

宽弯现浇箱梁折面梁格模型与单梁模型 应力对比分析

叶超

国家林业和草原局 昆明勘察设计院,云南 昆明 650216

摘要:为提高桥梁施工质量,实现精细化设计理念,采用 MIDAS/Civil 软件进行空间三维建模,并进行抗倾覆、抗裂验算,对比分析宽弯现浇箱梁的折面梁格模型与单梁模型在不同荷载组合作用下的应力。结果表明:折面梁格模型可准确反映箱梁的整体稳定性及各腹板的受力情况,在持久状况正常使用极限状态、持久状况和短暂状况下,构件的应力分析存在一定的局限性,需结合单梁模型进行整桥的安全验算。

关键词:宽弯现浇箱梁;折面梁格模型;单梁模型;抗倾覆;抗裂模型;精细化设计

中图分类号:U448.21⁺3

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2022)02-0048-06

引用格式:叶超.宽弯现浇箱梁折面梁格模型与单梁模型应力对比分析[J].山东交通学院学报,2022,30(2):48-53.

YE Chao. Stress comparison and analysis between the folded grid model of cast-in-situ box girder and the single beam model[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(2): 48-53.

0 引言

近年来现浇箱梁因整体性好、抗扭刚度大、受地形条件限制小等优点被广泛运用^[1]。在城市立交匝道及云南、贵州等地地形条件较为复杂地区建设高等级公路桥梁,大多采用单箱多室现浇箱梁结构。常采用平面杆系单梁模型、梁格模型等计算方式对单箱多室现浇箱梁桥进行结构安全性验算。文献[2]在混凝土桥梁的空间效应分析、极限状态验算、应力扰动区配筋、箱梁抗倾覆等结构理论和设计方法方面提出了新要求,对提高混凝土桥梁的质量和技术水平具有重要意义。

本文以某机场高速匝道桥为研究对象,分别建立折面梁格模型和单梁模型,并通过抗倾覆、抗裂等计算对比2种模型是否可以准确反应箱梁在抗倾覆验算中支座最不利的受力状态及各腹板的剪力。

1 工程概况

该工程为机场航站楼现浇预应力混凝土箱型梁桥,桥跨布置为(24+25+24)m,结构形式连续。桥宽33.2 m,单箱7室,双支座截面,桥面布设双向8车道。桥梁整体位于半径为600 m的圆曲线上,桥面无加宽。主梁采用C50混凝土,桥面铺设厚8 cm的现浇混凝土及厚10 cm的沥青混凝土,如图1所示。

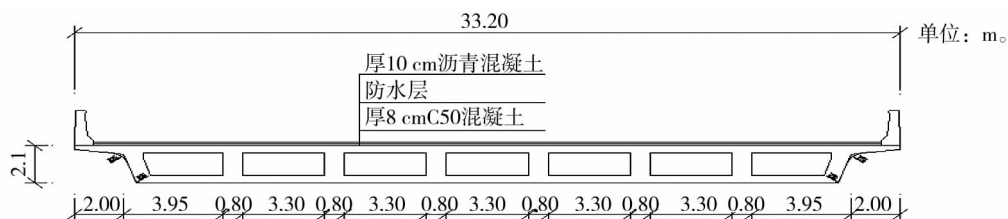


图1 主梁标准横断面

收稿日期:2021-05-21

作者简介:叶超(1988—),男,昆明人,工程师,主要研究方向为道路、桥梁规划设计,E-mail:451790084@qq.com。

2 建模及验算

采用 MIDAS/Civil 软件进行空间三维建模,边界条件为一般支承,按 A 类构件考虑^[3-5]。建立单梁模型,利用 MIDAS 建模助手建立折面梁格模型,采用致密划分^[6],施工阶段采用一次成桥模拟,如图 2 所示。

