

文章编号: 1002-5855 (2008) 02-0019-04

## 锅炉给水泵迷宫式最小流量调节阀流动性能的试验研究

钟方胜, 蒋旭平, 陈明涛

(上海理工大学 动力学院, 上海 200093)

**摘要** 介绍了电站锅炉给水泵再循环系统最小流量调节阀的技术特性及使用状况。改用 DRAG 迷宫式最小流量调节阀来提高阀流阻系数, 从而使最小流量调节阀平稳多级降压, 提高了流量调节能力。根据 GB 10869 - 89 和 GB/T 4213 - 92 设计测试系统, 用水回路测试该阀的固有流量特性和阻力特性, 为验证理论计算和该阀更深入的内特性试验、流场显示试验提供了重要依据。

**关键词** 锅炉用阀; 给水排水泵; 迷宫; 调节阀; 流动特性

中图分类号: TK223.52

文献标识码: A

### Experiment and research of flow characteristic of DRAG Labyrinth minimum flow control valve of boiler feed water pump

ZHONG Fang-sheng, JIANG Xu-ping, CHEN Ming-tao

(College of power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** The requirement and problem of minimum flow control valve of the recycling system of feed water pump of boiler in power plant was analyzed. The DRAG - Labyrinth minimum flow control valve was used in order to raise the flow resistance coefficient, of valve. The reduce of pressure of minimum flow control valve was multistage and smooth; the ability of flow regulating was improved. Test system was designed according to GB10869 - 89 and GB/T4213 - 92. the inherent flow characteristic and resistance characteristic of valve was tested by water loop. An important basis to verify the theoretical calculation, the more in - depth internal characteristic testing and flow visualization experiments of valve was provided.

**Key words:** feed water pump; labyrinth; control valve; flow characteristic

#### 1 概述

电站锅炉给水泵再循环系统最小流量调节阀安装在给水泵出口, 高压水经逐级减压并排放至与阀门相连接的除氧器水箱(或冷凝器)。在系统开启和关闭时, 阀门应具有良好的密封性(系统压力为 35MPa 以上), 并且没有气蚀和噪声现象。目前, 一些热电厂所用的给水泵最小流量控制阀为多级孔板式最小流量阀, 该阀门采用多级孔板节流, 逐级降压(其阻力系数为 10), 从而解决了压差不高时阀门的汽蚀问题。在实际运行中, 阀门的噪声也小于周围其他设备运行的噪声。但是, 在 300MW 以上超临界机组里, 由于介质的高速流动, 使阀门出

现冲蚀、振动和噪声等问题。因此, 该类阀门不得不采用更高强度和耐磨性能的材料制造, 这不仅提高了成本, 而且流量随行程的变化增大, 调节特性也没有得到明显改善。此外, 因阀门在高压、高温及高流速下持续工作, 其使用寿命大大降低。DRAG 迷宫式最小流量调节阀(以下称迷宫式调节阀)采用迷宫式曲折流道(图 1)和多级平稳降压, 提高了节流件的阻力系数, 增大了阻力系数的可调幅度, 降低了流速, 有效地改善了高压差调节阀的流量调节性能。由于流道复杂, 需对其流动阻力特性进行测试, 以便获得准确的阀门阻力系数。通过测试, 一方面验证理论计算, 另一方面为该阀

作者简介: 钟方胜(1982-), 男, 硕士研究生, 从事流体测量研究。

更深入的内特性试验、流场显示试验提供了重要依据。

## 2 测试系统

### 2.1 流量特性

调节阀的固有流量特性，就是流过阀门的相对流量系数和对应的相对行程之间的固有关系，即

$$\frac{C_v}{C_{vmax}} = f\left(\frac{l}{L}\right) \quad (1)$$

式中  $C_v$  ——某一开度下的流量

$C_{vmax}$  ——全开时的额定流量

$l$  ——某一开度下的阀芯相对行程

$L$  ——阀芯额定行程

调节阀的固有流量特性与运行安全、生产效益、耗能等十分有关，在实际的使用过程中调节阀的工作流量特性常常偏离设计的理想流量特性，使控制系统得不到按设置所需要的阀门特性，影响了流量调节质量，甚至引起安全隐患。因此，按需要正确选取具有更为优异的流量特性的最小流量调节阀和对其流量特性的测试是极为重要的。

