

简支斜交 T 梁空间受力分析

程京伟

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京市 100082)

摘要:以北京市通州温榆河西路跨坝河桥为工程实例,结合梁格分析法,建立空间梁格模型,同时考虑斜桥空间上的弯扭耦合效应,得到桥梁上部结构的内力与变形;通过与单梁模型的对比,揭示了斜桥的受力特性,以期能为斜桥的设计提供参考。

关键词:斜桥;梁格分析法;有限元;弯扭耦合

中图分类号:U448.27

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2021)06-0242-04

0 引言

随着我国交通基础设施建设的快速发展,桥梁技术水平得到了很大的提高。为了更好地适应桥下地形、地物等控制条件,改善道路的线形条件,在建筑众多的城区以及河流山谷等特殊地区,越来越多的斜桥跨越方案被应用到工程实际之中。

正常情况下,斜桥上部结构需要承受弯扭共同作用,弯扭作用与斜支承的角度以及截面弯扭刚度比有关^[1]。斜桥在上部结构性能和临界设计应力上都有值得重视的效应^[2]。斜桥每片主梁由于支承位置的不同,在对斜桥的荷载横向分布进行计算时,要同时考虑荷载竖向力和扭矩的横向分布;加之弯扭耦合效应的存在,导致斜桥受力比正桥更加复杂。梁格分析法可以基于空间影响面理论,全面解决荷载横向分布问题,并能够准确计算斜桥的空间效应。本文拟通过梁格法分析斜桥上部结构的受力情况,并与单梁模型进行对比分析。

1 研究思路

比较常见的空间分析方法主要有空间梁单元法、板壳元法、三维实体法及梁格法。相对于其他分析方法,梁格法建模简单,计算精度高,构件的验算能够比较好地与现行规范吻合,可以直接应用现行规范进行结构承载能力极限状态和正常使用极限状态验算。

梁格法的主要思路就是将上部结构用一个等效

的空间梁格或空间构架来模拟。将分散在梁板式上部结构每一区段内的弯曲刚度和抗扭刚度集中于最邻近的等效梁格内,实际结构的纵向刚度集中于纵向梁格构件内,而横向刚度集中于横向梁格构件内^[3]。梁格单元划分原则为:(1)平截面假定,梁变形后横截面仍保持平面;(2)划分的纵梁中性轴与整个截面的中性轴保持一致;(3)保证梁格的纵横刚度等效^[4]。

本文借助桥梁结构软件 Midas/Civil,首先采用梁格法进行空间计算以确定结构的内力和变形,然后与单梁模型计算结果进行比较。具体内容为:(1)进行空间梁格分析,荷载等级为城-A级,得到跨中弯矩、支点剪力等控制内力;(2)采用单梁模型按直桥计算,荷载等级为城-A级,将得到的控制截面内力与空间梁格分析得到的内力进行对比分析。

2 工程概况

北京市通州温榆河西路跨坝河桥为 3×32 m 简支斜桥,斜交角为 55° 。桥梁纵轴线垂直方向全宽 33.3 m,行车道宽 16.5 m,双向 4 车道,全桥分为 3 幅。桥梁结构形式为装配式简支 T 梁,梁高 1.7 m,取中间行车道所在的 1 幅作为计算模型。该幅桥计算跨径 31.2 m,结构宽 17.3 m,梁格布置为 $1.0 \text{ m} + 9 \times 1.7 \text{ m} + 1.0 \text{ m} = 17.3 \text{ m}$ 。具体的桥面布置如图 1 所示。

3 计算模型

3.1 空间梁格计算模型

空间梁格要求实际桥梁上部结构与等效梁格承受相同的荷载时,必须具有恒等的挠曲,等效梁格每一构件的内力等于该梁所代表的实际桥梁截面应力的合力。采用 Midas/Civil 软件进行空间梁格分析,其

收稿日期:2021-01-19

作者简介:程京伟(1984—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

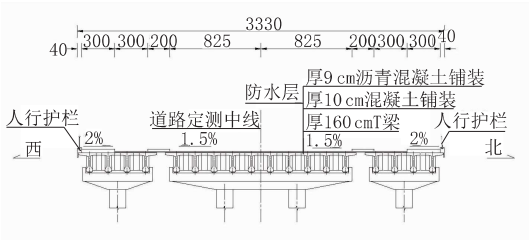


图1 桥面布置(单位:cm)

