

138728

TK264.1,
1223

大型电站凝汽器

张卓澄 主编

机械工业出版社

(京) 新登字054号

本书介绍现代大型火电站、核电站凝汽器的热力设计方法、步骤和冷却管束水模型试验研究等基本知识；冷却管和管板的腐蚀、选材及密封连接；多压凝汽器、凝汽器除氧和附加流体排入凝汽器等近代凝汽器研制发展中的特殊问题。书中以冷却管振动和管板强度为重点详细论述凝汽器主要零部件的结构强度并给出实例。本书还扼要介绍凝汽器热力性能试验中热力参数的测量，凝汽器运输、组合和安装的技术要求以及凝汽器运行中气密性、水密性的监督和脏物的清理、清洗等问题。

本书供从事汽轮机电站系统与设备设计、制造、运行和管理的工程技术人员阅读，亦可供大专院校有关专业师生参考。

大型电站凝汽器

张卓澄 主编

*

责任编辑：蒋克 王正琼 版式设计：王颖
封面设计：肖晴 责任校对：熊天荣
责任印制：王国光

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码：100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经营

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 24³/₄·字数 605 千字

1993年3月北京第1版·1993年3月北京第1次印刷

印数 001—800 定价：25.50 元

*

ISBN 7-111-03315-9/TK·131

前 言

凝汽器是凝汽式汽轮机的主要辅助设备，是汽轮机组（汽轮机装置）的重要组成部分。随着汽轮机单机功率的不断增加，凝汽器的尺寸重量越来越大型化。随着直流锅炉和核动力装置的兴起和发展，与之配套的汽轮机组凝汽器的重要性也大为提高了。20多年来，包括我国在内的世界各国动力设备研制部门，广泛深入地开展了凝汽器的研究试验设计工作，取得了许多新成果，发表了一系列包括专著在内的凝汽器文献资料，使凝汽器的设计制造技术提高了一大步。为了适应我国电力事业发展的需要，提高凝汽器设计、制造、运行水平，我们根据多年来从事船舶、核电及大型火电站汽轮机组凝汽器研究、试验、设计经验以及所收集、积累的有关资料，编写了本书。全书共分十章，各章内容简介如下：

第一章叙述凝汽器的任务、分类和凝汽器压力等基本知识，介绍国内外大型凝汽器的典型构造和特性数据，并从凝汽器发展的角度阐述凝汽器设计的基本原则。

第二、第三章讨论凝汽器的热力设计和管束的水模型试验研究。第二章详细介绍目前国内外凝汽器工程热力计算采用的总传热系数各种经验公式，并通过实例计算对这些公式进行分析比较，论述变工况计算和冷却水阻力计算方法。该章还概述了国内已广泛推广应用的凝汽器优化热力设计的两种方法。第三章简略介绍前苏联、日本、法国和西门子公司（BBC）凝汽器管束水模型试验研究的原理系统、设备和方法，详细汇集国内外大型凝汽器典型的管束结构型式。该章还阐述了凝汽器详细热力计算的原理及方法；讨论了模型凝汽器传热性能试验研究方法的实例及其对改进凝汽器设计的意义。

第四章论述凝汽器关键零部件冷却管和管板的腐蚀与选材以及密封连接形式，并提供了相当丰富的国内外信息和数据。该章还专门介绍了钛冷却管和钛管板在核电、大型火电站采用海水冷却的凝汽器中推广应用的发展概况，并深入分析了冷却管与管板的两种密封连接形式（胀接与封焊）以及多种管板结构型式的选择问题。

