

Comparative Analysis of Grillage Theory and Single Beam Modeling for Continuous Wide Box Girder

Zhonghua Chen, Qiang Zhang

Department of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: Based on the grillage theory, this paper use Midas Civil to complete a comparative analysis of continuous beam bridge by adopting two kinds of modeling method which are single beam model and grillage model. The conclusion is that the continuous girder bridge wide using grillage model, the calculation result is more accurate. However, as for the narrow bridge, The results between two method were no difference.

Keywords: Grillage method; Continuousbeam; Single beam model; Width span ratio

梁格法与单梁建模对连续宽箱梁的对比分析

陈中华, 张强

重庆交通大学, 土木工程系, 重庆, 中国, 400074

摘要: 本文通过运用梁格法建模理论, 利用桥梁有限元软件 Midas Civil 对连续宽箱梁桥分别采用单梁法建模和梁格法建模两种方法进行对照分析。得出的结论是, 对于宽跨比较大的连续梁桥采用梁格法建模, 其计算结果更为准确而不适合运用单梁来模拟桥梁; 对于窄桥, 两者结果差异不大。

关键词: 梁格法; 连续梁; 单梁模型; 宽跨比

1 引言

梁格法是在分析桥梁上部结构时非常有用的空间分析方法。对于宽梁桥、斜交桥、曲线桥, 单梁模型往往无法精确计算出横向支座的反力、荷载的横向分布、斜交桥钝角处的反力以及内力集中效应, 但是利用梁格法模型可以非常方便的解决以上问题。梁格法作为桥梁空间分析的一种简化方法, 在梁格法建模助手中, 对于单箱多室箱梁桥、斜交桥、曲线梁桥可自动生成梁格模型, 非常方便。梁格法在城市立交桥建模中应用还是极为广泛的。

2 梁格法的基本原理

梁格法建模的关键之处在于以下两点即梁格的划分方式和等效梁格刚度。梁格理论的基本思想是: 用一个等效的梁格来代替桥梁的上部结构, 将分散在板、梁每一区段内的抗弯和抗扭刚度集中在与之接近的的等效梁格内, 实际结构的的横向刚度集中在横向梁格内部; 实际结构的的纵向刚度集中在纵向梁格内部。当桥梁实体与对应的等效梁格承受相同荷载时, 每一梁格内部的弯矩、剪力和扭矩等于该梁格所代表的实际结构的部分内力。由于桥梁实际结构和梁格体

系在结构特性上存在着差异, 这种等效只是近似的, 但对于一般的小跨径弯、斜桥设计, 梁格法的计算精度还是比较高。

3 箱梁梁格的划分

箱梁具有结构自重小、抗扭刚度大、整体性能好和外形美观等优点, 在桥梁工程中特别是现代城市立交桥和公路桥应用非常广泛。但是对于梁肋距比较大的箱梁, 由于翼缘板中剪力滞后的影响, 其应力分布是不均匀的, 这种不均匀性表现为: 近肋板处产生应力高峰, 远肋板处产生应力低谷。这种现象称为“剪力滞后效应”。所以对于梁肋距比较大的宽箱梁, 这种应力高峰占得比例很大, 因此对于单箱多室宽箱梁需要采取划分为多个梁格单元。

3.1 划分梁格单元

划分梁格单元时应该考虑以下几个因素: 1)、要得到每条腹板各个截面处的设计弯矩值和设计剪力值, 应在每条腹板的位置设置纵向单元, 在悬臂端部设置虚拟纵向单元; 2)、梁格沿其纵向方向的形心高度应该保持与箱形截面的形心高度一致; 3)、要保证车辆、人群等活载以及恒荷载的正确传递, 横向

杆件的间距不宜超过纵向梁肋的间距；4）、纵梁抗扭刚度的计算按整体箱形断面自由扭转刚度平摊到各纵梁上；5）、特别要注意预应力钢束在箱梁梁肋中的布置，梁格划分时，如果还是按照设计的预应力钢束位置来布置，那么在腹板处将会产生很大的平面外弯矩。所以在分析计算结果时要扣掉平面外弯矩所产生的影响^[3]。

