

文章编号:1674-2869(2018)01-0079-04

荷载列作用下曲线箱梁剪力滞空间有限元分析

卢海林,严若愚,蔡恒,汤正

武汉工程大学资源与土木工程学院,湖北 武汉 430074

摘要:采用三维有限元仿真技术研究了车辆荷载作用下某城市立交匝道箱梁剪力滞效应。基于 ANSYS 程序建立钢筋混凝土曲线箱梁空间实体有限元模型,荷载分别考虑2种不同的作用位置和3种不同的移动速度($v=10\text{ m/s}$ 、 15 m/s 、 20 m/s),得到了荷载分别沿着内道与外道移动到跨中截面时剪力滞效应分布规律。结果表明:车辆荷载作用下,曲线箱梁翼板剪力滞效应显著,剪滞系数峰值高达3.0;荷载速度和荷载作用位置对曲线箱梁剪力滞效应均有影响,荷载速度对曲线箱梁剪力滞效应较为显著;保持荷载速度不变,荷载作用于内道时曲线箱梁剪力滞效应比荷载作用于外道时更明显。

关键词:车辆荷载;曲线箱梁;剪力滞效应;有限元

中图分类号:U448.42 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2018.01.014

Space Finite Element Analysis of Shear Lag in Curved Box Girder Under Series of Load

LU Hailin, YAN Ruoyu, CAI Heng, TANG Zheng

School of Resource and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: A three-dimensional finite element simulation technology was used to investigate the shear lag effect of interchange ramp box girder in a city. A finite element model (FEM) of reinforced concrete curved box girder was built by using a ANSYS software. By considering three load speeds of 10 m/s , 15 m/s and 20 m/s and two load positions, we obtained the distribution law of shear lag effect, where the load following moves along the inner and outer passages to the cross-section. The result indicated that the effects of vehicle load on the shear lag of curved box girder were significant, and the maximum shear lag coefficient was 3.0. Both load speed and load position had effects on shear lag of curved box girder, and the former had a greater impact. The shear lag effect of load acting on the inside road was more obvious than that on the outside road when the load speed did not changed.

Keywords: vehicle loads; curved box girder; shear lag effects; finite element

薄壁曲线箱梁桥由于自身的优点而广泛应用于城市立交、高架和大跨度桥梁结构中^[1]。在箱型截面梁中,由于剪切变形沿箱梁翼缘板宽度的非均匀分布,引起弯曲时远离肋板的翼板纵向位移滞后于近肋板的翼板纵向位移,产生弯曲正应力的横向分布呈曲线形状,这种现象称为“剪力滞效

应”^[2]。研究表明剪力滞不仅会产生应力集中,造成梁体开裂,引起桥梁整体的失稳和局部的破坏^[3-4];还会削弱弯梁的刚度^[5],引起附加挠度增大,严重影响了桥梁的安全性,降低了承载力。为减少事故的发生,深入研究混凝土曲线箱梁桥的剪力滞效应,防止其造成箱梁损坏,确保桥梁的安全性和

收稿日期:2017-03-26

基金项目:国家自然科学基金(51378404);武汉工程大学创新基金(CX2016036)

作者简介:卢海林,博士,教授。E-mail:hail_lu@yangtzeu.edu.cn

引文格式:卢海林,严若愚,蔡恒,等.荷载列作用下曲线箱梁剪力滞空间有限元分析[J].武汉工程大学学报,2018,40

(1):79-82.

耐久性尤为重要。目前,静载作用下截面形式简单的薄壁箱梁剪力滞效应研究已日趋完善。曲线箱梁空间受力复杂,考虑曲率的影响将产生弯、扭、剪力滞耦合,特别是在动荷载作用下,车辆荷载的冲击和竖向地震的激励将会使耦合现象加剧。国内外许多学者对动荷载下曲线箱梁剪力滞效应进行了研究,并且取得了一些成果。赵青等^[6]对曲线箱梁振动特性进行了研究,发现曲率半径和角度比值均是影响其动力学特征的重要参数;刘健新等^[7]提出了薄壁箱梁受迫振动剪力滞效应分析的理论方法;Gomez等^[8]通过长期的现场检测研究了某曲线箱梁桥在行车荷载自振特性和振动模式;卢海林等^[9]基于有限元法分析了移动荷载作用下曲线箱梁截面参数对剪力滞的影响,Yamaguchi等^[10]依据板壳理论,对箱梁进行了几何参数和挠度分析,并探讨了有限元网格精度对剪力滞的影响。本文在此基础上采用ANSYS建立曲线箱梁空间实体有限元模型^[11],着重分析车辆荷载大小及其作用位置对剪力滞效应的影响。

