

广乐高速韶赣北连接线大桥通航水流条件研究

王江

(重庆交通大学, 重庆 400000)

摘要: 针对斜交桥的通航问题, 本文以广乐高速韶赣北连接线大桥为例, 采用平面二维水流数学模型对现状水流条件进行分析, 发现桥区的碍航情况为航深不足、河道较窄、流速相对较大等问题。通过以“满足航道尺度和通航水流条件的基础上, 尽量减小对现状河段影响”为原则的改造治理措施, 比选不同设计方案, 实验结果表明, 推荐方案改善了桥区通航水流条件, 解决了大桥的通航问题。

关键词: 斜交桥; 绿色航道; 通航水流条件; 通航净宽

中图分类号: U61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 03—0113—06

受地形、水文条件和公路、铁路走向的制约, 许多公路、铁路桥的桥位往往设计成与河流斜交的类型。一方面, 由于桥梁跨河距离增加, 需要增加桥墩, 导致阻水面积增大, 桥区河道的水流条件及河床的冲淤演变规律等会发生一定的变化, 比如原有的边滩、心滩等淤积范围在建桥后可能会扩大, 抬高滩面高程, 导致航道水深不足, 并且影响正常行洪。^[1] 另一方面桥墩与水流存在夹角以及桥墩导致的河道断面变窄, 会使桥区的水流变急, 横流增大, 阻碍安全通航。^[2]

广乐高速韶赣北连接线大桥位于北江干流上游滨江, 不仅是完善广东省南北综合交通运输体系中的重要组成部分, 更是所处河道的航道控制节点。为了提高此桥河段的通航能力, 同时促进旅游业发展, 现按满足未来航道发展规划标准要求以及满足生态、旅游、休闲为特色的绿色航道要求进行航道升级改造。由于目前国内绿色航道工程项目可以借鉴的工程不多, 而且对改造工程的设计而言, 确定最佳的改造方案有一定的难度。因此, 开展广乐高速韶赣北连接线大桥桥区河段航道整治的二维数学模型研究显得尤为重要。

本文以广乐高速韶赣北连接线大桥为例, 以《内河通航标准》^[3] 为依据, 通过二维数学模型, 从工程应用角度分析改造前后桥区航道沿程水位、比降、流速的变化, 总结桥区的水流特点与碍航特性。针对现存在桥梁斜跨河道交角较大, 枯水期航深不足以及建桥时桥墩两侧堆积体未清理等问题, 结合桥区治理的一般原则与河段治理整体优化的原则, 提出桥区河段改造措施, 分析改造措施的合理性。为科学建设该项目以及保障北江干线通航安全提供理论参考。

1 工程概况

广乐高速韶赣北连接线大桥位于广东省仁化县境内滨江上, 桥梁为主跨 75m 的梁式单通航孔高速公路桥。上距湾头枢纽坝址约 7.847km, 下距武江入汇口通天塔台约为 10.815km, 位于孟洲坝枢纽水库回水区末端区, 河段微弯, 且桥轴线法向与河势交角较大, 约为 14° 。桥位附近河道深槽两侧主墩附近为大桥建成后深槽冲刷的泥沙堆积体, 该堆积体的高程较高, 范围也较大, 阻水作用较为明显。此外, 桥区河段航道水位, 受下游孟洲坝枢纽的调度运行方式影响较大: 非汛期水库水位维持在正常蓄水位运行; 汛期入库流量水大于枢纽预泄流量时, 枢纽敞泄, 河道恢复天然状态, 使得该河段具有山区和库区河道特点。^[4]



图 1 工程河势图

2 数学模型建立及验证

2.1 控制方程

本文研究采用平面二维浅水方程作为水流的计算控制方程，如下式（1）~（3）。

水流连续方程：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

水流运动方程：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

z 为基准面以上的水位： $z=H+Z_b$ (Z_b 为床面高程)；
 H 为水深； u,v 为流速在 x, y 方向上的分量； τ_{bx}, τ_{by} 为河床床面切应力沿 x, y 方向上的分量；
 $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yx}$ 为紊动粘滞系数； ρ 为流体密度； g 为重力加速度。

