

城市高架简支预制槽形钢混组合梁荷载横向分布研究

陈何峰, 吕沛文

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要:以城市高架简支预制槽形钢混组合梁桥为研究对象,选取了桥面板与钢梁之间的滑移效应、跨间横梁的个数、桥面板板厚、桥梁宽度和跨径、以及主梁刚度等参数,应用有限元方法,全面分析了各因素对该桥型荷载最不利横向分布系数的影响。研究表明:组合梁的界面滑移效应对荷载最不利横向分布系数影响在5%以内;保证跨径一定,组合梁跨间横梁的个数对宽桥荷载最不利横向分布系数的影响在8%以内,对窄桥则更小;桥面板板厚的增加会使荷载横向分布更均匀,宽跨比越大的桥,板厚对最不利横向分布系数的影响越大;保证桥宽不变,随着跨径的增大,荷载最不利横向分布系数逐渐减小,主梁数相同时,随着宽跨比的增大,最不利横向分布系数逐渐增大。梁高的增加会使最不利横向分布系数更大,但最大增幅保持在5%以内。在今后的标准化设计中,可取某几种最不利参数将其余参数进行包络,从而节约设计成本、提高设计效率。

关键词:城市高架简支预制槽形钢混组合梁;最不利横向分布系数;有限元法;宽跨比

中图分类号: U441⁺.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)05-0190-04

0 引言

钢与混凝土组合梁是由钢梁与混凝土桥面板通过一定的连接方式组合在一起使其共同受力的结构,充分发挥了钢梁的抗拉性能以及混凝土的抗压性能,从而节约了材料成本,实现了经济目的^[1]。随着国家绿色建筑产业政策的提出,装配式建筑的发展变得越来越迫切,尤其是在城市高架桥的应用中。槽形钢混组合梁桥抗扭刚度大,较钢板组合梁稳定性高,其跨越能力强,混凝土桥面板避免了传统混凝土梁腹板及底板的开裂现象,提升了耐久性;通过工厂预制、节段拼装,可避免施工时的交通中断,并且安装对场地及设备的要求低,景观效果较好,以其种种优势成为城市高架桥的首选方案。然而,目前对于宽跨比较大或较小的城市高架槽形钢混组合梁最不利横向分布系数的研究尚不完善,李瑞琪等^[2]研究了钢混组合小箱梁的预制桥面板厚度、横向连系梁间距等参数对荷载横向受力的影响。秦照博^[3]分析了混凝土桥面板厚、剪力键密度、钢梁刚度对钢-混简支组合梁桥的荷载横向分布系数的影响,向成修^[4]分析了连接件刚度、曲率半径、主梁间距等变量对组合曲梁横向分布的影响。闫林君等^[5]用不同的计算方法研究了钢板组合梁桥的荷载横向分布规律及影响因

素。以上研究对象与城市高架预制槽形钢混组合梁的构造形式存在一定差异且不够全面,且宽跨比大多在0.5以内,故其结论仅可参考,对本桥型的横向分布规律的研究可进一步清楚细致的理解此类桥梁的受力特点,改善设计质量、降低安全隐患、提高设计效率、方便标准化参数试设计、节约模型的计算成本、对此类桥梁的推广和发展有重要的意义,可为今后的类似的工程设计提供借鉴。

1 计算方法与算例介绍

1.1 计算方法

目前横向分布系数的计算方法有很多,杠杆原理法适用于靠近支点附近横向联系弱的情况;偏心压力法适用于宽跨比不大于0.5横向联系较强的情况;刚接板梁法适用于各主梁间能传递剪力和弯矩的结构;比拟正交异性板法适用于较宽的梁桥。对于槽形钢混组合梁现行规范没有明确计算方法,因此本文利用有限元法进行求解。利用大型有限元软件ABAQUS建立三维实体板壳模型来计算各梁的荷载横向影响线,混凝土板采用实体单元C3D8R模拟,钢梁采用缩减积分壳单元S4R模拟,不考虑钢梁和桥面板之间的界面滑移时,钢梁和桥面板之间采用“TIE”约束,即钢梁上翼缘和桥面板下表面共节点,考虑界面滑移效应时按照实际情况用弹簧单元模拟焊钉连接件,横梁与钢主梁采用共节点的形式连接。对组合梁分别进行车道加载,得到此时各主梁跨中挠度值,由于挠度的

收稿日期: 2021-08-19

作者简介: 陈何峰(1979—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

大小与荷载分配成比例,故可按式计算得某个车道荷载作用下所求梁的荷载横向分布影响线竖标,然后再将其值进行叠加并考虑车道横向折减系数,从而得出各片主梁的荷载最不利横向分布系数。

$$\eta_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sum_{i,j=1}^n f_{ij}} \tag{1}$$

$$m_i = \lambda \sum \eta_{ij} \tag{2}$$

式中: η_{ij} 为横桥向各梁位置处的影响线坐标值; f_{ij} 为第*j*个车道荷载所引起的第*i*号梁跨中位置处的挠度值; m_i 为第*i*号主梁的荷载横向分布系数; λ 为车道横向折减系数。

