

# 低扬程泵站拍门水压消能 关键技术研究与应用

蒋 涛<sup>1</sup>, 薛海鹏<sup>2</sup>, 戴庆云<sup>2</sup>, 严登丰<sup>3</sup>

(1. 江苏省骆运水利工程项目管理处, 江苏 宿迁 223800; 2. 江苏省秦淮河水利工程项目管理处, 江苏 南京 210022;  
3. 扬州大学水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225000)

**摘要:**江苏省低扬程泵站通常使用拍门作为断流装置, 泵站实际运行过程中常会遇到停机后拍门因水流扰动影响而延时关闭, 造成拍门撞击力过大产生剧烈的水锤压力等问题。为有效避免拍门受外力损伤, 提高工程安全可靠, 研制探索一种新型拍门水压消能装置, 安装在拍门底部, 借以消减落门动能, 避免危害性撞击, 保障泵站工程安全运行, 可为类似泵站管理运用提供参考。

**关键词:** 泵装置; 水锤压力; 拍门; 撞击力; 消能

中图分类号: TV675

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2023)01-0062-0003

## Key technology research and application of hydraulic energy dissipation in low-lift pumping station flap valve

JIANG Tao<sup>1</sup>, XUE Haipeng<sup>2</sup>, DAI Qingyun<sup>2</sup>, YAN Dengfeng<sup>3</sup>

(1. Luoyun Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Suqian 223800, China;  
2. Management Division of Qinhuai River Hydraulic Engineering of Jiangsu Province, Nanjing 210022, China;  
3. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225000, China)

**Abstract:** In Jiangsu Province, low-lift pumping stations usually use flap valve as flow-cutting devices. During the actual operation of the pumping station, it is often encountered that the flap valve is delayed to close due to the influence of water flow disturbance after the shutdown, resulting in the excessive impact force of the flap valve and the severe water hammer pressure. In order to avoid the flap valve being damaged by external force effectively and improve the safety and reliability of the project, a new type of water pressure energy dissipating device is developed for the flap valve which is installed at the bottom of the flap valve to reduce the kinetic energy of the falling valve, to avoid harmful impacts, and to ensure the safe operation of the pumping station project. It can provide a reference for the management and application of similar pumping stations.

**Key words:** pump device; water hammer pressure; flap valve; impact force; energy dissipation

我国南方大部分地区江河纵横、湖泊遍布, 汛期需要排水, 遇旱需要灌溉, 兴建了大量低扬程泵站<sup>[1]</sup>。大中型泵站截流闭锁装置(工作门)常用虹吸

真空破坏阀、油压快速闸门或拍门。泵站闭锁装置要求启门迅速, 闭门可靠, 水力损失小, 为限制停泵时出现飞逸(无拘束倒转)或飞逸时间超长, 要求快

收稿日期: 2022-09-19

作者简介: 蒋涛(1982—), 男, 高级工程师, 主要从事水利工程管理与安全生产工作。E-mail: 76048045@qq.com

速闭门。相比之下,拍门有突出的优点,采用拍门的泵站,水泵启动后门页受水流顶托自动开启。水泵正常运行中,门页在水流顶托力与浮重力作用下,平衡于一定张起角度,设计合理的拍门水力损失很小。停泵时,水流顶托力渐小直至回零、变向,拍门下落,其后在自重及反向水头作用下可靠闭门<sup>[2]</sup>。拍门结构简单,特别是停泵后闭门历时短,利于保护主机泵安全<sup>[3]</sup>。但是,常用悬吊式拍门若门体过重,可能开启不足,增大水力损失。停泵时,若门体过轻,门后无通气孔或通气不佳,则可能产生危害性撞击。结合武定门和秦淮新河泵站实际运行中拍门存在的问题,研制了一种新型拍门水压消能装置,安装于拍门底部,借以消减落门动能,避免危害性撞击,实际应用效果良好。

