

多主梁斜交钢桥简化分析方法研究

彭鑫¹, 梁金梅²

(1. 南宁市建筑规划设计集团有限公司, 广西 南宁 530001; 2. 广西医科大学, 广西 南宁 530021)

摘要: 为提高设计分析效率, 准确计算多主梁斜交钢桥的荷载效应, 提出采用横向分布系数简化计算此类钢桥, 分别采用梁格模型与单梁模型, 从钢梁应力、变形、自振频率等指标分析简化方法的适用性。结果表明, 多主梁斜交钢桥荷载分布具有空间特性, 主要体现在支反力、剪应力不均匀分布。总体上, 采用横向分布系数简化的单梁模型, 在斜交角小于 25° 时, 其应力、变形、疲劳等分析精度能满足实际工程需求。

关键词: 分离式; 钢桥; 斜交; 梁格法; 单梁模型

中图分类号: U448.36; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)04-0215-05

Research on Simplified Analysis Methods for Multi-Girder Skewed Steel Bridges

PENG Xin¹, LIANG Jinmei²

(1. Nanning Architectural and Planning Design Group Co., Ltd., Nanning 530001, China; 2. Guangxi Medical University, Nanning 530021, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of design analysis and accurately calculate the load effects of multi-girder skewed steel bridges, it is proposed to use the lateral distribution coefficients to simplify the calculation of such steel bridges. The beam grillage model and the single-beam model are used to analyze the applicability of the simplification method from the indicators such as steel beam stress, deformation and natural frequency. The results show that the load distribution of multi-girder skewed steel bridges has the spatial characteristics, mainly reflected in the uneven distribution of support reactions and shear stress. Overall, the single-beam model simplified using lateral distribution coefficients can meet the practical engineering requirements for stress, deformation and fatigue analysis when the skew angle is less than 25° .

Keywords: separate type; steel bridge; skewed; beam grillage method; single beam model

0 引言

随着城市发展及路网完善程度提升, 城市新建道路与既有道路交叉愈发普遍。二者道路功能、等级、规模、管理权属单位等存在差异, 跨线桥建设受控因素较多, 通常成为工程建设控制性节点。

《公路涉路施工活动技术评价规范》(DB45/T 1202—2024)^[1]第6.3.1.6条“上跨高速公路、一级公路的桥梁, 原则上应采用一跨跨越方式, 桥梁结构采用钢制轻型结构(如钢箱梁或钢混组合梁), 施工采用吊装、转体、顶推、全封闭挂篮等方法, 减少对公路运营的影响”。

多主梁分体式钢梁较整体式钢箱梁, 具有单片梁重轻, 节段少, 减少了现场作业及对安装机械、临时设施的需求, 安装时机也便于根据既有道路通行情况适时调整, 有利于推进桥梁建设往“标准化设计、工业化生产、装配化施工、信息化管理、智能化应用”方向发展^[2-3]。

荷载横向分布系数已普遍应用在中小跨径预应力混凝土装配式梁桥设计中, 常用计算方法有刚(铰)接板梁法^[4-6]、(修正)偏心压力法^[7-8]、杠杆法^[9]。

李淑芬等^[10]对常用荷载横向分布计算方法进行了比较, 结果表明刚接板梁法、修正偏压法、G-M法和考虑抗扭的弹支连梁法计算结果基本一致, 且和有机玻璃模型试验结果吻合。钟小军^[11]采用静载试验加载在装配式预应力混凝土简支小箱梁上, 结果表明刚接板梁法与有限元计算、实测应力结果接近, 杠杆法可用于计算支点剪力。刘晓鸣等^[12]对装配式

收稿日期: 2025-09-28

作者简介: 彭鑫(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事市政结构设计工作。

通信作者: 梁金梅(1991—), 女, 硕士, 工程师, 从事工程管理及科研工作。电子信箱: 526119391@qq.com

小箱梁桥分别采用梁格法、刚性横梁法、刚接板梁法进行对比分析,结果表明空间与平面结构分析吻合较好。钱寅泉等^[13]对比分析了刚接板梁法、刚性横梁法、G-M法、有限元法,结果表明在窄桥(宽跨比小于0.5)中各种计算方法误差均不大,推荐采用刚性横梁法,宽桥(宽跨比大于0.5)则推荐采用G-M法。