第五章至第七章分别论述多压凝汽器、凝汽器除氧和附加流体排入凝汽器等近代凝汽器研制发展中出现的三个专门课题。

第八章以冷却管振动问题为重点，论述大型凝汽器主要零部件的结构强度，还以附录形式译出了管板强度设计方面的国外最新规范和资料。第九章介绍凝汽器热力性能试验中流体的压力、温度、流量以及某些特殊参数的测试方法和测试设备。第十章阐述大型凝汽器的运输、组合和安装，并在概要介绍抽气设备的基础上说明汽轮机组真空系统的气密性和凝汽器运行中热力性能参数的监督。该章还论述了凝汽器的水密性检验和泄漏处的查找、凝汽器脏污的清理以及凝汽器的反冲洗和胶球清洗。

本书采用的图、表及数据，部分取自国内外有关文献资料或标准，其中少量仍沿用非法定计量单位。对此，本书已加注换算系数，供读者参考。

本书可供从事汽轮机电站系统与设备设计、制造、运行和管理的工程技术人员阅读，亦可供大专院校有关专业师生参考。

Ⅴ

本书由张卓澄主编。下列人员参加了部分章节的编写工作：魏武（第四章），陈文德（第七章），贺秉初（第一章），杨德镛（第十章），肖福田（第五章）。全书由沈杏初主审，周涓楠参加了审阅工作。本书编写过程中得到姚福生的大力支持和积极帮助，在此表示感谢。书中不妥或错误之处，请读者批评指正。

编者

1990年10月

目 录

第一章 概论	1	§ 2-6 优化热力设计	57
§ 1-1 凝汽设备的任务及组成	1	一、优化热力设计的主要任务	57
§ 1-2 凝汽器压力(真空度)	2	二、凝汽器最佳压力	59
一、凝汽器压力的确定	2	三、优化热力设计的“最大收益法”	59
二、凝汽器压力的量度	3	四、优化热力设计的“最低总年运行 费用法”	64
三、漏气量及其对凝汽器压力的影响	4	第三章 管束的设计和试验研究	69
四、凝汽器壳侧阻力	5	§ 3-1 管束设计基本原理	69
§ 1-3 凝汽器分类	7	§ 3-2 国外水模型试验研究简介	71
§ 1-4 大型凝汽器总体构造	8	一、前苏联水模型试验研究	72
一、国产大型机组凝汽器	8	二、日本水模型试验研究	77
二、国外引进大型机组凝汽器	17	三、西门子公司(BBC)水模型试验研究	79
三、德国电站联盟公司大型机组凝汽器	22	四、法国水模型试验研究	79
四、法国阿尔斯通—大西洋公司大型 核电机组凝汽器	24	§ 3-3 大型凝汽器管束的基本类型	79
五、前苏联大型机组凝汽器	24	一、带状管束	79
§ 1-5 凝汽器的基本设计原则	27	二、外围带状管束	84
第二章 热力设计	30	三、教堂窗管束	86
§ 2-1 概述	30	四、岛状管束	86
一、凝汽器热力设计的任务	30	五、管束类型的选用	86
二、热平衡方程式	30	§ 3-4 凝汽器详细热力计算	88
三、对数平均温差	31	§ 3-5 凝结水膜对传热影响的模拟 试验研究	92
四、两种类型的热力计算方法	31	§ 3-6 模型凝汽器传热性能试验研究	94
§ 2-2 总传热系数	32	一、试验系统和模型凝汽器构造	94
一、美国传热学会(HEI)公式	32	二、试验项目和试验方法	96
二、别尔曼公式	33	三、试验结果及其分析	96
三、分部计算关系式	34	第四章 冷却管、管板及其密封连接	99
四、总传热系数各种计算公式的比较	36	§ 4-1 冷却管腐蚀与选材	99
§ 2-3 工程热力计算	37	一、引言	99
一、原始数据和条件	37	二、冷却水水质和流速	99
二、计算步骤	38	三、腐蚀概念	101
三、计算实例	38	四、腐蚀破坏类型	103
四、利用电子计算机进行工程热力计算	43	五、冷却管选材	106
§ 2-4 变工况	44	六、冷却管防腐保护措施的基本原理	109
一、概述	44	七、冷却管技术条件	111
二、变工况因素分析	45	§ 4-2 大型电站凝汽器的常用冷却管	112
三、变工况核算的方法和实例	46	一、品种牌号及基本性能	112
§ 2-5 冷却水阻	54		

