

先张法空心板底板纵向裂缝产生原因与影响研究

郑凯

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041)

摘要: 通过对某高速公路空心板梁桥底板纵向裂缝进行荷载横向分布系数测试、支座压缩试验、纵向裂缝剪切测试和静载试验, 分析空心板底板纵向裂缝产生原因及对桥梁结构整体受力性能的影响, 并提出裂缝维修加固处理建议。

关键词: 桥梁; 空心板梁; 纵向裂缝; 先张法; 荷载试验; 受力性能; 承载能力

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)02-0120-06

对多条高速公路桥梁的检测发现, 运营阶段桥梁大多存在不同类型和对结构有不同影响的病害。空心板梁是一种较常见的桥梁结构形式, 底板纵向开裂是空心板梁常见病害。该文通过支座压缩试验、静载试验等, 分析空心板梁底板纵向裂缝产生原因及对结构受力性能的影响。

1 工程概况

某桥梁上部结构主要为 15 m 跨先张法预应力空心板梁, 采用先简支后连续的方法施工, 形成四孔一联至九孔一联的连续板结构。根据检查结果, 空心板梁底板存在较多纵向裂缝(单幅横向 16 片空心板梁基本上存在纵向裂缝), 裂缝主要分布在底板中间, 沿桥梁跨径方向已基本贯通, 裂缝宽度为 0.10~1.25 mm(见图 1、图 2), 远超过规范要求。管养单位对部分桥跨空心板梁底板纵向裂缝采取封闭裂缝、粘贴钢板或碳纤维的方法进行了加固处理。考虑到该桥存在纵向裂缝的空心板梁数量较多, 若对存在纵向裂缝的空心板梁全部采用粘贴钢板或碳纤维的方法进行加固, 成本偏高。为制订科学合理的空心板梁底板纵向裂缝维修加固方案, 对存在纵向裂缝的空心板梁进行受力性能试验研究, 评估底板纵向开裂后空心板梁的工作状态。

2 研究思路

空心板梁在底板未开裂时为闭口截面, 抗扭刚度较大。理论上当底板开裂较严重, 尤其是底板纵向裂缝沿桥梁跨径方向贯通且裂缝贯通底板厚度时, 板梁横断面将接近开口截面, 截面抗扭刚度大大降低。由于结构抗扭刚度出现变化, 可能导致桥跨横向各片空心板梁的横向分布偏离设计状态, 造成



图 1 空心板梁底板纵向裂缝整体情况



图 2 空心板梁底板纵向裂缝局部状况

空心板梁纵向受力发生变化, 纵向受力的变化可能导致某些空心板梁(如边梁)受力性能无法满足设计要求和正常使用要求。此外, 纵向裂缝会引起预应力钢绞线或普通钢筋锈蚀, 影响结构的耐久性。为此, 通过以下试验, 分析梁底纵向裂缝对空心板梁工作状态的影响, 为梁体纵向裂缝处理提出科学合理的建议:

(1) 空心板梁荷载横向分布系数测试。通过横向移动车辆测试空心板梁荷载横向分布系数, 并与理论计算结果对比, 分析纵向裂缝对荷载横向分布系数的影响。

(2) 支座压缩测试。通过在梁端布置荷载, 测

量支座在荷载作用下的压缩情况,分析空心板梁底板纵向裂缝的产生与支座工作状态的关系。

(3) 底板纵向裂缝剪切变形测试。通过测试纵向裂缝两侧底板的变形差,分析空心板梁开裂后底板是否存在相对剪切变形。

(4) 空心板梁荷载试验。通过荷载试验对空心板梁的承载能力进行评定,分析纵向裂缝对空心板梁承载能力的影响。

3 试验结果与分析

3.1 荷载横向分布系数测试

3.1.1 理论计算

试验前,对空心板梁采用设计截面惯性矩和考虑底板开裂后开裂截面惯性矩对各空心板梁荷载横向分布影响线进行理论计算。计算采用铰接板梁法,先按式(1)计算得到刚度参数 γ ,再根据 γ 查《公路桥涵设计手册:梁桥》(第2版)得到各梁的荷载横向分布影响线。计算结果见图3、图4。

