

## 煤机组汽前泵效率在线分析系统研究

张喜平, 吴春, 李芮

(中国大唐集团新能源科学技术研究院有限公司, 北京 100043)

**摘要:** 汽前泵是大型燃煤机组重要辅助设备, 汽前泵效率不但是泵运行经济性的重要技术指标, 对泵效率劣化趋势的连续分析也是实现汽前泵故障早期诊断的重要技术手段。设计了一种利用火电厂厂级监控信息系统实时数据, 实现汽前泵效率在线计算和劣化分析的燃煤机组汽前泵效率在线分析系统。该系统能够快速准确地分析汽前泵的效率劣化趋势, 为汽前泵的状态检修提供准确的前期预警和决策依据。系统设计过程中充分考虑了泵效率的计算所要求的机组稳定工况, 同时也充分考虑了传感器安装位置不同对泵效率计算的影响, 并对其进行补偿。系统设计采用 B/S 架构, 服务端编程使用 Java 语言, 前端使用 Bootstrap 开源项目。

**关键词:** 燃煤机组; 汽前泵; 泵效率; 在线分析

中图分类号: TN98; TM621.7

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200010

中文引用格式: 张喜平, 吴春, 李芮. 煤机组汽前泵效率在线分析系统研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(10): 93-96.

英文引用格式: Zhang Xiping, Wu Chun, Li Rui. Research on on-line efficiency analysis system of booster-pump of coal-fired unit[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(10): 93-96.

### Research on on-line efficiency analysis system of booster-pump of coal-fired unit

Zhang Xiping, Wu Chun, Li Rui

(China Datang Corporation Renewable Energy Science and Technology Research Institute, Beijing 100043, China)

**Abstract:** Booster-pump of turbo-feed pump is an important auxiliary equipment of coal-fired power unit. The efficiency of the booster-pump is an important economic index of the pump operation. And also the deterioration analysis of booster pump's efficiency is an important technical means to realize the early diagnosis pump fault. This paper describes how to design an on-line analysis system of the booster-pump-efficiency, which uses the real-time data of the Supervisory Information System to complete booster pump's efficiency on-line calculation and the efficiency deterioration analysis. It can quickly and accurately analyze the deterioration trend of the efficiency of booster-pump and provide early warning of the booster-pump fault, which is one of important decision-making basis for the condition based maintenance of the booster-pump. In the process of system design, the stable working condition of the unit required by the calculation of pump efficiency is fully considered, as well as the influence of different installation positions of sensors on the calculation of pump efficiency, and compensation is made for it. The system is designed with B/S framework, Java language is used for server programming, and Bootstrap open source project is used for front-end.

**Key words:** coal-fired power unit; booster-pump; efficiency; on-line analysis system

#### 0 引言

燃煤机组的监控系统(SIS)是数字化电厂的重要组成部分,集成了现代的微电子处理、计算机、自动控制等科学技术。但是,对于燃煤机组的一些主要辅助设备而言,自动化、智能化水平相对较低,仍然存在监控中心无法对辅助设备实时监控、辅助设备运行状况未能进行高效的统一管理及记录等问题,制约着发电厂的无人值守、自动化水平的提升,影响着各项先进生产管理制度的执行<sup>[1-8]</sup>。因此研发燃煤机组主要辅助设备的在线分析系统具有重要的现实意义。

汽前泵是大型燃煤机组重要辅助设备,一般每台机组配置 2 台汽前泵。单台汽前泵故障停运时,会导致机

组降出力运行,汽前泵全部停运则会引起发电机组停运。汽前泵效率是汽前泵设备劣化的重要指标<sup>[9-10]</sup>。泵出口密封环破损、叶片汽蚀等设备故障的早期会体现在泵效率的劣化。因此,定期进行泵效率实验并对试验结果进行分析,是火力发电企业汽前泵设备管理的重要工作。目前,汽前泵效率现场试验较为复杂,需试验人员现场布置试验测点和数据采集装置,并需机组调整运行方式,在泵效率曲线各特征点录取相关数据进行分析计算。随着火电厂厂级监控信息系统(SIS)的推广和普及,汽前泵效率的在线实时计算具备了条件。本文设计并实现了一种利用火电厂厂级监控信息系统的实时数据完成汽前泵效率在线计算和劣化趋势的泵效率在线分析系统,为

