

文章编号: 0258-0926(2018)03-0119-03; doi:10.13832/j.jnpe.2018.03.0119

核电厂 MSIV 电磁阀性能检测系统开发

舒芝锋, 黄萍, 朱翠云, 杨津瑞

核动力运行研究所, 武汉, 430070

摘要: 针对压水堆核电厂 MSIV 上电磁阀性能检测的需要, 研制了电磁阀开启/关闭特性及密封性等综合性能检测系统, 介绍了检测原理方法和系统组成。该系统能有效检测出 MSIV 上电磁阀的综合性能, 继而指导电磁阀后续的维修工作方向, 有效避免人因失误, 可作为一项重要的检修专用工具。

关键词: 电磁阀; 性能; 检测

中图分类号: TK124 **文献标志码:** A

Development of Performance Test System for MSIV Solenoid Valves in Nuclear Power Plants

Shu Zhifeng, Huang Ping, Zhu CuiYun, Yang JinRui

Research Institute of Nuclear Power Operation, Wuhan, 430070, China

Abstract: In order to meet the need of MSIV solenoid valves performance test in PWR nuclear power plants (NPPs), the integrated performance test system for solenoid valve opening-closing characteristics and sealing performance is developed. This paper introduces the principle and composition of the system. The system can effectively detect the overall performance of MSIV solenoid valves, and then guide the follow-up maintenance work, effectively avoiding human error, and can be used as an important maintenance tool for MSIV solenoid valves.

Key words: Solenoid valves, Performance, Test

0 引言

主蒸汽隔离阀 (MSIV) 用于压水堆核电厂二回路主蒸汽系统, 属于核二级设备, 是核电厂最为关键的阀门之一。MSIV 的动作由油压驱动, 油路具体流向由关键敏感设备 (MSIV 上的主电磁阀和试验电磁阀) 来控制, 可处于开启、慢关、快关、局关等 4 种模式。在实际运行时, 若电磁阀出现泄漏、拒动、动作时间超差等故障, 将直接影响 MSIV 的正常功能, 如电磁阀泄漏会造成压力波动无法保持、油泵频繁启动, 甚至导致主蒸汽隔离阀关闭, 严重影响机组安全运行, 甚至造成一定事故^[1]。

目前核电厂大多采用常规检查、部件更换或整体更换的方式对电磁阀进行预防性维修, 发现明显故障后再进行纠正性维修, 对电磁阀状态性

能了解甚少, 具有较大安全隐患。同时设备厂家并未提供配套现场测试的电磁阀性能检测系统, 因此开发一套专用的检测系统来解决这些问题很有必要。

1 性能检测系统

1.1 系统组成及工作原理

MSIV 电磁阀是一种两位三通的直流电磁阀, 针对其开发的性能检测系统主要包括液压系统、电气控制及数据采集系统、上位机软件等。气源经过球阀、空气电磁阀、过滤减压阀后为空气动力泵供气, 空气动力泵输出液压与供气压力成正比, 通过调整减压阀的输出气压来控制液压大小。当给电磁阀施加液压达到试验要求时, 可进行电磁阀开启/关闭特性试验、失磁/励磁密封性

试验，上位机软件根据试验要求控制电磁阀的带电、失电，实时测试电磁阀开启/关闭电流曲线、入口压力和背压等，自动计算出电磁阀开启/释放电流（电压）、开关时间、电磁阀泄漏率等参数，从而综合判断电磁阀的性能状况，并形成标准版本的测试报告。

1.2 电气控制及数据采集系统

电气控制及数据采集系统是数据采集、驱动控制、信号处理及数据通讯（以太网或 WIFI）中心，是“承上启下”的中枢神经，主要包括中央处理器单元、测量单元、控制单元等（图 1）。

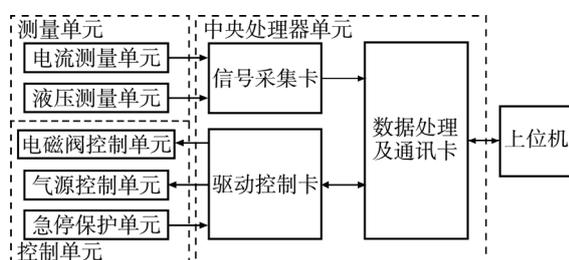


图 1 电气控制及数据采集系统示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of Electrical Control and Data Acquisition System

