



大型直接空冷汽轮机组 运行与维护技术

主 编 郝春林
副主编 冯 奎 田亚钊



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

大型直接空冷汽轮机组 运行与维护技术

主 编 郝春林

副主编 冯 奎 田亚钊



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以国内投产的首台 600MW 级直接空冷汽轮机组的运行经验为基础编写,共分为九章。简要介绍了空冷汽轮机组的应用和发展,对直接空冷凝汽器设备原理、电气配置及热控逻辑等进行了详细阐述,对直接空冷汽轮机组的调试及主要试验、机组的启停及运行维护、异常及处理、经济运行进行了较为详细的论述、总结和探讨。

本书主要供从事直接空冷汽轮机组运行维护工作的专业技术人员及运行值班人员参考,也可作为电力职业培训学校相关专业的培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

大型直接空冷汽轮机组运行与维护技术/郝春林主编.
—北京:中国电力出版社,2014.7

ISBN 978-7-5123-5626-9

I. ①大… II. ①郝… III. ①空冷机组-汽轮机组-运行②空
冷机组-汽轮机组-维修 IV. ①TK26

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 041339 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 7 月第一版 2014 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11 印张 190 千字

印数 0001—3000 册 定价 38.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《大型直接空冷汽轮机组运行与维护技术》

编 委 会

名誉主任 刘润来

主 任 王志成

副 主 任 郝春林 陈 忠 李建荣

编 委 陈宝菲 高广福 冯 奎 田亚钊 杨德军

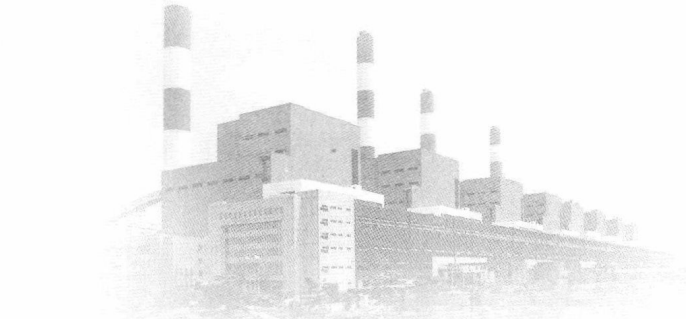
主 编 郝春林

副 主 编 冯 奎 田亚钊

编写人员 高广福 杨德军 张亚飞 李兴军 王立军

田 营 刘 江 段双江 许云龙 武建军

王 强



前 言

随着社会生产力的发展和人民生活水平的提高,各行各业需要越来越多的电力供应,对发电设备的可靠性要求也越来越高,建设大容量火电厂是满足上述要求的重要途径。我国煤炭资源丰富,但水资源日益匮乏,因此发展火电厂空冷汽轮机组在缺水地区具有广阔的市场空间。目前北方缺水地区新建的大型火力发电厂大多采用空冷汽轮机组。

我国第一台 200MW 级间接空冷汽轮机组已投运了 20 多年,第一台 600MW 直接空冷汽轮机组也已在 2005 年投入运行。据不完全统计,截至 2013 年底,我国只有 69 台 600MW 及以上大型直接空冷机组在运。随着我国电力事业的发展,将来还会有越来越多的大型直接空冷汽轮机组投入运行。

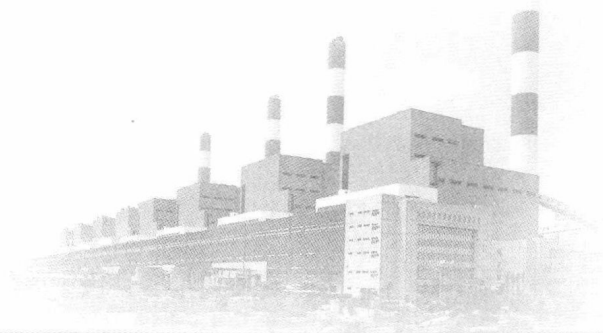
为了帮助从事直接空冷汽轮机组运行与维护相关工作的人员学习和掌握大型直接空冷汽轮发电机组的运行特点,掌握运行维护的基本要领,在中国电力出版社的支持和帮助下,编者于 2012 年 4 月 5 日启动编撰工作。在编撰过程中,编写人员总结提炼了机组投运以来的运行经验,结合案例广泛深入地进行分析,以发电厂运行技术及工作经验为依据,以实用为主要目的,编写了本书。

