

火力发电机组锅炉控制技术的新进展

栾秀春, 李士勇

(哈尔滨工业大学 控制科学与工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要:近五年来国内外火力发电机组锅炉控制技术的发展表明:由于系统中存在多种非线性、不确定性及大惯性等不利因素,特别是在发电机组大型化和电网负荷大范围频繁变动的形势下,基于精确数学模型的传统控制技术受到了很大限制;而不完全依赖于精确数学模型的模糊控制、神经控制、自适应控制和预测控制等为锅炉控制提供了新的途径,模拟人类推理和决策的智能控制成为其发展方向。本文作者认为,从非线性科学角度出发,从机组整体上考虑锅炉的控制问题,有助于提高锅炉乃至机组整体控制系统的性能。

关键词:电站锅炉控制;模糊控制;神经控制;自适应控制;预测控制

中图分类号:TK39; TM621

文献标识码:A

1 前 言

火力发电中计算机控制的引入为采用复杂的控制策略、先进的算法创造了条件。20世纪70年代后期,最优控制分别在日本和英国的火电机组中获得实际应用^[1-2]。特别是20世纪90年代以来,模糊控制、自适应控制和神经控制用于火电机组的研究^[3-19],在国内外获得了长足进展,而预测控制在火电机组中的应用成为近年来的研究热

点^[20-24]。

目前火电机组的控制系统大部分是由PID(PI)算法的多个单输入单输出反馈控制回路组成,在预定的基本负荷工作点整定控制器参数并固定下来。对于在此工作点附近的随机负荷扰动,其调节的有效性已被几十年的研究和实践所证实^[25]。然而,当前电网负荷需求的峰谷差加大,大容量机组参与调峰已不可避免。为高效参与负荷调度,机组的控制必须在日、周和季节等调度周期内适应负荷变动以及随机波动^[26]。在负荷调度过程中,随着工作点的变化,过程动态特性中的非线性和相互影响降低了发电机组的运行性能,上述控制方案受到挑战^[25, 27]。

火电机组中,锅炉对负荷的响应速度比汽轮机对负荷的响应速度慢很多。因此,影响机组负荷跟踪速度的因素,主要集中在锅炉部分。锅炉是一个复杂的多变量非线性系统,各通道之间存在强耦合;蒸汽压力、温度过程都具有较大的惯性和滞后,这些特点不利于锅炉的控制。此外,为提高发电机组的整体效率,机组向着高参数、大容量的方向发展,而运行的安全性则对机组运行中

汽包水位、过热蒸汽温度、再热蒸汽温度等的控制性能(如速度、精度等)提出了更加苛刻的要求。这样的发展趋势给锅炉控制造成了更大的困难。

为此,近年来人们研究了多种新的控制策略来解决上述控制难题。本文就这方面的研究进展进行综述,以推动这一领域研究不断向前发展。

2 锅炉控制策略概述

2.1 补偿控制

蒸汽温度过程是典型的多容、大延迟控制对象,为此在其控制中引入Smith预估补偿,构成串级控制系统,以克服其延迟特性。电厂实际应用的结果表明,此系统具有良好的抗干扰能力和适应对象时变的能力^[28]。然而Smith预估器难以处理系统的负荷扰动,文献^[29]的研究引入负荷的前馈信号以补偿非线性汽温对象的负荷变化。

前馈-反馈控制可以实现控制过程的大范围运行,其主要思想是用开环前馈控制获得大范围可控性,用闭环反馈控制克服围绕期望轨迹的不确定性和偏差^[27]。2000年,美国宾夕法尼亚

州立大学 R. Garduno - Ramirez 等人提出两级分层控制方案: 上层的模糊推理系统为下层控制回路提供参考值, 下层通过前馈控制信号和反馈控制信号, 实现负荷大范围变动时机组的稳定运行^[27]。文献[30]提出控制通道采用状态反馈, 扰动通道采用状态前馈的所谓状态前馈—反馈控制方案, 用于锅炉给水控制的仿真结果表明, 其控制品质优于串级三冲量控制方案。

