

考虑护栏和桥面铺装联合作用预应力混凝土空心板桥静载试验分析

秦冰冰^{1,2}, 盛越越^{1,2}, 郭斌^{1,2}

1. 河南省中工设计研究院集团股份有限公司, 河南 郑州 451450; 2. 中鑫检测认证有限公司, 河南 郑州 451450

摘要:为解决桥梁静载试验中理论计算模型与桥梁实际受力状态不一致的问题,采集某预应力混凝土空心板桥在加载车中载和偏载工况下的试验数据,分别与裸梁模型A、仅考虑桥面铺装模型B、同时考虑桥面铺装和护栏模型C计算的理论结果进行对比分析。结果表明:静载工况作用下,空心板桥梁的实测挠度和应变均小于3个模型的理论计算结果,但模型A的位移和应变校验系数整体过小,易对桥梁的实际承载状态造成误判,模型B的校验系数小于模型C;在偏载工况作用下,沿横桥向,模型A、B的理论计算跨中挠度与实测挠度变形趋势不一致,模型C的理论计算跨中挠度与实测跨中挠度变形趋势一致,最大挠度位于4#板梁;与模型A、B相比,模型C计算的边梁中性轴与实测边梁中性轴一致;因护栏和桥面铺装对梁板联合作用的影响,模型C更贴合桥梁结构实际受力状态。

关键词:预应力混凝土空心板;静载试验;桥面铺装和护栏;联合作用;计算模型

中图分类号:U443;U442.5⁺9

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2025)02-0110-10

引用格式:秦冰冰,盛越越,郭斌.考虑护栏和桥面铺装联合作用预应力混凝土空心板桥静载试验分析[J].山东交通学院学报,2025,33(2):110-119.

QIN Bingbing, SHENG Yueyue, GUO Bin. Static load test analysis of prestressed concrete hollow slab considering the combined action of guardrail and deck pavement [J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2025, 33(2): 110-119.

0 引言

目前,我国现存公路桥梁近百万座,中小型桥梁数占比大于85%,空心板桥因结构受力明确、装配式施工速度快而应用广泛^[1]。空心板桥静载试验是反映桥梁工作状态的可靠方法,王渠等^[2]分析空心板桥荷载横向分布系数的计算方法,曹皓等^[3]、李春良等^[4]、刘旭政等^[5]、旷斌等^[6]分别研究空心板及铰缝的损伤对板梁横向受力性能的影响,黄宛昆等^[7]研究改进型铰缝对空心板桥受力性能的影响。对空心板桥进行静载试验时桥梁结构已是成桥状态,在结构自质量与二期铺装等恒载作用下桥梁结构已承受较大内力,故建模时须考虑结构初始单元内力的影响。若不考虑护栏和桥面铺装的结构作用,静载试验的有限元建模会造成理论计算结果失真,对结构承载能力的评价出现误判。

从桥面铺装对空心板桥受力的影响考虑,李兴锋等^[8]、涂伟^[9]、林欣栋等^[10]、张守军^[11]从理论方面分析空心板应变、位移、挠度等参数在不同厚度铺装层下的响应,确定合理的铺装厚度;刘聪聪等^[12]研究桥面铺装对空心板桥基频的影响;徐志华等^[13]、张学会等^[14]、王丕祥等^[15]研究发现,考虑铺装层与空心板梁的协同作用后,空心板的中和轴位置上升,主梁的抗弯承载力提高;何肖斌^[16]、曹晓喆^[17]、肖铎润等^[18]、梁瑞卿等^[19]认为桥面混凝土铺装层有利于提高空心板及各板间的横向分布刚度,即使在局部集

收稿日期:2023-12-27

第一作者简介:秦冰冰(1990—),男,河南汝州人,工程师,工学硕士,主要研究方向为桥梁检测,E-mail:610096051@qq.com。

中荷载下,相邻空心板间的挠度也相差较小,考虑桥面铺装模型提取理论应变和理论挠度更合理。从护栏对空心板结构的作用考虑,李猛^[20]认为防撞护栏对空心板桥边板受力性能的影响较明显,彭卫兵等^[21-22]、Li等^[23]、宋宇锋等^[24]认为现浇混凝土护栏参与受力后,边板横向承受较大荷载,对边板铰缝产生不利效应。桥面铺装和护栏均对空心板桥梁结构受力的影响较明显,但同时考虑桥面铺装和护栏对桥梁结构联合作用的研究较少。

本文采用软件 MIDAS 建立裸梁模型、仅考虑桥面铺装模型、同时考虑桥面铺装和护栏模型,确定加载车和测试截面测点,将模型计算的理论挠度和应变与某预应力空心板桥静载试验采集数据对比,分析最大位移和中性轴位置,以期确定结构更合理的桥梁理论模型。

1 桥梁概况

某空心板桥荷载等级为公路-II级,桥梁全长 19.960 m,全宽 13.000 m,横桥向左右两侧的护栏宽度均为 0.500 m,中间行车道宽 12.000 m,由 13 片空心板通过铰缝连接上部结构,下部结构的桥台采用柱式台,基础型式为钻孔灌注桩,采用板式橡胶支座,桥面铺装层为 10 cm 现浇混凝土层-5 cm 沥青混凝土层。预应力混凝土空心板桥结构示意图如图 1 所示。

