

# 箱梁几何参数变化对剪力滞效应的影响分析

孙学先, 延力强, 刘志锋

(兰州交通大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 对箱梁结构进行了一维梁杆系和三维实体单元的有限元分析比较, 一维杆系有限元采用 MIDAS 软件, 三维实体空间分析采用 ANSYS 软件。通过改变结构几何参数(箱梁宽跨比、宽高比、箱梁腹板斜度、箱梁的上翼板承托等)分析了箱梁截面剪力滞效应影响, 并得出一些有益结论: 在箱梁几何因素中, 结构的宽跨比  $b/l$  的影响是最突出的, 其次是箱梁上翼缘板承托对剪力滞效应的影响也较为明显, 承托水平尺寸的增加可以改善剪力滞效应状况, 其它几何要素对结构固端的剪力滞效应影响不大。

**关键词:** 箱梁; MIDAS 软件; ANSYS 软件; 有限单元; 剪力滞效应

**中图分类号:** U448.213

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1144(2009)01-0029-03

## Analysis on Influence of Variational Geometry Parameter of Box Girder on Shear-lag Effect

SUN Xue-xian, YAN Li-qiang, LIU Zhi-feng

(College of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** The comparison between one-dimensional beam structure and 3D solid element is made on box girder with a finite element analysis method. The analysis of one-dimensional beam structure is completed by employing MIDAS software, and the spatial analysis of 3D solid element is completed by employing ANSYS software. The shear-lag effect for box girder's cross section is analyzed, by change of structural parameters (the width-length ratio, the width-height ratio, the slope of web, the support of upper wing panel), and some valuable conclusions are drawn as follows: among the geometric factors of the box girder, the influence of width-length ratio  $b/l$  of structure is prominent, the influence of support of upper wing panel is also significant, yet the increase of support size can improve the shear-lag effect, and other geometric features affect less on the shear-lag effect of the solid end of structure.

**Keywords:** box beam; MIDAS software; ANSYS software; finite element; Shear-lag effect

### 0 引言

目前,我国大量修建的城际铁路客运专线桥梁工程中,愈来愈多地采用大箱大挑臂的单箱单室的截面形式。对于宽跨比较大的箱形梁,其剪力滞效应是非常明显的,在设计与施工中,若忽略剪力滞的影响,可能会造成桥梁结构设计上的缺陷和安全性不足。在对一些已建成的桥梁调查中,发现桥面板经常会有横向裂缝出现,据研究分析,这些裂缝很大程度上是由剪力滞效应引起的。所以,箱梁的剪力滞问题已经引起桥梁界的高度重视。多年来国内外学者致力于该课题的研究<sup>[1~4]</sup>,已分别从解析理论、数值解法和模型试验等方面对剪力滞问题提出了许多新理论,并获得了许多有工程价值的研究成果。影响剪力滞效应的因素很多,在箱梁结构设计中,如何考虑箱梁几何参数对剪力滞效应影响,在国内关于这方面的研究还很有限,我国现行桥梁设计规范中还缺乏确定箱梁剪力滞效应的具体规定。为了研究箱梁截面几何参数对剪力滞效应的影响,结合前人研究成果,本文应用 MIDAS 和 ANSYS 软件对箱梁结构进行了空间应力分析,

研究讨论了箱梁的几何参数变化对剪力滞效应的影响,得出一些有益结论,希望能为工程设计与施工提供参考。

### 1 箱梁宽跨比 $b/l$ 、宽高比 $b/h$ 变化对剪力滞影响分析

在外荷载的作用下,桥梁的箱形截面除了按照经典梁理论产生一定的变形外,箱梁的上、下翼缘板还会发生翘曲和畸变,导致截面正应力沿横向翼板按照一定的曲线分布。由箱梁腹板传递到上翼缘板的剪力在腹板与翼缘板的交界处较大,而剪力沿翼缘板向远离腹板的方向传递时,剪力流会变小。这是因为上翼缘板和下翼缘板存在剪切变形,腹板与翼缘板交界处的刚度比翼缘板其它位置的大,该处能吸引更多的剪力流。在对称荷载作用下,箱梁的上翼缘板和下翼缘板产生剪切变形后,它的弯曲正应力是不均匀的,通常把正应力的最大值  $\sigma_{\max}$  与初等梁弯曲理论所计算的应力  $\sigma_0$  比值称为剪力滞系数。

