

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.11.024

# 地铁盾构施工对上部既有桥梁的影响分析

刘金荣

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**以成都地铁 1 号线盾构施工下穿既有锦江大桥为研究对象,采用大型三维有限元软件 ANSYS,分别对桥梁基础加固前后,地铁盾构施工对既有桥梁所产生的位移及应力进行数值模拟计算,对加固前后的结果进行比较分析,总结出有意义的结论,有关经验可供相关专业人员参考。

**关键词:**地铁盾构;既有桥梁;桥梁加固;数值分析

**中图分类号:** U441

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2023)11-0095-04

## 0 引言

随着城市化进程的深入推进,城市轨道交通网络的不断加密以及盾构法广泛应用于地铁施工,地铁盾构隧道下穿既有桥梁的现象越来越多。在地铁盾构施工过程中,不可避免地会对上覆土体产生扰动。由于土体损失、周围孔隙水压变化及衬砌变形等,土体原始应力将重新分布,原有的土体平衡状态遭到破坏。导致地表发生下沉变形、倾斜变形、曲率变形、水平移动变形及非连续变形等问题。地表产生的移动和变形较大时,往往又会引起地上既有桥梁结构的开裂、沉降、倾斜等问题,这将对桥梁的使用、甚至安全构成威胁。因此,深入开展地铁盾构施工对既有桥梁的影响研究,制定安全可靠经济的桥梁基础加固措施,对推动我国城市地下轨道交通的进一步发展,具有重大意义。

目前关于隧道开挖对建筑物的影响的分析方法主要有两大类<sup>[1]</sup>,第一类是整体分析法,即在模拟开挖过程的同时,将周围土体、建筑物及其基础作为一个整体分析,一般需用有限元等数值方法进行计算分析。

第二类为两阶段分析方法,即把隧道开挖对建筑物的影响分成两个阶段来分析:第一阶段分析隧道开挖引起的土体变形;第二阶段将土的变形施加到建筑物及其基础上,分析建筑物及其基础的变形和内力变化。

本文采用第一种方法,即整体分析法,对地铁盾

构施工对上部大桥的影响进行计算,采用三维非线性有限元,分别对桥梁基础加固前后,地铁盾构施工对既有旧桥所产生的位移及应力进行模拟计算,对加固前后的结果进行分析比较。

## 1 工程概况<sup>[5]</sup>

锦江桥上部结构为三跨红砖砌变截面圆弧拱,净跨径为 15 m,拱上填料为碎混凝土(或砖);下部结构:桥台基础为 50 级砂浆砌条石基础、台身为 15 级水泥石灰砂浆砌城砖;桥墩基础为 50 级砂浆砌条石基础、墩身为 15 级水泥石灰砂浆砌城砖。地铁采用盾构法施工,平行双洞隧道形式,隧道半径为 3 m,两平行隧道圆心之间距离 11 m,隧道支护材料为 C30 混凝土管片,壁厚 30 cm。其下穿锦江大桥区间位置关系为:隧道拱顶距地面约 7 m 左右,隧道左线近接桥梁基础,距离约 2 m。桥梁隧道平面位置关系见图 1,桥梁隧道立面位置关系见图 2。

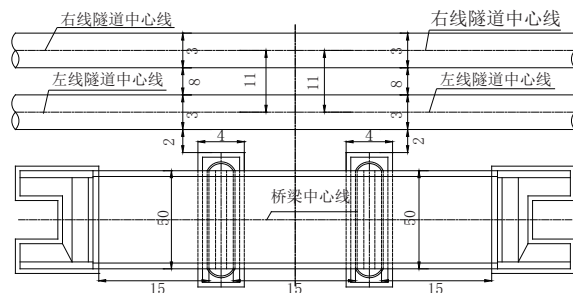


图 1 桥梁隧道平面位置关系图(单位:m)

## 2 大桥加固措施

### 2.1 围堰注浆加固法

对桥梁基础近接隧道一端进行围堰注浆加固。首先对桥墩台基础进行草袋围堰处理,然后采用袖阀

收稿日期: 2023-01-11

作者简介:刘金荣(1979—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

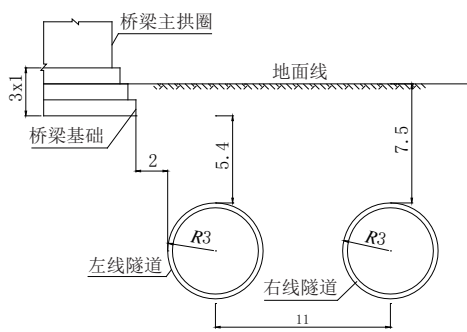


图2 桥梁隧道立面位置关系图(单位:m)

