

文章编号:1004-4736(2008)01-0037-04

# 基于梁格法及板壳有限元法的立交桥空间分析

赖国政<sup>1</sup>, 吕容涛<sup>2</sup>

(1. 中国市政工程中南设计研究院, 湖北 武汉 430012;

2. 武汉工程大学, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**研究了城市立交桥多股匝道交汇处的异形梁结构的受力特性. 以某立交桥异形梁为工程背景, 采用梁格法模型及板壳有限元法模型对该异形结构进行了对比计算分析. 分析研究表明: 相对于实体板壳有限元法, 梁格法作为一种介于平面和实体有限元方法之间的结构计算方法, 其计算简便、高效、实用, 可以用于工程设计.

**关键词:**梁格法; 板壳有限元; 异形箱梁; 城市立交桥

**中图分类号:** U 4448. 15 **文献标识码:** A

## 0 引言

城市立交桥多股匝道交汇处的块体属异形结构, 应力状况复杂, 是该种桥梁结构设计中受力状况难以把握的部位, 运用常规的平面杆系有限元分析方法无法得到真实受力状态, 必须采用空间分析方法进行三维有限元受力分析<sup>[1,2]</sup>. 对于工程设计而言, 建立板壳或者实体单元模型是一件非常繁琐和耗时的的工作, 而用梁格法建立一个简化的等效模型则更现实可行, 且可节约时间, 也易于掌握和应用. 但梁格法计算的结果和实际结果相差多少, 能否满足工程设计的要, 则鲜见于文

献. 本文以广州某立交桥为背景工程, 建立了该桥梁格模型<sup>[3]</sup>和板壳有限元模型<sup>[4]</sup>, 分析了该桥的异形块结构在两种计算模型下多种荷载工况的受力特性.

## 1 背景工程

取广州某立交 A 匝道左幅第三联为背景工程, 本联为(4 × 25 + 21 + 2 × 20) m 的连续梁, 如图 1. 梁体一至三跨采用单箱单室等高度变截面预应力混凝土连续箱梁, 四、五跨为交叉口路段, 梁体由单箱双室变为双箱单室接左转 L 匝道和右转 A 匝道. 主梁施工采用满堂脚手架一次落架现浇施工.

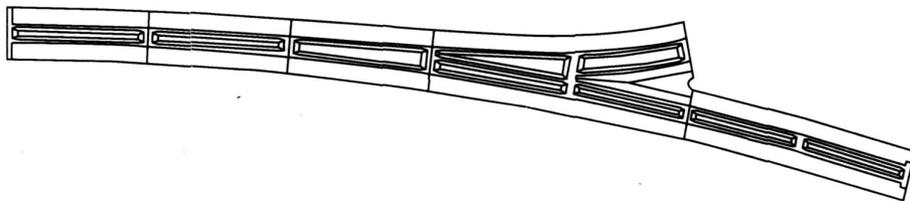


图 1 异形梁段平面图

Fig. 1 General view plane of irregular girder

该联平面位于  $R = 600$  m 右偏圆曲线和  $A = 219.089$  右偏缓和曲线上, 桥面变宽由箱室变宽实现, 梁高采用 1.3 m, 横断面采用单箱单室过渡到双箱单室, 每室腹板横向间距最小 1.42 m, 最大 4.25 m; 顶板厚为 0.22 m; 底板厚 0.20 m; 边腹板厚跨中为 0.45 m, 支点处为 0.60 m, 中腹板厚跨中为 0.45 m, 支点处为 0.80 m; 端部和跨中变厚段均为 1 m; 端横隔梁厚 1.0 m, 中横隔梁厚 1.5 m. 顶板倒角为  $54 \times 18$  cm, 底板倒角为  $20 \times 18$  cm. 梁顶横坡通过梁体旋转而成.

