

Pneumatic Pressure Relief Valve Flow Coefficient and Flow Resistance Coefficient Analysis

Li Zou

Shanghai Liangong Valve Factory Co., Ltd., Shanghai, 201901, China

Abstract

This paper introduced the nuclear level stabilizer pneumatic pressure relief valve flow coefficient and flow resistance coefficient of analysis and test validation process, and compares the results of analysis.

Keywords

regulator pneumatic relief valve; flow coefficient; flow resistance coefficient; verification test

稳压器气动卸压阀流量系数和流阻系数的分析

邹丽

上海良工阀门厂有限公司, 中国·上海 201901

摘要

本文详细介绍了核一级稳压器气动卸压阀流量系数和流阻系数的分析以及试验验证过程, 并对结果进行了对比分析。

关键词

稳压器气动卸压阀; 流量系数; 流阻系数; 验证试验

1 引言

核一级稳压器气动卸压阀是压水堆核电厂反应堆冷却剂系统的超压保护装置, 在功率运行期间和低温运行工况下, 用来防止反应堆冷却剂系统的超压, 也可用来避免或减少反应堆的事故和稳压器安全阀的起跳, 从而对反应堆冷却剂系统的管道和设备起安全保护作用。核一级稳压器气动卸压阀为气动控制的 DN100 截止阀, 具有能动阀门(事故期间和事故之后保持其压力边界完整及功能完整), 低泄露率, 特定的流通特性及流通能力, 较高的抗震特性, 3 秒启闭, 40 年不少于 5000 次操作寿命的要求。在事故情况下, 稳压器卸压阀依靠气动装置按设定的压力值迅速开启, 将稳压器中的蒸汽或水排放至卸压箱, 使系统降压。

核一级稳压器气动卸压阀的流量系数 C_v 值是随阀门本身的尺寸、形式和结构而变化的量。流量系数值越大说明流体流过阀门时的压力损失越小, 流通能力越好。阀门 C_v 值是阀门的重要工艺参数和技术指标, 准确的 C_v 值能为客户更

好的选型提供理论依据。所以, 稳压器气动卸压阀的流量系数 C_v 值是衡量阀门流通能力的重要指标, C_v 值的得出是本次设计的重点之一。^[1]

2 软件分析过程

2.1 软件分析步骤

计算流体动力学 (computational fluid dynamics, CFD) 是通过计算机数值计算和图像显示, 对包含有流体流动和热传导等相关物理现象的系统所做的分析。CFD 可以看作是在流体基本方程(质量、动量、能量守恒方程)控制下对流动的数值模拟, 通过模拟, 可以得到极其复杂问题的流场内各个位置上的基本物理量(速度、压力、温度、浓度等)的分布, 以及这些物理量随时间的变化情况, 与 CAD 联合, 还可以进行产品结构优化设计等。本文的研究过程中采用了 Solidworks flow simulation 仿真软件对阀门内部流动进行了数值模拟。

对阀门 C_v 值进行计算机模拟计算前, 首先要根据设计尺寸建立模型, 并对模型进行一系列的处理, 具体步骤如下:

(1) 安装 Solidworks 及其插件 Flow Simulation;

(2) 正确理解标准《GB/T 30832-2014 阀门流量系数和流阻系数试验方法》;

(3) 根据设计尺寸建立阀体、阀瓣、阀杆和阀盖模型, 组装成装配体, 使阀门处于全开启状态;

(4) 按照标准《GB/T 30832-2014 阀门流量系数和流阻系数试验方法》对连接管道及取压点的长度要求, 在阀门两端增加入口端长度 5d, 出口端长度 10d (d 为管子内径) 的直管段;

(5) 在入口端和出口端增加封盖, 保证模型无干涉, 且内腔有且仅有一个封闭空间;

(6) 在 Flow Simulation 里创建新的项目;

(7) 设置入口端和出口端参数: 假定介质为水, 常温, 在阀门入口端模拟一个流量 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ (计算人员自行决定, 一般口径大点的设置 0.1, 口径小点的适当缩小, 值得注意的是尽量不要出现负压力);

