

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.06.032

少筋微弯板组合梁旧桥检测评估及处治技术

邱忠南^{1,2},王 龙^{1,2},李 博³

(1.桥梁智能与绿色建造全国重点实验室,湖北 武汉 430034; 2.中铁大桥科学研究院有限公司,湖北 武汉 430034;
3.中国铁路郑州局集团有限公司郑州高铁基础设施段,河南 郑州 450018)

摘 要:为评估少筋微弯板组合梁桥在运营期间的承载能力,并研究合理的处治方案,以某 5 × 16.8 m 的钢筋混凝土 I 型梁 + 少筋微弯板组合梁桥为研究对象。对该桥外观状况、材质状况进行检测,同时通过承载能力检算、静载试验等进行综合评估,采用综合比对方式确定维修改造方案。结果表明:主梁共计存在 239 条结构裂缝,裂缝最大宽度为 3.14 mm,远超规范限值,上部结构承载能力不满足规范要求,且微弯板梁裂缝仍存在持续扩展的趋势。采用更换上部结构为连续钢箱梁形式,保留下部结构,具有工期短、总投资较低等优点,改造后,桥梁运营状况良好。

关键词:少筋微弯板;组合梁;结构裂缝;有限元分析;静载试验;承载能力

中图分类号: U446.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2024)06-0131-04

0 引 言

据统计,到 2020 年底,中国公路桥梁数量已超过 90 万座,其中在 20 世纪 80 年代以前修建的公路桥梁有十余万座。由于我国公路交通的不断发展以及桥梁服役期间的自然老化,已有较多桥梁存在设计荷载标准低、承载力不足、桥宽不够、桥梁构件破损严重等现象。因此这些桥梁技术状况相对较差、存在严重的安全隐患^[1-5]。

钢筋混凝土少筋微弯板组合梁桥结构形式为 20 世纪 60 年代由我国公路工作者自行设计经过试验研究逐步推广的新颖桥梁,由少筋微弯板和工字梁组合而成的结构。因微弯板具有拱的特点,板内只配置少许构建钢筋,主梁构造比较简单、重量轻,便于吊装和预制施工方便的特点,且在一定承载能力下这种结构节约钢、木材和混凝土。不足之处是构件太零碎复杂,安装质量不易掌握,结构整体性能差,配筋弱,全桥整体刚度不强,梁的应力分布较差,桥面易产生裂纹渗水等^[6],因此有必要对钢筋混凝土少筋微弯板组合梁桥承载能力及处治方法进行研究。基于此,本文已某钢筋混凝土少筋微弯板组合梁桥的承载能力进行检测评估,通过桥梁外观检测、材质状况检测评估,同时通过结构检算及荷载试验来综合判断桥梁承载能力是否满足规范要求,并根据检

测评估结果,提出合理的处治技术建议,为同类桥梁改造提供参考^[7-12]。

1 工程概况

某城市跨河桥为 5 × 16.8 m 的钢筋混凝土 I 型梁 + 少筋微弯板组合梁桥,桥梁由左右两幅桥组成,建于 20 世纪 90 年代。每幅桥横向单跨由 10 片钢筋混凝土 I 型梁组成,I 型梁间由钢筋混凝土微弯板梁进行连接,I 型梁长 16.8 m、宽 0.3 m、高 0.8 m;微弯板长 2.61 m、宽 1.52 m。支座采用矩形板式橡胶支座,桥墩为三柱式结构,桥墩基础为扩大基础,桥面采用双向六车道,设计等级为“汽 -20,挂 -100”。桥梁结构示意图见图 1、图 2。

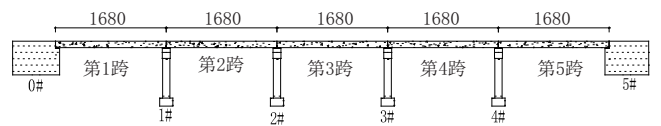


图 1 桥梁结构纵断面图(单位:cm)

