

核电厂气体介质止回阀全开流量试验技术研究

李俊峰¹ 魏倩文² 骆新芃¹ 杨彬¹

1 中广核研究院有限公司 2 中广核工程有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i2.7197

[摘要] 本文提出了一种基于不可压缩流体达西公式的等效试验理论进行核电厂实际运行工况下止回阀全开最小流量预测的可行方法,该试验方法可以极大的降低对试验台架设计温度和压力的要求,可以在试验台架的试验能力范围内开展相关试验。利用该方法搭建核电厂典型气体介质止回阀全开流量试验台架并开展相关试验,试验结果表明,经过筛选的核电厂DN32、DN40两种型号的止回阀在设计运行流量情况下止回阀未达到全开状态,是造成系统流量较低的主要原因。

[关键词] 气体介质; 止回阀; 全开流量试验

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

Research on full-open flow test technology for gas medium check valves in nuclear power plants

Junfeng Li¹ Qianwen Wei² Xinpeng Luo¹ Bin Yang¹

1 China National Nuclear Research Institute Co., Ltd 2 China National Nuclear Engineering Co., Ltd

[Abstract] This paper presents a feasible method for predicting the minimum flow rate of fully open check valves in nuclear power plants under actual operating conditions based on the equivalent test theory of Darcy's formula of incompressible fluid. This test method can greatly reduce the requirements on the design temperature and pressure of the test bench, and can carry out relevant tests within the test capacity of the test bench. This method is used to build a typical full-open flow test bench for gas medium check valves in nuclear power plants and carry out related tests. The test results show that the main reason for the low system flow rate is that the screened check valves of DN32 and DN40 in nuclear power plants are not fully open under the designed operating flow rate.

[Key words] gas medium; check valve; fully open flow test

引言

止回阀是核电厂常用的标准设备,是依靠其阀瓣自重或者弹簧外力实现阀瓣回座,从而阻断介质倒流的一种阀门^[1]。在运核电厂系统调试期间发现部分气体系统的止回阀在某些低流量工况下无法实现阀瓣全开,从而导致系统在某些工况下流量不足,影响系统的正常运行。由于各个系统的运行压力和温度存在较大差异。因此,按照核电厂设计运行工况对止回阀开展试验难度非常大。本文采用等效试验的方法对各系统止回阀的运行工况进行研究分析,在试验台架的试验能力范围内开展相关试验,研究止回阀的流动水力特性和最低全开流量。

1 试验原理

1.1 理论基础

在核电厂气体介质系统中,止回阀的压力损失占比总体较小,可以认为止回阀上下游气体介质的比容变化不大,因此可以将止回阀上下游介质流动假定为不可压介质流动。针对可以假

定为不可压缩流体的气体和蒸汽流动,如果符合如下工况,则可以采用达西公式进行计算^[2]。

本试验中考虑到阀门前后流体密度几乎不变或有少量变化,因此可以基于不可压缩流体进行研究分析。假设为不可压缩流体进行计算并应用达西公式:

$$\Delta P = K \times \frac{1}{2} \times \rho v^2 \quad (1)$$

气体和蒸汽的密度受压力变化的影响较大,本试验中通过理想气体关系式计算:

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (2)$$

$$R = \frac{8314.47}{M_r}$$

将公式(2)代入公式(1),得到公式(3):

$$\Delta P = K \times \frac{1}{2} \times \frac{P'}{8314.47 \frac{T}{M_r}} v^2 \quad (3)$$

式中, ΔP 为阀门前后压降, Pa; K 为阀门阻力系数; P' 为试验状态下阀门入口压力, Pa; a ; T 为试验状态下的阀门入口热力学温度, K; M_r 为气体的相对分子质量。

1.2 试验与实际运行全开流量转换

考虑到流体流经阀门前后的密度变化较小,依据连续性方程和伯努利方程,可以得出介质流经止回阀的压损全部用来对阀瓣做功。因此,可以假定虽然核电厂现场运行环境和试验环境的压力和温度不同,但只要止回阀进出口压差相等,即可证明阀瓣开度相同。

