

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.04.005

双层荷载简支箱梁的剪力滞效应试验研究

祝明桥, 孙康杰, 汪建群, 陈 功

(湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘 要: 通过对单箱三室双层交通混凝土简支箱梁模型进行试验研究, 对其在上层荷载、下层荷载、上下层荷载3种不同工况的双层均布荷载作用下的剪力滞效应进行分析。结果表明: 均布荷载作用下, 箱梁跨中截面与1/4跨截面顶板均呈现出正剪力滞现象; 在弹性工作阶段双层交通混凝土简支箱梁剪力滞效应与荷载作用大小无关, 与荷载作用位置有关; 荷载作用在底板引起的箱梁剪力滞效应比荷载作用在顶板引起的剪力滞效应小; 当将作用在箱梁顶板的荷载一部分转移到底板时, 能减小箱梁的剪力滞效应。

关键词: 简支箱梁; 剪力滞效应; 双层荷载

中图分类号: U448.21+3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)04-0023-06

Experimental Study on Shear Lag Effect of Double-Loaded Simple-Supported Box-Girder

Zhu Mingqiao, Sun Kangjie, Wang Jianqun, Chen Gong

(School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China)

Abstract: Through the experimental study on the model of the single-box three-rooms double-deck concrete simple box girder, analyzed the shear lag of the box girder under the double uniformly distributed loads of three different conditions. The results showed that: the shear lag effect on the roof of midspan section and 1/4 cross-section both showed positive shear lag phenomenon; the shear lag effect has nothing to do with the size of the load but with the location of the load under elastic stage; when the loads applied on the base plate, the shear lag effect are smaller than the situation that the loads applied on the upper plate; when transferring part of the load from top plate to the bottom plate, the shear lag effect of box girder will reduce.

Keywords: simple box girder; shear lag effect; double-level

0 引言

随着交通运输量的快速增长, 近年来, 城市中双层桥梁越来越多。双层桥梁由于上、下层桥面共用主体结构, 能够充分利用有限的空间, 将单层交

通变为双层交通, 对提高桥梁的通行能力、节约土地资源具有重要意义^[1-2]。

混凝土箱形截面梁凭借其自身的众多优点, 如有良好的空间整体受力性能, 抗弯、抗扭刚度大, 能较好地适应各种现代施工方法等, 被广泛应用于现

收稿日期: 2013-04-30

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助重点项目(10A029)

作者简介: 祝明桥(1968-), 男, 安徽太湖人, 湖南科技大学教授, 博士, 主要研究方向为混凝土新材料及其应用,

E-mail: 1531290279@qq.com

通信作者: 孙康杰(1986-), 男, 山西运城人, 湖南科技大学硕士生, 主要研究方向为混凝土新材料及其应用,

E-mail: sunkangjie1000@126.com

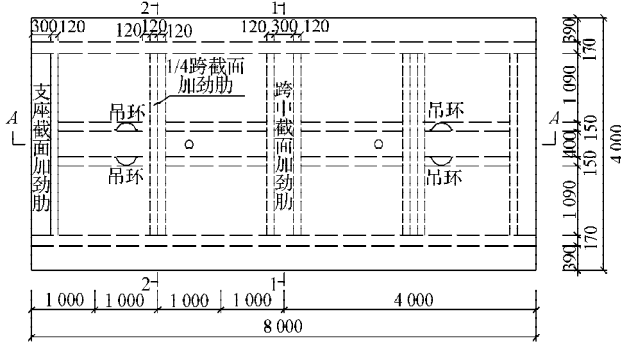
代各种桥梁中。国内外学者和桥梁工程师们从双层交通钢桁梁桥中得到启发，将箱梁顶板与底板同时作为桥面，顶层与底层共用基础工程，从而构思出一种双层桥道的混凝土箱梁桥。这种能够实现双层交通的混凝土箱形梁，结合了双层桥梁及箱形截面的优点，取消了横隔板，将箱梁顶、底板作为上下行分层车道，充分利用了箱梁的空间资源，从而减少了工程投资并提高了桥梁的通行能力^[3-4]。