管注浆,注浆材料为水泥—水玻璃浆液。加固后的渗透系数不大于  $1 \times 10^{-5}$  cm/s,无侧限抗压强度不小于 1 MPa。盾构通过前,应对注浆效果进行确认,合格后再进行开挖施工,盾构掘进至该处时应调整盾构相关掘进参数,如推力、掘进速度等,盾构通过后如检测出现异常,则需要进行二次注浆,以保证桥梁安全。

### 2.2 钢管桩加注浆加固

对锦江桥基础近接隧道一端下方土体采用钢管桩加注浆形成钢管桩墙隔断加固措施。加固微型桩设置两排,并注浆,桩顶设置冠形梁形成钢管桩墙,钢管桩插入破裂面以下不少于 3.0 m,桩纵向间距 300 mm,图中阴影区域为注浆区域。加固范围为北桥台内 5m 至南桥台 5 m,共 60 m 长。

## 3 数值模拟

### 3.1 数值模型建立

本文采用大型通用有限元软件 ANSYS 对加固前后效果进行模拟<sup>[3-4]</sup>。模型尺寸为:沿桥跨方向,即隧道开挖方向为 X 轴,全长 105 m。垂直于桥跨方向为 Z 轴,全长 110 m。垂直于地面方向为 Y 轴,地面以下垂直高度为 30 m,地面以上桥台、墩高 4 m。采用的单元类型为:拱圈和隧道支护采用 shell63 壳单元模拟,其余土体采用 solid45 实体单元模拟。模型采用映射法划分单元,共划分 48 700 个单元,50 577 个节点,单元材料以不同颜色显示见图 3,桥梁隧道位置关系见图 4。

### 3.2 地质条件及计算参数选取

根据地质勘察报告,本区间所揭露岩土地层分布较为稳定,均为第四系地层。地表多为第四系人工填土,其下为第四系全新统冲洪积黏质粉土、砂(粉)类土、圆砾土及上更新统粉质黏土、砂类土等组成。具体计算参数取值见表 1。

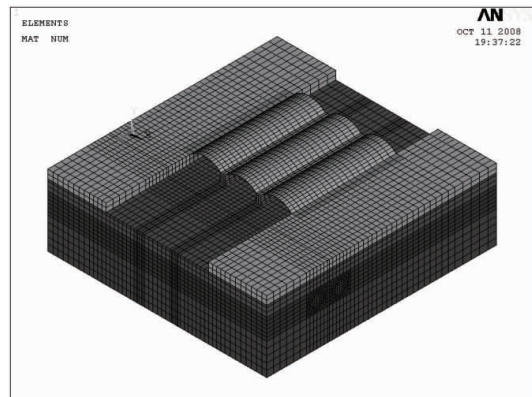


图3 整体有限元计算模型



图4 桥梁隧道位置关系图

表 1 材料参数取值表

材料	容重 / ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	泊松比	弹性模量 / MPa	粘聚力 / kPa	摩擦角 / ( $^\circ$ )
杂填土	17.5	0.32	5.96	11	12.6
黏质粉土	19.8	0.26	20.3	18	15.5
粉细砂	23.4	0.29	31	0	29.5
管片	25	0.2	30 000		
拱圈	22	0.25	20 000		

## 4 位移计算

### 4.1 加固前后整体竖向位移(Y方向)结果

由计算结果可知,加固前左线隧道贯通后竖向位移最大值为 34.4 mm,加固后为 21.1 mm,加固后位移减小 13.3 mm。双线隧道贯通后加固前竖向最大位移为 36.2 mm,加固后为 23.5 mm,加固后位移减小 12.7 mm。现取坐标  $X=0$ ,垂直于隧道轴线处的截面为参考面 A,提取该参考面地面节点竖向位移,绘出加固前后节点位移曲线见图 5、图 6。

