

桥梁受洪水损伤后的特殊检查

周亚梅

(上海同丰工程咨询有限公司,上海市 200444)

摘要:以遭洪水破坏的新发水库大桥为实例,通过介绍桥梁受洪水损伤后需特殊检查的项目,包括受洪水影响而产生的病害调查、桥梁结构变位检测及下部结构静载试验等,来评估洪水对桥梁结构所造成的影响,并针对结果提出建议,以期类似桥梁受洪水损伤后的检查工作提供参考和借鉴。

关键词:桥梁;洪水损伤;检查;病害;静载试验

中图分类号: U446.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)07-0182-04

0 引言

21世纪以来,我国桥梁建设技术已达到世界先进水平。中国桥梁不仅数量稳居前列,而且创造了多个世界第一,已成为世界第一桥梁大国^[1-2]。但近年来由于全球变暖造成洪涝自然灾害频发,桥梁结构遭到洪水破坏的风险日渐提高^[3]。桥梁水毁事故在世界各地时有发生,如台湾高屏大桥因降雨,部分桥墩被冲毁造成桥面塌陷;河南洛阳的栾川汤营大桥由于洪水,大桥整体垮塌等。洪水灾害严重影响着桥梁的安全,是造成桥梁垮塌的主要原因之一,给国家和人民的生命和财产造成巨大的损失^[4-6]。洪水损伤作为桥梁服役期间所面临的重要质量问题,若事后处理不及时或处理方式不正确,极易引起重大安全事故。

本文以遭洪水破坏的新发水库大桥为工程实例,详细阐述了受洪水损伤后进行的特殊检查的项目,包括洪水影响范围调查及洪水导致的病害调查。同时为了避免抢通工作对桥梁造成二次结构性损伤,现场对桥台进行了变位监测。为了验证受洪水损伤后桥梁下部结构是否满足原设计的安全承载要求,又对受损最为严重的桥台及桥墩进行静压试验。通过多个检查项目结果综合评估本次洪水对桥梁结构所造成的影响,为该桥后期的恢复性加固提供技术依据。

1 工程概况

新发水库大桥为一座7跨先简支后连续的预应

力混凝土小箱梁桥,桥梁横向分为左、右两幅,每幅桥梁全长均为148.0 m(2联),跨径组合为 $3 \times 20.0 \text{ m} + 4 \times 20.0 \text{ m}$ 。下部结构为肋板式桥台和桩柱式桥墩,桥台和桥墩基础分别采用6根直径1.20 m和2根直径1.40 m钻孔灌注嵌岩桩,桩长均为10.0 m。2021年7月18日15时,内蒙古呼伦贝尔莫力达瓦达斡尔族自治旗境内连降暴雨,境内开放式溢洪道永安水库、新发水库相继出现决口、垮坝,致使新发水库大桥位于尼尔基侧引道全幅冲毁。

2 受洪水直接影响而产生的病害调查

2.1 洪水影响范围调查

根据现场调查结果并结合管养单位提供的资料、视频,确定洪水影响范围。本次洪水主要的影响范围为:以新发水库大桥为起点,往尼尔基方向延伸约1.3 km(桩号K1653+500至K1654+800),洪水漫过桥头引道路面,洪峰最高达到第3跨主梁底板以上50 cm。洪水时,新发水库大桥及桥头引道现场实景见图1。

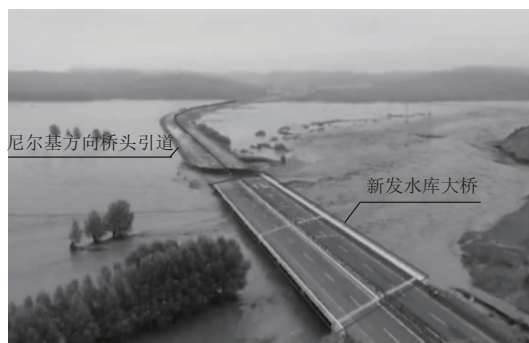


图1 洪水时新发水库大桥及桥头引道现场实景

2.2 洪水导致的病害调查

检测人员需根据现场调查,确定洪水导致的桥梁

收稿日期: 2023-05-10

作者简介: 周亚梅(1989—),女,硕士,工程师,从事桥梁检测工作。

病害。

(1)洪水主要对该桥桥头引道、墩台基础造成了较大的破坏,尤其以大桩号端(尼尔基方向)桥头引道受损最为严重,平均冲刷深度达 12.0 m,路基路面完全冲毁,其中左侧路基路面冲毁长度约为 81.0 m,右侧路基路面冲毁长度约为 42.0 m,导致交通完全中断。桥头引道冲毁区域平面示意图见图 2。

