

船用汽轮机与燃气轮机

〔美〕M. 萨阿拉斯 著

茆仁瑶 译

国防工业出版社

U664.1

S01

230099

船用汽轮机与燃气轮机

〔美〕 M. 萨阿拉斯 著

茆仁瑶 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书讲述了船舶推进用汽轮机与燃气轮机的基本工作原理和结构,并对舰、船汽轮机和燃气轮机的性能进行了比较。

本书共分七章,其中部分内容选自美国海军学院出版的“舰用汽轮机”、“舰用辅助机械”与“舰用汽轮机推进动力装置的描述性分析”。

本书可供舰、船汽轮机和燃气轮机运行人员、专业工作者以及大专院校有关专业师生的学习参考。

0248/01

Steam and Gas Turbines for Marine Propulsion

MAIDO SAARLAS

E. & F. N. SPON LTD 1978

*

船用汽轮机与燃气轮机

〔美〕M. 萨阿拉斯 著

茆仁瑶 译

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张9 1/2 216千字

1985年5月第一版 1985年5月第一次印刷 印数: 0,001—1,800册

统一书号: 15034·2714 定价: 1.50元

作 者 序

这本“船用汽轮机与燃气轮机”一书，一部分章节，是选自美国海军学院1946年开始出版的丛书：“舰用汽轮机”、“舰用辅助机械”与“舰用汽轮机推进动力装置的描述性分析”，并作了修订；另一部分章节，是新编写的，着重介绍了船舶动力装置用的燃气轮机，并阐述了民船和军船用汽轮机和燃气轮机的共同点，同时也进行了比较。

本书的重点，是力图使读者理解作船舶推进装置的涡轮机的基本原理。辅机与整个动力装置的分析，也是侧重于比较详细而实际地分析与涡轮机有关的问题。

本书的写作对象，主要是高级船员，见习工程师，以及那些需要了解有关涡轮机知识的人们，他们想知道涡轮机怎样运转？以及为什么能这样运转？他们比较关心的是涡轮机的运转过程，而不是它的设计。

美国海运管理处的 M. J. 拉罗斯船长和海军船舶工程中心的 E. P. 威洛特先生，对本书真诚地提出了建设性的批评和许多有益的建议，作者深为感谢。

M. 萨阿拉斯

1977年10月于马里兰州安纳波利斯

目 录

第一章 绪言	1
1.1 总论	1
1.2 船舶汽轮机与燃气轮机推进动力装置	2
第二章 汽轮机与燃气轮机的工作循环和应用	4
2.1 引言	4
2.2 主蒸汽循环	4
2.3 辅助蒸汽系统	5
2.4 辅助排汽系统	6
2.5 燃气轮机动力装置	8
第三章 流体运动与热力学的基本知识	11
3.1 概述	11
3.2 质量守恒、连续性	11
3.3 能量守恒、伯努里方程	12
3.4 动量守恒—动量方程	13
3.5 热力学定律	15
3.6 总能量方程	16
3.7 流体的状态参数	16
3.8 热和功的计算	19
3.9 卡诺循环	20
3.10 郎肯蒸汽循环	21
3.11 燃气轮机(或布雷顿)循环	26
第四章 涡轮机械基础	28
4.1 总论	28
4.2 涡轮机械原理	29
4.3 涡轮机喷嘴	31
4.4 冲动式涡轮机	35
4.5 速度级(柯蒂斯级)	39
4.6 压力多级	40
4.7 冲动式涡轮机的损失	41
4.8 反动级	44
4.9 径向效应	49
4.10 反动级的损失	51
4.11 冲动级与反动级的比较	53
第五章 汽轮机	55
5.1 多级汽轮机	55
5.2 汽轮机的性能	61
5.3 汽轮机的调节	65

5.4 汽轮机的主要部件及其机械附件	69
5.5 润滑	76
5.6 辅助汽轮机	82
第六章 燃气轮机	90
6.1 引言	90
6.2 压气机, 燃烧室	90
6.3 燃气轮机的性能	106
6.4 燃气轮机的部件、结构与机械特点	114
6.5 船用燃气轮机的环境保护	126
第七章 汽轮机与燃气轮机的比较	128
7.1 总论	128
7.2 结构与机械特点的比较	128
7.3 运行方面的比较	130
7.4 齿轮传动	133
7.5 燃气轮机的应用	139
参考书目	146

第一章 绪 言

1.1 总 论

多年来,汽轮机和柴油机,曾是主要的船用原动机。然而,燃气轮机,自从四十年代初问世至今,除在航空方面的应用日益成熟并扩大外,在船舶方面的应用,也在不断地发展着。可以预料,这三种原动机,今后将作为船舶推进动力装置而共存一个时期。

本书的目的,就是讨论并比较海洋环境下做功的涡轮机械——汽轮机与燃气轮机。柴油机,是一种作往复运动的机器,本书不讨论;当然,它是很值得讨论的课题,另有专著作充分地论述。本书也不涉及核动力装置。至于锅炉,对整个动力装置来讲,它是一个为汽轮机的运转提供热能的重要装置;不过,它也超出了本书所讨论的范围。

目前,就汽轮机和燃气轮机的某个方面,作专门论述的著作很多,有些文献,已迅速地涉及燃气轮机工艺技术的发展领域。每艘新船,每个新的动力装置,以及它们所附设的不同类型的锅炉、阀、管子和泵,都有大量的使用和维护手册。然而,关于汽轮机和燃气轮机的简明的基础知识,著作却很少;而这方面的知识,对于非设计与研究人员,如高级船员、海员、轮机人员等,则是非常需要的。因此,本书的主导思想为以下三点:

1. 根据热动力学和流体力学的原理,介绍一些基础知识和技术资料,有助于读者理解汽轮机和燃气轮机的运转过程。
2. 着重研究整个动力装置的一个组成部分——涡轮机的运转过程。
3. 使读者了解汽轮机和燃气轮机的性能潜力与差别。

