

# 梁格法在截面转换加固 T 型梁桥中的应用

戴 灿<sup>1</sup>, 周建庭<sup>1</sup>, 杨圣超<sup>2</sup>, 宁德彪<sup>3</sup>

(1. 重庆交通大学, 重庆 400074; 2 北京市市政工程研究院, 北京 100037;

3 云南省公路科学技术研究所, 云南 昆明 650051)

**摘要:**在基本原理阐述的基础上, 用梁格法分析了截面转换加固 T 型梁桥的力学性能, 并结合具体的实例和常规的平面杆系有限元模型计算分析方法进行了对比。对比结果表明, 采用梁格法分析截面转换加固 T 型梁桥是有效的。该处理方法可望对实践起到一定的指导作用。

**关键词:**梁格法; 截面转换; 加固; T 型梁

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2009)03-0515-03

## Application of Grillage Method to Reinforcement with the Section Changing Method for T-Girder Bridge

DAI Can<sup>1</sup>, ZHOU Jian-ting<sup>1</sup>, YANG Sheng-chao<sup>2</sup>, NING De-biao<sup>3</sup>

(1. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Beijing Municipal Engineering Research Institute, Beijing 100037, China;

3. Highway Science & Technology Research Institute of Yunnan Province, Yunnan Kunming 650051, China)

**Abstract:** Grillage method is an effective method for spatial analysis on bridge structure. According to the principle of the grillage method, the mechanical behavior of reinforcement with section changing method for T-girder bridge is analyzed. Combining with the specific engineering example, the contrasting analysis is carried out between the grillage method and 2D beam finite element method. The contrastive results show that the application of grillage method to the reinforcement with section changing method for T-girder bridge is effective. The dealing measures proposed are promising to offer certain guide to the practice.

**Key words:** grillage method; section changing; reinforce; T-girder

## 1 引言

T 形截面梁桥是中、小跨径公路桥梁中应用最为广泛的桥型之一。它构造简单、受力明确、工程造价低, 可采用钢筋混凝土和预应力混凝土结构, 跨径较板式桥梁大, 能适应各种形状的弯、坡、斜桥, 因此, 在公路和城市桥梁中都得到十分广泛的应用。

由于旧桥梁设计标准的偏低, 交通量的迅猛发展等原因, 造成现有的钢筋混凝土 T 型梁桥中, 很多已发生承载力不足现象。然而要废除这些旧桥重建新桥, 一方面需耗巨资, 另一方面需中断交通, 影响人们正常的工作、生活。因此, 旧桥加固具有广阔的应用前景和深远的现实意义<sup>[1]</sup>。

本文采用截面转换方法将 T 型梁截面转换为箱梁, 用梁格法建模分析加固前后的效果, 探讨梁格法在加固工程中的应用。

## 2 截面转换加固技术简介<sup>[2]</sup>

在原 T 型梁下缘增设钢筋混凝土底板, 通过底板与 T 型梁下缘主筋的刚性联接, 截面转换成箱型截面, 达到活载作用下桥梁全截面均衡承载的目的, 如图 1。其施工工艺如下:

剥开原 T 型梁下缘混凝土露出主筋——增焊横筋“┐”于原 T 型梁两相邻下缘主筋——增设纵向主筋, 并与“┐”横筋相交处一律采用点焊——清除烧伤、松散混凝土——架模板现浇 T 型梁间混凝土, 形成封闭箱型梁结构——混凝土养生。

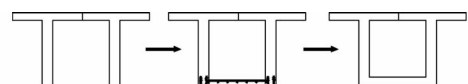


图 1 T 型梁截面转换成箱型梁截面加固

收稿日期: 2008-09-17; 修订日期: 2008-12-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50608072)

作者简介: 戴 灿 (1982-), 男, 湖南岳阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 桥梁加固与监测。E-mail: daican@126.com。

### 3 梁格法简介

桥梁结构常用的计算分析方法有以下几种:

空间梁单元法用一维空间梁单元对结构进行离散,其特点是能直接给出截面的内力 and 变形,但不能得到横梁的内力;板壳元法离散空间箱型结构,当板壳单元相当细密时,可以分析桥梁结构的各种力学行为,但在实际应用时它需要整理大量的输入、输出数据,对计算结果作出正确评价及对结构受力行为进行解释都非常困难;梁格分析法是将结构原型模拟成便于计算机分析的等效梁格,通过对等效梁格的分析,得到结构原型的力学性能和内力情况,它具有概念清晰、易于理解和使用等特点,因此在桥梁结构分析中得到了广泛的应用。

