

高性能灌浆料维修空心板桥铰缝的足尺试验研究

闫卫红^{1,2}, 付立军^{1,2}, 赵 军³

(1. 河南省交通科学技术研究院有限公司, 河南 郑州 450015; 2. 公路桥梁安全检测与加固技术交通运输行业研发中心, 河南 郑州 450015; 3. 郑州大学 土木与工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 为了研究高性能灌浆料在空心板桥铰缝中的维修加固效果, 以实桥拆除的 3 片 30 m 跨空心板梁为对象, 进行了高性能灌浆料维修空心板桥铰缝的足尺试验研究. 通过对铰缝修复后 3 片空心板组成的装配式空心板桥进行中板跨中集中加载, 测量并分析了各板梁的荷载-挠度曲线, 给出了试验的破坏模式. 试验结果表明, 加载初期各板梁挠度变化基本相同, 各板梁间整体工作性能良好; 极限状态下破坏形态为灌浆料与板梁结合面的纵向脆性开裂破坏; 采用高性能灌浆料维修后对应原桥设计荷载的超载储备为 1.74.

关键词: 高性能; 灌浆料; 空心板; 铰缝; 足尺试验

中图分类号: U448.35 **文献标志码:** A **doi:**10.13705/j.issn.1671-6833.2016.04.017

0 引言

装配式预应力混凝土空心板桥作为我国公路桥梁的主力桥型, 随着服役时间的增长及重载交通的影响, 其铰缝往往会出现不同程度的病害, 严重者会出现单板受力甚至于板梁断裂^[1-2].

针对空心板横向联系不足问题, 工程界和学术界提出了一系列的加固维修方法, 包括增强桥面铺装^[3]、横向预应力加固^[4-5]、减梁增肋法^[6]、Π 形钢板法^[7]等等, 也对应开展了相应的试验研究^[8-11]. 这些技术的应用对改善桥梁的整体受力性能具有重要的作用. 然而, 这些方法在施工中也存在一些不便, 如植筋易损坏空心板内钢绞线、板梁底板不平导致横向粘贴钢板困难等问题.

为此, 笔者在实际桥梁加固设计中提出了采用高性能灌浆料进行铰缝维修的加固技术. 该技术在工程应用中一般无需中断交通, 若桥面铺装损坏较轻, 不用整体翻新. 若桥面铺装破损严重, 仅需部分短暂封闭交通进行面层修复. 因维修施工工作在桥下进行, 该技术具有无交通安全隐患, 工期较短, 工程造价低等优点, 并且后续维护期间若有破损, 可较快速修复, 有利于降低长期全寿命周期养护成本.

笔者为研究高性能灌浆料在空心板桥铰缝中的维修加固效果, 以某高速公路拆除的 3 片 30 m 跨空心板梁为对象, 进行高性能灌浆料维修空心板桥铰缝的足尺破坏试验研究.

1 铰缝维修方法

高性能灌浆料由专用外加剂添加多种矿物改性成分、高分子聚合物材料和低碱普通硅酸盐水泥复合组成, 具有高流动性、低水胶比、微膨胀、零泌水、耐久性好等特点. 该灌浆料主要技术指标如表 1 所示.

采用灌浆料进行破损铰缝灌浆修复时主要工艺如下.

(1) 清理: 针对破损铰缝, 清理铰缝内积存的泥土及铰缝底部的麻丝、破碎状态混凝土等, 再用特制钢丝刷将铰缝铰缝内壁上粘附的泥土浮浆刷除干净, 最后用高压水枪对铰缝内部进行冲洗.

(2) 封堵: 在铰缝左右端头, 分别用聚氨酯发泡剂进行封堵, 防止注浆过程中浆料从铰缝两头渗出.

(3) 设置注胶管: 铰缝每隔 5 m 设置一道注胶管, 并在铰缝高端的端头埋设一根测量管.

(4) 板底封缝: 用罐装聚氨酯发泡材料沿板

收稿日期: 2016-03-30; 修订日期: 2016-06-19

基金项目: 河南省交通运输科技计划项目(2014K37-1)

作者简介: 闫卫红(1977—), 男, 河南温县人, 高级工程师, 硕士, 主要从事公路及桥梁设计、检测、监测与加固技术等方面的研究, E-mail: 394240484@qq.com.

