

上海合流污水治理工程主闸阀强度与刚度分析

清华大学工程力学系 陈 勇 尚 莹 陆明万

TH134

1. 前言

上海合流污水治理工程是国际招标项目。其主闸阀的设计和制造任务由铁岭阀门厂承担。为确保工程质量,铁岭阀门厂委托清华大学工程力学系对主闸阀设计方案进行强度与刚度分析。具体任务是:①用有限元程序计算主闸阀的强度与刚度;②用椭圆柱壳公式计算主闸阀阀体的强度;③用圆板公式计算闸板的刚度。

根据标书要求,上海合流污水工程彭越浦泵站 DN2000mm 的出口主闸阀采用液压驱动方式,其旁路闸阀也采用液压驱动方式。设计选定了平行式单闸板的结构密封形式。主闸阀的设计参数:公称通径 DN2000mm,公称压力 PN 0.6MPa,工作介质为污水,工作温度为常温。

2. 主闸阀有限元强度与刚度分析

本文用国际著名的 ADINA 非线性静动力分析通用有限元程序对主闸阀进行强度与刚度计算,并通过有限元计算确定:①主闸阀中的最大应力及其发生位置;②闸板密封面处的变形规律及最大变形量。

(1) 计算模型

由于结构与载荷的对称性,只取主闸阀阀体的 1/4 进行分析。共分 52 个 8 结点等参壳体单元和 12 个 3 结点等参梁元,共有 327 个结点 981 个自由度(图 1)。阀体上有加强筋,根据抗弯刚度相等的原则,把加筋壁面简化为均匀等厚壁面。对阀门进口侧(管内受压)和出口侧(管内无压)两种载荷工况都进行了分析,结果相差甚微,下面给出的是闸阀出口侧工况的结果。

(2) 计算结果

主闸阀阀体的变形情况见图 1(a),密封面的变形情况见图 1(b)。图中虚线为闸阀的原始形状,实线为变形后的形状,图 1(b)是出口侧管段沿 X 轴方向的视图,中间曲线是阀体与管段的相贯线。计算得到的各部位的应力最大值

(图 1)为:

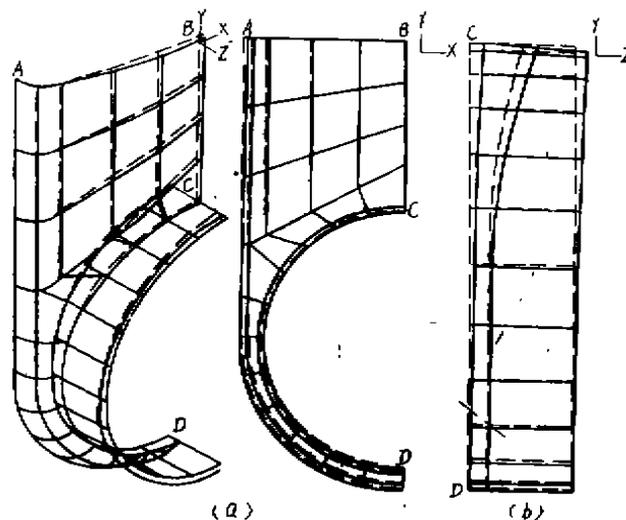


图 1 主闸阀阀体及密封面变形

a. 阀体的变形 b. 密封面的变形

椭圆柱形阀体小圆弧 A 点:薄膜应力 14.02MPa,弯曲应力 39.46MPa,峰值应力 75.50MPa;椭圆柱形阀体大圆弧 B 点:薄膜应力 12.91MPa,弯曲应力 24.03MPa。

