

文章编号 : 0258-0926(2017)01-0116-04; doi: 10.13832/j.jnpe.2017.01.0116

# 安全壳喷淋隔离阀电动装置 力矩抖动故障改进方法研究

张化杞<sup>1</sup>, 杨建松<sup>2</sup>, 贾 永<sup>1</sup>, 袁风武<sup>1</sup>

1. 中广核工程有限公司, 广东深圳, 518124; 2. 成都海光核电技术服务有限公司, 成都, 610041

**摘要:** 对某核电厂安全壳喷淋隔离阀 EAS013/014VB 电动装置力矩频跳问题进行定性分析和试验验证。阀门启动时, 转动惯量太大无法短时间使远传转速达 120 r/min 而造成电机蜗杆窜动, 使力矩开关动保护, 表现为力矩抖动。通过根本原因分析及现场实验确认: 故障的原因是电动装置选型不当, 导致电动装置力矩频跳。

**关键词:** 电动装置; 力矩开关频动; 转动惯量

**中图分类号:** TL351 **文献标志码:** A

## Research on Improvement of Torque Jitter Fault in EAS013 / 014VB of Nuclear Power Plants

Zhang Huaqi<sup>1</sup>, Yang Jiansong<sup>2</sup>, Jia Yong<sup>1</sup>, Yuan Fengwu<sup>1</sup>

1. China Nuclear Power Engineering Company LTD. Shenzhen, Guangdong, 518124, China  
2. Chengdu Haiguang Nuclear Power Technology Service Company LTD, Chengdu, 610041, China

**Abstract:** This paper applies the qualitative analysis and experimental verification to the torque hopping problem of EAS013 / 014VB electric equipment of Nuclear Power Plant by applying the root cause analysis method. Valve start, the inertia is too large to make the remote transmission speed of 120 r/min caused by the motor worm move in short time, so that the torque switch protection, the performance of torque jitter. Through the analysis of the principle of the electric device and field experiments, it is concluded that improper selection of the electric device, which leads to the torque jump of the electric device, has important reference significance for the selection of the electric device with the remote control operation.

**Key words:** Electric device, Torque switch frequency, Moment of inertia.

## 0 前 言

中国改进型百万千瓦级压水堆 (CPR1000) 核电厂安全壳喷淋隔离阀门 EAS013/014VB 为安全壳喷淋系统的设备。CPR1000 核电厂 EAS013/014VB 在安装调试期间出现电动装置启动力矩开关跳动的共模故障 (电动装置在开关过程中出现过力矩) 现象。本文课题对 EAS013/014VB 选型, 分析导致电动装置启动力矩开关跳动的原因为, 并给出解决方案以防止该类型

故障重发, 提高设备运行可靠性。

## 1 故障简介

EAS0013/14VB 电动装置为法国某电动装置厂家提供, 型号为 ST70\120\K3, 额定力矩 700 N·m, 设置的开关力矩为 328 N·m, 电动头输出转速为 120 r/min。阀门为韩国产楔式平行闸板阀, DN400 阀体。电动装置与阀杆通过 AAG4118-13 型阀门远传机构连接。

收稿日期: 2016-03-22; 修回日期: 2016-10-21

作者简介: 张化杞 (1984—), 男, 工程师, 现从事核电厂阀门采购包合同执行工作。

某核电厂1号机组EAS013/014VB (1EAS013/014VB) 在安装调试阶段就存在力矩杆连续抖动故障，为此进行了如下试验：

(1) 单体试验：拆除电动头，对远传机构和阀门进行手动盘动的单体试验，未见异常。将电动头在力矩校验台进行电动试验和力矩检验，电动头运行正常，没有出现力矩杆连续抖动现象。

(2) 整体试验：将检验完后的电动头回装到阀门上，力矩杆连续抖动。现场用转速为20 r/min的3RIS075/085VB的电动头装在1EAS013/014VB阀门上，试转电动头运转正常，力矩杆无抖动现象。

对阀门和远传机构等进行润滑处理，更换远传机构连接螺栓，同时将EAS013VB电动头力矩值调整到开380 N·m，关365 N·m；EAS014VB电动头力矩值保持原来值328 N·m不变。2台电动阀运行正常。

## 2 故障模式分析

EAS013/014VB 电动头力矩开关抖动可能的故障模式分析结果见表1。

## 3 可能出现的故障模式分析

### 3.1 更换低转速电动头试验

某核电厂3号机组的1EAS014VB使用国内生产的低转速电动头代替法国生产的电动头进行试验，效果明显，电动装置无抖动现象，但阀门的关闭时间大于25 s，不满足运行技术规范小于20 s的要求。结果说明采用目前法国生产的120 r/min的电动头确实存在转速与力矩的匹配问题。

