

文章编号: 0258-0926(2014)02-0134-03

CPR1000 安注系统高压节流孔板计算研究

赵 鑫, 谭海波, 刘 博, 王江洪, 翟巴菁

中广核工程有限公司, 广东深圳, 518124

摘要: 从节流孔板管道的基本原理入手, 依托岭澳核电站 4 号机组安全注入系统调试得到的流量试验数据, 通过流体力学计算得出节流孔板尺寸的理论结果, 该结果与实际安装数据差距不大。本研究为中国改进型三环路压水堆 (CPR1000) 安全注入系统高压节流孔板尺寸计算提供了可行的方法。

关键词: 孔板; 流量; 安全注入系统

中图分类号: TL353⁺.15 文献标志码: A

0 引言

在安全注入系统调试过程中, 流量验证是一个非常关键的环节, 在所有试验中占有很大的比重。流量是否满足安全准则, 也是核安全局重点考察的指标。而管道上的某个节流孔板往往对整体流量起着重要作用。根据大亚湾核电站和岭澳核电站一期的经验, 很多孔板都需要重新加工, 有的还需反复加工数次, 因此, 节流孔板设计的精确性变得尤为重要。

本文探索节流孔板精确设计方法, 优化安注系统孔板验证过程, 同时力求使本文的研究成果成为节流孔板调试试验的标准化程序。

1 孔板差压流量计的结构和测量原理

差压式流量计是利用流体经节流装置产生的压力差来实现流量检测的。在工艺管道上安装一个直径比管件小的固定阻力件。当流体流过该阻力件的小孔时, 由于流体流通截面的突然缩小, 流束必然产生局部收缩而使得流速加快、静压力降低, 其结果是在阻力件前后产生一个较大的静压差。它与流量(流速)的大小有关, 流量越大, 差压越大, 因此只要测量出压差就可以推算出流量。把流体流过阻力件流束的收缩造成压力变化的过程称为节流过程, 其中的阻力件称为节流件。

差压式流量计组成框图如图 1 所示。

节流装置安装于管道中用于产生差压, 节流件前后的差压与流量成开方关系。引压导管用于



图 1 差压式流量计组成框图

Fig. 1 Block Diagram of Differential Pressure Flowmeter

q_m —质量流量; q_v —体积流量; I_0 —电流信号

读取节流装置前后产生的差压, 传递给差压变送器。差压变送器将产生的差压转换为标准电信号。

根据国际标准 ISO 5167-2 2003(E), 节流孔板流量计算公式为:

$$Q = CE\epsilon\pi\frac{d^2}{4}\sqrt{2\rho\Delta P} \quad (1)$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \quad (2)$$

式中, Q 为流量, kg/s; C 为流量系数(无量纲), 可从试验环路中得到或通过对标准的计算得到; β 为孔径比; ϵ 为膨胀系数, 对于不可压缩的水, ϵ 等于 1; d 为在运行状态下孔板的直径; ρ 为节流孔板上游的流体密度, 由上游的压力和温度测量得到; ΔP 为流体流经孔板的压差, 由差压表读出。式(1)可简化为:

$$\Delta P = kQ^2 \quad (3)$$

式中, k 为阻力系数。

2 建模

根据前文推导建立如下模型:

$$P_0 - P_{\text{堆池}} = k_{\text{总}} Q^2 \quad (4)$$

$$P_{上} - P_{下} = k_{孔} Q^2 \quad (5)$$

$$k_{总} = k_{管} + k_{孔} \quad (6)$$

式中, P_0 为泵出口的压力; $P_{堆池}$ 为堆池的背压; $P_{上}$ 为孔板上游的压力; $P_{下}$ 为孔板下游的压力; $k_{管}$ 为管系阻力系数; $k_{孔}$ 为孔板阻力系数。