本书共分为九章,第一章由田亚钊编写;第二章、第四章由李兴军、张亚飞编写;第三章由高广福、王立军编写;第五章由武建军编写;第六章由刘江、段双江编写;第七章由许云龙编写;第八章由杨德军编写;第九章由田营、王强编写;全书由郝春林通读并整理。

限于编者水平和认识程度,本书难免存在疏漏和欠缺之处,恳请广大读者和专家批评指正。

编 者

2014 年 4 月



目 录

前言

第一章 空冷机组的应用和发展	1
第一节 空冷系统的应用	1
第二节 直接空冷机组在国内外的的发展	1
第三节 直接空冷机组的特点	3
第四节 直接空冷机组对汽轮机及旁路系统的配套要求	4
第五节 大型直接空冷机组热电联产改造及发展	7
第二章 直接空冷机组原理及其组成	9
第一节 直接空冷系统的原理	9
第二节 直接空冷凝汽器	10
第三节 直接空冷凝汽器系统的主要设备	17
第四节 尖峰冷却系统	26
第五节 直接空冷机组电气设备及系统	28
第三章 直接空冷机组的控制	32
第一节 空冷系统的热工测点及其选型	32
第二节 空冷系统的控制原理	44
第三节 空冷控制系统的热工自动调节	48
第四节 空冷控制系统的热工保护与连锁	56
第五节 直接空冷机组的控制优化	59
第四章 直接空冷机组的调整及试验	77
第一节 空冷凝汽器热态冲洗	77
第二节 空冷凝汽器气密性试验	83
第五章 直接空冷机组的启动	85
第一节 汽轮机启动	85

第二节 直接空冷机组冬季启动.....	102
第六章 直接空冷机组的运行和维护.....	105
第一节 正常运行调整的任务.....	105
第二节 真空严密性试验.....	108
第三节 直接空冷凝汽器漏风的检查维护.....	109
第四节 空冷机组漏真空的危害及其维护要求.....	110
第五节 凝汽器散热面的维护.....	113
第六节 空冷凝汽器冷却风机的维护.....	117
第七节 直接空冷凝汽器的冬季防冻.....	119
第八节 供热期间机组的运行和维护.....	121
第七章 直接空冷机组的停运.....	124
第一节 直接空冷机组停运.....	124
第二节 直接空冷机组停运后的保养.....	130
第八章 直接空冷系统、设备的异常及处理.....	133
第一节 真空泵故障、出力降低的现象及处理.....	133
第二节 空冷风机故障的现象及其处理.....	137
第三节 漏真空的现象及其处理.....	141
第四节 冬季空冷凝汽器部分冻结的现象及处理.....	144
第五节 凝结水溶氧高的原因及处理.....	147
第六节 凝结水箱水位异常的原因及处理.....	149
第七节 直接空冷机组背压升高的原因及其处理.....	150
第九章 直接空冷系统的经济性运行.....	156
第一节 春秋季节期间的经济性运行.....	156
第二节 冬季期间的经济性运行.....	159
第三节 夏季期间的经济性运行.....	163
参考文献.....	169



空冷机组的应用和发展

第一节 空冷系统的应用

电厂汽轮机乏汽空冷技术的应用早在 20 世纪 30 年代末就已经出现,经历了由小到大,由不成熟到成熟的过程。山西是我国空冷技术应用最早的省份,20 世纪 80 年代末,我国从匈牙利引进了 $2 \times 200\text{MW}$ 混合式凝汽器间接空冷(海勒)系统,分别于 1987 年和 1988 年在大同第二发电厂 5、6 号机组投运。经过对引进技术的消化和吸收,我国又制造了 4 台同类型空冷机组,分别于 1992~1994 年在内蒙古丰镇电厂投入运行。1992~1994 年,带表面式凝汽器及自然通风型冷却塔的哈蒙式间接空冷系统在太原第二热电厂相继投运。

200MW 级和 300MW 级直接空冷机组分别在 2003 年和 2004 年相继投运。600MW 级空冷机组也于 2005 年投产,为我国大型空冷机组今后的发展积累了大量宝贵经验。目前我国已成为世界上空冷机组制造和使用最多的国家之一,电厂采用空冷技术比传统的湿冷技术节水 80% 以上,节水效果十分明显,空冷机组已在我国北方广大的缺水地区广泛投入使用。

