



汽轮机辅助设备

江苏省水电局苏州电力技工学校

1.3

水利电力出版社

内 容 提 要

本书介绍火力发电厂汽轮机主要辅助设备，如凝汽器、抽气器、加热器、除氧器和水泵的作用、结构、工作原理，以及运行维护方面的知识。其中以我国高中压发电厂的机组为主，较为详细地阐述典型设备的结构和特性，并收集了无产阶级文化大革命以来我国机械制造业所生产的新型火力发电机组所配用的汽轮机辅助设备，以及广大电业工人对汽轮机辅助设备进行改造的先进技术措施，供有关同志在工作实践中参考。

汽轮机辅助设备

江苏省水电局
苏州电力技工学校

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

1975年2月北京第一版

1975年2月北京第一次印刷

印数 00001—15350册 每册 0.60元

书号 15143·3128



毛主席语录

我国人民应该有一个远大的规划，要在几十年内，努力改变我国在经济上和科学文化上的落后状况，迅速达到世界上的先进水平。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

中国应当对于人类有较大的贡献

前 言

在以毛主席为首的党中央的英明领导下，无产阶级文化大革命以来，取得了摧毁以刘少奇、林彪为首的两个资产阶级司令部的伟大胜利。波澜壮阔的批林批孔运动正向深入、普及、持久的方向发展，全国人民愤怒批判林彪反革命修正主义路线的极右实质，和反动没落阶级的意识形态孔孟之道，斗志昂扬，团结战斗。我们伟大祖国的社会主义革命和社会主义建设事业正在胜利地沿着毛主席的革命路线阔步前进。

在毛主席制订的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线和“以农业为基础、工业为主导”的发展国民经济总方针的指引下，我国汽轮机厂、水泵厂、火力发电厂的广大工人、技术人员和革命干部，发扬独立自主，自力更生的精神，研究、设计、制造了许多新产品，并对现有的汽轮机辅助设备进行了科学的改造，为保证锅炉、汽轮机做到安全、低耗、多发做出了贡献。特别是无产阶级文化大革命以来，电力设备的主机与辅机在设计制造方面有了很大的发展，先进的电力科学技术迅速地普及，从而促进了我国电力工业的发展。

为了适应电力工业的发展，我们组织编写了《汽轮机辅助设备》，由沈振飞、郑冀蓉二同志执笔，供火力发电厂汽轮机运行方面的工人及从事这方面工作的其他同志在工作和学习中参考。

在本书编写过程中，得到华东电力中心试验所、华东电力设计院、谏壁电厂、望亭电厂、下关电厂、南京热电厂、黄台电厂、南定热电厂等单位的大力支持和热情帮助，为我们提供了许多宝贵的经验和资料，对此我们表示衷心感谢。

限于我们的思想业务水平，又缺乏实践经验，书中一定存在许多不妥和错误之处，恳切希望同志们批评指正。

苏州电力技工学校

1974.5

目 录

前 言	
第一章 概 论	1
第二章 凝汽器	4
第一节 凝汽器的功用及其真空的形成	4
一、凝汽器的任务	4
二、凝汽器的主要部件及系统	5
第二节 凝汽器的类型、构造和工作原理	6
一、凝汽器的类型	6
二、表面式凝汽器的分类	8
三、凝汽器的型式和特点	11
四、凝汽器的构造	16
五、凝汽器的工作方法	24
第三节 凝汽器铜管的腐蚀及防止方法	27
一、管子的材料	27
二、凝汽器管子的腐蚀情况	28
三、铜管腐蚀原因的分析	30
四、铜管腐蚀的防止方法	32
第四节 凝汽器的热力计算	39
一、传热系数的确定	39
二、对数平均温度差的计算	41
三、热平衡方程式	42
四、凝汽器的传热面积、管子数及管子长度的确定	44
五、凝汽器热力计算的一般程序	44
六、凝汽器传热面积的简易计算	46
第五节 影响凝汽设备工作的因素和运行中的分析	49
一、冷却倍率 m 、温升 Δt 和传热端差 δt	50
二、凝汽器真空及其监视与分析	53

