

扁平超宽连续箱梁桥空间受力性能分析与研究

李贵峰

(天津市市政工程设计研究院, 天津 300000)

摘要:扁平超宽箱梁桥由于具有较大的宽跨比,其受力性能呈现明显的空间效应,通常的单梁模型计算已不能满足设计的精度要求,主要体现在宽箱梁各腹板纵向受力的差异性以及明显的剪力滞效应,同时由于大宽跨比使得横向预应力的作用不仅增加了顶板的压应力,也使得整体箱梁截面下缘出现拉应力,造成边腹板底部纵向裂缝,这些都给宽箱梁的设计带来了不利。因此为研究宽箱梁的空间效应,本文运用 ANSYS 有限元软件建立了全桥实体模型,计算了各腹板纵向受力差异及剪力滞效应,以及横向预应力对箱梁横向受力的影响,得到了一些有益的结论,为设计人员提供一定的参考。

关键词:超宽箱梁;空间效应;剪力滞;纵向裂缝

中图分类号:U442.5 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2016)04-0016-06

0 引言

随着社会经济的快速发展,城市化进程不断加快,目前多个城市均发展各自的快速路系统。同时,城市交通建设中面临着土地紧张、拆迁难度大等现实难题,如何提高城市空间利用率将是城市桥梁设计需重点考虑的因素之一^[1]。因此,为了适应城市交通发展的需要,超宽箱梁桥则成为城市高架桥设计的首选。同时由于受到交通功能和景观造型的影响而经常采用异形宽幅箱梁结构,其受力性能较常规箱梁结构存在差异,呈现明显的空间效应^[2-3],主要表现为宽跨比大、宽高比大、梁高低、翼板宽等。

通常对桥梁上部结构的分析以单梁模型计算,必要时以翼缘有效分布宽度模拟剪力滞效应的影响,但对于扁平超宽箱梁仍采用此法可能与实际结果偏差较大。鉴于此,本文以某快速路一幅异形超宽连续箱梁为例,建立三维实体有限元模型计算分析。

1 工程概况与计算模型

某工程采用(36+45+36)m 预应力混凝土连续箱梁,桥宽从 33.3~45.6 m 对称线性变化,梁高为 2.2 m,断面采用单箱 8 室,悬臂为流线型挂小边箱型式设计,横断面布置图见图 1。箱梁采用 C50 混凝土,腹板纵向预应力采用 14 ϕ^s 15.2 钢绞线,中支点顶板纵向短束采用 9 ϕ^s 15.2 钢绞线,顶板横向预应力采用 2 ϕ^s 15.2 钢绞线,横向间距 100 cm,张拉控制应力均为 1 350 MPa,采用满堂支架现浇湿接头施工工艺。

本文采用 ANSYS 有限元软件建立全桥三维实体模型,由于结构横向对称,为提高计算效率,采用建立一半模型并施加对称约束的方法建模,箱梁采用 SOLID95 单元,预应力钢束采用 Link8 杆单元模拟,并以有效初应变的形式通过节点耦合施加给主梁,全桥共包含 102 211 个单元,445 831 个节点,有限元模型如图 2 所示。

收稿日期:2015-09-27 责任编辑:刘宪福 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxxbzrb.2016.04.03

作者简介:李贵峰(1986-),男,工程师,从事桥梁设计工作。E-mail:46463348@qq.com

李贵峰.扁平超宽连续箱梁桥空间受力性能分析与研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2016,29(4):16-20.