本书的叙述重点,是汽轮机和燃气轮机的原理、实际应用和船用性能,而不是它们的结构、金属附件以及设计改型。主要介绍涡轮机——一个将热能转化成动能以及机械轴能的装置。关于动力装置的其他部分,侧重介绍为涡轮机服务的那些设备,以及推进船舶的动力传递所必须的设备。

这样的叙述范围,不是属于选择,而是根据它们的必要性。其他的船上设备、辅助装置和金属器具,并非不重要;但是,它们或是为涡轮机服务,或是有其他功用,或者它们已相当专业化了,如阀、泵和管系等,在一些书上或在一些制造厂的样本中,都有详细的说明。另外,如在同一本书中,大量地陈述一些原理和技术的发展,不仅会使书的篇幅过大,而且书中的某些部分,不久也就过时了。

本书将简要地叙述热动力学和流体力学的一些必要的原理和结论,但是不作推导或详述;目的只是为了理解技术资料,便于作简单的运算。同时,本书也将给出一些参考文献,以便于读者对所论述的结论作进一步的研究和验证。凡是在方便而又适用的地方,也将罗列一些图解的典型例子,并在数量方面,提供一些感性认识。在作热动力学和流体力学的阐述之前,先简要地介绍一下船舶动力装置的基本形式。这样,不仅有助于进一步说明涡轮机在实际应用中的作用,也有助于点明汽轮机与燃气轮机推进动力装置的一般特征、相似性与差别。

1.2 船舶汽轮机与燃气轮机推进动力装置

一般认为，一个推进装置，是由机械装置和包括控制装置在内的设备构成，它与推进轴的联接，有机械的，也有电气的，或液压的。一个推进动力装置，则包括推进装置、锅炉、推进辅助装置、管系和电气设备等，最后是驱动一个螺旋桨。有些推进辅助装置（如冷凝器、泵等）和专用辅助装置（如冷藏、蒸发和空调等设备），它们既为船上的动力装置服务，也为整个船服务。

一般，蒸汽轮机，是单一转子被密闭在一个机壳内，所以被认为是推进装置的一部分。在多转子的情况下，不论是共用的，还是功能不同型式的（如巡航、倒车或高压型等），只有整个组合体才被称为一个汽轮机装置。

很显然，上述的一般定义，主要适用于汽轮机动力装置，而不适用于燃气轮机。燃气轮机是由许多辅助装置集合而成的，而这些辅助装置，即相当于置于典型汽轮机外部的辅助装置，它们与汽轮机的组合，就是汽轮机动力装置。所以，一方面，燃气轮机机组，可以看作是一个推进动力装置，并且多半不包括齿轮传动装置、燃油的储存与供给系统；另一方面，我们必须注意，燃气轮机对进排气系统的新要求，这是汽轮机动力装置上没有的系统。

汽轮机和燃气轮机的基本工作原理相同，即热加入工作流体后，该工作流体流经涡轮机的喷嘴后膨胀，热能转化成动能；然后，该工作流体通过各个涡轮机级，使动能转化成（旋转轴）机械能。最终的结果，一般用功（输出）和燃料的消耗（输入）来表示，它们也可以通过对工作循环的研究来求出。所谓“工作循环”，就是工作流体被加热，对外做功，直至被排出或为新的使命而返回等一系列的状况和过程。工作循环，正是导致

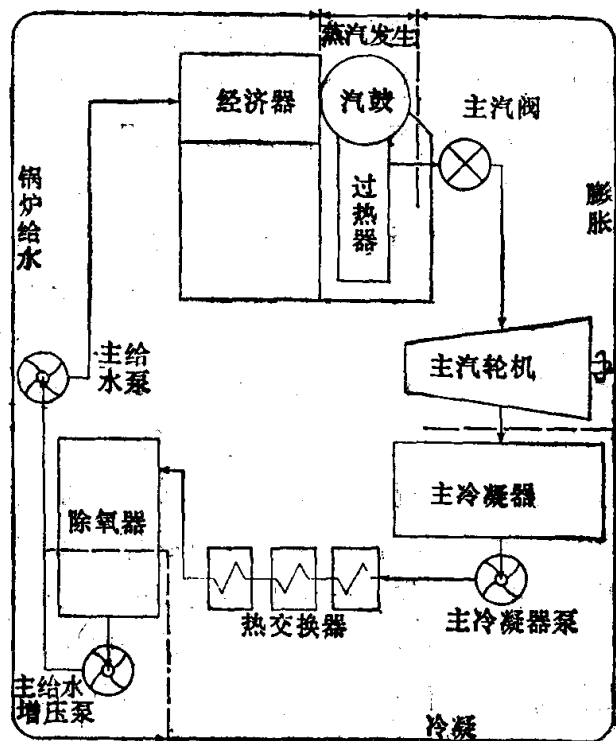


图1.1 主蒸汽循环

汽轮机与燃气轮机装置的运转过程和结构不同的关键因素。在外行看来，燃气轮机和汽轮机的“内部结构”，似乎没有很大的差别；但是，由于工作循环和工作流体的不同，它们之间还是存在着一些实质性的差别。

图 1.1 是一个汽轮机装置的主蒸汽循环，它包含四个基本部分：蒸汽发生、膨胀、冷凝和锅炉给水系统。图 1.1 仅是总的布置图，在第二章中，我们要作较详细地讨论。工作流体为水或蒸汽，视工作循环的部位而定。它是一个闭式循环，工作流体作再循环运动。这种汽轮机装置，在现代蒸汽推进的船舶上，很常见，而且很少有大的变更。

图 1.2 是一个典型的燃气轮机循环，图中，除示出了压气机-燃烧器-涡轮机的组合体外，也分别示出了进、排气系统。在原先的航空与陆用燃气轮机动力装置上，进排气系统，往往是飞机框架和喷气推进系统的一部分，或者是对工作循环的分析无价值，因而常常被忽略掉。然而，当燃气轮机装船使用时，有一个称为“船用化”的改装过程

(后面章节将讨论)；在这种情况下，进排气系统，对工作循环的性能，有着极其严重的影响。它的工作流体，是空气与空气-燃烧产物的混合物，在工作循环结束后被排出舷外，所以，燃气轮机的循环是一种开式循环。