第二节 直接空冷机组在国内外的的发展

空冷技术的发展经历了成长阶段、发展阶段、成熟阶段三个主要阶段。

一、成长阶段

该阶段以小容量直接空冷和间接空冷并存为特征。1939 年,德国鲁尔煤矿 1.5MW 汽轮机首先采用直接空气冷却凝汽器系统,称为“GEA”系统,成为世界上第一个直接空冷电站。20 世纪 50 年代,卢森堡再德堡格钢厂自备电厂 13MW 机组和意大利罗马电厂的 36MW 机组也分别投运了直接空冷系统。1962 年,英国拉



格莱 (Rugeley) 电厂 120MW 机组采用了间接空冷系统, 配备了喷射式凝汽器及自然通风型冷却塔系统, 即海勒系统。1968 年, 西班牙乌特里拉斯 (Utrillas) 160MW 坑口电厂投运了尖屋顶式布置的机械通风型直接空冷系统。

二、发展阶段

该阶段形成了直接与间接空冷并存的局面。1971 年, 前苏联 (现亚美尼亚) 拉兹丹 (Razdan) 电厂 210MW 机组、匈牙利加加林 (Gyongyos) 电厂 210MW 机组以及南非鲁特福来 (Grootvlei) 电厂 210MW 机组, 都应用了间接混合式空冷系统。1977 年, 美国沃伊达克 (Wyodak) 矿区电厂 330MW 机组采用了机械通风型直接空冷系统。

三、成熟阶段

该阶段空冷技术得到进一步发展, 表现为直接空冷和表面式间接空冷并存。1985 年, 德国施梅豪森 (Schmehausen) 核电站 300MW 机组采用了表面式凝汽器自然通风冷却塔的间接空冷系统, 以及南非马丁巴 (Matimba) 电厂的 665MW 机组 (直接空冷系统) 和肯达尔 (Kendal) 电厂的 686MW 机组 (表面式凝汽器的间接空冷系统) 的成功投运, 标志着空冷技术进入成熟阶段。

进入 21 世纪, 随着科技进步及对空冷机组技术研究深入, 空冷机组设计和运行技术不断完善, 高参数、大容量机组得到进一步发展和应用。

目前国内应用的三种基本空冷系统规范的名称分别为: 带喷射 (混合) 式凝汽器及自然通风型冷却塔系统 (简称为海勒式间冷, 最早应用于山西大同第二发电厂 200MW 级 5、6 号机组), 带表面式凝汽器及自然通风型冷却塔系统 (简称哈蒙式间冷, 最早配套于山西太原第二热电厂 200MW 级汽轮发电机组), 以及机械通风式空气冷却系统 (简称直接空冷系统, 山西大同大唐云冈热电 200MW 机组是国内首次电站应用)。前两种系统统称为间接空冷系统。

三种空气冷却方式的成功应用, 表明空冷系统在技术上是成熟的, 运行上是可靠的, 值得大力推进和发展。目前最大的机械通风式直接空冷机组为 665MW, 最大的表面式凝汽器的间接空冷机组为 686MW, 最大的混合式凝汽器的间接空冷机组为 300MW。近年我国大规模发展直接空冷系统, 装机总容量已高于间接空冷机组。

2012 年 3 月 12 日, 德国 GEA 集团与山东信发集团就 $4 \times 1100\text{MW}$ 超超临界直



接空冷系统合作项目已在北京成功签约。

第三节 直接空冷机组的特点

直接空冷机组运行的显著特点是背压高，变幅大，变化频繁。为了适应这种特点，必须对汽轮机采用新的先进技术和方法进行优化设计，例如优选末级叶片，采用短而粗的新线型末级叶片，优化高、中、低压通流部分，处理好轴系稳定性、安全自动保护等问题。

一、直接空冷机组的特点

(1) 采用落地式轴承座。直接空冷机组因背压高且变化幅度大，其低压缸的零部件受温度变化影响大，机组运行时，排汽温度、汽缸的刚度、凝汽器的真空度、排汽管道的胀缩都会发生变化，如果轴承座采用座缸式，轴承的标高和负荷都会随之变化，轴系工作条件将恶化，严重时会引起机组摩擦振动。落地式轴承座有足够的支持刚度且不受机组工况和汽缸承受载荷变化的影响，运行时轴承座标高能保持基本不变，有利于提高轴系稳定性和减少不平衡力的影响，同时安装检修时轴系中心易于校正。