2.2 最优控制和鲁棒控制

1978年, 日本九州电力公司 500MW 超临界定压锅炉使用了基于 AR 模型设计的最优调节器。在控制参数未作任何重新调整的情况下, 此调节器持续运行了 10 年^[1]。同一时期, 在英国 Pembroke 电站, J. N. Wallace 和 R. Clarke 把具有卡尔曼滤波器的控制器用于电站锅炉控制, 提高了系统抗干扰能力且降低了系统对测量噪声的敏感度^[3]。

陕西宝鸡第二发电厂 1 号 300 MW 单元机组亚临界、自然循环中间再热汽包锅炉的新建工程中, 采用状态反馈和状态观测器理论, 设计状态观测器, 重构系统中难于直接测量的状态变量(受热面中间各点温度), 并传统的 PID 控制相结合用于蒸汽温度控制。现场应用表明此控制策略有优良的控制性能^[31]。文献[32]基于 H_∞ 理论, 针对部分状态不可测, 通过闭环鲁棒性条件设计状态反馈和状态观测器, 用于主蒸汽温度控制, 现场实际运行证明了此方案的可行性。

2.3 模糊控制

模糊控制应用语言变量, 把人们的操作经验总结为若干条件语句, 建立模糊关系, 进行模糊逻辑推理, 从而实现对复杂对象的控制。

20 世纪 90 年代以来, 把模糊控制用于电站锅炉, 无论是仿真研究还是工程实践都取得了长足的进展。其中仿真研究有: 美国俄亥俄大学 G. V. S. Raju 等人应用递阶结构设计模糊逻辑控制器, 用于给水流量的控制^[3]。文献[4]将模糊推理应用于常规 PID 控制器的参数校正, 从而获得基于模糊规则的 PID 控制器, 用于火电厂过热汽温控制。澳大利亚新南威尔士大学 C. M. Cheng 等人基于 Takagi - Sugeno 模糊动态模型设计多层递阶控制器, 通过对不同负荷运行条件下设计的局部线性控制规律进行平滑组合, 来构造非线性控制系统实现全局控制, 实现对蒸汽压力和汽包水位进行调节^[3]。

模糊控制用于电站锅炉的工程实践有: 内蒙古通辽电厂在 200MW 机组直吹式锅炉主蒸汽压力控制中采用模糊控制, 较好的解决了主蒸汽压力的纯迟延和大惯性等难题^[6]。湖南耒阳电厂 200 MW 机组的燃烧控制采用模糊控制, 解决了强化调节作用与暂态稳定性之间的矛盾^[7]。山西神头一电厂 4 号机组 670 t/h 锅炉, 采用控制规则带调整因子的智能模糊控制器, 调节再热汽温^[8]。内蒙古元宝山电厂采用把低层控制和高层监督结合起来的所谓经典—模糊混合控制方法, 调节蒸汽温度和汽包水位, 此方案已经成功运行多年^[9]。

2.4 自适应控制

自适应控制能跟踪系统的运行状态并更新控制器参数, 可以处理动态特性变化的过程控制问题。对于机组运行在电网负荷大范围变动的情况下, 自适应控制

就为多输入多输出的非线性发电机组系统提供了有效的控制策略。

1992 ~ 1993 年日本两座 375 MW 汽包锅炉采用自适应控制来解决煤的性质、炉膛污染状况、管束老化等因素对锅炉蒸汽温度动态特性的影响问题。运行数据显示, 自适应控制的性能比常规 PID 控制有明显改善^[10]。