图 1.3 是汽轮机与燃气轮机动力装置的比较图解。如同下章的图 2.3 作简要的研究与比较，就不难看出，燃气轮机动力装置的特点，是重量轻、结构复杂。然而，燃气轮机动力装置装船使用时，还得配备辅助燃气轮机或柴油机机组，而在汽轮机动力装置中，这类辅助装置是随着汽轮机一起提供的。这样，燃气轮机重量轻的优点被抵消一些。尽管如此，它的优点仍然是显著的。

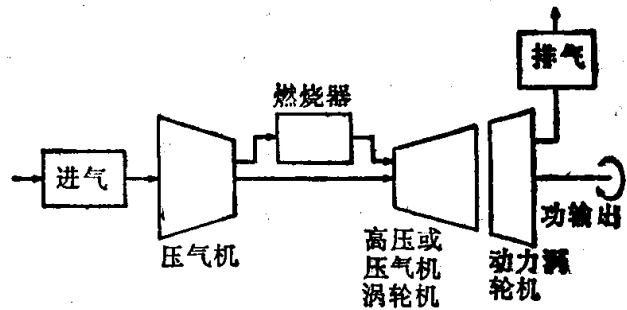


图1.2 简单的燃气轮机循环

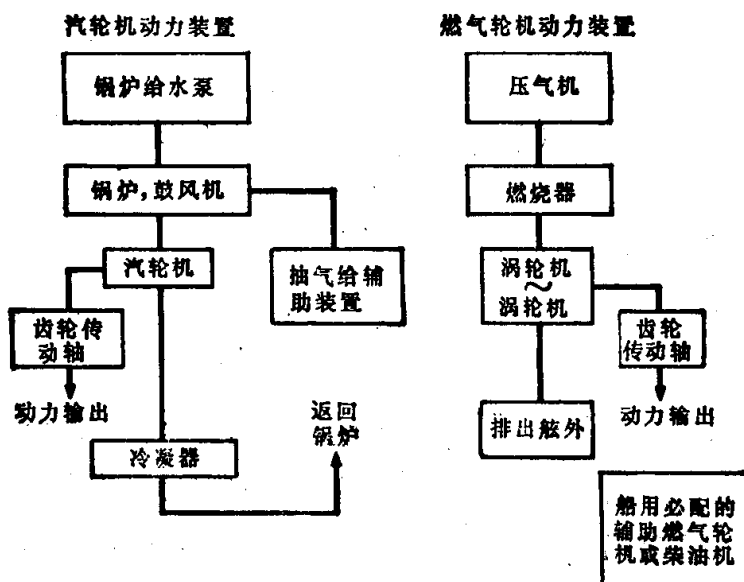


图1.3 汽轮机与燃气轮机动力装置的比较

第二章 汽轮机与燃气轮机的工作循环和应用

2.1 引言

本章是研究整个推进动力装置的。这样，在以下各章对涡轮机作详细地研究之前，使我们对动力装置有一个完整的概念，从而有助于更好地理解热力循环，理解热力循环修改的必要性与有效性。本章既研究汽轮机，也研究燃气轮机。为使总的叙述完整些，将列举一些典型的动力装置的应用实例，如一艘驱逐舰的汽轮机动力装置的布置图，就是典型的现代船舶的汽轮机动力装置。燃气轮机动力装置，机动性好，发展迅速，在实际应用中，已呈现出多种型式，并有不少创新。所以，对燃气轮机，我们要寻找一个目前是可行的应用方案。

2.2 主蒸汽循环

主蒸汽循环，包括四个部分或系统：膨胀系统、冷凝系统、锅炉给水系统和蒸汽发生系统。冷凝与锅炉给水系统，常归为一类，称为主给水系统。

图 1.1 是主蒸汽循环的示意图，并标出了上述四个系统。在详细地讨论这些系统之前，先扼要地介绍如下：

1. 膨胀系统

- a. 主蒸汽管系、阀和附件；
- b. 主蒸汽阀；
- c. 主推进汽轮机。

2. 主给水系统

a. 冷凝系统

(1) 主冷凝器；(2) 主冷凝泵；(3) 各类热交换器；(4) 除气给水箱的加热、除气部分。

b. 锅炉给水系统

(1) 除氧器的储存部分；(2) 主给水增压泵；(3) 主给水泵和应急给水泵；(4) 经济器。

3. 蒸汽发生系统

- a. 锅炉；
- b. 过热器；
- c. 减热器。

在主蒸汽循环中，膨胀系统，从主蒸汽锅炉的出口开始，到汽轮机与冷凝器之间的中间连接某部位为止。它的构成是：主蒸汽管系（亦称为主蒸汽系统）及有关的阀，主蒸汽阀和汽轮机。在主蒸汽循环的这一部分，蒸汽进入汽轮机，蒸汽的流量受控制，蒸汽中的热能转化成机械能。

在主蒸汽循环中，主给水系统，从冷凝器的蒸汽进口开始，包括冷凝器、冷凝泵，

各类热交换器（后面将说明）、除氧器、给水增压泵、主给水泵和应急给水泵。应急水箱与备用给水箱以及它们与上述各装置的中间连接，后面再讨论。主给水系统，实为二个主要系统：冷凝系统和锅炉给水系统，见图1.1。

主给水系统中的冷凝系统，从冷凝器的蒸汽进口开始，到除氧器对工作流体完成加热、除气的某部位为止。在这一系统中，汽轮机排出的蒸汽，先向循环的海水释放热量后变成液态冷凝水；再通过冷凝泵，使压力升高；最后，热量流入上述的各类热交换器与除氧器内的冷凝水中；并从冷凝水中去除未溶解的空气。最后的除气处理，就使冷凝水变为锅炉给水。锅炉给水系统的构成是：除氧器的储存部分、给水增压泵、主给水泵、应急给水泵和经济器。在这一系统中，锅炉给水压力应上升到足以将水射入锅炉汽鼓；而锅炉给水，在进入锅炉之前，则先在经济器中吸收来自锅炉烟气的热能。