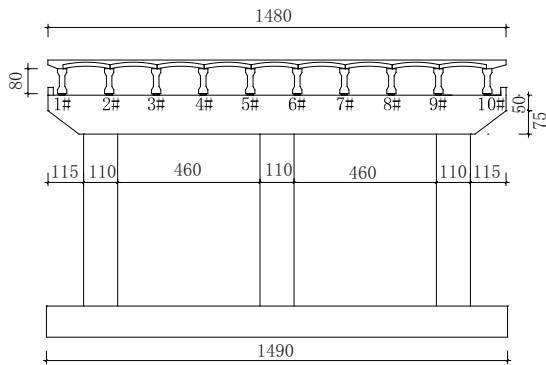


图 2 桥梁结构横断面图(单位:cm)

收稿日期: 2023-07-18
作者简介: 邱忠南(1986—), 男, 学士, 工程师, 从事桥梁检测与维修加固研究工作。

由于近十年来随着城市车流量及超重车辆的增多,该桥虽运营了30多年,但上部结构从未进行过有效的维修加固,造成桥梁结构性病害增多,绝大部分微弯板开裂,存在上下通缝等问题,存在很大的安全隐患。

2 桥梁现状检测结果

2.1 外观检测结果

经检查,该桥微弯板梁存在239条纵向和斜向裂缝,裂缝总长达498.63 m,纵向裂缝宽度最大值为1.12 mm,斜向裂缝宽度最大值为3.14 mm,远超过《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21—2011)钢筋混凝土梁裂缝不能大于0.25 mm的宽度限值。对大于0.25 mm的裂缝进行深度检测,裂缝深度在19~83 mm之间(占微弯板总厚度的83%)。微弯板梁裂缝与上年度检测对比,裂缝数量、长度、宽度均有增加。微弯板裂缝示意图见图3、图4。

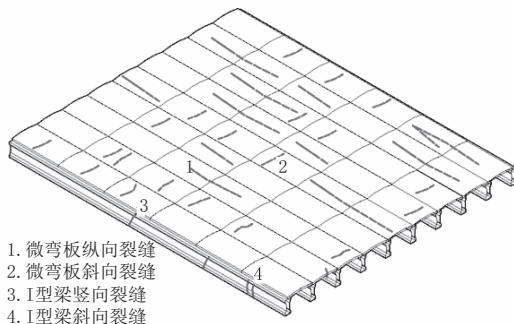


图3 第4跨上部结构受力型裂缝分布示意图

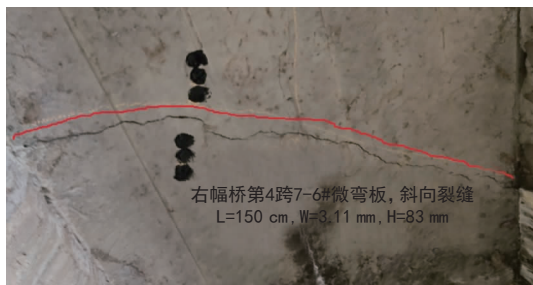


图4 微弯板斜向裂缝

全桥I型梁腹板有多条竖向和斜向裂缝,主要分布在I型梁跨中和L/4位置。I型梁有较大面积混凝土破损、露筋,脱落处钢筋锈蚀严重,主要集中在每跨边梁底板和腹板处,边梁混凝土破损面积达到80%以上。桥面存在7条横向贯通裂缝、2条纵向裂缝、8处大面积坑槽,行车舒适性较差。下部结构主要存在少量混凝土破损、露筋现象,整体状况良好。根据规范评定该桥技术状况等级为4类,即主要构件有大的缺损,严重影响桥梁使用功能;或影响承载能力,不能保证正常使用。

2.2 桥梁专项检测

专项检测内容包括混凝土强度、碳化深度、钢筋保护层厚度、钢筋锈蚀电位、钢筋专项检测、桥面高程测量及交通量调查等。通过桥梁专项检测,得到当前主梁各部分的技术状态,并为结构评估提供依据。

(1)桥面线形测量:桥面线形测试每跨按四分点左右侧对称布置,桥面实测相对线形起伏较大,平顺性较差,行车舒适性较差。

(2)混凝土强度检测:采用超声回弹法检测混凝土抗压强度,选取4片I型梁进行混凝土抗压强度检测。I型梁所选测区混凝土强度推定值在41.1~44.2 MPa之间,满足设计C40强度要求。

