

# 梁格法在槽形梁分析中的应用

汪金辉, 周 涛

(中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075)

**摘要:**采用基于梁格法的基本原理提出槽形梁的空间梁格模型,总结了梁格单元划分和截面特性计算的一般方法,并介绍了空间梁格模型横梁刚度的试算方法以确定出合理的横梁刚度值,最后通过工程实例验证了模型的有效性。

**关键词:**梁格法;槽形梁;空间梁格模型;截面特性

**中图分类号:**U448.21

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-0032(2009)02-0043-04

槽形梁结构具有建筑高度低、降噪效果好、断面空间利用率高等优点,成为城市轨道交通桥梁上部的一种结构形式,有着广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。20世纪50年代以来,各国在槽形梁结构理论分析方面进行了不少的研究工作,主要分为以下3种方法:1)将道床板分成由很多横梁组成的平面格子结构,假定每段之间没有联系,则板端弯矩与主梁的扭矩之间可建立起一定的关系,由此求得主梁的扭矩;2)将槽形梁视为道床板带有加劲梁的空间立体结构,用傅立叶级数法进行分析;3)采用薄壳结构有限元法进行分析<sup>[2]</sup>。目前对于桥梁上部结构的有限元分析方法主要有梁单元法、板壳单元法、实体单元法以及梁格法等<sup>[3]</sup>。相对于其它3种分析方法,梁格法易于理解和使用,节省计算机内存,计算速度较实体单元和板壳单元法快,计算精度满足工程要求,且能考虑梁体整个截面的横向变形,特别适用于宽跨比较大的梁体,如槽形梁,输出数据的后期处理方便简单,故而有显著的优越性。

## 1 基本原理

梁格法的主要思路是把分散在板的每一区段内的弯曲和抗扭刚度都假定集中于最邻近的梁格内。板的纵向刚度集中于纵向梁格内,横向刚度集中于横向梁格内,即用梁格等效原桥梁上部结构。等效的目的是使原桥梁上部结构和梁格结构在承受相同的荷载时,发生同样的结构变形,而且任一段梁格内的内力等于该梁格所代表的原结构相应截面上的应力的合力<sup>[4-5]</sup>。由于原桥梁上部结构和梁格结构的不同特性,完全等效是不可能实现的,在保证满足计算精度的工程要求下,可以通过拟定合理的梁格模型实现2种结构在内力和位移上的等效。

## 2 空间梁格模型

槽形梁空间梁格模型中,纵梁可以根据实际结构的特性拟定为在空间分布模型,每根梁布置在其代表部分的中性轴上而不是整个梁体截面的中性轴上,从而使梁格模型进一步准确的模拟原结构的力学特性。允许横梁在空间布置,还可以设置虚拟纵梁保证横梁的布置更加接近原结构的状态。横梁的刚度取值对经验的依赖较强,需通过试算进行取值。槽形梁的空间梁格模型采用空间梁单元,每个节点有6个

收稿日期:2008-12-28

作者简介:汪金辉(1983—),男,湖北随州人,中南大学硕士研究生,主要研究方向为桥梁结构稳定与振动。

自由度。在对整个槽形梁进行梁格模拟时,一般将梁格变形分为纵向弯曲、横向弯曲、扭转及扭转变形 4 种基本状态。同时要考虑槽形梁剪力滞效应在梁格分析中的影响。

### 2.1 纵梁

在空间梁格模型中,纵梁可分为等效纵梁和虚拟纵梁 2 种。根据槽形梁的横截面特性将其离散为数根纵梁,每根等效纵梁布置在所代表部分的中性轴上。对于少数带有箱型主梁的槽形梁,可将箱型主梁划分为一个等效纵梁。各等效纵梁应该将槽形梁横截面完全划分。将原结构离散为纵梁时应当注意,划分出的每根纵梁均应满足梁单元的基本假定,若将纵梁划分为不合理的形式将会直接影响计算精度。纵梁的材料密度与槽形梁相同,使得等效纵梁的重量等于槽形梁自重。

虚拟纵梁是为了更好的对等效纵梁施加横向联系拟定的,一般在槽形梁腹板与底板交接处建立虚拟纵梁。其本身不参加受力,只是为了横梁的准确模拟而建立的。虚拟纵梁的密度为 0,刚度忽略不计。

### 2.2 横梁

在空间梁格模型中,等效纵梁之间以及等效纵梁与虚拟纵梁之间由横梁连接起来。对于直线形的桥梁上部结构,其梁格模型中的横梁与纵梁应垂直相交。横梁的间距不可过大以免引起较大误差;如果横梁布置过密,会增加计算量,但不能使梁格模型更接近于原结构。为了使梁格模型的计算精确、简便,可使横梁间距尽量与纵梁间距接近,并在支座附近适当加密。横梁的划分也应该沿顺桥向进行,最终将槽形梁完全划分。为了避免重复计算梁体自重,将横梁的密度定为 0。

