

北京市永定河分洪枢纽工程 桥梁检测与评估

程慧林

(中铁第五勘察设计院集团有限公司 北京 102600)

摘要 永定河分洪枢纽包括芦沟桥拦河闸和小清河拦河闸，桥梁工程包括交通桥和工作桥两部分。通过对桥梁工程墩的裂缝、钢筋锈蚀情况、地基承载力、墩的工作情况、桥梁外观进行全面检测，对桥梁的主体结构工作情况作出了判断，对维修工作提出了建议。

关键词 永定河 分洪枢纽 桥梁 检测

中图分类号 U215.7 **文献标识码** B **文章编号** 1009-4539(2009)06-0043-04

Bridge Test and Evaluation of Flood Diversion Hub in Beijing Yongding River

Cheng Huilin

(China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co. Ltd., Beijing 102600, China)

Abstract Flood diversion hub of Beijing Yongding River includes Lugouqiao watergate and Xiaoqinghe watergate, and the bridge engineering includes traffic bridge and watergate bridge. We detect the crack on the pier, steel pocking, bearing capacity of the foundation, operating of the pier, the appearance of the bridge and other respects. The working situation of the bridge's main structure was judged after testing, and suggestions for maintenance are put forward.

Key words Yongding River; flood diversion hub; bridge; test

1 工程概况

北京市永定河分洪枢纽位于芦沟石桥上游960 m处，东边为芦沟桥拦河闸，西边为小清河拦河闸，两座闸呈一字形布置，中间以分水尖相隔。芦沟桥拦河闸18孔，小清河拦河闸11孔，分水尖长56 m，闸室结构采用统一形式。为钢筋混凝土整体结构，使用单孔净跨为12 m高6.3 m的弧形钢闸门，电动卷扬启闭机。河槽地形基本平坦，河床标高约为59.0~60.0 m左右。

闸室布置为开敞式“山”字形钢筋混凝土整体结构，长27.2 m，底板标高60.5 m，闸顶高程69.0 m，中墩厚1.2 m，缝墩厚2.0 m。顶部设交通桥和工作桥。交通桥宽9 m，其中车行道宽7 m，设

计荷载为汽-15，验算荷载为挂-80。

桥梁运营后桥墩出现裂缝、桥面(在梁端处)高低不平、路缘带出现裂缝等现象。现已经中断交通桥的机动车辆通行。

2 检测目的及检测依据

检测目的是要探明桥梁出现裂缝和桥面沉陷等问题的根本原因。确定在全桥范围进行检测。检测的主要依据有：①《水闸安全鉴定规定》(SL 214-98)；②《混凝土坝养护修理规程》(SL 230-98)；③《公路养护技术规范》(JTJ 073-96)；④《公路工程地质勘察规范》(JTJ 064-98)；⑤《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)。

3 桥梁检测项目

根据该桥的实际情况，桥面多处出现裂缝，桥

收稿日期：2009-04-28

面不同跨梁体存在高差,墩体存在竖向裂缝,而且桥面的损坏状况每年都需要进行重复性地维修。由于永定河防洪枢纽的重要性,决定对永定河防洪枢纽土建工程部分进行全面的检查和检测,主要包括以下内容:①对桥梁外观作全面检查;②桥墩沉降观测与分析;③桥墩平面位置观测与分析;④梁体变形检测与分析;⑤桥墩裂缝(包括单墩与缝墩)观测与分析;⑥桥台裂缝观测与分析;⑦梁体裂缝观测与分析;⑧桥梁支座工作情况检查;⑨桥址处地质状况勘探与分析;⑩地基承载力校核。

4 检测结果与分析

4.1 桥梁外观检查

(1) 桥面检查。①交通桥上,在缝墩处的桥面铺装层出现裂缝。芦沟桥闸 8 号缝墩和 14 号缝墩处桥面损坏最为严重,人行道地板砖、路缘石也有损坏。②工作桥上,在芦沟桥闸 6 号缝墩处的桥面有局部损坏。8 号缝墩处的桥面接头处的缝隙变大,路缘石出现裂缝。③芦沟桥拦河闸与小清河拦河闸之间的分水尖处的路面整体下沉,从拦河闸的侧面可以看到明显的沉陷裂缝,从工作桥面上可以看到分水尖处的路面比芦沟桥拦河闸的桥面低 33 mm,比小清河拦河闸的桥面低 22 mm。人行道损坏较为严重,出现较大裂缝。