(2) 选用加强型末级叶片。由于直接空冷机组高背压运行时间较长，背压频繁变化且幅度较大，末级叶片须采用大刚度、小动应力、加强型叶片，采用自带围带整圈连接型式。它比相应冷凝机组叶片的宽度增大，强度性能增强，刚性增大，也称之为加强型叶片。

(3) 排汽缸加装减温喷水装置。为防止在空负荷及初负荷情况下排汽缸过热，在末级出口处的扩压导流环上，应设有一组减温水喷头。

(4) 自然条件下的风向和风速对机组的背压影响比较大，背压波动大影响机组安全运行。必须考虑厂房布置及大风流向的影响，为了尽量减少环境大风对空冷机组的影响，空冷凝汽器一般布置在季主导风向的上风向，避免受到夏季不利风向的影响。

(5) 直接空冷系统与间接空冷机组相比，设备少，系统简单，基建投资较少，占地少，空气量调节灵活。缺点是运行时粗大的排汽管密封困难，维持排汽管内的真空困难，启动时形成真空需要的时间较长。

二、直接空冷汽轮机运行特点

(1) 机组全年运行背压范围大。运行背压范围从冬季的 6kPa, 到夏季的 40kPa 以上。

(2) 机组运行性能受环境影响大。冬季为了防冻在极严寒天气, 需人为提高机组背压, 影响机组效率; 夏季环境温度高、背压高, 影响机组出力。

(3) 机组运行背压高, 经济性低。通常直接空冷机组背压是湿冷机组的 2 倍以上, 夏季会更高。

(4) 直接空冷机组运行中随着环境温度的升高, 机组背压升高, 凝结水温度将升高, 凝结水精处理要退出运行, 影响给水质量。

(5) 直接空冷机组真空系统容积庞大, 真空严密性不易保证且查漏困难。不但影响机组真空、凝结水溶氧、凝结水过冷度等性能指标, 而且严重影响空冷凝汽器的防冻性能。

第四节 直接空冷机组对汽轮机及旁路系统的配套要求

直接空冷机组对旁路设置的可靠性要求非常高。旁路装置的主要功能应能满足机组在冷态、温态、热态、极热态启动和停机时的多种工况要求。

直接空冷机组旁路系统一般设置为高压和低压旁路相串联的, 称为二级串联旁路系统。旁路容量一般选取高压旁路进口蒸汽量为锅炉最大连续出力的 40%, 低压旁路进口蒸汽量为高压旁路进口蒸汽量加上高压旁路减温水量。机组在冬季冷态启动时, 高低压旁路阀的容量应能满足空冷凝汽器设计的最小防冻要求蒸汽量, 并留有至少 10% 的阀门开度裕量。

一、机组启动时旁路的作用

(1) 加快锅炉蒸汽参数的提升, 缩短机组启动时间, 防止冬季空冷凝汽器冻坏。

(2) 回收工质, 减少锅炉 PCV 阀和安全阀的动作次数, 减少对空排放, 改善对环境的噪声污染。

(3) 使锅炉再热器得到足够的冷却蒸汽, 避免再热器管道干烧超温。

(4) 控制锅炉蒸汽参数, 与汽轮机汽缸及转子允许金属温度相匹配, 减少热应力, 缩短机组启动时间, 降低汽轮机寿命损耗。



- (5) 能实现机组的最佳启动。
- (6) 机组正常运行时具有监视跟踪功能。

二、机组停机时旁路的作用

(1) 旁路配合停机可减少放空排放，回收工质，减少热应力，提高机组寿命。当汽轮机负荷低于锅炉最低稳燃负荷时，通过旁路装置维持锅炉在最低稳燃负荷以上运行，可以减少锅炉稳燃投油，提高机组经济性。

(2) 冬季运行，当汽轮机排汽流量低于空冷凝汽器要求的最小流量时，通过旁路装置增加进入空冷凝汽器的蒸汽流量，以保证空冷凝汽器不发生冻堵，保证空冷凝汽器安全。

三、旁路装置的功能

(1) 锅炉超压时旁路开启，能减少 PCV 阀和安全阀起跳，并按照机组主蒸汽压力进行自动调节，直至恢复正常。

(2) 机组甩负荷或停机，旁路应快速开启，以配合锅炉降负荷，并使锅炉在不投油稳燃负荷下做短期运行而不停炉（一般锅炉最低不投油稳燃负荷为 30% 锅炉最大蒸发量）。

