

舰船汽轮机结构和强度

舰船汽轮机 结构和强度

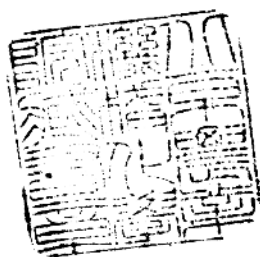
周渭镐 包传福 黄忠信 张卓澄 编

国防工业出版社

2864.113

舰船汽轮机结构和强度

周渭镐 包传福 编
黄忠信 张卓澄



国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍舰船汽轮机（不含辅汽轮机）本体主要部件的设计要求、结构选择、强度计算以及材料和许用应力的选取，结合典型机组实例叙述汽轮机控制及保护系统的原理、特点和主要部件的设计方法。本书还概述了冷凝器（不含辅冷凝器）的结构设计和强度计算。

本书系编者总结了从事研究设计工作的经验，并参考了有关文献资料编写而成。本书可供舰船动力设备设计制造部门、船厂、舰队、海运部门的工程技术人员、使用管理人员以及大专院校有关专业师生参考。

舰船汽轮机结构和强度

席渭钢 包传福 编
黄忠信 张卓澄

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

787×1092¹/₁₆ 印张25 575千字

1985年12月第一版 1985年12月第一次印刷 印数：001—600册

统一书号：15034·2882 定价：5.10元

前 言

第二次世界大战后,世界各国海运事业和海军装备建设迅猛发展,各种类型舰船的数量和吨位急剧增加,质量和性能显著提高。目前,各国在编的许多舰艇和海运船舶的主推进动力装置均采用汽轮机组。预计今后很长一段时间内,大型舰艇、核潜艇、大吨位海运船舶仍将大量使用汽轮机组。

我国有一万八千多公里海岸线。舰船汽轮机在实现四个现代化的事业中无疑有着广阔的发展前景。我们根据从事舰船汽轮机研究设计工作的经验,并参考有关文献资料编写了此书,希望能起到交流经验、促进舰船科技事业发展的作用。

本书着重阐述舰船汽轮机组的结构和强度设计问题。根据机组各组成部分的特点,有的侧重于结构特点的分析和结构的几何尺寸计算,有的侧重于叙述强度计算方法,有的还介绍了材料和许用应力的选取。在介绍强度计算方法时,我们注意选取简单的,其准确程度在工程计算中可以接受的方法,尽量避免繁复的数学推导。

本书第一章是舰船汽轮机结构概述;第二至第八章叙述汽轮机本体主要部件的设计要求、结构选择、强度计算以及材料和许用应力的选取;第九至第十二章叙述汽轮机控制及保护系统的原理、特点和主要部件的设计方法;第十三至十五章叙述冷凝器的结构和强度。

本书由周渭镐、包传福、黄忠信、张卓澄执笔编写。全书经武汉海军工程学院202教研室审阅,由周渭镐定稿。在编写过程中得到哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所有关专业同事们的大力协助,其中崔贵、徐佳梅、张志统提供了部分素材,骆义根、关家骏、兰如基、吴士国等同志校阅了有关章节,特此表示感谢。由于编者水平有限,书中肯定存在缺点和错误,切望读者批评指正。

目 录

第一章 概论	1	§ 5-5 冲击强度计算	184
§ 1-1 舰船汽轮机组的主要组成部分及其功用	1	§ 5-6 汽缸材料和许用应力	189
§ 1-2 船用汽轮机组典型结构概述	3	第六章 隔板	192
§ 1-3 舰用汽轮机组典型结构概述	11	§ 6-1 隔板结构	192
§ 1-4 倒车汽轮机的设计特点和结构概述	27	§ 6-2 隔板的定位	199
§ 1-5 改善舰船汽轮机低负荷性能的途径及其结构	28	§ 6-3 焊接隔板的几何尺寸计算	203
第二章 喷嘴	37	§ 6-4 隔板强度计算	208
§ 2-1 喷嘴结构	37	§ 6-5 隔板材料和许用应力	214
§ 2-2 装配式喷嘴的几何尺寸计算	42	第七章 支持和推力轴承	215
§ 2-3 钻铰式喷嘴的几何尺寸计算	48	§ 7-1 轴承润滑理论	215
§ 2-4 喷嘴强度计算	51	§ 7-2 支持轴承的结构	224
§ 2-5 喷嘴材料和许用应力	54	§ 7-3 支持轴承的基本参数确定及其计算	231
第三章 叶片	55	§ 7-4 推力轴承的结构	238
§ 3-1 叶片强度计算	56	§ 7-5 推力轴承的基本参数确定及其计算	243
§ 3-2 叶顶连接件的结构和强度计算	67	§ 7-6 轴承材料	250
§ 3-3 叶根的结构和强度计算	74	第八章 固定装置	253
§ 3-4 叶片锁口的结构和强度计算	84	§ 8-1 滑动支承的结构	254
§ 3-5 叶片振动	89	§ 8-2 低压缸与冷凝器间的连接及其支承固定	258
§ 3-6 叶片振动的安全性设计	94	§ 8-3 挠性支承的强度计算	260
§ 3-7 叶片材料和许用应力	102	§ 8-4 挠性支承固有振动频率计算	272
第四章 转子	106	§ 8-5 冲击强度和稳定计算	276
§ 4-1 转子和叶轮结构	106	§ 8-6 材料和许用应力	281
§ 4-2 圆环强度计算	111	第九章 控制系统	283
§ 4-3 叶轮强度计算的基本公式	117	§ 9-1 概述	283
§ 4-4 叶轮的强度计算	126	§ 9-2 转速控制系统的组成	285
§ 4-5 整锻转子强度计算	130	§ 9-3 控制系统的分类及其特点	288
§ 4-6 转子临界转速	138	§ 9-4 控制系统实例	291
§ 4-7 转子动不平衡量的计算	145	§ 9-5 汽封压力调节系统	296
§ 4-8 转子材料和许用应力	147	第十章 配汽机构	299
第五章 汽缸	150	§ 10-1 调节阀	299
§ 5-1 高压汽缸的结构	150	§ 10-2 结构因素对调节阀性能的影响	304
§ 5-2 低压汽缸的结构	156	§ 10-3 调节阀结构尺寸计算	306
§ 5-3 汽缸强度计算	170	§ 10-4 喷嘴阀的传动机构	312
§ 5-4 船体摇摆时连接件的强度计算	181		

