

文章编号: 1005-0523(2004)04-0034-05

# 井冈山特大桥的结构病害检测与维修加固方案

徐立红, 姚舟

(江西省公路管理局 物资储运总站 江西 南昌 330013)

**摘要:** 简要介绍了井冈山大桥的结构病害的检测及其加固处治方案, 为今后类似桥梁加固设计与维修提供可资借鉴的参考资料。

**关键词:** 结构; 检测; 加固; 方案

中图分类号: U41

文献标识码: A

## 1 大桥原设计主要技术指标和基本情况

井冈山大桥原设计全长为 1 090.26 m, 桥面净空: 净-7+2×1.5 m 人行道; 设计荷载为汽车-13; 拖车-60; 人群-3.5 kN/m<sup>2</sup>。上部结构为 16 孔预应力钢筋砼带挂孔悬臂 T 构, 孔径分别为: 48.13+14×71+48.13 m; T 构两端悬臂长各 23.5 m, 施工时两端悬臂分九块预制后悬臂干接缝拼装, 横截面为单箱双室, 悬臂端部梁高 2.0 m, T 构根部箱梁高 4.0 m。每跨挂孔由五片预制吊装普通钢筋砼 T 梁构成, 挂孔跨径为 21 m, 梁长 21.56 m, 跨中内梁高 1.35 m, 外梁高 2 m, 支点处梁高 1.028 m, 全跨共设置五根横隔板。下部结构为: 普通钢筋砼重力式实体桥墩配钢筋砼沉井基础; 两岸为双排架钢筋砼柱桩式轻型桥台配打入式钢筋砼桩基础。

## 2 大桥结构检测与评定

### 2.1 大桥结构检测的目的

吉安市井冈山大桥建成于 1970 年, 营运至今已 33 年。现从外观上看存在两岸桥台前倾、桥面下陷、挂梁横隔板断裂、支座错位或脱落、伸缩缝损坏严

重等病害。鉴于上述情况, 以及现在通过大桥交通量和载重量远超过该桥原设计的承载能力, 为查明该桥的潜在病害根源, 评定其实际承载能力, 分析本桥继续使用的可行性及为通过加固提高本桥承载能力的可行性提供科学实测依据, 以及为了确保该桥营运安全, 延长其使用寿命, 充分发挥其经济效益, 为下一步提出维修或加固设计方案提供基础资料, 对该桥进行全面的结构检查和评定工作是十分必要的。

### 2.2 大桥结构主要检测的内容

#### 2.2.1 桥梁整体和细部尺寸的复核

经现场实际尺寸测量, 井冈山大桥除桥梁总长 1 088.57 m (未含台背部分), 与设计全长为 1 090.26 m 有出入外, 其余尺寸 (桥面宽、行车道宽、人行道宽、各跨跨径、悬臂梁牛腿、挂梁牛腿等等) 基本上与原设计值相吻合。

#### 2.2.2 桥面系检测

井冈山大桥桥面铺装层原设计为 250 号防水混凝土 (原标号), 后在桥梁维护时, 又在其上加铺了沥青铺装层, 经多年车辆行驶, 磨耗量极大, 原砼铺装层除行车道边缘有少数沥青层覆盖外基本外露。桥面大面积开裂、网裂, 甚至破碎下沉, 最大缝宽 7 mm 且横向贯通。根据裂缝的形状及走向, 桥面

收稿日期: 2004-03-25

作者简介: 徐立红 (1967-), 男, 江西人, 工程师。

裂缝可归纳为:

1) T型刚构桥墩支点附近横向裂缝多而密,缝长贯穿整个行车道,并伴生多条短纵缝,致使多处桥墩支点处桥面成碎裂状,坑洼最深达5 cm以上.纵向裂缝相对较少,分析主要原因是T构悬臂箱梁受荷载作用产生负弯矩,桥面砼承受拉应力过大所致.

2) 挂梁范围内桥面纵向裂缝较多,基本上分布于两T梁翼板接缝处,纵向贯穿整个挂梁,横向裂缝少而规则.分析产生原因主要为挂梁横向刚度较小,桥面铺装层砼配筋量小,在超重活载作用下,梁与梁之间发生较大剪切变形及剪切应力而使T梁间翼板接缝处产生纵向裂缝.

桥面铺装层直接承受车辆荷载作用,鉴于桥面铺装层开裂、破碎极其严重,坑洼多而深,桥面积水无法排除,不仅直接影响大桥使用的舒适性,更会引起桥梁结构的破坏.

