

大容量蒸汽机械雾化喷油器控制系统设计研究

李来春¹, 邓彩霞², 魏少杰³

(1. 哈尔滨理工大学, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨工程大学, 黑龙江 哈尔滨 150001;

3. 哈尔滨第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘要:船用大容量蒸汽机械雾化喷油器控制系统国内尚无应用先例, 在借鉴国外相关技术的基础上, 结合目前自动化仪器仪表的发展水平, 对船用大容量蒸汽机械雾化喷油器控制系统进行了设计研究, 介绍了全电式控制系统的组成、工作原理以及各自动调节回路的控制方式, 并给出了有关参数关系曲线。

关键词: 增压锅炉; 大容量喷油器; 控制系统

中图分类号: TK223.7 文献标识码: A

1 引言

船用增压锅炉炉膛容积热负荷很高, 一般为常压锅炉的 3 倍以上。相对炉膛容积及炉膛横断面积很小, 很难布置较多数量的小喷油量的喷油器, 只能安装较少数量的可调节喷油量的大容量喷油器。通常船用增压锅炉所配用的大容量喷油器的喷油量要达到 1 300 ~ 1 500 kg/h, 同时要具有比较大的调节比。这种喷油器必须满足下列要求: 单个喷油器的喷油量大, 结构简单可靠; 可调节比大; 在可调范围内燃油雾化质量好; 燃烧产生的火炬直径小, 长度短; 耗能少。用机械离心式喷油器采用改变燃油压力的方法来调节喷油器喷油量, 其可调节比小, 无法满足要求。用中心回流机械离心式可调节喷油器, 其低负荷时回油量很大, 雾化质量也会恶化, 因此也不能满足上述各项要求。船用增压锅炉所配用的大容量喷油器一般采用空气或蒸汽(通常采用蒸汽)机械雾化的可调节式喷油器, 它可以解决上述存在的问题。这种喷油器有两种形式: 一种是离心式, 另一种是 Y 型。它们都是以调节喷油器前燃油压力的方法来调节喷油量的, 增大喷油器前燃油压力会增加喷油量并提高燃油雾化质量, 当喷油器前燃油压力较小时, 此时燃油雾化质量恶化, 则以空气或蒸汽来促进燃油的雾化, 当喷油器前燃油压力大于 1

MPa 时, 则主要以机械力完成雾化。大容量蒸汽机械雾化喷油器的控制系统与以往船用常压锅炉配用的机械雾化喷油器控制系统不同, 具有自身的特点和要求。增压锅炉国内尚处于空白阶段, 其配用的大容量喷油器及其控制系统也处于空白阶段, 尚无立项进行专门研究, 大容量喷油器控制系统技术在国内外尤其是前苏联早已获得广泛应用, 但由于受当时电子技术发展水平的限制, 控制系统采用的是液压基地式控制系统, 没有实现集中控制。作者在借鉴国外相关技术的基础上, 结合目前电子技术及计算机技术的发展水平, 对大容量喷油器控制系统的实现及实际应用技术进行了较深入的研究, 提出了采用全电式集中控制系统对大容量喷油器进行控制, 设计了典型控制系统的组成、工作原理及各自动调节回路的控制方式, 给出有关参数的相关曲线。

2 控制系统的组成

锅炉燃油消耗量的调节, 当采用大容量机械蒸汽雾化喷油器时其控制系统一般有两种方案可供选择。第一种方案是: 从锅炉启动开始至全工况工作范围内, 安装到锅炉上的所有喷油器全部投入使用, 改变所有喷油器前的燃油压力来实现燃油消耗量的调节; 第二种方案是: 从锅炉启动开始, 先投入一部分喷油器工作, 同时改变投入喷油器前的燃油压力来调节燃油消耗量, 当锅炉负荷增加时, 再逐步投入另一部分喷油器, 该方案中燃油消耗量的调节是用改变喷油器前的燃油压力和改变投入喷油器的数量相结合的方式来实现。本文所研究的控制系统是针对大功率蒸汽动力装置主锅炉所进行的设计研究, 当大容量喷油器的喷油量为 1 500 kg/h 时, 对应主锅炉采用 6 只喷油器。

