

# 大型汽轮机控制系统的技术现状及发展

(哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036) 翁一武

**摘 要:** 对大型汽轮机控制系统的技术现状进行了叙述, 并分析了存在的问题, 提出了解决问题的建议, 展望了控制系统的发展趋势。

**关 键 词:** 大型汽轮机; 控制系统; 数字式电液控制系统

中图分类号: TK263.7<sup>+2</sup>

文献标识码: A

## 1 概述

汽轮机在高压蒸汽的作用下高速旋转, 控制系统保证了电压和频率稳定, 保证了在电网出现故障或机组出现故障时机组自身的安全。

随着机组容量的增加和参数的提高, 启动和运行变得越来越复杂, 机组的安全性也变得越来越重要, 一直采用的机械液压式调节系统已不能完全满足生产的要求, 特别是大型火电发电机组的要求。

在 60 年代初出现了把电子技术和液压技术相结合的模拟电液控制系统(AEH), 到了 70 年代出现了数字式电液控制系统(DEH), 80 年代 DEH 系统已经发展到了较高的阶段, 在大型汽轮发电机组中, DEH 系统的应用已经很普及, 早期的 DEH 系统多以小型计算机为核心构成, 近期的 DEH 系统以微型机为基础。

## 2 汽轮机控制系统的分类

目前我国火电厂中 200 MW, 300 MW, 600 MW 级的汽轮机配套的控制系统的分类主要有: 机械液压式控制系统、电液并存式控制系统、模拟电路构成的电液系统(AEH)、专用型数字式控制系统和通用型数字式控制系统(DEH)。

### 2.1 机械液压式控制系统

国内汽轮机厂生产的 200 MW 级的汽轮机绝大多数配用机械液压式控制系统, 采用高速弹性调速器或调速泵作为感应机构, 由同步器, 调速器错油门组, 中间错油门和油动机等组成。125 MW 和 300 MW 级汽轮机的调节系统采用旋转阻尼作为感应机构, 它和放大器、同步器、高中压油动机、启动阀等组成液压调节系统。

### 2.2 电液并存控制系统

汽轮机电液并存控制系统, 大多用于对原机械液压式调节系统进行改进。DEH 的控制信号通过电液转换器, 转换成液压控制信号, 取代液压调节系统中的脉冲油压信号去控制油动机, 原液压控制系统可以作为备用, 使电调和液调之间能相互无扰动切换, 相互跟踪。

### 2.3 模拟电液控制系统(AEH)

汽轮机模拟电液控制系统的控制器由电子电路组成, 有美国 GE 公司的 MARK-IIA 型, 法国阿尔斯通公司的 REC-70 型, 意大利 ANSALDO 公司的 ESACON 型电调。

### 2.4 数字式电调控制系统

汽轮机数字式电调控制系统可以分为专用型和通用型两种。专用型数字式电调控制系统有美国西屋(WESTING HOUSE)公司的 DEH-II 型, 法国阿尔斯通公司的 MICRO-REC 型, 英国 GEC 公司的 MICRO-GOVERNOR 型, 新华电站控制工程公司的 DEH-II 型。通用型数字式电调系统采用分散控制系统(DCS)构成, 有瑞士 ABB 公司的 PROCONTROL-P 型, 新华电站控制工程公司的 DEH-III A 型, 美国西屋(WESTING HOUSE)用 WDPF 组成的 DEH-III 型, 日立公司的 HIACS-3000 型, 美国 ETSI 公司的 INFI-90(贝利公司产品)和美国 MCS 公司的 MAX1000。

## 3 汽轮机控制系统的技术现状

国内大容量的汽轮机的各种控制系统, 从总体上来说都能满足汽轮机对调节和保安系统的要

求,但是无论机械液压式调节系统,还是电液并存调节系统,模拟电调控制系统和数字电调控制系统都存在需要改进和完善之处。

### 3.1 机械液压式调节系统

我国从 60 年代初开始采用原苏联技术生产的大容量汽轮机及其机械液压式调节系统。目前国内使用的近 200 台 200 MW 汽轮机,绝大多数采用机械液压式调节系统。

