

# 先进压水堆核电站电磁动截止阀端部 加载鉴定试验研究

杨晓, 郑开云

(上海发电设备成套设计研究院, 上海 201112)

**摘要:** 针对核电设备鉴定试验中的阀门端部加载试验, 以先进压水堆核电站堆顶排气阀使用的电磁动截止阀为例, 基于 ASME QME-1 标准要求, 对阀门端部加载试验的方法和载荷计算进行了探讨。介绍了电磁动截止阀端部加载试验装置、试验过程和结果, 由测得的应变测量曲线和端部加载试验后的阀门功能试验证明该阀门样机通过了阀门端部加载试验。通过系统性介绍阀门端部加载试验的方法和技术要点, 对行业内开展相关设备鉴定具有重要借鉴意义。

**关键词:** 端部加载试验; 核电设备鉴定; 电磁动截止阀; 核电站

中图分类号: TL353.11

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)02-0137-05

## Research on End-loading Test for Solenoid Globe Valve of Advanced PWR

YANG Xiao, ZHENG Kaiyun

(Shanghai Power Equipment Research Institute, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** On account of valve end-loading test belonging to nuclear equipment qualification test, solenoid globe valve applied as RPV head exhaust valve for advanced PWR was taken as an example, method of valve end-loading test and loading calculation were discussed based on ASME QME-1. Test devices, procedure and results of solenoid globe valve end-loading test were introduced, the measured strain curves and functional test after end-loading test proved that the valve specimen was qualified for the end-loading test. The systematic introduction of method and technical essentials of valve end-loading test can be a significant reference for equipment qualification in the industry.

**Key words:** end-loading test; nuclear equipment qualification; solenoid globe valve; nuclear power plant

推动三代核电设备国产化, 打造三代核电产业链, 促进核电产业整体升级, 是近年来国内核电行业的工作重点。核电厂用高温高压电磁动截止阀的国产化也是目前国内相关设计院和制造厂正在研究的项目。作为核安全级设备, 电磁动截止阀须通过一系列严格的鉴定试验才能被生产和使用。为验证阀门组件在所有管道端加载力作用下的可操作性, 需根据核电厂能动机械设备鉴定 ASME QME-1-2002 标准, 对阀门进行端部加载试验。本文研究了先进压水堆核电站电磁动截止阀端部加载鉴定试验

的方法, 探讨了鉴定试验实施中的有关问题, 对行业内开展相关设备鉴定具有借鉴意义。电磁动截止阀简介

电磁动截止阀(核 1 级、核 2 级、核 3 级)在大型先进压水堆核电站(CAP1400)中的应用比较广泛, 其主要被用于核电站主系统、堆芯冷却系统、取样系统和应急可居留系统等。这些系统的管路中的介质通常为高温、高压介质, 因此电磁动截止阀的工作环境比较严苛, 尤其是在核电站发生事故的工况条件下, 电磁动截止阀通常需要承受高温、高压、高辐射的严苛环境。其中作为堆顶排气阀的电磁动截止阀是核 1 级阀门, 开启阀门从 RCS 堆顶排气, 流通介质为高温、高压气体。本文以在大型先进压水堆核电站中用于堆顶排气阀的电磁动截止阀

收稿日期: 2016-12-01

作者简介: 杨晓(1976), 女, 浙江绍兴人, 工程师, 硕士, 主要从事核电设备鉴定方面的工作(e-mail)yangxiao@sperii.com.cn。

为例,对核安全级电磁动截止阀端部加载鉴定试验的方法和过程进行了探讨。

## 1 端部加载试验方法

### 1.1 标准要求

根据 ASME QME-1-2002 规定,能动动力操作阀需进行管道反作用端加载测试来证明阀门组件在其所有管道端加载力作用下的可操作性,除了以下两种情况:(1)阀门在使用中不会产生明显的端部负载反作用;(2)阀门的设计是通过螺栓将阀门固定在管道法兰之间,再安装到管道里,阀体的横截面通常为圆筒形,并且其比例为平行于管道的阀体长度等于或小于阀门的内径。其中,阀门组件的正常使用载荷包括所有管端压力和自重<sup>[1]</sup>。

