

隐盖梁和明盖梁高架桥受力性能研究

黄袁媛¹, 叶经斌¹, 徐声亮¹, 叶佳辉², 布占宇²

(1. 宁波市市政工程建设集团股份有限公司, 浙江 宁波 315012; 2. 宁波大学 土木工程与地理环境学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 城市高架桥为现代城市的通勤提供了快速通道。预制小箱梁桥具有成本低、应用范围广、施工质量高、安装时间短等优势。与明盖梁相比, 隐盖梁可以提供更多的桥下净空。以宁波市修建的某高架桥为例, 采用 ABAQUS 有限元软件对两个桥梁系统进行建模, 研究了箱梁的应力、挠度及横向分布特征, 并对横向分布进行理论计算。结果表明, 隐盖梁方案的箱梁应力小于明盖梁方案, 隐盖梁方案的活载挠度大于明盖梁方案; 隐盖梁边梁横向分布系数大于明盖梁边梁, 均大于理论值; 隐盖梁中梁横向分布系数与明盖梁中梁基本一致, 与理论值接近。

关键词: 隐盖梁; 明盖梁; 小箱梁; 高架桥; 横向分布

中图分类号: U448.28; TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)12-0089-06

Study on Mechanical Performances of Viaducts Hidden or Exposed Bent Cap

HUANG Yuanyuan¹, YE Jingbin¹, XU Shengliang¹, YE Jiahui², BU Zhanyu²

(1. Ningbo Municipal Engineering Construction Group Co., Ltd., Ningbo 315012, China; 2. College of Civil Engineering and Geographical Environment, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Urban viaducts provides fast passage for commuting in modern cities. Precast small-box beam bridges have the advantages, such as low cost, wide range of application, high construction quality and short erection time. Hidden bent cap can supply more clearance under the viaduct in contrast to exposed bent cap. Taking a viaduct built in Ningbo City as an example, the two bridge systems are modeled with ABAQUS finite element software to study the stress, deflection and transverse distribution characteristics of box beams. And the transverse distribution is calculated theoretically. The results show that the box beam stress of hidden bent cap scheme is smaller than that of exposed bent cap scheme, but the live load deflection of hidden bent cap scheme is larger than that of exposed bent cap scheme. The transverse distribution coefficient of side beam with hidden bent cap is larger than that of the side beam with exposed bent cap, both of which are larger than the theoretical values. The transverse distribution coefficient of middle beam with hidden bent cap is nearly the same with that of the middle beam with exposed bent cap, which is close to the theoretical value.

Keywords: hidden bent cap; exposed bent cap; small box beam; viaduct; transverse distribution

0 引言

高架桥作为城市快速通道, 可以为城市通勤提供快速便捷的交通, 越来越受到城市规划管理者的青睐。高架桥建设也是一个城市现代化水平的衡量指标。通常高架桥根据所使用的上部结构纵梁的不同, 盖梁也会有不同的结构形式。常用的上部结构

形式包括预制 T 梁、预制小箱梁、现浇混凝土连续梁、钢结构箱梁、组合结构桥梁等。盖梁一般分为明盖梁、倒 T 隐盖梁、一般隐盖梁。明盖梁具有更简洁的构造, 施工顺序更合理。隐盖梁则提供更大的桥下净空, 但是施工时需要支架现浇横梁。两种方案各有优势, 需要在工程中根据实际情况选用。

肖海波等^[1]通过 MIDAS 计算软件建立空间板单元模型, 来分析小箱梁多种横向连接的受力特性, 在跨中设置一道横隔板基础上, 考虑调整顶板厚度、横隔板厚度、 $L/4$ 处增减横隔板等方案, 研究横向分布系数变化, 提出改善结构横向受力的设计方案。史贤豪等^[2]采用 MIDAS Civil 梁单元模型和 MIDAS FEA 全桥实体单元模型进行对比分析, 验证所设计

收稿日期: 2025-02-20

基金项目: 宁波市交通运输科技计划(202207); 浙江省基础公益研究计划(LGG22E080007)

