

基于有限元方法对旧铁路桥梁承载力评估分析

陈盛全¹, 单一舰²

(1.九江市建设工程质量检测中心,江西九江 332099; 2.上海市建筑科学研究院有限公司,上海市 200032)

摘要: 随着城市建设的快速发展,城市交通线路也在不断升级或改造,越来越多的城市老旧桥梁面临着承载能力不足的问题,而由于部分管养单位资料保管体系不完善,早期修建的部分旧桥缺乏可参考的设计图纸及交竣工资料。在此背景下,以某一实际城市铁路桥梁案例为依托,通过现场检测桥梁表观缺损情况并采用有限元软件桥梁博士对其承载力进行评估分析,论证该老旧铁路桥梁升级或改造的可行性并提出合理化建议,确保行驶车辆以及过往行人安全通行。

关键词: 承载力检算;检测评估;铁路桥梁;计算分析;桥梁博士

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)07-0178-04

0 引言

随着城市交通量的迅速扩大,城市交通线路也在不断地改造升级,城市运营单位对于一些老旧桥梁是否能继续使用存在疑问。本文针对某一实际城市铁路桥梁案例,通过现场检测采集数据并采用有限元软件对其承载力进行评估分析,判断其是否能满足业主后续线路规划的承载力要求,同时根据计算结果论证线路升级或改造的可行性并提出合理化建议。

1 工程概况

1.1 桥梁概况

东一环铁路桥位于合肥市东一环与长江东大街交叉口,为2幅3跨钢筋混凝土箱涵;桥长2幅均为47.2 m,北幅桥宽12.0 m,南幅桥宽35.3 m。桥面为废弃铁路车道,铺设2条已废弃的铁路轨道和市政管道,箱涵顶板上方存在厚1 m的覆土。桥梁现场实景见图1。

1.2 工程需求

根据业主需求,东一环铁路桥后续将进行线路改造,原废弃的东一环铁路桥计划改成市政公路桥梁,通行机动车辆。因此需对原本已废弃的东一环铁



图1 东一环铁路桥现场实景图

路桥进行承载力分析,并对该规划的可行性进行评估分析。

2 桥梁现状检查

东一环铁路桥承载能力评定需要在桥梁表观病害检查的基础上,根据桥梁表观缺损和桥梁无损检测的检测 results,例如钢筋锈蚀、结构损伤情况、结构约束条件改变对结构所产生的不利影响等而进行。因此,对东一环铁路桥梁进行承载力评估分析之前应检查该桥的表观缺损和材质状况。

2.1 桥梁表观缺损检测

现场对东一环铁路桥进行外观病害检查的结果表明:东一环铁路桥桥梁上下部结构整体状况较好,混凝土表面无锈迹,沿钢筋无裂缝出现;目前全桥共存在混凝土破损1处,翼板处渗水导致钢筋轻微锈胀3处;此外两边跨由于净空较小,顶板存在多处刮蹭痕迹;桥面上方铺设2条已废弃的铁路轨道和市政管

收稿日期:2023-08-24

作者简介:陈盛全(1979—),男,学士,工程师,从事工程检测工作。

通信作者:单一舰(1998—),男,学士,助理工程师,从事工程检测工作。电子邮箱:963365526@qq.com

道,北幅桥面存在大面积积水情况。桥梁外观部分病害检测情况见图 2、图 3。



图 2 东一环铁路桥上部结构外观病害现场检查照片



图 3 东一环铁路桥桥面系外观病害现场检查照片

2.2 桥梁材质状况检测

现场采用回弹仪对构件测区进行混凝土强度检测,检测方法参照《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21—2011)中的相关规定^[1]。在测试的每个构件底面或侧面取 10 个测区,每个测区各取 16 个测点,共 160 个测点进行回弹测试。检测结果表明,抽检的东一环铁路桥上部结构主梁构件混凝土强度推定值均大于 40.0 MPa。

现场对桥梁纵向钢筋的保护层厚度采用钢筋检测仪进行检测。上部构件抽取 2 个测区,每个测区各取 10 个测点,共 20 个测点。检测结果表明,抽检的东一环铁路桥上部结构主梁构件钢筋保护层厚度特征值在 28.8~32.0 mm 之间,满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)中板式构件主筋保护层不小于 20.0 mm 的要求。

