

文章编号:1671-6833(2014)04-0024-05

空心板桥横向预应力加固分析

刘平, 李鹏飞, 李莎

(河北工业大学 土木工程学院, 天津 300401)

摘要: 针对装配式简支空心板桥常见的病害,如:横向联系不足造成空心板挠度增大、单板受力等问题,运用有限元软件对于空心板桥进行模拟研究,施加体外预应力钢筋对其进行加固.通过对比分析装配式空心板桥施加横向预应力前后的结构位移的变化,从理论上对加固效果进行分析,并探讨所设置的横向预应力大小对于提高桥梁整体性的影响.研究发现:采用梁底施加横向预应力钢筋加固对于装配式空心板桥而言,能够有效的改善荷载横向分布,增加空心板结构横向连接,从而减少单板受力现象发生.

关键词: 桥梁工程;装配式空心板;体外加固;有限元;体外预应力

中图分类号: U445.7 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.04.006

0 引言

装配式板桥在中、小跨度的混凝土桥梁中应用较为广泛^[1].将工厂预制的预应力混凝土板运送到桥梁施工现场,通过横向联结构造和桥面铺装部分联结成为整体,使车辆荷载在各板之间具有良好的横向分配.这种板间横向的联结构造主要采用混凝土铰和铺装层来提供,运营一段时间后会因板间绞缝被绞断,荷载不能通过绞缝传递而造成单个梁板承担荷载的病害,造成所谓的“单板受力”现象^[2-4].单板受力现象对于桥梁的结构稳定性损害非常严重,而且一旦出现此种病害,雨水便直接侵蚀桥梁主体,进一步加速桥梁的破坏.

目前空心板桥设计采用前苏联桥梁学者乌里茨基上世纪 60 年代提出的“铰接板法”来计算横向内力分布,该方法认为板与板之间的连接为铰接,即绞缝只传递剪力而不能传递横向弯矩.而应用铰接板法的前提条件是桥梁横向刚度和纵向刚度之比很小,实际情况是空心板的横向刚度很大,此外接缝较弱,横向变形必然造成横断面梳形张开,造成接缝处侧向应力集中而破坏.基于这种原因,须从改变板与板的受力模式,从根本上解决单板受力现象,因而提出了体外预应力加固技术^[5].国外对于横向预应力^[6]研究比较深入,我国对于体外预应力的实施比较少见,而对于体外预应力大小设置的

合理性也有待深入分析.笔者以前人的研究为基础,针对桥梁荷载与横向预应力的布置做了有限元分析,对于横向预应力钢绞线的设置提高横向连接的效果,做出了具体的研究和分析.得出了横向预应力加固合理设置理念,并且验证了梁底施加横向预应力钢筋的合理性和可行性.

1 建立计算模型

1.1 计算模型

运用 ANSYS 有限元软件,建立空心板实体模型.空心板桥在使用荷载下,结构处于弹性工作阶段,为简化计算笔者采用整体式模型,即将普通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,均化的钢筋混凝土折算弹性模量按(1)式计算.

$$\overline{E_R} = E_c \left(1 + \mu \frac{E_s - E_c}{E_c} \right). \quad (1)$$

式中: $\overline{E_R}$ 为钢筋混凝土折算弹性模量; E_c 为混凝土弹性模量; E_s 为钢筋弹性模量; μ 为配筋率.

建立模型时,混凝土体单元用 solid65 号单元,预应力钢筋用 link8 杆单元,杆单元与实体单元之间的联结通过将同一位置的节点对的自由度耦合来实现,预加力采用等效温度荷载来施加.全桥共 50 592 个体单元,3 个线单元,69 747 个节点,全桥简支,模型成体见图 1.

收稿日期:2014-03-30;修订日期:2014-05-19

基金项目:天津市自然科学基金资助项目(12JCYBJC14100),河北省交通运输厅科技计划资助项目(Y-2012041)

作者简介:刘平(1980-),男,河北保定人,河北工业大学高级工程师,博士,主要从事土木工程施工与管理,E-mail: 2002lp@163.com.