作者简介: 黄袁媛(1996—), 女, 本科, 工程师, 从事桥梁工程施工技术工作。

通信作者: 布占宇(1977—), 男, 博士, 教授, 从事桥梁研究工作。电子信箱: buzhangyu@nbu.edu.cn

的桥梁的安全性。罗干生等^[3]建立隐盖梁和小箱梁全桥FEA模型,分析了隐盖梁结构体系受力,包括结构整体应力、小箱梁与隐盖梁交界处应力、边墩隐盖梁嵌固处应力、小箱梁横向分布系数等内容。廖崇庆^[4]研究发现,隐盖梁小箱梁结构正、负弯矩钢束配束类同于传统的简支变连续小箱梁,但负弯矩钢束需要穿过现浇横梁;小箱梁类似于现浇箱梁的腹板,但边梁较现浇箱梁方案的自重重大,对盖梁受力不利。蔡俊华等^[5]研究了倒T隐盖梁的施工技术,盖梁支架采用钢管+悬臂大贝雷梁支架结构,根据墩高不同,分为上承式贝雷梁和下承式贝雷梁。常规倒T形盖梁的梁与盖梁间有多道结构缝,需设置多道伸缩缝,从而影响行车的平顺性。刘彬等^[6]提出一种半T形隐盖梁结构,其结构特点是倒T结构横向未伸至截面边缘,高度方向低于箱梁顶面。汤振辉等^[7]在台州某高架桥设计中,为了满足桥下道路规划通行宽度的要求,将最后一联桥跨布置为(30+30)m的装配式预应力混凝土T梁调整为(36+24)m现浇箱梁,标准桥宽16.05 m。下部结构由常规的盖梁接三柱式桥墩改为现浇连续箱梁中横梁形式的隐形盖梁,并与下部独柱墩墩梁固结,墩柱直径2.2 m,高8.5 m。林威^[8]以宁波某带隐形盖梁的先简支后连续三跨装配式连续小箱梁桥为依托,研究了带隐盖梁小箱梁桥的荷载横向分配系数和小箱梁桥在温度变化、支座变位、收缩徐变和预加力四种因素作用下的次内力效应分布特点。刘伟长^[9]以东莞市狮子洋通道工程下层白沙南路段高架桥为例,阐述了双柱式大悬臂倒T形隐式盖梁总体设计要点,并通过建立有限元模型,计算分析了倒T形隐式盖梁的受力特点。钟瑾^[10]提出一种桥梁倒T形盖梁分段预制后浇段吊模施工技术,通过将上横梁、下横梁、吊杆、施工平台、底模、侧模安装连接成一个整体,固定在已安装好的预制盖梁上形成后浇段吊模。田周松^[11]对预制盖梁的分缝形式进行了总结,对重量不超过250 t的盖梁,一般可采用整榀盖梁进行预制拼装的施工方式;对重量超过250 t的盖梁,一般需分段施工。混凝土预制拼装盖梁按分段形式,可分为竖向分层盖梁、横向分段盖梁、纵向分片盖梁和外壳预制内部现浇盖梁等。李华^[12]对宽幅预应力盖梁的设计进行总结,提出注意要点包括:施工阶段和使用阶段承受的荷载差异大;预应力钢束的张拉批次和张拉时机对盖梁施工阶段的应力影响大;连续墩盖梁和交接墩盖梁所承受的上部恒、活载不尽相同;桥幅变宽

时,多柱式桥墩盖梁的框架效应明显;对温度变化和基础不均匀沉降等荷载较为敏感;中柱顶部盖梁顶底缘容易同为控制点,等等。程旭东等^[13]对盖梁张拉端裂缝及成因分析,根据调查统计,将盖梁张拉端裂缝情况总结为:裂缝均在盖梁外侧边排钢束张拉时出现,且基本位于与锚具位置对应的盖梁端侧面;裂缝走向多为水平走向或水平稍有偏斜。分析认为,盖梁裂缝是由张拉端混凝土抗劈裂承载能力不足所致。黄本才等^[14]以城市高架桥倒T形盖梁为对象建立分析模型,探讨了压应力、剪力键宽度与数量等因素对干接缝截面抗剪承载力的影响规律,建立了抗剪承载力计算公式,并进行了数值验证与对比分析。

