

文章编号: 1002-5855 (2006) 05-0001-04

## 金属硬密封蝶阀密封副干涉的分析

倪平, 杨建宁

(宁波埃美柯铜阀门有限公司, 浙江 宁波 315020)

**摘要** 运用 AutoCAD 对金属硬密封蝶阀密封挤压过程产生的干涉体进行定性和定量分析, 为修正、验证和确定蝶阀的三偏心参数提供设计依据。分析了双偏心球面密封副的优良性能。

**关键词** 金属硬密封蝶阀; 三偏心蝶阀; 密封; 干涉

**中图分类号**: TH134 **文献标识码**: A

### Trim interference analysis of metal hard seated butterfly valve

NI Ping, YANG Jian - ning

(Ningbo AMICO Copper Valves Mfg Inc, Ningbo 315020, China)

**Abstract**: This essay is to provide qualitative and quantitative analysis for the interference solid created during seal extrusion of metal hard seated butterfly valve with AutoCAD, as well as to provide designing proof for the modification, validation and determination of the three - eccentricity parameters of butterfly valve, with analysis of the optimized performance of double eccentricity sphere.

**Key words**: metal hard seated butterfly valve; three - eccentricity butterfly valve; seal; interference

#### 1 概述

金属硬密封蝶阀的蝶板在关闭过程会挤压阀体(阀座)密封面, 出现干涉。当密封面因挤压得到足够的密封比压形成密封条件时, 挤压部位会出现连续不间断的环形金属挤压带。运用 AutoCAD 绘图软件可以根据挤压带创建干涉体, 并通过对其基本形状进行的定性分析和对其截面各部位进行的测量及定量分析(挤压深度), 为修正、验证和确定蝶阀的三偏心参数提供设计依据。以便蝶阀最终获得良好的密封条件。

良好的密封条件在密封时会产生良好的挤压带, 它的干涉体应符合以下几个条件。

(1) 干涉体是连续不间断的圆环。

(2) 干涉体圆环的宽度一致且无缺口, 并符合图样设定的宽度要求。

(3) 干涉体圆环截面的各点宽度(即挤压量)基本一致, 其最大值和最小值之差为 0.03 ~ 0.05 mm(视规格而定)。

(4) 干涉体截面各点挤压的增量与蝶板过关闭度数的增量基本成正比(只有如此, 密封面的磨损

才能得到有效自我补偿)。

(5) 开启蝶阀, 顺时针旋转蝶板 0.1 吋, 阀体蝶板密封面就脱离接触, 检测不出干涉。

#### 2 干涉体的创建和分析

##### 2.1 设定密封副

三偏心蝶阀密封副是一对偏心锥面。图 1 是圆锥角度为  $2\alpha$ 、圆锥高度为  $a_v$  的正圆锥曲面  $atf$ 。当蝶板回转轴线与阀体通道轴线呈  $\beta$  偏角时(取  $\beta = \alpha$ ) , 将曲面绕  $a$  点逆时针旋转  $\beta$  角, 使圆锥母线  $af$  与  $X$  轴平行。

在  $af$  线段上截  $ab = H$ , 取两个相距  $L$  ( $L$  为阀体密封面宽度) 且平行于  $Y$  轴的平面过正圆锥母线  $b$  点切割正圆锥曲面, 分别交  $af$  母线于  $c$ 、 $b$  点, 交  $at$  母线于  $m$ 、 $n$  点, 得  $cbnm$  圆锥曲面环, 此即为阀体锥形密封面。线段  $nb$  为阀体锥形密封面小端的椭圆截面长轴  $A$ 。绕长轴  $A$  将截面旋转  $90^\circ$ , 可看到椭圆短轴  $B$  垂直于长轴  $A$  并与长轴  $A$  相交于椭圆族中轴线  $g$  点。

