

文章编号:1001-7372(2005)04-0007-05

分洪区内修建高速公路的防洪安全影响分析

冯小香¹, 张小峰¹, 徐德龙²

(1. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;

2. 长江水利委员会水文局, 湖北 武汉 430010)

摘要:针对穿越分洪区的高速公路建设问题,利用分洪区平面二维洪水演进数学模型,对分洪区内高速公路工程修建前后的分蓄洪过程进行了数值模拟。通过对分洪流量、分洪历时、水位过程、流速过程、堤防近岸流速等分洪要素的计算结果分析,提出在分洪区内修建高速公路时应着重考虑分洪时公路边坡的稳定性和抗渗性、防排水系统的完善以及高架桥桥孔的布设等,最大限度地保证公路自身的防洪安全;同时也应从保证防洪建筑物(堤防、安全区)的安全、防洪通道的畅通等角度出发,进一步优化公路设计,最大程度地降低工程对防洪设施的不利影响。

关键词:道路工程;防洪安全;数值模拟;分洪区

中图分类号:U412.366

文献标志码:A

Flood control safety analysis of freeway construction in flood retention area

FENG Xiao-xiang¹, ZHANG Xiao-feng¹, XU De-long²

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: To solve the problem of freeway construction in flood retention area, a plane two-dimensional numerical model was employed to simulate the flood propagation process in the flood retention area. By comparing differences of flood discharge, time, water level and velocity from the numerical model without and with the road in the flood retention area, important aspects to flood control which must be considered in the planning of freeway were recommended. From the respect of freeway safety, it was very important to consider fully stability and impermeability of side slope, improvement of drainage system, and arrangement of viaducts. From the respect of flood-control works safety, such as dike, safety zone, and straightness of flood control road, freeway design should be more optimized. So it may furthest reduce the adverse effect to flood control establishment.

Key words: road engineering; flood control safety; numerical simulation; flood retention area

0 引言

为了满足区域社会经济自身需求和加速增长的公路交通运输需求,规划中的高速公路建设

项目越来越多,一些高速公路的路线不可避免地要穿越分洪区。在分洪区这一特殊的载水体内修建高速公路时,需要考虑以下两个方面的安全影响:一方面,在分洪区内修建高速公路,势必会侵占分洪区的

收稿日期:2004-11-21

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2003CB15203)

作者简介:冯小香(1977-),女,河南温县人,工学博士研究生。E-mail:kathyfxx@163.com

蓄洪容积,影响分洪时分洪区内水流运动结构,造成分洪区分洪能力的下降,在一定程度上增加防洪负担。另一方面,一旦防洪形势严峻,需要启用分洪区时,分洪区可能存在较长时间的蓄、滞洪情况,高速公路可能会受到长期的浸泡和风浪的影响,这样就对高速公路的自身安全提出了更高的要求,例如,公路路面的水损坏问题^[1,2]、路基的受水特性及迎水面的冲刷问题^[3,4]等。因此,在规划设计和施工时,必须着重考虑上述两个方面引起的安全问题。鉴于数学模型可细致模拟分洪区内水流运动规律,并具有投资少、周期短等优势,笔者利用分洪区二维洪水演进数学模型,以长江涨渡湖分洪区为研究对象,对在分洪区内修建高速公路时应该着重考虑的防洪安全影响因素进行了探讨。文中有关水位和地形高程基准面除特别注明外,均为冻结吴淞基面。

1 涨渡湖分洪区及高速公路概况

涨渡湖分洪区位于长江中游新洲中南部,地处长江中游北岸,东抵举水西堤,与黄州市隔水相望,西至倒水河的倒东堤,南依长江堵龙干堤,北靠凤凰丘陵岗地。东西宽 26 km,南北长 34 km。作为长江整体防洪工程的重要组成部分,在遭遇特大洪水的情况下,启用涨渡湖分蓄洪区分洪,可以减轻洪水对武汉市的威胁,对于确保武汉市城区安全有着举足轻重的作用。涨渡湖分洪区见图 1。拟建的某高速公路 AB 方案及 B 方案穿越涨渡湖分蓄洪区的路线及高架桥位置如图 1 所示,各线路方案的高架桥设置情况如表 1 所示。其中 AB 线路与 B 线路在距松林湾桥中心约 1.4 km 的位置分离。分离前,AB 线路与 B 线路高速公路共建有 1#~3# 桥;分离后 AB 线路上有 4#~9# 桥,B 线路上有 10#~12# 桥。