在主蒸汽循环中，蒸汽发生系统，包括锅炉、过热器和减热器，一般，它们三者是结合为一体的。正是在这一系统中，工作流体吸取了大量的热能。

2.3 辅助蒸汽系统

前面所述的所有推进用辅助装置，和许多其他用途的辅助装置，都需要有驱动的动力源或原动机，或者需要一个能使它们起作用的热源。原动机，不是小型汽轮机，就是电动机。为了分配蒸汽驱动小型汽轮机，以及把能量供给热交换器，就需要有一个辅助蒸汽系统。

在现代的动力装置中，一般供给主要的辅助蒸汽回路的蒸汽，是压力为600磅/英寸²（表压）的饱和蒸汽。对于低压力的系统，蒸汽由该主回路供给，但要通过一些减压阀。这些系统的饱和蒸汽，都是锅炉过热器输出的一部分蒸汽，它们通过特定的路线，并返回流过锅炉汽鼓内的减热器盘管。这样的路线，就使蒸汽不间断地流过热器的管路，即使汽轮机停转，也无妨碍。

最初，在压力为1,200磅/英寸²（表压）的主蒸汽系统中，主要的辅助蒸汽系统的压力，仍是600磅/英寸²（表压）。在这样的系统中，压力为锅炉蒸汽压力的过热蒸汽，如前所述，应先减热，然后再导入减压装置，使它的压力减为600磅/英寸²（表压）。

最近，在比较多的压力为1,200磅/英寸²（表压）的动力装置中，压力为锅炉蒸汽压力的过热蒸汽，用于驱动辅助汽轮机。它是用一根与锅炉出口靠近的主蒸汽回路相连的支管引出来的。

在所有的系统中，各类装置都需要低压蒸汽，有些装置的名称，下面分类列出。其中头二种类型的装置，所需要的蒸汽来自辅助蒸汽回路，但是，必须通过减压阀。而在第三种类型的装置中，它的蒸汽是一部分锅炉汽鼓减热盘管中的过热蒸汽，先减热，然后再把它的压力减低到所需要的值。

向一些主要的辅助装置供给蒸汽的系统，称为辅助蒸汽系统。一些低压的系统，常用它们的压力大小来分类，如“150磅的辅助蒸汽系统”。有三种这样的系统，它们名称与应用情况如下：

1. 150磅/英寸²（表压）的辅助蒸汽系统

- a. 日用燃油加热器；
- b. 抽气器；

- c. 润滑油净油器加热器;
- d. 100磅/英寸² (表压) 的辅助蒸汽系统的减压

阀。

2. 100磅/英寸² (表压) 的辅助蒸汽系统

- a. 盥洗间;
- b. 50磅/英寸² (表压) 的辅助蒸汽系统的减压阀。

3. 50磅/英寸² (表压) 的辅助蒸汽系统

- a. 厨房蒸煮;
- b. 热水系统;
- c. 船上供暖系统。

总而言之, 辅助蒸汽系统, 不仅供给蒸汽, 驱动汽轮机的推进辅助装置, 而且也向低压辅助系统供给蒸汽, 但必须通过减压阀, 图 2.1 就是一幅辅助蒸汽系统的概略图。

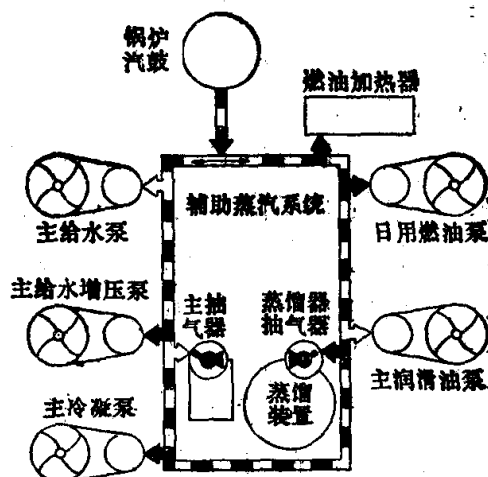


图 2.1 辅助蒸汽系统

2.4 辅助排汽系统

船舶推进汽轮机排出的蒸汽, 一般进入主冷凝器。同样, 汽轮机发电机组, 这样一个尺寸相当大的装置, 排汽也进入它自己的冷凝器 (当然, 也可以进入主冷凝器)。然而, 各个驱动辅助泵的小型汽轮机, 则不可能都有各自的冷凝器。因此, 一个船舶推进汽轮机动力装置的所有辅助汽轮机的排汽, 就得有一个管系的回路来聚集。这种回路, 称为辅助排汽系统。该系统的压力, 借助于一个自动阀装置, 保持为 15 磅/英寸² (表压)。

在辅助排汽系统中, 压力为 15 磅/英寸² (表压) 的蒸汽, 仍含大量的热能; 这些热能的利用, 有二个重要的途径。第一个途径, 是用它加热除气给水箱中的冷凝水, 清除未溶解的空气。大部分的辅助排汽, 都用于这一方面; 它们与被加热和除气的锅炉给水相混合, 再返回锅炉。第二个途径, 是小部分的辅助排汽, 用于海水制淡的蒸馏装置, 提供该装置运转所需要的部分热能。这部分排汽, 通常是先被冷凝, 然后, 流经低压排水系统, 返回锅炉。

当输送给辅助排汽系统的蒸汽, 超出了上述二种利用的需要量时, 该排汽系统的压力就上升, 高于 15 磅/英寸²。压力一上升, 自动卸荷阀就开启, 辅助排汽系统的蒸汽进入主冷凝器; 一旦排汽压力低于 15 磅/英寸² (表压), 该阀就关闭。这些流动的蒸汽, 在主冷凝器中, 将热能释放给循环海水, 并被冷凝。应注意, 用于除气给水箱和蒸馏装置的辅助排出蒸汽中的热能, 已发挥了它们的效用。然而, 排入冷凝器的蒸汽, 则白白地将热能释放给海水。因此, 必须控制向辅助排汽系统排出的蒸汽量, 使之与除气给水箱和蒸馏装置所需蒸汽量的总和相平衡。具体做法, 就是在动力装置的各种负荷状况下, 恰当地选定蒸汽驱动泵的数量与电力驱动泵的数量。