三、凝汽器入口冷却水温度·····	55
四、凝结水过冷却及其监视与消除·····	55
五、凝汽器的污垢·····	58
六、对凝结水质的监视·····	58
七、凝汽器的极限真空·····	59
第六节 凝汽器的防污和清洗·····	59
一、炉烟处理冷却水·····	60
二、化学清洗凝汽器·····	62
三、机械清洗凝汽器·····	62
第七节 凝汽器的检漏·····	66
一、凝汽器的故障·····	66
二、凝汽器的检漏·····	66
第八节 凝汽器的附属设备·····	69
一、抽气器的构造和原理·····	69
二、自动排汽门·····	80
三、低真空保护装置·····	82
第三章 加热器·····	85
第一节 概 述·····	85
第二节 加热器的种类、型式和构造·····	89
一、加热器的种类·····	89
二、表面式加热器的型式·····	90
三、表面式加热器的构造·····	91
第三节 加热器的保护装置·····	97
一、疏水器·····	97
二、高压加热器给水侧的自动保护·····	100
三、高压加热器蒸汽侧的自动保护·····	106
第四节 给水的回热加热系统·····	109
一、回热加热器在系统中的连接方式及经济分析·····	109
二、回热加热系统应用实例·····	113
第五节 影响回热过程经济性的因素·····	115
一、给水回热加热级数·····	115

二、理论上最有利的给水加热	117
三、实际上最经济的给水温度	120
第六节 回热加热系统的计算	122
一、回热系统的计算目的和方法	122
二、回热加热系统计算例题	124
第七节 回热加热器的运行和维护	132
第四章 除氧器	137
第一节 除氧器的作用和除氧原理	137
一、除氧器的作用	137
二、除氧原理	138
第二节 除氧器的种类和构造	139
一、除氧器的参数	139
二、除氧器的构造	141
第三节 除氧器在热力系统中的连接	149
一、除氧器的汽水连接系统	149
二、除氧器并列运行的热力系统	152
第四节 除氧器的运行和维护	154
第五节 化学除氧	158
第五章 循环水泵、给水泵和凝结水泵	160
第一节 泵的术语和性能	160
一、水泵的工作原理简述	160
二、泵的术语和特性曲线	162
第二节 循环水泵	171
一、循环水泵的型式和装置	171
二、循环水泵的容量	177
三、循环水泵的扬程	178
四、循环水泵的功率	181
五、循环水泵的构造	181
六、循环水泵的可能故障及消除措施	186

第三节 给水泵	189
一、给水泵的作用和要求	189
二、给水泵的构造	190
三、给水泵可能发生的故障及消除方法	196
第四节 凝结水泵	197
一、凝结水泵的作用和性能	197
二、凝结水泵的构造	198
三、凝结水泵的可能故障、原因及消除方法	204
四、凝结水泵的低水位运行	206
第五节 水泵的联合工作	219
一、水泵并联工作时的性能	219
二、水泵串联工作时的性能	223
第六节 水泵的调节	224
一、节流调节	224
二、变速调节	224
第七节 离心式水泵的运行和维护	225
一、离心泵的启动	225
二、运行时的维护	226
三、水泵的停止	226
附录 水泵型号介绍	227

第一章 概 论

在汽轮机发电厂的热力生产过程中，除了主要设备之一——汽轮机以外，汽轮机的各种辅助设备对发电厂的运行可靠性和经济性起着非常重要的作用。例如运行中凝汽器的铜管泄漏，会使循环水漏入汽侧污染洁净的凝结水，恶化凝结水品质，造成锅炉受热面和汽轮机通流部分的结垢、腐蚀，降低设备的使用寿命，影响机组的出力；循环水泵工作的不良或故障，会使凝汽负荷所需的循环冷却水减少或中断，造成真空恶化，迫使机组减负荷，严重时只得停止汽轮机的运行；给水泵在运行中发生了故障，如果不能正确处理和及时消除，会使锅炉的给水中断，造成不可设想的严重后果；运行人员对除氧器的调整不适当，同样会使给水的品质变差、含氧量增多，导致热力设备及管道的腐蚀和破坏；加热器在运行中不能很好的投入工作，给水只能通过旁路系统进入锅炉，这样，就会降低进入锅炉的给水温度，从而增加燃料的消耗，降低设备运行的经济性。从上述简略的分析可见，除了主机（汽轮机）以外，它的辅助设备也是热力系统中不可缺少的环节。运行中，如果辅助设备的任何一个部分发生故障，以及运行人员的操作处理错误，都会扰乱汽轮机车间的正常生产秩序和影响安全经济发供电；严重时，甚至会使电力设备遭到破坏和直接威胁到工作人员的人身安全。因此，在汽轮机工作岗位的工作人员应该努力学习马列著作和毛主席著作，不断地提高路线斗争觉悟，确立为革命而工作的观念，同时，要全面掌握汽轮机和它的辅助设备的特点及性能，克服重主轻辅的错误思想，熟悉各设备之间的互相关联和内在联系，掌握专业技术，为我们社会主义祖国的电力事业努力奋斗。

