

# 基于 PLC 实现的火电厂小汽机保护控制系统

李大中<sup>1</sup>, 倪玮强<sup>1</sup>, 李锦贤<sup>2</sup>, 郭召伟<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学自动化系, 河北保定 071003; 2. 大唐许昌 龙岗发电有限责任公司, 河南 禹州 461690)

**摘 要:** 针对 300 MW 机组给水泵小汽机保护系统采用 PLC (可编程序控制器) 设计了新的控制系统, 替代了原继电器控制逻辑。该系统采用双 CPU 冗余热备和双电源供电设计, 硬件结构简单, 控制逻辑由梯形图软件编程实现, 替代了原继电器控制逻辑, 大大提高了系统的安全可靠性, 同时控制逻辑软件中新增设计了小汽机事故跳闸首出记忆功能, 为系统的事故分析提供了依据。现场投运表明, 该系统运行稳定, 符合设计要求。

**关 键 词:** 火电厂; 小汽机保护; PLC 控制

中图分类号: TK264 文献标识码: A

## 1 引 言

火电厂给水泵小汽轮机系统是发电机组的重要组成部分, 对于小汽机运行的安全保护地位十分重要, 目前国内的一些大机组的小汽机保护控制系统还是基于常规继电器逻辑控制, 由于继电器接点在长时间使用情况下, 将会出现接点的粘连、打火放电或励磁线圈烧毁等现象, 造成继电器接点误动或拒动, 控制逻辑不能正常执行, 使得系统的安全可靠性差, 事故隐患潜在, 给整个发电机组的安全运行构成威胁。本文内容既是针对国内某电厂 300 MW 机组小汽机保护系统采用 PLC 控制器对原继电器保护控制系统进行的设计。

## 2 系统结构组成

### 2.1 硬件组成

小汽机保护 PLC 控制系统构成如图 1 所示, PLC 采用 Omron CS1D 系列模块<sup>[1-3]</sup>, 其中 32 点 DO 模块 2 个, 32 点 DI 模块 3 个, 整个硬件系统使用了一个 PLC 主机架, 为了提高 PLC 系统的可靠性, 采用双 CPU 冗余热备运行和双电源模块供电。

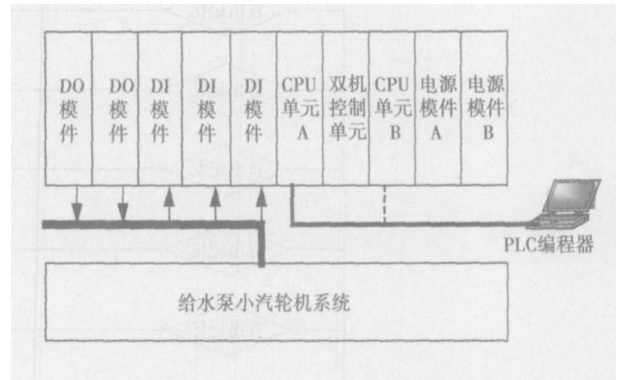


图 1 小汽机 PLC 保护控制系统构成

### 2.2 I/O 信号配置

系统 I/O 信号包括两大类, 即开关量输入 DI 信号和开关量输出 DO 信号, 其中 DI 信号 36 点, DO 信号 26 点。

## 3 保护控制逻辑软件设计

小汽机保护系统控制流程如图 2 所示, 基于该流程采用 PLC 编程软件设计的梯形控制逻辑主要包括以下几部分<sup>[2]</sup>。

### 3.1 润滑油系统

当 1.2 交流润滑油泵出口压力低 (0.01, 2.01) 的时, 延时 5 s (防止信号误动), 发出交流润滑主油泵切换失败信号 (6.03); 润滑油供油母管油压低 II 值 A、B、C (0.02, 2.02, 4.00) 3 个测点, 采用三取二逻辑, 只要两个满足条件将发出跳闸信号 (6.05) 的同时联启排烟风机 (6.06) 和直流泵 EOP (8.04), 并且产生事故追忆 (8.05)。如果润滑油箱油位低 (0.00) 将禁止投加热器 (8.00); 交流润滑油泵出口母管油压低 (2.00) 将联启 1 号泵 (6.02)、2 号泵 (8.01) 和启直流油泵 EOP (8.02)。如果直流油泵出口油压低

