

文章编号:1003-1995(2009)03-0079-04

基于梁格法的钢筋混凝土连续箱梁桥静载试验评估

袁磊,陈密,巴力

(中国铁道科学研究院 铁道建筑研究所,北京 100081)

摘要:采用梁格法对某双箱单室普通钢筋混凝土连续梁桥的静载试验进行分析,在实测结果的基础上对梁格法空间杆系模型的建立进行了简要探讨,并据此对其主梁结构工作状态进行评价。

关键词:梁格法 剪力—柔性梁格 钢筋混凝土连续梁桥 静载试验

中图分类号:U446.3 **文献标识码:**B

0 前言

在对桥梁结构进行数值仿真分析时,可以根据不同的目标要求建立平面杆系、空间杆系或空间实体模型进行。其中,平面杆系模型仅能反映杆系截面的平均力学特征,适用于较简单的结构及较粗略的分析中;空间实体模型的建立较为复杂,程序运行对计算机硬件要求较高,输出结果为应力与位移,适用于有针对性的结构局部分析中;相对来说,空间杆系模型在合理建立模型的情况下,能较为全面地反映结构的受力特点,建模相对方便,耗费计算机资源相对较少,在实际工程应用中的适用性较强。

对于分格式桥梁上部结构,可以采用梁格法建立空间杆系模型。对于在城市和公路桥梁中应用较多的混凝土箱梁,需要采用剪力—柔性梁格法进行分析。

本文结合某双箱单室普通钢筋混凝土连续梁桥的静载试验,采用梁格法进行结构分析,并根据静载试验结果对梁格法空间杆系模型的建立进行了简要的探讨,进而对其结构工作状态和受力性能作出评价。

1 工程概况

本桥位于我国西南地区,为城市立交桥中的主线桥,桥梁跨径布置为7×20 m,桥面全宽17.5 m,行车道净宽16.5 m,设计荷载等级汽车—超20、挂车—120。图1为静载试验测试跨桥型布置图。

桥梁上部结构采用钢筋混凝土连续箱梁,箱梁截面形式为双箱单室,梁高1.3 m,单箱底板宽4.5 m,顶板厚0.2 m、底板厚0.18 m,腹板厚0.4~0.6 m,各跨墩顶和跨中设置横梁。

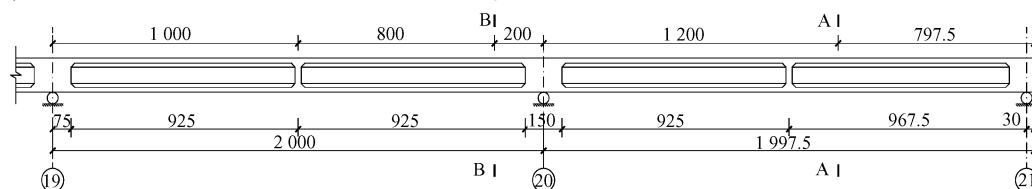


图1 静载试验测试跨桥型示意(单位:cm)

2 梁格模型

文献[1]就分格式上部结构的剪力—柔性梁格法作了详细的论述。本桥为双箱单室截面,其梁格截面可以在桥面中线和单箱底板中线处划分,形成以每片腹板为代表的纵向梁格,主梁横向梁格每2.0 m一道,遇跨中和墩顶横梁处按实际情况予以适当调整。结构

空间梁格模型如图2所示,梁格构件尺寸如图3。

如图2所示划分梁格,纵向梁格截面抗弯特性与每片腹板梁相同,单位宽度横向梁格抗弯惯矩见式(1),跨中和墩顶横梁处横向梁格刚度还应考虑横隔板的作用。

$$i_{yy} = h^2 t_1 t_2 / (t_1 + t_2) \quad (1)$$

箱梁梁格构件的全截面扭矩由两部分组成:箱梁顶、底板剪力流形成的扭矩和同一截面上梁格间竖向剪力对形成的扭矩。因而单根纵向或横向梁格构件的抗扭刚度由构件所代表的顶板和底板刚度组成,其单