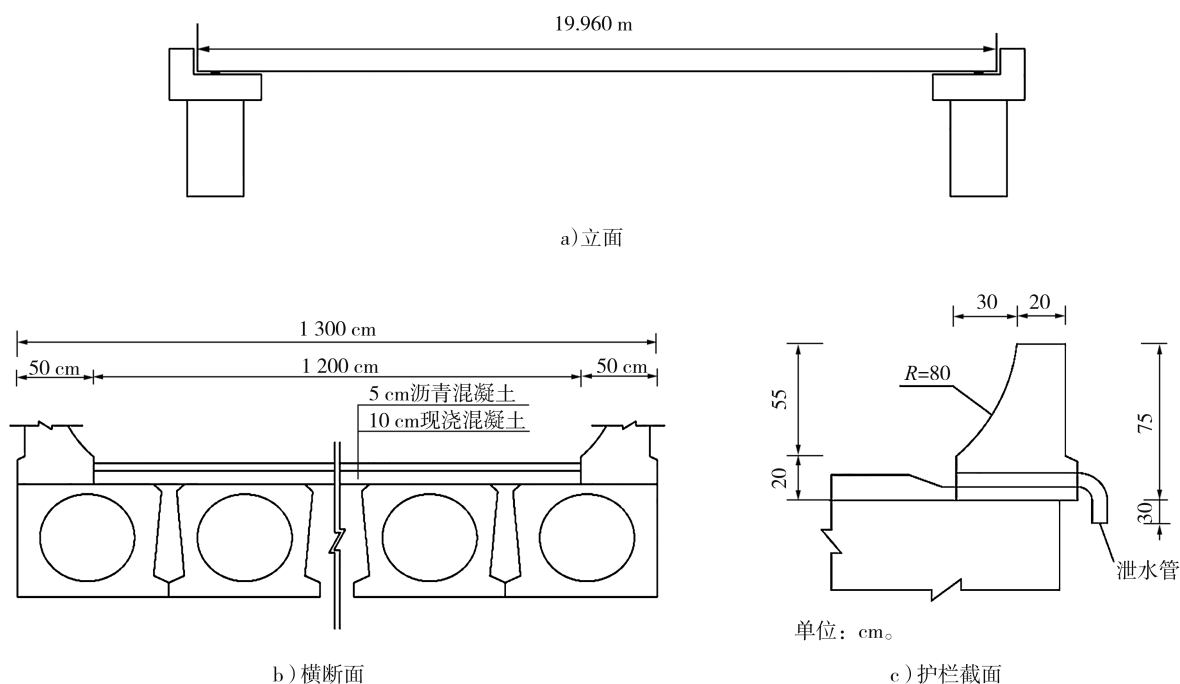


图1 预应力混凝土空心板桥结构示意图

2 计算模型

2.1 裸梁模型 A

空心板裸梁计算模型如图 2 所示。

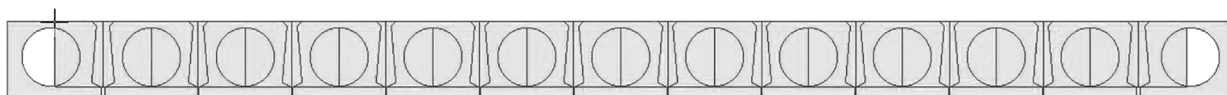
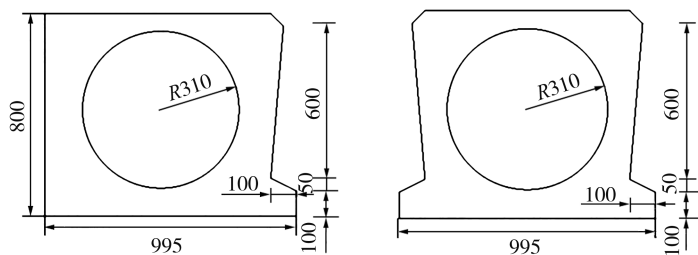


图2 空心板裸梁计算模型

基于梁格方法建立裸梁模型,主梁截面示意图如图 3 所示。按横梁工字型截面模拟铰缝,虚拟横梁工字型截面示意图如图 4 所示。翼缘板的厚度与空心板 1/4 板宽位置处的顶板厚度相同,腹板厚度为空心板腹板厚度 b 的 $1/2$ [25-26]。模型中采用梁端约束释放的功能,考虑横桥向只传递剪力,不传递弯矩。

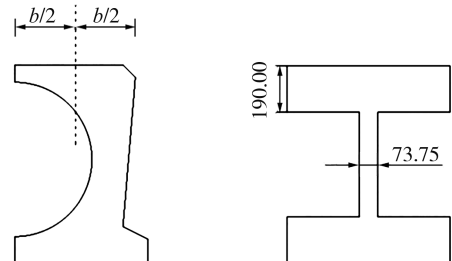


单位:mm。

a) 边板截面

b) 中板截面

图 3 主梁截面示意图



单位:mm。

a) 主梁 1/2 截面

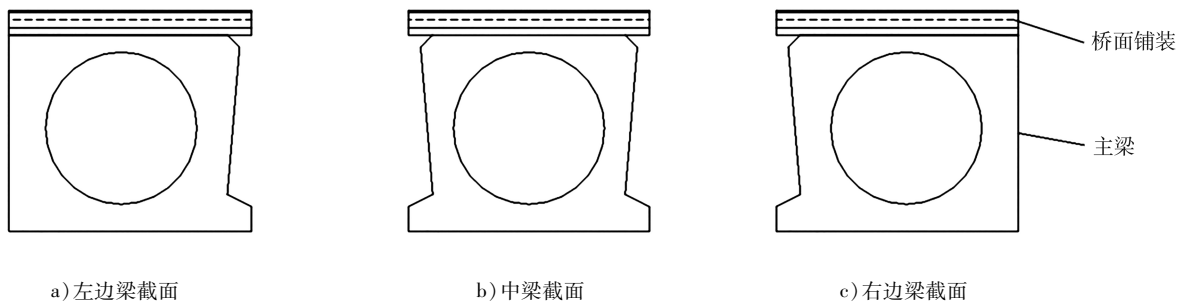
b) 工字型截面

图 4 虚拟横梁工字型截面示意图

2.2 仅考虑桥面铺装模型 B

采用软件 MIDAS CIVIL,在裸梁模型的基础上,通过施工阶段联合截面功能,在各空心板的顶板上增加厚 10 cm 的现浇混凝土层,考虑桥面铺装,不考虑厚 5 cm 的沥青混凝土层,现浇层与主梁均采用 C40 混凝土。

