

浦东运河连续梁桥混合梁结合部设计

黄智华, 张大伟, 汪 浩

(上海浦东建筑设计研究院有限公司, 上海市 201206)

摘 要: 川周公路浦东运河采用的钢混混合连续梁桥的总体布置和主梁设计, 对连续梁桥钢混结合段设计进展进行了文献综述。在此基础上, 对川周公路浦东运河桥的钢混结合段的总体设计、预应力布置、钢格室构造、竖向抗剪构造等进行了选型分析及布置介绍。目前已建成的桥采用单箱单室断面, 而浦东运河桥断面较宽, 采用的是单箱四室断面, 因此需要进行特殊设计, 在构造上具有一定的创新性。为了分析证明结构设计合理性及安全性, 对于钢混结合段的受力分析及部分结果进行了简介。

关键词: 川周公路浦东运河桥; 连续混合梁桥; 钢混结合部; 设计; 有限元分析

中图分类号: U448.21

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0160-05

Design of Composite Beam Combined Segment for Continuous Beam Bridge of Pudong Canal

HUANG Zhihua, ZHANG Dawei, WANG Hao

(Shanghai Pudong Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: The overall layout and main beam design of the steel-concrete composite continuous beam bridge is adopted for the Pudong Canal in the Chuanzhou Highway. The design of the steel-concrete combined segment of continuous beam bridge is reviewed. Based on the above summary, the modeling analysis and layout introduction are conducted for the overall design, prestressing arrangement, steel grid-cell structure and vertical shear resistance structure of steel-concrete combined segment of this bridge. At the present, the single-box single-chamber cross section is adopted for the built bridge. Due to the wider cross section of the Pudong Canal, the single-box four-chamber cross section is used. Therefore, the special design is required, and the structure should be innovated. In order to analyse and verify the safety and rationality of the structural design, the stress analysis and partial results of steel-concrete composite segment are briefly introduced.

Keywords: Pudong Canal Bridge in Chuanzhou Highway; continuous composite beam bridge; steel-concrete combined segment; design; finite element analysis

0 引 言

随着大跨径桥梁的快速发展, 以及钢混结合段技术的不断研究和应用, 钢混混合梁在桥梁中应用越来越多。

钢混结合段在斜拉桥已有大量的实践, 例如鄂东长江大桥等^[1-5], 这些一般采用带格室和后承压板的结合部构造, 这种结合部的优点有: 连接件抗剪作用能充分发挥、混凝土主梁与钢格室可形成连续构造、结合处较小的应力集中等^[6-7]。一些悬索桥也采用混合梁^[8]。但钢混混合连续梁相对建造较少。

在城市桥梁或其他中等跨径的桥梁中, 预应力

混凝土连续梁桥应用越来越多^[10-15], 在中跨跨中部分可以采用钢结构, 可以减轻自重, 从而减小结构梁高, 充分发挥钢与混凝土各自的优势, 形成钢混混合连续梁桥。

上述混合梁钢混结合段都是单箱室的, 对于较宽的城市桥梁, 采用单箱多室的研究很少。本文结合具体工程项目来对单箱多室的钢混结合部设计进行介绍和分析。

1 工程概况

1.1 桥型方案

川周公路(河滨路—川南奉公路)新建工程跨越规划浦东运河、通航净空宽度不小于 65 m, 规划河口宽 85 m, 主桥中跨跨径为 100 m, 本工程可适用的桥型方案有钢-混凝土混合连续梁桥、预应力钢筋混凝土

收稿日期: 2025-03-05

作者简介: 黄智华(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计

接件发挥作用充分,传力明确,结合面应力集中较小,格室内主梁与混凝土梁形成连续构造^[6]。重庆石板坡长江大桥^[10-11]为330 m主跨的钢混混合梁连续刚构桥,结合部采用后承压板填充混凝土式,钢箱梁连接处的底板、腹板和顶板形成两壁板。盛新大桥^[12]的钢-混凝土接头采用预应力钢束连接,顶、底、腹板做成双壁板。瓯江大桥^[13]、安海湾特大桥^[14-15]分别为主跨200 m和300 m的连续钢构桥,均采用有钢格室的后承压力板构造。浏港大桥^[16]为主跨135 m的混合连续梁,采用前后承压力板与有钢格室组合方式。

综上可知有格室的后承压板式在钢混连续梁中应用相对较多,也较为合理,另外由于前后承压板式构造较为复杂采用的必要性不大,因此本桥采用有格室的后承压板式。其立面、断面布置如图5、图6所示。