过  $d$  点按设定尺寸取  $db$  作  $nb$  平行线交于中轴线于  $h$  点得阀体垂直中心线  $hd$ 。过蝶板旋转中心

作者简介: 倪平 (1947 - ), 男, 工程师, 从事阀门的产品开发和工艺设计。

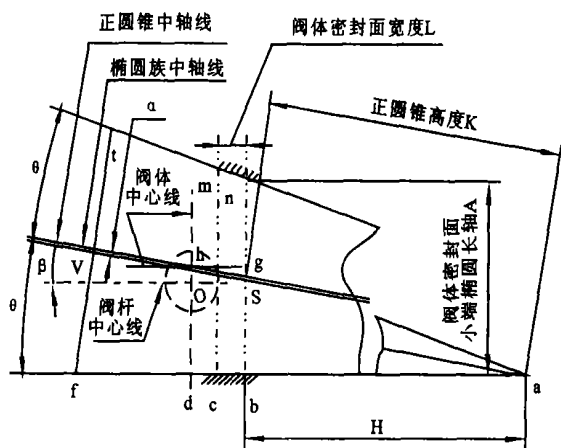


图1 正圆锥圆曲面

o点(阀杆中心点),取 $h_o$ 等于径向偏心距 $e$ ,作 $af$ 平行线得阀杆水平中心线。

经推算,当 $\alpha = 9^\circ$ 时,可以得出各相关参数。

$$K = B / \tan 2\alpha \cdot \sqrt{\cos 2\alpha}$$

式中  $B$  —— 阀体锥形密封面小端截面椭圆短轴,按蝶阀阀座最小直径取值, mm

$K$  —— 圆锥高度, mm

$A$  —— 阀体锥形密封面小端截面椭圆长轴, mm

$$A = B \cos \alpha / \sqrt{\cos 2\alpha}$$

$H$  —— 圆锥顶点至阀体密封环外截面距离, mm

$$H = K \cos \alpha$$

取 $\alpha = 9^\circ$ ,则 $A = 1.013 \times B$ ,  $K = 3.156 \times B$ ,  $H = 0.228 \times B$ 。

### 2.2 创建密封副刚体

取 $PN = 2.5 \text{ MPa}$ ,  $DN = 800 \text{ mm}$ 的三偏心蝶阀为分析样本。令阀体椭圆密封面小端短轴 $B = 770 \text{ mm}$ ,阀座密封面宽度 $L = 36 \text{ mm}$ ,蝶板密封面宽度为 $h = 13 \text{ mm}$ 。

取轴向偏心 $b = 62 \text{ mm}$ ,径向偏心 $e = 12 \text{ mm}$ ,圆锥半角与轴偏角均为 $9^\circ$ 。

按上述条件绘出密封副简易刚体示意图2。

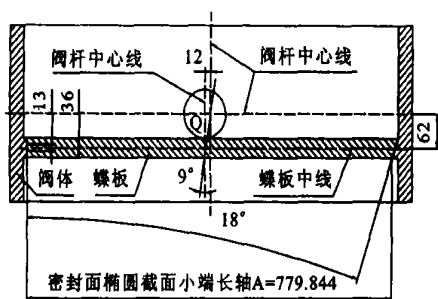


图2 密封副刚体 (DN800 mm)

### 2.3 创建干涉体

将阀体蝶板置于白色图层,新建干涉体红色图层。以 $O$ 点为圆心逆时针旋转蝶板 $0.01^\circ$ ,启动AutoCAD干涉工具,检测出刚体之间有干涉,创建出环形干涉体(红色)。向下移动UCS原点至蝶板中线,取环形干涉体中性截面,旋转 $90^\circ$ (图3),其中椭圆截面短轴与阀杆同方向。向左移动UCS原点至阀体中心,分别过原点作 $X$ 轴、 $Y$ 轴与截面周边相交,此时可分别测出上下左右四点点的宽度(挤压量)。此挤压量即为金属密封面挤压的深度。

