

拼宽空心板桥的承载能力与结构性能试验研究

杨晓冲¹, 王涛^{1*}, 李浩师²

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司)

摘要:位于浙江省省道某空心板旧桥在采用刚性连接法拼宽整治后,荷载等级拟从汽车—20级、挂车—100提升至公路—I级(2015规范)。为研究该桥的实际承载能力和该种拼宽形式的受力性能,为此类拼宽空心板桥的设计和施工提供参考,采用正交网格划分的梁格法对该桥进行模拟,按照汽车—20级、挂车—100;公路—I级(2004规范);公路—I级(2015规范)共3个荷载等级对其进行试验加载。试验结果表明:采用正交网格划分的梁格法可以精确模拟斜桥的弯扭耦合作用和接缝处横向力的传递,实测数据可靠;试验拼宽空心板满足运营荷载等级提升的要求;老桥校验系数均值为0.77,大于拼宽部分的0.65,老桥相对残余均值为10.72%,大于拼宽部分的6.02%,表明老桥安全储备系数小于拼宽部分;相对于铰接拼宽形式,采用刚性连接法的拼宽空心板接缝附近主梁受力变形较为均匀,横向传力效果较为理想,是一种可以广泛推广的空心板拼宽连接方法。

关键词:桥梁工程;空心板桥;桥梁拼宽;荷载等级提升;荷载试验

空心板桥由于具有标准化设计和施工、优越的造价、适用性高等优点,在中国桥梁中具有较大的占比。面对日益提升的交通量和车辆载重,大量旧桥正面临通行能力不足的挑战。由于拆除重建成本过高,对旧桥进行拼宽整治再利用是首选方案。

由于规范的不断更新,拼宽桥的运营荷载等级必然有所提升。随着交通量和车辆载重的增加,JTG D60—2004《公路桥涵设计通用规范》(简称“2004规范”)相较于JTJ 021—89《公路桥涵设计通用规范》(简称“89规范”)由车道荷载代替了车队荷载;JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》(简称“2015规范”)相较于2004规范,二级公路的荷载等级提高到公路—I级,且车道荷载的集中力有较大提高,跨径越小提高幅度越大。文献[5]对26种荷载等级进行了分析,发现荷载等级大小与跨径和效应有关;文献[6]研究了在2004规范和89规范下,装配式简支变连续结构弯矩和剪力的受力差异。然而自2015规范颁布以来,对最新荷载等级与旧规范的比较和旧桥运营荷载等级按新规范提升的研究较少。

由于拼宽部分和老桥部分将共同受力,不合理的拼接方法将会出现湿接缝错台、裂缝等病害。因此,对拼宽接缝处的受力性能研究至关重要。文献[8]通过

对采用柔性连接、半刚性连接、刚性拼接3种拼接方式的拼宽空心板桥的室内缩尺模型试验研究,比较了不同连接方式的特点。然而通过对实桥荷载试验来研究拼宽空心板桥接缝的受力性能研究相对较少。

该文以浙江省省道某空心板桥的拼宽改造工程为背景,按照汽车—20级、挂车—100;公路—I级(2004规范);公路—I级(2015规范)3个荷载等级对该桥进行荷载试验,从而研究其实际承载能力和该种拼宽形式的受力性能,为设计和施工提供参考。

1 工程背景

研究工程空心板桥,建成于2001年,右偏角 100° ,左右幅老桥原宽均为12.25 m,现两侧各拼宽3.75 m。上部结构采用 5×16 m的预应力混凝土简支空心板,在老桥左右幅两侧各拼接3块空心板,新老桥衔接处梁板采用现浇钢筋混凝土固结,即采用刚性拼接方法;下部结构为柱式墩桩基础、扩大基础和U形桥台,新老盖梁采用铰接连接。老桥空心板梁未有明显病害,因此仅在盖梁、台帽处裂缝按常规措施进行处治的基础上辅以粘贴钢板加固。旧桥设计荷载为汽车—20、挂车—100(89规范),新桥为公路—I级(2015规

收稿日期:2020-02-10(修改稿)

