

市政大跨径简支钢混组合梁桥总体设计

杨荣荣

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:针对城市高架桥梁跨越横向道路常用的简支60 m大跨径槽型钢混组合梁桥,对横断面梁片数布置、不同施工方案、降低桥面板收缩徐变措施进行分析。结果表明:(1)少主梁设计相较于多主梁设计经济性更好,但跨中上翼缘板厚会增加较多。(2)设置2个临时支墩,基本可实现钢筋混凝土共同承担一期恒载的效果。(3)与少支架施工相比,整体吊装虽方便施工,但大大提高了钢材的用钢量。(4)无支架施工时,预制桥面板在90 d的存放龄期下,频遇组合可降低混凝土桥面板30%的轴向拉力。

关键词:钢混组合梁;MIDAS;横断面布置;施工工序

中图分类号: U448.21+6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)04-0074-04

0 引言

简支钢混组合梁桥由于上缘受压、下缘受拉,可充分发挥两种材料各自的特点而受到广泛应用。相比于纯钢结构梁桥,简支钢混组合梁桥既兼顾了桥梁的经济性要求与材料的性能优势,又避开了钢桥面板疲劳开裂等关键性问题,同时也顺应国家大力推进建筑行业绿色低碳发展、实现2030年碳达峰的目标。

钢混组合结构梁桥常用于城市高架跨横向道路、河道等节点,与混凝土梁相比,上部结构高度较低,景观效果提升,施工周期较短。与连续钢混组合梁桥相比,简支钢混组合梁桥经济性较好,又可避免负弯矩区桥面板受拉开裂的问题。以常规地面主干路为例,道路宽度通常位于32~40 m之间。考虑地面过街行人斑马线设置、车辆因墩柱导致的视线遮挡、地面道路与高架斜交等问题,高架节点常采用60 m跨径。因此,本文以此为研究对象,分析其总体横断面布置、施工方案、桥面板受力的影响。

1 总体概况

城市高架桥梁通常采用双向六车道的设计规模,总宽25.5 m,横断面布置为0.5 m(防撞墙)+12 m(车行道)+0.5 m(中央分隔带)+12 m(车行道)+0.5 m(防撞墙)。本文研究对象采用开口槽型截面,

中间设剪力钉连接,基于无滑移理论进行整体计算与分析。

钢混组合梁总体横断面布置通常考虑两种情况:一是全跨径范围边梁外侧与小箱梁外侧对齐;二是端横梁范围加宽钢主梁截面与小箱梁外侧对齐。因而,总体布置共有3种横断面布置:4片梁、5片梁、6片梁。其中,4片梁横断面设置大挑臂,桥面板设置承托以抵抗焊钉传递的剪力,桥面板厚度为250~350 mm。5片梁横断面外边梁与小箱梁外侧对齐,设置260 mm等厚桥面板。6片梁横断面外边梁与小箱梁外侧对齐,设置220 mm等厚桥面板。多主梁腹板厚度通常不控制设计,统一分为两个规格:20 mm(支点)、14 mm(跨中)。支点位置顶底板厚度分别为25 mm、20 mm。板件尺寸划分长度保持一致,梁高均为3.1 m。总体布置图如图1、图2所示。

立面上中间横梁间距为9.75~9.96 m,每道中横梁之间设置一道实体横隔板,每道横隔板间设置2道竖向加劲。圆头剪力钉直径为22 mm,高度根据混凝土桥面板厚度选取150 mm、180 mm的规格。