由东一环铁路桥的表观缺损检测结果可知,该桥表观状况目前整体较好,无明显结构性病害,仅存在箱涵顶板混凝土局部破损、钢筋轻微锈胀外露等部分耐久性病害。

由东一环铁路桥的材质状况检测结果可知,东

一环铁路桥混凝土强度以及钢筋保护层厚度均满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的技术要求,桥梁承载力检算时各材料参数取值需参考现场材质状况检测结果而确定。

3 承载能力检算

根据桥梁现场检测结果,采用有限元软件“桥梁博士 V4”建立东一环铁路桥的计算模型,并依据《城市桥梁检测与评定技术规范》(CJJ/T 233—2015)对原结构承载力进行检算。

3.1 计算参数的取值

3.1.1 材料参数取值

依据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》以及材质状况检测结果,进行材料参数的取值。根据无损检测结果,东一环铁路桥上部结构主梁混凝土强度推定值均大于 40.0 MPa,但由于该桥建造年代久远,竣工图纸已经缺失,为安全起见,本次检算时上部结构主梁均按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中 40 号混凝土取值;主梁纵筋及箍筋间距根据现场探测结果,纵筋的钢筋型号为《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中的 2 级钢筋,钢筋间距 85 mm。主梁各控制截面钢筋配置情况见表 1,计算中涉及到的材料参数见表 2。

表 1 主梁控制截面钢筋配置情况表

东一环铁路桥	跨中及中支点截面主筋	梁端截面箍筋
南幅桥宽 35.3 m	φ22@85 mm	φ12@150 mm
北幅桥宽 12 m	φ22@85 mm	φ12@150 mm

表 2 有限元模型材料参数

材料种类	弹性模量 / MPa	强度标准值 / MPa	强度设计值 / MPa	容重 / (kN·m ⁻³)
2 级钢筋	2.0 × 10 ⁵	340	340	78.5
1 级钢筋	2.1 × 10 ⁵	240	240	78.5
40 号混凝土	3.30 × 10 ⁴	28.0(抗压) 2.60(抗拉)	23.0(抗压) 2.15(抗拉)	25.0

注:《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中混凝土及钢筋强度设计值在计算时应除以 1.25 的材料分项系数。

3.1.2 作用取值

本次东一环铁路桥承载力检算考虑恒载和活载作用,其中恒载作用考虑桥梁结构和桥梁铺装自重;活载作用考虑汽车荷载,荷载等级取城 -A 级。箱涵自重认为由其自身完全承担,并近似认为垂直投影方向的铺装层自重由该段承担;活载根据业主规划

要求,按照现行规范《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)进行验算。

3.2 计算模型的建立

由于东一环铁路桥年代久远,竣工图纸已经缺失,箱涵底板结构情况未知,本次承载力检算仅对箱涵上部结构主梁进行建模分析。简化后箱涵空间模型如图4所示。

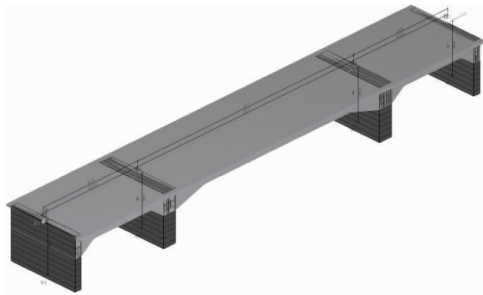


图4 简化后箱涵有限元模型

3.3 承载力检算系数

评定已发生钢筋锈蚀的钢筋混凝土构件承载力时,应计入钢筋锈蚀导致的钢筋截面减少和黏结力退化的综合影响,对钢筋截面进行折减。根据东一环铁路桥缺损状况检测结果,该桥主梁混凝土表面无锈迹,沿钢筋无裂缝出现,因此钢筋截面折减系数可取值0.98。

3.4 承载力极限状态检算

3.4.1 抗弯承载力

基于结构主梁内力总是以跨中最大正弯矩和支点最大负弯矩控制设计这一原则,通过有限元计算模型,得出其内力计算结果。极限状态下东一环铁路桥抗弯承载力计算结果见图5至图8、表3。

