

# 剪力 - 柔性梁格分析方法在桥梁工程中的应用

尤文刚

(辽宁省交通勘测设计院, 沈阳 110005)

**摘 要:** 依靠 MDAS 分析软件采用剪力 - 柔性梁格分析方法对一小半径曲线梁桥进行简单受力分析, 并用 ANSYS 板壳模型对结果进行验证, 说明了剪力 - 柔性梁格分析方法在等效梁格截面特性计算时的合理性及其在小半径曲线桥梁结构空间分析中的适用性。

**关键词:** 梁格; 空间分析; 刚度; 小半径曲线桥

**中图分类号:** U441 **文献标识码:** B **文章编号:** 1673 - 6052(2008)02 - 0121 - 03

在城市桥梁及高速公路枢纽立交建设中, 由于线型限制, 多出现小半径弯梁桥及异型桥, 且结构形式多以箱形截面为主。随着弯梁桥及宽箱异型梁桥等结构形式的涌现, 迫切需要对结构进行空间内力和变形分析。目前通用的方法主要有梁单元法、板壳元法、三维实体单元法以及梁格法。其中, 梁单元法无法得到内力的横向分布, 板壳元法和实体元法模型复杂, 计算费用高, 数据处理繁琐<sup>[1]</sup>。梁格法因其计算费用经济, 结果提取方便在工程分析中得到了广泛应用。当桥梁的上部结构为薄壁式单室或多室箱形断面时, 多采用剪力 - 柔性梁格分析方法, 这个借助于计算机的方法的应用是由绍柯 (Sawko) 首先提出<sup>[3]</sup>, 并广泛地应用于不同的结构。本文通过一个具体算例, 验证此方法在计算等效梁格截面特性时的合理性及在曲线梁桥中的适用性。

## 1 梁格法基本原理

梁格法的主要思路是将上部结构用一个等效梁格来模拟, 将分散在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, 而横向刚度则集中于横向梁格构件内<sup>[4]</sup>。从理论上要求: 当原型实际结构和对应的等效梁格承受相同荷载时, 两者的挠曲应恒等, 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。但是由于实际结构和梁格体系有着不同的结构特性, 上述“等效”的理想状况是难以达到的, 只能近似模拟, 因此如何“等效”成为梁格法实际应用的关键。

## 2 剪力 - 柔性梁格法

用剪力 - 柔性梁格法模拟箱梁结构的原理是: 当梁格节点产生挠度和转角时, 由梁格构件刚度产生的内力, 局部的等效于实际结构内力。在实际应用时, 根据此原理, 剪力柔性梁格法推出梁格等效截

面特性计算公式如下: (限于篇幅, 对推导过程略去, 推导过程及公式中参数意义详见文献 [1]):

(1) 纵向构件弯曲刚度:

$EI_y = E^*$  (梁格构件所代表的截面对箱梁整体截面的中性轴 Y 的惯性矩)

(2) 纵向构件扭转刚度:

$GI_x = G^*$  (梁格构件所代表的顶板、底板翼缘对 x 中性轴的惯性矩)

(3) 纵向构件剪切刚度:

腹板内的剪力流由弯曲剪力流和扭转剪力流组成, 由于剪力流使腹板产生剪切变形, 因此纵向梁格的剪切面积应等于腹板的横截面积。

(4) 横向构件弯曲刚度:

$EI_x = E^*$  (横向梁格所代表的截面对 x 中性轴的惯性矩)

(5) 横向构件扭转刚度:

$GI_y = G^*$  (梁格构件所代表的顶板、底板翼缘对 y 中性轴的惯性矩)

(6) 横向构件剪切刚度:

$$a_s = \frac{(d^3 + d^3)}{I^2} \left[ \frac{d_w^3 l}{d_w^3 l + (d^3 + d^3) h} \right] \frac{E}{G}$$

## 3 算例分析

单跨跨径 20m、半径为 75m 的连续箱梁, 跨中外腹板承受荷载 100kN, 箱形截面如图 1 所示。桥端横格梁厚度为 1m, 混凝土材料常数: 弹性模量  $E = 35\text{GPa}$ , 泊松比  $\nu = 0.1667$ , 密度  $= 2500\text{kg/m}^3$ 。

