

文章编号: 1002-5855 (2006) 02-0017-04

SPF 型平衡阀流量特性的实验研究及公式拟合

焦良珍, 符永正, 周传辉

(武汉科技大学, 湖北 武汉 430070)

摘要 通过实验, 得到了 SPF 型平衡阀的流量与开度间的关系, 绘制了理想流量特性曲线。在此基础上, 分析了 SPF 平衡阀的调节特性, 拟合了 SPF 型平衡阀的开度、压降和流量间的数学关系式, 为这种平衡阀的应用提供了又一种计算方法。

关键词 平衡阀; 流量特性; 公式拟合

中图分类号: TH134 **文献标识码**: A

The experiment study of flow property and the formula simulation about the SPF balance valve

JIAO Liang-zhen, FU Yong-zheng, ZHOU Chuan-hui

(Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Through experiment, achieved the relation of the flux and the opening degree of the SPF balance valve, protracted the ideal flow characteristic curve. Based on the experiment data, analyzed the characteristic of the SPF balance valve, simulated the formulas about opening degree, pressure difference and flow, it was the other calculation method of balance valve to apply.

Key words: balance valve; flow property; formula simulation

1 引言

SPF 型平衡阀是在 SP 型平衡阀的基础上经过结构改进得到的新产品, 其性能相对于 SP 型平衡阀有一定的变化。为了能够更好的应用 SPF 型平衡阀, 对其进行了实验研究, 得到了 SPF 型平衡阀的流量特性, 并对其进行了公式拟合。

2 实验方法及实验结果

2.1 实验方法

SPF 型平衡阀的流量特性实验是在阀门性能实验台上进行的^[1]。当平衡阀两端压差不变, 而平衡阀开度改变时, 通过平衡阀的流量就会发生变化。实验时, 调节平衡阀至某一开度, 通过调节平衡阀前后的调节阀来保持平衡阀上的压差不变。记录在该压差下平衡阀处于不同开度时通过平衡阀的流量。

理论上, 口径和开度一定, K_V 是常数, 因此, 只做一种压差条件下的测定。实验中, 对于口径与开度的每一个组合, 均在多个压差下进行了实验。这样做一方面是为了验证压差与流量的平方

成正比, 即为常数的规律。另一方面是为了避免只测一种压差情况可能发生的测量误差。

2.2 实验数据处理

通过在阀门性能实验台上完成的 DN50 ~ DN150 的 SPF 型平衡阀的理想流量特性实验, 得到了各口径平衡阀在不同压差下的实验数据。实验介质为清洁水, 当阀门口径和开度一定时, 流量与压差之间的关系为

$$K_V = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (1)$$

式中 Q ——流量, m^3/h

P ——阀前后压差 (0.10 MPa), MPa

K_V ——流量系数

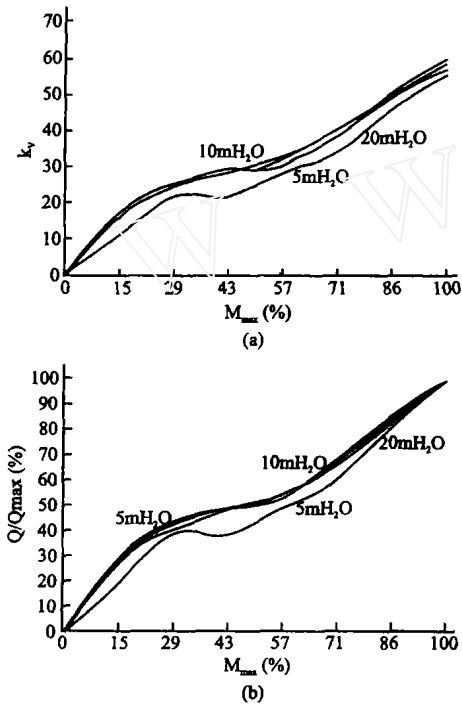
只要测出 Q 和 P , 即可根据式 (1) 计算各种口径平衡阀在一定开度下的流量系数 K_V 。

设阀门前后的压差固定为 P , 某一开度时流量为 Q , 流量系数为 K_V 。阀门全开时流量为 Q_{max} , 流量系数为 K_{Vmax} , 则有:

作者简介: 焦良珍 (1969 -) 女, 讲师, 主要从事供热通风与空气调节方面的教学与科研工作。

$$\bar{Q} = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{K_V}{K_{Vmax}} \quad (2)$$

