

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.11.028

钢-混组合梁桥结构设计指标与造价分析

刘晓奎, 李 欣, 陈 辉

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 在大跨铁路、公路桥梁和城市立交桥中,自重往往占总荷载中的大部分,钢-混组合结构桥梁具有很大的优势。结合嘉兴中环快速路设计案例,对主线高架和立交匝道多联钢-混组合连续梁桥的主要结构设计指标(结构、应力、材料和造价等)进行了总结分析,得出了若干有益的结论,可以为类似项目设计提供参考。
关键词: 钢-混组合梁桥;设计参数;结构指标;造价分析
中图分类号: U448.21+6 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2022)11-0098-03

0 引 言

钢材的抗拉强度高而自重轻,混凝土的抗压性能好且价格低,钢-混组合梁桥能充分发挥钢材和混凝土各自的优势,最大程度地实现工厂化制造,具有良好的使用性能和经济效益,在桥梁工程中应用前景广阔^[1-5]。

简支组合梁桥在全跨范围内承受正弯矩,钢梁受拉而桥面板受压,钢材和混凝土的性能优势都得到发挥。连续组合梁桥的结构刚度大、结构高度较低,行车舒适性好,综合性能更优,但其墩顶区域受负弯矩作用,桥面板受拉而钢梁受压,成桥后混凝土收缩徐变会在桥面板中产生拉应力,负弯矩区桥面板裂缝控制是影响连续组合梁桥应用的关键问题^[6-7]。

嘉兴市快速路环线工程,主线高架和立交匝道在跨越横向道路和河道时,采用了不同的钢-混组合梁结构,选取其中若干联连续和简支组合梁桥,对主要结构设计参数和指标进行了统计分析,所得结论可以为类似工程提供参考。

1 钢-混组合梁结构设计

1.1 主线组合梁桥

主线连续组合梁桥选取 4 联,跨径布置分别为 35 m+45 m+35 m、40 m+55 m+40 m、40 m+60 m+40 m 和 50 m+70 m+50 m。其中 35 m+45 m+35 m、40 m+55 m+40 m 联采用等高连续梁,40 m+60 m+40 m、

50 m+70 m+50 m 联采用变高连续梁。主线简支组合梁选取 1 联,跨径 65 m。

主线组合梁钢主梁采用槽形断面,多箱单室,25 m 桥宽由 4 片钢梁组成,梁距 6.0 m,钢梁之间采用横梁连接,间距 10.0~12.5 m。钢材采用 Q355D,桥面板采用现浇 C50 补偿收缩复合纤维混凝土,钢梁和横梁上翼缘设置剪力钉与混凝土桥面板连为整体,采用传统圆柱头焊钉,剪力钉型号 $\phi 22 \times 180$ 。

主线组合梁桥主要结构尺寸见表 1,立面和横断面见图 1~图 5。

表 1 组合梁桥结构尺寸与参数

跨径	钢梁高度/mm	桥面板厚度/mm	上翼缘宽度/mm	上翼缘厚度/mm	下翼缘宽度/mm	下翼缘厚度/mm
主线 35 m+45 m+35 m	1 950	250~350	700	20~35	2 150	20~35
主线 40 m+55 m+40 m	2 450	250~350	700	20~35	2 150	20~35
主线 40 m+60 m+40 m	1 650~3 050	250~350	700	30~40	2 150~2 585	30~40
主线 50 m+70 m+50 m	2 150~3 450	250~350	700	30~40	2 150~2 510	30~40
匝道 43 m+44 m	2 150	250	2 200	20~30	1 900	35~40
主线 65 m	3 150	250~350	800	35~60	2 150	30~55
匝道 65 m	3 050	250	2 200	20~30	1 900	20~40



图 1 主线组合梁桥效果图(50 m+70 m+50 m)

本项目采用支点顶升法对混凝土桥面板施加预压应力,在钢梁架设完成后,先将中支点处钢梁顶升

收稿日期: 2021-04-26
作者简介: 刘晓奎(1982—),男,博士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

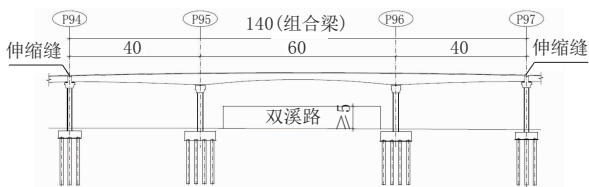


图 2 主线连续组合梁立面图(40 m+60 m+40 m)