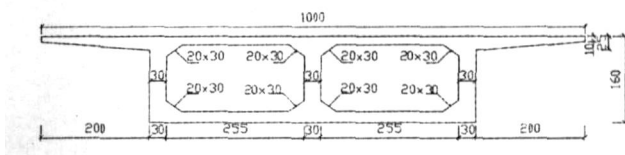


图 1 箱梁横截面图

### 3.1 MDAS 梁格分析

鉴于桥梁上部结构的形状和支座布置的多样性,对于梁格的划分很难提出一个通用的一般法则。通过对多种文献资料参考及笔者个人理解,现将梁格划分注意事项总结如下:

(1) 将多室箱梁分割为梁格时,注意各纵梁的中和轴位置应与原截面中和轴位置一致。

(2) 横向梁格设置应视结构的实际情况确定。若横隔板较多,这时横向构件应与横隔板重心重合。若横隔板的间距较大,则必须增加横向虚拟梁格,每跨内的虚拟的横向联系梁数量不应过少(划分为1.5m左右一个在精度上应能满足要求),且虚拟的横向联系梁的重量应设为零。

(3) 当虚拟的横向联系梁悬挑出边梁外时,应设置虚拟的边纵梁(为了准确地计算自振周期和分配荷载),此时可将虚拟的边纵梁作为一个梁格进行划分。

(4) 弯桥时应注意支座的约束方向。

(5) 纵向构件的位置与纵向腹板相重合,这种布置可使腹板剪力直接由横截面上同一点的梁格剪力来表示。

(6) 一般来说,斜、弯箱形梁桥的梁格需在支承附近,内力变化较大的地方,进行梁格加密。

根据上述基本原则并考虑方便性,对上述算例建模如图2:

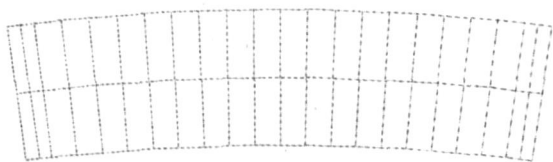


图2 全桥梁格模型

其中各纵横梁截面如图3:

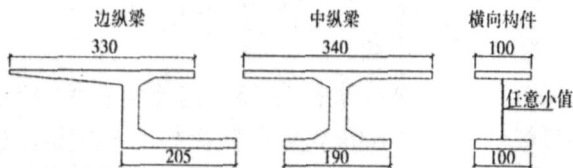


图3 各构件横截面图

依据剪力-柔性梁格法所推导出的公式计算截面特性如表1。

### 3.2 ANSYS板壳分析

在此我们用 SHELL63单元对上述例题进行分析,建模关键是要用箱梁的中心线来模拟板的边线,

板厚即为箱梁的底板、顶板、腹板及翼缘板的厚度<sup>[5]</sup>,然后按图4确定各关键点的位置(板的中心线),在此过程中应正确模拟倒角及渐变的翼缘板厚度,按图5所示应有13种板的实常数,在此就不一一列举。ANSYS截面关键点示意图如图4。ANSYS结构模型如图5。

表1 构件截面特性

梁格构件	抗弯惯性矩 ( $\text{m}^4$ )	抗扭惯性矩 ( $\text{m}^4$ )	剪切面积 ( $\text{m}^2$ )
边纵梁	0.5515	0.665	0.48
中纵梁	0.5354	0.665	0.48
横向构件	0.174	0.348	0.00266

