

文章编号:1671-6833(2011)02-0051-03

# 横隔板设置对斜交空心板抗扭性能的影响研究

陈 淮<sup>1</sup>, 王晓峰<sup>2</sup>, 李静斌<sup>1</sup>, 钱 辉<sup>1</sup>

(1. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省交通科学技术研究院, 河南 郑州 450006)

**摘 要:** 针对采用聚苯乙烯泡沫塑料内膜并设置横隔板的斜交空心板桥进行了抗扭性能分析: 采用空间实体单元建立斜交空心板空间有限元模型, 并在空心板的端部和跨中分别设置了横隔板, 通过对1/8截面、1/4截面、3/8截面和跨中截面的扭转角和1/4截面位移云图的对比, 分析横隔板设置对斜交空心板抗扭性能的影响. 研究表明: 设置端横隔板可以有效改善斜交空心板截面的扭转性能; 设置端横隔板后再增设中横隔板仅对跨中截面的扭转变形有改善作用, 而对远离跨中的其它截面影响很小.

**关键词:** 斜交空心板; 有限元法; 抗扭性能; 横隔板

中图分类号: U448.21<sup>2</sup> 文献标志码: A

## 0 引言

装配式预应力混凝土空心板桥是我国高速公路常用的桥型. 空心板在预制时, 传统方法大多以充气橡胶气囊作为内膜, 由于橡胶气囊内模密度较小, 重量较轻, 虽有定位钢筋的约束, 橡胶气囊内模经常发生偏位或上浮, 导致空心板的顶板或腹板厚度减小, 使得空心板受压区高度不够, 承载力不足, 降低了空心板桥的安全性, 也易造成空心板保护层厚度变小, 甚至钢筋裸露, 使空心板产生裂缝, 影响空心板桥的耐久性<sup>[1-2]</sup>. 为了克服空心板在预制时橡胶气囊内模偏移或上浮, 可采用聚苯乙烯泡沫塑料替代传统的橡胶气囊作为空心板预制时的内膜<sup>[3]</sup>. 由于聚苯乙烯泡沫塑料内模不必沿桥跨通长设置, 而且浇筑后不用取出, 对于大挖孔率空心板截面, 其弯扭耦合、翘曲变形较大. 在结构构造上为了抵抗空心板截面形状变形, 限制截面翘曲, 提高空心板的抗扭转能力, 可以将空心板做成有横隔板的结构形式. 笔者对斜交空心板设置横隔板前后的受力性能进行对比, 探讨横隔板设置对斜交空心板抗扭性能的影响.

## 1 斜交空心板有限元建模

以跨径16 m, 斜度为15°和30°预应力混凝土

斜交空心板为例, 斜交空心板正截面及配筋如图1所示.

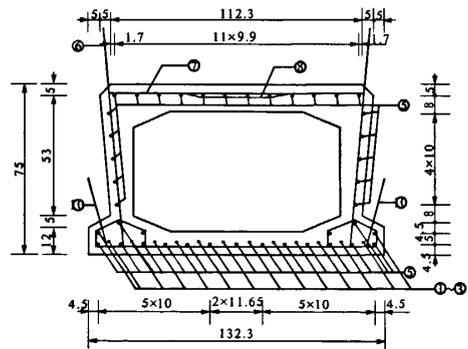


图1 跨径16m 预应力混凝土斜交空心板  
中板正截面钢筋布置图

Fig.1 Reinforcing steel bar layout diagram of prestressed concrete skew hollow middle slab with 16m span

由于斜交空心板桥的网格划分应尽量与力的作用方向或结构配筋方向一致, 当桥面较窄且斜交角较大时, 网格划分应平行设计强度线; 当斜交角较小( $<20^\circ$ )时, 可采用斜交网格; 当桥面较窄且斜交角较大时, 网格划分应采用垂直跨长网格; 当斜桥较宽(一般桥台宽度大于跨度)时, 网格划分应采用垂直支承网格<sup>[4]</sup>. 对于单块空心板, 其受力与桥面比较窄的空心板桥相似, 所以采

收稿日期: 2010-09-11; 修订日期: 2010-12-12

基金项目: 河南省杰出人才计划项目(084200510003)

作者简介: 陈淮(1962-), 男, 河南淮阳人, 郑州大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事桥梁结构分析和工程结构抗震研究工作, E-mail: chen@zhu.edu.cn.