阀门样机的端部加载试验可以和结合抗震试验一起进行,或单独进行试验,取决于哪种试验方式可以代表最不利的运行条件。在阀门样机鉴定试验序列中,如果单独进行端部加载试验,则在抗震试验前进行。

### 1.2 试验布置

端部加载试验通过对阀门管端施加载荷,测定载荷施加过程中力和管端应变片的变化,考核阀门的刚度、强度以及在载荷作用时和作用后的性能。在端部加载试验时,将试验阀门组件安装在试验固定装置上,在阀门端部焊接延长管道作为加载力臂以传递端部试验载荷。试验布置应使恒定力矩施加在整个阀体长度上,在阀门和连接管道中施加满额测试压力时,阀体至少应承受在端盖中产生的正常轴向拉力<sup>[1-6]</sup>。端部加载试验的试验布置如图1所示。图1中, $L$ 为集中载荷施加处至阀门中心线的距离, $F$ 为施加载荷力,阀门与加载力臂连接处根部上下表面各布置一个应变片。

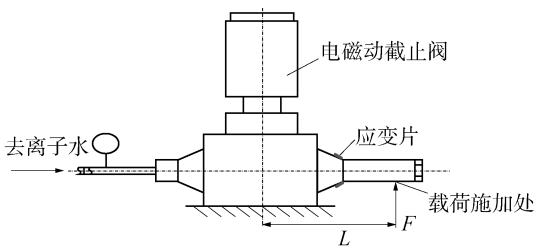


图1 端部加载试验布置图

Fig. 1 Layout of end-loading test

ASME QME-1 中要求对测试的阀门样机施加

端部载荷的测试力矩要尽可能对其可操作性产生最不利的影响,因此试验布置中将载荷力加载方向设为垂直向上,形成的力矩为趋向于关闭阀盖孔的方向,符合 ASME QME-1 规范要求<sup>[4]</sup>。

### 1.3 力矩计算

根据 ASME QME-1 规定,对于 ASME 级别的阀门,初始力矩  $M$  至少等于 ASME 第 III 卷 NB-3545 中定义的  $F_b S$ 。同时,考虑到公差和材料变化的影响,ASME QME-1 QVP-7370.1(f)中确定的初始加载力矩  $M$  应增加因子  $K_1$ ,即初始端部加载力矩  $M$  定义如下<sup>[1,5]</sup>。

$$M = K_1 F_b S \quad (1)$$

式中: $S$ 为连接管道材料在 260 °C 时的屈服强度。

当管道材料未知时, $S = 30\ 000\ \text{psi}$  (200 MPa)。而  $K_1$  定义如下:

$$K_1 = \frac{S_y \cdot G_{bm}}{S_{mys} \cdot G_{bd}} \quad (2)$$

式中: $S_y$ 为阀体材料的实际屈服强度,psi(MPa); $G_{bm}$ 为根据实际测量尺寸计算所得的阀门交叉部位的截面弯曲模量, $\text{mm}^3$ ;  $G_{bd}$ 为根据最小图纸尺寸计算的阀门交叉部位的截面弯曲模量, $\text{mm}^3$ ;  $S_{mys}$ 为阀体材料的额定最小屈服强度,psi(MPa)。

$$F_b = \frac{0.393 \cdot d_e \cdot P_s}{f_0 - P_s} \quad (3)$$

式中: $f_0$ 为常数,当  $P_s$  单位为 psi 时, $f_0 = 20\ 000$ ,当  $P_s$  单位为 MPa 时, $f_0 = 137.9$ ;  $d_e$ 为阀体大端内径; $P_s$ 为 ANSI B16.34 中 500 °F (260 °C) 下对应的压力额定值。