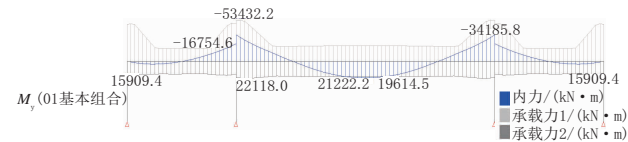


图5 东一环铁路桥(北幅桥宽12 m)跨中抗弯承载力验算结果

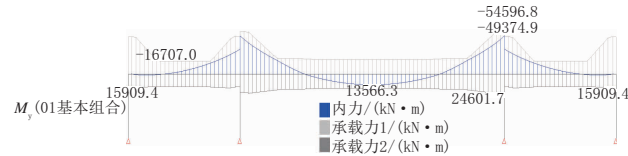


图6 东一环铁路桥(北幅桥宽12 m)支点抗弯承载力验算结果

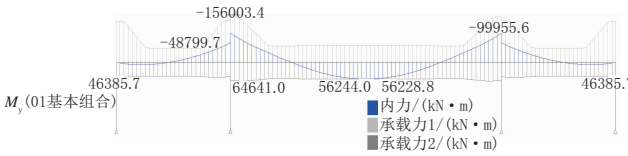


图7 东一环铁路桥(南幅桥宽35.3 m)跨中抗弯承载力验算结果

由计算结果可知,东一环铁路桥主梁跨中截面不能够满足现行设计规范城-A级荷载作用下的安

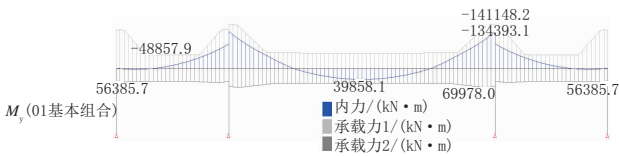


图8 东一环铁路桥(南幅桥宽35.3 m)支点抗弯承载力验算结果

表3 主梁抗弯承载力检算结果

检算对象—— 东一环铁路桥	最不利组合 弯矩/ (kN·m)	计算极限承 载力 R / (kN·m)	作用与抗力 效应比值	是否 满足
北幅桥宽 12 m	跨中 21 222	19 614	1.08	否
	中支点 -49 374	-54 597	0.90	是
南幅桥宽 35.3 m	跨中 56 242	56 223	1.00	否
	中支点 -134 392	-141 147	0.95	是

全承载要求。

3.4.2 抗剪承载力

基于结构主梁内力由支点附近斜截面的最大剪力控制设计这一原则,通过有限元计算模型,得出其内力计算结果。桥梁结构在极限状态下的抗剪承载力计算结果见图9、图10和表4。

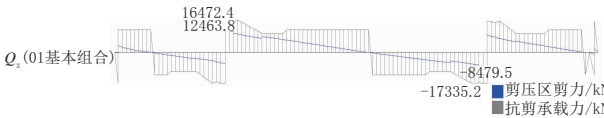


图9 东一环铁路桥(北幅桥宽12 m)抗剪承载力验算结果

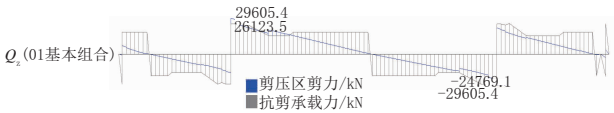


图10 东一环铁路桥(南幅桥宽35.3 m)抗剪承载力验算结果

表4 主梁抗剪承载力检算结果

检算对象—— 东一环铁路桥	最不利组合 剪力/kN	计算极限承 载力 R /kN	作用与抗力 效应比值	是否 满足
北幅桥宽 12 m	12 464	16 472	0.76	是
南幅桥宽 35.3 m	26 123	29 605	0.88	是

由计算结果可知,东一环铁路桥上部结构箱涵顶板端部距支座中心 $h/2$ (h 为主梁高度)处附近斜截面的抗剪承载力能够满足现行设计规范城-A级荷载作用下的安全承载要求。

3.5 正常使用极限状态检算

3.5.1 荷载作用下的变形

在静活载作用下,东一环铁路桥箱涵顶板跨中处最大挠度计算结果见图11、图12和表5。

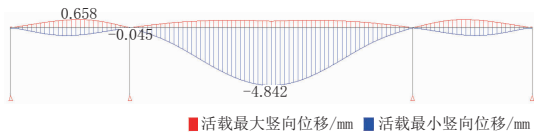


图11 东一环铁路桥(北幅桥宽12 m)竖向刚度验算结果

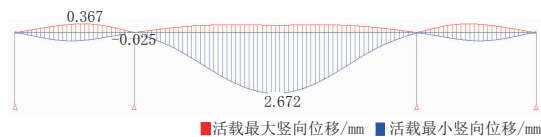


图 12 东一环铁路桥(南幅桥宽 35.3 m)竖向刚度验算结果

表 5 主梁最大挠度计算结果

检算对象—— 东一环铁路桥	挠度长期 增长系数	考虑长期效应的 最大计算挠度 /mm	理论允许值 (L/600)/mm	是否 满足
北幅桥宽 12 m	1.45	4.8	42.7	是
南幅桥宽 35.3 m	1.45	2.7	42.7	是