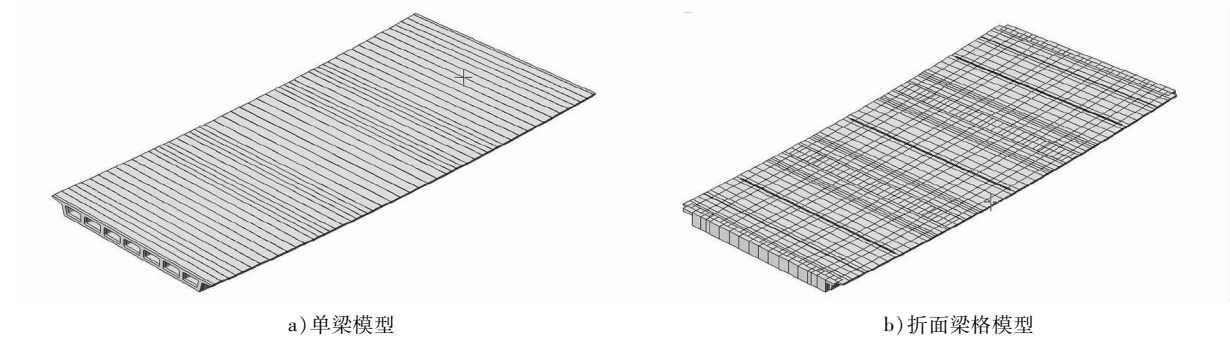


图 2 单梁、折面梁格模型离散图

2.1 建模参数

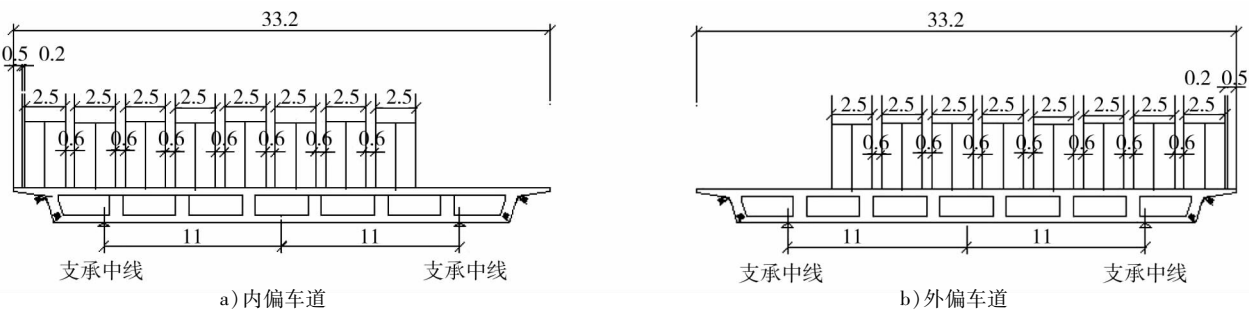
箱梁所用材料的设计参数如表 1 所示。

表 1 材料的设计参数

C50 现浇混凝土		C50 沥青混凝土			低松弛钢绞线				锚具及波纹管		
标准抗压强度 f_{ck}/MPa	标准抗拉强度 f_{tk}/MPa	材料密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	线膨胀系数 α	相对湿度	标准强度 f_{pk}/MPa	控制张拉应力 σ_{con}/MPa	弹性模量 E_p/GPa	松弛系数 ζ	钢管束道摩阻系数 μ	钢管束道偏差系数 k	单端锚具变形及回缩值 $\Delta l/\text{m}$
32.4	2.65	2600	1.0×10^{-5}	0.7	1860	1395	195	0.3	0.2	0.001 5	0.06