1996 年, 美国弗吉尼亚工学院 H. F. VanLandingham 等人设计了自适应模糊控制器, 控制锅炉汽包水位的仿真显示, 性能优于 PID 控制^[11]。文献[12]在燃烧控制中, 通过在线不断的自学习, 进而实现在线自寻优风—煤比的目的。文献[13]直接将反映模型特性的工况参数与控制系统的控制器参数联系起来, 建立模糊粗调机制, 并根据实际系统输出偏差及其变化进一步微调控制参数, 实现对过热汽温的控制。此方案不需要在线辨识对象的模型, 大大减少了计算量, 易于满足实时性要求。文献[14]根据目标参数和操作参数的变化, 基于操作人员对实际过程的分析, 建立 PID 控制参数模糊调整策略, 从而获得自适应递阶模糊 PID 控制。仿真结果表明此方案对过热汽温控制十分有效, 较好的克服了对对象特性变化的影响, 控制系统响应速度快, 超调小, 鲁棒性强。

2.5 神经控制

神经网络具有很强的非线性函数逼近和非线性映射能力, 以及对信息处理具有自组织、自学习等特点。所以它为处理锅炉控制中的非线性建模和非线性控制提供了强有力的工具。

希腊国立工业大学 A. K. Fameliaris 等人提出一种基于人工神经网络的汽包锅炉控制方

案,通过误差反向传播算法离线训练神经网络,对锅炉动态特性求逆,建立神经逆动态控制器,对汽包锅炉蒸汽压力控制的仿真表明,此控制器的响应快于经典的PI控制^[15]。文献[16]将神经元的特性与串级控制相结合,构成对过热汽温的智能控制结构,实现参数的自整定。

2000年,德国Ilmenau工业大学的V. Stephan等人通过把复杂系统分解为几个智能体,采用再励学习的多智能体系统来控制锅炉燃烧过程。在德国汉堡某电厂试验显示,此系统能明显减少燃烧过程中总的空气消耗量,降低NO_x排放^[17]。2001年,文献[18]设计单神经元自适应PSD控制器,用于再热蒸汽温度控制。现场运行表明,调峰机组在大范围变负荷的工况下保持了良好的控制性能和运行效果。2002年,文献[19]基于神经网络 α 阶逆系统方法,提出一种锅炉主汽压非线性控制系统的设计方法。利用神经网络强大的自组织和自学习能力,发掘机组运行数据中所包含的对象动态特性信息,抵消和补偿对象的非线性,克服对象不确定性的影响,实现了系统大范围解耦线性化。

2.6 预测控制

热工过程往往具有较大的惯性、滞后,以及非线性和时变性,难以建立精确的数学模型。而预测控制对模型精度要求较低,鲁棒性较好。因此,预测控制在热工控制中有广阔的应用前景。

1990年,英国贝尔法斯特女王大学B. H. Hogg等人应用广义预测理论实现了200 MW汽包锅炉过热蒸汽压力的自调整控制^[33];次年,他们应用自调整多回路广义预测控制方案调节200

MW汽包锅炉的过热蒸汽压力和温度、再热蒸汽温度^[34]。以上研究的仿真结果显示,在大范围运行条件下明显提高了控制性能。1991年,美国斯通-韦伯斯特工程公司J. A. Rovnak等人应用动态矩阵控制器对超临界锅炉进行多变量控制的仿真表明,在明显的负荷变化下,实现了对蒸汽压力和温度的控制^[35]。

1998年,英国贝尔法斯特女王大学G. Prasad等人通过神经网络离线辨识对象的全局动态模型,并基于此模型设计大范围非线性多变量预测控制器,用于控制负荷周期变化和其它恶劣运行条件下的主蒸汽温度和压力、再热蒸汽温度^[20]。同年,他们把整个运行区域分成一定数目的分区后,辨识得到动态局部线性模型,由这些模型构成局部模型网络,再用高斯分布的插值参数进行插值,来表征全局的系统非线性,并基于广义预测控制算法设计受约束多变量大范围预测控制器。对在整个运行范围内负荷大速率变动时主蒸汽温度和压力、再热蒸汽温度控制的仿真结果表明,该预测控制器的性能优于基于近似单一全局线性模型的大范围预测控制器^[21]。1999年文献[22]提出仿人智能的预测控制,通过模仿人的控制思维方式来选择相应控制强度。对过热汽温控制系统的仿真结果表明,其控制品质优于常规控制。

