

空心板桥跨中横向分布系数分析

李波¹, 汪贤安², 冯小东¹, 李雪浩³, 姚丽⁴

(1. 山西晋阳高速改扩建项目管理有限公司, 山西 晋城 048000; 2. 山西省交通科技研发有限公司, 太原 030032;
3. 山西省交通规划勘察设计研究院有限公司, 太原 030012; 4. 山西省城乡规划设计研究院有限公司, 太原 030001)

摘要: 为探索空心板桥横向分布系数的变化规律及影响因素, 采用有限元分析软件 Midas Civil 2020 建立空心板桥的有限元模型, 研究宽跨比及斜交角对装配式空心板桥横向分布系数的影响。结果表明: 车辆荷载作用下, 随着空心板桥宽跨比的增大, 各板横向分布系数整体减小, 车辆荷载作用的偏载侧板的横向分布系数变化较非偏载侧平缓; 随着斜交角的变大, 偏载侧板横向分布系数变大, 非偏载侧板的横向分布系数变小; 空心板桥斜交角不大于 20° 时, 偏载侧各板横向分布系数增量均小于 5%, 在实际工程中可近似忽略, 超过 30° 时对荷载分配影响较大, 分析时不可忽略。

关键词: 装配式空心板桥; 荷载横向分布系数; 有限元梁格法; 宽跨比; 斜交角

中图分类号: U442 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)19-0319-05

近年来, 随着中国经济的快速发展, 交通量持续增长, 对道路通行能力有了更高的要求, 随之而来需要修建大量桥梁工程。简支空心板桥是常见的中小跨径桥梁之一, 当桥梁宽度较大或存在斜交角时, 其空间结构效应与常规的正交梁桥有着一定的差别。因此有必要对其开展理论研究, 而分析空心板桥梁的空间受力、计算跨中荷载横向分布系数是其中至关重要的一环。目前, 国内诸多学者对此进行了研究。张玮^[1]通过对大量在役空心板桥的统计和 175 个桥梁荷载试验工况的实测数据进行分析, 发现在役空心板桥的横向分布系数变化规律主要受到宽跨比的影响。王荣霞和吕沛熙^[2]对大宽跨比简支斜交 T 梁桥的跨中横向分布系数进行了计算, 分析其斜交角和宽跨比对跨中横向分布系数的影响规律。黄成等^[3]采用空间有限元法及修正偏心压力法、刚接梁法和 G-M 法(比拟正交异性板法)对连续 T 梁桥进行了对比分析, 发现对于宽跨比大于 0.5 的装配式连续 T 梁桥, 修正偏心压力法和刚接梁法计算的结果与空间有限元法偏差较大, 已经不适用于计算大宽跨比桥梁, 而 G-M 法则需进行一定的修正。卓亚娟等^[4]采用梁格法原理分析了不同宽跨比对连续箱梁横向受力分布情况的影响,

发现随着宽跨比增大, 各片梁横向分布差距减小, 受力变得均匀。穆文均等^[5]探讨了汽车荷载作用下跨径、桥宽对装配式预应力混凝土简支 T 梁桥汽车荷载效应的影响, 分析发现汽车荷载作用下装配式 T 梁竖向和横向挠曲变形的影响因素。王邵锐和李英斌^[6]提出了基于受压翼板有效宽度的大宽跨比 T 梁桥改进空间梁格算法, 该算法针对大宽跨比、多横隔梁以及主梁较为密集的 T 梁桥, 能精确直观地反映受力后的整体结构响应。以上研究大多集中于 T 梁桥、箱梁桥或正交空心板桥, 对空心板桥的宽跨比和斜交角的研究相对较少。因此, 本文以 13、16、20 m 标准跨径的简支空心板桥为例, 通过建立 Midas 有限元模型, 分析空心板桥宽跨比和斜交角对跨中荷载横向分布系数的影响规律, 以期该类结构的设计和检测工作提供一定的参考。