### 4.2 加固前后桥梁竖向位移(Y方向)结果

由计算结果可知,加固前后桥梁基础下沉最大值均出现在临近隧道一端,最小值出现在远离隧道一段,桥梁整体产生不均匀沉降。加固前左线隧道

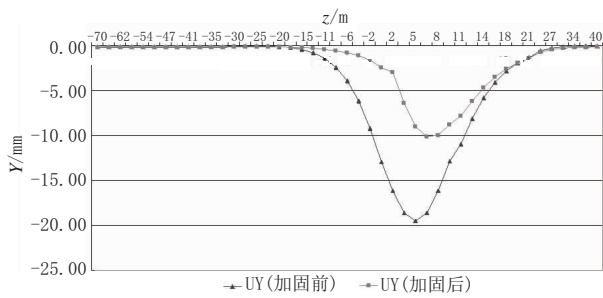


图5 左线隧道贯通后A地面节点位移曲线图

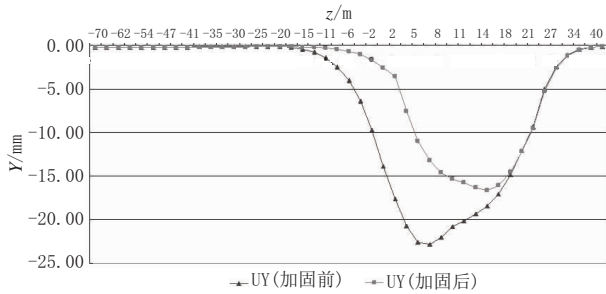


图6 双线隧道贯通后A地面节点位移曲线图

贯通后桥基竖向位移最大值为 11.3 mm, 加固后为 2.4 mm, 加固后位移减小 8.9 mm。加固前左线隧道贯通后桥梁基础不均匀沉降最大值 12.6 mm, 加固后为 2.8 mm, 加固后减小 9.8 mm。双线隧道贯通后桥基加固前竖向最大位移为 12 mm, 加固后为 2.6 mm, 加固后位移减小 9.4 mm。双线贯通后桥梁基础不均匀沉降加固前为 13.5 mm, 加固后为 3.1 mm, 加固后位移减小 10.4 mm。

现取坐标  $Z=0$ 、平行于隧道轴线处的截面为参考截面 B, 提取该截面处地面节点竖向位移, 绘出加固前后节点位移曲线见图 7、图 8。图中加固前曲线的峰值处是桥梁基础所在处, 谷值处是地面土体所在处, 由于桥梁基础条石的刚度较周围土体大, 所以下沉量较周围土体的小, 出现了图中的波浪形曲线。

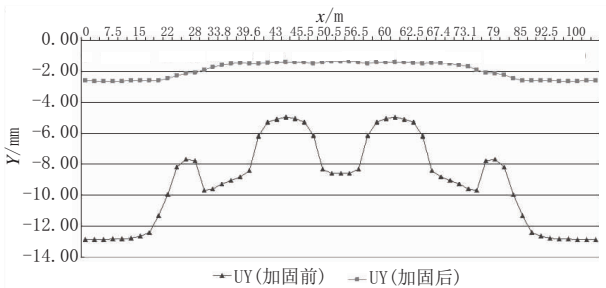


图7 左隧道贯通后参B地面节点位移曲线图

### 4.3 加固前后桥梁横向位移(X、Z方向)结果

由计算结果可知, 桥梁整体在隧道开挖过程中垂直于隧道方向(Z方向)产生横向侧移, 左线隧道贯通后横位移加固前最大值为 1.2 mm, 加固后为 0.8 mm, 加固后位移减小 0.4 mm。双线贯通后加固前横位移为 1.6 mm, 加固后为 1.1 mm, 加固后位

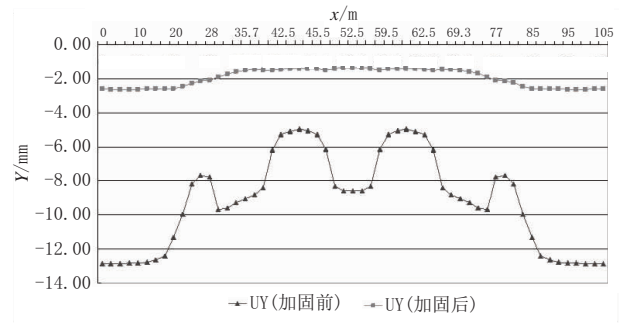


图8 双线隧道贯通后参B地面节点位移曲线图

移减小 0.4 mm。

由计算结果可知, 桥梁整体在隧道开挖过程中沿隧道方向(X方向)产生横向侧移, 左线隧道贯通后横位移加固前最大值为 1.7 mm, 加固后为 0.4 mm, 加固后位移减小 1.3 mm。双线贯通后加固前横位移为 1.9 mm, 加固后为 0.4 mm, 加固后位移减小 1.5 mm。