(4.05)将联动排烟风机(8.03)同时产生报警信号(6.04)。隔膜阀上部润滑油压低II值A.B.C(0.04, 2.04, 4.04)3个测点也是三取二的逻辑,从而确认

BFPT已跳闸(6.07),证实小汽机已跳闸。其中W0.01代表交流润滑主油泵切换失败的中间点,W0.04证实小汽机已经跳闸的中间点。

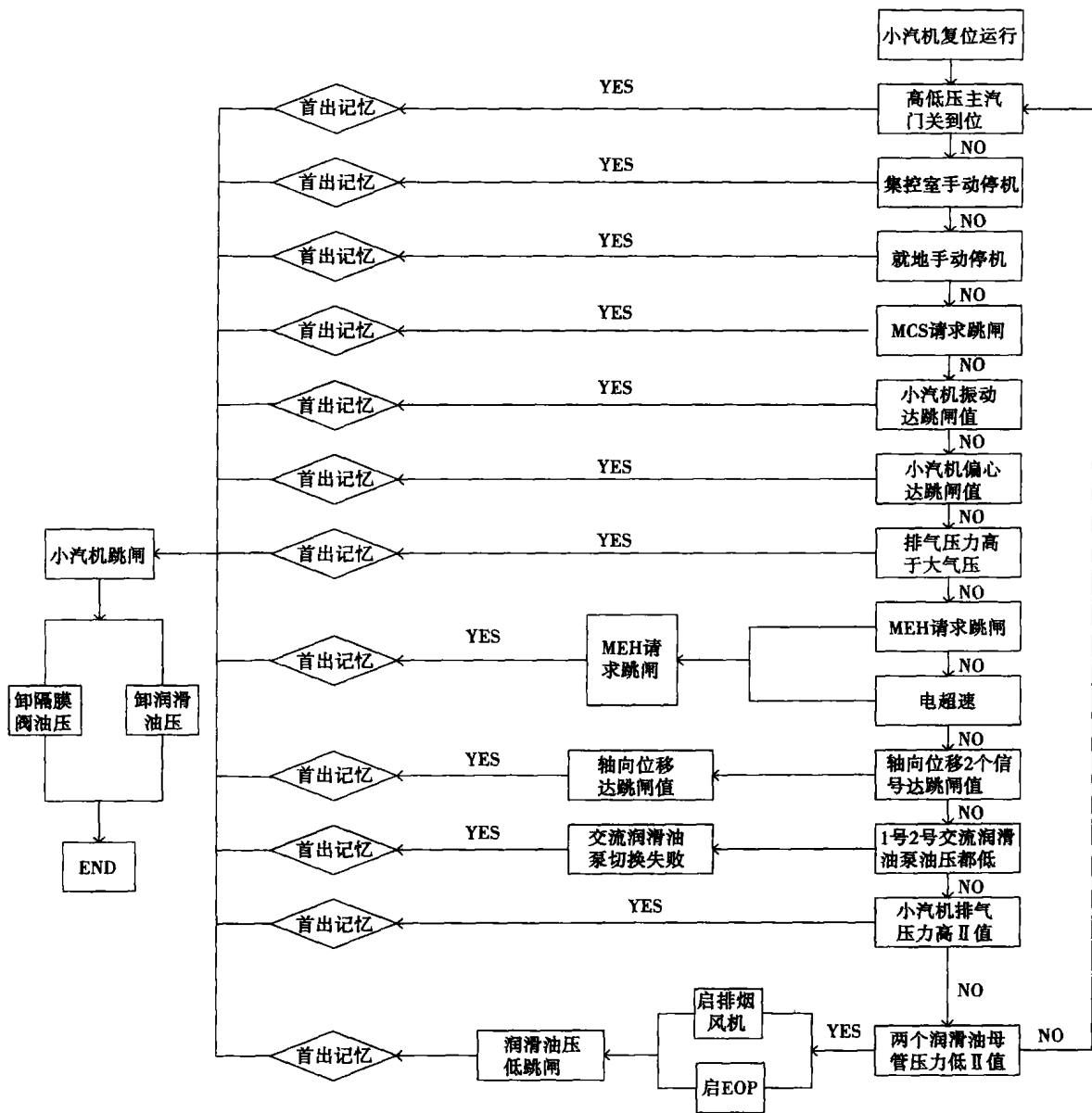
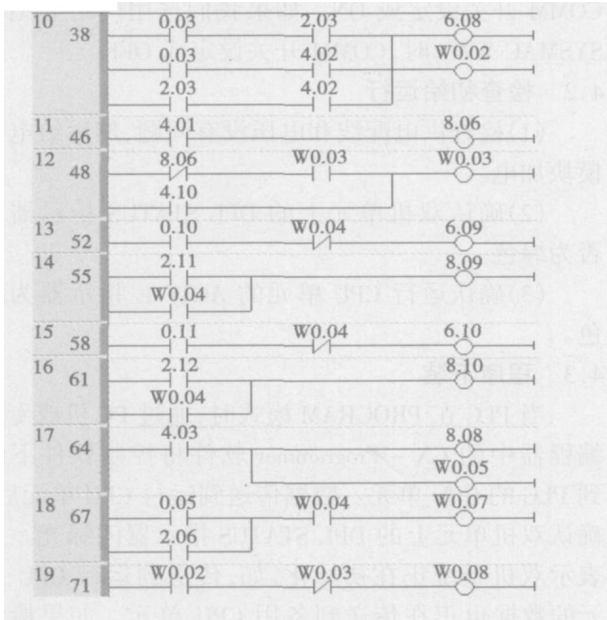
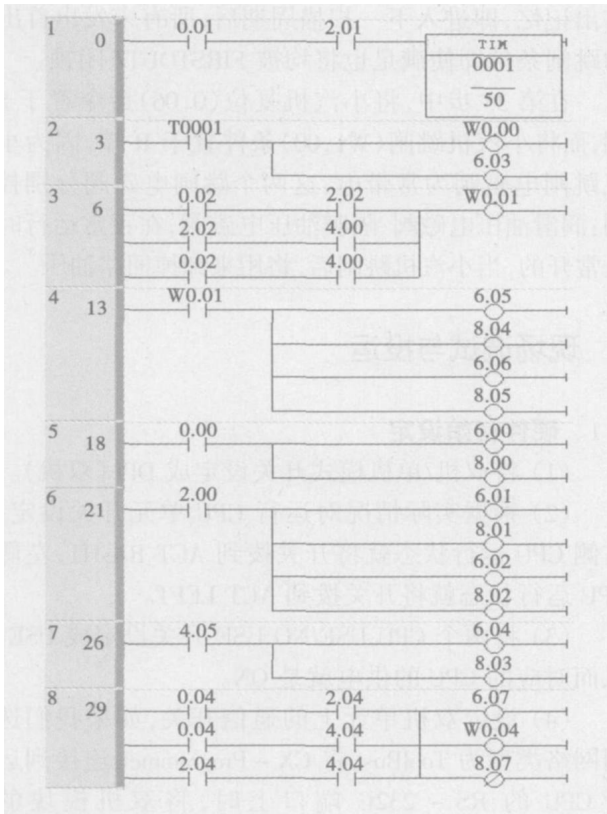