梁格建模时会建立许多虚拟的横向和纵向单元。这些横向单元须与纵向单元保持垂直，一般横向单元设置在跨中、1/4 跨、1/8 跨以及支座处和横隔板处。由于横向单元的间距决定着荷载在纵向单元的传递，间距过大会导致在纵向单元之间的力发生很大的跳跃；而间距过小又会使得建模的工作量增加，建模效率低下。因此遵循的一般原则是最大间距不能超过相邻两个反弯点间距的 1/4，在支座处附近进行加密。通常可以是在其附近可以沿着纵桥向方向 1m 一个横向单元，在超过 1/4 跨时可以间隔 5m 一个单元^[4]。

3.2 划分横截面梁格

分割总体截面的常用两种方法为①基于底板的划分方式，如图 1-a；②基于腹板的划分方式，如图 1-b。对于①这种方式是按照顶板和底板面积均分的方式进行一个划分，划分了相应的几道纵梁之后，它就会满足每一道纵梁的中性轴的位置和整个截面的中性轴位置是重合的，这也是均布荷载下箱梁的总体变形与梁格变形等效的前提条件。对于②这种划分方式是通常比较常用的划分方式即对称划分，然而对称划分有一个很大的问题，那就是很难保证每一片纵梁的中性轴高度与整片箱梁中性轴高度是一致的。这时就需要通过材料力学里的强制移轴公式把每个梁格的中性轴强制移轴到整个箱梁的中性轴上，使其保持中性轴重合。



Figure 1-a
图 1-a



Figure 1-b
图 1-b

4 计算实例分析

4.1 工程概述

本文以某 3×30m 三跨预应力混凝土等截面连续箱梁桥为例，桥梁施工方法采用满堂支架施工。主梁截面为单箱三室截面，箱梁顶板宽 21.2m，其底板宽 15.0m，每道腹板宽 0.6m，两侧分别悬臂 2.1m。

4.2 建模分析

上部结构施工采用现浇现浇混凝土满堂支架施工，采用桥梁分析软件 Midas civil2015 计算完成。本文共建立了模型 I、模型 II 两个模型，用以进行对照分析。

4.2.1 模型 I 简介

模型 I 采用梁格法建模，本桥的实际主梁横断面为单箱三室截面，建模过程中将主梁沿着横桥向方向简化为四根纵梁，其划分方式按上文提到基于腹板的划分方式，每一个肋为一根纵梁，纵梁一与纵梁四对称，纵梁二与纵梁三对称。考虑到预应力钢束和普通钢筋的布置，计算时将沿着纵梁方向靠近桥墩和桥台处划分为 1m 一个单元，远离桥墩和桥台处划分为 5m 一个单元，这也符合梁格法建模特性。

由于该桥实际上是整体箱梁，横向联系比较好，简化为梁格之后，横向联系在一定程度上有些减弱。为了使模型更加贴切实际情况，在桥台 1、桥台 4 处添加一道沿纵向宽 1.3 米的横梁，在桥墩 2、桥墩 3 处添加一道纵向宽 2.1 米的横梁，简化后的纵梁如下图 2 所示。

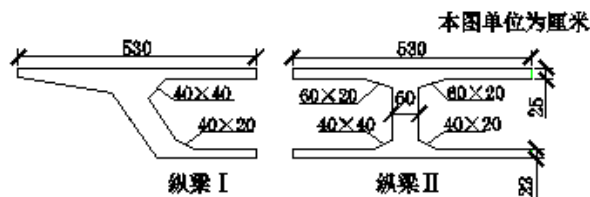


Figure 2. Simplified Stringers
图 2. 简化后的纵梁

梁格模型适用的边界条件主要有一般支承、弹性连接、刚性连接和释放梁端部约束。本次模型在桥台和桥墩处分别设置两个支座共八个支座，桥台、桥墩支座处没处设置 9 个弹性连接，全桥共 36 个弹性连接，具体模型如下图 3 所示。

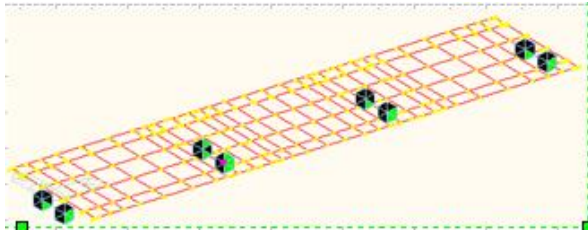


Figure 3. Hambly Full Bridge Calculation Model
图 3. 梁格全桥计算模型

4.2.1 模型 II 简介

模型 II 采用单梁来建模，首先建立节点和单元，然后根据如图 2 所示的箱形截面参数建立箱型截面导入到 Midas Civil2015 中赋予给每个单元。接着布置预应力钢束和普通钢筋以及添加移动荷载，划分结构组、荷载组、边界组等等步骤。这样单梁建模就基本完成了。单梁建模的边界条件（即桥台、桥墩处的约束）与梁格法一样，但弹性连接与梁格不同，桥台、桥墩支座处没处设置 2 个弹性连接，全桥共 8 个弹性连接，具体模型如图 4 所示。