箱梁计算荷载包括 5 步。

- 1)计算恒载按实际断面计算结构质量,钢筋混凝土的密度为 2653 kg/m^3 ,二期恒载按 2.5 kN/m^2 计算。
- 2)确定系统温度根据桥位处气象资料,本桥温度荷载拟定体系升温 $19\text{ }^{\circ}\text{C}$,体系降温 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 3)计算梁截面温度按文献[7]中厚 100 mm 沥青混凝土铺装层竖向日照温差的温度基数取桥面梁截面温度荷载。正温差 $\Delta T_1=14\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta T_2=5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;负温差 $\Delta T_1=-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta T_2=-2.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 4)支座不均匀沉降按照不均匀沉降为 5 mm 计算。
- 5)移动荷载公路 I 级车道荷载,双向 8 车道,横向车道布载系数为 0.5 ,计算跨径为 25 m ,纵向不折减。模拟最不利车道布载形式,分别建立内偏车道和外偏车道荷载工况^[8],如图 3 所示。



单位:m。

图 3 内、外偏车道荷载工况

2.2 验算结果对比

2.2.1 抗倾覆验算

文献[2]规定,持久状况下桥梁不应发生结构体系改变,并应同时满足多项要求。

1)在基本组合作用下,单向受压支座始终保持受压状态,即

$$1.0R_{Gk,i} + 1.4R_{Qk,i} \geq 0,$$

式中: $R_{Gk,i}$ 为永久作用下支座反力, $R_{Qk,i}$ 为可变作用下支座反力。

对单梁模型及折面梁格模型进行分析计算,取 $R_{Qk,i}$ 最不利工况,即结果-反力-移动荷载最小反力工况^[9],结果如表2所示。

表2 车道偏载作用下不同模型支座最小反力 kN

位置		车道内偏作用下支座最小反力		车道外偏作用下支座最小反力	
		单梁	折面梁格	单梁	折面梁格
桥台0	内侧	-145.8	-166.6	-213.8	-159.5
	外侧	-210.8	-161.2	-146.7	-172.5
桥墩1	内侧	-257.5	-281.3	-288.7	-241.5
	外侧	-292.7	-239.3	-268.2	-283.4
桥墩2	内侧	-255.0	-277.4	-294.4	-241.7
	外侧	-292.2	-241.3	-259.8	-281.8
桥台3	内侧	-156.8	-170.4	-213.5	-160.2
	外侧	-209.5	-160.7	-158.8	-176.1

由表2可知:车道内偏作用下折面梁格模型的内侧支座最小反力比外侧大,内侧支座受力更不利,单梁模型则相反。通过结构力学计算分析,箱梁支座间距大,车道布载多,空间效应明显^[10-12],单梁模型以主梁轴线(仅一个主梁)作为移动荷载反力的计算轴线明显有误,单梁模型在模拟支座脱空时失真;梁格模型以横向联系梁作为受力支撑单元^[13-14],再通过刚度分配传递给主梁后进行分析计算,准确反应了车道偏载情况下最不利支座的实际情况。

2)标准组合作用下,整体式截面简支梁和连续梁的作用效应符合文献[2]的要求,即

$$(\sum S_{lk,i} / \sum S_{sk,i}) \geq k_{qf},$$

式中: k_{qf} 为横桥向抗倾覆稳定系数,取 $k_{qf}=2.5$; $\sum S_{lk,i}$ 为使上部结构稳定的效应设计参数; $\sum S_{sk,i}$ 为使上部结构失稳的效应设计参数。

采用 MIDAS/CDN 软件对单梁模型及折面梁格模型进行后处理分析,得到失稳效应设计倾覆力矩的计算结果如表3所示。

表3 车道偏载作用下失稳效应设计倾覆力矩 kN·m

位置		内偏荷载工况倾覆力矩		外偏荷载工况倾覆力矩	
		单梁	折面梁格	单梁	折面梁格
桥台0	内侧	51 207	50 818	24 170	24 609
	外侧	23 997	24 715	50 802	51 101
桥墩1	内侧	49 841	48 495	23 353	22 387
	外侧	23 550	22 734	49 931	49 160
桥墩2	内侧	49 932	48 593	23 498	22 442
	外侧	23 666	22 802	49 950	49 265
桥台3	内侧	51 397	50 797	24 331	24 649
	外侧	24 062	24 690	50 882	51 092