(3)碳化深度检测:I型梁碳化深度平均值在4.5~6.5 mm之间,根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T H21—2011)的要求,碳化深度实测值评定标度为1。

(4)钢筋保护层厚度检测:I型梁腹板所选测区主筋保护层厚度平均值在22.3~24.7 mm之间,箍筋保护层厚度平均值在10.8~16.0 mm之间,I型梁所选测区钢筋保护层厚度不满足最小保护层厚度30 mm的设计要求。

(5)钢筋锈蚀电位检测:I型梁钢筋锈蚀电位最低值为-492 mV,参考《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/TJ 21—2011)规定,评定标度为4,表明其有锈蚀活动性,严重锈蚀的可能性极大。

(6)交通流量调查:24 h内桥上通行的车辆为22 099辆,其中2.6%的车辆重量在30 t以上,目前丹桂桥日通行交通量巨大,且存在超载车辆通行。

3 主梁承载能力检算

3.1 有限元模型

桥梁承载能力检算采用有限元程序MIDAS Civil,桥梁荷载等级为汽-20,人群载荷 3.5 kN/m^2 ,冲击系数取0.21;二期恒载为 20.1 kN/m 。根据现场检测结果,在承载能力检算中引入实际检测结果的检算系数、恶化系数、构件截面折减系数、钢筋的截面折减系数、活载影响修正系数等(见表1)。按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023-85)对该桥承载能力进行检算。结合该桥的特点,将I型梁与微弯板等效为T形截面计算汽车活载横向分布系数,跨中按照刚接板梁法求解,梁端按照杠杆法求解。

表 1 桥梁检算系数取值

检算系数	承载能力检算系数 Z_2	承载能力恶化系数 ζ_1	构件截面折减系数 ζ_2	钢筋的截面折减系数 ζ_3
参数取值	1.000	0.091	0.933	0.900

3.2 上部结构检算

主梁承载能力极限状态计算组合为:组合 1 为

表 2 各荷载作用下 I 型梁梁端剪力值 单位:kN

梁号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
组合 1	165.8	292.6	366.8	408.3	408.3	408.3	408.3	408.3	366.8	252.3
组合 2	138.8	169.2	460.0	552.0	551.1	552.9	552.0	552.0	462.7	179.8
最大值	165.8	292.6	460.0	552.0	551.1	552.9	552.0	552.0	462.7	252.3

表 3 各荷载作用下 I 型梁跨中弯矩值 单位:kN·m

梁号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
组合 1	947.6	1 126.9	1 231.4	1 256.7	1 235.9	1 227.7	1 227.2	1 269.0	1 291.4	1 197.9
组合 2	839.0	1 041.6	1 206.2	1 237.2	1 234.1	1 234.1	1 237.2	1 274.5	1 330.4	1 219.7
最大值	947.6	1 126.9	1 231.4	1 256.7	1 235.9	1 234.1	1 274.5	1 274.5	1 330.4	1 219.7

桥梁跨中截面抗弯验算,本次计算跨中截面最大弯矩在荷载组合 2 作用下为 1 330.4 kN·m;原结构弯矩为 1 442.9 kN·m,本次计算折减后弯矩抗力 1 100.8 kN·m,经比较,作用效应与抗力效应比值为 1.21,因此该桥跨中正截面抗弯不满足规范要求。

桥梁支点斜截面抗剪验算,本次计算斜截面最大剪力在荷载组合 2 作用下产生,为 552.9 kN;原结构支点剪力为 664.9 kN,本次计算折减后剪力抗力 507.2 kN,经比较,作用效应与抗力效应比值为 1.09,因此该桥支点斜截面抗剪能力不满足规范要求。