(8) 运行计算, 得出介质在阀门流道中的压力分布图, 如图 1 所示;

(9) 待计算完成, 去掉阀门, 装配直管, 设置同样的参数, 得出介质在直管道中的压力分布图, 如图 2 所示;

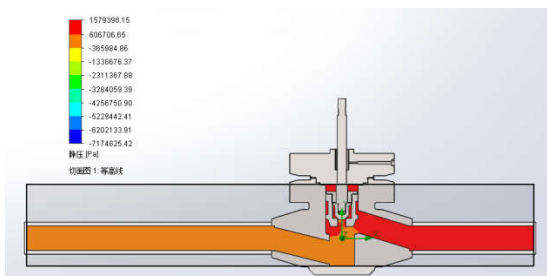


图 1 介质在阀门流道中的压力分布

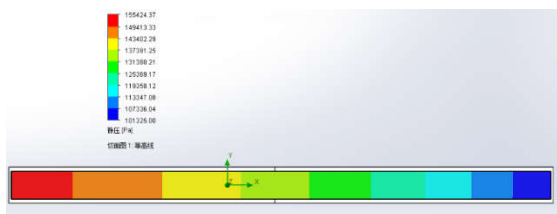


图 2 介质在直管道中的压力分布

(10) 分别在模型入口端和出口端各取 5 个点, 读取它们的压力值填入表 1。

2.2 计算流量系数

根据流量系数 C_v 值的计算公式 $C_v = 1.167Q \sqrt{G_f / \Delta p}$, 其中 Q 为初始体积流量, 单位为 m^3/h , G_f 为介质密度,

单位为 g/cm^3 (通过单位换算, 这个值为 1), Δp 为进出口端的压差, 单位为 bar。根据公制流阻系数 ζ 值的计算公式:

$$\zeta = 891 \times \frac{DN^4}{CV^2}, \text{ 其中 } DN \text{ 为接管内径 (英制)}。^{[2]}$$

表 1 软件分析流量数据

序号	带阀门—压力点 [Pa]		管道—压力点 [Pa]	
	入口处	出口处	入口处	出口处
1	1579396.142	101325	154896.1629	101325
2	1579267.223	101325	155142.3664	101325
3	1579397.833	101325	155143.4538	101325
4	1579354.524	101325	155028.0756	101325
5	1579296.376	101325	155203.833	101325
平均值	1579342.42	101325	155082.7784	101325
Δp	1478017.42		53757.77836	
压降	1424259.641			
C_v	111.3			
DN	3.44			
ζ	10			

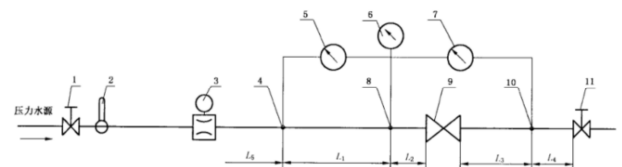
根据表 1 软件分析结果, 核一级稳压器气动卸压阀的流量系数 C_v 值为 111.3, 流阻系数 ζ 值为 10。

3 试验验证过程^[1]

按照标准《GB/T 30832-2014 阀门流量系数和流阻系数试验方法》规定的测定通用阀门流量系数和流阻系数的试验系统、试验程序和计算方法进行阀门验证试验, 实测稳压器气动卸压阀的流量系数和流阻系数。

试验应在清洁的场地进行, 试验温度为常温, 试验介质为 $5^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 的清水, 试验用测量仪表须按国家有关校准或检定规程进行校准或检定, 精度等级不低于 1.0 级。

连接试验阀门前后的管道内径应与试验阀门的公称通径一致。试验阀门和试验管道应水平布置, 应保证试验过程中, 管道内全部充满水, 没有空气进入管道。试验时, 应保证下游调节阀门前管道内的水压力不小于 35kPa。安装后, 试验管道与流量测量仪表、试验阀门各处应当同轴, 各连接处应无泄漏。