(1) 中央处理器单元：采用美国国家仪器公司 (NI) 的 cRIO 平台，搭载信号采集卡、驱动信号卡、数据处理及通讯卡组成中央处理器单元，与上位机通过以太网或 WIFI 方式进行通讯，实现系统的数据采集、控制、信号处理和通讯功能。

(2) 测量单元：由液压测量和电流测量组成，其中液压测量主要由多个压力传感器组成，分别测试母管压力、主电磁阀背压和试验电磁阀背压；电流测量单元如图 2 所示，通过测量取样电阻 R_1 两端电压进行电磁阀开启/关闭电流测试。

(3) 控制单元：由电磁阀控制、气源控制、急停保护单元构成，主要是控制继电器来驱动电磁阀、气源电磁阀，并利用急停保护按钮切断驱动电源，形成保护。

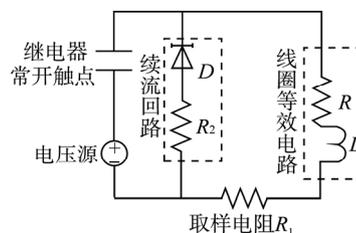


图 2 电流测量单元

Fig. 2 Current Measuring Unit

1.3 上位机软件

上位机软件基于 NI LabVIEW 专业版软件开发，数据库系统使用 Microsoft Access 建立，可在无 LabVIEW 编程平台的客户端电脑上安装后使用。为实现电磁阀性能测试参数采集及显示、电磁阀控制、数据分析、信息管理等功能，并方便用户操作使用，上位机软件整体架构采用了顺序结构，主要包括信息管理、阀门测试、生成报告、设备校验等 4 大功能模块和 1 个数据库文件模块（图 3）。

2 性能检测试验及数据分析

2.1 开启/关闭特性试验

利用空气动力泵加压，给电磁阀入口加压至额定压力，出口侧排空不带压，待入口压力稳定后，通入额定电压，电磁阀励磁，采集得到电磁阀开启电流曲线。然后关闭出口侧截止阀，待压力稳定后，断开额定电压，电磁阀失磁，采集得

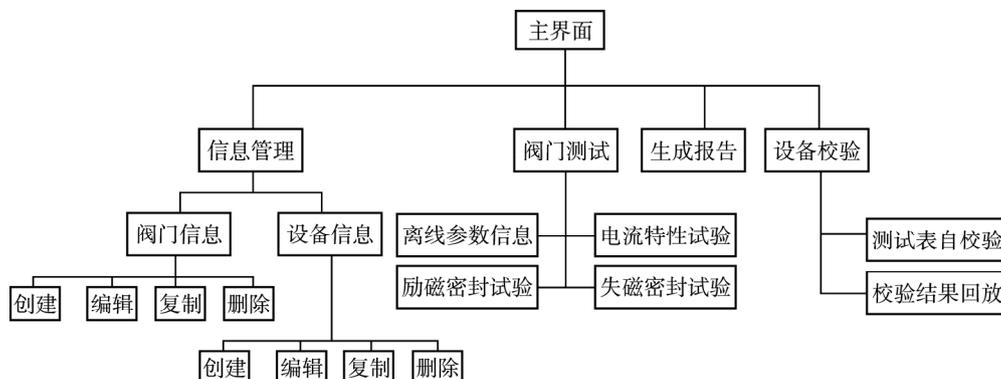


图 3 上位机软件整体架构

Fig. 3 Overall Architecture of Host Computer Software

到电磁阀关闭电流曲线。由于试验中系统要高速采集大量的数据来绘制电流-时间曲线,为了减少干扰数据对测试数据的影响,选用巴特沃思滤波器作为低通数字滤波器,该滤波器过渡带比较宽,通带比较平直,试验人员可在上位机软件中自行设置滤波阶数(默认4阶)和滤波截止频率(默认1600 Hz),经过滤波处理后的电流曲线比较平滑和精确。