# 计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

火力发电机组主要辅助设备在线性能试验做有益的探索和实践。

## 1 系统结构

汽前泵效率计算所需的实时参数,如泵进、出口压力和温度、泵流量、电动机功率等,由现场传感器采集后,经相应变送器转换为4~20 mA模拟量信号传输至火电厂集散控制系统(DCS)。DCS将模拟量信号转化为数字信号,完成机组的调节和控制,同时将这些数字信号转发至火电厂厂级监控信息系统(SIS),实现机组运行实时参数的分析。汽前泵效率在线分析系统使用火电厂厂级监控信息系统提供的API程序获取泵效率计算所需实时参数,图1为系统示意图。

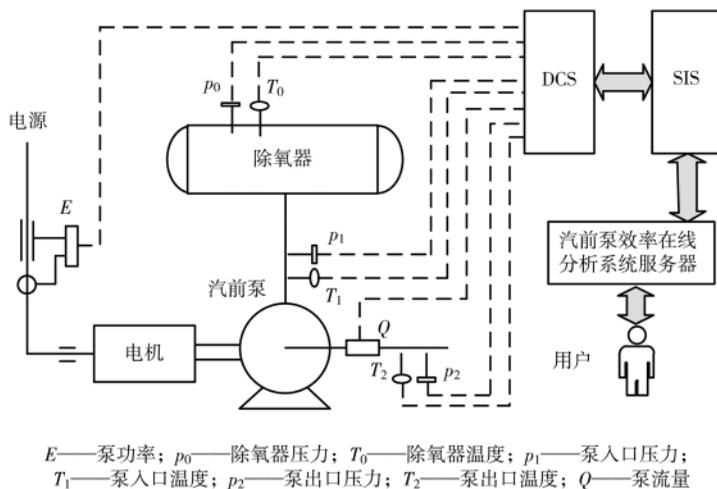


图1 汽前泵效率在线分析系统示意图

汽前泵效率在线分析系统程序部署在图1中汽前泵效率在线服务器内,程序的主要包括:SIS数据接口模块、数据预处理模块、稳定工况计算模块、泵效率计算模块、用户交互模块。

汽前泵在线分析流程如图2所示。系统设计了一个定时任务,作为程序的入口,每小时启动一次定时任务,调用SIS系统API读取时段内汽前泵实时参数的秒级数据。然后启动数据预处理模块对数据的合法性进行检查

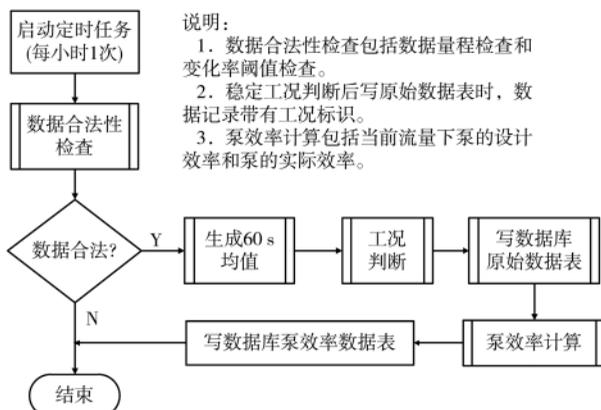


图2 汽前泵效率在线分析系统流程图

查,如果数据超过传感器量程或变化率大于数据变化率阈值,则丢弃数据,不再进一步计算;如果数据合法,则计算各参数秒级数据的60 s平均值,并启动稳定工况计算模块,判断时段内泵是否处于稳定工况,生成数据的稳定工况标识。

稳定工况计算模块最终将带有工况标识的汽前泵实时参数写入数据库。泵效率计算模块读取上述数据,计算泵效率实时值和对应流量下的泵效率设计值,将计算结果写入数据库。

## 2 汽前泵效率在线分析计算模型和结果

汽前泵效率在线计算系统最终结果为实时计算出“发电机负荷—泵效率曲线”、“发电机负荷—泵设计效率曲线”、“发电机负荷—泵扬程曲线”。

汽前泵出口、入口压力变送器安装高度是泵的安装参数,具体数值应根据泵现场设计安装实际情况取得。这些变送器安装时随意性大,有些机组安装在泵本体附近,有些机组变送器安装标高则与泵布置标高不一样,系统引入这一变量,方便对压力变送器不同的安装标高进行补偿。

汽前泵效率实时计算所用计算公式和计算方法依据国家标准《离心泵、混流泵、轴流泵和旋涡泵试验方法》(GB3216)。下面以某电厂某机组汽前泵为例,说明汽前泵效率在线计算的方法<sup>[11-15]</sup>。

