

V 形调节球阀阀芯结构与等百分比流量特性分析*

张希恒** 孙丰位 俞树荣 吴佳宝

(兰州理工大学)

摘 要 通过理论分析 V 形球阀的流量与阀座处流通面积的关系,导出了流通面积、阀芯 V 形切口和球冠半径的近似计算式。利用等百分比流量特性优化阀芯 V 形切口和球冠半径,使 V 形球阀的设计流量特性与等百分比流量特性趋于一致,减小了流量系数误差,并给出了一个优化设计实例。

关键词 V 形球阀 阀芯结构 等百分比流量特性 流量系数

中图分类号 TQ055.8⁺1 文献标识码 A 文章编号 0254-6094(2012)05-0598-04

在工业过程自动控制中,由于 V 形球阀调节比大,调节元件可切断流体中的纤维、粘性悬浮杂质,而被广泛应用于造纸、纺织等行业的物料控制和调节。目前,我国 V 形球阀调节球阀的调节特性和国外同类产品比较缺点在于调节范围较窄、调节特性和实际工艺流程的调节特性存在较大误差,主要原因是不同开度下的流通面积满足不了实际流通量。

笔者通过理论分析 V 形球阀不同开度下的流量与阀座处流通面积的关系,优化阀芯球结构,使 V 形球阀的设计流量特性与等百分比流量特性趋于一致,减小调节误差,增强 V 形球阀的可调性和灵敏度^[1]。

1 流通面积结构

笔者分析的 V 形调节球阀,其主要参数为:压差 $\Delta p = 100\text{kPa}$,可调比 $R = 50$,介质为水,结构如图 1 所示。V 形球阀的阀芯是球冠,球冠底圆的边缘上开有一个 V 形切口(图 2)。图 2 中的 V 形切口由一个圆角为 r 的圆弧和与圆弧相切的有一定角度的两端切线构成, t 为球冠投影中心至 V 形切口顶点距离,V 形切口的角度一般取 60° 。V 形球阀是通过改变阀芯、阀芯的 V 形切缺口与阀

体的流道构成的流通面积来调节设备和管道的介质流量,其不同开度下的流通面积由阀体通道、V 形切口和球体球冠的组合面积构成。

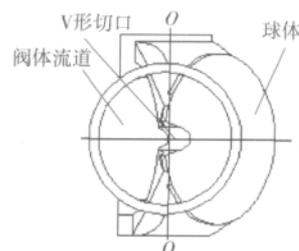


图 1 V 形球阀的结构

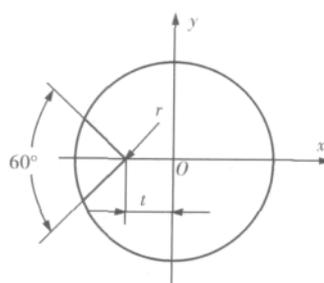


图 2 V 形切口形状

按照文献[2]的规定,控制阀的相对流量系数与等百分比相对流量系数的误差必须小于 10%。通过测试该阀的流量特性,测试结果见表 1。

* 甘肃省科技支撑计划资助项目(1104GKCA052)。

** 张希恒,男,1966年2月生,副教授。甘肃省兰州市,730050。

表 1 原结构测试相对流量系数与等百分比相对流量系数对比

相对开度	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
试验相对流量系数	0.025	0.051	0.081	0.144	0.204	0.263	0.389	0.603	0.795	1
等百分比相对流量系数	0.019	0.040	0.063	0.128	0.183	0.259	0.361	0.557	0.742	1
相对误差	31.200	29.100	28.700	12.700	11.900	7.100	7.500	8.300	7.200	0

由表 1 可以看出,其在不同开度下的相对流量系数均大于等百分比的相对流量系数;在相对开度 10% ~ 50% 时,相对流量系数误差均大于 10%,最大误差达 31.2%,因此,必须优化阀芯结构,确定流通面积与流量系数关系,减小调节误差。

2 流量特性计算分析

V 形球阀的流量特性近似于等百分比流量特性,其数学表达式为^[1]:

$$\frac{Q_i}{Q_{\max}} = \frac{K_v}{K_{v\max}} = R \left(\frac{\theta_v}{\theta_{\max}} - 1 \right) \quad (1)$$