截面转换方法将 T 型梁截面转换为箱梁后通过把箱型截面离散为梁格后,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,能同时分析纵向力和横向力。特别对于横向联系弱的 T 型梁桥转变为箱梁后,用梁格法分析能得出横向作用增强效果。

#### 3.1 基本原理<sup>[3]</sup>

梁格法的基本思想是用等效梁格代替桥梁上部结构,将分散在板式或箱梁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,横向刚度集中于横向梁格构件内。理想的刚度等效原则应该满足:当原型实际结构和对应的等效梁格承受相同荷载时,两者的挠曲将是恒等的,并且每一梁格内的弯矩、剪力和扭矩等于该梁格所代表的实际结构部分的内力。由于实际结构和梁格体系在结构特性上的差异,这种等效只是近似的,但对一般的设计,梁格法的计算精度是足够的。

#### 3.2 梁格构件刚度<sup>[3]</sup>

众所周知,在箱梁桥的梁格分析中,等效梁格能在多大程度上正确的反映出原结构的真实受力状况,最为关键的问题是计算每根构件的截面常数。而梁格刚度的合理选取,必须根据结构的受力特性来确定(图 2)。

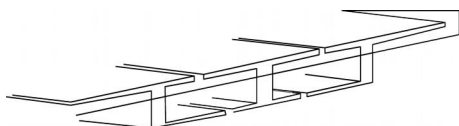


图 2 箱梁从顶板、底板切开成工字梁  
(保证中性轴一致)

##### 3.2.1 纵向梁格构件的弯曲刚度

把箱梁已经切开成工字梁形式,规定水平方向

表示 y 轴方向,纵向梁格方向表示 x 轴方向:每个纵梁的抗弯惯性矩  $I_y$  (绕 y 轴),等于它所代表的工型部分截面的抗弯惯性矩<sup>[4]</sup>。根据梁格等效的基本原理,图 3(a)中,梁格构件横截面上的纵向弯曲应力与承受着与上部结构相同的曲率的工字梁的应力相似。

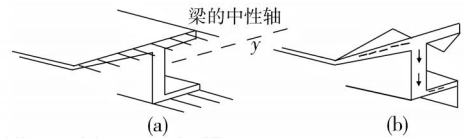


图 3 构件绕自身中性轴弯曲时的正应力与剪应力

于是有:

$$\sigma = \frac{M}{I} = \frac{E}{R}$$

式中,  $Z$  为截面上任一点到截面形心中性轴的距离;  $M$  为截面上的总弯矩;  $I$  为截面绕中性轴的面积二次矩或惯性矩;  $E$  为弹性模量;  $R$  为由于弯曲形成的梁的曲率半径。

由于弯曲产生的剪应力分布与从具有横向和纵向剪力流的“工字梁”的简单梁理论所得相似,因此有:

$$\tau = \frac{Q_M A \bar{Z}}{I d}$$

$$Q_M = \frac{dM}{dx}$$

式中,  $Q_M$  为由于弯曲在构件内产生的垂直剪力;  $A$  为翼缘部分的面积;  $\bar{Z}$  为总截面形心至面积  $A$  形心的距离;  $d$  为“工字梁”腹板厚度。

综上所述,纵向梁格构件的弯曲刚度为:

$E I_y = E \cdot (\text{梁格构件所代表的截面对箱梁整体截面的 } y \text{ 中性轴的惯性矩})$

##### 3.2.2 横向梁格构件的弯曲刚度

箱梁在横向也产生弯曲变形,根据板的弯曲理论,由于泊松比的影响,纵向弯矩将使横向弯矩较简单梁理论计算结果产生一定误差。众多文献资料表明,对混凝土结构通常可以略去泊松比影响。因此横向梁格弯曲刚度:

$E I_x = E \cdot (\text{横向梁格所代表的截面对 } x \text{ 中性轴惯性矩})$

若横向梁格内包括有横隔板,则惯性矩应计入横隔板影响。每单位宽度内抗弯刚度为:

$$E I_x = \left( h^2 d + h^2 d \right) = \frac{h^2 d d}{d + d}$$

式中,  $d$ 、 $d$  分别为顶、底板厚度,  $h$ 、 $h$  分别为顶、底板至它们的形心的距离,如图 4。

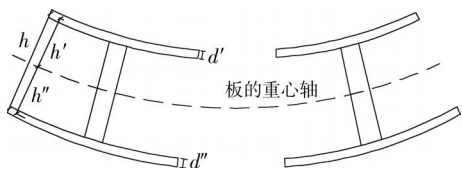


图 4 横向弯曲

4 梁格法在加固工程力学分析中的应用

采用空间梁格法和平面杆系有限元来计算具体 T 型梁桥,比较两计算结果,验证梁格法在工程中的应用。

阳光桥位于北京市密云县,桥长 89.70 m,宽 14.39 m,上部结构为 6 跨普通钢筋混凝土简支 T 梁结构,下部结构为桩柱式桥台和桥墩,钻孔灌注桩。桥跨布置 14.77 m + 4 × 15.04 m + 14.77 m,每跨有 9 片主梁,主梁间距为 1.60 m。桥梁仅在每跨的梁端设置了端横隔板,跨中未设置横隔板。加固设计荷载:城 - A 级。