(3) 在启动和甩负荷时，应保护布置在烟温较高区域的再热器，以防烧损。

(4) 旁路装置性能应满足机组在各种工况下（包括启动、正常运行、甩负荷）都能自动或手动（遥控操作）启停。

(5) 高压和低压旁路阀应分别采用快速和常速装置，使旁路具有快开/关和常速开/关的功能，快速时间应小于或等于 3s，常速时间小于 20s。

(6) 旁路装置应具备下列保护功能。

- 1) 高压旁路对新蒸汽管系的超压保护功能。
- 2) 低压旁路对再热蒸汽管系的超压保护功能。
- 3) 低压旁路对凝汽器的安全保护功能。

(7) 旁路控制系统的功能应满足工艺系统的控制要求。

(8) 旁路应能适应机组定压运行和滑压运行两种方式。

四、旁路系统性能要求

旁路蒸汽控制阀门关闭应严密且无泄漏，阀芯及阀座应耐磨、耐冲刷并便于拆

装和研磨，阀座泄漏等级应达到 ANSI B16 104 的 V 级要求。

旁路装置应满足机组在各种工况下（包括启动和正常运行），能自动或手动（遥控操作）投入运行。

旁路装置的自动控制系统能准确控制高、低压旁路蒸汽控制阀的开度，能保证主蒸汽、再热蒸汽的运行参数压力在机组控制范围之内。

高、低压旁路蒸汽控制阀在其调节范围内，应平稳、准确地按机组调节要求动作（在其调节范围之外，机组调节控制协调通过其他手段控制蒸汽参数）。

旁路装置的自动控制系统能可靠控制高、低压旁路减温水量，保证通过高、低压蒸汽控制阀后蒸汽温度在机组控制参数范围之内。喷水量和喷水时间应协调一致，尽量减轻阀门和管道的温度变化，延长阀门、管道的运行寿命。

旁路喷水控制阀在任何负荷条件下均应喷水均匀，雾化良好，不得有蒸汽控制阀后超温和带水现象发生。旁路喷水控制阀执行机构的开启速度应与旁路蒸汽控制阀的开启速度相协调，开启速度应高于蒸汽控制阀，保证喷水量准确、同步。

旁路蒸汽控制阀在减温水压力不够、喷水量不足、喷水阀故障打不开时应拒绝开启或迅速关闭，以防止阀后温度超限。同时高、低压旁路控制阀在旁路蒸汽控制阀开度的 4%~100% 的流量条件下，均应具有良好的喷水雾化效果。

旁路装置正在动作中，控制源（气动或液压）突然中断，此时各阀应能停止在中断控制源前的位置；控制源恢复时，各阀门应能在原位置的基础上进行正常调节。同时要求执行机构调节区域广且灵敏度高。

五、对旁路系统的寿命要求

汽轮发电机组的寿命一般设计不低于 30 年，年运行小时数不低于 7600h，旁路系统设备的寿命应与汽轮发电机组同步。汽轮发电机组的大修周期为 5 年，小修周期为 1 年，旁路系统设备的大修周期应与机组同步。

旁路系统设备的易损件使用寿命应与机组检修周期一致，同时旁路装置在设计参数运行时对噪声有明确要求：高压旁路噪声不得超过 85dB（A）（距装置 1m 处的空间范围内）；低压旁路（与排汽管道连接后）噪声不得超过 90dB（A）（距装置 1m 处的空间范围内）。

对于低压旁路还有防止振动的要求，应保证低压旁路运行时产生的振动不会对排汽管道及其相连的管道和设备造成损坏。低压旁路装置同时应有足够的降压级数和消能装置，以降低汽流速度、防止产生振动和噪声。



第五节 大型直接空冷机组热电联产改造及发展

随着社会经济的飞速发展，工业化生产所带来的环境污染问题也日益严重，“节能环保”受到越来越多的关注。热电联产电站在发电的基础上增加供热职能，能够节约能源、改善环境、提高供热质量，是城市治理大气污染和提高综合利用的必要手段之一。热电联产机组是提高人民生活质量的公益性基础设施，符合国家产业政策可持续发展的要求。

