

武汉龙王庙险段综合整治模型试验研究^①

汪明娜

(长江科学院河流研究所,湖北 武汉 430010)

摘要 为研究武汉市龙王庙险段综合整治方案实施前后汉江河口段河势、流态、流速、水位及河床冲淤变化等情况,设计了动床模型试验,并进行了模型验证试验.综合整治工程 3 个方案的模型试验表明,各方案实施后龙王庙段的河势都有不同程度的改善,流速分布趋于均匀,主流线右移,局部冲刷坑缩小,河床冲刷强度减弱.根据试验结果,提出了优化工程方案并得到采纳实施,工程效果良好.

关键词 河道整治 堤防 河工模型 模型比尺 龙王庙险段

中图分类号:TV131.61+6 文献标识码:A 文章编号:1006-7647(2005)04-0033-03

Experimental study on comprehensive regulation model for Longwangmiao dangerous section of Wuhan City//WANG Ming-na(River Research Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: A movable-bed model test was designed and verified to study the variations of river regime, flow pattern, flow velocity, water level, and riverbed scour and silting of the Hanjiang River estuary section induced by the implementation of comprehensive regulation of the Longwangmiao section of Wuhan City. Model tests show that the comprehensive regulation according to 3 schemes improves the river regime in different degrees, makes the distribution of flow velocity more uniform, results in rightward shift of main flow stream, dwindles local scours, and decreases the scour strength. Based on the test result, an optimal scheme was put forward and put into application, and good effect was achieved in the project.

Key words: river regulation; dike; river model; model scale; Longwangmiao dangerous section

汉江的源头在秦岭南麓,河长 1 577 km,是长江最长支流,流域涉及甘肃、四川、陕西、河南及湖北 5 省,流域面积 15.9 万 km²,径流量 592 亿 m³/a,洪峰流量在 12 300 ~ 23 400 m³/s 之间(1583 年中游丹江口洪峰流量达 61 000 m³/s). 1973 年丹江口水库建成,免除了洪灾,但水沙条件的改变对河口堤防更为不利.龙王庙河段位于汉江河口段汉口一侧,在与长江汇流(河轴线夹角 67°32′)和受长江顶冲之处,从汉口集家嘴码头至鄂四码头,长 1 080 m,是著名的历史险段^[1,2].

龙王庙险段关系到汉口市几百万人民生命财产安全,该险段的整治是武汉市防洪和环境治理的重点.为了研究整治方案实施前后河口段的河势、流态、流速、水位、通航条件以及河床冲淤变化等情况,分析验证治理方案的可行性及其效果,为工程设计决策提供可靠的科学依据,进行了河工模型试验研究.

1 动床模型设计与验证

1.1 动床模型试验

试验模拟河段范围 江汉一桥—汉江入汇口,长

1.56 km,长江段从长江一桥—武汉关,长 1.5 km.模型平面比尺 $\alpha_L = 150$,垂直比尺 $\alpha_h = 120$,模型变率 $\eta = 1.25$.模型布置见图 1.模型满足:

a. 水流运动相似^② ①水流运动连续相似 $\alpha_Q = \alpha_L \alpha_h \alpha_v$; ②重力相似 $\alpha_v = \alpha_h^{1/2}$; ③阻力相似 $\alpha_n = \alpha_h^{1/6} (\alpha_h / \alpha_L)^{1/2}$,其中 $\alpha_v, \alpha_n, \alpha_Q$ 分别为流速比尺、糙率比尺和流量比尺.

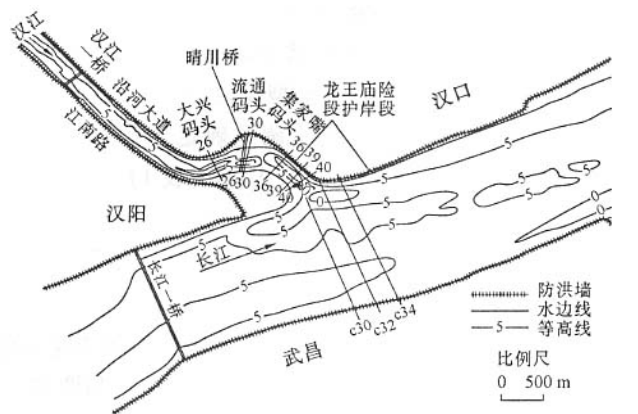


图 1 龙王庙河工模型平面布置示意图

作者简介 汪明娜(1955—),女,江西贵溪人,工程师,从事河流泥沙及环境保护研究.