## 2 有限元模型及单元划分

### 2.1 梁格模型

梁格法的主要思想是将桥梁的上部结构用一个等效的梁格来模拟<sup>[5]</sup>. 梁格的划分应考虑以下因素:

a. 梁格的纵向杆件形心高度位置应尽量与箱梁截面的形心高度相一致, 此时, 根据截面惯性矩的计算公式<sup>[5]</sup>, 梁格纵向杆件自身的截面抗弯惯性矩之和即等于整体截面的抗弯惯性矩. 由此保

收稿日期: 2007-09-14

作者简介: 赖国政(1978-), 男, 湖北荆门人, 工程师. 研究方向: 城市立交桥的设计.

证梁格离散后的计算结果与整体截面单元的单梁模型计算结果相吻合。

b. 为保证荷载的正确传递, 横向杆件的间距不宜超过纵向梁肋的间距。

c. 纵梁抗扭刚度的计算按整体箱型断面自由扭转刚度平摊到各纵梁上。

图 2 为该异型箱梁叉口局部段纵横向梁格划分示意图。

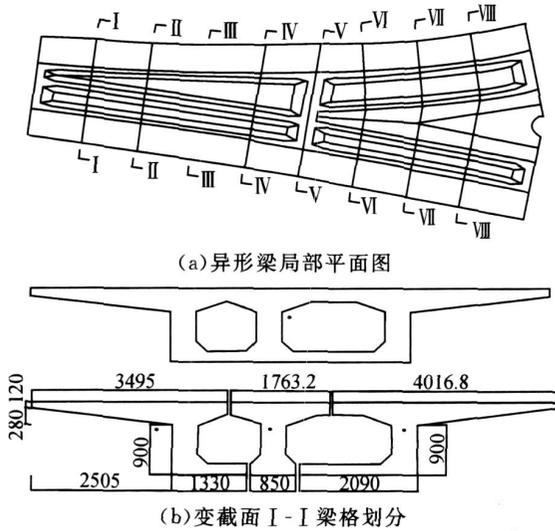


图 2 纵横向梁格划分示意图

Fig. 2 Longitudinal and transverse grillage partition

当梁格横向与纵向构件间距接近时, 静力荷载分布比较灵敏<sup>[6]</sup>, 而且每跨划分数大于 8 时, 可以得到比较好的效果。因此, 本异型段梁在划分纵向时, 采用 10 等分每跨的原则, 具体划分见图 3。

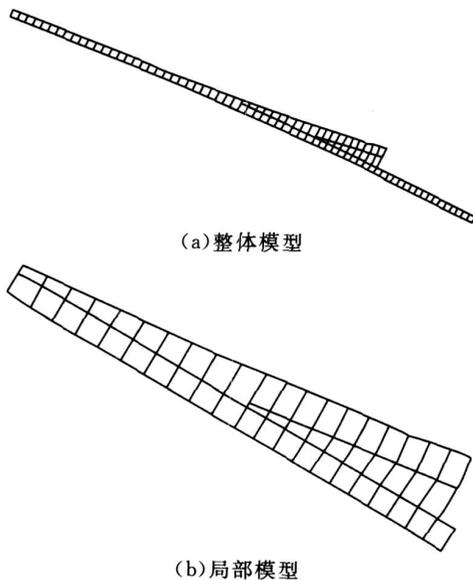


图 3 梁格法的整体及局部模型

Fig. 3 Whole model and local model of grillage method

### 2.2 板壳理论有限元模型

现浇箱梁按一次落架模型, 采用 MIDAS/

Civil 进行内力计算分析, 按 A 类部分预应力构件配置预应力钢束。为了进行对比分析, 在 MIDAS 建模分析时, 混凝土建模采用板单元, 并结合翼缘板厚变化和腹板加腋采用变化的板厚, 预应力筋采用只受拉的索单元。

由于 MIDAS/ Civil 中板单元无法施加预应力, 在本模型中采用切割法将预应力钢束单元和腹板单元(或底板单元)共用节点, 协同受力, 采用对钢束施加降温的方法施加预应力。

