

梁格法在弯箱梁桥上的分析及应用

张发春¹, 杨昌正²

(1. 云南省公路规划勘察设计院, 云南 昆明 650011; 2. 昆明理工大学, 云南 昆明 650031)

摘要: 梁格法是一种能较好地模拟原结构的空问结构分析方法, 它具有基本概念清晰、计算费用低等特点, 因此常应用于宽、斜、弯梁桥设计中。在这介绍了适用于箱型截面的梁格的基本理论, 并用 ANSYS 实体单元验证方法的可行性, 为设计人员对梁格理论的理解及应用提供了有益的参考。

关键词: 梁格法; 空问结构; 弯梁桥; 实体单元

中图分类号: U441⁺.5; U448.21⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2008)01-0013-04

Analysis and Application of Grillage Method to Curved Girder Bridge

ZHANG Fa-chun¹, YANG Chang-zheng²

(1. Yunnan Highway Planning, Survey and Design Institute, Kunming Yunnan 650011, China;

2. Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan 650031, China)

Abstract: The grillage method is an analytical method of space structure which can simulate the original structure well, and it owns characteristics of clear basic conception and low computing cost. Therefore, it is often applied to the design of the wider, skew, curved girder bridges. The basic theory of the grillage of boxing section was introduced in detail and the solid element of ANSYS was used to verify the practicability, with the hope to supply useful reference on the grillage theory and application to designers.

Key words: grillage method; space structure; curved girder bridge; solid element

梁格理论作为一种实用的计算方法, 在工程界得到广泛的应用。但在应用梁格法对结构进行分析时, 因对其基本理论不理解而导致计算结果误差大, 不能指导实际工程的现象时有发生。本文就分析多室箱上部结构常用的“剪力-柔性梁格法”进行详细的阐述, 以 ANSYS 验证, 并辅以实例来帮助对该方法的理解。

1 剪力-柔性梁格法基本原理

梁格法的主要思路是将桥跨结构用一个等效的梁网格来简化, 将分散在箱梁每个区域内弯曲刚度和抗扭刚度“凝聚”于最邻近的等效梁格内, 即将实际结构的纵向刚度“凝聚”于纵向梁格内, 而横向刚度则“凝聚”于横向梁格内。理论上, 弯梁桥原型和等效梁格当承受相同的荷载时, 必须有相同的挠曲和扭转, 等效梁格每个构件的弯矩、剪力和扭矩也必须

等于构件所代表的实际结构的内力。

2 梁格的截面特性的求解方法

2.1 箱梁结构的离散化

离散箱梁截面的基本原则^[1]: 保证被切开的每片型梁及工字型梁的中性轴与原整体箱梁结构的纵向弯曲中性轴重合, 这样可使腹板剪力直接由所在位置的梁格构件的剪力来代表。虚拟横梁的刚度是依据箱梁顶底板的横向刚度来模拟, 实用计算中可以将每跨横向的抗弯(扭)刚度平均分配于该跨的虚拟横梁中。

将箱梁在腹板间切开, 离散为数片型梁及工字型梁作为梁格的纵梁, 如图 1。纵向“结构”构件 2、3 和 4 与箱梁腹板重合, 两根“虚拟”构件 1 和构件 5 则沿悬臂边缘设置。

收稿日期: 2007-01-23; 修订日期: 2007-04-23

作者简介: 张发春(1964-), 男, 云南昆明人, 高级工程师, 研究方向 桥梁设计研究。

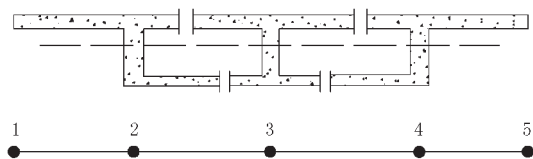


图1 箱形截面典型梁格划分

2.2 纵向弯曲

纵向“结构”构件2、构件3和构件4的惯性矩，以每一片梁的形心均在原整体箱梁结构的纵向弯曲中性轴为原则划分后分别计算。对于对称型的箱形截面，每一片梁可“实用”地计入1/3顶板和1/3底板，其惯性矩是整体箱梁总惯性矩的1/3^[2]。

