

文章编号:1673-9469(2016)03-0072-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2016.03.015

波形钢腹板 PC 组合连续箱梁桥有限元静力验算

卢兰萍,李澎涛,韩亚杰,陈林

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:以已建成的某波形钢腹板 PC 组合三跨(50 m + 80 m + 50 m)连续箱梁桥为实例,按照该桥的运营情况,采用 Midas/Civil 软件建模及有限元分析,检验和复核这种桥型结构在三种最不利效应组合(短期效应组合、标准值组合和承载能力极限状态基本组合)下的抗弯、抗剪、抗裂、挠度以及腹板的强度变化情况。结果表明其有限元模型在三种最不利荷载组合下,结构能够很好的满足规范和设计文件的要求。

关键词:波形钢腹板;组合箱梁;Midas/Civil;静力验算

中图分类号:U448.3

文献标识码:A

Static checking Of continuous box girder bridge with corrugated steel webs PC combination bridge base on finite element Method

LU Lanping, LI Pengtao, HAN Yajie, CHEN Lin

(College of Civil Engineering Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: According to the example of the combination of three corrugated steel webs(50m + 80m + 50m) across PC continuous box girder bridgewhich has been built and used. According to the bridge after the completion of operations, the Midas / Civil Software finite element modeling was used to make inspection and review of the bending and shear, crack deflection and strength three kinds of the most adverse effects (short-term effects of the combination, and the standard combination of values and ultimate limit state the basic combination). The results show that the structure can well meet the requirements specification and design documents when its finite element model is in condition of the three most adverse effects.

Key words: corrugated steel webs; composite box girder; Midas / Civil; static checking

波形钢腹板 PC 组合箱梁桥是一种符合可持续发展理念的新型钢-混组合结构桥梁形式^[1-2]。然而我国对此类桥梁的认识和研究起步较晚,还主要停留在理论设计方面,对成桥后的实例进行静力验算很少。本文以正在运营的某三跨(50 m + 80 m + 50 m)波形钢腹板 PC 组合箱梁桥为实例,利用 Midas/Civil 有限元软件,建立三维实体的有限元模型,通过对软件的分析,检验和校核该桥的设计是否满足相关规范的要求。

1 桥梁概况

箱梁横向截面采用单室单箱结构形式,纵向立面则采用梁高和底板厚均按二次抛物线形状的布置方式,其中桥面宽 14.012 m,底板宽 7.5 m,

悬臂长 3.006 m,悬臂端厚 0.2 m,根部厚 0.6 m,跨中和根部梁高分别为 2.7 m 和 5.0 m,底板厚度分别为 0.3 m 和 0.7 m;波形钢腹板波纹高度设计为 0.22 m,水平面板宽为 0.43 m,弯折角度为 30.7°,一个波纹长度为 1.6 m,钢板厚度根据承载能力需要,分别采用 10、14、16、18 mm 四种不同型号。箱梁使用的钢材和混凝土分别选用 Q345 钢材和 C50 混凝土。

箱梁采用纵、横双向预应力体系。在箱梁桥纵向,预应力束布置采用体内预应力束与体外预应力束相结合的方式;在箱梁桥横向,则仅采用体内预应力束的布置方式。体内、体外预应力钢束均采 19 ϕ s15.2 类型、标准强度为 1 860 MPa 的低松弛钢绞线,其中体内锚下控制张拉应力为 0.75

收稿日期:2016-03-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51508150)

特约专稿

作者简介:卢兰萍(1964-),女,河北邯郸人,硕士,教授,从事交通专业教学、科研和设计方面的研究。

$\times 1\ 860\ \text{MPa} = 1\ 395\ \text{MPa}$ 。体外锚下控制张拉应力为 $0.65 \times 1\ 860\ \text{MPa} = 1\ 209\ \text{MPa}$ 。

本箱梁桥连接件的设置采用最为常见的PBL剪力键进行连接。

为提高整个箱梁桥的横向抗变形能力和实现预应力钢束转向的目的,箱梁桥边跨设置3道横隔板,中跨设置4道横隔板,横隔板板厚0.5 m。

钢腹板的涂装防腐采用设计寿命不低于25年的除锈后喷铝防腐方案。

2 有限元模型建立^[3-5]