汽轮机辅助设备的种类一般包括有：

1. 为了冷凝汽轮机排汽的凝汽器和保证凝汽器正常工作的空气抽出器、自动向空排汽门和凝结水的水位自动调整器；
2. 为了提高热力系统的经济性而装设的、加热锅炉给水用的高、中、低压回热加热器；
3. 造成热力系统中工质的循环而用的各种水泵；
4. 为了补充和处理热力循环中工质所用的除氧器；
5. 为了冷却汽轮发电机用的冷却设备。

上面所述的汽轮机辅助设备，由汽水管道将它们连接起来组成热力系统，图1-1所示是国产N125-135/550/550型汽轮机凝汽

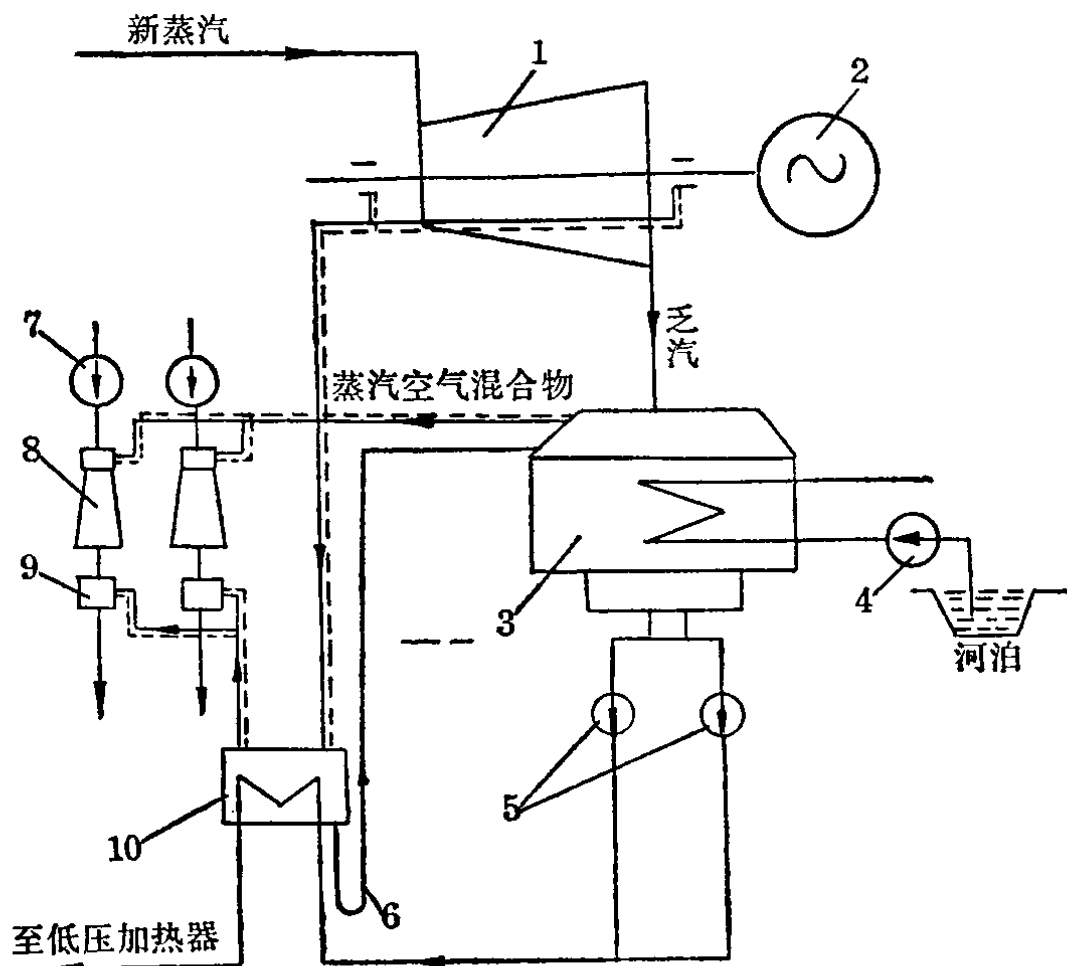


图 1-1 N125—135/550/550型汽轮机凝汽设备原则性热力系统示意图

- 1—汽轮机；2—发电机；3—凝汽器；4—循环水泵；5—凝结水泵；6—水封管；7—射水泵；8—射水抽气器；9—射水式轴封抽气器；10—轴封加热器

设备原则性热力系统示意图。

热力系统可分为以下几个主要部件：

1. 主蒸汽管道及抽汽回热加热管道系统；
2. 凝结水管道及给水管道系统；