说明: 1—上游阀门; 2—温度计; 3—流量测量仪表; 4—直管段取压孔; 5—直管段差压测量仪表; 6—压力测量仪表; 7—试验阀门管段差压测量仪表; 8—上游取压孔; 9—试验阀门; 10—下游取压孔; 11—下游调节阀门。

图 3 试验系统布置图

阀门验证试验的试验布置图如图3所示, $L_1 \sim L_5$ 是指与试验阀门同一公称尺寸的直管段长度。 L_1 是用来测量试验阀门连接管道本身的流量—差压的测量管段; L_2 和 L_3 是试验阀门上下游连接管道取压点管段; L_4 是试验阀门下游取压点后的直管段; L_5 是指管道取压点前直管段长度。

连接管道及取压点的长度要求为: L_2 应 ≥ 5 倍的管道公称尺寸; L_3 应 ≥ 10 倍的管道公称尺寸; L_4 应 > 5 倍的管道公称尺寸。试验系统中设置 L_1 直管段的, L_1 应是 L_2 和 L_3 的长度之和, L_5 的长度应是 > 15 倍的管道公称尺寸; 若试验系统中未设置 L_1 直管段的, L_5 的长度应是 > 18 倍的管道公称尺寸。 L_5 管段若采用了整流导叶, 则长度可缩短到 8 倍的管道公称尺寸。

流量测量仪表连接管道的长度应满足流量测量仪表对管道的要求, 该连接管道和法兰的内径应不小于流量计的内径, 应接近流量计的内径为宜。

管道上取压孔中心线应与管道中心线垂直并位于水平位置。截面应当是圆形的, 其边缘应清洁, 成锐角或微带圆角、无毛刺, 不形成线状边缘或其他不规则形状。其孔径应等于或小于 $0.1d$, 但不得小于 1mm , 最大不大于 12mm 。连接压差测量装置的管件横截面积不小于取压孔面积的一半。^[3]

将试验阀门安装在图3所示的试验装置中, 试验阀门处于 100% 开启状态, 启动试验系统水泵, 使管道内排净空气, 全部充满水。观察流量测量仪表和压力测量仪表, 待其显示的数值稳定, 才可以进行试验阀门流量—差压的测试记录。试验阀门测试完成后, 取下试验阀门, 将测试管道连接在一起, 按被试验阀门的试验程序和流量点进行测试管道的差压测量。

最终试验数据如下(已考虑管道压降的影响):

表2 流量实测数据

开度	压差 / kPa	流量 / m^3/h	流量系数 C_v	平均流量系数 C_v	平均流阻系数 ζ
100%	125	103	107.59	107.52	10.8
	98	91	107.52		
	80	82	107.46		

其最大流量系数和最小流量系数之差与平均流量系数的比值为:

$$\frac{107.59 - 107.46}{107.52} \times 100\% = 0.12\%$$

此比值小于 2%, 因此我们认为核一级稳压器气动卸压阀的流量系数 C_v 实测值为 107.52, 流阻系数 ζ 值为 10.8。

4 数据分析及结论

从表1和表2数据可以看出, 实际阀门试验实测数值与软件分析值略有差异。这是因为软件分析时简化了模型, 整个流场处于理想状态, 实际试验设备又存在误差, 所以两个值之间才存在差异。理论分析值与试验实测值之差与试验实测值的比值为 3.5%, 此比值在 5% 误差允许范围以内。通过实际试验的验证, 觉得软件分析值可以反应阀门一定的流通性能, 误差在可接受范围内。此次软件模拟与试验验证的结果也能为后续产品的设计和结构优化提供依据。

参考文献

- [1] GB/T 30832-2014. 阀门流量系数和流阻系数试验方法 [S].
- [2] 陆培文主编. 实用阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
- [3] JB/T5296-1991 通用阀门流量系数和流阻系数的试验方法 [S].
- [4] 沈阳阀门研究所, 阀门设计 [Z], 沈阳阀门研究所, 1976.