

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.07.020

简支预制槽形钢混组合梁在城市桥梁中的应用

张利平

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:在城市高架桥梁中,钢-混组合结构梁桥因其结构强度高、施工速度快、后期养护简单等优点在国外被广泛采用,目前是欧美等国城市高架桥梁的主力桥型,但国内施工的组合结构桥梁数量不多。以山西省太原市某桥梁工程为背景,介绍了30 m左右标准跨径的预制槽形钢混组合梁的设计,同时也为以后该类桥梁结构形式的工程设计与实践提供一定的参考价值。

关键词:城市高架桥梁;钢混组合梁;工程设计

中图分类号: U448.21+6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)07-0087-04

0 引言

钢-混组合结构桥梁是一种将钢与混凝土组合在一起,共同参与受力的桥型。这种桥型充分发挥了钢材抗拉性能好、混凝土抗压性能好的特点,使两种不同结构材料组合后的整体工作性能明显优于二者性能的简单叠加^[1]。相比于钢桥,组合梁桥用钢量更省、结构刚度更大。同时,混凝土桥面板减少了钢材的腐蚀,避免了钢桥面的疲劳破坏,节省了后期管养维护的成本。相比于混凝土桥,组合梁桥上部结构高度更小,城市景观效果更好;上部结构自重减轻,抗震性能更好。同时,组合梁桥可以采用工厂化批量生产,施工质量可以保证,工业化程度更高^[2]。

20世纪80年代以前,钢材产量不足,导致我国在组合结构桥梁方面的研究和应用相对落后。近些年来,组合结构桥梁在我国得到了迅速发展,在建或已建成了多种类型的组合梁桥,相应的设计方法和施工工艺也在研究与应用的过程中不断地得到发展和完善^[3]。

目前我国对于组合结构桥梁的研究多侧重于钢板组合梁,对于槽形钢混组合梁桥的研究成果尚不系统。实际上简支预制槽形钢混组合梁桥是一种非常合适城市高架桥梁快速化施工需求的结构形式^[4],恒载槽形钢混组合梁稳定性高,可以整跨或大节段运输、安装,施工迅速,对地面交通干扰小。同时,景

观性较板梁更佳。因此,开展槽形钢混组合梁桥的系统研究,推广槽形钢混组合梁桥的工程应用,对今后的工程实践颇有借鉴意义。

1 工程背景

1.1 工程概况

山西转型综合改革示范区潇河产业园太原起步区某桥梁工程,道路全线总长约8.5 km,标准段红线宽60 m,设计车速60 km/h,为城市主干路。

该桥梁位于人民路上,北起人民路小牛线交叉口南侧,依次跨越潇河北路、潇河、潇河南路至人民路姚村规划路交叉口,全长约1.48 km,其中桥梁主线全长约1 030 m。主线主桥跨径布置为36 m+118 m+118 m+36 m=308 m,采用四跨连续异型系杆拱桥,桥梁总宽54.5 m;引桥分左右两幅,等跨布置,两幅桥标准总宽31.5 m。主、引桥之间各设置一联变宽联过渡,分幅设计。引桥上部结构均采用钢混组合梁。

北侧引桥跨径组合为:U01(30+35+52+32,跨越潇河北路)+U02(31+31+31,标准联)+U03(32+32+32,变宽联)=338 m;南侧引桥跨径组合为:U05(32+32+32,变宽联)+U06(31+31,标准联)+U07(50+68+46,跨越潇河南路)+U08(31+31,标准联)=384 m。除跨越路口U01、U07联为大跨连续组合梁外,其余联均为标准跨径31 m或32 m的简支梁,过渡墩墩顶处采用桥面连续设计。

1.2 技术标准

- (1)道路等级:城市主干路。
- (2)设计速度:主线设计速度为60 km/h。
- (3)行车道数:双向六车道。

收稿日期:2022-08-05

课题名称:同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司科研课题(2019KY19)

