

考虑荷载横向分布的箱梁有限元精确建模研究

李于

(新邵县公路管理局, 湖南 邵阳 422900)

摘要: 为精确考虑荷载横向分布, 以实体模型计算结果为基准, 分别建立箱梁桥单梁模型及梁格模型, 对其受力进行对比分析, 结果表明单梁模型精度较差且难以准确反映其荷载横向分布, 而梁格模型较精确但仍存在一定误差; 采用调整虚梁截面特性以改变虚拟横梁刚度的方式对梁格法模型进行修正, 其计算结果更精确。

关键词: 桥梁; 箱梁; 荷载横向分布; 有限元建模; 梁格法

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)04-0104-04

箱梁桥以受弯为主的主梁作为主要承重构件, 具有很好的结构性能, 在现代桥梁中应用广泛。作为整体结构, 它是空间受力体系, 但在一般设计、计算分析中, 实体建模由于其自身的复杂性及不够经济实用, 常按单梁考虑。鉴于单梁模型自身的局限性, 无法精确体现横向荷载分布, 致使在这类模型计算下设计的桥梁出现多类病害、耐久性大大降低, 或在检测、试验中因无法精确考虑荷载横向分布导致结果出现偏差(如荷载试验中的偏载工况)。有限元梁格模型能较好地反映桥梁纵、横向受力特性, 且建模思路简单明确, 目前广泛应用于箱梁建模计算中。但在有限元模型中如何有效经济地考虑荷载横向分布目前仍缺乏统一的思路。为此, 该文基于实体模型计算, 对比分析单梁模型及梁格模型的应力结果, 通过调整梁格模型虚拟横梁截面特性使模型计算结果更精确。

1 荷载横向分布理论计算方法

箱梁桥荷载横向分布规律与结构的横向连接刚度紧密相关。通常采用荷载横向分布系数这种近似理论计算其结构内力, 即将空间整体结构简化为平面杆系模型, 方便计算。目前公路梁桥荷载横向分布系数的计算方法主要有梁格法、板系法及梁系法, 其中梁格法包括偏心压力法、修正偏心压力法、弹性支承连续梁法及广义梁格法, 板系法包括铰接板(梁)法和刚接板(梁)法, 梁系法有比拟正交异性板法(G-M法)。在以有限元理论为主的空间结构仿真分析方法得以实现后, 梁格法(空间杆系)成为各分析方法中较实用有效的方法, 其概念简单明确、便于使用且计算更精确。

2 工程背景

以某大桥引桥为例进行计算分析。该桥为 3×20 m 等截面单箱双室双幅简支箱梁桥, 主梁采用 C50 砼, 容重 25 kN/m^3 ; 桥墩和桥台采用 C30 砼, 容重 25 kN/m^3 ; 桥面铺装层采用厚度为 0.08 m 的沥青砼, 容重 24 kN/m^3 ; 采用 strand1860 预应力钢束, 容重 78.5 kN/m^3 。取其中一跨进行分析, 上部结构主梁截面参数见图 1。

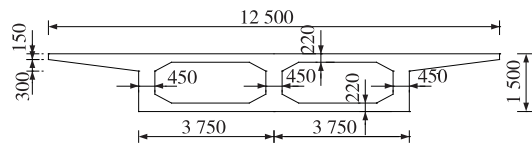


图 1 箱梁断面示意图(单位: mm)

对该桥主梁分别按单梁、梁格、实体 3 种方式进行建模计算, 以实体建模计算结果为基准, 对比单梁及梁格模型应力计算结果的差异, 探讨梁格法考虑荷载横向分布的精确建模方式。

3 建模分析及计算

3.1 建立模型

采用 ABAQUS6.14-1 对主梁建模, 以降温法模拟预应力束作用, 采用 C3D8R(八结点线性六面体单元, 减缩积分, 沙漏控制)六面体单元建立实体模型, 共 14 080 个单元。