图2 小汽机保护控制流程图

### 3.2 小汽机排气压力

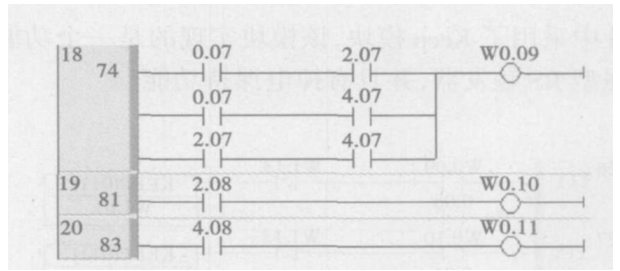
小汽机排汽压力高II值A.B.C(0.03, 2.03, 4.02)3个测点,采用三取二逻辑,将报警信号(6.08)送至DCS,同时产生小汽机排汽压力高II值中间点(W0.02)。小汽机排汽压力高(0.10)将报警,如果小汽机排汽压力高超驰指令(4.10)发出,将产生排汽压力跳闸超驰指令(W0.03),该信号同时自锁。

在第13步~第16步控制中,主要是对高低压主汽门截止阀的开关控制,其中证实小汽机已经跳闸(W0.04)的条件必须有,否则无条件的操作将对设备形成损害,当小汽机高低压主汽门截止阀关到位将产生小汽机高、低压主汽门关到位(W0.07)信号,该信号起到闭锁挂闸的作用。由W0.02和W0.03的常闭点形成一个小汽机排汽压力高跳闸信号(W0.08)。