在某些负荷状况下, 辅助排汽系统的蒸汽压力, 可能不足以保持要求的压力, 电力驱动泵又没有采用。在这种情况下, 应采取升压措施, 即通过一减压阀, 直接将辅助蒸汽系统的蒸汽引入该排汽系统, 使压力升高。

图 2.2 是辅助排汽系统的概略图。将以上所述的辅助蒸汽系统、辅助排汽系统, 与一个推进动力装置的示意图相结合, 即可绘出图 2.3 所示的示意图。图 2.4 则是一个典

型的船舶蒸汽动力装置的机械布置图。

总起来说，主蒸汽推进循环，是由许多辅助装置协同工作而建立起来的。当然，在后面的章节中，对于这些辅助装置的讨论，主要是局限于那些与整个动力装置的能量转换和传递有关的方面。这一点，在第一章中，已作了说明。

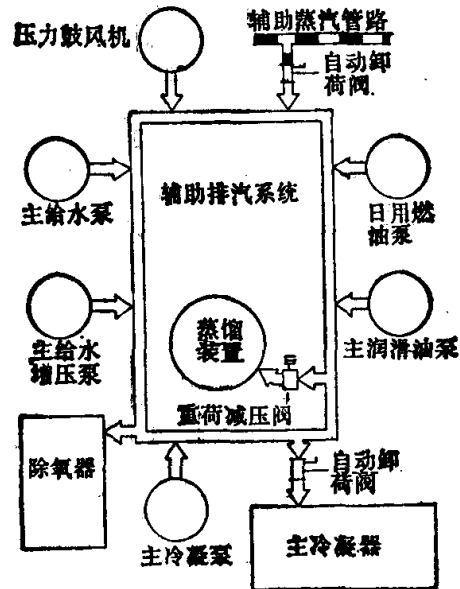


图2.2 辅助排汽系统

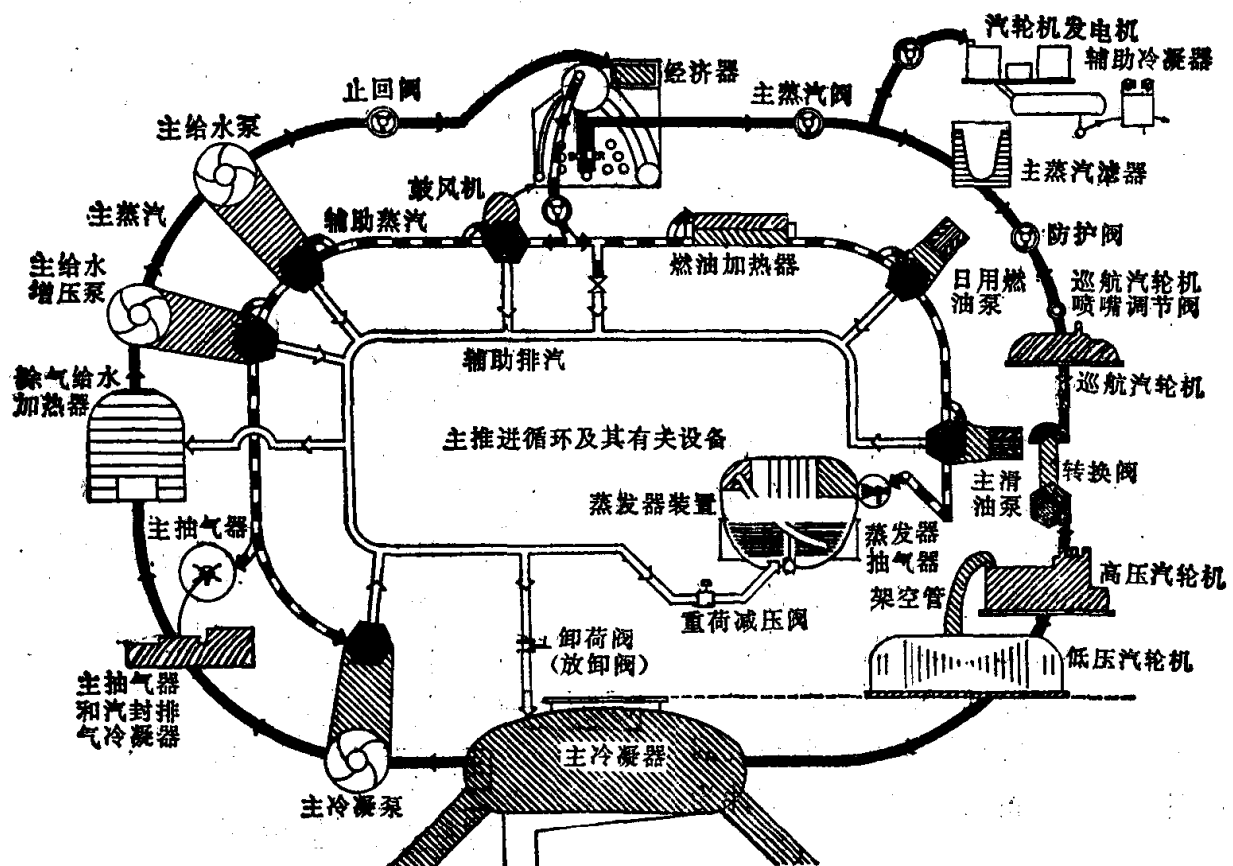


图2.3 主蒸汽循环及其有关设备

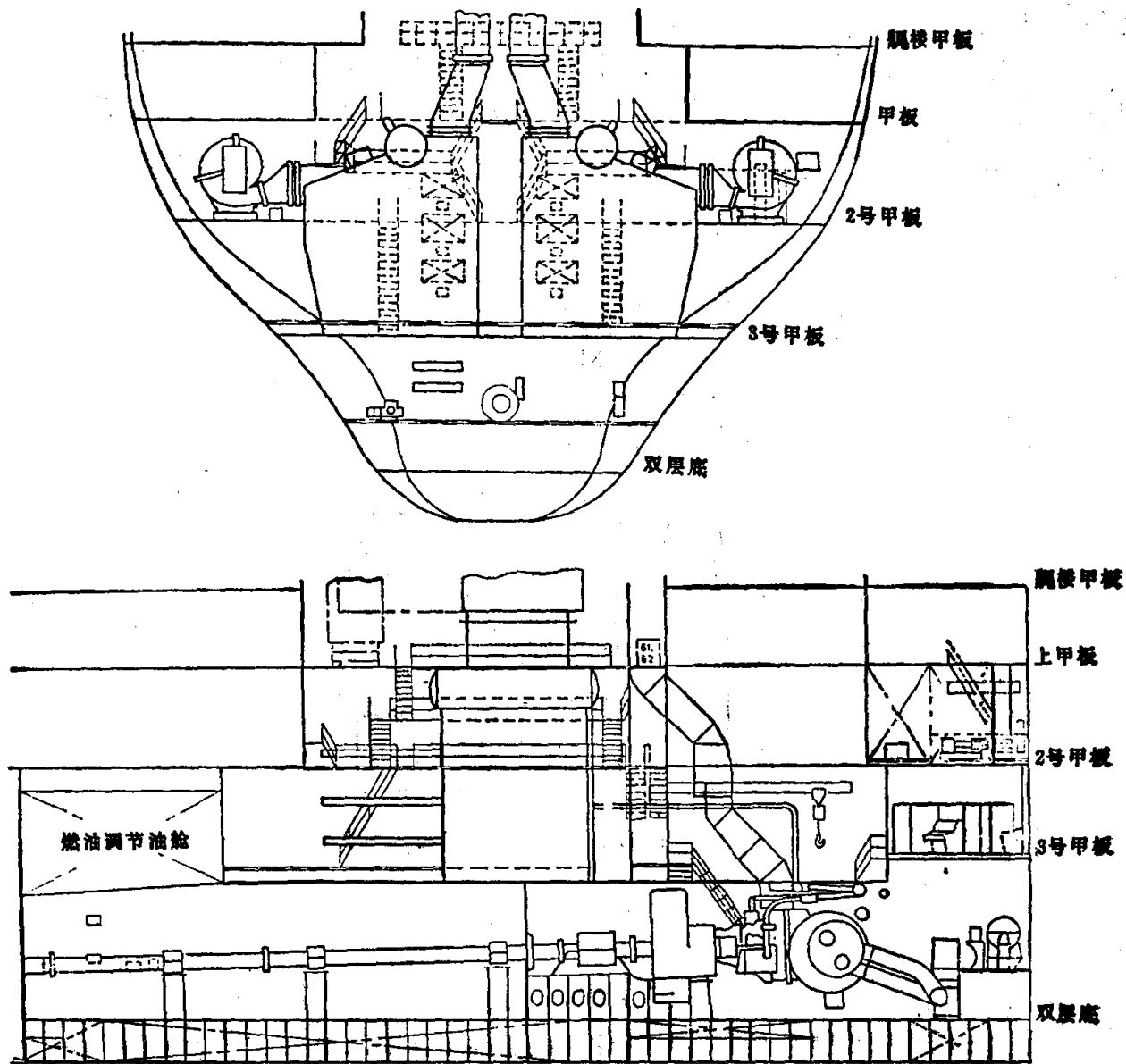


图2.4 典型的船舶蒸汽动力装置的机械布置图

2.5 燃气轮机动力装置

汽轮机动力装置，是体积大，重量重；而燃气轮机装置，本身是简单的。结构简单与重量轻，是燃气轮机动力装置的二个主要优点。由于燃气轮机仅是一个动力装置的组成部分，所以，如果只研究作能量转换的涡轮机部分，别的不过问，则不但使人费解，而且事实上也是不可能的。另外，燃气轮机中别的零部件的设计，又是与涡轮机密切配合的，因此，我们必须研究整个燃气轮机装置（见第六章）。