本文以宁波市某高架桥梁为背景,研究预制小箱梁-隐盖梁结构体系的受力性能,比较分析隐盖梁及明盖梁设计方案的横向分布、截面应力、挠度等受力响应,为类似高架桥的设计提供参考。

1 桥梁设计构造

宁波市某高架桥分别采用明盖梁与隐盖梁结构形式,选取其中的29 m单跨简支梁桥,研究明盖梁与隐盖梁的横向分布系数和小箱梁纵向抗弯性能,并提出设计改进建议。桥梁总体立面布置如图1(a)、(b)所示。桥梁总体方案采用预制小箱梁,横向翼缘湿接缝,横隔板湿接缝(仅跨中一道湿接缝),横梁支架现浇。断面如图1(c)、(d)、(e)所示,单幅桥宽13.0 m,净宽12.0 m,单幅3车道,双幅6车道。单幅横向布置4片梁,横向翼缘及跨中横隔板湿接缝宽0.75 m,横隔板宽0.25 m。隐盖梁端横梁宽1.5 m,高2.0 m。箱梁、湿接缝及横梁均采用C50混凝土。桥面铺装采用10 cm C50混凝土铺装,9 cm厚沥青混凝土面层。小箱梁中板断面构造如图2所示,边板仅一侧翼缘与中板不同,其余顶底板及腹板构造与中板相同。支点截面顶板厚200 mm,底板厚300 mm,腹板厚250 mm。跨中截面顶板厚200 mm,底板厚180 mm,腹板厚180 mm。

明盖梁与隐盖梁预应力筋立面布置如图3所示。明盖梁与隐盖梁均布置8束钢束,但两者梁长不一致。明盖梁N1~N4均采用D15.20 mm钢绞线5根。隐盖梁N1~N4均采用D15.20 mm钢绞线5根。

2 有限元模型

有限元建模采用ABAQUS软件。混凝土、预应

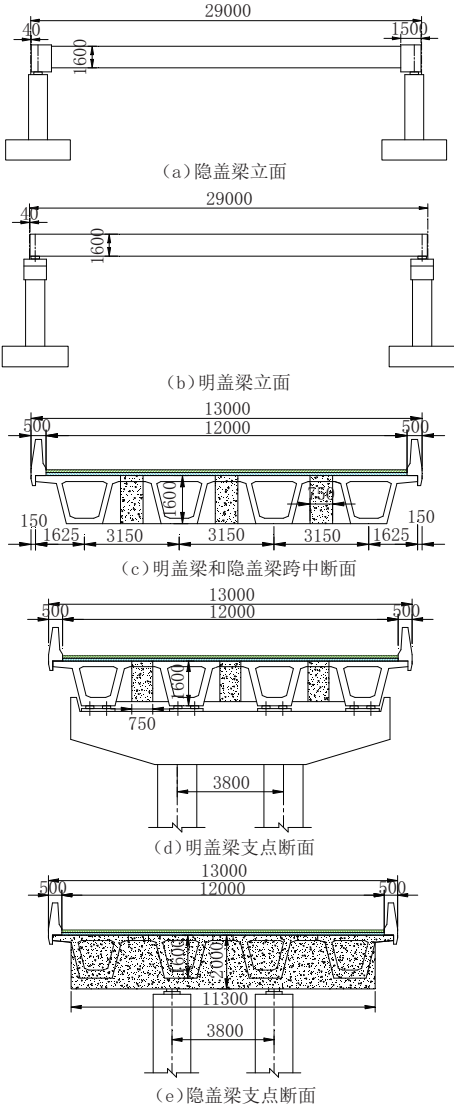


图1 总体结构布置(单位:mm)