通过试验测量各止回阀全开工况下的进出口最小压差 ΔP_1 , 即可获得核电厂实际运行工况下止回阀进出口最小压差 ΔP_2 , 从而获得核电厂实际运行工况下使阀门全开的最小流量。

$$\frac{P'_1}{T_1} (Q_1)^2 = \frac{P'_2}{T_2} (Q_2)^2 \quad (4)$$

式中, P'_1 为试验状态下阀门入口压力, Pa; a ; P'_2 为核电厂实际运行工况状态下阀门入口压力, Pa; a ; T_1 为试验状态下的阀门入口热力学温度, K; T_2 为核电厂实际运行工况状态下的入口热力学温度, K; Q_1 为试验状态工况下体积流量, $m^3 \cdot h^{-1}$;

Q_2 为核电厂实际运行工况状态下体积流量, $m^3 \cdot h^{-1}$ 。

1.3 实际运行流量与标准立方流量的转换

根据理想气体状态方程,通过试验转换得到的实际运行流量与标准立方流量可按照以下公式进行转换:

$$Q_{\text{标}} = \frac{P_2}{P_{\text{标}}} \times \frac{T_{\text{标}}}{T_2} \times Q_2 \quad (5)$$

式中, $P_{\text{标}}$ 为1个标准大气压压力, Pa; a ; $T_{\text{标}}$ 为20℃下的热力学温度, K; $Q_{\text{标}}$ 为标准立方体体积流量, $m^3 \cdot h^{-1}$ 。

1.4 止回阀全开的判断方法

阀门的流通能力一般用流量系数来表征^[3],当阀门达到全开时,阀门的流量系数将趋于稳定,流量系数趋于稳定的流量点可判断为阀门全开起始点,止回阀流量系数可表示为:

$$C_v = \frac{4 \times 10^4 d^2}{\sqrt{K}} \quad (6)$$

式中,为试验状态下阀门的流量系数, USgal/min。

1.5 试验流程

通过搭建试验装置,测得被测试止回阀在试验工况下的温度、压力、流量、压降等参数,并通过这些参数利用公式(1)、(6)折算出阀门的曲线,并判断出止回阀全开(流量系数稳定)时的最小流量工况点,利用试验与实际运行流量转换方法将止回阀全开时的最小流量工况点转换为实际运行情况下所需要的全开流量值。相关流程图如下图1所示:

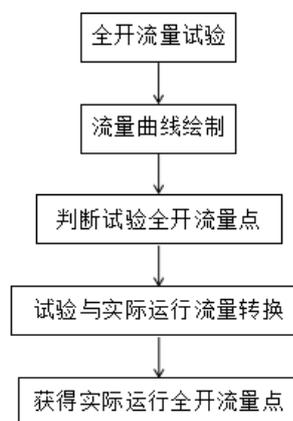


图1 试验流程示意图

2 试验回路及装置

试验系统由1个储气容器、试验回路及阀门、测量仪表、被试验阀门等组成。通过储气容器加压,调节被测试阀门前后压力控制阀调节阀,测试不同流量下(0至阀门稳定全开)的流量压降曲线以及数据表。试验系统如下图2所示。