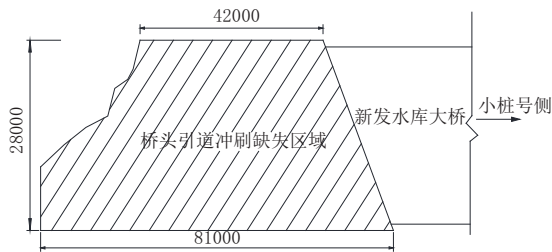


图 2 桥头引道冲毁区域平面示意图(单位:mm)

(2)洪水导致 7# 桥台台后、桥台台身及桩基础填土和防护设施完全冲毁,桥台台身完全裸露(见图 3)。经探测,桥台承台以下桩基冲刷深度达 3.0 m,占总桩长的 30%。



图 3 7# 桥台肋板台身完全裸露实景

(3)洪水导致桥下河床遭到严重冲刷,河床较原设计河床有明显下降,冲刷深度最高达 6.0 m。同时,洪水对桥墩基础均产生了不同程度的冲刷,桩基础最大冲刷深度为 5.5 m,占总桩长的 39.3%(见图 4),对结构的稳定性极为不利。



图 4 桥墩基础冲刷病害现场实景

3 桥梁结构变位检测

3.1 应急抢修过程中桥台变位监测

为了确保 G111 线交通的快速恢复,管养单位对冲毁的桥头引道采取双侧填筑碎石土进行应急抢通。由于时间紧迫,碎石土均为自然填筑,未进行分层碾压。现场碎石土一次性填筑高度达 12 m,桥台前后填土若存在高差,就会对桥台结构产生一定的侧向土压力,从而导致结构受力而产生变位。同时桥台后部大量填土极易形成“盆式沉降”,可能对桥台结构产生不利影响。为了避免引道的抢通工作对桥梁造成结构性损伤,现场对桥台进行了变位监测。现场在右幅桥 7-3# 桥台肋板底部埋设 2 个小棱镜测点,监测持续时间约为 4 h,X、Y、Z 坐标数据随时间变化关系见图 5 至图 7。

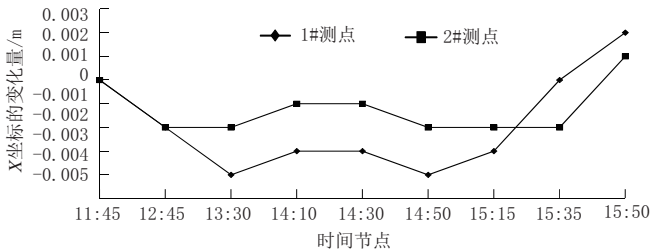


图 5 X 坐标数据随时间变化关系

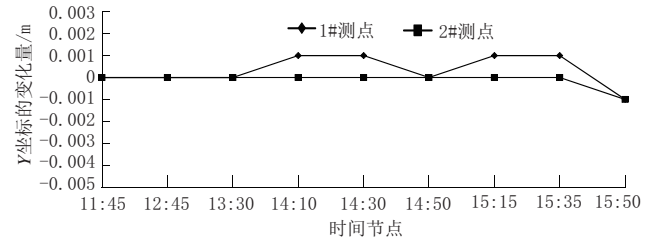


图 6 Y 坐标数据随时间变化关系

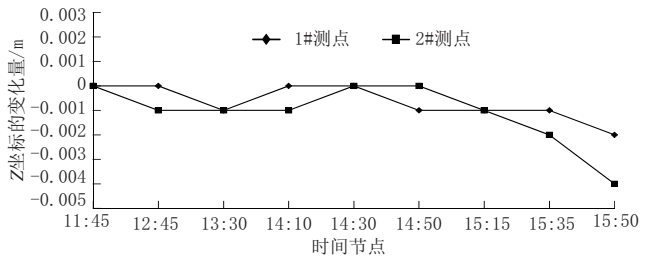


图 7 Z 坐标数据随时间变化关系

由图 5 至图 7 可知：坐标最大变化值为 4 mm,表明 X 和 Y 方向（平面方向）桥台结构变位较小;Z 坐标(竖向)方向由于高填土自重作用,产生了轻微的沉降。