收稿日期:2008-11-08;修回日期:2008-12-10

作者简介:袁磊(1980—),男,湖南汉寿人,研究实习员,硕士。

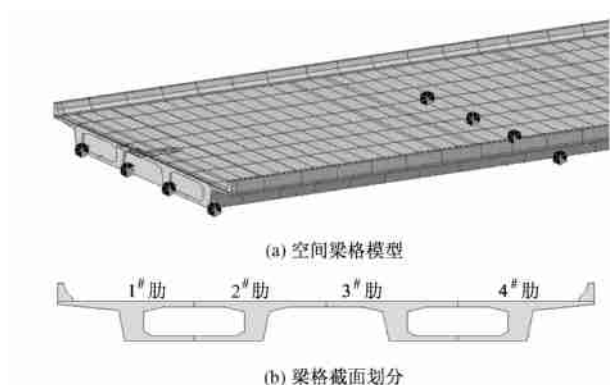


图2 结构空间梁格模型及其截面划分

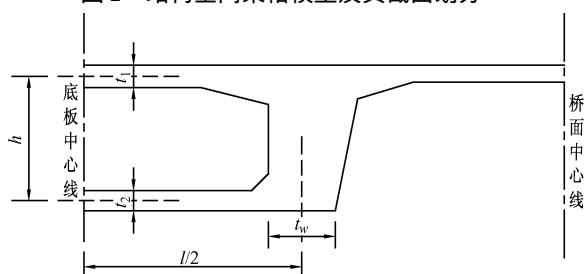


图3 梁格构件尺寸示意

位宽度的抗扭惯矩见式(2)。

$$i_t = 2h^2 t_1 t_2 / (t_1 + t_2) \quad (2)$$

当箱梁箱室较宽坦而未设足够的横隔板时,在荷载作用下顶、底板发生横向弯曲变形,各腹板则表现为不均匀的扭转变形,文献[1]定义这种梁格为剪力—柔性梁格。对于具有竖直腹板的箱梁,其单位宽度横向梁格的等效剪切面积可近似按式(3)计算。

$$a_s = \frac{t_1^3 + t_2^3}{l^2} \cdot \frac{t_w l}{t_w^3 l + (t_1^3 + t_2^3) h} \cdot \frac{E}{G} \quad (3)$$

3 梁肋挠度比分析

下面根据静载试验边跨 0.4L 截面(图1所示 A 截面)实测挠度结果对采用不同截面参数的梁格法计算结果进行比较。为了更方便地表达不同参数下的梁格刚度分配情况,文中均以 1[#]~4[#]肋挠度与全截面各肋挠度之和的比值 $f_i / \sum f_i$ 作为比较对象。

1) 梁格截面抗扭刚度 I_t

相对于闭口的箱梁截面,分割后的多个开口梁格截面自身抗扭刚度之和要小得多,有必要根据截面扭转受力特点按式(2)对其截面抗扭参数进行修正。表1给出了修正前后的各肋挠度比 $f_i / \sum f_i$,可以看到,若不修正梁格截面抗扭刚度,主梁挠度的分析结果将与实测值相差甚远,尤以两边肋最为严重,如图4所示。

2) 横向梁格抗剪刚度 A_{sc}

表1 修正梁格截面抗扭刚度的效果

		实测值	理论值		偏差率	
			未修正 I_t	修正 I_t	未修正 I_t	修正 I_t
$f_i/$	f_i	(1)	(2)	(3)	(2)/(1)	(3)/(1)
1 [#] 肋	0.139 5	0.088 6	0.146 3	36.48 %	4.88 %	
2 [#] 肋	0.207 1	0.199 1	0.206 6	3.84 %	0.23 %	
3 [#] 肋	0.291 8	0.295 0	0.290 6	1.10 %	0.40 %	
4 [#] 肋	0.361 6	0.417 2	0.356 4	15.38 %	1.43 %	

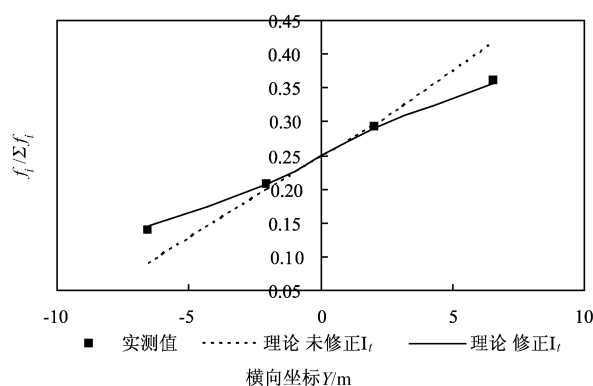


图4 梁格抗扭刚度对挠度比的影响

横向梁格的截面抗剪刚度应按式(3)予以修正,不过值得注意的是,该式仅适用于竖直腹板箱梁,对于斜腹板箱梁应按肋间相对剪切变形等效的原则予以推导,其计算较为复杂。本桥腹板外缘线有较小的倾角,在此可按式(3)计算。

