

# 梁格法在既有简支铰接空心板梁桥检测与维修加固计算分析中的应用

彭 彦, 李德建

(中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075)

**摘 要:** 根据梁格法原理, 通过使虚拟横梁在同一铰接缝处的梁端竖向约束相互耦合来模拟纵向铰接缝, 提出改进的梁格模型, 建立了简支铰接空心板桥空间分析模型并编制程序进行了计算, 最后, 通过实桥静载试验验证了模型的正确性。该方法可为既有简支铰接板梁桥的检测与维修加固计算分析提供有效手段。

**关键词:** 梁格法; 铰接缝; 竖向约束耦合; 静载试验

**中图分类号:** U443.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7029(2009)01-0058-04

## Application of grillage method in analysis of simply - supported hinged joint cellular slab bridge testing and strengthening

PENG Yan, LI De - jian

(School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** Based on basic principles of grillage an improved grillage model of making the vertical constraint of cross beam ends couple at the same hinged joint to simulate longitudinal hinged joint was proposed. The space analytical model of the simply - supported hinged joint cellular slab bridge was established and the model was computed using the self - generated program. The correction of the model was proven through the static tests. This method may provide the reference for the examination and strengthening of the simply - supported hinged joint slab bridge in the future.

**Key words:** grillage method; hinged joint; vertical constraint couple; static test

简支梁桥是梁式桥中应用最早、使用最广泛的一种桥型。而简支梁桥中应用较多的为铰接板梁桥, 这种桥式就是用现浇混凝土纵向企口缝装配或者仅在翼板间用焊接钢板或伸出交叉钢筋连接的无中间横隔梁的装配式桥。由于使用年限和荷载等级的提高, 在实际工程中, 存在大量需要检测与维修加固的此类桥梁。由于该种桥型块件间横向具有一定的连接构造, 但其连接刚性又相对较弱。这类结构的受力状态实际上接近于数根并列而相互间横向铰接的狭长板。对这种结构的传统的分析方法是简化了的平面分析, 通过横向分布系数来考虑桥梁的空间作用<sup>[1-3]</sup>, 这种分析方法具有分析简

单、适用性广的特点, 但它难以得出横桥向各片梁的内力分布规律。用板单元或实体单元建立空间模型<sup>[4]</sup>虽可以得出横向各片梁的内力分布规律, 但它难以模拟纵向铰接缝。采用梁格法能从整体上对这种桥型进行受力分析并且容易模拟纵向铰接缝, 由于采用了纵向梁格和横向梁格, 因此, 特别适合于这种受力状态接近于数根并列而相互间横向铰接的狭长板。其中纵向梁格内力代表结构纵向内力, 横向梁格内力代表结构横向内力, 此种方法具有概念清晰, 便于工程师实际应用等显著特点。

\* 收稿日期: 2008 - 06 - 08

作者简介: 彭彦 (1960 - ), 男, 湖南长沙人, 教授级高级工程师, 博士研究生, 从事复杂桥梁结构空间分析与设计理论、桥梁结构振动与稳定研究

1 梁格法的基本原理

梁格法就是用等效的梁格代替桥梁上部结构,将分布在板式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<sup>[5]</sup>。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,两者的挠曲将是相等的,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。梁格法中荷载分配是以加载位置及单元间的相互刚度为依据的,刚度与构件的截面特性和构件的连接关系有关,因而,梁格单元的截面特性正确计算和构件间连接关系的正确模拟是保证计算精度的关键。对于空心板,其截面特性计算公式为<sup>[6]</sup>:

$$\left\{\begin{aligned}EI_y &= \frac{EI_s a}{s}, \\EI_x &= \frac{Eh^3}{12} [1 - (\frac{d}{h})^4] b, \\GJ_y &= \frac{Eh^3}{12(1+\mu)} [1 - 0.85(\frac{d}{h})^4] a, \\GJ_x &= \frac{Eh^3}{12(1+\mu)} [1 - 0.85(\frac{d}{h})^4] b.\end{aligned}\right. \quad (1)$$