2 分洪区二维洪水演进数学模型

2.1 基本方程

水流连续性方程

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

水流运动方程

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} + \mu_t \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z}{\partial y} - \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} + \mu_t \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right)$$

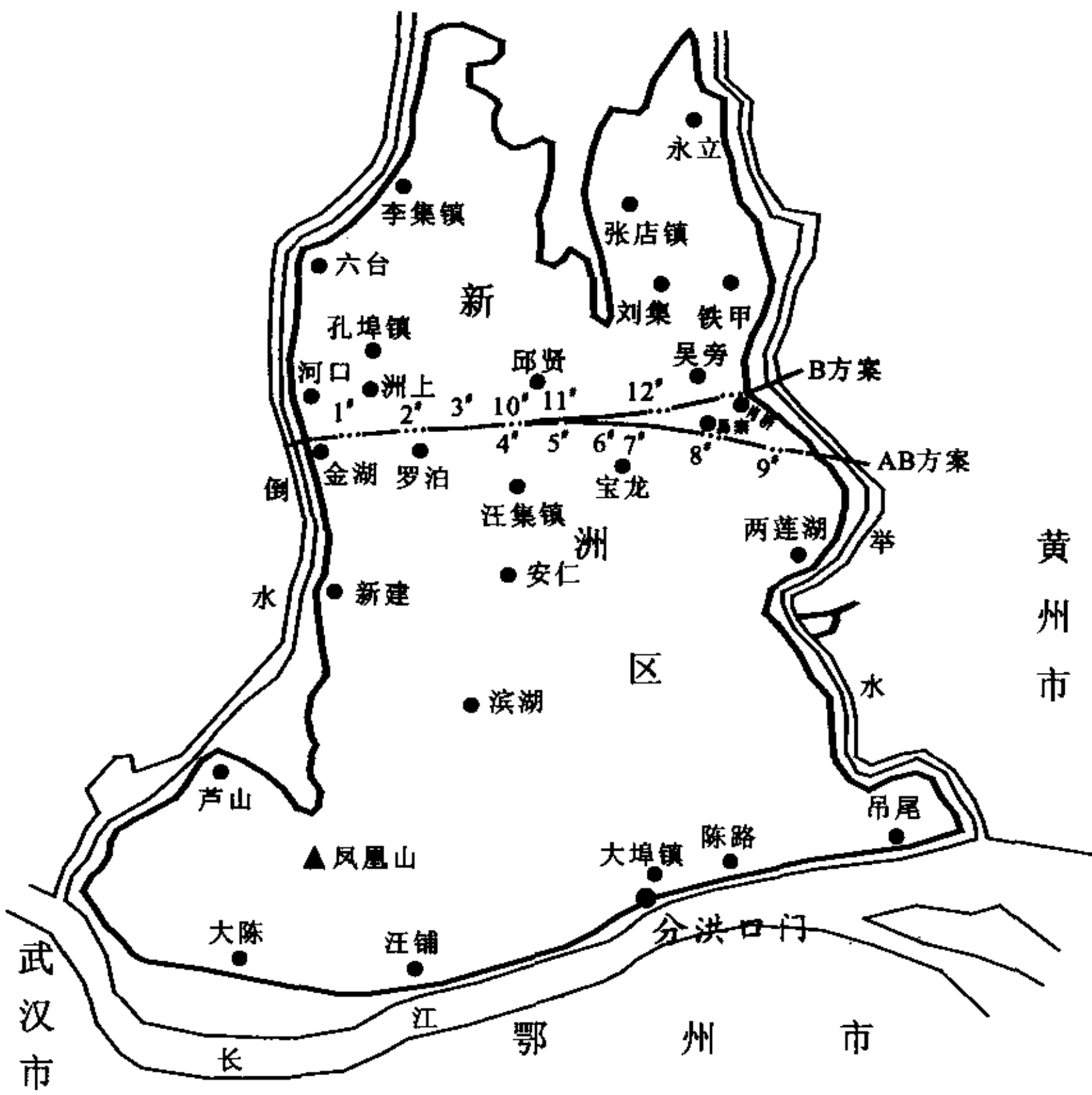


图 1 涨渡湖分洪区及高速公路路线
Fig. 1 Zhangduhu flood retention and route of freeway

$$\frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} + \mu_t \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \tag{3}$$

