

基于特征模型的冷却塔监控装置设计

吴建国^{1,2}, 张培建¹, 瞿国庆³, 陆 平¹

(1. 南通大学 电气工程学院, 江苏 南通 226007;

2. 上海大学 机械与自动化学院, 上海 200072;

3. 南通京源水工自动化设备公司, 江苏 南通 226007)

摘要: 分析了火电厂冷却塔运行特点及存在的问题, 重点介绍了一种智能型冷却塔运行管理监控装置, 它基于建立在冷却塔出塔水温与湿球温度、冷却水流量、冷却塔进塔水温及冷却范围等之间关系的特征模型。将运行参数代入该模型, 即可计算出冷却塔出口水温的理想值, 通过与实际测量值比较, 确定出冷却塔的运行工况。实际运行表明, 该监控装置具有测量精度高、性能价格比高、能将冷却塔工作在最佳运行工况等优点。

关键词: 冷却塔; 特征模型; 集散控制系统

中图分类号: TP 277

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)10-0067-03

冷却塔是电力生产的主设备之一, 它与凝汽器、循环水泵等一起, 构成了火力发电厂的冷端设备, 其作用是将蒸汽动力循环的冷源损失排入环境。目前, 国内火力发电厂的冷端系统多为闭式循环, 汽轮机排汽在凝汽器中凝结为水, 其热量被循环水带走, 并通过冷却塔冷却后排入大气。冷却塔的运行状况直接影响到汽轮机的排汽压力下的饱和温度。研究表明^[1], 现代大型火电机组排汽压力对应的饱和温度每提高 1℃, 机组的煤耗约增加 1 g/(kW·h)。由此可见, 冷却塔运行管理的完善程度对电力生产增产节约起着非常重要的作用。

1 冷却塔的运行分析

冷却塔可以认为是一个双曲线旋转体。一般冷却塔的传热传质计算为^[2]

$$\Omega = \int \frac{c_p}{h_w - h_\theta} dt = A \lambda^m \quad (1)$$

$$\lambda = v_a F_m \rho_g / D_{cw} \quad (2)$$

$$v_a = \sqrt{\frac{4 H_e g (\rho_a - \rho'_a)}{\xi (\rho_a + \rho'_a)}} \quad (3)$$

式中 Ω 为冷却塔的特性数; h_w 为冷却塔内水温所对应的饱和空气焓, kJ/kg; h_θ 为冷却塔内湿空气焓, kJ/kg; λ 为冷却塔的气水质量比; v_a 为冷却塔内填料处平均风速, m/s; F_m 为冷却塔填料淋水面积, m²; ρ_g 为冷却塔进口干空气密度, kg/m³; D_{cw} 为冷却塔的出水流量, kg/s; ρ_a 为冷却塔进口空气密度, kg/m³; ρ'_a 为冷却塔出口空气密度, kg/m³; H_e 为冷却塔通风筒有效高度, m; ξ 为冷却塔内空气阻力系数。

火电厂的冷却塔一般采用逆流式自然通风, 塔高约百米。在实际运行中, 冷却塔受外部环境的影响很大。从红外辐射的理论出发, 冷却塔表面可看成具有一定发射率的灰体^[3], 灰体的红外辐射特性由它表面的温度和发射率决定。而表面温度取决于外界环境及内部热气流的情况。外表面的影响主要为太阳辐射、地球反射太阳的辐射、大气和地球的辐射、外表面本身的热辐射。图 1 给出了冷却塔喉部东、南、西、北 4 个方向表面温度随时间的变化情况。

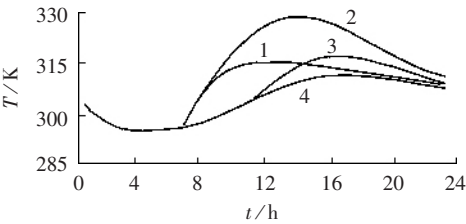


图 1 冷却塔喉部表面温度随时间的变化
Fig.1 Daily change of cooling tower neck surface temperature

图中的纵坐标为温度(单位为 K), 横坐标为一天 24 h。曲线 1、2、3、4 分别表示冷却塔东、南、西、北 4 个方向的表面温度变化情况。可以看出, 太阳辐射对冷却塔表面温度的影响很大。并且由于太阳辐射的角度和辐射的时间不同, 冷却塔表面温度随时间变化而变化。由此可见, 虽然式(1)~(3)给出了冷却塔的传热传质计算公式, 但由于冷却塔受自然环境的影响很大, 这给冷却塔运行状况的分析带来了难度。

