

火力发电厂绿色设计的研究

戴洪军^{1,2}, 郭纪中², 成虎¹

(1. 东南大学土木工程学院, 南京 210096; 2. 江苏省电力设计院, 南京 210024)

[摘要] 火力发电厂资源消耗和污染物排放水平的高低, 不仅关系到项目本身的生存与发展, 而且影响到整个行业节能减排的实施, 维系着全国经济和社会发展总体目标的实现。随着可持续发展理念的不断深入, 绿色建筑技术和绿色设计技术已越来越广泛地被采纳和运用。通过在火电厂方案设计过程中开展绿色设计工作, 采用模块化组合设计, 优化设备及功能子系统, 选用新技术、新工艺和新材料, 采取有效的节水措施, 实施控制系统优化方案, 不但可以实现火电厂自身的可持续发展, 而且能够取得良好的经济、社会和环境效益。通过初步研究, 旨在为火电厂的绿色设计提供一些有益的经验积累。

[关键词] 可持续发展; 火力发电厂; 绿色设计; 绿色建筑; 节能减排

[中图分类号] TU271.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2009)09-0054-05

1 前言

电力工业作为发展一个国家经济和改善人民生活水平的基础产业, 在国民经济发展和社会进步中起着关键作用。在能源消费给人们带来经济利益和生活效率的同时, 也给人们带来了日趋严重的环境问题, 特别是化石能源的使用。

从总量看, 电力工业是能源消耗和污染物排放的“大户”。近年来我国电力工业发展迅速, 2006年全国新增装机 1×10^8 kW, 发电装机总容量达到 6.22×10^8 kW, 其中火力发电占 77.8%; 2007年新增发电设备容量再次超过 1×10^8 kW, 总容量达到 $71\,329 \times 10^4$ kW, 其中火力发电占 77.7%, 是继 2006年后第二个基建新增规模超过 1×10^8 kW 的年份。

2008年, 总容量为 $79\,253 \times 10^4$ kW, 比上年增长 10.34%, 其中火电占 $60\,132 \times 10^4$ kW, 增长 8.15%。

600 MW 千瓦及以上供电标准煤耗为 349 gce/(kw·h), 同比下降 7 gce/(kw·h), 消耗原煤 $134\,014 \times 10^8$ t, 同比增长 6.94×10^8 t。

随着电力工业规模不断扩大, 其自身的能源消耗和污染排放问题日益突出^[1,2]。2006年发电用原煤超过 12×10^8 t, 是煤炭消费总量的一半, 排放的 SO₂ 化硫占全国排放总量的 54%。从效率看, 我国火电机组的总体能耗明显偏高。2006年我国火电机组供电标准煤耗为每千瓦时 366 g, 较国际先进水平高 60 g 左右。如果我国能够达到日本的煤耗水平, 2006年一年就可以节约原煤 2.2×10^8 t。

截至 2007 年底, 全国 6 000 kW 及以上发电生产耗用原煤 12.82×10^8 t, 增长 10.7%, 供电标准煤耗 357 g/kW 时, 同比下降 10 g/kW 时; 发电标准煤耗为 334 g/kW 时, 同比下降 9 g/kW 时, 相当于全年节约标准煤 $2\,423 \times 10^4$ t。

由此可见, 火电厂的煤耗、节能和降排水平的高低, 已成为衡量一个国家经济发展水平、能源使用效率乃至整个经济效率和环境保护好坏的重要标志。这就要求火电厂从项目的可行性研究到方案设计, 始终要围绕项目的可持续发展这条主线, 积极开展绿色设计工作, 对设计方案不断优化, 充分借鉴国内外的先进设计思想和经验, 采用先进的设计手段和方法, 创造出一个高质量、低造价、低运行成本、可持

[收稿日期] 2008-09-20

[作者简介] 戴洪军(1970-), 男, 江苏扬州市人, 高级工程师, 博士研究生, 研究方向为电力工程管理与可持续发展; E-mail: daihongjun@jspdi.com.cn

续发展的电厂设计方案^[3-5]。

2 可持续发展与电力工业现状

2.1 电力工业可持续发展的内涵

《我们共同的未来》报告中提出的可持续发展定义是:既满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展^[6]。

