

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2023.05.048

预应力混凝土多室宽箱梁桥单梁模型与梁格模型有限元对比分析与研究

杨琪

(武汉生态环境设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430050)

摘要:在路线线形受限的条件下,为追求城市桥梁简洁协调的美观效果,弯桥、宽箱梁桥以及斜交桥梁的上部结构截面形式更多的采用箱形截面,这些小曲率半径或者变宽斜交的桥梁与常规的直线或者大曲率半径上的桥梁在相同荷载作用下,结构的内力等方面差别较大。梁格法能够更加真实的反应出宽桥的实际受力情况,但是计算较为繁琐,耗时较长。通过分析单梁法及梁格法计算结果,以期通过提高单梁法分析结果富余量的方式来确保结构设计满足规范要求。

关键词:梁格法;宽梁;正截面抗裂

中图分类号:U441

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)05-0187-03

1 梁格法理论简介

在对宽度较大的桥梁进行设计时,结构受力分析相对单梁法来讲往往更复杂,若运用单梁法进行分析不能较好地反映出梁体的真实受力状态,为有效解决该问题,实际设计过程中大多都采用梁格法。它采用等效的纵横梁格来模拟梁的上部结构,这样得出来的结果与结构实际受力情况相比更加相近。

等效梁格是指在相同荷载的情况下,与原结构产生一样的挠度,不仅如此,任意梁格的内力与该梁所代表的原型结构相应部分的截面应力的合力相等。由于结构的实际受力情况与梁格体系在结构性能上具有一定的差异,这种等效只能起到近似的作用,但对一般桥梁设计而言,梁格法的计算精度能够满足桥梁设计的需求。梁格法广泛适用于弯桥、斜梁桥,尤其是宽梁及系杆拱桥,纵向梁格反映出结构纵向内力,横向梁格反映出结构横向内力。

2 工程概况

徐宿淮盐高铁路线正线长度约315.5 km。全线共设置高铁车站16处,其中双沟、睢宁、宿迁、新淮安等客站4座均为新建车站。该项目为徐宿淮盐城际铁路线上的高铁站睢宁站综合客运枢纽工程里的市政高架桥。

睢宁站高架桥与睢宁火车站站房落客平台衔接,桥梁孔跨布置为 $2 \times 18 \text{ m} + 3 \times 18 \text{ m} + 4 \times 18 \text{ m} + (36 \text{ m} + 39 \text{ m} + 36 \text{ m}) + 4 \times 18 \text{ m} + 2 \times 18 \text{ m} + 3 \times 18 \text{ m}$,其中第4联桥上部结构采用等高预应力混凝土连续箱梁结构,梁高2.1 m,桥面设单向1.5%横坡,横坡通过桥面顶底板倾斜形成。预应力混凝土箱梁横断面采用单箱四室,箱梁顶板宽22.0 m,箱梁顶板翼缘悬臂长2.0 m,顶板厚度0.25 m,箱梁底板宽17.0 m,底板厚0.25 m,腹板厚0.5 m,箱梁端横梁的宽度为1.5 m,中横梁的宽度为2.4 m。

该桥梁宽度为22 m,单幅桥,建模时采用单梁法,为了对比宽桥情况下单梁法与梁格法结果的差异,现将梁格模型与单梁模型计算结果进行对比分析,并分析单梁法的计算误差的大小,对较宽桥梁的设计具有一定的指导意义。

3 有限元模型建立

运用大型有限元软件Midas Civil 2019对整个桥梁结构进行离散化并建立有限元建模,单梁法有限元模型共计66个节点,61个单元;梁格法模型,全桥共计445个节点,620个单元。建模模型如图1所示。

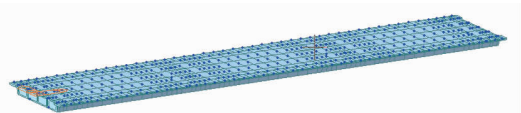


图1 桥梁结构有限元模型

虚拟横梁的布置原则为:一跨当中布置15道虚拟横梁,故本桥按2.5 m间距布设一个虚拟横梁。梁

收稿日期:2022-05-24

作者简介:杨琪(1989—),女,硕士,高级工程师,从事路桥设计工作。

格分割方式采用稀疏划分,即采用汉伯利梁格理论,纵梁分割方式均基于腹板,为了能够使分割后的每个纵梁的中性轴与原截面的中性轴完全重合,故对每个纵梁进行强制移轴,根据平行移轴公式 $I_{yy}'=I_{yy}+Ay^2$,可求得每个纵梁抗弯惯性矩的修正系数,经修正后的梁格就能达到截面中性轴与原截面中性轴重合的要求。

