

文章编号: 1000-4750(2009)Sup.I-0115-04

我国几座波形钢腹板 PC 组合箱梁桥的设计与建造

*李淑琴¹, 陈建兵², 万 水¹, 陈华利¹

(1. 东南大学交通学院桥梁与隧道工程专业, 江苏, 南京 210096; 2. 苏州科技学院土木工程系, 江苏, 苏州 215011)

摘 要: 波形钢腹板 PC 组合箱梁桥是一种新型结构, 由波形钢腹板、体外预应力束、波形钢腹板与上混凝土翼板、下混凝土翼板的抗剪连接件等组成。该文结合 2007 年以来我国已建成的 1 座和在建的 2 座波形钢腹板 PC 组合箱梁桥, 介绍了波形钢腹板组合桥梁的设计要点。为以后类似工程提供了有益的参考。希望能引起桥梁工作者更为广泛的关注, 促进该桥型在我国的桥梁建设中得到更加广泛的应用。

关键词: 桥梁工程; 波形钢腹板; PC 连续箱梁; 剪力件; 屈曲

中图分类号: U448.21⁺3 **文献标识码:** A

APPLICATION OF THE PRE-STRESSED CONCRETE BOX-GIRDER WITH CORRUGATED STEEL WEBS IN BRIDGE ENGINEERING IN CHINA

*LI Shu-qin¹, CHEN Jian-bing², WAN Shui¹, CHEN Hua-li¹

(1. Bridge and Tunnel Engineering in Transportation College of Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China;

2. Civil Engineering Department of Suzhou Science & Technology College, Suzhou, Jiangsu 215011, China)

Abstract: The pre-stressed composite box-girder with corrugated steel webs is a new kind of structure, which includes corrugated steel webs, external prestressed cables and shear connectors that connect the corrugated steel webs and the concrete flange slabs. In this paper three pre-stressed composite box-girder bridges with corrugated steel webs in China are introduced from 2007, Design experiences about the bridges are summarized, and their constructions are discussed. It has provided the beneficial reference for the later similar project. More attention should be given to this kind of structure by bridge engineers so that it can be widely used in the bridge engineering in China.

Key words: bridge engineering; corrugated steel webs; continuous box-girder bridge; sheer connector; flexure

波形钢腹板 PC 箱梁桥是 20 世纪 80 年代出现的一种新型桥梁, 其所具有的区别于普通混凝土箱梁的独特特征主要表现在采用波形钢腹板、体外预应力束、波形钢腹板与上混凝土翼板、下混凝土翼板的抗剪连接件等三个方面。波形钢板即折叠的钢板, 具有较高的剪切屈曲强度^[1], 用他作为混凝土箱梁的腹板, 不但充分满足了腹板的力学性能要求, 而且大幅度的减轻了主梁自重, 缩减了包括基

础在内的下部结构所承受的上部恒载, 进而降低了工程总造价。另外, 波形钢板纵向伸缩自由的特点使得其几乎不抵抗轴向力, 能更有效的对混凝土桥面板施加预应力, 提高了预应力效率。此外, 在施工中, 他减少了大量的支架、模板和混凝土浇注工程, 省去了施工时在腹板中布置钢筋、预埋管道、设置模板等繁杂工作, 从而方便了施工, 缩短了工期。正因为波形钢腹板 PC 箱梁桥具有如此优越的

收稿日期: 2008-03-20; 修改日期: 2008-12-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(50078014); 江苏省建设厅基金项目(JS200415)

作者简介: *李淑琴(1982—), 女, 安徽人, 博士生, 主要从事桥梁工程研究(E-mail: 123-lishuqin@163.com);

陈建兵(1967—), 男, 江苏人, 讲师, 学士, 主要从事桥梁工程研究(E-mail: cjb6812@yahoo.com.cn);

万 水(1960—), 男, 江苏人, 教授, 博士, 博导, 主要从事桥梁工程研究(E-mail: wanshui60421@yahoo.com);

陈华利(1985—), 男, 湖北人, 硕士生, 主要从事桥梁工程研究(E-mail: 2004chenhuali@163.com).