所使用的  $F_b$  值应取较大的计算值,若  $d_e \leq 10.02\ \text{in.}$  (254.5 mm),  $F_b'$  定义为内径稍大于  $d_e$  的壁厚系列 40 管子的截面模量;若  $d_e > 10.02\ \text{in.}$  (254.5 mm),  $F_b'$  定义为  $0.295 d_e^2$  (inch),  $7.493 d_e^2$  (mm)<sup>[2]</sup>。比较  $F_b$  (公式计算结果)与  $F_b'$ ,最终使用两者中的较大值用于计算初始加载力矩  $M$ 。

要求的载荷力矩  $M$  还应考虑工装自重产生的力矩  $M_1$ ,因此实际的初始载荷力矩  $M_0 = M + M_1$ 。同时,关闭循环和开启循环试验中的加载力矩  $M_{2/3} = 2/3 M + M_1$ 。根据加载力矩可以计算得到端部加载力  $F$  如下式所示。

$$F = \frac{M}{L} \quad (4)$$

式中: $M$ 为加载力矩; $L$ 为端部载荷施加处至阀门

中心线的距离。

## 2 端部加载试验装置与过程

### 2.1 试验装置

端部加载试验装置由千斤顶、力传感器、工装、加载力臂和应变测量系统组成,加载力臂焊在电磁阀管端。电磁阀安装在工装上,一端通入试验介质,另一端与加载力臂相连,通过千斤顶在加载力臂上施加集中载荷给阀门施加端部力矩。用力传感器测量加载力,应变测量系统用来测量应变<sup>[3]</sup>。

### 2.2 试验过程

初始加载:使电磁动截止阀处于开启状态,从通入试验介质一端,对阀门打水压至电磁动截止阀在38℃下的冷态工作压力额定值,保持压力同时在阀门上施加初始端部加载力矩 $M_0$ 。图2为初始加载过程中力与应变关系曲线,可以看出在初始加载力矩作用下,初始加载过程应变与加载力基本呈线性关系,即阀门处于弹性变形范围内,没有出现塑性变形。端部加载力矩稳定后,保持10 min。图3为初始加载试验保压过程的应变测量曲线,可以看出在初始加载试验保压过程中,应变基本保持不变。对阀体进行检查无渗漏情况。在额定电压下,阀门动作灵活、无卡阻,信号反馈正常。

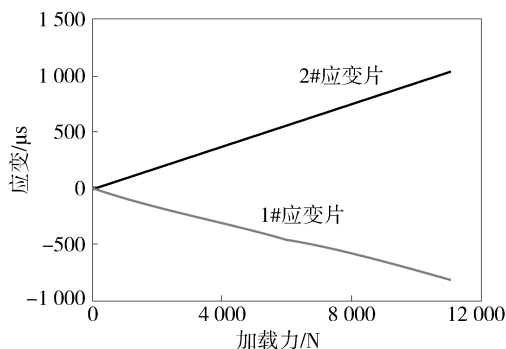


图2 初始加载过程力与应变关系曲线

Fig. 2 Relation curve of initial load force and strain

关闭循环:将端部加载力矩减小至 $M_{2/3}$ ,试验压力要求调整至阀门最大设计压力。用最小驱动电压关闭阀门,关闭后进行密封泄漏试验,保压10 min,并检查阀门渗漏情况。图4为关闭循环试验保压过程的应变测量曲线,应变保持恒定。在最小驱动电压下,阀门动作灵活、无卡阻,信号反馈正常。