1.2 算例介绍

本文参数化分析所采用的算例为城市高架简支预制槽形钢混组合梁桥,跨径为30~40 m,桥宽为9~33.5 m,梁高1.6~2 m,设计荷载为城市-A级,主线桥面有边中边三道防撞护栏,匝道两边有护栏,主梁采用开口槽形钢箱梁,其开口间距为2~3 m,主梁个数为2~5根,悬臂长度为1.25~1.3 m,桥面板厚为0.24~0.32 m,主梁板厚20/14/24 mm,组合梁横断面见图1。

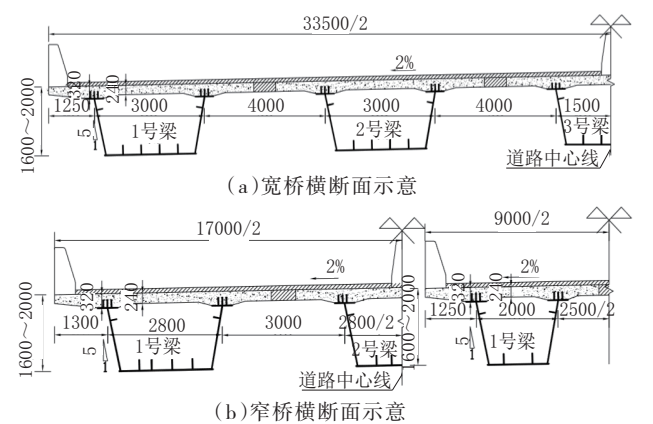


图1 横断面(单位:mm)

2 最不利横向分布系数影响参数化分析

最不利横向分布系数的影响因素有很多,现研究桥面板与钢梁之间的滑移效应、跨间横梁的个数、桥面板板厚、桥梁宽度和跨径、以及主梁刚度等参数对最不利横向分布系数的影响。通过以往分析可知,对于窄桥,一般边梁的荷载横向分布系数最不利,对于宽桥,则是中梁的荷载横向分布系数最不利,本文旨在研究各参数对荷载最不利横向分布系数规律的影响,只以边梁作为研究对象,且只研究活载的横向分布,对于栏杆等恒载的横向分布可在后续研究中进行讨论。

2.1 桥面板与钢梁之间的界面滑移对最不利横向分布系数的影响

钢混组合梁与常规的混凝土桥梁不同的是桥面板与钢梁之间存在界面滑移效应,即在荷载作用下界面之间会产生相对位移,为了提高分析的准确性,可按照实际情况用弹簧单元模拟焊钉连接件,从而模拟界面之间的滑移。端横梁与钢主梁采用共节点的形式连接。本节建立了6组有限元模型,以是否考虑滑移效应为变量,全面分析了宽桥、窄桥的界面滑移效应对荷载最不利横向分布系数的影响。

焊钉连接件直径为19 mm,横向布置3排,间距为150 mm,纵向间距为:支座至1/4跨焊钉连接件间距为100 mm,其余为200 mm,焊钉连接件的抗拔刚度为 5.84×10^7 N/mm,抗剪刚度为 2.61×10^5 N/mm,材质为ML15。其余材料特性与结构构造作为基本参量,建模参数见表1。

表1 组合梁参数表

桥宽/m	是否考虑界面滑移效应	其他参数
9/17/33.5	是	桥面板厚0.24 m、跨径30 m 梁高1.6 m、中横梁0根
	否	

计算得到了三种宽度的槽形钢混组合梁边梁在是否考虑桥面板与钢梁之间界面滑移情况下荷载最不利横向分布系数,其值见表2。

表2 桥宽9 m、17 m、33.5 m 荷载最不利横向分布系数

桥宽/m	是否考虑界面滑移		差值百分比 (否-是)/否
	否	是	
9	1.066	1.078	-1.13%
17	1.015	1.053	-3.71%
33.5	1.120	1.167	-4.20%

根据表2可知,不论是宽桥还是窄桥,是否考虑桥面板与钢梁之间的界面滑移效应对荷载最不利横向分布系数影响不大,最大差值控制在5%以内。

2.2 跨间中横梁个数对最不利横向分布系数的影响

众所周知,钢混组合梁中混凝土桥面板可以起到将活载进行横向分配的作用,但跨间中横梁的分配作用有待进一步研究,尤其是针对城市高架大宽跨比桥梁,因此建立了9组有限元模型,分别为无跨间中横梁,设置1道跨间中横梁、设置3道跨间中横梁,其余建模参数见表3。