- 式中 K_v ——对应 θ_v 的流量系数;
- $K_{v\max}$ ——对应 θ_{\max} 的系数;
- Q_i ——对应 θ_v 的流量 m^3/h ;
- Q_{\max} ——对应 θ_{\max} 的流量 m^3/h ;
- R ——可调比 $R = Q_{\max}/Q_{\min}$;
- θ_v ——调节阀的开度 ($^\circ$);
- θ_{\max} ——调节阀的最大开度 ($^\circ$)。

3 流通面积确定、计算和阀芯的结构优化

3.1 流通面积的确定

V 形球阀的节流原理近似于孔板节流原理,按照伯努力方程,得到 V 形球阀不可压缩流体的流量公式^[3,4],即:

$$Q = 5.09 \frac{A_r}{\sqrt{\xi}} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \quad (2)$$

- 式中 A_r ——调节阀相对开度下的流通面积, cm^2 ;
- Δp ——调节阀的压差 $\Delta p = 100kPa$;
- Q ——流体体积流量 m^3/h ;
- ξ ——阻力系数 $\xi = 1 - \frac{A_r^2}{A^2}$, A 为流道座面积 cm^2 ;
- ρ ——流体密度 g/cm^3 。

令 $K_v = 5.09 \frac{A_r}{\sqrt{\xi}}$, 则球阀的不同开度下流通面积为^[4]:

$$A_r = \frac{K_v}{\sqrt{5.09^2 + \frac{K_v^2}{A^2}}} \quad (3)$$

由等百分比流量特性得到的球阀流通面积 A_r 为依据,确定阀芯的结构参数,则球阀的流量特性能够符合等百分比流量特性。

3.2 流通面积的计算

阀芯不同开度的模型如图 3 所示, V 形球阀流道通径为 D ; 阀芯球冠半径为 R , 弦长为 L , 弦高为 H 。以球冠中心 O 点为坐标原点,流道中心线为 OZ 轴, OY 轴垂直于流道中心线, OX 轴垂直于 YOZ 平面建立直角坐标系。以 OX 轴为转动轴旋转阀芯,球冠上的 a 点旋转 θ 角后到达 a' 点, V 形切口进入阀体流道,则球阀的流通面积由阀体流道、V 形切口和球冠圆弧构成。

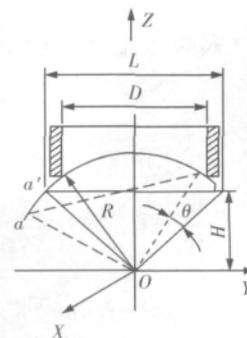


图 3 阀芯转动模型

将旋转后的球冠与阀体流道投影到 XOY 平面,如图 4 所示,得到球阀不同开度下的流通面积。图 4 中,阀芯旋转不同的 θ 角后,分别得到 4 种由球冠圆弧 1、V 形切口 2 和阀体通道 3 的组合面积(图 4a ~ d),其中阴影部分为阀门流通面积, a 、 b 两点分别为阀芯边缘和阀体流道边缘的交点。计算 4 种阴影部分面积,可求得不同开度下阀门的流通面积。

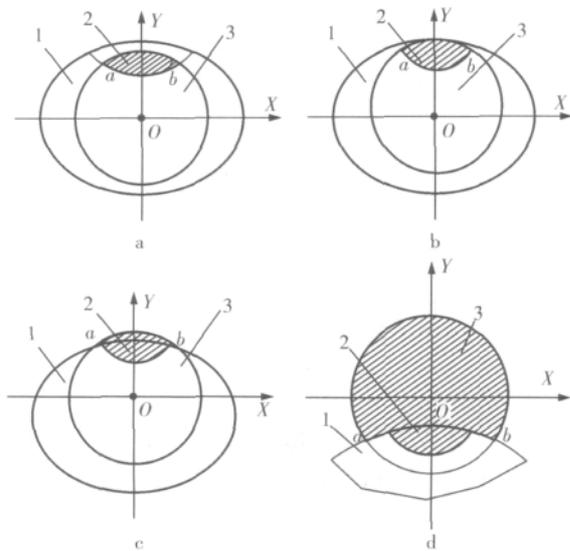


图 4 球阀不同开度下的流通面积示意图

1——球冠; 2——V形切口; 3——阀体通道

3.2.1 V形切口与阀体流道构成流通面积计算

当 $0 < \theta < \arccos \frac{D}{2R} - \arccos \frac{L}{2R}$ 时, V形切口进入阀体流道, 流通面积由阀体流道和 V形切口构成(图 4a)。