火电厂的冷却塔投资大, 并且它的运行状态将直接影响机组的经济运行。在实际运行中, 冷却塔的缺陷、冷却塔表面温度、循环水流量及机组负荷均会影响冷却塔出水温度。由于缺乏在线监测手段, 运行人员无法对其进行有效的监管, 也很难衡量冷却塔是否达到设计要求, 盲目运行导致安全性和经济性降低。

据调查^[4],国内多数冷却塔均存在夏季出水温度过高,冬季又结冰严重的状况。这严重威胁机组安全运行,并导致煤耗增加、水资源浪费、成本上升等不良后果。因此,采用先进的冷却塔运行监控装置,控制冷却塔在合理的工况下运行,达到最佳的出水温度,可降低发电煤耗、节约水资源,保护生态环境。CTM 智能型冷却塔运行管理监控装置就是为实现这一目标而设计的。

2 CTM 智能型冷却塔监控装置设计

CTM 智能型冷却塔运行管理监控装置的组成如图 2 所示。整个监控装置主要由运行管理监控系统、气象参数测量系统、水参数测量系统和输出控制模块等组成。

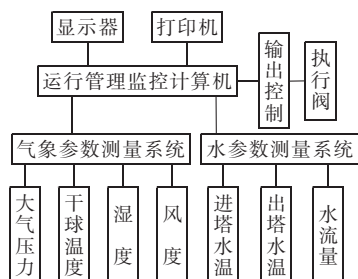


图 2 监控装置的组成

Fig.2 Structure of monitoring device

2.1 运行管理监控系统

运行管理监控系统的任务主要为实时接收来自气象参数测量系统、水参数测量系统送来的数据,并将这些数据归类处理。计算机内建有冷却塔运行特性数学模型,并通过热力计算,可自动准确评价出冷却塔的运行工况。分析数据一方面在显示器上显示或打印报表,另一方面通过输出接口将控制信号送至配水执行阀、节水执行阀,对其进行有效控制,从而保证冷却塔运行在最佳工况。

2.2 气象参数测量系统

气象参数测量系统的作用就是监测有关气象参数,并将测量的信号传输给运行管理监控系统以便其作出评价。该系统包括风速仪、大气压力传感器、干球温度及相对湿度传感器,以及数据采集模块。

2.3 水参数测量系统

水参数测量系统中选用了高精度铂热电阻作为测温传感器,并将其温度变化特性预置于中央处理机内,以便尽可能地提高测量精度。进塔水流量的测量采用了超声波流量计,具有较高的测量精度。

2.4 输出控制模块

输出控制模块接收运行管理监控系统提供的控制信号,并利用该信号控制配水控制阀,从而保证冷却塔运行在最佳工况。

CTM 智能型冷却塔运行管理监控装置属于集散控制系统。作为中央处理机的工控机及各类接口卡、打印机、显示器均安装在控制室的标准机柜内,而气象参数测量系统、水参数测量系统等则安装在

测控现场,利用计算机网络连接成完整的系统。为了提高整个装置的可靠性,在一些关键部位采取硬件和软件的冗余措施。

3 特征模型应用

CTM 智能型冷却塔运行管理监控装置的参数测量点为 22 个,采用加权平均法,保证参数测量的准确性,从而保证测量结果的准确、可靠。

目前,评价冷却塔性能最简单、最直观的方法是采用冷却塔出口水温作为评价指标。方法之一是根据运行条件及设计工况下总阻力系数计算出冷却塔的出口水温与实际测量值比较,以确定冷却塔的 actual 运行工况。这种方法的缺点是冷却塔总阻力系数的确定误差较大。另一种方法是建立冷却塔出塔水温与湿球温度、冷却水流量、冷却塔进塔水温及冷却范围等之间关系的数学模型。实际运行中,将运行参数代入该数学模型,即可计算出当时冷却塔出口水温的应达值,通过与实际测量值比较,确定冷却塔的运行工况。这种方法的难点是数学模型的准确性。