底纵向,由一端向另一端均匀封堵 3~5 cm 高度.

(5) 封闭检查:可通过加压空气试验或闭水试验检验封缝质量.如果没有达到要求,对渗漏处进行修补.

(6) 压力灌注:使用灌浆机向铰缝内以 0.3~0.5 MPa 的压力连续、缓慢、匀速地向缝内压入灌浆料,以浆体与板顶部持平并无气泡为原则.

表 1 高性能灌浆料主要技术指标

Tab.1 Main technical indexes of high-performance grouting material		
性能指标		数值范围
水胶比		0.26~0.28
流动度/s	初始流动度	10~17
	30 min 流动度	10~20
	60 min 流动度	10~25
泌水率/%	24 h 自由泌水率	0
	3 h 钢丝间泌水率	0
压力泌水率/%	0.22 MPa(孔道垂直高度≤1.8 m 时)	≤2.0
	0.36 MPa(孔道垂直高度>1.8 m 时)	
自由膨胀率/%	3 h	0~2
	24 h	0~3
充盈度		合格
抗压强度/MPa	3 d	≥20
	7 d	≥40
	28 d	≥50
抗折强度/MPa	3 d	≥5
	7 d	≥6
	28 d	≥10

2 试验研究

2.1 试验构件

试验构件采用某高速公路拆除的 3 片 30 m 跨空心板,见图 1,其断面尺寸如图 2 所示.板梁混凝土设计强度 C50,实测强度为 54 MPa.检测发现板梁主要病害为端部腹板斜裂缝和跨中底板横向裂缝.因裂缝宽度不超过 0.05 mm,试验前首先对板梁裂缝采用灌缝胶进行封闭处理.

将板梁按照实际运营时板梁间距吊装就位后,采用高性能灌浆料进行灌缝处理,形成由 3 片板梁组成的装配式空心板桥.

2.2 试验加载及测试

现场试验加载照片如图 3 所示,由传感器、千斤顶、工字钢、支墩、反力梁和混凝土配重等组成.加载方式为中板跨中的集中力加载,初始加载阶段按照 50 kN 的增量进行,后期根据试验情况逐步调整.

为研究各板梁的整体工作性能,加载过程中主要测试各空心板四分点及跨中竖向挠度,如图 4 所示,每片板梁共布置 6 个挠度计.



图 1 试验空心板
Fig.1 Test hollow slab

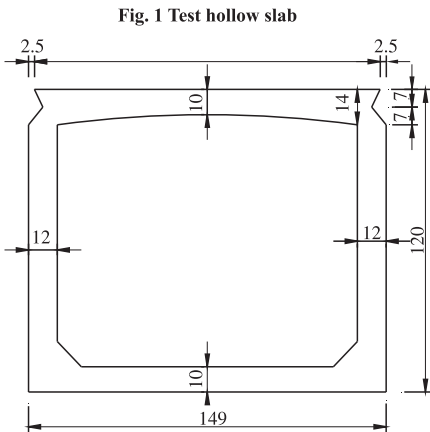


图 2 试验空心板横断面图(单位:cm)
Fig.2 Cross section of test hollow slab (unit: cm)



图 3 试验加载照片
Fig.3 Loading test picture

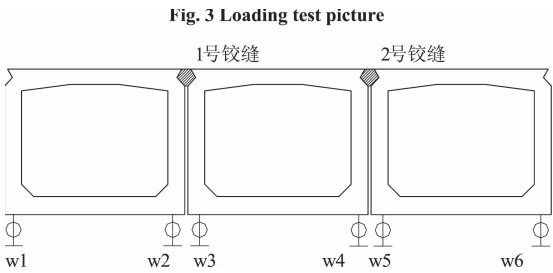


图 4 挠度计布置示意图
Fig.4 Schematic layout of deflection sensors

3 试验结果及分析

3.1 破坏过程和形态

加载初期板梁和铰缝无异常,试验加载至 806 kN 时板缝有响动,2 号铰缝顶面跨中至 3/4 跨有表观裂缝出现,最大缝宽 1 mm,局部发生错位,如图 5 所示。