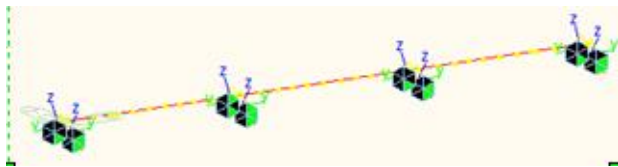


Figure 4. Single Beam Full Bridge Calculation Model
图 4. 单梁全桥计算模型

4.3 计算结果

4.3.1 模型 I 结果

模型 I 荷载工况为：钢束+二期恒载+自重+支座不均匀沉降，计算得到此梁格模型的每片纵梁和横梁的内力。下面几个表格分别是各种荷载组合下的内力值。

Table 1. Each stringer moment under the weight of the structure effect My(KN·m)
表 1. 结构自重作用下各纵梁弯矩 My(KN·m)

	左 1/2 边跨	支座 1	1/2 中跨	支座 2	右 1/2 边跨
纵梁 1	4492.3	-6929.9	1425.8	-6929.9	4492.3
纵梁	5924.4	-9049.5	1713.8	-9049.5	5924.4

2					
纵梁	5958.6	-9072.2	1717.8	-9072.2	5958.6
3					
纵梁	4489.2	-6925.3	1423.7	-6925.3	4489.2
4					

根据叠加原理由上表得出整片梁自重作用下的各处弯矩值，如下表 2 所示。

Table 2. Full beam moment under the effect of structure weight-My(KN·m)

表 2. 结构自重作用下全梁弯矩 My(KN·m)

	左 1/2 边跨	支座 1	1/2 中跨	支座 2	右 1/2 边跨
全桥	20864.5	-31976.9	6281.1	-31976.9	20864.5

在持久状况承载能力极限状态下（CBCmax：cLCB1）各处的弯矩如下表，其基本组合为：1.2 倍结构自重（ST）+1.2 倍钢束（ST）+0.5 倍支座沉降（SM）。

Table 3. Longitudinal condition carrying capacity limit state CBCmax bending moments of longitudinal beamsMy(KN·m)

表 3. 持久状况承载能力极限状态 CBCmax 下各纵梁弯矩 My(KN·m)

	左 1/2 边跨	支座 1	1/2 中跨	支座 2	右 1/2 边跨
纵梁 1	1001.5	-1432.3	1061.7	-1444.4	1001.5
纵梁 2	1386.4	-1291.5	1218.9	-1306.1	1445.6
纵梁 3	749.3	-1427.5	783.5	-1488.0	829.1
纵梁 4	905.4	-1340.4	812.4	-1349.2	908.6

根据叠加原理由上表得出整片梁持久状况承载能力极限状态 CBCmax 下的各处弯矩值，如下表 4 所示。

Table 4. Sustained condition carrying capacity limit state CBCmax full bridge bending momentMy(KN·m)

表 4. 持久状况承载能力极限状态 CBCmax 下全桥梁弯矩 My(KN·m)

	左 1/2 边跨	支座 1	1/2 中跨	支座 2	右 1/2 边跨
全桥	4042.6	-5491.7	3876.5	-5587.7	4184.8

桥台桥墩从左至右支座编号依次为支座 1、支座 2……支座 8。表 3 为自重作用下支反力 Fz 的大小，如表 5 所示。

Table 5. Support reaction force valueF(KN)
表 5. 支座反力值 F(KN)

	支座 1	支座 2	支座 3	支座 4	支座 5	支座 6	支座 7	支座 8
F x 值	—	—	1.0	-1.0	—	—	—	—
F y 值	-0.2	—	0.3	—	0.3	—	-0.4	—
F z 值	2727.4	2765.7	6831.3	6813.7	6831.3	6813.7	2772.4	2765.7