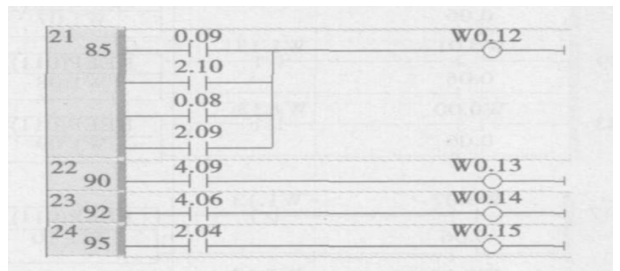
### 3.3 小汽机轴振系统

根据小汽机轴向位移达跳闸值 A、B、C (0.07, 2.07, 4.07) 3 个信号采用三取二逻辑产生小汽机轴向位移大跳闸 (W0.09) 信号, 小汽机振动达跳闸值信号 (2.08) 和小汽机偏心达跳闸值信号 (4.08) 分别产生小汽机振动达跳闸值跳闸 (W0.10) 信号和偏心达跳闸值跳闸 (W0.09) 信号。以上 3 类信号无论那种信号出现非正常状态都将导致小汽机跳闸。

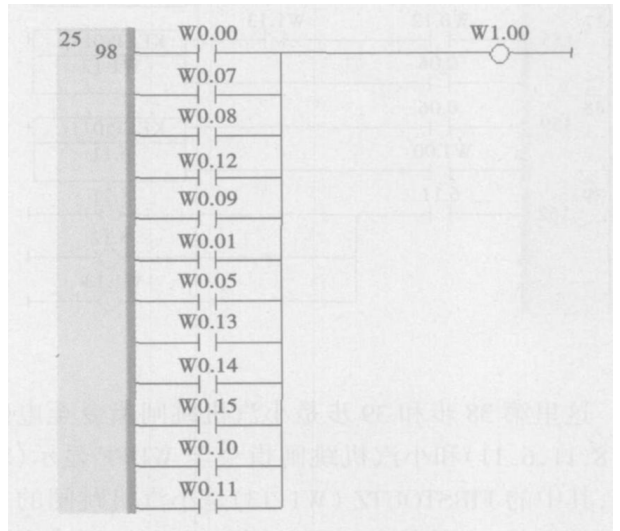


### 3.4 集控室操控信号

当 MEH 请求跳闸 A、B (0.09, 2.10) 和电超速 A、B (0.08, 2.09) 任意一个信号发出, 都将产生 MEH 跳闸请求信号 (W0.12), 而集控室 DCS 下发的 MCS 请求跳闸信号 (4.09) 和集控室手动停机按钮信号 (4.06) 和就地手动停机按钮信号 (2.04) 都分别产生跳闸条件 W0.13, W0.14 和 W0.15。



