

# 堆芯中子注量率测量系统核级阀门的型式试验

龚碧颖, 徐峰

(上海核工程研究设计院, 上海 200233)

**摘要:** 堆芯中子注量率测量系统是30万千瓦核电厂监测系统的重要组成部分。该系统中的手动阀、止回阀和电动阀(阀体)属于核级阀门。介绍了堆芯中子注量率测量系统的组成和功能,并根据ASME QME-1—2002规范从试验项目、环境条件和考核指标等方面对手动阀、止回阀和电动阀提出了型式试验技术要求。制造厂根据型式试验技术要求制定了手动阀、止回阀和电动阀试验大纲,并对样机进行了型式试验和检验,试验结果满足试验大纲要求。

**关键词:** 堆芯中子注量率测量系统;核级阀门;型式试验

**中图分类号:** TH134      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2012)05-0032-05

## Type Test of Nuclear Valve of In-core Neutron Infusing Rate Measurement System

GONG Bi-ying, XU Feng

(Shanghai Nuclear Engineering and Design Institute, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** In-core neutron infusing rate measurement system is one of the important parts of 300 000 kW nuclear power station. The manual valve, check valve, and motorized valve of the system are nuclear safety class equipments. The composition and function of the in-core neutron infusing rate measurement system was introduced. The type test technical requirements of the manual valve, check valve, and motorized valve were put forward according to ASME QME-1—2002 from the aspects of test item, environmental condition, and checking indicators. Test program of the manual valve, check valve, and motorized valve were established by manufacturer according to the type test technical requirements. The type tests and verification were carried out on prototypes. The results showed that the valves meet the requirements of the test program.

**Key words:** in-core neutron infusing rate measurement system; nuclear valve; type test

堆芯中子注量率测量系统是30万千瓦核电站监测系统的重要组成部分。其作用是在反应堆启动和运行期间测量反应堆堆芯的中子注量率分布,同时还用于监测堆芯功率畸变、积累燃耗数据。因此,堆芯中子注量率测量系统不但对核电厂的安全可靠启动、运行至关重要,而且还保证了核电厂的运行安

收稿日期: 2012-06-21

作者简介: 龚碧颖(1979—),女,硕士研究生,工程师,从事反应堆本体工艺及相关设备的设计工作。

全性和经济性。

堆芯中子注量率测量系统通过导向管从反应堆压力容器底部贯穿件穿出,通过测量通道将数据传输到堆芯中子注量率测量控制和数据处理装置中。该系统由移动探测器、机械部件、电气设备和测控设备等构成。其中机械部件包括手动阀、密封段、止回阀、电动阀、导向管以及指套管,这些部件构成中子注量率的测量通道(如图1所示)。由于中子注量率测量通道是反应堆冷却剂压力边界,因此手动阀、止回阀和电动阀属于核级设备。

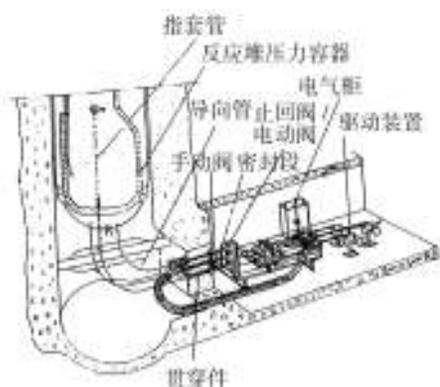


图1 堆芯中子注量率测量系统

Fig. 1 In-core neutron infusing rate measurement system

手动阀、止回阀和电动阀在运行期间都应保持执行安全功能的能力。如果运行期间手动阀、止回阀和电动阀功能失效,会直接影响反应堆系统的正常运行并危及操作人员。由于堆芯中子注量率测量系统的手动阀、止回阀和电动阀是基于已运行核电厂的成熟设计,因此设计满足要求,但在国内为第一次试制。为考核制造厂生产的阀门能否达到规定的技术指标,应在投产前进行手动阀、止回阀和电动阀的型式试验<sup>[1]</sup>。

根据 ASME QME-1—2002 规范从试验项目、环境条件和考核指标等方面对手动阀、止回阀和电动阀提出了型式试验技术要求,以供制造厂根据型式试验技术要求制定相应的试验大纲。

## 1 手动阀、止回阀和电动阀型式试验的依据

堆芯中子注量率测量系统的手动阀、止回阀和

电动阀(阀体)均为核安全二级设备。我国核电阀门鉴定标准尚未制定,而目前常用的核电阀门鉴定标准规范为 ASME QME-1—2002<sup>[2]</sup>,该规范详细描述了用于核电站的能动机械设备鉴定的要求和准则。这些要求和准则包括鉴定的原理、程序及方法。文中依据 ASME QME-1—2002<sup>[2]</sup>并结合以往核电阀门鉴定试验的实践经验,制定了这3类阀门的型式试验技术要求。