## 1 工程概况

### 1.1 武定门泵站

武定门泵站位于南京市武定门外秦淮河右堤,下游距入江口 12.6 km,上游距河定桥 10.8 km,是秦淮河流域主要控制水利枢纽工程之一。泵站工程于 1967 年 11 月动工兴建,1969 年 5 月竣工。泵站为“X”型流道双向灌排两用泵站,设计流量  $46 \text{ m}^3/\text{s}$ ,灌溉设计扬程 2.8 m,排涝设计扬程 2.5 m。泵站上、下游出水道口采用  $2.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$  整体式拍门控制。实际运用发现,拍门张起角度能达到  $65^\circ$  左右,水力损失小,水泵停机后第一阶段(正转正流)拍门开始下落,第二阶段(正转逆流)或第三阶段(逆转逆流)初始时闭门。但是,因平衡重装置作用,落门受阻,第三阶段初始仍有较大张起角度,直至产生较大的反向水头时才闭门,闭门速度大,易造成撞击和门页、止水破坏。

### 1.2 秦淮新河泵站

秦淮新河泵站位于南京市雨花台区天后街道秦淮新河入江口处,于 1982 年建成,2002 年进行加固改造,为双向灌排两用泵站,Ⅱ级水工建筑物,安装 1700ZWSQ10-2.5 型双向卧式轴流泵,配有 Y500-6/630 kW 型卧式异步电动机 5 台套, B2SH11 齿轮箱 5 台套,总装机容量 3 150 kW,正反向设计流量  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,正向(灌溉)设计扬程 2.5 m,反向(排涝)设计扬程 2.0 m,平面“S”型流道,快速闸门断流。泵站闭锁装置采用油压快速闸门,为避免水泵启动时闸门提升过慢出现“闭阀启动”,闸门上加了溢流孔,另设  $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$  小拍门。实际运用发现,小拍门亦有停泵撞击现象存在,并有闭门不严问题,甚

至出现过水泵倒转。

## 2 水压消能器设计

水压消能装置是流体力学基础研究成果的实际应用,属于液压机械设计领域。水压消能装置带有泄流孔,其工作机理是通过泄水水力能与拍门机械能之间的传递转换,消减动能避免危害性撞击。拍门闭门旋转运动具有动能,定量计算消能效果根据能量平衡原理实现。水压消能装置包括带空腔的缓冲缸及带有撞击杆的活塞,活塞安装于缓冲缸空腔内,活塞杆上铣出导向槽,与缓冲缸腔壁对应位置处设有导向螺钉,缓冲缸底部有座板,空腔内有复位弹簧。水压消能装置可以做成双腔型或单腔型,武定门与秦淮新河泵站单腔型消能装置示意图见图 1。水压消能装置安装于拍门门页底部,与门页成一体型结构,缓冲缸的泄水孔连通腔壁内外。活塞杆端撞击体承受撞击力,通过泄水孔泄水形成缓冲,缓冲结束再启门时,带有活塞杆的活塞在复位弹簧作用下自动复位。

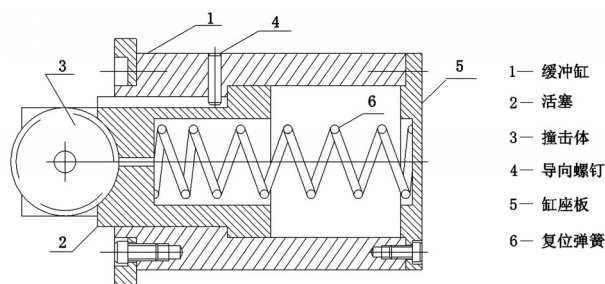


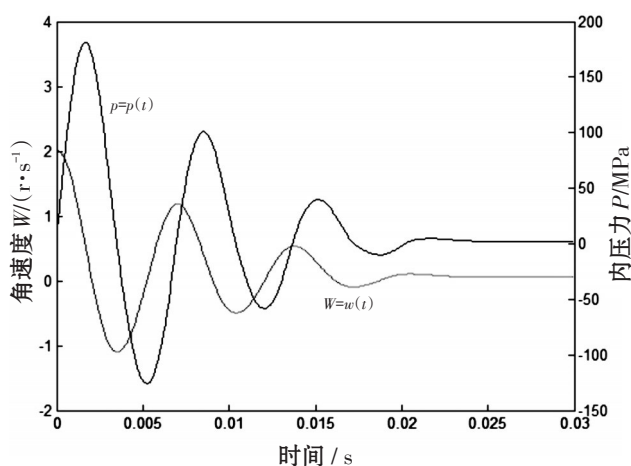
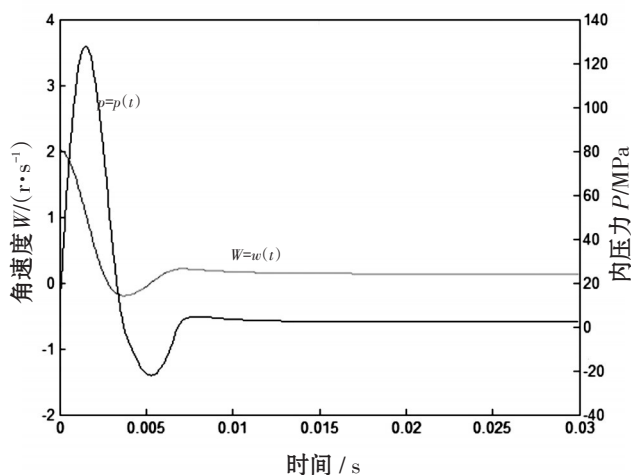
图1 单腔式消能装置示意

