

# 平原河道桥墩群阻水壅高试验研究

薛万云<sup>1</sup>, 赵 勇<sup>2</sup>, 俞 雷<sup>1</sup>, 吴修锋<sup>1</sup>, 郭 宁<sup>2</sup>, 吴时强<sup>1</sup>

(1. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;

2. 江苏省水利厅, 江苏 南京 210029)

**摘要:**以南京秦淮新河为参考原型,建立河道桥群概化试验模型,定量研究平原河道桥群阻水叠加效应。试验结果表明:上游水流受桥墩阻水影响,水位壅高明显,壅水高度随桥墩数量的增加而增大,壅高范围随着桥墩数量的增多而延长;对于概化河道(流量 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ,流速 $2.5\text{ m/s}$ ,阻水率 $6\%$ ),河道中心线最大壅水高度 $36\text{ cm}$ ,壅水范围 $150\text{ m}$ ;在桥梁群上游 $150\text{ m}$ 位置处,6座桥梁组成的桥梁群引起的壅高值为单座桥梁壅高值的 $1.5$ 倍。研究成果对评估桥梁等涉水建筑物引起的阻水影响具有参考意义。

**关键词:**壅水;桥墩群;试验;阻水

中图分类号:TV131.65

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)10-0001-03

## Experimental study on backwater resistance of bridge piers in plain river

XUE Wanyun<sup>1</sup>, ZHAO Yong<sup>2</sup>, YU Lei<sup>1</sup>, WU Xiufeng<sup>1</sup>, GUO Ning<sup>2</sup>, WU Shiqiang<sup>1</sup>

(1. Key laboratory of Water Resource and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

2. Jiangsu Provincial Department of Water Resources, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Taking the new Qinhuai River in Nanjing as a reference prototype, generalized test model of bridge group was established to quantitatively study water blocking superposition effect of river bridge group in plain river. The experimental results showed that the upstream water flow was affected by water blocking of bridge piers, and the water level raised more obviously. The water level increased with pier number, and the range of backwater height extended with pier number. For the generalized channel (flow rate  $1000\text{ m}^3/\text{s}$ , flow velocity  $2.5\text{ m/s}$ , water blocking rate  $6\%$ ), the maximum backwater height of the river center line was  $36\text{ cm}$ , and the backwater range was  $150\text{ m}$ . At  $150\text{ m}$  upstream of the bridge group, the height of the bridge group composed of six bridges was  $1.5$  times the height of the single bridge. The research results could have important reference significance for evaluating the impact of water blocking caused by water-related buildings such as bridges.

**Key words:** backwater; bridge piers; experiment; water blocking

跨河桥梁为经济社会的快速发展起到了积极的作用,但同时对河道其它功能的发挥也产生一些约束作用。最为典型的问题之一是多座桥梁集中布置在一段行洪河道上,虽然单座桥梁的桥墩所占过水面积不大,但河道上桥梁间距很近时,桥墩在

河道中将以桥墩群的形式存在并产生阻水叠加效应,对水流的流动方向、流场结构等造成新的影响<sup>[1-3]</sup>,导致河道水位壅高,影响河道行洪能力,同时引起局部区域流速增大,冲刷桥墩基础,危害桥梁安全。为此,减弱或消除桥群引起的阻水叠加效

收稿日期:2021-03-23

基金项目:江苏省水利科技项目(2016019)

作者简介:薛万云(1986—),男,高级工程师,博士,主要从事水力学及河流动力学方面研究工作。E-mail: wyxue@nhri.

应对行洪河道的泄洪安全至关重要,需对行洪河道桥梁群阻水叠加效应进行深入研究。

近年来,国内外学者采用物理模型试验、数值计算及理论分析等方法对单座桥梁及桥群附近的壅水进行了大量研究。Hong 等<sup>[4-5]</sup>采用模型试验方法对桥墩附近的水流结构及冲刷机理进行了分析;Chrisohoides 等<sup>[6-8]</sup>通过模型试验和理论分析方法对桥墩周围复杂的三维流场结构及冲刷进行了分析研究,并基于试验结果提出了相应的防护措施;谢鸣晓等<sup>[9]</sup>基于数学模型分析研究了缓流河道中单排桥墩影响下的水位和流场变化,并分析了不同墩形对水流的影响差异,发现桩墩引起的水流变化沿纵、横向呈现出不同的分布规律,沿横向呈波状分布,且方墩对水流变化的影响比圆墩大;Gamal 等<sup>[10]</sup>采用三维数学模型方法研究了 2 个桥墩(群)对水流结构、墩周围冲刷的影响,发现桥墩周围最大冲深与弗雷德数、墩间距和墩径有关,并拟合经验公式表述上述参数关系。