第十一章 滑阀-油动机机构	315	§ 13-2 冷凝器分类	343
§ 11-1 滑阀-油动机机构的结构和 工作能力	315	§ 13-3 冷凝器热平衡	344
§ 11-2 油动机的反馈	322	§ 13-4 冷凝器尺寸计算	345
§ 11-3 作用在滑阀和活塞上的有害力和 消除措施	324	第十四章 冷凝器管束的结构设计	349
§ 11-4 通流式滑阀孔口型线	326	§ 14-1 概述	349
§ 11-5 断流式滑阀-油动机机构结构的尺寸 计算	329	§ 14-2 管束结构的基本型式	351
第十二章 保护系统	331	§ 14-3 管束结构型式的演变	352
§ 12-1 保护系统的任务及组成原则	331	§ 14-4 管束设计中的若干具体问题	359
§ 12-2 超速保护	332	第十五章 冷凝器主要零部件的结 构与强度	361
§ 12-3 转子轴向位移保护	335	§ 15-1 冷却水管和管板	361
§ 12-4 冷凝器低真空保护	337	§ 15-2 冷却水管与管板的连接固定	363
§ 12-5 润滑油压力降低保护	338	§ 15-3 管板厚度和冷却水管热应力	364
§ 12-6 盘车联锁保护	339	§ 15-4 冷却水管振动问题	369
§ 12-7 综合开关	339	§ 15-5 冷却水管自激振动计算原理	371
第十三章 冷凝器概论	342	§ 15-6 水室和海水系统防腐措施	374
§ 13-1 冷凝器的作用与构造	342	§ 15-7 蒸汽壳体	377
		§ 15-8 冷凝器的支承和安装	379
		参考文献	381

第一章 概 论

舰船在内河和海上航行承担着一定的使命。对船舶而言,承担着输送旅客和货物的任务;对军舰而言,平时对祖国的海岸线承担巡逻以及对鱼船实行护航任务,战时则来犯敌舰以反击,并实行战略追击,力图全歼敌人,保卫祖国神圣海疆!舰船要执行上述任务,就必须具有能够在水上或水下航行的特点。使舰船能按一定的速度航行的综合设备称为舰船动力装置。除推进舰船航行外,舰船动力装置还供应舰船所需的一切能量(电能、热能、机械能),以保证舰船上各方面的需用以及一切机械化自动化的操作。因之,舰船动力装置有“舰船心脏”之称。

推进舰船航行的动力称为主动力。实践表明,蒸汽轮机作为舰船的主动力是令人满意的,这是因为汽轮机具有较突出的优点:经济性较好、运行平稳、安全可靠、维护保养简单、重量较轻尺寸小、特别是单机功率可以研制得很大。目前,陆用发电站用汽轮机的单机功率已超过1000000千瓦,舰船汽轮机的单机功率亦可达100000马力。因此,不论在陆用发电站设备上或在大型军舰和民用船舶上已广泛应用汽轮机作为原动机。在原子能发电站及核动力舰船上,汽轮机已被证实为极好的原子能发动机。

§ 1-1 舰船汽轮机组的主要组成部分及其功用

舰船汽轮机组系由正车汽轮机、倒车汽轮机、调节控制和保护系统以及冷凝器等组成。

1. 正车汽轮机是推进舰船航行的主发动机。一般有两种型式,即冲动式和反动式汽轮机。由于各有优缺点,故选用何种型式为好,一般均根据各设计部门和制造厂的经验与习惯选用冲动式或反动式。有时在双缸汽轮机中采用混合型式,即高压汽轮机采用冲动式,低压汽轮机采用反动式。

正车汽轮机由静子部分和转动部分组成。静子部分包括汽缸(或壳体)、隔板套、隔板、喷嘴、静叶片、轴承、轴承座、汽封、连通管(双缸汽轮机中连接高、低压缸之间的容汽管)等。转动部分包括动叶片、围带、叶轮、转子、推力盘等。汽轮机中喷嘴、静叶片、动叶片、叶轮和转子是主要部件,谓之通流部分。蒸汽在其中实现能量转换,将蒸汽的热能转变成成为转子轴上的机械能,带动螺旋桨,推进舰船航行。支持轴承承受转子径向载荷。推力轴承承受由于蒸汽压力降落而作用在转子轴上的轴向力。径向轴承和推力轴承同时使转动部分和静子部分保持应有的间隙。

2. 倒车汽轮机是使舰船实现倒航的机构。一般,它不单独组成一个独立的部分,而是配置在正车汽轮机中。在双缸结构中,一般设置在低压汽轮机中。倒车汽轮机由于不经常长期使用,故不太讲求经济性,而只要求可靠和结构简单。所以,一般多选用双列或三列速度级。但也有选用两至三个压力级的。

3. 汽轮机调节控制和保护系统。调节控制系统是汽轮机的重要组成部分之一。它好比人体的大脑控制着人体各部分的协调动作。调节控制系统则控制汽轮机各部分按给定

要求协调动作。所以，一台汽轮机没有调节系统是不可想像的。

调节控制系统包括两部分。其一是调节系统，指的是改变汽轮机的功率方法，称为汽轮机的功率调节或简称汽轮机调节。从计算舰船汽轮机功率的公式

$$N_e = 5.69 G H_a \eta_e$$

中可以看出，改变蒸汽流量 G 和焓降 H_a 均可改变汽轮机的功率。因此，调节汽轮机功率的方法也分为两类：一类是改变汽轮机的蒸汽流量 G 的方法，称为变量调节方法，亦称喷嘴调节。它由若干喷嘴组，喷嘴阀以及控制阀门相继开启的配汽机构组成。另一类是改变汽轮机的配置焓降 H_a 为手段的调节方法，称为变质调节方法，亦称节流调节。最常用的节流调节由一个单座阀或双座阀门闭启的机构组成。对舰船而言，绝对的变量调节是不存在的。特别是军舰，因选用的工况较多，由于结构上的原因，不能设置很多阀门，故只能满足常用的几个工况实行变量调节，其它工况只能靠局部节流来实现。而民用船舶一般采用喷嘴、节流联合调节型式。其二是控制系统。控制系统的基本任务是根据舰船的战术技术和航程中的要求，迅速地、平稳地、正确地改变汽轮机的转速和转向，使其达到指令所要求的工况运转。以及在稳定工况运转时，自动地调整转速，使其偏差值保持在允许范围内。