$$\gamma = 5.8 \frac{I}{I_T} \left(\frac{b}{l} \right)^2 \quad (1)$$

式中: I 为抗弯惯性矩; I_T 为抗扭惯性矩; b 为空心板梁宽度; l 为空心板梁跨径。

3.1.2 荷载横向分布系数测试

选取试验跨跨中截面进行荷载横向分布系数测

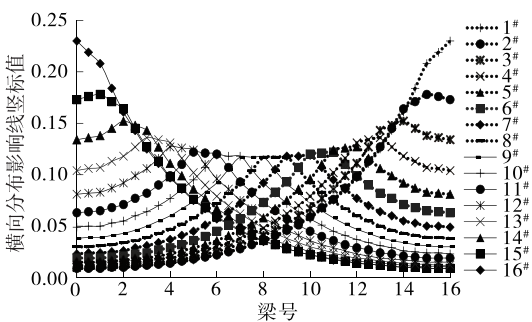


图3 空心板梁未开裂时横向分布影响线理论计算结果

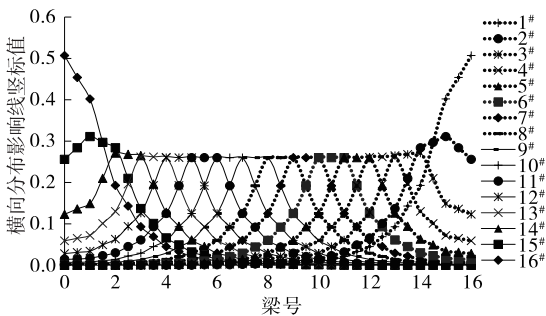
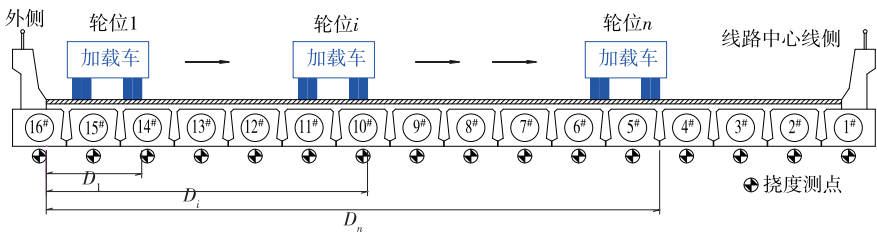


图4 空心板梁开裂后横向分布影响线理论计算结果

试,分析各梁间的横向连接情况。测试加载见图5,根据各梁实测挠度推算的试验截面荷载横向分布影响线竖标值见表1,各梁实测荷载横向分布影响线与理论横向分布影响线的对比见图6、图7。

由图6、图7可知:各梁实测荷载横向分布影响



D_1 、 D_i 、 D_n 表示各加载轮位至防撞墙内侧边缘的距离

图5 荷载横向分布系数测试加载示意图

表1 试验跨跨中截面实测荷载横向分布影响线

梁号	各作用梁的荷载横向分布影响线竖标值															
	1# 梁	2# 梁	3# 梁	4# 梁	5# 梁	6# 梁	7# 梁	8# 梁	9# 梁	10# 梁	11# 梁	12# 梁	13# 梁	14# 梁	15# 梁	16# 梁
1(外)	0.224	0.190	0.156	0.122	0.093	0.069	0.048	0.033	0.024	0.015	0.011	0.007	0.005	0.003	0.001	0.000
2	0.185	0.162	0.139	0.116	0.094	0.072	0.063	0.061	0.040	0.021	0.015	0.011	0.008	0.007	0.004	0.002
3	0.148	0.137	0.126	0.115	0.101	0.083	0.067	0.053	0.043	0.035	0.029	0.025	0.022	0.012	0.003	0.002
4	0.119	0.119	0.118	0.117	0.110	0.096	0.083	0.061	0.048	0.036	0.029	0.021	0.018	0.013	0.008	0.004
5	0.091	0.096	0.102	0.108	0.107	0.100	0.091	0.074	0.061	0.049	0.038	0.028	0.021	0.016	0.012	0.007
6	0.061	0.073	0.084	0.095	0.102	0.103	0.101	0.088	0.074	0.060	0.048	0.037	0.028	0.022	0.016	0.009
7	0.038	0.051	0.064	0.076	0.087	0.098	0.105	0.103	0.089	0.074	0.061	0.049	0.039	0.031	0.022	0.014
8	0.028	0.039	0.051	0.061	0.075	0.089	0.102	0.107	0.099	0.089	0.074	0.060	0.048	0.037	0.026	0.016