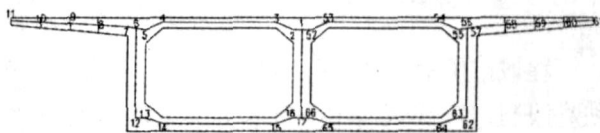


图4 箱梁关键点示意图

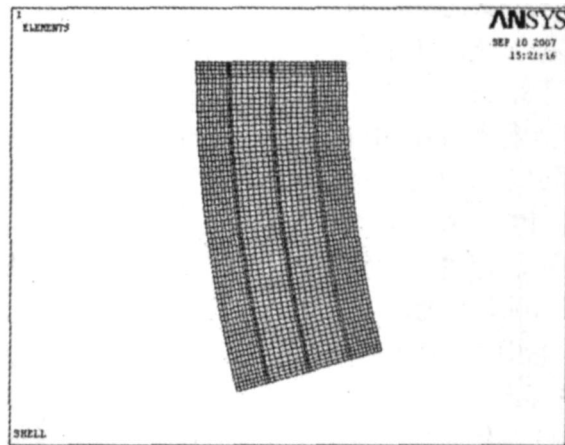


图5 ANSYS结构全桥模型

## 4 结果分析

### 4.1 挠度分析

依据梁格法基本原理要求我们对梁格法的挠度进行分析(外荷载不计重力影响),并用板模型结果进行对比。结果汇总如表2,其中每个梁体第一行为梁格分析结果,第二行为板壳模型分析结果。

表2 挠度结果对比

梁体	跨中 ( $\times 10^{-5} \text{m}$ )
外边纵梁	-42.5
	-41.2
中梁	-26.2
	-26.8
内边纵梁	-19.9
	-20.6

由结果对比可见,总体上梁格法所算挠度结果与板壳模型结果一致,且满足工程精度要求。

### 4.2 应力分析

我们对梁格法和板壳有限元法所计算纵向应力

结果进行对比 (外荷载不计重力影响),表 3 取梁底中心应力进行对比,也就是对应梁格法中梁梁底应力进行对比,其中每个位置对应结果第一行为梁格分析结果,第二行为板壳模型分析结果。

表 3 应力结果对比

梁体	跨中 ( $\times 10^5 \text{N/m}$ )
左边梁	3.2
	4.0
	1.8
中梁	1.7
	1.3
右边梁	1.3

可以由表 3 看出,纵向应力在除荷载直接作用位置外相差不大。在荷载直接作用处应力结果相差较大,这种现象主要是由于剪力滞效应的影响造成的。在梁格法分析中由于不能很有效地模拟剪力滞效应,所以计算结果有一定地偏差。如果我们在计算箱梁截面几何特性时考虑剪力滞效应影响,并参造相关规范规定计入箱梁翼板的有效宽度,则梁格法分析所得的应力将更趋于合理。

5 结语

通过这个算例,我们按照梁格法基本原理对两种模型所得挠度和应力进行了对比,总体上剪力 - 柔性梁格法所得结果与板壳模型所得结果基本吻合,进而也说明了剪力 - 柔性梁格法在等效梁格构件截面特性计算时的合理性及在小半径曲线梁桥空间分析中的适用性。但在荷载直接作用处梁格法所得应力结果与实际结果相差较大。如果希望得到更加精确的应力解,那么对梁格构件截面特性进行前期处理时应考虑剪力滞效应影响。

参考文献

[1] 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.

[2] Hmably. Bridge Deck Behavior , London: 1976.

[3] Sawko F. Computer Analysis of Grillage Curved In Plane . Publications: International Association for Bridge and Structure Engineering Volume 27, 1967.

[4] 张丽. 多格室斜弯箱梁空间分析的梁格法研究.

[5] 张立明. A lgor Ansys在桥梁工程中的应用方法与实例 [M]. 北京:人民交通出版社,2003.

Application of Shear - Flexibility Beam  
Grillage Analyzing Method in Bridge Engineering

Abstract Relying on M D A S analyzing software and by shear - flexibility beam grillage analysing method, the paper analyzes a bridge of curved beam with shap radius for its load bearing, verifies the analyzing resuts with AN-SYS model, and illustrates the rationality of shear - flexibility beam grillage analysing method for calculation of charateristics of equivant beam grillage section and the applicability to analysis of structure space of curved bridge with shap radius

Key words Beam grillage; Space analyzing; Rigidity; Curved bridge with shap radius