图 2.5 是燃气轮机及其辅助装置的方框图。该燃气轮机装置的基本部件为压气机、燃烧器和涡轮机。压气机一开动，它的进气部位就吸入空气，然后将

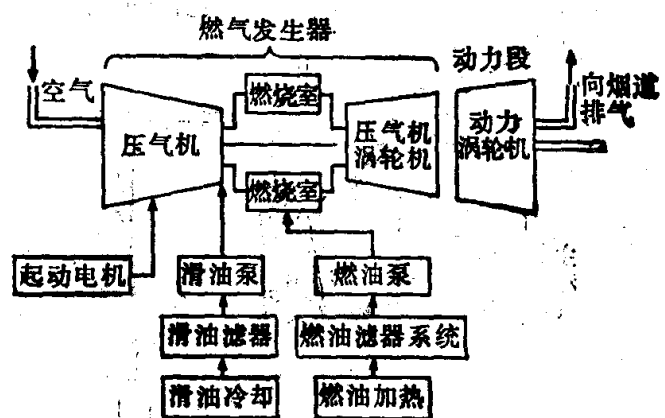


图2.5 燃气轮机及其辅助装置

空气压缩，再压入燃烧室。在燃烧室内，空气和燃料混合、燃烧，空气和燃烧产物的混合气体的温度迅速升高，形成高能混合气体。这高能混合气体进入压气机涡轮机，消耗部分能量，用于该驱动压气机的涡轮机。这种压气机-燃烧器-高压涡轮机的组合，也称为燃气发生器。它们的主要辅助装置，是润滑油系统、燃料加热与泵吸系统，以及起动电动机。起动电动机，可由辅助柴油机发电机组或蓄电池来驱动。

某些早期的燃气轮机装置，它们的功率输出轴，直接与高压涡轮机相连接，整个燃气轮机装置，一同高速旋转。这种燃气轮机是成功的，至今还在使用；但是，在齿轮传动与动力传递的支承方面，存在着负荷变化严格与机动性有限的问题。所以，许多新的燃气轮机，都单独加上个涡轮机，即动力涡轮机：该涡轮机，自由地以其自身的各种负荷速度运转，这样，就可以允许燃气发生器以最佳速度运转，从而满足燃气轮机装置功率调节的要求。