结构受力和施工性能, 工程中可获得良好的经济效益, 所以该桥型在国外发展迅速, 已由最初的简支梁发展到后来的连续刚构、斜拉桥等, 截面也由等高度发展为变高度。近年来, 在国内一些科研单位的推动下, 这种桥梁结构型式在我国也已得到了发展和应用。2005年1月完成了波形钢腹板PC连续箱梁人行桥-长征桥的建造^[1], 2005年7月完成了波形钢腹板PC连续箱梁公路桥-浞河桥的建造^[2-5]。2007年5月完成了简支变截面波形钢腹板PC组合箱梁人行桥-银座桥的建造^[6]。2007年正在建的有英峪沟2号桥和郟城黄河特大桥。

1 银座人行桥

位于山东省东营市东城区的银座城市广场为一新建城市商业中心, 广场北、西、南三面环水, 为人工开挖的运河。本桥跨越城市广场西侧的运河, 与东三路连接, 是广场西侧行人进出商业中心的主要通道, 行人密集。桥址处地面标高为+5.00m, 运河最高水位+2.80m, 运河中要求可通过小型游船, 因此运河中心线处桥梁底标高不低于4.60m。

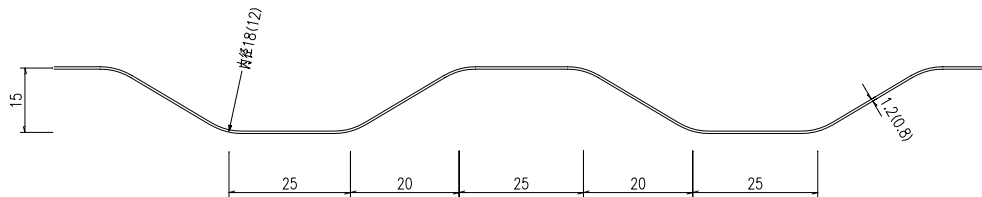


图1 波形钢腹板截面尺寸

Fig.1 The size of corrugated steel webs' section

1.3 抗剪连接件设计

腹板与混凝土顶板、底板的连接可靠度, 是波形钢腹板组合箱梁设计的关键。本桥采用焊钉与贯通钢筋结合的柔性连接件, 见图2。

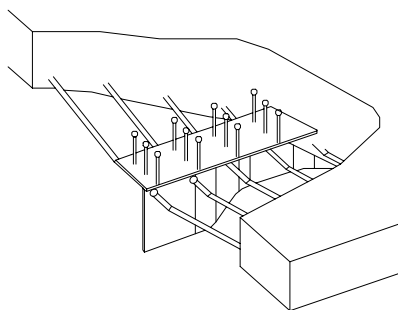


图2 东营桥连接键

Fig.2 Dongyin bridge's shear connector

在方案设计的过程中考虑了桥梁美学的因素, 这也是今后桥梁设计的趋势。本桥充分体现了波形

运河宽约40m, 两侧河岸均为混凝土重力式挡墙, 东岸挡墙铅直, 西岸挡墙前设浆砌块石护坡。根据城市规划要求, 桥梁宽6m, 一跨过河。桥址位于盐碱地上, 空气中氯离子分含量较高, 对钢结构的防腐要求较高。桥型采用了顶板、底板均为弧形箱梁作为主梁的方案, 跨径为38m, 跨中高跨比1/19, 梁端高跨比1/31.67, 结构具有很强的张力感。

1.1 主梁整体设计

本桥箱梁纵向预应力采用体内束、体外束混合配筋: 体内束为4束 $8\phi^{15.24}$ 普通低松弛钢绞线, 张拉控制应力1260MPa; 体外束为3束OVM-S4-12环氧喷涂无粘结成品束, 张拉控制应力930MPa。体内束平行底板, 体外束在梁端向上弯起^[6]。