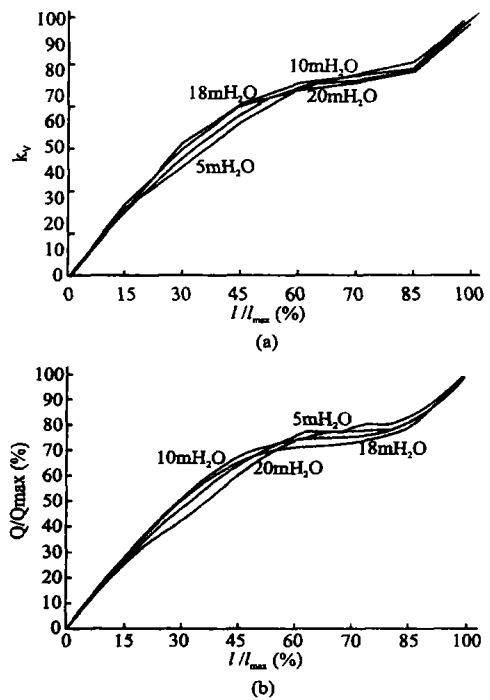
按照式 (1) 和式 (2), 分别计算得到 SPF 平衡阀在不同开度下的流量系数 K_V 和相对流量 \bar{Q} , 以这些数据为基础, 绘制出了 SPF 平衡阀的性能曲线。不同口径平衡阀在各种压差下的性能曲线具有一些共同特征, 因此仅列出 $DN65$ 和 $DN100$ 平衡阀的性能曲线图 (图 1、图 2)。



(a) 流量系数 K_V 与开度 l/l_{max} 间关系
(b) 相对流量 Q/Q_{max} 与开度 l/l_{max} 间关系

图 1 $DN65$ 平衡阀性能曲线

各种口径平衡阀的性能曲线反映出与 $DN65$ 和 $DN100$ 平衡阀相似的特点。在不同压差下, 其流量特性曲线非常接近, 平衡阀的流量系数 K_V 近似相等, 说明平衡阀的流量和压差之间符合 $\frac{Q}{\sqrt{P}} = const (K_V)$ 的关系, 且平衡阀的流量系数 K_V 只与平衡阀的开度相关。在压差较小 ($DN65$ 平衡阀在 $2mH_2O$ 压差) 时, 平衡阀特性曲线偏离群体较大, 这说明平衡阀的流量系数 K_V 在雷诺数 Re 大于一定值时, 只与调节阀的形状和开度有关^[4], 所以符合压差与流量的平方成正比的关系 $P \propto Q^2$ 。但是, 当阀门两端压差较小时, 流量较小, 流速很低, 雷诺数 Re 很小, 压差与流量的平方成正比的这一关系就不严格成立。



(a) 流量系数 K_V 与相对开度 l/l_{max} 间关系
(b) 相对流量 Q/Q_{max} 与相对开度 l/l_{max} 间关系

图 2 $DN100$ 平衡阀性能曲线

2.3 实验结果及分析

为了反映平衡阀的主要特性, 本文剔除偏离群体的实验数据, 取接近的几次读数的平均值为基础, 绘制了各口径平衡阀的性能曲线, 并与几种典型的阀门流量特性曲线进行比较 (图 3)。

不同特性的阀门, 在系统中进行调节时, 对流量变化量的影响是不同的。直线流量特性的阀门的单位行程变化所引起的流量的变化是相等的, 即阀门在全行程内, 当阀门开度变化 l 相同时, 流量的变化 Q 也相等。等百分比特性在阀门全行程之内, 具有相同的调节敏感度。而具有快开流量特性的阀门, 在阀门行程比较小时, 流量就比较大, 随着行程的增大, 流量很快就达到最大。等百分比特性是最好的流量特性, 线性特性次之。但是等百分比特性实现较为困难, 一般认为, 调节阀应基本达到线性特性。

由图 3 可见, 各被测平衡阀的性能曲线具有大体相同的规律, 即左半部轻微上凸, 右半部轻微下凹。各被测 SPF 型平衡阀的流量特性曲线介于快开特性曲线和等百分比特性曲线之间, 较接近直线流量特性曲线。实际工程应用中, 平衡阀的开度一般要求在 $60\% \sim 90\%$, 因而可以说 SPF 型平