3.2 桥墩立柱竖直度检测

采用全站仪投点法对桥墩立柱进行竖直度测量时,首先采用线定向的方法建立空间坐标系,通过对比各控制点的坐标之差,来分析立柱的竖直度,反映立柱目前的变位情况。(1)当立柱高度 H 不大于 5 m

时,允许偏差不大于 5 mm;(2)当立柱高度 H 在 5 ~ 60 m(含 60 m)时,允许偏差为 $H/1\,000$,且不大于 20 mm^[7]。不满足要求的测量结果见表 1。

本次竖直度测量发现 3 个桥墩立柱竖直度已超限,但超限的立柱偏位均较小,主要为局部施工偏差影响所致。

表 1 桥墩立柱竖直度超限统计

位置	测试面	截面点号	平距 /m	相对高程 /m	竖直度实测值 $\Delta H/\text{mm}$	竖直度限值 /mm	是否满足要求
右幅桥 1-1# 桥墩立柱	横桥向	V1	15.074 7	-1.302 9	-6	5	不满足
		V2	15.075 2	-2.253 4			
		V3	15.078 3	-3.495 8			
		V4	15.080 4	-4.445 7			
左幅桥 2-1# 桥墩立柱	横桥向	V1	1.931 8	-1.588 7	6	5	不满足
		V2	1.928 8	-2.678 1			
		V3	1.926 5	-3.862 1			
		V4	1.924 7	-5.069 3			
左幅桥 4-2# 桥墩立柱	横桥向	V1	8.481 2	-2.097 5	-9	$H/1\,000$, 且 ≤ 20	不满足
		V2	8.477 8	-3.089 4			
		V3	8.474 8	-4.455 8			
		V4	8.473 5	-6.024 9			

注:横桥向 ΔH 值为正值时向右偏,为负值时向左偏。

4 下部结构静载试验

静载试验是指通过在桥梁结构上施加与控制荷载等效的静态外加荷载,利用检测仪器设备测试桥梁结构控制部位与控制截面的力学效应的现场试验^[8],也称基本荷载试验。

新发水库大桥大桩号端桥头引道冲刷流失,桥墩及桥台基础冲刷严重,在管养单位完成桥头引道的抢通工作后,为了验证该桥下部结构是否满足原设计的安全承载要求,对受损最为严重的 7# 桥台和 6# 桥墩进行了静压试验。

4.1 静载试验测点布设

本次静载试验选取左幅桥 7# 桥台、左幅桥 6# 桥墩及右幅桥 6# 桥墩进行,并在左幅桥 7# 桥台上方设置 3 个水准点,在左幅桥 6# 桥墩上方设置 1 个水准点,在右幅桥 6# 桥墩上方设置 2 个水准点,采用高精度电子水准仪来检测墩台的沉降,由此来判断基础的承载能力。测点布置示意图见图 8、图 9。

4.2 静载试验荷载

在保证试验荷载效率及桥梁结构安全的前提下,本次采用 4 辆总重近 400 kN 的三轴载重车辆作为试验荷载。试验现场实景见图 10,7# 桥台左偏载加载位见图 11。

4.3 静载试验效率

静载试验荷载效率系数 η_q 是某一控制截面在试

验荷载作用下的计算效应与该截面对应的设计控制效应的比值^[9],其表达式为:

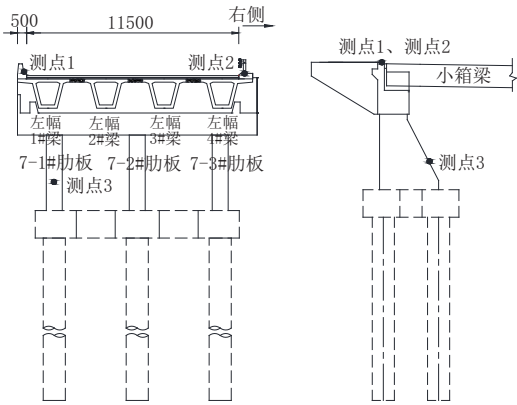


图 8 左幅桥 7# 桥台沉降观测点布置示意图(单位:mm)

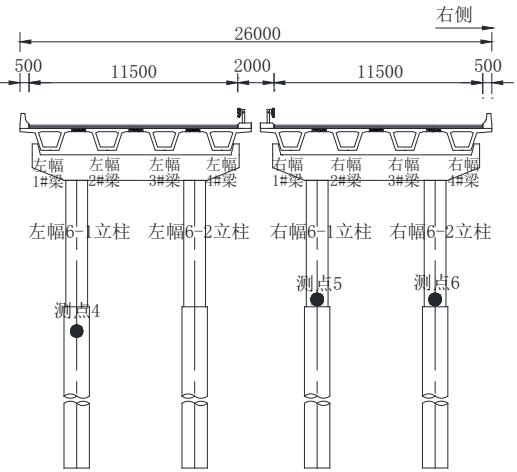


图 9 6# 桥墩沉降观测点布置示意图(单位:mm)