第一种方案控制系统图如图 1 所示, 该方案控

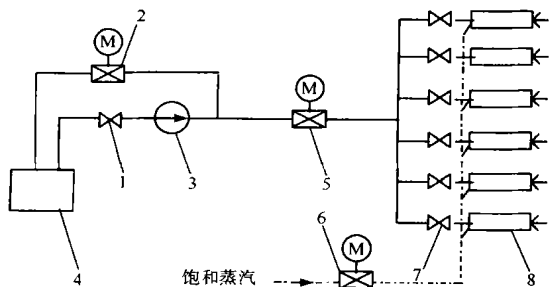
收稿日期: 2001-01-08

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(A01-12); 黑龙江省教育厅科学技术研究基金资助项目(10511098)

作者简介: 李来春(1963-), 男, 吉林榆树人, 现工作单位: 哈尔滨第七〇三研究所研究员。

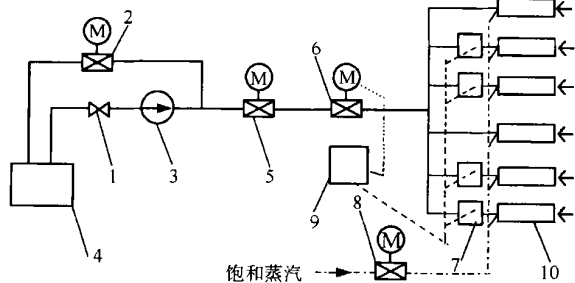
制系统由燃油流量自动调节回路、燃油总管压力自动调节回路和雾化蒸汽压力自动调节回路组成，系统中采用了燃油流量调节滑阀、燃油压力调节阀和雾化蒸汽压力调节阀等三只调节阀。

第二种方案控制系统如图 2 所示，该方案控制系统由燃油流量自动调节回路、燃油压差自动调节回路、燃油总管压力自动调节回路和雾化蒸汽压力自动调节回路组成，系统中采用了燃油流量调节滑阀、燃油压差调节滑阀、燃油压力调节阀和雾化蒸汽压力调节阀等 4 只调节阀。另外还有一套喷油器自动投入控制装置，该控制装置受燃油流量调节滑阀的开度控制，与燃油流量调节滑阀开度自动联锁。



1-7 截止阀；2-燃油总管压力调节阀；3-燃油泵；4-油箱；5-燃油流量调节滑阀；6-雾化蒸汽压力调节阀；8-喷油器

图 1 第一方案控制系统图



1-截止阀；2-燃油总管压力调节阀；3-燃油泵；4-油箱；5-燃油压差调节滑阀；6-燃油流量调节滑阀；7-伺服器；8-雾化蒸汽压力调节阀；9-喷油器投入控制装置；10-喷油器

图 2 第二方案控制系统图

3 控制系统的工作原理

第一方案控制系统各自动调节回路的原理框图如图 3 所示，调节回路的基本组成为：变送器（PT）、配电器（I/V）、调节器（PI）、手动操作器（PK）、电动调节阀（PV）等。系统中燃油压力调节回路采用回流调节方式，通过调节燃油泵出口的回油量来控制燃油泵出口的燃油总管压力为给定值，调节器的 PI 控制算法