续表 1

梁号	各作用梁的荷载横向分布影响线竖标值															
	1 [#] 梁	2 [#] 梁	3 [#] 梁	4 [#] 梁	5 [#] 梁	6 [#] 梁	7 [#] 梁	8 [#] 梁	9 [#] 梁	10 [#] 梁	11 [#] 梁	12 [#] 梁	13 [#] 梁	14 [#] 梁	15 [#] 梁	16 [#] 梁
9	0.017	0.028	0.038	0.049	0.061	0.075	0.089	0.102	0.103	0.101	0.087	0.074	0.062	0.050	0.037	0.026
10	0.021	0.027	0.032	0.038	0.046	0.058	0.071	0.085	0.096	0.105	0.099	0.091	0.076	0.064	0.051	0.039
11	0.017	0.022	0.026	0.030	0.037	0.048	0.058	0.066	0.084	0.100	0.105	0.105	0.094	0.082	0.070	0.058
12	0.009	0.015	0.020	0.025	0.032	0.040	0.048	0.059	0.074	0.089	0.101	0.109	0.107	0.100	0.090	0.082
13	0.010	0.013	0.015	0.018	0.022	0.028	0.034	0.041	0.056	0.070	0.089	0.106	0.118	0.123	0.126	0.129
14	0.007	0.009	0.013	0.016	0.020	0.025	0.030	0.038	0.051	0.064	0.081	0.099	0.117	0.130	0.143	0.155
15	0.006	0.008	0.010	0.013	0.015	0.019	0.023	0.030	0.040	0.052	0.070	0.090	0.115	0.141	0.170	0.198
16(内)	0.015	0.013	0.012	0.010	0.011	0.015	0.019	0.023	0.031	0.041	0.061	0.084	0.112	0.147	0.185	0.223

