

计算机应用

采暖锅炉计算机监控、管理系统*

(清华大学) 吕泽华 徐向东 曹仁凤
张涛 王点宏 李明 蒋灰力

[摘要] 本监控系统具有方便快捷的运行平台和良好的人机界面;采暖锅炉使用了集散控制系统;控制系统创新地采用了布风调节、变频调节、模糊控制等手段,提高了锅炉的效率、稳定性和可靠性;建立了供水热网的预估模型,使锅炉和热网有机地连为一个整体,统一进行调节,改善了用户的供热品质,收到了良好的效果。

关键词 采暖锅炉 监控系统 集散控制 预估模型
变频调节

中图分类号:TK229.61:TP273

1 前言

我国现有工业锅炉三十万台,每年消耗原煤产量三分之一以上,随着社会对能源需求的增加和燃烧技术的进步,传统的仪表监测和手动控制的方式已很难适应对采暖锅炉稳定、安全、经济运行的要求。由于锅炉是一个非线性分布参数,大延时的控制对象,传统的控制方式,效果并不理想,加之现有控制系统都没有考虑供水热网的情况,使锅炉的调整和控制脱离其供热对象,造成热网热用户的供热品质难以保证。为此,我们开发研制一套采暖锅炉的计算机集散控制系统,并成功地用于北京西城区一台6 t/h采暖锅炉的控制和管理,取得了可喜的成果和经验。

2 系统配置及功能

系统方案主要可分为上位机监控管理系统及下位机锅炉控制系统。上位机内设置有DX/A输出卡,与下位机相连,对下位机进行监控和操作指导,

使上、下位机既可连为一体协调工作,也可以分开各行其事,以提高运行的可靠性和灵活性。

2.1 上位机的主要功能如下:

2.1.1 数据采集

由数据采集装置采集锅炉运行状态的各种重要数据,如压力、温度、压差、流量等各种参数进行处理,整理出报表曲线;定时打印;并可实现历史数据查询;具有良好的人机界面,及时将数据曲线显示给运行人员,并接受运行人员的指令。

2.1.2 联网通讯和管理

为使采暖锅炉的管理科学化、系统化,在局供暖办和区供暖所设置有微机,其通过调制解调器和各锅炉房的上位机实现有线的联网和通讯,以使局领导能了解各锅炉房的运行情况,进行管理和调度。现已完成的第一期工程,试点性的三家锅炉房实现了联网通讯,使局领导能掌握第一手的现场运行情况,取得了满意的效果。有望进一步普及和使入网的锅炉房进一步增多。

2.1.3 热网数学模型的预估

由数采装置所获得的各点用户的室温、大气温度、锅炉循环水进出口水温等数据,经统计整理拟合建立热网的预估模型,以便对锅炉的运行状态和负荷的大小进行监控。根据热网热用户室内温度情况和大气温度的变化情况,由预估模型可以预测锅炉的循环水出口温度应为何值才能满足热网热负荷的需求,以便调整锅炉的负荷,使其处于最佳的运行状态,提高效率,达到节煤的目的。

2.2 下位机

* 国家攀登 B 攻关课题

收稿日期 1996-03-18 修改定稿 1997-07-08

本文联系人 吕泽华 男 1945年生 副教授 100084 北京清华大学动力工程与控制

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

下位机对采暖锅炉实施具体的控制,它包括:布风调节、负荷调节、风量调节、负压调节等。其特点是后三种调节采用了变频调节器来节电和提高可靠性和灵敏性。在控制算法上采用了专家操作指

