

基于 SolidWorks Flow Simulation 大口径蝶阀流场分析及结构对比

供稿 / 郑州市郑蝶阀有限公司 刘晓凯 袁林枫

蝶阀由于体积小,重量轻,操作维护方便在长距离输水管线被广泛运用。蝶阀的水头损失与阀板的结构密切相关,本文介绍了两种不同结构形式的阀板,运用 SolidWorks Flow Simulation 对不同阀板结构形式进行流场计算。计算结果表明,斜跨桁架式阀板的流通能力优于垂直筋板式阀板,在阀板的各个开度下,斜跨桁架式阀板流阻系数小于垂直筋板式阀板,管网水头损失小,节约能耗,对今后大口径输水蝶阀阀板的设计提供了有益的参考。

一、概述

随着我国城镇化的飞速发展,长距离输水管线的公称通径和公称压力不断提高,对大口径、低能耗输水蝶阀的需求越来越大。引水工程从上游水库取水,经取水泵站升压后,由输水连通管线输送至下游水厂,大口径管线输水蝶阀(以下简称蝶阀)安装在输水管线中段,通过控制阀板的启闭控制管线的连通与关闭,蝶阀在工作中阀板处于全开状态,在泵站检修或者紧急事故状态下关闭阀门,截断倒流回水,保证泵站的安全。

阀板是蝶阀内部流场的主要阻力部件,阀板的结构设计直接影响蝶阀的流阻系数,对管网能耗大小起决定性作用。本文以某大口径输水管线 DN4000PN10 蝶阀作为研究对象,运用 SolidWorks Flow Simulation 对两种不同结构形式的阀板进行流场计算。通过分析对比流场计算结果,探讨在蝶阀设计中减小阀板的流阻系数,提高蝶阀的使用性能,降低管网能耗损失。为蝶阀的优化设计提供了相应的依据。

二、阀板结构

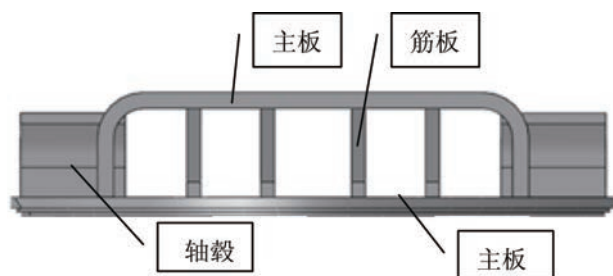
由于阀门的口径和压力不同,蝶板的结构形式也有所不同,小口径蝶阀阀板主要采用单平板和球冠型蝶板,大口径蝶阀的阀板结构形式常采用双平板式阀板,根据蝶板背板和筋板的拓扑结构的不同,分为垂直筋板式阀板和斜跨筋板式阀板。

1. 垂直筋板式阀板

垂直筋板式阀板由轴毂、主板、背板和四根垂直筋板组成,如图 1 所示。四根筋板把轴毂之间的阀板区域均分成面积相等的四等分,筋板垂直于主板,背板和筋板的迎水面为直边。



(a) 蝶板轴测图

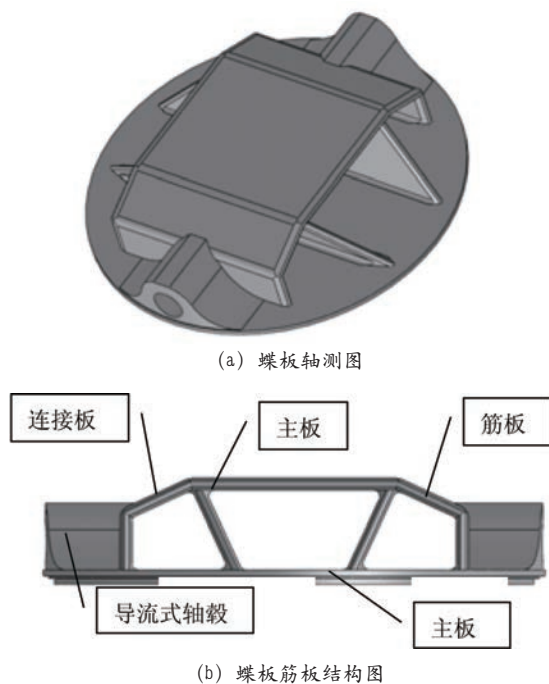


(b) 蝶板筋板结构图

图1 竖直筋板式阀板

2. 斜跨筋板式阀板

斜跨筋板式阀板由导流式轴毂、连接板、主板、背板和两根斜跨筋板组成，如图2所示。与竖直筋板式阀板相比，阀板重量不但减轻，而且强度和变形也优于竖直筋板式阀板。主板与背板之间的筋板由四根变为两根，倾斜布置，与主板的夹角为 65° ；背板与轴毂连接板之间的夹角为 25° ，轴