通过计算加固前后该桥的横向分布系数得到:2#梁处于最不利位置,因此取该梁进行建模计算,验算各项承载力。

用 M D A S 软件对该桥建立具体模型,结合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(J T G D 62—2004)(简称《规范》)计算结果,得出阳光桥不能满足城 - A 级的承载能力及使用性能要求,不能满足日益增加的交通需求。如果桥梁按城 - A 级荷载通行,需进行加固以保证桥梁安全使用(表 1)。

表 1 阳光桥加固前强度验算结果

抗弯 承载力 / (kN · m)	抗剪 承载力 / (kN)	作用最 大弯矩 / (kN · m)	作用最 大剪力 / (kN)	富余 量 / %	富余 量 / %
1275.9	923.4	1415.3	563.8	-9.8%	63.8%

表中抗弯、抗剪承载力由《规范》算出,作用最大弯矩、剪力由 M D A S 计算软件分析得出。

阳光桥只有端部横隔板,桥梁横向联系弱,对承受活荷载不利。采用 T 型梁截面转换为箱梁截面的加固方法,相邻 T 型梁间下缘增设 11 cm 厚钢筋混凝土底板封闭 T 型梁,则简支 T 型梁桥在活载作用下将由原 T 型梁受力特性转变为箱梁受力特性。这样,原桥的抗弯刚度和抗扭刚度将大幅度增大。同时,为增强结构的耐久性对主梁裂缝及盖梁外露钢筋、混凝土破损进行处治。

桥梁结构是一种复杂的空间结构,为了使结构分析更接近桥梁结构的真实工作状态,在建立计算分析模型时,笔者采用 M D A S 软件结合梁格分析法,建立整体结构的有限元计算模型,尽量使计算模型与实际结构一致,使模型能“真实”地再现实际结

构的受力情况。根据阳光桥实际情况,采用梁格法划分单元。纵梁的划分模式,主要遵循汉勃利提出的原则,建立 9 个各包含一个腹板的主纵梁,其截面特性按照绕整体的上部结构主轴来计算的<sup>[5]</sup>。具体划分步骤如下:

- 1)在箱型各室的顶板、底板各选择一划分点,成为若干个工型;
- 2)对各工型的翼板计算有效宽度;
- 3)按有效宽度计算各工型的形心;
- 4)比较各工型的形心高度,若不在一条直线上且偏离较大,返回 1)重新算<sup>[6]</sup>。

阳光桥只有端部横隔板,桥梁横向联系弱,在建立梁格法模型过程中设置横向虚拟横梁,纵梁与纵梁的分离通过在纵梁间的虚拟横梁来使得各纵梁共同承担外力荷载。

对阳光桥分别采用空间梁格法和平面杆系有限元来建立加固后模型,计算 T 型梁桥转变为箱梁后的加固效果见图 5~图 7 及表 2~表 3。

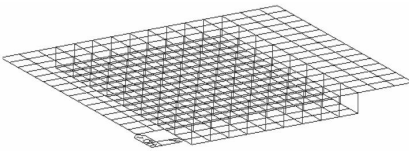


图 5 加固后空间梁格法有限元计算模型

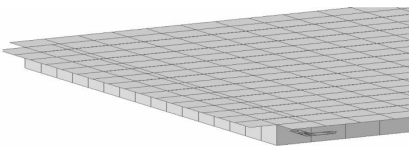


图 6 加固后空间梁格法有限元计算模型局部渲染

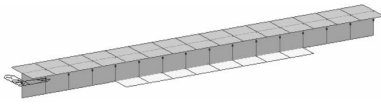


图 7 加固后平面有限元计算模型局部渲染

表 2 加固后纵向梁格的参数值

截面面积 A / m <sup>2</sup>	抗弯惯性矩 / m <sup>4</sup>	剪切面积 A / m <sup>2</sup>	剪切刚度 / GPa
0.52	0.394	0.256	13

表 3 加固后强度验算结果(空间梁格法)

