

火电建设与气候

Huodian jianshe yu qihou



胡琳 李占斌
何凌空 姜创业

◆ 编著

火电建设与气候

胡 琳 李占斌 编著
何凌空 姜创业

 气象出版社
China Meteorological Press

内容简介

本书以燃煤热电厂建设的生命周期为主线,从项目的设计建设开始,对电厂建设、生产以及电力输送等各个环节对气象条件的敏感性响应以及应采取的必要措施进行了相关分析,主要介绍我国大力发展空冷技术的必要性、与燃煤热电厂大气污染相关的气象要素以及环境温度和风对空冷机组的影响,空冷发电厂与气象因子相关的设计参数选择、气象要素对输电线路气象条件选择的重要性并介绍了全球及中国区域气候变化的基本事实和趋势,分析应对气候变化、发展空冷技术的必要性以及火力发电中减缓全球气候变化采用的技术措施等。

本书是一本跨气象、电力学科的书籍,对从事应用气象的气象、电力部门的科研业务人员具有一定的参考价值,可供气象大专院校学生参考,也可供政府部门和有关企事业单位的领导和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

火电建设与气候/胡琳等编著. —北京:气象出版社,2010.6

ISBN 978-7-5029-4993-8

I. ①火… II. ①胡… III. ①火电厂-建设-研究 IV. ①TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 095298 号

Huodian Jianshe yu Qihou

火电建设与气候

胡琳等 编著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:张锐锐

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:450 千字

版 次:2010 年 6 月第 1 版

定 价:50.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcs@263.net

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:17.25

印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

前 言

我国电力工业目前仍以火力发电为主，火电发电占总发电量的 75%，而火电厂是水资源消耗大户，耗水量占工业总耗水量的 20% 左右。中国是世界上少数几个一次能源结构以煤为主的国家，山西、陕西、宁夏、新疆和内蒙古西部、锡林郭勒盟、呼伦贝尔盟是我国的能源基地，蕴藏着丰富的煤炭资源，这七大主要煤炭产区所在省（区）面积约占全国的 34%，可为大型火力发电厂提供充足的燃料，同时也是水资源最为缺乏的地区，水资源约占全国的 7%，因此，空冷技术作为火力发电厂非常有效的一项节水措施，是解决我国缺水地区电力工业发展的重要途径。国家电力公司印发的国电办 [1998] 178 号关于《火力发电厂节约用水的若干意见》一文明确指出计划部门在煤炭资源丰富且缺水地区规划火电厂，把节水作为一个首要的考虑因素，积极推广应用空冷技术。为解决在北方富煤缺水地区大规模发展燃煤电厂的问题，国家发展和改革委员会以发改能源 [2004] 864 号文印发了《国家发展改革委关于燃煤电站项目规划和建设有关要求的通知》，在北方缺水地区，原则上应建设大型空冷机组。山西、陕西、宁夏、内蒙古和新疆各煤炭产区的发电用水配置应严格按照国家水资源利用政策要求，积极发展空冷机组。

本书以电厂为主线，从一般电厂到空冷电厂，从项目的设计建设开始，对电厂建设、生产以及电力输送等各个环节对气象条件的敏感性响应以及应采取的必要措施进行了相关分析，在内容上大体分为如下 5 编，18 章：

第一编（第 1—2 章），主要介绍火电厂空冷技术的发展概况以及在我国大力发展空冷技术的必要性；

第二编（第 3—8 章），主要介绍火电厂大气污染问题。包括大气污染的危害、火电厂大气环境影响评价中应注意的污染气象资料选取和分析以及火电厂选址、烟囱高度设计等与气象相关的内容；

第三编（第 9—14 章）主要根据空冷机组的特殊性，着重分析了环境温度和风对空冷机组的影响，分析空冷发电厂与气象因子相关的设计参数选择，包括对比气象站的选取、空冷气象观测、资料序列重建等，以及利用所得资料进行设计气温、设计背压以及典型气象年的选取等；

第四编（第 15—16 章）主要叙述了风、气温等气象要素和微地形、微气候对输电线路气象条件选择的重要性以及影响污闪的气象要素；

第五编（第 17—18 章）主要介绍了全球及中国区域气候变化的基本事实和趋势，分析应对气候变化，发展空冷技术的必要性以及火力发电中减少全球气候变化采用的技术措施。