按与实际工程 1:6 的比例，本课题组在实验室制作了实现双层交通的单箱三室混凝土简支箱梁试验模型，并针对试验箱梁在上层荷载、上下层荷载、下层荷载 3 种不同工况均布荷载作用下的剪力滞效应进行试验研究。

1 试验模型

1.1 模型概况

双层交通混凝土简支箱梁试验模型截面形式采用宽顶板、窄底板、斜腹板的梯形单箱三室截面。模型总长 8 m，计算跨度 7.4 m，梁高 1.24 m，顶板宽 4 m，悬挑 390 mm，底板宽 2.31 m，顶板和底板厚度均为 60 mm，顶板悬挑根部厚度 80 mm。为了实现底板通车，取消了常规设置的箱内横隔板，通过布置一定的顶、底板横向加劲肋来提高箱梁的横向刚度，顶板加劲肋宽度如图 1~4 所示，高度均为 120 mm。箱梁混凝土强度等级采用 C50，钢筋选用 HPB235 和 HRB335 级 2 种规格。箱梁试验模型尺寸如图 1~4 所示。



注：图中尺寸单位为 mm，下同。

图 1 模型平面图

Fig. 1 Planar graph of the model

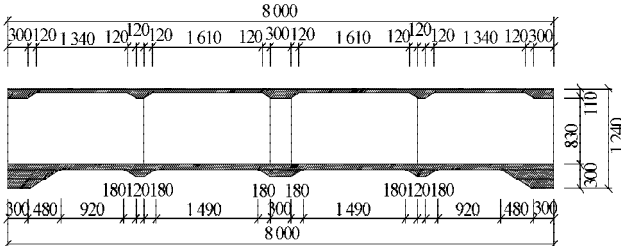


图 2 A-A 剖面图

Fig. 2 Profile of section A-A

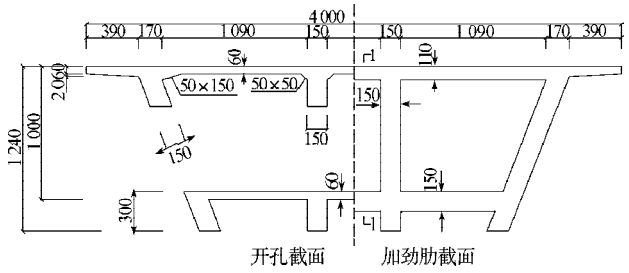


图 3 开孔截面与加劲肋截面

Fig. 3 Opening section and stiffener section

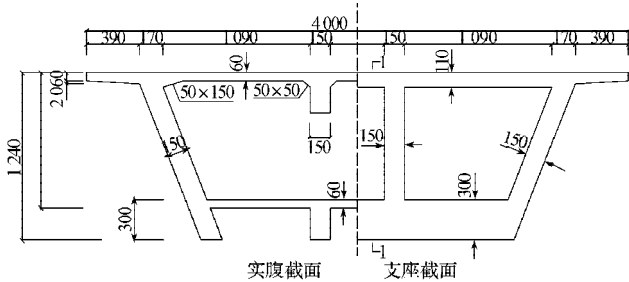


图 4 实腹截面与支座截面

Fig. 4 Web section and bearing section

1.2 试验材料性能

双层交通混凝土简支箱梁试验模型采用的混凝土等级为 C50，整个试验模型分两次浇筑。先浇筑底板，后浇筑顶板及腹板。混凝土搅拌方式采用机械搅拌。为准确地测试实际混凝土材料性能，在每次进行混凝土浇筑的同时预留相应的混凝土试块。混凝土试块尺寸有：150 mm × 150 mm × 150 mm 的立方体试件，100 mm × 100 mm × 300 mm 的棱柱体试件。试件经振动成型后 24 h 脱模，在与试验构件相同条件下进行养护，使试件与试验模型具有相同环境下的力学性能。混凝土材料试验按 GB/T50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法》规定的方法进行，试验结果见表 1。