根据可持续发展的基本概念,结合电力工业的特点,我国电力工业可持续发展的内涵可理解为:电力工业应满足国民经济、社会发展对电力的需求,同时应与生态环境相协调,降低能耗、减少污染物的排放;依靠科学技术进步和社会主义市场经济体制,调整优化电力结构、积极开发新能源发电、提高电力工业生产和利用综合效率,以满足当代人的电力需求又不危害后代人满足其电力需求的能力^[7]。

2.2 国家宏观政策对电力工业的要求

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》提出了“十一五”期间单位国内生产总值能耗降低20%左右,主要污染物排放总量减少10%的约束性指标。

《国务院关于印发节能减排综合性工作方案的通知》^[8](国发[2007]15号)指出:2007年一季度,工业特别是高耗能、高污染行业增长过快,占全国工业能耗和SO₂排放近70%的电力、钢铁、有色等六大行业增长20.6%,同比加快6.6个百分点。

《节能减排综合性工作方案》提出的主要目标为:到2010年,万元国内生产总值能耗由2005年的1.22 t标准煤下降到1 t标准煤以下,降低20%左右;单位工业增加值用水量降低30%。“十一五”期间,主要污染物排放总量减少10%,到2010年,SO₂排放量由2005年的2 549 × 10⁴ t减少到2 295 × 10⁴ t,化学需氧量(COD)由1 414 × 10⁴ t减少到1 273 × 10⁴ t。

国家宏观政策对现有小型火力发电厂提出明确的节能减排任务,而且对新建火电项目提出更高的规定,这就要求火电厂在方案设计时就应充分落实国家方针政策,为工程项目的可持续发展规划好未来。

2.3 火电厂引起的环境问题

火电厂在将化石能源转化为绿色能源的过程中,产生了“三废”,随之引起了次生环境问题,当前火电厂引起的环境问题主要有以下几方面^[9,10]:

1) SO₂高浓度排放。我国能源消耗的煤炭中84%用于燃烧,而发电用原煤占煤炭消费总量的一半,排放的SO₂硫占全国排放总量的一半以上。

2) CO₂的大量排放。CO₂对温室效应的贡献占55%左右,在19世纪60年代,全球每年因燃烧化石燃料所排放的CO₂只有0.9 × 10⁸ t,而到20世纪80年代,就达到50多 × 10⁸ t。

3) 烟气的高温排放。由于烟气的高温排放,使电站热效率降低,电厂锅炉向大气排放的热量造成的热损失为5%~12%。

4) 冷却塔高温排放。汽轮机乏气向大气排放热量的热损失为50%以上,全国电厂热效率降低,这就需要燃烧更多的燃料,并排放出更多的SO₂和CO₂,从而造成了更大的污染。

5) 灰渣的大量产生。煤的含灰量达10%~50%,电厂运行中产生大量的灰渣,不仅使尘埃飞扬,而且还需要浪费大量土地。

3 绿色建筑与绿色设计

3.1 绿色建筑的概念与特点

绿色建筑是一种比喻,它是指具备了“绿色”形态,即适应自然生态良性循环基本规律的一类建筑。在规划设计时充分考虑并利用环境因素,施工过程中对环境的影响最低,运行阶段能提供健康、舒适、低耗、无害空间,拆除后又对环境危害降到最低的建筑^[11,12]。

绿色建筑具有选址规划绿色合理、资源利用高效循环、综合措施有效节能、建筑环境健康舒适、废物排放减量无害、建筑功能灵活适宜等六大特点,不仅可满足人们的生理和心理需求,而且能源和资源的消耗最为经济合理,对绿色环境的冲击最小。

3.2 绿色设计的概念与基本特征

绿色设计也称为生态设计、可持续设计等,美国绿色建筑委员会为绿色设计提出了相关的定义,主要是指从生态环境角度出发,通过诸方面的设计与实施,使建筑设计和建造实践显著地减少或消除建筑对环境和使用者的负面影响。

绿色设计涉及管理学、材料学、生态学、循环经济学、环境学、工程经济学等诸多学科的内容,具有较强的多学科交叉特性。现有的设计方法难以适应绿色建筑的要求,因此绿色设计是一种集成设计,是设计方法的集成和设计过程的集成。绿色设计综合面向对象技术、并行工程、寿命周期设计等系统设计方法,将建筑质量、功能、寿命和环境等因素集于一体^[13]。