式中:Z 为水位;h 为水深;u、v 分别为垂线平均流速在 x、y 方向的分量;M、N 分别为单宽流量在 x、y 方向的分量,M=hu,N=hv;n 为曼宁糙率系数;g 为重力加速度;μ_t 为扩散系数。

表 1 高速公路穿越分洪区内高架桥设置情况
Tab. 1 Viaducts setting of freeway in flood retention

线路	桥名	桥孔尺寸/m	线路	桥名	桥孔尺寸/m
AB 线、 B 线 (分离前)	1#	3×20	AB 线 (分离后)	4#	8×20
	2#	83×20		5#	7×20
	3#	3×20		6#	3×20
B 线 (分离后)	10#	8×20		7#	3×20
	11#	3×20		8#	59×20
	12#	70×20		9#	3×20

2.2 计算方法

本模型中采用有限体积法^[5]计算,有限体积法又称有限控制容积积分法,即把计算区域按划分的网格离散为若干点,以这些点为中心,把整个计算区域划分为若干互相连接但不重叠的控制体。具体离散结果见文献[6]。

2.3 模型计算范围及控制条件

模型采用 1:50 000 的涨渡湖分蓄洪区地形资料,计算范围为整个涨渡湖分蓄洪区,四周围堤为其物理边界。

根据涨渡湖分蓄洪区的现状和规划情况,涨渡湖分蓄洪区蓄洪水位 28.3 m,蓄洪容积 10⁹ m³。根据防洪调度方案,涨渡湖分蓄洪区启用按长江汉口站水位为 29.73 m 控制,当挖沟站水位为 28.6 m

时,涨渡湖扒口分洪,口门最终宽度为 580 m(图 1)。

2.4 糙率的选取

计算中采用糙率为:树林 0.070,旱地 0.065,水田 0.050,水面 0.025。如果某网格内含有多种地形,则按照各种地形糙率的加权平均值确定该网格的糙率。此外,经验表明:糙率随水深增加而减小,并趋于稳定,根据此规律确定洪水演进计算中网格的糙率。

2.5 陆地边界的处理

本模型采用冻结法处理陆地边界问题,具体方法见文献[7]。

3 模型计算结果及分析

利用该模型对修建高速公路前后涨渡湖分蓄洪区内的洪水流动过程进行了数值模拟。

3.1 高速公路修建对分洪流量的影响

高速公路设计线路建成前后进洪流量过程见图 2。从图 2 可以看出:工程前后的流量过程差别不大,B 方案进洪流量的最大减小值为 97 m³/s,AB 方案进洪流量的最大减小值为 222 m³/s,AB 方案较 B 方案大 125 m³/s。由此可以看出:高速公路的修建将对进洪流量过程产生一定的影响,但影响不大。