仅考虑桥面铺装与主梁截面联合示意图如图 5 所示。



a) 左边梁截面

b) 中梁截面

c) 右边梁截面

图 5 仅考虑桥面铺装与主梁截面联合示意图

仅考虑桥面铺装与主梁联合作用的空心板模型如图 6 所示。

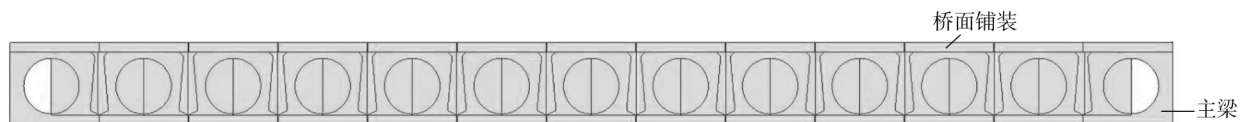


图 6 仅考虑桥面铺装与主梁联合作用的空心板模型

2.3 同时考虑桥面铺装和护栏模型 C

在裸梁模型的基础上,通过施工阶段联合截面功能,在中板的顶板上增加厚 10 cm 的现浇混凝土层,考虑桥面铺装与主梁的联合作用,在左、右边板上增加厚 10 cm 的现浇混凝土层,考虑护栏与梁的联合作用,中板和边板均不再考虑厚 5 cm 的沥青混凝土层,现浇层与主梁均采用 C40 混凝土。

同时考虑桥面铺装和护栏与主梁截面联合示意图如图 7 所示,考虑桥面铺装和护栏与主梁联合作用的空心板模型如图 8 所示。

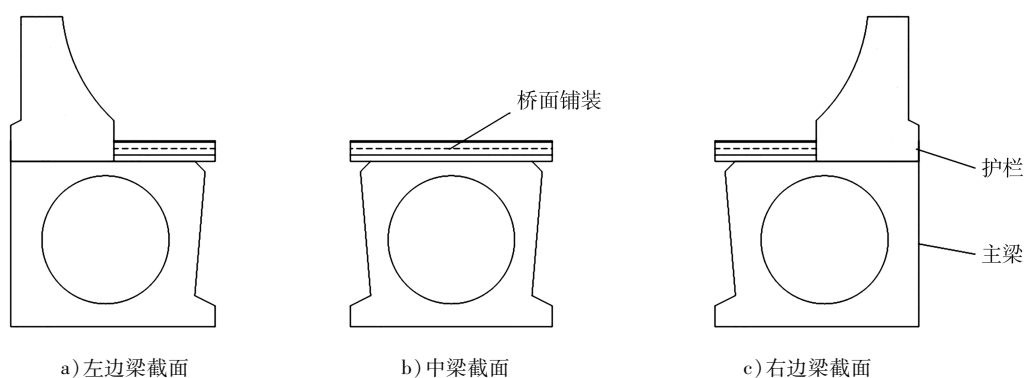


图7 考虑桥面铺装和护栏与主梁截面联合示意图

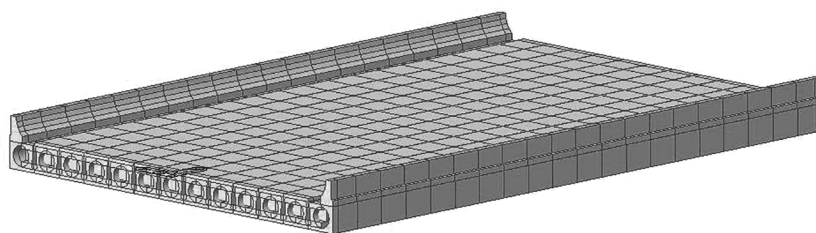


图8 考虑桥面铺装和护栏与主梁联合作用的空心板模型

3 静载试验加载方案

3.1 加载车的确定

根据设计荷载作用下空心板的弯矩包络图,选取边板和中板跨中截面的弯矩为控制目标,为保证加载效率,需确定四轴车数和质量,经等效计算可知,需加载4辆40 t的四轴车,加载车信息如表1所示,加载车示意图如图9所示,静载工况如图10所示,各工况加载信息如表2所示。

加载车编号	前两轴质量	后两轴质量	总质量
1	12.98	26.00	38.98
2	15.08	26.58	41.66
3	12.80	28.80	41.60
4	12.40	26.10	38.50

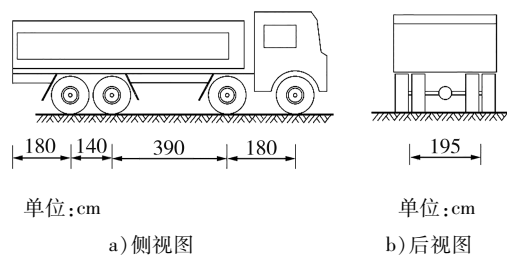


图9 加载车示意图

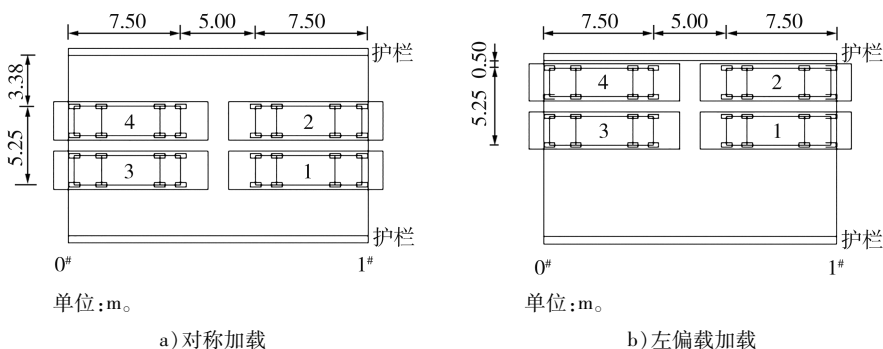


图10 静载工况示意图

表 2 各工况加载信息

加载工况	弯矩/(kN·m)		加载效率	控制位置	计算模型
	设计荷载	加载车荷载			
中载	353.9	341.4	0.96	中板	A
	395.7	383.9	0.97		B
	372.5	355.8	0.95		C
偏载	424.9	446.3	1.05	边板	A
	462.6	482.2	1.04		B
	807.8	888.9	1.10		C