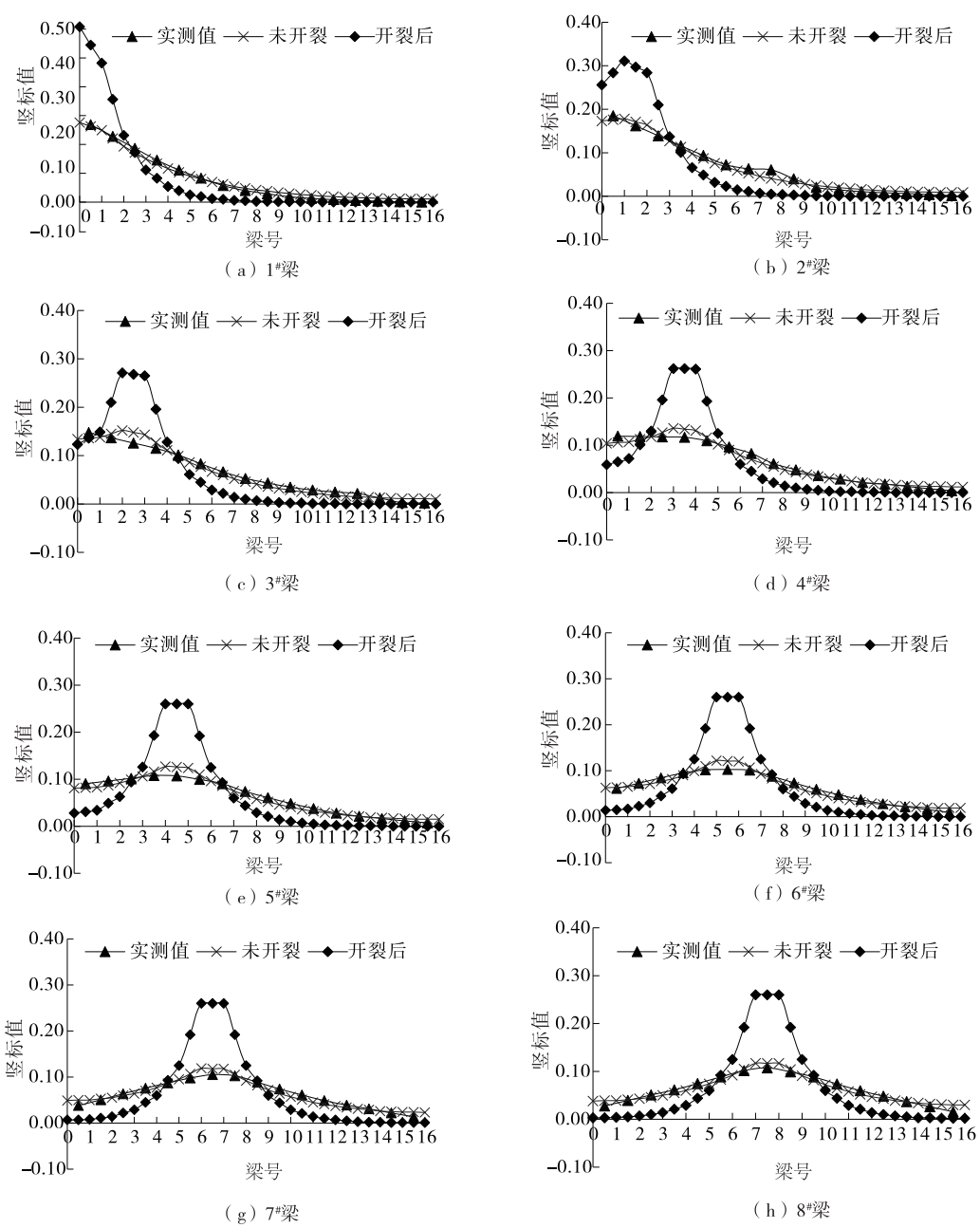


图 6 各梁实测与理论计算荷载横向分布影响线对比(1[#]~8[#]梁)