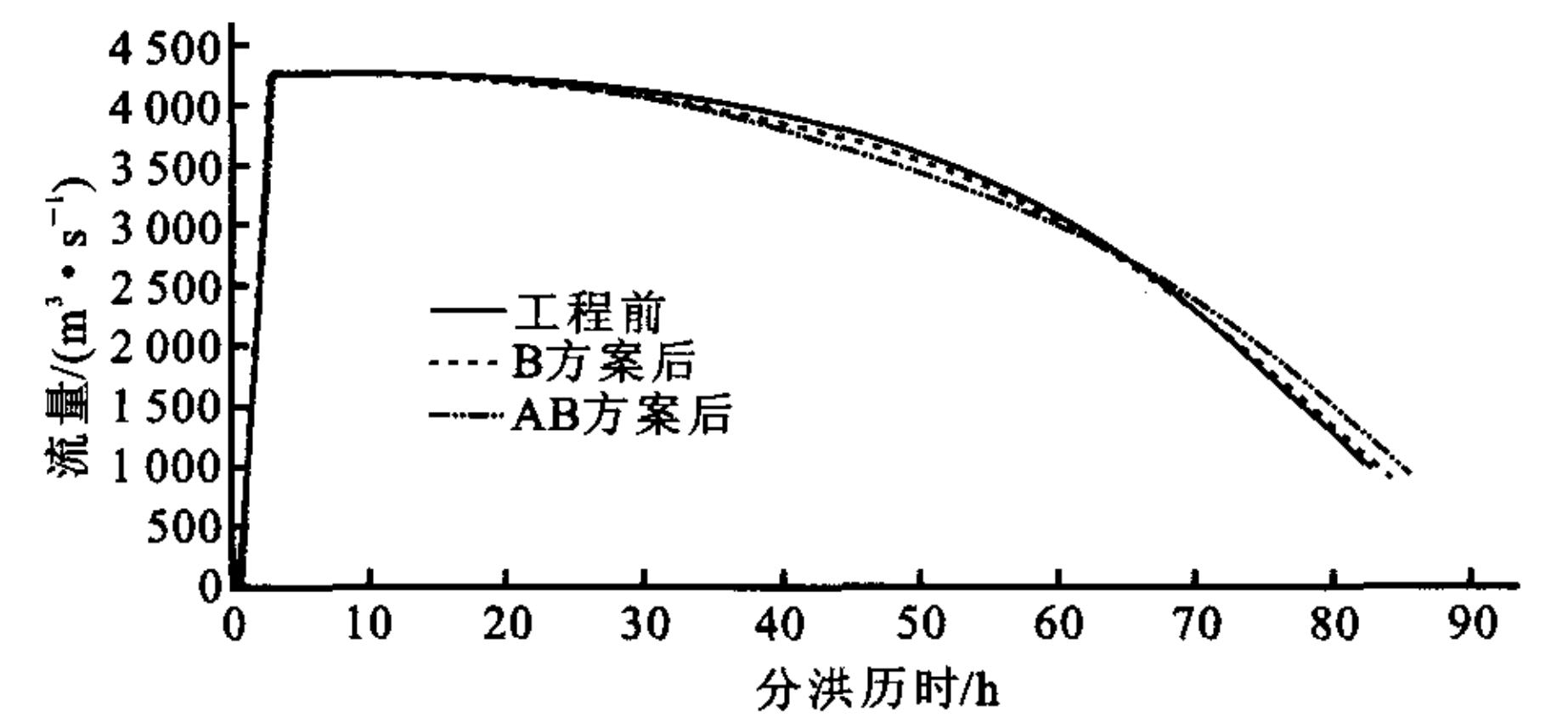


图 2 工程前后分洪口门流量变化
Fig. 2 Discharge variation of flood entrance without and with road

3.2 高速公路修建对分洪历时的影响

高速公路修建后对分洪历时的影响分两个方面来讨论:①当分蓄洪区内蓄洪量达到规定的 10⁹ m³时,对所需分洪时间的影响;②工程修建后,分蓄洪区实施分洪时,对洪水到达区内各点时间的影响。

由图 2 可以看出:当分洪区内蓄洪量达 10⁹ m³时,工程前总分洪历时为 82.64 h,工程后(B 方案)的总分洪历时较工程前延长 1.08 h,占工程前分洪历时的 1.31%;工程后(AB 方案)的总分洪历时较工程前延长 2.54 h,占工程前的 3.07%。由此可见:工程的修建将引起总分洪历时增加,且 AB 方案的分洪历时略长于 B 方案的分洪历时,两者相差 1.46 h。

工程前后洪水到达分洪区内各特征点的时间见

表 2。从表 2 可以看出:工程后洪水到达高速公路北侧(分洪口门异侧)各特征点的时间被延缓,而洪水到达公路南侧(分洪口门同侧)各特征点的时间基本不受工程的影响。处于两线路之间的易寨特征点(B 方案的南侧、AB 方案的北侧),B 方案工程的修建对该位置洪水到达时间无延缓作用,而 AB 方案对其洪水到达时间有延缓作用,延缓时间为 4.08 h。

表 2 工程前后洪水到达分洪区内各特征点时间/h
Tab. 2 Time of flood arriving at some places without and with road

特征点位置	名称	工程前	工程后(B 方案)	工程后(AB 方案)	差值(B 方案)	差值(AB 方案)
两线路北侧	李集镇	32.21	34.27	35.97	2.06	3.76
	刘集	30.29	31.44	33.41	1.15	3.12
	孔埠镇	26.03	26.4	26.43	0.37	0.4
	吴旁	26.35	27.71	28.05	1.36	1.7
两线路南侧	新建	18.75	18.75	18.75	0	0
	陈路	1.04	1.04	1.04	0	0
两线路之间	易寨	25.95	25.84	30.03	-0.11	4.08