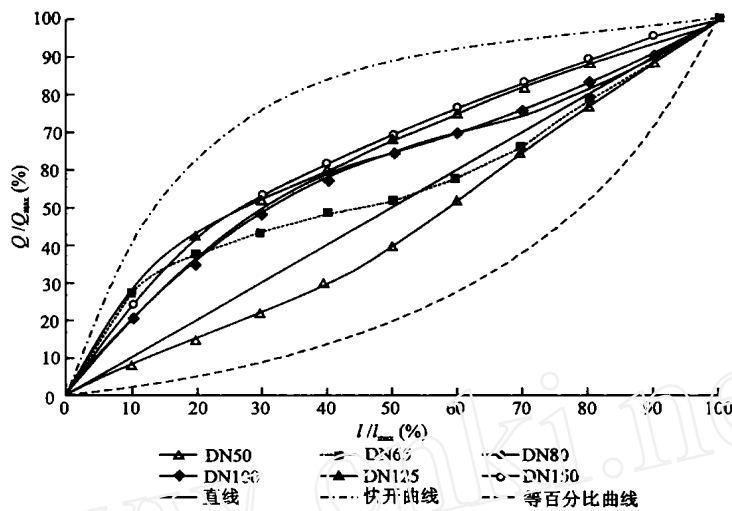


图 3 平衡阀流量特性曲线与典型流量特性曲线的比较

平衡阀具有较好的调节性能。如果能使平衡阀特性曲线的前半段降至直线或直线以下，则可使平衡阀的调节性能有所提高。

3 SPF 型平衡阀流量特性的公式拟合

线算图是平衡阀选型计算的一种工具，具有直观方便的特点，而把平衡阀的开度、流量和压差等参量以数学公式的方式表示出来，则为平衡阀的选型和校核提供了又一种实用工具，有利于平衡阀的选型计算与计算机结合。本文采用最小二乘法对各种口径平衡阀的开度、流量和压差等参量间关系进行拟合。

3.1 拟合方法

对已知的 n 个数据点 $(x_i, f(x_i))$ ($i=0, 1, 2, \dots, n$)，要求找到一个函数 $S^*(x)$ ，使误差的平方和， $\sum_{i=0}^n \sum_{i=0}^n [S^*(x_i) - f(x_i)]^2 = \min_{i=1}^n \sum_{i=1}^n$ ，这就是最小二乘法。对此平衡阀的实验， x_i 表示平衡阀的开度， $f(x_i)$ 表示平衡阀某一开度下的流量系数。设拟合多项式为各正交多项式 $Q_j(x)$ ($j=0, 1, \dots, m-1$) 的线性组合：

$$P_{m-1}(x) = c_0 Q_0(x) + c_1 Q_1(x) + \dots + c_{m-1} Q_{m-1}(x) \quad (3)$$

其中， $m \leq n$ ，且 $m \geq 20$

$Q(x)$ 可以由以下递推公式来构造：

$$\begin{aligned} Q_0(x) &= 1 \\ Q_1(x) &= (x - x_1) \\ Q_{j+1}(x) &= (x - x_{j+1}) Q_j(x) - \lambda_j Q_{j-1}(x) \end{aligned} \quad (4)$$

$$j = 1, 2, \dots, m - 2$$

若设

$$d_j = \sum_{i=0}^{n-1} Q_j^2(x_i)$$

$$j = 0, 1, \dots, m - 1$$

则式(4)中

$$j_{+1} = \frac{1}{d_j} \sum_{i=0}^{n-1} x_i Q_j^2(x_i)$$

$$j = 0, 1, \dots, m - 2$$

$$j = d_j / d_{j-1}$$

$$j = 0, 1, \dots, m - 2$$

由上述递推公式构造的多项式函数 $\{Q_j(x)\}$ ($j = 0, 1, \dots, m - 1$) 是相互正交的。根据最小二乘原理^[5]，可得

$$C_j = \frac{1}{d_j} \sum_{i=0}^{n-1} f(x_i) Q_j(x_i) \quad (5)$$

从而可求出拟合多项式(3)并化成一般的 $m - 1$ 次多项式形式

$$P_{m-1}(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_{m-1} x^{m-1}。$$

3.2 拟合结果

本文采用平衡阀的性能实验数据开度 (l/l_{max}) 与流量系数 (K_V) 数组，根据最小二乘法思想，按照上述递推公式的思想，利用 C 语言编辑平衡阀计算程序，拟合出流量系数 K_V 与开度 l/l_{max} 的多项式

$$K_V(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_{m-1} x^{m-1}$$

式中 x 指平衡阀的开度。

由于 $K_V = Q/\sqrt{P}$ ，所以

$$Q/\sqrt{P} = a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_{m-1} x^{m-1} \quad (6)$$