1.2 波形钢腹板设计

波形钢腹板的形状尺寸是按照剪切屈服前不能发生剪切屈曲、极限荷载作用时不能发生剪切屈曲的两个条件设计的, 同时考虑桥梁很小刚度等综合因素。根据国内外已建成波形钢腹板桥梁资料, 拟定本桥箱梁波形钢腹板尺寸如图1, 并对其相关项目的验算。

钢腹板箱梁所具有的自重小、跨越能力较强、外形具立体感等优点。

2 郟城黄河公路大桥

郟城黄河大桥主桥(70m+11×120m+70m)是国内已建成和在建的跨径最大、世界上规模最大的波形钢腹板PC组合多跨连续箱梁桥。大桥采用悬臂浇注方法施工, 首先在支架上现浇0#块, 然后拼装挂篮, 两侧对称悬浇施工1#块-10#块, 最后按一定顺序浇注合龙块并张拉合龙钢绞线形成连续结构; 形成连续结构后张拉体外预应力钢束并施工桥面附属结构, 形成永久结构^[7-8]。

2.1 主梁整体设计

主梁为波形钢腹板钢混组合结构, 混凝土部分采用C50混凝土, 钢腹板采用Q345qd钢材。预应力筋采用低松弛优质钢绞线, 钢绞线弹性模量取

1.95×105MPa，钢绞线采用规范标准，标准强度1860MPa，主桥箱梁顶板、底板钢束张拉吨位采用钢绞线标准强度的75%，箱梁体外钢束张拉吨位采用钢绞线标准强度的60%。箱梁顶宽13.5m，箱梁顶部为2%的双向横坡，底宽6.5m。顶板厚25cm，

底板厚80cm变化到25cm由根部断面呈二次抛物线变化到跨中断面。箱梁根部梁高7m，跨中梁高3m，梁高采用二次抛物线变化，断面呈二次抛物线变化到跨中断面。箱梁根部梁高7m，跨中梁高3m，梁高采用二次抛物线变化，上部结构总体布置见图3。

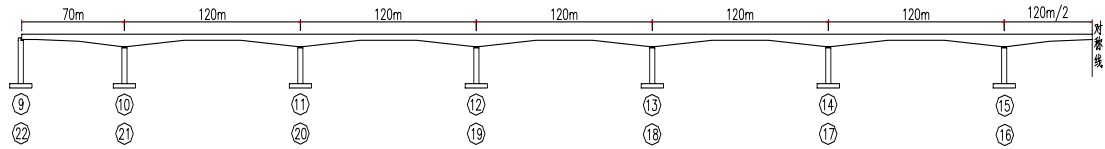


图3 郟城桥上部结构

Fig.3 Superstructure general of Juancheng bridge

2.2 波形钢腹板设计

在初步设计中，郟城黄河大桥主桥波形钢腹板PC组合箱梁的波形钢腹板采用Q345qd钢材，几何控制参数如表1所示。

表1 郟城黄河大桥主桥波形钢腹板控制参数
Table 1 Corrugated steel webs controlled variable

箱梁节段	腹板最大高度 h/mm	腹板厚 t/mm	钢腹板波形/mm			
			a1	a2	a3	d
0	混凝土腹板					
1	混凝土与波形钢板组合腹板					
2	4253	16	430	370	430	220
3-8	3787	14	430	370	430	220
9-11	1729	10	430	370	430	220

2.3 抗剪连接件设计

郟城黄河大桥采用悬浇施工工艺，工作环境较预制厂差，因此可施工性是剪力键选型的重要因素。埋入式抗剪连接件可施工性好，传力均匀，工艺成熟，因此初步设计选用其作为郟城黄河大桥主桥箱梁波形钢板与混凝土顶板、底板的抗剪连接件，见图4。