图 10 静载试验现场实景

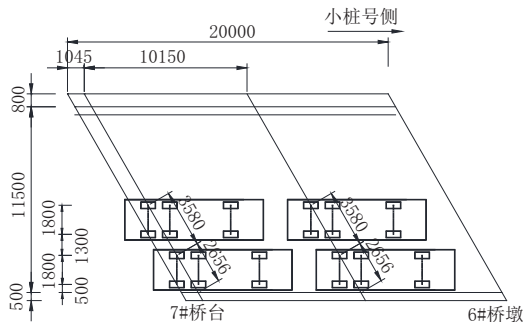


图 11 7# 桥台左偏载加载载位示意图(单位:mm)

$$\eta_q = \frac{S_s}{S(1 + \mu)}$$

式中: S_s 为静载试验荷载作用下,某一加载试验项目对应的加载控制截面内力或位移的最大计算效应值; S 为控制荷载产生的同一加载控制截面内力或位移的最不利效应计算值; μ 为冲击系数值。

为使荷载试验能充分反映结构的受力特点,一般要求采用较高的荷载试验效率,其取值宜介于0.95~1.05之间。

本次拟采用设计公路-I级荷载作为期望荷载进行静压试验。首先计算活载在墩台上产生的最大竖向反力,将此荷载用加载车辆进行等效。测试断面静载试验效率系数见表2。

表 2 静载试验效率系数

试验对象	试验荷载(反力)/kN	期望荷载(反力)/kN	效率系数
7# 桥台	691	686	1.01
6# 桥墩	786	810	0.97

注:桥台期望荷载效应已计入理论冲击系数(μ 取0.295)。

4.4 静载试验检测结果

(1)沉降量。试验时首先进行初读,在加载车辆加载到位后,每隔5 min读一次数,并及时绘制时间-沉降曲线,加载至少持续1 h。当曲线呈水平或接近水平状时表示沉降稳定,然后卸载。卸载后每隔5 min读一次数,至少持续0.5 h,并直至其稳定。测点1~测点6在试验荷载下的时间-沉降曲线见图12。

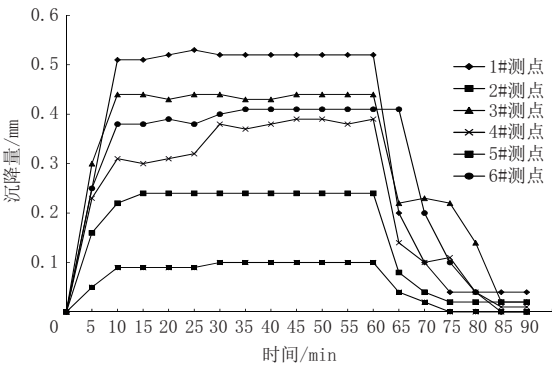


图 12 试验荷载作用下各测点时间-沉降曲线

由图12可知,在荷载作用下,1#测点的沉降量最大为0.52 mm,在持荷近一个小时内,桥台沉降保持稳定。

(2)相对残余变形。相对残余变形是检验结构弹性回复能力的主要指标,其表达式为:

$$S'_p = \frac{S_p}{S_t} \times 100\%$$

式中: S_t 为试验荷载作用下测量的结构总位移(或总应变)值; S_p 为试验荷载作用下测量的结构残余位移(或应变)值:

$$S_p = S_t - S_e$$

式中: S_e 为试验荷载作用下测量的结构弹性位移(或应变)值。

测点的相对残余应变越小,说明结构越接近弹性工作状态^[9]。《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01-2015)要求相对残余应变不大于20%。墩台测点的相对残余变形见表3。

表 3 桥台沉降相对残余变形

检测对象	最大沉降量/mm	残余沉降量/mm	相对残余/%
1# 测点	0.52	0.04	7.7
2# 测点	0.24	0.02	8.3
3# 测点	0.44	0.02	4.5
4# 测点	0.39	0.02	5.1
5# 测点	0.10	0	0
6# 测点	0.41	0	0