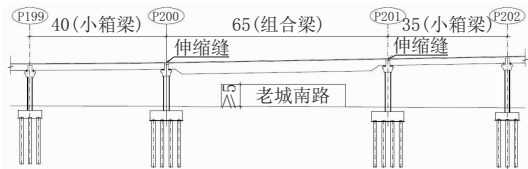


图 3 主线简支组合梁立面图(65 m)

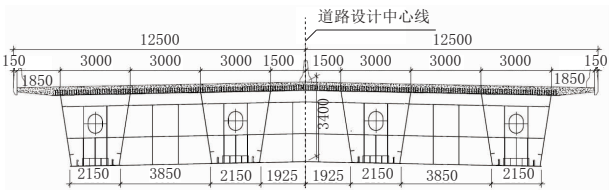


图 4 主线连续组合梁支点横断面(单位:mm)

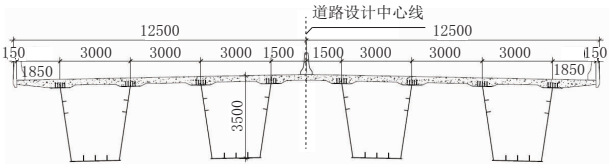


图 5 主线简支组合梁跨中横断面(单位:mm)

一定高度,然后浇筑桥面板混凝土,待混凝土达到设计强度和龄期后分4~5级均匀同步落梁,给负弯矩区桥面板施加一定的预压应力。跨径35 m+45 m+35 m、40 m+55 m+40 m、40 m+60 m+40 m和50 m+70 m+50 m连续组合梁的设计顶升高度分别为30 cm、50 cm、60 cm和70 cm。

1.2 匝道组合梁桥

匝道连续组合梁桥,跨径布置为43 m+44 m,桥面宽度18.0~8.5 m,采用分离式双主梁结构,钢箱梁之间采用横梁连接,纵向间距4 m,横梁长度变化以适应不同主梁间距。采用支点顶升法对负弯矩区桥面板施加预压应力,顶升高度30 cm。

匝道简支组合梁桥,跨径65 m,桥面宽度8.5 m,分离式双主梁,跨中布置5道横梁,横梁间距11.1 m。匝道组合梁梁桥平面和横断面见图6~图8。

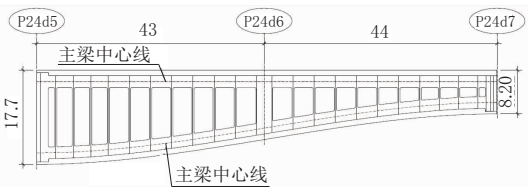


图 6 匝道 43 m+44 m 连续组合梁平面图

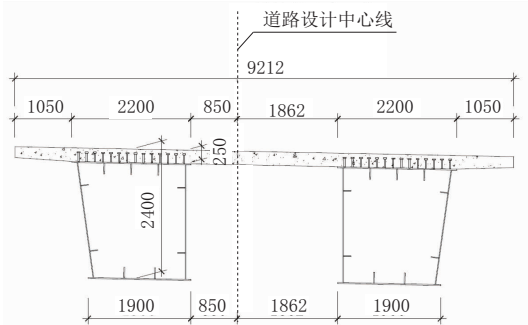


图 7 匝道 43m+44m 连续组合梁断面图(单位:mm)

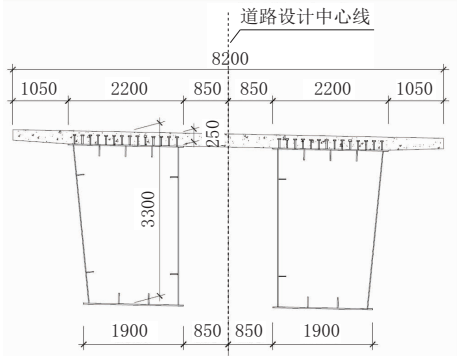


图 8 匝道 65m 简支组合梁横断面图(单位:mm)

2 组合梁桥设计指标分析

2.1 组合梁结构指标分析

组合梁桥的跨径布置和梁高选取,是衡量结构总体设计和力学性能的基本指标。对城市高架桥梁来说,组合梁桥的跨径设置主要受跨越路口、河道等因素控制,边中跨比的常用范围在0.6~0.8之间^[5]。本项目各联钢-混组合梁的梁高、高跨比、边中跨比、汽车活载挠度和挠跨比见表2。