3. 补充水管道及疏放水管道系统；
4. 冷却水管道及工业水管道系统。

此外，对于同时又向热力用户供热的热电厂，还必须装有热网加热器、热网水泵、供热抽汽管道及其保护装置等，其系统图如图1-2所示。

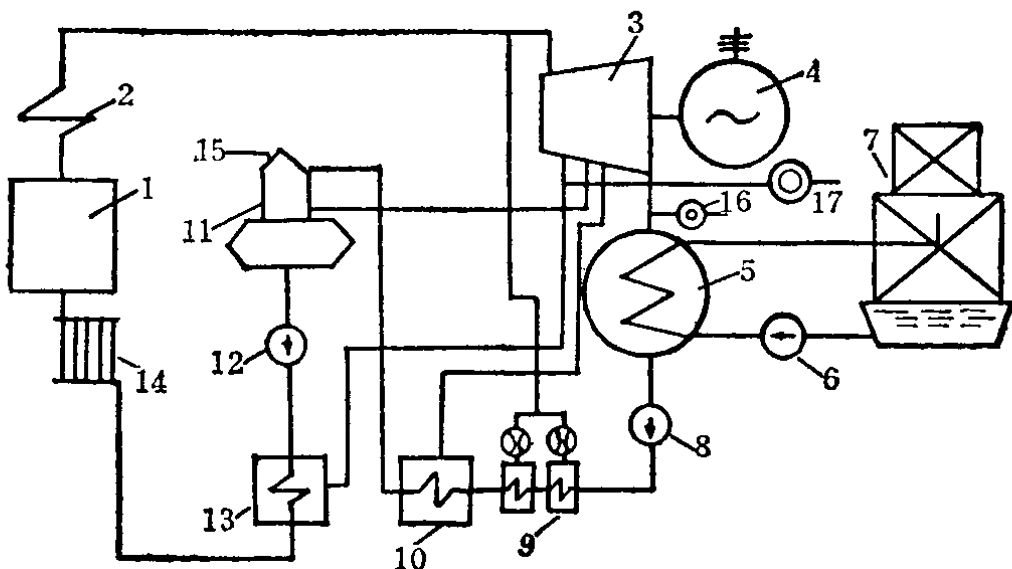


图 1-2 发电厂热力系统示意图

1—锅炉；2—过热器；3—汽轮机；4—发电机；5—凝汽器；6—循环水泵；7—冷水塔；8—凝结水泵；9—抽气器；10—低压加热器；11—除氧器；12—给水泵；13—高压加热器；14—省煤器；15—化学补充水；16—汽轮机的自动排汽门；17—热网加热器

汽轮机本体、汽轮机辅助设备和它的热力系统是汽轮机组生产过程中不可分割的统一整体。要确保机组的安全和经济的运行，汽轮机的辅助设备和热力系统的合理、完整和良好，是起着决定性意义的。因此，要正确地掌握和合理地改进汽轮机的运行和维修工作，就必须熟知这些辅助设备的原理、构造、热力系统的连接情况和它们的基本运行方式。下面我们将汽轮机辅助设备的构造和工作原理分别进行叙述和讨论。