### 2.1 汽前泵输出功率在线计算

泵输出功率  $P_u$  的实时计算使用式(1):

$$P_u = \rho Q H g 10^{-3} \quad (1)$$

式中, $\rho Q$ 为质量流量,是密度 $\rho$ 和体积流量 $Q$ 的乘积,可直接由SIS直接获得实时数据或历史数据; $H$ 为扬程; $g$ 为自由落体加速度,取值为 $9.81 \text{ m/s}^2$ 。由式(2)计算获得:

$$H = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + (Z_2 - Z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (2)$$

式中, $p_1, p_2$ 为泵进、出口压力,可由SIS点表直接获取数据; $Z_1, Z_2$ 为泵进、出口压力变送器安装高度,可根据现场实际安装数据获得; $\rho$ 为介质密度,从SIS取得介质温度 $T$ 和压力 $p$ 后,可通过IF97公式计算获得; $v_1, v_2$ 为泵进出口介质流速,由SIS获得的质量流量数据后,根据式(3)换算为体积流量:

$$v = Q/A \quad (3)$$

式中, $A$ 为泵进出口管道通流面积,需根据泵进出口管道实际尺寸计算获得。

### 2.2 汽前泵电机轴功率计算

汽前泵由电动机拖动,电动机输入有功功率 $p_g$ 可由SIS系统读取,电动机轴功率 $p_a$ 根据式(4)计算获得。

$$p_a = p_g \times \eta_{mt} \quad (4)$$

式中, $\eta_{mt}$ 为电动机效率。

电动机效率根据电动机制造厂提供的该型电机效率曲线实时计算获得。图3为电动机效率曲线,横轴为

# 计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

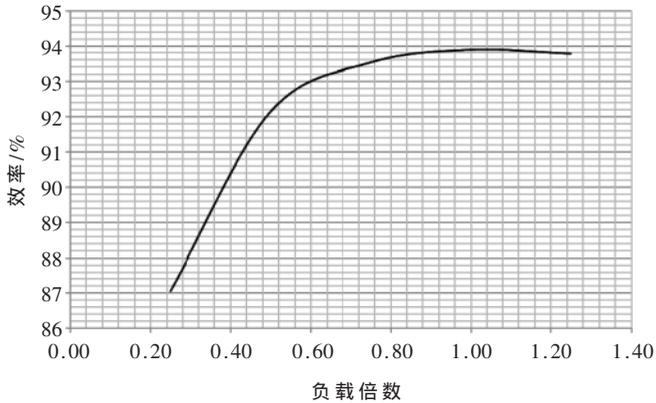


图3 电动机效率曲线

负载倍数,纵轴为电动机效率。系统从 SIS 中读出汽前泵实时功率  $p_g$ ,负载倍数  $K$  由式(5)计算:

$$K = \frac{p_g}{p_e} \quad (5)$$

式中,  $p_e$  为电动机额定功率。

计算出  $K$  后,利用插值法根据图 3 效率曲线计算出电动机效率,再由式(4)计算出电动机轴功率。

### 2.3 汽前泵设计效率计算

泵效率的设计曲线如图 4 所示,随着泵体积流量的增加,泵效率增加,在额定工况点(泵体积流量为 1 177  $\text{m}^3/\text{h}$ )泵的设计效率为 84.2%。程序编制过程中,首先从 SIS 系统获取泵的质量流量、泵的进出口压力,利用 IF97 公式计算出介质的平均密度  $\rho$ ,可将质量流量换算为体积流量,利用图 4,使用插值法计算对应流量下的泵设计效率。

