

直接空冷系统国产化关键技术研究

Research on key technologies for the localization of direct air cooling system

石磊¹, 张薇²,

SHI Lei¹, ZHANG Wei²

(1. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044; 2. 华北水利水电学院 环境与市政工程学院, 河南 郑州 450011)
(1. School of Civil Engineering & Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Institute of Environmental and Municipal Engineering, North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China)

摘要:结合工程项目的实际状况,介绍了火电厂直接空冷系统国产化关键技术研发的主要工作要点,其中包括直接空冷凝汽器全厂流动和传热的数值研究、直接空冷凝汽器换热元件和管束的研发、空冷系统的优化设计研究和空冷排汽管道的优化设计研究等。

关键词:直接空冷;空冷凝汽器;排汽管道;研究开发

中图分类号:TK 264.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-1951(2008)01-0039-03

Abstract: Based on the practical projects, several key technologies in the R&D of direct air cooling system for thermal power plants were introduced. It mainly included the numerical research on the plant-wide flow and heat transfer of direct air-cooled condenser, the R&D of heat exchanging elements and tube plats in direct air-cooled condenser, the optimized design for the air cooling system and steam exhausting pipes, etc.

Key words: direct air cooling; air-cooled condenser; steam exhausting pipe; R&D

1 项目背景和意义^[1]

空冷技术起源于 20 世纪 30 年代,分为直接空冷和间接空冷。间接空冷又分为带混合式凝汽器的间接空冷和带表面式凝汽器的间接空冷 2 种类型。自 20 世纪 70 年代开始,电站空冷得到广泛应用,空冷系统的装机容量以指数曲线方式增长。据统计,在全世界空冷机组的装机容量中,直接空冷机组的装机容量约占 60%,间接空冷机组的装机容量约占 40%。直接空冷机组所占容量的比例不断上升,空冷机组单机容量不断增大,目前,世界上直接空冷机组单机容量已达到 665 MW。

从 2002 年大同二电厂国产首台 2 × 600 MW 直接空冷机组建设开始,我国直接空冷电站建设发展十分迅速。据不完全统计,截至到 2007 年 3 月,已投

产和正在建设的空冷机组项目有 110 个,涉及 95 个电厂,装机容量约 59 000 MW。由于世界范围内制造空冷凝汽器管束的核心技术被德国基依埃(GEA)和美国斯必克(SPX) 2 家公司所垄断,目前已投运和在建的 300 MW 和 600 MW 直接空冷机组的空冷系统大都由 GEA 或 SPX 公司总承包,或由他们提供空冷凝汽器(ACC)。缺乏自有空冷系统的技术和成套经验,造成国家在高价进口核心产品的同时,还不得不花钱进口常规的配套设备。空冷系统国产化迫在眉睫。

“十一五”期间全国电站开工规模约 2 亿 kW,大型煤电基地和坑口电厂将初具规模,坑口电站的比例将达到 47%。随着水资源的日益紧张,空冷技术应用具有广阔的前景,其应用领域已扩大到燃气-蒸汽循环电站、垃圾电站及工业企业自备电站等。因此,积极研发以尽早实现空冷系统国产化,在“富煤缺水”地区推广空冷技术以改变“以水定电”和电源建设布局不合理的被动局面,具有重要的现实意义。

2 空冷系统研究开发^[2]

目前,国内直接空冷系统的招标主要采用整岛招标的方式。空冷岛的主要系统包括空冷凝汽器系统、空气供应系统、排汽管道系统、钢结构系统、仪表和控制系统、凝结水系统、清洗系统及抽真空系统等。鉴于工程项目的不同,空冷岛各系统的设计、供货范围和接口会有一些的差异。

按照《电力工业“十一五”规划》、《国家重大技术装备研制和重大产业技术开发专项规划》和《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》的要求,应加强大型空冷火电机组成套设备的研究开发,逐步解决空冷岛系统国产化中的各项关键技术,实现核心设备及主要配套设备的设计、开发和制造能力。直接空冷系统国产化研究的关键技术包括:

(1) 直接空冷凝汽器的全厂流动和传热数值研究及空冷岛流动和传热研究;

(2) 直接空冷换热元件和换热管束的研发;

(3) 直接空冷系统的优化设计;

(4) 大直径薄壁负压排汽管道的优化设计;

(5) 空冷平台结构设计等。

2.1 直接空冷凝汽器全厂流动和传热数值研究^[3]

直接空冷凝汽器全厂区流动和传热数值研究是在当地气象条件下,通过分析周围已建建筑物和构筑物以及未来扩建的建筑物和构筑物对空冷凝汽器换热可能造成的影响,确定厂区最佳布置方案。