综上所述,关于单个涉水桥梁对河道水流、行洪等方面的影响,多采用物理模型试验、数值模拟及理论分析等方法进行研究,并取得了丰硕成果。但对于桥群的阻水影响,受限于试验条件及精度的影响,往往只能采用数值模拟及理论分析方法,这对于认识桥群阻水物理现象的本质有一定的限制。因此,本文基于便于观测的玻璃水槽及高精度测量工具建立河道水槽桥群物理模型,对桥群阻水影响进行深入分析,以期深入探究桥群阻水引起的河道水位变化规律,为涉水桥梁建设提供参考。

## 1 参考对象

考虑水槽尺寸及模型比尺引起的缩尺效应影响,选择南京秦淮新河及涉河桥梁(高速铁路桥)为水槽模型参考原型。秦淮新河全长 16.88 km,河底高程为  $-1.9 \sim 0.1$  m,其沿线布置桥梁 10 多座,其中高速铁路桥并排布置 4 座,桥梁最小间距不足 50 m(4 座高速铁路桥并列布置)。秦淮新河河道相对较窄,最窄处河宽为 70 m,涉河桥墩多为 2 排,位于河道近岸侧,桥墩形状主要为矩形椭圆桥墩,其次是圆形桥墩。桥墩尺寸为  $2.5 \sim 10$  m,单座桥梁阻水率约为  $4\% \sim 6\%$ ,另外秦淮新河设计排洪量为  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

## 2 桥梁群概化物理模型

### 2.1 模型试验参考比尺

为了定量研究桥梁群阻水引起的壅水规律,同时避免试验结果偏离天然河道桥梁阻水特性,需要合理设定模型试验参数。根据已有研究结果,平原河道桥梁引起的壅水高度一般为  $5 \sim 20$  cm。为了在模型中精确测量壅水高度,需综合考虑模型尺寸、测量设备精度及原型河道秦淮新河的尺寸、流量等特征。

参考秦淮新河桥梁阻水率、河道特征、桥墩尺寸及壅水高度等,并结合现场调研结果及试验水槽尺寸,按照 1:100 的参考比尺选择桥墩尺寸及布置方式,即试验水槽水深 0.1 m 对应原型河道水深 10 m,水槽流量  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  对应原型河道  $1\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,水槽流速  $0.25 \text{ m/s}$  对应原型河道流速  $2.5 \text{ m/s}$ ,同时桥墩阻水率控制在  $7\%$  以内。因此概化后的原型河道特征流量为  $1\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,流速为  $2.5 \text{ m/s}$ ,阻水率控制在  $7\%$  以内。

### 2.2 试验水槽及测量

玻璃水槽测量区长 8 m,宽 0.4 m,坡降  $0.4\text{‰}$ 。从测量区 0 点开始沿水流方向布置桥梁(桥梁起始位置为坐标 0 点),每隔 0.5 m 布置 1 组桥梁,每组桥梁包含 3 排或 4 排桥墩,每排为 2 个圆形桥墩,墩径  $D=6 \text{ mm}$ 。

在桥群前测量区布置 7 个水位监测点(H1—H7),监测桥梁建设前后的水位变化,分析桥梁群对河道水位产生的阻水影响,水位采用精度为  $0.01 \text{ cm}$  水位测针测量。

## 3 试验结果分析

### 3.1 试验工况

通过控制阻水率和流速组合成不同的典型工况(表 1),其中通过增设桥墩改变阻水率。设置 2 组流量,分别为  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  和  $11.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 。水位通过尾门调节,坐标原点处水深控制在 10 cm。桥墩采用直径  $D=6 \text{ mm}$  的圆柱塑料棒模拟。分别对 3 种工况条件下的无桥、单桥、两桥、三桥、四桥、五桥及六桥组成的桥群水位变化影响进行试验分析。

工况 1、工况 2 阻水率为  $4.5\%$ ,每组桥墩包含 3 列桥墩,水流方向桥墩间距 20 mm,垂向间距 100 mm;工况 3 阻水率为  $6.0\%$ ,每组桥墩包含 4 列桥墩。

表 1 水槽试验工况

工况	水槽流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	水深/ m	水槽流速/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	阻水率/ %
1	10.0	10	0.25	4.5
2	11.5	10	0.31	4.5
3	11.5	10	0.31	6.0