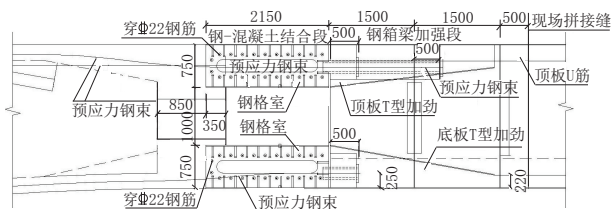


图5 钢-混结合段立面剖面图(单位:mm)

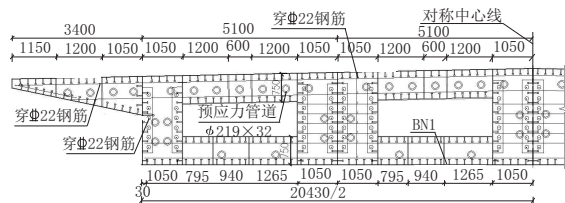


图6 钢-混结合段断面图(单位:mm)

上述钢混混合连续梁桥主梁均为单箱单室构造,本工程川周公路浦东运河桥主梁为单箱四室结构,需要结合实际工程特点,设计相应合理的钢混结合部构造。

混凝土箱梁在结合部处设置横梁,以加强该部位传力。由于钢混结合部梁体刚度大,钢箱梁截面刚度小,需要设置钢箱梁加强过渡段来适应刚度的顺畅变化,通过顶、底、腹板局部加厚的方式过渡、加劲肋加高加强的方式实现刚度过渡。结合部的顶、底板加厚到750 mm,腹板单侧加厚到1050 mm,中腹板共2100 mm。加高部位的加劲肋采用T型肋。T型肋深入到U肋内部,T型肋长度约3000 mm,高度从U肋处逐渐加高到与结合部混凝土顶板同高750 mm。

2.2 预应力钢束

连续梁相比斜拉桥,在纵桥向受力以弯矩为主,

因此结合部顶板容易受到拉力作用,可采用预应力钢束连接混凝土和钢结构部分,达到钢混结合部全截面受压,并使得承压板发挥作用。通过上述构造,主梁的弯矩和轴力转化为顶底板格室的纵桥向轴向力传递,该轴向力由顶底板格室内的剪力连接件及承压板来共同承担。

预应力钢束顶板束从混凝土梁的负弯矩区延伸至结合部,如图5所示,主要抵抗混凝土梁的负弯矩,同时使结合部受压,横向间距和钢梁U肋间距相同,为600 mm,穿过结合部后,分别锚固于承压板后500 mm处及2000 mm处,分散局部锚固应力。伸出结合部外部采用钢管作为锚管。为使得钢格室底板也受压,底板处也设置局部预应力短束,数量较少。

混凝土梁预应力顶板钢束同时在结合部处采用下弯构造,向下斜穿结合部,锚固于承压板后,主要考虑预应力下弯束抗剪。

2.3 钢格室

结合部的顶底板混凝土灌注入钢腹板与顶底板形成的钢格室,格室钢腹板设置圆孔洞,其中贯穿钢筋从而形成开孔板连接件,格室上下钢板设置焊钉连接件。结合部采用剪力钉、开孔剪力板连接件,使得钢梁与混凝土结构得以结合和过渡并传递剪力,从而延长了结合部的传力路径。

参考瓯江大桥^[13]及盛新大桥^[12]等桥梁的钢格室构造尺寸,综合考虑受力、施工等需要,川周公路桥取顶、底板钢格室长度为2150 mm,格室高度为750 mm。结合钢梁纵向U肋间距600 mm,底板纵肋间距470 mm,取顶板格室的横桥向分隔间距为1200 mm或600 mm,底板格室的分隔间距一般为940 mm。

2.4 结合部混凝土抗裂

根据工程设计经验及计算,混凝土除常规钢筋外,重点考虑设置3类抗裂钢筋。第一是一端伸入钢格室内,另一端伸入混凝土梁段的纵向钢筋,有利于纵向抗裂。第二是混凝土加强段表面设置竖向及横向抗裂钢筋。第三是混凝土箱梁壁板与混凝土横梁倒角内表面处设置斜向抗裂钢筋。

结合部传剪构造,除钢格室板开孔剪力板传力外,同时格室及主梁顶、底、腹板设置剪力钉,增加传力途径,减小应力集中。

另外,钢混结合部混凝土掺入铣削型钢纤维,增强内部的抗裂性。

2.5 竖向抗剪设计

由于连续梁桥存在较大的竖向剪力,还有一定

的扭矩,对于主梁竖向剪力及扭矩的传递,需要考虑选用合理的结合部竖向剪力传力构造。

上述文献综述中所提到的桥梁均为单箱单室断面,其腹板均为边腹板,而本桥为单箱四室宽桥断面,腹板有两道边腹板和三道中腹板,因此在中腹板设计上,需要创新性的设计合理的构造措施来处理。