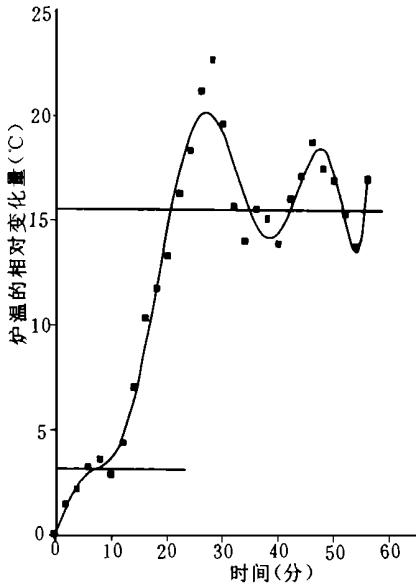


图 1 炉温的动态特性

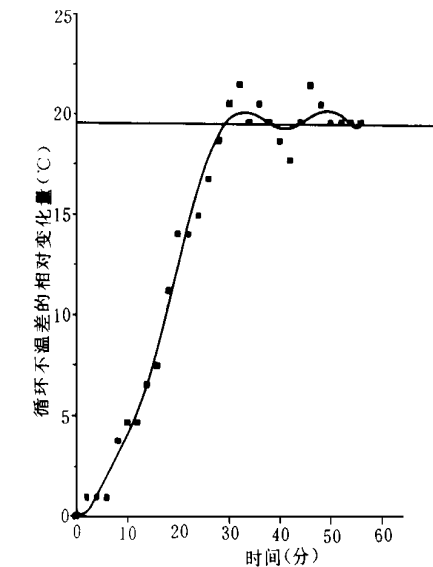


图 2 循环水温差 Δt 的动态特性

导和风煤比连调的方式,风量调节成为随动系统,按风煤比随着煤量的大小来自动调整风量,保证燃烧的过量空气系数处于较佳的状态。由布风调节系统控制风门的开度,提高燃烧温度,稳定火床的长度,改善

了变工况时炉子运行的可靠性和安全性,缩短了非稳定工况时的调整时间,使炉子易于稳定,取得了喜人的效果

下面仅就热网预估模型、负荷调节、布风调节等几个有特色的问题作一简单叙述。

3 热网预估模型^[1]

采暖锅炉的供热和用热热网的耗热是一对矛盾也是一个整体。而现有采暖锅炉的控制系统的控制

锅炉的热负荷,对热网有的不管,有的由运行操作人员参考一下供热热网用户的室内温度状况适当调整锅炉的热负荷。由于热网的热用户常达几万户,其热容量十分庞大,热惯性时间常数很大,当调整锅炉负荷后,若在热用户的室内温度上有所反应,常需半天时间以上才见效果。而冷源大气温度的变化却常较快,白天和黑夜的温差在冬季可达十几度以上,由此造成热网热用户供热品质下降,即室内温度波动较大。为解决此难题,我们根据传热学原理建立了热网的预估模型对锅炉的热负荷实行监控,取得了预期的效果,提高了供热品质。

采暖锅炉循环水对热网热用户的供热量 Q_n 可以简写为:

$$Q_n = X \cdot W_s \cdot (t_g - t_n) \tag{1}$$

式中: Q_n —— 供热量,

X —— 有效系数;

W_s —— 流量的热当量;

t_g —— 供水温度,即锅炉的循环水出口温度;

t_n —— 热用户平均室内温度。

$$W_s = C_s \cdot G_s$$

式中: C_s —— 循环水的比热;

G_s —— 循环水的流量,是常数定流量

热网热用户建筑物对冷源室外的散热量 Q_w 可由下式计算:

$$Q_w = q_v \cdot (t_n - t_w) \tag{2}$$

式中: Q_w —— 散热量;

q_v —— 建筑物室内外温差为 1°C 时的热耗

t_w —— 室外大气温度

显然,由热平衡原理可知:

$$Q_n = Q_w$$

$$X \cdot W_s \cdot (t_g - t_n) = q_v \cdot (t_n - t_w)$$

$$t_g = K \cdot (t_n - t_w) + t_n \tag{3}$$

式中: $K = q_v / (X \cdot W_s)$

当已知系数 K 后,可以由大气温度 t_w 和室内温度 t_n 根据式 (3) 来预估循环水出口温度 t_g 的值,借以调整锅炉的负荷。

要根据几万户热网的情况来理论计算系数 K 既困难也不可能准确。在式 (3) 中室内温度是热网供热的被控参数,一般要求其是一个定值。北京地区一般 $t_n = 18^\circ\text{C}$,考虑到控制精度问题,作到 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的误差是可能的,即 $t_n = 18 \pm 1^\circ\text{C}$ 。因此,式 (3) 可看作一维函数 $t_g = Y(t_w)$ 。由现场采集运行数据进行整理,可得到 K 的拟合计算公式为:

$$K^{-1} = \exp(-0.61676 \cdot t_w) * 0.58011 \tag{4}$$

这样,当大气温度变化时可以由预估模型式 (3) 推算循环水出口温度 t_g 的值来作为调整锅炉负荷的依据

4 负荷调节^[2,3]

负荷调节系统将链条炉的循环水出口温度作为被控参数,用变频器带动链条炉的给煤链条的电机作为执行机构,通过调整炉排的速度改变给煤量来控制炉子的负荷。其变频器的输出也就是给煤量大小的信号同时送给送风机控制系统,使送风量按较佳的风煤比随煤量跟踪随动调节送风量来提高燃烧效率

链条炉是个非线性、大延迟的控制对象,其延迟主要体现在两个方面。一是煤经链条输送至炉体中央主燃区最快也要 20 分钟左右,即加减煤后约 20 分钟以后才能影响到主燃区的燃烧温度;二是煤燃烧散发的热量要经水冷壁换热器传送给循环水,而循环水和整个供热的水网是连为一体的,采暖链条炉的热负荷不但和循环水出口温度有关,还和入口水温有关,应由其温差 Δt 来反应热负荷的动态特性,而循环水流出至再流入锅炉需要较长的时间,另一方面由于热网的介入,使反应链条炉热负荷大小的循环水温差 Δt 的动态特性并非一般炉子为一惯性环节,而是一个二阶振荡环节。图 1 和图 2 给出了当煤量增加了 10% 以后,炉温和循环水温差的动态特性实验结果。由图可以清楚地看到二者都是二阶振荡环节,其上升时间在 20 分钟左右,和前面实测的煤至主燃区耗时约 20 分钟相对应。这样一个迟滞振荡的调节对象采用常规的 PID 调节难以取得满意的结果,易引起给煤量和炉温的大幅度波动。对于这种内阻很小的二阶振荡环节,且又存在大的滞后,只能根据专家经验和实验调整的方法来找到合理的控制方案。我们将控制分为三个区间来分别处理,每间隔 10 分钟调整一次而非连续调节。

4.1 小偏差区间 —— $|t_g^* - t_g| \leq 0.3^\circ\text{C}$

当循环水出口水温 t_g 与给定值 t_g^* 比较,偏差 $E \leq 0.3^\circ\text{C}$ 时,为避免内阻小的此调节对象波动和调节系统的频繁动作,此区间内不调整给煤量,维持原值,以使炉子的运行能稳定。