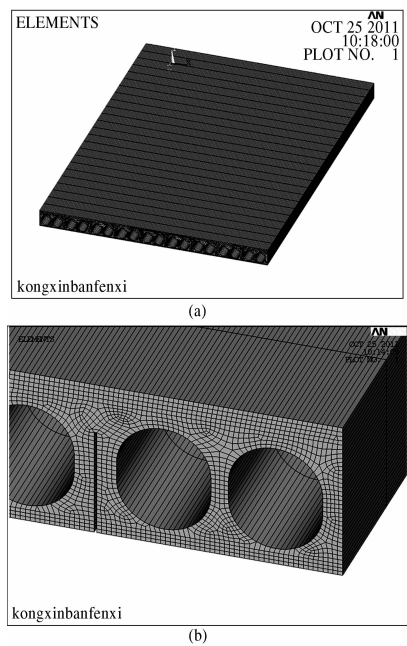


图 1 全桥模型

Fig.1 Finite element model of the bridge

在计算过程中,为了考察横向预应力的施加对于桥梁加固效果的影响,沿车道前进方向 1/4 L、1/2 L、3/4 L 处布置 3 根横向预应力钢筋,预应力大小分为 50,100,150,200 kN/根 4 种情况进行分析.模拟中,加载方案如下.

(1)为了研究空心板荷载横向分布系数影响线,分别对跨中 1#~5#板施加跨中单位荷载(100 kN),对每块板再分为 5 个工况.工况 1:单位荷载;工况 2:单位荷载 + 50 kN/根预应力荷载;工况 3:单位荷载 + 100 kN/根预应力荷载;工况 4:单位荷载 + 150 kN/根预应力荷载;工况 5:单位荷载 + 200 kN/根预应力荷载;共 25 个工况.

(2)猜想:横向预应力大小与荷载等级相适应时,加固效果最为优良.为了验证这一猜想,在 5#板上施加 200,300,400 kN 荷载,每一加载情况再分为 4 种工况:工况 1:荷载 + 50 kN/根预应力荷载;工况 2:荷载 + 100 kN/根预应力荷载;工况 3:荷载 + 150 kN/根预应力荷载;工况 4:荷载 + 200 kN/根预应力荷载;共 12 个工况.

综上,有限元计算中全桥共计 37 个工况.

1.2 计算原理

荷载横向分布影响线的平缓变化趋势体现了板间的横向连接情况,能反映空心桥的横向加固效果,故采用荷载横向分布影响线来探讨施加横向预应力加固装配式空心板桥的加固效果.

对于装配式空心板桥,由各板挠度 w 、弯矩 M 求得的荷载横向分布的影响线是相同的,所以,通过计算各板跨中挠度,进而求得板桥跨中荷载横向分布影响线,也就得出了荷载的横向分布系数.

计算原理:在某块板的中心处施加单位荷载,计算得到各块板的挠度值,再根据位移互等定理,可得到该块板挠度的横向影响线,最后根据挠度和荷载横向影响线的关系得到该板的荷载横向分布影响线的坐标值^[7].推导过程为

$$\eta_i = \frac{w_i}{W}, i = 1, 2, \cdots, n.$$
 (1)

式中: η_i 为 j #板中点作用一个集中荷载时, i #板的荷载影响系数; w_i 是集中荷载作用在 i #板中点时 i #板中点铅垂位移; W 是各板中点的铅垂位移之和.在 ANSYS 分析中, η_i 为 j #板中点作用一个集中荷载时, i 号单元的荷载影响系数; w_i 是集中荷载作用在 j #板中点时 i 号单元中点铅垂位移; W 是梁底跨中所有单元的铅垂位移之和.