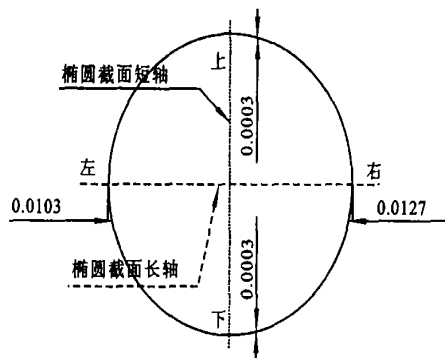


图3 环形干涉体中性截面

依次递增蝶板逆时针旋转的角度,得出数组相对应的干涉体中性截面上下左右各点挤压量(表1)。在零点位和开启各个位置均未检测到干涉。

表1 中性截面挤压 mm

旋转度数	0.01°	0.02°	0.1°
上 $\mu\text{m}$	0.3337	0.674	3.37
下 $\mu\text{m}$	0.337	0.674	3.37
左 $\mu\text{m}$	10.827	21.665	108.79
右 $\mu\text{m}$	12.147	24.308	122.11

### 2.4 阀体密封面必需的挤压量

阀体密封面选用D507焊条堆焊,密封面宽度为 $12.5 \text{ mm}$ 。由虎克定律 $\delta = l / E$ ,转换得 $l = p l / EA$ 。取不锈钢弹性模量 $E = 2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$ , $P / A = q_{MF}$ ,按文献[2],合金钢密封面阀门的密封比压 $q_{MF} = 19 \text{ MPa}$ 。阀体壁厚取 $l_{\max} = 22 \text{ mm}$ ,计算得 $l = 0.002 \text{ mm}$ 。说明密封面在正确配合下,压缩 $0.002 \text{ mm}$ ,即可符合密封条件。而实际加工所产生的形位误差造成的间隙远较大。在阀门关闭过程只有在运动中先压缩局部密封面,消除加工间隙,以及加工过程由粗糙度产生的单峰高度才能进入密封压缩,得到必需比压。实际关闭过程,估计密封面受到 $0.01 \sim 0.03 \text{ mm}$ 的压缩,或更大,视加工精度及工作压力而定。

## 2.5 干涉体分析

(1) 蝶阀在开启过程没有出现任何干涉。

(2) 干涉体环形带是连续不间断的, 宽度与蝶板密封面一致且无缺口。

(3) 蝶板过关闭 0.01 时虽然干涉体中性截面各点挤压量差值在 0.013 mm 以内, 但密封面尚未得到必须比压, 不能形成有效密封条件。

蝶板过关闭 0.02 时, 干涉体中性截面左右两点及其周边金属得到了充分挤压, 但上下两点的挤压量一直停留在 0.000 7 mm 的水平, 于是依赖多层次密封圈中的聚四氟乙烯、石墨材料等软性材料, 在受挤压后填满其周边部位至整圈挤压带中所有的微量间隙 (中性截面前后点还有 0.005 mm 的差值), 并和不锈钢片组合成复合密封材料创建了迷宫式的密封条件。对于新的富有弹性的软性材料还会在挤压过程深入阀体密封面的显微孔隙, 达到短暂的气密级密封。

蝶板过关闭 0.1 时, 干涉体中性截面左右两点和上下两点的挤压量不同, 差值达 0.12 mm。这意味着蝶阀在反复启闭过程, 密封面左右两点及其周边部位虽然由于挤压甚至过量挤压导致金属疲劳而磨损较快, 但可以运用过关闭维持挤压量。而密封面上下两点及其周边部位虽由于磨擦或微量挤压磨损较慢, 但挤压量却得不到有效的自我补偿。

分析可知三偏心多层次蝶板密封圈的密封性能优于双偏心蝶阀, 能够满足中低压蝶阀的密封要求。但是多层次密封圈的结构不具备单一金属的刚度和耐磨性, 以及其密封面截面周边挤压量差值的增量随过关闭度数的增量而快速增长的特点, 使其在高压密封性能上面临挑战。当蝶阀为达到高压密封加大过关闭度数时, 会出现多层次密封圈金属片左右区域因挤压过量而逆向弯曲变形, 其轴向弹力使多层次密封圈的固紧螺栓因被拉长而松动。在开启蝶阀时, 其径向弹力会沿阀座的径向方向胀开, 使阀杆额外增加力矩, 甚至会因胀力而打不开。