3.3 火电厂绿色设计的主要内容

基于可持续发展的思想,结合火电厂的功能特性和技术要求,火电厂的绿色设计可考虑如图1所

示的几个方面内容。

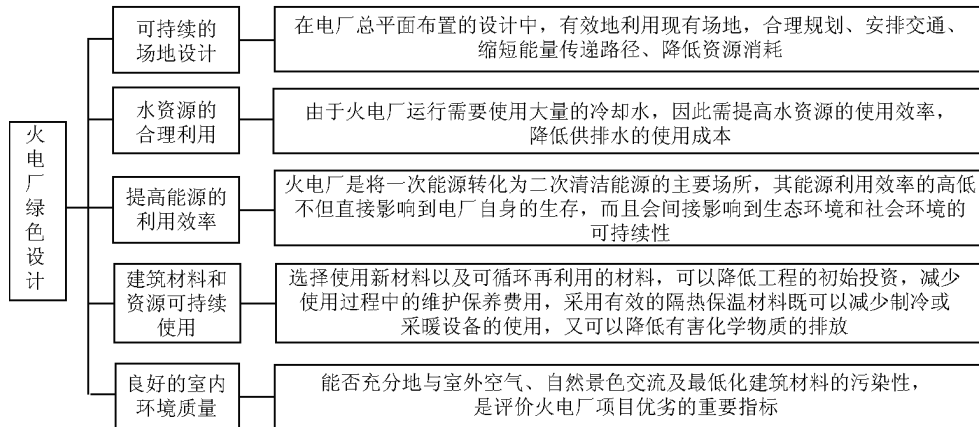


图1 火电厂绿色设计的主要内容

Fig. 1 Contents of green design in the fossil fuel power plant

4 火电厂绿色设计实例分析

安徽某燃煤电厂(2 × 600 MW 机组)工程在设计过程中,通过借鉴国内外的先进设计思想,吸取国内外同类型运行机组的优点,采用先进的设计手段和方法,创造出了“高质量、低造价、低运行成本、可持续发展的”设计方案。

在设计过程中,按照绿色设计的理念,进行多种方案的创新和比选,主要体现在:a. 优化厂区总平面布置,采用模块化组合,通过经济技术比选,提出最优设计方案,节约占地;b. 优化各工艺系统,合理配置辅机选型及确定备用设备和容量,优先采用成

熟的新技术、新工艺和新材料,减少设备初始投资和降低运行成本;c. 采取有效措施,降低电厂耗水指标和污染排放指标,注重环境保护;d. 采用控制系统设计的新思路,提高全厂综合自动化水平,体现以人为本、减员增效,创造一个舒适、安全的工作环境。

4.1 模块化组合设计

结合工程场地条件,总平面布置主要考虑 8 个主要模块的组合,分别为:锅炉房、汽机房、除氧间、升压站、煤场、输煤栈桥、卸煤设施和脱硫岛模块。在这 8 个主模块中再划分为若干分模块和子模块进行组合设计,其中主厂房地段的模块组合如表 1 所示。

表1 主厂房地段模块组合矩阵表

Table 1 Modular combination matrix of main building sector

主模块	分模块	子模块	方案一	方案二	方案三	方案四	
锅炉房	煤仓间	炉前煤仓间布置模块				★	
		炉侧煤仓间布置模块	★	★	★		
		固定端独立布置模块	★	★			
汽机房	集控室	两炉间独立布置模块			★	★	
		模块 1	汽机靠 A 排布置模块	★	★		
		模块 2	汽机居中布置模块				★
		模块 3	汽机靠 B 排布置模块			★	
除氧间	模块 1	除氧间联合模块			★		
		模块 2	除氧间独立设置		★		
		模块 3	除氧器布置于侧煤仓间两侧	★			
		模块 4	除氧器布置于 A 排披屋顶				★

通过对主厂房模块组合设计,提出工程的最优设计方案。该方案主厂房体积为 192 339 m³,占限额指标的 43.47%,使得主厂房区域布置更为紧凑,占地面积减少,而且汽轮机与锅炉之间距离减少,四大管道长度也相应减少,节约了投资;引风机采用横

向布置于烟道支架下方,节省烟道钢材 425 t,节约建设费用 508 万元;厂房内功能分区明确,工艺流程顺畅,将同系统相关设备就近布置,不仅节省凝结水、中低压给水管道的管材,而且降低了管道阻力,节约了厂用电;采用一体化除氧器,露天布置于侧煤

