

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2022.02.030

高速公路改扩建中既有空心板桥检测评估方法研究

陈卫霞, 石红磊

(中交公路规划设计院有限公司, 北京市 100088)

摘要: JTG B01—2014《公路工程技术标准》针对车道活载数值进行了提高,材料设计强度降低,高速公路改扩建原有空心板桥的承载力普遍不满足现行规范标准的要求。JTG/T J21—2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》通过校验系数来定性地说明桥梁结构潜在的承载能力,无法定量评价桥梁的承载能力。高速公路改扩建主要梁板技术状况评定等级是该部件能否利用的主要依据,京沪高速公路改扩建空心板通过总体技术状况评估、现场荷载试验、试验室承载力试验、无损检测及材料试验、承载力数值分析及验证等系统评估方法进行应用示范,可有效并准确检测评估既有空心板状态。

关键词: 空心板; 承载力; 检测评估; 系统性评价

1 前言

高速公路改扩建工程是指对高速公路进行扩大规模的改造,改善公路使用功能的项目^[1]。当前,高速公路逐渐进入加宽改造的高潮阶段,由于空心板桥的规模较大,该类型桥梁的改造方案尤为重要。旧板是拆除新建还是加固利用,工程造价差别较大。交通运输部颁布的 JTG B01—2014《公路工程技术标准》(以下简称新标准)中规定“拼接加宽利用的桥涵,应进行检测评估并满足现行标准的要求,且极限承载力应满足或采取加固措施后满足现行标准的要求。”^[2] JTG/T L11—2014《高速公路改扩建设计细则》进一步规定“对于拼宽部分与既有部分结构连接进行整体验算,评价正常使用极限状态时应采用原设计荷载等级,评价承载能力极限状态时应采用现行荷载等级”^[3]。

随着新标准的实施,对活荷载的数值进行了提高,原有空心板桥的承载力是否满足新标准的荷载要求,需要重新进行评定。根据交办公路[2016]93号文件推进绿色公路建设的意见,若完全拆除该类空心板桥建设新桥,旧板拆除造成的环境污染,以及建设新桥耗费大量钢筋、水泥等建材,都与国家倡导的资源节约、生态环保、节能高效的发展理念相悖^[4]。

既有桥梁检测评估就是通过调查、检测、试验等手段确定结构的技术状况及承载能力。由于设计、施工、竣工后的运营养护情况等都会影响桥梁结构的承载能

力。因此,准确评估桥梁结构的技术状况及承载能力是相当困难的。桥梁检测评估技术理论及体系的健全,将有助于工程技术人员更加准确合理地对桥梁的承载能力进行评定,以保证桥梁的安全运营。

2 高速公路改扩建中既有桥梁适用的检测评估方法

改扩建桥梁评定还需结合改扩建工程实际,从经济性、可操作性、必要性等多方面综合评定提出改扩建桥梁改造建议,而常规项目则多是从养护部门的角度出发,提出的均为养护方面的技术建议。通过比较分析,得到对高速公路改扩建中既有桥梁检测评估方法适用性评价如表1所示。

表1 评估方法适用性统计

检测评估方法	依据规范	手段	适用性
外观调查	文献[5]、 [6]	外观状况,无损检测	✓
设计规范		承载能力检算	✓
验证试验		车辆加载试验	✓
破坏试验		极限承载试验	✓
荷载试验			
专家经验		专家评估系统	×
可靠度分析		理论分析	×

随着新标准的实施,既有桥梁检测与评估核心是要解答桥梁技术状况及承载力是否满足新标准的荷载

收稿日期:2021-10-21(修改稿)

作者简介:陈卫霞,女,大学本科,高级咨询师, E-mail:602633680@qq.com

要求、如何检测评估既有桥梁两个关键问题。

3 工程应用

3.1 总体技术状况评估

京沪高速公路改扩建桥梁以中小桥为主,5~16 m 板桥的跨数占桥梁总跨数的 80%。根据桥梁外观检查结果,按照 JTG 5210—2018《公路技术状况评定标准》^[7]对各桥梁的技术状况进行评定分级。然后进一步进行详细检测及承载能力评定,掌握既有桥梁的技术状况,作为改扩建方案决策依据。全线空心板桥以一、二、三类桥梁为主,占比分别为 3%、55%、42%。