由表3可知:车道偏载作用下折面梁格模型的失稳效应设计倾覆力矩普遍小于单梁模型,对抗倾覆稳定系数的影响有限。

2.2.2 腹板受力的分配效应

计算单梁模型及折面梁格模型荷载工况下承载能力极限状态下的腹板剪力,如图4所示。

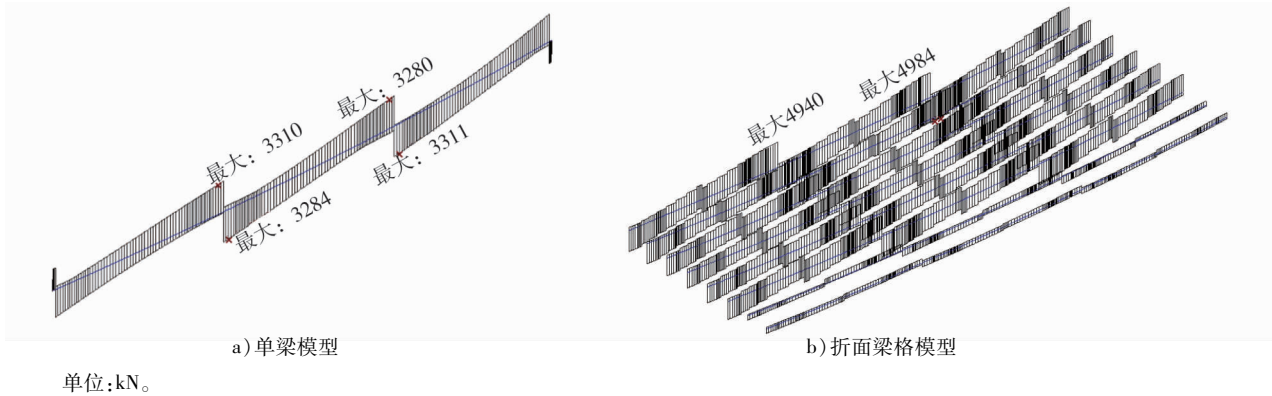


图4 单梁、折面梁格模型荷载基本组合情况下的腹板剪力图

由图4可知:折面梁格模型可反映箱梁各腹板的内力分配^[15];单梁模型只能单纯的反映所有腹板的剪力之和,不能反映各腹板间差异,与文献[2]要求精细化设计理念结合不够充分。

折面梁格模型在车道偏载作用下的最大剪力如表4所示。

表4 折面梁格模型在车道偏载作用下的最大剪力

kN

布置	腹板1	腹板2	腹板3	腹板4	腹板5	腹板6	腹板7	腹板8
外偏车道	504	439	395	334	353	393	131	106
内偏车道	91	131	397	354	333	392	438	494

注:外、内偏车道布置下单梁剪力合计分别为3311、3308 kN。

由表4可知:在不同极限位置车道布载情况下,折面梁格模型反映出各腹板间受力相差较大,最大剪力比最小剪力大约5.43倍。

2.2.3 持久状况正常使用极限状态分析对比(抗裂验算)