## 3 干涉体的缺陷和消除

三偏心参数如选择不当, 不但会影响挤压带的完整性, 破坏蝶阀的密封条件, 还会给蝶阀的开启设置障碍。运用干涉工具检测, 关闭时会观察到干涉体上有缺口出现, 开启时会出现干涉区域。

### 3.1 创建密封副刚体

取 PN2.5 MPa, DN200 mm 的三偏心蝶阀为分析样本, 令阀体椭圆密封面短轴  $B = 185$  mm,

阀座密封面宽度为 12 mm, 蝶板密封面宽度为 8 mm。取轴向偏心  $b = 22$  mm, 径向偏心  $e = 6$  mm, 圆锥半角与轴偏角均为  $9^\circ$ , 绘出密封副简易刚体如图 4。

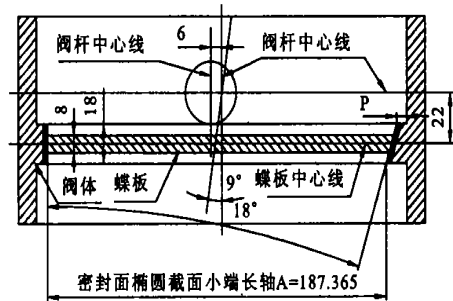


图 4 密封副刚体 (DN200 mm)

### 3.2 检测干涉体缺陷

(1) 蝶板过关闭 0.1 时, 可检测到干涉体有缺口, 说明密封带局部没有连续 (图 5)。

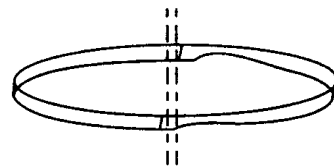


图 5 干涉体的缺口

(2) 蝶板逆时针开启 0.1 时, 可在阀杆方向右侧检测到上下两块干涉区 (图 6)。这对干涉区会随蝶阀开度逐渐缩小, 但一直可延续到开启度 18 时还有痕迹。它的存在使密封面在蝶板开启过程一直处于摩擦和磨损中, 并会进一步扩大过关闭时出现的缺口。

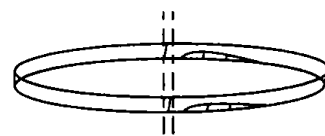


图 6 干涉体的干涉区域

### 3.3 修正

修正蝶阀的三偏心参数, 可以消除干涉体上出现的缺陷, 获得良好的密封条件。如扩大径向偏心  $e$  和圆锥半角的取值, 以及减小轴向偏心  $b$  的取值都可以消除缺陷 (表 2), 其中增大角度的效果最佳。但是径向偏心  $e$  的扩大受到阀体模具和毛坯的限制, 轴向偏心  $b$  的缩小又受到阀杆直径和蝶板装配尺寸的约束。而圆锥半角的改变则缩小了通用工装的适用范围。当小口径阀体取

12 时, 还有可能使  $P$  值 (图 4) 偏小甚至消失, 影响到阀体密封面的堆焊和加工, 而不得不扩大阀体的阀前通道直径。尤其需要注意的是扩大径向偏心  $e$  和圆锥半角的取值都会使密封力矩增大。

表 2 三偏心参数组合性能

取值方案	$e$ mm	$b$ mm	过关闭 mm	过关闭 0.1°	顺时针开启 0.1°
0	6	22	9°	见图 5	干涉
	12	不变	不变	合格	干涉
	不变	-4	不变	合格	干涉
	不变	不变	10°	合格	不干涉
	7	21	19°	合格	不干涉

因此按第 0 取值方案的思路, 对三偏心参数综合平衡修正, 也应是一种不错的选择。但无论怎样改变三偏心参数, 都不能克服三偏心蝶阀的三点弱项。不是全通路, 流阻系数大。密封面受不等量磨损后, 自我补偿功能是有限度的和局部的。耐高压性能不能持久。