采用 MIDAS/Civil 2015 按单梁对主梁建模, 共 21 个节点、20 个单元。

以等效梁格模拟主梁, 由文献[6]总结的划分方式, 主梁截面纵向划分以使每个截面中性轴在同一水平线上且与原结构保持一致为原则(见图 2); 相

邻纵梁间采用横向虚梁连接,其截面特性与弹性模量选取原则见式(1),即使虚梁抗弯刚度与纵梁抗弯刚度一致,模拟相邻纵梁之间的横向连接特性。采用宽120 mm、高10 mm的矩形截面作为横向虚梁的截面,根据式(1),弹性模型 E_1 取 6.91×10^{16} MPa。梁格有限元模型共65个节点、102个单元。

$$E_e I_e = E_1 I_1 \quad (1)$$

式中: E_e 为原纵梁所用材料的弹性模量; I_e 为原纵梁截面惯性矩; E_1 为虚梁所用材料的弹性模量; I_1 为虚梁截面惯性矩。

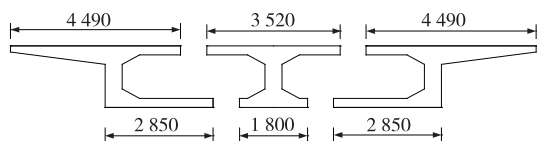


图2 箱梁纵向划分(单位:mm)

按上述方法建立的三类箱梁模型见图3。

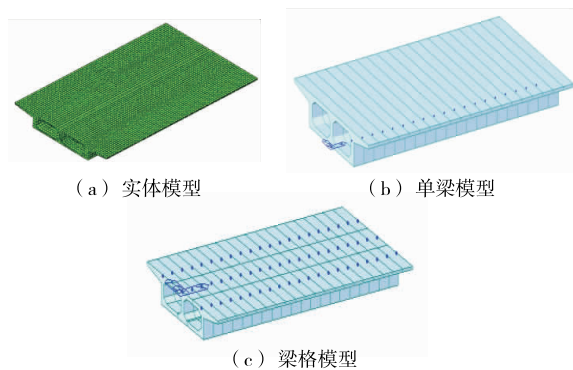


图3 箱梁模型

3.2 受力分析及应力比较

荷载作用主要考虑自重、预应力、活载,其中活载用等效静活载代替,按JTG B01-2014《公路工程技术标准》取值。静活载采用单侧偏布布置于距翼缘板端1.4 m处,分析其应力横向分布情况。

荷载工况为自重+静活载(偏载)+预应力荷载。取跨中截面进行分析,三类模型跨中位置应力横向分布对比见图4,以压应力为负、拉应力为正。

由图4可知:单梁模型无法反映偏载作用下荷载横向分布情况,其跨中截面应力沿横桥向各位置均相等,顶板为-2.5 MPa,底板为0.7 MPa,与实际情况不符,与实体模型计算结果也相差较大;梁格模型应力由偏载端向另一端递减,其中顶板应力由-2.62 MPa变化为-2.49 MPa,底板应力由0.90 MPa变化为0.59 MPa,变化趋势较符合实际情况,但具体数值与实体模型相比仍有不可忽略的差异;