2.2 边界条件

模型闭边界采用干湿判别的动边界。上边界为流量边界，下边界为水位边界。

2.3 计算域的选取及网格的生成

建模资料为2016年实测浈江河段河道河床地形图，模型从韶关水文站至湾头枢纽坝下，模型全长 14.7km。主要采用三角形非结构网格，网格最小尺度 12.5m²，最大尺度 50m²，共划分网格 173779 个，对于已建大桥桥墩周围和丁坝周围进行网格局部加密，加密网格最大尺度不超过 12.5m²。共设置上游湾头枢纽坝下、武江入汇口及下游韶关水位站断面三处边界。上游湾头枢纽坝下为流量边界，武江入汇口上游为支流流量边界，下游韶关水位站断面为水位边界。计算网格布置见图 2。

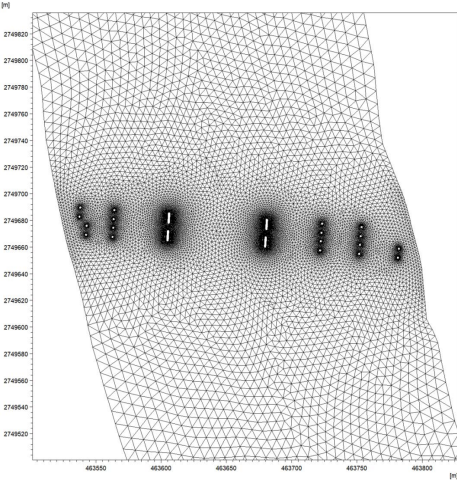


图 2 桥区附近网格

2.4 数学模型的验证

本研究采用湖南省交通规划勘察设计院有限公司 2017 年 8 月 27 日~8 月 31 日和 2018 年 6 月 10 日实测值进行模型验证，水面线验证见图 3，断面流速验证见图 4。由图可知：塔台至湾头枢纽坝下河段左、右岸实测水位与计算水位差值在 -0.05m~0.05m 范围内，全段水位偏差不超过 ±0.05m，流速误差大部分在 ±0.10m/s 以内，符合相关规范要求。河段率定采用分段率定的方式，经率定后的糙率取值为 0.02~0.029，数值合理，可适用于下一步方案计算工作。

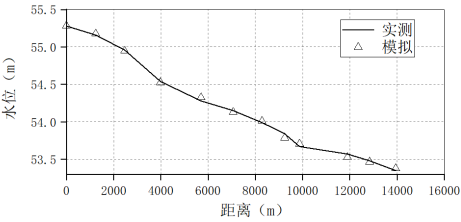


图 3 水位验证

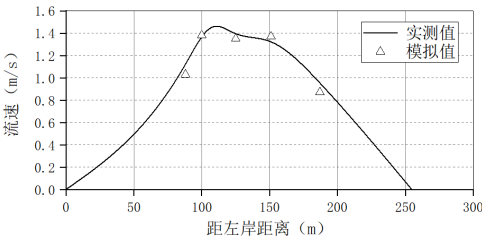


图 4 断面流速验证

2.5 计算条件

本次数值模拟是对于恒定流的计算，上游设置来水流量，下游设置出口水位。为了使数模结果更好地反映桥区河段在不同流量下的通航水流条件，需要选取有代表性的水文条件作为计算输入条件，详见表 1。

表 1 计算水文条件列表

水文组合	流量 (m ³ /s)	韶关水文站 (m)	备注
1	40	52.82	上游电站下泄航运基流
2	700	52.82	最高通航流量
3	4240	55.53	下游枢纽敞泄，10a

3 桥梁现状通航条件分析

3.1 航道尺度分析

河道现航道等级为内河Ⅶ级航道，可通航 50 吨级船舶，规划为内河Ⅲ级航道，按照以生态、旅游、休闲为特色的绿色航道标准建设。设计航道尺度取：

1.6×30×130m（水深×双线航宽×弯曲半径），通航保证率98%，最大设计代表船型199客位旅游客船，船型尺度32×7.1×1.3m（长×宽×设计吃水）。桥梁上下游航道中心线纵向断面水深情况如图5所示，通航孔河段水深相对较浅，河段航运基流 $Q=40\text{m}^3/\text{s}$ 时，大桥上游净水深小于通航水深1.6m，设计航槽内航道尺度已不满足设计航道代表船型要求。