(c) 过渡倒角

图2 斜跨筋板式阀板

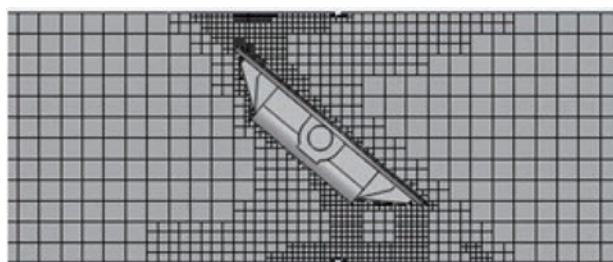
毂采用导流式设计，使流经轴毂的流体平稳过渡，筋板和背板的迎水面为流线型圆滑过渡倒角，减小对流体的阻力。

三、蝶阀流场数值计算

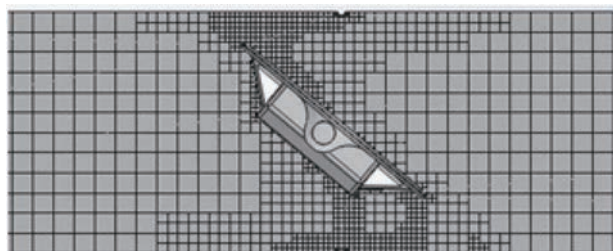
1. 蝶阀流场几何模型、网格划分及边界条件

随着计算机技术的不断发展与成熟，CAE 计算机辅助分析在产品设计和优化中发挥着重要的作用。对于大口径蝶阀，由于试验条件的限制，无法通过实验测试出，运用 SolidWorks Flow Simulation 软件模拟阀板内部的实际流动情况，可计算出蝶板在不同开度下的流阻系数，并对阀板的结构进行优化，降低局部阻力损失。

建立蝶阀内部流场的三维模型，根据《GB/T30832—2014 阀门流量系数和流阻系数试验方法》的规定，模拟试验介质为水，入口速度为 2m/s ，出口压力为标准大气压 101325pa ，进口管道长度为阀门公称通径的 5 倍，出口管道长度为阀门公称通径的 10 倍，在计算中，对狭小间隙和细小特征局部优化，采用自适应网格控制，使网格在求解计算期间自动根据计算结果对网格进行调整，得到最优网格解。如图3所示。



(a) 竖直筋板式阀板



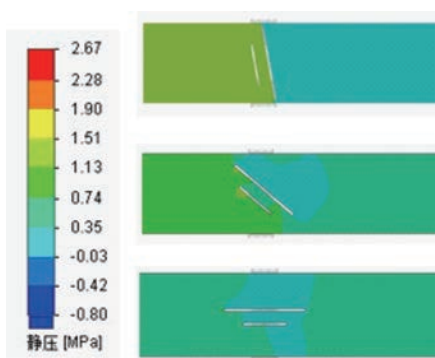
(b) 斜跨筋板式阀板

图3 蝶阀流场计算区域

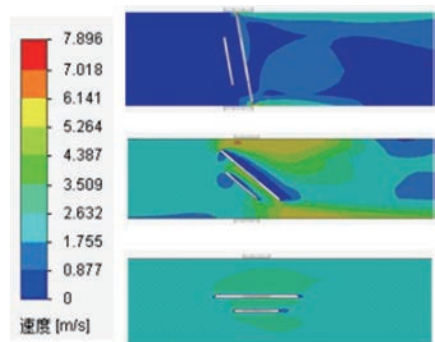
2. 蝶阀不同开度流场数值计算及结果分析

竖直筋板式阀板的流场分析如图4所示，阀板在 10° 开度时，过流通道很小，阀板前后侧压力分布不均匀，阀前

压力大，阀后压力小，阀板与管道之间的狭窄通道流速很高，在阀板下游侧，由于压力较低，会产生大面积的涡流。随着阀板开度的增加，在阀板开度 50° 时流动趋于平稳，在下游阀板处会出现局部涡流，流体在经过蝶板轴毂后，产生边界层分离现象，在轴毂背水侧会产生局部回流，形成旋涡，蝶板的迎水面为竖直平面，阻碍流体通过，并形成旋涡。当阀板在全开 90° 时，阀前阀后压力分布比较均匀，压力变化小，但阀板轴毂、背板和筋板的迎水面对水流的阻碍依然存在，流体通过阀板后，形成局部的旋涡，造成较大的压力损失。