表 1 混凝土力学性能

Table 1 Concrete mechanics performance MPa

位置	抗压强度标准值	轴心抗压强度	劈拉强度	弹性模量
底板	60.00	56.0	3.66	46 192
顶板	55.83	48.9	4.04	49 100

试验模型采用 HPB235 和 HRB335 级钢筋，型号为 Φ6, Φ12, Φ22 三种。每种钢筋都预留试件进行钢筋力学性能试验，实测钢筋力学性能指标见表 2。

表 2 钢筋力学性能

Table 2 Steel mechanics performance

型号	钢筋直径 / 钢筋面积 / 屈服强度	极限强度	伸长率 /
	mm / mm ² / f _y /MPa	f _t /MPa	%
Φ6	5.80 / 26.41 / 398	620	25.2
Φ12	11.68 / 107.09 / 318	451	39.5
Φ22	21.18 / 352.15 / 400	544	26.9

1.3 测试断面与测点布置

为了得出测试断面顶板上弯曲正应力沿横向实际变化的规律,研究双层交通混凝土箱梁在不同位置荷载作用下的剪力滞现象。利用截面对称性,试验时分别选取跨中截面、1/4跨截面共2个控制截面作为研究对象,相应截面命名为1-1、2-2截面。1-1截面混凝土应变片布置及编号如图5所示,2-2截面混凝土应变片布置及编号与1-1截面相同。

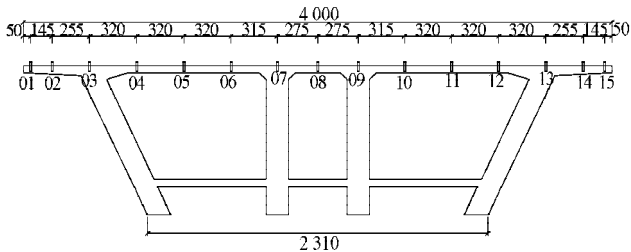


图5 1-1截面混凝土应变片布置

Fig. 5 Concrete strain gauge layout of section 1-1

2 试验

试验采用砂袋堆载来对箱梁施加均布荷载。采用荷载全部作用于顶板,荷载同时作用于顶、底板,荷载全部作用于底板3种工况,分别称为工况一、工况二、工况三;加载方式为分级加载,保证箱梁在弹性工作阶段。荷载作用简图如图6所示,加载工况如图7所示。

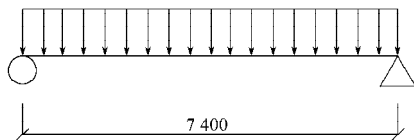
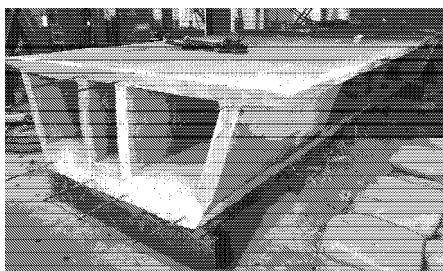
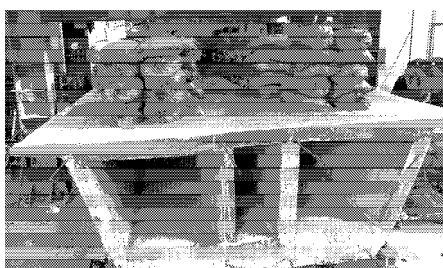


图6 荷载作用简图

Fig. 6 Load diagram



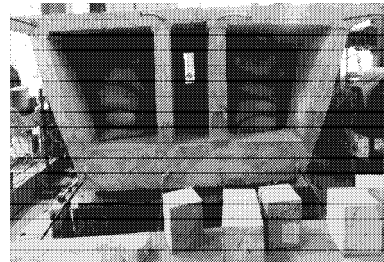
a) 箱梁模型



b) 工况一



c) 工况二



d) 工况三

图7 不同工况加载图示

Fig. 7 Different loading conditions

试验加载工况如表3所示。

表3 加载工况表

Table 3 Load condition kN/m

加载工况	加载级别					
	1级	2级	3级	4级	5级	6级
工况一 顶板	3.14	6.28	9.42	12.56	16.48	18.24
顶板	3.92	7.83	10.97	11.96	-	-
工况二 底板	2.12	4.24	6.36	6.88	-	-
共计	6.04	12.07	17.33	18.84	-	-
工况三 底板	2.12	4.24	6.36	8.48	9.68	-