表 2 组合梁桥主要结构指标

跨径	梁高 /m	高跨比	边中跨比	最大挠度 /mm	挠跨比
主线					
35 m+45 m+35 m	2.3	1/19.6	0.78	16.0	1/2813
主线					
40 m+55 m+40 m	2.8	1/19.6	0.73	17.2	1/3198
主线					
40 m+60 m+40 m	3.4	1/17.7	0.67	26.4	1/2272
主线					
50 m+70 m+50 m	3.8	1/18.4	0.71	30.4	1/2303
匝道 43 m+44 m	2.4	1/18.3		25.4	1/1693
主线 65 m	3.5	1/18.6		21.0	1/3095
匝道 65 m	3.3	1/19.7		39.6	1/1515

从表2中可以看出,连续组合梁和简支组合梁的高跨比非常接近,范围1/17.7~1/19.7。钢-混组合梁梁高的选取,应综合考虑施工方法和使用阶段的力学性能,兼顾力学性能与材料用量,以实现技术经济的最优化。主线和匝道挠跨比取值均满足规范要求。

2.2 组合梁应力指标分析

组合梁主要应力指标见表3。

表3 组合梁主要应力指标					单位:MPa
跨径	钢梁施工阶段应力	钢梁基 本组合 应力	桥面板 成桥应 力	桥面板 成桥十 年后	桥面板十 年收缩徐 变应力
主线 35 m+45 m+35 m	100.6	-221.9	0.8	3.5	2.7
主线 40 m+55 m+40 m	142.9	-169.8	-4.4	0.9	5.3
主线 40 m+60 m+40 m	211.8	-204.0	-3.6	1.6	5.2
主线 50 m+70 m+50 m	187.4	-196.4	-2.8	1.4	4.2
匝道 43 m+44 m	208.1	-221.2	-2.6	0.5	3.1
主线 65 m	-122.3	-244.6	-1.2	1.6	2.8
匝道 65 m	-81.4	-234.6	-1.7	1.4	3.1

注:正值为拉应力,负值为压应力。

在施工阶段,在桥面板混凝土达到设计强度前,钢梁独自承受钢梁自重和桥面板湿重,连续组合梁钢梁最大应力出现在中支点,简支组合梁桥钢梁最大应力出现在跨中,施工和成桥阶段钢梁应力均满足规范要求。

连续组合梁桥采用支点顶升法施工,成桥时负弯矩区桥面板可以形成 2.5~4.4 MPa 的压应力储备。简支组合梁桥面板处于受压区,无需顶升在成桥时桥面板已形成 1.2~1.7 MPa 的压应力。但在成桥十年后,由于混凝土收缩徐变的影响,连续和简支组合梁桥面板储备的压应力已基本消失,并出现 0.5~1.6 MPa 左右的拉应力。

2.3 组合梁材料指标分析

组合梁桥主要材料指标见表4。

表4 组合梁桥主要材料指标				
跨径	钢材 Q355D /(kg·m ⁻²)	C50 混凝土 /(m ³ ·m ⁻²)	HRB400 /(kg·m ⁻²)	剪力钉 /(个·m ⁻²)
主线 35 m+45 m+35 m	287.1	0.29	128.7	16.4
主线 40 m+55 m+40 m	314.5	0.29	131.2	15.7
主线 40 m+60 m+40 m	308.9	0.29	131.3	15.4
主线 50 m+70 m+50 m	372.2	0.29	129.9	14.4
匝道 43 m+44 m	306.7	0.25	119.4	16.1
主线 65 m	474.0	0.29	101.9	18.1
匝道 65 m	518.5	0.25	85.8	17.7

从表4中看出,钢材指标方面,简支组合梁(474~518 kg/m²)比连续组合梁(287~372 kg/m²)要高很

多,这是因为本项目钢梁采用斜腹板槽型截面,顶底板尺寸较小,简支组合梁需要较大顶、底板板厚(50~60 mm)才能满足应力要求,连续组合梁需要的顶底板厚度则小很多(20~40 mm)。

钢筋指标方面,连续组合梁(120~130 kg/m²)比简支组合梁(86~102 kg/m²)要高,这是因为连续组合梁中支点桥面板处于受拉区,需要配置较多的普通钢筋以控制裂缝宽度,保证结构的安全性和耐久性。连续组合梁和简支组合梁的 C50 混凝土和剪力键材料指标基本一致。

2.4 组合梁综合造价分析

从表5中可以看出,连续组合梁综合造价约 5 006~6 188 元/m²,简支组合梁为 7 632~8 153 元/m²,在经济性指标方面连续组合梁较简支组合梁具有明显优势;随着主跨跨径的增加,连续组合梁造价也逐渐增加,跨径 50 m+70 m+50 m 比 35 m+45 m+35 m 组合梁每平方米造价增加约 24%。其中,钢材指标是影响组合梁经济性的主要因素,其他 C50 混凝土、剪力钉和桥面铺装的经济指标基本接近。