3.3 高速公路修建对流速过程的影响

模型模拟了分洪区内罗泊、孔埠镇等不同特征点位置的流速变化过程,笔者仅给出具有代表性的孔埠镇和新建两位置的流速变化过程,如图 3 所示。表 3 列出了部分特征点流速峰值及峰现时间。由图 3、表 3 可以看出:B 方案或 AB 方案工程修建后,在公路北侧洪水到达时间被延缓的同时,洪水波前锋过后流速达到峰值的历时较工程前略长且峰值略有减小。在公路南侧的新建、汪铺等位置,洪水到达的时间不会受到公路的影响,流速峰值及峰现时间也基本一致。由于肖桥特征点位于 AB 方案的北侧、B 方案的南侧,与其余特征点相比变化规律略有差别,当修建 B 方案高速公路时,由于该位置在公路南侧,工程前后洪水到达该位置的时间变化不大,峰现时间也基本一致,其流速峰值较工程前增加;当修建 AB 方案高速公路时,由于该位置在公路北侧,工程后较工程前洪水到达该位置的时间及峰现时间均略有增加,由于高架桥的集中过流作用,流速峰值略有增加。

3.4 高速公路修建对蓄洪水位的影响

如第 3.3 节所述,仅给出具有代表性的孔埠镇和新建两位置的水位变化过程,见图 4。从图 4 可以看出:工程前后各特征点水位上涨过程有一定差别。工程后,公路南侧各特征点的水位过程线高于工程前的水位过程线;公路北侧各特征点水位上涨

过程变缓,相应水位过程线均低于工程前的水位过程线。当分洪区接近蓄满时,工程前后的水位过程线的差别逐渐减小,B方案与AB方案的最后蓄洪水位分别较工程前上涨0.006、0.009 m。

表 3 部分特征点流速峰值及峰现时间
Tab. 3 Velocity peak value and time of peak in some places

特征点		新建	汪铺	两莲湖	肖桥	孔埠镇	永立
流速峰值/(m·s ⁻¹)	工程前	0.77	0.222	0.214	0.226	0.288	0.187
	工程后(B方案)	0.77	0.222	0.214	0.238	0.234	0.149
	工程后(AB方案)	0.77	0.222	0.214	0.229	0.212	0.145
	差值(B方案)	0	0	0	0.012	-0.054	-0.038
	差值(AB方案)	0	0	0	0.003	-0.076	-0.042
对应峰现时间/h	工程前	20.53	12.58	13.78	24.133	26.24	40.1
	工程后(B方案)	20.53	12.58	13.78	24.125	27.76	42.08
	工程后(AB方案)	20.53	12.58	13.78	24.22	28.37	46.13
	差值(B方案)	0	0	0	-0.008	1.52	1.98
	差值(AB方案)	0	0	0	0.087	2.13	6.03