4 梁格模型与单梁模型结果比较

梁格模型将箱室纵向划分为5个单梁,现将梁格模型中5个纵梁构件的内力与单梁模型中每个腹板内力的平均值加以对比分析,得出实际状态下每个腹板的受力情况,同时也能得出单梁法计算结果的误差。

4.1 恒载作用下内力值结果比较

图2和图3所示为梁格模型与单梁模型恒载作用下的内力值。

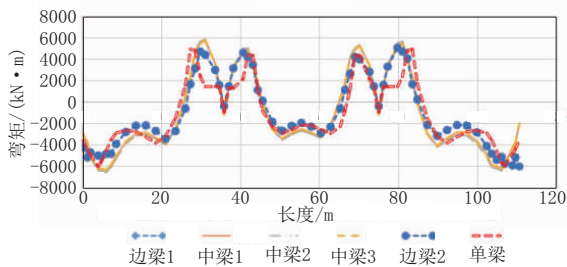


图2 恒载工况下弯矩图

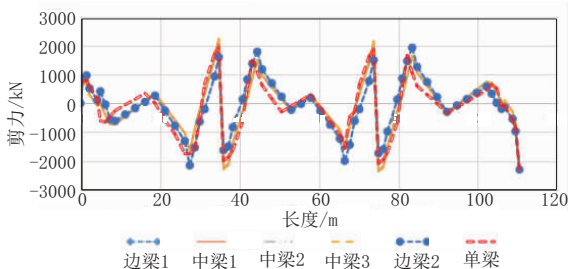


图3 恒载工况下剪力图

由图2和图3可知,梁格模型与单梁模型结构内力分布规律保持一致,且荷载作用下梁格模型中5个纵梁的内力并非完全相等,说明梁格法计算模型总体来讲要比单梁计算模型对反映结构的真实受力情况具有更好的表现能力。

恒载作用下,梁格模型的最大负弯矩以及最大正弯矩均大于单梁模型的相应值,最大误差达到了19%,箱梁最大弯矩值出现在中梁2处;梁格模型的最大正负剪力均大于单梁模型的相应值,最大误差达到了14%,箱梁的最大剪力值出现在箱梁的中梁1处。

4.2 活载最大作用下内力值结果比较

图4和图5所示为梁格模型与单梁模型在活载最大作用下的内力值。

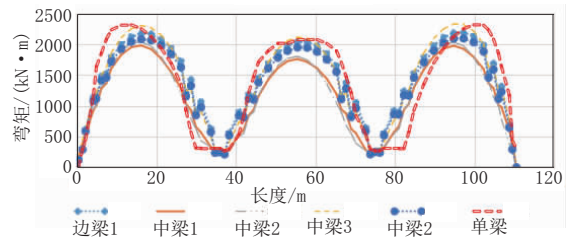


图4 活载最大作用下弯矩图

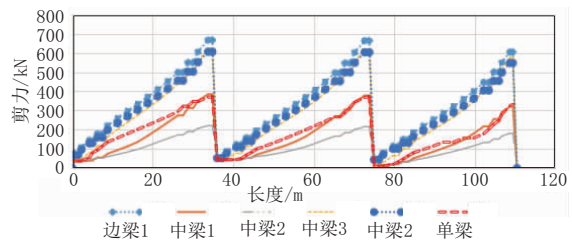


图5 活载最大作用下剪力图

分析图4和图5所示的数据,活载最大作用下,梁格模型的最大弯矩大于单梁模型的相应值,最大误差达到了1%,箱梁最大弯矩值出现在中梁3处;梁格模型的最大剪力均大于单梁模型的相应值,最大误差达到了78%,箱梁的最大剪力值出现在箱梁的中梁1处。