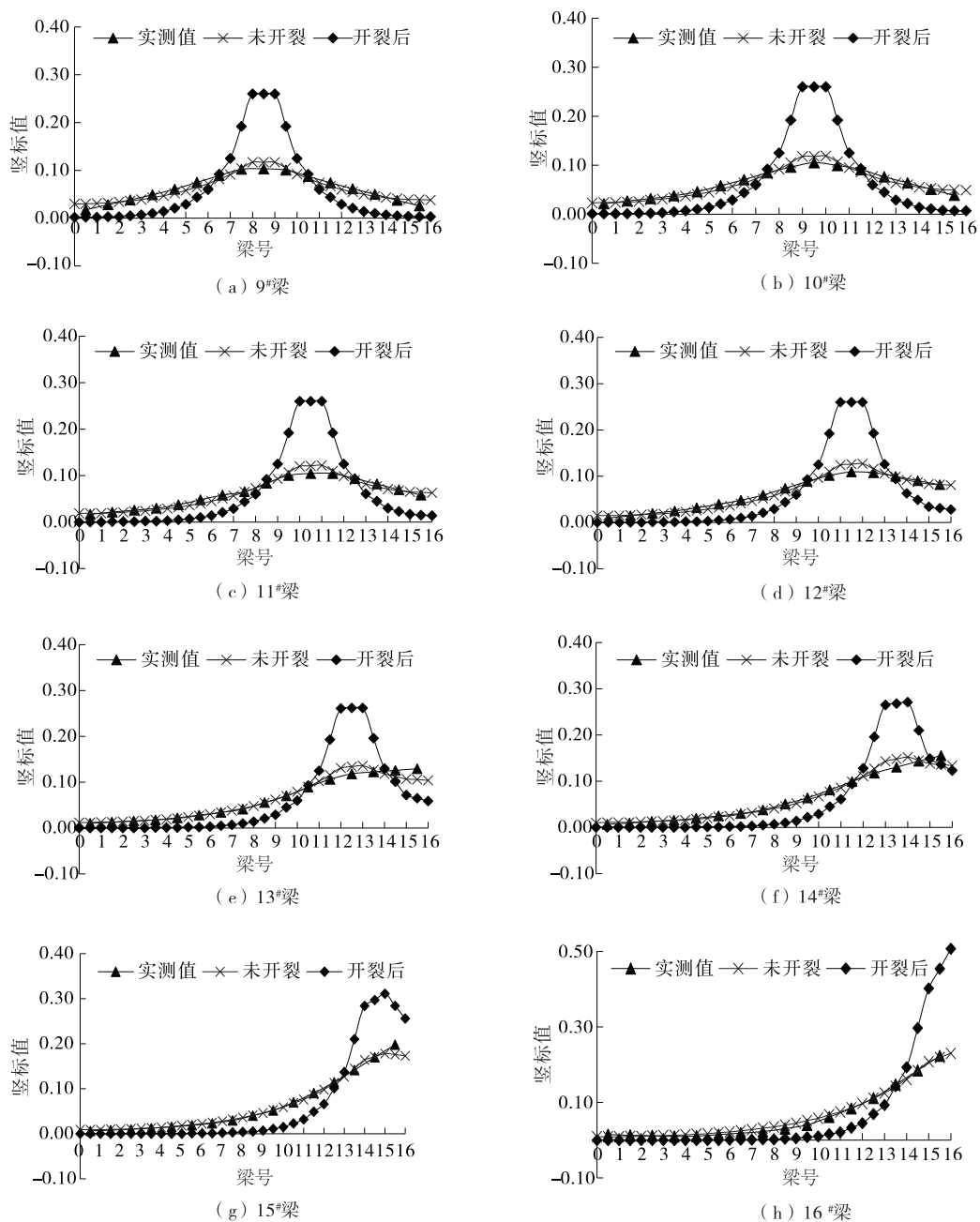


图 7 各梁实测与理论计算荷载横向分布影响线对比(9#~16#梁)

线较圆滑,说明各梁横向连接正常;对比实测荷载横向分布影响线和理论计算横向分布影响线(考虑 10 cm 后浇整体化层),梁体的实际荷载横向分布情况更接近按未开裂截面的理论计算结果,据此推断空心板梁底板纵向裂缝对梁体荷载横向分布的影响较小。

3.2 支座压缩测试

通过测试支座附近梁体竖向位移分析试验荷载作用下支座压缩情况,结合裂缝分布、支座脱空情况,判断空心板梁纵向裂缝的产生与支座工作状态

之间的关系。测点布置及加载见图 8,支座附近梁体竖向位移测试值见表 2,各加载轮位下梁体位移分布见图 9,各空心板梁梁体位移随加载轮位的变化见图 10。

试验前检查发现该桥跨存在多个支座脱空现象。但从图 9、图 10 可看出:各空心板梁支座压缩量及与加载位置的关系曲线较光滑,未出现支座压缩量突变现象,说明各梁板间铰缝工作状态良好。由于铰缝能较好地传递梁间剪力,通过测试梁体位移较难判断支座脱空问题。

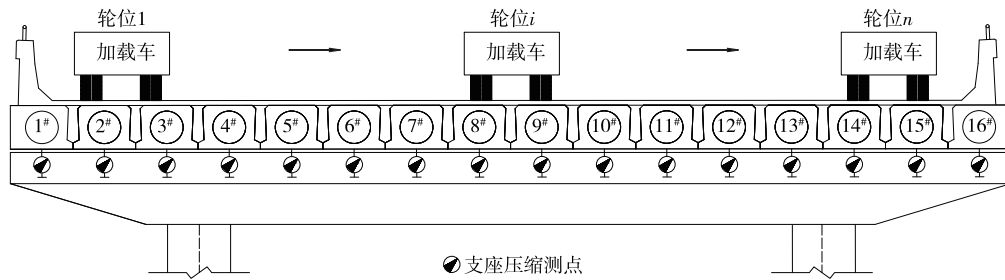


图8 支座压缩试验测点布置及加载示意图

表2 支座压缩测试值 mm

测点号	各工况下支座压缩测试值				
	轮位 1	轮位 2	轮位 3	轮位 4	卸载
1	0.23	0.05	0.02	0.02	0.09
2	0.27	0.06	0.00	0.01	0.07
3	0.22	0.07	0.01	0.00	0.06
4	0.16	0.11	0.02	0.00	0.05
5	0.13	0.17	0.02	0.01	0.01
6	0.06	0.18	0.05	0.00	0.00
7	0.02	0.15	0.09	0.00	0.00
8	0.01	0.11	0.12	0.00	-0.01
9	0.01	0.06	0.15	0.04	0.00
10	0.02	0.05	0.16	0.07	0.00
11	0.01	0.03	0.15	0.11	0.00
12	0.00	0.01	0.10	0.18	0.00
13	0.00	0.02	0.06	0.22	0.00
14	0.00	0.01	0.04	0.22	0.01
15	0.00	0.00	0.02	0.17	0.00
16	0.00	0.00	0.02	0.14	0.01