2.1 模型建立

箱梁桥采用Midas/Civil有限元软件,通过输入相应的截面参数、支座条件和预应力钢束状况等来完成结构建模。全模型共划分为73个节点和58个单元,如图1所示。



图1 结构计算模型

Fig. 1 Structure calculation model

2.2 荷载取值及组合

(1) 荷载取值

永久作用:钢筋混凝土顶、底板容重按 $25\ \text{kN/m}^3$ 计;钢材容重按 $78.5\ \text{kN/m}^3$ 计;桥面铺装采用厚度为10 cm 沥青混凝土,其容重按 $24\ \text{kN/m}^3$ 计;单侧护栏重量按 $9\ \text{kN/m}$ 计;箱梁桥的环境相对湿度取80%;支座的不均匀沉降按5 mm计。

可变作用:1.3倍公路-I级车道荷载,设计车道数为6,考虑各种不利情况,取偏载系数1.15。

(2) 荷载组合

根据《公路桥涵设计通用规范》,本次荷载组合选取了三种最不利的效应组合,即短期效应组合、标准值组合和承载能力极限状态基本组合^[6]。

表1 波形钢腹板主要截面承载能力验算表

Tab. 1 The main section bearing capacity of corrugated steel web

位置	f_{cd} /Mpa	b_e /mm	f_{pd} /Mpa	A_{y1} /mm ²	A_{y2} /mm ²	σ_{yu} /Mpa	x /mm	h_{y1} /mm	h_{y2} /mm	M_u /kN·m	rM_u /kN·m	是否 满足
跨中	22.4	14 007	1 260	26 600	24 640	960	106.8	2 575	2 350	138 838, 124 875		满足
墩顶	22.4	8 000	1 260	58 520	24 640	960	411.5	4 830	3 900	428 357, 271 131		满足

3 有限元结果分析

3.1 承载能力极限状态验算

(1) 正截面抗弯承载能力验算

运行Midas/Civil有限元软件,可以得到箱梁桥在承载能力极限状态下的弯矩包络图,如图2所示:

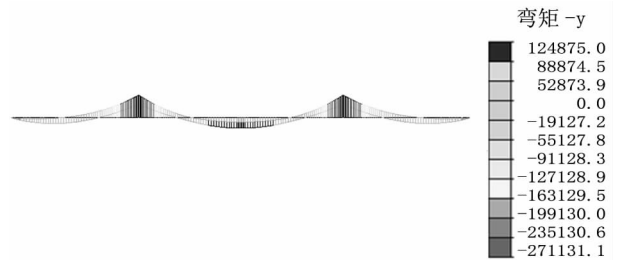


图2 承载能力极限状态下箱梁弯矩包络图(单位:KN·m)

Fig. 2 Moment envelope of box girder under ultimate load capacity (unit: KN·m)

由“平截面假定”可知,波形钢腹板组合箱梁的弯矩近似认为全部由箱梁桥的混凝土顶、底板承担,钢腹板不参与作用^[7]。

由 $\Sigma H = 0$ 得 $f_{cd}b_e x = f_{pd}A_{y1} + \sigma_{yu}A_{y2}$:

式中: f_{cd} 为混凝土轴心抗压设计强度; b_e 为顶、底板有效分布宽度; σ_{yu} 为受拉区体外预应力钢筋的极限应力; $\sigma_{yu} = \sigma_{yk} + \Delta\sigma_{yu}$; σ_{yk} 为扣除各种预应力损失后体外预应力筋的有效预应力; $\Delta\sigma_{yu}$ 为体外预应力筋在极限状态下的应力增量,目前没有简单通用的精确计算方法,偏保守地取 $\Delta\sigma_{yu} = 0$; f_{pd} 为受拉区体内预应力钢筋的抗拉设计强度; A_{y1} 、 A_{y2} 为受拉区体内、体外预应力钢筋面积; h_{y1} 、 h_{y2} 为受拉区体内、体外预应力钢筋合力点到箱梁上缘的距离。

截面抗弯承载力公式为:

$$M_u = f_{pd}A_{y1}(h_{y1} - \frac{x}{2}) + \sigma_{yu}A_{y2}(h_{y2} - \frac{x}{2})$$