### 3.5 小汽机跳闸逻辑

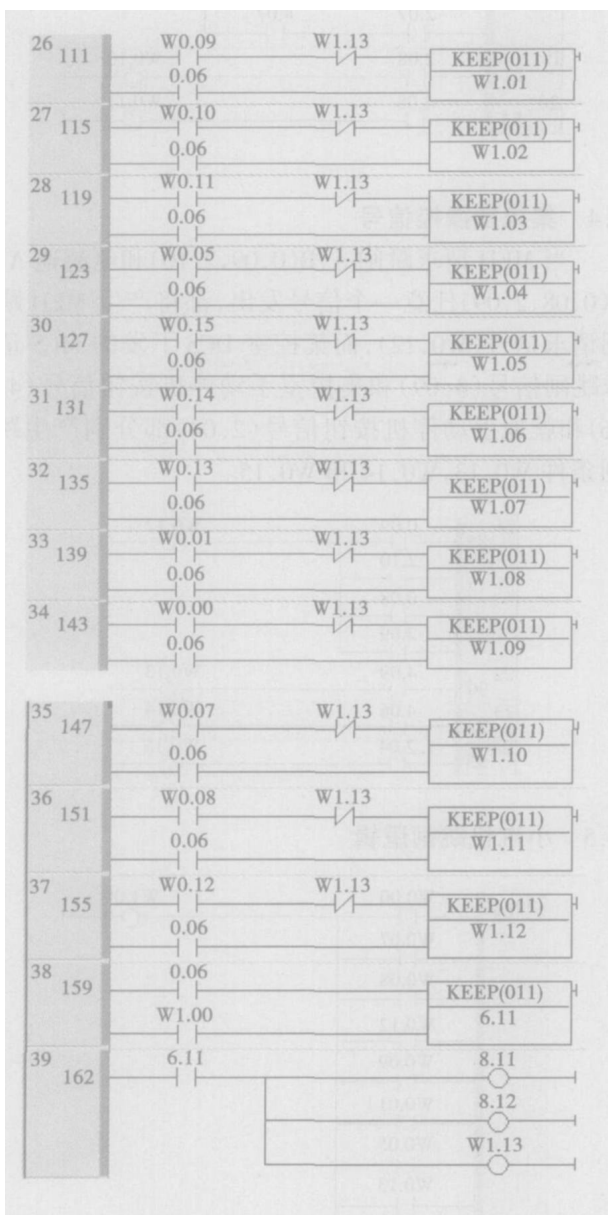


以上的 12 个跳闸条件均为或逻辑关系, 任何一个产生, 都将导致小汽机跳闸 (W1.00) 出现。在该逻辑中我们把引起跳闸的条件全部引出, 防止误动。

### 3.6 跳闸首出记忆

由于小汽机跳闸将会导致整个机组的跳闸, 为了便于小汽机跳闸后进行事故分析和原因查找, 控制逻辑中设计了将 12 个小机跳闸条件进行首出记忆, 即将引起小汽机跳闸的第一原因记录保持。本

设计中采用了 Keep 模块, 该模块实现的是一个功能增强型 RS 触发器, 并具有掉电保持功能。



这里第 38 步和 39 步是小汽机跳闸指令至电磁阀(8.11, 6.11)和小汽机跳闸指令至 WDPF 显示(8.12), 其中的 FIRSTOUTZ (W1.13) 是小汽机跳闸的一个闭锁条件, 也是首出逻辑必须要用到的, 因为当跳闸后, W1.13 的常闭点将断开, 以后引起的跳闸条件将不会出现在逻辑中, 这样就可以把跳闸的第一原因找出来。控制逻辑中 12 个首出跳闸信号, 在同一 PLC 扫描周期内, 若有多个首出条件满足, 则从第一个首出之后的其它满足跳闸条件的首出都可以发出, 且动作顺序就是程序的执行顺序, 据此可看出小汽机跳闸条件的动作顺序。若在第一个跳闸首出之后的第二个扫描周期中产生的跳闸信号则不能被

首出记忆, 即进入下一扫描周期后, 所有未发出首出的跳闸条件即使满足也将均被 FIRSTOUTZ 闭锁。

在第 38 步中, 将小汽机复位(0.06)指令置于 S 端, 而将小汽机跳闸(W1.00)条件置于 R 端, 因为小汽机跳闸电磁阀为常带电, 这两个跳闸电磁阀分别控制: 润滑油压电磁阀、隔膜油压电磁阀, 在正常运行时是常开的, 当小汽机跳闸后, 将用来卸掉回路油压。

## 4 现场调试与投运

### 4.1 硬件初始设定

- (1) 将双机/单机模式开关设定成 DPL(双机)。
- (2) 根据实际情况对运行 CPU 单元开关设定, 右侧 CPU 运行状态就将开关拨到 ACT RIGHT, 左侧 CPU 运行状态就将开关拨到 ACT LEFT。
- (3) 将两个 CPU USE NO USE 开关设定成 USE, 从而对应的 CPU 的供电就是 ON。

(4) 设定双机单元上的通信开关, 如果我们选用网络类型为 ToolBus, 将 CX-Programmer 连接到运行 CPU 的 RS-232C 端口上时, 将双机模块的 COMM 开关设定成 ON。如果我们选用网络类型为 SYSMAC WAY 时, COMM 开关设定成 OFF。

### 4.2 检查初始运行

- (1) 检查供电配线和电压没有问题, 然后给电源模块加电。
- (2) 确认双机单元上的 DPL STATUS 指示器是否为绿色。
- (3) 确认运行 CPU 单元的 ACTIVE 指示器为绿色。

### 4.3 程序下装

当 PLC 在 PROGRAM 模式时, 通过 PC 机或专用编程器中的 CX-Programmer 软件将控制软件下装到 PLC 的 CPU 单元。数据传送到运行 CPU 单元后, 确认双机单元上的 DPL STATUS 指示器闪绿光。这表示双机系统正在初始化, 如, 传送到运行 CPU 单元的数据也正在传送到备用 CPU 单元。如果检测出两个 CPU 单元之间有不一致, 将发生双机确认错误, 并且 DPL STATUS 指示器将闪红光。如果发生这种情况, 按下初始化开关。除非是硬件错误引起的不一致, 其它错误应能被清除<sup>[1]</sup>。

