

10 MW 高温气冷堆蒸汽安全阀全性能试验

吴莘馨, 厉日竹

(清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084)

摘要: 文章介绍 10 MW 高温气冷堆(HTR-10)二回路超压保护系统中的核二级蒸汽安全阀的设计要求、结构特点及性能要求, 并对其性能进行了实验验证。实验结果表明: 蒸汽安全阀的性能满足设计要求, 达到了核规范的标准。

关键词: 高温气冷堆; 核级安全阀; 全性能试验

中图分类号: TL353.11

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2004)05-0391-04

Full Performance Test of the Steam Safety Valves for 10 MW High Temperature Gas-cooled Reactor

WU Xin-xin, LI Ri-zhu

(Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The design requirements and structural peculiarity as well as performance requirements of the steam safety valves which are nuclear safety class 2 component installed in the over-pressure protection system of the second loop of 10 MW High Temperature Gas-cooled Reactor(HTR-10) are introduced. The demonstration test for full performance of the steam safety valves was carried out in special test system. The test results show that the performance of the steam safety valves can meet the design requirement and relevant nuclear code.

Key words: High Temperature Gas-cooled Reactor; nuclear class safety valve; full performance test

10 MW 高温气冷堆 HTR-10 二回路超压保护系统中安装了 2 台核二级蒸汽安全阀。安全阀的运行参数和安全级别均较高, 使蒸汽安全阀的制造有一定难度, 而它们的性能关系着 HTR-10 的安全。本工作对蒸汽安全阀的性能进行试验验证。

1 蒸汽安全阀的功能及主要技术参数

1.1 功能

蒸汽安全阀安装在蒸汽发生器与主蒸汽隔离阀之间的管道上, 主要功能是在蒸汽发生器、蒸汽发生器与主蒸汽隔离阀之间的管道压力达到设计限值时, 通过安全阀排出部分蒸汽, 防止

收稿日期: 2003-10-09; 修回日期: 2003-12-05

基金项目: 国家“863”计划资助项目(863-614-02)

作者简介: 吴莘馨(1961-), 女, 安徽肥东人, 副教授, 硕士, 核科学与工程专业

二回路相关设备的压力超过设计限值,保证二回路压力边界的完整性。按核安全法规要求^[1],系统中的可动设备应符合单一故障准则或多重性准则。据此,2台蒸汽安全阀分别安装在二回路超压保护系统的两条并联支路上。两支路安全阀的设定压力略有不同,第1条支

路安全阀开启后,若所保护的系统压力不再上升,第2条支路的安全阀则不开启,以避免系统受到过大干扰。

1.2 主要技术参数

蒸汽安全阀的主要参数列于表1。

表1 主要参数

Table 1 Main technical parameters

阀位号	介质	设计压力/MPa	设计温度/℃	工作温度/℃	排放量/(t·h ⁻¹)	排放喉径/mm
LBA-AA02	蒸汽	6.4	500	440	13.6	38
LBA-AA03	蒸汽	6.4	500	440	13.6	38
阀位号	开启高度/mm	开启压力/MPa	回座压力/MPa	密封压力/MPa		
LBA-AA02	9.00±0.03	4.60±0.03	3.91±0.03	4.14±0.03		
LBA-AA03	9.00±0.03	4.50±0.03	3.82±0.03	4.05±0.03		

注:表中所列压力均为绝对压力;允许误差依据 ASME BPV BPV-III

2 安全阀的结构设计

HTR-10 的蒸汽安全阀采用 ANSI、ASME BPV-III 的 NC 分卷作为设计标准^[2]。

ASME BPV-III 将核级阀门分为 I、II、III 级。蒸汽安全阀是为保证 HTR-10 正常、安全运行而需操作的阀门,安全级别为 II 级。

蒸汽安全阀的结构示于图 1。阀门结构形式为全封闭弹簧直接载荷式,开启方式为全启式,并采用波纹管背压平衡式,其优点是背压波动不影响阀的开启压力。

通过蒸汽安全阀的介质温度及压力参数高,对阀的内、外密封要求高。安全阀发生外泄漏,将影响反应堆正常运行和超压保护系统的功能以及反应堆操作人员和周围环境的安全。发生内漏,则影响阀的起跳性能。安全阀的密封面是最薄弱的环节。阀瓣与阀座不能严密配合或密封面发生机械损伤等都将造成阀密封面的早期泄漏。泄漏将引起密封面的侵蚀,促使泄漏增加。安全阀动作后再回座时仍保持密封是难点之一。