3 试验结果及分析

挠度是衡量箱梁整体性能的一项重要指标,能较真实地反映试验构件的变形情况。跨中截面在不同工况下挠度变化如图8所示。

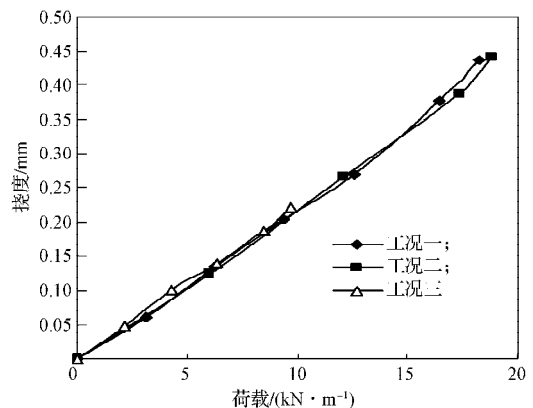


图8 跨中截面荷载-挠度曲线

Fig. 8 Load-deflection curve of middle span section

由图可知,双层交通筒支箱梁在均布荷载作用

下，跨中截面挠度与施加荷载基本成线性关系，无突变点，说明简支梁基本处在线弹性工作状态下；当荷载大小相同时，3种不同工况下所引起的跨中挠度基本相同。

在工况一作用下，1-1截面顶板混凝土应变分布如图9所示，其中横坐标是模型顶板沿横向分布位置；纵坐标是试验模型的弯曲应变值，取拉为正，压为负。

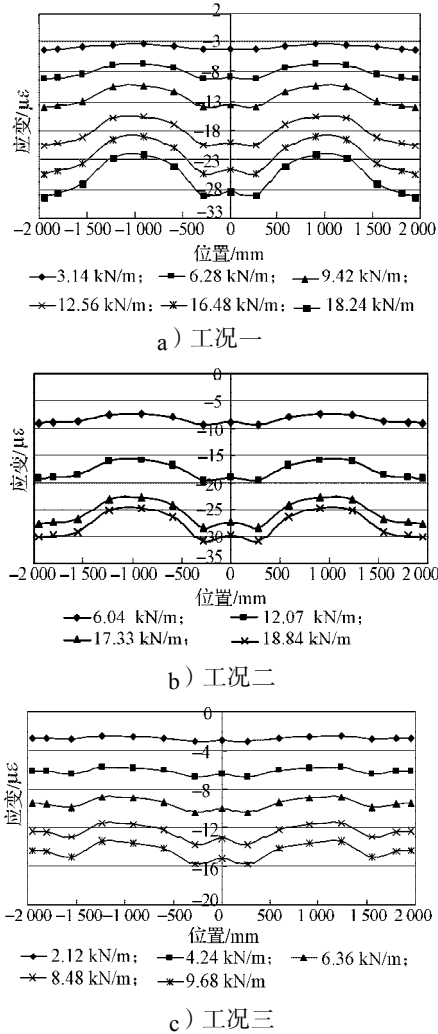


图9 1-1截面顶板应变分布

Fig. 9 Strain variation of upper roof in section 1-1

由图可知，在不同工况作用下，跨中截面顶板受压，压应变在腹板与顶板交接部位较大，往两边呈减小趋势，表明在跨中截面为正剪力滞效应。在不同工况均布荷载作用下，箱梁跨中截面顶板应变随着荷载等级的提高呈等比例增长，这表明箱梁在上述3种荷载工况作用下处于线弹性工作阶段。

对比图9中a, b, c可以看出，在工况三作用下，顶板跨中截面应变分布曲线相对比较平缓，该工况作用下1-1截面横向压应变最大为15.8με，最小为13.2με，浮动16.5%；而在工况一和工况二作用下，1-1截面