3.2 现场荷载试验

经过现场了解和踏勘,根据技术文件要求,选择

6、8、10、13、16 m 跨径开展现场荷载试验。

桥梁静载试验确定两种加载工况,现场实际布载位置根据车辆轴重再进行适当调整。确定典型桥梁在新标准汽车荷载作用下荷载—应变(挠度)变形曲线。

工况 1:按跨中截面正弯矩最不利位置布载(中载);工况 2:按跨中截面正弯矩最不利位置布载(偏载)。

加载方式为单次逐级递加到最大荷载,然后分级卸至零荷载。静载试验的加载分级为设计标准活荷载作用最不利效应值的 40%、60%、80%、100%。

应变测试断面主要为各跨最大内力断面,均为跨中截面,16 m 空心板增加 $l/4$ 截面和支点截面(图 1)。挠度测试测点按反映关键断面挠度值和整跨变形情况的原则布设。实测结果见图 2~4。

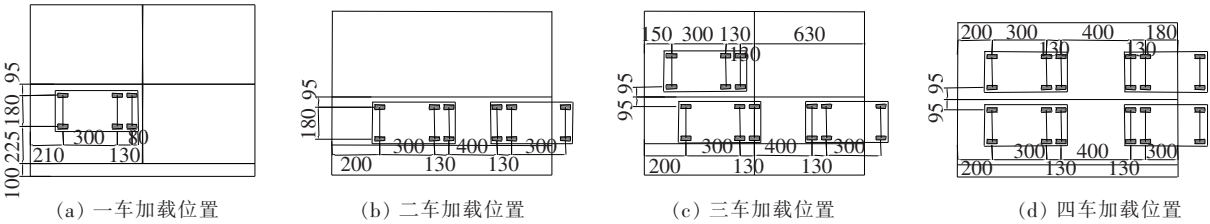


图 1 16 m 混凝土空心板按跨中截面正弯矩最不利位置布载试验工况及轮位布置(单位:cm)