3.2 测试截面测点的布置

根据现场桥梁实际情况及文献[27]要求,各板梁跨中截面均布置 2 个应变测点,应变计测点布置如图 11 所示,1#~13#为板梁编号。跨中截面和支点截面的位移计布置如图 12 所示。

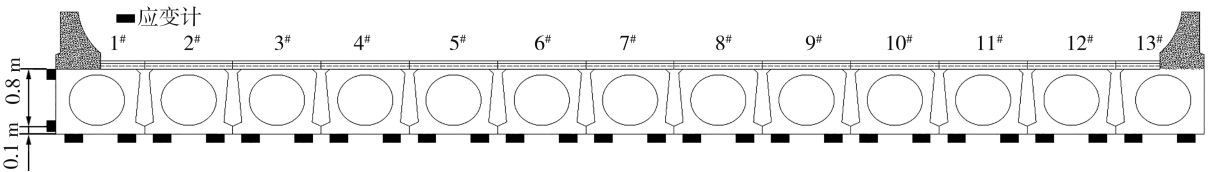
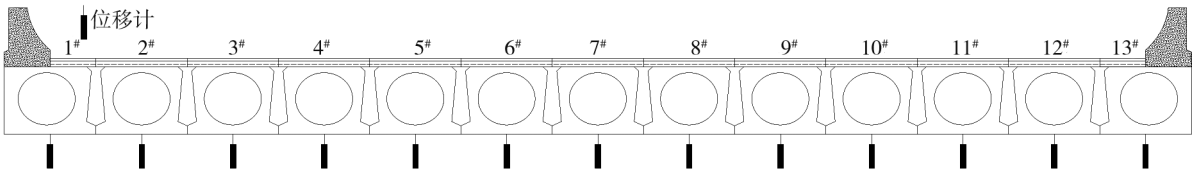


图 11 各板梁跨中截面应变计测点布置示意图



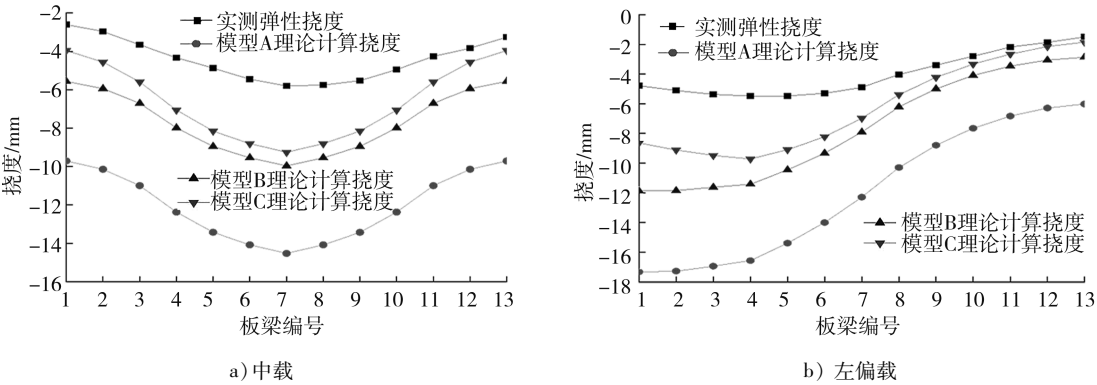
注:面向大桩号方向定义左侧、右侧。

图 12 各板梁跨中截面位移计布置示意图

4 静载试验结果分析

4.1 各板梁挠度分析

不同工况下跨中截面各板梁实测挠度与理论挠度对比见图 13。各测点实测挠度均已考虑支座沉降。跨中截面各工况挠度校验系数见表 3,跨中截面各工况实测挠度、残余挠度与相对残余挠度见表 4。



注:挠度方向竖直向下为负,竖直向上为正。

图 13 不同工况作用下跨中截面各板梁实测挠度与理论挠度对比

表 3 跨中截面各工况理论挠度校验系数

加载 工况	板梁 编号	挠度校验系数			加载 工况	板梁 编号	挠度校验系数		
		模型 A	模型 B	模型 C			模型 A	模型 B	模型 C
中 载	1 [#]	0.269	0.469	0.660	左 偏 载	1 [#]	0.276	0.402	0.554
	2 [#]	0.292	0.499	0.650		2 [#]	0.295	0.431	0.560
	3 [#]	0.332	0.545	0.653		3 [#]	0.317	0.461	0.566
	4 [#]	0.350	0.542	0.614		4 [#]	0.331	0.481	0.565
	5 [#]	0.363	0.544	0.598		5 [#]	0.356	0.524	0.603
	6 [#]	0.387	0.571	0.619		6 [#]	0.378	0.567	0.644
	7 [#]	0.399	0.582	0.626		7 [#]	0.398	0.618	0.702
	8 [#]	0.408	0.603	0.653		8 [#]	0.392	0.649	0.749
	9 [#]	0.412	0.617	0.678		9 [#]	0.387	0.682	0.806
	10 [#]	0.400	0.619	0.701		10 [#]	0.365	0.682	0.838
	11 [#]	0.387	0.635	0.761		11 [#]	0.320	0.631	0.824
	12 [#]	0.378	0.645	0.840		12 [#]	0.298	0.613	0.832
	13 [#]	0.335	0.586	0.825		13 [#]	0.249	0.523	0.807