表2给出了横向梁格抗剪刚度修正前后的计算结果,可以看到,修正 A_{sc} 后的边肋(1[#]、4[#]肋)挠度比 $f_i / \sum f_i$ 的偏差较未修正时有所减小,中肋(2[#]、3[#]肋)挠度比的偏差略有增加。但整体来说修正横向梁格抗剪刚度对计算结果的影响较小,其偏差在工程可接受范围之内(图5)。这主要与本桥箱梁单箱宽高比适中,腹板较厚,因而宽坦箱梁的受力特征不十分明显有关,目前城市和公路桥梁中应用的很多箱梁也属于这种状况。

表2 修正横向梁格抗剪刚度的效果

		实测值	理论值		偏差率	
			未修正 A_{sc}	修正 A_{sc}	未修正 A_{sc}	修正 A_{sc}
$f_i /$	f_i					
	(1)	(2)	(3)	(2)/(1)	(3)/(1)	
1 [#] 肋	0.139 5	0.146 3	0.140 2	4.88 %	0.51 %	
2 [#] 肋	0.207 1	0.206 6	0.210 2	0.23 %	1.52 %	
3 [#] 肋	0.291 8	0.290 6	0.289 0	0.40 %	0.95 %	
4 [#] 肋	0.361 6	0.356 4	0.360 5	1.43 %	0.30 %	

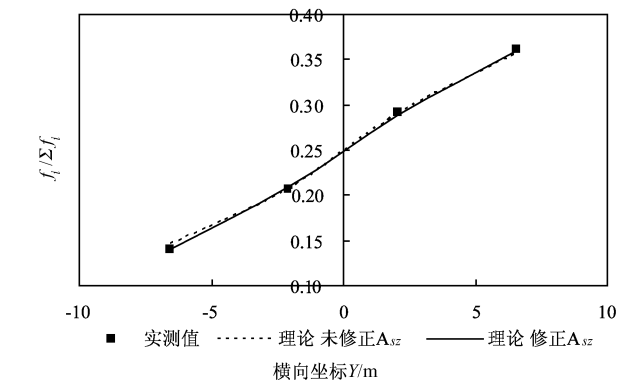


图 5 横向梁格抗剪刚度对挠度比的影响

3) 桥面铺装和防撞墙的影响

大量的桥梁荷载试验测试表明桥面铺装和防撞墙都不同程度地参与了主梁的结构受力,对主梁刚度有一定的提高。表 3 分别给出了不计桥面铺装等作用,按裸梁考虑的梁肋挠度比 $f_i / \sum f_i$ 和部分考虑其作用的相应结果,其中,桥面铺装的计算厚度按 5 cm 考虑。可以看到,考虑桥面铺装和防撞墙后远离加载侧梁肋的挠度比偏差率明显减小,其它梁肋也有所变化,但变化量相对较小。这说明桥面铺装和防撞墙对结构刚度的增强作用对各梁肋来说是较为均匀的,因而对各梁肋挠度比的影响较小(图 6)。

表 3 考虑桥面铺装和防撞墙的效果

$f_i / \sum f_i$	实测值	理论值		偏差率	
		不计铺装等	计入铺装等	不计铺装等	计入铺装等
	(1)	(2)	(3)	(2)/(1)	(3)/(1)
1 [#] 肋	0.139 5	0.145 1	0.140 2	4.01 %	0.51 %
2 [#] 肋	0.207 1	0.208 3	0.210 2	0.57 %	1.52 %
3 [#] 肋	0.291 8	0.285 9	0.289 0	2.01 %	0.95 %
4 [#] 肋	0.361 6	0.360 7	0.360 5	0.25 %	0.30 %

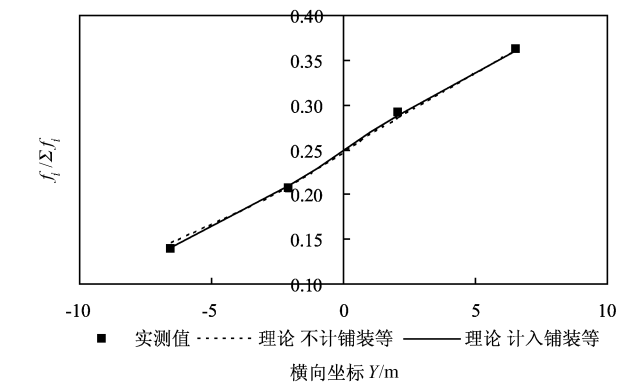


图 6 桥面铺装和防撞墙对挠度比的影响

4 试验结果分析

根据前文分析结果,采用修正刚度的梁格模型对结构受力进行分析,进而对荷载试验结果作出评价。限于篇幅,在此以边跨 0.4L 截面(A 截面,图 1)的应力和挠度测试结果为例,仅给出与结构计算相关的部分。