空冷凝汽器的换热不仅受环境温度、风向、风速的影响,同时受到周围建筑物的影响。厂区内建筑布局(包括前期建筑,如老厂房、水冷却塔等)都会对新建空冷凝汽器的换热情况产生很大的影响。如果建筑布局选择不合理,会对建成后电厂的发电效果产生负面影响。应根据当地实际情况,通过对空冷电厂厂区进行研究,确定主厂房和空冷岛的布局和出线的位置等,提出最佳的厂区布置方案。对某直接空冷电厂的数值研究,如图 1 所示。

通过对空冷岛换热情况进行数值模拟,研究风速、风向、平台高度、地形和厂房布局的影响,对空冷平台换热性能进行评价,确定合理的平台高度和平台布局设计方案。通过对空冷岛的数值研究可对大风影响和热风再循环做出评估,以确定挡风墙的高度和是否在空中冷平台下部增加挡风墙或导流板及其他改进措施,消除上述因素对空冷岛换热所造成的负面影响。

2.2 直接空冷换热元件和管束的研发^[4]

用于空冷凝汽器的换热元件有很多种,常见的

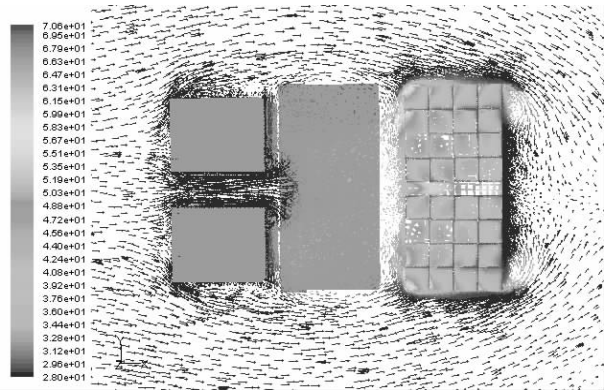


图 1 某空冷岛外空气的温度-速度矢量场

有铝管铝翅片(间接空冷)、小口径热浸锌椭圆钢管套矩形翅片(间接空冷)、热浸锌椭圆钢管套椭圆翅片三排管(直接空冷)、热浸锌大口径椭圆钢管套矩形翅片双排管(直接空冷)及大直径扁管蛇形翅片单排管(直接空冷)等。用于直接空冷的管束按排管数可分为三排管、双排管和单排管。单排管是 20 世纪 90 年代出现的新型换热元件,它具有管束及支撑钢结构质量小、流通截面积大、压力损失小、有利于汽液分离和防冻,使汽轮机的效率有所提高,同时具有翅片管外表面平滑、易于清洗等优点,在世界范围得到了广泛应用。单排管数值模拟如图 2 所示。

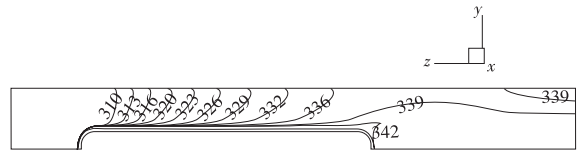


图 2 单排管外空气温度图(K)

钢铝和全铝真空钎焊板翅式空冷凝汽器管束的开发和设计包括管束结构设计和换热能力初步计算与评估、管束的材料选择和汽侧镀铝有缝异型管及铝合金无缝异型管型材开发、钢铝管束与汽侧和凝结水侧钢结构的连接研究和结构设计、典型翅片模具开发和工艺试验、真空钎焊工艺试验、耐压级耐真空试验、钢铝过渡连接耐压及破坏性试验、管束的运行环境分析及空冷凝汽器基本 A 形换热单元平均换热系数测试研究等。完成了空冷凝汽器开发和设计软件,空冷凝汽器基本换热单元阵列和总体布置优化设计方法,空冷凝汽器的汽轮机冷端最优化运行软件控制策略及应用软件的开发等。

2.3 空冷系统的优化设计研究

由于空冷电厂的投资较高,因此,如何获得最为经济合理的设计方案以降低造价,是空冷电厂系统设计所面临的首要问题。针对不同电厂的实际情况,综合考虑初投资和运行费用,使直接空冷系统在

寿命期内总费用最小。根据典型年全年气温-小时频率曲线,对不同方案(如不同空冷凝汽器散热面积、风机直径、风机台数、风机功耗等)进行优化分析比较。分段计算汽轮机背压,累计全年各环境温度段的可发电量之和,扣除厂用电量后得出全年净发电量,以此进行综合评价。对多种方案进行分析比较,最终获得总费用最小且满足厂界噪声要求和场地布置要求的最优方案。