4 静载试验结果

试验前运用 MIDAS 有限元软件建模分析,该桥为简支梁,因此取其中的一跨建模桥梁有限元模型见图 5。

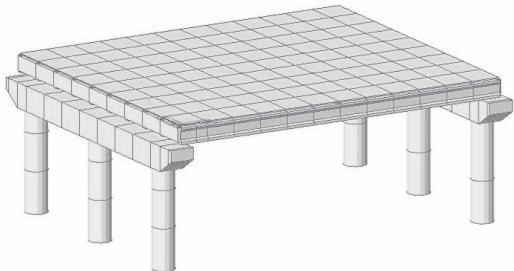


图 5 有限元计算模型

主梁试验桥跨选取第 2 跨~第 4 跨跨中正弯矩进行加载,采用 2 辆 350 kN 试验加载车。

经计算,主梁跨中正弯矩加载效率为 0.96。篇幅限制,本文仅列出第 2 跨应变及挠度测试数据,见表 4。

从以上结果分析可知,试验桥跨主梁跨中底板

1.2 恒载 +1.4 汽车荷载(计冲击系数)+1.4 人群荷载;荷载组合 2 为:1.2 恒载 +1.1 挂车。

考虑横向分布系数折减后,各片 I 型梁在各荷载作用下的内力计算结果见表 2、表 3。由表可知,在荷载组合 2 作用下,6# 梁梁端剪力值最大,为 552.9 kN;9# 梁跨中弯矩值最大 1 330.4 kN·m。

表 4 第 2 跨中载 I 梁底部钢筋应变、位移测量结果

I 梁 编号	钢筋应变 / $\mu\epsilon$		应变 校验 系数	残余 应变 率 /%	位移 /mm		位移 校验 系数	残余 位移 率 /%
	弹性应 变值	计算 值			弹性位 移值	计算 值		
1# 梁	196	226	0.87	1	-8.28	-8.91	0.93	3
2# 梁	182	170	1.07	1	-10.83	-10.22	1.06	6
3# 梁	306	260	1.18	1	-13.92	-11.72	1.19	3
4# 梁	227	236	0.96	1	-10.16	-8.93	1.14	1
5# 梁	189	170	1.11	2	-6.65	-6.21	1.07	4
6# 梁	116	110	1.05	3	-3.52	-3.80	0.93	2
7# 梁	63	57	1.11	2	-2.11	-2.00	1.06	0

钢筋应变校验系数在 0.87~1.18 之间,挠度校验系数在 0.93~1.19 之间^[13]。试验结果表明,试验跨主梁强度和刚度不满足设计要求,主梁结构荷载效应偏高,主梁承载能力不满足设计要求。

5 改造前相关参数监测

在进行维修改造前,为实时掌握桥梁的安全状况,保障桥梁在安全状况下运行。对桥梁微弯板梁主要裂缝宽度进行为期 6 个月的监测,监测结果表明:微弯板梁裂缝宽度累计最大变化值为 0.108 mm(见图 6),微弯板梁裂缝仍存在持续扩展的趋势。