#### 4 密封面形式的改变

如果选择球形密封面可以改善蝶阀性能。

图 7 中阀座和弓形蝶板的密封面为球形。阀门口径为 40 mm, 球面半径为 33 mm, 密封面宽度为 3 mm。取径向偏心  $e = 2$  mm, 轴向偏心  $b = 25$  mm。开启阀门, 顺时针旋转蝶板, 没有出现干涉。关闭阀门, 依次逆时针旋转蝶板  $-0.5^\circ$ 、 $-1^\circ$ 、 $-4^\circ$ , 分别创建干涉体, 观察可见干涉体环形带连续不间断且无缺口。

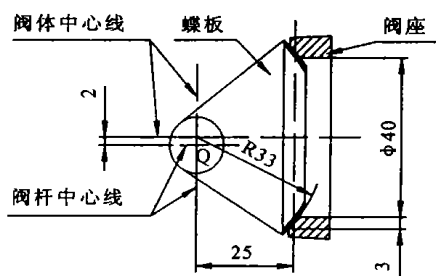


图 7 球形密封副

将 UCS 原点和 Y 轴向右移动 25 mm, 沿 Y 轴取干涉体中性截面, 并绕 Y 轴旋转  $90^\circ$ 。测量截面上下左右四点挤压量, 即金属挤压深度 (表 3)。

表 3 中性截面挤压量 mm

度数	上	下	左	右
$-0.5^\circ$	0.0202	0.0202	0.0203	0.0203
$-1.0^\circ$	0.0401	0.0401	0.0406	0.0406
$-4.0^\circ$	0.1560	0.1560	0.1606	0.1606

从表 3 中可以看到, 球形密封面中性截面周边挤压量差值不超过 0.01 mm, 显然, 在密封面磨损后, 挤压量能持续均匀有效地得到补充。如果将阀杆分为上下两段, 这种双偏心球面密封蝶阀也可以称作为全通径的单偏心半球阀 (图 8)。这种结构既保持了三偏心蝶阀启闭快捷轻巧的特点, 又以全通路流阻小、适用的工作压力温度高、密封面均匀磨损后可得到自我补偿等优点超越了三偏心多层次金属硬密封蝶阀结构。当然其结构偏长、球形密封面不宜加工等弱点也是显见的。

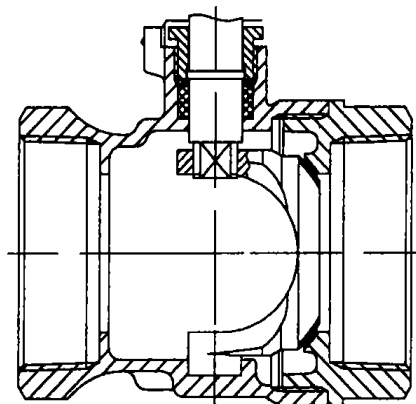


图 8 双偏心球面密封蝶阀

#### 5 结语

(1) 运用 AutoCAD 绘图软件检测密封副干涉, 快速便捷, 直观精度高, 可以为修正、验证和确定蝶阀的三偏心参数提供设计依据。

(2) 扩大径向偏心  $e$  值和圆锥半角值, 或减小轴向偏心  $b$  值可以消除密封面上金属挤压带干涉体的缺陷, 创建良好的密封条件。

(3) 三偏心多层次金属硬密封蝶阀的产品优势显赫, 其结构弱点也是现实的。密封面磨损后, 自我补偿功能是有限的和局部的, 如不在工艺上采取特殊手段, 其承受高压的能力是有限度的。

(4) 采用双偏心全金属球形密封面结构可以改善和克服三偏心多层次金属硬密封蝶阀密封结构形成的弱点。

#### 参 考 文 献

[1] 梁瑞, 等. 三偏心蝶阀金属密封副干涉三维分析. [J] 流体机械, 2003 (8), 18 - 20.  
 [2] 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

(收稿日期: 2006.08.07)