对空冷系统设计和运行优化进行了全面的研究,编制完成了工程设计优化软件。包括风机单元噪声分析计算软件,主排汽管道、蒸汽分配管及管束水力计算与优化计算程序,基本换热单元数优化设计软件,直接空冷凝汽器变工况计算软件(如图 3 所示,纵坐标 C 为所需费用、横坐标 S 为管束总迎风面积),凝汽器特性计算与输出软件,空冷凝汽器环境及热风回流分析模型,基本风机换热单元空气动力场分析模型,空冷凝汽器保证值校核方法及计算机软件,空冷凝汽器试验方法及试验数据处理、计算和结果分析评价计算机程序。

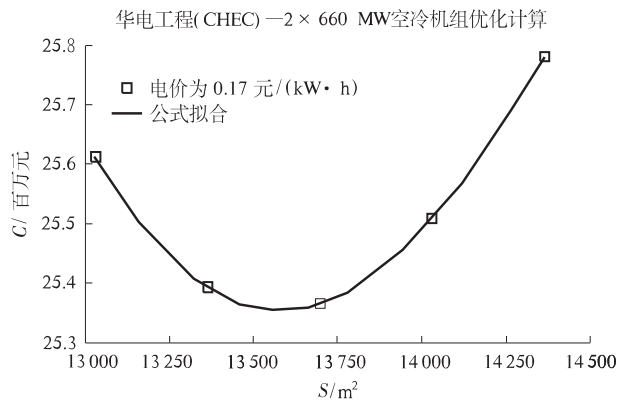


图 3 直接空冷系统优化设计选型软件

2.4 大直径薄壁负压排汽管道的优化设计

大直径薄壁负压排汽管道的技术难点有以下 3 点:

- (1) 排汽管道的推力和力矩太大会对汽轮机低压缸造成损害;
- (2) 排汽管道的压损过大造成过冷度太高,降低了电厂的热效率;
- (3) 排汽管道的自身持续荷载、热应力荷载、地震荷载、风荷载以及基础差异沉降产生的安全问题。针对上述问题分别展开了研究。

大直径排汽管道的结构稳定性分析保证排汽管道在各种荷载作用下的安全可靠,使其对汽轮机低压缸的推力和力矩值在安全范围之内。在设计计算中,参考大量国内外有关大直径排汽管道的结构布置、设计详图等资料,考虑了各种荷载的组合,以国

际公认的管道应力分析软件 CAESAR II 和结构计算软件 ANSYS 作为设计计算工具,根据 ASME 的相关规范标准的要求,进行了管系详细的整体应力和特殊部件的应力及结构稳定性分析,保证了排汽管道在各种荷载作用下的安全可靠,使其对汽轮机低压缸的推力和力矩值在安全范围之内,以达到设计满足正常运行的要求。对于常规加肋管道来说,应采用 ASME VIII 第 1 册的有关规定确定其壁厚,肋的规格、间距等结构尺寸。同时,对特殊部件(如内部带导流叶片的弯头、三通等处)进行局部重点计算,应用 ASME VIII 第 2 册的有关规定进行校核,从而保证系统结构的强度和稳定性满足设计要求。

对大同二电厂国产首台 2×600 MW 空冷排汽管道系统、山西朔州格瑞特 2×135 MW 直接空冷排汽管道系统以及 SPX 公司某 2×135 MW 直接空冷排汽管道系统内水蒸汽进行了流动和传热的数值模拟。完成了导流叶片合理位置的优化,以降低管道的流动阻力,实现水蒸汽的合理分配^[5,6]。

2.5 空冷钢结构平台设计

空冷平台所采用的钢结构支撑着近万吨的空冷凝汽器设备,承受着各种复杂的动荷载,平台必须安全可靠。参考大量国内外有关空冷平台计算、结构布置、节点详图等资料,统筹考虑了各种荷载组合,以国际公认的钢结构计算软件作为平台结构计算工具,进行了静力和动力分析。动力分析主要为钢平台在抗力荷载作用下的振动分析,使平台的振动满足设备及结构自身的要求。在确保绝对安全的前提下,确定空冷平台的计算方案,并用 ANSYS 有限元分析软件对平台设计方案进行了验证,使设计符合国家技术规范和安全要求。

3 结束语

在富煤缺水地区,直接空冷系统国产化迫在眉睫。根据国家相关政策法规,结合实际空冷工程项目,介绍了直接空冷系统国产化关键技术研究和优化设计方面的进展,供直接空冷系统设计时参考。

参考文献:

- [1] 丁尔谋.发电厂空冷技术[M].北京:水利电力出版社,1991.
- [2] 石磊.直接空冷项目可研及立项申请报告[R].北京:中国华电(工程)集团有限公司,2005.
- [3] 石磊.直接空冷凝汽器考核工况的全厂数值模拟[C]//清洁高效燃煤发电技术协作网 2007 年会报告集.北京:中国华电集团公司,2007. (下转第 44 页)