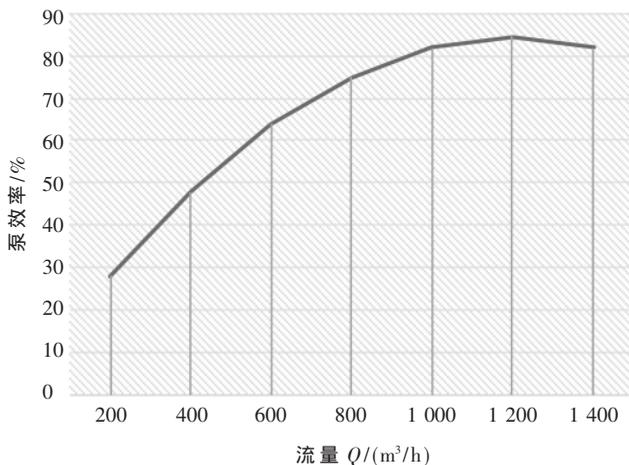


图4 汽前泵效率设计曲线

通过上述计算,可以每小时实时计算一次泵的实际效率和对应流量的设计效率,二者之差反映了泵效率的劣化。

### 2.4 汽前泵效率劣化趋势分析

系统前端框架使用 Bootstrap 前端框架,Bootstrap 基于 HTML、CSS、JavaScript,它简洁灵活,使得 Web 开发更

加快捷。使用 Bootstrap table 开源项目,Bootstrap table 是面向 Bootstrap 设计的轻量级表格框架,使用简单,功能丰富,不需要开发人员掌握特定的知识。使用 Echarts 框架,ECharts 是一个使用 JavaScript 实现的开源可视化库,可以流畅地运行在 PC 和移动设备上,兼容当前绝大部分浏览器(IE8/9/10/11、Chrome、Firefox、Safari 等),底层依赖轻量级的矢量图形库 ZRender,提供直观、交互丰富、可高度个性化定制的数据可视化图表。服务器端的开发流程如图 5 所示。

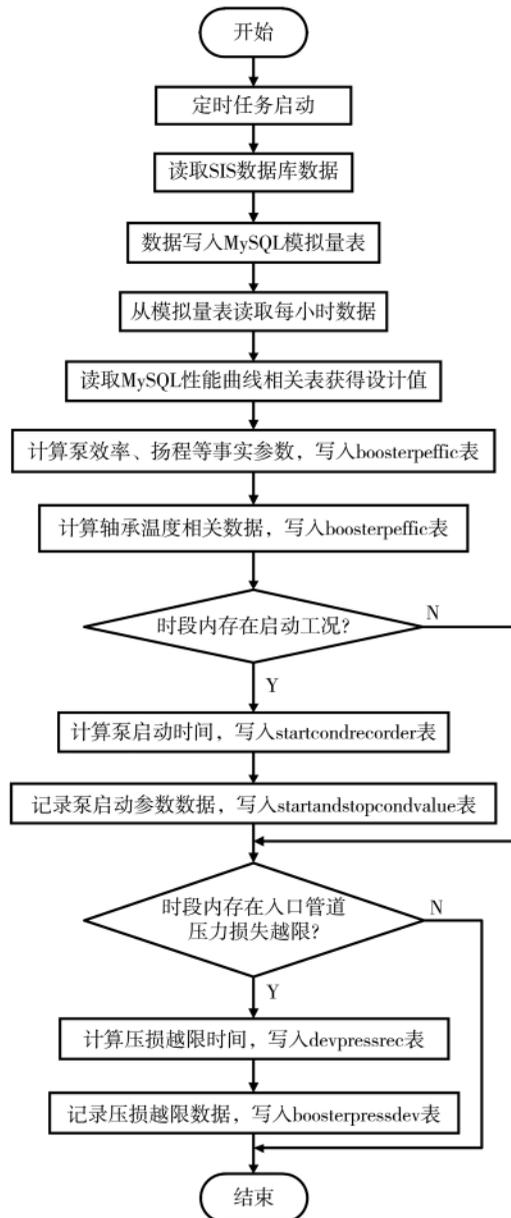


图5 服务器端数据处理流程图

图 6 为汽前泵效率劣化趋势在线分析页面,数据为从该机组 SIS 中读取的汽前泵 2017 年 4 月 19 日~4 月 23 日 3 天数据,其中抽取出 31 个 1 小时稳定工况。稳定工况判断标准为时段内负荷波动不大于额定工况的

