

# 整体化层厚度对空心板受力性能影响研究

周 伟<sup>1</sup>, 周 青<sup>2</sup>, 杨 鹏<sup>2</sup>, 黎思源<sup>2</sup>

(1. 江苏省交通工程建设局, 江苏 南京 210004; 2. 华设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

**摘 要:** 对于空心板梁而言, 由于缺少横隔板、横隔梁等可以提供强大横向联系的结构构造, 因此其横向联系和整体性相对较弱。研究结果显示, 增加空心板梁的整体化层(桥面现浇层和桥面铺装)的厚度可以明显改善结构的横向联系。以 16 m 空心板为例, 通过建立有限元模型, 对 9、12、15、18 cm 整体化层下空心板纵向受力、横向变形和支座脱空时结构安全性进行计算。结果表明, 整体化层厚度增加对空心板受力有明显改善, 15 cm 厚度时活载效应降低值与恒载效应增加值之间差值最大, 对空心板结构受力改善效果最明显, 建议整体化层厚度取用 15 cm。

**关键词:** 桥梁工程; 空心板; 整体化层; 数值模拟

**中图分类号:** U445

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2025)10-0101-03

## Study on Influence of Integral Layer Thickness on Mechanical Performance of Hollow Slab

ZHOU Wei<sup>1</sup>, ZHOU Qing<sup>2</sup>, YANG Peng<sup>2</sup>, LI Siyuan<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Provincial Transportation Engineering Construction Bureau, Nanjing 210004, China; 2. Huashe Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

**Abstract:** For the hollow slab beams, due to the lack of structural components such as diaphragm plates and diaphragm beams that can provide strong lateral connections, the lateral linkages and integrity of these diaphragms are relatively weak. The results show that the increase of the integral layer thickness (bridge deck cast-in-place layer and bridge deck pavement) of the hollow slab beam can significantly improve the lateral linkages of the structure. Taking the 16-m hollow slab as an example, the finite element model is established to calculate the structural safety of the hollow slabs under the 9 m, 12 m, 15 m and 18 cm integral layers under longitudinal force, lateral deformation and bearing void. The results show that the increase of the integral layer thickness significantly improves the stress of the hollow slab. When the thickness is 15 cm, the difference value between the decrease value of the live load effect and the increase value of the dead load effect is the largest, and the improvement effect on the stress of the hollow slab structure is the most obvious. It is suggested that the thickness of the integral layer should be 15 cm.

**Keywords:** bridge engineering; hollow slab; integral layer; numerical simulation

## 0 引 言

自 20 世纪 90 年代我国高速公路大批量建设以来, 20 m 以下跨径的桥梁结构多采用空心板梁, 其建筑高度小、制备简便、重量轻、构造简单、受力明确, 在较长时间内得到广泛应用。但受不同时期的设计理论、计算方法、材料性能、施工工艺制约, 空心板的病害问题较为突出。整体化层厚度是影响空心板结

构受力和病害发展的一个主要因素。

对于空心板梁而言, 由于缺少横隔板、横隔梁等可以提供强大横向联系的结构构造, 因此其横向联系和整体性相对较弱。这也是这种结构容易产生“单板受力”情况的一个主要原因。研究结果显示, 增加空心板梁的整体化层(桥面现浇层和桥面铺装)的厚度可以明显改善结构的横向联系, 使单片空心板的纵向受力更为均衡, 为研究不同整体化层厚度对空心板纵向受力的影响, 本节针对 34.5 m 桥宽, 16 m 跨径, 分别建立整体化层厚度为 9、12、15、19 cm 的整桥模型, 研究整体化层厚度对空心板结构受力的影响。

收稿日期: 2025-01-07

作者简介: 周伟(1979—), 男, 本科, 研究员级高级工程师, 从事公路工程建设管理工作。

通信作者: 黎思源(1994—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。电子邮箱: 519800185@qq.com

## 1 整体化层厚度对空心板纵向受力的影响

对于空心板梁而言,由于缺少横隔板、横隔梁等可以提供强大横向联系的结构构造,因此其横向联系和整体性相对较弱。这也是这种结构容易产生“单板受力”情况的一个主要原因。研究结果显示,增加空心板梁的整体化层(桥面现浇层和桥面铺装)的厚度可以明显改善结构的横向联系,使单片空心板的纵向受力更为均衡,为研究不同整体化层厚度对空心板纵向受力的影响,本节针对34.5 m桥宽,16 m跨径,分别建立整体化层厚度为9、12、15、19 cm的整桥模型,研究整体化层厚度对空心板纵向受力的影响。

