

预制拼装大悬臂倒T盖梁设计与施工

宋华茂

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市200092]

摘要:近年来,随着国家积极发展预制装配式建筑,全预制小箱梁+预制拼装大悬臂倒T盖梁+预制拼装立柱的全预制拼装方案在城市高架桥梁建设中的得到了广泛应用。由于盖梁一般体量较大,其合理设计和施工通常成为全预制拼装方案的关键。结合呼和浩特市昭乌达路哲里木路改造提升工程,介绍预制拼装大悬臂倒T盖梁的设计、计算及施工,可为同类型工程设计和施工提供借鉴和参考。

关键词: 预制拼装;大悬臂;倒T盖梁;设计;施工

中图分类号: U448.21+4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)08-0093-05

0 引言

在城市高架桥梁的建设中,既要确保桥面车行道宽度充足,又要满足地面辅道的通行要求。在桥梁结构形式的选择上,需要综合考虑施工速度、施工难度、施工对环境和周边交通影响、工程造价以及景观效果等多种因素。上部结构采用预制小箱梁,下部结构采用大悬臂倒T盖梁,这种结构组合形式能够较好适应上述需求,在多地的工程实践中成为城市高架桥梁的推荐方案。

传统现浇大悬臂预应力盖梁一般需占用地面辅道搭设支架施工,对地面交通影响大,施工速度慢,为了加快工程建设速度,减小对周边环境的影响,越来越多的城市高架桥梁上、下部结构均选择了预制拼装结构,其中盖梁的预制拼装也逐渐成熟。预制拼装大悬臂盖梁桥墩的立柱位于地面道路的中央分隔带内,能有效满足上述需要,不仅为上部结构小箱梁提供安装支撑条件,同时也能满足地面辅道的通行要求,便于施工期间的地面道路的交通组织。本文以呼和浩特市昭乌达路哲里木路改造提升工程为背景,介绍了预制拼装大悬臂倒T盖梁设计方案,并结合施工中遇到的问题,可供类似工程参考。

1 工程概况

呼和浩特市昭乌达路哲里木路改造提升工程(以下简称“本工程”),起点位于南二环快速路,终

收稿日期:2024-02-28

作者简介:宋华茂(1970—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

点位于呼和浩特市北二环快速路,路线全长约10 km。工程采用主线高架+地面辅道的形式,工程范围内包含改造立交1座、新建立交2座,新建平行匝道9条。

主线高架桥标准段宽度25.5 m,双向6车道,主线标准段上部结构采用30 m简支预应力混凝土小箱梁(桥面连续),下部结构采用大悬臂倒T盖梁,通过双立柱与矩形承台相连,桩基采用直径1.5 m钻孔灌注桩(见图1、图2);平行匝道桥宽8.5 m,单向2车道,匝道标准段上部结构采用与主线标准段一致的30 m简支预应力混凝土小箱梁(桥面连续),下部结构采用倒T盖梁,通过单立柱与矩形承台相连,桩基采用直径1.2 m钻孔灌注桩。



图1 标准段大悬臂倒T盖梁效果图

本工程处于呼市交通繁忙和人流聚集的繁华市区,且呼市气候严寒限制了施工时间,为了加快施工进度,降低对周围交通干扰及环境、噪声污染等,本工程主线标准段和平行匝道桥采用全预制拼装设计建造,即除承台、桩基外,上部结构小箱梁、盖梁及立柱均采用预制拼装。

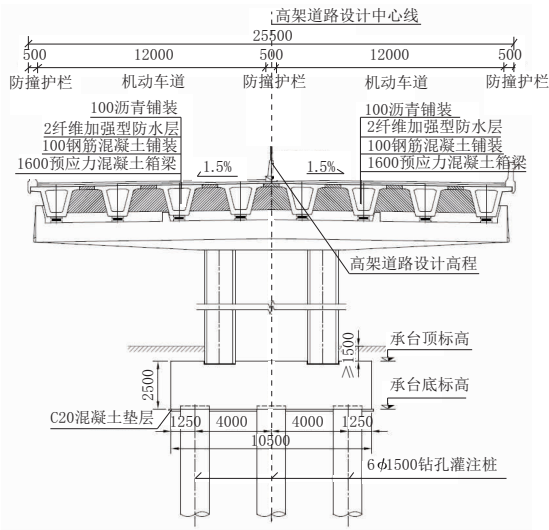


图 2 主线高架桥标准横断面(单位:mm)