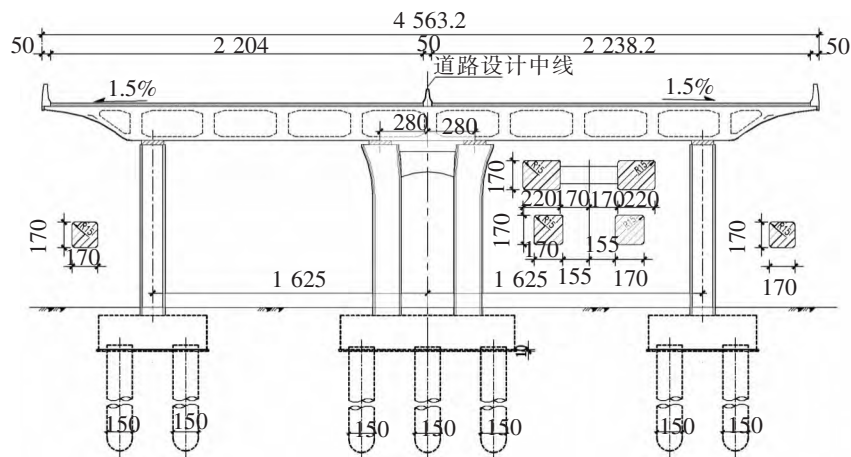
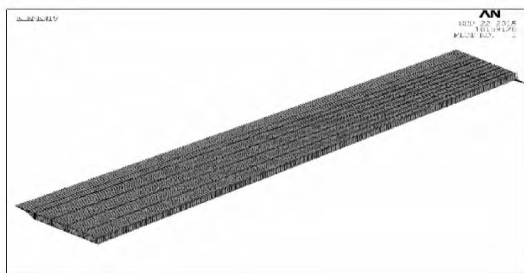
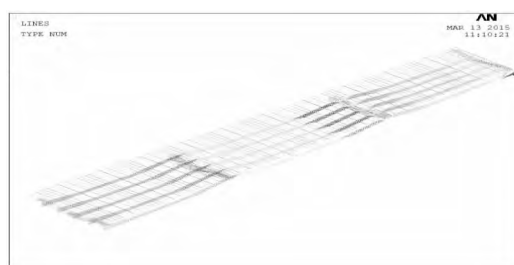


图 1 箱梁横断面布置图(单位:cm)



(a) 主梁模型



(b) 预应力体系

图 2 全桥有限元模型

2 腹板纵向受力差异性分析

该箱梁由于腹板较多,且箱梁横向较宽,即使在恒载作用下截面内各腹板参与受力程度也并不相同,而以初等梁理论为基础的单梁模型无法考虑该横向差异,为此本文通过计算在自重及纵向预应力作用下各腹板中心线处上、下缘纵向正应力结果,并与单梁模型纵向结果进行比较,为方便表示对各腹板编号如图 3 所示,分析结果如图 4 和表 1。

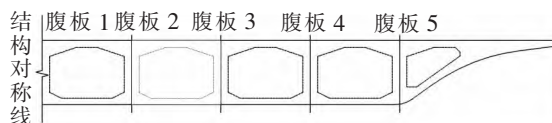
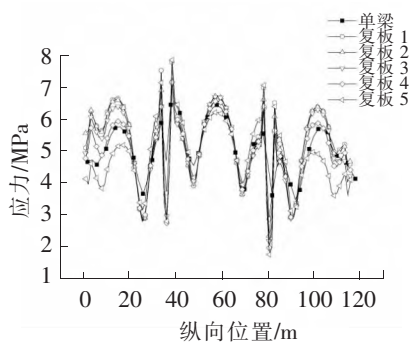
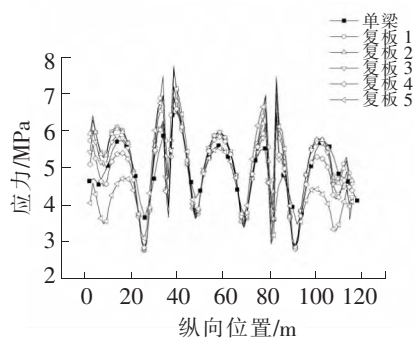


图 3 腹板编号示意图



(a) 腹板上缘纵向正应力结果(压)



(b) 腹板下缘纵向正应力结果(压)

图 4 各腹板纵向正应力沿梁长分布

表 1 实体模型各腹板跨中应力结果

MPa

位置 编号	边跨跨中(窄侧)		中跨跨中		边跨跨中(宽侧)	
	上缘应力	下缘应力	上缘应力	下缘应力	上缘应力	下缘应力
腹板 1	6.16	6.67	6.69	4.41	6.22	5.20
腹板 2	6.13	6.56	6.71	4.32	6.23	5.09
腹板 3	6.00	6.26	6.70	4.10	6.16	4.76
腹板 4	5.68	5.76	6.55	3.74	5.79	4.18
腹板 5	5.11	4.93	6.19	3.07	4.94	2.81