考虑到其抗剪能力, 本模型对腹板和横梁采用厚板单元, 顶底板及翼缘采用薄板单元, 在应力变化较大的位置, 尽量使用了四边形单元细分提高计算精度。因该程序中只受拉索单元不能进行影响面加载, 故在进行影响面分析时将只受拉索单元改为桁架单元, 分析证明这种处理对腹板等主要结构的受力模拟误差较小。

底板和腹板钢束截面积为  $0.00168 \text{ m}^2$  和  $0.0021 \text{ m}^2$ , 采用初降温方法施加预应力, 考虑永存应力为张拉控制应力的 70%, 初降温为  $T = 1395 \times 70\% / (195000 \times 0.00001) = 501$ , 分析中该程序可以按选用的规范计入混凝土收缩徐变影响。

全桥腹板单元划分尺寸控制小于 0.5 m, 交叉口作局部细化, 采用人工映射划分。全联单元共计 6753 个, 其中板单元 4621 个和只受拉索单元 2132 个。结构支承情况可以准确模拟。图 4、图 5 为交叉口部分单元划分仰视图和支座约束示意图。

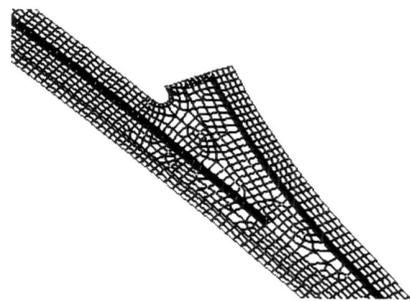


图 4 异形梁分叉部分单元划分示意图  
Fig. 4 Element partition in bifurcation of irregular girder

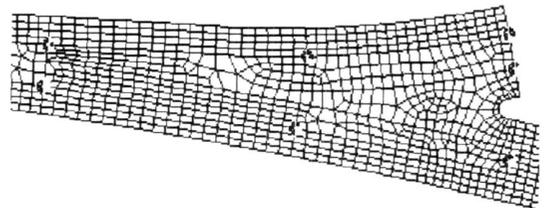


图 5 异形梁分叉部分支座布置平面图  
Fig. 5 Bearing plane of irregular girder

### 3 荷载工况及分析结果

针对等高度预应力混凝土连续箱梁交叉口异

形梁计算,特选择以下工况进行分析:

工况 1 为恒载 + 预应力;工况 2 为活载.

### 3.1 应力分析

工况 1,2 下应力比较见图 6,图 7.