2 预制拼装大悬臂倒 T 盖梁设计

2.1 构造设计

常见的盖梁的截面型式为矩形和倒 T 形 2 种。倒 T 盖梁上部结构可设置在其下翼缘顶部,在一定程度上减小了盖梁高度对桥下净空的影响,是桥下净空受限的城市高架中常用的盖梁形式。

本工程为减小盖梁对桥下净空影响,采用大挑臂倒 T 盖梁,盖梁横桥向总宽 25.2 m,立柱中心距 5.4 m,盖梁单侧最大悬臂长度 8.835 m,盖梁总宽度 3.25 m,倒 T 宽度 1.25 m,倒 T 高度 1.9 m,盖梁中心线处高 3.5 m,盖梁下牛腿高度 1~1.6 m 变高,材料采用 C60 自密实混凝土,倒 T 盖梁构造尺寸见图 3。

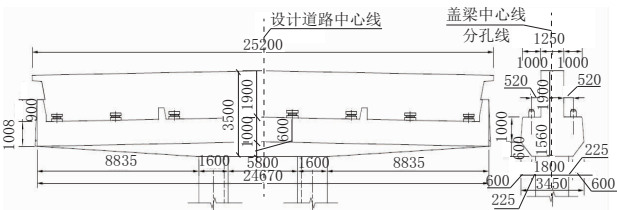


图 3 标准段大悬臂倒 T 盖梁构造图(单位:mm)

盖梁预应力钢束采用设计采用 12 束 $\phi 15-12$,均采用两端张拉,对应锚具采用 M15-12 型,对应波纹管采用内 90 mm 塑料波纹管,倒 T 盖梁钢束布置见图 4。

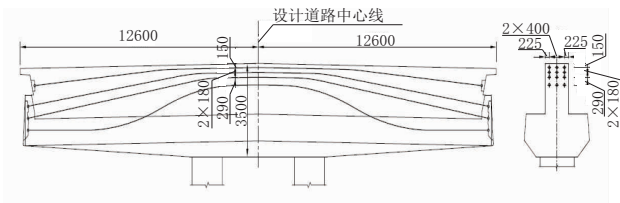


图 4 标准段大悬臂倒 T 盖梁钢束布置图(单位:mm)

2.2 倒 T 盖梁预制分段设计

倒 T 盖梁的常见预制分段方式包括:整块预制、上下分层预制和横向分段预制^[1]。2014 年上海 S6 公路采用整体预制盖梁;2014 年上海 S26 公路采用横向分段预制盖梁;2016 年嘉闵高架北线二期采用上下分层预制盖梁^[2]。倒 T 盖梁的分段方式受结构受力、运输条件、吊装能力等影响,需根据项目特点进行比较。本工程倒 T 盖梁宽度较宽,全宽为 25.2 m,对三种盖梁分段方式进行对比见表 1。

表 1 倒 T 盖梁分段方案综合比选

分段方式	整块预制	上下分层预制	横向分 2 段
简图			
节段重量	436 t	284 t	208 t
受力特性	整体性好,受力性能好	整体性能较好,需确保施工缝处的质量	湿接缝设置在受力较小处,受力性能较好
施工特性	无支架、需特种运输车、2 台 500 t 履带吊车	无支架、运输车、2 台 200 t 履带吊车	少支架、运输车、1 台 300 t 履带吊车
运梁分析	采用特种运梁设备,影响大	采用普通运梁设备,影响一般	采用普通运梁设备,影响一般

通过以上倒 T 盖梁分段方式的综合比选,整块预制方案从受力特性、文明施工等角度最优,但是对预制、运输、架设等因素限制较多,本工程倒 T 盖梁较宽,且重量较大,不宜采用整块预制方案。上下分层预制也是一种适用于倒 T 盖梁的较好的分段方式,上下分层后重量减轻,受吊装因素较小,但是需注意施工缝质量,且现浇部分较多,现场施工影响较