第二章

凝汽器

第一节 凝汽器的功用及其真空的形成

一、凝汽器的任务

从蒸汽动力循环的研究中我们知道，要提高汽轮机组的循环热效率，除了提高进入汽轮机蒸汽的初参数之外，同时利用降低汽轮机终参数（排汽压力）的办法，也能提高机组的热效率。因为在蒸汽初参数不变的情况下，降低排汽的终参数，可以使蒸汽在汽轮机内作功能力增加。降低汽轮机排汽压力最有效的方法是使汽轮机的排汽凝结。

汽轮机排汽的凝结是排汽在凝汽器内受到冷却水的冷却而得到的。由于蒸汽在凝汽器内受到冷却凝结成水以后，体积骤然缩小（因为蒸汽体积在1公斤/厘米²的压力下比水的体积大1725倍，而在0.04公斤/厘米²的压力下，蒸汽比水的体积大三万多倍），压力降低而形成凝汽器内部的真空。这样就可以达到两个目的：

1. 在汽轮机的排汽口造成真空，使进入汽轮机的蒸汽在汽轮机内膨胀到最低压力，将蒸汽所含的热量尽可能多的转变为机械功，以提高汽轮机的工作效率。

2. 将汽轮机的排汽凝结成水，重新送到锅炉中去，可以获得供蒸汽锅炉给水用的纯净凝结水。

在凝汽设备中循环热效率 η_r 与背压 P_2 之间的关系示于图2-1中。由图中可以看出：在选定的蒸汽初参数35绝对大气压及435°C之下，终压从1绝对大气压降到0.1绝对大气压，使热效率从27.7%升高到35.5%。背压继续降低时，热效率 η_r 还将增长得更

猛烈些。由此可见，这一提高蒸汽动力循环经济性的方法是非常有效的。降低汽轮机排汽压力，是用冷却水将排汽冷却凝结后形成了真空来达到的。为了这个目的，除了背压式汽轮机以外，一般汽轮机都设有凝汽器。应该指出汽轮机的排汽压力并不是在任何场合下任意降低都是有利的，而是需考虑到制造成本，加工情况、整套凝汽设备的基本投资及运行费用等因素。因此在设计选择终参数 P_2 时，需要经过一系列的热力计算和技术经济的比较来确定其最有利的数值。

目前我国陆用电站汽轮机的背压通常在0.03~0.07绝对大气压；船用机组的背压在0.06~0.1绝对大气压；列车电站按0.1绝对大气压设计。

二、凝汽器的主要部件及系统

汽轮机辅助设备中的凝汽器、循环水泵、凝结水泵、抽气器与这些部件之间的连接管道和附件，以及带动泵所需的动力机械统称为凝汽设备。N125-135/550/550型机组凝汽设备的原则性热力系统示意图，如图1-1所示。

在图1-1中，来自汽轮机末级的排汽进入凝汽器3，其汽化潜热被循环水泵4输入的冷却水（经过铜管）吸收并凝结成水。凝结水泵5把凝结水抽出，送入轴封加热器10，经过冷却轴封蒸汽后至低压加热器。凝汽器中的空气由两台射水抽气器8不断抽除，轴封处的真空利用射水抽气器工作水的余速通过轴封抽气器