表 4 跨中截面各工况残余挠度

加载 工况	板梁 编号	实测挠度/mm			残余 挠度/ mm	相对 残余 挠度 ^① /%	加载 工况	板梁 编号	实测挠度/mm			残余 挠度/ mm	相对 残余 挠度 ^① /%
		1 级	2 级	3 级					1 级	2 级	3 级		
中 载	1 [#]	-2.135	-2.616	-2.824	-0.217	7.7	左 偏 载	1 [#]	-3.622	-4.602	-5.016	-0.238	4.7
	2 [#]	-2.351	-2.970	-3.207	-0.245	7.6		2 [#]	-3.800	-4.811	-5.310	-0.206	3.9
	3 [#]	-2.748	-3.509	-3.844	-0.191	5.0		3 [#]	-4.041	-5.003	-5.587	-0.223	4.0
	4 [#]	-3.304	-4.158	-4.564	-0.233	5.1		4 [#]	-4.167	-5.040	-5.702	-0.215	3.8
	5 [#]	-3.762	-4.723	-5.215	-0.343	6.6		5 [#]	-4.119	-4.906	-5.693	-0.214	3.8
	6 [#]	-4.244	-5.209	-5.797	-0.348	6.0		6 [#]	-3.958	-4.583	-5.502	-0.210	3.8
	7 [#]	-4.382	-5.319	-6.076	-0.278	4.6		7 [#]	-3.732	-4.206	-5.024	-0.132	2.6
	8 [#]	-4.462	-5.239	-6.182	-0.433	7.0		8 [#]	-2.996	-3.370	-4.057	-0.024	0.6
	9 [#]	-4.275	-4.933	-5.879	-0.354	6.0		9 [#]	-2.491	-2.824	-3.429	-0.023	0.7
	10 [#]	-3.851	-4.408	-5.263	-0.318	6.0		10 [#]	-1.984	-2.271	-2.804	-0.013	0.5
	11 [#]	-3.256	-3.754	-4.585	-0.328	7.2		11 [#]	-1.581	-1.792	-2.225	-0.039	1.8
	12 [#]	-2.928	-3.342	-4.107	-0.277	6.7		12 [#]	-1.354	-1.523	-1.993	-0.017	0.9
	13 [#]	-2.499	-2.861	-3.520	-0.263	7.5		13 [#]	-1.083	-1.188	-1.507	-0.009	0.6

①相对残余挠度为残余挠度与 3 级实测挠度之比。

由图 13 可知:在中载作用下,挠度随板梁序号增大而先增大后减小,最大挠度位于 7[#]板梁,模型 A、B、C 的挠度均比实测挠度大,模型 A 的理论计算挠度最大,模型 B 其次,模型 C 最小;在左偏载作用下,实测挠度从梁左侧向右侧先增大后减小,横桥向跨中最大实测挠度位于 4[#]板梁,模型 A、B 的理论计算挠度先缓慢减小,后减速增快,最大理论计算挠度位于 1[#]板梁,模型 C 的最大理论计算挠度位于 4[#]板梁,与

实测挠度变化趋势一致。

由表 3 可知:在中载和左偏载作用下,模型 A、B、C 的挠度校验系数分别为 0.249~0.412、0.402~0.682、0.554~0.840,模型 C 的挠度校验系数最大,原因是桥面铺装和护栏与梁板的联合作用,增大了梁板的截面和刚度。模型 A 的挠度校验系数整体过小,易对桥梁的实际承载状态造成误判。考虑桥面铺装和护栏联合作用的计算模型更贴合桥梁结构实际受力状态。

由表 4 可知:在中载和左偏载作用下,空心板跨中截面各板相对残余挠度为 0.5%~7.7%,均小于 20.0%,满足相关要求^[28],说明该桥状态基本处于弹性阶段。

4.2 各板梁板底应变分析

静载作用下跨中截面各板实测应变和理论应变对比如图 14 所示,跨中截面各工况应变校验系数如表 5 所示,实测弹性应变为各板底 2 个应变传感器实测数据中较大的应变。