现采用后一种方法。考虑到冷却塔的数学模型复杂,故采用了特征模型。特征模型的概念最早由吴宏鑫院士提出^[6-8],就是结合对象的动力学特征和控制性能要求,建立一个比原动力学数学模型更为简单的模型。特征模型描述的基本原则是:

a. 在同样输入控制作用下,对象特征模型和实际对象在输出上是等价的(即在动态过程中能保持在允许的输出误差内),在稳定情况下输出是相等的;

b. 特征模型的形式和阶次除考虑对象特征外,主要取决于控制性能要求;

c. 特征模型建立的形式应比原对象动力学方程简单,工程实现容易、方便。

对于单输入、单输出的线性系统,特征模型可由式(4)描述:

$$y_m(k+1) = f_1(k)y_m(k) + f_2(k)y_m(k-1) + g_0(k)u(k) + g_1(k)u(k-1) \quad (4)$$

而对于具有 P 个输入单个输出的线性系统,特征模型则为式(5)描述:

$$y_m(k+1) = f_1(k)y_m(k) + f_2(k)y_m(k-1) + \sum_{j=1}^P g_{0,j}(k)u_j(k) + \sum_{j=1}^P g_{1,j}(k)u_j(k-1) \quad (5)$$

式中 系数 f 和 g 均是时变的; y_m 为冷却塔出塔水温; u 为冷却塔进塔水温。

而湿球温度、冷却水流量、冷却塔冷却范围等因素均在系数 f 和 g 中反映出。由此可见,采用式(5)这样一个具有时变特性的模型,可以比较真实地反映冷却塔的实际情况。

4 应用实例

该系统现已投入使用 30 多套。实际运行表明,通过模型预测出的冷却塔出塔水温与实际水温相比,相差在 2°C 以内,完全满足冷却塔运行要求。

图 3 为一段实际运行工况曲线,分别为冷却塔进塔和出塔水温、冷却塔出塔水温的预测值及流量。

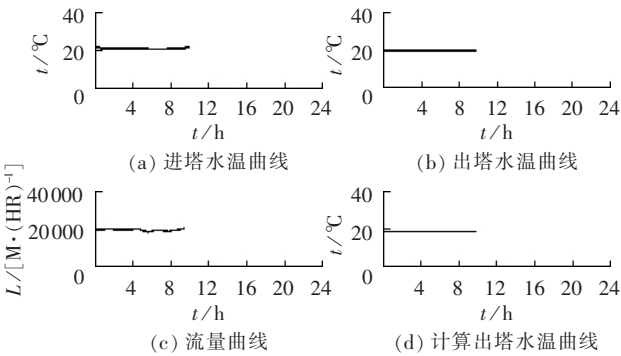


图 3 实际运行工况曲线
Fig.3 Actual running curves

CTM 智能型冷却塔运行管理监测装置的使用,可及时发现冷却塔的缺陷,提高了冷却塔运行的可控性,同时降低了煤耗、减少了水资源浪费。据测算,对于规模为 1 000 MW 的火电厂,每年减少的煤耗、水资源折算为标准煤 2×10^4 t,经济效益十分可观。

5 结论

CTM 型冷却塔运行管理监控装置在硬件上采用以工控机为核心,多个单片机实现数据采集,并通过远程数字通信网构成一个完整的计算机集散控制系统。高精度的测量装置和多传感器技术使得信号采集精度高、可信度高、可靠性高。在核心分析软件方面,采用了特征模型,最终实现了对冷却塔在一年四季的不同自然条件下的准确监控,保证了冷却塔处于最佳运行状态。与国外同类产品相比,CTM 型冷却塔运行管理监控装置具有测量精度高、价格低、评价准确等优点。该装置为实现电厂生产管理自动化提供了坚实的支持。目前,CTM 型冷却塔运行管理监控装置已在 20 多家火力发电厂投入使用,取得了较好的经济效益和社会效益。