仓与炉侧平台上,节省主厂房体积和土建投资。

4.2 设备及系统优化

1) 给水泵的优化设计。目前汽泵的主要部件及芯包均为进口产品,一般情况下极少出现故障,即使出现故障,也可通过其他方式带动,因此,在保证机组运行安全可靠的前提下,两台机组合用一台低扬程的电动给水泵进行切换启动,电动给水泵不作为高扬程的汽动给水泵的备用,可以降低厂用电计算负荷,优化厂用电接线方式,电动给水泵功率由 9 200 kW 降至 3 800 kW,与单元制电动备用泵相比节省投资 1 772 万元,与每台机配一台启动电动泵相比可节省 240 万元。

2) 全厂压缩空气系统的优化设计。将各专业空气供应系统整合为统一的空压机组,空压机采用节能型螺杆式空压机。通过空气供应系统优化,节约投资 1 236 万元,减小占地 279 m²。

3) 输煤系统的优化设计。对运煤系统“卸、贮、运”三个部分布置形式进行优化组合,将翻车机室移至河道南岸,节省一股铁路线长 850 m 及五股铁路专用线过河铁路桥一座,其综合费用共约 2 000 万元;不设干燥棚,可节省工程费用约 1 200 万元。

4) 脱硫系统的优化设计。结合湿法脱硫的工艺特点和煤场的布置方式,将湿法脱硫系统的全部构筑物和设备集中在炉后布置。优化后的布置结构紧凑,使整个脱硫系统的操作、检修、维护更加方便,也使脱硫系统的配电和控制更加经济合理,并为加快后续设计和工程建设提供了条件。

4.3 新技术、新工艺和新材料的应用

1) 等离子点火技术的应用。其点火机理是靠等离子体发生器发射的高温等离子体射流,直接点燃一次风煤粉,实现无油点火。采用等离子点火和助燃,燃油系统作为等离子点火的备用,设计容量按 15 % BMCR,从而降低锅炉启动和调试耗油量,一台 600 MW 机组试运期间可节约各种费用 1 835 万元。

2) 结构设计采用新材料。在全厂结构中钢筋以采用 HRB400 + HRB335 系列的热轧钢筋为主导钢筋,对轴压比较大的煤仓间柱采用 C60 高强混凝土,避免了“肥梁胖柱”,从而获得显著的经济效益。

3) 综合管架柱采用新材料。综合管架柱推荐采用薄壁离心钢管柱,可以充分发挥钢和混凝土两种材料的物理力学特性;相对于轧制 H 型钢,其质量分布均匀,抗弯模量对称,整体稳定性好;相对于

纯钢管可充分利用混凝土的受压性能,节约用钢量。经技术经济比较,薄壁离心钢管作为管架柱在造价上仅为普通钢管柱的 2/3,为轧制 H 型钢的 1/4。

4.4 节水的优化设计

1) 循环冷却水系统采用一次循环系统,避免二次循环系统的蒸发损失,大幅度降低电厂耗水量。

2) 净水站设置污泥脱水系统,不但可以解决污泥水的排放问题,而且可以回收反应沉淀池的自用水量,减少新鲜水的用量。

3) 提高水的重复利用率,采用循序供水方式。根据各用水点对水质的要求,将用水水质要求高的用水系统的排水作为对水质要求低的用水系统的给水,做到一水多用。使全厂废水、污水在满足环保要求排放标准的处理系统基础上,仅增设少量的回用处理系统,将废水、污水资源化,再次回用。

4) 采用干除灰系统,可以避免大量除灰用水进入灰场而引起的蒸发损失,有效地减少了除灰系统的耗水量,从而减少了全厂的补给水量。

通过各种节水优化设计,工程的耗水指标降低至 0.049 m³/s·GW(不含脱硫)和 0.075 m³/s·GW(含脱硫),在减少新鲜水耗量的同时实现废水、污水零排放,其耗水指标均优于国家对电厂节水的有关规定,达到国内领先水平。