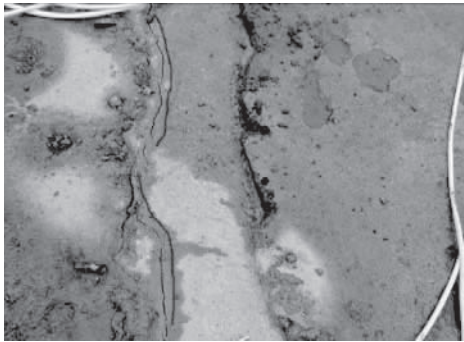


图 5 加载值 806 kN 时铰缝开裂

Fig.5 Crack of hinge joint under load of 806 kN

当荷载增大至 829 kN 时,裂缝持续增大,随即伴有“砰”的响声,铰缝沿结合面破坏.铰缝从表观开裂到破坏的过程极短,几乎是结合面处裂缝产生时即发生破坏,属于明显的脆性破坏.图 6 为 2 号铰缝破坏后板梁底部的破坏形态,可以看出相邻板梁间出现明显的位移错位。



图 6 加载值 829 kN 时板梁明显错位

Fig.6 Relative moving of hollow slab under load of 829 kN

3.2 荷载-挠度曲线

试验过程中空心板各测试截面(沿空心板纵向设置 5 个截面,编号为 1~5,其中 1 号、5 号截面为支点截面,2 号截面为 $L/4$ 跨截面,3 号截面为跨中截面,4 号截面为 $3L/4$ 跨截面)荷载-挠度曲线如图 7 所示,由图 7 可知,加载初期,各空心板变形基本重合,整体受力性能良好.当荷载增大至 700 kN 时,跨中截面和 $3/4$ 截面 2 号铰缝处两板梁的位移变化开始不协调;随着荷载增大至 806 kN 时,1~3 号板变形分别是 30.3、29.2 和

28.7 mm;当荷载增大至 829 kN 时,依次增加为 31.5、29.5 和 29.1 mm;随后荷载稍增大,2 号铰缝发生破坏,千斤顶读数迅速降至 665 kN,3 号板挠度恢复至 0.96 mm,1 号板挠度增大至 35.1 mm,2 号板挠度增大至 31.1 mm,表明铰缝破坏后受力重分布效应明显.从荷载-挠度曲线变化的总体趋势看,整个加载过程中结构基本处于线弹性状态,弹塑性阶段较短,其破坏带有脆性特征。