二、磨损腐蚀和 APF管	115	除氧	188
三、污染海水腐蚀和 AP青铜管	120	三、凝汽器内凝结水除氧的特点	189
四、沉积腐蚀与生物腐蚀和钛管	122	§ 6-2 凝汽器除氧能力的研究	190
五、常见防腐保护措施及其选用	131	§ 6-3 凝汽器除氧热井的结构型式	192
六、国外冷却管标准主要技术内容比较	131	§ 6-4 凝汽器除氧试验研究	197
§ 4-3 钛冷却管在大型电站凝汽器中的应用	131	§ 6-5 凝汽器除氧的设计原则	199
一、采用钛冷却管的优越性	131	第七章 附加流体排入凝汽器的研究与设计	200
二、钛冷却管应用中的主要问题	133	§ 7-1 概述	200
三、国外电站凝汽器钛冷却管应用概况	138	一、运行经验	200
四、国内电站凝汽器钛冷却管应用概况	141	二、美国电力研究所的研究报告	201
§ 4-4 管板腐蚀与选材	143	三、处理附加流体排入问题的主要原则	201
§ 4-5 冷却管与管板的胀接	144	四、排入附加流体的状态、参数、能级和排入方式	202
一、胀接的机理和方法	144	五、附加流体排入凝汽器的位置	203
二、胀紧程度的评定	146	六、排入附加流体的流量及温度的控制	204
三、影响胀接质量因素的分析	148	§ 7-2 附加流体在排入集管节流孔上的均匀分配	204
§ 4-6 冷却管与管板的封焊	152	一、冷水	205
一、封焊的应用	152	二、饱和水或过热水	208
二、钛冷却管封焊试验研究主要结果	152	三、蒸汽	208
三、钛冷却管封焊施工技术要求	157	四、汽水混合物	208
§ 4-7 胀接和封焊及管板型式的选用	159	§ 7-3 附加流体从集管节流孔排出后的安全扩散	210
一、凝汽器水密性要求	159	一、关于能级限制的基本概念及经验数据	210
二、关于胀接和封焊及管板型式的评述	159	二、冷水的扩散	212
三、全钛凝汽器冷却管与管板的连接形式及管板型式的选择	163	三、饱和水或过热水的扩散	212
四、无泄漏凝汽器的设计制造	164	四、蒸汽的扩散	215
第五章 多压凝汽器	165	五、汽水混合物的扩散	216
§ 5-1 多压凝汽器的原理和选用	165	§ 7-4 附加流体排入凝汽器的设计导则和实例	216
一、工作原理	166	一、冷水	216
二、经济效益分析	167	二、饱和水或过热水	221
三、多压凝汽器的选用	169	三、闪蒸汽水混合物	226
§ 5-2 多压凝汽器的布置和结构特点	171	四、饱和蒸汽或过热蒸汽	228
一、多压凝汽器的布置	171	§ 7-5 旁路蒸汽排入装置	238
二、隔压密封措施	174	一、旁路蒸汽排放系统	238
三、凝结水的输送和回热	176	二、旁路蒸汽排入装置的典型结构及试验研究	240
四、抽气设备和真空破坏阀的布置	176	三、旁路蒸汽排入装置设计计算实例	245
§ 5-3 多压凝汽器的热力计算	177	§ 7-6 凝汽器喉部内附件的布置及流动	
§ 5-4 国外多压凝汽器的应用	183		
第六章 凝汽器除氧	188		
§ 6-1 凝结水除氧的任务和原理	188		
一、电站热力系统中凝结水除氧的任务	188		
二、凝结水除氧的基本原理——热力			