1 工程概况

以某高速公路 13、16、20 m 简支空心板桥标准图纸为例, 20 m 空心板主梁梁高 850 mm, 每片中梁梁宽 990 mm, 通过改变空心板的片数来改变桥梁宽度, 空心板桥的中梁及边梁横截面如图 1 所示, 各跨径空心板尺寸见表 1。

收稿日期: 2024-04-25

基金项目: 山西交控集团科技创新项目(2022-JKKJ-5)

作者简介: 李波(1984—), 男, 山西原平人, 高级工程师, 研究方向为道路施工; 汪贤安(1992—), 男, 陕西商洛人, 工程师, 研究方向为道路桥梁与渡河工程; 冯小东(1988—), 男, 山西大同人, 工程师, 研究方向为土木工程; 李雪浩(1989—), 男, 山西朔州人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为土木工程; 姚丽(1989—), 女, 山西朔州人, 硕士, 工程师, 研究方向为市政环境工程。

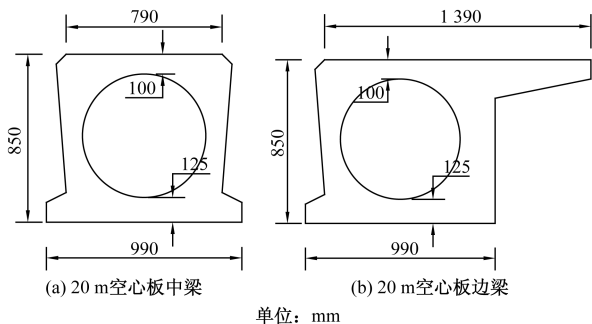


图1 20 m 空心板横截面

表1 各跨径空心板尺寸统计

桥梁跨径/m	板高/mm	中板板宽/mm
13	550	990
16	700	990
20	850	990

2 桥梁结构模型

2.1 有限元模型的建立

在 Midas Civil 中采用梁格法理论建立有限元模型。梁格法是桥梁分析常用的方法之一,众多学者对此做了深入研究。其中许诺等^[7]分别采用杠杆法、刚性横梁法、铰接板梁法 3 种简化计算方法对一座 8 m 标准跨径的装配式实心板桥进行计算,并将结果与有限元梁格法计算结果进行比较分析,发现有限元梁格法与铰接板梁法计算结果接近,能较好地适用于装配式板桥的计算。本文建立了 3 种跨径(13、16、20 m)、13 种宽跨比的空心板正桥模型,宽跨比通过调整空心板桥横向板的数量来改变,其中 13、16 m 跨径的空心板桥分别建立横向 8~11 块板的模型,20 m 的空心板桥建立横向 8~12 块板的模型。同时对 3 种跨径的空心板桥(横向 11 块板)分别建立 5 种斜交角度(0°~50°,增量为 10°)的斜桥模型。有限元模型主梁采用梁单元模拟,横向设置虚拟横梁,释放虚拟横梁的梁端约束模拟铰缝,网格设置方式为当斜交角不大于 20°时按斜交网格设置,斜交角大于 20°时按正交网格设置,空心板的有限元模型如图 2 所示。

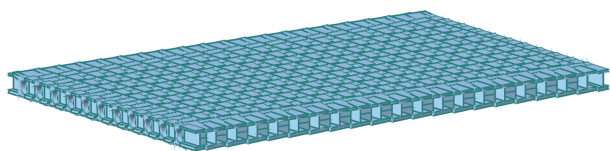


图2 空心板有限元模型

2.2 横向分布系数计算方法

常用的空心板桥横向分布系数计算方法主要

有以下几种:①采用铰接板法根据空心板截面参数手算横向分布影响线坐标进而查表线性内插后绘出各板横向分布影响线图计算;②采用有限元软件 Midas Civil 建立空间梁格模型,计算最不利荷载作用下各片梁的跨中竖向挠度,根据每片主梁竖向挠度占总挠度的比值测算,③采用有限元软件 Midas Civil 建立空间梁格模型施加单位力法进行计算。