2 结果分析

2.1 荷载横向分布系数曲线对比分析

2.1.1 未设置横向预应力

模型中共 9 块板,由于对称性,可以只计算考虑 1#~5#号板的荷载横向分布影响线,文中只列出 3#、5#号板的荷载横向分布影响线.施加横向预应力之前,各板之间的连接较小,可以按铰接法计算荷载的横向分布系数,现将铰接法计算结果与有限元计算结果展绘与同一图上,见图 2.

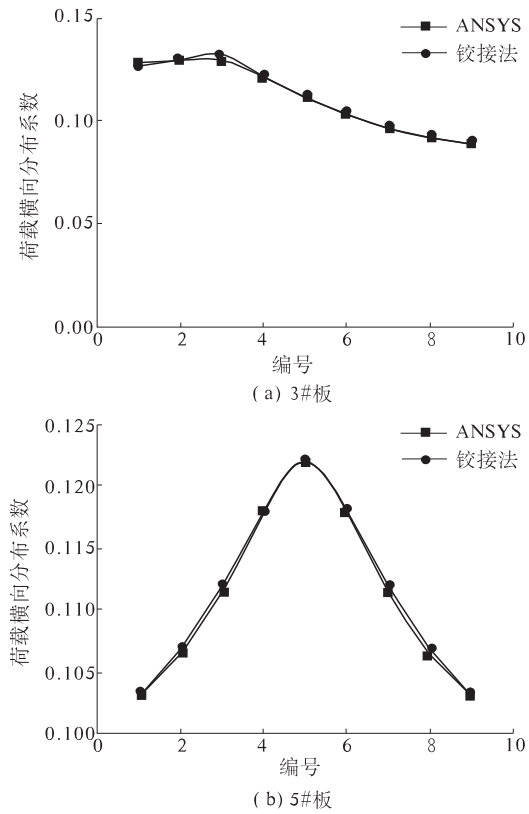


图 2 未加固荷载横向分布系数曲线

Fig.2 Load transversely distribution influence line without prestress

从图 2 可明显看出,铰接板法计算原理得出的横向分布系数与 ANSYS 有限元软件模型计算得出的横向分布系数吻合情况较好.对于荷载横向分布系数曲线情况而言,传统的铰接法虽然建立于许多假设之上,但对于计算空心板荷载的横向分布系数与 ANSYS 模拟计算值误差较小,故铰接法仍具有较好的精确度.

2.1.2 横向加固

方案一:施加体外横向预应力后,将计算结果与未加固空心板桥进行对比分析.施加横向预应力钢筋进行加固后,经 ANSYS 有限元软件建模计算后,发现荷载的横向分布系数发生较大变化,见图 3.

