

梁格法在曲线连续箱梁桥荷载试验 计算分析中的应用

邬灿¹, 付振涛¹, 肖鹏¹, 聂良鹏^{1,2}

(1.西南林业大学 土木工程学院, 云南 昆明 650224; 2.云南交通规划设计研究院, 云南 昆明 650217)

摘要: 利用有限元单梁法与梁格法建立云南某曲线连续箱梁桥计算模型, 从支反力、结构应力、结构挠度三方面对单梁模型和梁格模型的计算结果进行对比分析, 并与桥梁荷载试验实测结果进行对比, 分析这两种计算方法的准确性。结果表明梁格法的准确性比单梁法高, 且可有效满足桥梁荷载试验所需结构内力和挠度的取值, 是曲线梁桥结构分析的一种有效方法。

关键词: 桥梁; 曲线连续箱梁桥; 荷载试验; 梁格法

中图分类号: U446.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)04-0161-04

对于曲线连续箱梁桥的结构计算, 采用单梁法建立模型得到的结果往往达不到计算精度, 应用实体单元建模分析可得到精确结果, 但建模复杂、耗时较长, 在实际工程中应用较少。梁格法概念清晰, 易于理解, 且计算结果较准确, 是工程中应用较广泛的桥梁结构分析方法。该文以云南省昆明市某互通式立交桥 B 匝道第一联为例, 对曲线连续箱梁桥采用 MIDAS/Civil 分别建立单梁和梁格模型, 对两种模型的计算结果进行对比分析, 探讨适用于桥梁结构分析的方法。

1 工程概况

昆明市某互通式立交桥 B 匝道第一联上部结构为 4×30 m 单箱单室斜腹板预应力砼连续弯箱梁桥, 下部结构为花瓶墩, 墩顶设双支座, 采用直臂式桥台, 配钻孔灌注桩基础。箱梁顶面总宽 9.74 m, 梁高 1.80 m (见图 1、图 2)。主梁采用 C50 砼, 桥

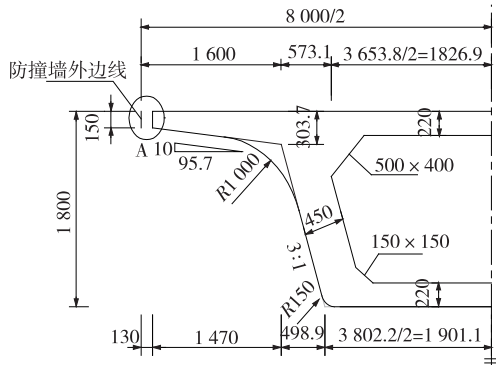


图 1 某预应力砼连续弯箱梁桥箱梁跨中截面
尺寸(单位:mm)

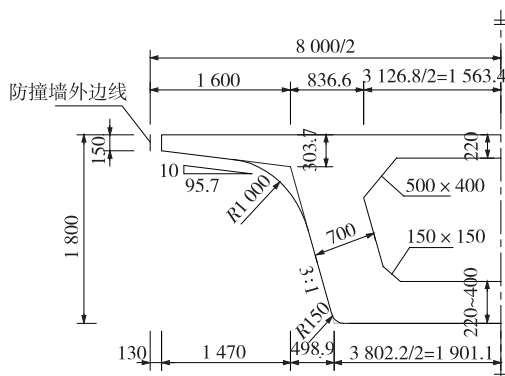


图 2 某预应力砼连续弯箱梁桥箱梁支点截面
尺寸(单位:mm)

面铺装采用 1.5 mm 聚氨酯防水涂料+9 cm 沥青砼铺装层。汽车荷载: 城-A 级, 单向二车道。

2 结构分析模型

采用 MIDAS/Civil 通用有限元软件分别建立该桥单梁和梁格模型。

2.1 单梁模型

采用两种方法建立单梁模型, 即曲线箱梁桥等效为桥梁中心线长为 4×30 m 的直桥模型(单梁模型 1)和曲线箱梁桥按平面曲线建立的模型(单梁模型 2)。采用 MIDAS/Civil 建立的该桥单梁模型由 123 个单元、134 个节点构成(见图 3)。

2.2 梁格模型

梁格法的主要思路是将上部结构用一个等效的梁格模拟, 将分散在箱梁每一区段内的弯曲、抗扭刚度集中在最邻近的等效梁格内。梁格划分应使各部分截面的形心轴位置与原箱梁截面的形心轴位置重