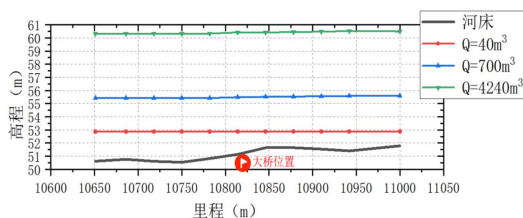


图5 桥区附近航道中心水面线

3.2 桥区附近流场分析

根据模型计算结果，桥区附近最低、最高通航流量，以及10a流量下流速分布情况如图6所示。由图可见大桥两个主墩位于主航槽两侧，水流在桥墩附近形成绕流，流速较大。上游来流 $Q=40\text{m}^3/\text{s}$ 时，流速较为平缓，整体流场呈葫芦形，上游至桥轴断面水流方向指向航道内，水流流态满足通航要求；上游来流 $Q=700\text{m}^3/\text{s}$ 时，桥区河段最大主流流速为1.77m/s，桥位附近桥轴线法向与水流流向最大夹角约为 17° ，最大横流达到0.4m/s，此时段船舶下行对孔困难，通航水流条件较差；上游来流 $Q=4240\text{m}^3/\text{s}$ 时（滨江10年一遇洪水流量），桥区河段最大主流流速达3.6m/s，桥位附近桥轴线法向与水流流向最大夹角约为 17° ，最大横流达到1m/s，此时船舶无法通航。

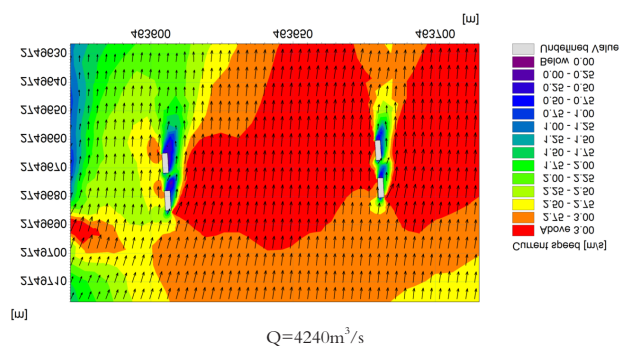
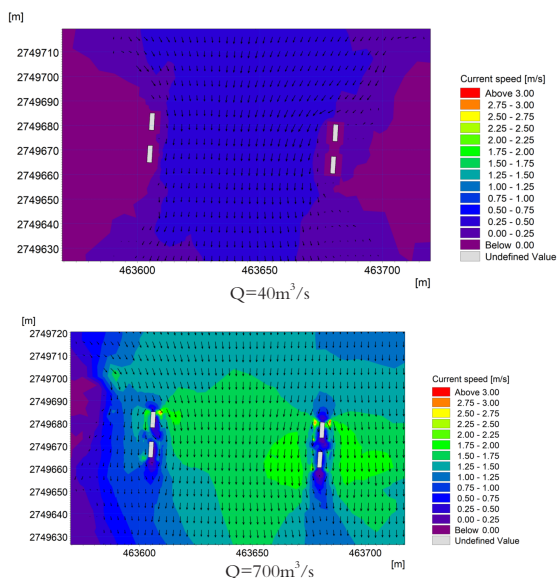


图6 桥墩处流速分布情况

3.3 桥区附近水位分析

桥区水位比降是衡量船舶能否顺利通过通航孔航的重要指标。若比降过大，上水船舶缺少克服水流的推力及坡降阻力，会导致船舶上行困难，而下水船舶在高流速情况下也可能出现失舵的情况^[5]。计算结果表明，上游来流 $Q=40\text{m}^3/\text{s}$ 时，桥位附近水面未出现比降，桥墩未出现壅水情况。上游来流 $Q=700\text{m}^3/\text{s}$ 和 $Q=4240\text{m}^3/\text{s}$ 时，桥位附近比降并未随着流量大幅增加而出现明显变幅，分别为1.75‰和2.66‰，这是因为通航孔左、右主墩下游河床较高，壅水作用明显，桥墩处于其壅水范围内，导致桥位断面比降较小，见图7。