折面梁格结构按A类预应力现浇混凝土构件考虑,需满足文献[2]规定。

1)在频遇组合作用下,应满足

$$\sigma_{st} - \sigma_{pc} \leq 0.75f_{tk},$$

式中: σ_{st} 为混凝土边缘的法向拉应力, σ_{pc} 为扣除全部预应力损失后的预加力所产生的混凝土边缘压应力。

对单梁模型及折面梁格模型进行分析计算^[16-17],在正常使用极限状态频遇组合作用时的上、下缘拉应力如图5、6所示。

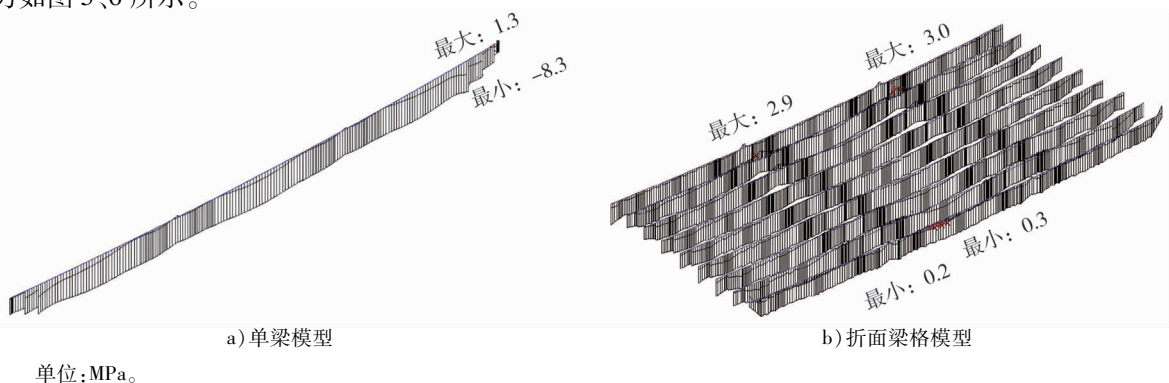


图5 单梁、折面梁格模型频遇组合下结构上缘的拉应力

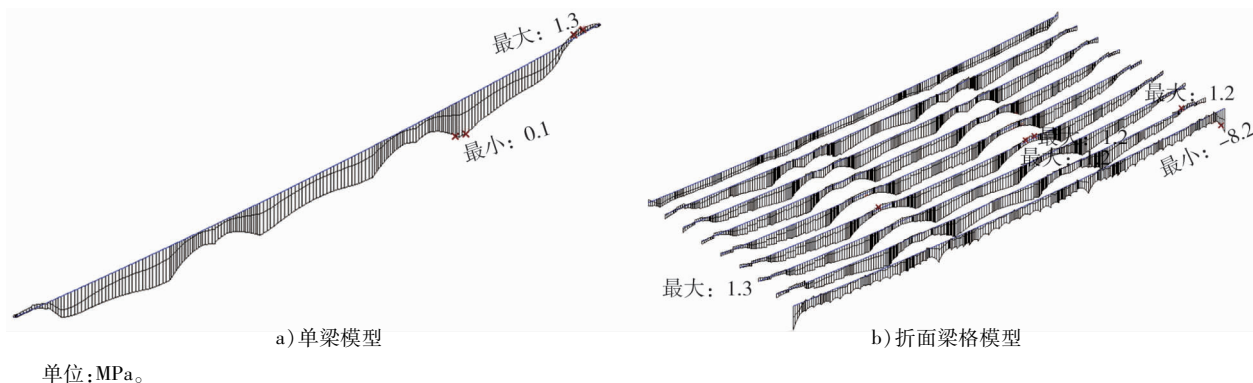


图6 单梁、折面梁格模型频遇组合下结构下缘的拉应力

由图5、6可知:单梁模型在合理的预应力调束状态下,混凝土上、下缘频遇组合下的拉应力均未超过 $0.75 f_{tk}$,但相同的配束情况下(预应力束主要配置在腹板及加腋处,折面梁格在横向单元划分的时候会出现翼板分配不到预应力的情况),折面梁格模型划分后未配束的主梁出现较大的边缘拉应力,不满足文献[2]的抗裂验算要求。