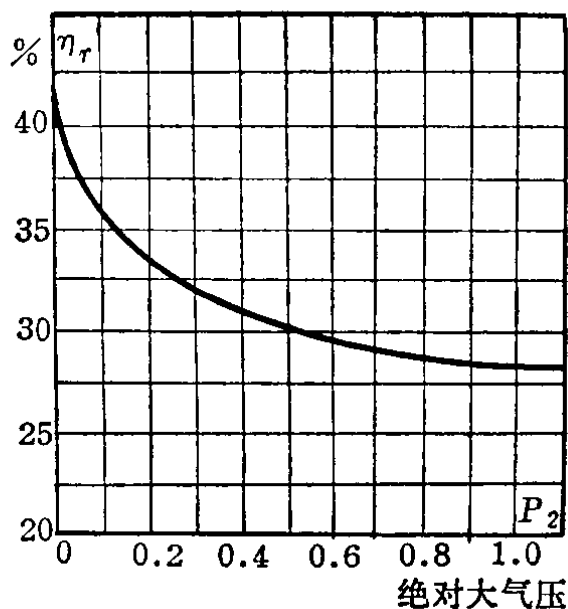


图 2-1 热效率 η_r 与背压力 P_2 的关系

初压力 $P_0 = 35$ 绝对大气压；初温
度 $t_0 = 435^\circ\text{C}$

● 本书中外文符号的下角码注，我们试采用汉语拼音字母。例如热效率 η_r ，下角码 r 就是汉语拼音“热”字的第一个字母，下同。希望读者习惯起来。

来形成和维持。轴封加热器10将轴封漏汽凝结成水疏入凝汽器中回收。

第二节 凝汽器的类型、构造和工作原理

一、凝汽器的类型

凝汽器按照汽轮机排汽凝结方式的原则性区别，可以划分为以下两类：

1. 混合式凝汽器；
2. 表面式凝汽器。

在混合式凝汽器中，蒸汽与冷却水是在直接混合下发生蒸汽凝结的。凝结水和冷却水在凝汽器中互相混合在一起，由水泵排出凝汽器。混合式凝汽器是一种出现得很早的旧式凝汽器。这种凝汽器的优点是构造简单、制造成本低、形成和保持真空的能力也不差、冷却水量的消耗较少、运行又很方便。然而由于它有丢失纯净凝结水的重大缺陷，因此这种凝汽器现在一般已很少生产，而被表面式凝汽器所替代了。装有混合式凝汽器的发电厂，如在缺水地区，为适应电力发展的需要可考虑对混合式凝汽系统进行改革。图 2-2 所示系统是在进行这项改革时所采用的系统。锅炉 1 产生的蒸汽经主蒸汽管道送到汽轮机 2。汽轮机的排汽进入混合式凝汽器 4，由水轮机 8 输入经过冷却的凝结水进入喷水管与汽轮机排汽进行混合。温度较低的凝结水同排汽混合以后，排汽受到冷却而凝结成水，循环水泵 5 把凝结水打到空气冷却器 7 中，由自然界的空气把凝结水的热量带走使凝结水冷却。经过冷却的凝结水进入水轮机的水室，其中一部分凝结水再输入混合式凝汽器的喷水管，另一部凝结水则由与水轮机同轴传动的给水泵 6 输送到锅炉。

这种用空气冷却凝汽系统的特点，是应用凝结水作为混合式凝汽器的冷却水，因此它可以弥补丢失纯净凝结水的缺陷，也保留了旧混合式凝汽器的优点。但由于凝结水的冷却是应用了自然

界的空气为介质，因而冷却效果较差，使凝汽器内形成和保持的真空不够理想。因此，只有在少数缺水地区才考虑应用这种空气冷却的凝汽系统。

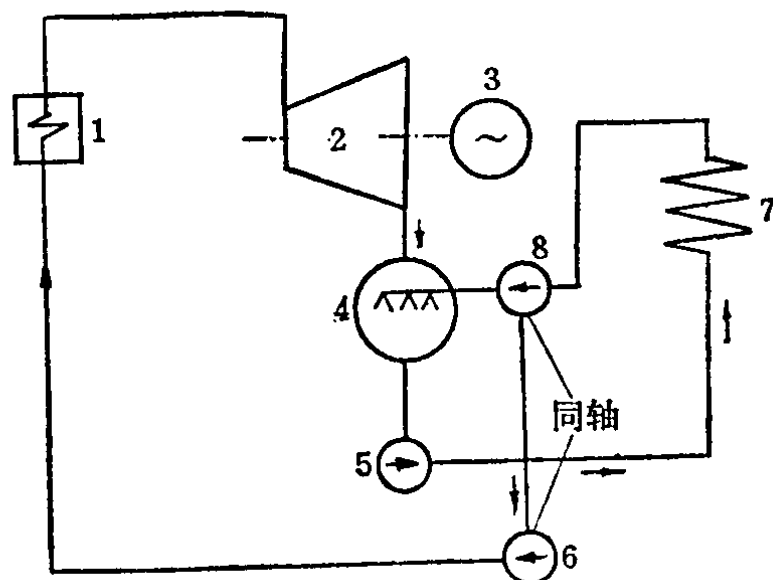


图 2-2 空气冷却凝汽系统简图

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—混合式凝汽器；5—循环水泵；6—给水泵；7—空气冷却器；8—水轮机