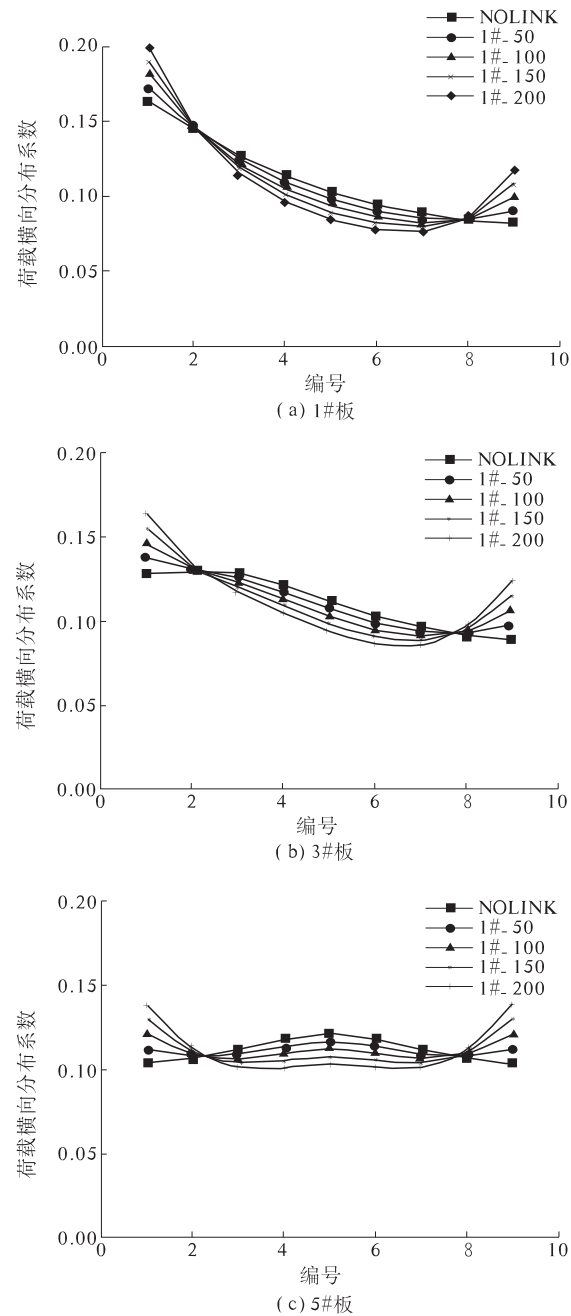


图 3 荷载横向分布系数

Fig.3 Load transversely distribution

从以上结果图形中可以看出,施加横向预应力以后,出现反拱现象.随着预应力的增加,反拱现象表现得越来越明显,说明横向加固的确增强了各板之间的连接,因此横向预应力加固对于提高空心板的整体性确实有效.在边梁(1#板)施加荷载时,反拱效应被加剧;而 5#板上施加荷载时,外界荷载与预应力荷载呈互斥效应,减小了梁底反拱使梁整体平整.

仅从 5#板荷载横向分布系数图上可以明显看出:模型承担单位荷载(100 kN)时,施加 50 kN 横向预应力加固时,荷载的横向分布系数曲线最为均匀,此时,加固效果较好.

方案二:此方案模拟时,固定荷载等级,逐级增加横向加固预应力,而后进行下一级荷载,进 ANSYS 分析得出不同荷载等级下不同预应力加固时的荷载横向分布影响线,见图 4. 图中 5#_100_200 表示横向张拉 100 kN 的横向预应力加固下,在 5#板跨中施加 200 kN 单位荷载.

若以荷载横向分布系数的平缓程度来衡量横向加固效果的优劣,从图 4 中可以直观的看出:张拉 50 kN 横向预应力加固时,对于 5#板上施加 100 kN 单位荷载时的加固效果较其他等级荷载优良;张拉 100 kN 横向预应力加固时,对于 5#板上施加 200 kN 单位荷载时的加固效果较其他等级荷载好;张拉 200 kN 横向预应力加固时,对于 5#板上施加 300 kN 单位荷载时的加固效果较其他等级荷载优良.因此,可以得出结论:对于桥梁的横向预应力加固而言,预应力的张拉力与荷载等级相匹配时,加固效果明显,而非横向预应力的对加固效果影响不大.

2.2 结果量化分析

若分别以加固前后同一号板的横向分布影响线最大值 η_{\max} 的变化,以及最大最小值的差值 $\Delta\eta = \eta_{\max} - \eta_{\min}$ 的变化作为评价加固效果的指标^[8],则可以得到横向预应力分别为 50, 100, 200 kN/根时加固效果的量化评估.考虑边梁施加荷载时,对结构的反拱影响较大,计算和分析的偏差较大,故本文只取中梁荷载进行结果的量化计算与分析.计算结果见表 1 和表 2.

$$\lambda_{\eta_{\max}} = (\eta_{\max前} - \eta_{\max后}) / \eta_{\max前}; \tag{2}$$

$$\lambda_{\Delta\eta} = (\Delta\eta_{前} - \Delta\eta_{后}) / \Delta\eta_{前}. \tag{3}$$

从以上两个表中可以较为明显地看出:荷载为 100 kN 时横向加固采用 50 kN 预应力时加固效果相对较好;荷载为 200 kN 时横向加固采用 100 kN 预应力时加固效果相对较好;荷载为 300 kN 时横向加固采用 150 kN 预应力时加固效果相对较好.也就是说:当横向加固的预应力大小应与

荷载等级相适应,此时加固效果最好.