现有研究在常规桥梁设计上已经较为全面,但仍有以下工程问题亟需解决:

现有研究对象主要为装配式混凝土梁,尚未见有对多主梁钢桥的研究。其次,现有研究多主梁钢桥简化分析方法时,研究对象大多为正交桥梁,未见有对斜交情况的多主梁钢桥研究。

因此本文从设计控制因素出发,研究多主梁斜交钢桥简化分析方法的适用性,以便于在设计阶段对多主梁式钢桥总体受力情况进行快速分析。

1 研究对象

本项目道路与既有绕城高速公路(现状为双向四车道,标准横断面宽26 m)相交,斜交角 24° 。经与高速公路管理单位对接,本项目桥梁设计预留绕城高速远期改扩建为双向十车道的条件。桥梁主跨采用60 m斜交多主梁分离式钢箱梁,一孔通过既有高速公路,现状高速公路中分带不设桥墩。墩台平行布置。

桥梁采用上、下行分幅设计,以左幅桥为研究对象,左幅桥面全宽19.34 m,宽跨比小于0.5。

主梁等高布置,梁高3 m,箱室宽2 m,分离式箱室横向中心距3.63 m,悬臂1.41 m,左幅共2片边梁、3片中梁。顶板厚16 mm,腹板厚14 mm,底板在跨中32 m范围内厚25 mm,其余厚18 mm。

主梁采用Q355C钢材,剪切模量 $G=0.79\times 10^5$ MPa,弹性模量 $E=2.06\times 10^5$ MPa。

荷载横向分布计算内容主要包含活载车道系数、二期恒载。

车道荷载为城—A级,疲劳荷载计算模型Ⅰ^[14]。

采用桥梁博士V4.4.1,分别建立左、右幅梁格模型、单梁模型(见图1、图2)。在设置横梁及截面变化处划分单元,并按单元长度不大于1.5 m加密节点。边界条件与施工阶段一致,吊装主梁阶段各片主梁均为简支,安装横梁阶段全桥整体简支(释放多余的横向约束及转动约束)。

梁格模型采用影响面加载;单梁模型按荷载横向分布系数计算结果加载,其中支点采用杠杆法(横

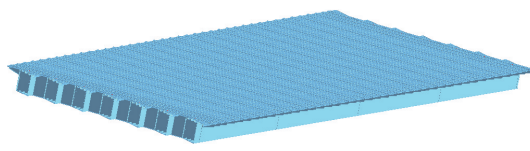


图1 梁格模型

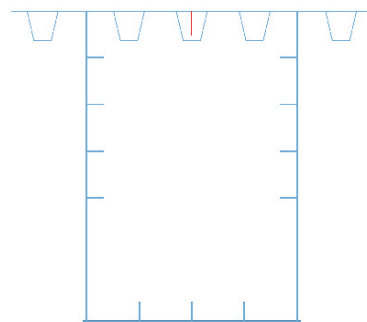


图2 简化单梁模型

向分布系数为),跨中采用刚性横梁法,线性变化点位于 $1/4L$ 。荷载横向分布系数取值为:边梁支点1.43、跨中0.68,中梁支点1.15,跨中0.63。建模复杂程度比较见表1。

表1 建模复杂程度比较

分析方法	节点数	单元数	建模时长	计算时长
梁格法	497	816	8 h	47 min
简化单梁	45	44	15 min	18 s

以往多主梁分体式钢桥设计往往采用梁格法分析,梁格法在分析效率与分析精度上具有较好平衡,考虑了结构空间受力特性,但梁格法力流传递复杂、建模时间长、设计调整工作量大。

城市道路受用地、投资等复杂因素限制,往往左、右幅桥宽不同,且断面、线形调整往往伴随着设计全过程。当路幅宽度或线形调整时,梁格法需要重新划分网格,完全重新建模,简化单梁法仅重新输入横向分布系数或曲线参数即可,无需重复建模。

