



# 船闸闸墙长廊道侧支孔水力特性

黎贤访<sup>1</sup>, 李 云<sup>2</sup>, 邓润兴<sup>1</sup>

(1. 长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430010; 2. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 船闸闸墙长廊道侧支孔充水具有不均匀性, 影响闸室停泊条件。通过建立 CFD 数学模型, 并经物模验证, 研究闸墙长廊道侧支孔充水的水力特性及其对闸室自由水面运动的作用。结果表明, 充水初期与后期的支孔流量分配规律相反, 充水不均匀造成闸室水面长波运动。

**关键词:** 船闸; 廊道; 支孔; 水力特性

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)04-0177-03

## Hydraulic characteristics of long culvert with side branch orifices in wall of lock chamber

LI Xian-fang<sup>1</sup>, LI Yun<sup>2</sup>, DENG Run-xing<sup>1</sup>

(1. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Water-filling is non-uniform by long culvert with branch orifices of shiplock, which impacts the mooring conditions of the lock chamber. Hydraulic characteristics of the process of water-filling by long culvert with side branch orifices and its influence on the free-surface movement of lock chamber are studied based on the CFD model and verified by the physical model. The results show that the law of flow distribution among orifices at the beginning is opposite to which in the later period, and the non-uniform water-filling causes long wave on the free surface of lock chamber.

**Keywords:** shiplock; culvert; branch orifice; hydraulic characteristics

船闸分散输水系统闸室段多采用带多支孔的廊道输导水流, 廊道水流在支孔间分配不均匀是普遍存在的现象。闸室充水阶段, 支孔流量在闸室底部各区域的差异易造成闸室内水体的大体积流动, 对闸室内船舶停泊条件产生重要影响。

国内外研究闸墙长廊道侧支孔输流水力特性一般采用基于 Bernoulli 方程的一维水力学计算方法, 如张瑞凯等<sup>[1]</sup>针对船闸廊道复合管不稳定流数学模型的研究, 杨朝东等<sup>[2]</sup>计算船闸分散输水系统中的多支管流量分配的方法, Stockstill 等<sup>[3]</sup>结合 Arkansas 等船闸模型试验结果计算闸墙长廊道侧支孔的水力特性等。该方法需准确率定模型参数, 而针对不同的船闸, 参数的取值往往严重依赖研究者的经验。

通过建立 CFD 三维数学模型模拟闸室充水过程, 并用水力学模型试验结果验证, 研究船闸长廊道侧支孔充水的水力特性, 为优化长廊道侧支孔输水系统布置提供帮助。

## 1 数学模型

### 1.1 闸墙长廊道侧支孔形式

在实际船闸闸室输水结构的基础上简化, 得出闸墙长廊道侧支孔布置形式如图 1 所示。闸室尺寸 100 m × 15 m × 4 m (长 × 宽 × 门槛水深), 廊道断面尺寸 3 m × 3 m (宽 × 高), 支孔尺寸 2.5 m × 1 m × 1 m (长 × 宽 × 高); 闸室两侧底部各布置 1 排 9 个等间距支孔, 间距 7.5 m; 两侧支孔交错布置。

收稿日期: 2014-07-04

作者简介: 黎贤访 (1983—), 男, 博士, 工程师, 从事通航建筑物设计与研究。

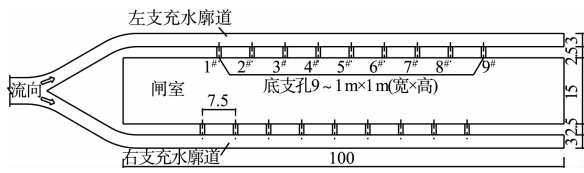


图1 闸墙长廊道侧支孔布置形式 (单位: m)

### 1.2 控制方程、计算网格及边界条件

基于 RNG  $k-\epsilon$  湍流模型建立闸墙长廊道侧支孔输流数学模型, 模拟区域、边界条件及计算网格 (图2)。进口模拟上游来流, 采用“速度-时间”边界条件:

$$\begin{cases} u_x = Q(t)/s \\ u_y = u_z = 0 \\ \partial u/\partial n = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $Q(t)$  为廊道实测流量,  $s$  为主廊道断面面积。出口的运动流体为空气, 采用恒定压力边界条件:  $p=0$ 。壁面采用无滑移壁面条件。

计算网格采用四面体网格, 在侧支孔周边区域作加密处理, 模型计算单元总数为 1 304 240, 节点数为 274 016, 单元格的体积控制在  $0.63 \sim 1\ 719.85\ \text{mm}^3$ 。