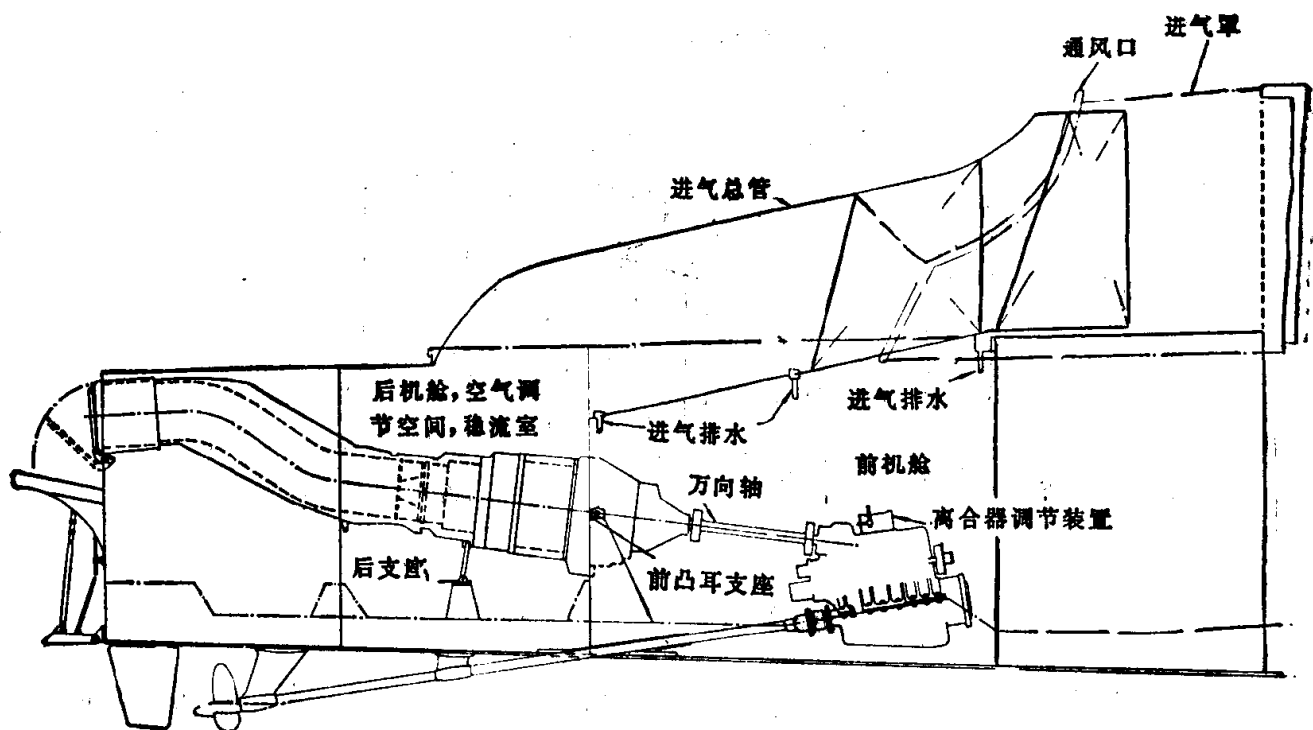


图2.6 “布里斯托尔”巡逻艇的含海神燃气轮机的机舱布置

(英国罗尔·罗伊斯(1971年)公司供稿)

图2.6是一台布里斯托尔-海神燃气轮机，是一个单级燃气轮机装置，它的动力输出轴在压气机的末端，并与包含离合器、减速齿轮的V型传动装置相连接。从图2.6中，还可以看出，进气与排气通道的布置；其中，机舱也兼作进气增压室，从而可对燃气轮的外部零部件进行冷却，对进气空气，则进行了预热。图2.7为一台机匣型式的罗尔-罗伊斯公司的奥林普斯燃气轮机装置，其中包括了动力涡轮机部分。不过，不同的燃气轮机制造公司，所用的燃气轮机方面的术语也不同。例如，有时公司把动力涡轮机部分被称为“发动机”；而燃气发生器，则被看做一个类似于锅炉的装置，向发动机供给适量的工作流体。图2.8为一台安设在机匣内的美国通用电气公司的LM2500型的燃气轮机。图中示出了可使船舶振动的影响减至最小的减震支座，以及防止外界杂物侵入的进气滤网。