采用正作用方式。另外为了提高燃油系统的经济性和减小低负荷时对燃油流量调节滑阀的磨损冲蚀。燃油压力调节回路采用滑参数控制方式，即调节回路将代表锅炉负荷的燃油流量调节滑阀的开度信号取来，经过函数 $f(x)$ 变换后作为燃油压力的给定值信号，通常燃油压力的给定值为 1.4~3.0 MPa。系统中燃油流量调节回路采用节流调节方式，使用专门设计的调节滑阀来控制燃油流量，该回路与一般陆用燃油锅炉的控制有所不同，一般陆用燃油锅炉该调节回路的测量值为燃油流量，回路给定值取自主蒸汽压力调节器的控制输出信号，调节阀由专门设置的燃油流量调节器控制，而该回路将主蒸汽压力调节回路和燃油流量调节回路合二为一，回路测量值为主蒸汽压力，调节器也是主蒸汽压力调节器，控制的调节阀为燃油流量调节滑阀，因此该回路通常称为主蒸汽压力调节回路，而不称作燃油流量调节回路。系统中有关参数的参考运行关系曲线如图 5 所示。

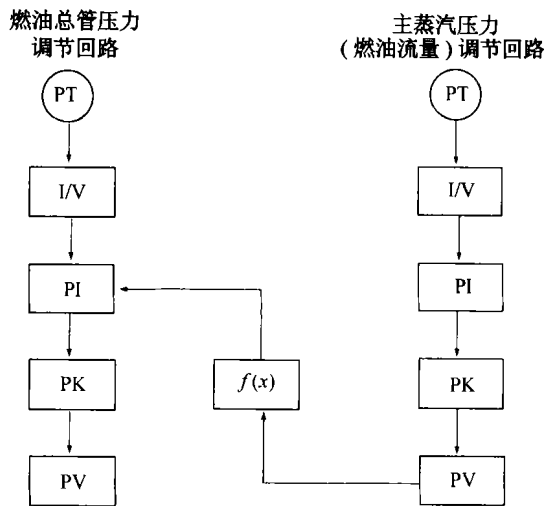


图 3 第一方案控制系统调节回路原理框图

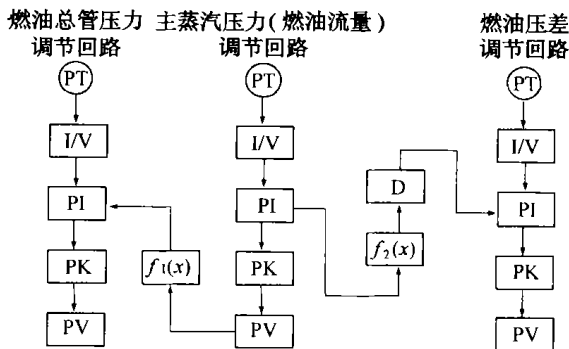


图 4 第二方案控制系统调节回路原理框图

第二方案控制系统各自动调节回路的原理如图

4 所示, 该方案与第一方案比较增加一个燃油压差调节回路, 并增加了一套喷油器投入控制装置, 该方案中锅炉低负荷时只投入两只喷油器工作, 其余喷油器则随着锅炉负荷的增加逐一投入工作。控制系统中燃油总管压力调节回路和主蒸汽压力(燃油流量)调节回路的控制方式和工作原理与第一方案完全相同。燃油压差调节回路的作用是保证喷油器切换时进入锅炉中的燃油流量平滑增减, 防止油量突变, 回路采用节流调节方式, 通过控制与燃油流量调节滑阀相串联的燃油节流滑阀开度, 即控制流过燃油流量调节滑阀的燃油流量来实现控制燃油流量调节滑阀前后压差为给定值, 调节器的 PI 控制算法采用反作用方式, 借鉴国外相关系统状况该压差值一般控制在 $0.4 \sim 0.45 \text{ MPa}$ 范围内。另外调节回路还将主蒸汽压力调节器的控制输出信号通过函数转换环节 $[f_2(x)]$ 和微分环节 (D) 引入, 作为前馈信号使用, 构成前馈—反馈控制系统, 提高变工况时调节回路的反映速度, 减小被调参数的动态偏差。喷油器投入控制装置的用途是控制喷油器投入和切断, 控制装置与燃油流量调节滑阀联锁动作, 受燃油流量调节滑阀的开度控制, 控制装置一般为液压控制系统, 采用锅炉燃油或工作水作为动力, 控制喷油器伺服器动作, 实现调风器和喷油器投入或切断。系统中有关参数的参考运行关系曲线如图 6 所示。