顶板应变浮动程度相对工况三较大，其中工况一压应变浮动21.3%，工况二压应变浮动19.7%。这表明当荷载作用位置不同时，1-1截面顶板的应变变化范围不同，当荷载全部作用于顶板时，跨中截面应变浮动最大。

2-2截面在不同工况作用下，顶板混凝土应变如图10所示。

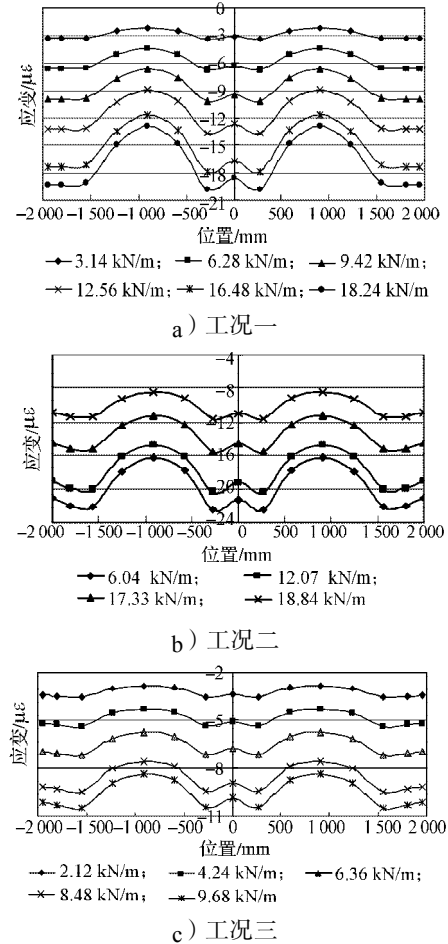


图10 2-2截面顶板应变分布

Fig. 10 Strain variation of upper roof in section 2-2

由图可知，在不同工况作用下，2-2截面顶板受压，压应变在腹板与顶板交接部位较大，并往两侧呈减小趋势，呈现出明显的正剪力滞现象。

对比图10中a, b, c可以看出，工况三中2-2截面顶板应变横向分布曲线较工况一、工况二平缓。结合应变进行分析可知：工况一中，2-2截面顶板压应变最大为20με，最小为13με，变化35%；工况二中最大压应变为22με，最小压为16με，变化27%；工况三中最大压应变为10.6με，最小压为8.1με，变化23.6%。由以上数据可知，当荷载全部作用于底板时，2-2跨截面顶板混凝土应变分布沿横向比较均匀；当荷载全部作用于顶板时，压应变在边腹板与中腹板之间变化程度在3种工况中最大。

4 各截面剪力滞系数

箱梁的剪力滞效应通常利用剪力滞系数来衡量,剪力滞系数定义为:

$$\lambda = \frac{\text{考虑剪力滞效应求得的法向应力}}{\text{按初等梁理论求得的法向应力}}$$

剪力滞系数反映了箱梁翼缘正应力分布不均匀的程度^[5]。在翼板与腹板交接处,当 $\lambda > 1$ 时为正剪力滞,数值越大剪力滞现象越严重;当 $\lambda < 1$ 时为负剪力滞,数值越小剪力滞现象越严重;当 $\lambda = 1$ 时表明截面内无剪力滞现象^[6]。