一、大型纯凝式直接空冷机组供热改造

对纯凝式直接空冷机组而言，供热改造必须保证冬天空冷凝汽器防冻的最小蒸汽流量要求，保证改造后汽轮机组能在各种纯凝汽式和各种供热工况下安全稳定运行。

由于纯凝式空冷机组供热改造时受机组基础、通流、回热系统管道等因素限制，要在保持原结构、基础、系统不变的前提下，增加供热系统。机组改造后对汽轮机叶片的安全性不能产生影响，保证汽轮机转子轴向推力不能改变。改造后还要保证机组安全可靠运行，所有辅助设备能满足供热运行要求。根据现场场地情况，设计抽汽管道及阀门安装。大部分机组均采用低压导汽管取汽的方式，低压导汽管及抽汽管道应便于检修拆装，设置必要的法兰连接点和吊装点，选择的补偿器必须保证管路对汽轮机本体的作用力较小且能保证汽轮机安全运行。

对于纯凝式直接空冷机组，供热改造必须在保障机组安全运行的基础上论证以下基本安全问题：

(1) 机组甩电负荷时的安全性。为防止机组甩电负荷时供热抽汽管道中的蒸汽倒灌入汽轮机内引起超速事故，应采用合理速关装置，并将机组甩负荷信号联动关断阀与抽汽止回阀快关，以阻止机组超速。

(2) 机组甩热负荷时的安全性。机组甩热负荷时的可靠性指维持锅炉工况不变，将供热工况快速、可靠地转变为机组纯凝汽工况。

(3) 空冷凝汽器的防冻要求。应考虑当地极端低温时机组在最大抽汽量下进入空冷凝汽器的最小排汽热量和进入空冷凝汽器的最低排汽热量，须经过充分计算后得出。

(4) 中压转子末级叶片在抽汽工况下的安全性。为防止机组供热抽汽后中压缸

排汽压力降低导致末级叶片前后弯应力增大，应在低压导汽管后加装调节蝶阀，用于调整中压缸排汽压力。

(5) 供热改造后对机组通流部分的安全性要求。主要论证纯凝机组供热改造后，供热的抽汽对汽轮发电机组轴向推力的影响，且不同的机组型式影响略有不同。

(6) 供热改造后抽汽对低压缸效率影响程度。低压缸效率应在考虑加装蝶阀及更换部分导流板为后中压缸效率普遍有下降趋势的情况下，进行全面的经济性论证。

(7) 汽轮机组供热改造后电负荷及供热抽汽的热负荷控制应采取热定电方式。

二、电厂余热余压能源的综合利用的必要性

1. 国家政策

电力工业是一次能源的消费大户，节约能源、保护环境是电力工业发展的永恒主题，电力工业要以优化能源利用、提高能源产出率、降低环境污染为重点。在国家《节能中长期专项规划》中，把建筑物节能和余热余压利用作为节能的重点领域和重点工程。余热余压及其他余能的利用是企业节能降耗、降低生产成本的有效途径，其具有取材便利、投资低廉、效果显著的特点。

2. 电厂余热余压能源综合利用的需要

电厂汽轮机乏汽余热属于低品位热源，乏汽余热排放，是我国乃至世界普遍存在的问题，是浪费也是无奈。热泵技术可回收利用电厂余热，能有效地降低电力企业生产能耗。其具有高效节能环保的特性，已经引起国家和地方政府的高度重视，并出台了一系列法律法规和具体政策以促进其发展。随着热泵技术的日趋成熟和快速发展，特别是大型热泵在电厂投入运行，使得电厂乏汽余热回收成为可能，且能效系数（COP）可保持较高水平，无疑为推广余热热能回收利用提供了可靠的技术保证。



直接空冷机组原理及其组成

第一节 直接空冷系统的原理

直接空冷系统是指汽轮机内做完功的蒸汽直接用空气冷凝的冷却系统。通过机械通风方式,使冷却空气与蒸汽间进行热交换,蒸汽凝结成水同时产生高度真空。直接空冷的凝汽设备称为空冷凝汽器。