两个方案中雾化蒸汽压力调节回路的控制方式和工作原理完全相同, 雾化蒸汽压力控制一般采用以下两种方案解决: 第一方案, 采用一个独立自动调节回路, 通常雾化蒸汽取自系统中的饱和蒸汽或微过热蒸汽, 回路采用节流调节方式, 通过调节雾化蒸汽压力调节阀的开度来控制调节阀后压力, 即雾化蒸汽压力为给定值, 该压力一般控制在 $0.1 \sim 0.5 \text{ MPa}$ (指高于炉膛压力值) 范围内, 其值随喷油器形式不同而有所不同, 该方案的优点是雾化蒸汽压力控制精度高, 燃油雾化效果好, 缺点是系统复杂, 使用的硬件设备多, 投资较多; 第二方案, 雾化蒸汽压力的控制不设自动调节回路, 由于系统提供的饱和蒸汽或微过热蒸汽通常为定值, 于是可以采用节流降压的方式, 使用一套多级节流孔板降压装置, 通过计算及试验可确定节流的级数和尺寸, 该方案的优点是系统简单, 硬件设备少, 投资相对较少, 缺点是雾化蒸汽压力控制精度低, 会受到系统提供的饱和蒸汽或微过热蒸汽压力的波动而变化, 从而会对燃油雾化质量有一定影响, 尽管如此, 该方案还是被通常采用。

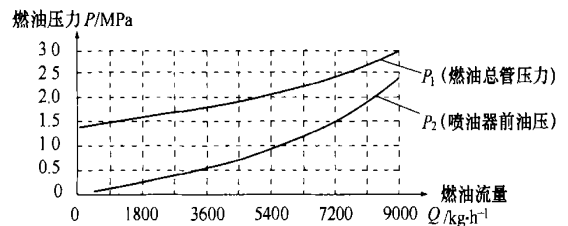
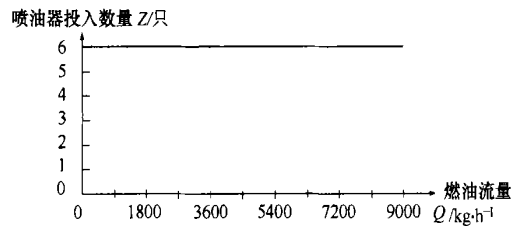
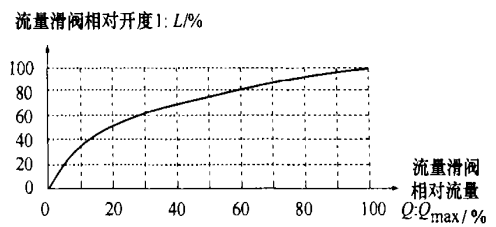


图 5 第一方案相关参数关系曲线

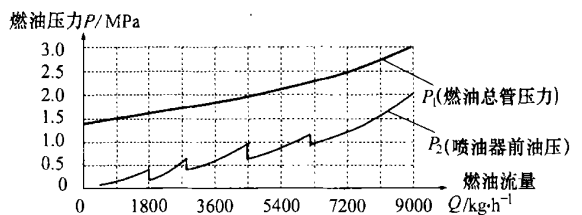
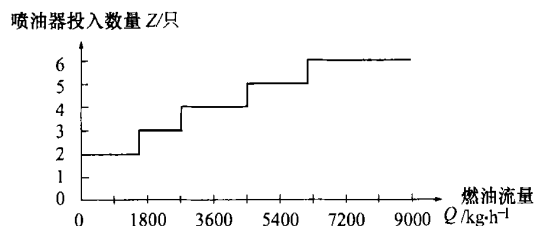
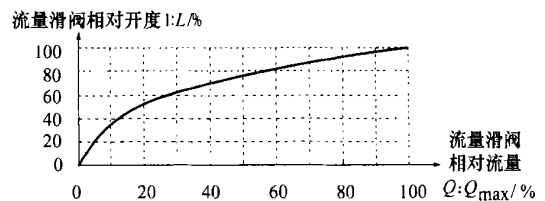


