汽量的需求来确定锅炉尺寸。锅炉中工质量必须是这样的:即热量输入以及工质流动形成理想的蒸汽状态。蒸汽流量和状态参数之间有进一步的相互影响。当后者上升时,可能会导致降低对流量的要求,但这不会使锅炉尺寸减小,因为更高的压力将需要更大、更牢固的锅炉构件。

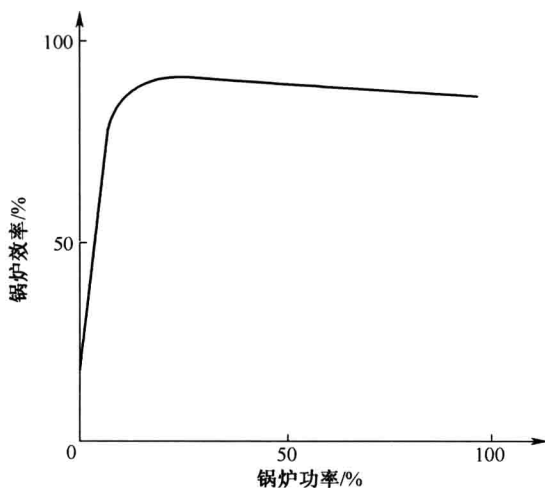


图 1.2 典型的锅炉效率曲线

锅炉主要包括以下三个部分。

1.3.1 炉膛

炉膛中空气和燃油混合并燃烧。炉膛必须被设计成使燃烧过程和给水之间的热交换率达到最大。在炉膛内,热交换主要是辐射换热和对流换热。燃油燃烧时间很短,燃油应以小雾滴的形式喷入炉膛,并利用多种方案雾化燃料,例如,利用蒸汽汽雾帮助雾化燃油形成大小均匀的小滴,并形成良好的汽雾。这些汽雾小滴经过炉膛时就开始燃烧。如果炉膛的设计不适合于所用的燃油或存在某些故障,在燃气离开炉膛并进入蒸汽管排之后,燃烧过程会连续发生,这样就会产生超温问题。在燃烧过程中,积炭和燃油中其他非燃烧物质一起进入蒸汽管排。

锅炉的形状和尺寸取决于几种因素,其中炉筒之间的垂直距离和炉膛的深度及宽度是很重要的因素。在燃烧器安装在正前方的锅炉中,炉膛深度取决于火焰长度。火焰形状可以通过改变燃烧器喷雾角做某种程度的修正,这样就

得到较短、较宽的火焰。因此,较短锅炉的缺陷是锅炉更宽。换句话说,如果锅炉长度是关键因素,则可把燃烧器安装在锅炉的顶部,使火焰垂直地燃烧。在某些设计中,锅炉的高度是关键因素,因为锅炉可能破坏甲板平台,并给布置在机舱四周的舱室带来很多问题。在这样的环境中,锅炉形状需要做成短而粗(不长而较宽)。在这种情况下,火焰不大可能垂直燃烧。

锅炉配有多个燃烧器。大幅度降低通过单一燃烧器的燃油流量,将引起低流量情况下燃烧不良。对锅炉来说,多燃烧器系统允许较大程度地降低燃油流量。因为燃烧器可以顺次地点火。点着火的燃烧器就高效率地工作。然而,由于把每个燃烧器连接起来要在费用和维护上付出代价,因此必须在这两个特点之间作出权衡折中。

炉膛过去习惯用耐火砖做内衬,砖造部分需要维修,当进一步强调生产更紧凑的锅炉时,炉壁的水冷获得了普遍的应用。这样可降低炉壁温度,或换句话说,对于同样壁温情况,允许做成较小的炉膛。用这种方法,耐火砖仍然是必要的,但不暴露在高温下,所以维护工作量大大减少。

与其他类型燃烧碳氢燃料的船用推进装置比较,燃油蒸汽系统因燃烧燃料范围最宽而具有极大的潜力。整个系统的设计必须考虑燃油的品质,因为低品质的燃油在喷入锅炉之前需要较大程度地加热,而且要求燃油在炉膛内的滞留时间更长。除非采用特殊措施,否则污染物和燃烧物会引起燃气通道阻塞和加快腐蚀速率。由于劣质燃油购买价格低,所以舰船燃油蒸汽装置设计的推动力是开发利用燃油的潜力。很少有系统会利用低劣的油料。尽管如此,近年来蒸汽系统在船用动力装置中的使用已经很少了。在军船设计中燃气轮机和柴油机占有市场,而在商船设计中柴油机(低、中速)占有市场。不过,蒸汽系统在航母和核潜艇上却大有用武之地。