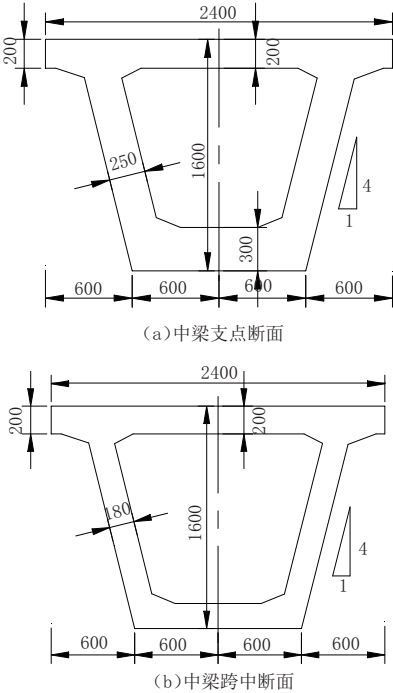


图2 小箱梁断面(单位:mm)

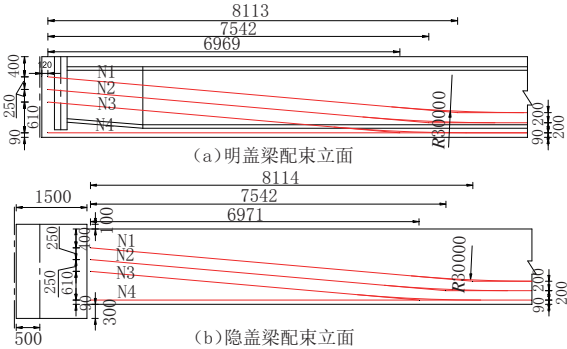


图3 小箱梁预应力筋布置(单位:mm)

力筋均假定为弹性,输入其质量密度、弹性模量和泊松比,详见表1。预应力面积4D15.2和5D15.2钢绞线面积分别为560 mm²和700 mm²。单元类型,预应力筋采用T3D2 2节点三维空间杆单元,箱梁及盖梁混凝土采用C3D8R 8节点线性,缩减积分,沙漏控制块体单元,普通钢筋采用T3D2杆单元。相互作用约束包括小箱梁各梁段之间截面刚结、横向翼缘端部的刚结、横隔板与梁侧面及翼缘底面的刚结,使用Tie约束。预应力筋使用Embedded region嵌固在箱梁混凝土中,预应力筋端部使用Tie与小箱梁端面固结。支承条件为每个小箱梁底部每端设置2个板式橡胶支座,建模使用U1、U2、U3,UR1、UR2、UR3全部固结模拟。隐盖梁与小箱梁的连接采用d28钢筋连接,一段插入隐盖梁1 400 mm,一端埋入小箱梁2 000 mm,每个小箱梁顶缘16根,底缘8根。预应力筋初始张拉应力1 100 MPa。

表1 材料特性

项目	型号等级	密度/ (kg·m ⁻³)	弹性模量/ MPa	泊松比
混凝土	C50	2 500	29 600	0.2
预应力筋	1860 钢绞线	7 800	196 500	0.3
普通钢筋	HRB400	7 800	200 000	0.3

明盖梁的有限元模型如图4所示。从图4可以看出两个模型有明显的区别,明盖梁方案,小箱梁与跨度相同,在端部和跨中有横隔板提高横向刚度;隐盖梁方案,端部一个1 500 mm宽的横梁,小箱梁长度比跨径缩短3 000 mm,小箱梁仅在跨中设置横隔板。梁底约束方式如前所述有所不同,明盖梁方案,约束是在每片小箱梁底部每端2个板式橡胶支座,支座设置在明盖梁上[见图1(d)]。而隐盖梁是在端横梁的底部设置2个盆式支座,下接立柱([见图1(e)])。荷载步分为2个,第一个荷载步施加自重和桥面铺装及防撞护栏重量,第二个荷载步施加汽车车道荷载。结果输出分为Field output 和 History