### 4.4 位移计算结果分析

将加固前后位移计算结果汇总见表 2。可以看出, 对锦江大桥进行围堰注浆及钢管桩加固后, 地表最大沉降及桥墩台各项位移值都有了较大减小, 加固效果明显。地表沉降最大值为 23.5 mm, 在规定的范围之内(一般城市地表沉降基准:  $+10 \sim -30$  mm)。桥梁最大基础沉降值为 2.8 mm, 最大不均匀沉降为 3.1 mm, 均在要求范围之内<sup>[2]</sup>。

表2 位移加固效果汇总表

单位: mm

位置	工况	加固前	加固后
地表最大沉降 (Y方向)	左线隧道贯通后	34.4	21.1
	双线隧道贯通后	36.2	23.5
桥墩最大沉降 (Y方向)	左线隧道贯通后	11.3	2.4
	双线隧道贯通后	12.6	2.8
桥墩最大侧移 (Z方向)	左线隧道贯通后	1.2	0.8
	双线隧道贯通后	1.6	1.1
桥墩最大侧移 (X方向)	左线隧道贯通后	1.7	0.4
	双线隧道贯通后	1.9	0.4
桥墩最大不均 匀沉降(Y方向)	左线隧道贯通后	12.6	2.8
	双线隧道贯通后	13.5	3.1

## 5 应力计算

### 5.1 基础及墩台应力结果

从计算结果来看, 基础和墩台应力加固前后有一定变化, 但应力值都比较小, 这里仅给出双线隧道贯通后加固前后第一主应力对比见图 9 和图 10。基础和桥墩台加固前最大压应力为 0.83 MPa, 加固后为 0.44 MPa, 减小了 0.39 MPa, 最大拉应力加固前

为 1.44 MPa,加固后为 0.64 MPa,减小了 0.8 MPa。

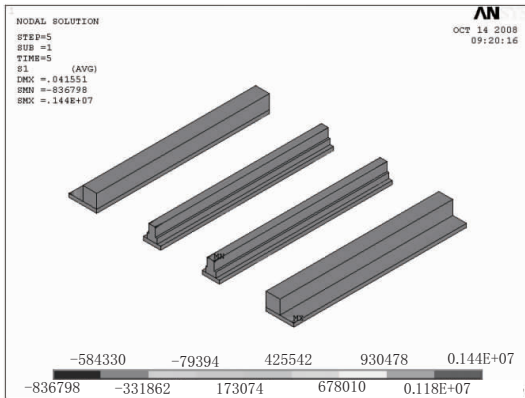


图 9 双隧道贯通后基础及墩台应力云图(加固前)

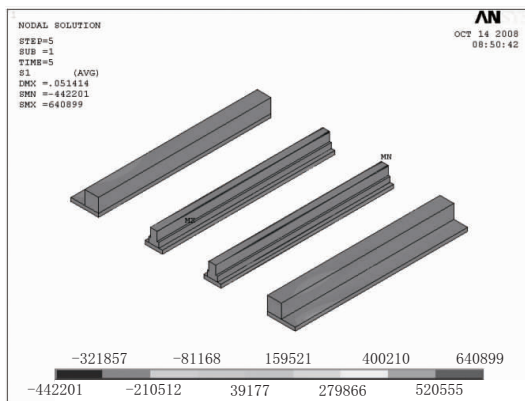


图 10 双隧道贯通后基础及墩台应力云图(加固后)

### 5.2 拱圈应力结果

从计算结果来看,拱圈应力加固前后变化不大,这里仅给出双线隧道贯通后加固前后第一主应力对比见图 11 和图 12。加固前最大压应力为 1.85 MPa,加固后为 1.78 MPa,减小了 0.07 MPa,加固前最大拉应力为 0.075 MPa,加固后为 0.1 MPa,增加了 0.025 MPa。