计算得到了各宽度的组合梁在跨间横梁的个数不同的条件下边梁的荷载最不利横向分布系数见表4。

根据表4可知,在保证跨径相同的前提下,跨间横梁设置与否对宽桥的荷载最不利横向分布系数影

表3 组合梁参数表

桥宽 /m	跨间横梁的个数	其他参数
9	0/1/3	跨径 30 m、桥面板厚 0.24 m、梁高 1.6 m
17	0/1/3	
33.5	0/1/3	

表4 桥宽 9 m、17 m、33.5 m 荷载最不利横向分布系数

桥宽 /m	跨间横梁个数			差值百分比	
	0	1	3	(0-1)/0	(1-3)/1
9	1.066	1.057	1.056	0.86%	0.06%
17	1.015	0.952	0.950	6.17%	0.29%
33.5	1.120	1.039	1.023	7.25%	1.50%

响较窄桥大,但最大控制在 8%以内,设置 1 道或 3 道跨间横梁的最不利横向分布系数几乎相等。

2.3 桥面板板厚对最不利横向分布系数的影响

为了研究城市高架预制装配式组合梁桥面板板厚对荷载最不利横向分布系数的影响,本节建立了 9 组有限元模型,计算了常用桥面板板厚分别为 0.24 m、0.28 m、0.32 m 的钢混组合梁的最不利横向分布系数,其余计算参数见表 5。

表5 组合梁参数表

桥宽 /m	板厚 /m	其他参数
9	0.24/0.28/0.32	跨径 30 m、梁高 1.6 m、 跨间中横梁 0 根
17	0.24/0.28/0.32	
33.5	0.24/0.28/0.32	

通过计算得到了不同板厚的组合梁荷载最不利横向分布系数,结果见表 6。

表6 不同板厚边梁荷载最不利横向分布系数

桥宽 /m	桥面板板厚 /m			差值百分比	
	0.24	0.28	0.32	(0.24-0.28)/0.24	(0.24-0.32)/0.24
9	1.066	1.060	1.058	0.56%	0.78%
17	1.015	0.983	0.968	3.19%	4.66%
33.5	1.120	1.066	1.047	4.82%	6.47%

根据表 6 数据分析可知,板厚的增加会使荷载横向分布更均匀,使得主梁分布车道荷载的能力更强。对于窄桥而言,板厚对其影响微乎其微,随着宽跨比增大,板厚的影响也越发显著,以 33.5 m 宽桥为例,0.24 m 的桥面板比 0.32 m 的桥面板的最不利横向分布系数增加了 6.47%。

2.4 跨径对最不利横向分布系数的影响

城市高架桥梁主线为了满足车流量的需求,桥梁的宽度往往会大于跨径,但匝道宽度却很小,同时,在跨越道路交叉口时,跨径往往很大,因此,不同宽度的组合梁桥的跨径对横向分布的影响研究很有必要,建立了 9 组有限元模型,具体参数见表 7。

表7 组合梁参数表

跨径 /m	桥宽 /m	其他参数
30/35/40	9	桥面板厚 0.24 m、主梁高度 1.6 m、跨间横梁 0 根
30/35/40	17	
30/35/40	33.5	

计算得到了不同跨径的组合梁边梁的荷载最不利横向分布系数见表 8。

表8 边梁荷载最不利横向分布系数

桥宽 /m	跨径 /m			差值	
	30	35	40	(30-35)/30	(30-40)/30
9	1.066	1.049	1.039	1.56%	2.56%
17	1.015	0.941	0.912	7.28%	10.17%
33.5	1.120	1.007	0.938	10.09%	16.24%

根据上述表格 8 可以看出,保证桥宽不变时,跨径的增大会使荷载最不利横向分布系数减小,33.5 m 宽 40 m 跨的边梁最不利横向分布系数比 30m 跨的减小了 16.24%。9 m 宽的桥跨进对其影响则不明显,可控制在 3%以内。

进一步将表 8 处理,得到不同宽跨比对应的最不利横向分布系数,见表 9。

表9 不同宽跨比对应的边梁荷载最不利横向分布系数

宽跨比	0.23	0.26	0.30	0.43	
最不利横向分布系数	1.039	1.049	1.066	0.912	
宽跨比	0.49	0.57	0.84	0.96	1.12
最不利横向分布系数	0.941	1.015	0.938	1.007	1.120