1 有限元模型的建立

1.1 工程背景

某城市立交匝道桥,图1为空间示意图,主梁采用箱型截面梁,断面尺寸如图2所示,其跨径中心线长 $L=25\text{ m}$,曲率半径 $r=135\text{ m}$,圆心角 $\theta=10.61^\circ$ 。施工过程中采用C50混凝土浇筑,材料各项取值如下:混凝土轴心抗压强度标准值 $f_{\text{ck}}=32.4\text{ MPa}$,轴心抗拉强度标准值取 $f_{\text{tk}}=2.65\text{ MPa}$,弹性模量 $E_c=3.45\times10^4\text{ MPa}$,泊松比 $\mu_1=0.2$,密度 $\rho=2\,300\text{ kg/m}^3$ 。钢筋采用HRB335钢筋,弹性模量 $E_s=200\text{ GPa}$,泊松比 $\mu_2=0.3$,屈服应力 $\sigma=335\text{ MPa}$ 。

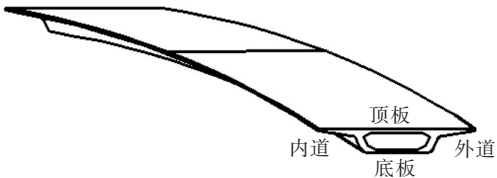


图1 曲线箱梁空间示意图

Fig. 1 Spatial diagram of curved box girder

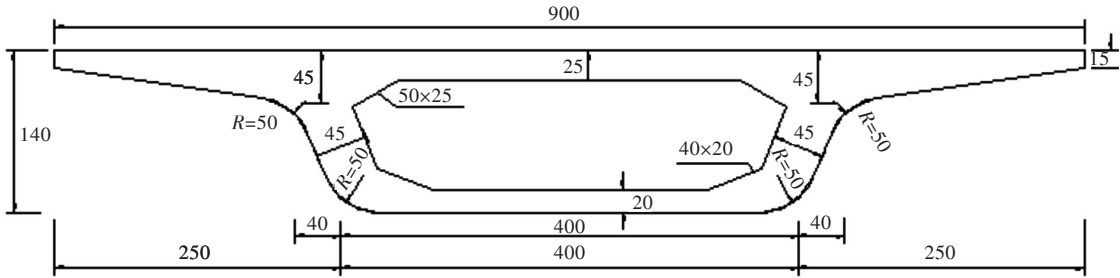


图2 箱梁横截面尺寸(单位:cm)

Fig. 2 Dimensions of box girder cross-section (unit:cm)

1.2 加载形式

考虑到实际车辆荷载作用桥面时为冲击荷载,即荷载作用于节点后立即消失,因此在有限元模型中采用阶跃荷载形式^[12]来模拟车辆荷载,使移动荷载由箱梁一端匀速移动至另一端,完成加

载过程并进行数据采集分析。采用 $F_1=F_2=F_3=F_4=5\,750\text{ N}$ 的常量力在箱梁上移动来模拟实际车辆荷载,荷载以3种不同的速度在箱梁上沿着内侧和外侧腹板匀速移动,如图3所示,具体工况设计如表1所示。

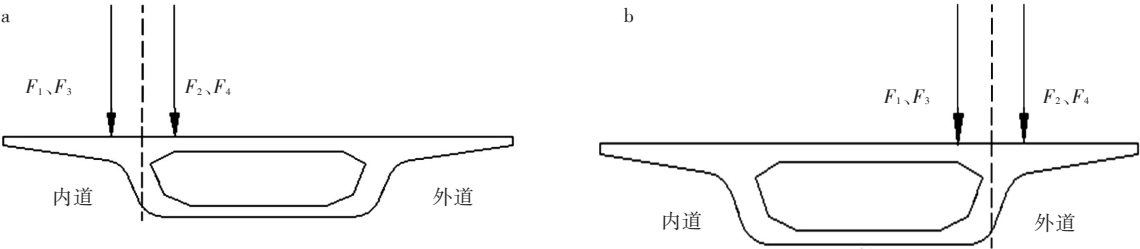


图3 车辆荷载作用模式:(a) 荷载作用于内道,(b)荷载作用于外道

Fig. 3 Vehicle loads action mode:(a) Loads acting on inside road;(b) Loads acting on outside road

表1 移动荷载加载工况		
Tab. 1 Work condition of moving load		
荷载作用位置	荷载速度 / (m/s)	工况
内道	10	工况 1
	15	工况 3
	20	工况 5
外道	10	工况 2
	15	工况 4
	20	工况 6

