

文章编号: 1002-5855 (1999) 04-0001-04

轨道球阀的特性与设计

马祖达 吴剑武

(温州市工业科学研究所, 浙江 温州 325028)

摘要 介绍了轨道球阀的工作原理、结构特点、力学特性和设计分析。该阀除具有旋转时无磨损, 关闭时压紧力可调的特点外, 还具有启闭省力的优点。

关键词 轨道球阀 密封结构 金属密封

中图分类号: TE927 文献标识码: A

1 概述

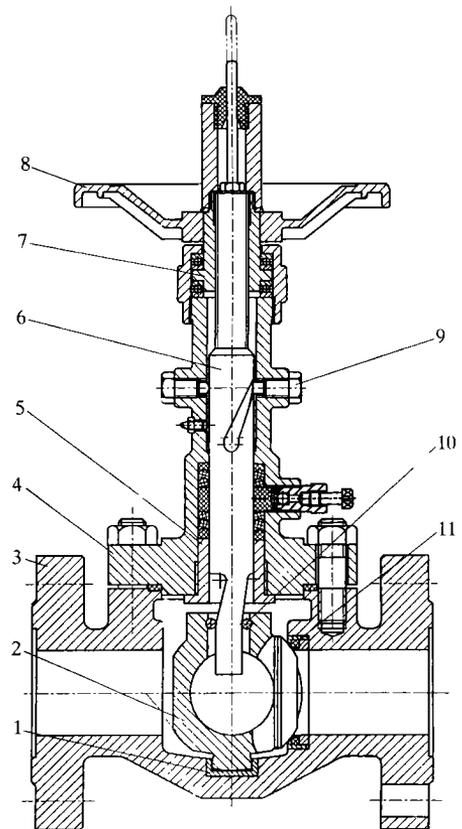
普通球阀的阀座一般采用聚四氟乙烯、尼龙或橡胶等高分子合成材料制造, 受材料物理性能参数的影响, 其使用温度不能超过 200。此后出现的金属硬密封结构球阀虽然可以耐高温, 但阀门开关时球体与阀座之间存在较大的密封比压, 很容易导致密封面损坏, 以致阀门泄漏或卡死。为了降低金属球体与阀座的磨损, 国内外又先后研制出组合撑开式密封结构球阀、凸轮摆动球体单向密封结构球阀和组合球式金属硬密封结构球阀等, 其目的都是为实现球体与阀座在无接触下旋转。但该类阀门结构复杂, 零件数量增加, 加工精度要求高, 制约了硬密封球阀的发展和推广应用。轨道球阀较好地解决了这一矛盾, 该阀能适应 -204 ~ 815 的各种工况。

2 工作原理

轨道球阀利用阀杆底部的斜面与螺旋槽配合, 实现球体的倾离与转动。阀门开启时, 球体倾离阀座, 管线内的流体沿球体表面均匀通过阀门, 降低了高速流体对阀座的局部冲刷腐蚀, 最后球体转动至全开位置。阀门关闭时, 球体依靠阀杆斜面的机械楔紧力作用到阀座上, 产生所需密封比压, 保证可靠密封。密封比压可随流体冲蚀磨损、腐蚀程度及工作压力的变化调整, 延长了球阀的使用寿命。

图 1 为阀门接近关闭位置, 尚未压紧密封

状态。阀杆的运动轨迹受其上轨道槽与控制轨螺栓的控制, 轨道槽上部为与轴线平行的直线, 以下为转角 90° 的螺旋线。



1. 底座 2. 球体 3. 阀体 4. 阀盖 5. 定心套 6. 阀杆
7. 牵引螺母 8. 手轮 9. 控轨螺栓 10. 销 11. 阀座

图 1 轨道球阀

阀门处于全开位置时，顺时针方向转动手轮，阀杆下降，阀杆上的螺旋槽在控轨螺栓的作用下带动球体旋转 90°，到达工作位置。继续转动手轮，球体通过销并在阀杆底部斜面的作用下靠向阀座，并保持一定的密封比压，关闭阀门通道。

阀门处于关闭位置时，球体受到阀杆的机械施压作用紧压在阀座上。逆时针转动手轮，阀杆上升，其底部的斜面迫使球体脱离阀座松压。阀杆继续上升，在阀杆螺旋槽和控轨螺栓的作用下，球体开始旋转。阀杆提升到上限位置时，球体转动到全开位置。

轨道球阀开启时先在工作位置上失压（在斜面作用下），使球体与阀座脱离接触后旋转到所需开度。关闭时先旋转到工作位置后，再根据需要压紧密封（在斜面作用下）。该阀的这种特性使其用简单的结构实现了理想的启闭运动。

