

五板波形钢腹板 PC 组合箱梁在桥梁工程中的应用

郑建荣¹, 王淑妹¹, 袁安华²

(1. 福建农林大学 交通学院, 福州 350002; 2. 福州市规划设计研究院, 福州 350003)

摘要: 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PC组合桥梁的设计要点, 为这种结构在我国桥梁工程的应用提供参考。

关键词: 波形钢腹板; PC连续箱梁; 桥梁工程

中图分类号: U448.213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-0143(2008)02-0050-04

0 引言

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, 它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、波形钢腹板与上下混凝土翼板的抗剪连接件三个方面。波形钢板即折叠的钢板, 具有较高的剪切屈曲强度^[1], 用它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, 能更有效地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, 它减少了大量的支架、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—泼河桥的建造^[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、卫河大桥和鄆城黄河特大桥等。

1 银座桥

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+5.00 m, 运河最高水位+2.80 m, 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4.60 m。运河宽约40 m, 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6 m, 一跨过河。桥址位于盐碱地上, 因空气中氯离子含量较高, 故对钢结构的防腐要求较高。桥型采用了顶、底板均为弧形箱梁作为主梁的方案, 跨径为38 m, 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、体外束混和配筋: 体内束为4束8 Φ 15.24普通低松弛钢绞线, 张拉控制应力1260 MPa; 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930 MPa。体内束平行底板, 体外束在梁端向上弯起^[6]。

收稿日期: 2008-02-28

作者简介: 郑建荣(1964-), 男, 福建永泰人, 副教授, 主要从事桥梁、道路的研究。

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,并对其相关项目进行验算.

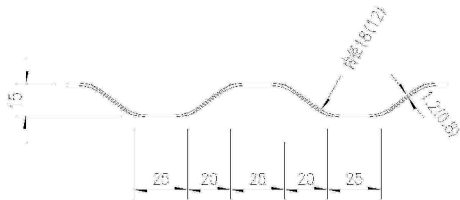


图1 波形钢腹板截面尺寸

1.3 抗剪连接件设计

腹板与混凝土顶、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).

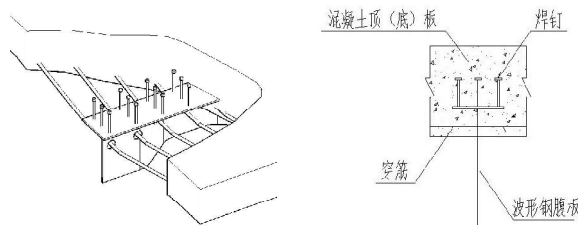


图2 波形钢腹板连接件示意图

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.建成的东营桥如图3所示.



图3 建成的东营桥

2 郓城黄河公路大桥

郓城黄河大桥主桥(70 m + 11×120 m + 70 m)

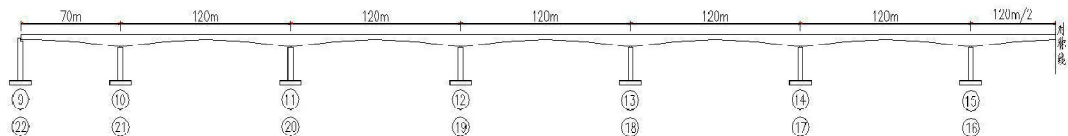


图4 上部结构总体布置图

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.

2.3 抗剪连接件设计

郓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郓城黄

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#~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].

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1.95×10⁵ MPa,钢绞线采用规范标准,标准强度1860 MPa,主桥箱梁顶、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13.5 m,箱梁顶部为2%的双向横坡,底宽6.5 m.顶板厚25 cm,底板厚80~25 cm,由根部断面呈2次抛物线变化到跨中断面.箱梁根部梁高7 m,跨中梁高3 m,梁高采用2次抛物线变化,上部结构总体布置见图4.

2.2 波形钢腹板设计

在初步设计中,郓城黄河大桥主桥波形钢腹

河大桥主桥箱梁波形钢板与混凝土顶、底板的抗剪连接件,见图5.

3 英峪沟2号桥

在建的英峪沟2号桥为三孔(25+65+25 m)现浇波形钢腹板PC组合连续箱梁桥(图6).设计荷载:公路II级,桥面净宽7 m.桥梁纵向按

表1 鄂城黄河大桥主桥波形钢腹板控制参数

| 箱梁节段 | 腹板最大高度 h/mm | 腹板厚 t/mm | 钢腹板波形/mm | | | |
|------|-------------------------|----------------------|--------------|-------|-------|-----|
| | | | a_1 | a_2 | a_3 | 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 |