图 6 第二方案相关参数关系曲线

4 控制系统两种控制方案比较

比较控制系统两种控制方案, 第一方案具有如下优点:

(1) 控制系统结构相对简单, 燃油流量自动调节只需要一只燃油滑阀, 调节回路相对较少。

(2) 系统被调参数过渡平滑、稳定, 不会产生突跳现象;

(3) 对锅炉而言, 当过渡到锅炉任意负荷时的调节是由向所有投入工作的喷油器输送燃油来实现, 因此在所有锅炉负荷下(包括最小负荷)沿锅炉管列的热负荷的分布是均匀的;

(4) 对于锅炉燃烧设备而言, 由于燃油量调节是向所有投入工作的喷油器和调风器输送燃油和空气来实现, 因此燃烧设备不需要笨重的伺服器和调风器的传动机构;

(5) 对控制系统而言, 使用的硬件设备少, 投资相对较少。

尽管具备上述诸多优点, 但是, 该方案是 6 只喷油器同时投入工作, 这就要求每个喷油器的调节比要很大, 一般要在 10 以上才能满足锅炉低负荷工作的要求。目前喷油器要达到这样大的调节比实现起来尚有困难。

第二方案与第一方案比较, 控制系统结构相对复杂, 增加了一个自动调节回路和一套喷油器投入工作控制装置, 使用的硬件设备较多, 不具备第一方案的诸多优点, 但是, 该方案的优点是: 对喷油器的调节比要求的相对较低, 只要求喷油器具有较小的调节比, 即可满足锅炉低负荷工作的要求。因此, 对喷油器的技术可行性而言, 该方案是非常现实的。

5 结语

(1) 船用大容量喷油器控制系统国内尚无应用先例, 本文所设计的控制系统通过试验研究进一步完善后, 可在实际系统中应用;

(2) 本文侧重对大容量喷油器控制系统的构成和自动调节回路的控制方式及工作原理进行设计研究, 文中所给出的有关参数值及相关参数的关系曲线等, 仅供参考;

(3) 本文所设计的控制系统经过参数调整, 同样适用于常压锅炉大容量蒸汽机械雾化喷油器的控制。

参考文献:

- [1] 陈来九. 热工过程自动调节原理和应用[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986
- [2] 张黎明. 工业锅炉热工检测与控制[M]. 天津: 天津大学出版社, 1992
- [3] 王锦标, 方崇智. 过程计算机控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992
- [4] 李 章, 张 宁. 舰用增压锅炉装置[M]. 北京: 海潮出版社, 2000.
- [5] ПЕРЛОВ Г В. Судовые паровые котлы[M]. Ленинград: Государт венное союзное издательство Судостроительной промышленности, 1961
- [6] СОБОЛЕВ Л Г. Автоматическое регулирование топливоснабжения в судовых котлах [M]. Москва: Издательство ТРАНСПОРТ, 1965.

(渠 源 编辑)

汽轮机动叶和轮盘的延寿

据《Электрические станции》2001 年 5 月号报道, 汽轮机的寿命由高温部件寿命决定, 高温部件包括高压部分, 而对于有中间再热的汽轮机还包括中压部分。影响汽轮机动叶和轮盘寿命的因素很多, 其中包括疲劳破坏、机械破坏、腐蚀破坏(应力下的腐蚀龟裂、腐蚀疲劳破坏)、侵蚀破坏以及安装叶片的质量等。