下面取 4 种跨度的梁长,3 种不同截面形式共 12 种情况进行分析比较,箱梁横截面(见图 2)壁厚不变,仅改变梁高,

收稿日期:2008-09-25

修回日期:2008-10-25

基金项目:甘肃省自然科学基金(0710RJZA049)

作者简介:孙学先(1955—),男(汉族),宁夏中宁人,教授,主要从事桥梁工程、基础工程研究与教学工作。

考察静定结构各种参数对箱梁剪力滞效应的影响。如图 1 (a)、(c)箱梁底板都是直线变化;(b)图箱梁底板沿纵向为圆曲线变化。

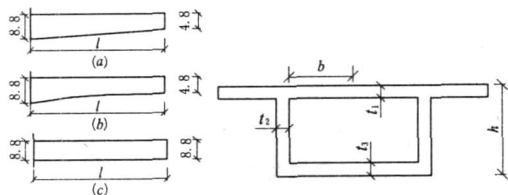


图 1 悬臂箱梁结构形式(单位:m)

图 2 箱梁截面图 ( $t_1 = t_2 = t_3 = 0.50\text{ m}$ )

### 1.1 宽跨比 $b/l$ 对剪力滞效应系数 $\epsilon$ 的影响

取箱梁结构上翼缘板的一半宽  $b = 2.90\text{ m}$  保持不变,取箱梁结构的悬臂长度  $l$  分别为  $10\text{ m}$ 、 $20\text{ m}$ 、 $50\text{ m}$  和  $100\text{ m}$ ,仅考虑箱梁结构在自重荷载作用下,其上翼缘板在固定端的剪力滞效应系数  $\epsilon$  的变化规律。箱梁截面如图 2,则对应不同的宽跨比,有  $b/l = 0.290, 0.145, 0.058$  和  $0.029$ ,箱梁的上翼缘板腹板处的剪力滞效应系数  $\epsilon$  变化如图 3、图 4 和图 5。

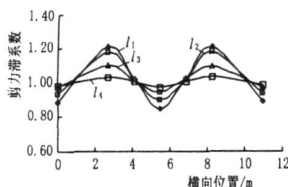


图 3 对图 1(a)中  $b/l$  变化时固端截面的  $\lambda$  变化曲线

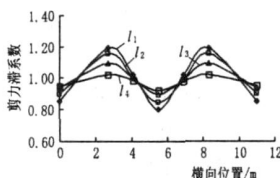


图 4 图 1(b)中  $b/l$  变化时固端截面  $\lambda$  变化曲线

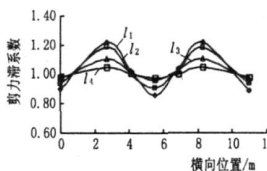


图 5 按图 1(c)中  $b/l$  变化时固端截面  $\lambda$  变化曲线

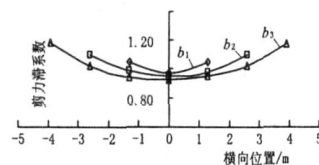


图 6 图 1(b)中当  $b/h$  变化时固端截面  $\lambda$  变化曲线

### 1.3 宽高比 $b/h$ 对剪力滞效应的影响

取图 1(b)所示的箱梁结构形式进行计算,箱梁的上翼缘板半宽  $b$  分别取  $1.45\text{ m}$ 、 $2.90\text{ m}$  及  $4.35\text{ m}$ ,得出不同的  $b/h$  比值,计算不同宽高比时箱梁截面上翼缘板在中心线处的剪力滞效应系数  $\epsilon$ ,其变化曲线如图 6 所示。其固端截面剪力滞系数随  $b$  的变化如表 1。随着  $b$  的增大,也随之增大,这说明宽箱梁的剪力滞效应要比窄箱梁严重。

表 1 按图 1(b)所示的结构计算固端截面变化

$b/\text{m}$	1.45	2.90	4.35
$\epsilon$ (腹板处)	1.045	1.103	1.185
$\epsilon$ (中线处)	0.967	0.945	0.924