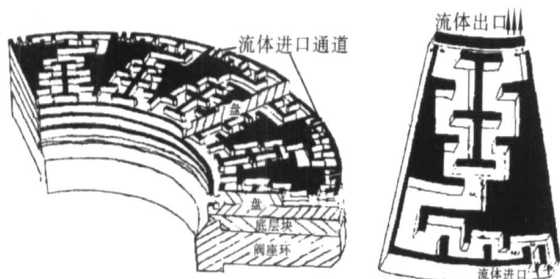


图 1 Drag 调节阀节流件内部流道结构

### 2.2 阻力特性

调节阀的阻力特性，即阀门阻力系数随其开度的变化特征，是描述调节阀运行特性的重要参数。阀门阻力系数是阀门的固有特性，与测试所用介质无关。对于阻力件其流阻系数为

$$= \frac{2-p}{V^2} = \frac{2-pA^2}{Q^2} \quad (2)$$

式中  $p$  ——阀门进出口之间的压差，Pa

——运行介质密度， $kg/m^3$

$V$  ——流体流动速度， $m/s$

$A$  ——阀门内流道面积或进出口管道面积， $m^2$

$Q$  ——流体流量， $m^3/s$

### 2.3 测试系统

根据 GB/T 10869 - 1989 电站调节阀技术要求条件、GB/T 4213 - 1992 气动调节阀和实验室的具体情况，设计此试验系统（图 2），水槽中的水

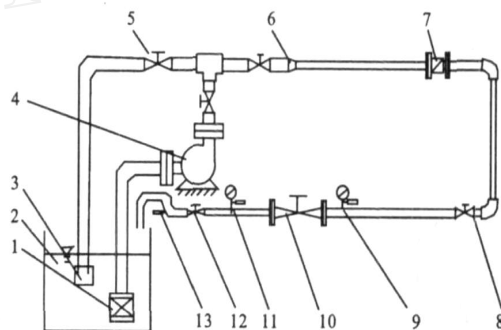
由多级离心泵升压，流过流量测量段进行流量测量，然后进入迷宫式调节阀，最后经回水管返回水箱。在设计的试验管段前后，分别装上压力传感器及温度传感器，在保证试验管段保持紊流，即保证阀雷诺数  $Re > 105$  的前提下，分别测出阀前和阀后的压力，从而得出阀前后的压差，可得出流量系数  $C_v$

$$C_v = \frac{10Q}{\sqrt{p}} \sqrt{\rho_0} \quad (3)$$

式中  $Q$  ——液体流量， $m^3/h$

$p$  ——阀前后压差，kPa

$\rho_0$  ——相对密度（规定温度范围内的水为 1）



1. 底阀 2. 封闭式水池 3. 滤袋 4. 多级离心泵

5. 旁通阀 6. 变径接头 7. 涡轮流量计 8. 阀前节流阀

9. 阀前测压装置 10. 迷宫式流量调节阀 11. 阀后测压装置

12. 阀后节流阀 13. 测温装置

注：系统用仪表

流量测量：LWGY-50 涡轮流量计，精度等级为 0.5 级，量程  $4 \sim 40 m^3/h$ 。

压力测量：YSZ-100 扩散硅压力传感器，精确度等级，输出信号 0.5 级，现场指示 1.5 级。测量范围： $0 \sim 2.5 MPa$ 。输出信号：二线制  $4 \sim 20 mA (DC)$ 。使用温度： $-10 \sim 70$ 。温度影响： $\pm 0.5\% / 10$ 。

温度测量：wzpk 系列铠装铂电阻，分度号为 pt100，其精度等级为 A 或 B 级。

图 2 试验系统

## 3 测量数据记录及结果对比分析

运行时，首先调节节流阀使压差具有适当值，然后调节被测试流量调节阀的开度，使其达到预定值。调节流量完成后，待系统稳定开始采集压差和流量等原始数据。多级孔板式调节阀和迷宫式调节阀的流量特性和阻力特性测试结果见表 1 ~ 表 4。多级孔板式调节阀和迷宫式调节阀的流量特性和阻