本文采取第 2 种方法,通过计算挠度的方法来推求跨中横向分布系数。参照《公路桥涵设计通用规范》^[8]在桥梁偏载侧按横向最不利位置布置 2 车道车辆荷载,计算出每根主梁的跨中截面竖向挠度值。

各片主梁的横向分布系数为

$$m_j = N \frac{w_j}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

式中: m_j 为横向分布系数; N 为车道数; w_i 为各板梁跨中竖向挠度; w_j 为所求的第 j 块板跨中竖向挠度; n 为总的空心板数(为便于分析各横向分布系数变化规律,本文后续数据未考虑车道数,其不影响分析结果的变化趋势和所得结论)。

3 横向分布系数计算结果

3.1 宽跨比对横向分布系数的影响

本文计算了 2 车道偏载作用下 13、16、20 m 跨径的各种宽跨比的空心板模型,将横向分布系数随空心板横向位置变化的数据绘制为图 3(其中 1 m 处表示偏载侧第 1 块板中心位置,11 m 表示非偏载侧即第 11 块板中心位置),随宽跨比变化的数据绘制为图 4(其中 1# 板~11# 板表示偏载侧到非偏载侧)。

通过图 3 可以看出,沿桥梁横向从偏载侧到非偏载侧,空心板的横向分布系数逐步减小,其变化速率也经历了 3 个阶段,在荷载车道范围内变化速率小,超过荷载作用车道后,横向分布系数衰减速率显著增大,随着继续远离荷载作用车道,其衰减速率又变缓,直到非偏载侧承担的荷载比重极少。桥梁宽跨比越大,其非偏载侧分担的荷载越小,对于 13 m 的空心板桥而言,当其宽跨比接近 0.9 时,非偏载侧承担的荷载比例已不足 0.05,小于偏载侧的 1/3。

通过图 4 可以看出,对于空心板桥而言,随着其宽跨比的增大,各板横向分布系数整体减小,其中,偏载侧减小速率较小,横向分布系数变化幅度相对较小,非偏载侧则减小速率快,相对变化幅度大。