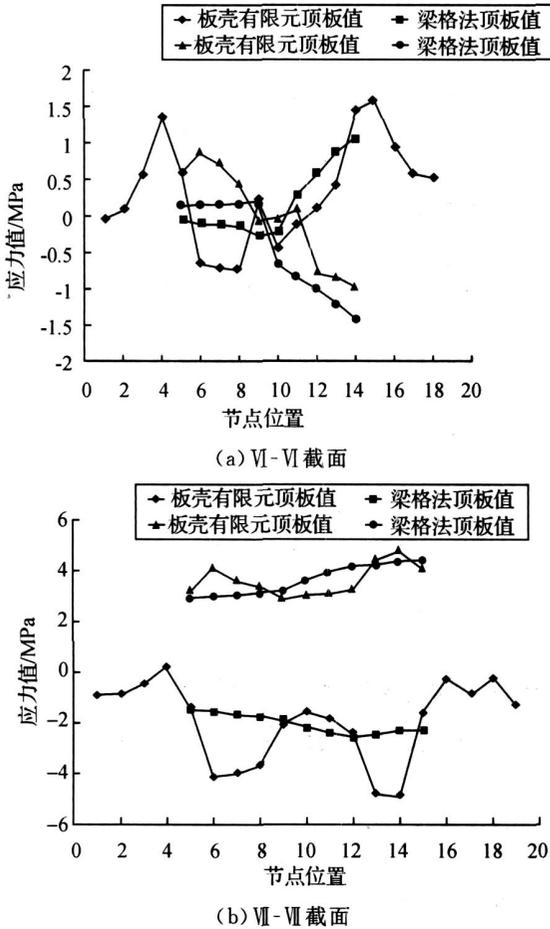
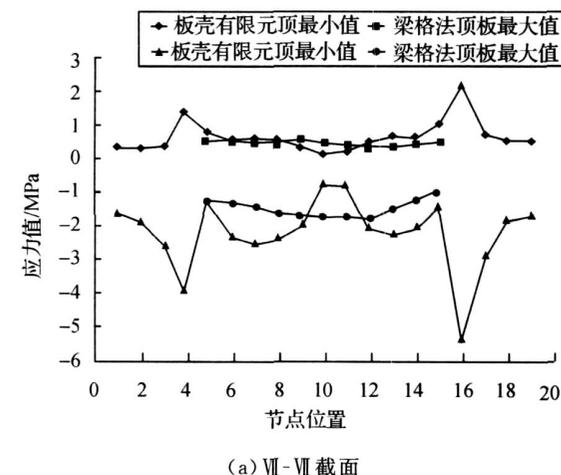


图 6 工况 1 下应力比较图

Fig. 6 Stress comparison in load case 1

在工况 1 下,梁格法和板壳有限元模型的应力大小比较接近.在正弯矩处,梁格法值较有限元方法小,而且同一截面上下缘的变化幅度较大,而梁格法值比较趋于平均,其证明了“剪力滞”效应在宽桥中的影响不容忽视.



(a) VI-VI 截面

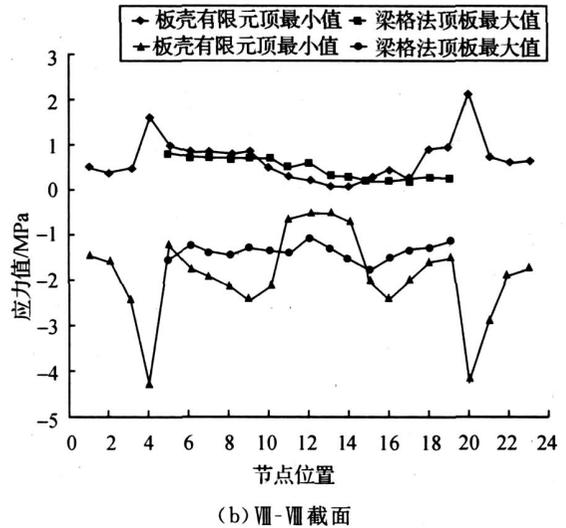


图 7 工况 2 下应力比较图

Fig. 7 Stress comparison in load case 2

通过对活载下的应力包络图的比较可看到,两种方法在规律上是统一的,即变化趋势是一致的.活载下的应力包络图相对恒载变化的幅度更大一些.相同截面上,梁格法的应力值与有限元相应位置的节点的应力值的最大相差在 6.2%.

### 3.2 挠度分析

篇幅所限,文中仅示出活载工况下 - 截面挠度比较如图 8 所示.