2 荷载工况

2.1 恒载

自重:钢结构根据截面实际尺寸计入,含底板加劲,其余加劲等按照1.3倍自重调整系数计入模型。混凝土容重为26 kN/m³。

二期:边防撞护栏为12 kN/m,中防撞护栏为10 kN/m,沥青容重为24 kN/m³。

收稿日期:2023-05-04

作者简介:杨荣荣(1990—),女,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

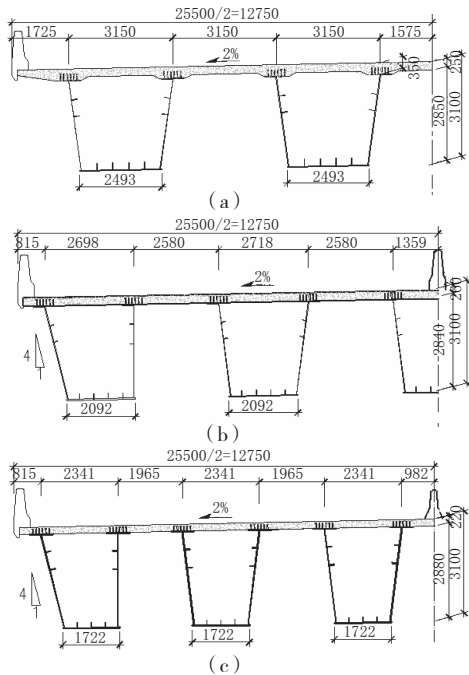


图1 钢混组合梁整体横断面布置(单位:mm)

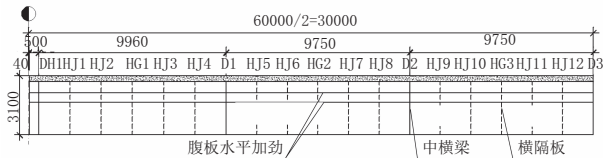


图2 钢混组合梁总体立面布置(单位:mm)

2.2 活载

车道荷载为城-A级, 横向分布系数按照梁格法、刚接板梁法取包络计算。

2.3 梯度温度

按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[1]第4.3.12条计算。

2.4 整体升降温

钢、混凝土两种材料线膨胀系数不同, 在整体升降温作用下会产生作用效应, 按 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ 计算, 模型内按照两种材料特性分别输入。

3 组合梁计算分析

采用 Midas Civil V930 建立梁格模型。纵向钢主梁、中横梁采用施工阶段联合截面, 每道中横梁间设置2道虚拟横梁, 两侧边防撞护栏位置各设1道虚拟纵梁, 模型如图3所示。

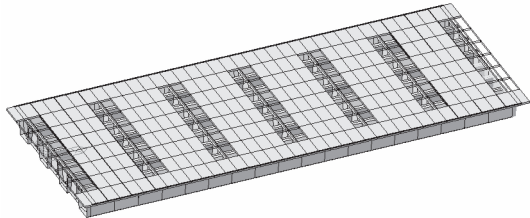


图3 4片主梁有限元模型

以活载组合梁为例, 施工阶段模拟如下:

(1)整体吊装钢主梁, 焊接中横梁。

(2)焊接剪力钉, 绑扎桥面板钢筋, 现浇混凝土桥面板。

(3)桥面板与钢梁形成整体。

(4)施工桥面附属设施, 如防撞护栏、沥青铺装。

3.1 不同主梁片数计算对比

以现浇桥面板的活载组合梁为例, 对不同主梁片数布置的横断面对比分析。

3.1.1 横向分布系数计算

活载横向分布系数取刚接板梁法、梁格法的最不利值, 汽车活载作用下边梁横向分布系数最大, 因此仅示意出边梁计算结果。

从表1可知, 梁格法计算结果比刚接板梁法略大, 但影响有限。4片主梁横断面与6片主梁横断面相比, 单片主梁承担的活载弯矩增大约40%。

表1 横向分布系数计算

横断面	刚接板梁法	梁格法	比例
4片主梁	0.927	0.953	2.8%
5片主梁	0.751	0.763	1.6%
6片主梁	0.654	0.677	3.5%

3.1.2 钢主梁承载力极限状态对比

保持跨径、梁高、横梁设置相同, 板厚划分阶段长度一致, 控制节段上下翼缘最大应力值基本在同一水平(220~230 MPa)下, 不同横断面布置下的钢结构尺寸及相应的用钢量见表2、表3。