液压工作和润滑为 2.0 MPa 的透平油,高灵敏度的高速弹性调速器或调速泵作为转速敏感元件;同步器用来危急遮断油门的挂闸,机组升速、并网和加减负荷;调速器错油门组的分配错油门和中间错油门作为放大机构,油动机作为最后放大机构和执行机构;功率限制器,可以在任意负荷下限制机组的功率;微分器可防止机组甩负荷时汽轮机超速,限制汽轮机动态超速。额定转速 110%~112%时,保安系统的危急遮断器工作,额定转速 113%~114%时,附加保安工作,主汽门和调节汽门关闭。

机械液压调节系统响应速度较低,机械间隙引起的迟缓率较大,静态特性固定无法根据需要而任意变动。但是由于它的可靠性在相当长一段时间内比电子元件高,其特性也能基本满足汽轮机运行的要求,所以普遍采用。

### 3.2 电液并存控制系统

电液并存控制系统是近几年针对机械液压系统存在的问题而采用的解决方法。

电调系统运行时,液压调节系统自动跟踪;液压调节系统运行时,电调系统自动跟踪,两系统无扰切换,而且都可以独立完成汽轮机启动、升速、并网、带负荷

以及负荷调节全过程控制。

电调和液调都是通过电液切换去控制油动机的,电调与液调的分界点是电液切换阀,切换阀的工作位置由直流电磁阀控制,其下限位是电调位,上限位是液调位。当处于液调位时,操作人员通过控制同步器来控制调速错油门滑阀的油压,然后再经过切换阀来控制中间错油门;当处于电调位时,电调控制系统通过控制电液转换器直接控制二次脉冲油压,继而控制油动机。电液并存控制系统的保安系统和机械液压式控制系统基本相同。

### 3.3 模拟电液控制系统(AEH)

模拟电液控制系统(AEH)是随着电子元件可靠性的提高,在 50 年代中期出现的,它由模拟电路组成。模拟电调系统的调速器部分(即运算部分)由电子元件组成而执行部件仍采用液压执行器,电调的电子部分很容易实现信号的综合处理,控制精度高,能适合各种不同运行工况的要求,而且操作、调整和修改都比较方便;电调的液压部分(液压执行器)输出推动力大,响应速度快。

模拟电液控制系统一般有调节系统、监视系统、保护系统和液压伺服系统组成。调节系统的功能主要包括全程转速和功率调节;监视汽轮机在运行过程中的机械参数变化情况,包括转速、轴承振动、轴向位移、转子和汽轮机的热膨胀和轴的绕度;在汽轮机故障情况下停止汽轮机以避免故障的扩大或设备的损坏。

### 3.4 数字式电液控制系统(DEH)

随着计算机技术及网络技术的迅速发展,出现了以计算机为基础的

数字式电调,目前我国火电厂中的大多数 300 MW、600 MW 级汽轮机采用数字式电调控制系统,特别是近十年以来,几乎所有新建的大容量汽轮机组均采用数字式电调。

数字式电调系统由以计算机为基础的数字控制系统,ETS 危急遮断系统和 EH 液压控制系统等组成。DEH 系统包括转速和负荷控制、超速保护、负荷限制、阀门控制和管理、热应力计算,汽门快关及 CCS 协调控制等。DEH 控制系统可以满足汽轮机安全运行和启停的所有要求。

电调系统使用情况

序号	控制系统	使用厂家
1	MARK- IIA (GE)	南通、上安
2	REC-70 (阿尔斯通)模拟	350 MW、姚孟 300 MW、元宝山 600 MW
3	ESACON (ANSALDO)意大利模拟	大港 350 MW、利港 350 MW
4	DEH- II (西屋)	石横 300 MW、平屿 600 MW
5	MICRO — REC (阿尔斯通)	江油 珞璜 330 MW、360 MW 和北仑 600 MW
6	MICRO— GOV— ERNOR(GEC)	岳阳 360 MW
7	DEH— III (新华)	汉川、珠江、铁岭,嘉兴和西柏坡 300 MW
8	MIDAS — 8000 (三菱)	福州、大连 350 MW
9	PROCONTROL— P (ABB)	石洞口二厂 600 MW
10	WDPF(西屋)	沙角 A、外高桥、吴泾和秦皇岛, 300 MW
11	HIACS — 3000 (日立)	首阳山 300 MW
12	INF— 90(贝利)	妈湾 300 MW、北仑 600 MW、
13	TOSMAP(东芝)	沙角 B 350 MW、彭城、马鞍山
14	MAX1000(MCS)	300 MW
15	DEH— IIIA (新华)	西柏坡 3、4 300 MW