主要截面计算结果见表1。

由图2和表1可知,箱梁桥的跨中弯矩值为124 875 kN·m,小于抗弯承载力值138 838 kN·m;箱梁桥的墩顶弯矩值为271 131 kN·m,小于抗弯承载力值428 357 kN·m,所以在承载能力极限

状态下箱梁桥能够满足正截面抗弯的要求。

(2) 斜截面抗剪承载能力验算

波形钢腹板一般由卷材或板材弯折而成,纵向的弹性模量小,基本上不能承受纵向压力,而剪力几乎完全由波形钢板承担,且弯矩和剪力不发生相互作用^[8]。因此无需对该类桥梁进行斜截面抗剪承载能力验算。

3.2 正常使用极限状态验算

(1) 正截面抗裂验算

运行 Midas/Civil 有限元软件,可以得到正常使用极限状态短期效应组合下箱梁桥的截面最大正应力包络图(受拉为正)如图 3、图 4 所示:

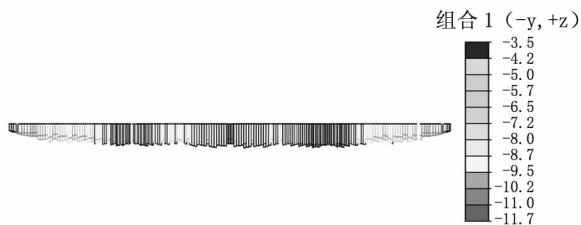


图 3 正常使用状态短期效应组合箱梁桥截面上缘最大应力图(单位: MPa)

Fig.3 The maximum stress of the upper edge of the section of box girder bridge with the short term effect of the normal use state (unit: MPa)

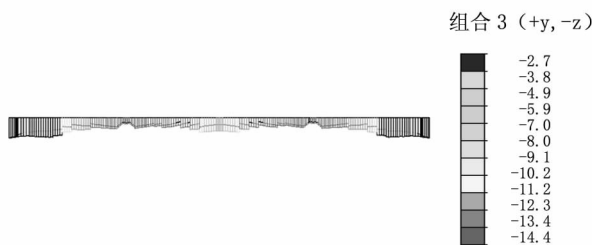


图 4 正常使用状态短期效应组合箱梁桥截面下缘最大应力图(单位: MPa)

Fig.4 The maximum stress of the lower edge of the box girder bridge with the short term effect combination box under the normal use condition (unit: MPa)

由图 3 和图 4 可知,在正常使用状态短期效应组合下箱梁桥截面上缘、下缘均未出现拉应力,能够满足全预应力混凝土构件正截面抗裂验算

要求。

(2) 斜截面抗裂验算

在对箱梁桥进行斜截面抗裂验算时,通常选用弯矩和剪力均较大处作为最不利区段,而在波形钢腹板 PC 组合箱梁结构中,近似认为混凝土顶、底板承担了全部弯矩,钢腹板承担了全部剪力,且弯矩与剪力不发生相互作用。因此不需对箱梁桥进行斜截面抗裂验算。

(3) 挠度验算

运行 Midas/Civil 有限元软件,可以得到箱梁桥在 1.3 倍公路 -I 级荷载作用下的挠度如图 5 所示,挠度验算见表 2(表中挠度以向下为正):

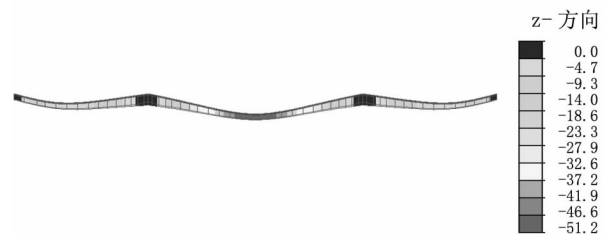


图 5 公路 -I 级荷载作用下钢波纹组合梁竖向位移 (mm)
Fig.5 vertical displacement (mm) of the steel corrugated composite beams under the action of the highway -I