横梁刚度是影响梁格模型计算精度的一个重要因素。对于槽形梁,其梁格模型中各纵梁可以看作是矩形截面的横梁连接,故而各横梁满足平截面假设,对其截面特性的初步计算可参照板的截面特性计算方法。然后经过试算调整即可得到满足模型计算精度要求的横梁刚度。对横梁刚度进行校核的方法是:在纵横梁的节点处作用一已知荷载,看梁体的变形是否平顺,同时建立板壳元模型或实体单元模型进行验证。

## 3 实例分析

某下承式钢管混凝土铁路桥的道碴桥面的方案是在钢横梁上支撑槽形梁。如图 1 所示,槽形梁纵向设计成一跨一联的简支梁,横向为两侧带翼板的“U”形截面,1号梁长 11.98 m,梁宽 11.20 m,底板厚 0.35 m,梁体采用 C55 混凝土。槽形梁采用纵向简支横向连续体系。文中仅考虑该槽形梁的自重荷载工况。

1)空间梁格模型。由于该槽形梁沿纵向不对称,在重力作用下左端支座处有反弯矩存在,为保证计算精度,梁格系中的横梁间距取值 0.59 m。纵梁的划分形式如图 2 所示,在槽形梁跨中横截面上划分成为 9 个部分,分别标为  $S_1 \sim S_9$ ,在每一部分的中心位置上设置一根等效纵梁,为保证梁格模型与槽形梁相近,另设置 5 根虚拟纵梁。为了满足原结构的受力情况,将  $S_5$  纵梁与虚拟纵梁 c 刚性连接。最终建立的槽形梁空间梁格模型含 330 个节点,共有 562 个单元,如图 3 所示。为了对比分析,还建立该槽形梁(实体单元模型),如图 4 所示,共有节点 10 720 个,7 161 个单元。

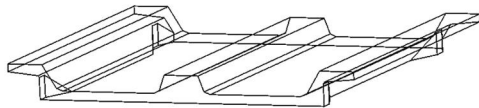


图 1 槽形梁结构图

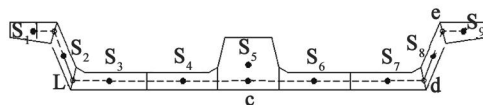


图 2 纵梁划分示意图

2)横梁刚度的校核。为了选取最合理的横梁刚度,按上面的方法建立 4 个梁格模型进行对比分析,这 4 个梁格模型基本相同,只是在横梁刚度上有差异。在空间梁格模型  $GM_1$  中,横梁的截面特性是近似采用板截面特性计算得出的,每根横梁截面用其代表部分代替。 $GM_2$  的横梁刚度为  $GM_1$  的 1.5 倍; $GM_3$  的横梁刚度为  $GM_1$  的 2.0 倍; $GM_4$  的横梁刚度为  $GM_1$  的 2.5 倍;Solid Model 为实体模型。在槽形梁的中间主梁上沿梁全长施加 11 kN/m 的竖直向下的均布荷载,在纵向中线上所产生的位移对比如图 5 所示。通过对比可知,在该槽形梁空间梁格模型  $GM_4$  中的横梁刚度较为合理,能够和实体模型较好的吻合。

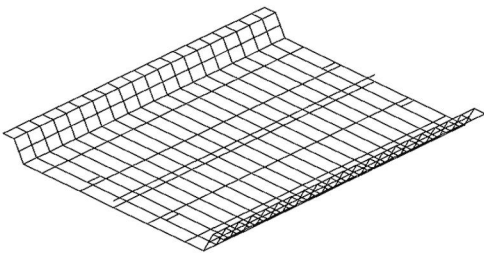


图 3 槽形梁空间梁格模型示意图

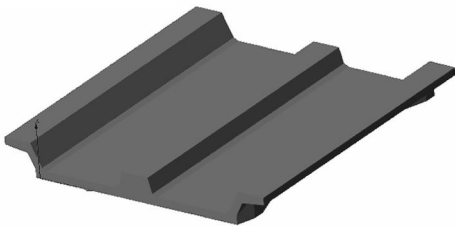


图 4 槽形梁实体模型示意图

图 6所示为自重作用下 ,顺桥方向结构的竖向挠度对比图。由于该槽形梁顺桥向为简支结构 ,其轴力基本为 0,这一点在梁格模型和实体模型上都得到了体现。另外通过静力等效原理得出 Solid 模型中的弯矩值与梁格模型 GM<sub>4</sub> 中相差不大 ,也有较高精度。表 1所示为在自重工况下 2个模型中各支座反力对比情况 ,其中最大误差不超过 5% (x方向为顺桥向 ,y为横桥向 ,z为竖直向上)。