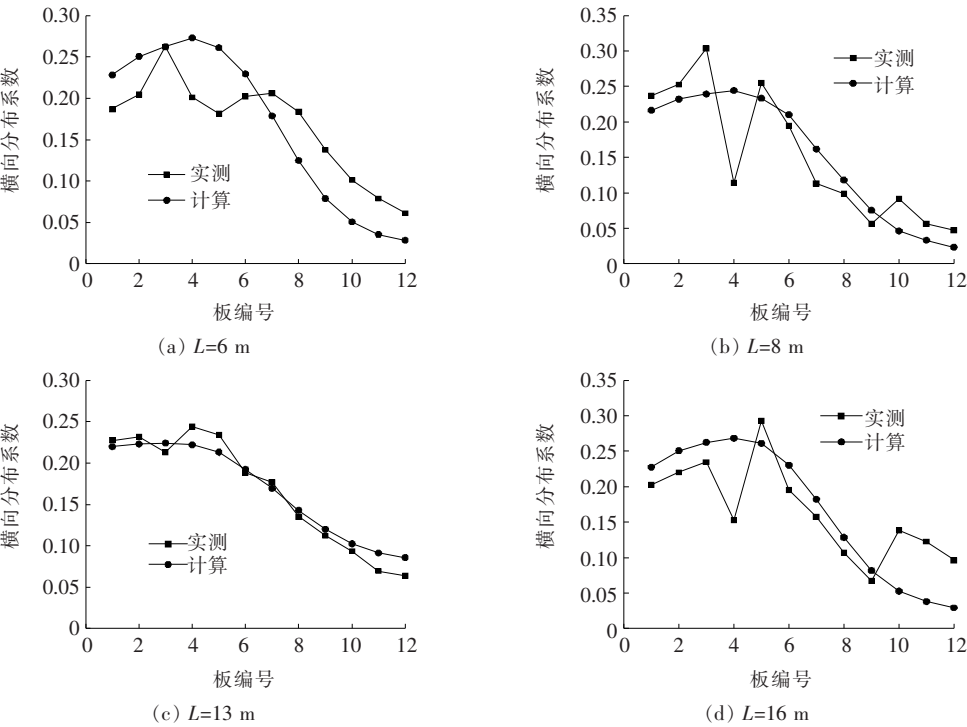


图 2 不同跨径桥梁实测横向分布系数值与计算值对比

由图 2 可知:各桥荷载横向分布系数实测值与理论值变化趋势基本相符,说明各桥横向联系良好,与设

计假设基本相符。

由图 3、4 可知:现场实测跨中挠度值均小于单板

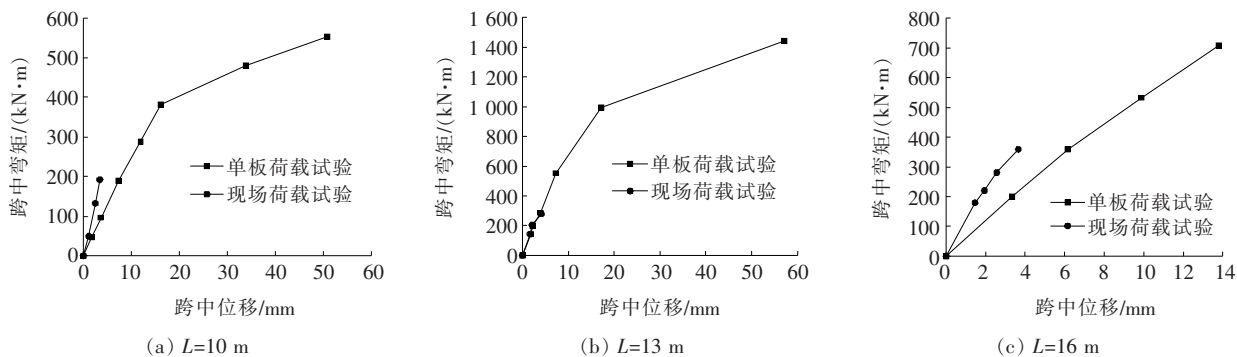


图 3 不同跨径单板荷载试验与现场试验跨中弯矩—位移对比

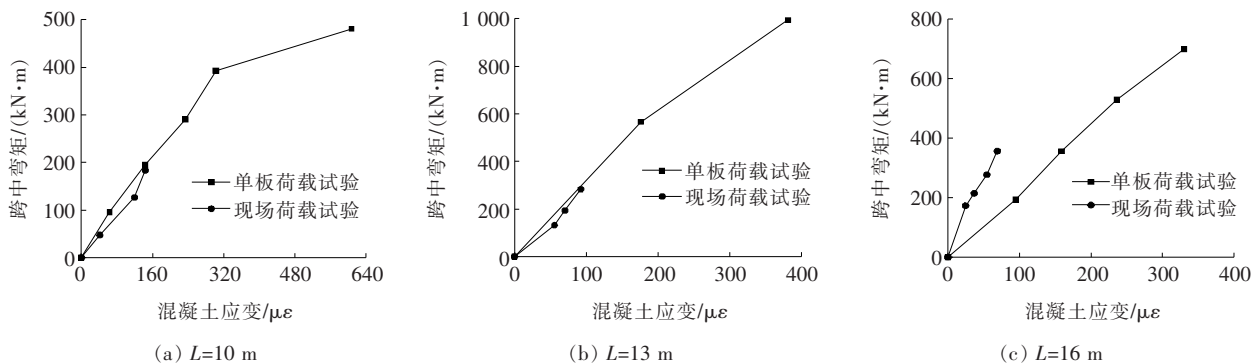


图 4 不同跨径单板荷载试验与现场试验跨中弯矩—混凝土应变对比

试验实测值,说明全桥整体性好。现场实测跨中梁底应变值与单板试验实测值接近,说明单板承载试验能反映全桥整体受力情况。

3.3 试验室承载力试验

抗弯承载力试验通过在跨中布置分配梁,采用两点加载,用液压千斤顶在分配梁上施加荷载。抗弯承载力试验:6、8 m 钢筋混凝土空心板采用液压千斤顶两点施加荷载方式,10、13、16 m 预应力混凝土空心板采用液压千斤顶单点施加荷载方式,6、8、10、13、16 m 空心板剪跨比分别为 1.7、1.7、1.75、1.77、2.0(图 5)。

