

上翻式和侧翻式拍门水力特性对比研究

洪顺军¹, 李志鹏²

(长沙理工大学 能源与动力工程学院, 长沙 410114)

摘要: 为了分析拍门的水力特性, 以上翻式和侧翻式拍门为研究对象, 应用 Pro/E 软件进行三维建模, 应用 Fluent 软件对拍门开启角度为 30°、40° 及 50° 的出水流态进行数值模拟, 得到了两种拍门的水力损失值。研究结果表明, 侧翻式拍门克服了传统上翻式拍门的缺陷, 拍门开启角度大, 在同种工况下侧翻式拍门的水力损失更小, 水流流态更好。

关键词: 上翻式拍门; 侧翻式拍门; 拍门水力特性; 水力损失

中图分类号: TK72; TK05 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)02-0306-03

Comparison of hydraulic characteristics between upturning and side dump flap valves

HONG Shur jun¹, LI Zhi peng²

(College of Energy and Power Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to analyze the hydraulic characteristics of flap valve, the upturning and side dump flap valves were used as the research object, the three dimensional model of flap valve was developed using Pro/E software and the numerical simulation of outlet flow pattern was conducted using Fluent software under three opening angles of flap valve: 30°, 40°, and 50°. The hydraulic losses of the two flap valves were obtained. The research results proved that the side dump flap valve overcomes the disadvantages of traditional upturning flap valve in that it has a bigger opening angel, lower hydraulic loss, and better flow pattern under the same working conditions.

Key words: upturning flap valve; side dump flap valve; hydraulic characteristics of flap valve; hydraulic loss

安装在泵站管路末端的拍门具有止回作用。拍门应该具备启闭可靠灵活, 开启时开启角度较大、阻力小、水流流态好, 关闭时无泄漏现象、密封性能好等技术特点^[1-3]。由于传统上翻式拍门具有构造简单、可靠性好、开启灵活、成本低以及便于维修等优点^[4-6], 所以在泵站项目中得到广泛应用。但是上翻式拍门也有很多缺陷: 停机时拍门受水压及重力影响会对管道造成很大的撞击力、阻力大、能耗高、水力损失大、开启角度较小, 这些缺陷会降低泵站的运行效率^[7-9]。为此, 对传统上翻式拍门的结构作了改进, 设计了一种 DN=200 mm 的节能侧翻式拍门。根据这两种拍门的结构, 对同内径的两种拍门的水力损失以及水力特性进行对比分析, 为泵站节能提供指导。

1 上翻式和侧翻式拍门的结构

传统上翻式拍门较为常见, 当拍门处于正常运行状态时, 水流会将门板冲开而流出; 当泵停运时, 拍门受自身重力分量的作用自动下落, 门板受水压作用, 会被压紧于管道末端处, 能够防止水倒流。DN=200 mm 传统上翻式拍门的结

构见图 1。



图 1 上翻式拍门三维模型

Fig. 1 Three dimensional model of upturning flap valve

侧翻式拍门的结构和上翻式拍门相似, 由门座、门铰、门板以及密封件构成, 见图 2。

对比两种拍门的结构, 上翻式拍门关闭时门板与门座平行, 开启过程中门板由下朝上运动, 拍门流态受重力的干扰和影响较大; 侧翻式拍门门轴倾角为 α , 拍门门铰和竖直平面有一定夹角 δ , 即: 门板倾斜。水泵启动之后, 水流会冲开门板; 水泵停止运行时, 门板重力的分力会使拍门自动关闭, 拍门开启水力较小, 关闭时间较长。

收稿日期: 2014-11-20 修回日期: 2015-02-14 网络出版时间: 2014-03-20
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150320.1643.016.html>
基金项目: 2013 年湖南省研究生科研创新项目(CX2013B374)
作者简介: 洪顺军(1988-), 男, 贵州瓮安人, 主要从事流动过程的数值模拟与流体机械的优化设计研究。E-mail: hongshunjun@126.com