大。而横向分 2 段方案将湿接缝设置在双柱墩之间,受力合理,且吊装重量最小,也能充分体现预制装配的优势,是本工程推荐采用的分段方案。本工程倒 T 盖梁选择横向分 2 段预制,中间设 1.0 m 现浇湿接缝。

2.3 预制拼装盖梁结构计算

2.3.1 计算模型

盖梁计算采用平面杆系分析方法,建模计入立

柱和承台。计算软件采用桥梁博士，盖梁共划分 26 个单元,27 个节点,桥墩立柱共划分 14 个单元,承台划分 2 个单元,其中 43-44 单元为刚臂单元,盖梁计算有限元模型见图 5。

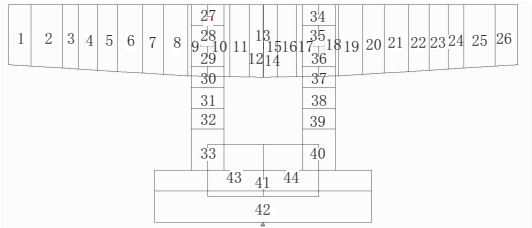


图 5 盖梁有限元模型

2.3.2 计算荷载

- (1)恒载:盖梁计入自身重量,上部结构一期二期恒载根据支座位置施加在盖梁上。
- (2)活载:城 -A 级,按 6 车道计,并按车道数予以折减。
- (3)温度荷载:均匀温差(整体):升温降温按 $\pm 30^{\circ}\text{C}$ 考虑;梯度温差(盖梁):按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[3] 第 4.3.12 条中 100 mm 沥青混凝土铺装的模式取值。
- (4)不均匀沉降:由于双柱墩共用承台,不考虑沉降影响。

2.3.3 施工阶段应力计算结果

根据预制拼装盖梁施工工序划分 6 个施工阶段,见表 2。

表 2 施工阶段划分

施工阶段号	施工内容
1	设置临时支承,架设预制盖梁段
2	预制盖梁湿接头结合,张拉第一批盖梁预应力,拆除临时支承
3	架设预制小箱梁
4	张拉第二批盖梁预应力
5	浇筑小箱梁湿接带和二期荷载
6	收缩徐变 3 650 d

经验算,各施工阶段盖梁应力均满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)^[4] 第 7.2.8 条规定的短暂状况应力验算要求。其中最不利工况预制拼装盖梁上、下缘正应力见图 6、图 7。

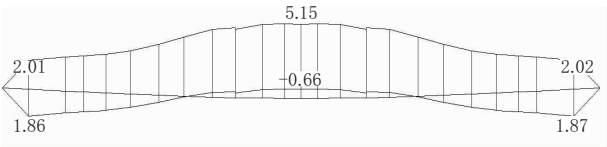


图 6 施工阶段 2 盖梁上、下缘正应力图(单位:MPa)

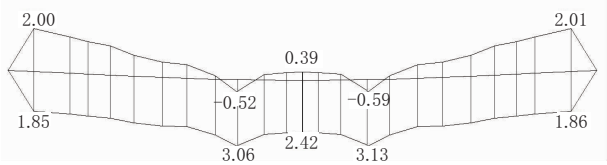


图 7 施工阶段 3 盖梁上、下缘正应力图(单位:MPa)

由以上最不利工况下结果,盖梁下缘最小应力为 0.66 MPa 的拉应力,该最不利工况是施工阶段 2,即预制盖梁已拼接完成且张拉第一批预应力,此时已拆除临时支承,还未架设上部结构,盖梁仅承受自重和预应力作用,大悬臂盖梁根部下缘拉应力达到最大值。盖梁上缘最小应力为 0.59 MPa 的拉应力,该最不利工况是施工阶段 3,即架设小箱梁阶段,此时已张拉第一批预应力,但还未张拉第二批预应力,大悬臂盖梁根部上缘拉应力达到最大值。