output, 分别输出场的云图和数据结果, 以及时程分析结果。时程输出是利用XY data 输出选取的单元或节点的应力及挠度位移数据。

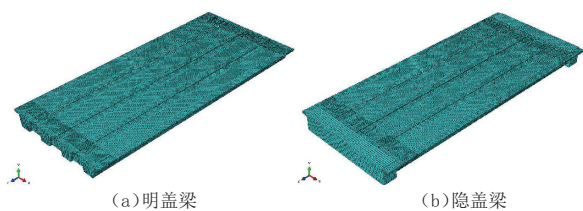


图4 有限元模型

3 车辆加载

根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[15], 汽车荷载采用公路-I级车道荷载, 由线荷载 $q_k=10.5$ kN/m 和集中荷载标准值 $P_k=2(L_0+130)$ 组成。当 $5\text{ m}<L_0<50\text{ m}$ 时, 明盖梁计算跨径 28.17 m , 隐盖梁计算跨径 27.92 m 。这里统一采用 27.92 m 计算跨径计算, 得到 $P_k=315.84\text{ kN}$ 。集中荷载加在影响线最大竖标处。横向加载按2车道。从防撞护栏往里 500 mm 为第一个车轮, $1\,800\text{ mm}$ 宽一个车道, 间隔 $1\,300\text{ mm}$, 再加载一个 $1\,800\text{ mm}$ 宽车道。

4 计算结果分析

4.1 加载结果的验证

(1)反力合力理论值。全桥如果都施加竖向车道荷载, 则2车道的总汽车竖向力为 $1\,239.00\text{ kN}$ 。

(2)明盖梁反力。每端8个支点, 合计16个支点的汽车反力为 $1\,214.59\text{ kN}$, 与理论值相比, 误差为 1.97% 。

(3)隐盖梁反力。每端2个支点, 合计4个支点的汽车反力为 $1\,171.30\text{ kN}$ 。与理论值相比, 误差为 5.46% 。

综上所述, 所加的汽车荷载误差基本满足要求。

4.2 明盖梁计算结果

4.2.1 梁段正应力

第二加载阶段结束时, 等截面梁段混凝土正应力如图5所示。从图5可以看出频遇值组合最大拉应力 2.69 MPa , 标准值组合最大压应力 10.22 MPa , 出现在偏载加载最外侧边梁的跨中附近。从云图上看, 呈现从左往右逐渐减小的应力状态, 说明横向传递应力能力较强。

4.2.2 竖向挠度

竖向挠度如图6所示, 最大竖向挠度 18.38 mm , 这是恒载+活载的总挠度。扣除恒载挠度后, 活载挠度 8.765 mm , 小于 $L_0/600=46.5\text{ mm}$, 满足《公路钢筋

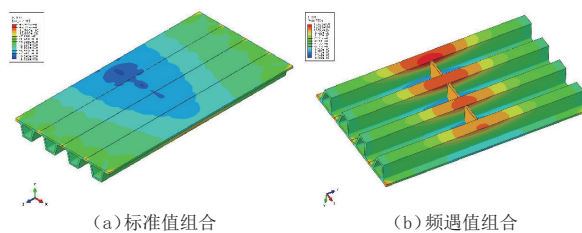


图5 等截面梁段混凝土正应力

混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》^[16]要求。

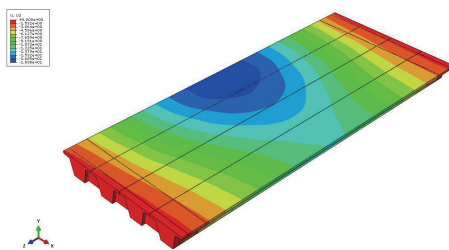


图6 竖向挠度变形

4.2.3 预应力筋应力

预应力筋应力如图7所示, 初始张拉应力均为 $1\,100\text{ MPa}$, 恒载+活载作用下预应力筋最大应力为 $1\,124\text{ MPa}$, 小于 $0.65f_{pk}=0.65\times1\,860=1\,209\text{ MPa}$ 。预应力筋采用后张法, 张拉后灌浆黏结。



图7 预应力筋应力

4.2.4 跨中正应力

跨中截面正应力如图8所示。从图8可以看出, 频遇值组合最大拉应力 2.69 MPa , 标准值组合最大压应力 10.22 MPa , 拉应力稍大于 C50 抗拉强度标准值 $f_{tk}=2.65\text{ MPa}$, 压应力小于 C50 混凝土抗压强度标准值的 0.5 倍, $0.5f_{ck}=16.4\text{ MPa}$ 。考虑到普通构造钢筋未建模, 因此计算结果偏保守, 基本满足规范要求。