## 2 手动阀、止回阀和电动阀的型式试验技术要求

制造厂应按照设计图纸的要求制造并组装试验样机,3类阀门试验样品总数不少于3个。型式试验的样机是按照制造厂质量管理体系和产品技术规范书制造的有代表性的设备,应经受模拟预期工作条件的环境和操作循环,以鉴定其安全方面相关功能。

3类阀门的主要设计参数应满足堆芯中子注量率测量系统工作环境的要求。其设计压力为 17.16 MPa;正常运行温度 $\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;指套管破损事故工况下金属材料的设计温度为 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,非金属材料的设计温度为 $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.1 规范要求的型式试验项目

ASME QME-1—2002 QVP-7320 规定了能动动力驱动阀门的试验项目及顺序,详细内容如下:

- 1) 试验前检查 QVP-7331;
- 2) 基本频率的测定 QVP-7340;
- 3) 环境与老化模拟 QVP-7350;
- 4) 中间检验 QVP-7332;
- 5) 循环试验 QVP-7361(冷循环)和 QVP-7362(热循环);
- 6) 中间检查 QVP-7332;
- 7) 端部载荷试验 QVP-7370;
- 8) 中间检查 QVP-7332;
- 9) 地震试验 QVP-7380;
- 10) 中间检查 QVP-7332;
- 11) 流量中断和功能能力验证 QVP-7390;
- 12) 试验后检查 QVP-7333。

以上的试验顺序中,能动自操作止回阀不适用 2),5),9)项目。

## 2.2 堆芯中子注量率测量系统阀门的型式试验项目

根据本系统阀门实际使用功能的要求,并按参考文献[2]和[3]的规定,给出了堆芯中子注量率测量系统的手动阀、止回阀和电动阀(阀体)的具体试验项目。

能动动力驱动阀门的试验项目中没有包含2000次循环的动作寿命试验,但目前国内一般都要求核电阀门应进行模拟工况下的动作寿命试验。另外,对于环境与老化模拟要求,采取选择通过相应核级鉴定的生产厂家提供阀门的密封圈、垫片、电动阀驱动装置和电气附件等对策,不要求随同阀门样机一起进行环境与老化模拟的试验<sup>[3]</sup>。对于电动阀及手动阀两类球阀中的软密封阀座材料的鉴定,采取下列解决方法:1)针对辐照老化,选择有相应耐辐照数量级的非金属材料;2)针对热老化和磨损老化,非金属材料零件将随同阀门样机一起进行模拟热态工况下的动作寿命试验的验证<sup>[3]</sup>。

对于地震试验项目,目的是证明相关安全设备在寿期末能够承受安全停堆地震的作用,仍能执行其规定的安全功能。必须通过试验或分析来验证能动设备的停堆或减轻假想事故影响的可运行性。然而,若依靠结构完整性就能验证其预期的设计功能,则只做结构分析而不做试验抗震鉴定。

### 2.2.1 手动阀试验项目

在反应堆正常运行期间,手动阀常开,一回路冷却剂沿指套管外壁经由手动阀流至密封段上游密封处,从而密封段的上游密封、导向管和手动阀构成了冷却剂压力边界。在指套管更换和抽出密封段情况下,该阀门应关闭,防止反应堆一回路冷却剂泄出。

由于手动阀在完成系统安全功能的过程中,须保持压力边界的完整性,而不需要执行机械动作,因此,不要求对其进行地震试验,只作结构分析,评定是否安全停堆地震作用下压力边界完整。手动阀的型式试验项目流程如图2所示。