开启循环:在与关闭循环相同的端部加载力和

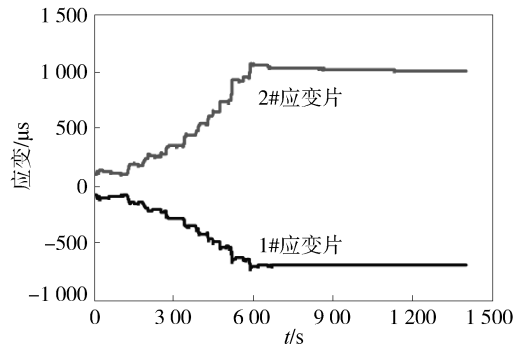


图3 初始加载试验保压过程应变测量曲线

Fig. 3 Strain curve during pressure keeping procedure with initial load

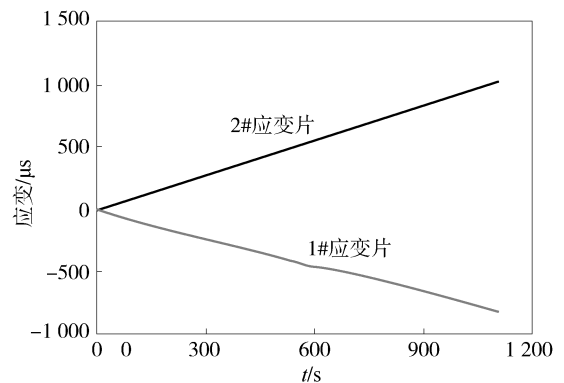


图4 关闭循环试验保压过程应变测量曲线

Fig. 4 Strain curve during pressure keeping procedure in the closed circulation

压力作用下,阀门一侧卸压,另一侧保持不低于阀门最大设计压力,用最小驱动电压开启阀门,阀门开启正常。在最小驱动电压下,阀门动作灵活、无卡阻,信号反馈正常。

### 2.3 试验结果

对电磁动截止阀进行端部加载试验得到的初始加载过程、保压过程的力与应变关系曲线及关闭循环试验保压过程的应变测量曲线表明,阀门处于弹性变形范围内,没有出现塑性变形,证明该阀门在受到所有管端载荷力时,仍可以保持其操作性。端部加载试验后,电磁动截止阀结构完好。按鉴定试验大纲和常规性能试验大纲规定,对试验样机进行密封性试验、阀座泄漏量试验和冷态负载动作试验,结果发现其性能均符合规定要求。

## 3 结论

根据核电厂能动机械设备鉴定 ASME QME-1 - 2002 标准对能动动力操作阀门端部加载试验的要

求,探讨了端部加载试验的试验方法和载荷计算,以先进压水堆核电站电磁动截止阀为例,介绍了端部加载试验装置、试验过程和结果,给出了阀门端部加载试验的方法和技术要点,对核安全级设备开展相关设备鉴定试验具有借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] The American Society of Mechanical Engineers. Qualification of active mechanical equipment used in nuclear power plants: ASME QME-1 [S]. New York: ASME, 2002.
- [2] The American Society of Mechanical Engineers. Rules for construction of nuclear facility components: ASME BPVC-III [S]. New York: ASME, 2004.
- [3] 徐昱根,王旭,柳琳琳,等.核级电动闸阀机端部加载试验技术要点探讨[J].核动力工程,2015,36(5):117-119. XU Y G, WANG X, LIU L L, et al. Study on end-loading

- qualification test on nuclear class 1 gate valve and notice [J]. Nuclear Power Engineering, 2015, 36(5): 117-119.
- [4] 汝强,默鹏飞.阀门端部载荷试验加载方向的分析[J].阀门,2014(5):12-15. RU Q, MO J F. Analysis of load direction for the end load test of valve [J]. Valve, 2014(5): 12-15.
- [5] 柳志忠,庞天照.核级闸阀端部加载有限元应力分析[J].阀门,2015(3):18-20. LIU Z Z, PANG T Z. Nuclear grade valve end loading finite element stress analysis [J]. Valve, 2015(3): 18-20.
- [6] 尚玉来,金瑞建,林超.管线球阀外载荷作用下阀体强度的分析与研究[J].阀门,2016(2):11-13. SHANG Y L, JIN R J, LIN C. Analysis and research on the body strength of pipeline ball valve under external load [J]. Valve, 2016(2): 11-13.