1.3.2 蒸汽发生器和过热器管排

燃烧过程中的热量通过辐射、对流及传导的方式进行传递。蒸汽发生器管排环绕炉膛四周,它们之间留有间隙,以便燃气流达到每根管。如果燃油中含有钒,那么过高的温度会导致管排燃气侧腐蚀速率加快。因此单个管子的温度是很重要的。此温度取决于管子的位置(暴露于炉膛辐射热的程度),燃气沿管周围流动并加热管内的水/蒸汽。蒸汽系统的目的是生产高压蒸汽和高温蒸汽。因此,通过降低管内蒸汽温度来控制金属壁温的方法是不可取的。增加通过管内蒸汽/水流量同样是不理想的,因为这样会导致锅炉产生更大的压力损失,从而影响出口蒸汽压力。然而,锅炉内的压力降是不可避免的,实际上也是促使良好的分配工质流量所必需的。给水压力较高当然好,但也会带来使组件更大、更

重、更贵的弊端。设计者的目标就是要在这两者之间做出适当的折中和权衡。

舰船机动期间,推进系统所需要的功率经常是快速变化的,因此,导致锅炉管排内流量也随之改变。情况既然如此,当管排内蒸汽流量减少时,燃气流量/温度也必须减少,局部过热方可避免。在负荷变化时,可能有相当大的热惯性,这可能意味着管子蒸汽侧流量变化比输入管子内的热量变化要快得多,便会产生过热。一个解决办法是锅炉内包含多个炉膛,每个炉膛可这样来控制,即它所供热的管排无论是在稳态还是在过渡状态都不会过热。这种系统的响应时间短,反应快,容易控制。虽然增加了操作的灵活性,但结构更复杂了。第二个解决办法是控制燃气流(采用隔板),这样燃气可在一定条件下直接离开关键管排。稳态工况时,输入到锅炉不同部件上的热量必须控制,而采用多炉膛或隔板系统就能用于这一目的。

当考虑锅炉传热、尺寸和重量时,管排的间隙是很重要的。尽管管排之间细密的间隙可使燃气流通道达到全部管排,但燃油中的杂质,燃烧期间生成的碳会阻塞燃气通道,以致干扰锅炉内热量的分配。采用更大的管路间隙和/或定期清洗燃气通道的办法虽然可行,但会导致锅炉的尺寸更大、更重。

和其他燃烧碳氢燃料的原动机一样,应给炉膛提供高于理想条件下燃烧所需要的空气量。然而空气过量必须适度,对于大功率装置空气超过量为 3%~5%,而对小型船用装置通常为 10%~15%。小型装置需要较大的空气过量是因为这种空气可用来协助调节温度。

1.3.3 废热回收

燃气经过蒸汽发生器和过热器管排之后,仍然含有大量热量,且仍然处于高温状态(尽管温度没有高到可大量地传热给过热蒸汽)。这些排出的烟气可用于加热输入炉膛之前的空气和/或加热进入锅炉(这被称为经济器)前的给水。这些措施使锅炉效率提高大约 10%,而经过预热燃烧的空气会燃烧得更好,且维护工作量较小。但必须注意,不允许废气离开废热回收系统时温度下降得太低,因为这会在烟道中产生酸凝结使烟道和锅炉的某些部件腐蚀速率加快。

如果给水离开除氧器的温度与除氧器相应压力下的饱和温度尽可能接近,则给水的含氧量应较低,以便使经济器和锅炉蒸汽发生器部件的内部腐蚀最小。经济器给水进口温度较高,将有助于防止燃气出口温度太低,从而使酸凝结。

因为给水和废气流动都会引起损失,所以引入了经济器要求较高的给水泵压和鼓风机风压。

舰船机动会引起锅炉供水突然明显地中断。给水重新进入热经济器管排时引起的热冲击会产生较高的热应力。

1.4 循 环

根据水/蒸汽在锅炉管排内的流动,可分为自然循环和强制循环。就前者而言,热量输入建立起循环,低密度的水/蒸汽上升,并为高密度的水所置换。必须注意,在舰船运行过程中,遇到任何情况(包括舰船遭受战斗损坏引起通常的稳态倾斜等),都必须保持这个循环,其管排布置方式是非常重要的。当自然循环流动必须经历低压差时,要维持流动则必须有大面积的流道。这就要付出重量和体积方面的代价。强制循环通常用于减小锅炉尺寸,它允许更大范围地修改锅炉的形状以满足舰船的要求。通常强制循环给水是被加压的,并围绕锅炉建立起循环。所用管排孔径比自然循环管排小得多,这将节省空间和重量。但强制循环必须增装附加泵设备,驱动泵需要消耗附加动力以及对转动部件存在更大的依赖性等,这些不足又反过来抵消了上述优点。当把锅炉循环作为一个独立变量来调节时,调节系统更为复杂。