力特性对比曲线见图3、图4。

从图3可知,这两种电站用锅炉给水泵最小流量调节阀都是采用直线流量特性。迷宫式调节阀流量特性与理想直线流量特性对比,显然迷宫式调节阀在开度从30%~80%非常接近理想直线流量特性,达到了设计的意图和目的。在较大开度80%~100%也只有轻度偏高,这是因为在大开度时流量变化小,几乎不变而饱和且行程范围大。在较小开度从10%~30%有轻度偏低,这是因为在小开度时流量变化剧烈而行程范围小。迷宫式调节阀流量特性相对理想直线流量特性的最大偏离发生在开度为20%时,为3.73%;其平均偏离度为0.31%。多级孔板式调节阀流量特性与理想直线流量特性对比,多级孔板式调节阀流量特性有较大的

偏低,虽在开度27.3%~72.7%保持直线特性的特点,但对整个控制系统有效精确的流量调节品质造成较大影响。多级孔板式调节阀流量特性与理想直线流量特性最大偏离发生在开度为72.7%时,为15.23%,其平均偏离度为10.13%。

从图4可知,迷宫式调节阀在全开时的流阻系数为56.6,是多级孔板式调节阀的5倍以上。迷宫式调节阀阻力特性曲线与其理想曲线在开度从30%至全开已经非常接近,几乎重合,其平均偏离度为0.81%,而多级孔板式调节阀阻力特性曲线与其理想曲线在开度从36.4%至全开开始接近,而其平均偏离度为61.19%。所以,迷宫式调节阀的阻力特性,特别是在高压时远比多级孔板式调节阀更为理想,符合电站运行时的实际需要。

表1 多级孔板式调节阀在不同行程下的流量系数

行程 L (%)	9.1	18.2	27.3	36.4	45.5	54.5	63.6	72.7	81.8	90.9	100
流量系数	3.89	5.14	7.60	13.25	18.81	21.83	25.68	29.50	34.25	39.51	51.33
相对流量系数 (%)	7.59	10.00	14.82	25.81	36.64	42.53	50.03	57.47	66.73	79.97	100

表2 迷宫式调节阀在不同行程下的流量系数

行程 L (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
流量系数	0.96	2.16	3.90	5.43	6.53	8.05	9.40	10.54	12.41	13.29
相对流量系数 (%)	7.22	16.27	29.35	40.83	49.16	60.57	70.75	79.34	93.36	100

表3 多级孔板式调节阀在不同行程下的流阻系数

行程 L (%)	9.1	18.2	27.3	36.4	45.5	54.5	63.6	72.7	81.8	90.9	100
流阻系数	1 882	1 082	493.8	162.7	80.7	59.9	43.3	32.8	24.3	18.3	10.8

表4 迷宫式调节阀在不同行程下的流阻系数

行程 L (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
流阻系数	10 841	2 138	656.69	339.28	234.16	154.28	113.07	89.90	64.93	56.60

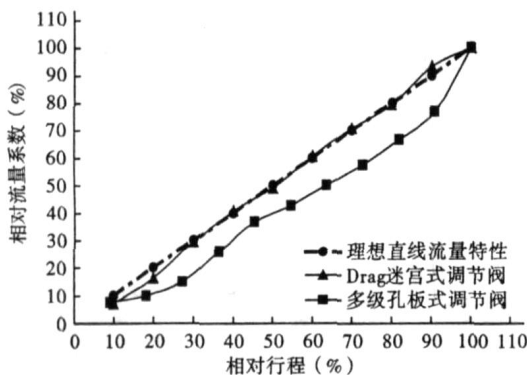


图3 最小流量调节阀的流量特性

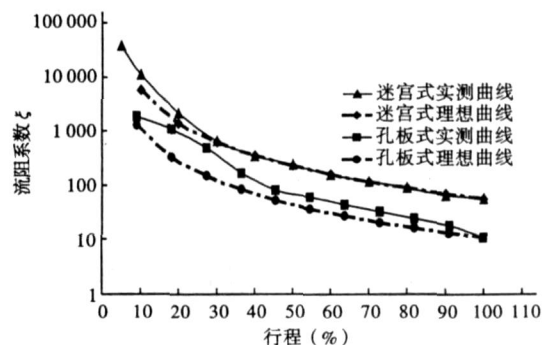


图4 最小流量调节阀的阻力特性

### 4 测试误差分析

#### 4.1 流阻系数

从式 (2) 可知, 调节阀的流阻系数是由压差、流量、流体密度以及流道面积确定的, 因而其误差也由这 4 个参数的误差决定。

取式 (2) 的全微分得

$$d = \frac{2A^2}{Q^2} \times d_p + \frac{4-pA}{Q^2} \times dA - \frac{2-pA^2}{Q^2} \times d_Q - \frac{4-pA^2}{Q^3} \times dQ$$