①参加本项目试验研究的人员有沈惠漱、罗恒凯、曹洪济、张文二、黎礼刚、孙贵洲等.

②长江水利委员会长江科学院.武汉市龙王庙险段综合整治河工模型试验报告,1998.

b. 泥沙运动相似. 选用塑料沙作为模型沙, 由实测资料分析, 河段床沙中值粒径为 0.180 mm, 塑料沙密度为 1.05 t/m³, 干密度为 0.667 t/m³, 原型沙的密度为 2.65 t/m³, 干密度为 1.3 t/m³, 取常数比尺 $\alpha_k = 1$, 求得粒径比尺 $\alpha_d = 0.633$, 则所选模型沙的中值粒径 $d_{50} = 0.285$ mm. 模型需满足: ①泥沙起动相似 $\alpha_{v_0} = \alpha_v$, 泥沙起动流速公式采用 $v_0 = K\sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}gd\left(\frac{h}{d}\right)^{1/6}}$, 其中 ρ_s 和 ρ 分别为泥沙和水的密度, g 为重力加速度, d 为泥沙粒径, h 为水深, K 为系数; ②泥沙扬动相似 $\alpha_{v_f} = \alpha_v$; ③沉降相似 $\alpha_w = \alpha_v \frac{\alpha_h}{\alpha_L}$; ④河床变形相似, 由式 $\alpha_{g_s} = \frac{\alpha_{\rho_s}}{\alpha_{\rho_s} - \rho} \frac{\alpha_v^4}{\alpha_{C_0}^2 \alpha_w}$ 求得单宽输沙率比尺 $\alpha_{g_s b} = 80.25$, 其中 C_0 为谢才系数; ⑤对于天然沙和塑料沙, 由式 $\alpha_t = \frac{\alpha_{\rho_0} \alpha_h \alpha_L}{\alpha_{g_s b}}$ 求得河床变形时间比尺 $\alpha_t = 438.5$. 模型单宽输沙率比尺和河床变形时间比尺还需经过模型验证试验进行调整确定, 调整取值详见表 1.

表 1 模型比尺汇总

名 称	相似条件	符 号	取 值
平面比尺	几何相似	α_L	150
垂直比尺	几何相似	α_h	120
流速比尺	水流运动相似	α_v	10.95
流量比尺	水流运动相似	α_Q	197 200.
糙率比尺	水流运动相似	α_n	1.986
粒径比尺	水流运动相似	α_d	0.633
起动流速比尺	泥沙运动相似	α_{v_0}	10.95
沉速比尺	泥沙运动相似	α_w	8.76
单宽输沙率比尺	泥沙运动相似	$\alpha_{g_s b}$	153
河床变形时间比尺	泥沙运动相似	α_t	440

1.2 模型验证试验

以 1995 年 7 月实测的水道地形为起始地形, 施放 1995 年 7 月至 1998 年 5 月的水沙过程, 以复演 1998 年 5 月的实测地形. 通过验证试验, 模型较好地复演了原型地形, 表明模型设计、选沙及各项比尺的确定合理. 根据验证试验调整确定单宽输沙率比尺为 153, 河床变形时间比尺为 440(表 1).

2 整治方案模型试验

2.1 方案比较

龙王庙险段整治方案(南岸嘴拓宽整治方案)包括两条整治线(方案 1-1、方案 1-2 及方案 2)和两种开挖高程(黄海基面 4.5 m, -7.0 m), 并考虑晴川桥的影响, 见表 2. 方案 1-1 与方案 1-2 在平面布置上整治线相同, 但开挖高程及开挖断面不同. 方案 2 在平面布置上整治线与方案 1-1 和方案 1-2 不相同, 开挖高程及开挖断面与方案 1-2 相同. 各方案布置见图 2.