作者简介:杨晓冲,男,硕士研究生。E-mail:798462361@qq.com

*通信作者:王涛,男,博士,副教授。E-mail:48045664@qq.com

范)。桥梁布置示意图见图 1、2。

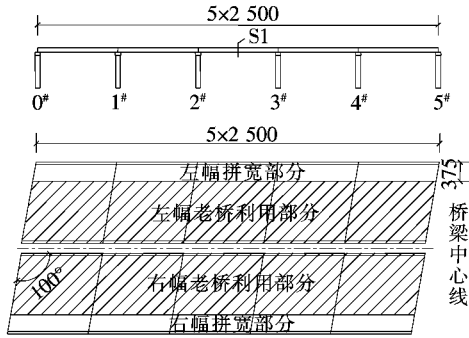


图 1 空心板桥平面、立面布置示意图(单位:cm)

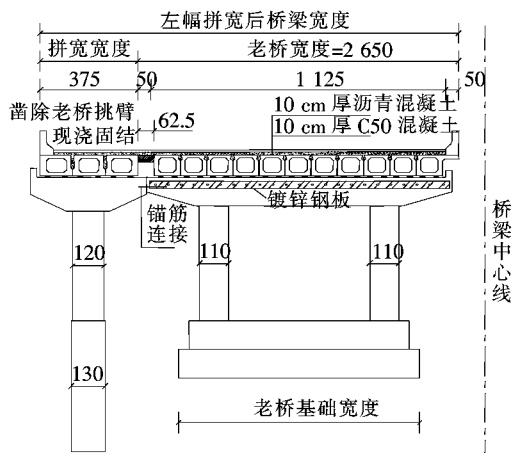


图 2 空心板桥横断面布置示意图(单位:cm)

2 有限元分析

对于空心板这类多梁装配式结构,其有限元模拟方法主要有单梁法和空间梁格法两种。单梁法主要通过计算横向分布系数来实现荷载的横向传递,然而对于斜梁桥和拼宽空心板接缝的模拟比较困难。而梁格法依据梁格理论通过精确模拟纵横梁的刚度,能够较好地与实际结构等效。且相较于单梁模型,梁格法具有以下优点:① 采用正交网格划分的梁格法,可以精确模拟斜桥的弯扭耦合作用;② 通过释放虚拟横梁的杆端约束可以模拟空心板铰缝处的受力;③ 通过对拼宽桥接缝处虚拟横梁刚度的计算,可以精确模拟拼宽桥接缝处的横向力传递。

该文基于 Midas 程序,采用正交网格划分的梁格法对拼宽空心板桥进行模拟。纵梁采用 C50 混凝土材料,虚拟横梁采用无重度、弹性模量同 C50 的虚拟材料。为研究拼宽空心板桥的实际承载能力和该种拼宽形式的受力性能,设计荷载分别取汽车-20 级、挂车-100(89 规范);公路-I 级(2004 规范);公路-I

级(2015 规范)。由于铰缝只能传递剪力,不传递弯矩,因此释放虚拟横梁杆端约束中的弯矩和扭矩;老桥与拼宽处湿接缝视为刚性连接,可以视为刚接,因此不释放杆端约束。为研究拼宽桥接缝刚接与铰接受力和变形的区别,分别建立这两种拼接方法的有限元模型。

3 荷载试验

3.1 荷载工况

该桥为五跨简支空心板梁,结构构造相同,为方便搭支架布置测点,选取该桥左幅第 3 跨为试验跨。根据 JTG/T J21-01-2015《公路桥梁荷载试验规程》(简称“荷载试验规程”),测试该跨最大正弯矩截面(即跨中 S1 截面,见图 1)在试验荷载作用下的应变及挠度。根据 3 个不同的荷载等级和横桥向中、偏载,共设 6 个加载工况,见表 1。各个工况纵桥向根据影响线按最不利位置加载,横向布置见图 3。

表 1 荷载试验加载工况

荷载工况	荷载等级	横桥向布置
1	汽车-20 级、挂车-100(89 规范)	中载
2	公路-I 级(2004 规范)	中载
3	公路-I 级(2015 规范)	中载
4	汽车-20 级、挂车-100(89 规范)	偏载
5	公路-I 级(2004 规范)	偏载
6	公路-I 级(2015 规范)	偏载