由计算结果可知，东一环铁路桥上部结构在现行设计规范城 -A 级荷载作用下，箱涵顶板跨中处最大计算挠度均小于规范允许值，竖向刚度满足规范要求。

3.5.2 裂缝宽度检算

在正常使用阶段，东一环铁路桥箱涵顶板跨中底面和中支点顶面最大裂缝宽度计算结果见图 13、图 14 和表 6。

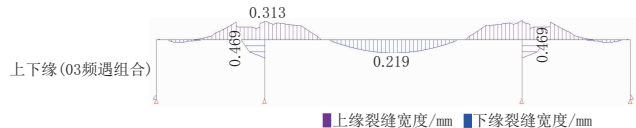


图 13 东一环铁路桥(北幅桥宽 12 m)最大裂缝宽度验算结果

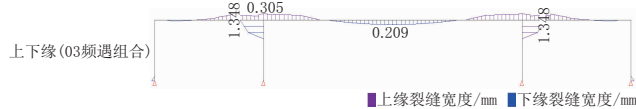


图 14 东一环铁路桥(南幅桥宽 35.3 m)最大裂缝宽度验算结果

由计算结果可知，该桥上部结构在现行设计规范城 -A 级荷载作用下，主梁跨中底面和中支点顶面最大裂缝宽度均大于规范允许值，不能满足裂缝宽度验算要求。

表 6 主梁最大裂缝宽度计算结果

检算对象—— 东一环铁路桥		裂缝宽度计算 结果 /mm	裂缝宽度理论 允许值 /mm	是否满 足
北幅桥宽 12 m	跨中	0.219	0.20	否
	中支点	0.313	0.20	否
南幅桥宽 35.3 m	跨中	0.209	0.20	否
	中支点	0.305	0.20	否

3.6 结论及合理化建议

综合上述检算结果可知，东一环铁路桥上部结构主梁抗弯承载力和抗裂验算均无法满足现行《城市桥梁设计规范》中城 -A 级荷载作用下的安全承载与正常使用要求。

若想对该桥再利用，建议对其承载能力进行专项评估，根据荷载试验结果重新划定桥梁限载等级。

若新线路仍需维持现行城市桥梁设计规范城 -A 级荷载，建议对东一环铁路桥拆除后重新修建桥梁，以便确保行驶车辆和过往行人的安全通行；与此同时也便于管养单位后续进行桥梁建档和养护管理等工作。

4 结 语

(1)针对城市交通线路不断改造升级的情况，城市运营管理部门想要充分利用老旧桥梁固然是应有之举，但是需根据桥梁缺损检测情况采用有限元软件对其承载力进行严格的评估分析。

(2)对于承载力无法满足线路升级和相应现行城市桥梁荷载等级的桥梁，应当通过专项设计对其进行加固或拆除重建，以保证桥梁运营安全。

参考文献:

[1] 赖道斌. 某预应力混凝土 V 型连续刚构桥的承载能力检测评定[J]. 运输经理世界, 2022(32): 104-106.

(上接第 154 页)

段、桩基连接、构件吊运和安装等方面对装配式护岸进行系统论述，为装配式技术在内河航道工程中的应用提供思路。

参考文献:

[1] JGJ 1—2014, 中国建筑标准设计研究院. 装配式混凝土结构技术规程[S].
[2] 陈明阳, 顾宽海. 水运工程装配桩基承台式护岸结构设计[J]. 水运工程, 2023(5): 87-93.

[3] 顾宽海, 陈浩群, 张逸帆, 等. 装配式低桩承台护岸结构设计[J]. 水运工程, 2018(12): 186-192.
[4] 朱远, 沈旭鸿. “一键式”生态护岸结构设计及其力学特性分析[J]. 港工技术, 2019(56): 67-70.
[5] 王鹏. 当议内河航道工程装配式护岸施工工艺[J]. 中国水运, 2021(51): 140-143.
[6] 汤丽燕, 顾宽海, 牟云彤. 装配式 L 形挡墙在某护岸工程中的应用[J]. 水运工程, 2023(5): 22-27.