(2) 栏杆检查。交通桥上在缝墩处的栏杆普遍出现较大离缝,其时人行道也出现较大离缝。其中在分水尖处出现的离缝最大。在缝墩处的桥面栏杆也有完好的情形,如小清河闸 4 号墩。

(3) 梁体检查。交通桥和工作桥的梁体未出现大于 0.1 mm 的裂缝。

4.2 裂缝检查与检测

4.2.1 裂缝外观检查

在缝墩南北两端均出现裂缝,并且墩身底部均出现积水渗出现象,积水呈现铁锈色,见图 1。所有缝墩都出现这种现象,仅程度不同而已。显然,这些渗出物质是从缝墩顶的缝中进入的雨水锈蚀墩身的钢筋后生成的氢氧化铁锈水。

缝墩底端裂缝有硬结物质渗出的情况,这些是入侵水与混凝土中的氢氧化钙及钢筋发生反应生成的带铁锈的碳酸钙渗出物,见图 2。

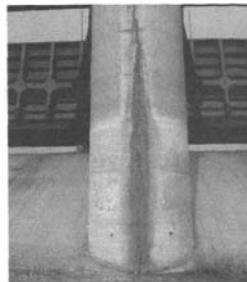


图 1 缝墩南端头



图 2 碳酸钙渗出物

4.2.2 裂缝检测

所有的桥墩横桥方向上均有裂缝出现,裂缝的发生部位有共性,它们都是从桥墩中部附近即工作桥和交通桥交界处,从底端开始向上部或以较小的角度向上部延伸一定的长度,然后终止。这种裂缝的宽度和长度缝墩处较大,中墩处较小。芦沟桥拦河闸各墩共计 53 条裂缝,裂缝沿墩高度从 2 ~ 4.4 m 不等,最大裂缝宽度 1 mm,最大裂缝深度 23 mm。小清河拦河闸各墩的 35 条裂缝,裂缝沿墩高度从 2 ~ 5.8 m 不等,最大裂缝宽度 0.74 mm,最大裂缝深度 20 mm。上述裂缝属浅层裂缝。

4.3 钢筋锈蚀检测

使用钢筋锈蚀仪采用自然电位法原理对墩内钢筋的锈蚀情况进行了评估。检测表明,这些锈蚀的钢筋均为箍筋,钢筋锈蚀后体积增大,导致混凝土涨裂。引起钢筋锈蚀的原因是这些箍筋的实有保护层厚度不足。主筋尚未发现有锈蚀的现象。

4.4 地质勘探

本次勘察选用汽车钻对工程场地进行地质钻探,其中钻孔深度根据基础的埋深情况及现场地质条件确定。本次勘察对所有钻孔均进行了重型圆锥动力触探试验,根据原位试验的结果判定所在地层的密实度,进而可得地基土可能承受的最大容许承载力。

根据野外钻探、原位测试资料,并结合区域地质资料和该场地的具体情况综合分析,结论如下。

(1) 该场地内未发现不良地质作用,适宜建筑,场地属均匀地基。地基持力层为卵石①层,扩大基础基底土容许承载力为 500 ~ 600 kPa;亚黏土①层为 150 ~ 170 kPa;细砂②层为 200 ~ 220 kPa。

(2) 场地抗震设防烈度为 8 度,设计基本地震

加速度为 $0.20 g$ 。

(3) 场地土类型为中硬土, 建筑场地类别为Ⅱ类。

根据钻探资料及竣工图纸可知, 除芦沟桥拦河闸 4 号墩的基础座落在承载力为 $150 \sim 170 \text{ kPa}$ 的亚黏土①上和小清河拦河闸的 4 号墩的基础座落在承载力为 $200 \sim 220 \text{ kPa}$ 的细砂②层上外, 其余各墩的基础均座落在承载力为 $500 \sim 600 \text{ kPa}$ 的卵石③层上。

根据永定河防洪枢纽竣工资料可知, 墩基础的“山”字形整体结构上下游的最大地基应力分别为 79.4 kPa 和 76.8 kPa , 远低于场地最差持力层可提供的 $150 \sim 170 \text{ kPa}$, 地基的承载力满足设计要求。