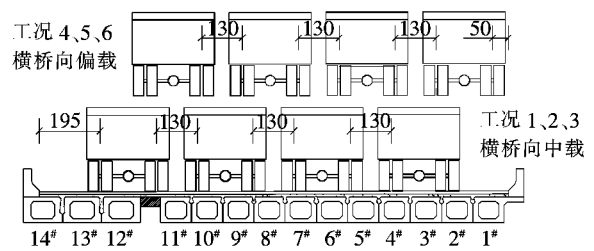


图 3 车辆横向加载布置示意图(单位:cm)

3.2 加载效率

荷载试验采用分级加载的原则进行加载,每个工况共分 3 级加载,每级加载完毕,观察测点读数稳定、数据正常,再将试验荷载加至下一级。各工况内力加载效率 η_q (单梁最大静载试验值与设计值的比值)见表 2。

试验共需 3 类加载车,30、37 和 45 t 各 4 辆,共 12 辆,加载车辆参数见表 3。该试验加载车辆实测总重上下浮动在 ± 0.4 t 内,根据实测车辆参数输入模型重新计算,各工况下的荷载效率系数 η_q 仍然为 0.95~1.05,满足荷载试验规程的要求。

表2 各工况内力加载效率

荷载工况	加载车辆数和种类	分级加载内力/(kN·m)	设计荷载内力/(kN·m)	加载效率
1	4辆30t	231.72	230.90	0.46
2	4辆37t	290.92	283.84	0.59
3	4辆45t	355.99	348.36	0.53
4	4辆30t	372.32	367.16	0.49
5	4辆37t	447.54	439.22	0.62
6	4辆45t	551.61	535.94	0.49

表3 加载车辆参数

荷载工况	加载车/辆	前轴重/t	中轴和后轴重/t	总重/t
1,4	4	5.8~6.3	23.7~24.2	29.8~30.3
2,5	4	7.2~7.5	29.6~29.8	36.9~37.3
3,6	4	8.6~9.2	35.8~36.6	45.0~45.4

3.3 测点布设

应变及挠度数据采集采用静态应变测试系统,应变和挠度测点布置示意图见图4,共32个应变测点和14个挠度测点。

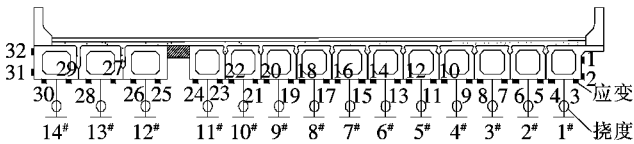


图4 测点布置示意图(单位:cm)

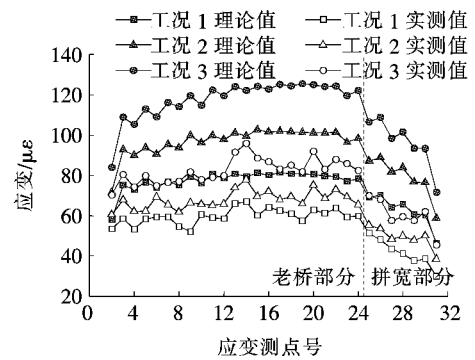
4 试验数据分析

4.1 有限元模型验证

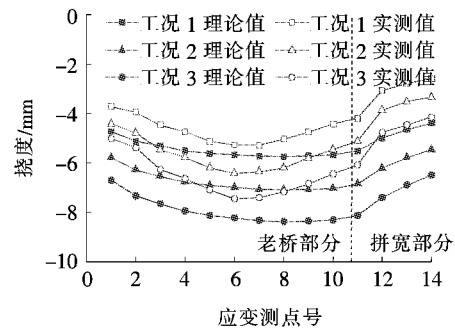
图5为工况1~3的横桥向中载作用下各测点的应变、挠度值。由图5可见:在对称荷载作用下,应变和挠度横向分布较为均匀;应变和挠度的峰值出现在7#梁附近,与理论峰值吻合。图6为工况4~6的横桥向偏载作用下各测点的应变、挠度值。由图6可见:应变和挠度的偏载效应较为明显;应变和挠度的峰值出现在1#梁附近,与理论峰值吻合。由图5、6可知,各工况下的实测值与理论值的横向分布趋势基本一致,表明采用正交网格划分的梁格法模拟拼宽空心板桥较为合理,可以精确模拟斜桥的弯扭耦合作用和接缝处横向力的传递,实测数据可靠。