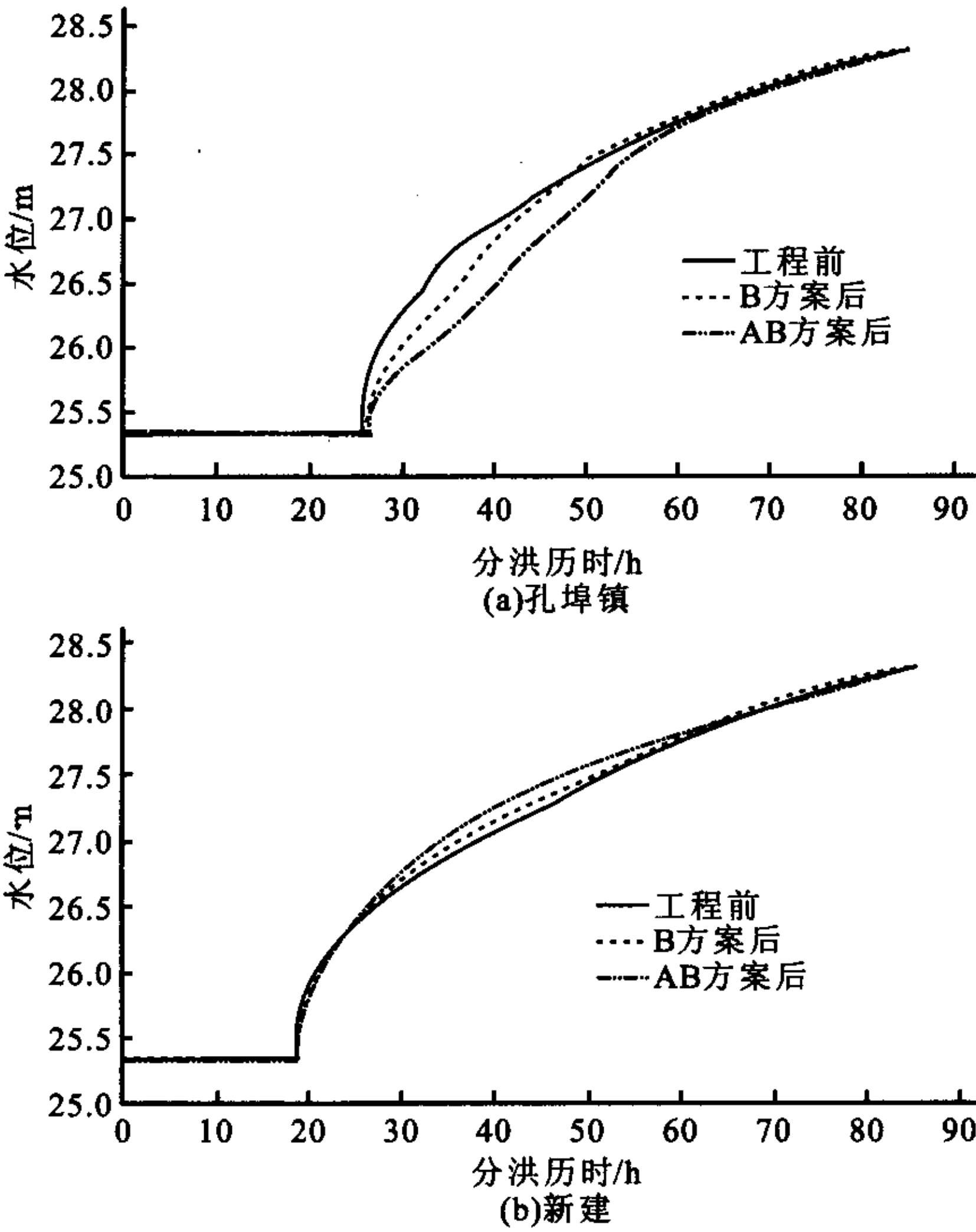
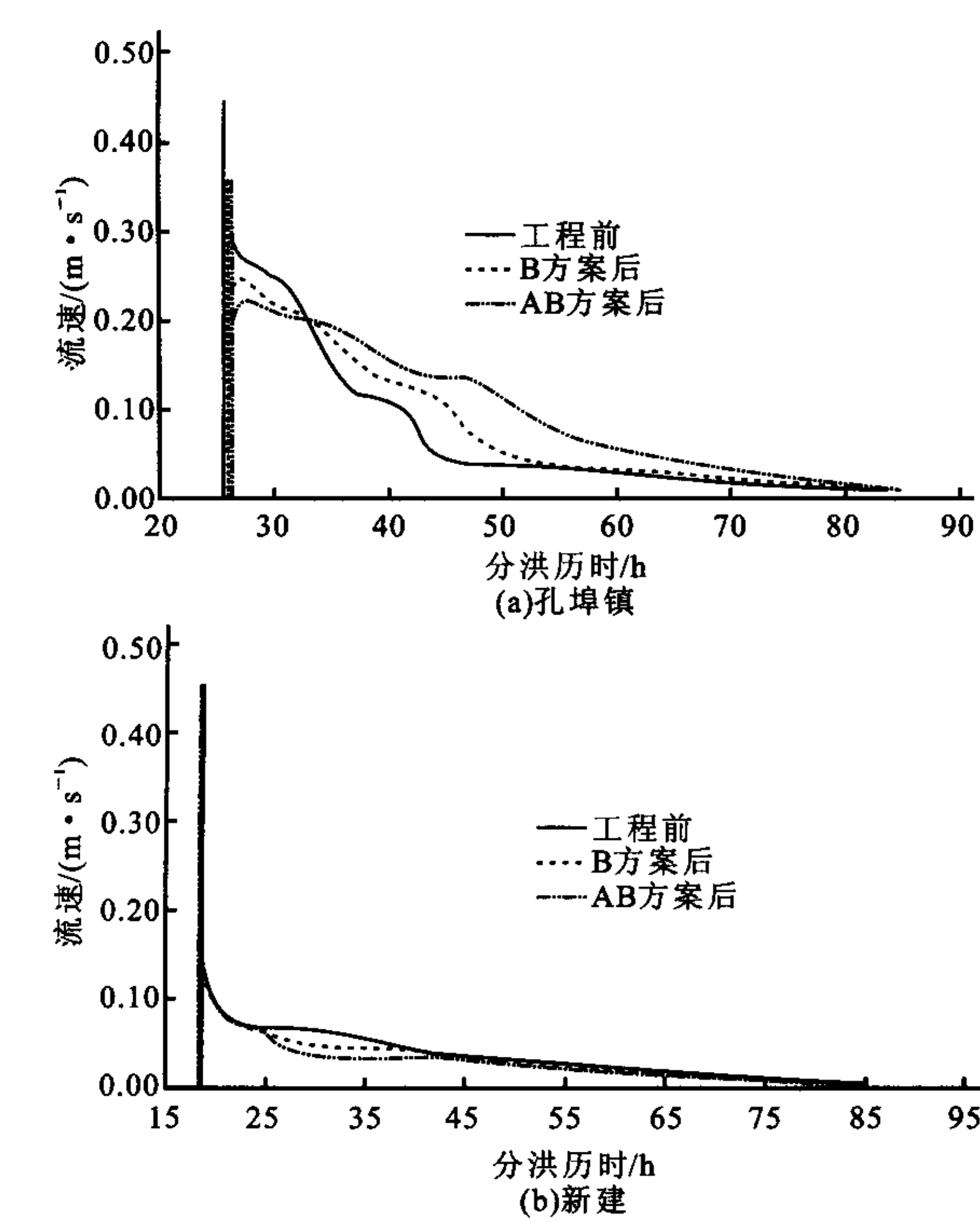