4.2 中偏差区间 —— $0.3^\circ\text{C} \leq |t_g^* - t_g| \leq 1.5^\circ\text{C}$

当温差较大时,要按温差大小相应调整煤量,可采用比例调节,但由调节理论知,为避免引起增幅振

荡,比例放大系数不宜取大,1 左右就可以了。

4.3 大偏差区间 —— $|t_g^* - t_g| \geq 1.5^\circ\text{C}$

当偏差大时,需加大调节量,最大调节量为 1/50,相当于变频调速器变化 $\pm 1\text{Hz}$,再大会产生大幅振荡

4.4 上位机预估模型的引入

采暖锅炉供水热网的热容量因有几万热用户而非常大,循环水温度的变化对热网的影响较小,其时间常数要在半天以上,预估模型只是简单的估算,而非

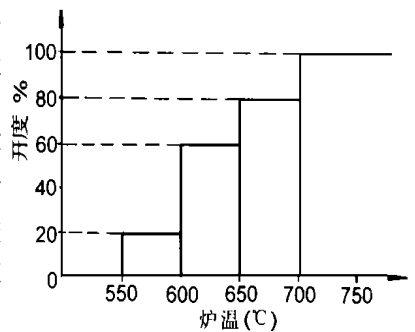


图 3 分室风门自调示意图

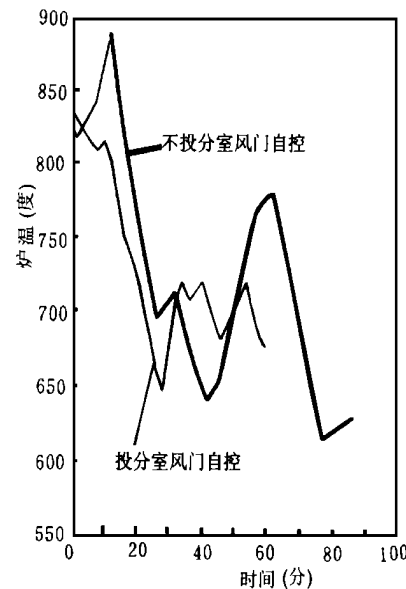


图 4 减煤时分室风门调整结果

精确的解。实验表明当循环水出口水温在 $\pm 4^\circ\text{C}$ 范围内波动时,热用户的室温波动范围仅在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 内,因此,没必要由上位机的预估模型来精确对应调整循环水出口温度的值,使循环水出口水温处在某一温差带内即可满足要求。为此,取预估模型估算值 t_g^* 与实际温度 t_g 之差

$|t_g^* - t_g| \leq 2^\circ\text{C}$ 作为可使热用户室内温度处于 $18 \pm 1^\circ\text{C}$ 的温差带,热用户认为满意,循环水出口水温不调整,当超出此范围时,按上述 4.3 大偏差地调节给煤量,以使其能尽快返回 $\pm 2^\circ\text{C}$ 的温差带内。

上述三个区间的调节方式都是 10 分钟调一次给煤量,这就类似司炉专家的操作方式:当循环水出口水温出现偏差时,加减点煤观察一下,限于链条炉的延迟特性,在 10 分钟后检查一下调节效果,偏差大小,以便作进一步的调整。因此,本控制系统是一种人工智能方式。运行结果,热用户室内温度在冬季室外大气温度变化的情况下,始终处于 $18 \pm 1^\circ\text{C}$ 的

范围内,达到了预期的效果。

5 布风调节

链条炉在炉体两侧一般各有 4~6 个风门,负荷不同时,火床长度不同,应改变各风门的开度,以使主燃区有充足的空气,非主燃区过量空气系数不要过大,以免降低炉温和效率。但因此操作十分繁琐,一般炉子仅在起动后达满负荷时手调一下风门,即以此开度运行了,不再调整。而采暖的小型链条炉的内扰很大,难以处于连续稳定的运行状态,例如每隔 4 小时要减负荷甚至停炉来清理炉前细灰斗内的细灰,此细灰要掺在煤里再回烧,掺不均匀或煤种变化或煤粒度变化,以及上煤时喷水量的大小都会引起煤的发热量变化,造成火床长度的变化和燃烧温度的不稳定。而停炉和减负荷清细灰都相当于要使炉子每隔 4 小时就要热起动一次。采暖链条炉工况的大幅度变化必然要求风门开度要随工况的变动自动调整,才能使炉内的布风合理,使燃烧稳定,提高燃烧的温度和效率。

西城德宝用的是北京北方锅炉厂产的 6 t/h 小型链条炉,其在链条炉两侧各有 6 个风门,从炉首起称作 1 至 6 号风门,在大负荷运转时,1 号风门全关或微开,6 号风门仅开 1/4, 2 和 3 号风门全开,4 和 5 号风门安装了布风自调系统。当炉子的负荷变化时,首先反应在炉温上,炉温反应了炉子负荷的情况,因