随机选取 3 个 16 m 预应力混凝土空心板 I、II、III 为例,介绍试验及分析成果。图 6 为 16 m 跨径预应力混凝土空心板抗弯承载力实测跨中弯矩—位移曲线图。由图 6 可以得到:实测抗弯承载力是最大弯矩组合设计值的 1.3 倍,为规范计算抗弯承载力的 1.2 倍。此外,在实测跨中弯矩—位移曲线中有两个明显的转折点:第一个转折点表示的是下缘混凝土退出工作,截面内力全部由预应力钢筋承担;第二个转折点就是结构破坏点,结构破坏。这两个转折点将结构分为 3 个受力阶段,即混凝土弹性工作阶段、塑性变形发展阶段、结构破坏阶段。从图 6 可以看到:按 JTG B01—2014《公路工程技术标准》^[2] 汽车荷载计算的活载作用

剪力所在的位置,即处于结构弹性工作阶段,表明在 JTG B01—2014《公路工程技术标准》作用下,结构受力满足要求。

16 m 跨径预应力混凝土空心板实测剪力—位移曲线如图 7 所示。由图 7 可以得到:空心板 I、II 实测抗弯承载力是最大剪力组合设计值的 1.5 倍、1.3 倍,为规范计算抗弯承载力的 1.7 倍、1.5 倍。需要注意的是:由于空心板 III 在试验加载前检查中,发现在板底有纵向裂缝,可能是由于板本身质量的问题,空心板 III 实测抗弯承载力仅为 553 kN,与最大剪力设计值较为接近,为规范计算抗弯承载力的 1.2 倍。此外,从图 7 可以看到,空心板 I、II 均在 620 kN 位置出现斜裂缝,空心板 III 在 374 kN 位置出现斜裂缝,按新标准汽车荷载计算的活载作用剪力所在的位置,即处于结构弹性工作阶段,表明在新标准汽车荷载计算的活载作用下,结构受力满足要求。JTG 3362—2018《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》^[8] 受弯构件极限状态抗剪计算公式适用于开口截面的抗剪计算,如矩形、T 形和 I 形,其抗剪承载能力主要由腹板承担,因此抗弯承载力公式 V_c 中的参数 b 指仅采用腹板厚度。空心板及箱梁等截面为闭口形式,其截面的弯曲剪应力分布明显异于开口截面,采用该公式用腹