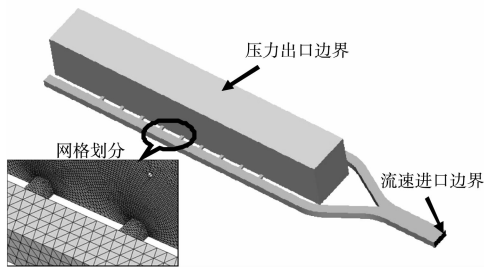
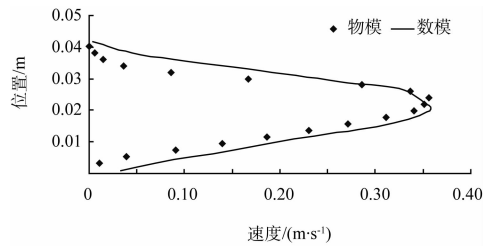


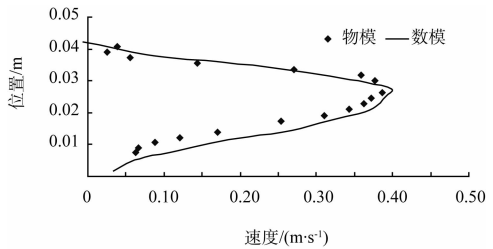
图2 区域、边界条件及计算网格

### 2 数值方法及结果验证

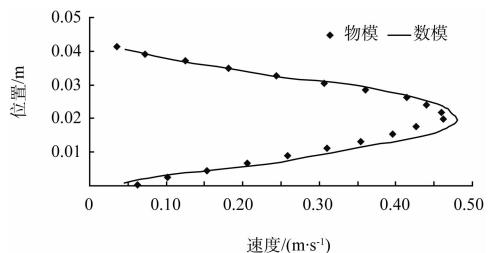
RNG  $k-\epsilon$  湍流模型方程组离散化采用一阶迎风格式, 求解压力速度耦合采用 SIMPLE 方法, 计算闸室自由水面采用 vof 方法; 计算时间步长为 0.001 s, 求解量相邻迭代计算结果的误差小于 0.001 判别为收敛。建立几何比尺为 1:50 的物理模型, 测量特定时刻 1#、3#、7#、9# 支孔前垂向流速分布结果, 并与数学模型计算结果对比 (图3)。模拟值与试验值两者吻合较好, 相对误差在 2.8% 以内, 证明闸墙长廊道侧支孔输流数学模型的模拟值准确。