以上所述的三种燃气轮机装置，是船用燃气轮机及其动力输出连接方面的一些基本

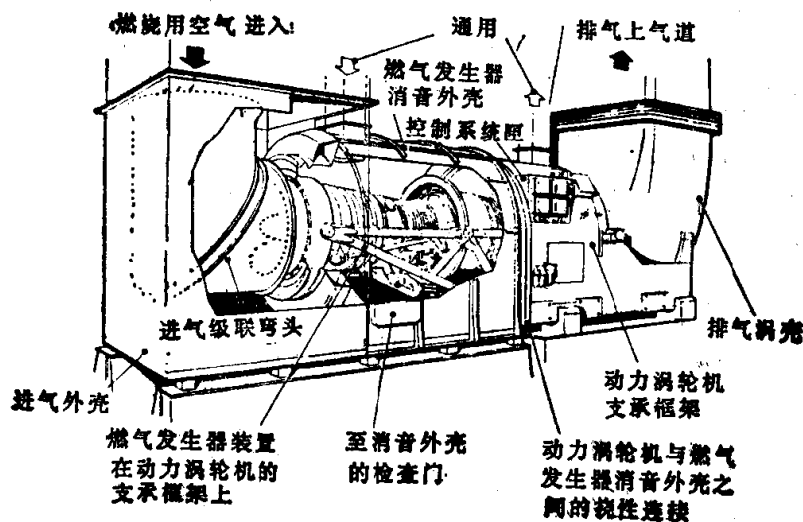


图2.7 奥林普斯燃气轮机、悬臂底座，以及它的外罩
〔英国罗尔·罗伊斯公司（1971年）供稿〕

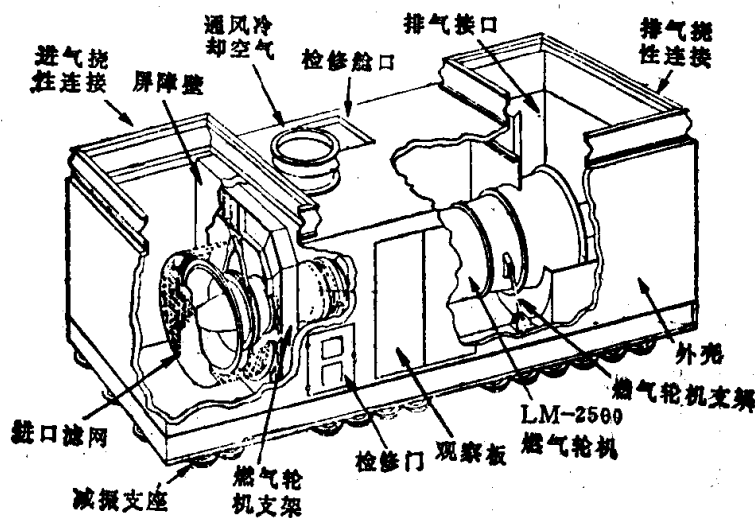


图2.8 LM2500燃气轮机
（美国通用电气公司供稿）

型式。此外，还有不少装船使用的型式，既有单独使用的，也有与汽轮机或柴油机联合使用的型式；在第七章中，将有比较详细的讨论。

综上所述，本章讨论了燃气轮机与汽轮机动力装置的基本功能和布置图。对于这二种动力装置，我们在后面的章节中要作详细地比较；但是，必须强调指出，它们的可比性，就在于燃气轮机体积小、重量轻，运行中只需要极少数量的辅助装置（参见图2.9）。

然而，由于燃气轮机动力装置，不能像汽轮机推进动力装置那样，向船舶运行所必须的各类辅助装置提供动力，所以，燃气轮机推进的船舶，就必须安装一些小型燃气轮机或辅助柴油机发电机组，发出电力满足船上的电气设备和生活设施的需要。

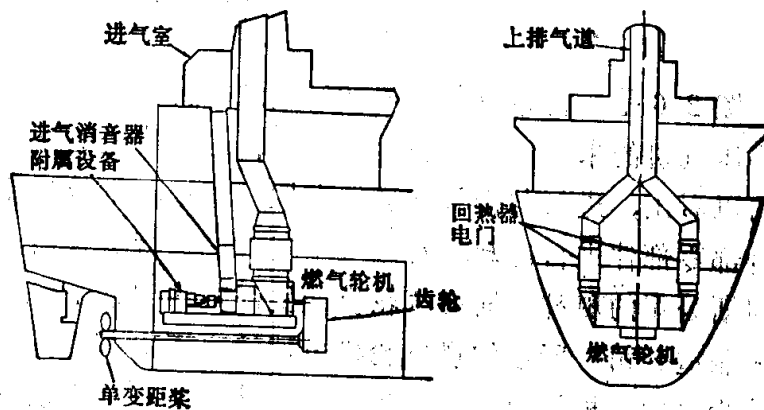


图2.9 一般货船上的典型的重型燃气轮机装置

（美国通用电气公司供稿）

第三章 流体运动与热力学的基本知识

3.1 概 述

本章讨论流体运动与热力学的一些基本的关系式。凡是已经学过这些学科的基本课程的人，回忆这些基本关系式是不困难的。所以，本章对那些原理，将不作全面地叙述。读者如果需要进一步了解这些原理，请参阅有关的教科书。

本章在讨论流体运动的一些原理的同时，也讨论适用于流体运动的三个基本物理定律，即（1）质量守恒定律，（2）能量守恒定律和（3）动量守恒定律。

3.2 质量守恒、连续性

一个在槽内流动的流体连续性，就是说，在相同的时间增量内，流过槽内（敞开或封闭）每个点的流体量相同。这也就是说，在对槽内任何二点之间的状况作同时观察时，这二点之间的任何地方，都没有流量的聚集或减耗。

图 3.1 为一束供研究的运动流体。该束流体流过观察点（截面 1）之后，进入一个外部形式是未知的系统；然后，通过截面 2 上的观察点流出。在截面 1 与 2 处，可量出槽（或管子）的横截面积（ A ）。同样，这两个截面处的流体比重（单位容积的重量- w ）、平均流速（ V ），也是可以测定的，单位时间内流过每个横截面的体积量 Q ，就是平均流速与横截面面积的乘积，

$$A(\text{英尺}^2) \times V(\text{英尺/秒}) = Q(\text{英尺}^3/\text{秒})$$

$$A(\text{米}^2) \times V(\text{米/秒}) = Q(\text{米}^3/\text{秒})$$

流体的质量流量 $\dot{m}$ ，就是体积流量与密度 ρ （磅/英尺³）（公斤/米³）或比容 v （英尺³/磅）（米³/公斤）的倒数之乘积：

$$\dot{m} = \rho AV = \frac{AV}{v} \left(\frac{\text{磅}}{\text{英尺}^3} \times \text{英尺}^2 \times \frac{\text{英尺}}{\text{秒}} \right) = \left(\frac{\text{磅}}{\text{秒}} \right) \left(\frac{\text{公斤}}{\text{秒}} \right)$$

应当记住，流体在槽内任何截面的流速、密度或比容，都是用平均值来表示。在这种情况下所有截面的质量流量相等，就符合了质量守恒定律，即：

$$\dot{m} = \frac{A_1 V_1}{v_1} = \frac{A_2 V_2}{v_2} \quad (1)$$

这关系式，就是流体连续性的数学表达式。当流体是不可压缩时，流动过程中，密度不

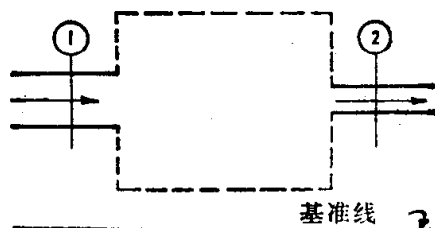


图3.1 参考点