### 3.5 汽轮机控制系统的应用现状分析

从我国各火电厂调查的情况看, 现有的各种汽轮机控制系统均能达到汽轮机的调节和保安要求。机械液压式调节系统是传统成熟的设备, 但由于存在其本身无法克服的不足, 如机械误差引起的迟缓率大, 特性曲线线性差, 以及无法满足电厂的自动化和电网集中调度等问题, 已经开始被电调控制系统所取代。

电液并存控制系统, 是一种从机械液压式调节到电调控制系统的一种过度产品, 主要用于对原火电厂汽轮机调节系统进行改造而采用, 而新建电厂很少采用此类系统。

模拟式电调的使用情况较好, 能够满足汽轮机安全运行和启停的要求。而做到这一点主要原因是模拟式电调电路结构直观, 使运行人员和维护人员对系统的结构能深入了解, 在查找问题和处理故障时, 心中有数, 能较快、较准地找到原因, 保证了系统良好的工作。但因技术不断发展, 模拟电路组成的电调已不再产生, 而数字式电调控制系统已开始广泛使用。

数字式电调控制系统(DEH)分为两大类即专用型电调控制系统和通用型电调控制系统。现有的DEH系统的工作可靠性已完全满足大容量汽轮机安全运行的要求, 所有的DEH系统都能很好地满足火电机组的转速控制和负荷控制, 但还有许多DEH系统的功能发挥得不够理想, 例如: 现有的DEH系统的自动汽轮机控制(ATC)功能普遍不完善, 没有在电厂真正使用; 许多机组不能正常实现阀门管理功能, 即使投入运行也存在一些不足; 几乎所有

的DEH控制系统的汽门快关功能都不完善; 而协调控制(CCS)只有一些简单的功能, 无法进行有效的复杂协调控制。造成这些问题的原因是多方面的, 既有DEH控制系统本身的原因, 也有使用单位人员素质的原因。

## 4 汽轮机控制系统的发展

### 4.1 数字式电调系统的广泛采用

随着技术水平的发展, 大容量汽轮机控制系统的发展方向应该是广泛采用数字式电调。从总体看来, 主要是采用通用型数字式电调系统。

专用型数字式电调由于专用化程度高, 电厂运行人员和维护人员对系统了解较差, 使用情况不如通用型数字电调。目前专用型数字式电调的功能大多数未能全面发挥, 其中特别是美国西屋(WESTING HOUSE)公司生产的DEH-III型专用数字电调的应用仅限于转速控制、负荷控制和超速保护等基本功能, 新华电站控制公司的DEH-III型专用数字电调, 在引进型300 MW汽轮机上的应用与西屋公司的电调系统相似。

许多专用型数字式电调系统生产厂家已改用通用型。通用型数字式电调控制系统的软件透明、直观, 硬件通用性强, 使工作人员可以深入了解系统, 熟练地查找问题, 解决问题。

### 4.2 通用型DEH系统的发展特点

通用型DEH系统采用分散型控制系统(DCS)组成; 工程师站和控制员站采用WINDOWS 95或WINDOWS NT作为平台; 控制软件采用组态方式; 通讯方式由

原来普遍采用的串行通讯改进为以太网网络通讯。这些均符合国际标准IEEE802.3协议, 通讯速率也由几kbps上升到几Mbps。

硬件采用通用的INTEL的80X86或PI CPU, 过程控制板的通用性和互换性很高。

通用型DEH系统发展的主要特点是软件和硬件都广泛采用标准化产品。

### 4.3 控制思路的发展

最新资料表明, 一些先进的设计思路已获使用。如美国MCS公司所采用的DEB(DIRECT ENERGY BALANCE)协调控制是一种先进的设计思路: 它随着负荷的改变, 自动调整控制器参数, 使之适应对象动态特性随负荷的变化, 改变部分负荷下单元机组的特性。在马鞍山第二发电厂使用情况很好, 它有效地消除了由单元机组对象动态特性随负荷变化的改变, 提高了单元机组在不同负荷下的性能。