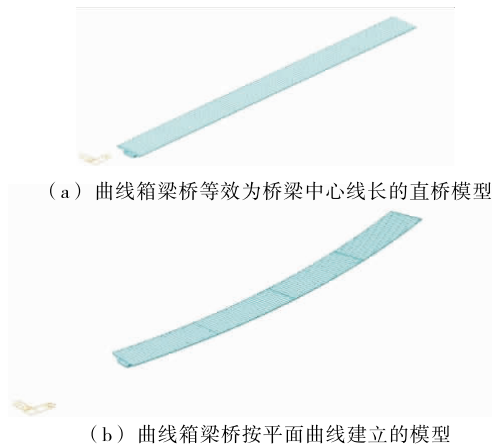


图 3 曲线箱梁桥单梁模型

合,以使各纵梁弯曲时与原箱梁截面符合平截面假

定。采用 MIDAS/Civil 建立的该桥梁格模型由 645 个单元、478 个节点构成(见图 4)。



图 4 曲线箱梁桥梁格模型

3 单梁法与梁格法计算结果对比分析

3.1 支反力对比分析

自重荷载作用下单梁和梁格模型计算的支反力见表 1。

表 1 模型计算的支反力

kN

模型	曲线外侧支反力					曲线内侧支反力				
	0# 台	1# 墩	2# 墩	3# 墩	4# 墩	0# 台	1# 墩	2# 墩	3# 墩	4# 墩
单梁模型 1	859.3	2480.8	2002.3	2400.9	858.9	859.3	2480.8	2002.3	2400.9	858.9
单梁模型 2	867.7	2589.3	2216.1	2578.6	872.2	816.4	2379.7	2306.8	2386.1	813.5
梁格模型	873.2	2603.6	2237.3	2586.3	878.8	823.6	2368.5	1836.4	2068.8	817.3

由表 1 可知:单梁模型 1 计算出的支座曲线内外侧的支反力在自重作用下相同,不符合曲线梁桥的受力特征;单梁模型 2 计算出的支座曲线内外侧的支反力在自重作用下存在差异,但在 2# 墩处曲线内侧支反力大于曲线外侧支反力,不符合曲线梁桥的实际受力情况;梁格模型计算出的曲线外侧支反力均大于曲

线内侧支反力,比较真实地反映了曲线梁桥的受力特性。说明在曲线梁桥结构分析计算中梁格法比单梁法更准确,更能反映实际桥梁的受力情况。

3.2 结构应力对比分析

自重荷载作用下单梁和梁格模型计算的结构应力见表 2。

表 2 模型计算的结构应力

MPa

模型	主梁外侧下缘正应力 σ_{\max}				主梁内侧下缘正应力 σ_{\max}			
	1# 跨 $L/2$	2# 跨 $L/2$	3# 跨 $L/2$	4# 跨 $L/2$	1# 跨 $L/2$	2# 跨 $L/2$	3# 跨 $L/2$	4# 跨 $L/2$
单梁模型 1	5.12	2.52	2.53	5.11	5.12	2.52	2.53	5.11
单梁模型 2	5.17	2.53	2.51	4.76	5.17	2.53	2.51	4.76
梁格模型	4.97	2.13	2.09	4.47	5.63	2.82	2.67	5.02

由表 2 可知:单梁模型计算出的主梁跨中内外侧下缘正应力相同,而梁格模型计算出的主梁跨中内外侧下缘正应力相差较明显,较好地反映了曲线梁桥中的弯扭耦合现象,说明梁格法能较准确地反映曲线梁桥上部结构的受力性能。

3.3 结构挠度对比分析

自重荷载作用下单梁和梁格模型计算的结构挠度见表 3。

表 3 模型计算的结构挠度

mm

模型	主梁挠度值			
	1# 跨 $L/2$	2# 跨 $L/2$	3# 跨 $L/2$	4# 跨 $L/2$
单梁模型 1	-10.53	-3.98	-3.99	-10.53
单梁模型 2	-10.82	-4.02	-3.97	-10.08
梁格模型	-10.83	-4.13	-4.21	-10.21

由表 3 可知:单梁模型计算出的主梁跨中挠度

与梁格模型计算出的主梁跨中挠度相差较小,鉴于梁格法能较好地反映曲线梁桥的受力性能,取梁格模型计算值更准确。

4 桥梁荷载试验

4.1 试验目的

通过对桥梁进行荷载试验,测定桥跨结构在试验荷载作用下控制截面的应力和挠度,并与理论计算值比较,对实际结构使用性能和工作状态作出评价;取得关键部位的受载应力(应变)、变位等,经过综合分析,全面评估结构性能及使用功能是否满足设计要求,为桥梁运营提供技术依据,并为今后桥梁维护、管理提供原始资料。