图 3 分洪区内部分位置流速变化
Fig. 3 Velocity variation of some places in flood retention

图 4 分洪区内部分位置水位变化
Fig. 4 Water level variation of some places in flood retention

3.5 高速公路修建对堤防的影响

表 4 列出了堤防附近不同特征点流速变化统计值。由表 4 可见:B 方案、AB 方案工程前后堤防附近各点流速的最大增加值分别为 0.043、0.04 m/s,均发生在金湖附近。这主要是因为高速公路在跨越分洪区东西两侧的倒水河和举水河时采用高架桥结构,由于高架桥的集中过流作用,公路附近堤防近岸流速增加,堤防的安全受到一定程度的威胁。因此,在公路施工时,应尽量使高架桥位置远离堤防,并对公路两侧一定范围内的堤防进行加固和防护。

4 工程设计及施工考虑因素

结合上述计算结果,笔者认为在分洪区内修建高速公路时应考虑以下几个方面:

(1)对分洪历时及水位过程的分析表明:对涨渡湖分洪区来说,该高速公路将经历 80 h 左右的分洪过程,该过程中公路的两侧存在一定的水位差,有发生渗漏的可能,因此工程设计中需要考虑高速公路边坡的稳定性和抗渗性。另外,根据防洪形势的需要,分洪区蓄满后,还可能存在较长时间的蓄、滞洪情况,高速公路可能会受到长期的浸泡和风浪的影

响,公路的路基、桥涵等将会受到严重的冲击。蓄积的洪水可能加剧路基和路面结构的损坏,加快路面使用性能的破坏,缩短路面的使用寿命。因此,工程的施工修建和运用还应充分考虑分蓄洪时工程自身的防洪安全,完善公路的防排水系统。

表 4 工程前后堤防附近特征点流速变化统计/(m·s⁻¹)

Tab. 4 Velocity near dike without and with road					
特征点	工程前	工程后 (B 方案)	工程后 (AB 方案)	差值 (B 方案)	差值 (AB 方案)
李集镇	0.167	0.169	0.164	0.002	-0.003
六台	0.288	0.279	0.283	-0.009	-0.005
河口	0.267	0.284	0.279	0.017	0.012
金湖	0.254	0.297	0.294	0.043	0.04
新建	0.077	0.077	0.077	0	0
大陈	0.353	0.353	0.353	0	0
汪铺	0.222	0.222	0.222	0	0
大埠镇	0.933	0.933	0.933	0	0
陈路	0.788	0.788	0.788	0	0
吊尾	0.357	0.357	0.357	0	0
两莲湖	0.214	0.214	0.214	0	0
易寨	0.262	0.257	0.275	-0.005	0.013
肖桥	0.226	0.238	0.229	0.012	0.003
铁甲	0.277	0.227	0.225	-0.05	-0.052
永立	0.187	0.149	0.145	-0.038	-0.042