2)在准永久组合作用下,混凝土边缘不出现拉应力,即

$$\sigma_{lt} - \sigma_{pc} \leq 0,$$

式中 σ_{lt} 为准永久组合下混凝土边缘的法向拉应力。

对单梁模型及折面梁格模型进行分析计算,正常使用极限状态准永久组合的上、下缘拉应力^[18]如图7、8所示。

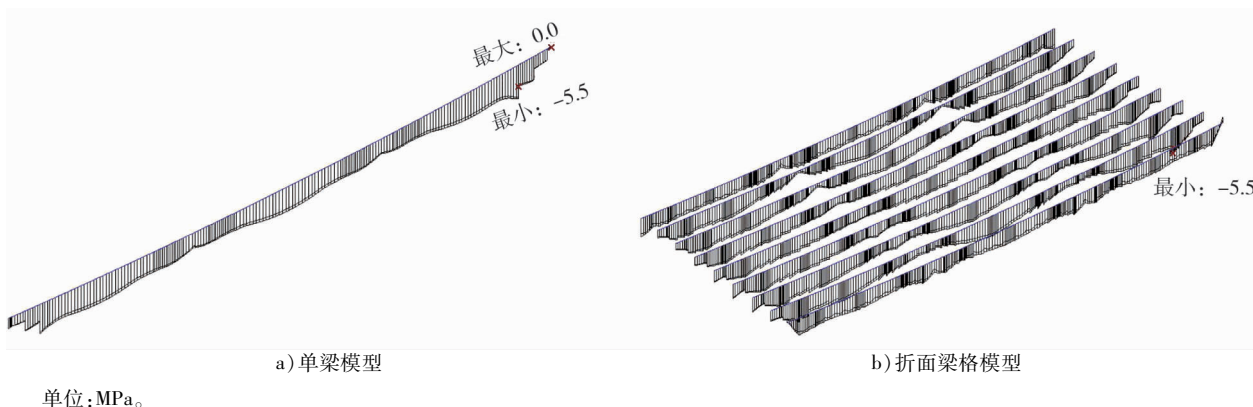


图7 单梁、折面梁格模型准永久组合下结构上缘的拉应力

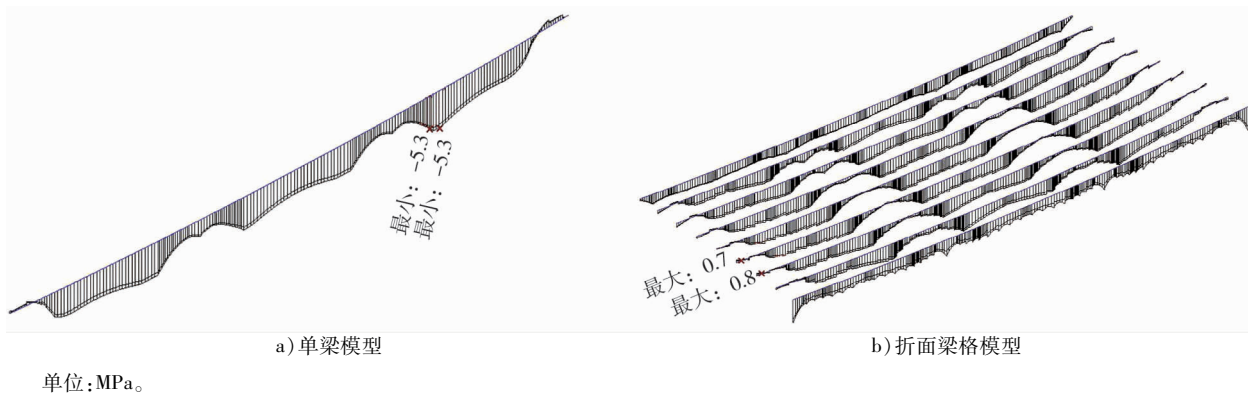


图8 单梁、折面梁格模型准永久组合下结构下缘的拉应力

由图7、8可知:单梁模型在合理的预应力调束状态下,满足文献[2]规定,混凝土上、下缘准永久组合下不出现拉应力,但相同的配束情况下,折面梁格模型划分后未配束的主梁出现拉应力,不满足抗裂验算

要求。

通过以上分析可以推断:构件的单梁模型和折面梁格模型在持久状况和短暂状况构件的应力分析(标准值组合、施工阶段分析^[19-20])中,也有不合理现象,原因是梁单元横向划分后没有分配到预应力束。