多年来,已经尝试过许多不同型号的锅炉。直流式锅炉的给水进入和蒸汽离开是通过一根导管,这种锅炉已有应用,但通常不用于推进系统。因为这种锅炉并不是在任何情况下都能达到合适的水化学标准和足够的管流量。还有很多问题。与鼓筒式锅炉相比,直流式锅炉的水/蒸汽容量小,会产生很多问题,特别是舰船机动期间,急需储备蒸汽时更是如此。这些问题妨碍了直流式锅炉在大功率装置中的应用。某些其他型号锅炉一直在商船上使用或打算用在商船上,例如,那些采用了沸腾层的锅炉。现有的各种型号的锅炉都在设计上为克服舰船使用方面的障碍付出了相当大的代价。

1.5 汽 轮 机

多年来,为提高蒸汽系统的效率和减小体积已做出了很多改进。随着蒸汽压力的提高,由于汽轮机叶片尺寸较小,所以在某一点内部效率开始下降。大输出功率的汽轮机叶片仍保持可接受的尺寸以适应更高压力,因此,就可考虑将较高的蒸汽状态参数用于较大的功率输出系统。由于蒸汽会使级效率大幅度减少,较高的原始蒸汽温度会减少末级汽轮机的水分,因此,增加汽轮机进口温度有助于改善汽轮机效率。蒸汽会引起腐蚀,因此对进口蒸汽有一个最低温度值,低于此值时,效率降低,磨损严重增加。

蒸汽膨胀到低于大气压,此过程可在一缸或多缸内完成。输出功率在

15MW 左右的装置,从空气、重量、费用和维护理由等方面考虑采用单缸较为有利。超过这个功率值,当考虑系统效率时(这主要是由于为满足不同级的叶片速度要求而引起的困难),提供引人注目的单级方案比多级少。末级压力越低,从蒸汽中吸取的能量就越大。然而,末级压力越低,末级叶片就越大,汽轮机/冷凝器需要的总重和体积就越大。由于在一定环境条件下更难达到很低压力,还有更多的维修问题,因此舰船动力装置通常在比商船动力略高的压力下工作,系统效率低一些是可接受的。

汽轮机叶片分成冲动式和反动式两大类。其详细定义可在许多教科书中找到。实际上,没有叶片是纯冲动式或纯反动式的,因为从叶根到叶梢(通常叶梢附近反动度增加)为自然过渡,承担更多的负荷,状态参数更均匀,对末级来讲是可能的。为方便起见,经常称叶片为冲动式叶片或反动式叶片。通常汽轮机的前几级高压级主要是冲动式叶片,而较后低压级是反动式叶片。

汽轮机的扭矩-转速特性与采用自由涡轮的舰船燃气轮机的特性相类似。减小航速时扭矩增加,超过全功率扭矩而航速为 0 时,会出现大约 2 倍于全功率扭矩(图 1.3)。要是安装了倒车汽轮机,通过给倒车汽轮机提供蒸汽,可有效地将扭矩用于减慢旋转涡轮(在最大倒车速度时,扭矩大约为 150%)。在舰船航行期间这是会用到的。然而,舰船航行期间,蒸汽被送入冷态汽轮机时必须小心从事,并且要适当限制响应的速度以适应设备状态的变化过程。虽然达到的扭矩值可能很高,但其发生的概率较低。

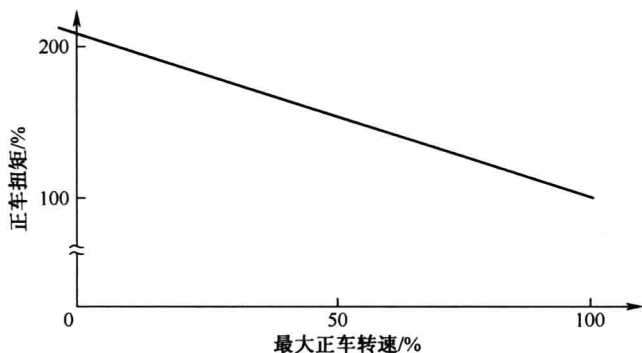


图 1.3 汽轮机扭矩与转速的关系

蒸汽离开汽轮机末级时应该凝结,以便将工质用泵送回锅炉。通过一个放置在冷凝器内的装置除去不可冷凝的部分,系统的最低压力位于冷凝器中,这样就可促使蒸汽在系统内很好地流动。

汽轮机从工质中抽取能量的效率取决于叶片的类型,以及蒸汽的速度和叶