对多主梁斜交钢桥简化分析方法开展研究,有利于简化建模工作量,避免反复修改模型,大幅提高设计分析效率,便于设计人员快速掌握桥梁受力情况。

2 对比结果分析

多主梁斜交钢桥受力与整体式斜桥基本相同,但由于施工顺序的影响,其受力又带有部分正交桥的特征。

恒载、活载下主梁弯矩分布见图3、图4。

小宽跨比及小斜交角时,斜桥受弯扭耦合作用影响不显著。活载作用下内力分布呈边梁内力大,中梁内力小的特点。

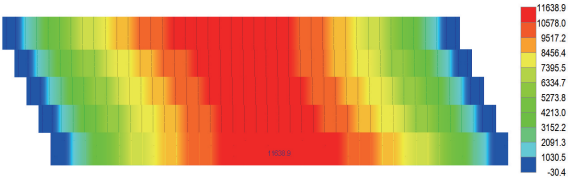


图3 恒载下主梁弯矩分布图

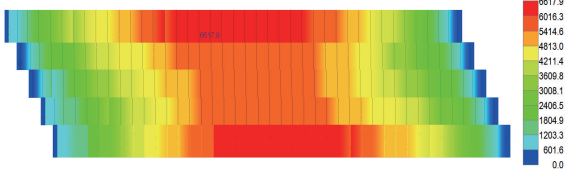


图4 活载下主梁弯矩分布图

对梁格、单梁模型计算的规范主要验算项结果进行分析(见图5~图7及表2)。

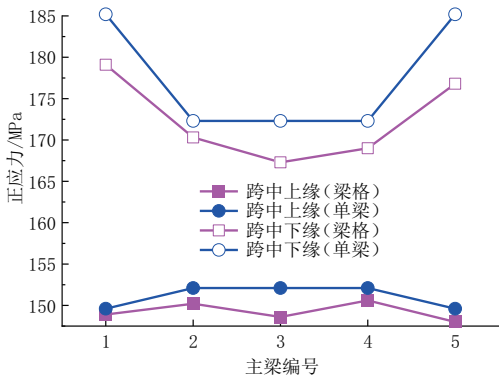


图5 正应力对比图

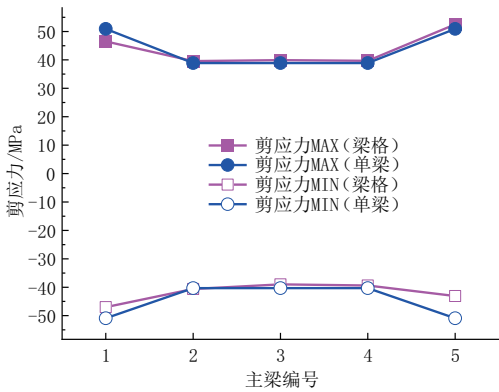


图6 剪应力对比图

表2中括号内、外分别为分片、整体施工情况。正值表示单梁模型计算结果较大。

表2 两模型应力对比分析

项目		左幅		右幅	
		边梁	中梁	边梁	中梁
正应力	上缘(压)	2.6%(0.5%)	2.6%(1.0%)	2.4%(1.3%)	2.9%(0.4%)
	下缘(拉)	4.3%(3.4%)	2.5%(1.2%)	5.4%(4.4%)	0.4%(0.4%)
剪应力	Max	-6.0%(-0.1%)	-2.3%(-1.0%)	-6.9%(-0.8%)	4.6%(2.3%)
	Min	4.0%(8.2%)	1.6%(2.6%)	4.4%(8.7%)	2.0%(1.0%)
折算应力	0.25L	2.7%(2.8%)	1.8%(0.7%)	3.1%(3.2%)	1.0%(-0.2%)
	跨中	6.9%(5.2%)	4.5%(2.5%)	7.1%(5.5%)	3.1%(1.5%)