表2 不同横断面布置下板厚及用钢量一览

横断面	过渡段/mm		跨中/mm	
	顶板	底板	顶板	底板
4片主梁	800×50	32	800×62	40
5片主梁	700×38	25	700×50	32
6片主梁	650×30	25	650×40	35

表3 不同横断面布置下用钢量一览

横断面	钢材指标/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	单片纵梁吊装重量/t
4片主梁	460	160
5片主梁	480	133
6片主梁	505	117

由计算结果可以看出, 每增加一片主梁, 钢材指标增加约20~25 kg/m^2 , 吊装重量减少约20~30 t, 钢材板厚可由62 mm降低至40 mm。

3.1.3 混凝土桥面板配筋设计对比

因钢、混凝土两种材料特性的不同, 桥面板在收缩徐变、温度效应下产生拉力, 纵向配筋需考虑抗裂

的需求。桥面板横向配筋则由车辆荷载局部作用控制。根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》^[2]计算桥面板裂缝在 0.15 mm 以内。桥面板配筋见表 4。

表 4 桥面板内力计算结果及配筋

横断面	宽度 / mm	轴力 / kN	纵筋 / (mm·cm ⁻¹)	横筋 / (mm·cm ⁻¹)	钢筋指标 / (kg·m ⁻²)
4 片主梁	6 300	4 114	22@10	22@15	99
5 片主梁	5 298	4 041	22@10	20@15	93
6 片主梁	4 304	3 490	20@10	20@15	82

3.1.4 上部结构总体造价对比

以下材料综合单价^[3]取值统一为:钢材 14 000 元/t, 钢筋 5 500 元/t, 混凝土 800 元/m³。根据以上分析, 在同一应力水平下, 不同横截面布置的材料指标及费用见表 5。

表 5 不同横断面布置下的费用计算

横断面	混凝土 / (m ³ ·m ⁻²)	钢材 / (kg·m ⁻²)	钢筋 / (kg·m ⁻²)	工程费用 / (元·m ⁻²)
4 片主梁	0.275	460	99	7 205
5 片主梁	0.25	480	93	7 432
6 片主梁	0.22	505	82	7 697

综上, 主梁片数每增加一片, 上部结构总造价增加约 230~260 元/m², 单片纵梁吊装重量可减少 20 t, 同时板材厚度降低。

3.2 不同施工工序影响分析

组合梁桥根据钢梁承担桥面板自重的方式分为恒载组合梁和活载组合梁^[4]。活载组合梁桥在二期恒载作用时, 钢梁截面单独参与工作; 二期恒载和活载作用时, 钢梁与混凝土桥面板形成组合截面共同受力, 施工采用整体吊装的方式, 无需设置临时支墩, 对桥下通航或通车影响较小。但该种组合梁形式在跨径较大时, 对施工器械要求较高。因此设置施工支架的方案也较为普遍。本文针对满堂支架、少支架拼装、整体吊装 3 种施工方案进行计算对比分析。少支架拼装方案需结合城市桥梁边界条件结合箱梁横隔板位置进行布设, 且临时支墩位置应尽可能远离跨中受力最不利位置, 最少需 3 个节段, 节段划分长度定为 15 m+30 m+15 m。

3.2.1 相同板厚下不同施工方案分析

以 3.1 节 4 片活载组合梁板厚设计为基础, 根据施工方案的不同, 在相同板厚的情况下, 成桥下位移计算结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出, 满堂支架方案成桥位移最小,

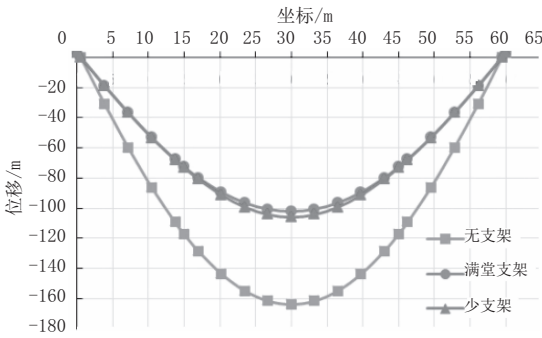


图 4 不同施工方案下的成桥位移(单位:mm)