舰船控制系统有机舱就地控制和远距离集中控制。控制的型式有手操机械控制、液压控制、气动控制、电一气控制、电一液控制、全电控制等。目前，舰船汽轮机常用液压控制系统，但正逐步向电一液或全电控制系统过渡。对军舰来说，为了保证安全可靠，除采用远距离集中控制外，一般均设有机旁手操控制。

保护系统亦是汽轮机的重要组成部分之一。它的使命是确保汽轮机安全可靠运行，避免产生严重事故，所以是一种安全措施。故一般在汽轮机易于构成严重事故的部位和因素上设置保护装置，并将所有保护装置联成一个完整的保护系统，时刻监视着汽轮机的运行。一旦出现发生事故的预兆时，它或者发出报警信号，以引起运行人员的密切注意；或者自动地调整某些参数以消除事故的发生。一旦发生危急情况时，保护系统就自动地、迅速地关闭汽轮机的速关阀，切断向汽轮机供汽，使其迅速停机，以确保汽轮机的安全。

目前舰船上常用的保护装置计有：汽轮机超速保护、滑油压力降低保护、转子轴向位移保护、冷凝器真空下降保护以及盘车联锁保护等。

4. 冷凝器。冷凝器的作用是：依靠由循环水泵提供的舷外海水的冷却作用，把汽轮机排汽凝结成水。同时藉助于抽气器不断地把冷凝器中积存的空气抽除掉，使汽轮机排汽口建立并维持一定的真空度。所得到的纯净的冷凝水通过给水系统打回锅炉，使汽轮机发出所需的功率并保证整个推进装置正常工作。

简言之，冷凝器的基本任务是建立必要的真空，满足汽轮机背压的要求，保证汽轮机在任何工况下正常运行。同时使冷凝水的质量（主要指含盐量和含氧量）达到规定的指标以保证给水系统和锅炉的正常工作。

冷凝器由海水侧和蒸汽—冷凝水侧两个部分组成。海水侧通常用有色合金制成的冷却海水管子、管板、水室和各种附件构成。蒸汽—冷凝水侧是一个钢制薄壁壳体焊接结构，它包括接受汽轮机排汽的喉部、容纳排汽和冷却海水管子的外壳、冷凝水箱（热井）和各种附件。

舰船冷凝器均为表面回热式。根据结构布置和使用要求不同有单流程和双流程冷凝器,同时亦有单通道和双通道冷凝器。

§ 1-2 船用汽轮机组典型结构概述

一、5000马力船用汽轮机组

图1-1、1-2(见书末)所示为我国自行研制的5000马力船用汽轮机组高、低压汽轮机纵剖面图。汽轮机额定功率为5000马力,最大功率为5500马力。汽轮机设计参数:压力30大气压、温度420℃,当舷外冷却水温度为24℃时,排汽压力为0.05大气压,螺旋桨转速为110转/分。

汽轮机采用双缸并联型式。高压汽轮机为冲动式,由一个双列速度级和6个压力级组成。高压转子为整锻结构,转速为5500转/分,前后支持在两个滑动轴承上。推力轴承为均压式,与径向轴承分开,装在前端轴承箱内。高压缸后端刚性固定在地基壳体的外伸平台上,作为死点。前端固定在挠性支承上,汽缸受热膨胀时从后端往前延伸。高压缸前端的蒸汽室内喷嘴分成四组,各组面积分别为喷嘴进汽总面积的50%、30%、20%、10%。50%这一组喷嘴组直接由正车操纵阀控制,其它三组尚装有手动喷嘴阀,需要时可开关各阀门使负荷组合达到50%、60%、70%、80%、90%、100%、110%的数值。高压第3级及高压缸排汽接管上设有抽汽口,将蒸汽抽出作给水加热之用。汽缸为铸造结构,由前、后部组成。阀箱与汽缸前部铸成一体,虽结构复杂些,但使结构紧凑。汽缸内装有喷嘴组、转向导叶环、6级隔板和前后汽封。汽封为梳齿形结构。隔板均采用装配焊接结构,6级隔板均采用部分进汽,这是为了增大叶片高度,以提高汽轮机的级效率。

低压汽缸正车部分共7级,船用汽轮机由于快速操纵的要求,一般转子均采用整锻结构,但限于当时国内的条件,故本汽轮机低压转子设计成套装叶轮的结构。转子转速为4000转/分,最后两级采用了扭叶片。汽缸为铸焊结构,由前后部组成。前部是进汽汽壳,并装有装焊式喷嘴组和前汽封。后部装有隔板和后汽封。第二级隔板为装焊结构,其余5级均为铸铁隔板。前后汽封均为梳齿形结构。支持轴承,推力轴承和支承形式均同于高压缸。

倒车汽轮机安设在低压汽缸的后部。其初终参数:压力30大气压,温度390℃,当舷外冷却水温度为24℃时,排汽压力为0.1大气压。倒车汽轮机的功率为正车汽轮机的40%,即2000马力。转速为2800转/分。它有一个双列速度级和一个压力级组成。为了减少突然倒车时的热应力,倒车汽缸与低压汽轮机汽缸的连接均给予了较大的自由膨胀的可能。倒车复速级叶轮藉装有径向销钉的红套圈与主轴相联,以防突然受热时松脱而造成叶轮轴向位移。在倒车汽缸与低压汽缸末级之间设有导流环,将末级排出的蒸汽导入冷凝器,免使汽流冲击对方的动叶片。