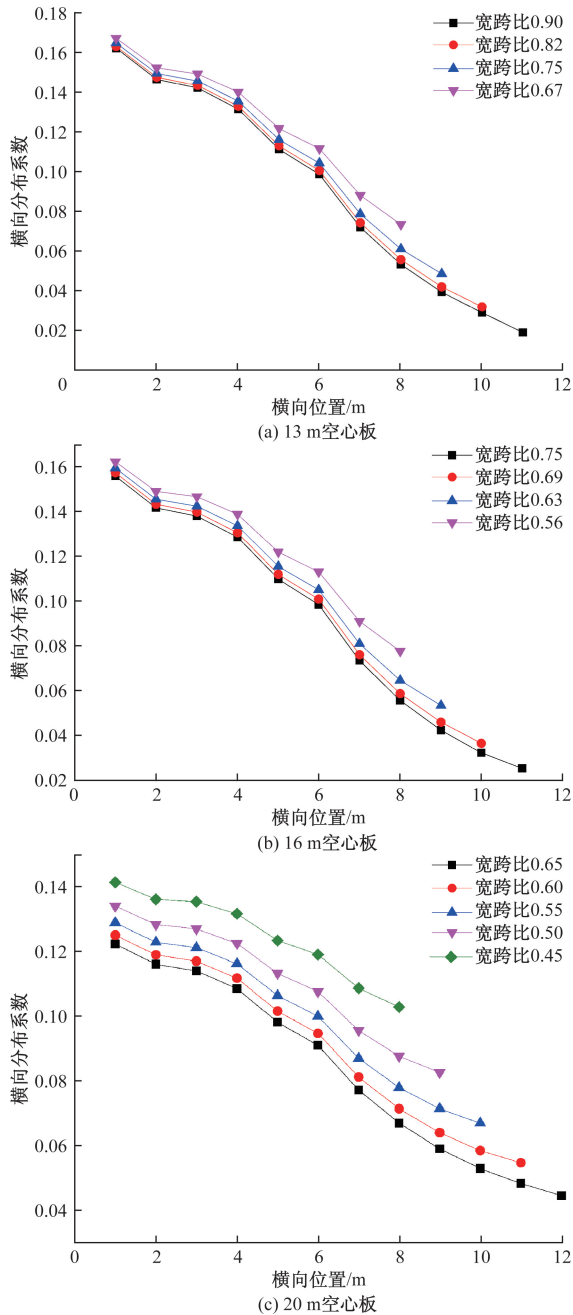


图3 13、16、20 m 空心板横向分布系数随
横向位置变化曲线

随着空心板桥宽跨比的改变,跨度小的板桥偏载侧受到的影响较小,跨度大的板桥偏载侧受到的影响相对较大,13、16、20 m 板桥的偏载侧板的分布系数减小速率依次增大,而非偏载侧板的分布系数随着宽跨比的增大均有较显著的减小。说明对于空心板桥而言,增大桥梁宽度确实可以改善各板承担的荷载情况,但这种改善程度是有限的,当桥梁宽度增大到一定程度后,远离车道作用的板承担的荷载较小,对车辆荷载作用车道的板帮助有限。