本书的主要编写人员有：胡琳、李占斌、何凌空、姜创业、王繁强、何晓媛、王婷、陈建文、孙彬彬、范建勋、蔡新玲、毛明策等，统稿工作由胡琳、何凌空完成，孙彬彬、王婷完成了本书部分插图绘制工作。本书得到了李鹏副教授、吴素良高级工程师、孙娴高级工程师、雷相杰高级工程师等同志的大力帮助，对他们付出的辛勤劳动，作者在此一并致谢。作者还深深感谢陕西省气候中心全体同志。

本书付梓仓促，虽经再三校核，但由于编者实践经验不足，理论水平有限，资料和方法收集也不够齐全，错误和不当之处在所难免，敬请读者不吝指正，在此深表感谢。

胡 琳

2009 年 2 月于西安

目 录

第一编 火电厂概述

第 1 章 火电厂简述·····	(2)
§ 1.1 火电厂发展简史·····	(2)
§ 1.2 燃料构成·····	(3)
§ 1.3 组成与流程·····	(3)
第 2 章 空冷电厂简述·····	(6)
§ 2.1 空冷系统简述·····	(6)
§ 2.2 几种冷却系统的比较·····	(9)
§ 2.3 发电厂空冷技术国内外发展状况·····	(12)
§ 2.4 空冷电站特点及其经济性分析·····	(15)
§ 2.5 我国发展空冷技术的必要性·····	(16)
参考文献·····	(22)

第二编 电厂污染与气象

第 3 章 大气污染的危害·····	(25)
§ 3.1 对人体健康的危害·····	(25)
§ 3.2 对植物的危害·····	(25)
§ 3.3 对天气和气候的影响·····	(26)
§ 3.4 燃煤电厂排放污染物的种类与危害·····	(27)
第 4 章 大气成分及大气结构·····	(29)
§ 4.1 大气成分·····	(29)
§ 4.2 大气的结构·····	(31)
§ 4.3 主要气象要素·····	(33)
第 5 章 影响空气污染物扩散的主要气象因子·····	(36)
§ 5.1 大气边界层结构及其特征·····	(36)
§ 5.2 风·····	(38)
§ 5.3 湍流·····	(41)
§ 5.4 大气稳定度·····	(43)
§ 5.5 辐射与云·····	(50)
§ 5.6 天气形势·····	(50)
§ 5.7 其他气象参数对大气污染的影响·····	(52)

第 6 章 污染气象分析中资料的选取分析	(55)
§ 6.1 热电厂大气环境评价	(55)
§ 6.2 气象资料使用的合法性	(57)
§ 6.3 地面常规气象资料的统计与分析	(57)
§ 6.4 气象资料处理	(59)
§ 6.5 大气边界层观测	(64)
§ 6.6 典型气象日选取	(73)
第 7 章 气象与火电厂厂址选择	(75)
§ 7.1 风向、风速	(75)
§ 7.2 温度层结	(76)
§ 7.3 煤场、灰场选址	(77)
第 8 章 气象与火电厂烟囱高度的关系	(79)
§ 8.1 烟囱高度对烟气扩散的影响	(79)
§ 8.2 烟囱高度	(79)
§ 8.3 影响烟囱设计高度的主要气象参数	(83)
§ 8.4 扩散参数选取	(84)
参考文献	(87)

第三编 空冷电厂与气候

第 9 章 燃煤电厂空冷气象分析工作程序	(91)
第 10 章 影响空冷机组运行的气象环境因素	(93)
§ 10.1 空冷机组运行特点	(93)
§ 10.2 环境因素对机组运行经济性的影响	(95)
§ 10.3 从热经济学角度分析环境要素对机组运行成本的影响	(106)
§ 10.4 环境因素对空冷机组安全稳定运行的影响	(107)
§ 10.5 环境对空冷装置设计的影响	(114)
§ 10.6 环境对布局的影响	(116)
§ 10.7 极端气象条件	(118)
参考文献	(120)
第 11 章 空冷发电厂设计参数的选择	(121)
§ 11.1 设计气温	(121)
§ 11.2 空冷机组设计背压	(124)
§ 11.3 空冷机组满发背压	(125)
§ 11.4 典型年选取	(126)
§ 11.5 本章小结	(130)
第 12 章 空冷气象观测	(132)
§ 12.1 地面观测场	(132)
§ 12.2 气象要素观测	(138)
§ 12.3 地面气象观测仪器更换注意事项	(148)