### 2.2.3 T构悬臂箱梁裂缝检查及成因分析

详细检查的T构7号、10号、14号墩两侧悬臂箱梁顶板、底板未发现肉眼能见横向裂缝,但腹板裂缝较多,多为纵向缝,缝宽在0.1~0.3 mm之间不等,主要出现于第6、7、8块件干接缝起始端部上缘,大部分已贯穿整个腹板厚度.

纵观悬臂箱梁所有裂缝的宽度、走势,分析其产生的主要原因是:在张拉预应力时,构件截面因下缘受拉而发生应力重分布,上缘砼受到过大的剪应力所致.

### 2.2.4 挂梁裂缝检测与成因分析

采用桥检车对全桥的挂梁进行了详细的裂缝检查,从外观看,主梁混凝土质量较好,但边梁外侧经长期的风雨侵蚀后起皮现象较为严重,大部分边梁出现不同程度的砼碎落现象,严重者已露筋.挂梁支点部位经详细检查未发现肉眼能见裂缝.从整个检查结果看,诸梁裂缝分布情况大致相同:1)内梁裂缝少,边梁多;2)裂缝主要发生在跨中附近;3)挂梁支点附近未发现肉眼能见裂缝;4)越靠近跨中裂缝越密、越宽、越长;5)裂缝主要为竖向裂缝.裂缝宽度在0.1 mm~0.5 mm之间;

挂梁翼板连接处开裂较为严重,严重者已反射至桥面,引起桥面水渗漏、结晶.经检查全桥横隔板砼质量尚好,但横隔板跨中裂缝及砼碎裂较多,缝宽介于0.1~0.3 mm之间,裂缝高最大者已达整个横隔板高度.经综合分析,挂梁横隔板产生裂缝的主要原因是,挂梁整体刚度小,但边梁相对刚度大

而引起,第1号与2号梁、第4号与5号梁之间的横隔板的受力比内梁间的横隔板的大,致使横隔板跨中下缘砼因拉应力过大而引起开裂与碎落.

综合分析检查结果可知,由于各孔挂梁边梁外侧受风雨侵蚀作用剥落严重,面积较大,特别是边梁外侧翼板下缘因砼大面积剥落而露筋并锈蚀,已影响到边梁的受力性能.从裂缝大小和数量看,挂梁强度尚可,超过规范允许值的裂缝不多,但翼板接缝处的纵向裂缝及横隔板上裂缝过多,说明挂梁的横向刚度偏小,整体受力性能差,车辆冲击系数大,对主梁受力极为不利.

### 2.2.5 预应力筋检测与分析

井冈山大桥T构系采用悬拼干接法进行施工,其预应力筋的使用状况好坏直接关系到大桥的安全,因而检测预应力的使用状况作为检测的重要内容.经检测:

1) 1~8号块箱梁的预应力筋锚头封锚砼较好,经多次养护,本次检查未发现封锚砼碎裂及破坏情况,但悬臂箱梁9号块端部锚头封锚处有90%均以破坏,砼成块脱落,经桥面渗水侵蚀,锚具锈蚀较为严重.

2) 1号至8号块箱梁的预应力筋垫板有15%左右受桥面渗水作用而轻微锈蚀,有白色结晶现象.

3) 9号块牛腿下部的预应力筋端部封锚尚好,但预应力筋的外包砼在9号块与8号块接头处有85%以上均出现不同程度的碎裂损坏,砼大块脱落,50%以上预应力筋外露,经雨水侵蚀后锈蚀相当严重.

4) 悬臂箱梁的局部干接缝有渗漏现象,渗水对预应力筋、垫板及锚头有锈蚀作用.

5) 在桥墩支点附近,预应力筋均布置在箱梁的上缘,预应力筋通过明槽内现浇砼及桥面铺装层砼保护.由于桥面铺装层砼现已损坏严重,有可能已引起明槽砼开裂,如果桥面的雨水渗入预应力筋附近,将会造成预应力筋锈蚀和预应力损失,其后果将极其严重.

因此,预应力筋的锈蚀及锚头损坏是全桥存在的最大隐患.现已检查发现,全桥各孔悬臂梁端部9号块的上、下部预应力筋均遭受严重侵蚀,锚头锈蚀、且预应力筋已使用三十余年,已产生较大的疲劳应力损失及徐变损失,其预应力效应已受到严重威胁.