为此,HTR-10 的蒸汽安全阀在防内漏的密封设计上采用了阀瓣导向机构,可保证多次启闭循环后阀瓣与阀座仍能很好对中。阀瓣与阀座的表面堆焊了硬质合金材料,以防阀座表面损坏并保证阀门良好的防内漏密封性能。在防外漏的密封设计上,对阀体与中间包壳、中间包壳与保护压盖之间的连接部位采用了耐高温

及高压性能较好的石墨作为密封材料,即保证了密封,又可在安全阀服役期的检修周期内对安全阀进行解体检修。此外,设计了波纹管结构,既可起背压平衡作用,又可防止由阀杆引起的外漏。

3 安全阀的全性能试验

3.1 压力试验

该试验的目的在于考验阀体及承压部件的耐压强度。按 ASME BPV-III NC-7000 和 ANSI B16.41 的规定,试验压力为公称压力的 1.5 倍;对介质为气体的安全阀,试验介质可采用氮气。进行安全阀压力试验时,阀瓣处于开启状态,出口封闭,从进口加压。试验在环境温度下进行,试验压力为 10 MPa,保压时间为 15 min。压力试验结果表明,2 台安全阀的阀体及各承压部件均达到了承压要求。

3.2 密封试验

密封试验包括内漏及外漏的测定,在压力试验后进行,并在阀门性能试验的起跳前(即动作前)及回座后(即动作后)进行 2 次。

内漏测定针对阀座处的密封性能进行验证。按 ASME BPV-III NC-7000 和 ASME/ANSIPTC 25.3-1988 规定,密封试验压力为 90% 的开启压力,试验介质为干燥、清洁的氮气,密封性能的检测用气泡法。

图 2 为试验系统简图。在安全阀入口处有

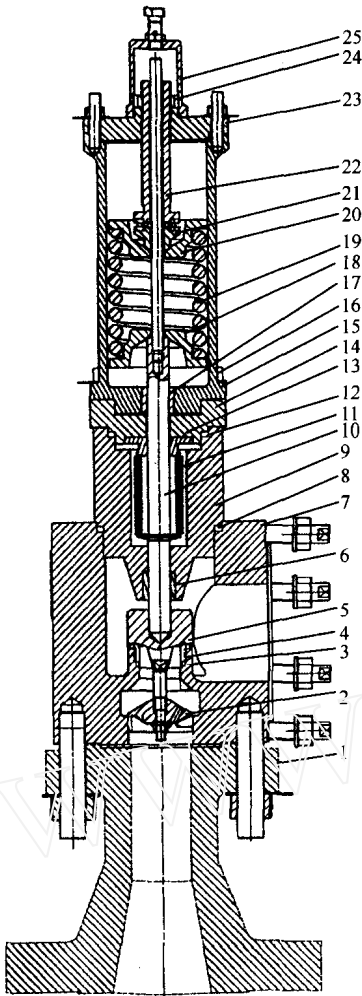


图1 蒸汽安全阀的结构图

Fig. 1 Structure of steam safety valve

- 1—进口法兰;2—阀瓣导向机构;3—密封填料;
- 4—阀座;5—阀瓣;6—轴承;7—阀体;
- 8、13—石墨密封圈;9—中间包壳;10—阀杆;
- 11—波纹管;12—波纹管压套;14—保护压盖;
- 15—弹簧包壳;16—轴承;17—锁紧螺母;
- 18—弹簧底盘;19—弹簧;20—弹簧顶盘;
- 21—调整螺杆止推座;22—调整螺杆;
- 23—顶盖;24—调整螺杆锁紧螺母;25—保护罩

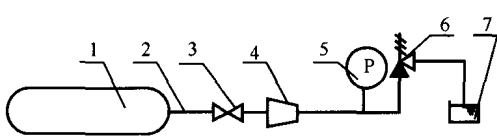


图2 密封试验系统简图

Fig. 2 Simplified system of tightness test

- 1—氮气罐;2—联接管道;
- 3—控制阀;4—过滤器;
- 5—压力表;6—被试安全阀;7—水槽

压力测点,安全阀出口装有密封板,密封板中心插入一管子,按规范规定,管子内径为 6 mm,管子另一端插入水槽中水面以下 12 mm。供气端用 15 MPa 的高纯氮气经减压阀和调节阀及过滤器对被试安全阀加压,当阀的入口达到密封压力时,停止氮气的加压。试验温度为环境温度,保压时间为 10 min。测试中观察并记录出口端的气泡数。测定次数为 3 次。