§ 12.4	缺测记录的处理和不完整记录的统计	(149)
第 13 章	资料序列重建	(153)
§ 13.1	空冷气象观测资料审查	(153)
§ 13.2	对比站气象资料质量控制	(154)
§ 13.3	区域气候序列的重建	(158)
第 14 章	陕西韩城二电厂二期工程空冷气象分析报告	(166)
§ 14.1	项目概况	(166)
§ 14.2	空冷系统临时气象观测场建设及对比观测	(166)
§ 14.3	区域自然环境特征	(167)
§ 14.4	韩城气象局气象参数的变化趋势分析	(169)
§ 14.5	观测期间厂址处和韩城气象站气象要素对比分析	(175)
§ 14.6	厂址处 10 m 和 40 m 的风观测资料的对比分析	(175)
§ 14.7	厂址处 1995—2004 年历史资料的重建	(176)
§ 14.8	厂址处多年气象要素资料的统计分析特征	(177)
§ 14.9	几点启示	(183)
	参考文献	(184)

第四编 气象与输变电

第 15 章	输变电系统及其作用	(188)
§ 15.1	电力系统与电力网组成	(188)
§ 15.2	我国输配电的种类划分及其作用	(189)
§ 15.3	输变电停电事故	(190)
第 16 章	气象要素与输变电路	(192)
§ 16.1	输电线路气象条件选择的重要性	(192)
§ 16.2	风对输变电路的影响	(193)
§ 16.3	气温对输变电路的影响	(196)
§ 16.4	影响污闪的气象要素	(197)
§ 16.5	输变电路防雷	(201)
§ 16.6	电线覆冰	(201)
§ 16.7	微地形、微气候对输电线路的影响	(205)
	参考文献	(206)

第五编 气候变化与燃煤电厂发展

第 17 章	气候变化与温室气体	(208)
§ 17.1	气候系统	(208)
§ 17.2	温室效应与温室气体	(210)
§ 17.3	全球气候变化的事实	(212)
§ 17.4	中国区域气候变化的基本事实和趋势	(218)

第 18 章 火电厂发展与气候变化	(226)
§ 18.1 发展空冷技术	(226)
§ 18.2 火力发电中减少全球气候变化的技术措施	(227)
§ 18.3 中国电力行业 CO ₂ 的减排前景	(233)
§ 18.4 中国 CO ₂ 的利用和埋存前景	(234)
参考文献	(235)

附 录

附录 1 火电厂大气污染物排放标准	(238)
附录 2 国家发展改革委关于燃煤电站项目规划和建设的有关要求的通知	(240)
附录 3 火力发电厂污染气象测试技术规定 SDGJ 95—90(试行)	(243)
附录 4 电力工程气象勘测技术规程(DL/T 5158—2002)	(254)
附录 5 资料订正算法	(261)

第一编

火电厂概述

第1章 火电厂简述

火力发电厂是将燃料的化学能转化为热能,热能转化为机械能,最终将机械能转化为电能的工厂,也即将自然界的一次能源转化为洁净、方便的二次能源的工厂。

按功能又可分为发电厂和热电厂。发电厂只生产并供给用户以电能,而热电厂除生产并供给用户电能外,还供应热能。按服务规模可分为区域性火电厂、地方性火电厂等。区域性火电厂装机容量较大,一般建造在燃料基地如大型煤矿附近。这类电厂又称为坑口电厂,其电能通过长距离的输电线路供给用户。地方性火电厂多建造在负荷中心,需经长距离运进燃料,它生产的电能供给比较集中的用户。

按主要设备品种可分为常规火力发电厂、燃气—蒸气联合循环(GAS)发电厂、整体煤气化燃气—蒸气联合循环(IGCC)发电厂、循环流化床锅炉(CFB)发电厂、增压流化床燃烧联合循环(PFBC)发电厂、原子能发电厂、地热电站、垃圾电站等。