中假定桥梁结构的中横梁弹性支撑于主梁上,利用节点的挠曲关系求出节点的内力和变形。本桥为梁板式上部结构,将其简化为纵梁为梁、横向为梁或板;纵、横向梁板的形心不在同一平面上,通过垂直刚臂单元连接成空间构架体系。本桥的梁格模型如图2所示。

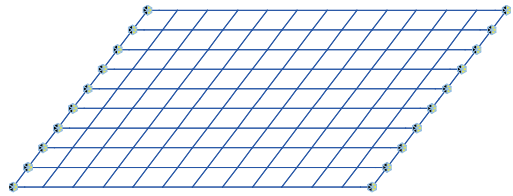


图2 Midas/Civil 梁格分析模型

3.2 单梁计算模型

采用 Midas/Civil 软件,建立单梁模型,按城 -A 级荷载计算结构的内力。结构的计算跨径为 31.2 m,预制 T 梁采用 C50 混凝土,现浇接头采用 C40 混凝土,桥面铺装 0.19 cm。限于篇幅,本文仅列出单梁模型的计算结果。

4 计算结果

4.1 恒载计算结果

Midas/Civil 梁格分析中,成桥以后结构累计的恒载弯矩如图3所示,计入的荷载包括结构自重、桥面铺装以及直到成桥后 1 500 d 的收缩徐变。

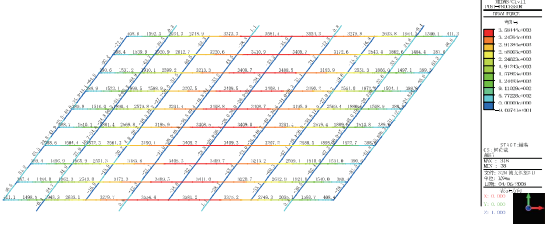


图3 成桥后结构的累计恒载弯矩(单位:kN·m)

分别从梁格分析结果和简支梁分析结果中提取出边梁和中梁在支点、 $L/8$ 、 $L/4$ 、 $3L/8$ 和 $L/2$ 截面的恒载累计最大弯矩,结果如表1所示。

Midas/Civil 梁格分析中,成桥以后结构累计的恒载剪力如图4所示,计入的荷载包括结构自重、桥面铺装以及直到成桥后 1 500 d 的收缩徐变。

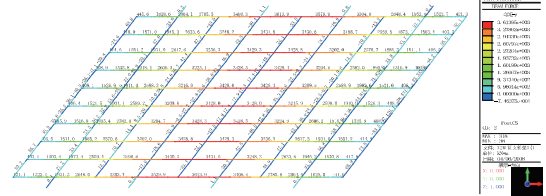


图4 成桥后结构的累计恒载剪力(单位:kN)

分别从梁格分析结果和简支梁分析结果中提取出边梁和中梁在支点、 $L/8$ 、 $L/4$ 、 $3L/8$ 和 $L/2$ 截面的恒载累计最大剪力,结果如表2所示。

4.2 活载计算结果

Midas/Civil 梁格分析中,结构在城 -A 级车道荷载作用下的最大弯矩如图5所示。

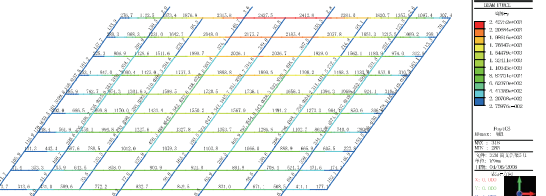


图5 结构在城 -A 级车道荷载作用下的最大弯矩(单位:kN·m)

表1 恒载累计弯矩 单位:kN·m

项目	0		$L/8$		$L/4$		$3L/8$		$L/2$	
	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁
单梁分析	0.0	0.0	1 643	1 684	2 784	2 849	3 469	3 547	3 697	3 780
梁格分析	-44	-52	1 629	1 571	2 785	2 634	3 408	3 248	3 614	3 432
比例系数			0.99	0.93	1.00	0.92	0.98	0.92	0.98	0.91

表2 恒载累计剪力 单位:kN

项目	0		$L/8$		$L/4$		$3L/8$		$L/2$	
	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁
单梁分析	498	516	349	353	231	231	114	112	-3	-7
梁格分析	473	469	377	341	227	235	111	119	7	14
比例系数	0.95	0.91	0.97	0.97	0.98	1.02	0.98	1.06		