汽轮机中压部分和低压部分动叶和轮盘的寿命不可能利用计算方法可靠地确定, 它对于每个具体的汽轮机是专一的, 并且取决于其运行条件和所进行修理的质量。

由于运行和修理质量的降低, 现在经常出现降低动叶和轮盘可靠性的状况, 因此制定并改进恢复动叶和轮盘寿命的方法是一个紧迫的任务。

在恢复动叶和轮盘寿命时, 必须应用能修复零件所有必要特性的工艺。

(思娟 供稿)

laden Gas Turbine and the Prediction of the Change in Blade Vibration Frequency [刊, 汉] / LU Jia-hua, LING Zhi-guang (Air Transport Institute under the Shanghai University of Engineering Technology, Shanghai, China, Post Code: 200336) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 379 ~ 382

The movement loci of two different density distribution-diameter particles after a gas-solid dual-direction coupling of low particle concentration were solved based on Euler-Lagrange solution basic idea and the simulation calculation of the three-dimensional viscous turbulent flow field of a dual-stage transonic gas turbine. This has been accomplished through the use of a particle random trajectory model and PSIC method. On this basis the erosion rate of the blades was calculated. Its distribution law relatively approximates to the erosion condition of full-scale blades. Then, by utilizing the interrelationship of the established blade erosion rate and vibration frequency the time-dependent variation of blade vibration frequency with erosion was forecast. As a result, a fruitful attempt has been made to identify the influence of blade erosion on blade vibration frequency. **Key words:** particle-laden gas turbine, gas-solid dual-direction coupling, numerical simulation of blade erosion, blade vibration frequency

船用三级气水分离器阻力特性计算 = Calculation of the Resistance Characteristics of a Three-stage Moisture Separator for Marine Applications [刊, 汉] / SUN Hai-ou (Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001), SUN Jun (Shanghai No. 708 Research Institute, Shanghai, China, Post Code: 200011), LIU Xue-yi (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 383 ~ 386

The numerical calculation of resistance characteristics was performed for a two-stage inertial stage followed by the numerical calculation of a mesh-pad stage resistance characteristics by the use of a newly built multi-layer gauze model. As a result, the numerical calculation has been completed for the total resistance characteristics of a three-stage moisture separator. On the basis of relevant requirements an optimum construction version of the moisture separator was selected and a sample unit manufactured. The measured resistance characteristics of this unit indicate that the numerical calculation accuracy has met the engineering design requirements. All the above has made it possible to provide a simple, rapid and high-precision analytical means for the prediction of resistance characteristics during the development of a new type of moisture separators. **Key words:** moisture separator, resistance characteristics, numerical calculation

大容量蒸汽机械雾化喷油器控制系统设计研究 = Design Study of the Control System of Mechanical-atomization Oil Sprayers for a High-capacity Steam Turbine [刊, 汉] / LI Lai-chun, WEI Shao-jie (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), DENG Cai-xia (Automation Research Institute under the Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 387 ~ 390

To date, a control system of mechanical-atomization oil sprayers has never found application in China for large-capacity marine steam turbines. On the basis of drawing on relevant overseas technology coupled with the present development level of automation instrumentation the authors have conducted a design study of the above-mentioned control system. A brief account is given of the composition, working principles and the control mode of various automatic regulating loops of an all-electric control system. Also presented are the relationship curves of relevant parameters. **Key words:** supercharged boiler, large-capacity oil sprayer, control system

船用主汽轮机组测速泵改进的试验研究 = Experimental Investigation on the Improvement of a Speed Measuring Pump for a Marine Steam Turbine Unit [刊, 汉] / LIU Quan-en, LIU Jiang, SONG Cheng-lin, QIU Zu-fa (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 391 ~ 392, 398

The theoretical calculation of oil leakage of a speed-measuring pump with either plate-type or floating-type seal construction has been performed and the oil leakage as influenced by the seal gap change in these two types of seal construction compared and identified. On this basis the authors have come up with an improved version. A test was conducted of the