2000年,文献[23]将递阶广义预测控制用于调节主蒸汽压力,在河南某电厂的实际应用收到了主蒸汽压力稳定、控制量变化柔和的效果。2002年,文献[24]针对由负荷周期运行导致的非线性特征,提出多变量非线性EXP-ARX模型,来描述火力发

电机组在整个运行范围内的非线性特性。把基于此模型的受约束多变量广义预测控制策略,用于控制锅炉的过热蒸汽压力和温度、再热蒸汽温度。仿真结果表明,其性能优于常规增益调节PID控制和通常的基于全局线性ARX模型的广义预测控制。

3 展望

基于过程精确数学模型的传统控制技术,虽然取得了很大的成功,但是,锅炉的许多部件在很大程度上存在非线性、不确定性以及大惯性、大滞后和分布性等复杂特性,且它们间的相互作用使锅炉的动力学特性变得更复杂,特别是在电网负荷要求大范围、频繁变动以及发电机组大型化的趋势下,就更加难以建立精确数学模型。因此,传统控制技术的应用就越发受到限制,而不完全依赖于精确数学模型的模糊控制、神经控制、自适应控制、预测控制等为锅炉控制提供了新的途径,模拟人类推理和决策的智能控制成为其发展方向。

同时应指出,大型火力发电机组是由多个子系统构成的一个复杂大系统,以往对此系统的控制只注重单独设计每一个子系统的控制,如锅炉温度、压力控制,汽轮机调速,发电机的励磁控制及发电机的负荷控制等,且对每个子系统非线性因素线性化处理,分布参数集中化处理,很少考虑子系统之间的相互作用和影响。实际上子系统之间的相互联系和制约关系,对于保持整个大系统的安全、稳定和经济运行是十分重要的。

随着非线性控制理论的发展,基于微分几何的非线性控制

理论用于电力系统中的非线性励磁控制, 汽门开度非线性控制等, 并取得了一些研究成果^[36]。但这种方法要求的非线性系统精确线性化的条件苛刻, 因此它的应用具有局限性。

2000 年, 文献[36]提出了把大型火电机组视为一个复杂系统, 并应用非线性科学分析其动态过程稳定性的新观点。非线性科学的一个基本观点是, 复杂系统中各子系统间许多微小的非线性因素间的相互作用, 可以导致不可预测的后果。锅炉是火电机组复杂系统中不可分割的一部分, 与机组其它部分间存在着非线性相互作用。因此, 解决锅炉控制问题必须从非线性科学角度出发, 既要考虑锅炉本身的非线性因素, 又要考虑其它部分非线性对锅炉的影响。文献[37]给出了由控制级、协调级和组织级构成的大型火电机组的三级递阶智能控制系统结构。为从整体上研究锅炉的控制技术提供了一个新的方法。

综上所述, 基于非线性科学理论和人工智能技术与方法, 研究复杂系统的智能控制问题, 为综合解决大型火电机组控制系统的安全、稳定、高效运行提供了一个新的思路。

参考文献:

[1] NAKAMURA H, UCHIDA M. Optimal regulation for thermal power plants [J]. *IEEE Control Systems Magazine* 1989 **9**(1): 33-38.

[2] WALLACE J N, CIARKE R. The application of kalman filtering estimation techniques in power station control systems [J]. *IEEE Transactions on Automatic Control* 1983 **AC-28**(3): 421-427.

[3] RAJU G V S, ZHOU J. Fuzzy logic process controller [A]. *IEEE International Conference on Systems Engineering*

[C]. USA; Pittsburgh, PA, 1990. 145-147.

[4] 吕剑虹, 陈来九. 模糊 PID 控制器及在汽温控制系统中的应用研究 [J]. *中国电机工程学报*, 1995, **15**(1): 16-22.

[5] CHENG C M, REES N W. Hierarchical and heuristic fuzzy model based control of drum-boiler power plant [A]. *Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. [C]. Spain; Barcelona, 1997. 629-634.

[6] 杨庆柏. 21 世纪火电厂热工自动化展望 [J]. *中国电力*, 1999, **32**(1): 45-48.