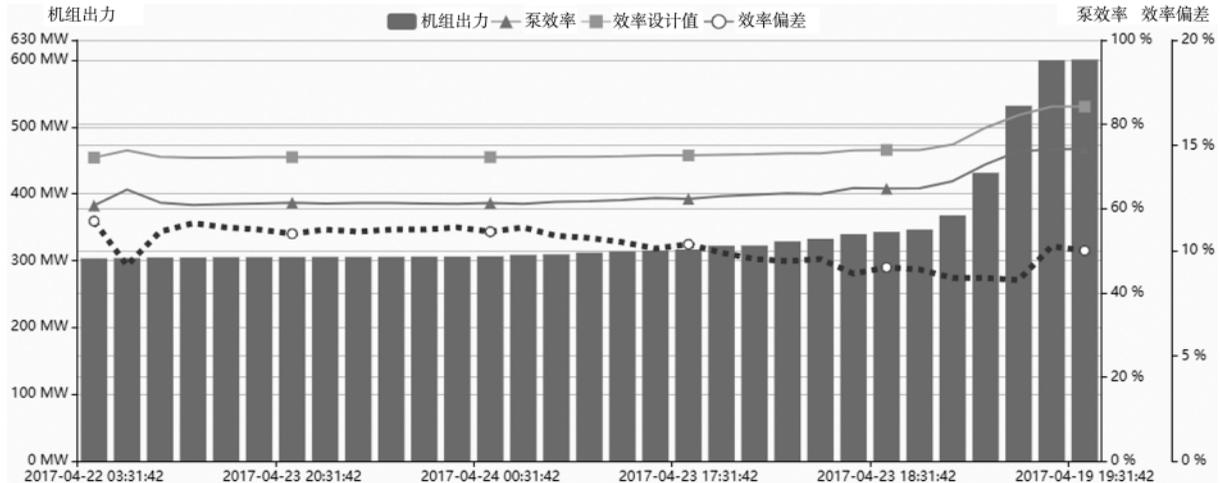


图6 汽前泵效率劣化趋势

0.5%, 即 3 MW。从图 6 可以看出, 机组负荷增加后, 泵效率随之增加, 但不论是 300 MW 低负荷时段, 还是 600 MW 额定负荷时段, 泵效率总体低于设计值, 在 531.81 MW 工况点, 泵实际效率与设计效率偏差最小, 低于设计效率 9 个百分点。

汽前泵效率损失主要包括: 水力损失、容积损失、机械损失。泵出口口环间隙调整不当或口环密封件吹损会造成流体在叶轮和泵体之间的间隙中一小部分回流到叶轮的进口造成容积损失增大; 叶片汽蚀或泵流道腐蚀会增加摩擦阻力引起水力损失增加; 泵的轴承等转动部件润滑不良会相应增加泵的机械损失。应结合泵检修检查分析引起泵效率劣化的具体原因。

### 3 结论

本文设计并实现了一种燃煤机组汽前泵效率在线分析系统的主要功能模块。该系统不仅可以直观地反映出汽前泵实际运行效率与设计效率的偏差, 还可以实时监视检修期内汽前泵效率的劣化趋势, 为汽前泵的状态检修提供决策依据。该系统的上线不仅为燃煤机组汽前泵的设备在线分析提供了有效的解决方案, 还能为今后燃煤机组主要辅助设备状态在线分析系统的研发做有益的探索和实践。

#### 参考文献

- [1] 张文建, 张永霞, 王朝晖, 等. 火电厂 ECMS 和 DCS 一体化监控[J]. 热力发电, 2018, 47(12): 106-110.
- [2] 于利国. 火电厂电气监控的发展现状[J]. 黑龙江科技信息, 2017(3): 117.
- [3] 刘钢. 火电厂管控一体移动信息系统研究与实现[J]. 电脑知识与技术, 2016, 12(33): 223-224.
- [4] 权海龙. 火电厂电气设备可靠性管理探索[J]. 产业与科技论坛, 2019, 18(4): 237-238.
- [5] 张煦, 张向伍. 计及设备故障检修的电网可靠性和经济性分析[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(2): 60-64.
- [6] 万然. 变电站在线监测及辅助设备监控系统研究与应

用[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.

- [7] 张振华. 厂站运行辅助设备及环境设备的集中监测系统解决方案[J]. 电力系统保护与控制, 2013(18): 138-141.
- [8] 赵振宇, 赵振宙. 点检制与 RCM 在发电厂的应用[J]. 华北电力技术, 2004(3): 17-20.
- [9] 邓成, 钟良, 朱志俊. 600MW 超临界机组汽前泵安全节能优化改造[J]. 安徽电力, 2019, 36(2): 51-55.
- [10] 李军. 汽前泵推力轴承温度高原原因分析及处理措施[J]. 中国高新技术企业, 2017(6): 79-80.
- [11] 李强. 600MW 机组汽前泵跳闸引起汽动给水泵振动故障的处理[A]. 中国节能协会热电产业联盟. 全国电厂燃煤节能减排升级改造解决方案经验交流论文集[C]. 中国节能协会热电产业联盟; 北京中能联创信息咨询有限公司, 2015.
- [12] 徐焱. 关于宁海电厂一期重要辅机保护优化的研究[J]. 科技创新与应用, 2014(14): 153.
- [13] 赵志中. 600MW 机组汽前泵性能优化与改进[J]. 内蒙古电力技术, 2012, 30(6): 88-92.
- [14] 舒德衡. 发电厂超临界燃煤机组汽前泵节能优化分析[J]. 安徽电力, 2013, 30(S1): 12-15.
- [15] UTLUA Z, HEPBASLI A. Energetic and energetic assessment of the industrial sector at varying dead(reference)state temperatures: a review with all illustrative example[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008, 12: 1277-1301.

(收稿日期: 2020-01-06)

#### 作者简介:

张喜平(1977-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 物联网安全、物联网平台。

吴春(1973-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 电力自动化、继电保护。

李芮(1987-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 物联网安全、物联网平台。

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所