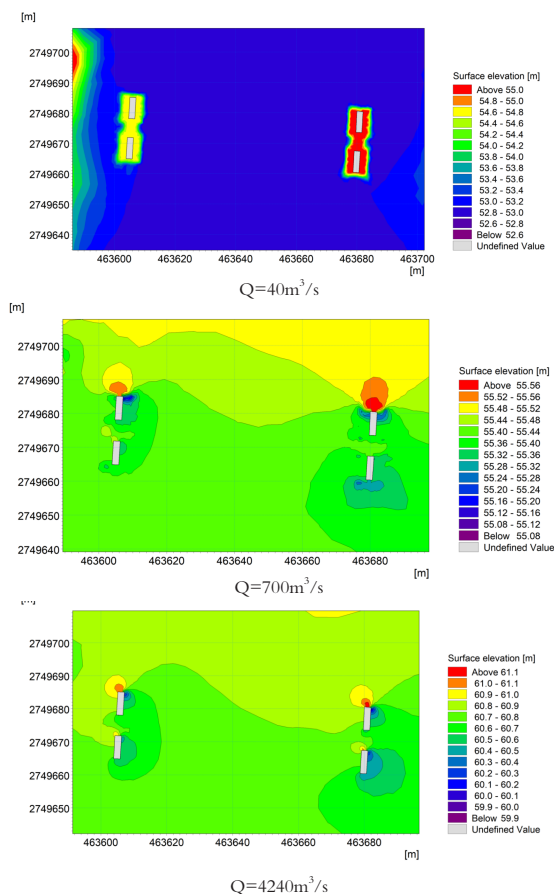


图7 桥墩处水位情况

4 航道设计方案及比选

4.1 方案布置

方案一：根据代表船型最大吃水深度为 1.3m，考虑富裕水深 0.3m，设计通航水位为孟洲坝枢纽消落水位 52.82m，疏浚后的河床高程为 51.22m。沿航道内部进行疏浚，疏浚范围布置见图 8。

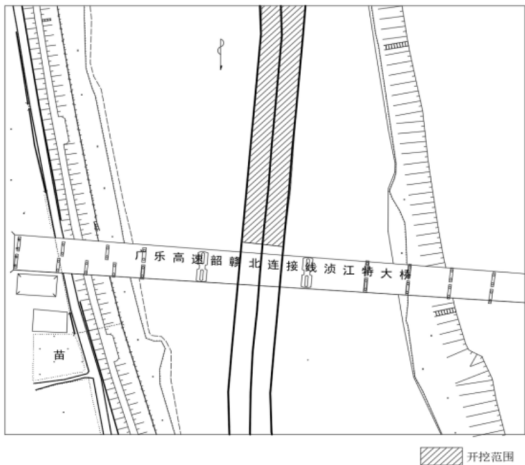


图 8 方案一开挖范围图

方案二：在方案一的基础上对桥区河段泥沙堆积体进行了清障处理，清障范围顺应航槽走向，位于航槽两侧，航槽两侧疏浚长度基本相同，约为 188m，航道左侧清障宽度约为 67m，航道右侧航槽清障宽度约为 77.6m。清障范围见图 9。



图 9 方案二开挖范围图

方案三：顺着河势和水流的方向以深泓线为主要导向，采取有弧度，衔接开挖区域两侧地势，左侧清障纵向长度约为 260m，横向宽度最大约为 54m，右侧清障长度约为 248m，横向宽度最大约为 40m，整体清障土方量少于方案二。清障范围见图 10。