密封面处的最大变形量为 0.26mm,发生在密封面的点 C 处。最低点 D 处变形量仅为 0.009mm。变形后的密封不再保持平面。

3. 椭圆柱形阀体的强度计算

为了给出主闸阀阀体强度的简单设计公式,本节把阀体简化为椭圆形柱壳。根据薄壳理论给出最大薄膜应力和弯曲应力的计算公式。

(1) 计算公式

采用保守假设,认为椭圆柱壳很长,横截面形状沿柱壳长度方向相同(图 1)。设椭圆长、短半轴分别为 a 和 b(图 2)则大圆半径为

$$R = \frac{(a^2 + b^2) + (a - b)\sqrt{a^2 - b^2}}{2b} \quad (1)$$

小圆半径为

$$r = \frac{(a^2 + b^2) - (a - b)\sqrt{a^2 + b^2}}{2a} \quad (2)$$

大、小圆的中心角分别为

$$\theta_1 = \arcsin \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (3)$$

$$\theta_2 = \arcsin \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (4)$$

A点和B点处的薄膜应力为

$$N_A = pa \quad (5)$$

$$N_B = pb \quad (6)$$

相应薄膜应力为

$$\sigma_A = \frac{pa}{h} \quad (7)$$

$$\sigma_B = \frac{pb}{h} \quad (8)$$

式中 h 为无筋处的壁厚, p 为内压。

坐标为 (x, y) 点处的弯矩计算公式为

$$M = \frac{p}{2} (X^2 + Y^2 - \frac{I_x + I_y}{S}) \quad (9)$$

式中弧长 S 和线惯性矩之和 $(I_x + I_y)$ 分别为

$$S = R\theta_1 + r\theta_2 \quad (10)$$

$$I_x + I_y = R[R^2 + (R - b)^2]\theta_1 + r[r^2 + (a - r)^2]\theta_2 - 2 \frac{2(2 - r)}{\sqrt{a^2 + b^2}} (R^2 - r^2) \quad (11)$$

将 $x = a, y = 0$ 和 $x = 0, y = b$ 分别代入(9)式, 可得到 A 点和 B 点处的弯矩 M_A 和 M_B 。

相应弯曲应力为

$$\sigma_A = \frac{6(1 - \mu^2)}{h^2} M_A$$

$$\sigma_B = \frac{6(1 - \mu^2)}{h^2} M_B$$

A 点处的薄膜应力和弯曲应力都大于 B 点, 下面仅计算 A 点处的应力值。

(2) 数值计算

已知主闸阀的数据为(见图 3)

$a = 116\text{cm}, b = 25\text{cm}, h = 5\text{cm}, h_c(A \text{ 点处}) = 16.3\text{cm}, p = 0.6\text{MPa}$

其中 h_c 为加筋后的等效厚度。

由计算得, 最大应力发生在 A 点内表面。该点处的薄膜应力为 $\sigma_n = 13.92\text{MPa}$, 弯曲应力为 $\sigma_b = 45.84\text{MPa}$, 当壁厚曲梁受弯矩作用时弯曲应力沿壁厚是非线性分布的, 用纯弯曲公式可算得内表面处最大弯曲应力为 $\sigma_0 = 60.97$