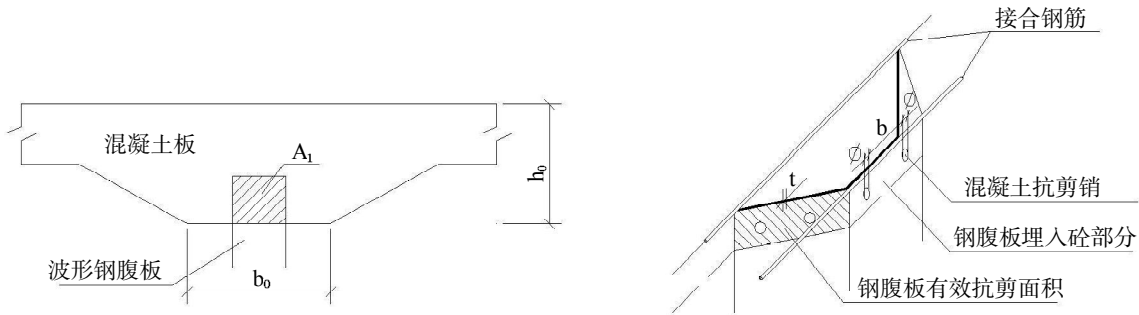


图5 埋入式抗剪连接件

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6 英峪沟2号桥效果图

3.1 主梁整体设计

上部结构采用现浇波形钢腹板预应力混凝土箱梁, 为满堂支架现浇施工. 本桥箱梁纵向预应力采用体内、体外束混和配筋. 预应力钢筋采用低松弛高强度预应力钢绞线, 单根钢绞线直径 $\Phi 15.2 \text{ mm}$, 钢绞线面积 $A = 139 \text{ mm}^2$, 钢绞线标准强度 $f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$, 弹性模量 $E_y = 1.95 \times 10^5 \text{ MPa}$. 体内束钢绞线采用常规的有粘结预应力体系. 体外束钢绞线采用环氧涂层钢绞线, 永久性体外预应力体系.

3.2 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, 同时考虑桥梁横向刚度等综合因素以拟定尺寸, 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8~10 mm的Q345 D级低合金结构钢板弯折成型. 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. 箱梁波形钢腹板尺寸见图7.

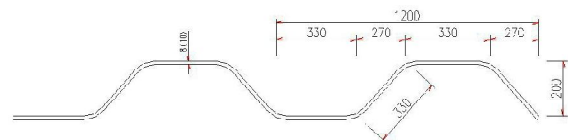
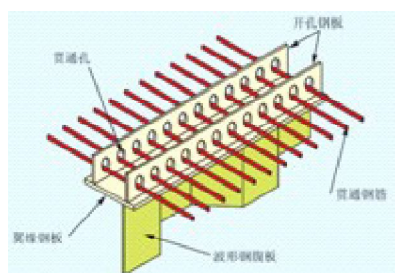


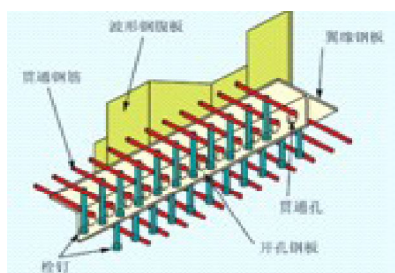
图7 波形钢腹板截面尺寸

3.3 抗剪连接件设计

腹板与混凝土顶、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Twin-PBL和S-PBL抗剪连接件的形式(图8).



(a) Twin-PBL 键连接(与砼顶板)



(b) S-PBL 栓钉连接(与砼底板)

图8 波形钢腹板砼顶、底板的连接

4 结语

从法国、日本及我国已建成的波形钢腹板箱梁桥来看,无论是结构形式、预应力体系,还是施工工艺,都有其独到之处,该结构充分发挥了混凝土抗压高,体外预应力摩擦损失小、施工方便,波形钢腹板抗剪强度高、自重轻和在桥轴方向对主梁的伸缩无约束等显著的优点,同比相同跨径的结构,自重减轻25%~30%。而且桥型已由开始的梁式桥发展到斜拉桥,因此,有学者预言波形钢腹板构成的箱梁桥发展前景将非常乐观。虽然目前我国仅建成两座波形钢腹板箱梁

桥,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,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,等. 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.
- [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.
- [3] 喻文兵,陈建兵,万水,等. 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.
- [4] WAN S, CHEN J B, YU W B, et al. Experimental study and design of prestressed concrete box-girder with corrugated steel webs [C]// IABSE. Symposium 2004 Metropolitan Habitats and Infrastructure. Shanghai: IABSE, 2004: 278-281.
- [5] WU W Q, YE J S, WAN S. Flexural calculation mode for composite box girder with corrugated webs [C]//IABSE. Symposium 2004 Metropolitan Habitats and Infrastructure. Shanghai: IABSE, 2004:282-283.
- [6] 朱高波,李淑琴,万水. 波形钢腹板人行桥设计[C]//中国力学学会. 第16届全国结构工程会议文集. 太原:中国力学学会结构工程专委会,2007.
- [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.

Application of Five Prestressed Concrete Composite Box-Girder with Corrugated Steel Webs in Bridge Engineering

ZHENG Jian-rong¹, WANG Shu-mei¹, YUAN An-hua²

(1. School of Communication, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Fuzhou Planning Design and Research Institute, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Through the actual experience of three bridges of the prestressed concrete composite box-girder with corrugated steel webs, which one had been accomplished and two are being constructed, the part and parcel in designing are brought forward, and some important experience and lesson are acquired for future reference by using the PC composite box-girder with the corrugated steel webs in the bridge engineering in China.

Key words: corrugated steel web; PC composite box-girder; bridge engineering

(责任编辑: 范建凤)