此,我们根据炉温大小将其分为 5 个区间,对应地将风门开度分为 6 档,由此根据反应火床长度的炉温来调整炉内的布风,取得了显著的效果,稳定了火床的长度和燃烧,稳定了炉温,缩短了非平稳工况的过渡时间,使炉子能克服上述的各种内扰,尽快恢复到稳定工作状态。图 4 是 5 号风门的开度调节示意图,4 号风门邻近主燃区,开度调节与 5 号相同,仅炉温值都相应提升了 50℃。当给煤机由 43 Hz 减至 33 Hz 来减煤减负荷时,实验结果示于图 5。由图 5 可以明显看到自动调节分室风门开度时,炉温过调量小,动态过程的振荡幅度要小得多,使炉子在工况变动时易于稳定下来,由于火床长度也相应较稳定,使炉温相应提高,无疑也就提高了燃烧效率和链条炉的效率。

6 结束语

所研制的采暖锅炉计算机监控和管理系统投运结果相当满意,取得了预期的效果。为链条炉这种非线性、大延时、多耦合的调节对象提出了布风调节、专家模糊调节负荷的新思想,取得了满意的预期效果,积累了经验,有望进一步的开发和普及。

参考文献

- 1 石北玉. 供热系统运行调节与控制. 清华大学出版社, 1994年 1 月.
- 2 哈工大热工教研室. 小型锅炉设计与改装. 科学出版社, 1987年.
- 3 庞丽君. 锅炉燃烧技术及设备. 哈工大出版社, 1987年 12月.

简 讯

具有液体空气储存的燃气轮机 进口空气冷却系统

“火力原子力发电”1997年 12月号报道了独特的具有液体空气储存的 GTIAC(燃气轮机进口空气冷却)系统,该系统在非尖峰负荷期间生产并储存液体空气并在尖峰负荷期间把液态空气直接喷雾入压气机进口,以便加大燃气轮机的输出功率。

使用装有液体空气喷射装置的 150MW 基本负荷燃气轮机,在日本 Chita 电站现场成功地进行了试验研究,证实了 GTIAC 系统的可行性。

研究结果表明,新颖的具有液体空气储存的 GTIAC 系统的主要优点是能经济地增加燃气轮机的输出功率,以满足尖峰负荷和紧急情况需要。

(思娟 供稿)

基于信息和知识集成的汽轮机智能诊断 = Intelligent Diagnosis of Steam Turbines Based on Information and Knowledge Integration [刊,中] / Ruan Yue, Sun Guobin, Xu Shichang (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). 280~ 281, 284

After an analysis of the types of symptoms in a steam turbine failure intelligent diagnostic system this paper presents the strategies of diagnostic information integration and a model for diagnostic knowledge integration. Expounded is a mixed reasoning method based on case examples, rules and models. Key words information integration, knowledge integration, intelligent diagnosis, steam turbine

中央空调蓄冷系统运行优化控制模式 = Optimized Control Mode of a Central Air-conditioning Cold Storage System Operation [刊,中] / Yu Guangbao, Liu Zhenyan, et al (China National University of Science & Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 282~ 284

The authors present a brief description of the current technical operation level in cold-storage air-conditioning cold discharge process along with an analysis of its deficiencies. With the aid of systemized knowledge proposed is a new mathematical model for an optimized operation. A method for problem solving and also optimized results are given and the economics of an optimized operation control mode is analyzed. On this basis a more detailed analytical study is conducted of the possible approaches for the further improvement and development of the operation optimized model. Key words cold storage air conditioning, cold discharge operation, optimized control, mode

燃气轮机发电机组注蒸汽后温控系统的适应性研究 = A Study of the Adaptability of the Temperature Control system after Gas Turbine Generator Steam Injection [刊,中] / Li Weishun, Lin Feng, Hou Yuhui (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 285~ 287

In connection with a practical machinery unit and through theoretical analysis and off-design condition calculation an analytical study is performed of the adaptability of the gas turbine temperature control system after steam injection. The study results show that following the steam injection the original temperature control system can not only ensure the reliable operation of the gas turbine, but can also contribute to the lengthening of the gas turbine life. Key words steam injection, temperature control system, overtemperature