[7] 唐登国, 欧又成, 罗朝东. 模糊控制在锅炉燃烧自动系统中的应用 [J]. *湖南电力*, 1999, **19**(3): 53-55.

[8] SONG N N, YANG G W, JIAO Y T, *et al.* Application of intelligent switch and intelligent fuzzy controller in reheated steam temperature system of power plants [A]. *Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation* [C]. China; Hefei, 2000. 449-452.

[9] WANG W, LI H X, ZHANG J T. Intelligence-based hybrid control for power plant boiler [J]. *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 2002, **10**(2): 280-287.

[10] MATSUMURA S, OGATA K, FUJII S, *et al.* Adaptive control for the steam temperature of thermal power plants [A]. *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Control Applications* [C]. Italy; Trieste, 1998. 1105-1109.

[11] VANLANDINGHAM H F, TRIPATHI N D. Knowledge-based adaptive fuzzy control of drum level in a boiler system [A]. *Southcon/96. Conference Record* [C]. USA; Orlando, FL, 1996. 454-459.

[12] 王耀青, 刘 微. 在线调节风/煤比实现经济燃烧控制 [J]. *中国电力*, 1997, **30**(2): 14-19.

[13] 范永胜, 徐治皋, 陈来九. 基于动态特性机理分析的锅炉过热汽温自适应模糊控制系统研究 [J]. *中国电机工程学报*, 1997, **17**(1): 23-28.

[14] 谢克明, 侯宏仑, 谢 刚. 过热汽温系

统的自适应递阶模糊 PID 参数控制 [J]. *中国电机工程学报*, 2001, **21**(9): 38-42, 67.

[15] FAMELIARIS A K, VOURNAS C D. Inverse dynamics control of a steam power plant [A]. *IEEE/IFAC Joint Symposium on Computer-Aided Control System Design* [C]. USA; Tucson, AZ, 1994. 205-210.

[16] 范伊波, 巨林仓, 胡 勇, 等. 基于自适应神经网络的过热汽温智能控制 [J]. *动力工程*, 1998, **18**(2): 7-10.

[17] STEPHAN V, DEBES K, GROSS H M, *et al.* A reinforcement learning based neural multiagent system for control of a combustion process [A]. *Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks* [C]. Italy; Como, 2000. 217-222.

[18] 赵锡龄, 焦文婷. 单神经元自适应控制 PSD 在再热汽温控制中的应用 [J]. *中国电机工程学报*, 2001, **21**(2): 93-96.

[19] 于达仁, 徐志强, 郭洪波, 等. 基于神经网络解耦线性化方法的锅炉主汽压力控制 [J]. *中国电机工程学报*, 2002, **22**(5): 143-147.

[20] PRASAD G, SWIDENBANK E, HOGG B W. A neural net model-based multivariable long-range predictive control strategy applied in thermal power plant control [J]. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1998 **13**(2): 176-182.

[21] PRASAD G, SWIDENBANK E, HOGG B W. A local model networks based multivariable long-range predictive control strategy for thermal power plants [J]. *Automatica* 1998, **34**(10): 1185-1204.

[22] 刘 禾, 徐育新, 侯国莲, 等. 锅炉过热汽温的预测智能控制 [J]. *热能动力工程*, 1999, **14**(4): 281-283.

[23] QIU X F, XUE M S, SUN D M, *et al.* The stair-like generalized predictive control for main-steam pressure of boiler in steam-power plant [A]. *Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation* [C]. China; Hefei, 2000. 3165-3167.