当 $(t \cos \theta - H \sin \theta) < \frac{D}{2} < \left(\frac{L}{2} \cos \theta - H \sin \theta \right)$ 时, 部分 V形切口进入阀体流道, 如图 4a 所示, 流通面积为:

$$A_{r1} = \frac{1}{2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} (\rho_2^2 - \rho_1^2) d\phi \quad (5)$$

其中 $\rho_1 = 1.47r \frac{\cos \phi}{\sin \phi}$, $\rho_2 = \sqrt{\frac{D^2}{4} - [(t - 0.97r) \cos \theta - H \sin \theta]^2 (1 + \sin^2 \phi)} - [(t - 0.97r) \cos \theta - H \sin \theta] \sin \phi$, $\phi_1 = 60^\circ$, $\phi_2 = 120^\circ$ 。

当 $\left(\frac{L}{2} \cos \theta - H \sin \theta \right) < \frac{D}{2}$ 时, V形切口完全进入阀体流道, 如图 4b 所示, 流通面积为:

$$A_{r2} = \frac{1}{2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \left[\left(\sqrt{\frac{L^2}{4} - (t - 0.97r)^2 \cos^2 \phi} - (t - 0.97r) \sin \phi \right)^2 - \left(\frac{1.47r}{\sin \phi} \right)^2 \right] d\phi + 0.6r^2 \quad (6)$$

3.2.2 球冠的圆弧面与阀体流道构成流通面积计算

当 $\arccos \frac{D}{2R} - \arccos \frac{L}{2R} < \theta < \arctan \sqrt{\frac{L^2 - D^2}{4H^2}}$

时, 流通面积由阀体流道、V形切口和球冠的圆弧面构成(图 4c), 此时球冠圆弧面尚未越过阀体流道中心线。交点 a、b 的横坐标分别为:

$$a = -\sqrt{\frac{D^2}{4} - \left[\sqrt{\frac{\cos^2 \theta (L^2 - D^2)}{\sin^2 \theta} + H^2} - \frac{H}{\sin \theta} \right]^2} \quad (7)$$

$$b = \sqrt{\frac{D^2}{4} - \left[\sqrt{\frac{\cos^2 \theta (L^2 - D^2)}{\sin^2 \theta} + H^2} - \frac{H}{\sin \theta} \right]^2} \quad (8)$$

因此, 流通面积为:

$$A_{r3} = \int_a^b \left[\sqrt{\frac{D^2}{4} - x^2} + H \sin \theta - \sqrt{\cos^2 \theta \left(\frac{L^2}{4} - x^2 \right)} \right] dx + A_{r2} \times \cos \theta \quad (9)$$

当 $\theta > \arctan \sqrt{\frac{L^2 - D^2}{4H^2}}$ 时, 流通面积由阀体流道、V形切口和球冠的圆弧面构成(图 4d), 此时球冠圆弧面尚未越过阀体流道中心线。交点 a、b 的横坐标与式(7)、(8)相同, 流通面积为:

流通面积为:

$$A_{r4} = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 - \int_a^b \left[\sqrt{\cos^2 \theta \left(\frac{L^2}{4} - x^2 \right)} + \sqrt{\frac{D^2}{4} - x^2} - H \sin \theta \right] dx + A_{r2} \cos \theta \quad (10)$$

3.3 阀芯结构尺寸优化

令 A_r 分别等于 A_{r1} 、 A_{r2} 、 A_{r3} 、 A_{r4} , 通过计算机编程运算, 得到不同开度下的阀芯球冠的 V形开口圆角 r_i 、球冠半径 R_i 。再经过程序优化分析, 确定 V形开口圆角 r 、球冠半径 R , 使球阀设计流量特性趋近于等百分比流量特性。