在三道边腹板位置,采取与前述石板坡大桥、盛新大桥、瓯江大桥等类似做法,设置内外双侧板形成钢格室,外侧板与钢梁外腹板对齐。中腹板处,采用中板与钢梁腹板对齐,参考边腹板的设计思路,考虑到采用格室构造,更多的侧板增加了剪力传力途径,降低了应力集中,受力更为可靠。因此在中腹板处,采用中板及左右两侧板组合形成两格室的构造传力。在中板开设圆孔,穿 22 钢筋,形成开孔板剪力键。

为了减小混凝土局部应力,增加剪力传力途径,增加剪力键的数量,在上述中腹板的中板及左右两侧板均设置竖向加劲肋,加劲肋为开孔板并贯穿纵桥向钢筋提供抗剪能力,如图 6 所示。外侧腹板的做法与此类似。另外,采用的 50 mm 厚后承压板上同时布置剪力钉,传递局部竖向剪力。

3 钢混结合部分析

3.1 结合部有限元分析模型

ABAQUS 有限元模型混凝土梁段 4.35 m,钢混结合部 2.15 m,钢梁段约 3.0 m,总长约 9.5 m。焊钉连接件与开孔连接件采用三向弹簧单元,连接混凝土和钢板,模拟连接件面内两个方向剪切及法向拉伸作用。考虑竖向剪力最大的受力工况。

3.2 内填混凝土受力分析

格室混凝土顺桥向正应力分布如图 7,与后承压力板、U 型加劲肋和 T 型肋接触处由于混凝土受到挤压作用应力水平略大,在预应力锚固处可见较大的应力集中,其他部位压应力均在 10 MPa 以下,整体来看应力水平不高。最大剪力工况下,负弯矩也较大,混凝土顶面有 0~1 MPa 的拉应力。另外,由图 7 可知,纵桥向应力在后承压力板、焊钉和 PBL 连接件的一起承受下,在到钢格室 400 mm 后应力大小逐渐均匀化,在 1 200 mm 后面应力大小已较为均匀化分布,显示剪力钉、PBL 连接件和后承压力钢板的传力效果较好,将钢板的较高水平的应力扩散传递到了混凝土梁段。

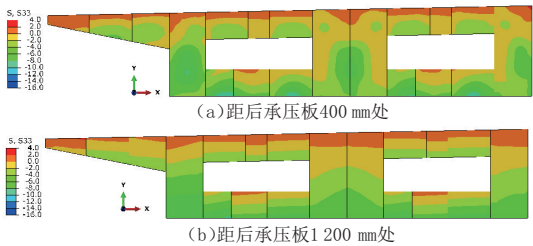


图 7 钢格室混凝土顺桥向正应力分布图(单位:MPa)

3.3 开孔钢板连接件受力分析

腹板加劲肋上的开孔板连接件(见图 8)主要承受竖向剪力,如图 9 所示。靠近后承压板处的开孔板连接件所受竖向剪力最大,远离后承压板之后,开孔板连接件剪力逐渐减小。整体来看,开孔板连接件剪力在竖向的分布相对均匀。开孔板连接件所受竖向剪力的最大值为 36 kN。通过开孔板连接件竖向受剪和钢-混凝土之间的承压接触,将剪力从钢梁部位传送至混凝土梁部位。

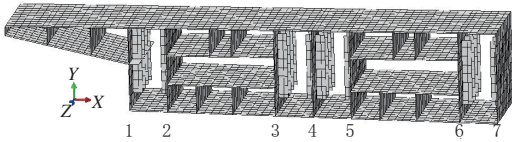


图 8 腹板编号示意图

4 结 语

川周公路浦东运河桥根据现场条件选择了钢混混合连续梁结构,较好的利用了河道的特点进行了混凝土梁和钢梁的施工。斜拉桥等采用钢混结合部较多,连续梁等相对少些,因此综述了国内几座连续梁桥钢混结合部的设计构造和思路,已建桥梁大部分采用带钢格室的后承压板构造,本桥借鉴利用采用此做法,并介绍了本工程具体构造。

所综述的桥梁均为单箱单室构造,浦东运河桥为单箱四室构造,因此需要在借鉴吸收已建工程经验的基础上,对腹板处做出合理的特殊设计。本设计在上述工程经验基础上,在中腹板处采用中板及左右两侧板组合形成两格室的传力构造,并在上述板设置开孔剪力板的腹板竖向加劲肋,具有一定的创新性。