图2 侧翻式拍门三维模型

Fig. 2 Three dimensional model of side dump flap valve

2 水力损失分析

2.1 上翻式拍门水力损失

因为上翻式拍门门板会对水流造成阻碍,使管道出口处水的流向改变,从而产生水力损失。设拍门前后水流速度分别为 v_1 和 v_2 , 前后压力为 p_1 和 p_2 , 前后过流面截面积 s_1 和 s_2 。根据伯努利方程得:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + \Delta h \quad (1)$$

$$\Delta h = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \quad (2)$$

式(2)表明总水力损失由动能头损失和压头损失组成。

根据波尔达公式,出口处的水力损失为

$$\Delta h_2 = \zeta_2 \frac{v_1^2}{2g} \quad (3)$$

$$\zeta_2 = (1 - \frac{s_1}{s_2})^2 \quad (4)$$

式中: ζ_2 为水力损失系数。

利用式(2)减去式(3),得到拍门造成的水力损失为

$$\Delta h_3 = \Delta h - \Delta h_2 = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} - \frac{v_2}{g}(v_2 - v_1) \quad (5)$$

若水流出口处是大型水库或者水池,可以将 v_2 视为 0, 就有:

$$\Delta h_3 = \zeta_3 \frac{v_1^2}{2g} \quad (6)$$

式中: ζ_3 为拍门水力损失系数。

由于总水力损失是由出口损失和拍门损失组成的,根据式(3)和式(6),得:

$$\Delta h = \Delta h_2 + \Delta h_3 = (\zeta_2 + \zeta_3) \frac{v_1^2}{2g} \quad (7)$$

根据式(4),当 s_2 足够大时, $v_2 = 0$, $\zeta_2 = 1$, 总水力损失为:

$$\Delta h = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = (1 + \zeta_3) \frac{v_1^2}{2g} \quad (8)$$

式中: ζ 是管道出口处的总水力损失系数。当 $v_2 = 0$ 时, ζ_3 只和拍门的开启角度 β 有关。对于泵站拍门装置的阻力损失系数已有为少研究^[10-13]。根据《水泵手册》,其中利用上述方法计算了上翻式拍门的水力损失系数,见表 1。

表1 拍门水力损失系数

Tab. 1 Hydraulic loss coefficient of flap valve

$\beta(^{\circ})$	20	30	40	50	60
ζ_3	2.5	1	0.6	0.3	0.1
$\zeta(1 + \zeta_3)$	3.5	2	1.6	1.3	1.1

2.2 侧翻式拍门水力损失分析

侧翻式和上翻式拍门自动闭合合力均由门板重力分力来

提供,但分力大小差别大。当泵站正常运行时,侧翻式拍门接近全开,整个过程的能耗很低,水力损失比上翻式拍门要小。侧翻式拍门的水力损失和门轴倾角 α 以及垂直角 δ 有关,这两个角度越小,总的水力损失越小。设计时 α 和 δ 一般较小(通常小于 10°),理论上,泵站正常运行时,受水流的冲击,拍门开启角度通常会大于 70° 。根据计算拍门水力损失系数的经验公式^[14]: $\zeta = 1.2 \times 10^{-2} e^{0.076(90 - \alpha - \delta_m)}$, 可以得出侧翻式拍门的水力损失系数 $\zeta < 0.1$, 远小于上翻式拍门的水力损失系数。

从很多侧翻式拍门的设计及现场运行数据来看,侧翻式拍门水力损失系数的经验公式与拍门实践运行结果较为吻合,所以采用经验公式计算水力损失系数具有合理性,侧翻式拍门在正常运行时基本能够达到全开状态,因此水力损失系数较上翻式拍门小。

3 水力特性数值模拟分析

根据上翻式和侧翻式拍门的三维模型,针对两种拍门在开启角度为 30° 、 40° 及 50° 三种工况下的出水流态进行数值模拟,计算了每种工况下拍门的压力损失。设定流速 $V = 3 \text{ m/s}$, $DN = 200 \text{ mm}$, 所以两种拍门入口处流量均为 $0.3768 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

当拍门打开 30° 时,上翻式拍门网格采用六面体和四面体混合网格,共划分为 288 124 个网格;侧翻式拍门采用四面体混合网格,共划分为 103 317 个网格。模拟的速度矢量图分别见图 3、图 4。根据计算结果,上翻式拍门 30° 工况下压力损失为 2 271.4 Pa,侧翻式拍门同种工况下压力损失为 1 410.9 Pa。