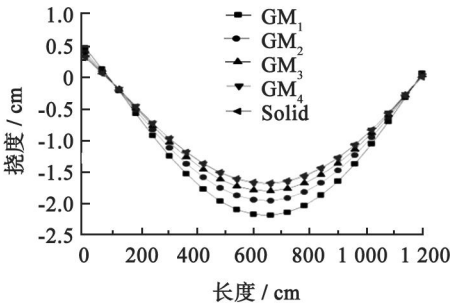


图 5 挠度对比图

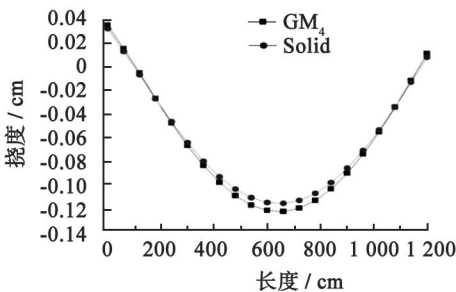


图 6 自重工况下挠度对比图

表 1 在自重荷载作用下支座反力对比表

										kN
支座号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
方向	z	y	z	y	z	z	y	z	y	z
Solid Model	199. 10	- 156. 07	440. 13	156. 07	199. 10	176. 42	- 183. 53	375. 96	183. 53	176. 42
GM <sub>4</sub>	205. 66	- 162. 86	427. 01	162. 86	205. 66	173. 87	- 185. 09	381. 06	185. 09	173. 87

4 结 论

- 1)空间梁格模型在自重工况下支座反力和挠度与块体模型相比均很相近 ,分析精度较高。该空间梁格模型能够很好的模拟槽形梁的空间受力情况。
- 2)用空间梁格模型分析槽形梁时 ,应建立虚拟纵梁 ,这样可使梁格模型与槽形梁结构更加接近 ,另外也方便横梁的设置。
- 3)槽形梁大多为实心断面 ,这有利于空间梁格模型中对于横梁的模拟。在横梁刚度的计算上槽形梁结构比箱梁结构更加简便 ,刚度也更加准确。

参考文献 :

[1]林文泉. 槽形梁桥在轨道交通中的应用探讨 [D]. 北京 :北京交通大学 ,2005.

[2]胡 俊. 闽江桥道跨桥面槽形梁结构受力分析 [D]. 长沙 :中南大学 ,2007.

[3]王富万 ,杨文兵. 梁格法在桥梁上部结构分析中的应用 [J]. 华中科技大学学报 :城市科学版 ,2006,23 (5) : 80- 83.

[4]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.

[5]Hamby E C. Bridge Deck Behaviour[M]. London: Taylor & Francis, 1991.

## Application of Grillage Method in Trough Girder

WANG Jin-hui, ZHOU Tao

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

**Abstract:** A space grillage model for trough girder based on basic principles of grillage method is put forward. Grillage divided and calculated method of sectional characteristic is summarized. To obtain a reasonable rigidity value of the beam, a trial method for the space grillage model is introduced. And its effectiveness is verified after generalizing rules of grillage meshing and section characteristic by a fact engineering case.

**Key words:** grillage method; trough girder; space grillage model; section characteristic

(责任编辑:谭旭翔)

(上接第 9 页)

### 参考文献:

- [1] 李德钢. 内燃机用中冷器、机油冷却器设计计算方法的研究 [D]. 济南: 山东大学, 2001.
- [2] 刘云岗, 李德钢, 张锡朝, 等. 冷轧翅片管式中冷器的设计计算方法 [J]. 内燃机学报, 2003, 21 (5): 361 - 364.
- [3] 杨世铭, 陶文铨. 传热学 [M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 1998: 162 - 171.
- [4] 姚仲鹏, 王新国. 车辆冷却传热 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2001: 175 - 221.
- [5] 朱聘冠. 换热器原理及计算 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1987: 20 - 29.
- [6] 史美中, 王中铮. 热交换器原理与设计 [M]. 第 2 版. 南京: 东南大学出版社, 1996: 78 - 80.
- [7] 邱树林, 钱滨江. 换热器: 原理 · 结构 · 设计 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1990: 43 - 100.

## Comparison for Heat Transfer Performance of Diesel Engine Radiator

Huang Fei<sup>1</sup>, ZHANG Yong-hui<sup>2</sup>

(1. Department of Automobile Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250023, China;

2. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Experimental value and theoretical value of heat transfer parameter of the heat transfer have been acquired by experiments and calculation. An experiment has been made among three diesel engines, that is, a flat plate-finned tube radiator, a helical round-finned tube radiator and an integral comb-finned tube radiator to compare their heat transfer factors under one operating mode. Compared with theoretical value, experimental value of heat transfer parameter of 2 heat transfers is smaller, and the experimental value has been acquired by quadric fitting calculation of by-sending factor experiment made between the a flat plate-finned tube radiator and the ntegral comb-finned tube radiator.

**Key words:** diesel engine; radiator; heat transfer performance; heat transfer factor

(责任编辑:杨秀红)