通过图 4 可以看出,各腹板的应力结果与单梁模型应力趋势基本相同,且单梁结果处于各腹板应力结果之间,这说明单梁模型结果基本能满足计算需求,但并不能考虑各腹板纵向受力之间的差异;该差异表现为腹板由内向外应力偏差逐渐增大,最外侧腹板与内侧腹板差别最大,偏差达到了 40%,这也说明了纵向预应力钢束对横向悬臂的影响效应逐渐减弱,出现明显剪力滞后现象,悬臂远端梁体参与纵向受力程度较低,文献[3]也用有效截面代替了全截面分析,得到了与实体计算更为接近的结果;在沿主梁长度方向各腹板应力也存在差别,边跨跨中较中跨跨中更为明显。目前现行规范中虽然以翼缘有效分布宽度考虑了腹板与翼缘之间纵向应力沿横向的滞后效应,但对于超宽箱梁仍无法反应各腹板之间的应力差异,因此尚应考虑宽箱梁各腹板之间的应力差异效应。

3 剪力滞效应分析

除了腹板之间的纵向受力差异,由于剪力滞效应的影响,箱梁纵向正应力沿整个截面的横向分布也是不均匀的,为此引入剪力滞系数的概念^[4]来分析纵向应力沿横向的变化情况,其值等于实际应力与按初等梁理论计算的应力之比。限于篇幅,本文仅对中跨跨中、中支点附近、边跨跨中截面的剪力滞效应进行了对比分析,并分别考虑了①自重+纵向预应力;②自重+纵向预应力+横向预应力共同作用;③自重+纵向预应力+横向预应力+二期荷载 3 种工况下的计算结果(见图 5)。

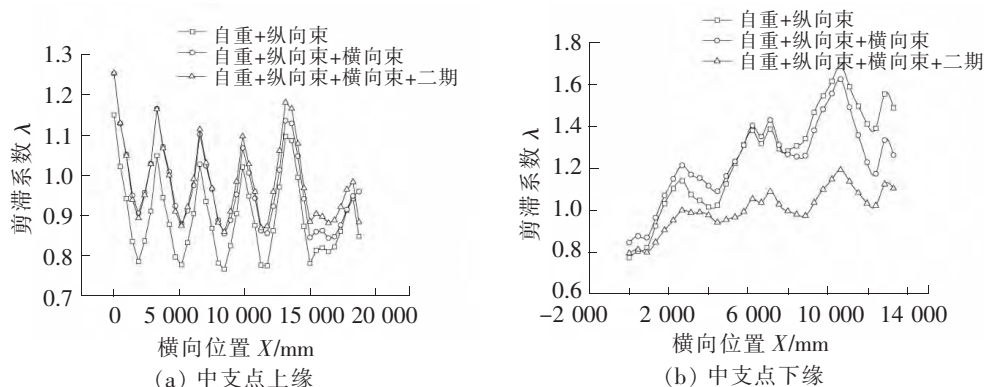


图 5 中支点剪力滞效应

由图 5 可以看出,支点截面附近剪力滞效应非常明显,表现出截面上缘腹板正剪力滞效应,最大值为 1.25;而截面下缘由于受支座应力集中的影响,受力较为复杂,截面中腹板处呈现负剪力滞,约为 0.8,其他腹板均为正剪力滞效应,且向外侧逐渐变大,最大值为 1.7,位于边腹板附近,从断面布置来看,这也正是支座的支撑位置,因此支座位置附近仅用剪力滞效应并不能反应结构的真实受力,应对支点横梁另作详细分析。

跨中截面剪力滞效应表现为远离截面中线向悬臂侧时剪力滞系数减小,截面中线正剪力滞到悬臂边缘负剪力滞的变化规律,如图 6 所示,这也正说明了由于宽跨比的影响,宽箱梁纵向预应力对翼缘悬臂板的约束有限,使得翼缘部分对主梁提供贡献减弱,且宽跨比越大这种作用越明显;同时在自重及纵向钢束作用下,横向钢束的施加对箱梁剪力滞效应影响不大,但在二期荷载作用下,剪力滞系数变化明显,说明荷载作用对箱梁剪力滞影响较大,且荷载作用形式多样,因此对于荷载模式对箱梁剪力滞的影响需做专项分析。