图 11 为不同荷载工况作用下跨中截面剪力滞系数横向分布图。

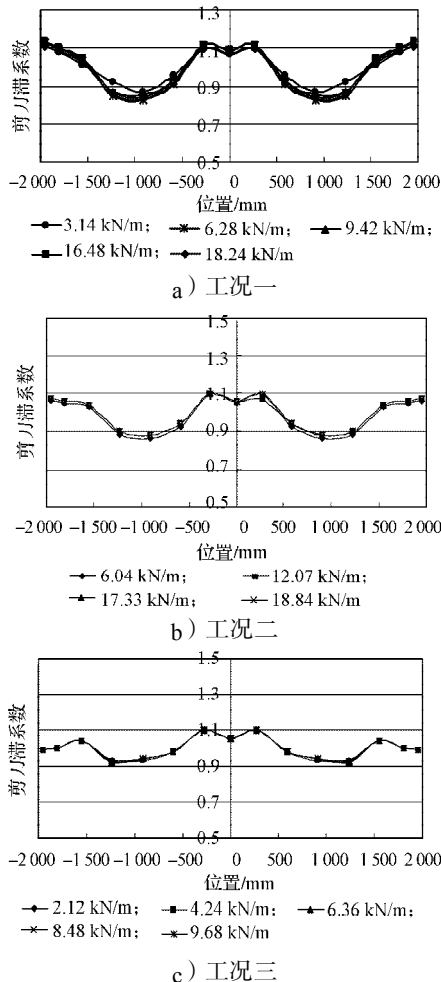


图 11 1-1 截面顶板剪力滞系数

Fig. 11 Shear lag coefficient of roof of section 1-1

由图可知,在不同工况作用下,腹板与顶板交接处的剪力滞系数均大于 1,表明当均布荷载作用位置不同时,顶板均呈正剪力滞现象。箱梁在同一种工况的各级荷载作用下,跨中截面的剪力滞系数基本一致,而不同工况作用下,同一截面的剪力滞系数不同,表明箱梁剪力滞效应与荷载作用大小无关,与

荷载作用位置有关。

从图 11 还可看出,中腹板与顶板交接处剪力滞系数在工况一作用下为 1.128,工况二作用下为 1.109,工况三作用下为 1.087。边腹板与顶板交接处剪力滞系数在工况一作用下为 1.130,工况二作用下为 1.050,工况三作用下为 1.023。数据表明,荷载全部作用于顶板时跨中截面剪力滞系数最大,荷载全部作用于底板时跨中截面剪力滞系数最小。

图 12 为不同荷载工况作用下 2-2 截面剪力滞系数横向分布图。

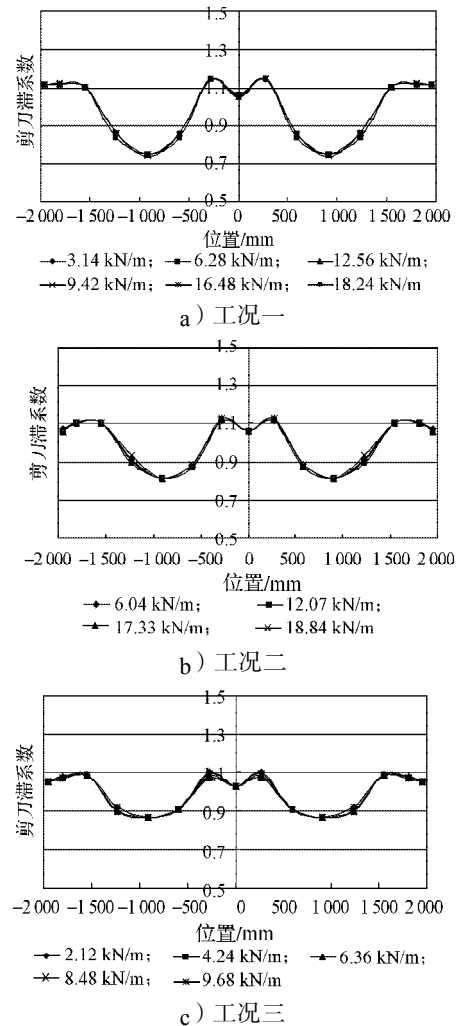


图 12 2-2 截面顶板剪力滞系数

Fig. 12 Shear lag coefficient of roof of section 2-2

由图可知,在不同工况的均布荷载作用下,腹板与顶板交接处的剪力滞系数均大于 1,表明当荷载作用位置不同时,箱梁顶板均呈正剪力滞现象。

从图 12 还可以看出,中腹板与顶板交接处剪力滞系数:工况一作用下为 1.188,工况二作用下为 1.165,工况三作用下为 1.135;边腹板与顶板交接处剪力滞系数:工况一作用下为 1.144,工况二作用下为 1.108,工况三作用下为 1.097。数据表明,工况一

作用下 2-2 截面顶板剪力滞系数最大, 工况三作用下 2-2 截面顶板剪力滞系数最小。荷载全部作用于顶板时 2-2 截面剪力滞系数最大, 荷载全部作用于底板时 2-2 截面剪力滞系数最小。