式中:  $a$  和  $b$  分别为图 1 中轴和轴方向梁格构件代表的宽度;  $\mu$  为泊松比。

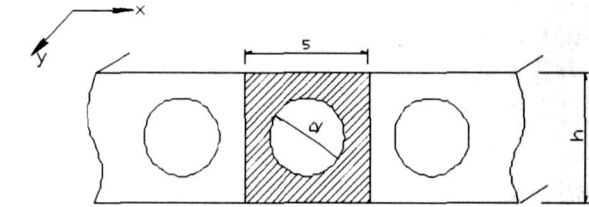


图 1 空心板示意图  
Fig 1 Diagram of hollow slab

2 纵向铰接缝的模拟

文献 [7] 给出了铰接板桥的受力特点。该受力特点可以用图 2 来说明。其中,图 2(a) 所示为一座用混凝土铰接缝连接的装配式板桥承受荷载  $P$  的变形结果,当 3 号板块上有荷载  $P$  作用时,除了本身引起纵向挠曲外(板块本身的横向变形极小,可略去不计),其他板块也会受力而发生相互挠曲。显然,这是因为各板块之间通过结合缝所承受的内力起传递荷载的作用。图 2(b) 所示为一般情况下结合缝可能引起的内力为竖向剪力  $g(x)$ 、横向弯矩  $m(x)$ 、纵向剪力  $t(x)$  和法向力  $n(x)$ 。然而,当桥上主要作用竖向荷载时,纵向剪力与法向力同竖向剪

力相比,影响极小,加之在构造上,结合缝(企口缝)的高度不大,刚性甚弱,通常可视作近似铰接,横向弯矩对传布荷载的影响极小,也可以忽略。为了简化,假定竖向荷载作用下结合缝内只传递竖向剪力  $g(x)$ 。用梁格法建模时将相邻横梁单元的同位置铰接缝处的竖向约束相互耦合,其他约束全部释放掉,使铰接缝只传递竖向剪力  $g(x)$ ,如图 2(c) 所示,各板受力模型如图 3 所示。这就是梁格法分析铰接板并模拟铰接缝的基本思路。

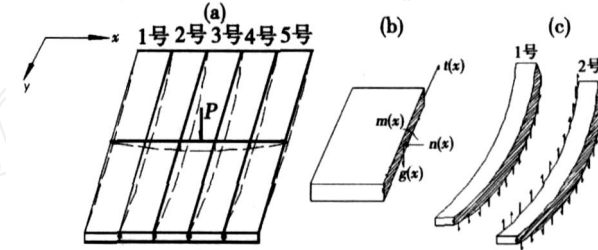


图 2 铰接板桥受力示意图  
Fig 2 Isolated - body diagram of hinged slab bridge

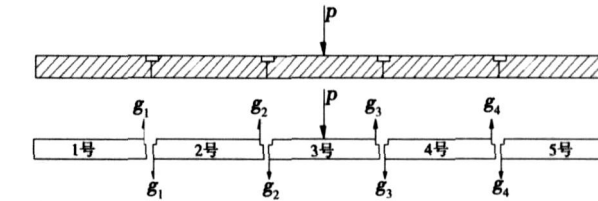


图 3 铰接缝处传力示意图  
Fig 3 Diagram of load transfer at the hinged joints

3 工程实例

3.1 实例简介

长沙湘江北大桥是 319 国道上的 1 座特大桥,大桥总长 3 616.66 m,其正桥长 2 355.9 m。正桥由东引桥、主桥和西引桥组成。西引桥部分共 17 孔,每跨采用 16 米简支铰接空心板结构,桥面净宽 26.6 m,其中机动车道 4 × 3.95 m,非机动车道 2 × 3.65 m,人行道 2 × 1.5 m,桥梁设计荷载为汽车—20 级,挂车—100。桥梁上部均采用 23 块 70 cm 厚先张法预应力混凝土铰接空心板。下部除桥台外,全部采用 4 120 cm 钻孔灌注桩,柱式墩。西引桥横断面布置如图 4 所示。