4.2 承载能力分析

校验系数 η 为试验荷载作用下的结构弹性值与理

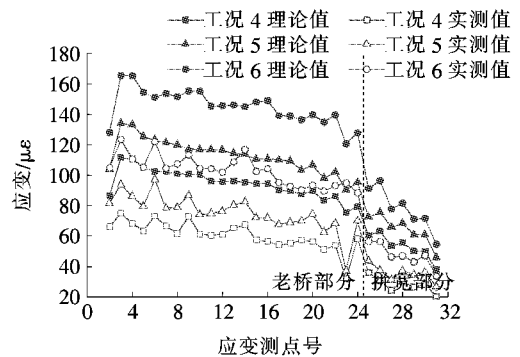


(a) 应变

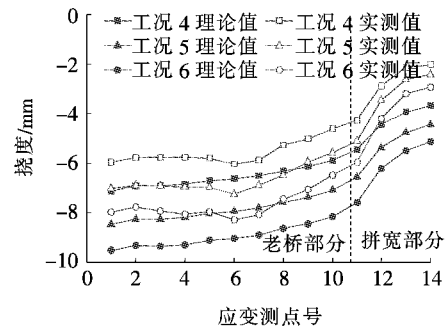


(b) 挠度

图5 工况1~3应变、挠度实测值与理论值比较



(a) 应变



(b) 挠度

图6 工况4~6应变、挠度实测值与理论值比较

论值的比值,通过计算各测点的应变和挠度校验系数来反映桥梁结构承载力的安全储备情况;相对残余 ΔS_p 为试验荷载作用下的结构残余值与试验荷载作

用下的结构总值的比值,通过计算各测点的应变和挠度相对残余来反映桥梁结构是否处于弹性工作状态。

工况 1~6 下的应变、挠度校验系数和相对残余数
据见图 7、8。

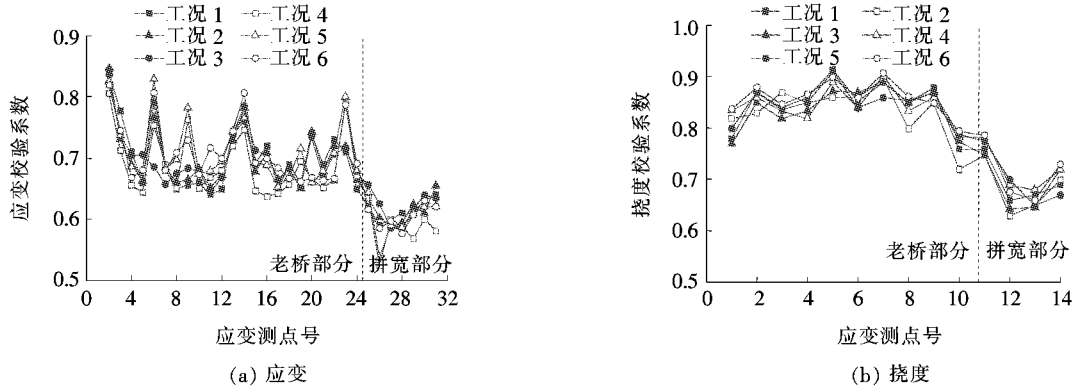


图 7 工况 1~6 的应变、挠度校验系数

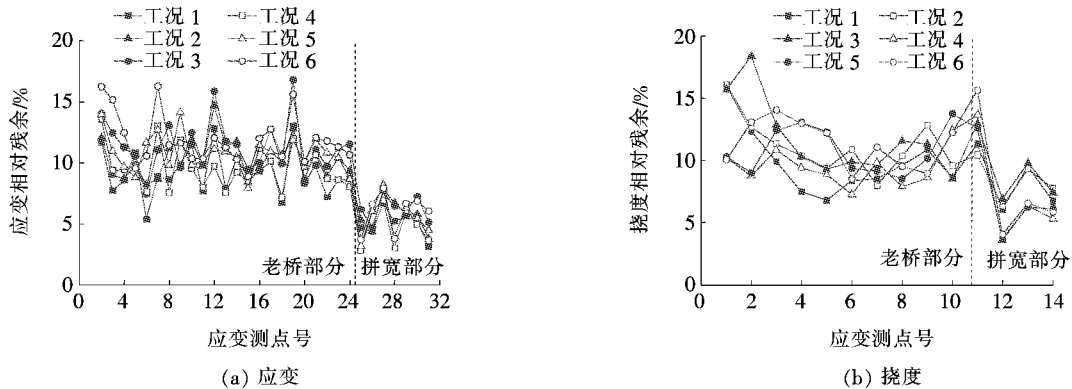


图 8 工况 1~6 的应变、挠度相对残余

由图 7、8 可知:工况 1~6 下应变相对残余为 2.82%~16.79%,挠度相对残余为 3.60%~18.38%,均小于荷载试验规程规定的 20%,表明该桥跨结构在各工况下均处于弹性工作状态;应变校验系数为 0.58~0.86,挠度校验系数为 0.57~0.91,符合荷载试验规程要求的应变校验系数小于 0.9、挠度校验系数小于 1 的要求,且应变校验系数平均值为 0.68,挠度校验系数平均值为 0.80,表明试验拼宽空心板桥具有较大的安全储备系数。