但与少支架施工相差不大, 无支架施工成桥位移为支架方案的 1.6 倍。

钢结构应力结果对比如图 5 所示。不同施工方案中, 下翼缘应力相差不大, 少支架施工方案与满堂支架施工方案相比, 下翼缘应力差值在 2% 以内, 上翼缘应力差值在 6% 左右, 绝对值最大仅 12 MPa。由此可知, 由于整体刚度较大, 增加支架数量对结果影响甚微, 2 个临时支墩合理布置基本可达到共同承担一期恒载的效果。少支架施工与无支架施工相比, 上翼缘应力最大相差 63 MPa, 下翼缘应力最大相差 10 MPa。

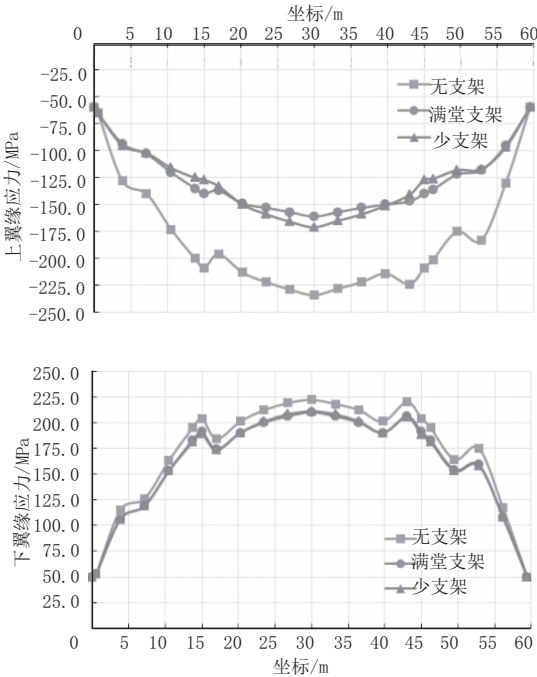


图 5 不同施工方案基本组合下的应力包络

3.2.2 钢主梁承载能力极限状态对比

根据上述计算结果, 对各施工方案的主要板厚进行重新调整, 调整后的结构尺寸及用钢量见表 6、表 7。其中, 满堂支架施工方案下顶板尺寸全跨径范围均为 600 mm×25 mm, 受构造(剪力钉布置数量、直径)控制, 应力最大值为跨中 203 MPa。

表 6 不同施工方案下板厚设计一览

施工方案	过渡段 /mm		跨中 /mm	
	顶板	底板	顶板	底板
满堂支架	600×25	25	600×25	32
少支架	600×25	25	600×28	32
无支架	800×50	32	800×62	40

表 7 不同施工方案下吊装重量及用钢量一览

施工方案	钢材指标 / (kg·m ⁻²)	吊装长度 / m	最大吊装重量 / t
满堂支架	364	—	—
少支架	367	30	65
无支架	460	60	160

3.2.3 混凝土桥面板计算对比

根据第 2 小节调整板厚下的不同施工方案频遇组合下混凝土截面轴力结果如图 6 所示。满堂支架与少支架施工方案下仅梁端 6 m 范围出现拉力,其余范围均为压力。无支架施工方案全宽范围内均为拉力,受力较为均匀,且最大值与其余两种施工方案持平。