### 3.2 阀门盘根材料分析

某核电厂1EAS013/014VB阀门盘根材料为柔性石墨，底层和上层为编织柔性石墨，中间层冲压成型石墨，是阀门上的通用材料，核岛阀门都

表1 故障模式分析

Table 1 Failure Module Analysis

故障模式	可能的故障原因	试验结果	可能性
力矩开关失效	限位开关触点有接触不良，或力矩定值漂移	经过对力矩开关触点的测量和力矩试验台上的试验结果表明，力矩开关辅助触点接触良好，力矩值动作稳定	低
电动头力矩开关无机械自锁功能	安全注入系统隔离阀1RIS012/013/077/078VP使用的国产电动头曾经出现过因无机械自锁功能导致关闭阀门时力矩开关抖动，阀门关闭不严	某核电厂同样采用法国某电动装置厂家该型号的电动头，现运行正常。电动头在力矩校验台上模拟运行正常	低
阀门本体存在缺陷	某核电厂对1EAS013VB电动阀进行在线试验，证明阀门设计存在一定缺陷	阀门本体参考成熟产品设计，无明显设计缺陷，阀门本体、阀杆外观检查无异常，脱开远传单独操作无卡涩现象	低
阀杆强度不够	如果阀杆强度不够，在承受力矩过程中扭曲变形可能会产生抖动	阀门设计的强度试验力矩为1030 N·m，远大于328 N·m，阀杆实际也未发现变形	低
阀门远传机构强度不够	如果强度不够，在承受力矩过程中扭曲变形可能会产生抖动	远传机构是按阀门强度试验力矩1030 N·m的1.5倍作为本身的强度设计的，强度足够	低
阀门电动头选型错误	电动头120 r/min速度太大，更换低转速电动头试验，无力矩杆频跳现象	更换低转速电动头进行试验，抖动现象有改善，但关闭时间会超差，不满足25 s技术规范的要求	高
配套的阀门和远传机构存在缺陷	阀门与电动头之间有2 m多长的远传机构连接，如果电动头与阀门连接处偏心，产生圆周扭矩不均，在高转速(120 r/min)情况下，阀门远传杆上受的力矩时大时小，造成电动头力矩开关连续动作，而在低转速情况下就可以躲过因圆周扭矩不均产生不均匀力矩	现场从外观上观察无问题	高
传递效率偏低	电动头、远传机构和阀体之间力矩传递效率偏低，达不到设计要求的80%。阀门远传装置全部更换为绞制螺栓，以及现场实际调整远传机构的安装精度，抖动有一定改善	安装精度已无法再进一步调整	高
电动头力矩过小	现场把电动装置从328 N·m调整到380 N·m后抖动有所改善。	无	高
阀门盘根力矩过大	将电动头力矩增加到380 N·m，不改变盘根力矩试验，抖动依然明显，这时增加盘根润滑，抖动明显减小	无	高

采用此种材料。因此,材料选用不是主要原因。

### 3.3 电动头与远传机构和阀体之间力矩传递效率分析

电动头最初的整定力矩为328 N·m。根据传递效率的设计值80%计算,传递给阀杆的提升力矩为262.4 N·m,大于阀门启闭所需力矩238 N·m。如果实际传递效率在80%以上,阀门可以平稳启闭。

现场将 1EAS013VB 电动头力矩从 328 N·m 调整到 380 N·m,试验中阀门依然不能正常动作,润滑阀杆后能勉强关闭。这种情况下,机构的传递效率实际上达不到 62% (238/380)。

从上述分析可以看出,由于机构实际的传递效率比较低,电动头初始力矩设定值又比较小,可以初步判定这是影响阀门不能正常开闭的原因之一。

### 3.4 阀门盘根力矩的影响分析

盘根压盖载荷 $F_B$ 根据压盖螺栓经验验证密封合格的方法来确定。最小 $F_B$ 的计算公式为:

$$F_B = 0.025\pi(D^2 - d^2)f_D \max(P, 5 \text{ MPa}) \quad (1)$$

式中, $P$ 为阀门设计压力,MPa; $d$ 、 $D$ 分别为盘根内、外径,mm; $f_D$ 为密封因数。

填料压盖螺栓的紧固力矩 $C_s$ <sup>[1]</sup>为:

$$C_s = P_v \left( \frac{\text{螺距}}{2\pi} + f r + R_{ma} f' \right) \quad (2)$$

式中, $P_v$ 为单个螺栓的载荷; $f$ 为螺纹间摩擦系数; $r$ 为螺栓的螺纹顶半径; $f'$ 为螺母与垫片间的摩擦系数; $R_{ma}$ 为螺栓公称半径与螺母座面半径的算术平均值。