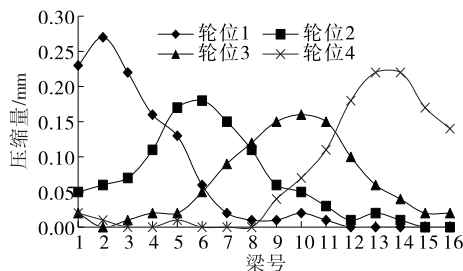


图9 各加载轮位下梁体位移

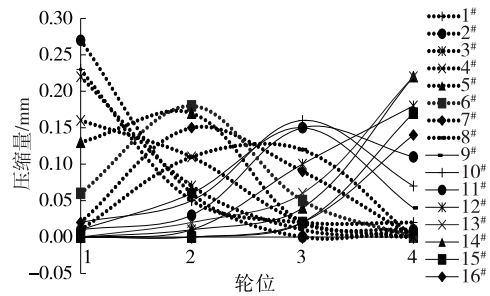


图10 各梁支座压缩与加载位置的关系

3.3 纵向裂缝剪切变形测试

在裂缝两侧布设应变测点,测试各试验工况下两侧测点实测应变的差异,若两侧对应测点的应变值差异不大,则裂缝对结构受力的影响不大;跨纵向裂缝布置应变测点,测试各试验工况下裂缝扩展情况,分析营运荷载对裂缝发生、发展的影响;测试裂缝两侧底板是否出现错动,若出现错动,说明梁体扭转刚度削弱很大,反之则不明显。应变测点布置在8#梁、15#梁底,错动测点布置在15#梁底(见图11)。空心板梁底板纵向裂缝剪切变形测试结果见表3。

由表3可知:对于纵向裂缝两侧平行于纵向裂缝的测点,在纵横向各种加载轮位下,除个别测点外,应变值基本一致;对于跨纵向裂缝的测点,在纵横向各种轮位作用下应变值均小于 $20\mu\epsilon$ 。试验桥跨空心板梁沿裂缝方向布置的剪切位移测点,在试