通常火电厂还按蒸气压强分为低压电厂(蒸气初压强为 $1.2\sim 15\text{ atm}$, $1\text{ atm}\approx 10^5\text{ Pa}$)、中压电厂(蒸气初压强为 $20\sim 40\text{ atm}$)、高压电厂(蒸气初压强为 $60\sim 100\text{ atm}$)、超高压电厂(蒸气初压强为 $120\sim 140\text{ atm}$)、亚临界压强电厂(蒸气初压强为 $160\sim 180\text{ atm}$)和超临界压强电厂(蒸气初压强为 226 atm)。

火电厂是电能生产的重要组成部分。火电厂无论是对国民经济的发展,还是人民生活水平的提高,都起着重大作用。

§ 1.1 火电厂发展简史

1875年法国巴黎北火车站火电厂建成发电,采用的是很小的直流电机,专供附近照明用电。这是世界上第一座火电厂。随后美国、俄国、英国也相继建成小火电厂。18世纪80年代后期,随着工业与生活用电的增长,美国在1886年建设了第一座交流发电厂。1888年,英国C. A. 帕森斯研制成功第一台带有高、低压汽缸的75 kW汽轮发电机,安装在英国福斯班克斯电厂。1891年,帕森斯为英国剑桥电灯公司制造了第一台带有凝气器的发电机组,容量为100 kW,热效率大大提高。中国于1882年在上海建成一座装有1台12 kW直流发电机的火电厂,当年7月26日正式发电,供电灯照明用。

进入20世纪以来,由于热力学理论的进展、耐热合金钢材料和结构的改进以及汽轮发电机制造技术的进步,使发电机单机容量不断增长。瑞士勃朗—鲍威利有限公司(BBC)1901年制成一台5000 kW汽轮发电机,1902年制成1.5万kW汽轮发电机。1904年,美国西屋电气公司制造出1万kW机组。1912年,汽轮发电机的容量提高到2.5万kW。1925年10万kW机组问世。1930年,美国第一台20万kW汽轮发电机投入运行。20世纪50年代中期开始,汽轮发电机的制造和运行技术水平提高更快。1955、1960年,投入运行的最大容量机组分别为30万kW和60万kW。大机组的出现为大功率火电厂的投入运营创造了必要条件。1965年,第一台100万kW机组在美国雷文斯伍德电厂投入运行。1973年,第一台瑞士制造的130

万 kW 双轴发电机组在美国肯勃兰电厂投入运行。20 世纪 80 年代初,美国 100 万 kW 以上的火电厂达 150 座。到 1985 年,前苏联有 22 座 200 万 kW 以上的大型火电厂。1983 年日本已有 32 座 100 万 kW 以上的电厂,其中最大的电厂是鹿儿岛电厂,总装机容量达 440 万 kW。

§ 1.2 燃料构成

一个国家的火电厂的燃料构成决定于国家的资源情况和能源政策。20 世纪 80 年代以来,中国火电厂的燃料主要是煤。1987 年火电厂发电量的 87% 是煤电,其余的 13% 是烧油或其他燃料发出的。有烟煤资源或依赖进口煤的国家,其火电厂主要燃用烟煤,因其易燃,热值较高,一般无燃烧不稳等困难;煤炭资源中其他煤种占较大比重的国家,发电也有用褐煤(德国、澳大利亚等)、无烟煤(苏联、西班牙、朝鲜等)的;中国燃煤电厂燃用的煤种,一半以上是烟煤,贫煤次之,无烟煤在 10% 以下。

20 世纪 70 年代,美国、苏联、日本等国采用烧油和天然气发电机组。这种火力发电厂较燃煤电厂造价低,对环境污染程度小,而且输油和输气较输煤更经济,因而一度获得较大发展。但 1973 年以后,石油和天然气价格大幅度上涨,燃煤电厂又趋发展。中国煤炭资源丰富,过去和今后相当长的时期内火电厂都以燃煤电厂为主。从发展趋势看,为了提高火电厂的效率,降低造价和煤耗,蒸气参数将会不断提高。

火电厂除了主要采用蒸汽机组外,还有用燃气轮机和内燃机作为发电机组。70 年代以来,燃气—蒸气联合循环机组发电的火电厂得到重视。它是由燃气轮机组和锅炉、汽轮机组组成。燃气轮机组发电后的排气进入锅炉参加燃烧产生蒸气,再送入汽轮机发电。一般燃气轮机用油或天然气作为燃料。已在研究用煤产生煤气作为燃料的燃气—蒸气联合循环发电机组。苏联最大的联合循环机组单机容量已达 65 万 kW(其中煤气轮机 15 万 kW,蒸汽轮机 50 万 kW)。中国正在建设的汕头联合循环机组为 10 万 kW。