## 5 结束语

从实际使用情况看, 各种类型的控制系统都能满足大容量汽轮机的安全运行要求, 采用分散型控制系统作为控制系统将越来越普遍。

现在的控制系统的功能发挥不够理想, 不仅原设计功能未全部实现, 还有相当大的潜力可开辟更多、更高级的功能。造成这种情况的原因是多方面的。

有关专家和技术人员应对汽轮机组运行方式进行更细致的研究, 使控制系统更完善; 使用人员也应充分理解设计意图和功能, 以进一步满足汽轮机安全经济运行的要求。

(下转第359页)

议。

程序温度与实际温度存在差异; 计算中采用的是程序温度代替气体在坩埚中的实际温度, 而这两个温度是有差异的, 尤其是进行混煤试验时, 如果组分煤各自保持各自的燃烧特性, 易着火的煤先着火燃烧, 实际温度将高于程序温度, 但燃烧后, 难燃烧的煤还未进行燃烧, 在压缩空气的冷却下会很快下降, 这时的程序温度将高于实际温度, 在热天平加热器的控制下继续升温, 接着难燃烧的煤也剧烈燃烧起来, 这样, 程序温度又将低于实际气体温度。

(4) 试验用混煤的混配比例与计算时采用的比例存在差异; 试验时是采用先将两种煤的煤粉以 1:1 的比例充分混合, 而后取用 20 mg 左右进行试验的方法, 这会产生所取的 20 mg 的煤其混配比例偏于 1:1 的情况。

考虑以上产生误差的原因, 可以认为计算模型结果与试验结果符合较好。

## 4 结论

(1) 在混煤各组分煤在燃烧过程中各自保持各

自的燃烧特性的基础上建立的混煤热天平燃烧模型与试验结果符合较好;

(2) 本文建立的混煤燃烧模型虽然是用于计算热天平结果的, 但该模型的处理方法和主要公式可为其它混煤燃烧过程所借鉴。

## 参考文献:

- [1] 曾汉才, 姚斌, 邱建荣, 喻秋梅. 无烟煤与烟煤的混合煤燃烧特性与结渣特性研究[J]. 燃烧科学与技术, 1996, 2(2): 181-189.
- [2] 侯栋岐, 冯金梅, 陈春元, 闻培音. 混煤煤粉着火和燃尽特性的试验研究[J]. 电站系统工程, 1995, 11(2): 30-34.
- [3] 陈东林, 李立. 石门电厂锅炉燃用混煤的技术措施[J]. 华中电力, 1996, 9(3): 40-45.
- [4] Maier H, Splithoff H. Effect of coal blending and particle size on NO<sub>x</sub> Emission and burnout[J]. *Fuel*, 1994, 73(9): 1447-1452.
- [5] 朱群益. 煤粉热解、燃烧热天平模型及结渣性快速测定方法的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1996.
- [6] Field, M A, Gill D W. 煤粉燃烧[M]. 章明川, 许方洁译. 北京: 水力电力出版社, 1989. 110-265.

(渠源 编辑)

(上接第 335 页)

## 参考文献:

- [1] Sasaki H. A decentralized load frequency control method by means of frequency measurement of adjacent power system[C]. Brussels: IFAC, 1988. 387-393.
- [2] Kure-Jensen J, Hanisch R. Integration of steam turbine controls into power plant system[J]. *IEEE Transaction on Energy Conversion*, 1994, 16(1): 177-185.
- [3] Ham P A L, Green N J. Developments and experience in digital turbine control[J]. *IEEE Transaction on Energy Conversion*, 1988, 3(3): 568-574.
- [4] Dimeo Robert, Lee Kwang Y. Boiler-turbine control system design using a genetic algorithm[J]. *IEEE Transaction on Energy Conversion*, 1995, 10(4): 752-759.
- [5] Ben-Abdeennour Adel, Lee Kwang Y. A decentralized controller design for a power plant using robust local controllers and functional mapping[J]. *IEEE Transaction on Energy Conversion*, 1996, 11(2): 394-399.
- [6] Ben-Abdeennour Adel, Lee Kwang Y. An autonomous control system for boiler-turbine units[J]. *IEEE Transaction on Energy Conversion*, 1996, 11(2): 401-406.
- [7] Stubbe M. Study of 1000 MW turbine control by means of a new short-

and long term stability program(STAG)[C]. Brussels: IFAC, 1988. 349-356.