表 2 试验整治方案

工程方案	整治线	开挖高程/m (黄海基面)	选定试验的典型水文年
方案 1-1	1 线	4.5	1983 年(长江大水、大沙, 汉江大水、大沙, 秋汛大)
方案 1-2	1 线	-7.0	1983 年, 1974 年(长江中水、中沙, 汉江中水、大沙)
方案 2	2 线	-7.0	1983 年(考虑晴川桥左墩在汉口 24.0 m 高程, 右墩在汉阳开挖后 17.0 m 高程)
推荐方案	2 线、1 线	-7.0	同方案 2

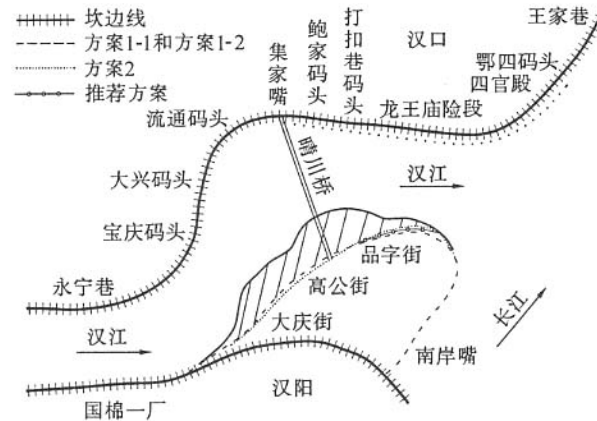


图 2 龙王庙险段整治工程方案布置示意图

通过模型试验研究, 得出各工程方案的优缺点如下: ①方案 1-1, 南岸嘴削除并控制在高程 4.5 m, 对水流仍起到挑流作用, 遏制高公街—品字街一线深槽右移(向江心, 下同), 但龙王庙险段冲刷减少的幅度较小, 故工程效果较差. ②方案 1-2, 南岸嘴开挖加上水流冲刷至高程 -7.0 m, 河床调整更为充分, 使高公街—品字街一线深槽右移成为完整的右向弯道, 龙王庙冲刷缩小, 右移更明显, 工程效果较好. 但由于汉江出口处岸线后退较大, 反而产生一定的回淤. ③方案 2 主流线较方案 1-2 右移更大, 流速分布更趋合理, 但由于在品字街处岸线后退不够, 约束了水流. 另品字街处岸线与主流线交角偏大, 使龙王庙处近岸流速减小的幅度较小, 改善龙王庙迎流冲刷程度不及方案 1-2.

从有利于改善龙王庙险段的冲刷程度及考虑到南岸嘴出口处开挖过大后产生回流等因素出发, 根据模型试验成果, 建议南岸嘴开挖线的以上部分按方案 2 整治线, 以下部分采用方案 1-2 的局部调整修改线(即表 2 中推荐方案).

2.2 模型试验成果

推荐方案模型试验成果表明: ①主流线位置发生变化. 当汉江流量为 7800 m³/s、长江流量为 38300 m³/s 时, 南岸大庆街—品字街主流线右移 30~90 m, 北岸鲍家嘴—龙王庙主流线右移 90~35 m; 当汉江流量为 4670 m³/s、长江流量为 41400 m³/s 时, 相应主流线右移分别为 30~130 m 及 130~100 m, 总体上,

工程实施后,改善了大庆街—高公街上弯道的平面形状,增大了曲率半径,主流线大幅度右移,缓解了水流顶冲龙王庙险段压力。②近岸流速发生变化。工程施工前,上弯道进口段流速分布较均匀,而进入下弯道顶冲点垃圾码头—汉江口门段,流速变幅加大,在龙王庙险段更为突出。工程完工后在左岸宝庆码头—汉江口门 50 m 内流速减小 1.8 ~ 1.1 m/s。右岸大庆街—高公街 20 m 处流速增加 0.8 ~ 2.0 m/s。③河床局部冲刷坑发生变化。工程施工前施放 1983 年型流量后,出现 4 个大冲刷坑,坑底高程为 -5.0 ~ -20.0 m,长 110 m 不等,表明工程施工前汉江主要是高程 -5.0 m 冲刷坑,汉江口门—长江段主要是高程 -15.0 m 和 -20.0 mm 冲刷坑。工程完工后,冲刷坑位置及范围有了变化,即右岸国棉一厂—一品字街一带冲刷坑右移并延长,而龙王庙上段冲刷坑缩短,并向右偏移。长江冲刷坑缩小下移。另外集家嘴、水运码头及南岸嘴回流区均出现一定回淤,都对堤防安全有利。