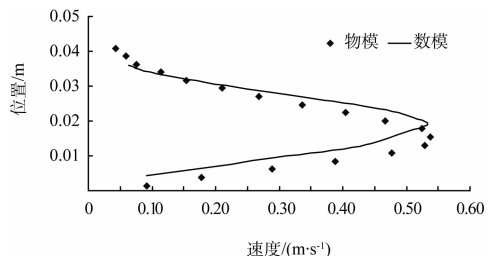
a) 1#孔



b) 3#孔



c) 7#孔



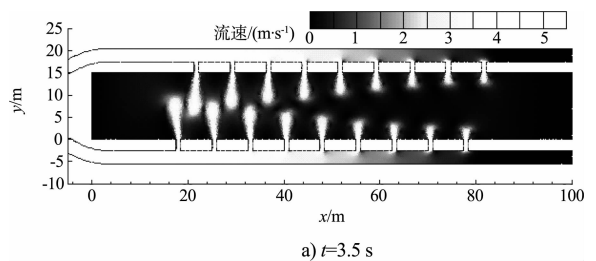
d) 9#孔

图3 模拟值与试验值对比

### 3 水力特性分析

#### 3.1 支孔射流流态

截取距离闸室底面 0.5 m 的水平面, 各时刻流速分布如图 4 所示。



a)  $t=3.5\ \text{s}$

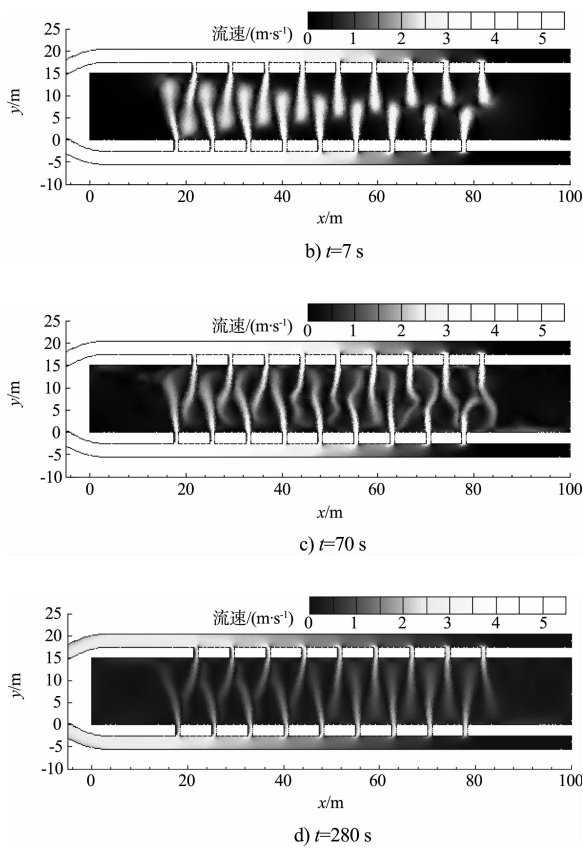


图 4 支孔射流流速云图

支孔流态特征表现为: 1) 在充水开始阶段, 1#~9#支孔依次向闸室射流, 即沿主廊道越靠近上游, 支孔射流越早开始; 2) 射流沿支孔中心线延伸, 两侧支孔射流相互交错, 尾端扩散、摆动、对流现象明显; 3) 1#~5#支孔射流向上游偏转, 越靠近上游的支孔的偏转角越大, 8#、9#支孔射流稍向下游偏转。

### 3.2 侧支孔流量分配

沿廊道各支孔的流量随时间变化的过程如图 5 所示。在充水开始阶段的短暂时期, 1#~9#支孔流量自上游至下游递减, 之后演变为自上游至下游递增的状态; 从输水全过程看, 支孔越靠近下游从廊道中分配的流量越大。在输水开始后 7~280 s, 1#支孔与 9#支孔的流量之比约为 1:1.35~1:1.39; 在 560 s 时刻, 1#支孔与 9#支孔的流量之比约为 1:1.99。结果表明, 随着输水时间的延续, 上下游支孔流量的相对差异逐渐扩大。

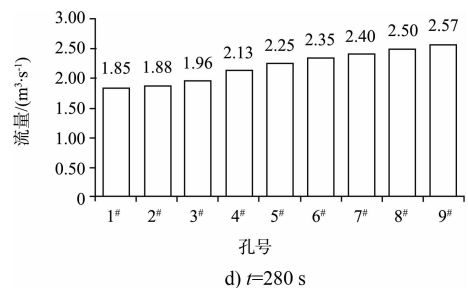
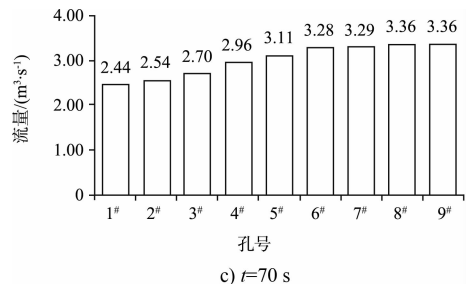
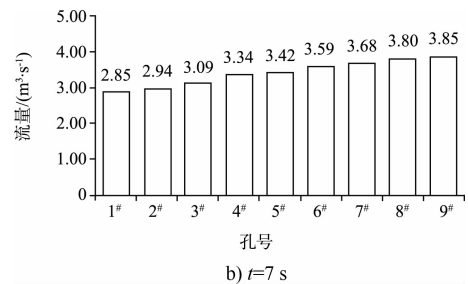
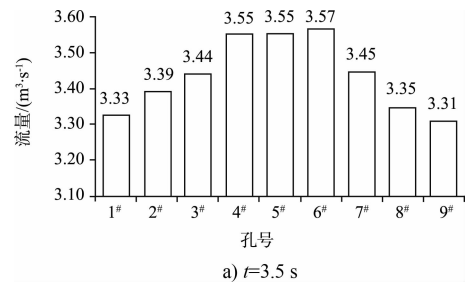


图 5 支孔射流流量

### 3.3 闸室水面

输水系统充水不均匀是造成闸室内大体积水体流动的主要原因, 充水阶段闸室内自由水面的变化如图 6 所示。在充水初期, 闸室内水体产生明显的波动, 波长约 50 m; 7~85 s 区间, 波峰与波谷的落差由 0.41 m 递增至 0.82 m; 排除长波造成的水面起伏, 闸室沿纵向的水面坡降很小。结果表明, 闸墙长廊道侧支孔充水主要造成闸室水面长波运动。所以, 降低闸室长波波幅是优化闸墙长廊道侧支孔输水形式的要点。