板最薄处 b 计算的极限状态抗剪承载力是不合适的,承担截面抗剪的不仅有腹板,还应有组成闭口截面的顶底板。规范抗剪承载力计算公式对闭口截面的不适

宜性基本形成普遍共识,中国高校和科研单位也开展了部分箱梁截面极限状态抗剪计算的研究和试验,但仍未形成成熟的抗剪承载力计算方法。

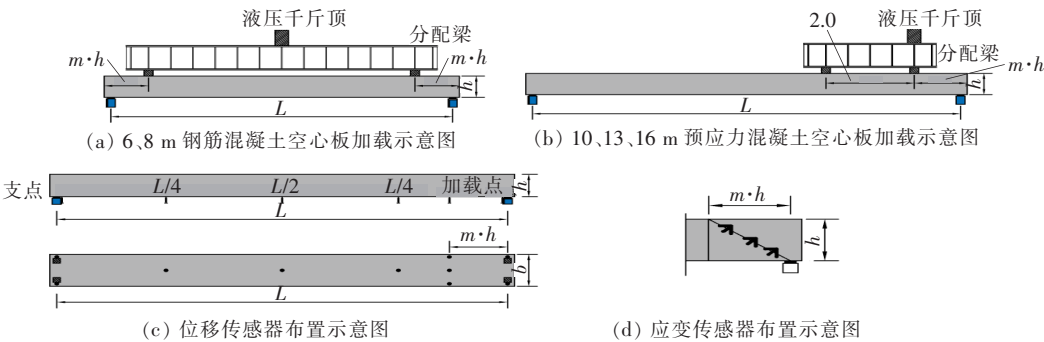


图 5 试验测试方案设计

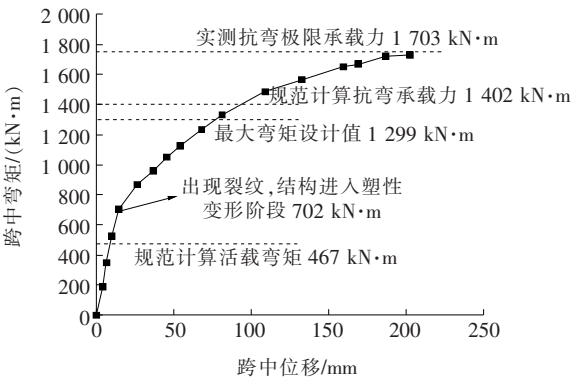


图 6 16 m 空心板实测跨中弯矩-位移曲线

3.4 无损检测及材料试验

依据 JTG/T J21—2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》,通过无损手段,在承载力试验前测试试验梁极限破坏前详细的材料性能指标;根据无损测试结果,详细分析板梁中的混凝土和钢筋的技术状况;对破坏后的梁体进行混凝土取芯、钢筋截取,并对混凝土芯样、钢筋试样进行材料试验。检测内容如表 2 所示。

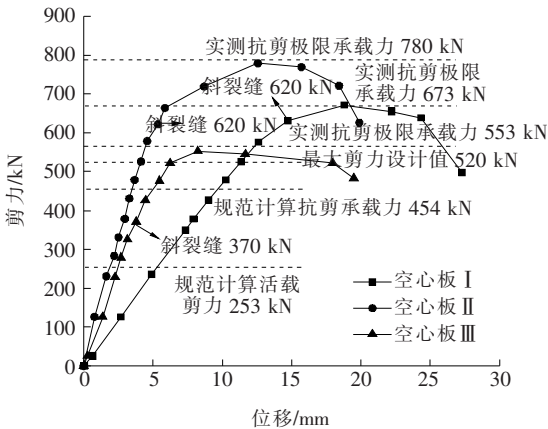


图 7 16 m 空心板实测加载点位置剪力-位移曲线

3.5 承载力数值分析及验证

采用有限元分析软件 Abaqus,基于混凝土损伤塑性模型,对 10、13、16 m 空心板进行抗弯、抗剪承载力非线性有限元分析,模拟及预测空心板的受力破坏状态,并与试验结果进行对比。混凝土损伤塑性模型,结合实测材料强度并参考 GB 50010—2010《混凝土结构

表 2 无损检测、材料试验内容

检测内容		试验方法
无损检测	混凝土强度检测	采用混凝土回弹仪、非金属超声波检测仪、碳化深度测量装置进行混凝土强度综合测试
	钢筋位置及保护层厚度	采用钢筋位置及保护层测试仪进行检测
	混凝土密实度检测	采用非金属超声波检测仪进行测试
	电阻率测试	采用电阻率测试仪进行检测
	钢筋锈蚀检测	采用钢筋锈蚀仪以半电池电位法进行测试
材料试验	钢筋极限抗拉强度、屈服强度、断后伸长率	采用万能材料试验机对破坏后的梁体内钢筋进行试验
	取芯法测试混凝土强度	去压力机对破坏后的梁体芯样进行试验

设计规范》确定混凝土应力—应变曲线,并根据能量等效原理计算损伤因子等参数。普通钢筋采用双折线弹塑性模型,预应力筋采用理想弹塑性模型,初始应力法施加预应力。

结果表明:通过选取合理的材料本构、约束条件,Abaqus 可比较准确地分析梁的受力及破坏状态,10、16 m 板的抗弯承载力有限元结果与试验结果相比分别 $\leq 10\%$ 、 $\leq 15\%$ (图 8)。