表 2 列出了 2 台安全阀动作前、后的密封试验结果,其中,泄漏率为密封压力下的测试结果。表中允许值的误差按 ASME BPV-III 规定确定。2 台阀门的导向机构起到了定位作用,阀的内密封性良好,满足设计及使用要求。压力试验时,阀腔内压力在规定时间内不变,表明 2 台安全阀的外密封性能满足要求。

3.3 功能(热态动作特性)试验

功能试验的目的是考验安全阀在热态条件下的动作重复性、动作机械特性以及开启压力、排放压力、回座压力和开启高度等各项指标能否满足设计要求。

试验系统示于图 3。试验测量的压力及高度参数分别用压力传感器及位移传感器为一次仪表,经数据采集后由计算机输出。蒸汽安全阀的功能试验在中国安全阀质量监督检测中心进行,试验介质为蒸汽,试验环境温度为室温,介质温度为饱和蒸汽温度,气源为蒸汽锅炉。试验步骤如下:将被试阀接到试验系统,升高阀的进口压力至密封压力后,以小于 0.01 MPa/s 的升压速度缓慢升压至安全阀动作,记录下相关测量参数。每台安全阀重复动作 3 次,表 3 列出了试验结果。

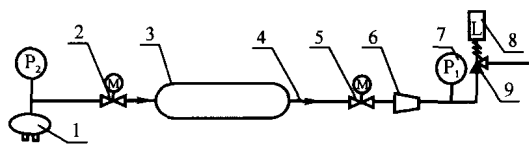


图3 功能试验系统简图

Fig. 3 Simplified system of function test

- 1—气源;2、5—电动控制阀;
- 3—贮气罐;4—联接管道;6—过滤器;
- 7—压力传感器;8—位移传感器;9—被试安全阀

表 2 密封试验结果
Table 2 Results of tightness test

动作	阀位号	密封压力/MPa		泄漏率/(气泡数·min ⁻¹)	
		允许值	实测值	允许值	实测值
动作前	LBA-AA02	4.14±0.03	4.12±0.03	≤30	0
	LBA-AA03	4.05±0.03	4.04±0.03	≤30	21±3
动作后	LBA-AA02	4.14±0.03	4.13±0.03	≤30	0
	LBA-AA03	4.05±0.03	4.07±0.01	≤30	26±2

注:表中压力均为绝对压力;允许误差依据 ASME BPV BPV-III;实测值为 3 次测量值的平均值±标准差

表 3 功能试验结果
Table 3 Results of function test

阀位号	开启压力/MPa		排放压力/MPa	
	允许值	实测值	允许值	实测值
LBA-AA02	4.60±0.03	4.60±0.03	≤4.74	4.67±0.01
LBA-AA03	4.50±0.03	4.51±0.03	≤4.63	4.55±0.01

阀位号	回座压力/MPa		开启高度/mm	
	允许值	实测值	允许值	实测值
LBA-AA02	3.91±0.03	3.90±0.02	9.00±0.03	9.19±0.02
LBA-AA03	3.82±0.03	3.83±0.03	9.00±0.03	8.76±0.02

注:表中压力均为绝对压力;实测值为 3 次测量值的平均值±标准差

4 结论

试验测试结果表明:蒸汽安全阀动作稳定,动作期间无震颤与频跳等不良现象;阀门的开启压力、排放压力、回座压力均达到了设计要求;内、外密封性能良好。通过性能试验验证了蒸汽安全阀的结构设计合理,阀的性能满足 HTR-10 的要求,达到了核法规的标准。

参考文献:

- [1] 国家核安全局政策法规处. 核电厂物项制造中的质量保证;HAD003/08[R]. 北京:国家核安全局,1992.
- [2] 美国机械工程师学会. 核动力设备(BPV-III NB 分卷)[M]. 合肥:中国机械工程学会压力容器学会,1989. 106~127,224~229.