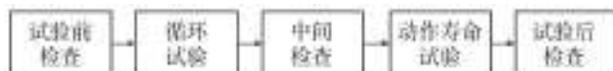


图2 手动阀的型式试验项目流程

Fig. 2 Flow chart for the type test of manual valve

### 2.2.2 止回阀试验项目

止回阀是测量通道的组成部分。在指套管泄漏时,一回路冷却剂进入阀内,冲击阀内小球,使其压紧密封面,防止一回路冷却剂继续泄漏,此时止回阀是一回路的压力边界。

止回阀的型式试验项目流程如图3所示。

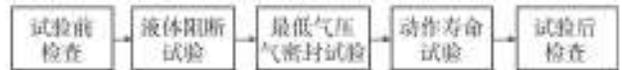


图3 止回阀的型式试验项目流程

Fig. 3 Flow chart for the type test of check valve

### 2.2.3 电动阀试验项目

电动阀常闭,当需要进行堆芯中子注量率分布测量时,电动阀开启,成为可移动探测器的移动通道;在指套管泄漏时起密封作用,此时电动阀成为一回路冷却剂压力边界。

系统电动阀的阀体属于核安全二级设备,而其驱动装置为非安全级,在地震时和(或)地震后,不要求电动阀动作,因此对驱动装置无抗震要求,而对于电动阀阀体,与手动阀类似,在完成系统安全功能的过程中,不需要执行动作,只需保持压力边界的完整性,因此,不要求对其进行地震试验。电动阀(阀体)的型式试验项目流程如图4所示。



图4 电动阀(阀体)的型式试验项目流程

Fig. 4 Flow chart for the type test of motorized valve

## 2.3 堆芯中子注量率测量系统阀门型式试验内容

系统阀门均为核二级,根据ASME BPV 规范III-1 NC-6000<sup>[4]</sup>的规定,除第2.2节中所述的试验项目外还需进行壳体水压试验。

### 2.3.1 手动阀型式试验内容

根据手动阀实际使用功能的要求及ASME QME-1—2002的要求,手动阀详细的型式试验内容见表1。

### 2.3.2 电动阀型式试验内容

根据电动阀实际使用功能的要求及ASME

表1 手动阀型式试验内容

Table 1 Type test contents of manual valve

试验内容	试验温度/试验压力	考核指标
关键尺寸实测	常温/常压	满足施工设计要求
壳体水压试验	常温/21.5 MPa	保压时间 30 min, 阀体、侧盖不得有泄漏、渗漏和冒汗现象, 阀体无残余变形。
试验前 检查	阀座密封试验 常温/21.5 MPa	保压时间 30 min, 阀门应无外泄漏, 阀座处泄漏率为 0。
	低压气密封试验 常温/0.4 MPa	保压时间 30 min, 阀座处泄漏率为 0。
	阀门功能试验 常温/常压 或 17.16 MPa	验证不同介质和压力条件下阀门的开、关力矩。
循环 试验	冷循环试验 常温/17.16 MPa	验证打开和关闭性能
	热循环试验 240 °C/17.16 MPa	验证打开和关闭性能
中间检查	在每一型式试验项目完成后进行检验, 以便与基准数据进行比较。	
动作寿命试验	50 °C/0.25 MPa	开关阀门 2000 次后能保持其功能。
试验后检查	获得与试验前检验相比较的数据, 以便确定鉴定试验对阀门功能的影响。	

QME-1—2002 的要求, 电动阀(阀体)详细的型式试验内容见表 2。

表2 电动阀(阀体)型式试验内容

Table 2 Type test contents of motorized valve

试验内容	试验温度/试验压力	考核指标
关键尺寸实测	常温/常压	满足施工设计要求
空载启闭动作寿命试验	常温/常压	检查压力边界是否完整、无损伤、动作正常
试验前 检查	壳体水压试验 常温/21.5 MPa	保压时间 30 min, 阀体、侧盖不得有泄漏、渗漏和冒汗现象, 阀体无残余变形。
	阀座密封试验 常温/21.5 MPa	保压时间 30 min, 阀门应无外泄漏, 阀座处泄漏率为 0。
	动作性能试验 常温/常压	在 48 V 电压下, 阀门从全开到全关, 再从全关到全开动作 3 次。
	阀门功能试验 常温/常压或 17.16 MPa	验证不同压力条件下阀门的开、关力矩。
循环 试验	冷循环试验 常温/17.16 MPa	验证打开和关闭性能
	热循环试验 240 °C/17.16 MPa	验证打开和关闭性能
中间检查	在每一型式试验项目完成后进行检验, 以便与基准数据进行比较。	
动作寿命试验	指套管泄漏工况 240 °C/ 17.16 MPa	进行 10 次完整的启闭循环后, 应能保持其功能。
试验后检查	获得与试验前检验相比较的数据, 以便确定鉴定试验对阀门功能的影响。	

### 2.3.3 止回阀型式试验内容

根据止回阀实际使用功能及 ASME QME-1—2002 的要求, 止回阀详细的型式试验内容见表 3。

试验结果满足大纲要求, 可正式投入生产。

## 3 型式试验结果

阀门制造厂商根据型式试验技术要求, 制定了堆芯中子注量率测量系统的手动阀、止回阀和电动阀试验大纲, 并且进行了样机型式试验和检验。试

## 4 结论

介绍了堆芯中子注量率测量系统的组成和功能, 并根据 ASME QME-1—2002 规范从试验项目、环境条件和考核指标等方面对手动阀、止回阀和电动阀提出了型式试验技术要求。制造厂根据型式试验技术要求制定了手动阀、止回阀和电动阀试验大纲,