2.3.4 运营阶段应力验算

运营阶段盖梁按照部分预应力混凝土 A 类构件进行正截面和斜截面验算,计算结果见图 8 至图 12,盖梁计算结果均满足规范规定的持久状况应力验算要求。

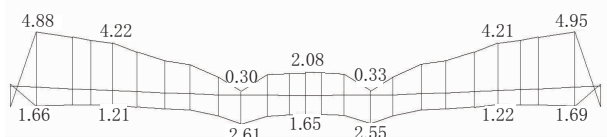


图 8 频遇组合盖梁最小正应力(单位:MPa)

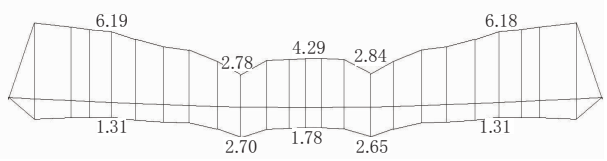


图 9 准永久组合盖梁最小正应力(单位:MPa)

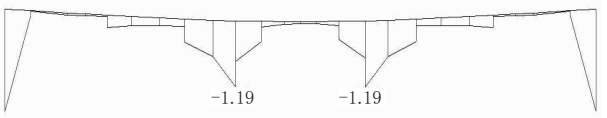


图 10 频遇组合盖梁主拉应力(单位:MPa)

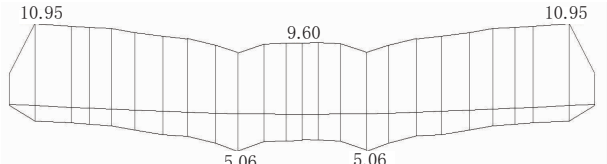


图 11 标准组合盖梁主截面正应力图(单位:MPa)

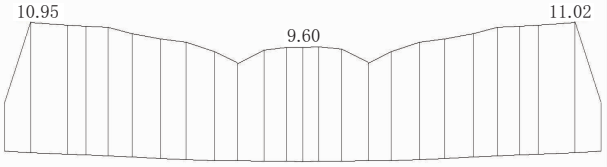


图 12 标准组合盖梁主截面主应力图(单位:MPa)

2.3.5 承载能力验算

承载能力极限状态计算最大最小抗弯承载力见

图 13、图 14, 盖梁计算结果均满足规范要求。

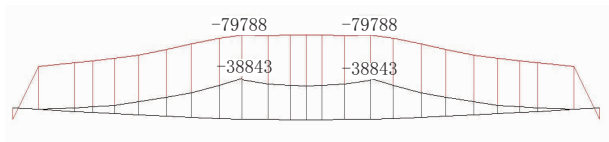


图 13 最大抗弯承载力及其对应内力 (单位: kN·m)

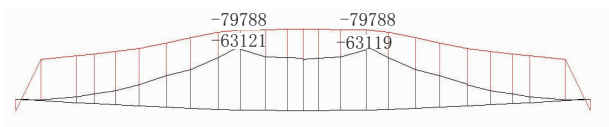
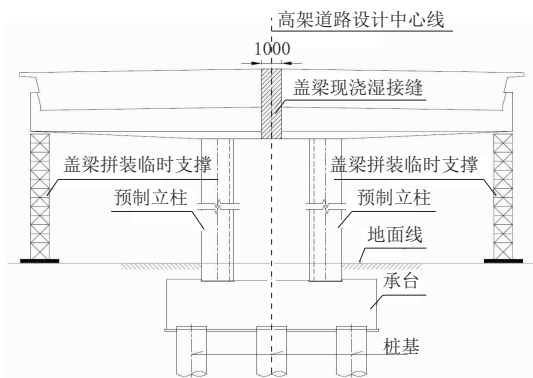


图 14 最小抗弯承载力及其对应内力 (单位: kN·m)

3 预制拼装盖梁施工

3.1 施工方案

本工程盖梁节段拼装流程: 盖梁在预制厂进行分段预制→成品盖梁使用运梁车运至施工现场→盖梁两远端设置临时支撑→立柱顶部拼接面凿毛并清理→半幅盖梁与单侧立柱拼装→另半幅盖梁与单侧立柱拼装→在节段间安装湿接缝模板→浇注湿接缝→待湿接缝混凝土强度达到设计强度的 85% 以上后, 施加盖梁节段间第一批预应力→预应力张拉、锚固完成后, 拆除两远端设置临时支撑→待箱梁架设完毕后施加盖梁第二批预应力。标准段大悬臂倒 T 盖梁施工方案见图 15。