### 2.2.6 桥梁动态挠度检测与分析

由于井冈山大桥是连接吉安市河东与市中心的一条最为便捷之路,交通量及人行量极大,难以完全中断交通,因而本次动态检测主要是测出在随机荷载作用下的最大桥梁动态挠度、变形及冲击系数。根据桥梁的初步检查结果分析,确定选取 14 号

墩 T 构作为重点检测孔,分别对吉安和南昌两个方向的悬臂箱梁端部进行检测,每端各测了 20 组数据,每组测时为 223 秒,经过对比分析,各选取了 2 组有代表性的数据(详见图 1 所示)。

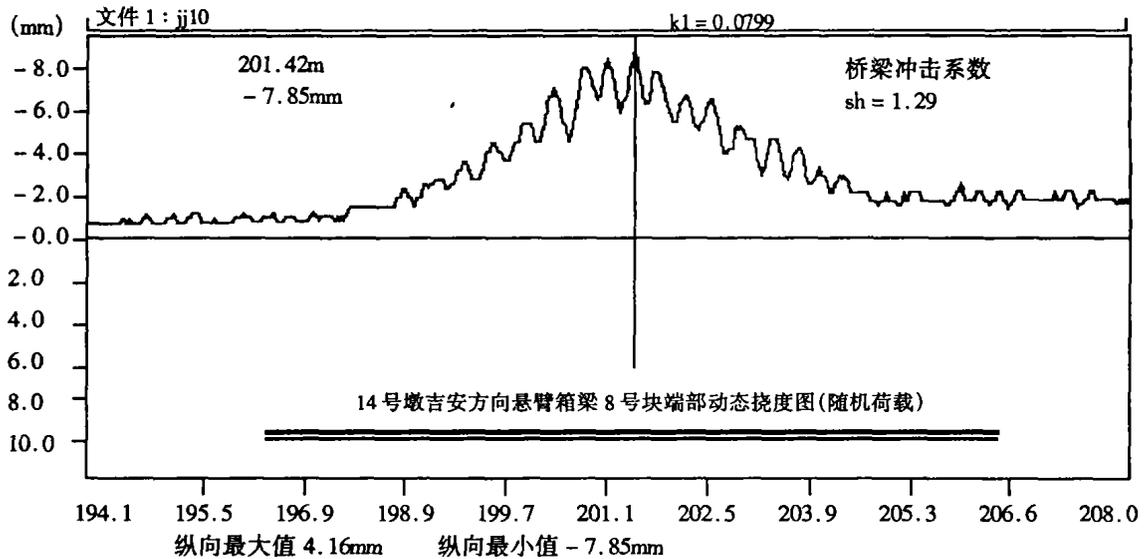


图 1 14号墩吉安方向悬臂箱梁8号块端部动态挠度图(随机荷载)

查询原设计计算资料,T 构 8 号块端部设计活载产生的最大竖向挠度值为 13.39 mm,桥梁计算冲击系数为 1.15。从检测变形图中可知,在随机荷载作用下,T 构 8 号块端部最大竖向挠度值为 7.85 mm,最大横向位移值 4.35 mm,桥梁冲击系数最大达 1.29。虽竖向挠度值未超过设计值,但吉安市已经限制重车通过该桥,检测中的荷载亦非设计荷载(或达到设计荷载效应),竖向挠度值在此仅作为参考,而测出的横向位移及冲击系数大于设计值,说明井冈山大桥实际受力状况中的刚度及桥面平整度已超出设计值要求。

### 2.2.7 桥墩检测与分析

井冈山大桥的桥墩均为实心钢筋砼墩和沉井基础,经对全桥桥墩外观检查,桥墩主要存在以下几个方面的病害:

1) 墩身混凝土表面经长年的风雨侵蚀和洪水浸泡后存在剥落现象。

2) 桥墩表面混凝土剥落面积较大,大部分在桥墩横向钢筋处,横向钢筋外露并锈蚀。

桥墩是连接上部结构与地层的传力构件,桥墩的好坏直接影响着桥梁的受力状态和使用性能。虽然井冈山大桥的墩身砼表面有局部砼剥落现象,但未发现有明显的肉眼能见裂缝,目前使用状况良好,未发现其它病害。从桥面标高看,全桥墩顶变形

基本一致,未发现突变现象。从而说明,各桥墩基础较好。综合检查结果及多年的养护资料评定:大桥桥墩目前使用状况良好。

### 2.2.8 桥台检测与分析

井冈山大桥两岸桥台均为双排架钢筋砼柱式轻型桥台(钢筋砼打入桩),属柔性桥台,台前采用浆砌片石溜坡,台两侧为浆砌片石挡土墙,经外观检查,主要存在以下几方面的病害及缺陷:

1) 台前溜坡上部浆砌片石挤碎,裂缝较多。局部片石已滚落至坡底。

2) 桥台两侧挡土墙破坏严重,整个呈前倾状态。

3) 16号桥台(吉安岸)耳墙与台后填土之间有一宽约 30 cm 左右的缝。

综合分析桥台存在的主要病害的产生原因为:桥台台帽及背墙较高,受台后土压力作用,台身(双排架桩)无法承受过大的推力而向河心倾斜而造成上述病害。由于台身埋于土中,无法查明台身是否受力后开裂,但过大的桥台变形亦会改变桥台的受力形式和影响整个桥梁结构的使用性能。

### 2.2.9 梁体混凝土碳化深度、氯化物含量及强度检测与评定

1) 用酸碱指示剂(1%的酒精酚酞)滴在大桥不同的结构部位的混凝土新鲜开凿面上,测定出其混

凝土碳化深度值. 混凝土碳化深度检测结果:T 构悬臂箱梁底混凝土碳化层较厚,上、下游侧腹板较中腹板碳化深,但碳化深度均未超过保护层设计厚度.

## 2) 混凝土氯化物含量检测与评定

在结构物的主要部位及裂缝较多、较宽的部位,用钻孔取粉法取少量的混凝土粉末样品,在实验室采用 Quanfab-srips 法对样品进行氯离子含量分析.经分析,混凝土中的氯离子含量较高,除 T 构中腹板中部为 0.115% 外,大多在 0.2%~0.4% 之间.若按英国建筑研究所制定的氯离子判读指南,以氯离子含量为 0.4% 作为引起钢筋锈蚀的临界氯离子含量.显然,井冈山大桥主梁混凝土钢筋处的氯离子含量均未超出此临界值.

## 3) 混凝土强度检验

表 1 井冈山大桥主梁砼强度

主梁类型	$\bar{R}$ (MPa)	$R_{\min}$ (MPa)	$S_n$ (MPa)	K	$R_1$ (MPa)	$R_2$ (MPa)	强度评定值(MPa)
悬臂梁	40.3	34.3	1.14	1.7	45.3	40.4	40.4
挂梁	39.8	33.5	1.33		44.3	39.5	39.4

由表 1 所列数值,依据《“超声一回弹”综合法评定混凝土抗压强度技术规程》可以确定主梁的混凝土强度评定值.由此可见,主梁的混凝土强度均能达到原设计值.

## 3.3 桥梁结构控制截面检算

### 3.3.1 T 构悬臂梁结构检算

由于井冈山大桥共 16 跨,全长 1 000 多米,且全桥为以 8 号墩中心纵向对称结构,其每跨结构尺寸及预应力钢束均相同,虽桥两端各两跨因桥面设 1.5% 纵坡而桥墩尺寸有少许不同,但由于纵坡较小,对上部结构受力影响甚小,因而本次检算选取对称四跨进行结构检算与分析.该四跨以中墩(2 号墩)中心线左右对称,挂梁支座仍按全桥的左右对称状模拟.内外梁刚度相差较大,为能准确计算挂梁的受力状态,将内梁截面进行整体验算,进行细部计算时根据实际受力状态进行分析.

T 构箱梁检算按平面杆系计算方法采用“公路桥梁结构设计系统”进行计算与分析.为提高计算精度,在几何形状上尽可能反映桥梁结构的真实情况,在结构单元划分时,不仅桥梁墩台位置精确,对截面尺寸稍有变化处均设置了节点元素,因此结构离散元素较密集.将选取的四跨桥孔结构离散成 110 个节点,100 个桥面系单元,9 个非桥面系单元和 5 个支撑杆件元.

井冈山大桥的承重结构,根据受力特征主要分为 T 型挂梁与 T 型刚构两类,且这两类的结构断面形式、受力特征及受外界影响均差异较大,所以对挂梁与 T 构各取代表性的一孔进行砼强度检验.检验采用我国目前使用较广的“超声一回弹”综合分析法,即同时测量混凝土超声传播速度与回弹值,以确定混凝土的实际抗压强度,每类选取 10 个测区.

根据各试块测试所得的声速值  $V$ 、回弹值  $N$  及实测抗压强度值进行多元回归分析和误差分析,建立井冈山大桥超声一回弹综合法测试砼强度专用标定曲线.

根据实测的超声速度和回弹值,用标定曲线推求的各重点检测区混凝土强度值、第一条件强度值  $R_1$  和第二条件强度值  $R_2$ (详见表 1 所示).