3 结构特点

轨道球阀（图 1）采用控轨螺栓和阀杆导槽控制球体按设计轨迹转动及升降，实现阀门的无摩擦开启与关闭，保证阀门的低扭矩操作和长期可靠性。阀门的密封比压随球体的磨损可调，机械楔紧式的关闭特点保证了密封的可靠性，无须依靠管线的压差帮助。阀座采用双点弹性密封使密封可靠、有效。可注入式填料结构，使球阀在运行中得到维护。

4 设计

4.1 球体（图 2）

轨道球阀的球体与一般球阀不同，它由两个球面（密封球面 S1 和支撑结构球面 S2）和一个垂直方向的撬杆孔 D 组成。支撑结构球面的作用是保证球体在阀体内滚动时中心高度不变，使球体中心线与阀座中心线重合，以实现两者接触密封线为圆线。密封球面的作用与普通球阀相同，密封球面与阀座接触后密封，其密封位置随球体位置的变化在垂直方向上升降。撬杆孔是配合阀杆完成球体的预定动作（旋转、楔紧）和传递来自阀杆的压紧力。

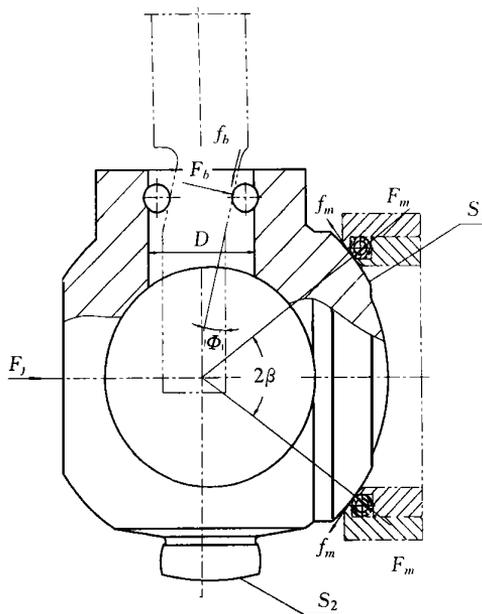


图 2 球体

阀门关闭时，球体受力分析为

$$\begin{aligned}
 X &= 0 \\
 F_j + F_b \cos \phi - F_m \cos \phi - f_b \sin \phi - f_m \sin \phi &= 0 \text{ 得} \\
 F_b &= \frac{F_m \cos \phi + f_b \sin \phi + f_m \sin \phi - F_j}{\cos \phi} \quad (1)
 \end{aligned}$$

式中 F_j ——作用在球体上的介质力，N
 F_m ——密封力，N
 F_b ——关闭时阀杆对球体的作用力，N
 f_m ——密封面间的摩擦力，N
 f_b ——阀杆与球体间的摩擦力，N

阀门开启时，球体受力

$$\begin{aligned}
 X &= 0 \\
 F_j - F_b \cos \phi - F_m \cos \phi + f_b \sin \phi + f_m \sin \phi &= 0 \text{ 得} \\
 F_b &= \frac{F_j - F_m \cos \phi + f_b \sin \phi + f_m \sin \phi}{\cos \phi} \quad (2)
 \end{aligned}$$

式中 F_b ——开启时阀杆对球体的作用力，N
 f_m ——开启时密封面间的摩擦力，N

试验表明，对密封面静摩擦系数有重要影响的因素是法向压力和静止时间。对于阀门而

言，开启扭矩随着阀门关闭时间延长而增大，这主要是金属密封面静止接触时间越长，静摩擦系数就越大。其原因在于密封面在法向压力所引起的应力作用下接触处发生塑性变形，引起接触面积增大（分子吸附增强）和接触物体表面相互交错接替（机械变形阻力增大），因而引起摩擦系数增大。

4.2 阀杆 (图 3)

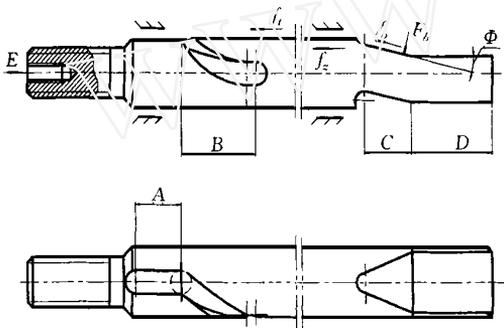


图 3 阀杆

阀杆主要有 A、B、C 和 D 功能段。A 段为阀杆直线运动控制段，B 段为阀杆旋转运动控制段，C 段为球体松压段，D 段为球体旋转段。在阀杆设计中主要应考虑阀杆压紧时阀杆端部 C、D 段的刚度，及足够的球体松紧调节余量。