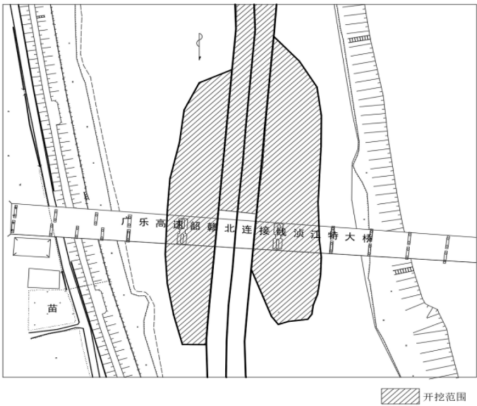


图 10 方案三开挖范围图

4.2 结果分析

4.2.1 桥区水位分析

从表 2 可以看出，三个疏浚方案均可使水面比降减小，航槽内水面比降也因此下降。方案二和方案三由于清除了主河槽两侧的泥沙堆积体使过流面积增大，各级流量下桥区河段的比降下降更为明显。

表 2 桥区水位比降表

流量 (m³/s)	比降 (%)			
	现状	方案一	方案二	方案三
40	0	0	0	0
700	1.75	1.46	0.75	0.75
4240	2.66	2.55	1.96	1.95

4.2.2 桥区流场分析

该河段通航的难点在于船舶下行过桥前航道内的急流和横流可能会存在下行船舶存在冲撞桥墩的隐患，而水流流向指向航道内部，水流条件不会影响过桥后船舶继续下行。船驶入通航孔时航道内部水流条件，要对桥区河段桥轴线断面至上游三倍船队长度以内的点进行定量分析，测点分布如图 11 所示。

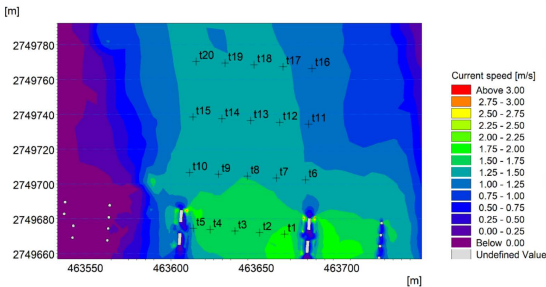


图 11 采样点点位示意图

以下各表说明，方案一桥区河段航槽疏浚后，桥位附近水流流态并未发生改善。表明方案二与方案三在通航流量下，流态改善效果明显。两种方案均能很好地控制主流流速和横向流速，尤其是在两倍船队长度到桥轴线的范围内流速下降幅度最大，两个方案测点流速未出现突变情况，航道内整体流速分布均匀，并且水流偏角改善明显；当上游来流流量为 $Q=4240\text{m}^3/\text{s}$ 时，桥区流场未发生明显变化，不会对行洪造成影响。