由表3可知,墩台测点在公路-I级荷载作用下相对残余变形为0~7.7%,均满足规范要求。

5 结论及建议

(1)病害调查结果显示,洪水导致该桥桥台引道冲毁,交通中断,同时造成墩台基础出现严重病害,建议尽快由专业设计单位对外露的桥墩桩基础进行专项加固设计。

(下转第207页)

表 3 施工监测数据统计

阶段	监测项目	位置	累计值 /mm	阶段	监测项目	位置	累计值 /mm
下穿前	地表沉降	过渡区 362 环	-7.62	下穿后	地表沉降	危险区 404 环	-6.11
	管线沉降	过渡区 362 环	-7.62		管线沉降	危险区 400 环	-4.52
	自动化监测 (左线)	X 轴 K35+327.158	-1.2		自动化监测 (左线)	X 轴 K35+336.158	1.61
		Y 轴 K35+384.158	-1.28			Y 轴 K35+327.158	1.51
		Z 轴 K35+381.158	0.98			Z 轴 K35+366.158	-1.9
	自动化监测 (右线)	X 轴 K35+381.158	-1.78		自动化监测 (右线)	X 轴 K35+358.658	-1.93
		Y 轴 K35+381.158	1.5			Y 轴 K35+345.158	2.07
		Z 轴 K35+352.658	1.07			Z 轴 K35+366.158	-1.12
下穿中	地表沉降	危险区 392 环	-5.62				
	管线沉降	危险区 395 环	-4.98				
	自动化监测 (左线)	X 轴 K35+336.158	1.61				
		Y 轴 K35+327.158	1.51				
		Z 轴 K35+363.158	-2.07				
	自动化监测 (右线)	X 轴 K35+358.658	-1.93				
		Y 轴 K35+345.158	1.93				
		Z 轴 K35+381.158	-1.61				

片上设置注浆孔,插入注浆管,以压力注入浆液来加固隧道顶部的地层。

(4)其他类似工程中,有条件时,先行线施工时考虑预加固,降低后期下穿施工风险。

参考文献:

[1] 宋洋,王伟颐,杜春生.富水圆砾与泥岩复合地层泥水盾构超近接下穿既有地铁隧道掘进参数优化研究[J].现代隧道技术,2021,58(5):

85-95.
[2] 江杰,龙逸航,邢轩伟,等.富水圆砾地层盾构下穿既有地铁隧道掘进参数研究[J].铁道科学与工程学报,2021,18(7):1828-1836.
[3] 尹波涛.盾构隧道下穿既有地铁掘进参数及控制研究[J].山西建筑,2023,49(14):167-171.
[4] CJJ/T 202—2013,城市轨道交通结构安全保护技术规范[S].
[5] GB 50911—2013,城市轨道交通工程监测技术规范[S].

(上接第 185 页)

(2)桥梁结构变位检测结果显示,应急抢修过程中,桥台在 X 和 Y 方向(平面方向)结构变位较小;Z 方向(竖向)由于高填土自重作用,产生了轻微的沉降。桥墩立柱竖直度基本满足规范要求。

(3)静载试验结果表明,在正常使用极限状态下,该桥试验跨下部结构承载能力目前均能够满足原设计公路-I 级荷载的正常使用要求。

(4)对受洪水损伤后的桥梁进行现场病害调查时,需结合当地的气象、水文资料及洪水发生时的视频资料。除检查洪水对桥梁造成的影响外,应对桥梁重点部位进行应急抢修过程中的变位监测,避免抢通工作对桥梁造成二次损伤。

参考文献:

[1] 李文杰,赵君黎.发展中的中国桥梁——张喜刚谈中国桥梁的现状与展望[J].中国公路,2018(13):64-68.
[2] 肖月.中国桥梁创世界第一[J].现代班组,2018(12):16.
[3] MONTALVO C,COOK W,KEENEY T. Retrospective Analysis of Hydraulic Bridge Collapse[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities,2020,34(1):1-8.
[4] 郑元勋,郭慧吉,谢宁.基于统计分析的桥梁塌陷事故原因剖析及预防措施研究[J].中外公路,2017,37(6):125-133.
[5] 秦泗凤.近期中国桥梁水毁事故回顾与分析[J].中外公路,2022(42):133-137.
[6] 史析宇,李强.2020 年洪水导致桥梁垮塌的调查[J].中国科技信息,2021(1):76-77.
[7] JTG F80/1—2017,公路工程质量检验评定标准[S].
[8] JTG/T J21-01—2015,公路桥梁荷载试验规程[S].
[9] JTG/T J21—2011,公路桥梁承载能力检测评定规程[S].