最后,通过有限元分析,给出了结合部混凝土、开孔板剪力连接件等的受力结果,结果表明了其受力的安全性、可靠性。同时也验证了上述腹板处特殊设计是满足要求的,增加了传力途径,减小了混凝土局部应力集中。

川周公路浦东运河桥已于 2021 年 12 月建成通车。

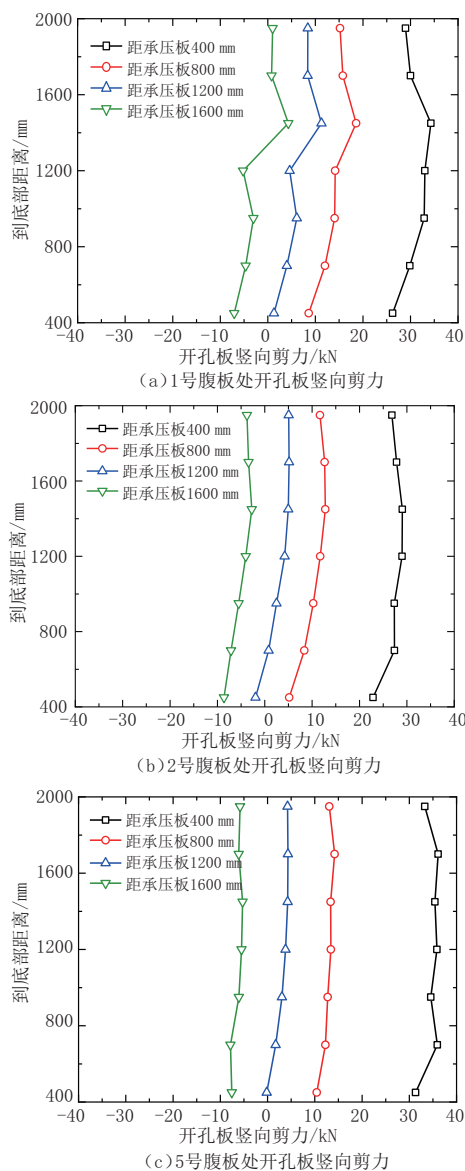


图9 开孔板连接件竖向剪力

参考文献:

- [1] 刘明虎,徐国平,刘峰.鄂东大桥混合梁钢-混凝土结合部研究与设计[J].公路交通科技,2010,27(12):78-85.
- [2] 刘荣,余俊林,刘玉擎,等.鄂东长江大桥混合梁结合段受力分析[J].桥梁建设,2010(3):33-35;62.
- [3] 刘玉擎,季通,郑双杰,等.组合结构斜拉桥关键构造技术研究[C].全国斜拉桥关键技术论文集,北京:中国公路学会,2012:258-263.
- [4] 何伟兵,刘玉擎,汪蕊蕊.九江长江公路大桥混合梁结合段构造分析[J].桥梁建设,2012,42(1):30-35.
- [5] 陈航.沙埕湾跨海大桥主梁钢-混结合部传力机理研究[J].公路,2020,65(10):200-205.
- [6] 刘玉擎.混合梁接合部设计技术的发展[J].世界桥梁,2005(4):9-12.
- [7] 张光辉,陈聪,刘玉擎.混合梁结合部格室-承压板协同作用机理[J].同济大学学报(自然科学版),2017,45(5):658-663.
- [8] 秦凤江,周绪红,梁博文,等.大跨度自锚式悬索桥主梁钢-混结合段模型试验[J].中国公路学报,2018,31(9):52-64.
- [9] JTG/T D64-01—2015,公路钢混组合桥梁设计与施工规范[S].
- [10] 邓文中,代彤.重庆石板坡长江大桥复线桥总体设计[J].桥梁建设,2006(6):28-32.
- [11] 刘安双,刘雪山,代彤,等.重庆石板坡长江大桥复线桥钢-混凝土接头设计[J].桥梁建设,2007(2):35-38.
- [12] 齐新.无锡市盛新大桥钢-混凝土混合连续梁桥设计与施工[J].城市道桥与防洪,2011(10):54-59.
- [13] 刘钱,邓昭伟,王亚飞,等.瓯江大桥混合梁刚构桥钢混结合部构造[J].公路交通科技(应用技术版),2013,9(11):323-325.
- [14] 陈德宝,林志平,苏庆田,等.混合梁刚构桥钢-混结合段的构造优化与试验[J].工程力学,2023,40(8):149-160.
- [15] 曾明根,许桂修,林志平,等.混合梁刚构桥钢-混结合段局部传力机制试验研究[J].同济大学学报(自然科学版),2022,50(10):1422-1431.
- [16] 徐晨,朱勇,彭玮,等.混合梁结合段静力性能试验研究[J].结构工程师,2021,37(1):144-150.