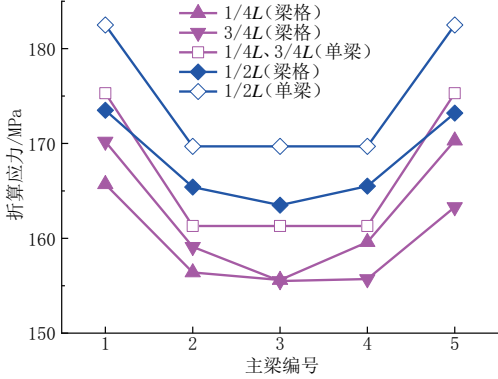


图7 折算应力对比图

结果表明,承载能力极限状态下钢桥主控验算项(弯、剪、折算应力)组合效应设计值,斜交角小于25°时采用简化单梁模型计算精度能满足工程需求。

详细对比模型各计算项发现,斜交多主梁分离式钢桥的最大拉应力并不总发生在跨中,而向钝角方向偏移。

斜交桥两外边梁剪应力分布具有空间特性,以左幅为例,max值在钝角处50.9 MPa,锐角处45.0 MPa,min值在钝角处-47.0 MPa,锐角处-43.1 MPa,各片中梁剪应力分布较均匀(差值低于1 MPa)。

折算应力由正应力与剪应力合成,其分布也带有空间不均匀特性,但剪应力贡献较小。斜交多主梁钢桥的最不利折算应力也不总发生在跨中,具有向钝角方向偏移的特点。

吊装方式采用整体或分片对主梁正应力、剪应力、折算应力影响不大。

疲劳分析结果表明,斜交角小于25°时采用简化单梁模型计算疲劳应力幅精度能满足工程需求(见图8、图9及表3)。

详细对比模型发现,梁格法疲劳剪应力幅沿主梁纵向分布较均匀,跨中、支点疲劳剪应力幅变化不大,单梁模型疲劳剪应力幅沿纵梁分布规律与车道荷载横向分布系数变化规律一致,呈现出支点小,跨中小,线性变化点位于1/4L,表明多主梁钢桥疲劳剪应力幅计算应全跨均按杠杆法计算活载分配系数,

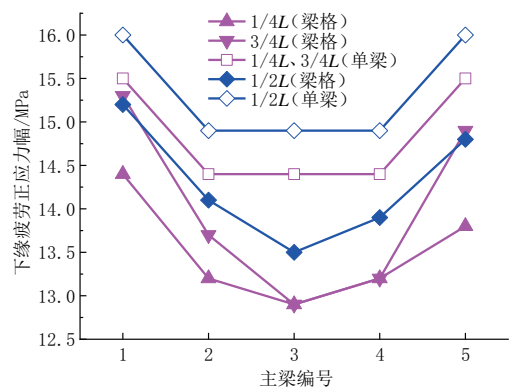


图8 下缘疲劳正应力对比图

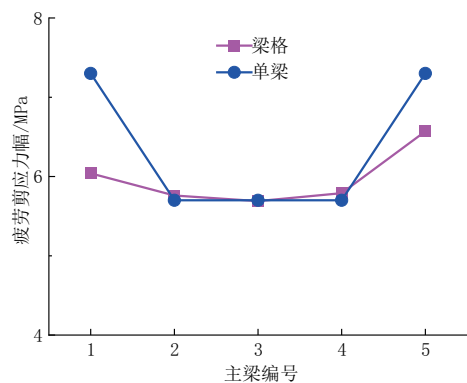


图9 支点疲劳剪应力对比图

表3 疲劳误差分析

项目		左幅边梁	左幅中梁	右幅边梁	右幅中梁
下缘	1/4L	1.6%	4.8%	2.1%	6.2%
拉应力	1/2L	5.4%	5.5%	7.2%	6.9%
剪应力	支点	9.8%	-2.1%	7.6%	-3.9%