由跨中截面及 1/4 跨截面剪力滞系数分析可知, 当荷载全部作用于底板时, 剪力滞现象较小; 当荷载全部作用于顶板时, 剪力滞效应较严重; 荷载同时作用于顶、底板上时, 剪力滞效应居于上述 2 种工况之间。这表明, 当荷载全部作用于顶板上时对箱梁的剪力滞效应影响较严重, 当荷载全部作用于底板上时, 箱梁的剪力滞效应最小。这也验证了图 9 和图 10 中, 当荷载作用在顶板时, 应变浮动比其他两种工况大的现象, 同时也可以推断: 把作用在箱梁顶板的荷载转移一部分作用到底板时, 会减小箱梁的剪力滞效应。减小箱梁的剪力滞效应对箱梁是有益的。

5 结论

双层交通混凝土箱梁桥作为一种全新的桥梁结构形式, 能够充分利用底部空间, 对提高城市桥梁的通行能力有重要意义, 本文通过对双层交通混凝土筒支箱梁模型进行 3 种不同工况均布荷载作用下的试验研究, 得出以下结论:

1) 在均布荷载作用下双层交通箱梁桥跨中截面荷载-挠度曲线基本为直线, 同一种工况不同等级均布荷载作用下剪力滞系数分布基本一致, 表明该箱梁处于线弹性工作状态。

2) 均布荷载作用下, 箱梁跨中截面与 1/4 跨截面顶板均呈正剪力滞现象。

3) 当荷载全部作用于顶板时, 双层交通筒支箱梁的剪力滞效应最大, 荷载全部作用于底板时箱梁的剪力滞效应最小, 荷载同时作用于顶、底板时箱梁的剪力滞效应居于上述 2 种工况之间。

4) 在弹性工作阶段箱梁剪力滞效应与荷载作用大小无关, 与荷载作用位置有关。当把作用在箱梁顶板的荷载转移一部分作用到底板时, 能减小箱梁

的剪力滞效应。

参考文献:

- [1] 范立础. 桥梁工程: 上册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001: 3-27.
Fan Lichu. Bridge Engineering: Book 1[M]. Beijing: China Communications Press, 2001: 3-27.
- [2] 祝明桥, 蒋伟中, 霍海强. 混凝土巨型箱形截面梁及其设计理论[J]. 建筑科学与工程学报, 2010, 27(3): 85-88.
Zhu Mingqiao, Jiang Weizhong, Huo Haiqiang. Concrete Huge Box Section Girder and Its Design Theory[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2010, 27(3): 85-88.
- [3] 蔺鹏臻, 杨子江, 刘凤奎, 等. 混凝土箱梁考虑翼板厚度变化的剪力滞效应[J]. 土木建筑与环境工程, 2013, 35(1): 76-79.
Lin Pengzhen, Yang Zijiang, Liu Fengkui, et al. Shear Lag Effect of Concrete Box Girder Considered Varying Flange-Depths[J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2013, 35(1): 76-79.
- [4] 张元海, 白 昕, 林丽霞. 箱形梁剪力滞效应的改进分析方法研究[J]. 土木工程学报, 2012, 45(11): 153-158.
Zhang Yuanhai, Bai Xin, Lin Lixia. An Improved Approach for Analyzing Shear Lag Effect of Box Girders[J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(11): 153-158.
- [5] 罗旗帜. 基于能量原理的薄壁箱梁剪力滞理论与试验研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2005.
Luo Qizhi. Theory and Model Test Studies of the Shear Lag in Thin Walled Box Girders Based on Energy Principle[D]. Changsha: Hunan University, 2005.
- [6] 方 志, 曹国辉, 王济川. 钢筋混凝土连续箱梁剪力滞效应试验研究[J]. 桥梁建设, 2000(4): 1-3.
Fang Zhi, Cao Guohui, Wang Jichuan. Experimental Study on Shear Lag Effect of RC Continuous Box Girder[J]. Bridge Construction, 2000(4): 1-3.

(责任编辑: 邓光辉)