4 试验分析

对优化后的 V形调节球阀按文献[2]中规定的试验程序进行流量特性测试, 结果见表 2。

表 2 等百分比相对流量系数与试验相对流量系数对比

相对开度	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
等百分比相对流量系数	0.019	0.040	0.063	0.128	0.183	0.259	0.361	0.557	0.742	1
试验相对流量系数	0.017	0.038	0.060	0.124	0.180	0.279	0.392	0.604	0.795	1
相对误差	9.600	4.500	4.600	3.600	2.100	7.800	8.500	8.400	7.100	0

从表 2 中看出,在小开度下(0~40%),等百分比流量特性计算的相对流量系数大于试验相对流量系数,最大误差为 9.6%;在大开度下(50%~100%),等百分比流量特性计算的相对流量系数小于试验相对流量系数,最大误差为 8.5%。误差均小于 10%,符合文献[2]的规定。

5 结束语

笔者通过优化 V 形调节球阀的结构,使其流量特性趋近于等百分比流量特性。结构优化后的试验相对流量系数测试数据与等百分比的相对流量系数比较,其相对流量系数的最大误差小于 10%,符合标准的规定,调节特性明显优于优化前的结构。所推导出的等百分比流量特性的 V 形

球阀在不同开度下的流通面积计算公式,也为工程设计提供了一种计算方法。

参 考 文 献

- [1] 张希恒. V 形调节球阀的结构优化[J]. 阀门, 2009, (2): 39~41.
- [2] GB/T 17213.2-2005 工业过程控制阀[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [3] 吴国熙. 调节阀使用与维修[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [4] 陆培文. 调节阀实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

(收稿日期: 2011-11-28)

Analysis of V-ball Valve's Disc Structure and Equal Percentage Flow Characteristic

ZHANG Xi-heng, SUN Feng-wei, YU Shu-rong, WU Jia-bao

(Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract Through analyzing the relationship between flow rate and flow area at V-ball valve seat, the approximate calculation formula for the ball valve's flow area and the disc's V-cut and crown radius were derived. Optimizing the V-cut and crown radius with equal percentage flow characteristic shows that design flow characteristic tends to be consistency with equal percentage flow characteristic and to have the error of flow coefficient reduced, and an optimal design was given as an example simultaneously.

Key words V-ball valve, valve disc structure, equal percentage flow characteristics, flow coefficient

《轻工机械》2013 年征订启事

国内总发行: 浙江省报刊发行局(邮发代号 32-39)

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司(发行代号 BM4555)

主办单位: 中国轻工机械协会

中国轻工业机械总公司

轻工业杭州机电设计研究院

全面介绍轻工机械(主要包括: 造纸、食品、包装、印刷、纺织、制药、塑料加工、日用化工、日用机电及其他轻工专用机械)和与之相关的模具、配件、仪表、自控、通讯等领域的发展趋势,为轻工业各行业、轻工机械制造行业及相关协作、配套、供应行业、企业和广大读者服务。

● 双月刊, 大 16 开, 每册定价 10.00 元, 全年 60.00 元。

● 邮局订阅(代号 32-39), 也可直接向本编辑部邮购(另加邮费 2 元/本)。

● 编辑部地址: 杭州体育场路 71 号 邮编: 310004

● 开户银行: 杭州工商银行建国北路分理处

● 户头: 轻工业杭州机电设计研究院

● 帐号: 1202022209014428297

● 刊号: CN 33-1180/TH, ISSN 1005-2895

● 电话: (0571) 85186130 85187520

http://www.qgjxzz.com

E-mail: qgjxzz@mail.hz.zj.cn 或 qgjxzz@163.com

本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”、“万方数据资源系统”、“中文科技期刊数据库”,并被英国《科学文摘》(SA, INSPEC)、美国化学文摘(CA)、美国剑桥科学文摘(CSA)、美国乌利希期刊指南(Ulrich)、波兰哥白尼索引(IC)收录