火电厂的主要特点是,与相同容量水电站比,建设工期短,工程造价低,投资回收快,厂址选择比较灵活。火电厂的主要缺点是对环境有一定程度的污染。采取的环境保护措施主要有:采用高效电除尘装置和脱硫措施,综合利用粉煤灰,采用循环冷却方式以保护水源等。

§ 1.3 组成与流程

由常规煤粉炉、凝气式汽轮发电机组为主要设备组建的发电厂,这是火力发电厂的基本类型。现代化的火电厂是一个庞大而又复杂的生产电能与热能的工厂,它由热力系统,燃料供应系统,除灰系统,化学水处理系统,供水系统,电气系统,热工控制系统,附属生产系统组成。

(1) 热力系统:常规火电厂实现热功转换热力部分的工艺系统。它通过热力管道及阀门将各热力设备有机地联系起来,以在各种工况下能安全经济、连续地将燃料的能量转换成机械能。联系热力设备的气水管道有主蒸气管道、主给水管管道、再热蒸气管道、旁路蒸气管道、主凝结水管管道、抽气管道、低压给水管管道、辅助蒸气管道、轴封及门杆漏气管道、锅炉排污管道、加热器疏水管管道、排气管道等。热力系统除联系热力设备的气水管道外,还有煤粉制备系统。它是为提高锅炉效率和经济性能,将原煤碾磨成细粉然后送进锅炉炉膛进行悬浮燃烧所需设备和

有关连接管道的组合,常简称为制粉系统。

(2)燃料供应系统:接受燃料、储存、并向锅炉输送的工艺系统,有输煤系统和点火油系统。煤的最主要的运输方式是火车,沿海、沿江电厂也多采用船运。当由铁路来煤时,卸煤机械大型电厂选用自卸式底开车、翻车机,中小型电厂选用螺旋卸煤机、装卸桥。贮煤设施除贮煤场外,尚有干煤棚和贮煤筒仓,煤场堆取设备一般选用悬臂式斗轮堆取料机或门式斗轮堆取料机。皮带机向锅炉房输煤是基本的上煤方式。点火油系统除点火时投入运行外,在锅炉低负荷时投油以保证其稳定燃烧。

(3)除灰系统:将煤燃烧后产生的灰、渣运出、堆放的系统。除灰系统的形式是选厂阶段、可行性研究阶段考虑方案最多的专业之一。系统的选择要根据灰渣量,灰渣的化学、物理特性,除尘器形式,排渣装置形式,冲灰水质、水量,发电厂与贮灰场的距离、高差、地形、地质和气象等条件,通过技术经济比较确定。除灰系统按输送介质分为水力除灰和气力除灰系统。水力除灰分低浓度灰渣分除系统,低浓度灰渣混除系统,高浓度灰渣混除系统,高浓度输灰、低浓度(或汽车)输渣分除系统;气力除灰系统分负压气力除灰系统和正压气力除灰系统。除渣可按需要选用干式或水力输送。

(4)化学水处理系统:为了保证热力设备安全,防止热力设备结垢、腐蚀、积盐,用化学方法对不同品质的原水,对热力系统循环用水进行处理的系统。尤其是随热力设备参数的提高和容量的增大,对作为热力循环介质的水的要求也越来越高,火电厂化学水处理的任务就越来越重。锅炉补给水处理是对热力系统气水循环过程中,因各种气水损失而需向锅炉补给的水处理技术。锅炉补给水处理方式的选择与锅炉参数、原水水质有关。高压参数以上的锅炉补给水几乎都采用离子交换的除盐方式,但都要进行预处理,除去水中的悬浮物及有机物,因此锅炉补给水处理系统一般由预处理及除盐系统组成;中低压锅炉一般采用钠离子交换剂对水作软化处理。预处理是因天然原水不能直接补入热力循环系统,要经过混凝、澄清、过滤或反渗透、电渗析处理达到合格的品质作为补充水进入系统。对不同品质的原水处理的方式也不尽相同。流经凝气器的循环水会因铜管泄漏而进入热力系统的凝结水中,凝结水精处理也是用化学方法使其凝结水中的含盐量符合规定。另外,对循环水要进行防垢处理和防生物污染处理,对给水、炉水用化学方法除去其残余氧和盐,以保证热力设备安全。