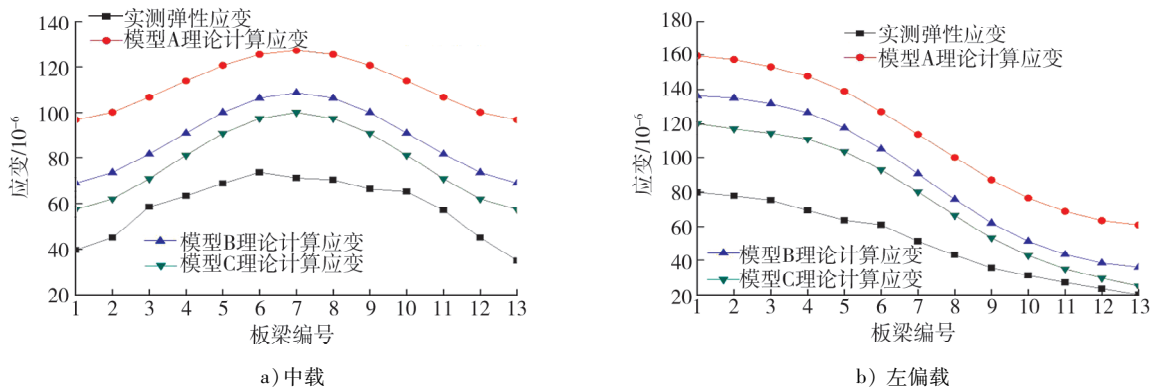


图 14 静载作用下跨中截面各板梁实测应变与理论应变对比

表 5 跨中截面各工况理论应变校验系数

加载 工况	板梁 编号	应变校验系数			加载 工况	板梁 编号	应变校验系数		
		模型 A	模型 B	模型 C			模型 A	模型 B	模型 C
中 载	1 [#]	0.409	0.574	0.691	左 偏 载	1 [#]	0.500	0.586	0.664
	2 [#]	0.450	0.614	0.727		2 [#]	0.493	0.576	0.663
	3 [#]	0.572	0.748	0.860		3 [#]	0.490	0.571	0.657
	4 [#]	0.539	0.674	0.756		4 [#]	0.467	0.545	0.623
	5 [#]	0.529	0.638	0.703		5 [#]	0.458	0.540	0.613
	6 [#]	0.511	0.603	0.656		6 [#]	0.480	0.580	0.656
	7 [#]	0.521	0.610	0.661		7 [#]	0.450	0.564	0.639
	8 [#]	0.482	0.569	0.619		8 [#]	0.430	0.569	0.650
	9 [#]	0.534	0.643	0.708		9 [#]	0.407	0.573	0.667
	10 [#]	0.573	0.716	0.804		10 [#]	0.404	0.604	0.722
	11 [#]	0.535	0.699	0.804		11 [#]	0.394	0.622	0.774
	12 [#]	0.450	0.614	0.727		12 [#]	0.371	0.612	0.799
	13 [#]	0.360	0.506	0.609		13 [#]	0.330	0.560	0.807

由图 14 可知:在中载作用下,应变随板梁序号的增大而先增大后减小,最大应变位于 7[#]板梁,模型 A、B、C 的理论计算应变均比实测应变大,模型 A 的应变最大,模型 B 其次,模型 C 最小;在左偏载作用下,模型 A、B、C 的理论计算应变随板梁序号的增大而的顺序先缓慢减小,后减速增快,与实测应变变化趋势一致;模型 A、B、C 的理论计算应变均比实测应变大。

由表 5 可知:在中载和左偏载作用下,模型 A、B、C 的板底应变校验系数分别为 0.330~0.573、0.506~0.748、0.609~0.860,模型 C 的应变校验系数最大,主要原因是桥面铺装和护栏与梁板的联合作用,增大了梁板的截面和刚度。模型 A 的应变校验系数整体过小,易误判桥梁的实际承载状态。考虑桥面铺装和护栏联合作用的计算模型更贴合桥梁结构实际受力状态。

跨中截面各工况实测应变、残余应变与相对残余应变如表 6 所示。

表 6 跨中截面各工况残余应变

加载 工况	板梁 编号	实测应变/ 10^{-6}			残余 应变/ 10^{-6}	相对 残余 应变 ^① /%		加载 工况	板梁 编号	实测应变/ 10^{-6}			残余 应变/ 10^{-6}	相对 残余 应变 ^① /%
		1 级	2 级	3 级						1 级	2 级	3 级		
中 载	1 [#]	15.3	33.1	46.1	6.5	14.1		1 [#]	32.4	53.3	83.1	3.3	4.0	
	2 [#]	28.6	41.0	55.4	10.3	18.6		2 [#]	35.2	54.4	80.2	2.5	3.1	
	3 [#]	38.3	45.9	70.6	12.2	17.3		3 [#]	37.8	54.8	79.5	4.3	5.4	
	4 [#]	41.8	56.0	75.6	12.3	16.3		4 [#]	41.7	55.1	72.7	3.6	5.0	
	5 [#]	45.5	55.9	77.0	8.1	10.5		5 [#]	40.6	54.9	70.5	6.9	9.8	
	6 [#]	51.5	57.5	76.7	3.1	4.0	左 偏 载	6 [#]	36.1	54.5	69.6	8.6	12.4	
	7 [#]	53.0	64.8	79.3	8.1	10.2		7 [#]	30.7	48.8	55.9	4.7	8.4	
	8 [#]	50.4	57.7	73.6	3.2	4.3		8 [#]	28.3	45.6	51.7	8.6	16.6	
	9 [#]	40.7	53.6	70.2	3.8	5.4		9 [#]	25.4	40.9	42.3	6.8	16.1	
	10 [#]	40.2	52.2	69.4	4.2	6.1		10 [#]	22.8	30.8	34.7	3.8	11.0	
	11 [#]	35.2	43.7	65.1	8.1	12.4		11 [#]	21.9	24.5	31.9	4.9	15.4	
	12 [#]	24.3	40.5	52.8	7.7	14.6		12 [#]	16.0	19.8	26.6	3.1	11.7	
	13 [#]	18.1	32.3	40.2	5.3	13.2		13 [#]	9.1	11.9	21.6	1.5	6.9	

①相对残余应变为残余应变与 3 级实测应变之比。

由表 6 可知:在中载和左偏载作用下,空心板跨中截面各板相对残余应变为 3.1%~18.6%,均不大于 20.0%,满足要求^[28],说明该桥的状态基本处于弹性阶段。

4.3 边板沿梁高应变

跨中截面中载、左偏载工况下,1[#]板梁沿梁高实测应变和理论应变如表 7 所示。由表 7 可知:在静载作用下,板梁 1[#]沿梁高实测应变均小于模型 A、B、C 的边板沿梁高的理论计算应变,1[#]板梁上侧受压,下侧及底板受拉。

表 7 跨中截面 2 种工况下 1[#]板梁腹板沿梁高实测应变和理论应变

加载 工况	测点位置	实测 应变/ 10^{-6}	理论应变/ 10^{-6}		
			模型 A	模型 B	模型 C
中载	1 [#] 板梁上侧	-17.3	-107.4	-48.5	-25.1
	1 [#] 板梁下侧	32.7	71.3	54.4	47.0
	1 [#] 板梁底	39.6	96.9	69.0	57.3
左偏载	1 [#] 板梁上侧	-33.9	-177.4	-95.6	-49.8
	1 [#] 板梁下侧	64.8	117.4	107.3	99.0
	1 [#] 板梁底	79.8	159.6	136.2	120.2