4.3.2 模型 II 结果

模型 I 和模型 II 的荷载工况一样，下面分别是单梁模型各种荷载组合作用下的内力值。

Table 6. Full beam moment under the effect of structure weight-My(KN·m)
表 6. 结构自重作用下全梁弯矩 My(KN·m)

	左 1/2 边跨	支座 1	1/2 中跨	支座 2	右 1/2 边跨
全桥	22230.4	-31129.2	7046.1	-31129.2	22230.4

Table 7. Sustained condition carrying capacity limit state CBCmax full bridge bending momentMy(KN·m)
表 7. 持久状况承载能力极限状态 CBCmax 下全桥梁弯矩 My(KN·m)

	左 1/2 边跨	支座 1	1/2 中跨	支座 2	右 1/2 边跨
全桥	4144.6	-5283.5	3668.9	-5283.5	4144.6

Table 8. Support reaction force valueF(KN)
表 8. 支座反力值 F(KN)

	支 座 1	支 座 2	支 座 3	支 座 4	支 座 5	支 座 6	支 座 7	支 座 8
Fx 值	—	—	0.1	-0.1	—	—	—	—
Fy 值	0	—	0	—	0	—	0	—
Fz 值	20.92	20.92	58.93	58.93	58.93	58.93	20.92	20.92

4.3 对计算结果进行分析

1、由表 2 与表 6 对比分析可知，模型 I 梁格法的四条纵梁叠加后所得的值与模型 II 单梁法得出的结果比较接近，受力规律相似，但仍然有一定的差异。

当用 Midas/FEA 建立相同结构实体单元模型时发现，梁格法所得出的重力作用下各处弯矩值与实体模型所得的结果更加接近。由此可见梁格法更适合模拟实际工程的所要求的精度。

2、由表 5 与表 8 对比分析可知，梁格法得出的支反力与单梁模型所得出的支反力相差偏大，最大达到 920.5KN，这个结果是与实体模型相比依然是梁格法支反力与之比较接近。

5 结论

梁格法建模的成败，最关键的是要建立等效的刚度。梁格法建模在一定程度上可以比较好地反映实际桥梁的受力情况，这体现了梁格法概念明确，计算方便等特点。特别是对于宽箱梁桥或者宽跨比较大的桥梁，它更加接近于实际工程，具有很大的工程指导意义。车辆移动荷载作用下，各条纵梁之间的受力差异相比荷载来说比较大。如果采用单梁建模则要考虑一定的偏载系数。

References (参考文献)

- [1] LichuFan. Bridge Engineering[M]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [2] ShuixingZhou. Bridge structure computerization[M]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University Press, 2012.
- [3] JieLi. Application of Grillage Method in Analysis of Bridge Superstructure[J].New Technologies & Products,2008,11.
- [4] E.C. Hambly. Bridge Superstructure Performance [M]. Beijing: China Communications Press, 1982.
- [5] NianWu, ShengshanPan. Comparative Analysis of Variable Cross Section Box Girders Calculated by Grillage Method and Single Beam Method[J].Journal of Shandong Jiaotong college,2004
- [6] ZhihuaYang. Application of GrillageMethod in Calculation of Concrete Continuous Box Girder Bridge[J]. China Water Transport Theory, 2006.05
- [7] LinLi, ZhongyiLi, KuiMa. Application of GrillageMethod in Structural Analysis of Skew Box Girders[J]. Journal of Highway and Transportation Technology, 2011.06.
- [8] FeijieWang, PeiYuan. Discussion on GrillageMethod Modeling ofBox Girder [J]. World of Building Materials, 2012.
- [9] YongyiMa, WeizhenZhang. Application of Shear-flexible GrillageMethod in Midas[J]. Chinese and Foreign Highways, 2007.
- [10] YinglongLiu et al. Precision Calculation of Shear Lag Effect of Double-cell Box Girder Calculated by GrillageMethod[J].Journal of Applied Mechanics,2016.04.
- [11] ShutaoYin, FuyouXu. Structural Analysis of Widened Irregular Box Girders Based on GrillageMethod[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2010. 03.
- [12] ShangyuTan, YuehuaLiang, QingdongTao. Simplified Calculation Model of Beam Bridge Based on GrillageTheory[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2012, 31(3):365-367.
- [13] Jiang PingFeng, Xue Long Zhang, Zheng Zhu. Application on Grillage Method in Box Girder Bridges[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 438—439(5):886—890.