4.2 试验加载原则

试验工况荷载和加载位置采用荷载试验效率进行控制。静力荷载试验效率 η_s 按下式计算:

$$\eta_s = S_{\text{stat}} / [S_k (1 + \mu)]$$

式中: S_{stat} 为实际荷载作用下控制截面的最大内力值; S_k 为控制荷载作用下控制截面最不利内力值; μ 为设计冲击系数。

4.3 试验加载工况

依据最不利加载原则,主桥选择边跨支点截面最大负弯矩、边跨跨中最大正弯矩、2# 跨支点截面最大负弯矩及 2# 跨跨中最大正弯矩作为加载工况,由于篇幅限制,仅以主桥 2# 跨跨中最大正弯矩截面为例进行试验分析。应变控制截面为 2# 跨 $L/2$ 截面,挠度控制截面为 2# 跨 $L/4$ 、 $L/2$ 、 $3L/4$ 截面。试

验加载采用 4 辆 40 t 载重汽车排成 2 列,试验加载工况(偏载)载位布置见图 5。

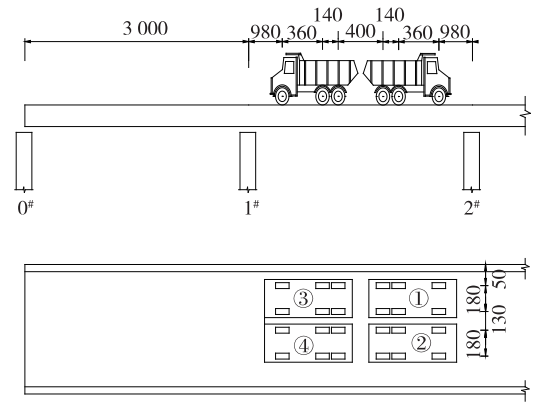


图 5 试验加载工况载位布置(单位:cm)

4.4 静力荷载试验数据分析

对试验加载实测值与梁格模型计算理论值进行对比,评判桥梁结构的承载能力是否满足设计要求。

4.4.1 静载试验加载效率分析

在试验加载工况下, $L/2$ 控制截面处的汽车荷载效应为 $7\,376\text{ kN}\cdot\text{m}$,试验荷载效应为 $7\,149.2\text{ kN}\cdot\text{m}$,试验荷载加载效率 η 为 0.969,满足《大跨径混凝土桥梁的试验方法》的要求($0.85 \leq \eta \leq 1.05$),荷载试验有效。

4.4.2 挠度分析

在 2# 跨跨中截面最大正弯矩工况下测试试验跨测点的挠度值,并与梁格模型计算理论值进行比较,结果见表 4。

表 4 挠度值分析

测点位置	满载实测 挠度/mm	满载实测 弹性挠度/mm	理论计算 挠度/mm	校验系数	残余值/mm	相对残余/%
2# 跨 $L/4$ 处左幅边缘	-0.79	-0.76	-1.46	0.52	-0.03	4
2# 跨 $L/2$ 处左幅边缘	-1.75	-1.63	-2.43	0.67	-0.12	7
2# 跨 $3L/4$ 处左幅边缘	-1.55	-1.48	-2.13	0.69	-0.07	5
2# 跨 $L/4$ 处右幅边缘	-1.33	-1.24	-1.98	0.63	-0.09	7
2# 跨 $L/2$ 处右幅边缘	-2.59	-2.48	-3.29	0.75	-0.11	4
2# 跨 $3L/4$ 处右幅边缘	-1.69	-1.62	-2.89	0.56	-0.07	4

由表 4 可知:在偏载作用下,主桥 2# 跨控制截面的各测点挠度相对残余最大为 7%,小于 20%,该桥弹性性能满足设计要求。

4.4.3 应变分析

主桥 2# 跨控制截面应变测点布置见图 6。最大正弯矩荷载作用下控制截面各测点应变见表 5。

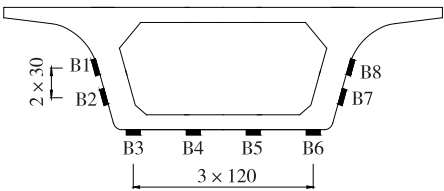


图 6 应变测点布置(单位:cm)