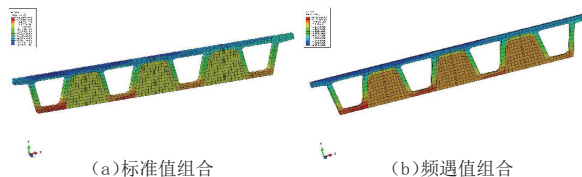


图8 箱梁跨中截面正应力

4.3 隐盖梁计算结果

4.3.1 梁段正应力

第二加载阶段结束时, 等截面梁段混凝土正应力如图9所示。从图9可以看出, 频遇值组合最大拉

应力 0.88 MPa,标准值组合最大压应力 9.67 MPa,出现在偏载加载最外侧边梁的跨中附近。从云图上看,呈现从左往右逐渐减小的应力状态,说明横向传递应力能力较强。

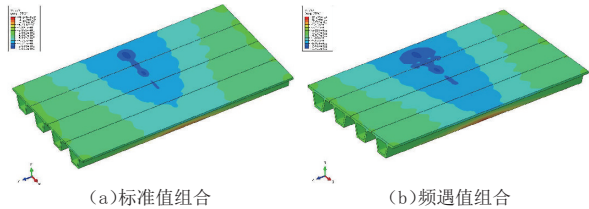


图9 等截面梁段混凝土正应力

4.3.2 竖向挠度

竖向挠度如图 10 所示,最大竖向挠度 20.10 mm,这是恒载+活载的总挠度。扣除恒载挠度后,活载挠度 10.41 mm,小于 $L_0/600=46.5$ mm,满足规范要求。

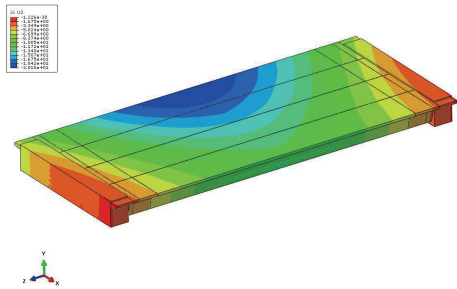


图 10 竖向挠度变形

4.3.3 预应力筋应力

预应力筋应力如图 11 所示,初始张拉应力均为 1 100 MPa,恒载+活载作用下预应力筋应力为 1 111.0MPa,小于 $0.65f_{pk}=0.65\times 1\ 860=1\ 209$ MPa,满足规范要求。

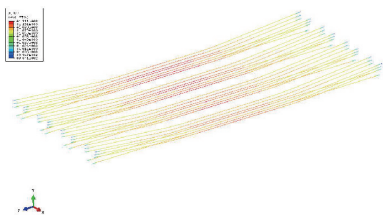


图 11 预应力筋应力

4.3.4 跨中正应力

跨中截面正应力如图 12 所示,可以看出频遇值组合最大拉应力 0.88 MPa,标准值组合最大压应力 9.67 MPa,拉应力小于 C50 抗拉强度标准值 $f_{tk}=2.65$ MPa,压应力小于 C50 混凝土抗压强度标准值的 0.5 倍, $0.5f_{ck}=16.4$ MPa。普通构造钢筋未建模,计算结果偏保守,满足规范要求。