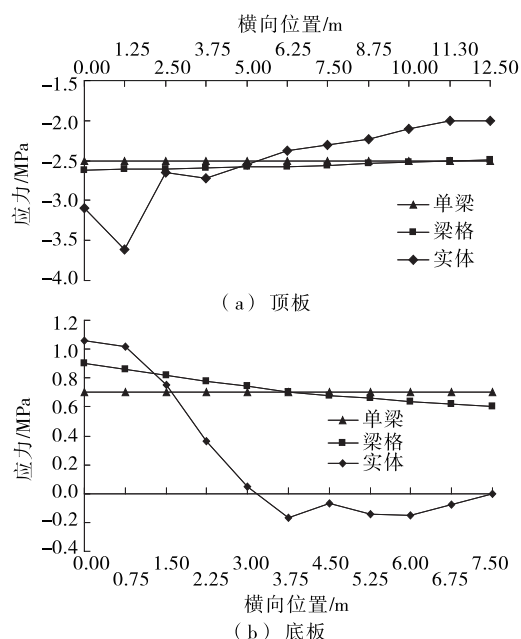


图4 三类模型跨中位置应力横向分布对比

实体模型因偏载加载面较小,加载处应力较集中,顶板处跨中截面应力横向分布为一先增后减的曲线。而杆系模型因其自身局限无法准确反映这一情况。

综上,在实际工程计算中,采用单梁模型难以达到相应精度要求,而建立实体模型较复杂,前后处理耗时较长,且可能在局部出现应力集中的情况,采用梁格法可以比单梁模型更高的精度、花费更少的代价达到相关计算要求。为更精确地以梁格法进行建模计算,针对该模型计算结果中跨中截面顶板、底板应力数值及变化规律与实体模型相差较大的情况,分别采取调整横向虚梁截面特性以改变虚拟横梁刚度、调整纵梁横向弯矩传递值两种方式进行修正,探究其对计算结果的影响。

3.3 虚拟横梁刚度对计算结果的影响

在保证虚梁抗弯刚度不变的情况下,按表1所示4种方案改变横向虚梁截面参数,分别取三段纵梁跨中截面处节点(横向距离分别为0、6.25和12.5 m的点A、B、C)作为特征点,提取其应力,结果见表1和图5。

由表1、图5可知:当虚梁截面为圆形或正方形时,其横向应力分布与实体模型更接近,但仍有一定差距。实体模型顶板横向应力由-3.09 MPa递减至-1.99 MPa,而方案3及方案4由-2.80 MPa递减至-2.46 MPa;实体模型底板应力由1.06 MPa递减至-0.17 MPa再变化为零,而方案3及方案4分别由1.02、1.01 MPa递减至0.54 MPa。方案1、方

表1 考虑不同截面参数的应力分布对比

方案 编号	截面 类型	截面参 数/mm	顶板特征点应力/MPa			底板特征点应力/MPa		
			A	B	C	A	B	C
1	矩形	$b=100.000, h=34.640$	-2.62	-2.58	-2.52	0.78	0.76	0.71
2		$b=15.000, h=20.000$	-2.78	-2.57	-2.50	1.06	0.76	0.66
3		$b=h=18.612$	-2.80	-2.55	-2.46	1.02	0.77	0.54
4	圆	$D=21.250$	-2.80	-2.55	-2.46	1.01	0.76	0.54
5		$D=15.951$	-2.96	-2.54	-2.39	1.11	0.73	0.45
实体			-3.09	-2.38	-1.99	1.06	-0.17	0.00