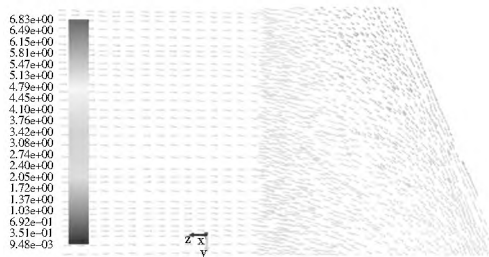


图3 上翻式拍门速度矢量图

Fig. 3 Velocity vector of upturning flap valve

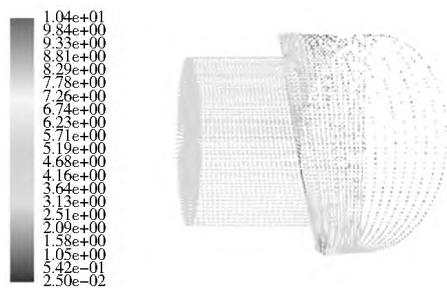


图4 侧翻式拍门速度矢量图

Fig. 4 Velocity vector of side dump flap valve

拍门开启角度为 40° 时,两种拍门均采用四面体混合网格,上翻式拍门共划分为 179 830 个网格;侧翻式拍门共划分为 171 423 个网格,其速度矢量图分别见图 5、图 6。拍门开启角度为 40° 时上翻式拍门压力损失为 1764.1 Pa,侧翻式拍门压力损失为 329.4 Pa。

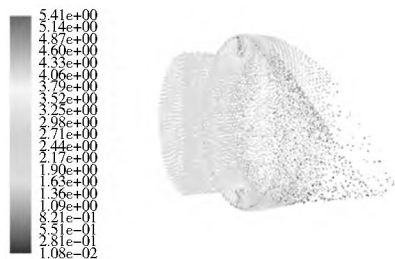


图 5 上翻式拍门速度矢量图

Fig. 5 Velocity vector of upturning flap valve

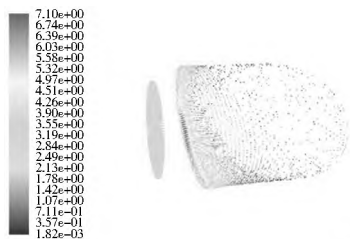


图 6 侧翻式拍门速度矢量图

Fig. 6 Velocity vector of side dump flap valve

拍门开启角度为 50° 时, 两种拍门均采用四面体混合网格, 上翻式拍门共划分为 137 618 个网格, 侧翻式拍门共划分为 70 382 网格, 其速度矢量图分别见图 7、图 8。拍门开启角度为 50° 时上翻式拍门压力损失为 558.9 Pa, 侧翻式拍门压力损失为 251 Pa。

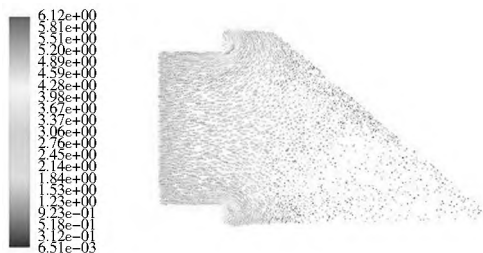


图 7 上翻式拍门速度矢量图

Fig. 7 Velocity vector of upturning flap valve

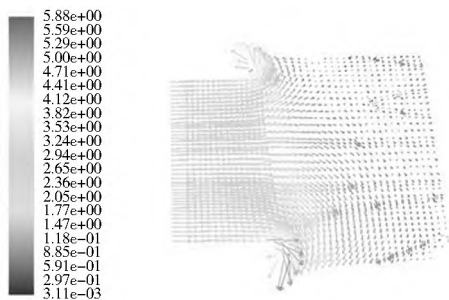


图 8 侧翻式拍门速度矢量图

Fig. 8 Velocity vector of side dump flap valve

从图 3- 图 8 可以看出, 上翻式拍门水流受拍门挤压严重, 主流偏向两侧, 而侧翻式拍门的流态有所改善, 主流偏向一侧, 流态稳定, 这种流型会一直存在。此外, 从上述计算结果可以看出, 同种工况下侧翻式拍门的压力损失小于上翻式拍门的水力损失。通过计算, 得到 $DN = 200\text{ mm}$ 上翻式拍门的阻力系数为 0.46。