高低压汽轮机的端汽封均设有压力自动调节系统,汽封的最外两档为0.98大气压左右的抽气装置及1.02大气压左右的送汽装置,并均装有自动控制压力阀门,以避免汽封蒸汽漏入机舱。

考虑到船用汽轮机需要变速运行,故高低压转子设计成刚性结构,其临界转速分别

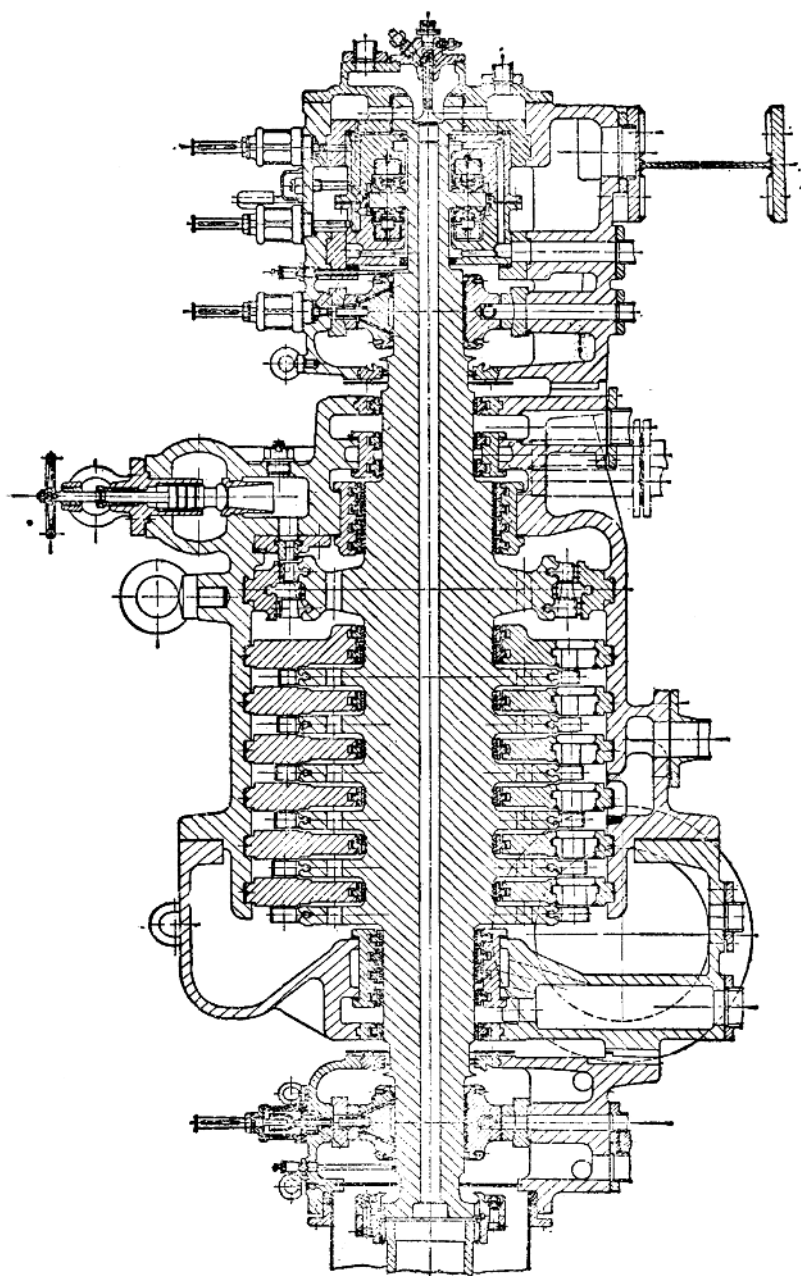


图1-1 5000马力高压汽轮机纵剖面图

为7385转/分及5083转/分，均比额定转速高25%以上，故是安全的。高低压转子的叶轮也同样设计成刚性，运行时不会产生共振。各级叶片的振动频率在额定转速时均按规定范围避开激振频率，且叶片型线底部的弯应力都取得很小，均在50公斤/厘米²以下。所以保证叶片工作的安全可靠。

为了确保汽轮机的安全可靠运行，在操纵调速保护方面作了妥善的考虑。设置了调速阀兼作速关阀。在危急情况下可自动或手动速关，切断汽源，强令汽轮机停车。在调速阀左右侧水平安置了正倒车操纵阀和倒车隔离阀，这样保证汽轮机在正车运行时，蒸汽绝对不会漏入倒车汽轮机内。由于正倒车阀门皆借助于装在同一轴上的两个凸轮来启闭，不能同时开启，故有联锁作用。汽轮机具有下列保护装置：高压汽轮机前端的速度脉冲油泵及轴向位移超过1毫米的停车保护装置；低压汽轮机前端的综合安全装置，包括超速14%的危急遮断器及轴向位移超过1毫米的停车保护装置；滑油压力降低到0.5公斤/厘米²时的自动停车装置；冷凝器真空下降至550毫米汞柱时的自动停车装置；手动速关装置。汽轮机另设有极限调速器，故当正车汽轮机的负荷由100%变化到0时，调速器能保证汽轮机的转速维持在额定转速的103%到108%以内，不致造成超速而速关。提高了船舶的操纵性。

冷凝器为双流程回热式结构，横向布置，壳体上设有波形补偿器，以补偿冷却水管在工作时的热膨胀量。水室壳体采用铸铁，管板用黄铜，为了减少海水对壳体的侵蚀，故在水室壳体内设有锌板。冷却水管采用铝黄铜管，管子两端与管板采用胀接结构。管内水流速度为2.05米/秒，传热系数 K 取2730大卡/℃·米²·小时，估算的过冷度在1℃以下，冷却面积490米²。铜管尺寸及数量为 $\phi 20 \times 1 \times 3500$ 毫米，2260根，水道阻力4米水柱，冷凝器内设计压力为0.0485大气压，冷却水温度24℃，冷却倍率为118倍，冷却水流量为2120吨/时。