表 3 $Q=40\text{m}^3/\text{s}$ 水流流速和水流流向与桥轴线法向量夹角变化情况

特征点 位	纵流 (m/s)				横流 (m/s)				夹角 (°)			
	现状	方案			现状	方案			现状	方案		
		一	二	三		一	二	三		一	二	三
t1	0.3 9	0.3 7	0.2 6	0.2 6	0.0 8	0.0 8	0.0 1	0.01	12	13	3	3
t2	0.4 3	0.4 1	0.2 6	0.2 6	0.0 6	0.0 7	0.0 1	0.01	9	9	3	3
t3	0.4 0	0.4 0	0.2 4	0.2 4	0.0 4	0.0 4	0.0 1	0.01	5	5	1	1
t4	0.3 2	0.3 3	0.1 9	0.1 9	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.00	0	0	-3	-3
t5	0.3 0	0.3 0	0.1 8	0.1 8	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.00	0	0	-7	-7
t6	0.2 9	0.2 6	0.2 1	0.2 1	0.1 2	0.1 0	0.0 0	0.00	25	23	-1	-1
t7	0.3 0	0.3 0	0.2 2	0.2 2	0.1 1	0.1 1	0.0 0	0.02	22	19	4	4
t8	0.3 6	0.3 6	0.2 3	0.2 3	0.0 8	0.0 8	0.0 1	0.01	13	13	2	2
t9	0.3 1	0.3 1	0.2 0	0.2 0	-0.0 01	-0.0 02	-0.0 02	-2	0	-6	-6	-6
t10	0.2 5	0.2 2	0.1 4	0.1 3	-0.0 09	-0.0 08	-0.0 03	-23	-22	-12	-12	-12
t11	0.2 1	0.2 6	0.2 4	0.2 3	0.0 7	0.0 6	-0.0 01	15	13	-3	-3	-3
t12	0.3 2	0.3 1	0.2 0	0.2 4	0.0 4	0.0 4	-0.0 02	8	8	-6	-6	-6
t13	0.3 4	0.3 0	0.2 3	0.2 2	0.0 2	0.0 1	-0.0 02	3	2	-6	-6	-6
t14	0.3 4	0.3 3	0.2 8	0.2 1	-0.0 02	0.0 02	-0.0 02	-3	1	-6	-6	-6
t15	0.3 5	0.2 8	0.1 4	0.1 4	-0.0 11	-0.0 10	-0.0 03	-20	-20	-12	-12	-12
t16	0.2 6	0.2 2	0.2 3	0.2 2	-0.0 02	-0.0 02	-0.0 04	-6	-6	-11	-11	-11
t17	0.2 8	0.2 5	0.2 5	0.2 5	-0.0 04	-0.0 03	-0.0 04	-8	-6	-10	-10	-10
t18	0.3 2	0.3 5	0.2 5	0.2 5	-0.0 05	-0.0 04	-0.0 03	-9	-8	-8	-8	-8
t19	0.3 0	0.3 5	0.2 5	0.2 5	-0.0 07	-0.0 05	-0.0 03	-13	-10	-6	-6	-6
t20	0.3 8	0.3 2	0.3 2	0.3 2	-0.0 08	-0.0 07	-0.0 06	-13	-13	-11	-11	-11

综上所述，方案二和方案三对于桥区流场改善较好，但是由于方案二横向开挖范围过大，并且由于开挖形状过于方正，河段衔接出现断层，后期河床在开挖衔接处易产生淤积，导致河床横断面再次缩窄，影响水流的流态，以及行洪过流能力。方案三则纵向顺着河势和

表 4 $Q=700\text{m}^3/\text{s}$ 水流流速和水流流向与桥轴线法向量夹角变化情况

特征点 位	纵流 (m/s)				横流 (m/s)				夹角 (°)			
	现状	方案			现状	方案			现状	方案		
		一	二	三		一	二	三		一	二	三
t1	1.7 7	1.7 9	1.4 1	1.4 1	0.1 0	0.1 0	0.0 1	0.01	3	3	0	0
t2	1.7 5	1.8 2	1.4 0	1.4 0	0.0 5	0.0 6	-0.0 03	-0.0 3	1	2	-1	-1
t3	1.7 2	1.7 4	1.3 6	1.3 6	-0.0 03	-0.0 03	0.0 0	-0.0 9	-2	-1	0	0
t4	1.5 8	1.6 2	1.3 1	1.3 0	-0.0 12	-0.0 13	-0.0 05	-0.1 5	-5	-4	-2	-2
t5	1.6	1.6	1.3	1.3	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-5	-5	-2	-2
t6	1.3 0	1.3 1	1.1 8	1.1 7	0.0 3	0.0 2	0.0 2	-0.1 5	1	1	1	1
t7	1.3 6	1.4 1	1.2 1	1.2 1	0.0 6	0.0 6	0.0 2	-0.1 0	2	2	1	1
t8	1.4 8	1.4 9	1.2 5	1.2 5	-0.0 05	-0.0 03	-0.0 02	-0.1 3	-2	-1	-1	-1
t9	1.4 5	1.4 8	1.2 6	1.2 4	-0.0 25	-0.0 22	-0.0 15	-0.1 5	-10	-8	-7	-7
t10	1.3 0	1.3 9	1.1 7	1.1 3	-0.0 49	-0.0 51	-0.0 31	-0.3 1	-21	-21	-15	-15
t11	1.2 1	1.2 1	1.1 2	1.1 9	-0.0 03	-0.0 04	-0.0 16	-0.1 6	-2	-2	-8	-8
t12	1.3 2	1.3 3	1.2 3	1.2 1	-0.0 09	-0.0 09	-0.0 18	-0.1 8	-4	-4	-9	-9
t13	1.3 3	1.3 4	1.2 1	1.1 9	-0.0 17	-0.0 16	-0.0 20	-0.2 0	-7	-7	-10	-10
t14	1.3 4	1.3 3	1.1 8	1.1 6	-0.0 25	-0.0 21	-0.0 22	-0.2 2	-10	-9	-11	-11
t15	1.3 5	1.3 6	1.1 1	1.1 4	-0.0 40	-0.0 39	-0.0 27	-0.2 7	-17	-17	-13	-13
t16	1.1 6	1.1 6	1.1 5	1.1 4	-0.0 18	-0.0 18	-0.0 21	-0.2 1	-9	-9	-10	-10
t17	1.2 7	1.2 4	1.2 1	1.1 9	-0.0 22	-0.0 21	-0.0 23	-0.2 3	-10	-10	-11	-11
t18	1.3 8	1.2 7	1.2 2	1.2 0	-0.0 26	-0.0 24	-0.0 22	-0.2 1	-11	-11	-10	-10
t19	1.2 9	1.2 9	1.2 7	1.2 3	-0.0 29	-0.0 28	-0.0 21	-0.2 1	-13	-13	-10	-10
t20	1.3 0	1.3 7	1.2 8	1.2 6	-0.0 32	-0.0 32	-0.0 27	-0.2 6	-14	-14	-12	-12