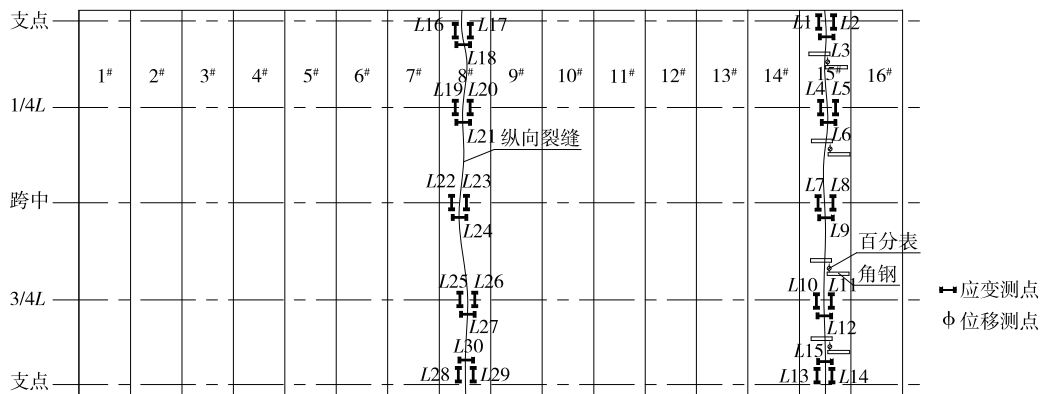


图11 应变测点及错动测点布置示意图

表 3 纵向裂缝剪切变形试验实测应变 $\mu\epsilon$

测点	横向 轮位 1	横向 轮位 2	横向 轮位 3	卸载 残余	纵向 轮位 1	纵向 轮位 2	纵向 轮位 3	卸载 残余
L1	0	3	6	2	4	1	-2	-2
L2	0	3	4	3	4	1	-2	-3
L3	0	1	-8	3	1	-2	-3	-2
L4	3	9	21	5	9	7	0	-3
L5	3	9	20	2	13	12	6	-1
L6	1	0	-11	3	0	-3	-3	0
L7	4	13	31	3	13	15	7	-2
L8	3	12	32	3	13	14	7	-1
L9	1	5	-17	2	3	3	0	0
L10	2	5	5	2	2	6	5	-2
L11	2	7	5	2	2	8	6	-1
L12	-1	-2	-5	0	-4	-6	-6	0
L13	-1	-2	-5	2	-5	-6	-4	-3
L14	-1	-5	-8	2	-7	-7	-7	-3
L15	2	3	1	4	-1	-1	-1	-1
L16	3	6	8	6	14	2	-2	-2
L17	2	4	8	5	12	1	-2	-2
L18	1	-2	0	0	0	0	-1	0
L19	8	10	12	7	29	13	1	-2
L20	6	19	16	8	30	15	4	-1
L21	3	-9	5	5	-9	-10	-8	-1
L22	12	30	17	5	24	39	12	-1
L23	11	31	19	5	26	38	12	-1
L24	9	-18	8	7	-16	-17	-16	-2
L25	5	8	5	3	1	16	25	-3
L26	5	10	6	3	4	20	31	-3
L27	4	-7	1	4	-10	-12	-12	-2
L28	-1	-3	-4	1	-7	-5	3	-1
L29	0	-2	-4	-3	-4	-3	2	0
L30	0	-8	8	4	-10	-17	-18	0

注:加粗部分为垂直于纵向裂缝测点的读数,其他为平行于纵向裂缝测点的读数。

验过程中所有加载轮位下其位移均为零,表明纵向裂缝两侧的底板不存在纵向剪切变形。

综上,纵向裂缝对空心板梁抗扭性能的影响较小;在试验荷载作用下,纵向裂缝扩展不显著;纵向裂缝不是由运营荷载所致,而是由早期综合原因造成,但运营荷载对裂缝发展有一定影响。

3.4 空心板梁静载试验

为分析底板纵向裂缝对空心板梁承载能力的影响,依据《公路桥梁荷载试验规程》和《公路桥梁承载能力检测评定规程》进行空心板梁静载试验。试验

在南行 L0[#]~L4[#]墩之间的桥跨(四孔一联,15.58 m+3×15 m)进行,测试截面为边跨 0.4L 截面和中跨跨中截面。根据静载试验数据,得到以下结论:

(1) 残余评定。卸载工况下应变残余及挠度残余均满足规范中相对残余小于 20% 的规定,截面处于弹性工作状态。

(2) 校验系数评定。最大级加载工况下,A 截面 1[#]~3[#]梁测试截面的应变校验系数分别为 0.792、0.736、0.764,B 截面 1[#]~3[#]梁测试截面的应变校验系数分别为 0.670、0.720、0.710,满足规范中预应力砼桥应变(应力)校验系数为 0.6~0.9 的要求;A 截面 1[#]~3[#]梁挠度校验系数分别为 0.734、0.765、0.794,B 截面 1[#]~3[#]梁挠度校验系数分别为 0.712、0.724、0.784,满足规范中预应力砼桥挠度校验系数为 0.7~1.0 的要求。

(3) 抗裂性评定。截面抗裂测点的应变随荷载效率呈较好的线性变化,表明在试验荷载作用下截面底缘抗裂测点附近未出现开裂现象,截面抗裂性能基本满足设计要求。

(4) 挠度评定。在设计荷载(不计冲击)作用下,A 截面 1[#]~3[#]梁挠度分别为 3.57、3.70、3.90 mm,B 截面 1[#]~3[#]梁挠度分别为 2.62、2.81、3.07 mm,远小于规范要求(15 000/600=25 mm),结构刚度满足要求。

综上,梁底纵向裂缝对梁体承载能力及正常使用基本没有影响。

4 结论及建议

综合荷载横向分布系数测试、支座压缩试验、纵向裂缝剪切测试和静载试验结果,梁底纵向裂缝对试验跨空心板梁承载能力及正常使用基本没有影响,梁体承载能力满足设计荷载要求。纵向裂缝的形成主因不是运营荷载,但运营荷载对裂缝发展有一定影响。

可从改善梁体耐久性着手进行裂缝处理,建议对非通长纵向裂缝进行封闭处理,对通长裂缝通过粘贴纤维加以封闭。另外,梁体维护过程中对脱空支座进行处理,恢复支座的正常受力功能,防止衍生病害的发生。

参考文献:

[1] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,1993.