4.5 高程观测与分析

芦沟桥和小清河闸的各缝墩东西两半墩上均埋设有完好的水准观测点, 计芦沟桥闸 16 个、小清河闸 10 个。把多年的记录绘制成高程观测曲线, 通过观察曲线可知:

(1) 自建立水准测点始至 2004 年芦沟桥闸各缝墩的测点高程与原高程对比基本未发生变化;

(2) 注意到全部缝墩东半墩测点与西半墩测点的高程差始终保持不变的事实, 以及结合闸室、海漫、消力池等的外观检查, 可以判定当前各“山”字形整体结构未有不均匀沉陷且处于稳定状态。

4.6 闸门提升对缝墩作用的影响

芦沟桥闸 4 号缝墩在施工竣工完成后的缝间距为 2 cm , 现在缝间距变为 4.3 cm , 增大了 2.3 cm 。其他缝墩的张开程度同 4 号墩基本相同。

闸门提升对缝墩处缝的影响试验见图 3。在芦沟桥闸 4 号缝墩墩顶处安装两个百分表, ①号百分表靠近工作桥的支墩, ②号百分表远离工作桥的支墩。在第 4 孔闸门提升后, ①号仪表处缝间距增大 0.01 mm , ②号仪表处未见变化。在闸门关闭恢复原状后, ①号仪表处缝间距也恢复原状。提升第 5 孔闸门, ①号仪表也显示 0.01 mm 的增量, 闸门关闭, 缝距也恢复原状。

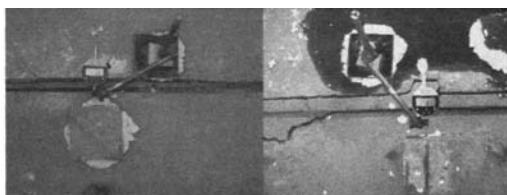


图 3 闸门提升对缝墩间隙影响试验

闸门提升对敞开式“山”字形整体结构闸室的缝墩产生的偏心荷载所产生的弹性变位现象提示缝墩的两个半墩处于良好的弹性工作状态, 其缝间距的增大是由于受交通桥和工作桥的自重偏心荷载和交通桥梁体干缩作用所致。

4.7 温度变化对缝墩间隙变化的影响

在芦沟桥 8 个缝墩顶部安装了间隙变化观测点, 用游标卡尺测量观测点间距, 即可得到缝隙的变化值。8 个观测点良好的均方差值提示缝墩的缝隙值随环境温度的变化而异, 温度下降, 缝隙张大; 反之缩小。

5 检测结论及建议

5.1 检测结论

综合检测成果与分析, 可以得到如下结论。

(1) 闸室岩土钻探复检证实地基承载力满足设计要求。

(2) 当前拦河闸(芦沟桥拦河闸与小清河拦河闸)整体结构未出现不均匀沉陷, 且处于稳定状态。

(3) 交通桥与工作桥分水尖段路面的塌陷系分水尖路基的下踏所致, 与前后的闸室无关联。

(4) 墩身侧面近中部底端自下而上竖向裂缝最大缝宽 1.0 mm , 最大的缝深 23 mm , 属浅层裂缝。该裂缝的成因是由于墩身的横向收缩受闸室底板的约束所致, 属干缩裂缝。

(5) 缝墩墩顶缝间距的增大是由于缝墩的两半墩受交通桥和工作桥的自重偏心荷载和梁体干缩作用所致。闸门起落试验证明其两个半墩仍处于良好的弹性工作状态。

(6) 缝墩缝间隙的止水材料失效, 入侵墩身的雨水溶蚀了混凝土, 腐蚀了钢筋, 缝墩底端普遍可见带铁锈的碳酸钙渗出物。

(7) 在缝墩处交通桥的桥面铺装层开裂、破损严重以芦沟桥闸的 8 号和 14 号缝墩处为最, 工作桥的桥面亦有损坏。

(8) 在缝墩处路缘石断裂, 人行道地板砖破裂、人行道栏杆离缝。

(9) 交通桥钢筋混凝土梁及其板式橡胶支座状态正常。按汽 -15 级设计的交通桥, 在各种病害整治完毕后, 经荷载试验当可恢复按其设计载重运行, 以利防洪抢险, 同时还极大便利了东西两岸的村际交通。