- [8] Eichler R. Optimal power flow functions: Application and modelling aspects[C]. Brussels: IFAC, 1988. 379-386.
- [9] Yu Glazer F. Tuning and testing the automatic control system for the hmk-1000-60/3000 turbine[J]. *Thermal Engineering*, 1990, 37(11): 235-241.
- [10] 饶经杭. 我国大容量汽轮机电液控制系统的现状[J]. 中国电力, 1997, 2: 3-6.
- [11] 周或堂. 一种单元协调控制系统的设计方法[J]. 中国电机工程学报, 1998, 1: 38-44.
- [12] 徐晶. 彭城电厂 300 MW 汽轮机控制系统 DEH-III 的调试[J]. 上海汽轮机, 1996, 2: 34-37.
- [13] 刘福军, 王晓溪. 单元机组协调控制功能应用种的问题及解决途径[J]. 中国电力, 1997, (8): 45-49.
- [14] 倪维斗, 徐基豫. 自动调节原理与透平机械自动调节[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [15] 郎意安, 陈胜利. 协调控制策略的探讨与实践[J]. 华东电力, 1999, (2): 12-14.
- [16] 于达仁, 徐志强. DEB 的新认识——增益调度控制[J]. 热能动力工程, 1999, 14(5): 379-384, 396.

(复 编辑)

大型汽轮机控制系统的技术现状及发展= **Technical Status Quo and Development Trend of Control Systems of Large-sized Steam Turbines** [刊, 汉] / WENG Yi-wu (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 333 ~ 335, 359

This paper describes the current technical level of control systems of large-sized steam turbines and analyzes some existing issues to be dealt with. With a variety of proposals offered for their resolution the author forecasts the development trend of the above-mentioned control systems. **Key words:** large-sized steam turbine, control system, digital electro-hydraulic control system

我国的燃气—蒸汽联合循环发电技术前景良好= **Bright Prospects for the Development of Gas and Steam Turbine Combined Cycle Plant-based Power Generation Technology in the People's Republic of China** [刊, 汉] / TU Shan, MAO Jing-ru, SUN Bi (Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, China, Post Code 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 336 ~ 338

In connection with the energy-source structure and energy policy of the People's Republic of China the authors point out that the construction of gas and steam turbine combined cycle plants represents a major and cost-effective avenue for enhancing electrical power generation efficiency and resolving environmental pollution-related issues. This is especially so in the case of an integrated gasification gas-steam combined cycle (IGCC) plant and a pressurized fluidized bed combustion combined cycle (PFBC-CC) plant, the two types of coal-fired combined cycle power generation technology universally recognized as having the best potential for further development. The present paper briefly covers the major aspects of each type of the above-mentioned technology. **Key words:** combined cycle plant, gas and steam turbine combined cycle plant, supercharged fluidized bed combined cycle plant, new energy sources, development

燃气轮机的技术和应用: 现状和展望= **Current Status and Future Prospects of Gas Turbine Technology and Its Applications** [刊, 汉] / Ji Gui-ming, LIU Chang-he (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 339 ~ 343, 347

Based on a broad overview of the recent developments of gas turbine technology and its applications the authors give a comprehensive and systematic account of the state-of-the-art advances of the said technology in various engineering sectors. Analyzed is the trend of its technical development and applications, specifically, likely advances and prospects of development in the People's Republic of China. Some decisive steps for the development and consolidation of the gas turbine industry in China are also proposed and briefly discussed. **Key words:** gas turbine, design, technology, applications, power engineering

燃生物废料流化床锅炉= **Biomass-fired Fluidized Bed Boilers** [刊, 汉] / BIE Ru-shan, LI Bing-xi, LU Hui-lin, et al (Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 344 ~ 347

This paper depicts the current status of development and utilization of biomass both at home and abroad and methods for the selection of biomass-fired boiler types. The measures adopted for resolving the agglomeration problems related to biomass-firing are proposed along with a brief description of a series of biomass-fired fluidized bed boilers developed by the Harbin Institute of Technology as well as their operation experiences. **Key words:** biomass, fluidized bed boiler, agglomeration

高温空气燃烧新型锅炉及特性分析= **A New Type of High Temperature Air-fired Boiler and An Analysis of Its Specific Features** [刊, 汉] / JIANG Shao-jian, PENG Hao-yi, AI Yuan-fang, et al (Department of Applied Physics and Heat Engineering, China National Southern University, Changsha, Hunan, China, Post Code: 410083) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 348 ~ 351