4.3 活载最小作用下内力值结果比较

图6和图7所示为梁格模型与单梁模型在活载最小作用下的内力值。

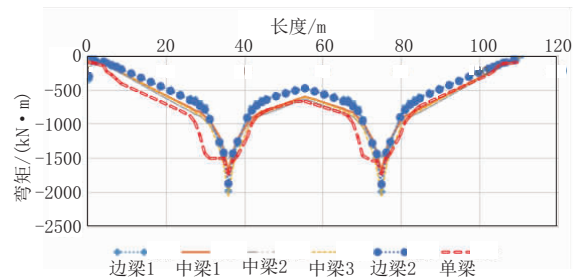


图6 活载最小作用下弯矩图

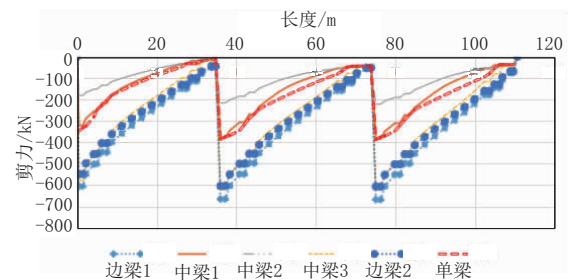


图7 活载最小作用下剪力图

分析图6和图7所示的数据,活载最小作用下,梁格模型的最大弯矩大于单梁模型的相应值,最大

误差达到了19%,箱梁最大弯矩值出现在中梁3处;梁格模型的最大剪力均大于单梁模型的相应值,最大误差达到了72%,箱梁的最大剪力值出现在箱梁的边梁1处。

4.4 应力值结果比较

分析图8和图9的数据,在桥梁运营阶段下,梁格模型的短期荷载工况下正截面抗裂最大值大于单梁模型的相应数值,最大差值为1.7 MPa,预应力混凝土箱梁最大拉应力值出现在中梁3处;梁格法模型在长期荷载工况下正截面抗裂最大值小于单梁模型的相应数值,最大差为0.06 MPa,预应力混凝土箱梁的最小压应力值出现在箱梁的边梁1处。

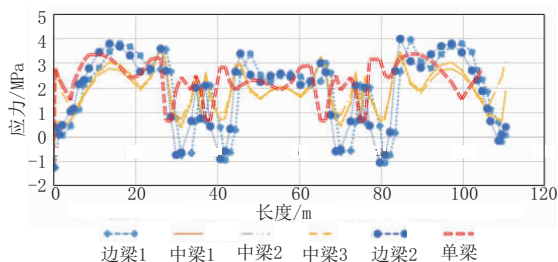


图8 正截面短期最小应力图

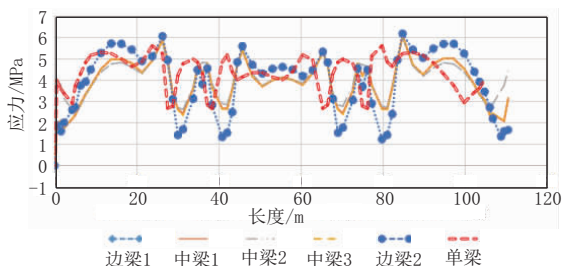


图9 正截面长期最小应力图

4.5 竖向位移

恒载下竖向位移如图所示,其中梁格模型边梁1与边梁2结果如图10所示,梁格模型中梁1至中梁3结果如图11所示,单梁模型结果如图12所示。



图10 恒载作用下边梁位移



图11 恒载作用下中梁位移



图12 恒载作用下单梁位移

根据表1可知,恒载作用下梁格模型与单梁模型跨中竖向位移结果相差不大,边跨位移大于中跨位移,梁格模型中中梁竖向位移大于边梁竖向位移,

且梁格模型中梁结果与单梁模型竖向位移结果较为接近。

表1 竖向位移表

单位:mm

项目	位置	梁格模型		单梁模型
		边梁	中梁	
竖向位移	边跨跨中	17.0	18.0	19.3
	中跨跨中	9.1	10.0	9.7

4.6 结论

通过以上计算分析可知,宽桥梁格模型与单梁模型内力分布大体上一致,并且结果不尽相同,总体来说梁格法计算出来的结果相对单梁法更加不利。

通过梁格模型可知,恒载下弯矩,中梁2数值最大,但是恒载下的剪力,中梁3数值最大;活载下弯矩,中梁3数值最大,活载下剪力,边梁1数值最大;正截面抗裂,短期工况下中梁3最不利,长期工况下边梁1最不利。

通过单梁模型可知,除了长期荷载工况下单梁模型正截面抗裂数值要更加不利以外,恒载及活载下的弯矩和剪力及短期荷载工况下正截面抗裂都均小于梁格模型的对应计算结果,且短期荷载工况下应力误差达到了1.7 MPa。这是由于结构实际受力时,截面每个腹板并不是均匀的承受外部荷载,而是根据实际的刚度与所处位置承受不一样的荷载,并反应出不同的应力。

实际设计宽箱梁时,在建立单梁模型时,为保证结果具有足够的富余量,可将正截面抗裂结果最小值控制在0.5 MPa即可,这样用梁格法分析时就能保证结构同样也能满足规范的各项指标要求,从而大大减小了桥梁设计的工作量,也更好地提高了工作效率。