拍门水力损失可按下式计算^[15]:

$$\Delta h_p = \zeta_p \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

式中: ζ_p 为拍门阻力系数; v 为拍门前管道流速; g 为重力加速度。

将流速 $v = 3\text{ m/s}$ 代入公式 (9) 计算可得, 上翻式拍门水力损失为 0.211 m, 侧翻式拍门水力损失为 0.046 m。

综上可知, 侧翻式拍门的阻力系数 (≤ 0.1) 以及水力损失 (0.046 m) 明显低于上翻式拍门的阻力系数 (0.46) 及水力损失 (0.211 m)。

4 结语

(1) 与传统上翻式拍门相比较, 侧翻式拍门在结构方面有了较大的改进, 门板倾斜, 开启角度更大, 可近乎于全开, 通流能力增大。

(2) 在同种工况下, 侧翻式拍门压力损失小、阻力系数小、水力损失小, 同时具有运行时水力小、节省电费、能耗低及安装维修方便等优点。

参考文献 (References):

- [1] 李明文. 节能型侧翻式拍门在宁夏大型灌排泵站的应用[J]. 人民黄河, 2013, 35(11): 82-83. (LI Ming wen. The application of energy-saving rollover type flap valve in large scale irrigation and drainage pumping stations in Ningxia[J]. Yellow River, 2013, 35(11): 82-83. (in Chinese))
- [2] 项春. DN1200 自由侧翻式拍门在浙江省诸暨某泵站中的应用研究[J]. 浙江水利水电专科学校学报, 2010, 22(3): 5-8. (XIANG Chun. Study on the application DN1200 free rollover type flap valve in a pumping station in Zhuji City of Zhejiang Province[J]. School Journal of Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, 2010, 22(3): 5-8. (in Chinese))
- [3] 张意. 节能型自由侧翻式拍门[J]. 中国水利, 2007(1): 83. (ZHANG Yi. Energy saving free rollover type flap valve[J]. China Water Resources, 2007(1): 83. (in Chinese))
- [4] 陈坚, 李娟, 周龙才, 等. 新型自由侧翻式拍门研究[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(1): 66-69. (CHEN Jian, LI Juan, ZHOU Long cai, et al. A study on the new free rollover type flap valve[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(1): 66-69. (in Chinese))
- [5] 李天祥, 李迎春, 何志森, 等. 节能型自由侧翻式拍门在泵站改造中的应用[J]. 流体机械, 2008, 36(8): 48-49. (LI Tian xiang, LI Ying chun, HE Zhi sen, et al. The application of energy saving free rollover type flap valve in pump station renovation[J]. Fluid Machinery, 2008, 36(8): 48-49. (in Chinese))
- [6] 王兴恩, 陆一婷, 杨清华. 某水电站大孔口深孔弧形闸门设计探讨[J]. 水利水电技术, 2013, 44(8): 73-77. (WANG Xing en, LU Yi ting, YANG Qing hua. A discussion on the design of the large orifice deep hole radial gate of a hydroelectric station[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2013, 44(8): 73-77. (in Chinese))
- [7] 郝春明, 万继芳, 黄季艳. 常熟水利枢纽泵站水泵典型故障分析与改造[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 44-47. (HAO Chun ming, WAN Ji fang, HUANG Ji yan. Analysis of typical errorson main pumps and renovation scheme in Changshu Pumping Station[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 44-47. (in Chinese))

(下转第 329 页)