水流的方向以深泓线为主要导向，采取有弧度、衔接开挖区域两侧地势的方式进行清障，结合“满足航道尺度和通航水流条件的基础上，尽量减小对现状河段的影响”这一原则，综合分析得出方案三为最优方案。

5 结语

(1) 斜交桥的碍航特性主要是由横流所引起的，横流过大导致对孔困难，过桥产生威胁。

(2) 由于本次研究的大桥具有特殊性，桥墩两侧由大桥建成后深槽冲刷的泥沙堆积体，仅对航道内部疏浚无法达到通航条件，采取方案三疏浚和清障的结合，通航流量下，桥位附近比降、主流流速、横流大小均改善明显，航道内流速分布均匀，满足客船通航对于通航稳定性要求。

(3) 跨河建筑物易采用大跨度来保证足够的通航

雅鲁藏布江流域某机场跑道地下水渗流场分析

鄢天柱, 丁一聪, 刘宏

(贵州大学国土资源部喀斯特环境与地质灾害防治重点实验室, 贵州 贵阳 550025)

摘 要: 为查明及预测机场拟建跑道项目区域地下水动态特征, 综合前期工程地质、水文地质资料的基础上, 基于 Visual Modflow 三维有限差分地下水流动模型, 对区内地下水渗流场的时空分布规律及未来发展趋势进行研究, 为工程建设提供参考依据。研究表明: 机场区渗流特征在枯水期与丰水期存在差异, 水位变化幅度较大; 枯水期渗流方向倾向于雅江, 丰水期渗流方向倾向于机场区; 宜合理优化工期, 避开洪峰季节。

关键词: 机场跑道; Visual Modflow; 地下水; 渗流场; 动态特征

中图分类号: U61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 04—0118—04

机场位于流经西藏地区雅鲁藏布江流域的 I 级阶地及河流高漫滩之上, 而拟建机场区则更为靠近北侧的雅鲁藏布江主河道, 区内绝大部分位于河流高漫滩之上。区内所处流域流量大、河道宽, 辫状水系发育, 地下水