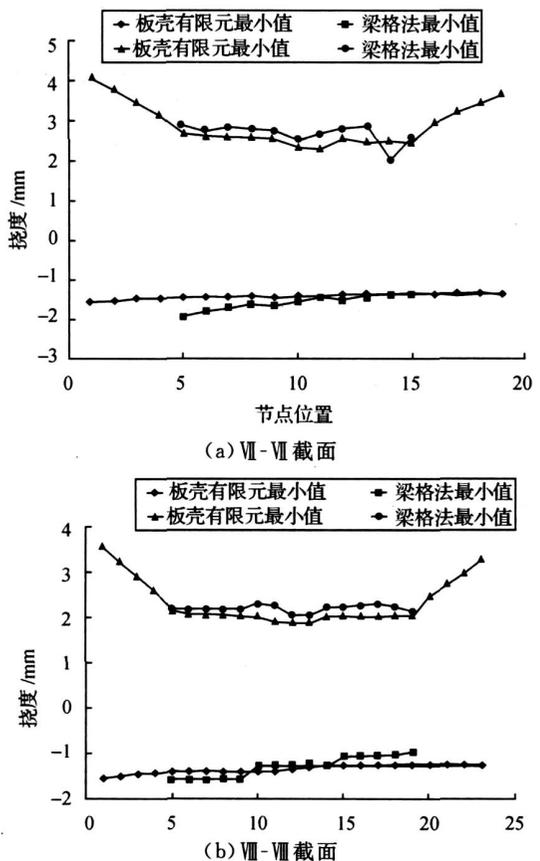


图 8 工况 2 下挠度比较图

Fig. 8 Deflection comparison in load case 2

在此工况下的挠度值是在活载作用下各个截面的最大值或最小值. 由图 8 中的最小值(即上挠值)可以看出,同一截面基本上是平动,这是因为活载作用时并不直接作用在该位置,而是在相邻或者是在更远跨. 这可以根据位移影响面或者荷载追踪来证实. 而且,梁格法和有限元计算的结果比较吻合.

在应力分析和挠度分析中,梁格法的计算结果与板壳有限元的结果比较一致,少数地方由于处理不够精致导致差别较大,但是变化趋势是相同的. 因此梁格法应用于异形梁的分析是相对可靠和有效的,可以给设计及研究人员提供便利.

#### 4 结 语

梁结构一般算法是将整个箱梁等效为一根梁,这样与实际结构相差甚远,结果也不一定可靠;而梁格法是将箱梁离散为一个格构体系,相对于平面算法更加合理和可靠;三维实体有限元方法能完全模拟异形梁结构(包括边界条件、荷载

等),因此仿真模型的计算结果更加真实可信. 梁格法作为一种介于平面和实体有限元方法直接的设计方法,通过本文实际工程计算分析证实它是简便、实用的特点,可以用于工程设计.

#### 参考文献:

- [1] 徐 君,赵维晋. 北京西厢工程菜户立交独柱支承预应力弯箱连续梁桥设计与分析. 土木工程学报, 1992, (5): 71-76.
- [2] 黄剑源,谢 旭. 城市高架桥的结构理论与计算方法. 北京:科学出版社,2001. 70-85.
- [3] 吴西伦. 弯梁桥设计. 北京:人民交通出版社,1990. 50-60.
- [4] 邵容光,夏 金. 混凝土弯梁桥梁. 北京:人民交通出版社,1996. 156-187.
- [5] 丁雪松,刘旭错. 预应力曲线箱梁和异形箱梁的研究. 城市道桥与防洪, 2001, (3): 29-35.
- [6] 汉勃利 E. C. 桥梁上部构造性能[M]. 郭文辉译,钱祖辉校. 北京:人民交通出版社,1982. 49-60.

## The overpasses spatial analysis based on grillage method and shell element of finite element method

LAI Guo-zhen<sup>1</sup> L ÜRong-tao<sup>2</sup>

(1. Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute, Wuhan 430012, China;  
2. Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Spatial bearing performance characteristic of irregular girder structure in the multi-strand ramp interjections of the urban overpasses is researched in this paper. Taken an overpass as an example, the analytical bearing performance comparison of this irregular girder structure is carried out through the grillage model method and shell finite element method. The results of calculation indicate that grillage model which is intervenient with plane finite element method and solid finite element is simple, practical, efficient, and can be applied in the design of overpasses when compared with the shell finite element method.

**Key words:** grillage model; shell element of finite element method; irregular box girder; urban overpass

本文编辑:萧 宁