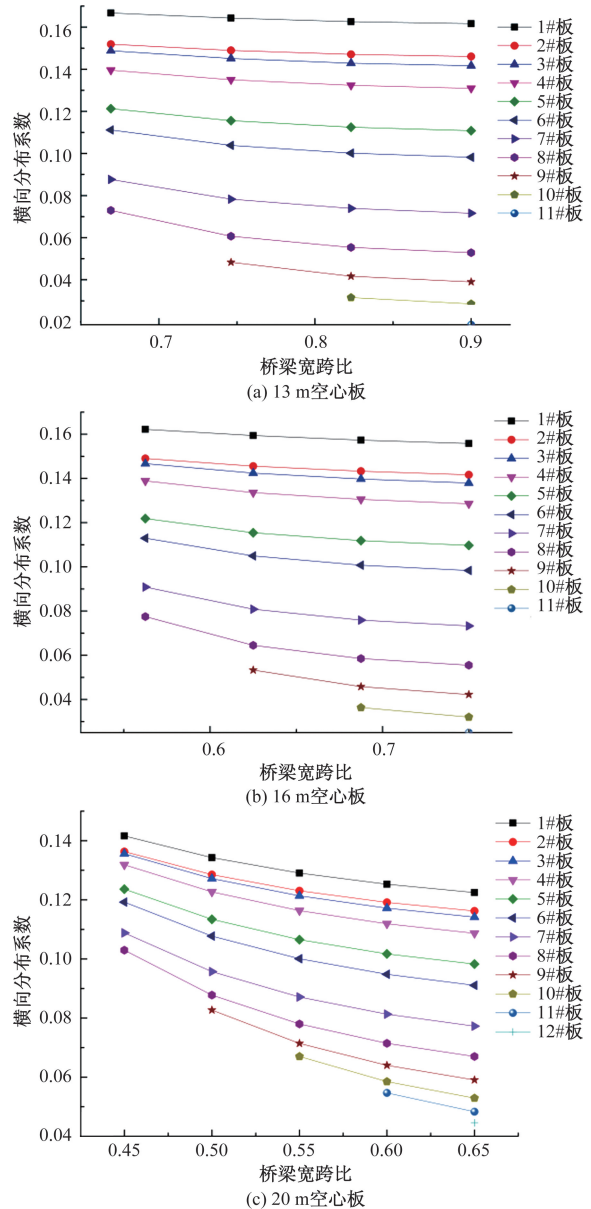


图4 13、16、20 m 空心板横向分布系数随
宽跨比变化曲线

3.2 斜交角对横向分布系数的影响

分别计算 13 m(宽跨比=0.9)、16 m(宽跨比=0.75)、20 m(宽跨比=0.6)空心板斜交角 $0^\circ \sim 50^\circ$ 变化情况下各板的横向分布系数,计算结果见表 2~表 4,其中,1# 板为偏载侧,11# 板为非偏载侧。为便于分析,将 3 种宽跨比下各板横向分布系数随斜交角度变化绘制成曲线,如图 5 所示。

根据表 2~表 4 和图 5 可以看出,斜交角对各板的横向分布系数有一定的影响,随着斜交角的变大,偏载侧板横向分布系数变大,非偏载侧板的横向分布系数变小,靠近跨中位置的板横向分布系数基本不变,各板承担的横向分布系数变化有一定的

规律性,综合来看,在空心板桥斜交角不大于 20° 时,各板横向分布系数变化速率和幅度均较小,偏载侧板变化量基本均小于5%,大于 30° 后,偏载侧板的横向分布系数增速较快,当斜交角达到 50° 时,其偏载侧板横向分布系数最大约增长20%,对桥梁的影响较明显,在工程应用中已不可忽略。

表2 宽跨比为0.9时不同斜交角度各板横向分布系数计算结果

空心板	0°	10°	20°	30°	40°	50°
1#板	0.143 3	0.144 8	0.148 9	0.149 7	0.157 6	0.171 5
2#板	0.136 0	0.137 0	0.139 2	0.141 1	0.145 9	0.148 8
3#板	0.137 8	0.138 5	0.140 2	0.142 3	0.145 3	0.150 0
4#板	0.130 5	0.130 7	0.132 3	0.135 3	0.136 8	0.139 9
5#板	0.112 3	0.112 3	0.112 5	0.114 3	0.114 3	0.115 3
6#板	0.100 6	0.100 2	0.100 6	0.102 4	0.102 4	0.104 9
7#板	0.073 0	0.072 7	0.071 6	0.070 6	0.067 9	0.064 1
8#板	0.054 7	0.054 2	0.052 2	0.049 6	0.045 8	0.039 9
9#板	0.043 2	0.042 5	0.040 2	0.037 5	0.033 5	0.027 1
10#板	0.036 1	0.035 4	0.033 0	0.030 2	0.026 7	0.020 6
11#板	0.032 5	0.031 8	0.029 4	0.027 0	0.023 8	0.018 1

表3 宽跨比为0.75时不同斜交角度各板横向分布系数计算结果

空心板	0°	10°	20°	30°	40°	50°
1#板	0.141 3	0.142 2	0.143 7	0.145 4	0.151 0	0.159 7
2#板	0.133 2	0.133 8	0.135 0	0.136 5	0.139 4	0.143 2
3#板	0.136 4	0.136 8	0.138 0	0.138 8	0.139 8	0.144 0
4#板	0.130 5	0.130 7	0.131 7	0.132 6	0.132 4	0.136 2
5#板	0.111 9	0.111 9	0.112 0	0.112 2	0.112 0	0.112 6
6#板	0.102 0	0.101 8	0.102 1	0.102 4	0.101 4	0.102 7
7#板	0.073 8	0.073 4	0.072 7	0.072 1	0.070 8	0.067 7
8#板	0.055 5	0.055 2	0.053 9	0.053 0	0.051 3	0.046 3
9#板	0.044 2	0.043 8	0.042 6	0.041 5	0.039 5	0.034 4
10#板	0.037 3	0.037 0	0.035 9	0.034 4	0.032 9	0.028 0
11#板	0.033 8	0.033 6	0.032 5	0.031 2	0.029 7	0.025 3