(5)供水系统:向热力系统凝气器提供冷却用循环水及补充水的系统。电厂的供水主要用于下面一些方面:凝结汽轮机的排气;供给汽轮发电机组的冷油器、空气或其他气体冷却器;冷却辅助机械的轴承;补充厂内外的气、水损失;水力除灰及其他生产和生活上的需要等。其中凝气器的冷却水量约占总冷却水量的95%以上。火电厂的供水基本上有两种不同的形式:由大海、江河、湖泊取水冷却凝气器后直接排放的直流供水系统,或称开式供水系统;具有冷却水池、喷水池或冷水塔的循环供水系统,或称闭式供水系统;有时也可将两种方式结合起来运行,叫做联合供水系统或混合供水系统。

火电厂冷却系统工作性能的优劣直接影响到整个电力系统的热经济性和运行可靠性。目前火电厂的冷却系统有水冷却系统和空气冷却系统。在缺水地区采用空气凝气系统,空气凝气系统的特点是取消了中间热介质——循环水或冷却水,用空气直接吸收汽轮机排气的潜热并使排气凝结。这种凝气系统经常被称为干式冷却系统或空气冷却系统。空冷系统可分为直接空冷系统和间接空冷系统。

(6)电气系统:将发电机发出的电能升压以便远距离输送给用户,并提供可靠的厂用电的

系统。它也是火力发电厂内电气设施的总称,包括从发电机开始到升压站电力送出和从厂用电源开始所有的用电设备的一次回路,以及相应的控制、测量、保护和安全自动装置等二次回路,提供交直流操作和重要用电设备电源的直流、交流不停电电源和柴油机保安电源系统,保证设备安全的过电压、接地和火灾消防报警系统,照明、电缆、通信等厂内公用设施。

(7)电厂自动化系统:利用各种自动化仪表和电子计算机等装置对火力发电厂生产过程进行监视、控制和管理,使之安全、经济运行的技术。由于对电厂运行的监视及控制系起源于对热力系统的热力过程,故也习惯上称热工控制系统。随着技术的进步,现已发展到对电气系统、辅助生产系统等全厂生产的监视及控制,现称电厂自动化系统更为准确。随着机组容量的增大、参数的提高,在人工控制方式下是无法实现机组安全经济运行的,自动化装置已成为发电厂不可缺少的重要组成部分。自动化的主要目的:保证机组安全起停,正常经济运行;提高适应电网调度和负荷变化的能力;提高综合判断、处理事故的能力;减轻劳动强度,改善劳动条件,减少运行人员。火电厂自动化的功能主要通过以下自动化系统来实现:数据采集及处理系统;模拟量控制系统;顺序控制系统;保护连锁系统;电气控制系统;辅助设备及辅助系统的控制系统。

(8)附属生产系统:它是保证火力发电厂安全、经济运行必不可少的附属生产项目,各自相对独立,不同的工程差别又比较大。如电厂起动用锅炉房,发电机冷却用氢气的制氢站,仪用及检修用空压机组,各种废水处理及烟气连续监测的环保工程,各种实验室及车间检修设备等。

第 2 章 空冷电厂简述

所谓电厂空冷是指发电厂采用翅片管式空冷散热器,直接或间接用环境空气冷凝汽轮机排气。空冷新装置及其使用的一系列技术和空冷系统在运行中的运行经济性能损分析经济技术指标等称作发电厂空冷技术,采用空冷技术的冷却系统称为空冷系统,采用空冷系统的发电厂称为空冷电厂。

§ 2.1 空冷系统简述

空冷机组与常规湿冷机组在辅机方面最大不同在于凝气器。空冷系统应用空气冷却热交换技术,将汽轮机排出的乏气废热释放给空气,而乏气受冷后发生相变把饱和蒸气直接冷凝成凝结水,称作直接空冷技术,或通过冷却剂间接冷凝成凝结水,称作间接空冷技术。