## 2 箱梁腹板的斜度对剪力滞的影响

取三种截面形式如图 7( $s = 2.9\text{ m}$ 、 $2.4\text{ m}$ 、 $1.9\text{ m}$ )所示。按照 1(b)所示的截面高度沿跨度变化的结构形式,当跨径为  $50\text{ m}$  时,在跨径自由端作用一个集中力  $P$  时,分别求出不同的截面形式在固端处的剪力滞系数如图 8 所示。表 2 给出了不同腹板倾斜度箱梁固端截面上翼缘板在中心线处和腹板处的剪力滞系数  $\epsilon$  和  $\epsilon'$  的计算结果。

由图 8 和表 2 的计算结果可以看出: $\epsilon$  和  $\epsilon'$  随下翼板宽度变化的差异不大,箱梁腹板斜度越大,下翼板宽度越窄,剪力滞系数  $\epsilon$  也相应地减小,而  $\epsilon'$  的变化相反。总的来说,可

结构分析对象为图 1(a)、图 1(b)和图 1(c)。由各图中的剪力滞效应系数  $\epsilon$  的变化曲线可以看出, $b/l$  对  $\epsilon$  的影响十分显著。当  $b/l$  从  $0.029$  增加到  $0.290$  时,图 1(a)结构形式的  $\epsilon$  从  $1.036$  增大到  $1.213$ ;图 1(b)结构形式的  $\epsilon$  从  $1.025$  增加到  $1.195$ ;图 1(c)结构形式的  $\epsilon$  从  $1.049$  增加到  $1.221$ ;变化幅度较大。

### 1.2 固端截面剪力滞效应的变化

箱形桥梁其截面下翼板(底板)的厚度一般按照线性变化,剪力滞效应与下翼板厚度的变化形式的关系不大。当  $b/l = 0.058$  时,其上翼缘板在腹板处的剪力滞效应系数计算,取图 1(a)结构形式分析,  $\epsilon = 1.103$ ;图 1(b)结构形式的  $\epsilon = 1.096$ ;图 1(c)结构形式的  $\epsilon = 1.106$ ;固端截面箱梁上翼缘板腹板处的剪力滞效应系数变化不大。经对比可知,由于图 1(c)结构形式为等截面悬臂梁,故在求连续刚构桥施工阶段固端(悬臂梁根部)的剪力滞效应系数的时候可以近似地按照等截面悬臂箱梁结构来处理,且剪力滞系数计算结果偏于安全。

以认为箱梁的剪力滞系数对箱梁腹板的斜度不敏感。所以,进行连续刚构桥的箱梁设计时,若考虑剪力滞效应影响,可以将斜腹板的箱梁按照矩形截面来计算。

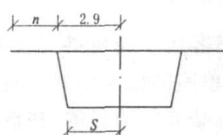


图 7 箱梁截面 ( $n$  和  $s$  为变量) 单位:m

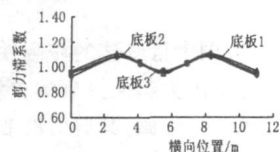


图 8 按图 1(b)结构,腹板斜度变化时在自由端作用  $P$  时固端截面的剪力滞系数变化曲线

表 2 悬臂箱梁不同斜度腹板固端截面剪力滞系数

1/2 底板宽	1.90m	2.40m	2.90m
上翼板 $\epsilon$ (腹板处)	1.079	1.092	1.106
上翼板 $\epsilon$ (中线处)	0.971	0.962	0.945

## 3 箱梁的横截面上翼板悬臂长度对剪力滞的影响

箱梁的纵向截面变化形式取图 1(b)所示结构形式,集中力  $P$  作用于自由端。在保证箱梁的两个腹板间距不变的情况下,截面上翼板的悬臂长度分别取  $n = 1.30\text{ m}$ 、 $2.60\text{ m}$  和  $3.90\text{ m}$ 。经杆系结构计算和空间计算可以得到在不同上

翼板悬臂长度时箱梁结构固端的剪力滞效应系数 值,见图 9 和表 3。

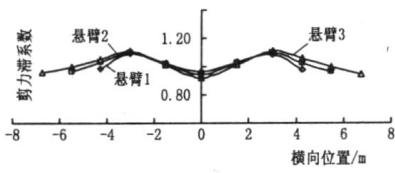


图 9 不同的箱梁上翼板悬臂长度时固端剪力滞系数曲线

表 3 上翼板悬臂宽度  $n$  不同时,集中力  $P$  作用于自由端时固端截面的剪力滞系数

翼板宽 $n$	1.30m	2.60m	3.90m
上翼板 $^{\circ}$ (腹板处)	1.091	1.103	1.114
上翼板 $^{\circ}$ (中线处)	0.967	0.945	0.921