在表面式凝汽器中，汽轮机的排汽同管子的外表面接触，管子内有流过的冷却水来带走排汽传给管表面的热量，排汽受到冷却凝结成水。这种类型的凝汽器，在保持纯净的、并且几乎不含氧气的凝结水的条件下，能够保证达到高度的真空。这样，表面式凝汽器完成了现代凝汽器的双重任务，即保持纯净的凝结水和保证高度真空。因而，在现代火力发电厂里大功率机组几乎都采用表面式凝汽器。图2-3所示的是表面式凝汽器的典型构造简图。

图2-3所示的凝汽器是由外壳1、管子5及水室15、16、17等所构成的。外壳通常是圆柱形、椭圆柱形或方箱形，其上有形成水室的特殊端盖2及3，在这些端盖和外壳之间固装着有孔的管板4，在管板的孔中则装有数目很多的冷却水管5，冷却水管通常集聚成簇并且占满外壳内部容积的绝大部分。这些冷却水管通常采用铜管，由铜管的管壁将排汽与冷却水隔开，冷却水在管内流过，并吸收管外的蒸汽热量，使排汽冷却凝结成水。这种凝汽器的内部

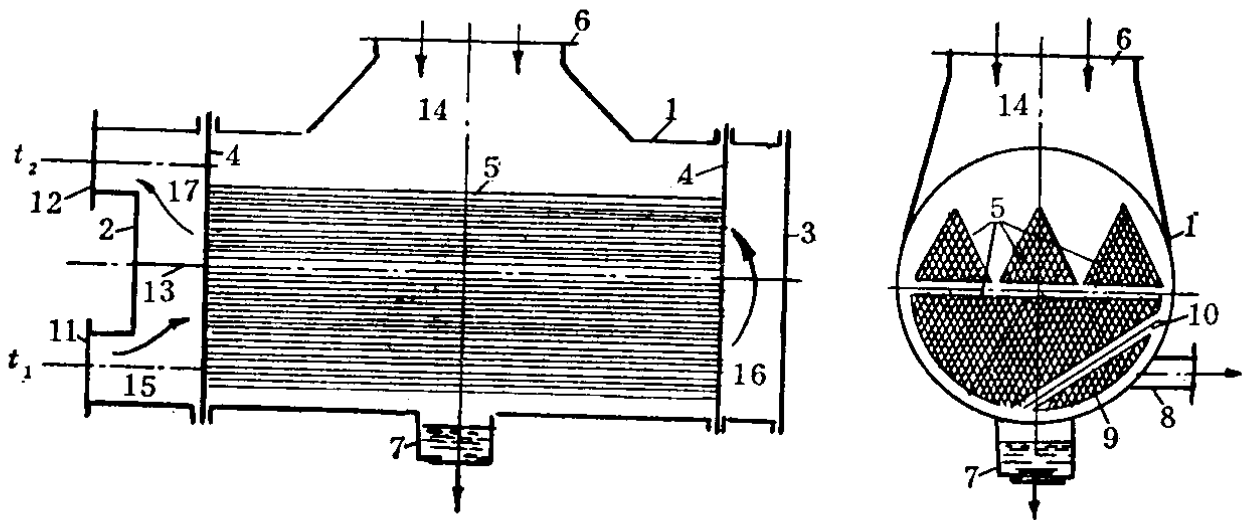


图 2-3 表面式凝汽器的构造简图

1—凝汽器的外壳；2、3—水室的端盖；4—管板；5—冷却水管；6—乏汽进口；7—热水井；8—抽除空气的管口；9—空气冷却区；10—凝汽器汽空间隔板；11—冷却水进口；12—冷却水出口；13—水室中的隔板；14—汽空间；15、16、17—水室

空间被铜管分隔成两个部分：一部分是蒸汽空间；另一部分是水空间。蒸汽和冷却水在凝汽器内不直接接触，因此由蒸汽冷凝成的凝结水非常纯净，可以作为锅炉的给水。这种凝汽器的真空度一般达到95~97%。为了使表面式凝汽器达到较高的真空度，要求管子与凝汽器管板的连接以及外壳的接缝等必须保持高度的严密性。否则外界空气漏入凝汽器，就会使真空降低，同时使凝结水的质量受到影响。铜管装在凝汽器的管板4上，管板4固定在外壳1上，铜管两端开口，并和水室15、16、17相通。水室上装有端盖3，冷却水由水室15经过水室16、17排出凝汽器。汽轮机的排汽在铜管外面通过，放出热量而凝结成水，向下流入热水井7中，然后由凝结水泵抽出。图2-4所示的是最简单的凝汽设备的原则性示意图，其工作情况已在上面介绍，这里不重复。