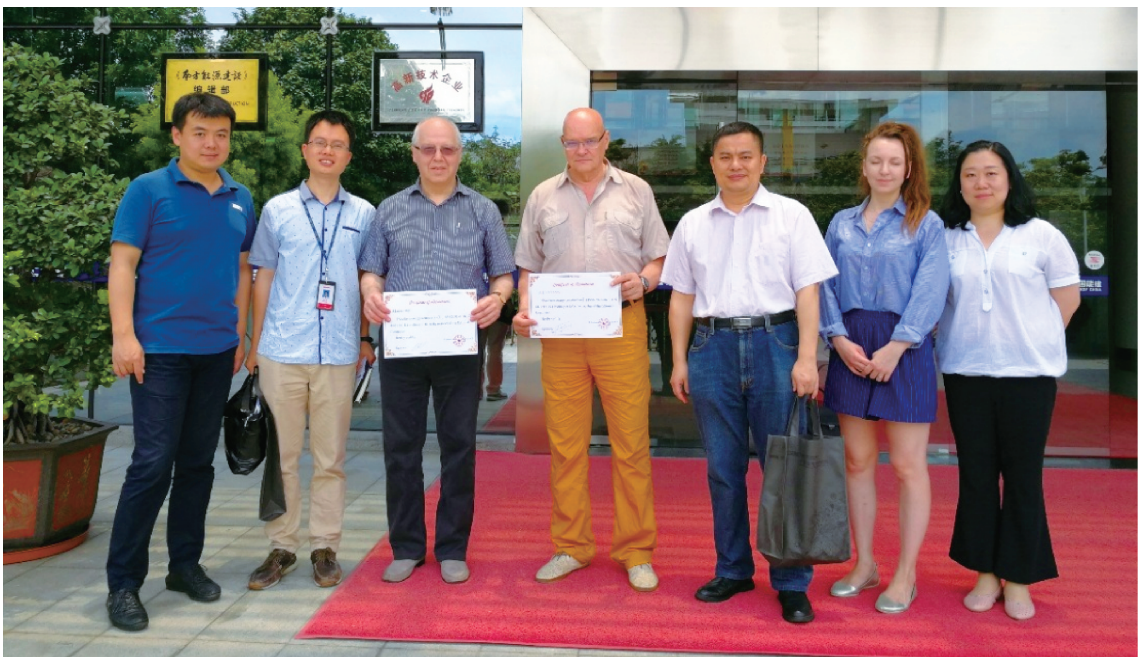
(责任编辑 隋卿毅)

## 俄罗斯自然科学院院士加盟《南方能源建设》学术委员会委员

2017年6月8日,《南方能源建设》向俄罗斯院士利奥波德·乐补克夫斯基、国际欧亚科学院国际部副主席阿纳托利·哈拉莫夫颁发了《南方能源建设》学术委员会委员证书。《南方能源建设》编辑部、天津海之星海洋科技发展有限公司与俄罗斯专家就核电厂地震地质、CO<sub>2</sub>海洋地质封存、海上风电勘察和海底电缆ROV巡检等技术进行了学术交流。

利奥波德·乐补克夫斯基(LOBKOVSKIY LEOPOLD):俄罗斯科学院希尔绍夫海洋研究所副所长、地震地球动力实验室室长,俄罗斯科学院通讯院士,俄罗斯自然科学院院士,欧洲科学院正式成员,物理学数学科学博士。

阿纳托利·哈拉莫夫(KHARLAMOV ANATOLII):国际欧亚科学院国际部副主席,俄罗斯联邦委员会高新技术项目促进委员会副主席,俄罗斯希尔绍夫海洋研究所海洋工程实验设计局项目总工程师,俄法国际海洋科研联合工作组成员。



(左三:利奥波德·乐补克夫斯基院士、左四:阿纳托利·哈拉莫夫专家、左一:天津海之星海洋科技发展有限公司 张扬总经理、左二:《南方能源建设》编辑部郑文棠博士)