由 ISO 5167-2 可知, 孔板阻力系数的比值与内径的 4 次方成反比。

3 计算与验证

在进行孔板尺寸计算时, 孔板的压降及管路的流阻是关键参数。试验中, 现场借用了进行贯穿件试验时应用的阀门 4RIS403VP (节流孔板 4RIS015DI 上游) 和 4RIS402VP (节流孔板 4RIS015DI 下游) 连接 2 块数字压力表, 这样可以在运行时准确测量出孔板上游与下游的压力 (图 2)。

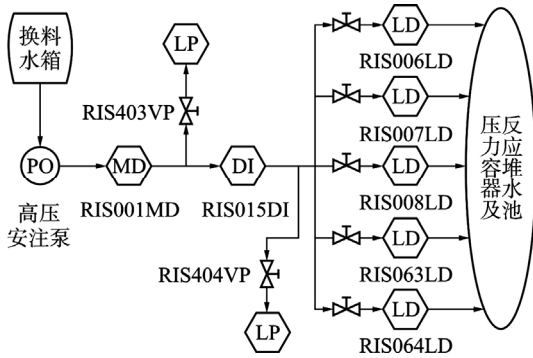


图 2 流程简图

Fig. 2 Flow Diagram

PO—泵; LP—数字压力表; VP—阀门; MD—流量变送器; LD—流量表; DI—孔板; RIS—安全注入系统

岭澳核电站 4 号机组开始进行试验时需记录以下数据:

(1) 冷-热段注入工况需记录的参数: 泵入口压力、泵出口压力、水箱液位、反应堆水池液位、节流孔板上下游压力、三管路每段的流量、三管路总流量。

(2) 单独冷段注入流量 (此时热段关闭):

数据记录完毕后, 将这些数据与历史记录数据对比, 特别是与 3 号机组的记录数据进行对比, 采用插入法估算出孔板尺寸的范围 (图 3); 然后根据理论计算方法, 应用上面数据进行理论计算; 将计算结果与推算结果进行比较, 最终选择出比较符合实际情况的计算数据进行加工, 加工后重新安装, 重新试验, 将试验结果记录。通过实际

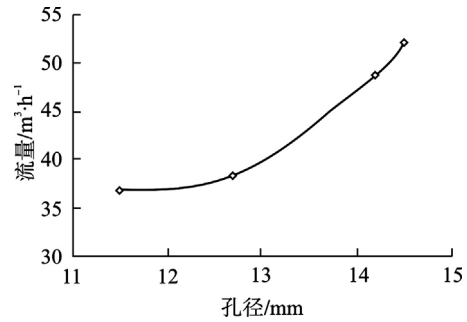


图 3 3 号机组孔板尺寸与流量的曲线趋势图

Fig. 3 Unit 3 Orifice Size and Flow Rate Curve Trend

结果修正计算公式。

根据岭澳核电站 3、4 号机组安全注入系统安全准则“PKX27RISSSCB30245SS”中 RIS-TP-52 安全准则 (图 4), 理想的冷段注入总流量应为 46 m³/h (位于安全准则中间区域), 将其标注在岭澳核电站 3 号机组孔板尺寸与流量的曲线趋势图中, 估算出孔板孔径为 13.9 mm。

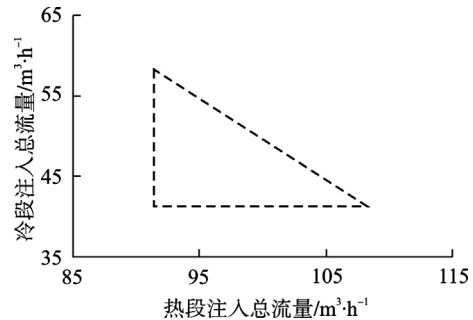


图 4 RIS-TP-52 安全准则

Fig. 4 RIS-TP-52 Safety Guidelines

从前面阐述的理论中得知, 节流孔板的孔径大小影响着该段管道的流阻, 根据管系流阻的变化计算新孔板的尺寸, 计算公式如下:

$$k_{总前} = k_{管} + k_{孔前} \quad (7)$$

$$k_{总前} = (P_0 - P_{堆池}) / Q_{前}^2 \quad (8)$$

$$k_{孔前} = (P_{上} - P_{下}) / Q_{前}^2 \quad (9)$$

$$k_{总后} = (P_0 - P_{堆池}) / Q_{后}^2 \quad (10)$$

$$k_{孔后} = k_{总后} - k_{管} \quad (11)$$

$$d_{新} = \sqrt[4]{k_{孔前} / k_{孔后}} d_{旧} \quad (12)$$

式中, $k_{总前}$ 为孔板加工前管系总阻力系数; $k_{总后}$ 为孔板加工后管系总阻力系数; $d_{新}$ 为孔板加工后孔径; $d_{旧}$ 为孔板加工前孔径; $Q_{前}$ 为孔板加工前单独冷段注入流量; $Q_{后}$ 为孔板加工后单独冷段注入流量。

$Q_{前}$ 和 $Q_{后}$ 用单独冷段注入流量进行计算(此时热段关闭),因为若用冷热段同时注入时的流量计算,其管系较复杂,计算结果偏差较大。 $Q_{后}$ 设定为 $70\text{ m}^3/\text{h}$,因为其对应的单独冷段注入流量为 $45.57\text{ m}^3/\text{h}$ (4号机组实际测得),与安全准则(图4)理想的冷段流量总和 $46\text{ m}^3/\text{h}$ 接近。

应用计算公式计算的孔板孔径值为 13.97 mm 。4号机组的实际加工值为 13.6 mm 。需要在计算结果前加上一个修正系数 $f=0.975$ 。

通过对比孔板实际值、计算值、估算值可发现,计算值和估算值都较接近实际值,但为了更加精确,仍需要进行修正,在以后的过程项目孔板加工中,可将计算结果与插值法得到的数据进行对比,选出合适的尺寸进行加工,这样可以快捷地给出孔板加工数据,并能保证孔板一次加工成功。

4 结 论

本文采用理论分析的方法,结合孔板流量经验公式,对安全注入系统中的孔板设计尺寸进行研究和计算。通过岭澳核电站4号机组的实践表明:采用本文的分析方法能够有效解决CPR1000安全注入系统高压节流孔板再加工问题。同时,本文的研究成果可以拓展为节流孔板调试试验的标准化程序。

参考文献:

- [1] 高松巍,勾丹. 流体动力学软件在孔板测量中的应用[J]. 沈阳工业大学学报, 2009, 31(1): 84-88.
- [2] 张宋强,卓华,宋长亮. 孔板流量计计算系统软件的设计及实现[J]. 计量与测试技术, 2009, 36(11): 11-14.
- [3] 张毅雄,毛庆,向文元,等. 多级节流孔板在核级管道中的应用[J]. 核动力工程, 2009, 30(4): 71-74.

Research on Dimension Calculation of CPR1000 Safety Injection System High-pressure Restriction Orifices

Zhao Xin, Tan Haibo, Liu Bo, Wang Jianghong, Zhai Bajing

China Nuclear Power Engineering Company Ltd., Shenzhen Guangdong, 518124, China

Abstract: This paper starts from the basic principle of throttle orifice pipe. Based on the flow capacity test data of safety injection system of the 4th unit in Ling'ao Nuclear Power Plant Phase II, and by the calculation with classical fluid mechanics formulation, the theoretical results of the size for the throttle orifice are obtained, which are similar with the actual installation data, therefore, this test result can provide feasible plan for the size calculation of high pressure throttle orifice in the CPR1000 safety injection system.

Key words: Orifice plate, Flow, Safety injection system

作者简介:

赵 鑫(1983—),男,工程师。2006年毕业于哈尔滨工程大学核工程与核技术专业,获工学学士学位。现从事核岛调试工作。

谭海波(1984—),男,工程师。2006年毕业于哈尔滨工程大学核工程与核技术专业,获工学学士学位。现从事核岛调试工作。

刘 博(1983—),男,工程师。2006年毕业于哈尔滨工程大学核工程与核技术专业,获工学学士学位。现从事核岛调试管理工作。

(责任编辑:马 蓉)