锅炉单相受热面动态静态特性通用计算方法 = A General Calculation Method for Dynamic and Static Characteristics of Boiler Single-phase Heating Surfaces [刊,中] / Wang Guangjun, Wang Weiran, et al (North-east China Institute of Electrical Power Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 288~ 290

Based on a fluid microelement tracking calculation method the authors have come up with a general method for calculating the dynamic and static characteristics of a boiler single-phase heating surface thermodynamic process. With the help of this calculation model it is possible to not only analyze the dynamic process of the boiler single-phase heating surfaces but also perform the static verification computation of the said heating surface thermodynamic characteristics. In addition, it can also very conveniently determine the dynamic and static distribution status of the boiler single-phase heating surface thermodynamic parameters. Key words boiler, dynamic characteristics, static characteristics, calculation method

采暖锅炉计算机监控、管理系统 = A Computer-based Monitoring and Management System for Heating Boilers [刊,中] / Lu Zehua, Xu Xiangdong, Cao Renfeng, et al (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 291~ 294

The present monitoring system features a convenient quick-action operating platform and a fair man-ma-

chine interface. A total distributed control system is adopted for a heating boiler, which incorporates such a variety of means as air distribution regulation, frequency regulation and fuzzy control, etc., resulting in an enhancement of the boiler efficiency, stability and reliability. Also set up is a pre-evaluation model for a water supply heat network, which makes it possible to organically connect the boiler and the heat network into an integral whole. In this way, a unified regulation is achieved, leading to an improvement in heat supply quality to end-users and other favorable results. Key words heating boiler, monitoring system, total distributed control system, pre-evaluation model, frequency regulation

DCS在 410 t/h 锅炉机组上的应用 = **The Application of DCS in a 410 t/h Boiler Unit** [刊, 中] / Wei Dechun, Zhang Jinhui (Thermal Power Plant of Daqing Petrochemical General Works) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(3). - 295~ 298

A brief description is given of the use of μ XL total distributed control system in a boiler unit for enhancing operation reliability, economics and automation level and the functions realized through the configuration and allocation of hardware. Key words DCS, boiler control, application

VEGA-206型机组的节能措施 = **Energy-saving Measures of VEGA-206 Unit** [刊, 中] / Jin Zhili, Chen Xiaohui (Shenzhen Yueliangwan Gas Turbine Power Plant) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 299~ 301

With respect to the steam turbine condenser and circulating water pumps of Shenzhen Yueliangwan Gas Turbine Power Plant conducted were parameters measurement, a theoretical calculation and an analytical study. On this basis an energy-saving and material consumption abatement scheme was proposed, which consists in the strengthening of the existing system maintenance work or the implementation of a proper technical modification. Key words condenser, heat transfer approach temperature difference, circulating water flow rate, rubber-ball washing

实现水回收的注蒸汽燃气轮试验装置 = **A Test Rig for the Realization of Water Recovery in a Steam-injected Gas turbine** [刊, 英] / Wen Xueyou, Zou Jiguo et al. (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 302~ 307

Steam-injected gas turbines have a multitude of advantages, but they suffer from the inability to recover precious demineralized water. The present paper describes the test conditions and results of steam injection along with an attempt to achieve water recovery, which were obtained through a series of tests conducted on a S1A-02 small-sized industrial gas turbine. A water recovery device incorporating a compact finned spiral plate cooling condenser equipped with filter screens has been designed for the said gas turbine and a 100% water recovery (based on the design point) was attained. Key Words steam-injected, gas turbine water recovery, test rig.

Edited and Published by Harbin 703 Research Institute and Editorial Staff of this Journal

Printer: Energy-saving Printing House of Harbin Institute of Technology

Address P. O. Box 77, Harbin China

Tel (0451) 5650888-2074

Fax (0451) 5662885

Post Code 150036

Periodical Registration Code

ISSN 1001-2060

CN 23-1176/TK

Distributed by China International

Book Trading Corporation.

P. O. Box 399, Beijing, China