分别从梁格分析结果和简支梁分析结果中提取出边梁和中梁在支点、 $L/8$ 、 $L/4$ 、 $3L/8$ 和 $L/2$ 截面的活载最大弯矩,结果如表 3 所示。

Midas/Civil 梁格分析中,结构在城 -A 级车道荷载作用下的最大剪力如图 6 所示。

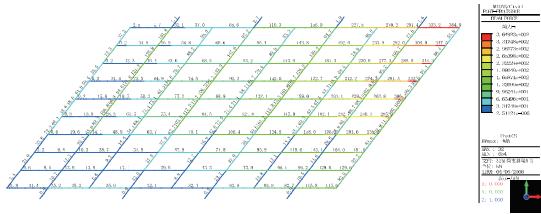


图 6 结构在城 -A 级车道荷载作用下的最大剪力(单位:kN)

分别从梁格分析结果和简支梁分析结果中提取出边梁和中梁在支点、 $L/8$ 、 $L/4$ 、 $3L/8$ 和 $L/2$ 截面的活载最大剪力(绝对值),结果如表 4 所示。

4.3 承载能力极限组合计算结果

根据以上求出的结果,进行承载能力极限组合。

根据计算结果分析,斜桥活载弯矩折减 13%,恒载下与简支梁计算结果基本一致,在承载能力极限组合下折减 11%。结果如表 5、表 6 所示。

4.4 支座反力计算结果

Midas/Civil 梁格分析中,结构在城 -A 级车道荷载作用下各个支座的最小反力如表 7 所示。在城 -A 级车道荷载最小反力作用下,支座有脱空趋势,但在恒载的平衡下,未见支座反力出现拉力,所以不用设置抗拉支座。单梁模型计算的最大支座反力为 1 163.9 kN,空间梁格法计算的最大支座反力为 1 333.0 kN,本文不进行列表赘述。

4.5 扭转计算结果

在正桥计算中主梁的扭矩非常小,可以忽略不计,但在斜桥计算中必须考虑主梁的扭矩。在城 -A 级车道荷载作用下,承载能力极限组合下的最小扭矩(绝对值最大)如图 7 所示。根据计算结果可知,最小扭矩 T_b (绝对值最大)为 254.8 kN。

表 3 活载最大弯矩

单位:kN·m

项目	0		$L/8$		$L/4$		$3L/8$		$L/2$	
	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁
单梁分析	0	0	1 124	1 076	2 079	1 865	2 603	2 332	2 778	2 491
梁格分析	45	29	1 122	968	1 877	1 643	2 316	2 048	2 428	2 176
折减系数			1.00	0.90	0.90	0.88	0.89	0.88	0.87	0.87

表 4 活载最大剪力

单位:kN

项目	0		$L/8$		$L/4$		$3L/8$		$L/2$	
	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁
单梁分析	404	407	357	337	305	2722	236	211	174	156
梁格分析	365	348	333	304	270	234	278	192	157	144
折减系数	0.90	0.85	0.93	0.90	0.89	0.86	0.96	0.91	0.90	0.92

表 5 组合最大弯矩

单位:kN·m

项目	0		$L/8$		$L/4$		$3L/8$		$L/2$	
	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁
单梁分析	0	0	3 546	3 527	6 252	6 029	7 806	7 521	8 325	8 023
梁格分析	9	22	3 526	3 241	5 970	5 460	7 332	6 765	7 735	7 164
折减系数			0.99	0.92	0.95	0.91	0.94	0.90	0.93	0.89

表 6 组合最大剪力

单位:kN·m

项目	0		$L/8$		$L/4$		$3L/8$		$L/2$	
	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁	边梁	中梁
单梁分析	1 164	1 188	919	896	704	659	467	430	240	210
梁格分析	1 179	1 049	871	835	651	610	452	412	2 286	218
折减系数	0.93	0.88	0.95	0.93	0.92	0.92	0.97	0.96	0.95	1.04

表 7 组合最小反力 单位:kN

项目	荷载工况	1 号梁	2 号梁	3 号梁	4 号梁	5 号梁
左支撑	预制梁	402.2	381.7	370.5	366	366.2
	铺装	139.9	130.1	124.9	122.9	122.8
	城-A 级最小	-23.6	-2.2	0	-0.3	-0.7
	1.2 恒+1.4 活	599.1	600.5	589.3	584.4	586.1
右支撑	预制梁	338.1	335.1	363.7	366.6	365.6
	铺装	116.3	120.4	122.5	123.1	122.5
	城-A 级最小	-15.5	-1.1	0	-0.3	-0.6
	1.2 恒+1.4 活	542.1	577.7	586.2	588.2	585.3