综上所述,该桥在汽车—20 级、挂车—100(1989 规范);公路—I 级(2004 规范);公路—I 级(2015 规范)3 种荷载等级下承载能力均合格,桥跨结构处于弹性工作状态,具有较大的安全储备系数,即该试验拼宽空心板桥满足运营荷载等级提升的要求。

另外从图 7、8 可见:老桥部分的应变和挠度校验系数和相对残余均略大于拼宽部分,老桥校验系数均值为 0.77 大于拼宽部分的 0.65、老桥相对残余均值为 10.72% 大于拼宽部分的 6.02%,表明由于老桥材

质的老化,其安全储备系数要小于拼宽部分,因此对于此种形式的拼宽桥梁在养护过程中,应特别注意老桥部分的病害产生情况。

4.3 刚结与铰接两种拼宽形式的对比分析

将刚结与铰接两种拼宽形式理论应变与挠度对比结果,见图 9。

从图 9 可看出:刚结拼宽形式相对于铰接,拼宽部分分担了更多的荷载,老桥空心板的应变和挠度更小;特别是,靠近拼宽接缝的老桥空心板承载力有明显提高,中载工况下可提高 14.38%,偏载工况下可提高 20.93%。

图 5、6 为采用刚性连接的拼宽空心板在各工况下的实测数据和理论数据的对比,从图 5、6 可看出:拼宽部分的跨中应变、挠度理论值和实测值均略小于相邻老桥部分空心板梁,老桥和拼宽部分受力和变形较为均匀。湿接缝处旧梁与新梁实测挠度差值平均值为 1.04 mm,而理论差值为 0.91 mm;应变差值平均值为 32.7 $\mu\epsilon$,而理论差值为 31.9 $\mu\epsilon$ 。