首先分别建立单片边板和单片中板的有限元模型,边界条件按简支考虑,在边板和中板的跨中位置施加 $P=1\ 000\text{ kN}$ 的集中荷载,得到各主梁跨中挠度值 $\delta_{i1}$ 。

建立整体化层厚度为9、12、15、19 cm的全桥有限元模型,边界条件按实桥模拟。按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)4.3节进行车辆横向布置时,边板和中板均在横向布置两车道时最不利,车道最不利位置均为车辆布置在最外侧。在此基础上,全桥有限元模型各跨跨中最不利位置施加若干 $P=500\text{ kN}$ 的集中荷载,有限元模型计算图示见图1,得到各主梁各跨跨中挠度值 $\delta_{iq}$ 。

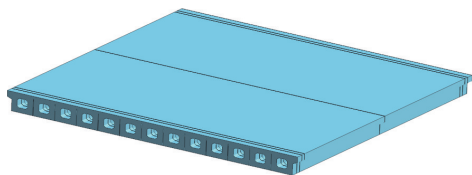


图1 有限元模型计算示意

本算例中各跨中截面荷载横向分布系数可表示为: $m_i = \delta_{iq}/\delta_{i1}$ 。对应各整体化层厚度跨中截面的活载横向分布系数计算不同厚度整体化层活载效应变化见图2。

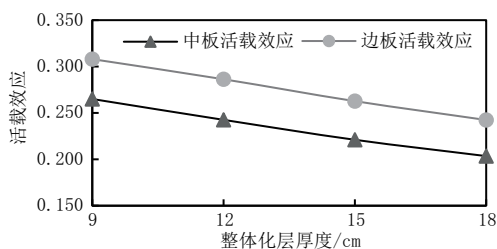


图2 不同厚度整体化层活载效应变化

随着整体化层厚度的增加,恒载效应也明显增大,自重产生挠度占比不断增加,影响结构经济性,对

不同厚度整体化层自重挠度占比计算结果见图3。

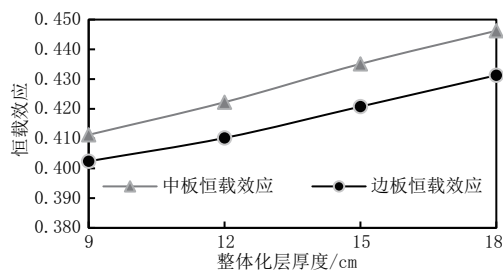


图3 不同厚度整体化层恒载效应变化

将活载效应降低值减去恒载效应增加值,对比整体化层厚度增加情况下,空心板活载效应和恒载效应变化,结果见图4。

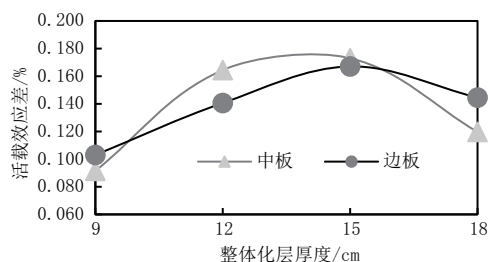


图4 活载效应降低值-恒载效应增加值

由以上计算结果可知:

(1)随着整体化层厚度的增加,空心板横向整体受力更好,中板和边板活载横向分布系数不断降低,相较于不计入整体化层模型,整体化层增厚至18 cm,中板活载横向分布系数降低57.3%,边板活载横向分布系数降低54.6%。

(2)整体化层厚度增加,中板和边板活载效应不断降低。

(3)随着整体化层厚度增加,恒载效应不断上升,18 cm时中板恒载占比增加至45%。

(4)为增强空心板整体受力性能,适当加厚整体化层是合理可行的。随着整体化层厚度增加,活载效应降低速率变缓,恒载效应增加效应明显,12~15 cm时活载效应降低值与恒载效应增加值的差值最大,综合考虑空心板恒载、活载效应变化及造价,建议整体化层厚度选用15 cm。

## 2 整体化层厚度对空心板横向受力的影响

整体化层厚度除影响空心板纵向受力外,还会对多片板梁间横向受力产生影响。保持上节对应模型的边界条件不变,按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)4.3节施加车道荷载,横向加载示意图见图5。

不同厚度整体化层空心板在两车道加载作用

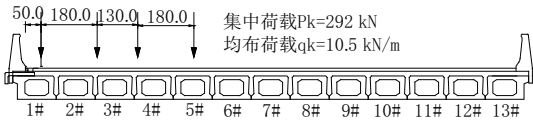


图5 横向加载示意(单位:cm)