4.5 控制系统的优化设计

1) 全厂生产系统包括单元机组、网控和辅助附属系统采用集中控制方式,仅设一个集中控制点,使其成为全厂控制中心,充分体现减员增效。

2) 构建全厂 DCS, SIS, MIS 三级信息网络,全面开展各类信息的优化应用,保证全厂安全经济生产,为最终实现数字化电厂打下坚实基础。

3) 辅助附属生产系统采用辅控网集中控制,达到与机组控制水平相一致,努力统一软硬件平台,既减少控制系统备品备件的种类和数量又可以减少系统维护人员及培训费用,降低电厂检修维护的成本。

4) 集中控制室推荐布置在主厂房固定端 A 排外侧拐角处,控制室环境予以优化,使其明亮舒适,很少受电磁、噪声、振动、粉尘等的干扰影响。

5 结语

在火电厂项目的方案设计过程中,通过积极开展绿色设计工作,采用模块化组合进行厂区总平面布置,优化设备及功能子系统方案,选用成熟的新技术、新工艺和新材料,采取水量平衡设计方案及相应

可靠的节水措施。实施控制系统优化方案后,合理地降低电厂能耗和污染排放指标,减少了初始投资,实现了工程项目的可持续发展,取得了良好的经济、社会与环境效益。

通过采用绿色设计技术,2×600 MW 机组主要技术经济指标为:THA 工况发电厂热效率为 44.01%,THA 工况发电标准煤耗率为 279.1 g/(kW·h),THA 工况供电标煤耗为 291.0 g/(kW·h),厂用电率(包含脱硫负荷)为 4.10%,百万千瓦耗水指标(包含脱硫)为 0.075 m³/s·GW。各项技术、经济指标达到国内同类机组领先水平,体现“安全可靠、高效环保、以人为本、经济适用、系统简单、备用减少”的设计原则。

参考文献

- [1] 胡秀莲. 中国电力生产及环境问题[J]. 中国能源,2005,27(11):11-17
- [2] 张安华. 中国电力工业能效问题分析[J]. 中国能源,2006,28(7):16-18
- [3] 陈卫国. 建设资源节约型火力发电厂[J]. 四川电力技术,

2007,30(2):89-91

- [4] 姬中国,郭玉泉. 在建大型火力发电厂节能分析与对策[J]. 电力建设,2007,28(5):44-50
- [5] 崔占忠,龙辉. 1 000 MW 超超临界机组设计目标探讨及研究[J]. 水利电力机械,2007,29(4):28-33
- [6] World Commission on Environment and Development. Our Common Future[M]. New York: Oxford University Press, 1987
- [7] 张福伟. 电力工业可持续发展指标体系与评价方法研究[D]. 北京:北京科技大学,2001
- [8] 国务院办公厅. 国务院关于印发节能减排综合性工作方案的通知[EB/OL]. http://www.gov.cn/zwqk/2007-06/03/content_634545.htm, 2007-06-03
- [9] 黄德中. 电厂锅炉汽轮机系统的绿色设计探讨[J]. 电站系统工程,2003,19(3):23-26
- [10] 李训贵. 环境与可持续发展[M]. 北京:高等教育出版社,2005:269-317
- [11] 谭婷. 绿色建筑探析[J]. 建筑科学,2006,(35):54-55
- [12] 盛宝柱. 建设绿色建筑技术体系探析[J]. 基建优化,2006,27(4):1-4
- [13] 张青,杨明忠. 满足环境可持续发展需求的绿色设计[J]. 机械工程师,2005,(12):48-49

Discussion about green design of fossil fuel power plant

Dai Hongjun^{1,2}, Guo Jizhong², Cheng Hu¹

(1. College of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Jiangsu Province Electric Power Design Institute, Nanjing 210024, China)

[Abstract] The fossil fuel power plant consumed resources and discharged pollutants, of which the level not only connected with existence and development of projects themselves, but also affected the implement of energy conservation and emission reduction of the whole power industry, and held together the realization of the total target of general economical and social development of the country. Along with the sustainable development concept constantly deepening, green construction and green design techniques were widely adopted and applied. The green design technology were carried in the schematic design process of power plant, modular combination design was adopted, facility and function subsystem was optimized, new technique and new technology and new material were selected, effective water-saving measures were taken, optimized scheme of control system was put in practice, so the power plant could carry out sustainable development of itself, moreover acquire favorable economic and social and environmental benefits. The thesis aims to provide some beneficial experience accumulation for green design of the power plant based on preliminary study.

[Key words] sustainable development; fossil fuel power plant; green design; green construction; energy conservation and emission reduction