表4 宽跨比为0.6时不同斜交角度各板横向分布系数计算结果

空心板	0°	10°	20°	30°	40°	50°
1#板	0.134 8	0.136 1	0.139 4	0.145 0	0.149 8	0.153 1
2#板	0.129 0	0.129 9	0.132 3	0.137 2	0.141 5	0.142 8
3#板	0.130 2	0.130 9	0.133 3	0.138 2	0.142 0	0.139 3
4#板	0.124 4	0.124 9	0.126 7	0.130 6	0.134 6	0.129 3
5#板	0.109 2	0.109 3	0.109 9	0.112 8	0.116 0	0.110 7
6#板	0.099 2	0.099 1	0.099 5	0.100 1	0.104 2	0.097 6
7#板	0.076 3	0.075 8	0.074 5	0.072 5	0.075 5	0.070 4
8#板	0.060 6	0.059 9	0.057 8	0.054 5	0.056 6	0.051 6
9#板	0.050 4	0.049 5	0.047 1	0.042 6	0.044 8	0.040 3
10#板	0.044 0	0.043 2	0.040 7	0.035 2	0.038 0	0.033 9
11#板	0.040 7	0.039 9	0.037 4	0.031 3	0.034 6	0.031 2

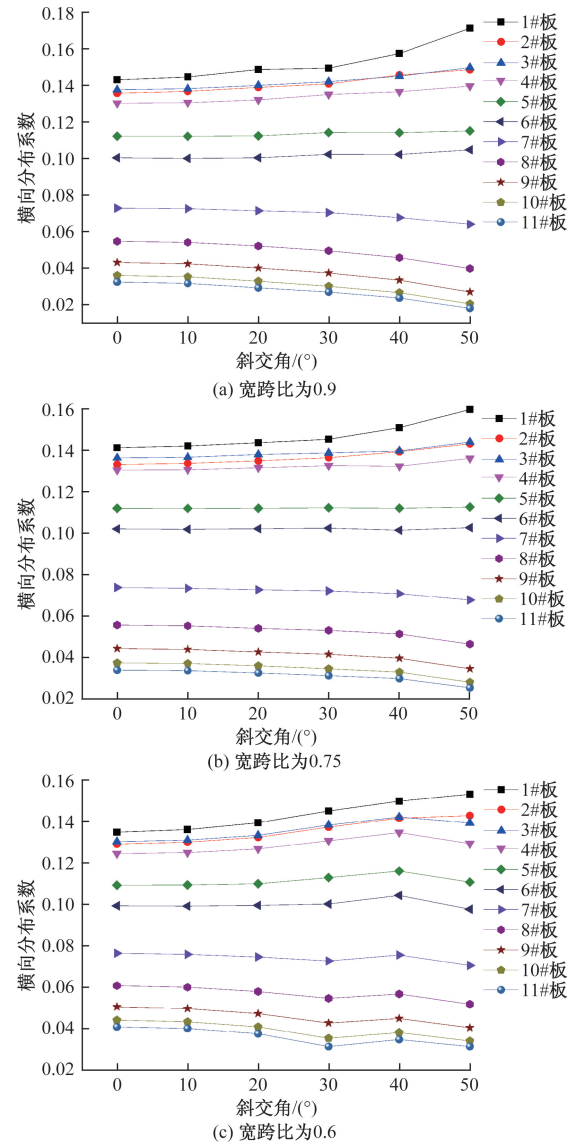


图5 宽跨比为0.9、0.75、0.6时各板横向分布系数随斜交角变化曲线

4 结论

(1)对于空心板桥而言,随着其宽跨比的增大,各板横向分布系数整体减小,在一定程度上有利于桥梁整体受力,但由于相对而言偏载侧减小速率较小,横向分布系数变化幅度相对较小,非偏载侧则减小速率快,相对变化幅度大,当桥梁宽度增大到一定程度后,远离车道作用的板承担的荷载远小于车辆荷载作用车道的板,导致这种改善程度是有限的。