上述的计算忽略了由于剪力滞后引起截面有效翼缘宽度的折减值，设计中应根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》要求进行修正。

“虚拟”边构件1和构件5的惯性矩则取为悬臂截面惯性矩的一半^[2]。

2.3 横向弯曲

如图2的横向弯曲，是顶板和底板一致地绕它们的共同重心的水平中性轴而弯曲，如同有一剪刚性腹板将它们连接一样。这种横向弯曲不计入顶板和底板单独弯曲所导致的格室的扭转变形。

不计上、下板本身的惯性矩，横向梁格的惯性矩按绕板的共同重心来计算：

$$i_c = b_1 d_1 h_1^2 + b_2 d_2 h_2^2 \quad (1)$$

式中 d_1, d_2, h_1, h_2 为板的厚度和各板至整体形心的距离。若横向梁格还包括横隔板，则惯性矩计算应计入横隔板。

横向梁格的每单位长度惯性矩为：

$$i = h_1^2 d_1 + h_2^2 d_2 = \frac{h^2 d_1 d_2}{d_1 + d_2} \quad (2)$$

梁格分析中，纵向和横向弯矩交会处略去泊松比的影响。

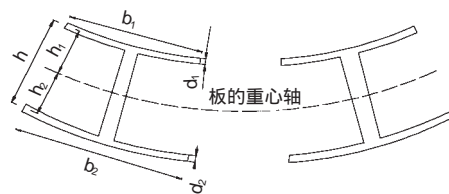


图2 横向弯曲

2.4 扭转

把箱梁比拟上、下两层薄实体板组成的正交同性板，不计腹板及箱梁外侧悬臂板的影响，如图3。

不计上、下板本身的惯性矩，则有：

$$i = A_1 h_1^2 + A_2 h_2^2 = b_1 d_1 h_1^2 + b_2 d_2 h_2^2 \quad (3)$$

因箱梁顶板和底板的中性轴位置与其板厚成反比^[3]，故有

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{h - h_1}{h_1} \quad (4)$$

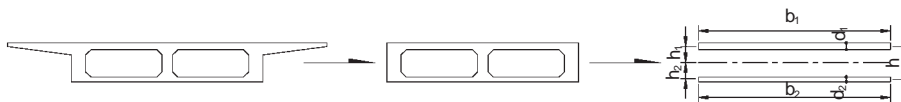


图3 箱梁扭转计算简化模型

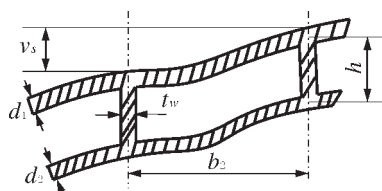
将式(4)代入式(3)得，格室每单位宽度的惯性矩为：

$$i = h_1^2 d_1 + h_2^2 d_2 = \frac{h^2 d_1 d_2}{d_1 + d_2} \quad (5)$$

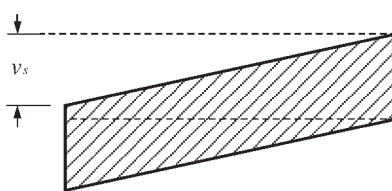
格室每单位宽度的抗扭常数为：

$$c = 2i = \frac{2h^2 d_1 d_2}{d_1 + d_2} \quad (6)$$

2.5 扭转变形



(a) 箱室畸变



(b) 等效剪切变形

图4 箱室畸变与横向构件等效剪切变形

为了求出横向梁格的等效剪切面积，必须求出横贯格室的垂直剪力与图4(b)的有效剪切位移 v_s 之间的关系。一个具有不同顶板和底板及腹板厚度的格室，用精确分析法导出的方程式带来了几乎不