空冷电厂的空冷系统可分为直接空冷系统(DACC)和间接空冷系统(NDIACC)两种方式。世界上广泛应用的电厂空冷系统主要有三种类型,即采用空冷凝气器的直接空冷系统(又称 GEA 系统)、采用喷射式凝气器的间接空冷系统(又称海勒系统)、采用表面式凝气器的间接空冷系统(又称哈蒙系统)。目前这三种空冷系统均已在国内外得到应用,且都取得了不错的业绩,并呈快速发展的趋势。

2.1.1 直接空冷系统

直接空冷系统,亦称 GEA 系统,直接空冷系统是指直接采用环境空气通过空冷凝气器(翅片管空冷散热器)将汽轮机排气冷凝成凝结水,空气与蒸气间进行热交换;所需冷却空气由机械通风方式供应。汽轮机排气通过粗大的排气管送到室外的空冷凝气器内,轴流冷却风机使空气流过散热器外表面,将排气冷凝成水,凝结水再经泵送回汽轮机回热系统,如图 2-1 所示。为减少排气压损,排气管内径很大。空冷凝气器由许多并联的带鳍片状散热片的钢管作为冷却元件组成,一般按“人”字形布置在汽轮机房顶或汽轮机房外侧,由于位置的限制,一般均采用机力通风冷却。

直接空冷系统主要设备有排气管道、空冷凝气器、空冷风机、蒸气分配管、凝结水收集系统、真空系统、排气系统以及阀门、控制等辅助系统。由这些设备组成的直接空冷系统造价昂贵,大致相当于电站锅炉和汽轮机两大设备造价总和。直接空冷系统在 1939 年首先应用于德国,以后被许多电厂采用,自 1987 年开始,南非的马丁巴(Matimba)电站陆续投产了 6 台 665 MW 空冷机组,这也是目前世界上单机容量最大的直接空冷机组。“十五”期间,国产 600 MW 直接空冷机组在大同二电厂已经投产,我国自主设计直接空冷系统的 600 MW 机组示范工程也正在建设。

直接空冷系统具有如下特点:(1)系统相对简单;(2)真空系统体积庞大,密封性要求高;(3)一般采用轴流风机调节冷却风量,调节方式灵活;(4)汽轮机运行背压范围较大,必须能承受高背压工况,效率较低;(5)采用机械通风方式导致厂用电率高,风机运行产生噪声;(6)受环

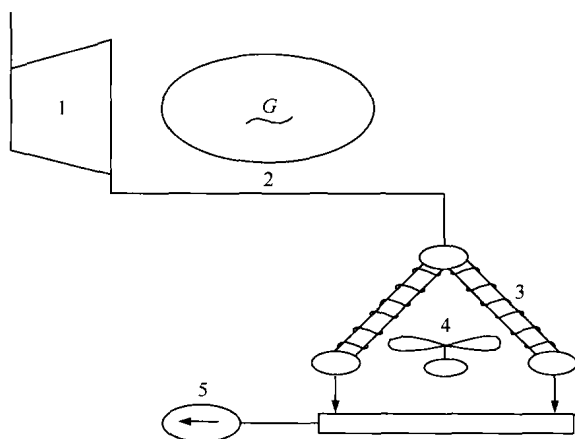


图 2-1 直接空气冷却系统原理图

1—汽轮机；2—排气管；3—空气凝气器；4—风机；5—凝结水泵

境温度变化的影响较大；(7)针对冬季防冻问题有较为灵活的调节手段；(8)运行方式简单，控制灵活可靠，调峰能力强；(9)直接空冷凝气器一般都布置在汽机房房顶，或布置在汽机房侧面的高架平台上，平台之下通常布置电气或其他设备，整体占地面积减小。

直接空冷系统所有风机通过变频器控制，在最低转速 10 Hz 和最高转速 50 Hz 之间以无级变速方式进行调节或者启停。空冷控制系统预先设定了机组背压额定值，通过改变风机的转速以及开启或关闭配气管道上的蒸气隔离阀，使冷却空气的流量与运行条件（蒸气负荷和大气温度）相协调，将汽轮机排气压力保持在设定值。