在结构计算过程中,分别按全桥施工完成、运营荷载(汽车-15;挂车-80;人群-3.5 kN/m<sup>2</sup>)及分别考虑有效预应力失效 10%、20%、30% 五个工况进行结构分析.

检算结果为:所有预应力筋在损失 20% 有效预应力的情况下,T 构悬臂箱梁上缘亦为压应力,但明槽内砼因拉应力过大开裂严重.当牛腿下部预应力筋完全失效,牛腿内配置的普通钢筋亦可满足汽车-15,挂车-80,人群-3.5 kN/m<sup>2</sup> 的荷载使用要求.

### 2.3.2 挂孔 T 梁结构检算

井冈山大桥挂孔 T 梁内、外梁因其功能不同而截面高、配筋量均不同,截面刚度相差甚大,为能准确分析挂梁的受力,将挂梁各片 T 梁简化成纵向为梁、横向为板,且纵横为梁板的形心不在同一单面上通过垂直刚壁单元连接的三维空间格梁体系进行检算,将一跨挂梁离散成 170 个节点、100 个梁单元、74 个刚臂单元和 24 个虚拟单元.检算结果表明:由于边梁刚度相对较大,且人行道构件直接作用于边梁上,因而边梁受力较内梁大.内、边梁均符合汽-15;挂-80;人群-3.5 kN/m<sup>2</sup> 的荷载使用要求.

## 2.4 大桥现状桥综合评定

通过对吉安市井冈山大桥全面的现场结构检

查、室内分析及控制断面结构检算,得出以下主要结论:

1) 井冈山大桥主要承重构件的混凝土质量较为均匀,砼强度基本上达到原设计值.

2) 各主要承重构件表面有轻度起皮、剥落、蜂窝、麻面、泛白,局部有较为严重的水蚀和破损;挂梁跨中断面裂缝较多,部分砼碎裂脱落、钢筋外露,均不同程度地降低了桥梁的耐久性,对桥梁承载能力有一定的不利影响.

3) 大桥主体结构承载能力满足原设计荷载标准,但局部病害已危及桥梁使用安全,应及时对大桥现存病害进行必要的处理与维修.

#### 4 大桥维修加固方案

根据本桥实际情况、结构计算有关数据以及该桥的特殊性,本桥采用边施工、边测试、边调整加固方案的动态设计方法(即在全面实施加固前,选取其中一跨作为试验跨,在施工过程中对相关数据进行跟踪观测,经综合分析验证设计效果后,再全面铺开施工).综合该桥的结构受力特性与检测数据,采用以下措施进行加固维修:

1) 对缝宽大于 0.2 mm 的主梁裂缝采用化学灌

浆法进行修复,并对箱梁腹板裂缝处采用粘贴碳纤维布予以封闭;

2) 将原活动支座(切线钢板支座)更换为四氟滑板支座,并对已损坏的固定支座(板式橡胶支座)进行更换.

3) 对预应力锚头进行防锈处理;

4) 对已损坏主梁横隔板进行修复;

5) 凿除全桥桥面铺装,重新浇筑 40 号钢纤维砼(设置钢筋网),提高桥面铺装抗拉强度及横向整体受力性能;

6) 更换全桥所有伸缩缝(换为仿毛勒伸缩缝);

7) 对挂孔主梁下缘粘贴碳纤维布(内梁粘贴 1 层、边梁 2 层),以增强主梁抗弯性能;

8) 在 T 构箱梁内设置体外预应力索,每一 T 构设置 8 束(每束为 7 $\Phi$ 15.24)高强度低松弛预应力钢绞线,以恢复大桥承载能力.

#### 参考资料:

[1] 江西省交通桥梁检测加固有限公司.江西省吉安市井冈山大桥结构检查与现状评定报告[C].2002.

[2] 中交第二公路勘察设计研究院,江西省交通桥梁检测加固有限公司.江西省吉安市井冈山大桥维修加固施工图设计,2002,8.

[3] 谌润水,等.公路旧桥加固技术与实例[M].2002.

## Structural Hazard Testing and Maintenance & Reinforcement Scheme for Jinggangshan Large Bridge

XU Li-hong, YAO Zhou

(Materials Storage & Transportation Station, Jiangxi Provincial Highway Administration Bureau, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** The thesis briefly introduces the structural hazard testing and maintenance & reinforcement scheme for Jinggangshan Large Bridge. It can also be made a reference to the reinforcement design and maintenance of the similar bridges.

**Key words:** structure; testing; reinforcement; scheme