为了确保船舶在航行中高度的生命力，汽轮机能实现单缸运行。当高、低压缸中之任一缸发生故障而不能运行时，可通过切换管子使另一缸实现单缸运行。高、低压缸单缸运行时均能发出1500马力的功率。

二、13000马力船用汽轮机组

图1-3(见书末)、1-4(见书末)所示为我国“红旗”号干货轮汽轮机组高、低压汽轮机纵剖面图。汽轮机的额定功率为13000马力，最大功率为14300马力。全速倒车功率为5200马力，长期倒车功率为1625马力。螺旋桨转速：在额定功率时为100转/分，在最大功率时为103.5转/分。速关阀前的蒸汽参数：压力40.5大气压、温度 $450 \pm 10^\circ\text{C}$ 、冷凝器喉部压力0.05大气压。汽轮机组由高压、低压汽轮机、倒车汽轮机、冷凝器和调车装置等组成。高低压汽轮机并列布置在减速器的前端，冷凝器横向布置在低压汽轮机的下部，倒车汽轮机和低压汽轮机配置在同一壳体内。

高、低压汽轮机均为冲动式。高压汽轮机由一个单列调节级和9个压力级组成。低压汽轮机由9个压力级组成。高低压转子均是整锻式刚性结构，由铬钼钢制成。在额定工况下高低压汽轮机的转速分别为5340转/分和3550转/分，第一临界转速均高于工作转速，有30%的裕度。高压汽轮机汽缸为铸造结构，材料为铬钼钢25CrMo(Mo0.2~0.4%)，分前后两部，喷嘴室单独铸造，然后与汽缸焊成一体。这样可简化汽缸的铸造工艺，保

证铸造质量。高压汽轮机进汽部分设有四组喷嘴组,其中第1喷嘴组配置在汽缸下部,其余三组布置在上部的同一个阀箱内。各组的面积分别为喷嘴进汽总面积的50%、30%、20%和10%。高压汽轮机固定在刚梁上,其后部藉中间垫箱与刚梁刚性连接,作为高压汽轮机的死点,前部藉挠性支承固定在刚梁上。高压汽轮机受热后向前膨胀,其变形量由挠性支承补偿。而刚梁则分别与减速器壳体和船体基础相连接。低压汽轮机汽缸分前、后部,焊铸结构。这种结构简单且重量较轻。低压汽轮机后部固定在减速器壳体上,作为汽轮机的死点,前部藉挠性支承固定在船体基础上。汽轮机受热后向前膨胀,其变形量由挠性支承补偿。高低压汽轮机支持轴承均采用球面自位结构,推力轴承为均压式,能自动补偿和平衡作用在瓦块上的推力,使用可靠。高压汽轮机的9级隔板和低压汽轮机的第2级隔板均为装配焊接结构。为了提高汽轮机的级效率,隔板导叶采用气动性能良好的窄叶型,同时在进汽侧沿周向配置有加强肋,以提高隔板的刚性。其余几级隔板由优质铸铁铸造而成。前后汽封为梳齿形结构。倒车汽轮机为冲动式,由一个双列速度级和二个压力级组成。它配置在低压汽轮机汽缸的后部。在倒车汽缸和低压汽缸之间设有导流环,将末级排出的乏汽导入冷凝器,免使汽流冲击对面的叶片。倒车汽缸下半藉水平中分面处的端爪搁置在低压汽缸下半中分面上,下部藉圆柱销导向,上半进汽法兰藉波纹板与低压缸连接,这种连接方法可以保证倒车汽轮机汽缸能在受热时自由膨胀,而又不会破坏其与低压汽轮机汽缸的对中。

为了提高整个动力装置的热效率,汽轮机设有三级抽汽作为给水加热。第一级抽汽设在高压汽轮机第6级后,第二级抽汽设在高压汽轮机排汽接管上,第三级抽汽设在低压汽轮机第4级后。

汽轮机的操纵系统

汽轮机正车的操纵是通过正车操纵阀(进汽到四个喷嘴组)的节流调节及三个喷嘴组前的喷嘴阀的喷嘴调节组成的节流和喷嘴混合调节方法进行操纵的。由于船舶正常航行时大多处于额定工况下,因此差不多是处于接近纯喷嘴调节的情况。50%这一组喷嘴直接由正车操纵阀控制,其它三组藉助于手动操纵喷嘴阀。需要时可启闭阀门使负荷组合达到50%、70%、80%、90%、100%和110%的数值。倒车的操纵是通过调节倒车操纵阀的开度而达到的,其后还有一只倒车隔离阀仅作为截止阀用,倒车启动时应全开倒车隔离阀。

汽轮机的保安系统

汽轮机共设有10种保护装置,其中7种为自动保护装置。现分述如下:

1. 超速保护装置。 高压汽轮机为机械极限调速器,它由重销、弹簧等构件组成。当高压汽轮机转速超过额定转速的14% ($\pm 1\%$) 时,重销在该转速下超过弹簧紧力而打出,使钩头脱扣,危急保安器动作,切断通向速关阀加速滑阀上的油路,使速关阀速关。低压汽轮机为液压极限调速器,实质是个离心脉冲泵。其动作转速为额定转速的14% ($\pm 1\%$);

2. 全速正车调速器。 当汽轮机转速为额定转速的103~108%范围时该调速器开始动作,使速关阀相应关小,以保持汽轮机在该转速范围内运行,尤其当螺旋桨因风浪而露出水面时不致引起很快升速,以致速关阀动作而再次起动机组;

3. 滑油压力保护。 当滑油压力低于0.75公斤/厘米²时,油遮断器动作立即停机;

4. 冷凝器真空降低保护。当冷凝器的真空降低至 550 毫米汞柱以下时,油遮断器动作,速关停机;

5. 高、低压汽轮机转子轴向位移保护。轴向位移保护采用液压式的。当轴向位移超过 1 毫米时,油遮断器动作而速关;