- Haibo, XUE Xiaqing, SHAO Jingli, et al. Study of geothermal field chemistry in Inner Mongolia Linhe Region[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2013, 34(1): 102-104. (in Chinese)
- [13] 温煜华, 王乃昂, 朱锡芬, 等. 天水及其南北地区地热水水化学特征及起源[J]. 地理科学, 2011, 31(6): 668-673. (WEN Yihua, WANG Na'ang., ZHU Xifan, et al. Hydrochemistry of geothermal water in Tianshui and its Northern southern Area [J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(6): 668-673. (in Chinese))
- [14] 黄伟斌, 潘树仁. 丁致中苏南地区地下热水的化学特征[J]. 江苏煤炭, 2001(6): 8-10. (HUANG Weibin, PAN Shuren, DING Shuren. Hydrochemistry of geothermal water in Surnan Area [J]. Scientia Energy Technology and Management, 2001(6): 8-10. (in Chinese))
- [15] 王莹, 周训, 于媛, 等. 应用地热温标估算地下热储温度[J]. 现代地质, 2007, 21(4): 605-612. (WANG Ying, ZHOU Xun, YU Yuan, et al. Application of geothermometers to calculation of temperature of geothermal reservoirs [J]. Geoscience, 2007, 21(4): 605-612. (in Chinese))
- [16] 汪集旸, 熊亮萍, 庞忠和. 中低温对流型地热系统[M]. 北京: 科学出版社, 1993. (WANG Jiyang, XIONG Liangping, PANG Zhonghe. Low-medium temperature geothermal system of convective type [M]. Beijing: Science Press, 1993. (in Chinese))
- [17] Giggenbach W F. Geothermal solute equilibria derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1988, 52: 2749-2765.
- [18] 于媛. 北京城区地热田地下水的水化学及同位素研究[D]. 北京: 中国地质大学水资源与环境学院, 2006. (YU Yuan. A study of hydrochemistry and isotopes in thermal groundwater in the urban geothermal field of Beijing [D]. Beijing: Schoole of Water Resources and Environment China University of Geosciences, 2006. (in Chinese))
- [19] Arnorsson S, Sigurdsson S, Svarvarsson H. The chemistry of geothermal water in Iceland I. Calculation of aqueous speciation from 0 to 370 °C [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1982, 46: 1513-1532.
- (上接第 308 页)
- [8] 陈坚, 娄红岩, 李娟. 大口径自由侧翻式拍门结构和撞击力计算[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(4): 44-47. (CHEN Jian, LOU Hongyan, LI Juan, et al. Structure and impact force calculating of the Side turn over flap valve of large diameter [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(4): 44-47. (in Chinese))
- [9] 王志祥, 李端明, 李娜, 等. 泵站不同类型拍门的开启角和撞击力分析[J]. 中国农村水利水电, 2012(7): 87-90. (WANG Zhixiang, LI Duaming, LI Na, et al. Opening angle and impact force analysis of different types flap valve in pumping station [J]. China Rural Water and Hydropower, 2012(7): 87-90. (in Chinese))
- [10] Anthony Spiteri Staines. Modeling and analysis of a cruise control system [J]. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2008, 3(10): 652-656.
- [11] Demm DM, Hallman Eric. Power take off (PTO) safety [R]. Department of Agricultural and Biological Engineering, Cornell University, New York, 2009.
- [12] 杨帆, 周济人, 刘超. 泵装置拍门水力损失数值模拟与试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(9): 108-112. (YANG Fan, ZHOU Jiren, LIU Chao. Numerical simulation and experiment of hydraulic loss of pump unit flap valve [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 108-112. (in Chinese))
- [13] 成立, 刘超. 大型泵站水力稳定性探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(2): 75-77. (CHENG Li, LIU Chao. A discussion on the hydraulic stability of large pumping station [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(2): 75-77. (in Chinese))
- [14] 何志坚, 叶锋. 侧向式拍门流态分析及能效估算[J]. 陕西水利, 2013: 119-120. (HE Zhijian, YE Feng. Flow analysis and efficiency estimation of lateral flap valve [J]. Shanxi Water Resources, 2013: 119-120. (in Chinese))
- [15] 朱红耕, 冯汉民. 拍门水头损失系数试验研究[J]. 排灌机械, 1994(3): 49-51. (ZHU Honggen, FENG Hanmin. Experimental study on hydraulic loss coefficient of flap valve [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 1994(3): 49-51. (in Chinese))