作者简介:张利平(1990—),男,硕士,工程师,从事钢与组合结构桥梁设计工作。

(4)设计使用寿命:100 a。

(5)建筑限界:主线标准桥宽 31.5 m,主线净空不小于 4.5 m。

(6)桥面坡度:主线双向横坡 1.5%,最大纵坡 4%。

(7)抗震设防要求:地震基本烈度为 8 度,地震动峰值加速度为 0.20g。

(8)设计荷载:汽车城 -A 级,人群荷载、非机动车荷载按《城市桥梁设计规范》(2019 年版)(CJJ 11—2011)取用。

2 结构设计

2.1 槽形钢梁

引桥标准桥面总宽 31.5 m,两幅桥之间设置 2 cm 结构缝,半幅桥桥宽 15.74 m(含 0.1 m 防撞墙滴水)。钢梁采用开口截面钢箱梁,每幅桥主梁横桥向设置 3 道槽形钢-混凝土组合梁,跨径最大 32 m,梁高统一为 1.8 m。槽形钢梁开口宽 2.8 m,钢梁间距 2.62 m,桥面板悬臂 1 m。槽形钢混组合梁标准断面构造见图 1。

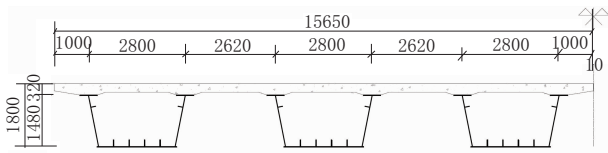


图 1 标准断面(单位:mm)

槽形钢梁上翼缘顶板厚 14 mm,宽 500 mm;底板支点至四分点厚 12 mm,跨中段厚 16 mm。两道腹板在支点至四分点段厚 14 mm,跨中部分厚 12 mm,钢梁腹板斜率 1:5。

为了提高形成组合截面之前开口截面的钢箱梁抗扭刚度,在钢箱梁内沿着顺桥向方向设置横隔板。箱内横隔板是由斜腹杆和平联组成的桁架式隔板,间距为 5 m。主梁跨中设置一道箱间横梁,以减小弯矩的横向分布系数和主梁的扭矩。箱间横梁截面采用工字型断面,上翼缘 350 mm × 16 mm,下翼缘 300 mm × 16 mm,腹板 12 mm,上翼缘与主梁上翼缘高差 200 mm,下翼缘与主梁下翼缘高差 350 mm,上翼缘与混凝土桥面板分离。桁架式隔板的斜腹杆和平联采用 Q235C,其余钢材都采用 Q345qD。

箱外横隔板及横梁工地连接均采用 M22 高强螺栓等强设计,既可以提高施工效率、又避免了工地焊接质量问题。槽形钢混组合梁跨中横隔板断面构造见图 2。

支点横梁采用实腹式隔板,隔板板厚 24 mm;箱

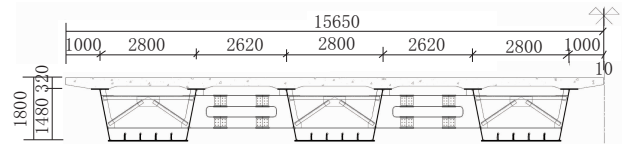


图 2 中横隔及箱间横梁断面(单位:mm)

间横梁采用工字型断面,上翼缘 350 mm × 16 mm,下翼缘 300 mm × 16 mm,腹板 16 mm,上翼缘与混凝土桥面板结合。箱间横梁靠近箱梁侧各设置 2 道千斤顶加劲,以便更换支座需要。端横梁断面见图 3。

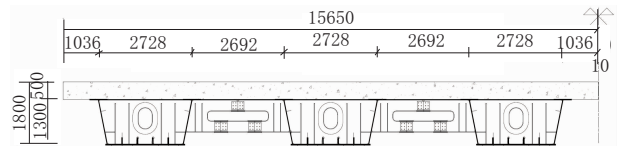


图 3 端横梁断面(单位:mm)

2.2 钢筋混凝土桥面板

在钢混组合结构桥梁中,钢筋混凝土桥面板既作为组合截面的一部分参与整体受力,也起到直接承受车辆轮压的作用。因此,对桥面板进行设计时需要考虑由这两类作用所引起的内力。本工程混凝土桥面板由主梁支承,桥面板主筋不参与主梁第一体系受力,纵向钢筋参与主梁整体受力。因此,主筋和纵向钢筋分别进行验算。

桥面板混凝土标号为 C50,纵向钢筋 d14@100,横向钢筋根据计算取 d16@100。桥面板厚度在跨中为 240 mm;在腹板处的顶板上设置倒梯形承托,承托厚度为 320 mm,承托坡度为 1:3。