表5 组合梁桥综合造价指标					单位:元/m ²
跨径	Q355D	C50 混凝土	剪力钉	桥面 铺装	综合 造价
主线 35 m+45 m+35 m	4 019	725	82	180	5 006
主线 40 m+55 m+40 m	4 403	725	79	180	5 387
主线 40 m+60 m+40 m	4 325	725	77	180	5 307
主线 50 m+70 m+50 m	5 211	725	72	180	6 188
匝道 43 m+44 m	4 294	625	81	180	5 179
主线 65 m	6 636	725	91	180	7 632
匝道 65 m	7 259	625	89	180	8 153

注:钢材综合单价取 14 000 元/t;C50 混凝土含钢筋和模板综合单价取 2 500 元/m³;剪力钉价格 5 元/个;沥青混凝土综合单价取 180 元/m²。

3 结 论

通过对嘉兴快速路主线和匝道多联钢-混凝土组合梁桥在结构、应力、材料和综合造价等多方面的总结分析,得出如下结论:

(1)连续组合梁和简支组合梁的高跨比布置基本接近,范围 1/17.7~1/19.7。组合梁桥的梁高和跨径布置应结合结构形式、施工条件和工程经济进行综合

(下转第 104 页)

量,提高了居民生活质量及健康水平,从而实现了经济效益、环境效益、社会效益三者的高度统一。

4 结 语

本文通过工程案例分析,结合广泛调查研究,总结了上海农村生活污水治理的现状和存在的主要问题,基于全流程和全要素的技术梳理,对上海农村生活污水治理工程在规划、设计、建设和运维管理等方面提出了针对性的对策措施,形成了上海农村生活污水治理提质增效的技术要点。成果可为上海农村生活污水治理设施的新、改、扩建,以及日常运行维护提供技术指导,以实现提升污水收集率,提高就地处理标准的目标,进一步改善上海农村水环境和人居环境。

参考文献:

- [1] 谢林花,吴德礼,张亚雷.中国农村生活污水处理技术现状分析及评价[J].生态与农村环境学报,2018,34(10):865-870.
- [2] 柴喜林.乡村振兴战略下农村生活污水治理模式优选之思考[J].中国环境管理,2019,11(1):316-317.
- [3] 刘洪喜.农村生活污水处理技术的探讨[J].污染防治技术,2009,22(3):30-31.
- [4] 贾小宁,何小娟,韩凯旋,等.农村生活污水处理技术研究进展[J].水处理技术,2018,44(9):22-26.
- [5] 谭学军,张惠峰,张辰.农村生活污水收集与处理技术现状及进展[J].净水技术,2011,30(2):5-9.
- [6] 韩诚仪.农村生活污水治理现状及对策分析[J].区域治理,2018(34):54-54.
- [7] 沈兴刚,栗霞,董清国,等.农村生活污水治理现状及对策研究[J].环境与发展,2018,30(12):49-50.
- [8] 石海硕,胡刃锋.我国农村生活污水治理问题及对策研究[J].中国资源综合利用,2019,37(10):31-33.

(上接第100页)

比选,实现技术经济最优。

(2)连续和简支组合梁均需考虑混凝土收缩徐变对成桥后桥面板应力的影响,十年收缩徐变产生的拉应力约2.7~5.3 MPa。连续组合梁可以采用支点顶升等方法对桥面板施加预压应力,简支组合梁桥面板处于受压区,无需顶升。

(3)连续组合梁的钢材指标低于简支组合梁,钢筋指标高于简支组合梁,综合造价相比简支组合梁具有明显优势,其中钢材指标是影响组合梁综合造价的主要因素。

参考文献:

- [1] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [2] JTG/T D64—01—2015,公路钢混组合桥梁设计与施工规范[S].
- [3] 刘玉擎.组合结构桥梁[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [4] 卢永成,邵长宇.长大公轨合建桥梁新技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [5] 邵长宇.大跨度钢-混凝土连续组合箱梁桥关键技术研究[D].上海:同济大学,2006.
- [6] 聂建国,陶慕轩,樊健生,等.钢-混凝土简支组合梁和连续组合梁的技术经济性能比较[J].哈尔滨工业大学学报,2007(8):197-201.
- [7] 刘永健,高诣民,周绪红,等.中小跨径钢-混凝土组合梁桥技术经济性分析[J].中国公路学报,2017(3):1-13.
- [8] 程观齐.钢板组合梁桥设计参数适应性与技术经济性分析[D].西安:长安大学,2019.