### 4.4 运行

完成 4.3 之后, 将 PLC 在 PROGRAM 模式时, 强制开关各种数字量, 并确认相应的输出运行是否正

(下转第 581 页)

表 3 测试结果及误差(2)

数据	Fill-level 实际值 (稳态 L 值) / %	Fill-level 预测值 / %	相对误差 绝对值 / %
1	21.471 8	21.935 5	2.16
2	39.863 4	38.994 3	2.180 2
3	53.177 5	52.286 2	1.676 1
4	66.082 4	65.274 8	1.222 1
5	85	86.07	1.259
6	34.874 9	34.757 1	0.337 8
7	34.775 7	35.737 8	2.767

由表 2 和表 3 实验分析结果并结合实际工程, 该软测量建模方法用于球磨机料位的预测效果是比较理想的, 最大相对误差小于 3%, 相对误差平均值小于 1.7%。

## 5 实验结果仿真

通过球磨机全负荷试验获得大量的不同给煤工况下的稳态数据样本, 用于训练非线性 PLS 模型的结构参数。建立的基于灰色一致关联法和非线性 PLS 的球磨机料位灰色软测量模型, 用于无锡某电厂的球磨机制粉系统, 试验时间为 2005 年 1 月 24 日, 起始时间为 09:24:43, 数据采样间隔为 3 s, 得到的由虚拟料位控制给煤机转速的变化趋势曲线, 如图 4 所示。

由图 4 可以发现, 用已建立的灰色软测量模型所预测到的球磨机虚拟料位随给煤机转速趋势符合

机理分析, 且反映了球磨机大滞后的特性。

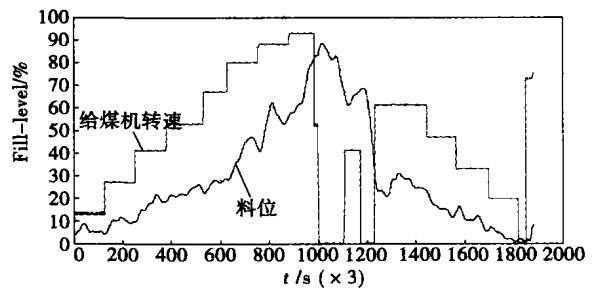


图 4 料位随给煤机转速变化仿真曲线图

## 6 结论

在分析了制粉系统球磨机筒内存煤量所受各种影响因素的情况下, 本文提出了灰色一致关联法, 运用非线性 PLS 回归方法首次实现了对料位的灰软测量建模<sup>[3]</sup>。实验结果表明, 采用一致关联法对辅助变量的选择是可行的; 运用非线性 PLS 作为软测量建模方法其精度满足工程实际要求。

### 参考文献:

- [1] 王东风, 韩 璞. 基于 RBF 神经网络的球磨机负荷软测量[J]. 仪器仪表学报, 2002, 23(3): 311-313.
- [2] 屈耀红, 闫健国. 曲线拟合滤波在无人机导航数据处理中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2004(12): 1912-1914.
- [3] WOLD S, KETTANEH WOLD N, SKAGERBERG B. Nonlinear PLS modeling[J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 1989, 7: 53-56.

(辉 编辑)

(上接第 564 页)

确。程序正常运行, 小汽机各种信号有效, 最后将 PLC 切换到 MONITOR 模式测试 PLC 运行, 在此模式下, 不能对程序强制。

## 5 结束语

大型汽轮发电机组给水泵小汽机保护控制系统是关系到整个机组能否安全稳定运行的重要组成部分, 采用 PLC 控制器替代小汽机保护系统中常规继电器控制逻辑是一种有效的控制方案。

本文针对 300 MW 机组小汽机保护系统, 采用 PLC 进行了控制系统的改造设计以及现场投运。由于系统采用了双 CPU 冗余热备运行和双电源供电设计, 大大提高了保护控制系统的安全可靠性, 同时

控制逻辑软件中新增设计了小汽机事故跳闸首出记忆功能, 为小汽机跳闸后事故分析提供了依据。现场投运结果表明, 系统运行稳定, 操作维护方便, 达到了设计要求。

### 参考文献:

- [1] 欧姆龙公司. CS1D 系列双机系统操作手册[R]. 上海: 欧姆龙公司, 2003.
- [2] 欧姆龙公司. SYSMAC CS 系列可编程序控制器指令参考手册[R]. 上海: 欧姆龙公司, 2003.
- [3] 欧姆龙公司. SYSMAC CS1 可编程序控制器[R]. 上海: 欧姆龙公司, 2004.
- [4] 谢柏友. 汽轮机热工监视与保护[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.