600MW 机组直接空冷系统的工作流程为:从汽轮机低压缸排出的乏汽,经由 2 根直径为 6000mm 的排汽管道引出厂房外,垂直上升到 34m 高度后再进入 8 根直径为 2800mm 的蒸汽分配管,分配管将乏汽引入空冷凝汽器顶部的配汽联箱。每组配汽联箱与 7 个冷却单元相连接,每个冷却单元由 10 组冷却翅片管束和 1 台直径为 8.89m 的轴流式风机组成。10 组翅片管束以接近 60° 角组成等腰三角形“A”型结构,“A”型结构两侧分别有 5 组管束,长度为 10m。当乏汽通过联箱流经凝汽器的翅片管束时,冷空气被轴流风机吸入,在翅片管的外部进行表面换热,将乏汽的热量带走,从而使排汽凝结为水。凝结水由凝结水管收集起来,排至凝结水箱,由凝结水泵升压,送往汽轮机的热力系统,完成热力循环。直接空冷系统如图 2-1 所示。

直接空冷系统由汽轮机排汽装置出口至凝结水泵入口范围内的设备和管道组成。主要包括:汽轮机排汽管道和膨胀节、蒸汽分配管及空冷凝汽器管束、凝结水系统、抽空气系统、疏水系统、空气供应系统、钢构架组成的空冷平台、自控系统及仪表、各种管制件、系统保护设备及清洗系统。其中排汽管道、空

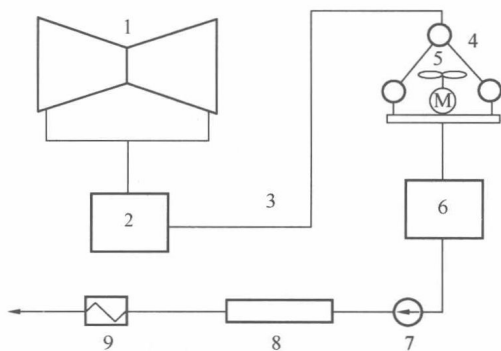


图 2-1 直接空冷系统

- 1—汽轮机; 2—排汽装置; 3—汽轮机排汽管道;
4—空冷凝汽器; 5—轴流风机; 6—凝结水箱;
7—凝结水泵; 8—精处理装置; 9—低压加热器



冷凝汽器管束、风机、抽真空设备非常重要，直接关系到直接空冷系统运行的经济性和安全性。自控系统、仪表以及保护设备直接影响空冷系统的自动化程度及安全经济运行性能。同类型机组的性能参数见表 2-1。

表 2-1 600MW 直接空冷系统性能参数

项目	单位	公司 A (SPX)	公司 B (HAMON)	公司 C (GEA)	公司 D (GEA)	公司 E
设计环境温度	℃	32	33	32	30	30
背压 (TRL)	kPa	29.5	30	30	29.2	30
排汽量	t/h	1308	1321	1279.89	1331.3	1271.76
散热面积	m ²	1 648 476	1 533 648	1 838 218	1 531 849	1 630 697
迎风面质量风速	kg/(m ² · s)	2.18	2.3	1.6	2.0	2.169
风机台数	台	64	64	56	56	56
风机耗功	kW	4626	4448	2963	4485.6	3920
风机直径	m	9.144	9.754	9.150	8.91	9.754
过冷度	℃	1	1.2	0.7		

第二节 直接空冷凝汽器

直接空冷凝汽器作为汽轮发电机组的一部分，作用是把汽轮机排出的乏汽凝结成水，把凝结水回收作为锅炉的补给水，与真空抽气装置一起维持汽轮机排汽缸和凝汽器内的真空。

在直接空冷凝汽器中，汽轮机排出的蒸汽在装有翅片管束的椭圆形或扁形管内流动，冷空气在翅片管外对蒸汽直接冷却。

一、空冷凝汽器的分类

(一) 按结构型式划分

直接空冷凝汽器有顺流式、逆流式、顺逆流联合式三种结构。

1. 顺流式

汽轮机的排汽沿配汽管由上而下进入空冷凝汽器被冷凝，冷凝后的凝结水流动方向与蒸汽流动方向相同，称为顺流式空冷凝汽器。顺流的空冷凝汽器具有凝结水液膜较薄、传热效果好、汽阻小等优点。但在低负荷或低气温条件下，凝结水箱内可能出现凝结水过冷却现象，将使凝结水含氧量增多，会引起翅片管的腐蚀，严重