之间的关系。一个具有不同顶板和底板及腹板厚度的格室，用精确分析法导出的方程式带来了几乎不

可能处理的复杂性。汉勃利在《桥梁上部结构性能》一书中,假定剪力在顶板和底板之间按其弯曲刚度比例而分布,以及假定在腹板之间的中点出有反弯点,求出了近似解答。横贯梁每单位宽度的垂直剪力因而可近似地由下式得出^[2]:

$$s = \frac{(d_1^3 + d_2^3)}{l^3} \frac{d_w^3 l}{d_w^3 l + (d_1^3 + d_2^3) h} E v_s \tag{7}$$

式中 d_1, d_2, d_w, l, h 系图 4 的尺寸。

对于剪力柔性梁格,剪力和剪切位移之间的关系为:

$$s = \frac{a_s G v_s}{l} \tag{8}$$

式中 a_s 为构件的等效剪切面积。

令式(7)和式(8)的刚度相等,则得出下列梁格

构件等效剪切面积的表达式:

$$a_s = \frac{(d_1^3 + d_2^3)}{l^2} \frac{d_w^3 l}{d_w^3 l + (d_1^3 + d_2^3) h} \frac{E}{G} \tag{9}$$

若上部结构内的腹板比实际设置的纵向梁格的间距小得多,则横向的 a_s 仍然用实际的格室和腹板尺寸来计算。上述的表达式仅适用于矩形横截面的箱形截面上。若上部结构有三角形或梯形格室,则上述式子就不能适用,不过,其抗剪刚度可以从同样形状的构架作构架分析导出,构架尺度取上部结构的单位长度。对于复杂的横截面,使用计算机作有限元分析是十分方便的。

3 截面特性算例

下面将利用算例来说明上部结构梁格截面特性的具体计算方法。箱梁截面的尺寸及离散如图 5。

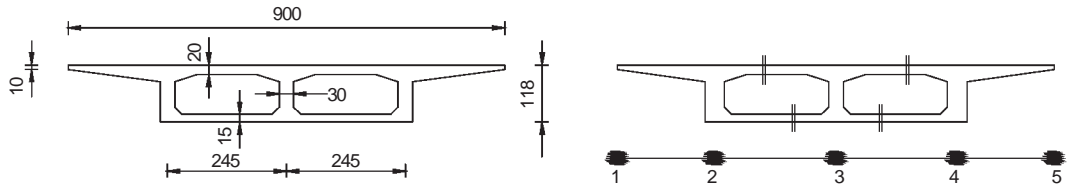


图 5 箱梁截面尺寸及离散

为简便,取格室每单位宽度的抗扭常数来计算,格室宽度则取上部结构每纵向梁格之间对中切开后的宽度,而构件的惯性矩和截面模量仍然取绕整体上部结构的主轴来计算^[2]。纵向梁的剪切面积等于

截面腹板的面积,悬臂上的横和构件按其顶板计算,“虚拟”边构件为悬臂截面特性的一半。各构件截面特性如表 1。

表 1 构件截面特性

构件	1	2	3	4	5
惯性矩 $I / (m^4 \cdot m^{-1})$	0.000 633	0.215	0.215	0.215	0.000 633
抗扭常数 c	0.001 33	0.212 17	0.424 34	0.212 17	0.001 33
剪切面积	0.19	0.301 5	0.301 5	0.301 5	0.19
构件	1_2	2_3	3_4	4_5	
惯性矩 $I / (m^4 \cdot m^{-1})$	0.000 667	0.086 67	0.086 67	0.000 667 7	
抗扭常数 c	0.001 34	0.173 2	0.173 2	0.001 34	
剪切面积	0.2	0.023 27	0.023 27	0.2	