6. 盘车联锁保护。为防止盘车装置离合器还未脱开时就打开操纵阀使汽轮机轴系受到破坏。该保护装置是通过盘车装置离合器的啮合手轮带动一个滑阀,当离合器啮合时,压力油就通到脉冲油路,油遮断器就不能接通,这样就防止了操作上的疏忽而造成事故;

7. 抽汽自动止回阀。为防止抽汽室内压力降低时,抽汽管以后的蒸汽向汽轮机倒流,故在三个抽汽口都设有自动止回阀。当油遮断器动作后,使它的油动机打开的油压跌落,止回阀在弹簧力的作用下迅速关闭;

8. 操纵板上油遮断器手动停机装置;

9. 高压汽轮机上手动停机装置;

10. 速关阀手动停机装置。

冷凝器为回热式、双流程、双通道结构,横向布置在低压汽轮机汽缸下部。其喉部与低压汽缸排汽口相焊接,并支持在四个弹簧支座上。冷凝器外壳的内表面涂上防腐涂料。管板用黄铜制成。冷却水管用铜镍合金制成,直径 $\phi 19 \times 1.25$ 毫米。管子进水端用胀接和翻边法固定在管板中,出水端采用纤维圈—金属填料密封。这样,允许冷却水管受热时自由膨胀。水室的端盖用铸铁铸成。水室内安装有专门的保护板——锌板。

冷凝器两个通道的进口水室分隔成上、下两半,冷却水经过下部的两根进水管分别进入水室的下半部流经冷却水管,在后端水室内改变流向,再沿上半部诸冷却水管回至进口水室上半部,并经两根排水管排出舷外。

冷凝器的两个通道具有独立的循环水泵,当两个水泵中有一个损坏时,另一个循环水泵可以同时供应两个通道。为此,两个水室的底部用管子相连通,连接管上装有闸板阀。冷凝器设置两个独立通道的优点在于当一个通道因故检修时,另一通道仍可继续工作。这样,提高了船舶运行的可靠性。

冷凝器具有冷却面积 1090 m^2 。在额定功率下蒸汽热负荷为 31 公斤/米^2 ,管内平均流速为 2.1 米/秒 ,冷却水流量为 $3400 \text{ 米}^3/\text{小时}$,冷却倍率 100。

汽轮机在额定功率的 70~80% 负荷时在横摇 30° 和纵摇 5° 的情况下能长期运行,同时在长期横倾 15° 和纵倾 2° 下能正常运行。汽轮机允许采用全参数反压力刹车。它从全速正车到全速倒车工况转换的时间为 20 秒。

为了确保船舶在航行中的高度生命力,汽轮机实现高压汽轮机或低压汽轮机单独运行。当高、低压汽轮机中之一发生故障而不能运行时,可通过切换管子进行单独高压或低压汽轮机运行。高、低压汽轮机单独运行时均能发出 4000 马力的功率。

汽轮机具有较高的效率,这是因为在通流部分中采取了一系列的措施,如:通流部分采用气动性能良好的叶型,末两级采用扭曲叶片,各级均有一定的反动度(高压汽轮机级的平均直径处具有 10~20% 的反动度,低压汽轮机具有 15~50% 的反动度),隔板导叶采用窄叶型,在叶片围带处增设汽封以及改善了进排汽口涡壳的气动特性等。

三、16000马力船用汽轮机组

图1-5、1-6所示为我国自行研制的16000马力船用汽轮机组的高压和低压汽轮机纵剖面图。汽轮机组额定功率为16000马力，最大功率为17600马力，额定功率时喷嘴阀前蒸汽参数：正常压力为50绝对大气压、最高55绝对大气压、最低45绝对大气压，正常温度470°C、最高480°C、最低455°C，低压汽轮机排汽压力为0.055绝对大气压，当冷却水