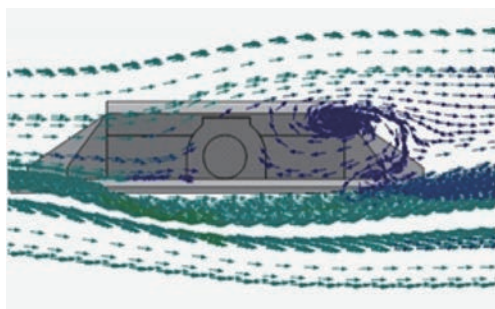


(a) 压力云图

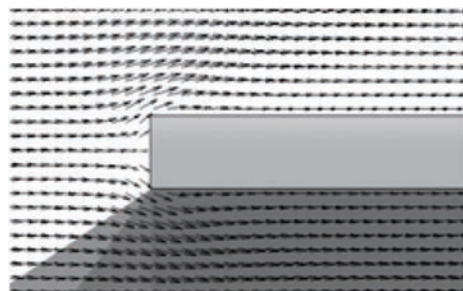


(b) 速度云图

(阀板开度从上到下依次为 10° , 50° , 90°)



(c) 90° 轴毂处速度流线图



(d) 背板和筋板迎水面流线图

图4 竖直筋板式阀板不同开度下流场分布图

斜跨筋板式阀板的流场分析如图5~8所示，阀板在 10° 开度时，阀板前后侧压力分布不均，阀前压力大，阀后压力小，阀板与管道之间的狭窄通道流速很高，由于流道狭窄，流态与竖直筋板式阀板相差不大。当阀板开启到 50° 时，阀板前后流态相对平稳，流体经过导流式轴毂后，经过平滑的过度，没有产生边界层分离现象，轴毂迎水侧和被水侧压力分布相对均匀，流态平稳，背板和筋板的迎水面改为过度倒角后，流态趋于平稳。当阀板在全开 90° 时，管道压力和流速分布均匀，流体在经过阀板后，轴毂、背板和筋板迎水面没有产生边界层分离现象，流态平稳。

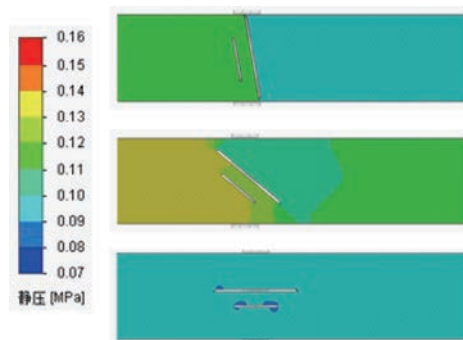
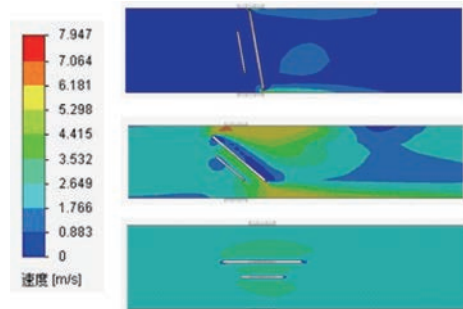


图5 斜跨筋板式阀板流场分布图的压力云图



(阀板开度从上到下依次为 10° , 50° , 90°)