用 Midas/Civil 有限元软件,用第 2 种网格划分方式,对斜交空心板正截面进行抗扭分析。

笔者在斜交空心板有限元建模时采用整体式模型<sup>[5-7]</sup>,将钢筋与混凝土看成一个整体,采用均化的钢筋混凝土折算弹性模量。利用空间实体单元对斜交空心板离散,分别建立斜交角为 15° 和 30° 的斜交空心板空间有限元模型。模型 A,按照设计图纸尺寸,在理想施工状态下得到的空心板,无横隔板。模型 B,采用聚苯乙烯泡沫塑料内模,由于内模不需要取出,可直接在板端现浇封口混凝土,形成端横隔板,即在模型 A 基础上,在板端建立和支撑线平行的端横隔板。模型 C,采用聚苯乙烯泡沫塑料内模,在中部增加中横隔板,即在模型 B 的基础上在跨中设置与端横隔板平行的中横隔板。图 2 所示斜交角为 30° 的斜交空心板有限元模型 C 的纵剖面半结构图,图示局部放大部分示意了端横隔板和中横隔板的单元划分情况。

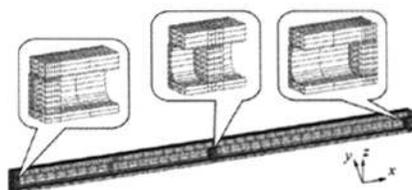


图 2 30°斜交空心板空间有限元模型 C  
Fig. 2 Spatial finite element model C of 30 degree skew hollow slab

在计算中,取空心板左端截面的右下角作为坐标系原点。边界条件为:空心板的一端为铰支支承,另一端为滑动支承。计算中采用的荷载工况为:空心板跨中截面顶板边缘作用 1 kN 的集中荷载,可代表非对称荷载(偏载)。

## 2 计算结果及其分析

### 2.1 截面扭转分析

受斜交角的影响,受力后斜交空心板的扭转变形明显大于正交空心板。扭转变形将使空心板中出现各种次应力,空心板受力状态更为复杂,因此必须限制空心板的扭转变形。为了研究斜交空心板设置横隔板对其抗扭性能的影响,对各模型分别取 1/8 截面、1/4 截面、3/8 截面和跨中截面进行对比分析,每个截面取板底边缘两节点竖向位移计算其扭转角。15° 和 30° 斜交空心板各模型关键截面扭转角变化比较见图 3、图 4。

从图 3 和图 4 中可以看出,在偏载作用下,模型 B 和模型 C 的扭转角小于模型 A 的扭转角,但

是,模型 C 与模型 B 相比,除跨中截面外,其它各截面的扭转角没有明显变化。从而可知:增设端横隔板能有效减小斜交空心板各截面的扭转变形,设置端横隔板后再增设中横隔板仅对跨中截面的抗扭性能有所改善,对其它截面影响很小。

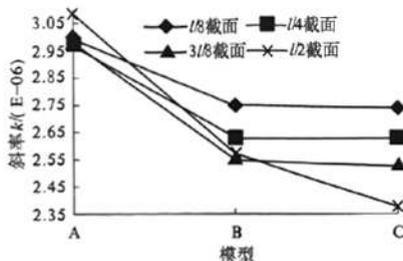


图 3 15°斜交空心板扭转角比较  
Fig. 3 Comparisons of torsional angles of 15 degree skew hollow slab

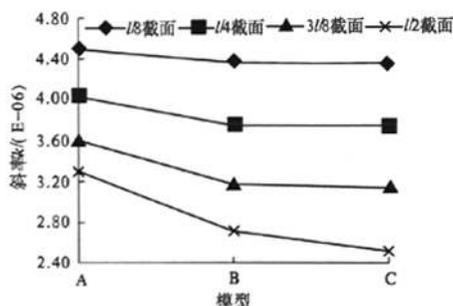


图 4 30°斜交空心板扭转角比较  
Fig. 4 Comparisons of torsional angles of 30 degree skew hollow slab

### 2.2 位移云图分析

为了更直观反映空心板设置横隔板后截面的抗扭性能提高情况,取截面变形后的竖向位移云图进行对比。因为模型 B 和模型 C 在端部和跨中截面设有横隔板,这两个位置抵抗扭转性能必然比模型 A 要好,所以在此取 1/4 跨截面为代表截面进行对比,以此来研究横隔板设置对空心板抗扭性能的提高程度。15° 与 30° 斜交空心板竖向位移云图相似<sup>[8]</sup>,限于篇幅,本文仅给出 30° 斜交空心板 1/4 跨截面竖向位移云图,如图 5 所示。图中从红→绿→蓝表明位移逐渐减小。