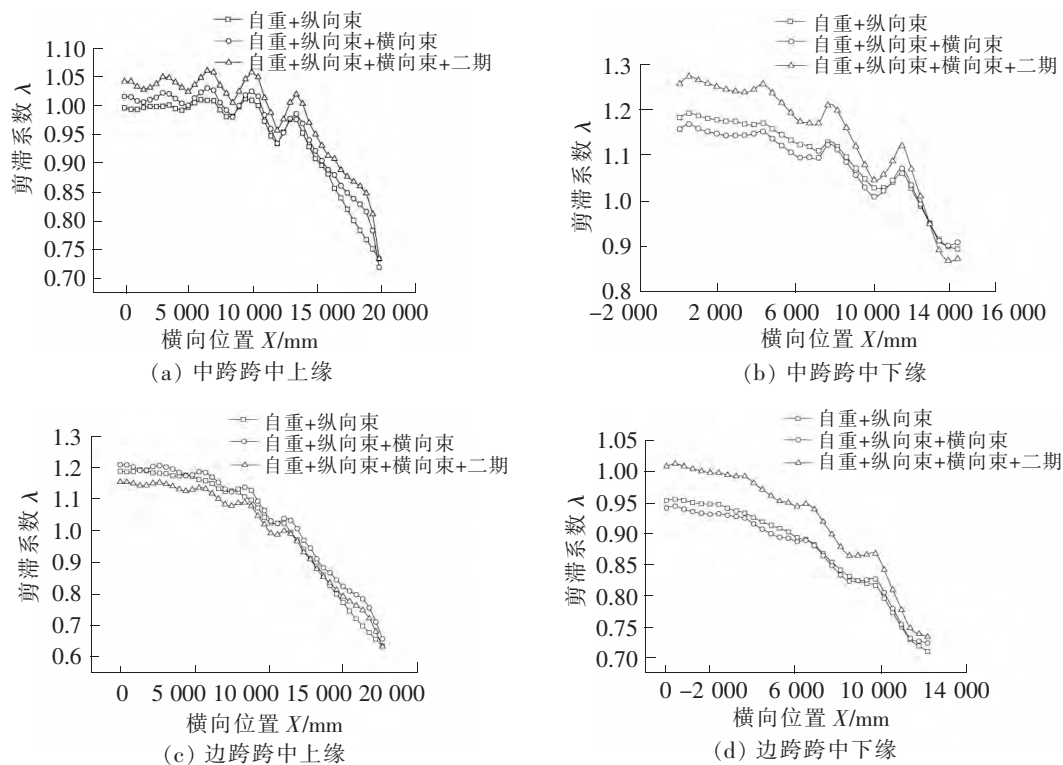


图 6 跨中剪力滞效应

4 箱梁横向分析

通常对箱梁的横向分析主要是指对桥面板的横向受力分析^[5-6],一般取单位宽度截面,建立横向框架模型,通过在腹板底部施加简支梁约束或连续梁约束简化计算;但对于超宽箱梁,由于宽高比很大,横向刚度较小,不仅桥面受外荷载影响较大,截面的横向变形也会对整个截面的受力产生很大影响,因此简化模型的边界条件并不能真实模拟实际结构的受力情况,而实体模型能够十分准确地模拟与实际结构相符合的边界条件,从而减少由于边界条件的简化对计算结果的影响。

通过实体模型计算分析,本文提取了边、中跨跨中各腹板的竖向位移值,同时为比较施加横向预应力后对顶板横向受力的改善情况分别考虑了①自重+纵向预应力+二期;②自重+纵向预应力+横向预应力+二期荷载两种荷载工况,结果均表明距支点越远,腹板之间竖向位移差越大,表 2 给出了工况 2 作用下跨中各腹板的竖向位移及相对差值,可以看出中跨跨中截面各腹板竖向挠度差值百分比最大为 29.3%,边跨跨中也达到 20%左右,因此根据本文计算结果,对箱梁横向计算采用单位宽度模型计算时,应计入腹板竖向位移差进行修正。