	抗弯 承载力 / (kN · m)	作用最 大弯矩 / (kN · m)	富余 量 / %	抗剪 承载力 / kN	作用最 大剪力 / kN	富余 量 / %
空间 梁格法	2 162.1	1 424.9	51.7	923.4	588.6	56.9
平面 杆系法	2 162.1	1 418.7	52.4	923.4	585.3	57.8

(下转第 542 页)

## 6 结 论

1)纤维沥青混凝土裂缝的分布有明显的统计相似性,裂缝具有明确的统计意义上的分形特征,可以利用分形几何来研究。

2)不同纤维掺量的沥青混凝土低温开裂过程具有分形衍变特征。纤维沥青混凝土低温开裂的过程就是裂缝生长过程,裂缝的分形维数的增加过程就是纤维沥青混凝土低温开裂过程。

3)纤维沥青混凝土裂缝的分形维数随着应力的增加而增大,表明了沥青混凝土断裂全过程中内部裂纹起裂、扩展、汇聚直至最终破坏的演变机制。

4)添加纤维后裂缝的分形维数减少,力学指标如破坏应变能、破坏应力、应变都有不同程度的增长,劲度模量减小,表明纤维加入后沥青混凝土的低温抗裂性能得到了提高,对于防止温度裂缝和反射裂缝有非常积极的意义。纤维加入后,尤其是短纤维加入后,在混合料中是呈三相空间网状分布的,纤维与纤维、纤维与周围基体之间由于纤维的不连续性而存在复杂的相互作用,会显著影响复合材料的韧性和破坏过程。

### 参考文献:

- [1] 周志刚,张起森. 加筋材料阻止沥青路面反射裂缝的桥联增韧的有限元分析[J]. 土木工程学报, 2000, 33

(1): 93-99.

- [2] 易志坚,吴国雄,周志祥,等. 基于断裂力学原理的水泥砼路面破坏过程分析及路面设计新构想[J]. 重庆交通学院学报, 2001, 20(1): 1-5.
- [3] 罗 睿,黄晓明. 利用权函数计算沥青路面层间部分约束的面层底裂缝应力强度因子[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(5): 610-613.
- [4] 丁武洋. 路面结构裂缝问题的理论分析与应用研究(硕士学位论文)[D]. 郑州:郑州大学, 2002.
- [5] Winslow D N. The fractal nature of the surface of cement paste[J]. Cement and Concrete Research, 1985 (15): 817-824.
- [6] 谢和平. 脆性材料中的分形损伤[J]. 机械强度, 1990, 17(2): 75-82.
- [7] 陈乃明. 节理化岩体的计算机模拟及分形理论特征研究(博士学位论文)[D]. 长沙:中南工业大学, 1994.
- [8] Mechtcherine V, Muller H S. Fractological Investigation on the Fracture in Concrete [M]. Fracture Mechanics of Concrete Structures, 2001: 81-88.
- [9] Capinteri A, Chiaia B, Invernizzi S. Three-dimensional fractal analysis of concrete fracture at the micro-level[J]. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 1999 (31): 163-172.
- [10] 谢和平,薛秀谦. 分形应用中的数学基础与方法[M]. 北京:科学出版社, 1997.

(上接第 517页)

表中抗弯、抗剪承载力由《规范》算出,作用最大弯矩、剪力由 MIDAS 计算软件分析得出。

计算表明,加固后阳光桥的抗弯、抗剪均满足城 - A 级荷载营运要求。比较结果显示,梁格与单梁的整体力学性能指标非常接近,最大误差仅有 1.58%。其原因是空间结构能较好地体现横隔板及现浇湿接缝的横向联系作用。证明空间梁格法分析阳光桥加固工程的力学性能是有效的,能充分反映实桥的受力情况。

## 5 结 论

空间梁格法在保证各项截面特性的参数准确输入的前提下,能够比较真实地模拟结构的整体力学行为,较平面杆系有限元能更好地考虑结构横向联系作用。梁格法计算能把握住结构的总体性能,满足设计精度要求,能快速方便地建模、计算以及提取结果。

文中的处理方法可望对实践起到一定的指导作用。

### 参考文献:

- [1] 杨文渊,徐 奔. 桥梁维修与加固 [M]. 北京:人民交通出版社, 2000.
- [2] 周建庭. 截面转换加固 T 型梁桥技术 [P]. 中国专利: CN(ZL03234350), 2004-07-02.
- [3] 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.
- [4] 郑振飞,吴庆雄. 斜、弯桥跨分析的广义梁格法 [M]. 北京:人民交通出版社, 1998.
- [5] Hambly E C. Bridge Deck Behaviour [M]. London: E & FN Spon, 1976.
- [6] O'Brien E J, Keogh D L. Upstand finite element analysis of slab bridge [J]. Computers & Structures, 1998, 69 (6): 671-683.