由表 3 的计算结果可以看出:箱梁上翼板悬臂长度的变化对顶板在腹板处的剪力滞系数  $^{\circ}$  的影响不大;其对顶板在截面中线处的剪力滞系数  $^{\circ}$  的影响较大,腹板间距的变化对剪力滞效应系数的影响也可以归结为箱梁上翼板悬臂长度的影响,不同的只是在保证箱梁总宽度不变的情况下,腹板间距的增大将引起上翼板悬臂长度的减少,所以其变化趋势与改变上翼板悬臂长度情况相反,但是剪力滞效应的曲线大致相同。空间计算结果表明,腹板间距增大时,截面顶板在中线处的剪力滞系数  $^{\circ}$  比图 9 中的数值小,即截面顶板在中线处剪力滞现象更为严重。

4 箱梁的上翼板承托对剪力滞的影响

箱梁受力不仅需要满足纵向的受力要求,同时,在车轮局部荷载的作用下为了不产生过分的应力集中需要在顶、底板和腹板相交的地方设置角隅承托。不设置承托的箱梁截面如图 2 所示的梁截面(取  $b=2.90\text{ m}$ ),结构形式取图 1(b)所示变截面箱梁,设置不同尺寸的角隅承托(见图 10)。

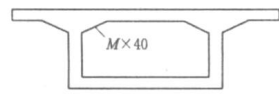


图 10 上翼板承托尺寸变化 ( $M=40、80、160\text{cm}$ )

由表 4 可以看出:设置承托时剪力滞系数变化曲线比不

设置承托时较为平缓,且随着承托水平方向尺寸的增大,剪力滞系数曲线的平缓程度增大,说明设置承托后箱梁截面顶板正应力更为均匀,且承托水平方向长度越大箱梁正应力越趋于平均,与杆系计算结果接近。从结构受力的角度可以如下理解,剪力在由腹板传递至顶板的过程中,在水平截面上的剪力流,由剪力大小和水平截面面积决定,承托水平截面增大,则腹板与顶板传递剪力的面积增大,使剪力流相对减小,反映到顶板的纵向应力沿横向分布就是纵向应力 变化曲线变得平缓,剪力滞系数减小。由表 4 可以看出上翼缘板剪力滞效应系数随着承托水平尺寸的增加有减缓的趋势。

表 4 设置不同的上翼板承托时固端截面剪力滞系数

承托形式	无承托	$a(M=40)$	$b(M=80)$	$c(M=160)$
上翼板 $^{\circ}$ (腹板处)	1.103	1.080	1.071	1.065
上翼板 $^{\circ}$ (中线处)	0.950	0.968	0.975	0.981

5 结 语

通过箱梁截面的几何参数对箱梁剪力滞的影响分析可以得到如下的结论:

- (1) 在影响箱梁结构剪力滞系数的若干个几何参数中,结构的宽跨比  $b/l$  的影响是最突出的,在对箱梁桥进行结构分析和构造设计时应予以充分的重视。
- (2) 箱梁上翼缘板承托对剪力滞效应的影响较为明显,承托水平尺寸的增加可以改善翼缘板剪力滞效应状况。
- (3) 其它截面几何参数对结构固端的剪力滞效应影响不大,设计中可根据构造要求并结合受力要求综合拟定,对结构优化设计而言,适当考虑这些因素对剪力滞效应的影响。

参考文献:

[1] Richard, Pierrea, Cheyrezy, et al. Composition of reactive power concretes[J]. Cement and Concrete Research, 1995, 25 (7): 1501-1511.

[2] 牛 斌,杨梦蛟,马 林. 预应力混凝土宽箱梁剪力滞效应试验研究[J]. 中国铁道科学, 2004, 25(2): 25-30.

[3] 吴文清,叶见曙,杨效中,等. 薄壁箱梁剪力滞效应研究理论的若干问题讨论[J]. 桥梁建设, 2001, (6): 53-57.

[4] 罗旗帆,吴幼明. 薄壁箱梁剪力滞理论的评述与展望[J]. 佛山科学技术学院学报, 2001, 19(3): 29-35.