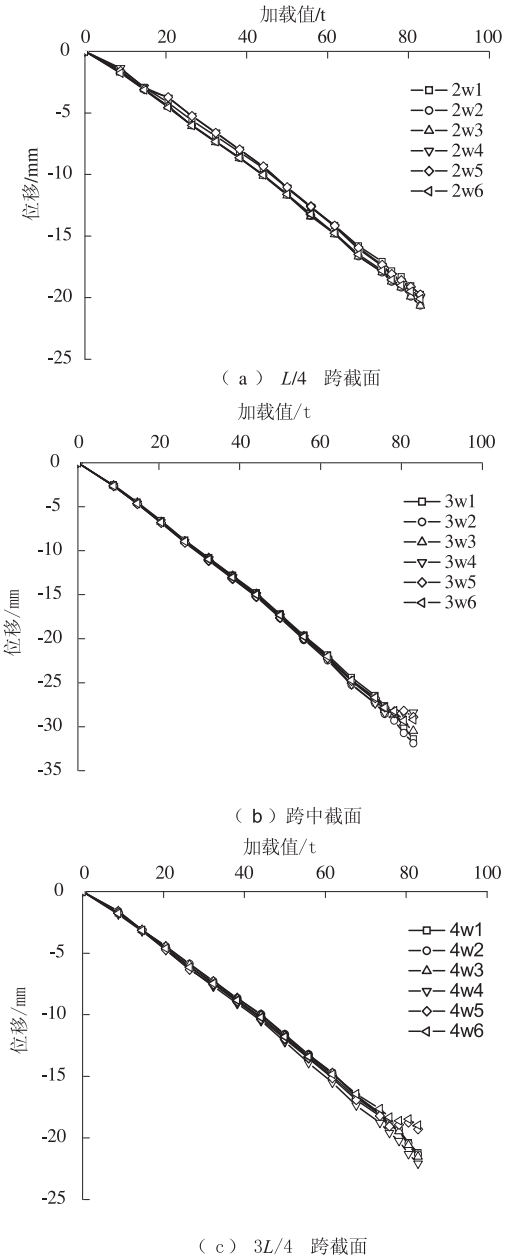


图 7 各测试截面荷载-挠度曲线

Fig.7 Load-deflection curves for the measured cross sections

3.3 铰缝两侧相对位移分析

图 8 为试验过程中铰缝两侧板梁相对位移随荷载的变化曲线.由图 8 可以看出,初始阶段各断

面板梁的相对位移均较小,随着荷载增大,相对位移呈增大趋势,但 2 号铰缝处的增大速度明显大于 1 号铰缝.当荷载达到 758 kN 后,2 号铰缝处各测试断面板梁相对位移出现明显突变,表明铰缝的剪切刚度快速退化,失去竖向传力功能.

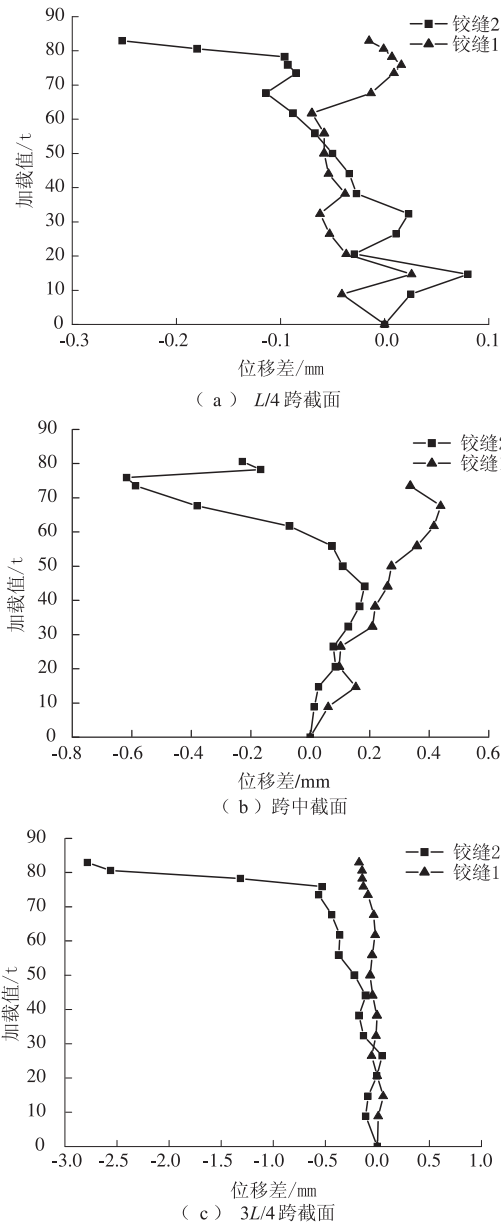


图 8 各测试截面荷载-板梁相对位移曲线
Fig.8 Load-relative deflection curves for the measured cross sections

3.4 与设计荷载的比较

试验板梁原桥横向由 8 片板梁组成,设计荷载为汽超-20,挂车-120,对应折算到单梁跨中集中荷载以及试验结果的比较如表 2 所示.可以看出,以试验铰缝开裂荷载 80.6 t 作为对比依据,采用高性能灌浆料进行铰缝维修后对应原桥设计荷载的超载储备为 1.74,表明了该维修技术能够

满足实际工程的需要.