本程序拟合的多项式最高可达 20 次，实际使

用中可根据需要取拟合公式的阶次。本文根据拟合的情况求取的不超过 4 次的平衡阀拟合多项式结果整理如表 1。

表 1 几种口径平衡阀的拟合计算式

口径	拟合公式(公式中 x 指开度 l/l_{max})	R^2
DN50	$Q/\sqrt{P} = 0.002304 x^2 + 0.271119 x$	0.99676
DN65	$Q/\sqrt{P} = -2.33 \times 10^{-6} x^4 + 0.000579 x^3 - 0.04637 x^2 + 1.76443 x$	0.99938
DN80	$Q/\sqrt{P} = 1.2 \times 10^{-7} x^4 + 0.000108 x^3 - 0.0236589 x^2 + 1.81820 x$	0.99789
DN100	$Q/\sqrt{P} = 4.36 \times 10^{-6} x^4 + 0.000719 x^3 + 0.022529 x^2 + 1.754 x$	0.99752
DN125	$Q/\sqrt{P} = -7.35 \times 10^{-6} x^4 + 0.001717 x^3 - 0.141329 x^2 + 6.3072 x$	0.99943
DN150	$Q/\sqrt{P} = -4.63 \times 10^{-6} x^4 + 0.001258 x^3 - 0.13077 x^2 + 7.9161 x$	0.99993

注： Q —— m^3/h ； P —— $10^5 Pa$ ； R ——误差的平方和。

将拟合公式用曲线反映在图中并与原实验数据生成的曲线图对比，能看出二者吻合得非常好。

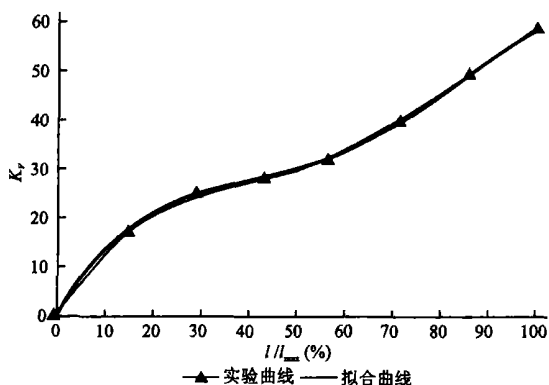


图 4 DN65 平衡阀的实验曲线与拟合曲线的比较

不同口径的平衡阀在已知开度和流量的情况下，分别利用线算图和拟合公式求压差的计算结果如表 2。

表 2 两种方法求压差的比较 MPa

口径 mm	开度 %	流量 m^3/h	P_j kPa	P_T kPa	误差 %
50	80	5	1.89	1.85	2.2
65	80	10	4.83	4.85	0.4
100	90	30	8.56	8.5	0.7

误差计算公式为

$$\frac{|P_j - P_T|}{P_T}$$

式中 P_j ——拟合公式计算的压差，kPa

P_T ——线算图确定的压差^[7]，kPa

表 2 中拟合公式计算值与线算图确定值相比，误差很小，均在 2.2 % 以内，说明该拟合公式精度

较高。利用这一组拟合公式，已知流量、压差和开度三个参数中任意两个，就可以确定另一个参数。当已知压差和流量的情况下，利用拟合公式确定平衡阀口径时，只需再加上一个判断语句，使所选平衡阀的开度在 70 % ~ 90 % 之间即可。拟合公式为平衡阀的选择和计算提供了又一种实用方法。

当然，直接应用这些拟合公式还较复杂，如果将这种计算公式编入计算器，就可大大简化计算。由此看来，这些拟合公式可作为 SPF 型平衡阀选型和计算软件编制的依据。

4 结论

通过大量的实验，得到了平衡阀的流量与开度间的关系，绘制出了 SPF 型平衡阀的理想流量特性曲线。通过与典型阀门的流量特性进行比较，指出了平衡阀性能改进的方向。拟合出了平衡阀应用性计算的数学公式，这些拟合公式可作为平衡阀选型计算软件编制的依据。

参 考 文 献

- [1] 焦良珍, 等. 换阀芯平衡阀的流量特性实验研究 [J]. 阀门, 2005 (5).
- [2] [瑞典 TA 公司] Robert Petit jean 等著, 郎四维, 冯铁柱译. 水管网全面平衡技术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- [3] 施俊良. 调节阀的选择 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.
- [4] 符永正. 平衡阀的选用 [J]. 暖通空调, 1998, 28 (3).
- [5] 潘文全. 流体力学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1980, 182 - 186.
- [6] 李庆扬, 等. 数值分析 [M]. 华中科技大学出版社, 2001, 2.
- [7] 焦良珍. 闭式水循环系统中平衡装置的应用研究 [D]. 武汉科技大学硕士研究生论文, 2005, 5

(收稿日期: 2006.01.10)