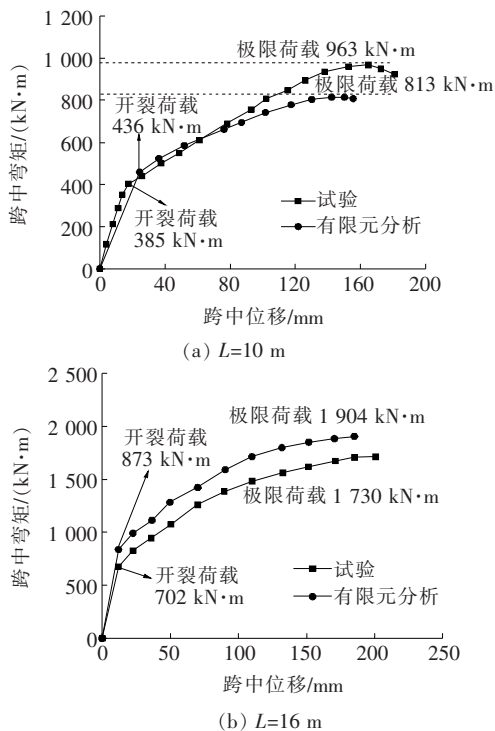


图 8 数值模拟与试验对比分析

4 结 论

该文总结分析了既有桥梁检测评估方法的适应性,提出了针对改扩建桥梁适应性评价方法和指标,建立了通过总体技术状况评估、现场荷载试验、试验室承载力试验、无损检测及材料试验、承载力数值分析及验证共 5 个检测评估环节及系统评估方法,并在京沪高速公路改扩建项目中应用,可有效并准确检测评估既有桥梁状态,为该高速公路改扩建工程桥梁拓宽设计和加固提供技术支撑。既有空心板单板极限承载力评定流程如图 9 所示。

经系统性评价得到以下结论:

(1) 根据对 6、8、10、13、16 m 等跨径的空心板抗弯、抗剪承载力试验结果分析可以得到:6、8 m 钢筋混

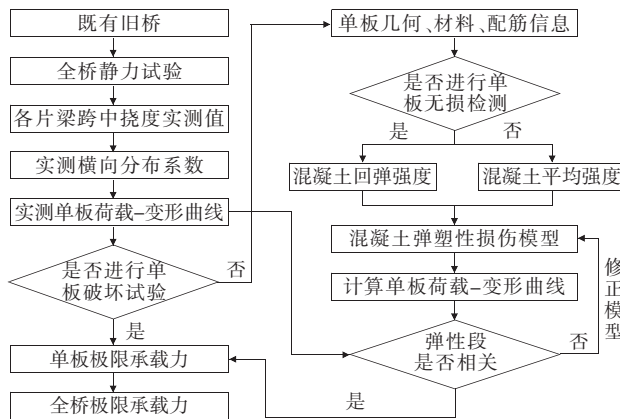


图 9 既有空心板极限承载力评定流程

凝土空心板在现行规范汽车荷载作用下,计算所得的活载弯矩值处于结构塑性变形发展阶段,而预应力混凝土空心板则处于弹性受力阶段;实测抗弯、抗剪承载力较设计值有较大富余度,规范计算结果偏于安全;由于材料、施工的差异性,既有旧板实测承载力也具有一定的离散性。根据桥梁技术状况系统评定预应力空心板桥经简单加固后可以继续利用。

(2) 通过数值分析,在受压区通过加厚桥面混凝土现浇层可以有效提高旧板的抗弯和抗剪承载力,能够满足空心板耐久性要求^[9]。

(3) 空心板抗弯破坏先于抗剪破坏,加固计算时可由正截面抗弯承载力来控制配筋设计。

(4) 京沪高速公路改扩建工程预应力空心板采用加厚混凝土铺装层方案,目前工程已完工并投入使用,使用效果良好。

参考文献:

- [1] 柳丹. 论高速公路改扩建工程的精细化管理问题[J]. 交通建设与管理, 2015(8): 167—168.
- [2] JTG B01—2014 公路工程技术标准[S].
- [3] JTG/T L11—2014 高速公路改扩建设计细则[S].
- [4] 王武生. 绿色公路建设理念在长益高速公路扩容工程中的应用[J]. 中外公路, 2019, 39(2): 299—302.
- [5] JTG/T H21—2011 公路桥梁技术状况评定标准[S].
- [6] JTG/T J21—2011 公路桥梁承载能力检测评定规程[S].
- [7] JTG 5210—2018 公路技术状况评定标准[S].
- [8] JTG 3362—2018 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [9] 杨雪峰. 预应力混凝土空心板桥梁加固方法对比分析[J]. 中外公路, 2019, 39(6): 94—96.