特性研究.....	246	§ 9-1 概述.....	317
一、概述.....	246	一、热力性能试验的内容、目的和任务	317
二、喉部流动特性试验研究原理	247	二、热力性能试验的测试计算原则	317
三、喉部流动特性试验研究的结果及其 应用	248	三、热力性能试验注意事项	318
第八章 大型凝汽器主要零 部件结构		§ 9-2 压力测量.....	319
强度	255	一、凝汽器压力(真空度)测量的原理 和要求	319
§ 8-1 概述.....	255	二、凝汽器压力(真空度)的测量仪表 和读数修正	321
§ 8-2 冷却管.....	256	三、凝汽器其它压力的测量	325
§ 8-3 管板.....	257	§ 9-3 温度测量.....	325
§ 8-4 支承隔板.....	259	§ 9-4 流量测量.....	330
§ 8-5 冷却管振动.....	260	§ 9-5 特殊参数测量.....	332
一、前言	260	一、管束热负荷分布的测量	332
二、美国传热学会(HEI)标准关于预防 汽流激振的经验公式	262	二、凝汽器蒸汽侧压损的测量	335
三、预防汽流激振的其他经验公式	264	三、冷却管壁温的测量	335
四、预防汽流激振各种经验公式的应用 实例和比较	265	第十章 凝汽器的组装与运行	338
五、冷却管振动试验研究	268	§ 10-1 凝汽器运输组合方式	338
§ 8-6 冷却管热应力和壳体膨胀节.....	276	§ 10-2 大件运输组合法及板件运输组 合法	339
一、冷却管热应力的近似计算	276	§ 10-3 大型凝汽器安装	342
二、不同运行条件下冷却管热应力的 变化和分布	277	§ 10-4 抽气设备概论	345
三、冷却管热应力的危害性和壳体 膨胀节	279	一、射汽抽气器	345
§ 8-7 壳体.....	280	二、射水抽气器	347
一、作用、组成和形状	280	三、机械离心式真空泵	351
二、结构和材料	283	§ 10-5 汽轮机组真空系统的气密性	352
三、壁厚计算	284	一、气密性的重要意义	352
§ 8-8 水室.....	284	二、气密性评定	353
一、形状	284	三、真空系统漏气点的查找	355
二、水室流动特性试验研究	285	§ 10-6 凝汽器热力性能的运行监督	357
三、材料与典型结构	288	一、概述	357
四、壁厚计算	288	二、凝汽器真空度下降原因的综合分析	357
五、水室衬胶	289	三、凝结水的过冷度和含氧量	358
§ 8-9 法兰螺栓连接和焊接连接.....	291	四、电子计算机在凝汽器热力性能监督 中的应用	359
§ 8-10 大型凝汽器的连接和固定	293	§ 10-7 凝汽器水密性的检验和泄漏处的 查找	366
附录 1 管板强度设计	301	§ 10-8 凝汽器的脏污及其清理方法	369
附录 2 管板受力分析和利用梁一条法的 管板强度计算	308	一、机械脏污	369
附录 3 凝汽器焊接	312	二、生物类脏污	370
第九章 凝汽器热力性能试验	317	三、盐类脏污	372
		§ 10-9 凝汽器的反冲洗	374

§ 10-10 凝汽器的胶球清洗·····	376	四、提高胶球回收率的措施·····	383
一、胶球清洗的基本原理·····	376	五、胶球清洗装置运行注意事项·····	384
二、胶球清洗装置的系统及其主要设备·····	376	六、胶球清洗的经济效果·····	385
三、冷却水二次滤网·····	382	参考文献·····	386

第一章 概 论

§ 1-1 凝汽设备的任务及组成

在现代大型电站凝汽式汽轮机组的热力循环中，凝汽设备起着冷源的作用，其主要任务是将汽轮机排汽凝结成水并在汽轮机排汽口建立与维持一定的真空度。

凝汽设备包括凝汽器、冷却水泵、凝结水泵及抽气器（图1-1），其中凝汽器是最主要的组成部分。经由冷却水泵抽来的具有一定压力的冷却水，流过凝汽器的冷却水管（以下简称冷却管），把蒸汽凝结成水时放出的热量带走，而凝结水从凝汽器底部通过凝结水泵抽出，送往锅炉或蒸汽发生器继续使用。