注:1[#]板梁上侧应变测点和下侧应变测点分别为 800、100 mm;受压应变为负,受拉应变为正。

静载作用下 1[#]板梁腹板沿梁高各测点实测应变与理论应变对比如图 15 所示。

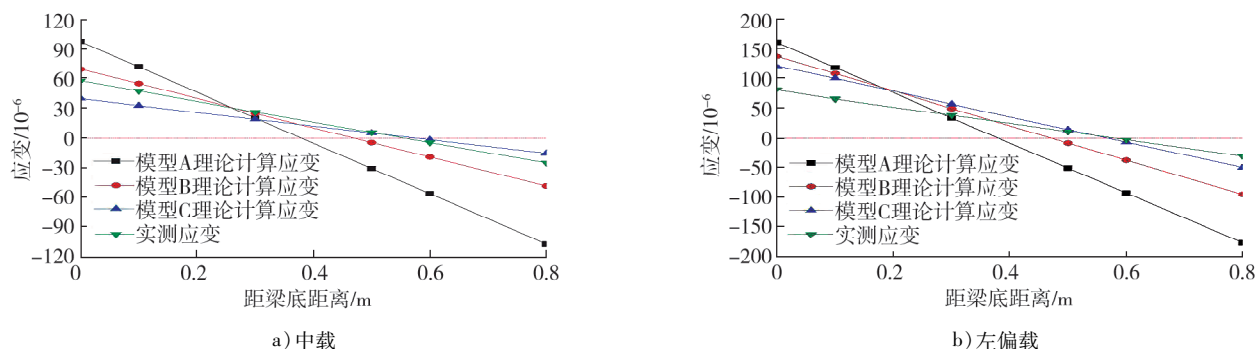


图 15 静载作用下 1[#]板梁腹板沿梁高各测点实测应变与理论应变对比

由图 15 可知:在中载和左偏载作用下,空心板桥梁结构边板实测的中性轴位置位于距梁底约 600 mm 处,模型 A、B、C 计算的中性轴位置距梁底分别约 400、440、600 mm,与实测结果一致。考虑桥面铺装和护栏联合作用的计算模型更贴合桥梁结构实际受力状态。

5 结论

将预应力混凝土空心板桥静载试验实测挠度、应变数据,与裸梁模型、仅考虑桥面铺装模型、同时考虑桥面铺装和护栏模型计算的理论挠度、理论应变对比,分析最大位移和中性轴位置,确定合理的桥梁理论模型。

1)在偏载作用下,空心板桥梁结构横桥向跨中最大挠度位于 4[#]板梁,而裸梁模型和仅考虑桥面铺装模型计算的理论最大挠度均位于 1[#]板梁,同时考虑桥面铺装和护栏模型计算的理论最大挠度位于 4[#]板梁,其整体变形趋势与实测变形趋势一致。

2)静载工况作用下,裸梁模型的位移和应变校验系数为 0.249~0.573,仅考虑桥面铺装模型的位移和应变校验系数为 0.402~0.748,考虑桥面铺装和护栏模型的位移和应变校验系数为 0.554~0.860,主要原因是桥面铺装和护栏与梁板的联合作用增大了梁板的截面和刚度。

3)在中载和偏载作用下,空心板桥梁结构边板实测的中性轴位置位于距梁底约 600 mm 处,模型 A、B、C 计算的中性轴位置距梁底分别约 400、440、600 mm,与实测结果一致。

4)因护栏和桥面铺装对板梁联合作用的影响,主梁截面和刚度变大,理论计算挠度和应变减小,桥梁的校验系数增大,边板的中性轴位置抬高。考虑桥面铺装和护栏联合作用的计算模型更贴合桥梁结构实际受力状态。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 2020 年交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. (2021-05-19)[2023-12-01]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs//202105/t20210517_3593412.html.
- [2] 王渠,吴庆雄,陈康明,等.拼宽空心板桥荷载横向分布计算方法[J].中国公路学报,2019,32(7):57-65.
- [3] 曹皓,孙敦华,王子琛,等.空心板梁桥表观病害与荷载横向分布关联分析[J].中外公路,2023,43(3):114-121.
- [4] 李春良,林志豪,赵路路.铰缝及板损伤后对空心板桥横向受力的影响[J].吉林大学学报(工学版),2021,51(2):611-619.
- [5] 刘旭政,郭维,吴刚,等.铰缝损伤对装配式空心板桥受力性能影响研究[J].华东交通大学学报,2021,38(3):23-30.
- [6] 旷斌,李院军.考虑铰缝损伤的装配式空心板梁桥荷载横向分布系数计算方法[J].世界桥梁,2019,47(5):74-78.
- [7] 黄宛昆,吴庆雄,王渠.装配式空心板桥改进型铰缝结合面受力性能[J].交通运输工程学报,2022,22(6):169-181.
- [8] 李兴锋,孔晨光,程烽雷,等.空心板梁桥整体化层厚度对受弯失效模式的影响[J].公路,2020,65(9):119-124.
- [9] 涂伟.桥面铺装在预制梁仿真分析中的合理性分析[J].中国公路,2021(22):110-112.