从图 5 可以看出,在偏载作用下,图(b)和图(c)中红色消失,橙色范围也迅速缩小,说明 1/4 截面位移值减小,截面扭转角减小,而图(b)与图(c)相比,颜色变化不明显,表明模型 C 与模型 B 相比位移没有明显改善,截面扭转角没有明显减小。分析可知:增设端横隔板可以有效减小截面的扭转变形,而设置端横隔板后再增设中横隔板,对

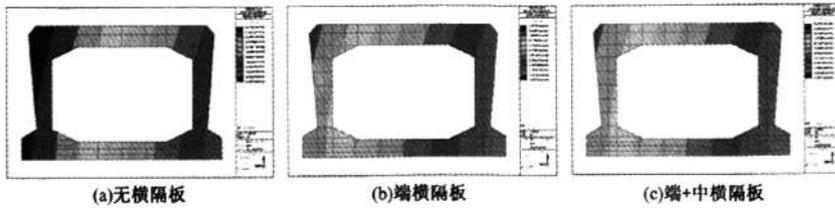


图5 30°斜交空心板1/4截面竖向位移云图

Fig. 5 Vertical displacement nephogram in 1/4 section of 30 degree skew hollow slab

1/4 截面扭转变形的改善不明显。

### 3 结论

以一座跨径 16 m 的预应力混凝土斜交空心板为例,分别考虑 15°和 30°斜度,采用空间实体单元建立了斜交空心板的空间有限元计算模型,通过对比关键截面扭转角和竖向位移云图,研究了横隔板设置对斜交空心板抗扭性能的影响。得到结论:①设置端横隔板可以有效改善斜交空心板的扭转变形。②设置端横隔板后再增设中横隔板仅对跨中截面的扭转变形有改善作用,对远离跨中的其它截面影响很小。③实际工程应用中已取得良好效果,表明了设置端横隔板对改善空心板抗扭的有效性。

### 参考文献:

- [1] 韦成龙,王会永,欧阳剑. 预应力混凝土斜交空心板桥的病害原因分析及其维修加固[J]. 中南公路工程, 2005, 30(1):104-106.
- [2] 张恩辰,王国体. 制作空心板梁气囊内膜变形数值计算与施工控制[J]. 安徽建筑工业学院学报:自然科学版, 2007, 15(2):5-7.
- [3] 范永丰,马祖年. 用发泡聚苯乙烯替代橡胶气囊内模提高空心板建造质量的技术研究[C]// 高速公路技术研究与实践. 北京:人民交通出版社, 2007: 453-454.
- [4] 张敬珍,徐岳. 整体斜板桥计算方法应用研究[J]. 中外公路, 2003, 23(3):56-58.
- [5] 葛素娟,李静斌. 预应力混凝土连续刚构桥 0 号块空间分析[J]. 郑州大学学报:工学版, 2006, 27(3):1-5.
- [6] 陈淮,张云娜. 施加横向预应力加固装配式空心板桥研究[J]. 公路交通科技, 2008, 25(10):58-62.
- [7] 李静斌,陈淮,葛素娟. 支座更换顶升方案对小箱梁桥结构性能的影响[J]. 郑州大学学报:工学版, 2010, 31(1):40-43.
- [8] 王晓峰. 装配式斜交空心板桥增设横隔板后的受力性能分析[D]. 郑州:郑州大学土木工程学院, 2008.

## Influence of Diaphragm Plates Arrangement on Torsional Behavior of Skew Hollow Slabs

CHEN Huai<sup>1</sup>, WANG Xiao-feng<sup>2</sup>, LI Jing-bin<sup>1</sup>, QIAN Hui<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan Transportation Research Institute Co., Ltd Zhengzhou 450006, China)

**Abstract:** The goal of this paper is to assess the torsional behavior of the skew hollow slab bridge utilizing polystyrene foam inner formwork with diaphragm plates. The spatial finite element method was established using the solid element. Two diaphragm plates were arranged at the end and the middle sections of the slab, respectively. The influence of diaphragm plates arrangement on torsional behavior of skew hollow slabs can be obtained through the comparisons of the torsion angles in 1/8 section, 1/4 section, 3/8 section and mid-span section as well as vertical displacement nephograms in 1/4 section. The results show that end diaphragm plate can effectively improve the torsional behaviors of the skew hollow slab. The middle diaphragm plate associated with the end diaphragm plate can reduce the torsional deformation in mid-span section, but have slight effect on the other sections.

**Key words:** skew hollow slab; finite element method; torsional behavior; diaphragm plate