表 2 折算后单梁试验与设计荷载的比较
Tab.2 Comparison of equivalent test and design loads for single hollow slab

加固方式	荷载值/kN		试验值/ 设计值
	试验值	设计值	
高性能灌浆料	269	155	1.74

4 结论

笔者以实桥拆除的 3 片 30 m 跨空心板梁为对象,进行了高性能灌浆料维修空心板桥铰缝的足尺试验研究,主要结论如下:

(1)采用高性能灌浆料进行铰缝维修后,加载初期各板梁整体工作性能良好,极限状态下破坏形态为铰缝灌浆料与空心板结合面的纵向开裂破坏,且具有明显的脆性破坏特征.

(2)试验加载初期阶段,各板梁竖向挠度基本相同,各板梁间相对位移较小,但在铰缝裂缝出现后,荷载-挠度曲线和荷载-相对位移曲线均发生突变,铰缝开裂导致各板梁内力重分布效应明显.

(3)通过与实桥设计荷载相比,采用高性能灌浆料进行铰缝维修后对应原桥设计荷载的超载储备为 1.74.

(4)试验结果表明,在桥梁正常使用阶段,采用高性能灌浆料进行破损铰缝修复后各板梁整体工作性能良好.考虑到实际空心板桥梁存在铰缝钢筋以及铺装层的共同作用,采用高性能灌浆料进行空心板桥破损铰缝的维修能够满足工程应用的要求.

参考文献:

[1] 黄民水,朱宏平.空心板梁桥“单板受力”病害机理及其加固处治研究[J].华中科技大学学报(自然科学版),2008,36(2):118-121.
[2] 卫军,李沛,徐岳,等.空心板铰缝协同工作性能影响因素分析[J].中国公路学报,2011,24(2):29-33.
[3] 唐国斌,项贻强,管品武.桥面铺装对中小跨径桥梁力学性能影响研究[J].公路交通科技,2010,27(12):94-98.
[4] 陈淮,张云娜.施加横向预应力加固装配式空心板桥研究[J].公路交通科技,2008,25(10):58-62.
[5] 李莎,戎贤,李鹏飞.简支空心板梁桥横向预应力加固方法及效果研究[J].郑州大学学报(工学版),2015,36(5):73-77.

[6] 蒲广宁. 减梁增肋法加固空心板桥力学原理与工程应用研究[D]. 长安大学公路学院, 2012.

[7] 胡庆安,张同舟,邬晓光,等. II 形钢板在桥梁加固工程中的应用[J]. 公路,2011(10):98-101.

[8] 叶见曙,刘九生,俞博,等. 空心板混凝土铰缝抗剪性能试验研究[J]. 公路交通科技,2013,30(6):33-39.

[9] 韩根生,张娟秀,叶见曙. 空心板自密实微膨胀混凝土铰缝抗剪性能研究[J]. 公路,2014(3):53-57.

[10] 王渠,吴庆雄,陈宝春. 装配式空心板桥铰缝破坏模式试验研究[J]. 工程力学,2014,31(S1):115-120.

[11] 王银辉,罗征,周怀治,等. 型钢-混凝土组合加固装配式板梁桥铰缝试验[J]. 中国公路学报, 2015, 28(9):38-45.

Full-scale Experimental Study on Hinge Joint Repair of Hollow Slab Bridge
with High-performance Grouting Material

YAN Weihong^{1,2},FU Lijun^{1,2},ZHAO Jun³

(1. Henan Transportation Research Institute CO. , LTD, Zhengzhou 450015, China; 2. Research and Development Center on Bridge Safety Detection & Reinforcement Technology, Ministry of Transport, Zhengzhou 450015, China; 3. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: For the purpose of assessing the repair effect of hinge joint of hollow slab bridge with high-performance grouting material, a full-scale failure test of three hollow slabs with a span of 30m removed from highway bridges is conducted. The middle slab is concentrated loading after assembling these three hollow slabs and repairing the hinge joints using high-performance grouting material. Load-deflection curves for all the slabs are measured and analyzed, and the failure pattern is also presented. The test results show that the deflection of each slab is basically the same in the initial loading stage, which means the three slabs have a good overall working performance. At the ultimate loading stage, a longitudinal brittle fracture failure occurs in the interface between slab and grouting material. Compared with the design vehicle load, the overload safety factor is 1.74 when we adopt the repair technology of high-performance grouting material.

Key words: high-performance; grouting material; hollow slab; hinge joints; full-scale experiment