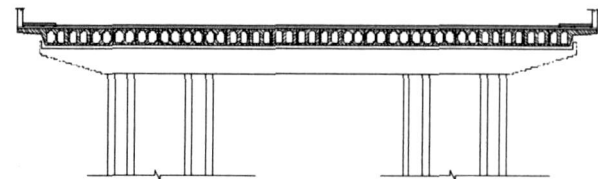
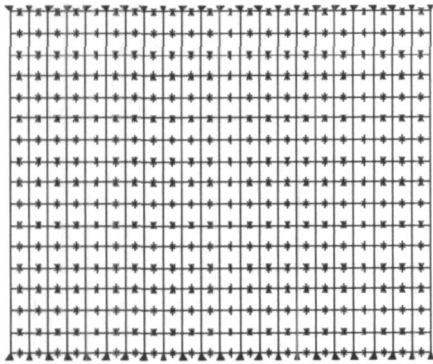


图 4 西引桥横断面布置图  
Fig 4 Cross - sectional layout of west approach

3.2 通过耦合约束模拟铰接缝的梁格法计算模型  
全桥纵向划分成 16 个单元,横向沿各片梁中

心线和铰接缝划分成 44 个单元,横梁只起横向将各片纵梁连接为整体的作用,相邻横梁在同一铰接缝处将竖向约束相互耦合,其他约束全部释放以模拟铰接缝使其只传递竖向剪力。计算模型如图 5 所示。



注: \* 代表铰接缝处竖向约束相互耦合节点,  
代表支撑约束节点

图 5 桥梁上部结构梁格计算模型

Fig 5 Computing beam grid model of the upper structure

### 3.3 实桥荷载试验方案

静载试验要求测试简支梁桥每跨在顺桥向最不利设计荷载作用下,控制截面的应力和挠度。本桥测试采用金码高科的混凝土表面应变计进行截面应力测试,采用德国 HBM 公司电感式位移传感器进行挠度测试。

#### 3.3.1 加载方案

取如图 6 所示车载排列作为试验荷载。

选定 2 个横向车载布置方式作为此次静载试验的试验工况。2 种工况下车载横向布置方式分别为:

工况 1,用图 7 中第 , 和 列试验车辆加载;

工况 2,用图 7 中第 , , , 和 列试验车辆加载。

这样,布载包括了单侧偏载和双侧对称加载 2 种加载方案,2 种工况车列数均应按由少到多逐列递增的原则进行加载,并严格监测裂缝开展情况。

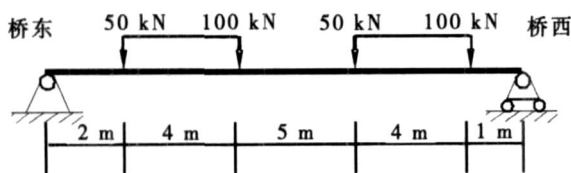


图 6 试验荷载

Fig 6 Test load

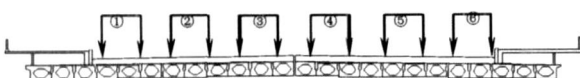


图 7 横桥向布载

Fig 7 Lateral load

#### 3.3.2 测点布置

挠度测试采用 HBM 位移传感器 (即挠度计),每跨跨中布置 23 个测点,如图 8 所示。应变力测试采用金码高科混凝土表面应变计,每跨跨中布置 23 个测点,如图 9 所示。