5.2 主要建议

(1) 缝墩受雨水侵蚀墩底已可见带铁锈的碳酸钙渗出物,宜及早对其缝隙(顶端、迎水端、背水端)作全面的封闭处理,以免耐久性继续受损。

(2) 中墩和缝墩侧面底端的裂缝(大于0.1 mm者)宜采用充填法予以修补。

(3) 对全桥的局部漏筋处对钢筋作除锈防锈后再对其作封闭处理。

(4) 对沉陷的分水尖路段除填土增高外,还应考虑设置反压马道等防再次沉陷措施。

(5) 全面翻修交通桥路面建议采用钢筋混凝土桥面上覆沥青层铺装,部分翻修工作桥路面。

(6) 整理交通桥、工作桥的路缘石、人行道及其栏杆。

(上接第8页)

表9 应力比修正系数

		-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8
原桥规 $\gamma_p = \frac{1}{1 - K_p}$		0.893	0.806	0.735	0.676	0.625	0.561	0.543	0.510	0.481
根据试验分析	焊接						0.517	0.474	0.435	0.406
	非焊接	0.888	0.794	0.718	0.648	0.609	0.562	0.530	0.472	0.442
日本规范	焊接						0.464	0.433	0.406	0.382
	非焊接	0.882	0.789	0.714	0.652	0.600	0.555	0.517	0.484	0.454
规范规定	焊接						0.46	0.43	0.41	0.38
	非焊接	0.88	0.79	0.71	0.65	0.60	0.56	0.52	0.48	0.45

根据原桥规规定不分焊接与非焊接取同一值
 $\gamma_d = \frac{1}{1 - k_p}$, 均大于分析的结果。日本在桥规中也规定的有应力比修正系数,非焊接结构的规定值和我国的分析结果基本一致,焊接结构规定值都小于分析值,为安全出发,在规范修改时暂取用了日本规定值。

4.3 桥梁疲劳计算方法

凡承受动荷载的结构或连接,应进行疲劳验算,疲劳荷载组合包括设计荷载中的恒载加活荷载、运营动力系数、离心力,但不考虑活荷载发展系数。运营动力系数为 $1 + \frac{18}{40 + L}$ 。疲劳验算应根据荷载效应不同情况按下列方法进行计算。

(1) 焊接构件及连接疲劳验算

① 疲劳应力是拉-拉或以拉为主的拉压部件:

$$\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \geq -1, \gamma_d \gamma_n (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \leq \gamma_t [\sigma_0]. \text{ 式}$$

6 结束语

经过详细检测,认为永定河分洪枢纽工程出现的若干问题是多方面的,需要从多方面来进行维修和维护。但是工作闸门仍然处于良好的弹性工作状态,交通桥在经荷载试验后当可恢复其按设计荷载来运营。

参考文献

- SL 214-98 水闸安全鉴定规定[S]
- SL 230-98 混凝土坝养护修理规程[S]
- JTJ 073-96 公路养护技术规范[S]
- JTJ 064-98 公路工程地质勘察规范[S]
- GB 50021-2001 岩土工程勘察规范[S]

中 $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ 为最大最小应力,拉力为正,压力为负,
 $[\sigma_0]$ 为疲劳容许应力,见表7, γ_d 为双线系数或多线系数, γ_n 为损伤修正系数,见表6, $\gamma_t = \sqrt[4]{\frac{25}{t}}$ 板厚修正系数,板厚 $t \leq 25$ mm, $\gamma_t = 1$ 。

② 疲劳应力以压为主的拉压部件:

$$\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} < -1, \gamma_d \gamma_n (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \leq \gamma_t [\sigma_0], \gamma_p \text{ 为应力比修正系数。}$$

(2) 非焊接构件及连接疲劳验算

① 疲劳应力为拉-拉的构件:

$$\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \geq 0, \gamma_d \gamma_n (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \leq \gamma_t [\sigma_0]$$

② 疲劳应力为拉-压的构件:

$$\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} < 0, \gamma_d \gamma_n (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \leq \gamma_t [\sigma_0]$$

(完)