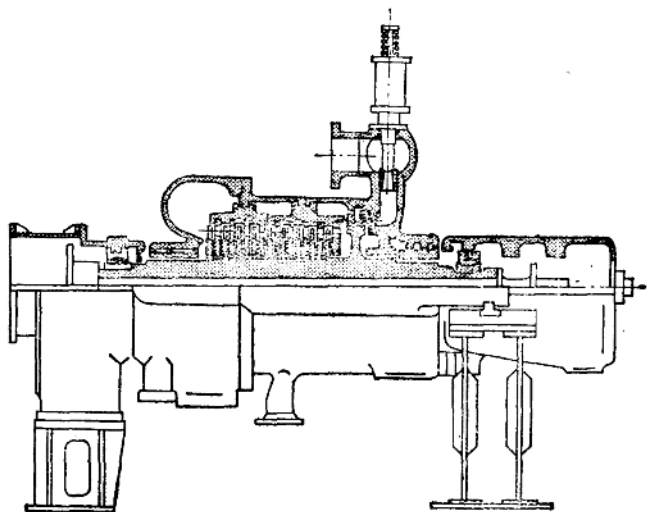


图1-5 16000马力高压汽轮机纵剖面图

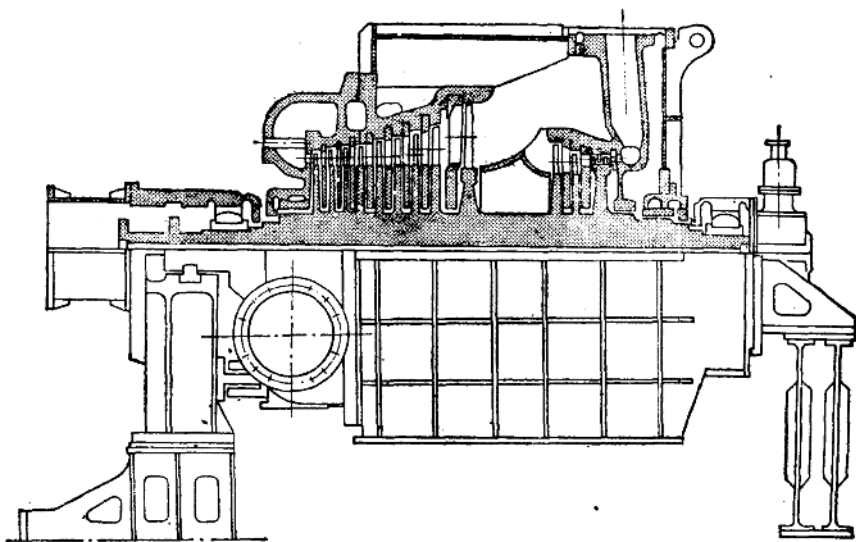


图1-6 16000马力低压汽轮机纵剖面图

温度为 25°C 时, 冷凝器喉部压力为0.053绝对大气压, 螺旋桨转速: 额定功率时为118转/分、最大功率时为122转/分。倒车汽轮机功率为正车额定功率的40%, 即6400马力, 其蒸汽参数: 压力为50绝对大气压、温度为 410°C , 当冷却水温度为 25°C 时, 冷凝器喉部压力为0.2绝对大气压, 螺旋桨转速为59转/分。

汽轮机组为双缸并列型式, 三级抽汽, 冷凝式, 系由高压汽轮机、低压汽轮机、冷凝器和调节控制机构等组成。

高压汽轮机由一双列调节级和9个压力级组成。其安装于座架上, 座架一端固定在减速器下壳体上, 而另一端藉挠性支承固定在船体基础上。低压汽轮机由9个压力级组成。其一端安装于减速器下壳体上, 而另一端藉挠性支承固定在船体基础上。高低压汽轮机的死点均设在靠近减速器侧, 汽缸受热后均向艏部膨胀, 所产生的热位移分别由高低压汽轮机的挠性支承予以补偿。高低压汽轮机推力轴承均采用与支持轴承分开的结构, 分别装于高低压前轴承箱内, 高低压后轴承分别装于高低压后轴承箱内, 高低压后轴承箱分别与高低压汽缸用焊接连接在一起。高低压转子与齿轮轴分别用齿形联轴器联接。倒车汽轮机由一个双列调节级和二压力级组成, 其与低压汽轮机配置在同一汽缸内。为了使低压汽轮机和倒车汽轮机的排汽不冲击对方的末叶片, 故在低压汽轮机和倒车汽轮机末级之间安设了导流支板, 同时亦改善了蒸汽的流动。

为适应船舶汽轮机变速运行的特点, 故高低压汽轮机转子设计成刚性结构, 其工作转速分别为5500转/分和3690转/分, 其临界转速分别为7678转/分和5520转/分, 有足够的避振裕度。高低压转子均采用轮式整体锻造结构, 这样可提高转子刚度, 缩短转子轴向尺寸, 能适应船舶急剧的负荷变化和快速起停的要求。

高低压汽轮机和倒车汽轮机叶片除低压末三级采用扭叶片外, 其余均为等截面叶片, 大部分叶片选用国产高效率红旗号叶型。全部动叶叶根采用二种型式即单倒T型叶根和单倒T型带小脚叶根。低压末两级动叶装松拉筋, 上下半各一组, 藉以达到调频减振目的。

高压喷嘴组沿周向共四组, 上半三组、下半一组。上下两半藉螺钉固定在高压汽缸前部的端壁上。喷嘴组叶片与内外环采用焊接结构, 以保证在整个运行工况下的汽密性。喷嘴组与汽缸连接处设有一调整垫片, 便于在安装时调整高压汽轮机轴向通流间隙。

低压喷嘴组为全周进汽, 喷嘴由铣制而成, 其直接装在低压汽缸前部相应的槽道中, 藉助焊接来固定。

倒车喷嘴组亦为全周进汽, 由上下两半组成, 其喷嘴通道为铣制结构。

高压各级隔板和低压2~4级隔板为钢铸件, 导叶为精密铸造, 然后装入隔板相应的槽道中。低压5~9级隔板为球墨铸铁, 导叶由铣制而成, 和隔板铸成一体。倒车2~3级隔板为铸钢焊接结构。

工作叶片和导向叶片材料均采用铬不锈钢。

高、低压汽轮机汽缸由于铸造、加工工艺上的要求及考虑到所承受的工作温度不同而采用不同的材料, 故将高、低压汽轮机汽缸均分为前后两部, 前后汽缸设垂直中分面, 藉螺栓连接并用定位销定位。高压前汽缸和倒车汽缸用铬钼钢铸造, 高压后汽缸和低压前汽缸用碳钢铸造, 低压后汽缸用钢板焊接。

高、低压前汽缸猫爪与轴承座间有一横向平键, 且平键、猫爪和轴承座间有螺钉连

接,使机组在承受前、后、左、右摆动时能保持纵向和垂向中心线一致,同时前汽缸与前轴承座有一垂直键,使机组在运行时横向中心不变。

高、低压后汽缸与轴承座焊接成整体,这样可缩短机组的轴向长度。

倒车汽缸设在低压汽缸内,其藉水平面左右两边的支撑板固定,同时藉进汽部分的垂直键及汽缸下部的定位销保持倒车汽缸与低压后汽缸同心,亦允许有一定的胀缩。

高、低压前后汽封和隔板汽封均采用汽封环和转子轴上分别直接加工之高低齿组成的迷宫式汽封。所有汽封均采用螺钉压块结构,便于加工调正。

汽封系统中设有汽封压力调整器,使平衡箱内的压力维持在1.04~1.3绝对大气压范围内,当压力超过1.3绝对大气压时能自动排入冷凝器内。其作用是使轴封的蒸汽不漏入机舱。

支持轴承为球面自位圆轴承结构,以适应船舶汽轮机正、反转要求。推力轴承与支持轴承分开,它采用瓦块式自位结构。

机组共有三级不调整抽汽,第一级抽汽接至高压加热器,第二级抽汽接至除氧器,第三级抽汽接至低压加热器。在三级抽汽管道上装有水动逆止阀,当速关阀、喷嘴阀关闭或倒车隔离阀开启时,抽汽阀联动装置的电磁铁动作,使水动逆止阀内的压力水放出,阀门在弹簧力作用下自动关闭。