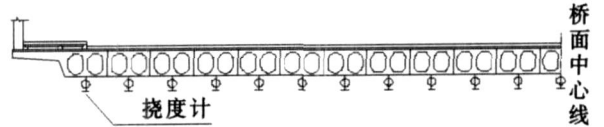


图 8 挠度测点布置图

Fig 8 Position of the deflection measuring points

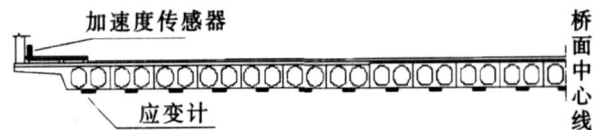


图 9 应力测点布置图

Fig 9 Position of the stress measuring points

#### 3.3.3 结果对比分析

根据上述梁格法计算原理建立梁格计算模型,采用桥梁结构空间分析与设计程序 LBS-1,算出 2 种加载工况中每片梁的跨中应力和跨中挠度的理论值,通过实桥静载试验测出跨中应力和挠度值。将理论值和实测值结果进行对比分析,对比结果如图 10 和图 11 所示。

从图 10 和图 11 可以看出:应力实测结果比理论结果略小,这反映了桥梁实际总体刚度与理论值相比偏大,较接缝的约束联系相对较强致使各片梁内力分布更均匀;挠度实测值结果比理论值略大,这是由于实测结果中包含了桥梁下部结构盖梁、桥墩、支座等的变形,而理论分析中并没有考虑下部结构的变形。总体上讲,应力和挠度实测值和理论值变化趋势保持一致且偏差不大,能满足工程要求。由此可见,通过耦合竖向约束模拟铰接缝的改进,梁格法的计算结果具有较高的精度。

## 4 结 论

1)静载试验中 1 次就测出所有梁的应力、挠度。为了与实测结果对比,理论计算中必须一次性算出所有梁的应力、挠度。由于在加载情况下各片梁的受力、变形是相互耦合的,以前通过横向分布系数把结构简化成平面结构计算的方法,其原理是使每片梁受力最不利,用平面分析方法通过多次计算虽然也能算出各片梁的应力、挠度,但实际上各片梁并不是同时达到受力最不利状况,因此,平面分析不能反映实际结构实际的受力和变形情况,必须建立空间分析模型才能考虑各片梁的受力、变形相互耦合作用。