见图10。

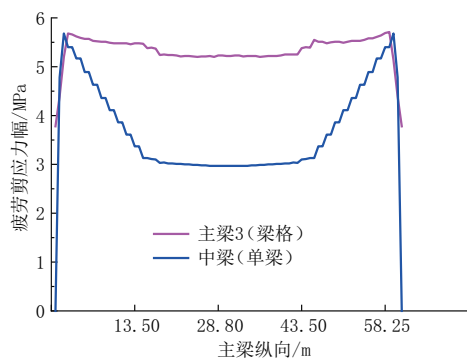


图10 疲劳剪应力沿主梁纵向分布图

吊装方式采用整体或分片对疲劳应力幅影响很小。

梁格法冲击系数采用自振分析,单梁法基频采用规范公式计算^[15]。

结果表明,单梁模型挠度及冲击系数计算精度能满足工程需求(见图11和表4)。

挠度均出现在主梁跨中,无明显空间不均匀分布。

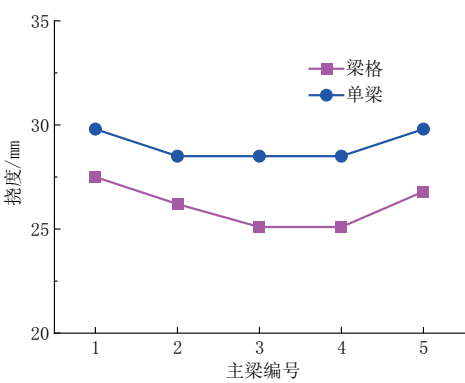


图11 挠度对比图

表4 挠度及冲击系数误差分析

位置	边梁挠度	中梁挠度	边梁冲击系数	中梁冲击系数
左幅	8.7%	8.8%	-2.8%	-2.8%
右幅	10.5%	9.0%	-6.2%	-6.2%

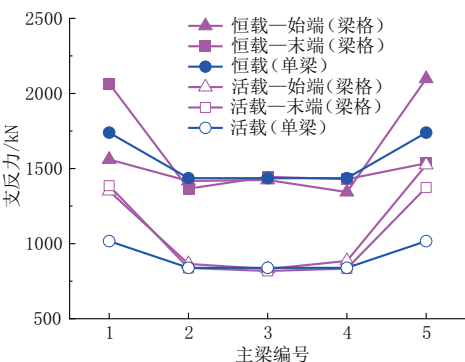


图12 支反力对比图

表5 活载最不利支反力误差分析

位置	左幅边梁	左幅中梁	右幅边梁	右幅中梁
最大支反力	-33.3%	-10.2%	-38.5%	-19.2%
最小支反力	-24.7%	-1.3%	-26.6%	0.3%

支反力计算表明(见图12和表5),斜交多主梁分离式钢桥活载支反力分布具有显著空间不均匀特性,单梁模型难以准确反应这种不均匀分布特性,设计直接采用单梁模型计算结果配置支座会造成支座承载力严重不足。但同一斜交角时不同桥宽和梁片数的支反力计算规律趋于一致,因此斜交角相同且主梁间距变化不大时,设计支座时无需重复建立梁格模型,可按规律适当放大单梁模型支反力结果。

恒载作用下支反力则与施工过程有关,分片吊装较整体吊装均匀性更好,中梁较边梁均匀性更好,支反力最大值在钝角边梁处。

3 结 语

本文从设计控制因素出发,分析简化单梁模型在斜交多主梁钢桥设计中的适用性。

(1)总体上,钢桥正应力、剪应力、折算应力、疲

劳应力幅、基频、挠度等主控验算项,在斜交角小于 25° 时采用简单梁简化模型计算精度能满足工程需求。

(2)最不利正应力、折算应力并不总发生在跨中,而向钝角方向偏移。

(3)两侧外边梁剪应力分布具有空间特性,各片中梁之间剪应力分布较均匀。

(4)疲劳剪应力幅计算应全跨均按杠杆法计算活载分配系数。

(5)恒、活载支反力分布具有显著空间不均匀,但同一斜交角时不同桥宽和梁片数的支反力计算规律趋于一致,因此斜交角相同且主梁间距变化不大时,设计支座时无需重复建立梁格模型,可按规律适当放大单梁模型支反力结果。

(6)吊装方式采用整体或分片对主梁正应力、剪应力、折算应力、疲劳应力幅、挠度、活载支反力影响不大。分片吊装较整体吊装,恒载支反力均匀性稍好。

参考文献:

- [1] DB 45/T 1202—2024 公路涉路施工活动技术评价规范[S].
- [2] 孟凡超,金秀男.我国公路装配式组合结构桥梁技术[J].工程质

量,2025,43(4):1-10.