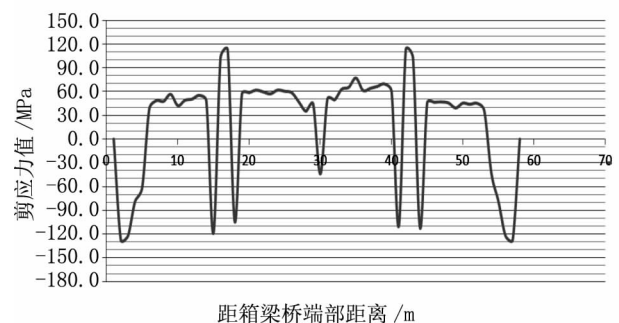


图 6 持久状况下剪应力包络图(单位: MPa)

Fig.6 The envelope of shear stress under the condition of permanence (unit: MPa)

由图 5 和表 2 可知,箱梁桥的挠度最大允许值为 133.3 mm,而箱梁桥的实际挠度值为 73.0 mm,能够满足规范限值的要求。

表 2 挠度验算(单位: mm)

Tab.2 Deflection checking (unit: mm)

项目位置	1.3 倍公路 -I 级	增大系数	最终效应	容许值 $l/600$	是否满足
中跨跨中	51.24	1.425	73.0	133.3	满足

注: l 为计算跨径。

3.3 波形钢腹板抗剪强度验算

运行 Midas/Civil 有限元软件,可以得到钢腹板在持久状况下的剪力包络图,如图 6 所示。

本桥钢腹板采用 Q345 钢材,由于钢板厚度不同,取腹板厚度为 18 mm 时得到的钢材最小容许剪应力为 170 MPa,大于箱梁桥腹板实际的最大剪应力值 127.3 MPa,所以波形钢腹板能够满足抗剪强度的要求。

4 结论

1) 承载能力极限状态下箱梁桥能够满足正截面抗弯和斜截面抗剪的要求。

2) 正常使用极限状态荷载短期效应组合下,箱梁桥正截面和斜截面满足抗裂的要求。

3) 1.3 倍公路 - I 级荷载作用下,箱梁桥的最大挠度能够满足规范限值的要求。

4) 持久状况下箱梁桥钢腹板的抗剪能力能够满足对腹板抗剪强度的要求。

参考文献:

- [1] 闫鹏. 波形钢腹板 PC 组合弯箱梁桥力学性能研究 [D]. 西安:长安大学,2011.
- [2] 栗国君. 波形钢腹板 PC 组合连续箱梁桥的静动力特性分析研究 [D]. 成都:西南交通大学,2010.
- [3] 顾安邦,徐君兰. 波形钢腹板组合箱梁桥的结构与受力分析[J]. 重庆交通学院学报,2005,24(2):30-32.
- [4] 宋建永,张树仁,王宗林. 波纹钢腹板体外预应力组合梁全过程分析[J]. 哈尔滨工业大学学报,2008,30(3):52-55.
- [5] 陈宝春,黄卿维. 波形钢腹板 PC 箱梁桥应用综述[J]. 中国公路学报,2012,12(4):28-31.
- [6] JTG D60-2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [7] 仁顺,李文虎,任大龙. 波形钢腹板 PC 组合连续箱梁桥有限元静力分[J]. 中国公路学报,2013,3(2):17-21.
- [8] 窦胜谭. 波形钢腹板连续刚构桥 PBL 剪力键试验与理论研究 [D]. 成都:西南交通大学,2014.

(责任编辑 王利君)

(上接第 71 页)

学报,2012,33(7):156-163.

[4] 叶燕华,孙锐. 预制墙板内现浇自密实混凝土叠合剪力墙抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2014,35(7):138-144.

[5] BCNAYOUNG A, SAMAD A A A. Structural behaviour of eccentrically loaded precast sandwich panels Construction and Building Materials,2006,20(9):713-724.

[6] 杨联萍,余少乐,张其林,等. 不同轴压比下叠合板式剪力墙结构抗震性能分析[J]. 振动与冲击,2016,35(9):227-239.

[7] ORAKCAL, K., MASSONE, L. M. WALLACE, J. W. Analytical modeling of reinforced concrete walls for predicting flexural and coupled shear - flexural responses [R]. PEER Report 2006/07, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, October 2006.

[8] ALFONSO VULCANO, VITELMO V. bertero. Analytical models for predicting the lateral response of RC shear walls evaluation of their reliability [R]. Report No. UCB/EERC,1987.

(责任编辑 李军)