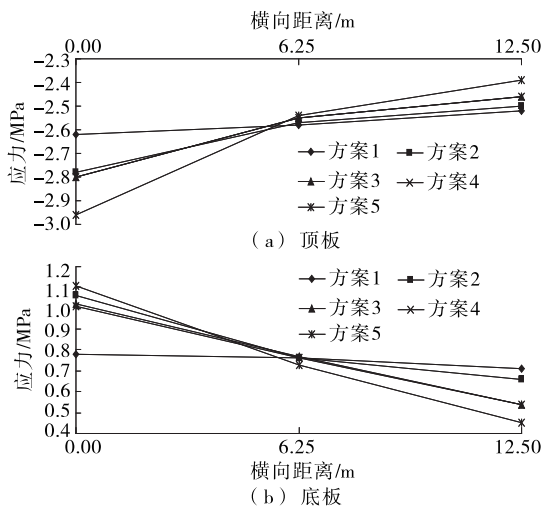


图5 截面参数修改后计算结果对比

案2的应力计算结果偏差均较大。

为了进一步逼近实体模型计算结果,考虑修改虚梁抗弯刚度取值,使虚梁抗弯刚度 I_1 等于其相邻两纵梁纵向抗弯刚度之和的中值 I' ,弹性模量不变,且虚梁截面按圆形截面考虑。由 $E_1 I_1' = E_1 I_1$ 可知, $I_1 = 3.178 \times 10^3 \text{ mm}^4$,圆形截面直径 D 为 15.951 mm,以该参数为方案5进行计算,结果见表1。由表1可知:顶板应力由 -2.96 MPa 递减至 -2.39 MPa,底板应力由 1.11 MPa 递减至 0.54 MPa,更逼近实体模型计算结果。

3.4 纵梁横向弯矩传递对计算结果的影响

通常箱梁桥采用梁格法建模时横向连接考虑为刚性连接,认为虚梁100%传递弯矩。采用MIDAS释放梁段约束功能,在以方案5作为虚梁截面的基础上,考虑分别传递75%、50%、25%及1%弯矩的情形,将这4种情况下的计算结果与方案5的计算结果进行对比,结果见表2。

由表2可知:在减小弯矩传递系数后,靠近偏载

表2 考虑不同弯矩传递系数的应力分布对比

方案 编号	弯矩传 递系数	顶板特征点 应力/MPa			底板特征点 应力/MPa		
		A	B	C	A	B	C
5	1.00	-2.96	-2.54	-2.39	1.11	0.73	0.45
6	0.75	-2.98	-2.53	-2.39	1.22	0.72	0.45
7	0.50	-2.99	-2.50	-2.37	1.23	0.71	0.45
8	0.25	-3.00	-2.46	-2.35	1.25	0.68	0.45
9	0.01	-3.33	-2.18	-2.18	1.53	0.49	0.43

端的纵梁应力呈增大趋势,远离偏载端的纵梁应力呈下降趋势,这是由于弯矩传递系数减小,其横向刚度减弱,主要荷载由靠近荷载端的纵梁承担所致。对比实体模型的计算结果,二者差值随弯矩传递系数的减小而增大,可见箱形截面不宜将弯矩传递系数减小,按刚接考虑更接近实际情况。

4 结论

针对箱梁桥,分别建立单梁、梁格及实体模型进行受力分析,对比荷载横向分布情况,并考虑调整梁格模型纵梁横向弯矩传递值及虚拟横梁截面特性,得出如下结论:

(1) 在大宽跨比箱梁中,相较于纵向受力,横向受力不容忽视,而单梁模型不能准确反映其横向受力特性。案例工程的宽跨比仅为1:1.6,考虑静活载(偏载)的情况下,单梁、梁格及实体模型对顶、底板应力分布的计算结果相差显著,且应力变化趋势有一定差距。对于更大宽跨比的桥梁,更应重视横向受力分析,建模计算中应考虑荷载的横向分布。

(2) 单梁、梁格模型无法准确反映静偏载处、支承处及预应力束锚固处局部承压问题,而实体模型中若对支承及预应力束锚固处模拟不当也易出现网

格畸变、应力集中、计算不收敛等问题,严重时甚至导致模型出错无法运行计算,建模分析时应予以重视。在实体模型与杆系模型计算结果对比时,应有取舍,选取能反映其荷载横向分布的特征点结果进行对比。

(3) 横向虚梁的截面特性是梁格法建模能否高精度仿真的关键。采用正方形截面或圆形截面,当横向虚梁抗弯刚度取其相邻纵梁刚度之和的中值时,计算结果最接近实体模型,精度较高。

(4) 横向弯矩的传递对箱梁有重要影响,若减少其横向弯矩传递系数,则计算精度降低,无法真实反映多个纵梁的共同受力特性;按刚接处理,抗弯刚度按上述方式取值可达到较理想的计算精度。

(5) 考虑到实际工程的复杂性及实体模型构建难度,建议以顶板作为关键部位控制分析时按梁格、实体进行建模计算,以底板作为关键部位控制分析时按梁格进行建模计算。三类模型的精度和建模难度及计算耗时从高到低依次为实体模型、梁格模型、单梁模型。

参考文献:

- [1] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [2] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范[S].
- [3] 项海帆.高等桥梁结构理论[M].北京:人民交通出版社,2001.