- [3] 孟凡超,金秀男.我国公路钢桥标准化设计进展与工程实践[J].钢结构(中英文),2024,39(11):11-19.
- [4] 江燕斌.刚接空心板梁桥横向分布系数研究[J].城市道桥与防洪,2017(2):164-168.
- [5] 徐超,丁杰栋,邹智波.铰接板(梁)横向分布系数的计算分析[J].公路交通科技(应用技术版),2014,10(1):173-176.
- [6] 仲轩阳,陈成勇,孔思宇,等.组合多箱梁桥横向分布系数计算研究[J].世界桥梁,2025,53(5):84-90.
- [7] 郑益民.偏心压力法计算荷载横向分布的简化方法[J].中外公路,2006(4):122-124.
- [8] 夏桂云,李传习,曾庆元.偏心压力法的综合修正[J].中外公路,2008(1):113-115.
- [9] 刘志忠.钢-混工字组合梁横向分布系数计算方法研究[J].公路,2021,66(7):157-160.
- [10] 李淑芬,钱永久,马艳峰.荷载横向分布计算方法比较分析[J].湖南工程学院学报,2007,17(1):84-87.
- [11] 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,2013,165(2):17-19.
- [12] 刘晓鸣,陈曦,杨大余.装配式小箱梁桥的荷载横向分布计算[J].山西建筑,2007,33(8):279-280.
- [13] 钱寅泉,周正茂,王素娟,等.装配式小箱梁桥荷载横向分布数值分析与试验[J].公路交通科技,2012,29(1):86-90.
- [14] JTG D64—2015 公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [15] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].

(上接第210页)

来更加轻薄,拱起的主梁曲线与悬垂的刚性索曲线凹凸相互呼应,相互映衬。结构分析结果表明,该桥受力合理,但需重视人致振动控制,必要时可增设减震措施。

(2)本文中的类张弦梁人行桥由于刚性索采用刚性构件钢管,与柔性索相比,可增强结构体系整体刚度,且刚性构件在后期维护与耐久性设计上更容易养护,构件耐久性设计使用年限与主体结构一致,均为50年,无需更换,避免了柔性索每30年需更换的问题,节省了后期养护的难度和费用。上部钢结构桥面用钢量为 399 kg/m^2 。本文论证可为该创新结构体系的推广应用提供一定借鉴,为城市人行桥建设中建筑高度受限制的桥位提供了一种新的设计思路。

参考文献:

- [1] 谢志涛,谢成新,黄文金,等.一种新型张拉整体桥梁结构—张弦梁人行桥结构设计与分析[C]//第二十届全国桥梁学术会议.北京:人民交通出版社,2012:396-404.
- [2] 郭峰.张弦梁结构人行桥的施工全过程数值模拟机参数分析[D].沈阳:东北大学,2008.

- [3] 黎明,杨晖.张弦梁结构在桥梁工程中的应用[J].工业建筑,2008(增刊1):401-405.
- [4] 万杰龙.深圳双界河河口人行桥设计研究[J].工程技术研究,2025,10(7):195-197.
- [5] 曲慧.某公园外轻简支人行桥人致振动响应分析和舒适性研究[J].上海公路,2016(4):61-64.
- [6] 金振奋,张沈斌,郑晓清.翼形悬挑莫比乌斯环结构的计算分析[J].空间结构,2023(12):42-48.
- [7] 蒲国柱,陈大汉.张弦梁结构人行天桥抗震及减震设计研究[J].现代交通科技,2025(22):29-33.
- [8] 黄晓彬.空间刚性主缆自锚式人行悬索桥设计与受力分析[J].上海公路,2024(4):36-40.
- [9] 林长川,李映,凌建中.刚性索悬索桥[J].公路,2000(9):41-45.
- [10] 李映,林长川.刚性索悬索桥研究[J].重庆交通学院学报,2001(1):10-14.
- [11] EN03 2008 Design of footbridges guideline[S].
- [12] 马维康.结合TMD的钢板组合梁人行桥舒适度分析[J].城市道桥与防洪,2025(8):180-184.
- [13] 蔡宪棠,杨燎原,罗雅芳.基于刚度及舒适度的大跨度人行桥振动控制研究[J].中国市政工程,2025(3):141-144;191-192.
- [14] 陈杰,艾辉林,王声云.基于TMD的连续多跨曲线人行桥减振设计研究[J].中外公路,2022,42(5):72-77.
- [15] 宋葵.大跨度人行桥舒适性分析和TMD减振设计[J].城市道桥与防洪,2021(7):118-120;149.