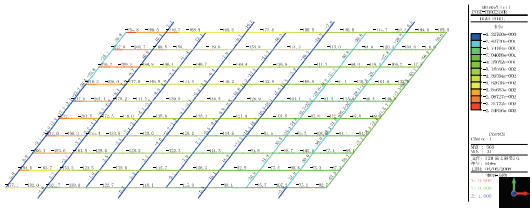


图 7 结构在城-A 级车道荷载作用下的最小扭矩(单位:kN·m)

4.6 对比结果分析

斜交桥的力学特性与正桥有很大区别,对于斜交角度较大的桥梁,采用正桥的分析方法(单梁模型)并不合适。通过本工程实例采用的梁格分析表明:

(1)斜交梁桥与正桥计算结果的误差较大,弯矩和剪力的差别均超过 10%。

(2)支座反力分布不均匀,钝角处出现较大的反

力。

(3)上部结构承受较大的扭转,需要按照现行规范核实截面及配筋。

5 结 语

梁格分析法是一种分析桥梁上部比较适用有效的空间分析方法,用等效梁格代替上部结构,分析梁格的受力状态从而得到桥梁的实际受力情况,具有基本概念清晰、易于理解和使用、计算量相对较小等特点。因此本文以温榆河跨河桥为例,对斜交的简支 T 梁进行分析,利用梁格分析法,考虑斜桥空间上的弯扭耦合效应,得到桥梁上部结构的纵横向内力与变形,并通过与单梁模型的对比,分析 2 种模型产生的内力、反力及位移变化,以期为此类斜交跨越的设计方案提供参考。

参考文献:

[1] 姚玲森.对于偏心荷载作用下曲线梁和斜支承梁内弯曲、剪切和扭转的预应力(上、下)[J].国外公路,1989(3/4): 28-33.
[2] E·C·汉勃利.桥梁上部构造性能[M].北京:人民交通出版社,1982.
[3] 李静斌,葛素娟.改进梁格法在分体组合箱梁桥结构分析中的应用[J].中外公路,2010(6):147-150.
[4] 邢志成.斜梁桥荷载的横向分布[J].中南公路工程,1988(10): 34-43.

(上接第 226 页)

增大、顶板及底板轴力放大系数增大、侧墙轴力放大系数减小。

根据上述结论,对于某一特定地区的单层地下道路结构而言,可以快速判断出在地震作用下结构最不利位置处于结构覆土厚度最大、基准面深度最小、土体剪切波速最大处。结构横断面宽度对结构各内力的影响不尽相同,需具体分析。

参考文献:

[1] 刘韵.城市地下快速道路建设动因分析[J].地下空间与工程学报, 2006,2(8):1293-1296.
[2] 于翔.地下建筑结构应充分考虑抗震问题——1995 年阪神地震破坏的启示[J].工程抗震,2002(4):17-20.
[3] 高波,王峥峥,袁松,等.汶川地震公路隧道震害启示[J].工程抗震,

2009,44(3):336-374.
[4] 许成顺,许紫刚,杜修力,等.地下结构抗震简化分析方法比较研究[J].地震工程与工程振动,2017,37(2):65-80.
[5] 刘晶波,王文晖,张小波,等.地下结构横断面地震反应分析的反应位移法研究[J].岩石力学与工程学报,2013,32(1):161-167.
[6] 邓宇洁,梁发云.地下结构地震反应规范计算方法的对比分析[J].地震工程学报,2018,40(5):996-1003.
[7] 宾佳,景立平,崔杰.反应位移法计算参数的灵敏度分析[J].防灾减灾工程学报,2015,35(2):270-276.
[8] 钟锁庆,张西平,潘海利.地基土基床系数研究[J].地下空间与工程学报,2005,1(7):1109-1112.
[9] 李英民,王璐,刘阳冰,等.地下结构抗震计算地基弹簧系数取值方法研究[J].地震工程与工程振动,2012,32(1):106-113.
[10] 高大钊.岩土工程勘察与设计[M].北京:人民交通出版社,2010.