下,应力计算结果见表1。

表1 不同整体化层厚度跨中截面最大拉应力计算结果

| 整体化层厚度/cm | 0     | 9     | 12    | 15    | 18    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 最大拉应力/MPa | 5.990 | 5.607 | 5.284 | 4.972 | 4.737 |

不同整体化层厚度下,空心板跨中挠度对比见图6,随着厚度增加跨中挠度逐渐减小。

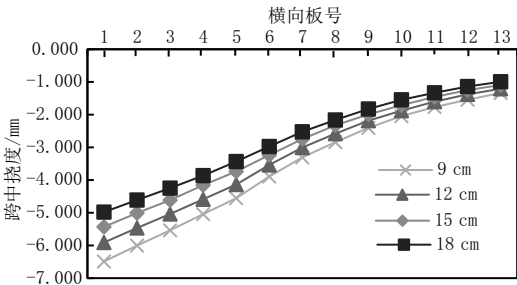


图6 不同厚度整体化层对空心板跨中挠度影响

由以上计算结果可知:

(1)随着整体化层厚度增加,空心板横向受力更均衡,其他板对荷载均摊效应更明显,跨中挠度逐渐降低;整体化层厚度从9 cm增加至18 cm,边板跨中挠度从6.491 mm降低至4.970 mm,降低23.4%,中板跨中最大挠度从6.004 mm降低至4.611 mm,降低23.2%。

(2)随着整体化层厚度的增加,空心板铰缝下部最大拉应力逐渐减小,整体化层厚度从9 cm增加至18 cm,铰缝下部最大拉应力从5.99 MPa降低至4.737 MPa,整体化层厚度的增加,对铰缝受力也有利。

3 整体化层厚度对支座脱空时结构安全性影响

支座脱空是空心板最为普遍的病害之一,各个板梁间通过铰缝和整体化层连接在一起整体受力,若产生支座脱空,该片梁的力便通过铰缝和整体化层传递给旁边的空心板,可能会造成铰缝和整体化层的破坏,致使空心板单板受力,影响运营安全性。本节模拟3#号板单侧支座脱空工况下,研究不同厚度整体化层结构安全性,荷载工况见图7。

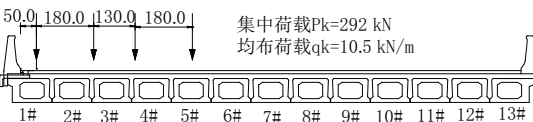


图7 加载示意图

先张法宽板在端部没有铰缝构造,相邻板间通过整体化层连接,空心板端部示意图8,出现支座脱空时,支座脱空板的两侧整体化层会出现横向拉应力,本节对不同厚度整体化层在支座脱空状态下横向拉应力进行计算分析,计算结果见表2。



图8 空心板端部示意

表2 不同整体化层厚度在支座脱空时最大横向拉应力

| 整体化层厚度/cm     | 9      | 12     | 15     | 18     |
|---------------|--------|--------|--------|--------|
| 支座未脱空时拉应力/MPa | -1.319 | -0.931 | -0.468 | -0.215 |
| 支座脱空时拉应力/MPa  | -2.053 | -1.558 | -0.955 | -0.595 |

由以上计算结果可知,整体化层越厚,空心板横向连接越可靠,支座脱空时支点处整体化层横向拉应力越小,整体化层厚度从9 cm增加至19 cm,支座脱空时支点处整体化层横向拉应力从2.053 MPa降低至0.595 MPa。

4 结 语

本文对空心板不同整体化层厚度下结构安全性研究,分别从纵向受力分布、横向受力变形及支座脱空工况下整体化层拉应力几方面进行计算分析,得出结论如下:

(1)整体化层厚度增加有利于空心板整体受力,可有效降低活载效应,横向分布系数减小,15 cm相较于12 cm,中板和边板横向分布系数分别降低9%、8%;随着整体化层厚度增加,恒载效应增加,18 cm时中板恒载占比增加至45%;

(2)随着整体化层厚度增加,活载效应降低值-恒载效应增加值先增加后减小,15 cm左右差值最大,整体化层利用效率最高;

(3)整体化层厚度增加,跨中挠度减小,整体化层厚度从9 cm增加至18 cm,跨中挠度,降低23.4%;整体化层厚度增加使空心板横向受力更均衡,横向变形更为协调,板间挠度差降低,12 cm增加至15 cm,板间挠度差最大处降低16%;

(4)支座脱空工况下可降低整体化层拉应力,提高结构耐久性;

(5)综合考虑空心板之间的横向连接可靠性、自重效应大小、支座脱空状态下结构安全性,建议整体化层厚度取用15 cm。

参考文献:

[1] 郭建民,徐飞萍,康良,等.考虑整体化层作用的空心板梁桥横向