二、表面式凝汽器的分类

1. 按冷却水行程，表面式凝汽器可分为：（1）单流程；（2）双流程；（3）三流程及多流程。所谓单流程凝汽器，就是冷却水在凝汽器铜管内，只流过一个单程就排出凝汽器，不再返回（如图2-5）。而双流程凝汽器就是冷却水在铜管内经过一

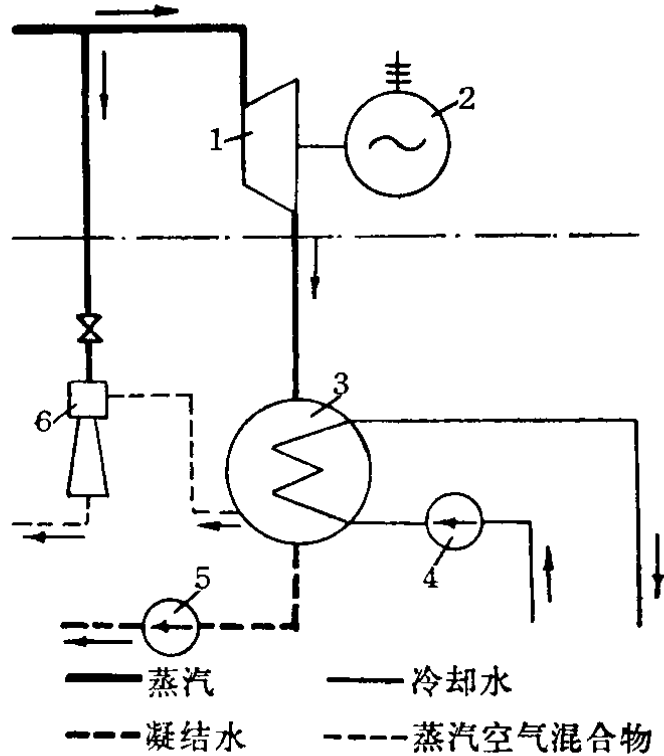


图 2-4 最简单的凝汽设备的原则性示意图

1—汽轮机；2—发电机；3—凝汽器；4—循环水泵；5—凝结水泵；
6—射汽抽气器

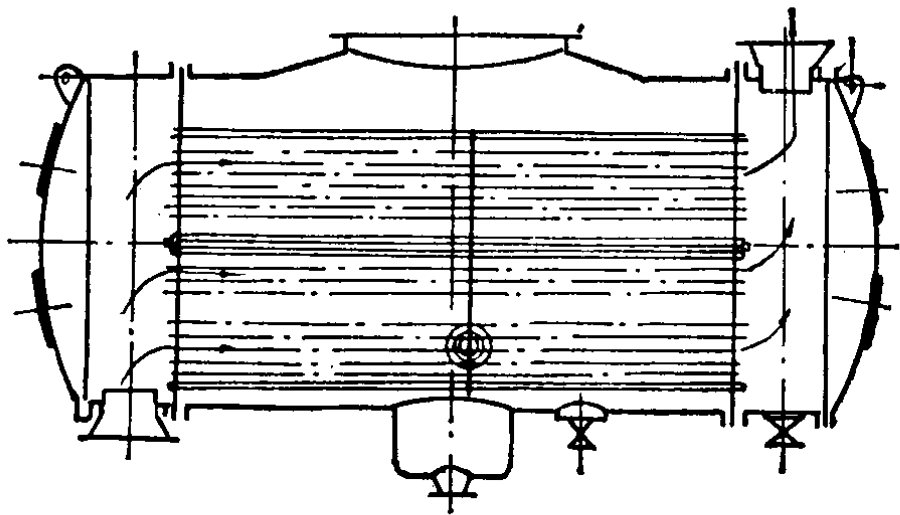


图 2-5 单流程凝汽器

个往返再排出凝汽器（如图 2-6）。其他三流程及四流程等则依此类推。

2. 按垂直隔板分：（1）单一制——中间无垂直隔板；（2）对分制——中间有垂直隔板。对分制凝汽器如图 2-7 所示，这种