计算结果表明, $C_s$ 实际只需达到 59 N·m 即可满足阀杆的密封要求。

现场进行1EAS014VB在不同力矩值下的定期开关试验。电动头力矩为328 N·m, $C_s$ 为170 N·m时,试验中电动头、传动机构依然存在明显的抖动,并且关闭时间达45 s,试验不成功。电动头力矩增大为380 N·m, $C_s$ 为170 N·m时,试验中电动头、传动机构依然存在明显的抖动,并且关闭时间超过25 s,试验不成功,后给阀杆润滑后,再试验满足设计要求。

## 4 改进方法与效果

### 4.1 改进方法

#### 4.1.1 减小阀门远传机构转动惯量

方法1:改进远传机构射线塞的固定方式。将远传机构中焊接在联轴器上的原射线塞修改为依托穿墙管和端面紧顶固定。改变远传机构射线塞

的固定方式后,远传机构转动惯量相对原远传转动惯量减小约20%,有利于改善阀门启动条件。该方案较易实施,但效果需要试验验证。

方法 2:改进远传机构的布置方式。改变远传机构的布置方式,减少远传机构转向数量,将电动执行机构直接固定在阀门正上方环廊楼板上。该安装方式能有效减小远传机构转动惯量。但经屏蔽计算,在事故工况下,阀门正上方环廊区域的辐射剂量率比原区域高出 500 多倍,现场手动操作阀门时对操作人员辐照影响很大,该方案不可行。

4.1.2 增大电动执行机构力矩保护值 需调高力矩开关设定值(不小于 550 N·m);但是,电动执行机构力矩开关设定值不能超过 477 N·m。因此,调高 ST70-120 电动执行机构力矩开关设定值的方案不可行。

4.1.3 采用低输出转速电动执行机构 更换低转速电动执行机构,确保阀门启闭时间小于 25 s,需要增加阀门阀杆导程(即阀杆采用多头螺纹)。

实施可行性:国内某核电站 EAS013/014VB 采用电机额定转速 1500 r/min、输出转速为 60 r/min 的电动执行机构,阀杆采用双头螺纹结构,电动执行机构设定力矩为 440 N·m,阀门启动运行正常;根据动力学原理,同一机构在相同时间内启动至匀速,角速度越小,则角加速度也越小,产生的阻力距也越小,有利于电动执行机构快速启动。

在不更改阀门远传机构的情况下,采用低转速电动执行机构有利于阀门正常启动,但国内某核电站 EAS013/014VB 的电动执行机构、阀门和远传机构的生产厂家都不同,存在不确定性,因此也需要试验验证。

电动执行机构改进结果(表 2)表明,改进前后阀门外形尺寸、重量完全相同,电动执行机构参数变化较小,阀门行程时间满足设计要求。

### 4.2 最终改进方法

根据 EAS013/014VB 初步改进方案和某核电厂现场试验验证,确定最终改进方法为:电动执行机构更换为低转速执行机构,型号为 ST70-61;阀杆及阀杆螺母组件的螺纹改为双头螺纹;取消阀门全开位力矩开关旁路的设置;

经阀门的启闭阻力计算,电动执行机构的设定力矩值设置为 486 N·m。

表2 电动执行机构改进前后主要参数变化  
Table 2 Variation of Electronic Machine Parameter  
before and after Improvement

主要数据	改进前	改进后
转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	120	61
额定电流/A	9.2	9.1
启动电流/A	69	52
功率因数	0.85	0.79
阀杆螺母螺纹头数	1	2

通过实验验证,更换大力矩、低转速电动装置,并修改阀门螺纹为双头螺纹,可以解决电动装置抖动问题。该改进方案对空间布置、力学性能、电气及仪表控制等设计均无影响,阀门行程时间满足技术要求。该改进方案具有可实施性,适用于 CPR1000 项目韩国供货的 EAS013/014VB 的改造。

## 5 结 论

EAS013/014VB 电动装置力矩抖动的根本原因是由于阀门与电动装置不匹配导致电动装置力矩频跳动。带远传的电动闸阀选型时需要尽量避免高转速、小力矩的调配情况,尽量选取双头或多头螺纹阀门,降低阀门转速,提高电动装置力矩。同时,在阀门设计时尽量考虑选用密封性好、摩擦力小的填料,进一步降低阀门的启闭阻力,在远传的选择过程中尽量减小万向节的数量,适当增加传动部件的支撑,减小远传的转动惯量。

参考文献:

- [1] 压水堆核岛机械设备设计和建造规则[S]. RCC-M, 2007 版第 卷 Z 篇 P76. 2007

(责任编辑:王中强)