表3 止回阀型式试验内容

Table 3 Type test contents of check valve

试验内容	试验温度/试验压力	考核指标
关键尺寸实测	常温/常压	满足施工设计要求
壳体水压试验	常温/21.5 MPa	保压时间 30 min, 阀体、侧盖不得有泄漏、渗漏和冒汗现象, 阀体无残余变形。
密封试验	常温/17.16 MPa	
试验前检查		保压时间 30 min, 试验时阀门不得有外泄漏, 阀座密封处允许的泄漏率 $\leq 0.1 \text{ cm}^3/(\text{h}\cdot\text{mm})$ 。
低压气密封试验	常温/0.4 MPa	保压时间为 30 min, 阀座处泄漏率为 0。
流体阻断试验	240 °C/17.16 MPa	验证止回阀是否能在逆流工况下正常关闭。
最低压差气密封试验		在阀座密封处允许的泄漏量不超过 $22 \text{ cm}^3/(\text{h}\cdot\text{mm})$ 条件下, 检测最低压差密封值。
动作寿命试验	常温/常压	一定压力的气体启闭阀门, 重复 2000 次, 测试阀门的启闭性能。
试验后检查		获得与试验前检验相比较的数据, 以便确定鉴定试验对阀门功能的影响。

并对样机进行了型式试验和检验, 试验结果满足试验大纲要求。文中内容是堆芯中子注量率测量系统核级阀门设备鉴定的重要组成部分, 也可为其它核级阀门的设备鉴定提供技术指导。

#### 参考文献:

[1] GB/T 12232—2005, 通用阀门法兰连接铁闸阀[S].

- [2] ASME QME-1—2002, Qualification of Active Mechanical Equipment Used in Nuclear Power Plants[S].
- [3] 李军业, 张宗列, 乐秀辉. 核电阀门的试验鉴定[J]. 阀门, 2009(4): 17—20.
- [4] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Division 1, Subsection NC[S].

(上接第 23 页)

平衡速度试验数据, 按秩和检验是有显著差异的, 而  $t$  检验的结果无显著差异。因此, 可以确定出贮存于不同的地域环境对某型单兵火箭的动不平衡性能存在显著影响。

## 4 结论

通过数据分析可以看出: 1) 某型单兵火箭在射击试验时发射筒动不平衡数据均存在异常点; 2) 发射筒速度或冲量的异常数据点与弹丸初速不存在关联, 即不对应弹丸的最大或最小值。

分析产生动不平衡的原因, 从发射过程看, 发动机点火后, 燃烧气体压力使弹丸向前、抛射部向后, 以达到两者的动量平衡, 保持发射筒的静止。从试验结果可知, 弹丸初速没有受到影响, 而发射筒冲量有了巨大改变。说明发射筒冲量应来源于抛射部。

长期贮存对样品的动不平衡冲量产生了明显影响, 影响因素主要包括以下几部分<sup>[4]</sup>: 1) 由于橡胶制品的老化使得包装筒的前后密封盖与原状态出现差

异, 产生不平衡现象; 2) 发动机采用悬臂梁结构, 用固药胶附在底座上, 由于老化, 不可避免地产生固药力下降, 甚至掉药现象, 使发动机的燃烧规律发生改变; 3) 弹性爪属于储能元件, 在长贮过程中产生应力释放现象, 抓紧力下降。

上述因素都可引起火箭弹质心位置偏离全弹几何纵轴, 且惯性主轴与几何纵轴不重合, 产生质量偏心距和动不平衡角, 造成动不平衡变化。文献中对单兵火箭从元件组成结构上给出了调整动不平衡冲量的方法<sup>[5]</sup>。因此可从上述因素入手寻求解决某型单兵火箭的使用安全性问题。

#### 参考文献:

- [1] 高玉龙. 弹药技术寿命评价研究[J]. 装备环境工程, 2011, 8(1): 73—75.
- [2] 周长省. 火箭动不平衡的计算方法[J]. 兵工学报, 1991(1): 48—55.
- [3] 陈家鼎. 概率与统计[M]. 北京: 北京大学出版社, 2007.
- [4] 董师颜. 固体火箭发动机原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995.
- [5] 陈志坚. 单兵武器发射器动不平衡冲量分析与计算[J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(6): 164—165.