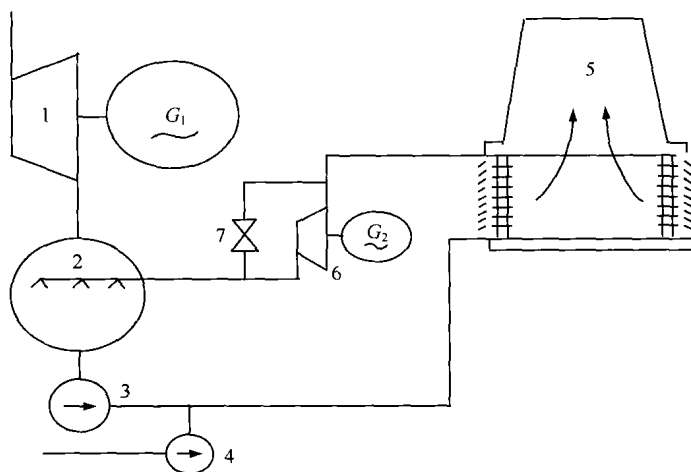
冬季在接近冰点的环境温度下运行时，必须要严格采取一切措施避免冻结。空冷系统控制方面设计了防冻和回暖程控，通过有规律地启停顺流风机或者使逆流风机反向旋转，达到防冻目的。

2.1.2 海勒式间接空冷系统

海勒系统是匈牙利的海勒教授在 1950 年提出的一种火电厂间接冷却技术，冷却元件采用福哥型空气冷却器。

这种系统的原理是汽轮机排气在喷射式（混合式）凝气器中同喷嘴喷射出来的冷却水膜接触，水膜吸收排气放出的汽化潜热，使排气凝结成水。温度升高后的冷却水绝大部分由循环水泵送到空冷塔内的空冷散热器内，被空气冷却后，通过调压水轮机或流量调节阀（用来控制凝气器喷嘴前后的压差为 1.5 m 水柱）再送回混合式凝气器循环使用。被加热的冷却水的一小部分约为 2%~3%，经凝结水精处理设备处理后送至锅炉给水系统，如图 2-2 所示。空冷系统散热器采用鳍片铝管或镀锌钢管。

海勒式间接空冷系统主要由喷射式凝气器和装有福哥型散热器的空冷塔构成。循环冷却水由布置在水室两侧的喷嘴喷出后经折流板导向在凝气器内冷凝区形成多片极薄的垂直水膜，汽轮机排气在喷射式凝气器内与冷却水膜混合冷凝。受热的循环冷却水的极少部分经凝结水精处理装置处理后送至机组凝结水系统，大部分由冷却水循环泵送入空冷塔散热器，与空气进行对流换热冷却，冷却后的水通过调压水轮机再进入喷射式凝气器，进行下一个循环。



1—汽轮机;2—混合式凝气器;3—循环水泵;4—凝结水泵;5—空气冷却塔;6—水轮机;7—节流阀

海勒式间接空冷系统空冷系统的运行控制相对比较复杂,调节参数主要包括:(1)系统总压。空冷系统采用微正压运行,要求排空竖管内保持 2 m 水柱。总压的波动会引起散热器铝管超压和喷嘴喷射水膜变形,影响冷却效果。(2)循环冷却水温。调节水温以保证冷却效果和冬季防冻。(3)凝气器水位。水位高可能会淹没喷嘴,影响冷却效果。水位过低则会降低真空,严重时导致循环水泵出口压力降低,散热器断流。(4)储水箱水位。保证系统停运时扇形段排水,以及运行中及时补水。

2.1.3 哈蒙式间接空冷系统

表面式间接空冷系统是在混合式间接空冷系统运行实践基础上,针对混合式间接空冷系统的循环水与凝结水混合以及系统复杂等缺点加以改进的另一种间接空冷系统。采用通常的表面式凝气器取代混合式凝气器,使系统得以简化,如图 2-3 所示。

与常规的湿冷系统相比,空冷机组的表面式凝气器的循环水泵与一般湿冷机组相同,但空冷机组凝气器需用不锈钢管,冷却部分采用空冷塔代替湿冷塔,用除盐水代替循环水,用密闭式循环冷却水系统代替开敞式循环冷却水系统,空冷系统需用高位膨胀水箱,其作用为调节温度变化而引起变化的冷却水容积,并维持整个循环水的正压头,空冷系统散热器采用镀锌钢管、钢鳍片。哈蒙式间接空冷系统由也有两次换热,与表面式凝气器间接系统主要的不同是它