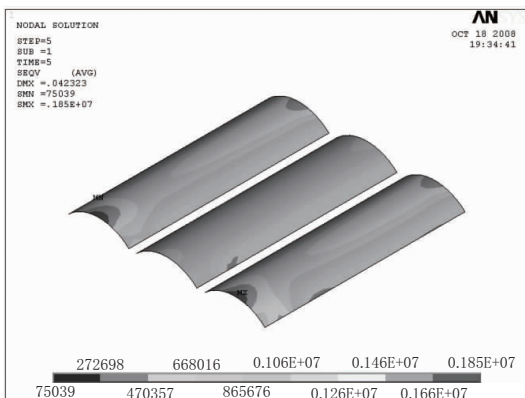


图 11 双隧道贯通后拱圈应力云图(加固前)

### 5.3 应力计算结果分析

将加固前后应力计算结果汇总见表 3,从表中的计算结果来看,基础和拱圈在加固前后应力虽然有一定的变化,但变化不大,而且应力值均较小。计算

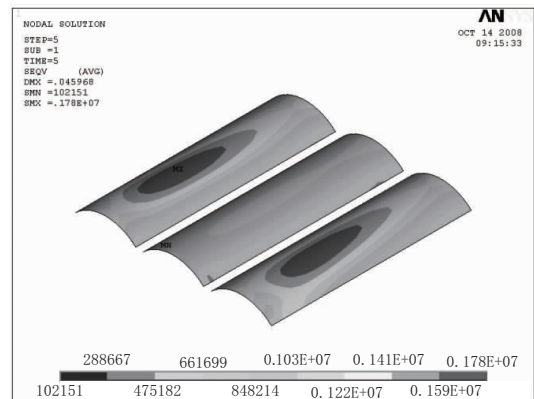


图 12 双隧道贯通后拱圈应力云图(加固后)

效果不太理想,主要原因是建模时土体材料属性的选取与简化和实际情况有一定差异,隧道开挖模拟和实际情况有一定出入,这也是进行土体模拟和隧道开挖模拟的难点,需要以后进一步研究。

表 3 应力加固效果汇总表 单位:MPa

部位	工况	最大压应力	最大拉应力
基础和墩台	加固前	0.83	1.44
	加固后	0.44	0.64
拱圈	加固前	1.85	0.075
	加固后	1.78	0.1

## 6 结语

本文通过锦江大桥和下部地铁三维非线性有限元模型,模拟计算了地铁盾构施工对上部既有桥梁的影响,对比分析了基础加固前后土体整体位移变化情况以及桥梁基础的位移和应力变化情况。主要得到以下结论和建议。

(1)地铁盾构施工下穿既有旧桥时,将使既有旧桥基础及上部结构产生相当大的位移和应力,严重影响桥梁的安全使用。

(2)地铁盾构施工,下穿既有旧桥前,应根据桥梁上下部结构形式,并考虑桥梁当前的工作状态(下沉量,承载力),制订合理的基础允许下沉指标(既应有绝对沉降指标,也应有差异沉降指标)。根据基础的允许下沉量,选择合理可行的桥梁基础加强措施和隧道施工控制指标与措施。

(3)为了保证地铁盾构施工过程中上部既有桥梁的安全稳定,需要对既有旧桥沉降及应力进行严密监测,及时分析检测数据,确保桥梁安全稳定。

#### 参考文献:

[1] 丁智.盾构隧道施工与邻近建筑物相互影响研究[D].杭州:浙江大学,2007.  
 [2] 阳军生,刘宝深.城市隧道施工引起的地表移动及变形[M].北京:中国铁道出版社,2002.

条件较差。因此,宜以二级河涌现状高程来控制最高内涝水位,增加排涝泵站规模,进而解决内涝灾情。相关治涝规划实施后平沙镇片区防洪内涝控制水位为1.6~2.0 m,仍然高于台创园区地面标高,故园区仍存在容易内涝的问题,因此同时需构建台创园区“外挡内排”的防洪排涝体系。

### 5 防洪除涝格局及工程研究

规划十字沥泵站规模 80 m<sup>3</sup>/s, 南水沥泵站规模 100 m<sup>3</sup>/s。根据规划外排泵站规模,初步复核排摸模数,平沙南水片区排涝模数为 2 m<sup>3</sup>/(km<sup>2</sup>·s)左右。