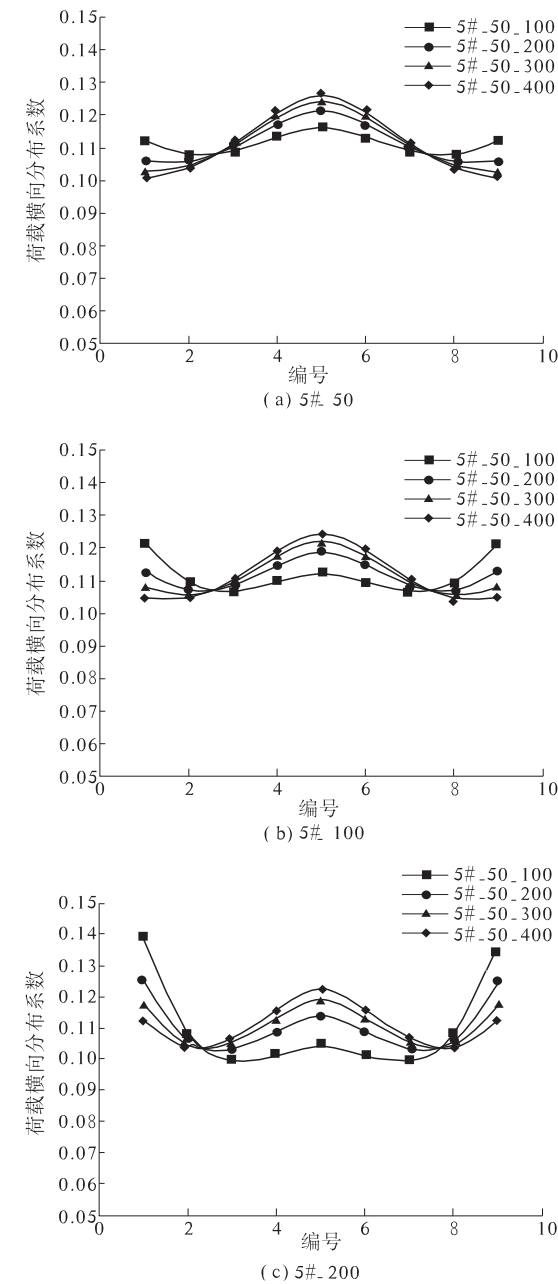


图 4 不同荷载等级下横向分布系数曲线

Fig. 4 Unequal load transversely distribution influence line with prestressing

表.1 5#板 $\lambda_{\eta_{\max}}$

Tab.1 $\lambda_{\eta_{\max}}$ of 5# after the transversely prestressing applied		
荷载/kN	加固/kN	$\lambda_{\eta_{\max}}/\%$
100	50	4.0
	100	0.5
	200	—
200	50	2.52
	100	5.00
	200	1.03
300	50	3.42
	100	5.28
	200	9.01

表 2 5#板 $\lambda_{\Delta\eta}$

Tab.2 $\lambda_{\Delta\eta}$ of 5# after the transversely prestressing applied

荷载/kN	加固/kN	$\lambda_{\Delta\eta}/\%$
50	50	44.18
	100	16.48
	200	—
200	50	31.31
	100	44.39
	200	18.42
300	50	31.61
	100	42.47
	200	58.04

注:表中“—”表示由于加固预应力过大,致使反拱现象严重,计算结果出现较大偏差,故删去.

其次,对于空心板桥而言,这种加固效果更多的体现为各板横向分布影响线的平稳程度上,也就是其最大值与最小值的差值减小.换言之:横向加固对于提高各板间的连接性能效果显著,而提高桥梁整体的承载能力上效果不大.