4 算 例

为验证剪力-柔性梁格法的可行性,采用大型通用软件 ANSYS 的 solid45 实体单元建模,与梁格法

的计算结果进行比较。采用跨长为 20 m 的简支结构,一端采用固定支座,另一端采用活动铰支,两方法的模型如图 6。对模型在跨中 3 个腹板中间施加

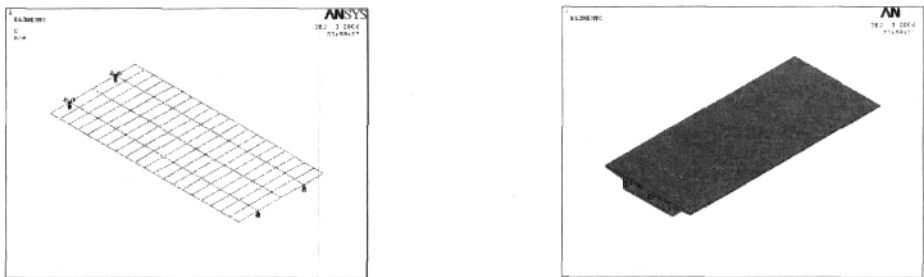


图 6 梁格法模型及实体单元模型

20 t 的力,如图 7。梁格及实体单元弯矩比较如图 8。

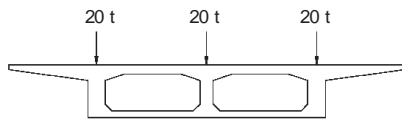


图 7 荷载施加布置

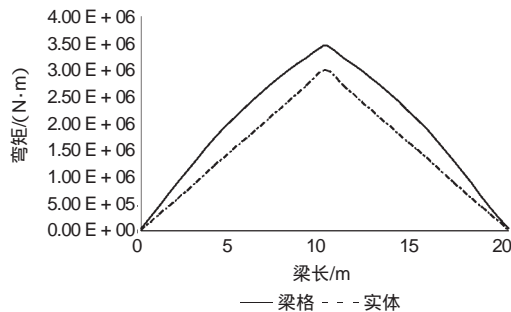


图 8 梁格及实体单元弯矩比较

从图 8 可知 梁格法在跨中处的弯矩为 3 448.36 kN·m, 实体单元计算出跨中处的弯矩为 3 000 kN·m, 其误差值为 15%, 可见梁格法在总体上与还是与精确值比较接近的。

5 结 语

梁格法是一种能较好地模拟原结构的空问结构分析方法^[5], 在工程界得到广泛的应用。由于实际结构和梁格体系的结构类型不同, 受力特性也不同, 只能近似地模拟。但大量的研究和计算表明, 梁格法计算能把握住结构的总体性能, 满足设计精度要求。

参考文献:

- [1] 孙广华. 曲线梁桥计算[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997: 75-80.
- [2] [美]汉勃利 E C. 桥梁上部构造性能[M]. 郭文辉, 译. 北京: 人民交通出版社, 1982: 36-38.
- [3] 黄剑源. 薄壁结构的扭转分析——曲线梁与斜支箱形梁[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998: 58-60.
- [4] 李国豪. 大曲率薄壁箱梁的扭转与弯曲[J]. 土木工程学报, 1987(1): 8-10.
- [5] 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: 66-70.

(上接第 8 页)

- [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2004.
- [3] 李国强, 李杰. 工程结构动力检测理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [4] 暴宝晖, 鄢瑞峰, 蔡贤辉, 等. 一种桁架结构损伤识别的柔度阵法[J]. 计算力学学报, 2001, 18(1): 42-47.
- [5] 李国强, 郝坤超, 陆焯. 弯剪型悬臂结构损伤识别的柔度法[J]. 地震工程与工程振动, 1999, 19(1): 31-37.
- [6] 郑栋梁, 李中付, 华宏星. 结构早期损伤识别技术的现状和发展趋势[J]. 振动工程学报, 2002, 21(2): 1-6.
- [7] Saavedra P N, Cuitino L A. Crack detection and vibration Behavior of Cracked Beams[J]. Computers and Structures, 2001, 79: 1 451-1 459.
- [8] Weixin Ren, Guido De Roeck. Structure damage identification using modal data. I: simulation verification[J]. Journal of Structural Engineering, 2002, 128(1): 87-95.
- [9] Weixin Ren, Guido De Roeck. Structure damage identification using modal data. II: test verification[J]. Journal of Structural Engineering, 2002, 28(1): 96-103.
- [10] 彭凡, 彭献. 简支梁裂纹位置识别的一种简单方法[J]. 振动与冲击, 2001, 20(4): 75-76.
- [11] 王玉珏. 基于柔度法的损伤识别研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.