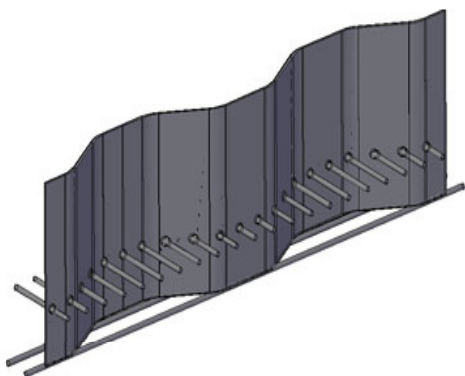


图4 埋入式连接件

Fig.4 The embedded type shear connector

3 英峪沟桥

在建的英峪沟2号桥为三孔(25m+65m+25m)

现浇波形钢腹板PC组合连续箱梁桥(图5)。设计荷载：公路—II级，桥面净宽：净—7m。桥梁纵向按1.9%设计，横向坡度均为1.5%，采用“桥梁博士”进行结构设计计算，支点剪力验算按简支板为设计依据。桥面结构按连续梁计算。按全预应力构件设计。采用空间有限元程序进行内力验算。



图5 英峪沟2号桥效果图

Fig.5 Yingyugou 2nd bridge effect drawing

3.1 波形钢腹板设计

波形钢腹板的形状尺寸是按照剪切屈服前不能发生剪切屈曲、极限荷载作用时不能发生剪切屈曲的两个条件设计的，同时考虑桥梁横向刚度等综合因素以拟定尺寸^[9-11]，并对其进行相关项目的验算。根据国内外已建成波形钢腹板桥梁资料，英峪沟2号桥波形钢腹板采用10mm的Q345 D级低合金结构钢板弯折成型，波长为1.2m，波高20cm。采用OVM永久性体外预应力体系配套的锚具和常规的有粘结OVM锚具体系。

3.2 抗剪连接件设计

腹板与混凝土顶板、底板的连接可靠度，是波形钢腹板组合箱梁设计的关键。英峪沟2号桥中波形钢腹板与混凝土顶底板的连接分别采用了S-PBL+栓钉以及栓钉抗剪连接件的形式(图6)。

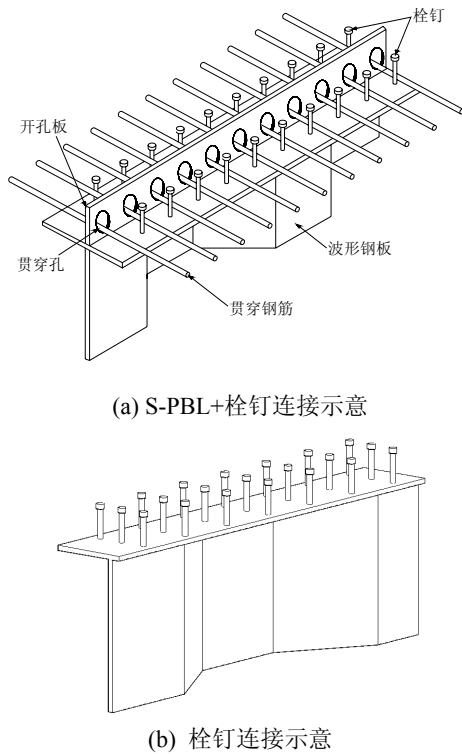


图 6 波形钢腹板砼顶底板的连接

Fig.6 Corrugated steel webs connects with the top and lower concrete wall's

4 结论

目前我国建成的波形钢腹板箱梁桥虽然为数不多,但我国是一个地形复杂的国家,特别是随着西部大开发战略决策的实施,寻求一种“轻质、高强、长效”的桥梁结构形式,满足建设要求,显得尤为重要^[4-5]。而波形钢腹板组合箱梁恰恰具有轻型化、装配化、美观和施工方便,并与西部的生态环境相协调的特点,所以,可以预想波形钢腹板箱梁在我国将有更为广阔的应用空间。

参考文献:

- [1] 袁安华, 陈建兵, 万水, 卢炳灿. 波形钢腹板 PC 组合连续箱梁人行桥设计介绍[J]. 苏州科技学院学报(工程技术版), 2004, 17(3): 55—58.
Yuan Anhua, Chen Jianbing, Wan Shui, Lu Bingcan. On a design of pre-stressed concrete composite continuous box-girder footbridge with corrugated steel webs [J]. Journal of University of Science and Technology of Suzhou (Engineering and Technology), 2004, 17(3): 55—58. (in Chinese)
- [2] 李宏江, 万水, 叶见曙. 波形钢腹板 PC 组合箱梁的结构特点[J]. 公路交通科技, 2002, 19(3): 53—57.
Li Hongjiang, Wan Shui, Ye Jianshu. Structural features of prestressed concrete box-girder with corrugated steel webs [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2002, 19(3): 53—57. (in Chinese)
- [3] 喻文兵, 陈建兵, 万水, 袁安华. 波形钢腹板 PC 组合箱梁试验全过程分析[J]. 苏州科技学院学报(工程技术版), 2004, 17(2): 41—45.
Yu Wenbing, Chen Jianbing, Wan Shui, Yuan Anhua. Analysis of the full experimental process of pre-stressed concrete box-girder with corrugated steel webs [J]. Journal of University of Science and Technology of Suzhou (Engineering and Technology), 2004, 17(2): 41—45. (in Chinese)
- [4] Wan Shui, Chen Jianbing, Yu Wenbing, Yuan Anhua. Experimental study and design of prestressed concrete box-girder with corrugated steel webs [C]. IABSE Symposium 2004 Metropolitan Habitats and Infrastructure, Shanghai, China, 2004: 278—281.
- [5] Wu Wenqing, Ye Jianshu, Wan Shui. Flexural calculation mode for composite box girder with corrugated webs [C]. IABSE Symposium 2004 Metropolitan Habitats and Infrastructure. Shanghai, China, 2004: 282—283.
- [6] 朱高波, 李淑琴, 万水. 波形钢腹板 PC 组合箱梁简支人行桥设计[C]. 第 16 届全国结构工程会议文集(II), 太原, 2007.
Zhu Gaobo, Li Shuqin, Wan Shui. On a design of pre-stressed concrete composite continuous box-girder footbridge with corrugated steel webs [J]. Proceedings of the Sixteenth National Conference on Structural Engineering (No. II), Taiyuan, 2007. (in Chinese)
- [7] 朱高波. 悬臂施工波形钢腹板 PC 组合连续箱梁桥的设计研究[D]. 南京: 东南大学, 2007.
Zhu Gaobo. A dissertation submitted to southeast university for the academic degree of master of engineering [D]. Nanjing: Southeast University, 2007. (in Chinese)
- [8] 李淑琴, 朱高波, 万水. 某黄河大桥主桥上部结构有限元静力分析[J]. 公路交通科技, 2009, 16(4): 42—46.
Li Shuqin, Zhu Gaobo, Wan Shui. Static analysis of a Yellow River Bridge's main superstructure using the finite element method [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 16(4): 42—46. (in Chinese)
- [9] 刘岚, 崔铁万. 本谷桥的设计与施工——采用悬臂架施工法的波纹形钢腹板预应力混凝土箱梁桥[J]. 国外桥梁, 1999(3): 18—25.
Liu Lan, Cui Tiewan. Design and construction of Bengu bridge [J]. Foreign Bridges, 1999(3): 18—25. (in Chinese)
- [10] 波形鋼板ウェブ PC 橋計画マニュアル(案). 東京: 波形鋼板ウェブ PC 橋合成構造研究会, 1998.
PC bridge with corrugated steel webs planned [maniyuaru] (plan). TOKYO: Research Institute of the Composite Girder Bridge with Corrugated Steel Web, 1998. (in Japanese)
- [11] 金子人. パーフォボンドリブ接合を採用した波形鋼板ウェブ橋の施工うらつぶがわ—道央道遊楽部川橋(PC 上部工)工事. 東京: 波形鋼板ウェブ PC 橋合成構造研究会, 1998, 73.
Jin Zi-Renzi. PAFOBONDORIBU junction adopted corrugated steel web wart construction of the bridge TOKYO: Research Institute of the Composite Girder Bridge with Corrugated Steel Web, 1998, 73. (in Japanese)