4.4 横向分布系数

4.4.1 检测横向分布系数

根据桥梁检测技术,简支梁桥每片梁的横向分

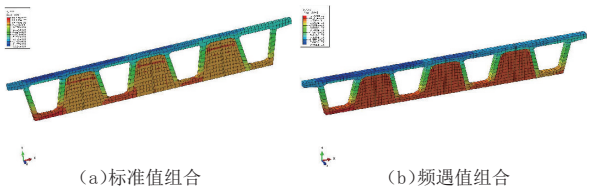


图 12 箱梁跨中截面正应力

布系数可以利用测试得到的梁的应力或挠度来计算。这里利用有限元计算的结果作为检测结果,分析横向分布系数的分布规律。首先利用汽车活载挠度计算横向分布系数,计算公式如式(1)所示。

$$m_{ic} = \frac{f_{ii} \cdot n}{\sum f_{ii}} \tag{1}$$

式中: m_{ic} 为第*i*片梁的横向分布系数; f_{ii} 为第*i*片梁的跨中挠度; n 为加载车道数,这里等于 1~3。分别在梁跨中从左到右不同横坐标施加-100 000 N 集中力,12.70 m 梁宽共分别施加 9 次,即左侧跨中端部,第 1 片梁宽度中心,第 1、2 片梁分界线,第 2 片梁宽度中心,⋯,第 4 片梁宽度中心,右侧跨中端部。分别计算后提取加载后跨中各横坐标处的挠度,利用式(1)计算横向分布,即得到各横向坐标处的跨中横向分布影响线,如图 13 所示的有限元计算结果。

4.4.2 理论横向分布系数

利用上述有限元模型计算得到明盖梁和隐盖梁的横向分布系数,跨中截面用刚接板梁法(铰接),计算单幅桥的横向分布系数,利用桥梁博士软件计算得到 4 片梁各自的横向分布系数影响线理论值,如图 13 所示理论值。按照桥面布置计算各个车轮处的影线线竖标叠加,得到各片梁的横向分布系数如图 14 所示。可以看出,1 号梁横向分布系数,相同车道数中隐盖梁横向分布相最大,1 车道横向分布系数约为 0.38,2 车道横向分布系数约为 0.65,3 车道考虑折减系数后横向分布系数约为 0.66。2 号梁横向分布系数,相同车道数中隐盖梁横向分布相最大,1 车道横向分布系数约为 0.30,2 车道横向分布系数约为 0.58,3 车道考虑折减系数后横向分布系数约为 0.64。3 号梁横向分布与 2 号梁基本一致,4 号梁横向分布与 1 号梁基本一致。

假设有限元计算作为测试值是准确的,那么可以看出,刚接板梁法横向分布计算理论值低估了边梁横向分布系数。隐盖梁边梁横向分布系数大于明盖梁边梁,均大于理论值;隐盖梁中梁横向分布系数

与明盖梁中梁基本一致,与理论值接近。

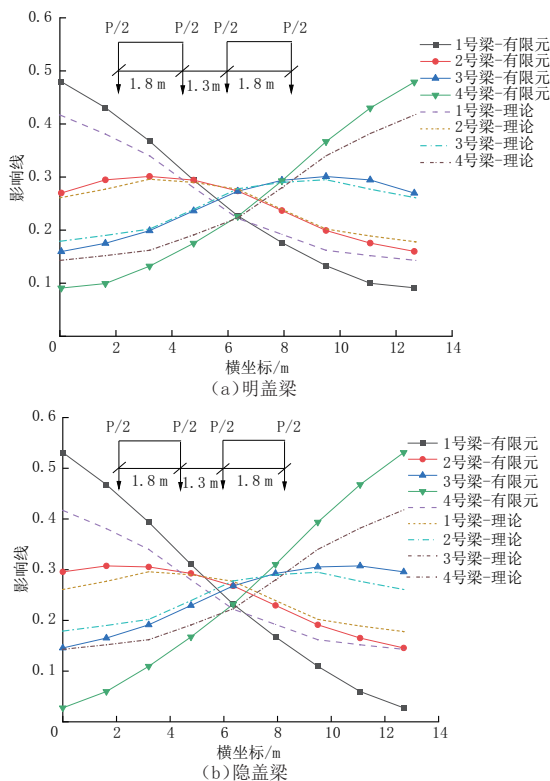


图13 横向分布影响线

5 结 语

本文通过上述计算研究,对比分析了明盖梁与

隐盖梁设计方案的施工便捷性与受力特性,并对横向分布系数的理论值进行了验证,得到如下结论:

(1)明盖梁作为常规设计方案,具有施工便捷性的优势;而隐盖梁的缺点是需要支架现浇横梁,优点是提供较大的桥下通行空间,减少桥梁长度,降低工程造价。

(2)明盖梁混凝土小箱梁应力:频遇值组合最大拉应力 2.69 MPa,标准值组合最大压应力 10.22 MPa,活载挠度 8.765 mm。

(3)隐盖梁混凝土小箱梁应力:频遇值组合最大拉应力 0.88 MPa,标准值组合最大压应力 9.67 MPa,出现在偏载加载最外侧边梁的跨中附近;活载挠度 10.41 mm;隐盖梁混凝土小箱梁应力小于明盖梁方案,但是挠度大于明盖梁方案。

(4)刚接板梁法横向分布计算理论值低估了边梁横向分布系数。隐盖梁边梁横向分布系数大于明盖梁方案。

参考文献:

- [1] 肖海波,史贤豪.预制小箱梁横向连接优化[J].城市道桥与防洪,2016(11):49-51.
- [2] 史贤豪,谢波,肖海波.预制小箱梁中隐盖梁设计关键技术研究[J].城市道桥与防洪,2020(10):81-83.
- [3] 罗干生,史贤豪,肖海波.基于FEA全桥模型的预制小箱梁隐盖梁受力分析研究[J].城市道桥与防洪,2022(8):170-172.
- [4] 廖崇庆.某高架桥隐盖梁小箱梁应用及设计关键[J].城市道桥与

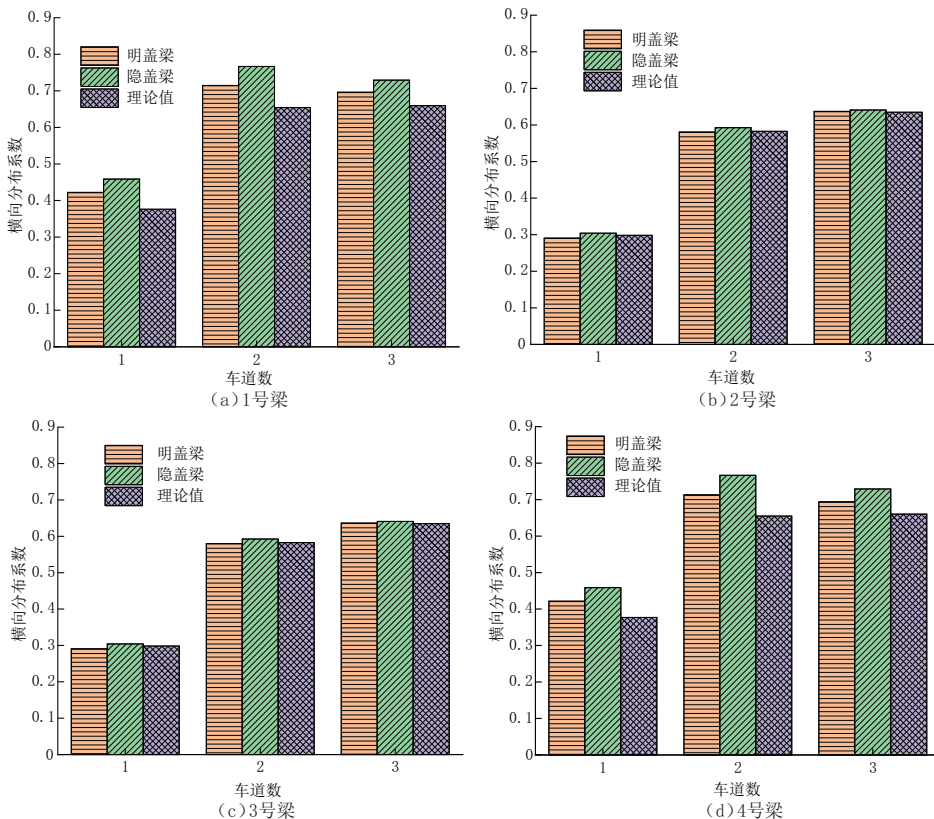


图14 横向分布系数

(下转第104页)