## 3 水压消能装置缓冲压力

对照单腔消能装置,通过相关计算式<sup>[4]</sup>求解储水容积内瞬时压力,可知武定门泵站拍门转动惯量为  $1\,200 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ,设闭门角速度为  $2.0 \text{ rad/s}$ ,旋转动能为  $2\,400 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ 。对照单腔消能装置可计算绘制出如图 2 所示的缓冲效果,由图 2 可知,拍门接触消能装置后旋转角速度急速下降,约 0.02 s 停止,缸内最大压力约 180 MPa。旋转动能相同条件下,若加大泄水孔,则撞击历时减短,缸内最大压力降低。图 2 为泄水孔  $d=4 \text{ mm}$  消能装置缓冲效果,图 3 为泄水孔  $d=6 \text{ mm}$  消能装置缓冲效果。

## 4 水压消能装置检测试验

针对图 2、图 3 缓冲效果系理论计算结果,带水

图2 消能装置缓冲效果(泄水孔  $d=4$  mm)图3 消能装置缓冲效果(泄水孔  $d=6$  mm)

压消能装置拍门现场测试比较复杂,为实际验证,室内检测很有必要。水压消能装置检测试验采用IEPE压电式加速度传感器,测试系统PCB9155D。加速度传感器试验时与消能装置活塞联结,所测得的加速度即消能装置活塞的运动加速度,试验方案为撞击锤(270 N)以自由落体方式撞击消能装置。

实际试验时分为3种情况,即重锤自由下落高度  $H$  分别为0.5 m、1.0 m和1.5 m。以  $H=1.0$  m为例进行计算,剪断吊索0.452 s重锤撞击消能装置,撞击时速度为4.43 m/s,撞击能量为  $260 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ 。由  $H=1.0$  m时的水压消能装置撞击(活塞运动)波线可知,水压消能装置撞击初始最大加速度为  $1.102 \text{ m/s}^2$ ,震荡中最小加速度为  $-0.129 \text{ m/s}^2$ 。水压消能装置缓冲过程中,加速度由正至负渐减,直至回零。当  $H=0.5$  m时,撞击初始最大加速度为  $0.678 \text{ m/s}^2$ ,震荡中最小加速度为  $-0.074 \text{ m/s}^2$ 。通过对比可知,不同重锤下落高度消能装置缓冲过程规律一致,对照理论计算缓冲过程中拍门运动与活塞运动趋势一致。

## 5 结 语

在工程实际运用中,拍门水压消能装置可根据实际条件设计成多种型式。缓冲腔数可单腔、可双腔,消能机理可为泄水式或弹性缓冲体等。本文研制的武定门和秦淮新河新型拍门水压消能装置经科学检测试验,检测结果与设计计算结果一致,并在实际安装拍门时也注意了合理确定安装位置,设置可靠的撞击支承以及对门页局部强化处理等。就水力性能而言,上述装置经现场试用能满足工程需要,该水压消能装置结构简单,价格便宜,运行安全,值得推广。

### 参考文献:

- [1] 黄亮. 水资源可持续发展存在的问题及对策[J]. 水土保持应用技术, 2013(4): 32-34.
- [2] 严登丰. 泵站工程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [3] 严登丰. 泵站过流设施与截流闭锁装置[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [4] 颜红勤. 拍门、快速闸门缓冲装置研究[D]. 扬州: 扬州大学, 1998.