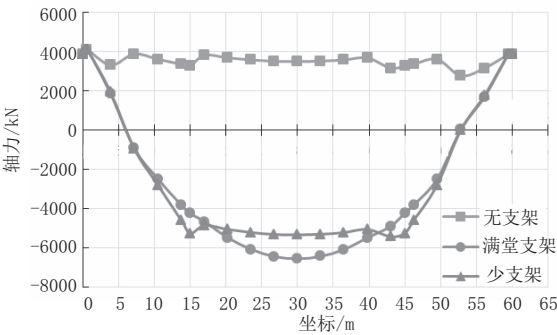


图 6 不同施工方案下的混凝土桥面板轴力

根据频遇组合下的裂缝计算结果进行桥面板配筋(见表 8)。

表 8 混凝土桥面板配筋一览

施工方案	纵向配筋 / (mm·mm ⁻¹)	横向配筋 / (mm·mm ⁻¹)	钢筋指标 / (kg·m ⁻²)
满堂支架	22/16@100	22@150	79
少支架	22/16@100	22@150	79
无支架	22@100	22@150	99

3.2.4 上部结构总体造价对比

根据以上分析,在同一应力水平控制下,不同横截面布置的材料用量指标及费用见表 9。其中,少支架临时支墩费用按照 200 元 /m² 计算;满堂支架多为临时支墩方案,按照 400 元 /m² 计算。

3.3 预制与现浇桥面板计算分析

从上一节分析可知,无支架施工方案全宽范围内桥面板为均匀轴向拉力,主要由整体升温、梯度降温、收缩徐变组成。其中,收缩效应占比约为 65%,需

表 9 不同施工方案下上部结构造价一览

施工方案	混凝土 / (m ³ ·m ⁻²)	钢材 / (kg·m ⁻²)	钢筋 / (kg·m ⁻²)	工程费用 / (元·m ⁻²)
满堂支架	0.275	364	79	6 151
少支架	0.275	367	79	5 993
无支架	0.275	460	99	7 697

配置粗钢筋控制裂缝。根据规范^[2],桥面板收缩终极值主要受加载龄期和环境湿度的影响。其中,环境湿度与项目建设地址有关,为不可控制因素。因此,主要通过控制加载龄期,即预制混凝土桥面板。根据《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG/T D64-01—2015)^[5]的规定,预制桥面板宜放置 180 d 以上。

根据施工经验,工期紧张的情况下,宜至少放置 90 d。相应频遇组合下,结果对比如图 7 所示,采用预制桥面板施工方案可降低桥面板轴力最大约 30%。根据目前城市桥梁实际运用情况,预制桥面板通常受预制场地规模、造价、预制桥面板钢筋与焊钉定位误差等问题导致应用受限。在有条件的情况下,预制桥面板有较大优势,既能降低桥面板纵向配筋,又能实现快速化施工。

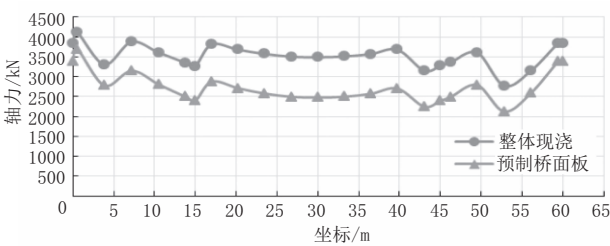


图 7 不同频遇组合下混凝土桥面板轴力

4 结 论

(1)主梁片数每增加一片,上部结构工程费用增加约 230~260 元 /m²,但单片纵梁吊装重量可减少 20 t,同时也可降低板材厚度,受力性能更好。

(2)增加支墩数量对结果影响甚微,2 个临时支墩合理布置即可达到钢筋、混凝土共同承担一期恒载的效果。无支架施工与少支架施工差异较大,上部结构工程费用增加约 1 700 元 /m²。

(3)无支架施工时若采用预制桥面板施工方案,可降低桥面板轴力最大约 30%。

参考文献:

[1] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[2] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[3] 王清泉,赵炜,苏庆田.城市高架简支预制槽形钢混组合梁设计及经济性参数分析[J].结构工程师,2022,38(6):176-184.
[4] 吴冲.现代钢桥(上册)[M].北京:人民交通出版社,2006:206-207.
[5] JTG/T D64-01—2015,公路钢混组合桥梁设计与施工规范[S].