汽轮机排汽在凝汽器内的凝结过程基本上是等压过程，其绝对压力值取决于蒸汽凝结时的饱和温度，此温度决定于冷却水温度（大致在 $0\sim 30^{\circ}\text{C}$ 范围）以及冷却水与蒸汽之间的传热温差（一般约为 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ）。考虑到大气压力下蒸汽的饱和温度为 100°C ，因此凝汽器是在远低于大气压力下即较高真空条件下工作的。

既然凝汽器要在真空条件下工作，所以必须利用抽气器在凝汽器开始工作时将其壳侧空气抽出以建立真空，并且将凝汽器工作过程中从真空系统不严密处漏入的空气以及夹带在汽轮机排汽中的空气不断地抽出，以维持真空。

根据汽轮机工作原理，凝汽器的真空度对汽轮机装置的效率、功率有重大影响。然而必须指出：不能根据蒸汽凝结后比容急剧减小的现象，就认为仅仅是由凝汽器建立与维持真空度，因而一旦真空度未达到要求便只从凝汽器上找原因。实际上，凝汽设备的其它三项设备（抽气器，冷却水泵，凝结水泵）的选型、设计是否正确，与凝汽器的匹配是否合理，工作状况是否正常等，都对凝汽器的真空度有很大影响。另一方面，也不能把凝汽器真空度的建立与维持看成仅仅是抽气器的事，因为确定抽气器工作效果的重要条件之一就是从小汽轮机排汽中的空气不断地抽出，以维持真空。

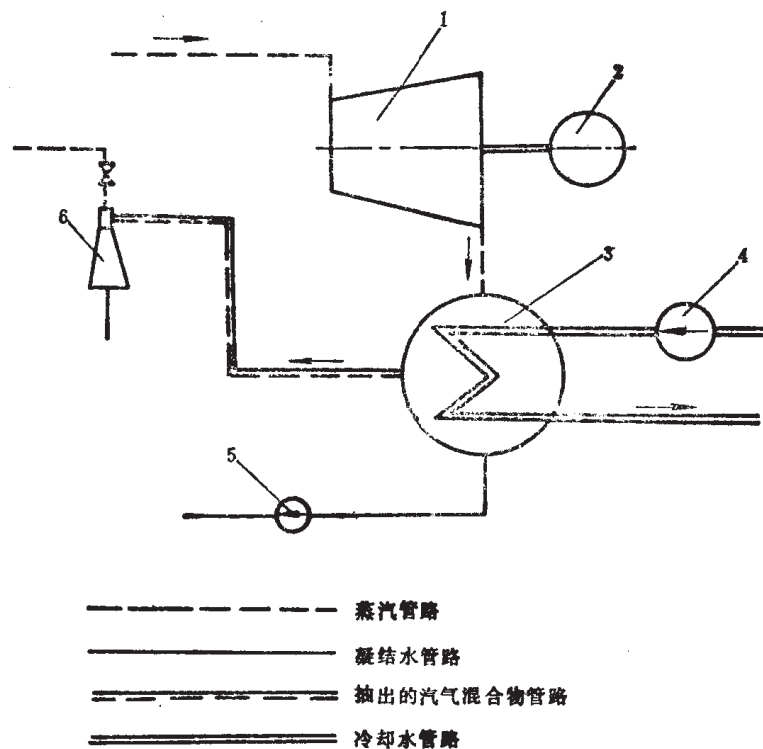


图 1-1 凝汽设备原理系统图

1—汽轮机 2—发电机 3—凝汽器 4—冷却水泵
5—凝结水泵 6—抽气器