参考文献:

[1] 林万超. 火电厂热系统节能理论[M]. 西安:西安交通大学出版

社,1994.
[2] 田疆,刘继平,邢泰安,等. 火电厂冷端在线监测诊断模型及其应用研究[J]. 热力发电,2004(3):14-16.
TIAN Jiang,LIU Ji-ping,XING Qin-an,et al. Diagnosis model for on-line monitoring cooling end of thermal power plant and study on application thereof [J]. Thermal Power Generation,2004(3): 14-16.
[3] 杨威,刘鑫,张建奇,等. 冷却塔表面温度场的理论计算[J]. 西安电子科技大学学报,2003,30(6):756-760.
YANG Wei,LIU Xin,ZHANG Jian-qi,et al. Theoretical calculations of the temperature field on the surface of cooling tower[J]. Journal of Xidian University,2003,30(6):756-760.
[4] 毕庆生,郭鹏,曲志强. 火电厂冷却塔存在的问题及主要对策[J]. 长春工程学院学报,2003,4(1):50-52.
BI Qing-sheng,GUO Peng,QU Zhi-qiang. The problems and main countermeasures for cooling tower[J]. Journal of Changchun Engineering Institute,2003,4(1):50-52.
[5] RICHALET J,DOSS S A A,ARBER C,et al. Predictive functional control:applications to fast and accurate robots [C] // Isermann R ed. Automatic Control 10th Triennial World Congress of IFAC. Oxford:Pergamon Press,1988:251-258.
[6] 吴宏鑫,王迎春,邢琰. 基于智能特征模型的智能控制及其应 [J]. 中国科学:E 辑,2002,32(6):805-816.
WU Hong-xin,WANG Ying-chun,XING Yan. Intelligent control and application based on intelligent characteristic model [J]. Science in China:Series E,2002,32(6):805-816.
[7] 孙庆,吴宏鑫,解永春. 一种基于对象特征的自适应模糊控制 [J]. 自动化学报,1999,25(1):122-126.
SUN Qing,WU Hong-xin,XIE Yong-chun. An adaptive fuzzy controller based on plant's characteristics[J]. Acta Automatica Sinica,1999,25(1):122-126.
[8] 吴宏鑫,解永春,李智斌,等. 基于对象特征模型描述的智能控制 [J]. 自动化学报,1999,25(1):9-17.
WU Hong-xin,XIE Yong-chun,LI Zhi-bin,et al. Intelligent control based on description of plant characteristic model [J]. Acta Automatica Sinica,1999,25(1):9-17.
[9] 孙多青,吴宏鑫. 多变量线性系统的特征模型及其控制方法[J]. 航天控制,2004,22(6):4-10.
SUN Duo-qing,WU Hong-xin. Characteristic model and control method of MIMO high order linear systems[J]. Aerospace Control,2004,22(6):4-10.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

吴建国(1955-),男,山东莱州人,副教授,博士研究生,主要研究方向为智能控制与复杂生产过程的先进控制技术 (E-mail:wu.jg@ntu.edu.cn)。

Design of cooling tower monitoring device based on characteristic model

WU Jian-guo^{1,2}, ZHANG Pei-jian¹, QU Guo-qing³, LU Ping¹

(1. Nantong University, Nantong 226007, China; 2. Shanghai University, Shanghai 200072, China; 3. Nantong Jingyuan Hydraulic Automation Company, Nantong 226007, China)

Abstract: Working characteristics and existing problems of cooling towers in power plants are analyzed. An intelligent cooling tower management monitoring device based on the characteristic model is emphasized, which expresses the relationship among the output temperature, the wet bulb temperature, the cooling water flux, the input temperature and the cooling region. With operating parameters introduced into the model, the ideal value of the output temperature could be calculated and the cooling tower work condition determined by comparing with the actual output temperature. The result of practical application shows that the monitoring device offers high precision and performance to set cooling tower in optimal work condition.

This project is supported by Nantong Industry Creative Project(A 3026).

Key words: cooling tower; characteristic model; DCS(Distributed Control System)