阀门关闭时，阀杆受力

$$F = F_b \sin \alpha + f_b \cos \alpha + f_t + f_z \quad (3)$$

式中 F ——关闭时手轮作用于阀杆的垂直分力，N

f_t ——填料摩擦力，N

f_z ——阀杆与阀盖支撑处摩擦力，N

阀门开启时，阀杆受力

$$F = F_b \sin \alpha + f_b \cos \alpha + f_t + f_z \quad (4)$$

式中 F ——开启时手轮作用于阀杆的垂直分力，N

将式 (1) 和式 (2) 的计算结果分别代入式 (3) 和式 (4)，可求出相应的 F 和 F_s 。

4.3 手轮和阀杆组成的平衡系统

平衡系统上的主动力 (矩) 为作用于手轮上的力偶 ($F_s D_s / 2$, $F_s D_s / 2$)，阀杆梯形螺纹处的摩擦力矩 M_1 ，球体对阀杆的反力 F_b (F_b)，

阀杆与球体间的摩擦力 f_b ，阀杆与填料间摩擦力 f_t 和阀杆与阀盖支承间的摩擦力 f_z 。

将手轮按顺时针转过微小角 α ，于是得到向下的位移 z ，计算所有主动力 (矩) 在位移中所作功的和

关闭时

$$W_F = (F_s D_s / 2 - M_1) \alpha - (F_b \sin \alpha + f_b \cos \alpha + f_t + f_z) z = 0 \quad (5)$$

开启时

$$W_F = (F_s D_s / 2 - M_1) \alpha - (F_b \sin \alpha + f_b \cos \alpha + f_t + f_z) z = 0 \quad (6)$$

式中 F_s ——作用在手轮上的圆周力，N

$F_s = 750N$

D_s ——手轮直径，mm

由机构的传动关系知，对于单头螺纹，手轮转动一圈，螺杆上升或下降一个螺距 (p)，故有

$$z = p / 2 \quad (7)$$

式中 p ——阀杆梯形螺纹螺距，mm

将式 (7) 代入式 (5) 和式 (6) 中即可得出

关闭时所需的手轮驱动力 F_s 和开启时所需的手轮驱动力 F_s 。

$$F_s = \frac{(F_b \sin \alpha + f_b \cos \alpha + f_t + f_z) p + 2 M_1}{D_s} \quad (8)$$

$$F_s = \frac{(F_b \sin \alpha + f_b \cos \alpha + f_t + f_z) p + 2 M_1}{D_s} \quad (9)$$

若忽略各种摩擦力 (矩)，则机构力的放大倍数为

$$\frac{F_b}{F_s} = \frac{D_s}{P \sin \alpha}$$

例如 Q41GD - 160 - 100 型轨道球阀， $\sin \alpha = 4/11$ ， $D_s = 450\text{mm}$ ， $P = 6\text{mm}$ 则

$$\frac{F_b}{F_s} = \frac{(11 \times 450)}{4 \times 6} = 648$$

一般固定式球阀的阀杆力矩计算式为

$$M_F = M_{QG} + M_{Fr} + M_{ZC} \quad (10)$$

式中 M_{QG} ——固定式球阀的球体与阀座密

封面的摩擦力矩（轨道球阀无此项）

从计算公式及与固定式球阀的比较中可以得出，轨道球阀还具有启闭省力之优点。

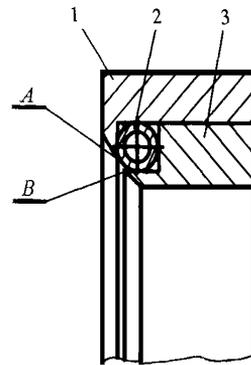
4.4 阀座

阀座（图 4）的两条密封线 A、B 处于两道悬臂梁的顶点，管衬垫在两道悬臂梁的后面，其作用是既增强悬臂梁的刚性，又使其具有一定的弹性。这种阀座可以保证 A、B 两条密封线在常温或高温下既有足够的刚度又有微量弹性，确保密封的可靠性。在设计阀座时，A 点距离球体球面接触点的位置应该比 B 点近，以使球体靠向阀座时先接触 A 点，两者前后差应控制在 0.05 ~ 0.2mm 之间。如果 A 点与 B 点悬臂长度和厚度均相等，则 A 点的作用力会略大于 B 点，就是说即在相同的条件下，A 点的弹性微变量应大于 B 点。

5 结语

轨道球阀采用简单、有效的运动方式协调控制密封接触面的分离、旋转与压紧，实现了

阀门开关过程无摩擦，零泄漏，操作低扭矩。



1. 外圈 2. 管 3. 内圈
图 4 阀座

参 考 文 献

- 1 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- 2 机械工程手册编委会. 机械工程手册通用设备卷 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- 3 顾永泉. 流体动密封 [M]. 山东: 石油大学出版社, 1990.