- [4] 王富万,杨文兵.梁格法在桥梁上部结构分析中的应用[J].华中科技大学学报:城市科学版,2006,23(增刊).
- [5] 戴公连,李建桥.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.
- [6] 葛俊颖,丁啸宇.梁格法分析铰接板梁桥横向虚拟横梁刚度的取值研究[J].公路,2010(4).
- [7] 黎力韬,朱思蓉.常规桥梁平面梁格法模型横向刚度的精确调整方法[J].西部交通科技,2015(5).
- [8] 王扶义,负森,梁朝伟,等.刚性横梁法计算荷载横向分布系数的简化方法[J].山西建筑,2018,44(1).
- [9] 郭小权,庞浩然,张超.连续小箱梁桥虚拟横梁刚度模拟研究[J].公路交通技术,2018(1).
- [10] 袁义坤.大宽跨比湿接简支T梁桥荷载横向分布系数试验研究[J].天津建设科技,2017,27(1).
- [11] 李贵峰.扁平超宽连续箱梁桥空间受力性能分析与研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2016,29(4).
- [12] 张玥,李志成,孟贞,等.连续T形梁桥梁格法分析及梁格模型修正研究[J].中外公路,2017,37(5).
- [13] 季冬良.梁格法在城市桥梁设计中的应用分析[J].山西建筑,2018,44(15).
- [14] 邵祥林.梁格法建模在宽箱梁桥静载试验中的应用[J].城市道桥与防洪,2017(8).

收稿日期:2018—08—05

(上接第103页)

模量,主梁弹性模量对成桥状态线形的影响很小,为非敏感参数;中跨线形变化远大于边跨线形变化。

(4) 主梁应力对拉索弹性模量减小较敏感,而其他结构参数对主梁应力的影响较小,可忽略。设计中应考虑拉索弹性模量对主梁应力状态的影响。

(5) 桥塔应力对主梁体积重量减少较敏感,而其他结构参数对桥塔应力的影响较小,可忽略。

参考文献:

- [1] 刘世明,刘永健.无背索曲塔曲梁斜拉桥参数敏感性分析[J].公路交通科技,2014,31(2).
- [2] 李忠三,雷俊卿,颜东煌.大跨度混合梁斜拉桥参数敏感性分析[J].北京交通大学学报,2012,36(1).
- [3] Wang H, Tao T, Zhou R, et al. Parameter sensitivity study on flutter stability of a long-span triple-tower suspension bridge[J]. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 2014, 128(5).

- [4] 王生武,项纯夫,李腾腾,等.异形独塔斜拉桥参数敏感性分析[J].公路工程,2015,40(1).
- [5] 刘榕,伍英,丁延书,等.多塔矮塔斜拉桥结构参数敏感性分析[J].铁道科学与工程学报,2018,15(5).
- [6] Zhong San, Li Jun, Qing Lei, et al. Analysis of parameters' sensitiveness of long-span hybrid girder cable-stayed bridge[J]. Key Engineering Materials, 2012, 517(1).
- [7] Liu Jian, Wang Da. Static parameter sensitivity analysis of long-span cable-stayed bridge based on RSM[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2016, 10(1).
- [8] 张治成.大跨度钢管混凝土拱桥施工控制研究[D].杭州:浙江大学,2006.
- [9] 魏春明,陈淮,王艳.矮塔斜拉桥参数敏感性分析[J].郑州大学学报:理学版,2007,39(3).
- [10] 刘剑,王达.基于响应面法的大跨径斜拉桥静力参数敏感性分析[J].公路交通科技,2015,32(8).

收稿日期:2018—07—30