3.2 壅水特征分析

以水流流向、横向、垂向为  $x,y,z$  轴,坐标原点分别位于第一座桥梁底部。沿流向依次布置桥梁,形成桥群,分析桥梁布置过程中的壅水水位特性变化。

分别对各工况条件下的无桥、单桥、两桥、三桥、四桥、五桥及六桥群时的河道中心线水位变化进行测量分析,表 2、表 3、表 4 给出了不同工况河道中心线水位壅高值 $\Delta h$ ,图 1、图 2、图 3 分别为河道中心线桥梁群前水位变化曲线。综合分析上述图表,可以看出,上游水流受桥墩阻水影响,水位壅高较为明显,壅水高度随桥墩数量的增加而增大,壅高范围随着桥梁数量的增多而延长。

表 2 工况 1 洪水条件桥梁群前中心线水位壅高值

单位:m							
距离	无桥	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组
6	0.00	0.06	0.10	0.14	0.08	0.14	0.13
12	0.00	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15
24	0.00	0.14	0.15	0.10	0.17	0.16	0.19
48	0.00	0.17	0.11	0.18	0.22	0.25	0.22
96	0.00	0.22	0.18	0.26	0.23	0.30	0.30
150	0.00	0.21	0.22	0.24	0.26	0.30	0.32

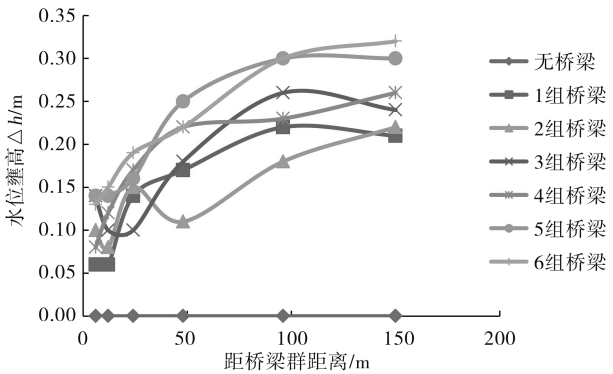


图 1 工况 1 洪水条件河道中心线桥前水位变化

对于概化河道(其特征参数为流量  $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 、流速  $2.5\text{ m/s}$ 、阻水率  $6\%$ ),中心线最大壅水高度

$36\text{ cm}$ ,壅水范围  $150\text{ m}$ 。6 座桥梁组成的桥梁群引起的壅高值为单座桥梁壅高值的 1.5 倍(桥梁群上游  $150\text{ m}$  位置处)。

表 3 工况 2 洪水条件桥梁群前中心线水位壅高值

单位:m							
距离	无桥	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组
6	0.00	0.09	0.14	0.16	0.15	0.14	0.15
12	0.00	0.11	0.14	0.12	0.19	0.15	0.15
24	0.00	0.13	0.11	0.15	0.21	0.17	0.22
48	0.00	0.15	0.18	0.18	0.23	0.22	0.26
96	0.00	0.18	0.19	0.2	0.23	0.25	0.33
150	0.00	0.26	0.26	0.29	0.25	0.31	0.35

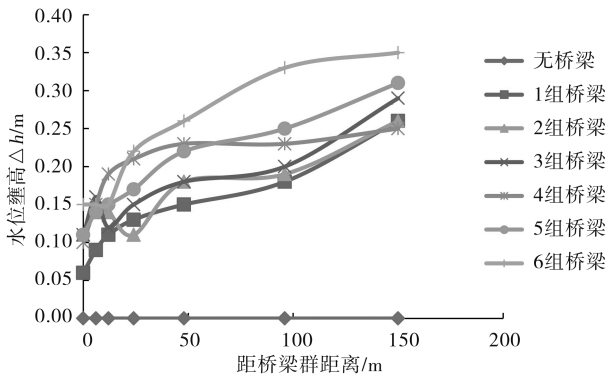


图 2 工况 2 洪水条件河道中心线桥前水位变化

表 4 工况 3 洪水条件桥梁群前中心线水位壅高值

单位:m							
距离	无桥	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组
6	0.00	0.05	0.06	0.07	0.08	0.15	0.14
12	0.00	0.07	0.13	0.14	0.17	0.14	0.18
24	0.00	0.08	0.18	0.14	0.2	0.16	0.19
48	0.00	0.11	0.13	0.2	0.28	0.21	0.23
96	0.00	0.16	0.2	0.27	0.3	0.29	0.32
150	0.00	0.22	0.27	0.24	0.32	0.37	0.36

4 结 论

采用实验室试验对明渠河道中桥梁群条件下的水流运动分别进行了研究。分析桥梁群前水位(下转第 12 页)