$$= \frac{d}{d} = \sqrt{\frac{p^2}{p^2} + (2 \frac{A}{A})^2 + \frac{p^2}{p^2} + (2 \frac{Q}{Q})^2} \quad (4)$$

式中  $p$  ——调节阀进出口差压测量相对误差, %

$A$  ——流道面积测量误差, %

——介质 (水) 密度的相对误差, %

$Q$  ——流量测量相对误差, %

用两台压力变送器测量时, 考虑到其基本误差 (0.5%), 以及零点漂移等附加误差, 以及显示误差, 则

$$p_1 = p_2 = \frac{3}{2} \times 0.5\% = 0.75\%$$

又  $p = P_1 - P_2$ , 可得

$$P = \frac{P_1 + P_2}{P_1 - P_2} \times P_1$$

测量值  $P_1 = 1 \sim 1.3\text{MPa}$ , 而  $P_2 = 0.2 \sim 0.35\text{MPa}$ ,  $p = 1.25\%$ 。

管道直径按公称通径给定, 其误差为 0.1mm, 直径为 50mm, 则

$$A = 2 \times \frac{0.1}{50} \times 100\% = 0.4\%$$

运行时的水温  $28.5 \sim 35$ , 压力  $0.1 \sim 1.4\text{MPa}$ , 水的最大密度为  $998.384\text{kg/m}^3$ , 最小密度为  $994.088\text{kg/m}^3$ , 取其平均值, 误差 = 0.22%

$$Q = \frac{3}{2} \times 0.5\% = 0.75\%$$

由式 (4) 得

$$= \sqrt{1.25^2 + (2 \times 0.4)^2 + 0.22^2 + (2 \times 0.75)^2} \%$$

$$= 2.12\%$$

$< 3.0\%$ 。即迷宫式调节阀流阻系数的测量误差为 3.0%。

#### 4.2 流量系数

从式 (3) 可得流量系数的误差

$$C_v = d C_v / C_v$$

$$= \sqrt{\frac{Q^2}{Q^2} + (0.5 \frac{p}{p})^2 + (0.5 \frac{Q}{Q})^2}$$

$$= \sqrt{0.75^2 + (0.5 \times 0.75)^2 + (0.5 \times 0.22)^2} \%$$

$$= 0.846\% < 1.0\%$$

即迷宫式调节阀流量系数的测量误差为 1.0%。

### 5 结语

通过迷宫式调节阀的流动性能试验, 验证该阀理论设计的流量特性、流阻系数与实测流量特性和流阻系数的一致性, 从两者实测和理论对比曲线看, 其流量特性在开度从 30% ~ 80% 接近完全吻合, 平均偏离度为 0.31%, 其阻力特性在开度从 30% ~ 全开也接近完全吻合。从测量误差看, 该阀流阻系数测量误差小于 3.0%, 流量系数测量误差小于 1.0%。同时, 将迷宫式调节阀流动性能与多级孔板式最小流量调节阀进行对比, 迷宫式调节阀具有更加优异的流量调节性能, 其流量特性比多级孔板式最小流量调节阀更为接近理想直线流量特性, 其流阻系数为多级孔板式最小流量调节阀流阻系数的 5 倍以上, 因此迷宫式调节阀更符合电站运行时的实际需要, 在大机组超高压的情况更为明显。

#### 参 考 文 献

- [1] 贺振球. FT968 Y 型给水泵最小流量控制阀 [J]. 中国电力, 1996 (1).
- [2] GB/T 4213 - 1992, 气动调节阀 [S].
- [3] GB/T 10869 - 1989, 电站调节阀技术条件 [S].

(收稿日期: 2008.01.21)

让我们一起来办阀门 让阀门成为您的朋友