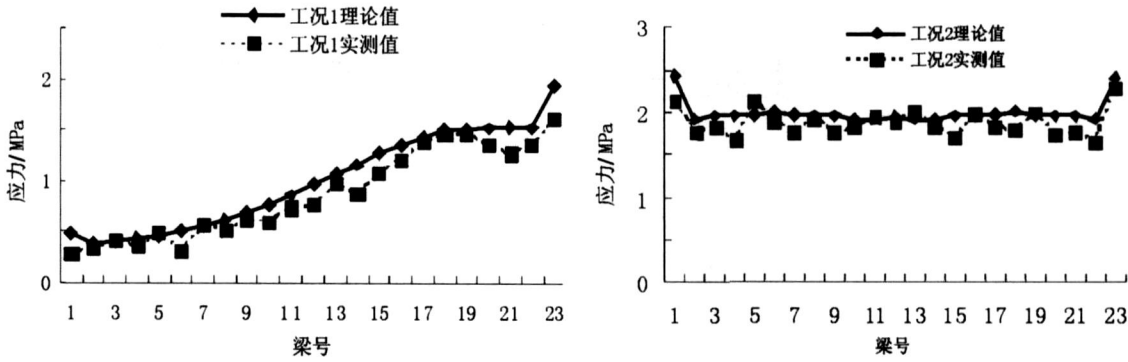


图 10 2种加载工况应力对比图

Fig 10 Contrasted stress map of two types of load

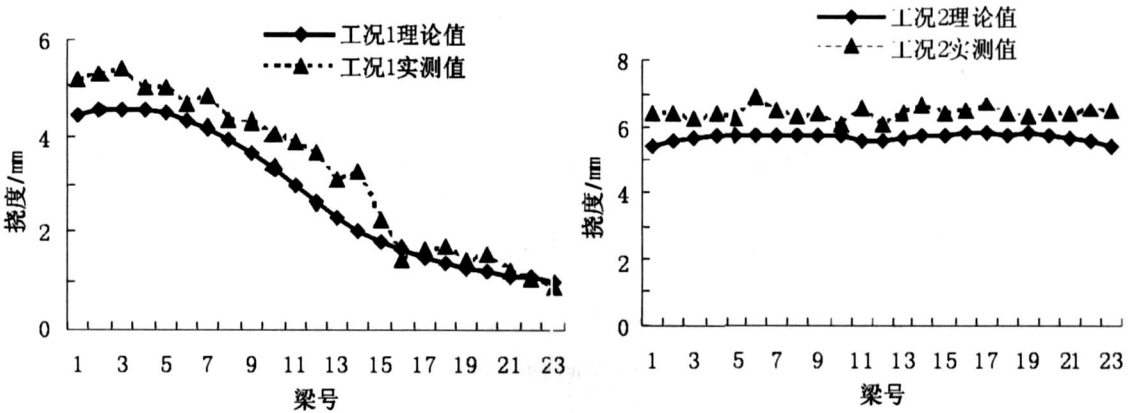


图 11 2种加载工况挠度对比图

Fig 11 Contrasted deflection map of two types of load

2)实际结构是通过铰接缝使各梁联系成一个整体共同受力的,理论计算模型中必须正确模拟铰接缝的作用,其中正确模拟铰接缝处力的传递是最关键的。根据铰接缝的受力特点对铰接缝进行了简化,使其只传递竖向剪力,建立梁格法模型时使同一铰接缝处各单元的节点竖向约束相互耦合,其他约束全部释放来正确模拟铰接缝的作用。

3)建立了改进的空间梁格模型,计算了各片梁的应力、挠度并与实测值结果进行对比分析,结果表明,改进了的梁格法具有较高的精度。

4)建立合理的分析模型,准确计算梁的刚度和合理地模拟纵向铰接缝是保证计算正确的关键。本文所提出的方法可应用于有简支铰接空心板梁桥的检测与维修加固的计算分析。

参考文献:

[1] 王敏强,薛 飞. 铰接板梁桥荷载横向分布影响线计算方法 [J]. 武汉大学学报:工学版, 2004, 37(4): 68 - 72  
WANG Min - qiang, XUE Fei Method of calculation of transverse load distribution influence line for an articulated slab girder bridge[J]. Journal of Wuhan University: Engineering Edition, 2004, 37(4): 68 - 72  
[2] 王 佶,曾 智. 浅析桥梁荷载横向分布系数计算 [J].

国外建材科技, 2004, 25(6): 109 - 110  
WANG You, ZENG Zhi Study of calculating the load transverse distribution factors of bridge [J]. Science and Technology of Overseas Building Materials, 2004, 25(6): 109 - 110  
[3] 张俊勇,庄月明. 板梁桥横向分配能力的测试分析 [J]. 山西建筑, 2006, 32(14): 270 - 271.  
ZHANG Jun - yong, ZHUANG Yue - ming The research of lift - up of bored pile reinforced cage [J]. Shanxi Architecture, 2006, 32(14): 270 - 271.  
[4] 郭 勇,王 媛. 预应力混凝土连续箱梁桥计算模型对比分析 [J]. 中国市政工程, 2005(4): 36 - 38  
GUO Yong, WANG Yuan. comparative analysis on prestressed concrete box - girder bridge calculating model [J]. China Municipal Engineering, 2005(4): 36 - 38  
[5] Hambly EC. Bridge deck behaviour [M]. London: E&FN Spon, 1976  
[6] 戴公连,李德建. 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.  
DA I Gong - lian, L I De - jian Bridge spatial structure design - analysis method and application [M]. Beijing: People's Traffic Press, 2001.  
[7] 范立础. 桥梁工程 (上) [M]. 北京:人民交通出版社, 2001.  
FAN Li - chu Bridge engineering [M]. Beijing: People's Traffic Press, 2001.