表5 应变值分析

测点	实测应变值/ $\mu\epsilon$	弹性应变值/ $\mu\epsilon$	理论计算值/ $\mu\epsilon$	校验系数	残余值/ $\mu\epsilon$	相对残余/%
B1	30	33	40	0.75	-3	-10
B2	55	55	61	0.90	0	0
B3	66	64	82	0.80	2	3
B4	64	62	92	0.70	2	3
B5	68	65	102	0.67	3	4
B6	63	66	112	0.56	-3	-5
B7	46	48	83	0.55	-2	-4
B8	44	44	54	0.81	0	0

由表5可知:试验加载工况下,控制截面各测点相对残余均小于10%,校验系数均小于《大跨径混凝土桥梁的试验方法》的上限1.0,说明结构弹性性能较好,满足设计要求。

5 结论

(1) 梁格法的计算精度比单梁法高,更符合曲线梁桥的受力特性,是曲线梁桥结构分析的一种有效方法。合理地使用梁格法进行建模分析,可较准确地计算桥梁结构控制截面的各项内力值。

(2) 荷载试验的实测值和理论计算值较吻合,该桥满足设计要求。

参考文献:

- [1] 赵站伟,刘锋民.曲线梁桥设计计算分析[J].山东交通科技,2013(1).
- [2] 李春旗,邱波,唐明亮.梁格法在曲线梁桥结构设计计算分析中的运用[J].西部交通科技,2014(5).
- [3] 刘美兰.midas Civil在桥梁结构分析中的应用[M].北京:人民交通出版社,2012.
- [4] 叶见曙,李国平.结构设计原理[M].北京:人民交通出版社,2014.
- [5] 王海丰.预应力曲线梁桥受力特点及设计中应注意的问题[J].北方交通,2009(3).
- [6] 傅伟,刘超群,常柱刚,等.双反弯“S”形曲线钢箱梁桥空间计算分析[J].中外公路,2012,32(3).
- [7] 曾彦.基于静载试验的桥梁结构性能评价[J].华北水利水电学院学报,2013,34(4).
- [8] CJJ/T 233-2015,城市桥梁检测与评定技术规范[S].
- [9] JTG/T J21-01-2015,公路桥梁荷载试验规程[S].

收稿日期:2017-03-04

(上接第156页)

- [5] 杨万理.深水桥梁动水压力分析方法研究[D].成都:西南交通大学,2011.
- [6] 魏凯,伍勇吉,徐灿,等.桥梁群桩基础-水耦合系统动力特性数值模拟[J].工程力学,2011,28(1).
- [7] Wei Kai, Yuan Wan-cheng. Experimental and numerical assessment of the three-dimensional modal dynamic re-

sponse of bridge pile foundations submerged in water [J]. Journal of Bridge Engineering, 2013, 18(10).

- [8] 王晓伟,叶爱君.大跨度斜拉桥地震反应谱分析中计算振型数研究[J].结构工程师,2011,27(4).

收稿日期:2017-03-08

(上接第160页)

5 结论

该文针对30 m简支箱梁桥面维修,对桥面分别加铺4、10 cm沥青层,通过计算得到梁斜截面抗裂能力及正截面抗弯能力,分析加铺沥青层后结构的安全性。主要结论如下:桥面维修加铺4、10 cm厚沥青层后,截面最大主拉应力明显增高,分别增加11%、28%,加铺沥青面层会显著影响桥梁斜截面抗裂能力;各截面最大弯矩值明显增高,增幅分别为3.7%、9.4%左右,加铺沥青面层会显著影响桥梁抗弯能力。

实际施工中可能会遇到各类桥梁,结构存在差

异,且桥面加铺沥青层厚度也会不同,在加铺前需进行全面验算,明确安全性。

参考文献:

- [1] 丁勇,黄奇,黄剑源.连续桥面简支梁桥静动力特性的理论分析方法研究[J].工程力学,2015,32(9).
- [2] 王岗,谢旭,申永刚.简支梁桥拱型桥面连续构造的受力性能[J].浙江大学学报:工学版,2014,42(6).
- [3] 温晓强.桥梁桥面连续构造设计与施工技术[J].公路交通科技:应用技术版,2013(1).
- [4] 杨芳.水泥桥面加铺沥青混凝土面层施工技术探讨[J].山西建筑,2013,39(31).

收稿日期:2017-02-26