通过开启/关闭电流特性曲线,可得到以下特性参数: I_m :稳定运行电流,A; I_1 :启动电流,A; I_2 :释放电流,A; t_0 :启动时间,ms; t_1 :开启时间,一般小于500ms^[2-3],厂家要求小于400ms; t_2 :关闭时间,一般小于500ms^[2-3]; I_1/I_m :启动电流比,比值要求不超过0.6~0.8,在0.65至0.75之间时最佳; I_2/I_m :释放电流比; U_1 :启动电压, $U_1=U_N-I_1 \times R_1$,其中 U_N 为额定供电电压, R_1 为取样电阻,V; U_2 :释放电压, $U_2=I_2 \times (R_1+R_2)+U_D$,其中 U_D 为续流二极管导通压降, R_2 为续流电阻,V; τ :时间常数,

$$\tau = t_0 \left(\ln \frac{I_m}{I_m - I_1} \right)^{-1}, \text{ms}; L: \text{线圈电感},$$

$$L = (R + R_1)t_0 \left(\ln \frac{I_m}{I_m - I_1} \right)^{-1}, \text{其中 } R \text{ 为电磁阀线圈电阻, mH.}$$

2.2 失磁/励磁密封性试验

采用压力测量法来测试电磁阀失磁/励磁时的泄漏率,由于液压油或水具有可压缩性,在不同压力下的比容不同,因此可保持电磁阀入口侧压力基本不变,在一定时间内测量出电磁阀背压升高值,通过压力变化值等参数计算出实际泄漏率,对照厂家设计要求确定是否超标。

2.3 数据分析

当电磁阀综合性能不合格时,电磁阀需要进行针对性调整或维修,主要为弹簧调整、间隙调整、密封面研磨、更换密封圈等,一般遵循以下指导原则:若失磁和励磁密封性都合格、动作时间 t_1 合格, I_1/I_m 略微超范围时,一般可以不解体,仅可以根据 I_1/I_m 大小相应调整弹簧;当电

磁阀无明显启动电流,表现为拒动。当启动电流特别大(即 $I_1/I_m > 0.9$),存在较大拒动风险。对此,一般先逆时针调整弹簧减小弹簧压缩量,即将 I_1/I_m 调整到0.6至0.8之间后再进行测试,再根据密封性测试结果进行相应调整或维修;当 I_1/I_m 合格时,若失磁密封性不合格,一般需要研磨失磁密封面,若励磁密封性不合格,一般需要对励磁密封面进行研磨消缺或更换;当 I_1/I_m 接近0.6时,若失磁密封性不合格,一般需要顺时针调整弹簧增大弹簧压缩量。当 I_1/I_m 接近0.8时,若励磁密封性不合格,一般需要逆时针调整弹簧减小弹簧压缩量;当 $I_1/I_m < 0.4$ 时,电磁阀存在较大泄漏风险,当 $I_1/I_m > 0.9$ 时,电磁阀存在较大拒动风险; t_1 为电磁阀动作时间,除拒动外,一般都合格,若发生 $t_1 > 400$ ms,需要逆时针调整弹簧减小弹簧压缩量;若电磁阀多次重复测试结果不一致时,一般需要对电磁阀进行解体,检查其密封面和间隙,更换密封圈等。

3 结束语

设计的MSIV电磁阀性能检测系统已在多个核电厂大修中成功应用,可对MSIV电磁阀状态性能进行准确检测,及时发现故障后为电磁阀调整或维修提供决策依据。另外,电磁阀性能优劣有明确的、量化的判断标准,不再依靠试验人员经验,测试报告也统一版本,有效避免了人因失误,为核电厂MSIV的安全运行提供了保障。

参考文献:

- [1] 蒋道福. 电磁阀的失效模式及维修策略[J]. 核科学与工程, 2012,32(S1): 4-8.
- [2] Loflin L. Solenoid Valve Maintenance Guide (Revision of NP-7414) [R]. California: Electric Power Research Institute (EPRI), 2003.
- [3] 核工业标准化研究所, 核电厂安全级阀门驱动装置用电磁阀鉴定规程: NB/T 20206—2013 [S]. 北京, 2013: 1-32.

(责任编辑: 孙 凯)