(下转第 129 页)

砼桥面“白改黑”中可进行大规模推广应用。



图3 现场同步摊铺



图4 路面效果

表9 现场检测结果

项目	技术要求	检测结果
平整度,最大间隙/mm	≤ 5	1.3
构造深度/mm	≥ 0.6	0.92
平均厚度/mm	设计厚度 $\pm 15\%$	2.1
摩擦系数/BPN	≥ 55	64.4
渗水系数/($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)	≤ 120	12.2
15℃拉拔强度/MPa	≥ 0.3 或原路面拉裂	0.78

5 结语

针对佛山一环西拓旧路改造项目中砼桥面“白

改黑”技术难题,采用高韧超薄沥青磨耗层进行处理。从现场实施效果来看,高韧超薄沥青磨耗层整体质量优异,显著提升了原桥面铺装的功能性能(平整、封水)、安全性能(抗滑)及整体性能(层间黏结强度高)等,并显著降低了原砼桥面行车噪声,实现了对原桥面的综合品质提升,优化了行车环境。

参考文献:

- [1] 黄勇新.GT TECH 聚合物复合改性沥青混合料在超薄磨耗层中的应用[J].广东公路交通,2018(4):32—36.
- [2] 黄晓明.水泥混凝土桥面沥青铺装层技术研究现状综述[J].交通运输工程学报,2014,14(1):1—10.
- [3] 陈照亮.超薄磨耗层施工技术在金丽温高速公路温州段养护罩面中的应用[J].科技信息,2012,41(4):26—27.
- [4] 彭华荣.超薄磨耗层 NovaChip 在广深高速公路的应用研究[D].广州:华南理工大学,2011.
- [5] 孔保林,蔡燕霞.水泥混凝土桥面构造对桥面防水层粘结性能的影响[J].公路工程,2012,37(4):207—209.
- [6] 王火明,凌天清,肖友高,等.刚柔复合式路面界面层强度特性试验研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2009,26(6):1033—1036.
- [7] 交通部公路科学研究所.公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [8] 虞将苗,陈富达,彭馨彦,等.高韧超薄沥青磨耗层在港珠澳大桥珠海人工岛通道上的应用[J].清华大学学报(自然科学版),2020,60(1):48—56.
- [9] 裴佩,彭国婧.超薄磨耗层技术在高速公路养护中的应用[J].西部交通科技,2015,15(12):23—26.
- [10] 张秋福.超薄路面层间抗剪强度研究[D].重庆:重庆大学,2016.

收稿日期:2021—09—22

(上接第125页)

- [2] 长安大学.公路桥梁荷载试验规程:JTG/T J21—01—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [3] 交通运输部公路科学研究院.公路桥梁承载能力检测评定规程:JTG/T J21—2011[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [4] 姚玲森,徐光辉,胡明义.公路桥涵设计手册:梁桥上册[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [5] 余钱华,于强.斜交空心板桥横向分布系数计算方法研究[J].公路与汽运,2013(3):171—173.
- [6] 梁志广,石现峰.横向分布测试在既有桥梁状态评估中的应用[J].公路,2003(4):27—29.
- [7] 钟小军.装配式小箱梁桥荷载横向分布系数探究[J].中

国市政工程,2013(2):17—19.

- [8] 刘能文,杨勇.铰接板桥梁病害分析及优化设计方法研究[J].公路交通科技,2016,33(2):73—81.
- [9] 梁宇.简支T梁桥荷载横向分布影响因素研究[J].湖南交通科技,2019,45(3):135—139.
- [10] 沈小平,梁峰.组合箱梁横向湿接缝纵向裂缝成因分析及内力计算[J].中外公路,2015,35(4):221—223.
- [11] 王宏宾.先张法空心板裂缝成因案例分析[J].公路与汽运,2005(4):133—134.
- [12] 张小华.先张法预应力混凝土空心板裂缝的产生及预控[J].山西建筑,2008,34(9):206—207.

收稿日期:2021—06—07