[24] PENG H, OZAKI T, HAGGAN-OZAKI V, *et al.* A nonlinear exponential ARX model-based multivariable generalized predictive control strategy for thermal

- power plants [J]. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2002, 10(2): 256-262.
- [25] GARDUNO-RAMIREZ R, LEE K Y. Fuzzy scheduling control of a power plant [A]. *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting* [C]. Singapore, 2000. 441-445.
- [26] ARMOR A F. Cycling of fossil plant: the key issue for the next 10 years [A]. *Proceeding of the 1985 Fossil Plant Cycling Conference* [C]. 1985, EPRI CS-4723.
- [27] GARDUNO-RAMIREZ R, LEE K Y. Wide range operation of a power unit via feedforward fuzzy control thermal power plants [J]. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2000, 15(4): 421-426.
- [28] 何同祥, 刘吉臻, 牛玉广, 等. 过热汽温Smith 串级控制系统及参数整定 [J]. 华北电力大学学报, 1998, 25(4): 70-73.
- [29] 宋年年, 熊淑燕, 安 舞, 等. 带负荷前馈的 Smith 预估串级汽温控制系统仿真研究 [J]. 计算机仿真, 1996, 13(2): 25-29.
- [30] 潘维加. 汽包锅炉状态前馈-反馈给水控制 [J]. 动力工程, 2001, 21(6): 1552-1554.
- [31] 韩忠旭, 张 智. 状态观测器及状态反馈控制在亚临界锅炉蒸汽温度控制系统中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(11): 76-80.
- [32] 刘建江, 李 政, 倪维斗, 等. 基于 H_{∞} 理论的状态变量控制在主蒸汽温度控制中的应用 [J]. 动力工程, 2000, 20(3): 669-673, 684.
- [33] HOGG B W, EL-RABAIE N M. Generalized predictive control of steam pressure in a drum boiler [J]. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1990, 5(3): 485-492.
- [34] HOGG B W, EL-RABAIE N M. Multi-variable generalized predictive control of a boiler system [J]. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1991, 6(2): 282-288.
- [35] ROVNAK J A, CORLIS R. Dynamic matrix based control of fossil power plants [J]. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1991, 6(2): 320-326.
- [36] 李士勇, 周 畅, 王西田. 抑制大型汽轮发电机组轴系扭振的控制技术综述 [J]. 热能动力工程, 2000, 15(5): 451-454.
- [37] 李士勇. 基于非线性科学的大型汽轮发电机组轴系扭振的智能控制 [J]. 计算机自动测量与控制, 2000, 8(5): 13-15, 22.

(何静芳 编辑)

手持式泵效测试仪

泵效测量记录的简易仪器——手持式泵效测试仪。其泵效测量应用热力学方法, 根据热力学定律, 通过测定流体热力学参数, 从而确定流体机械效率的方法。依据热力学原理, 泵叶轮在对流体做功时, 一部分成为流体的有用功, 一部分由于流体内部产生摩擦、涡流和冲击而造成机械能损失, 若不计流体与外界的热能交换和声能损失, 根据能量守恒和转换定律, 这些机械能必将全部转换为热能, 使泵出口流体温度升高; 同时, 在水泵进口到出口的等熵压缩过程中, 也会使流体温度升高, 两方面因素形成了泵进出口的温差, 水的比焓发生了变化。因此只需测出水泵的进出口压力、温度, 利用稳定流动能量方程, 通过焓差计算, 即可测出水泵效率。

从测量仪器的系统准确度角度考虑, 应用此方法应注意以下几点:

(1) 泵效率应符合国家标准 GB3216-82, 测量允许的最大总误差限: B 级 $\delta \leq \pm 2.8\%$; C 级 $\delta \leq \pm 5.0\%$ 。B 级测试精度所允许的 $\delta \Delta T \leq \pm 1.66\%$; C 级测试精度所允许的 $\delta \Delta T \leq \pm 2.42\%$ 。

(2) 根据资料和实验, 热力学法测量水泵效率时, 温差误差对测试精度起决定性作用。

(3) 温差仪表的测量精度随被测水泵的工况变化, 水温低对温差仪表精度要求高, 一般测温元件很难达到精度要求, 如采用精密模数器件, 温差检测电路, 尚可达到精度要求。