1) 应力分析

表 4、图 7 给出了各梁肋测试截面下缘实测应变及相应理论值,作为比较,表中分别列出了部分考虑桥面铺装和防撞墙作用及不考虑作用时按全截面受力和开裂截面受力计算得到的理论应变值。考虑桥面铺装和防撞墙的作用,应变理论值将明显减小,但由于其实际参与结构受力的程度不明,因而其计算结果仅作参考。

从实测结果来看,测试截面已进入带裂缝工作状态,按开裂截面(不计桥面铺装和防撞墙的作用)计算的应变校验系数在 0.54 ~ 0.60 之间,与同类钢筋混凝土梁桥相当。

表 4 梁肋截面下缘实测应变及相应理论值 $\times 10^{-6}$

挠度	实测值	计入桥面铺装		不计桥面铺装		校验系数 (不计铺装)
		未开裂	开裂	未开裂	开裂	
1 [#] 肋	110	31	158	38	194	0.566
2 [#] 肋	149	41	209	49	248	0.602
3 [#] 肋	203	63	316	74	375	0.542
4 [#] 肋	258	73	368	87	441	0.585

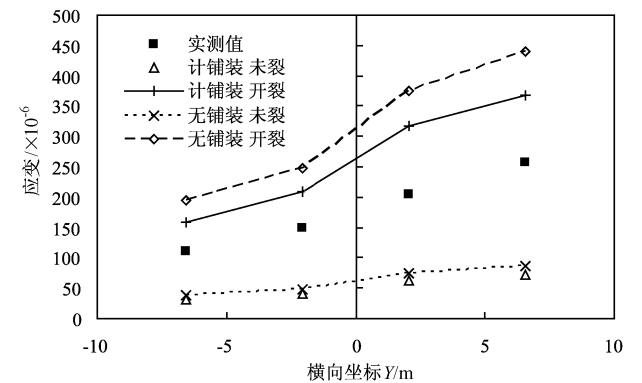


图 7 梁肋截面下缘实测应变与理论值对比分析

2) 挠度分析

表 5、图 8 给出了各梁肋测试截面实测挠度及相应理论值。与应变分析相似,考虑桥面铺装等的作用可提高结构刚度,其理论计算挠度相对要小一些。

实测结果显示,不仅本桥测试截面已进入带裂缝工作状态,梁体裂缝的普遍出现还使得结构刚度相对于全截面工作状态有了明显的降低。按开裂截面计算的主梁挠度校验系数在 0.44 ~ 0.47 之间,略低于同类钢筋混凝土梁桥的测试结果,说明截面裂缝的出现虽

表 5 梁肋实测挠度及相应理论值 mm

挠度	实测值	计入桥面铺装		不计桥面铺装		校验系数 (不计铺装)
		未开裂	开裂	未开裂	开裂	
1 [#] 肋	2.52	1.50	4.71	1.83	5.75	0.438
2 [#] 肋	3.74	2.24	7.06	2.62	8.25	0.453
3 [#] 肋	5.27	3.09	9.71	3.60	11.33	0.465
4 [#] 肋	6.53	3.85	12.11	4.54	14.29	0.457

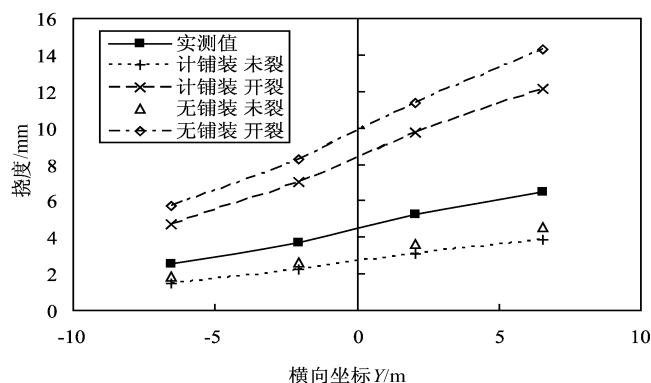


图 8 梁肋实测挠度与理论值对比分析

然对结构刚度有所削弱,但结构整体尚未进入完全开裂状态。

5 结语

本文采用梁格法对某双箱单室钢筋混凝土多跨连续箱梁桥的荷载试验进行分析,主要结论如下:

1) 梁格法模型的建立应根据结构特点对其纵梁和横梁的抗弯、抗扭刚度进行修正,对于某些宽坦梁桥,还应对其横梁的抗剪刚度进行修正;

2) 桥面铺装和防撞墙部分参与结构受力,其对各梁肋刚度的提高作用较为均匀,因而对结构的荷载横向分配影响较小;

3) 与荷载试验结果的对比分析表明采用梁格法模拟分格式结构受力能较好地反映结构的受力特点及其工作状态,值得在其它工程实际结构分析中运用。

参 考 文 献

[1] E. C. 汉勃利. 桥梁上部结构性能[M]. 郭文辉,译. 北京:人民交通出版社,1982.

(责任审编 孟庆伶)

本四连络桥混凝土结构物的管理

本州四国连络桥自投入运营已历经 9~29 年(濑户大桥 20 年,明石海峡大桥 10 年),迄今未发生大的伤损,也没有进行大规模的维修加固。管理当局一直对大桥的墩台、PC 梁等混凝土结构物,定期进行非破坏性检查,并根据检查结果进行结构恶化情况预测及健全度评价,必要时采取工程措施,以实现“预防保养”及寿命周期成本最小化。

检查项目 一般混凝土结构物的恶化包括混凝土的碳化、盐害、冻害、碱骨料反应、疲劳及化学侵蚀等。对本四连络桥来说,因其环境条件与以往的检查结果,决定了混凝土碳化、盐害为主要检查项目;具体有盐离子浓度、碳化深度、钢筋保护层和钢筋腐蚀。

检查频率 一般根据环境条件及以往检查结果确定。本四连络桥地处海上或距海岸 100 m 的地区,标准检查频率为竣工后 5~10 年检查一次,但当采取工程措施修补后,则为 5 年检查一次。

表 1 非破坏检查结果的判定

伤损度	盐离子浓度 $C_l / (\text{kg}/\text{m}^3)$	碳化深度 x_c / mm	钢筋腐蚀(自然电位) E / mV
	$C_l \leq 2.5$	x_c 保护层厚	$-350 \sim E$
	$2.5 > C_l$	保护层厚 $> x_c$ 1/2 保护层厚 (保护层厚 $< 40 \text{ mm}$)	$-250 \sim E > -350$
	$1.2 > C_l$	保护层厚 $> x_c$ 1/2 保护层厚 (保护层厚 $< 40 \text{ mm}$)	$-150 \sim E > -250$
	$0.3 > C_l$	1/2 保护层厚 $> x_c$	$E > -150$

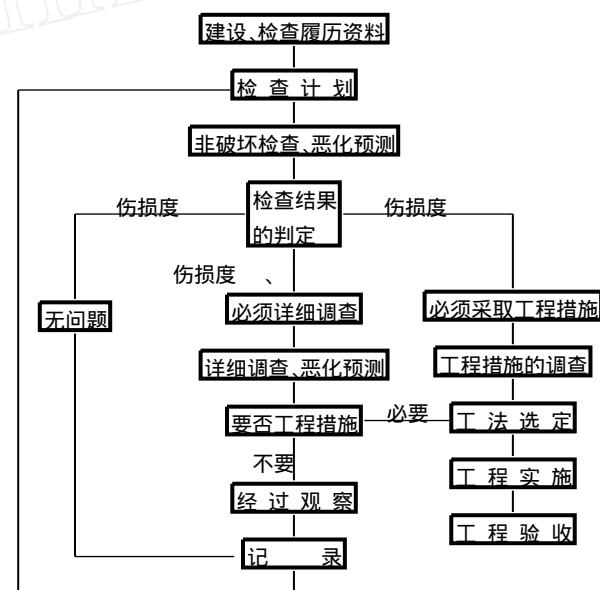


图 1 混凝土结构物维修管理程序

判定 混凝土结构物健全度的判定,按表 1 中伤损度 ~ 表示。图 1 为混凝土结构物维修管理程序,从图 1 可知,对伤损度为 ~ 的结构物,分别按采取工程措施、详细调查(再判定)及“无问题”处理。

孟庆伶译自 长尾幸雄. 本州四国连络桥 におけるコンクリート构造物 の管理[J]. 桥梁と基础, 2008(6):20-24.