将表 9 数据绘制成图 2 方面观察比较。横坐标为桥宽,单位 m,竖坐标为荷载最不利横向分布系数。

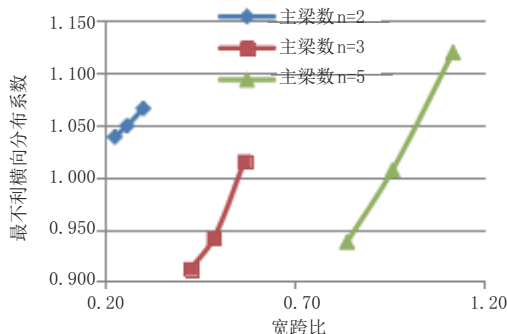


图2 不同主梁数边梁荷载最不利横向分布系数

结合图 2 与表 9 可知,对于主梁数相同的桥,随着宽跨比的增大,最不利横向分布系数逐渐增大。

2.5 主梁刚度对最不利横向分布系数的影响

本节研究了主梁刚度对荷载最不利横向分布系数的影响,选取梁高为变量,分别为 1.6 m、1.8 m、2 m,其余参数为常量,建立了 9 组有限元模型,具体参数见表 10。

表 10 组合梁参数表

桥宽 /m	梁高 /m	其他参数
9/17/33.5	1.6	跨径 30 m、桥面板厚 0.24 m、 跨间中横梁 0 根
	1.8	
	2	

计算得到了不同主梁刚度的最不利横向分布系数,其值见表 11。

表 11 不同主梁刚度对应的最不利横向分布系数

桥宽 /m	梁高 /m			差值百分比	
	1.6	1.8	2	(1.6-1.8)/1.6	(1.6-2)/1.6
9	1.066	1.072	1.079	-0.58%	-1.28%
17	1.015	1.034	1.059	-1.89%	-4.34%
33.5	1.120	1.142	1.174	-1.98%	-4.90%

由表 11 可以看出,随着梁高的增加,最不利横向分布系数逐渐增加,宽桥的增量较窄桥明显,但最大增幅保持在 5%以内。

3 结 论

本文通过有限元法,建立了 48 组有限元模型,计算了桥面板与钢梁之间的滑移效应、跨间中横梁的个数、桥面板板厚、桥梁宽度和跨径、以及主梁刚度对城市高架预制槽形钢混组合梁的荷载最不利横向分布系数,得到以下结论:

- (1)是否考虑桥面板与钢梁之间的界面滑移效应对荷载最不利横向分布系数影响不大,最大差值控制在 5%以内。
- (2)组合梁跨间中横梁的个数对窄桥的荷载最不利横向分布系数几乎无影响,对宽桥的影响最大可控制在 8%以内,设置 1 道或 3 道跨间横梁的最不利横向分布系数几乎相等。

(3)桥面板板厚的增加会使荷载横向分布更均匀,宽跨比越大的桥,板厚对最不利横向分布系数的影响越大,最大减小了 7%左右。

(4)保证桥宽不变,随着跨径的增大,荷载最不利横向分布系数逐渐减小,对于主梁数相同的桥,随着宽跨比的增大,最不利横向分布系数逐渐增大。

(5)随着梁高的增加,最不利横向分布系数逐渐增加,宽桥的增量较窄桥明显,最大增幅保持在 5%以内。

在今后的标准化设计中,对于是否考虑界面滑移的影响可根据计算能力来确定,其因素对设计的影响较小。跨间横梁是否需要设置,建议综合考虑宽跨比、经济性、施工条件、美观性等因素综合评定。对于桥面板的厚度(跨径)而言,为节约计算成本可选取宽度较大且板厚较小(跨径较小)的一组参数来包络其余参数。梁高对最不利横向分布系数的影响较小,选取时建议综合考虑组合梁整体受力且偏安全的考虑。通过以上包络从而节约设计成本、提高设计效率。

参考文献:

[1] 聂建国.钢-混凝土组合结构桥梁[M].北京:人民交通出版社,2011.
[2] 李瑞琪,袁万城,高康,等.装配式简支钢-混组合小箱梁桥荷载向分布系数的研究[J].结构工程师,2015(4):54-59.
[3] 秦照博.钢(梁)-砼(桥面板)组合梁桥力学性能研究分析[D].兰州:兰州交通大学,2015.
[4] 向成修.简支 I 型组合曲梁变形及横向分布研究[D].长春:吉林大学,2016.
[5] 闫林君,张经纬,罗奎.装配式多主梁钢-混组合梁桥的荷载横向分布研究[J].公路交通科技,2020(3):59-69.
[6] 李国豪,石洞.公路桥梁荷载横向分布计算[M].北京:人民交通出版社,1990.

(上接第 171 页)

33(8):57-58,61.
[2] 张启富,郝晓东.钢结构腐蚀防护现状和发展[J].中国建筑金属结构,2006(9):5.
[3] 陆伯岑.重防腐涂料的涂装设计和在船舶和钢结构防腐领域

的应用[J].船艇,2001(4):28-32.
[4] 祁德路,徐进伟,韩玉,等.极寒地区大型陆地液化天然气(LNG)模块设备海运维护方法和耗材选用[J].中国石油和化工标准与质量,2018,38(17):22-23.