MPa。所以 A 点处最大应力为 $\sigma_{max} = 13.92 + 60.97 = 74.89\text{MPa}$ 。

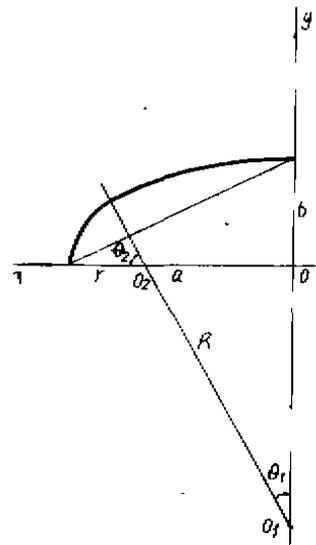


图 2 椭圆柱壳截面图

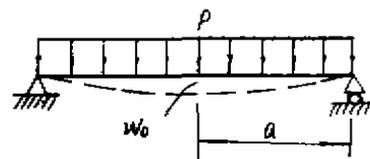


图 3 简支圆板

4. 闸板的刚度计算

(1) 计算公式

把闸板简化为周边简支圆板(见图 3), 其中心挠度计算公式为

$$w_0 = \frac{5 + \mu}{1 + \mu} \cdot \frac{1 + \mu a^4}{64D}$$

$$\text{式中 } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$

闸板两侧均有加强筋(图 4), 根据抗弯刚度等效的原则按下式简化为均匀板(图 3), 矩形截面的抗弯刚度为 $\frac{1}{12}bh^3$ 。

设等效板厚度为 h_c , 则, 根据等效抗弯刚度原理, 有

$$\frac{1}{12}b_1h_c^3 = \frac{1}{12}b_2h_2^3 + \frac{1}{12}(b_1 - b_2)h_1^3$$

其中, $b_1 = 16.8\text{cm}, b_2 = 8.0\text{cm}, h_1 = 6.0\text{cm}, h_2 = 25.0\text{cm}$, 则求得 $h_c = 11.5\text{cm}$ 。

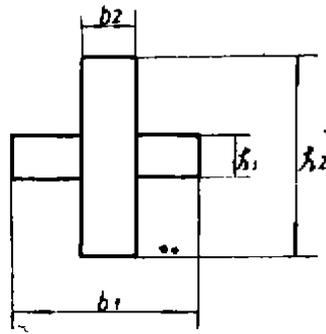


图4

(2)数值计算

已知: $p=0.6\text{MPa}$, $a=106.25\text{cm}^2$, $h_1=11.5\text{cm}$, $E=2\times 10^5\text{MPa}$, $\mu=0.3$ 。

其中, E 和 μ 按钢材取值。

由此求得

$$D=2.79\times 10^7\text{MPa}$$

$$W_0=0.175\text{cm}$$

5. 强度与刚度校核

② 4-6

双偏心斜板式蝶阀密封结构的设计

江苏启东阀门厂 袁念祥

TH134

A

摘要 介绍了双偏心斜板式蝶阀锥面密封蝶板的位置和结构的设计方法,并给出了其函数表达式和蝶板自由启闭的条件。

关键词: 蝶阀 密封副 结构

我厂开发设计的锥面密封蝶阀,采用了双偏心斜板式结构(图1)。经设计试制,该阀密封可靠,启闭力矩小,耐高温,适用于水、油品和含尘气体等介质。

1. 结构尺寸的设计

(1)作阀体径向对称线,使阀轴线在两法兰的对称线上。然后确定圆锥体底面距该对称线的距离 L , L 按阀轴与蝶板面有 3~10mm 的间隙而定。为了使阀体密封圈径向厚度大致相等,圆锥体的轴线相对于阀体的轴线取偏移量 H ,圆锥体的顶角为 2α ($\alpha=8^\circ 45'$),如图2。圆锥体

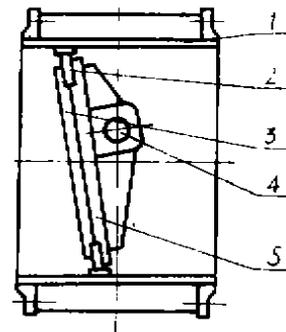


图1

1. 阀体 2. 密封圈 3. 压板 4. 阀轴 5. 蝶板

用有限元程序和板壳理论公式,对主闸阀的强度和刚度进行了分析,结果如下:

①主闸阀的最大应力发生在椭圆柱形阀体小圆弧A点处,其值为:

	有限元分析	板壳理论
薄膜应力 σ_m	14.02MPa	13.92MPa
弯曲应力 σ_b	39.46MPa	45.84MPa
最大应力 σ_{max}	75.50MPa	74.89MPa

球墨铸铁的许用应力为 $[\sigma]=90\text{MPa}$ 。因而从强度角度看,无论按那种计算结果主闸阀在设计压力 0.6MPa 下都是安全的。但应当控制水压试验的压力,以防止密封面产生过量变形。

②密封面顶部变形量最大,其值为 0.26mm 约为闸板中心的挠度 1.75mm 的 1/7。根据厂方的设计经验,这样的变形是容许的。因而密封是可靠的,不会造成过量泄漏现象。

为了确保设计方案和强度、刚度计算的可靠性,铁岭阀门厂专门制造了 1:1 的阀门试件,进行水压试验。试验结果证明,设计是合理可靠的,现已正式投产。