图6 斜跨筋板式阀板流场分布图的速度云图

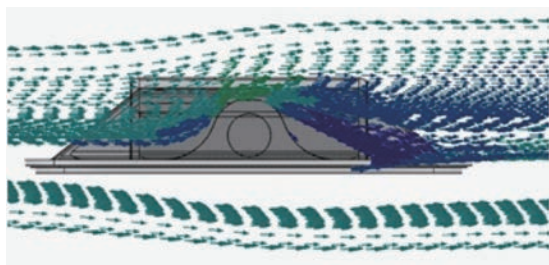


图7 斜跨筋板式阀板流场分布图的90°轴毂处速度流线图

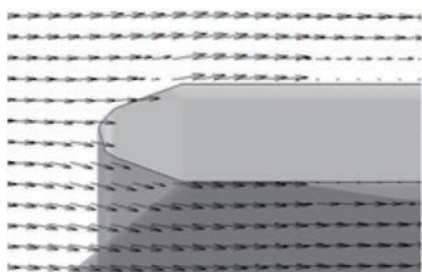


图8 斜跨筋板式阀板流场分布图背板和筋板迎水面流线图

3. 流阻系数

流阻系数表征阀门的流通能力，是衡量蝶阀性能优劣的重要指标，蝶阀的流阻系数越小，对流体的阻力越小，表明蝶阀更加节约能耗。流体流经阀门的流阻的系数可用公式表示：

$$\zeta = \frac{2\Delta p}{\rho v^2}$$

式中， ζ 为流阻系数； Δp 为压力损失，流体经过阀门的压力降，单位为Pa； ρ 为介质密度，单位为 kg/m^3 ； v 为管道流体平均速度，单位为 m/s 。

表 两种阀板在不同开度下的流场计算结果对比

阀板开度	压力损失 ΔP (Pa)			流阻系数 ζ		
	竖直筋板式阀板	斜跨筋板式阀板	减小百分比 $\Delta P/\%$	竖直筋板式阀板	斜跨筋板式阀板	减小百分比 $\Delta \zeta/\%$
90°	339	259	23.5	0.13	0.17	23.5
80°	1078	778	27.8	0.39	0.54	27.8
70°	3433	2515	26.7	1.26	1.72	26.7
60°	8483	6447	24	3.23	4.25	24
50°	20539	16387	20.2	8.21	10.29	20.2
40°	50639	42136	16.8	21.11	25.37	16.8
30°	134291	118223	12	59.23	67.28	12
20°	380438	346286	9	173.49	190.6	9.8
10°	837522	823410	1.7	412.53	419.6	1.7

从表中可以看出，在阀板的各个开度下，斜跨筋板式阀板流阻系数和压力损失均小于竖直筋板式阀板，在阀板开度小于30°时，由于阀板对流道的阻碍，流通面积较小，流阻系数和压力损失相差不大，在阀板开度大于40°时，斜跨筋板式阀板对比竖直筋板式阀板的流阻系数最大减小百分比达到27.8%，流通能力优于竖直筋板式阀板。

4. 能耗计算

在泵站输水系统中，流阻系数是设计和选用阀门的主要性能参数，流体通过蝶阀时，由于蝶阀的流阻产生的压头损失需要消耗泵的附加能力，蝶阀流阻系数的大小对降低管网损耗，有重要的影响。压头损失可直接转换成泵站电机消耗的电能。计算单台蝶阀一年消耗的电能可用公式表示为：

$$P = \frac{(23.8 \times Q \times \Delta H \times Sg \times U)}{\eta}$$

式中， P 为一年消耗电能，单位为 $\text{KW} \cdot \text{h}$ ； Q 为体积流量，单位为 m^3/h ； ΔH 为介质通过蝶阀的压头损失，单位为 m ； Sg 为流体相当于水的比重； U 为泵使用百分率（每天24小时）； η 为泵的效率（0.8）。

对于DN4000管网输水系统中，取管道平均流量 $90360\text{m}^3/\text{h}$ ，竖直筋板式阀板的压头损失 0.027m ，斜跨筋板式蝶阀的压头损失 0.035m ，竖直筋板式阀板的年耗电量 $94087\text{KW} \cdot \text{h}$ ，斜跨筋板式阀板的年耗电量 $72582\text{KW} \cdot \text{h}$ ，斜跨筋板式阀板每年比竖直筋板式阀板节约电能 $21505\text{KW} \cdot \text{h}$ ，因此，斜跨筋板式阀板具有非常显著的节能效果。

四、结语

(1) 本文基于SolidWorks Flow Simulation模拟，对竖直筋板式阀板和斜跨筋板式阀板的内部流场进行计算，通过流场计算结果可知，在阀板的各个开度下，斜跨筋板式蝶阀的压力损失和流阻系数小于竖直筋板式蝶阀。在阀板的全开位置，过对两种阀板的能耗进行计算，结果表明斜跨筋板式阀板能耗低于竖直筋板式阀板，节能效果显著。

(2) 通过运用SolidWorks Flow Simulation对阀板进行流场计算，确定了最佳的蝶阀结构，使蝶阀的使用性能大幅提高，此方法在蝶阀结构优化中值得推广。