表 2 实体模型跨中各腹板竖向位移值

mm

位置编号	边跨跨中(窄侧)			中跨跨中			中跨跨中(宽侧)		
	竖向位移	位移差	位移差百分比/%	竖向位移	位移差	位移差百分比/%	竖向位移	位移差	位移差百分比/%
腹板 1	7	—	—	14.2	—	—	6.5	—	—
腹板 2	7.1	0.1	1.4	14.4	0.2	2.4	6.7	0.2	2.9
腹板 3	7.4	0.4	5.7	14.9	0.7	9.4	7.2	0.7	10.0
腹板 4	7.8	0.8	11.4	15.5	1.3	18.3	7.6	1.1	15.7
腹板 5	8.3	1.3	18.6	16.3	2.1	29.3	7.9	1.4	20.0

通过表 2 结果,运用 Midas/civil 取单位宽度截面建立简化模型,边界条件采用在腹板底设置连续梁支撑,并施加相应的竖向强迫位移(工况 2 结果)来模拟腹板竖向位移差,计算模型及结果如图 7,图 8,图 9 所示。

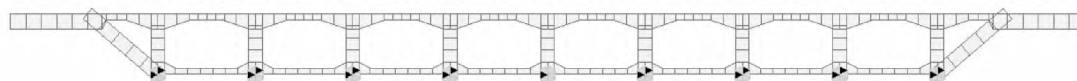


图 7 平面框架简化计算模型

通过图 8 可以看出横向预应力的施加对箱梁截面顶板受力改善十分明显,原框架模型桥面板应力与实际情况相差很大,而通过对腹板施加相应位移修正以后,简化模型桥面板受力基本与实体模型吻合良好,说明对于扁平宽箱梁的桥面板分析计入腹板竖向相对位移是合理的。

虽然通过对简化模型的修正能够模拟桥面板的受力,然而并不能反映截面整体的变形,为此对实体模型的底板应力结果进行了分析,从图 9 中可以看出横向预应力对底板横向受力有所影响,在自重与纵向束作用下,边腹板与底板相接处出现较大拉应力,约 0.5 MPa,而横向预应力的施加虽对截面中线处增大了压应力储备,但对边腹板及次边腹板附近的拉应力几乎增大了一倍,为 1.0 MPa,在实际工程中也经常出现边腹板底部纵向裂缝的发生,因此应加强对边腹板与底板相接处的结构配筋设计。

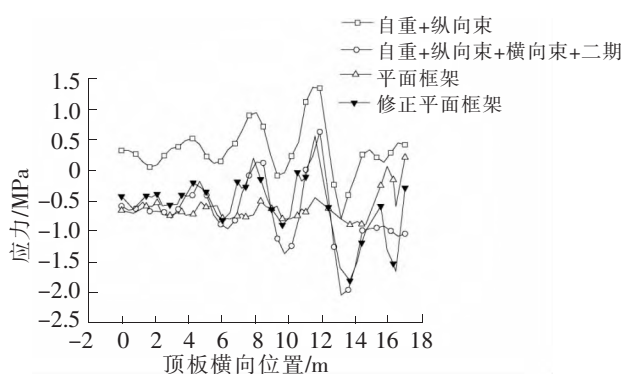


图 8 顶板横向正应力结果(拉正压负)

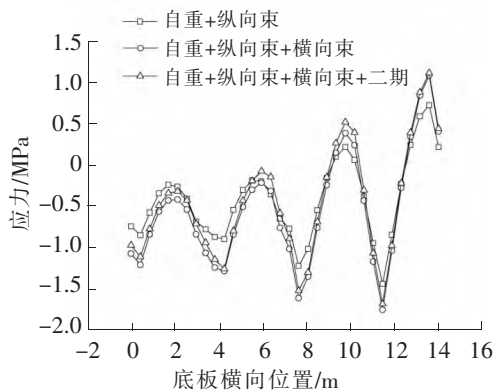


图 9 底板横向正应力结果(拉正压负)

5 结论

通过对超宽箱梁的实体有限元分析,并与单梁模型对比,发现了一些不同于常规箱梁的受力特征,针对该结构得到以下主要结论:

(1)扁平超宽箱梁各腹板之间受力存在差异,边腹板与中腹板应力差值最大达 40%,说明整个截面在横向上存在着剪力滞后现象,这主要与预应力钢束的有效作用范围有关,呈现由中腹板向边腹板应力逐渐减小,悬臂翼缘对整体纵向受力贡献不大,因此对于扁平宽箱梁的纵向整体设计采用梁单元模拟时,可不考虑腹板外侧悬臂翼缘(考虑结构重量)对结构受力的贡献,而采用有效截面并考虑有效宽度进行计算。

(2)由于扁平宽箱梁宽高比较大,使箱梁在截面内发生横向弯曲变形不可忽略,各腹板间存在竖向位移差,本文跨中挠度各腹板最大差值百分比为 29%,通过对简化模型施加强迫竖向位移对其修正,能够得到与实际横向受力相符的结果,因此对扁平箱梁顶板横向设计时,尚应计入腹板竖向相对位移;而受横向预应力的影响,腹板与底板交接处存在较大的拉应力,很有可能造成梁底纵向裂缝,设计师应加强重视对该位置的构造设计,如增加保护层厚度、设置外腹板底部角隅钢筋等。

本文虽对截面内的横向弯曲变形进行了分析,且该影响较大不可忽略,但由于受宽跨比、宽高比以及边界布置型式、荷载作用条件等众多因素影响,并没有进一步分析该影响规律,有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1]王标新,朱国华.大悬臂展翼斜腹板连续箱梁在城市桥梁中的应用[J].中外公路,2010,30(1):159-162.
- [2]彭德运,丁敬,李正.城市高架桥连续宽箱梁空间效应研究[J].公路,2012(8):134-138.
- [3]徐海军,冷金荣.城市高架桥异形宽箱梁空间结构分析[J].结构工程师,2010,26(2):70-75.
- [4]张元海,白昕,林丽霞.箱形梁剪力滞后效应的改进分析方法研究[J].土木工程学报,2012,45(11):153-158.
- [5]高丕勤,王小松.顶板横向预应力作用下宽箱梁空间效应分析[J].重庆交通大学学报,2012,31(s1):669-671.
- [6]黄鹤莅.顶板横向预应力钢束对箱梁横向计算结果的影响[J].铁道工程学报,2007(10):50-52.

(下转第 89 页)

Progress in the Study of High Toughness Cementitious Composites

Zhao Zhanshan¹, Sun Liang², An Le³, Zhang Gangtian^{4,5}

(1. Hebei Academy of Building Research, Shijiazhuang 050021, China;

2. Kuancheng Manchu Autonomous County Housing and urban planning and Construction Bureau, Chengde 067600, China;

3. Hebei Institute Engineering Technology Co., Ltd., Shijiazhuang 050021, China;

4. College of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 10083, China;

5. Hebei Institute of Technology Co., Ltd., Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: High toughness of cement matrix composite material is a research hotspot in the field of the current cement base composite material, which has a wide range of application and has made a lot of progress already. This paper reviews the existing research results both in China and abroad in the field, introduces the research progress of high toughness of cement matrix composites, existing problems and the basic mechanism comprehensively, points out the future research direction, Which may have reference value for the further reseovrch and guiding significance for the further research and application of high toughness of cement matrix composites.

Key words: cement-based composites; high toughness; fiber; anti-seismic material

(上接第 20 页)

Analysis and Research on Spatial Mechanical Performance of Flat Super Wide Continuous Box Girder

Li Guifeng

(Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300000, China)

Abstract: Due to the large width-span ratio, the mechanical performance of flat super wide box girder bridge shows significant spatial effects. The common single-beam model cannot fit the requirements of calculation accuracy mainly in the differences of webs' longitudinal forces and in the shear lag effect. Meanwhile, the transverse prestress not only increases the compressive stress of upper plates, but also induces the tensile stress of bottom plates which may cause longitudinal crack on the bottom of webs. These are unfavorable points for the design of wide box girder. To study the spatial effect of wide box girder, a full-bridge model was formed with solid elements by ANSYS. The difference between the longitudinal forces of webs was analyzed as well as the shear lag effect. The effect of transverse prestress on box girder was also studied. Some useful conclusions are obtained which could provide references for designers.

Key words: super wide box girder; spatial effect; shear lag effect; longitudinal crack