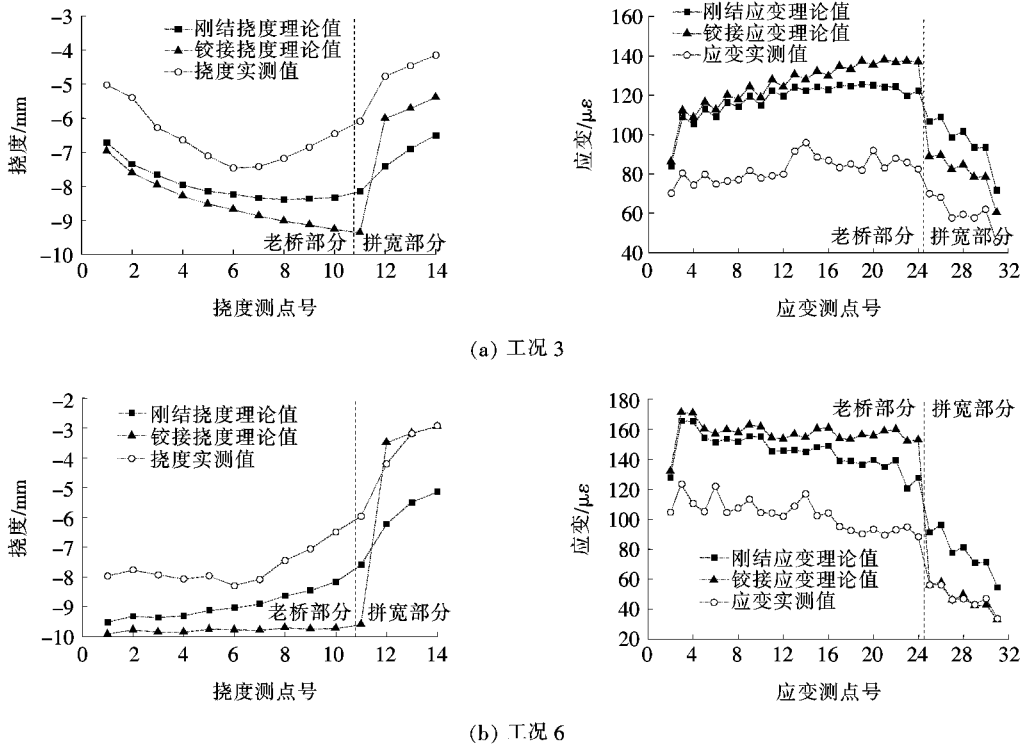


图9 工况3、6刚结与铰接两种拼宽形式应变与挠度对比

综上所述,采用现浇湿接刚性连接法的横向传力效果相对于铰接拼宽形式较为理想,且施工工艺已经较为成熟,因此是一种可以广泛推广的空心板拼宽连接方法。

5 结论

通过对试验拼宽空心板桥在3种荷载等级下的荷载试验数据分析,得出如下结论:

(1) 采用正交网格划分的梁格法可以精确模拟斜桥的弯扭耦合作用和接缝处横向力的传递,实测数据可靠。

(2) 试验拼宽空心板在汽车—20级、挂车—100(1989规范);公路—Ⅰ级(2004规范);公路—Ⅰ级(2015规范)3种荷载等级下实际承载能力均合格,满足运营荷载等级提升的要求,可以为该省道其余拼宽空心板桥和今后该类型拼宽空心板桥的承载能力提供参考。

(3) 老桥安全储备系数小于拼宽部分,老桥校验系数均值为0.77大于拼宽部分的0.65、老桥相对残余均值为10.72%大于拼宽部分的6.02%,应侧重于老桥部分的巡检与养护。

(4) 相对于铰接拼宽形式,采用刚性连接法的拼

宽空心板桥的拼宽部分和老桥连接部分受力变形较为均匀,横向传力效果较为理想,表明刚性连接法是一种可以广泛推广的空心板拼宽连接方法。

参考文献:

- [1] 黄立浦,曹素功,常柱刚.旧桥拓宽加固中荷载横向分布系数的变化规律[J].中外公路,2017(4).
- [2] JTG D60—2004 公路桥涵设计通用规范[S].
- [3] JTJ 021—89 公路桥涵设计通用规范[S].
- [4] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].
- [5] 梁鹏,龙涛,秦建国,等.我国桥梁汽车荷载演变及其效应分析[J].公路,2011(11).
- [6] 李自林,常汝鸿.连续梁桥新旧荷载规范下内力及变形研究[J].河北工业大学学报,2009(1).
- [7] 熊正强.预应力混凝土空心板拼宽后纵向接缝受力研究[J].中外公路,2014(5).
- [8] 宗周红,夏樟华,陈宜言,等.既有桥梁拓宽改造纵向接缝研究现状与实例分析[J].福州大学学报(自然科学版),2009(2).
- [9] 郑振飞,吴庆雄.多梁式斜梁桥的广义梁格法[J].福州大学学报(自然科学版),1998(4).
- [10] 宋宇锋,孙勇,杨立坡.空心板梁桥铰缝受力特性与破坏模式的试验与理论研究[J].中外公路,2018(2).
- [11] JTG/T J21—01—2015 公路桥梁荷载试验规程[S].