- [10] 林欣栋,徐思阳,赵佩勋,等.考虑铺装层厚度的桥面连续预应力空心板桥荷载试验方法[J].交通世界,2022(20):113-115.
- [11] 张守军.预应力混凝土连续梁桥静载分析与试验研究[J].交通世界,2020(34):99-101.
- [12] 刘聪聪,张永亮,朱尚清,等.桥面铺装层刚度对简支空心板桥竖向基频的影响[J].工程研究-跨学科视野中的工程,2019,11(3):247-253.
- [13] 徐志华,彭德清,汪晓红,等.桥面铺装协同受力的空心板梁抗弯承载力研究[J].公路交通技术,2022,38(5):49-57.
- [14] 张学会,王哲,乔国胜.考虑桥面铺装影响的空心板梁抗弯承载力研究[J].低温建筑技术,2020,42(12):92-94.
- [15] 王丕祥,郭环宇,刘云.简支梁桥混凝土桥面铺装层应力分布的影响参数[J].东北林业大学学报,2020,48(6):115-119.
- [16] 何肖斌.整体化铺装层加固空心板桥受力性能试验研究[J].南昌大学学报(工科版),2023,45(3):268-274.
- [17] 曹晓喆.考虑整体铺装层影响的斜空心板桥静力性能分析[D].西安:长安大学,2020.
- [18] 肖铎润,宁晓骏.铰缝损伤及铺装层对空心板桥横向刚度的影响[J].交通科学与工程,2024,40(1):90-98.
- [19] 梁瑞卿,姜燕玲,王振宇,等.桥面混凝土铺装层对空心板桥横向刚度影响试验[J].土木工程与管理学报,2022,39(4):99-106.
- [20] 李猛.混凝土护栏对简支空心板的受力影响[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(5):150-151.
- [21] 彭卫兵,金瑞雨,李翠华,等.现浇混凝土护栏对空心板边铰缝受力性能的影响研究[J].桥梁建设,2022,52(4):39-45.
- [22] 彭卫兵,史进,张武毅,等.应力集中致空心板L型裂缝研究[J].工程力学,2019,36(11):112-120.
- [23] LI C H, YANG D P, PENG W B, et al. Influence of expansion joints in deck parapets on localized cracking in adjacent box girders[J]. Journal of Bridge Engineering, 2021, 26(3): 04021002.
- [24] 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,2018,38(2):159-165.
- [25] 王国炜.基于荷载试验的空心板桥梁格法虚拟横梁刚度研究[J].山东交通科技,2020(2):22-25.
- [26] 葛俊颖.桥梁工程软件 Midas Civil 使用指南[M].北京:人民交通出版社,2013.
- [27] 中华人民共和国交通运输部,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,2016.
- [28] 中华人民共和国交通运输部,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.

Static load test analysis of prestressed concrete hollow slab considering the combined action of guardrail and deck pavement

QIN Bingbing^{1,2}, SHENG Yueyue^{1,2}, GUO Bin^{1,2}

1. Henan Zhonggong Design & Research Group Co., Ltd., Zhengzhou 451450, China;

2. Zhongben Testing Certification Co., Ltd., Zhengzhou 451450, China

Abstract: To address the issue of inconsistency between theoretical calculation models and the actual stress state of bridges during static load tests, experimental data are collected from a prestressed concrete hollow slab bridge under the loading vehicle's action in both load and offset load conditions. These data are compared and analyzed against the theoretical results calculated from three models: bare beam model A, model B considering only the bridge deck pavement, and model C considering both the bridge deck pavement and the guardrails. The results indicate: Under static load conditions, the measured deflection and strain of the bridge are both less than the

(下转第130页)

beams. Research on the shear resistance performance of the hollow slab beams designed according to JTJ 023-1985 and JTJ D62-2004 under the lane load effects specified in Specifications for Design of Highway Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Bridges and Culverts (JTG 3362-2018), and comparison of the results of finite element model analysis with the results of scaled model loading tests. The results show: 1) Under constant load, the shear force on S1 is generally slightly smaller than S2, the maximum shear stress of hollow slab beams S1 and S2 increases significantly with the increase of the combined effect of lane load in JTG 3362-2018, by 26.8% and 16.8% respectively. 2) The experimental phenomena of beams T1 and T2 are similar: As the load increases, cracks appear successively at the loading point bottom plate, pure bending zone bottom plate, and shear compression zone, the inclined cracks in the shear compression zone extend as the main cracks, secondary cracks appear near the main cracks, and transverse cracks at the loading point extend to the web plate. 3) The deflection of beam T1 is greater than that of beam T2. 4) At the beginning of loading, the relationship between the main tensile strain and the load is roughly linear. As the load increases, the main tensile strain in the midspan increases the fastest, followed by the bottom, cracks first appear in the shear compression zone in the middle of the beam, extending to the bottom, the top main tensile strain changes less; the later stage has a larger slope, when the load slightly increases, the strain increase is too fast, and the crack changes greatly. 5) Beams T1 and T2 have not reached the failure state when loaded to the design carrying capacity limit state in JTG 3362-2018, the overall safety margin of the slab beams meets the requirements, but the margin is small. 6) The deflection and strain verification factors of beams T1 and T2 meet the requirements, but early appearance of cracks in the shear zone will directly affect the durability of bridge usage and reduce the overall stiffness of the bridge.

Keywords: bridge engineering; shear-resistant; hollow beam in service; contrast test

(责任编辑:王惠)

.....
(上接第 119 页)

theoretical calculation results from all three models; however, model A's displacement and strain correction factors are overall too low, which may lead to misjudgment of the bridge's actual load-bearing state, while model B's correction factor is less than that of model C; under offset loading, in the transverse direction of the bridge, the theoretical midspan deflection of models A and B is inconsistent with the measured deflection trend, while model C's theoretical midspan deflection aligns with the measured midspan deflection trend, with the maximum deflection located at slab 4[#]; compared with models A and B, model C's calculated neutral axis of the edge beam is consistent with the measured neutral axis of the edge beam; due to the joint effect of the guardrail and bridge deck pavement on the beam-slab system, model C better reflects the actual stress state of the bridge structure.

Keywords: prestressed concrete hollow slab; static load test; bridge deck pavement and guard rail; combined action; calculation model

(责任编辑:王惠)