当汽轮机任一汽缸发生故障时可以保证单缸运行。在高压汽轮机发生故障时,将新汽经过孔板后直接进入低压汽轮机。在低压汽轮机发生故障时,蒸汽经过胀缩管将高压汽轮机排汽直接排入冷凝器。这样提高了船舶的生命力。

汽轮机系采用控制室集中操纵,当集中控制操纵系统发生故障时,可在机旁实行手动操纵。

汽轮机操纵系统由调速阀兼作速关阀、喷嘴阀、倒车操纵阀和倒车隔离阀等组成。蒸汽由锅炉出来分成二路,一路经由调速阀和喷嘴阀进入高压汽轮机,另一路经由倒车操纵阀和倒车隔离阀进入倒车汽轮机。

调速阀在正常运行时处于全开状态,主要起二种作用:其一是限制转速,当汽轮机转速升到额定转速的103~108%时,调速阀开始关小直至全关,其二是切断汽源。

喷嘴阀布置在高压前汽缸上部,为双支点杠杆提升式,藉机械杠杆与油动机相连。汽轮机共有五只喷嘴阀,1*阀布置在高压汽轮机右侧(由高压汽轮机进汽端看),3*阀布置在左侧,2*、4*、5*阀布置在中间。喷嘴阀的启闭由油动机进行操纵。阀门开启次序为首先开启1*和2*阀,后开3*阀,三只阀门全开时能达80%的额定负荷,4*阀门开启后达100%负荷,5*阀门开启后达110%负荷。因1*、2*、3*阀门是互相连通的,所以小于80%负荷时处于节流状态。

倒车操纵阀系由控制室通过控制马达来进行控制,实行倒车工况的调节。

倒车隔离阀系由控制室通过电磁阀磁力断路油门进行操纵,在危急情况下能迅速切断汽源。

汽轮机安全保护系统。安全保护系统包括危急速关停机,动作连锁和声光讯号三部分。

危急速关停机包括:1.超速保护装置,当高压汽轮机转速超过额定转速的13%时,危急遮断油门脱扣,使调速阀速关停机。当低压汽轮机转速超过额定转速的14%,一次

油压达2.7表压,接通一次脉冲油的压力调节器触点,动作磁力断路油门,使调速阀速关停机。2.当高、低压汽轮机轴向位移超过1.2毫米时,监视轴向位移之电气设备接通磁力断路油门,速关停机。3.当高、低压汽轮机及齿轮箱润滑油压力低于0.5表压时,压力继电器动作磁力断路油门,速关停机。4.当高、低压汽轮机和齿轮箱各轴承回油温度高于75°C时触点式水银温度计动作磁力断路油门,速关停机(倒车仅65°C报警)。5.当任何一种原因致使汽轮机必须立即停机时,可在机旁手击危急遮断器或动作磁力断路油门,速关停机。

动作联锁包括:1.当调速阀关闭或倒车隔离阀开启时,抽汽阀联动装置之电磁吸铁电路同时接通,使抽汽阀同时自动关闭。2.当调节系统油压低于5表压时备用螺杆泵应自动投入工作。3.当润滑油压小于0.8表大气压时,低压辅助油泵应自动投入工作;当润滑油压小于0.2表大气压时,盘车装置电动机电源切断停止盘车。4.盘车联锁,当盘车装置工作时不能同时打开操纵阀。5.调速阀、喷嘴阀、倒车操纵阀、倒车隔离阀均互有联锁装置。

声光讯号包括:1.当冷凝器真空下降至330毫米汞柱时发出报警讯号。2.当高、低压汽轮机轴向位移达0.8毫米时发出报警讯号。3.当高、低压汽轮机润滑油压降至0.8、0.5及0.2表大气压时分别发出报警讯号。4.当高、低压汽轮机轴承和推力轴承回油温度超过65°C时发出报警讯号。5.当油箱油位在最高或最低油位时分别发出报警讯号。6.调速阀、喷嘴阀、倒车操纵阀和倒车隔离阀处于全关位置时分别有灯光讯号。

冷凝器为双通道双流程表面回热式。其横向布置在低压汽缸下部,喉部与低压排汽口藉螺栓相连接,下部支承在四个弹簧支座上。冷凝器冷却面积为1200米²、冷却水流量4800吨/时、铜管内冷却水流速2.47米/秒、凝水过冷度2°C、冷却倍率132、管子规格 $\phi 19/\phi 16.5 \times 4136$ 。冷却水管采用B30铜镍合金管,前后水室由高强度铸铁铸造而成,管板采用铜板。管子与管板的连接形式为:在进水侧用软管法胀装在管板上,在出水端用丁基橡胶密封填料装置加以密封。铜管用五块中间管板支承,以保证铜管有适当的刚度和避开低压汽轮机转速引起的共振。在前后水室内装有保护衬板。

在倒车运行时为了降低排汽温度,在冷凝器喉部设有喷水装置。

船舶在左右摇摆时为了保持冷凝器位置不变,壳体下部装有防摇滑动支承,同时在热胀时又能起导向作用,保证冷凝器沿低压汽轮机纵向中心线移动。

§ 1-3 舰用汽轮机组典型结构概述

一、10000马力舰用汽轮机组

图1-7、1-8所示为10000马力舰用汽轮机组总布置图和纵剖面图。它是由正车汽轮机、倒车汽轮机、冷凝器和操纵保护机构组成。汽轮机全速工况时在减速器Ⅱ级大齿轮法兰端输出功率为10000马力,螺旋桨转速为400转/分,喷嘴阀前蒸汽参数:压力24大气压、温度370°C,冷凝器喉部压力0.1大气压。经济工况时输出功率为900马力,螺旋桨转速为180转/分,喷嘴阀前蒸汽参数:压力26大气压、温度280°C,冷凝器喉部压力0.05大气压。倒车汽轮机的功率为正车全速功率的25%,即2500马力,螺旋桨转速230转/分,倒车汽轮机前蒸汽参数:压力25大气压、温度340°C,冷凝器喉部压力为0.2大气压。