6 改造方案比选

本桥建造时间早、设计材料强度及荷载等级偏低、结构整体性能差、施工质量变异性大,加上病害有持续恶化的趋势,目前在原有上部结构基础上进

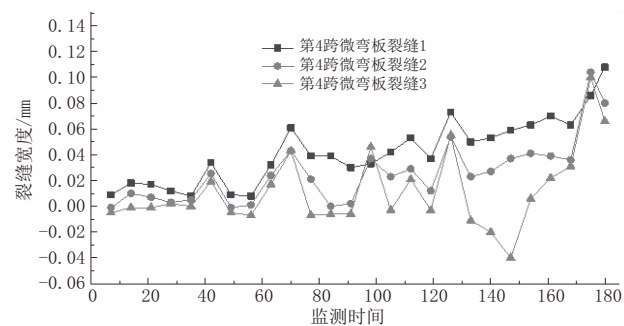


图6 裂缝监测累计变化值

行维修加固已达不到处治效果。针对该桥制定了3种改造方案,分别为主梁更换成预应力混凝土连续小箱梁,主梁更换成连续钢箱梁,拆除旧桥、原址新建。

该桥改造方案的原则按照尽量不增加上部结构建筑高度和对下部结构产生的作用效应,维持两岸道路顺接,提升道路通行能力为目标。

根据本桥特点,针对3种方案,从施工方法、工期、成本、方案优缺点等方案进行对比分析,结果见表5。

表5 各方案对比

对比项目	方案二 更换钢箱梁	方案一 更换混凝土梁	方案三 原址新建
改造方法	将旧桥上部结构更换为连续钢箱梁,保留下部结构,桥面宽度、高度不变。	将旧桥上部结构更换为预应力混凝土连续小箱梁,保留下部结构。	拆除旧桥,原址新建,上部结构为预应力混凝土连续小箱梁
施工工期/d	50	90	180
总投资/万元	约4 000	约2 900	约7 000
方案优点	造价合理、工期短、施工便利,解决了旧桥安全隐患,保留既有下部结构,节约总投资	造价底,解决了旧桥安全隐患,保留既有下部结构,节约总投资	解决旧桥安全隐患。适当提高梁底标高,改善桥梁的河流防洪需求
方案缺点	荷载等级未提升,对河流防洪需求无明显改善	荷载等级未提升,工期较长,对河流防洪需求无明显改善	造价高,工期长,工程影响范围大,涉及面广、影响因素多,需从城市规划方面统筹考虑

由表5分析可知:方案一具有工期短、造价合理,解决上部结构病害问题 and 安全隐患等优点,故推荐方案一进行改造。目前该桥已施工改造完,通过验

收并已通车运营,桥梁运营状况良好。

7 结 语

本文对某5×16.8 m的钢筋混凝土I型梁+少筋微弯板组合梁桥的承载能力进行检测评估,检测结果表明本桥微弯板梁有较多纵、斜向裂缝,裂缝宽度已超规范限值,且根据监测结果显示微弯板梁裂缝仍存在持续扩展的趋势;通过主梁承载能力检算和静载试验表明该桥主梁承载能力已不满足设计要求。

为解决上部结构承载能力不足的问题,保证桥梁后期的安全运营。结合过往工程实践,本文制定了3种处治方案,综合对比施工方法、工期、成本、优缺点等因素,推荐该桥保留下部结构,更换上部结构为连续钢箱梁的维修方案,该桥按此方案维修改造后已验收并通车运营,目前桥梁运营状况良好。

参考文献:

[1] 田春艳,葛惠娟,郭晗,等.混凝土旧桥检测评估[J].中外公路,2019,39(6):126-129.

[2] 祁德秀.公路梁桥病害原因分析及加固技术研究[D].西安:长安大学,2016.

[3] 吕宏奎,齐秦,李龙利,等.运营期T梁桥面纵向开裂病害处治技术研究[J].世界桥梁,2022,50(1):100-106.

[4] 侍刚,张若钢,李国栋.某钢筋混凝土旧桥承载能力评估[J].世界桥梁,2010(2):63-65,69.

[5] 王鹏,袁计红,胡文华,等.钢筋混凝土简支T梁桥加固后承载性能试验研究[J].桥梁建设,2018,48(5):38-42.

[6] 刘让汝.超龄服役桥梁实际承载能力评定方法探讨[J].公路工程,2019,44(1):216-221.

[7] 何佳,冉舵兵,梁波,等.某连续刚构桥荷载试验[J].中外公路,2020,40(5):149-152.

[8] 刘超,邹宇罡,赵正.同济路立交桥空心板梁桥加固方案比选[J].桥梁建设,2018,48(4):118-123.

[9] 位东升.斜交刚构桥主梁裂缝成因分析及处治技术[J].交通科技,2020(5):43-46.

[10] 陈建华,朱奕勤.刚架拱桥加固技术研究[J].公路,2015,60(5):39-43.

[11] 张朦朦,何祖发.某连续刚构桥复工续建前检测评估及处治技术[J].世界桥梁,2019,47(6):85-90.

[12] 王磊,陈鹏飞,张旭辉,等.钢筋混凝土公路桥梁承载力评定的中美规范对比分析[J].中外公路,2017,37(6):93-98.

[13] 宋一凡.公路桥梁荷载试验与结构评定[M].北京:人民交通出版社,2002.