(何静芳 编辑)

大型汽轮机汽流激振研究现状及展望= **The Status Quo and Prospect Concerning a Study on Steam Flow Excitations in Large-sized Steam Turbines**[刊, 汉] / LUO Ming-wen, DING Xue-jun, YANG Yan-lei (College of Energy Source and Power Engineering under the Central China University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074), QI Xiao-bo (Electromechanical Engineering Department, Huanggang Polytechnic College, Huanggang, China, Post Code: 438002) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(6). — 551 ~ 555

The generation mechanism and characteristics of steam flow excitations in large-sized steam turbines are analyzed and summarized along with an overview of the general situation of the research on steam flow excitations both at home and abroad. Special emphasis is laid on an analysis concerning the selection of efficiency coefficient  $\beta$ . It is believed that the efficiency coefficient  $\beta$  depends on such factors as eccentricity, blade tip clearance, blade spacing, blade inlet and outlet relative steam-flow angle and lift force factor etc. and can take a wide range of values for selection. Measures taken for preventing and eliminating steam flow excitations in steam turbines are summed up from the perspective of increasing rotor rigidity, increasing system damping and decreasing steam flow excitation force etc. Finally, the problems existing in the study of steam flow excitations in large-sized steam turbines are discussed and a forecast of the future research trend is given from the standpoint of selecting the efficiency coefficient  $\beta$ , types of packing rings, solving non-linear dynamics problems, optimizing blade excitation forces and ensuring the stability of the shaft system etc. altogether five aspects.

**Key words:** steam flow excitation, clearance excitation, self-excited vibration, steam turbine

1 200 mm 末级超长叶片全三维工程设计的数值研究= **Numerical Study of a Full Three-dimensional Engineering Design of 1200 mm Super-long Last Stage Blades**[刊, 汉] / YANG Qi-guo (Harbin Steam Turbine Works Co. Ltd. Harbin, China, Post Code: 150046), HAN Wan-jin (College of Energy Science and Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(6). — 556 ~ 560

With the adoption of a calculation program for a full three-dimensional viscous flow field and through an optimized matching of rotating and stationary blades as well as a rational selection of various aerodynamic parameters in flow passages, an engineering design of 1200 mm super-long last stage blades for a full-speed steam turbine unit has been successfully completed. The numerical verification of test results shows that the rear-loaded twisted and bent stator blades enable the steam flow in the passage to be accelerated uniformly, thus reducing the profile and secondary flow losses and providing rotor blades with optimized design schemes. The use of rear-loaded blade profiles at their lower half part of rotor blades and the use of specially designed supersonic blade profiles at their upper half part can reduce the losses caused by mutual reaction between shock waves and that between shock waves and boundary layers. **Key words:** full speed, super-long blade, full three-dimensional numerical simulation, design and study

基于 PLC 实现的火电厂小汽机保护控制系统= **PLC (Programmable Logic Controllers)-based Protection and Control System for Small-sized Steam Turbines at a Thermal Power Plant**[刊, 汉] / LI Da-zhong, NI Wei-qiang (Automation Department, North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003), LI Jin-xian, GUO Zhao-wei (Datang Xuchang Longgang Power Generation Co. Ltd., Yuzhou, China, Post Code: 461690) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(6). — 561 ~ 564, 581

A new control system has been designed when instead of the original relay control logic a PLC (programmable logic controller) is adopted for the protection system of a small-sized steam turbine destined for the feedwater pump of a 300 MW unit. The system employed a double redundant CPU (Central Processing Unit) hot standby and double power supply design. As the hardware structure is simple and the control logic is realized by a trapezoid graphic software instead of the original relay control logic, the safety and reliability of the system has been greatly enhanced. In the meantime a small turbine emergency-trip first-out memory function is additionally designed in the control logic software, thereby providing a basis for fault analysis of the system. The on-site operation shows that the system can operate steadily and comply with relevant design requirements. **Key words:** thermal power plant, protection of small-sized steam turbines, PLC control