3 结论

1)折面梁格模型在空间效应的影响越大时越能准确反映最不利支座情况,且能更准确模拟失稳情况。

2)折面梁格模型可准确反映各腹板的受力情况。每片腹板受力情况存在较大差异,最大剪力比最小剪力约大5.43倍。

3)折面梁格模型因横向划分主梁后出现梁单元没有分配到预应力的情况,不能正确反映上结构在持久状况正常使用极限状态、持久状况和短暂状况的应力状态。

为提升未来公路混凝土桥梁建造技术及公路建设质量,设计宽弯箱梁时应严格履行文献[2]提出的精细化设计理念,尤其进行抗倾覆计算及多腹板的空间效应分析时,通过折面梁格模型进行结构分析,对结构安全性验算及设计更具有实际指导意义,但应结合单梁模型进行其余结构的安全验算。

参考文献:

- [1] 中交公路规划设计院有限公司.《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》应用指南[M]. 北京:人民交通出版社,2018.
- [2] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG 3362—2018[S]. 北京:人民交通出版社,2018.
- [3] 城市道路路线设计规范: CJJ 193—2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [4] 邵旭东. 桥梁工程[M]. 5版. 北京:人民交通出版社,2019.
- [5] 范立础. 桥梁工程[M]. 3版. 北京:人民交通出版社,2017.
- [6] 北京迈达斯技术有限公司. 分析设计原理[Z]. 北京:北京迈达斯技术有限公司,2010.
- [7] 公路桥涵设计通用规范: JTG D60—2015[S]. 北京:人民交通出版社,2015.
- [8] 张全阳,李坤. 城市宽箱梁桥的数值计算方法比较研究[J]. 城市道桥与防洪,2014(5): 220-222.
- [9] 孙艳丽. 现浇预应力混凝土连续箱梁结构稳定性分析[J]. 湖北理工学院学报. 2019,35(3): 43-47.
SUN Yanli. Analysis of structural stability of cast-in-place prestressed concrete continuous box girder[J]. Journal of Hubei Polytechnic University,2019,35(3): 43-47.
- [10] 张稳. 梁格法在多室宽箱梁中的研究与应用[D]. 武汉:武汉理工大学,2014.
ZHANG Wen. Research and application of the grillage method used on multi-room wide girder bridge[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology,2014.
- [11] 李建,阙磊. 宽箱梁折面梁格计算分析研究[J]. 北方交通,2020(2): 27-30.
LI Jian, QUE Lei. Research on calculation and analysis of folded-beam grillage of wide box beam[J]. Northern Communications,2020(2): 27-30.
- [12] 张晋媛. 基于折面梁格的小半径弯桥计算[J]. 河南城建学院学报,2015,24(5): 16-21.
ZHANG Jinyuan. Calculation of curved-bridge with small radius fold-surface beam-grid[J]. Journal of Henan Urban Construction,2015,24(5): 16-21.
- [13] 兰志昆. 基于梁格法的大曲率箱梁桥力学特性研究[J]. 交通科技,2021(2): 34-39.
- [14] 杨晓超. 梁格法在曲线箱梁桥分析中的应用[D]. 长沙:长沙理工大学,2013.
YANG Xiaochao. The application of grillage analysis method in curved box girder bridge[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology,2013.
- [15] 张元海. 桥梁结构理论分析[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [16] 喻明. 现浇预应力连续箱梁结构分析及施工控制[J]. 装饰装修天地,2019(16): 302.
- [17] 陈海洋. 预应力混凝土空心简支板持久状况及抗裂验算分析[J]. 城市道桥与防洪,2016(10): 64-67.
- [18] 杨金雷,滕取辞. 关于普通钢筋混凝土结构设计中梁裂缝控制验算的探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版),2011(17): 1-3.

(下转第107页)