5 结语

(1)梁格法分析宽箱梁结构得到的结果更能反应出结构真实的受力状态。

(2)由于梁格法考虑了每个纵梁实际刚度,这会影响到恒载及活载下内力的分配,更准确的分析出宽箱梁实际受力状态,所以会造成梁格法计算结果大于单梁法。

(3)不同工况不同荷载效应下梁格模型表现出的内力分布是不一样的。根据计算分析可知,中腹板承受的弯矩大于边腹板,活载下边腹板的剪力大于中腹板,且梁格模型中最大内力及应力大于单梁模型中的对应结果。

(下转第199页)

场监测结果拟合良好,二者在变化规律上呈现相同趋势,有效验证了数值计算结果的合理性,且现场监测结果与数值模拟结果的比值关系表明盾构推力参数优化后安全范围的倍数关系为4.9~6.8。可据此初步判断盾构推力参数的大致安全范围,为工程现场盾构施工方案设计与参数设置的获取提供了简便方法。

参考文献:

- [1] 陈强.上软下硬地层中盾构隧道开挖面支护压力研究[D].武汉:华中科技大学,2010.
- [2] 竺维彬,鞠世健,王晖,等.复合地层中的盾构施工技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2020.
- [3] 刘德安,梁雄,汤宇,等.富水泥岩大断面隧道开挖面稳定性及加固方式[J].科学技术与工程,2021,21(18): 7777-7783.
- [4] 马少坤,韦榕宽,邵羽,等.基于透明土的隧道开挖面稳定性三维可视化模型试验研究及应用[J].岩土工程学报,2021,43(10): 1798-1806,1958.
- [5] 李修磊,李金凤,杨超.黏土地层浅埋盾构隧道开挖面三维稳定性上限分析[J].铁道学报,2021,43(4): 166-174.
- [6] 肖鹏飞,冯光福,贾少东,等.距离下穿车站富水圆砾地层盾构隧道开挖面稳定性研究[J].隧道与地下工程灾害防治,2021,3(1): 75-81,91.
- [7] LIU X Y, FANG H Y, WANG F M, et al. Horizontal trap-door investigation on face failure zone of shield tunneling in sands[J]. Journal of Central South University, 2021, 28(3): 866-881.
- [8] 代仲海,胡再强.复合地层盾构开挖面极限支护力上限分析[J].工程科学与技术,2021,53(2): 95-102.
- [9] 叶康慨,王延民.土压平衡盾构施工土压力的确定[J].隧道建设,2003,23(2): 47-51.
- [10] 秦建设.盾构施工开挖面变形与破坏机理研究[D].南京:河海大学,2005.
- [11] 傅鹤林,胡才超,林锐,等.曲线盾构隧道开挖面被动极限支护力分析[J].铁道工程学报,2018,35(11): 48-54.
- [12] DAI C Q, SUI H T, MA C. Study on the ultimate supporting force of shield excavation face based on anisotropic strength theory[J]. Applied Sciences-basel, 2020, 10(15): 5222.
- [13] XUE F, ZHANG M X. Stability of the excavation face on a shield tunnel crossing beneath an existing tunnel [J]. Geotechnical Research, 2020, 7(2): 96-102.
- [14] ZHANG J W, HUANG L, PENG T X. Stability analysis of shield excavation face based on particle flow in different depths of sandy gravel stratum[J]. Advances in Civil Engineering, 2019, 2019(11): 7249724.
- [15] DAI C Q, WANG Q L, JIANG K, et al. Ultimate support force of excavation face in curved shield tunnels in composite strata[J]. Tehnicki Vjesnik-technical Gazette, 2021, 28(3): 708-717.

(上接第 189 页)

对宽梁设计分析时,考虑到单梁模型结果不能模拟出每个腹板实际受力,故计算结果应保留充足的富余量,根据计算可知,建议单梁法正截面抗裂短期荷载下控制在 0.5 MPa 即可。

参考文献:

- [1] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [2] 戴公连,李德建.桥梁结构空间分析设计方法与应用[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] E.C.汉勃利.桥梁上部构造性能[M].北京:人民交通出版社,1982.
- [4] 林加爵.梁格法在宽桥分析中的应用[J].建材与装饰,2016(1): 94-95.
- [5] 马金菊.梁格法在变宽连续箱梁中的应用[J].城市道桥与防洪,2018(8): 145-148.