本测试仪为热力学法测定水泵效率的手持式设备, 可在水泵运行条件下测出水泵进出口的温差。仪器采用充电电池供电, 消除交流供电干扰; 体积小, 携带方便; 应用灵活, 适用于各类部门水泵使用现场的性能测试, 也可以用于其它类型泵(如油泵)和液压系统的性能测定, 同时可用于实验室内水泵特性的试验; 还可在测量现场不便或没有与上位机连接情况下, 用手持仪器记录下采集到的数据信息, 再上传到上位机, 完成对信息的进一步处理; 另外, 由于仪器采用大规模集成电路和单片机, 使测试自动化程度和准确度大为提高, 使用和操作方便, 便于维修, 因此其发展和应用前景是乐观的。

(吕实诚 供稿)

火力发电机组锅炉控制技术的新进展 = **New Advances in the Development of Boiler Control Technologies for Thermal Power Plants** [刊, 汉] / LUAN Xiu-chun, LI Shi-yong (Department of Control Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 329 ~ 333

The development both at home and abroad of boiler control technologies for thermal power plants during the past five years has shown that the precise mathematical model-based traditional control techniques suffer from great limitations. This comes about because of the presence of numerous unfavorable factors, such as non-linearity, uncertainty and great inertia, etc, especially in the case of a steady increase in unit capacity of power generating units and highly frequent wide-range load fluctuations in electric networks. However, control techniques not fully dependent on precise mathematical models, such as fuzzy control, neural control, self-adaptive and predictive control, etc have provided new approaches for the control of boilers. In this connection, intelligent control based on the simulation of human reasoning and decision-making has become a trend of future development. From the scientific perspective of non-linear behavior the authors have addressed the boiler control issue as an integral part of the whole power plant, which is conducive to enhancing the performance of the control system of both the boiler and the power plant as a whole. **Key words:** utility boiler control, fuzzy control, neural control, self-adaptive control, predictive control

重力热管传热波动特性研究及抑制方法探讨 = **An Investigation of the Heat-transfer Fluctuation Characteristics in Gravity Heat Pipes and an Exploration of Methods for Their Restraint** [刊, 汉] / CHEN Yan-ze, ZHOU Yi-hui, DING Xin-wei (Chemical Engineering Institute under the Dalian University of Science & Technology, Dalian, China, Post Code: 116012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 334 ~ 336

Pulse boiling and temperature fluctuations will occur in gravity heat pipes during their startup and in case of a change in their stable operating conditions. This will have a negative effect on the heat transfer efficiency and the service life of heat pipes. The use of a simple spring-loaded bubble-suppression device may restrain the generation of gas bubbles from working media in heat pipes and absorb the heat energy in gas bubbles, thereby making the working-medium temperatures tend to assume a uniform distribution. Meanwhile, this is also conducive to intensifying the convection heat transfer between the working media and pipe walls. Tests have shown that the heat-transfer intensification effectiveness of gravity heat pipes is very conspicuous thanks to the use of the above-mentioned bubble-suppression device. **Key words:** gravity heat pipe, bubble suppression, pulse characteristics, periodic geyser phenomenon

不同湍流模型在旋风分离器三维数值模拟中的应用和比较 = **Application and Comparison of Different Turbulence Models in the Three-dimensional Numerical Simulation of Cyclone Separators** [刊, 汉] / WANG Hai-gang, LIU Shi (Institute of Engineering Thermophysics under the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 337 ~ 342

Numerical simulation calculations were conducted of single-phase turbulence flow fields in a gas-solid cyclone separator with the use of a standard $k-\epsilon$ model, RNG $k-\epsilon$ model and a Reynolds stress model (RSM). A bloc division technique was employed for the mesh division of the cyclone separator with each bloc using curvilinear coordinates for mesh division. The results of calculation were compared with those of experiments. Among the three models the prediction results of the RSM model have been found to be the most rational, which gave rational forecast results for a vortex structure with a tangential speed distribution. At the same time, the anisotropic behavior of Reynolds stresses was also presented. However, some discrepancy still exists between the simulation results and the experimental ones. An analysis has shown that apart from the feature of the turbulence model itself this can somehow be attributed to the selected inlet boundary conditions and the adopted mesh division. **Key words:** cyclone separator, turbulence model, numerical simulation