统筹防洪、除涝、通航等要求,结合泵闸建设(新、改、扩建)、河涌清淤清障、堤防加高加固、引水换水,协调城市景观等需要,落实工程建设。

优先实施平塘涌、十字沥沿线以东区域闸站,如十字沥泵站并改建平塘涌水闸,大力提高平沙镇及区域防洪除涝能力。优先实施构建台创园园区“外挡内排”的防洪除涝体系,确保台创园治涝效果。建议对近期将要实施的防洪排涝工程应尽早进行工程可行性论证,尽快发挥工程的社会和经济效益。对远期将要实施的工程,应早作准备,结合蓝线、控规等预留河道及闸站的建设用地。

本次实施方案相关工程措施见表 2、表 3。

表 3 台创园内部提升工程措施汇总表

序号	闸站	规模	位置	备注
1	1.1 连湾泵站	55 m <sup>3</sup> /s	连湾涌	通航设施, 航道疏浚等
	1.2 连湾船闸新建	新建单孔 24 m 闸	连湾涌	
2	十字沥泵站	80 m <sup>3</sup> /s	十字沥	
3	南水沥泵站	100 m <sup>3</sup> /s	南水沥	
4	大虎闸站	40 m <sup>3</sup> /s	大虎涌	
5	平塘涌闸	24 m	平塘涌	

### 6 结 语

本文根据平沙南水片区经济社会发展、水利现代化以及高质量发展等建设要求,结合相关工程实施条件以及城市市政基础设施等建设,研究相关防洪除涝整治方案。小结如下:

(上接第 98 页)

[3] 王勖成.有限单元法基本原理和数值方法[M].北京:清华大学出版社,1997.  
 [4] 葛俊颖.基于ansys的桥梁结构分析[M].北京:中国铁道出版社,

表 2 片区控制水工建筑物汇总表

序号	类型	规模	位置	备注
1	内河清淤	5.2 km	台创园一期	澎湖路沟渠 2.5 km 桃园路沟渠 0.5 km 台中路沟渠 2.2 km
2	旧闸拆除	2 孔共 5 m	台创园泵站 北侧 430 m	
3	双向泵站	1.5 m <sup>3</sup> /s	平东大道 连湾支涌	
4	节制闸	16 座 (2 m × 3 m)	台创园二期	
5	排涝泵站	3 座共 11.5 m <sup>3</sup> /s	台创园二期	
6	加固堤防	1.5 km	台创园二期	大海环涌北侧
7	内河清淤	6.5 km	台创园二期	

(1)项目安排结合投资控制采取分期分批有计划有步骤地实施。

(2)从地区实际情况出发,体现效率优先的原则,注重实效,区别轻重缓急,优先安排投资省、见效快、群众积极性高的项目。

(3)拓宽资金来源渠道是实施农村水利基础设施建设,破除制约农村水利健康发展的当务之急,积极争取相关基础设施建设资金投入,并加强资金监管,提高资金使用效益。

(4)按照“标准之内洪水不出险,超标准洪水有对策”的要求,加强非工程措施控制与管理。按照洪水期调度及引淡避咸进行水闸联合调度。

#### 参考文献:

[1] 曾肇京.水利规划 60 年[J].中国水利,2009(19):13-15.  
 [2] 潘桂娥.围涂工程规划中防洪除涝问题的研究[J].水力发电学报,2006,25(3):5.  
 [3] 林发永.上海浦东新区防洪除涝规划方案研究[J].中国水利,2022(13):4.  
 [4] 贾宁,刘强,石先武,等.基于现场调查的台风“天鸽”(1713)和台风“山竹”(1822)风暴潮灾害影响和致灾对比分析[J].海洋预报,2022,39(5):94-99.  
 [5] 庞古乾,黄玉明,何健,等.珠海市台风及其次生风暴潮特征分析与评估[J].热带气象学报,2020,36(1):9.  
 [6] 王刚,王贺然,乔鹤,等.北京市凉水河非汛期闸坝控制水位研究及效益分析[J].中国防汛抗旱,2021,31(10):56-60.  
 [7] 郭磊,袁骅勇,刘明国.浙江省太湖流域防洪治涝规划关键技术—适宜的防洪控制水位[J].南水北调与水利科技,2011,9(3):52-56.

2007.  
 [5] 刘金荣.既有桥梁评估方法及应用研究[D].成都:西南交通大学,2009.