1.3 有限元模型

采用 ANSYS 中的 SOLID65 单元来模拟混凝土,采用 PIPE20 单元来模拟钢筋,将主梁简化为弹性支座上的简支箱梁,建立曲线箱梁有限元模型,如图 4 所示。有限元模型一共划分为 11 340 个单元,17 765 个节点,以内道顶板顶点为坐标系原点 O ,选取薄壁箱梁截面平面为空间直角坐标系 x - y 轴平面,垂直于该平面轴线为 z 轴,建立空间直角坐标系 $Oxyz$,约束边界条件采用面约束条件,施加一端约束 UX 、 UY 、 UZ ,另一端约束 UX 、 UY ^[13]。

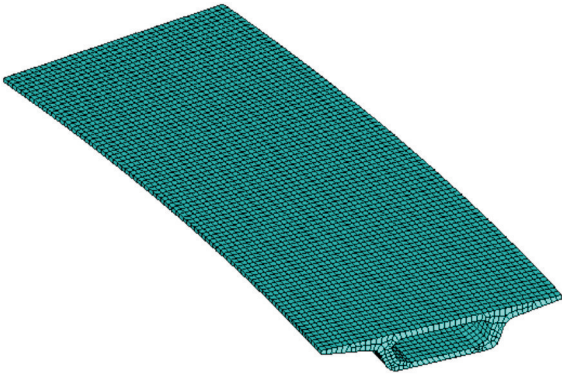


图4 曲线箱梁有限元模型

Fig. 4 Finite element model of curved box girder

2 剪力滞分析

4 个点以匀速同时通过曲线箱梁,记录所用总时间为 t ,将加载时间调到 $t/2$ 时,移动荷载重心刚好经过跨中截面 $L/2$ 处,此时该截面上作用的效果最明显^[14]。因此选择跨中截面为研究对象,取出该截面上节点号,读出应力值。由于剪滞系数某种程度上反映了截面应力分布的不均衡性,因此在进行剪力滞效应分析时,以剪滞系数作为参考。文献^[1-2]定义剪滞系数为 $\lambda = \frac{\sigma}{\bar{\sigma}}$,式中: λ 为剪滞系数, σ 为箱梁实际应力值, $\bar{\sigma}$ 为初等梁理论计算值。按上述方法,得到各工况下跨中截面翼板剪滞系数如图 5 所示。

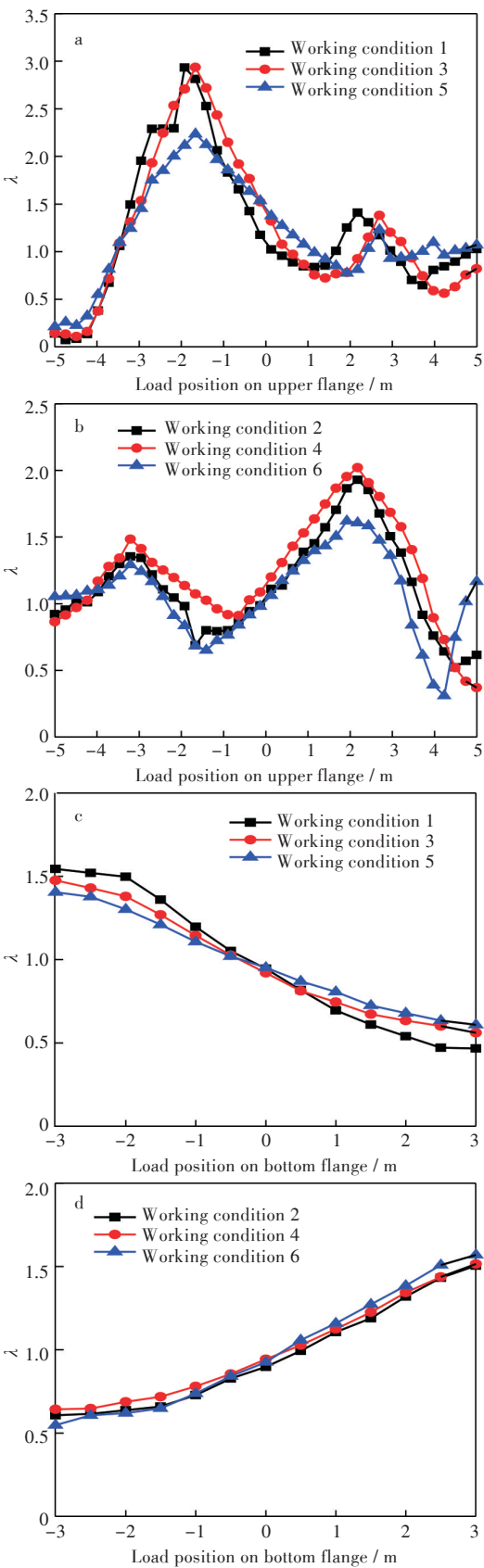


图5 荷载作用(a)内道和(b)外道时顶板剪滞系数;荷载作用(c)内道和(d)外道时底板剪滞系数

Fig. 5 Shear lag coefficients of upper flange with loads acting on (a) inside road and (b) outside road; Shear lag coefficients of bottom flange with loads acting on (c) inside road and (d) outside road