位奇高。机场区内多为砂卵砾石层堆积, 为强透水或极强透水层, 地下水位的反复升降可能导致区内渗透变形^[1-3]。如机场高填方边坡坡脚形成的的高水位常造成土体沉

表 5 Q=4240m³/s 水流流速和水流流向与桥轴线法向量夹角变化情况

特征点 位	纵流 (m/s)				横流 (m/s)				夹角 (°)			
	现状	方案			现状	方案			现状	方案		
		一	二	三		一	二	三		一	二	三
t1	3.5 9	3.5 4	3.3 1	3.3 1	-0. 27	-0. 32	-0. 32	-0.3 2	-4	-5	-6	-6
t2	3.5 9	3.4 8	3.2 9	3.3 5	-0. 35	-0. 37	-0. 40	0.39 3	-6	-6	-7	-7
t3	3.5 4	3.4 8	3.2 6	3.2 9	-0. 47	-0. 49	-0. 49	0.49 3	-8	-8	-9	-9
t4	3.3 9	3.3 9	3.1 9	3.2 2	-0. 57	-0. 58	-0. 57	0.58 4	-10	-10	-10	-10
t5	3.4 4	3.4 3	3.2 5	3.2 5	-0. 65	-0. 67	-0. 64	-0.6 4	-11	-11	-11	-11
t6	3.1 2	3.2 0	3.0 2	3.0 2	-0. 54	-0. 54	-0. 63	-0.6 3	-10	-10	-12	-12
t7	3.1 7	3.2 0	3.0 6	3.1 1	-0. 46	-0. 47	-0. 56	0.55 3	-8	-8	-11	-11
t8	3.2 4	3.2 2	3.1 0	3.1 4	-0. 54	-0. 55	-0. 59	0.60 3	-10	-10	-11	-11
t9	3.2 0	3.2 3	3.0 8	3.0 9	-0. 74	-0. 71	-0. 70	0.69 3	-13	-13	-13	-13
t10	2.9 8	2.9 6	2.8 1	2.8 1	-0. 98	-0. 94	-0. 79	-0.7 9	-19	-18	-16	-16
t11	3.0 0	3.0 3	3.0 0	3.0 0	-0. 51	-0. 52	-0. 60	-0.6 0	-10	-10	-11	-11
t12	3.1 8	3.1 4	3.0 7	3.1 0	-0. 58	-0. 58	-0. 63	0.62 3	-10	-11	-12	-12
t13	3.2 4	3.2 3	3.0 4	3.1 0	-0. 67	-0. 62	-0. 65	0.65 3	-12	-12	-12	-12
t14	3.1 4	3.1 1	2.9 7	3.0 1	-0. 71	-0. 67	-0. 67	0.67 3	-13	-12	-13	-13
t15	2.9 5	3.0 0	2.8 1	2.8 1	-0. 84	-0. 84	-0. 71	-0.7 1	-16	-16	-15	-15
t16	2.9 2	2.9 3	2.9 1	2.9 1	-0. 60	-0. 61	-0. 61	-0.6 1	-12	-12	-12	-12
t17	3.1 1	3.0 7	3.0 4	3.0 2	-0. 67	-0. 65	-0. 65	0.63 3	-12	-12	-12	-12
t18	3.1 7	3.0 9	3.0 4	3.0 5	-0. 71	-0. 66	-0. 64	0.66 3	-13	-12	-12	-12
t19	3.0 7	3.0 5	3.0 3	2.9 9	-0. 73	-0. 70	-0. 62	0.66 3	-14	-13	-12	-12
t20	3.0 2	3.0 2	3.1 0	3.1 0	-0. 73	-0. 71	-0. 69	-0.6 9	-14	-14	-13	-13

净宽, 有利于后续桥区航道的升级。选择在弯道处建桥时, 桥墩应顺着水流方向偏转, 并充分考虑横流对船舶航行造成的影响。

参考文献:

[1] 陈明栋, 陈明, 林巧, 海显盛. 山区河流桥区通航条件和通航安全问题研究 [J]. 水运工程, 2009(08):84-88.

[2] 张丹, 黄立文, 陈立家, 范晓颺. 桥区航道整治工程对大型船队过桥影响的数值分析 [J]. 水运工程, 2012(03):115-118+153.

[3] BJ 50139—2014, 内河通航标准 [S].

[4] 李文艳, 黄力, 李歌清, 孙平, 贾鹏鹏, 魏雪莲, 宋莉莉. 山区航道跨河桥梁通航净空尺度研究 [J]. 水运工程, 2021(07):142-148.

[5] 陈明栋, 陈明, 林巧, 海显盛. 山区河流桥区通航条件和通航安全问题研究 [J]. 水运工程, 2009(08):84-88.