2.3 云图分析

比较加固前和加固后底板位移云图^[9],如图 5 所示,可知:位移云图由盆状渐变为带状.由横截面位移云图可知:进行体外预应力加固后桥梁的横向刚度得以增强,空心板桥由单板受力向多板共同承载转变.这些都加固效果在预应力大小

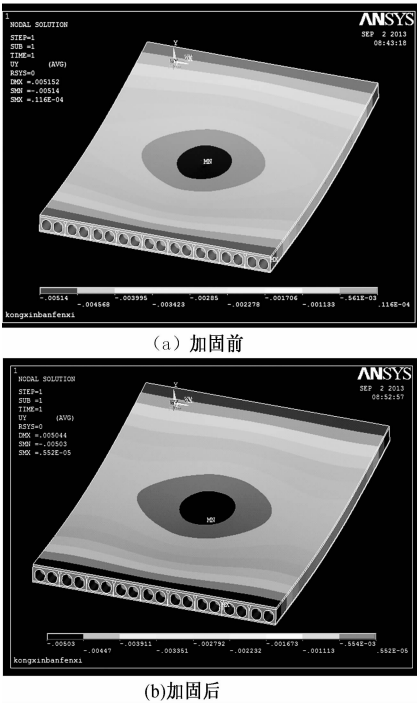


图 5 加固前后梁底位移云图

Fig. 5 Displacement contours around the beam bottom of the reinforcement

与荷载等级相匹配时最为明显,此时桥梁的整体连接性增强较大,板间的相互作用增强,单板受力得到改善,加固取得了效果.

3 结论

对比施加横向预应力加固前后的各类位移云图、应力云图和横向影响线图可知:

(1)铰接法计算空心板桥荷载横向分布系数上,具有一定的可行性;

(2)随着张拉力的逐步增加,反拱值略有增大,表明通过张拉横向预应力,空心板桥的横向整体性得到加强;

(3)对于横向加固的实施而言,预应力加固的大小对于提高整体连接性能上不能一概的认为越大越好,荷载等级与加固等级相匹配时,加固效果才能达到最佳.

参考文献:

[1] 姚玲森. 桥梁工程[M]. 北京:人民交通出版社, 2003:115.

- [2] 艾军,史丽远. 公路梁桥体外预应力加固设计与施工方法研究[J]. 东南大学学报:自然科学版,2002, 32(5):771-774.
- [3] 陈晓强,赵佳军,吴建平. 板梁结构由铰缝引起的病害分析及加固改造[J]. 现代交通科技,2004(1): 46-48.
- [4] 王砚桐. 高等级公路中“单板受力”现象及原因分析[J]. 公路交通技术,2004(4):29-32.
- [5] 李友好,赵豫生. 某病害桥横向体外预应力加固实践[J]. 重庆交通学院学报, 2005,24(2):18-21.
- [6] 王穗平. 体外预应力技术在空心板桥加固中的应用[J]. 公路,2007(6):45-47.
- [7] 河南省交通厅公路管理局. 预应力空心板施加横向预应力研究报告[R]. 郑州:河南省交通厅公路管理局,2005.
- [8] 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,2008,10(25):58-62.
- [9] 方志,蒋田勇,梁栋. CFRP 筋在活性粉末混凝土中的锚固性能[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2007, 34(7):1-51.

Hollow Slab Transverse Prestressing Reinforcement Analysis

LIU Ping, LI Peng-fei, LI Sha

(School of Civil Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: In view of the simply supported hollow slab common diseases, such as horizontal contact due to the lack of hollow slab deflection increases, single plate bearing and other problems, with the finite element software, a simulation study was carried out for the hollow slab bridge, external prestressing steel reinforcement of the. Change of displacement of structure before and after applying transversely prestressing assembly type hollow slab bridge through comparison and analysis, to analyze the effect of reinforcement theory, and discusses the transversely prestress can improve the whole bridge. The beam bottom transversely prestressed reinforcement for assembly type hollow slab is verified, transversely load distribution can improve effectively, increase the hollow plate structure of transversely connection, thereby reducing the phenomenon of stress of single board.

Key words: bridge engineering; fabricated hollow slab bridge; external reinforcement; FEM; external prestress