受汉江出口段整体河势的限制,南岸嘴拓宽工程并不能彻底改变汉江出口段的平面态势,汛期龙王庙险段流速仍相对较大,该险工段仍需适当加固。主流线右移后,国棉一厂—一品字街近岸流速增加较大,河床冲刷加剧,此处岸线应加强守护。在汉江流量为 4670 m³/s、长江流量为 41 400 m³/s 的条件下,左岸流通码头近岸 50 m 流速减小 1.1 m/s 左右,集家嘴—汉江口门段近岸 50 m 内流速减小 0.1 ~ 1.2 m/s,右岸大庆街—高公街 20 m 处流速增加 0.4 ~ 2.0 m/s。

(上接第 32 页)

2 月环境温度从 5 日起较平稳地上升到 8 日,9 日和 10 日温度下降(表 5)。9 日和 10 日测点 115 温升的状态,应该还是反映 8 日前的温度效应。

可见,测点 115 能够反映前 3 d 环境温度对混凝土一定部位的影响。测点 114 和 113,116 和 117 显示的混凝土温度变化,从纵斜两个方向说明,随混凝土深度的纵向深入,混凝土内的温度有一定幅度的爬高现象。

4 结 论

a. DTS 在三峡工程大体积混凝土温度场监测中的应用表明,DTS 理论完善,信息量大,线性连续响应速度快,空间定位准确,抗干扰性强,施工简单,反映了现代科技成果。

b. 2002 年 4 月至 2003 年 2 月对三峡工程大体积混凝土温度场的监测成果表明,大体积混凝土温度场的变化具有阶段性和规律性。

c. 大体积混凝土水化热最高温度峰值发生在

综上所述,南岸嘴人工拓宽各方案实施后,汉口龙王庙险段的河势都有不同程度的改善,流速分布趋于均匀,主流线右移,局部冲刷坑缩小,险工段河床冲刷强度减弱,可为龙王庙岸线及河床稳定提供有利条件。同时可改善汉江河口段的平面形态,增大汉江出口段的泄洪能力。汉江出口段的航道无累积淤积,对航运基本无影响。特别是整治工程的推荐方案更能满足预期的设计效果,作用最为显著,为龙王庙险段综合整治工程采用。

3 结 语

龙王庙险段综合整治工程按推荐方案实施完工后(1999 年汛前全部竣工,验收合格),已经过几年大小洪水考验,特别是 1999 年汛期,武汉关水位达到 28.89 m,仅次于 1954 年和 1998 年的水位,居历史第 3 位。经过综合整治后的龙王庙江堤经受住了这次特大洪水的严峻考验,达到设计要求,由原来险象环生、岌岌可危的“险点”,变成环境优美、赏心悦目的“景点”和休闲胜地,取得了良好的环境和社会效益。这项模型试验研究工作为武汉市防洪保安和环境治理做出了重大贡献,荣获市政府的嘉奖。

参考文献:

[1] 武汉市文史编辑委员会.武汉市建制沿革[M].武汉:湖北人民出版社,1956.
[2] 长江水利委员会长江科学院.长江志·中下游河道整治[M].北京:中国大百科全书出版社,2000.

(收稿日期 2004-06-16 编辑 熊水斌)

第 3 天.

d. 一期和二期冷却水对削减水化热峰值和降低二峰阶段的集温有重要作用。

e. 大体积混凝土二峰值的出现,与浇筑材料逐渐水化放热的集温相关。

f. 大体积混凝土的表层易受到环境气温变化的影响,如测点 115 能够反映 3 d 左右环境气温的一定影响。

参考文献:

[1] 孙圣和.光纤测量与传感技术[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002.109—110.
[2] 蔡顺德.分布式光纤监测大块体混凝土水化热过程分析[J].三峡大学学报,2002,24(6):481—485.
[3] 储传英.三峡工程混凝土原材料研究[M].北京:中国水利水电出版社,1999.32—33.
[4] 三峡水利枢纽混凝土工程温控研究编委会.三峡水利枢纽混凝土工程温控研究[M].北京:中国水利水电出版社,2001.

(收稿日期 2004-12-25 编辑 熊水斌)