(2)对流速过程的分析表明:工程的修建将在一定程度上改变各特征点流速的峰值和峰现时间。特别是在高架桥附近区域,流速峰值增加,对分洪区内地表的冲击力加大,有可能破坏分洪区内的地表覆盖层,对分洪区内已有的建筑物的维护和稳定产生一定程度的威胁,如安全区、安全台等。因此,设计部门应尽量避免高架桥桥孔出流顶冲安全区等重点保护单位,施工单位也应对分洪区内高速公路附近的重点保护单位的围堤(子堤)进行防护加固,以最大程度地降低工程对建筑物的不利影响。

(3)对堤防安全的分析结果表明:工程修建后将导致部分堤段近岸流速的增加,对堤防的冲击力加大。尤其是当高速公路穿入和穿出分洪区的位置采用高架桥时(例如,涨渡湖分洪区在跨越分洪区时分别采用高架桥方式跨越倒水河和举水河),在分洪过程中,由于水流从高架桥桥孔集中过流,流速增加,容易对高架桥上下游附近一定区域的堤防造成较大影响。为避免对堤防的这种不利影响,在工程设计时,建议将高架桥部分路段的位置向分洪区内移,使桥墩与堤防保持足够间距,并对高速公路附近一定范围内堤防采取必要的防护加固措施,桥墩施工时

应采用灌注桩,以减小对堤防附近覆盖层的破坏,降低对堤防附近的渗流影响。另外,高架桥桥孔上下游一定范围内的地面还需进行防冲刷和消能处理。

(4)分洪区内修建高速公路和桥梁时,其线路选择应尽量与分洪区内的安全转移道路和桥梁配合协调好,设置通道,避让分洪区的安全设施,不干扰、影响分洪区内地方道路和撤离通道,以便于分洪区内的人员、财产的安全转移。特别是当高速公路跨越分洪区堤防时,公路桥梁梁底与堤防顶部(设计高程)之间的净空必须满足防汛车辆通过的要求。

(5)在综合考虑上述客观因素的前提下,需要在改善交通环境的同时注意环境保护,美化公路及高架桥的结构设计,在贯彻适用、安全、经济、美观的设计原则下因地制宜,采用不同结构;要求达到外形简洁,风格统一,线条流畅,轻巧、通透(消除过去高架路下常有的压抑感),并便利施工的目的。

5 结 语

以涨渡湖分洪区内拟建的某高速公路为工程研究对象,利用平面二维洪水演进数学模型,模拟了高速公路工程建设前后分洪区内洪水的演进过程。计算结果表明:高速公路修建后,对分洪流量、分洪历时、蓄洪水位、流速过程及堤防近岸流速等会产生一定的不利影响。在此基础上,分析了穿越分洪区的高速公路建设应该着重考虑的自身安全和防洪安全因素,为工程设计和施工单位提供科学的参考。

参考文献:

[1] 刘红瑛,戴经梁. 水位对沥青混合料水稳定性的影响[J]. 长安大学学报(自然科学版),2004,24(4):18—21.

[2] 韩海峰,吕伟民,何桂平. 水作用下沥青混合料永久变形特性的表现形式[J]. 中国公路学报,2003,16(4):4—8.

[3] 汪双杰,黄晓明,倪一鸿. 改性膨胀土路基受水特性[J]. 交通运输工程学报,2004,4(1):15—20.

[4] 田伟平,李惠萍,高冬光. 沿河路基冲刷机理与冲刷深度[J]. 长安大学学报(自然科学版),2002,22(4):39—42.

[5] 谭维炎. 计算浅水动力学——有限体积法的应用[M]. 北京:清华大学出版社,1998.

[6] 张小峰,余明辉,倪晋仁. 堤顶越流破坏过程模拟初探[A]. 第四届全国泥沙基本理论研讨会论文集[C]. 四川:四川大学出版社,2000. 430—434.

[7] 李义天,赵明登,曹志芳. 河道平面二维水沙数学模型[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002. 131—132.