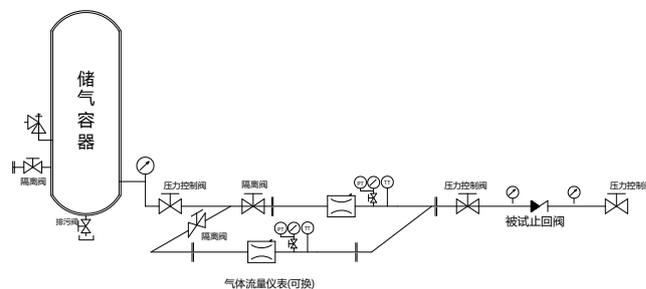


图2 试验系统示意图

压力表量程0~1MPa,测量精度0.4级。流量计采用涡街流量计,量程4~2000 $m^3 \cdot h^{-1}$,测量精度1级。差压计测量精度0.5级。

3 结果与分析

3.1 试验工况阀门全开最小流量结果

本文针对DN32、DN40两种型号的止回阀开展流量试验。DN32型号止回阀流量曲线如图3所示。DN40型号止回阀流量曲线如图4所示。

通过流量和压差曲线可知,在低流量情况下,由于止回阀瓣处于微启状态,受气体流动的扰动比较明显,测得的压差具有一定的振荡特性,但随着流量的不断增大,流动压差趋于平稳。通过相应流量曲线可知,在到达特定的流量后,止回阀的值趋于一个定值,表明止回阀已达到全开状态。这个特定的流量即为试验工况下止回阀的全开最小流量。

通过试验可知, DN32型号止回阀在试验工况下的全开最小流量为 $235\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,流量系数为22; DN40型号止回阀在试验工况下的全开最小流量为 $295\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,流量系数为31。

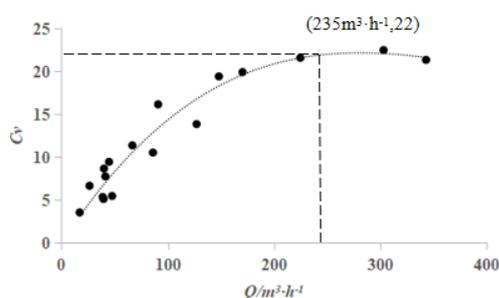


图3 DN32型号止回阀Cv曲线

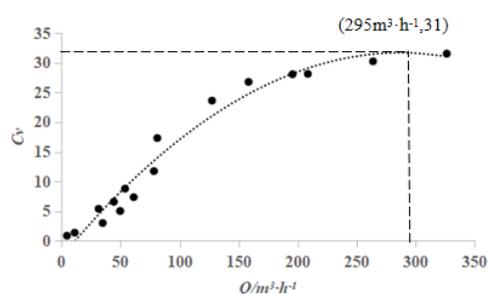


图4 DN40型号止回阀Cv曲线

3.2 实际运行阀门全开最小流量预测

对DN32、DN40两种型号的止回阀在试验工况流量、实际运行工况流量进行转换,相关结果如下表1、表2所示:

表1 DN32型号止回阀试验工况与实际运行工况流量对比表

试验工况			实际运行工况(全开)		
压力	温度	流量	压力	温度	流量
bar. a	K	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	bar. a	K	$\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
3.22	293	235	31	293	2347

表2 DN40型号止回阀试验工况与实际运行工况流量对比表

试验工况			实际运行工况(全开)		
压力	温度	流量	压力	温度	流量
bar. a	K	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	bar. a	K	$\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
4	293	295	7.8	293	1648

根据电站相关设计文件, DN32止回阀现场实际运行流量为 $960\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, DN40止回阀现场实际运行流量为 $380\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,均未达到试验预测的全开最小流量,因此可以判断现场止回阀均未达到全开状态。

4 结论

(1) 本文提出了一种等效试验的手段进行核。电厂实际运行工况止回阀全开最小流量预测的可行方法。极大降低对试验台架的要求,可以在试验

台架的试验能力范围开展相关试验。

(2) 试验结果表明,核电厂DN32、DN40两种型号的止回阀在实际运行流量情况下止回阀未达到全开状态,是造成系统流量较低的主要原因。

[参考文献]

[1] 陆培文. 实用阀门设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2007.

[2] CRANE 工程部编. 流体流经阀门、管件和管道的流体计算 TP410[美]. 北京:化学工业出版社,2013.7.

[3] 通用阀门流量系数和流阻系数的试验方法[S] JB/T 5296-1991.

作者简介:

李俊峰(1984--),男,汉族,广东深圳人,工学硕士,中广核研究院有限公司,高级工程师,研究方向:核电厂工艺系统设计。