半幅桥桥面板横桥向分 3 块预制,湿接缝宽 0.5 m。顺桥向除梁端外,预制板顺桥向尺寸 3.6 m,湿接缝宽 0.5 m。槽形钢梁上翼缘板的两侧边缘及剪力钉群预留孔四周布置 20 mm 厚的可压缩垫条,使桥面板与槽形钢上缘紧密贴合,又能在浇筑湿接缝时发挥止水作用。

2.3 桥面连续设计

简支钢混组合梁桥能够充分发挥混凝土抗压强度高、钢材抗拉性能好的材料优势,但是桥面伸缩缝较多,影响行车舒适性。而连续钢混组合梁的中间支点处梁体处于负弯矩区,顶板混凝土处于受拉状态,底板钢梁处于受压状态,负弯矩区桥面板开裂与钢梁底板失稳问题较突出。

若简支钢混组合梁桥采用结构简支、桥面连续设计,则避免了简支梁桥桥面不连续的问题,又能避免连续组合梁负弯矩区桥面开裂问题,具有很高的工程经济性和实用性,因此在中小跨径桥梁中应用最为广泛^[5]。

相比于混凝土梁桥,同跨径下简支钢混组合梁桥因刚度更小,活载作用下梁端转角更大,桥面连续构造受力更加不利。本工程桥面连续设计基于课题研究成果^[6],在预制梁端桥面板的时候,预留出桥面板纵向主筋作为预埋钢筋接头。待相邻两联主梁架设完成后,主梁梁端桥面板之间会形成一个预留槽口,使预制桥面板预留出的预埋钢筋接头位于预留槽内。在预留槽底铺设一层聚乙烯泡沫板形成无黏结层,然后在预留槽内施工纵向钢筋,使之与预制桥面板内预留出的钢筋接头有效连接,最后对预留槽浇筑 C50 补偿收缩混凝土,形成桥面连续。

2.4 剪力连接件

钢混组合梁的剪力连接件是将混凝土桥面板和钢梁连接在一起,使两种材料在荷载作用下共同受力。本工程桥面板采用预制板,剪力连接件采用圆柱头焊钉 D19 × 200。剪力钉采用集束式布置,间距 100 mm。即将剪力钉集中布置在混凝土桥面板预留孔中,同时考虑群钉效应对剪力钉连接性能的影响。跨中横隔板不布置剪力钉,端横梁顶板布置剪力钉。

3 结构计算

3.1 施工过程

不同于常规跨径混凝土梁桥,钢混组合梁桥的施工过程影响结构内力计算,因此设计计算之前需明确组合梁桥的施工工序。预制槽形钢混组合梁施工过程如下:

- (1)下部结构施工,搭设临时支架。
- (2)钢厂进行钢结构加工制作,现场同步进行预制桥面板施工。
- (3)现场组拼钢梁和桥面板,形成恒载组合梁,整孔架设主梁。
- (4)连接箱外横隔板及端横梁。
- (5)施工横向湿接缝及桥面连续构造。
- (6)施工铺装和栏杆。

3.2 设计荷载

(1)恒载

一期:钢梁自重按实际计,容重取 78.5 kN/m³。桥面板自重根据桥面板计算确定板厚,容重取 26 kN/m³。

二期:铺装采用 7 cm 沥青混凝土铺装,容重取 23 kN/m³。边防撞护栏取 10 kN/m。

(2)活载

双向 6 车道,按城 -A 计算。

(3)整体升降温

对于简支结构,整体升降温并不会产生效应,但对组合结构依然起作用。本工程将整体升降温按照膨胀系数换算成同一种材料的温差效应进行计算。

收缩作用下的虚拟荷载:

$$\begin{aligned} P_{OT} &= E_c A_c \varepsilon_T = E_c A_c \alpha \cdot \Delta T \\ M_{OT} &= P_{OT} \alpha_c \end{aligned} \quad (1)$$

式中: α_c 为换算截面形心至桥面板形心之间的间距; ε_T 为收缩终值应变; α 为温度膨胀系数,钢材为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 1.0×10^{-5} ; ΔT 为温度差。

整体升降温 30℃时,等效温差为 6℃。

(4)梯度温度

日照温差遵照《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》取值,桥面铺装按 7 cm 考虑。升温 17.6℃,降温 6.22℃。

(5)收缩徐变

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》附录 C 计算收缩徐变,仅考虑组合后对组合结构产生效应的部分。