(2)斜交角对各板的横向分布系数有一定的影响,随着斜交角的变大,偏载侧板横向分布系数变大,非偏载侧板的横向分布系数变小,靠近跨中位置的板横向分布系数基本不变。

(3)在空心板桥斜交角不大于 20° 时,偏载侧各板横向分布系数的变化量基本均小于 5% ,在工程应用中可按正桥考虑,当斜交角大于 30° 后,偏载侧板的横向分布系数增速和增量均较大,对桥梁的影响明显,在工程应用中应进行考虑。

本文研究成果的推广,将有助于后续类似空心板桥的设计优化,同时,对空心板桥的荷载试验计算分析提供了更为明确的分类标准,解决了斜交空心板桥荷载试验计算如何考虑斜交角的问题,提高了工作效率和试验精度,还可为空心板桥设计及检测相关技术规范的修编提供参考。

参考文献

- [1] 张玮. 在役空心板桥挠度横向分布系数统计分析[J]. 福建建设科技, 2020(1): 74-78.
- [2] 王荣霞, 吕沛熙. 简支斜交 T 梁桥跨中横向分布系数研究[J]. 河北工业大学学报, 2022, 51(4): 87-92.
- [3] 黄成, 刘超豪, 贺书磊. 大宽跨比连续 T 梁桥横向分布系数计算方法比较[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2018, 32(6): 39-43.
- [4] 卓亚娟, 贾志绚, 杨文博, 等. 不同宽跨比宽幅箱梁桥横向分布系数计算研究[J]. 太原科技大学学报, 2023, 44(4): 365-369.
- [5] 穆文均, 郭增伟, 张卓. 装配式 T 梁桥汽车荷载效应的空间分布特征[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(36): 15088-15094.
- [6] 王邵锐, 李英斌. 大宽跨比 T 梁桥的改进空间梁格算法[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(34): 15339-15348.
- [7] 许诺, 赵艺程, 王君秋. 荷载横向分布系数计算方法对比分析研究[J]. 四川水泥, 2023(4): 72-76.
- [8] 公路桥涵设计通用规范: JTG D60—2015[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.

Analysis of Transverse Distribution Coefficient in Span of Hollow Slab Bridge

LI Bo¹, WANG Xian'an², FENG Xiaodong¹, LI Xuehao³, YAO Li⁴

(1. Shanxi Jin-Yang Expressway Reconstruction and Extension Project Management Co., Ltd., Jincheng 048000, Shanxi, China;

2. Shanxi Transportation Technology Research & Development Co., Ltd., Taiyuan 030032, China;

3. Shanxi Transport Planning Survey Design Institute Co., Ltd., Taiyuan 030012, China;

4. Shanxi Urban and Rural Planning Design Institute Co., Ltd., Taiyuan 030001, China)

Abstract: In order to explore the variation rule and influencing factors of the transverse distribution coefficient of hollow slab bridge, the finite element model of hollow slab bridge was established by using the finite element analysis software Midas Civil 2020, and the influence of wide span ratio and oblique angle on the transverse distribution coefficient of fabricated hollow slab bridge was studied. The results show that the transverse distribution coefficient of hollow slab bridge decreases with the increase of width-span ratio under vehicle load, and the transverse distribution coefficient of partial slab under vehicle load changes more gently than that of non-partial slab under vehicle load. With the increase of the oblique angle, the transverse distribution coefficient of the biased load side plate increases, and the transverse distribution coefficient of the non-biased load side plate decreases. When the inclination angle of hollow slab bridge is less than 20° , the increment of the lateral distribution coefficient of each plate on the off-load side is less than 5% , which can be approximately ignored in practical engineering. When the deviation angle is more than 30° , the impact on load distribution is great, which cannot be ignored in analysis.

Keywords: prefabricated hollow slab bridge; transverse distribution coefficient of load; finite element beam lattice method; wide span ratio; skew angle