考虑到曲率^[15]影响,薄壁曲线箱梁存在扭转效应,故分析结果没有对称性,由图5知:

1)当荷载沿内道移动时,顶板剪滞系数在两侧肋板交界处形成峰值,峰值高达3.0,剪滞效应严重,随着车速由10 m/s增加到20 m/s,剪滞系数峰值表现为先减小后增大;对于底板,车速增加时,剪滞系数变化不大,沿横向由内道到外道一直减小。

2)当荷载作用在外道时,当车速由10 m/s增加到20 m/s时,顶板剪滞系数峰值先增大后减小,底板剪滞系数沿横由内道到外道一直增大,这点与荷载作用在内道完全相反。

3)在相同的速度下,当荷载沿内道移动时,内侧剪滞系数峰明显大于外侧;当荷载沿外道移动时,外侧剪滞系数峰值则大于内侧,但就剪力滞严重程度而言,荷载作用在内道时明显大于作用外道。

3 结 语

基于ANSYS有限元程序,通过建立混凝土曲线箱梁空间实体有限元模型,分析了2种不同荷载作用位置和3种不同速度影响下曲线箱梁剪力滞效应,通过对这一具体的工程实例进行研究与分析,得出如下结论:

1)在车辆荷载作用下,薄壁箱梁跨中截面呈现出明显的剪力滞效应,剪滞系数峰值高达3.0,应力集中相当严重,剪滞系数曲线与现有的薄壁箱梁剪力滞效应理论结果相符合。

2)速度对顶板剪力滞效应影响较大,具体为当荷载作用内道时,剪滞系数峰值随着速度增加先减小后增大;当荷载作用外道时,剪力滞峰值随着速度增加先增大后减小。对于底板,速度对剪力滞效应影响较小,剪力滞规律不明显。

3)荷载作用位置对翼板剪滞系数有一定影响,荷载作用侧的剪滞系数峰值大于另一侧峰值,相较于外道,荷载作用内道时剪力滞效应更严重。

参考文献:

[1] 项海帆. 高等桥梁结构理论[M]. 2版. 北京:人民交

通出版社,2013.

- [2] EVANS H R, TAHERIAN A R. The prediction of the shear lag effect in box girder [J]. Institution of Civil Engineers, 1977, 63(1): 69-92.
- [3] SA-NGUANMMANSAK J, CHAISOMPHOB T, YAMAGUCHI E. Stress concentration due to shear lag in continuous box girders [J]. Engineering Structures, 2007, 29(7): 1414-1421.
- [4] LERTSIMA C, CHAISOMPHOB T, YAMAGUCHI E, et al. Deflection of simply supported box girder including effect of shear lag [J]. Computers & Structures, 2005, 84(1/2): 11-18.
- [5] 卢海林, 蔡恒, 汤正. 多室连续曲线箱梁剪滞效应地震反应分析[J]. 世界地震工程, 2016, 32(4): 164-170.
- [6] 赵青, 肖卓. 曲线箱梁桥的动力学特性参数分析[J]. 世界地震工程, 2010, 26(1): 197-201.
- [7] 刘健新, 马麟, 胡庆安. 薄壁箱梁振动时的剪力滞效应[J]. 郑州大学学报(工学版), 2008, 29(3): 122-125.
- [8] GOMEZ H C, FANGNING P J, FENG M Q, et al. Testing and long term monitoring of a curved concrete box girder bridge [J]. Engineering Structures, 2011, 33(10): 2861-2869.
- [9] 卢海林, 蔡恒, 汤正. 移动荷载作用下薄壁曲线箱梁剪力滞效应分析[J]. 铁道建筑, 2016(9): 14-18.
- [10] YAMAGUCHI E, CHAISOMPHOB T, SA-NGUANMANASAK J, et al. Stress concentration and deflection of simply supported box girder including shear lag effect [J]. Structural Engineering and Mechanics, 2008, 28(2): 207-220.
- [11] 谭志文. 连续曲线钢箱梁桥剪力滞效应研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [12] 莫金利. 车辆动荷载作用下预应力混凝土曲线箱梁桥剪力滞效应分析[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2013.
- [13] 李洪. 曲线连续箱梁桥剪力滞效应分析及实用计算[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [14] 王新敏. ANSYS工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [15] 彭大文, 颜海. 曲线箱梁剪力滞系数实用算法[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2001, 29(6): 92-97.

本文编辑: 苗 变