3.3 计算结果

(1)强度验算

由图 4 可见,基本组合下,槽梁上缘最大压应力为 113 MPa,下缘最大拉应力为 173 MPa,均小于 270 MPa,满足规范要求。

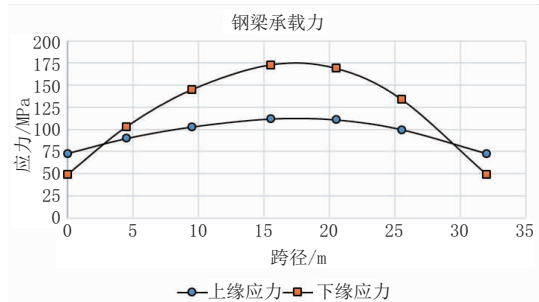


图 4 基本组合下钢梁应力

(2)刚度验算

根据《公路钢混组合结构桥梁设计与施工规范》(TJG/T D64-01-2015)7.6 条验算组合梁挠度。对于简支组合梁,根据规范给出公式考虑滑移效应的刚度折减。

由图 5 可见,结构跨中活载挠度最大为 17 mm,小于 $L/500=64$ mm,结构刚度满足规范要求。

本工程简支预制槽形钢组合梁设计指标见表 1。

4 耐久性设计

为了防止钢梁上翼缘板与预制混凝土桥面板之间因结合不够密实而出现钢梁过早腐蚀问题,本工

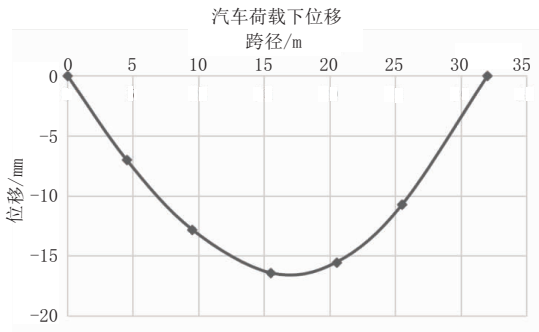


图5 汽车荷载下钢梁位移

表1 简支恒载钢混组合梁指标

类型	简支组合梁	
最大跨径 /m	32	
混凝土指标 /($m^3 \cdot m^{-2}$)	0.26	
钢材指标	Q345qD/($kg \cdot m^{-2}$)	180.8
	钢筋 /($kg \cdot m^{-2}$)	70.8
一榀槽钢组合梁吊装重量 /t	150.0	

程在设计时采用了在钢梁上翼缘两侧与桥面板之间设置三元乙丙橡胶条。橡胶垫条宽 25 mm,厚 20 mm,在桥面板与钢梁结合边线处涂布硫化型橡胶密封剂,橡胶条中间浇筑无收缩环氧树脂砂浆。在整孔吊装组合梁前,由于预制混凝土桥面板的自重作用,橡胶条处于压实状态,环氧砂浆与钢梁上翼缘、预制桥面板之间紧密接触。

5 结 语

简支预制槽形钢混组合梁是一种非常适合城市高架桥梁快速化施工需求的结构形式,它的抗扭刚度大,较钢板组合梁稳定性更高;跨越能力强,可避免施工时的交通中断。既能充分发挥钢材的抗拉性能,又能发挥混凝土桥面板的抗压性能,且避免了连续组合梁负弯矩区桥面板开裂导致的耐久性下降问题。

本文结合相关组合结构的研究成果,介绍了中小跨径恒载组合梁的设计实践,可为今后中小跨径恒载钢混组合梁桥的工程应用提供参考。

参考文献:

- [1] 聂建国,余志武.钢-混凝土组合梁在我国的研究及应用[J].土木工程学报,1999,32(2):3-8.
- [2] 聂建国,樊健生.钢-混凝土组合梁在城市桥梁中的应用[C].第八届全国混凝土结构基本理论与工程应用学术会议,2004:28-31.
- [3] 聂建国.钢-混凝土组合结构桥梁[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [4] 聂建国,陶慕轩,吴丽丽,等.钢-混凝土组合结构桥梁研究新进展[J].土木工程学报,2012,45(6):110-122.
- [5] 王城泉.钢-混组合桥面连续构造的设计理论与试验研究[D].杭州:浙江大学,2017.
- [6] 王清泉,苏庆田,等.桥面连续方法:中国,110983967A[P].2020-04-10.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com