(a)



(b)

图 15 标准段大悬臂倒 T 盖梁施工方案 (单位: mm)

3.2 施工中遇到的问题与建议

3.2.1 超重盖梁运输车问题

预制拼装大悬臂盖梁节段为本工程预制拼装运

输吊装最重节段, 其合理的运输方式运输路线以及吊装方案均为本工程的重点。本工程预制厂位于呼和浩特市南部, 预制构件运输至市中心需跨越大黑河和小黑河, 通行桥梁包括科尔沁快速路跨大黑河桥、敕勒川大桥 (跨小黑河)。考虑预制盖梁重量后的车辆总重为 280 t, 属于特种车辆, 对于途经桥梁需进行复核验算, 特别是科尔沁快速路跨大黑河桥为 30 m 跨径简支变连续小箱梁桥结构, 根据计算结果, 选取 28 轴车辆, 科尔沁快速路跨大黑河桥最不利的边跨边梁小箱梁拉应力满足规范要求。

除以上计算复核外, 预制盖梁构件装车时, 车板与构件之间安放抗震橡胶, 并保证构件的受力均匀及平稳。此外还需在车上设置分配梁, 保证预制盖梁荷载可均摊给 28 个车轴。两边用两根尼龙绑带捆绑, 以防构件磨损及移位。

在预制拼装桥梁中, 超重盖梁的运输往往与现状桥梁情况相关, 由于城市桥梁中常用的小箱梁由于单片梁横向分布系数较大可能导致应力超限的情况, 需对特种车辆通行进行详细计算复核。考虑到运输条件, 盖梁最大重量宜控制在 250 t 以内, 同时建议尽可能对预制拼装盖梁进行轻量化设计, 缓解特殊桥梁上的超重盖梁运输问题, 促进预制拼装桥梁的发展。

3.2.2 盖梁钢筋优化设计

本工程在设计盖梁钢筋之初, 盖梁钢筋按照常规现浇预应力混凝土倒 T 盖梁设计, 抗剪钢筋除配置箍筋外, 设置传统斜筋提高其抗剪承载力, 特别对于两立柱间仍保留斜筋, 见图 16。由于本工程盖梁为横向分段, 中间设 1 m 现浇湿接缝, 导致湿接缝范围存在水平布置的主筋、钢束以及构造钢筋, 竖直布置的箍筋, 以及斜向布置的斜筋。湿接缝内钢筋与预制节段盖梁钢筋通过预埋机械连接套筒连接, 见图 17。通过施工现场反馈, 现场 1 m 湿接缝范围较小, 特别是斜筋施工较为困难。

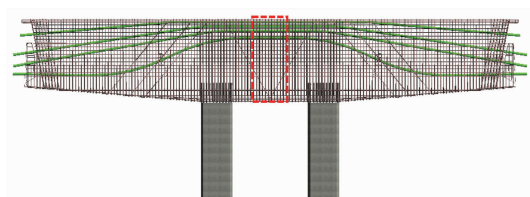


图 16 盖梁钢筋示意

对于预制拼装大悬臂盖梁, 考虑预制拼装盖梁横向受力的的重要性, 横向分段的湿接缝不宜过大, 且应尽可能避开受力较大的大悬臂根部等位置。同时



图 17 盖梁湿接缝处断面

建议设计人员在预制拼装盖梁的设计中,简化盖梁配筋(配束)形式,一方面提高预制效率,另一方面减少现场施工湿接缝的难度。对于湿接缝范围的预应力钢束应保证等间距平行布置,对于湿接缝范围的

钢筋应根据计算,尽量取消预制拼装湿接缝处传统斜筋布置,降低现场施工难度,对于剪力较大处可通过加强箍筋设计,以满足截面抗剪承载力的要求。

4 结 语

本文结合呼和浩特市昭乌达路哲里木路改造提升工程标准段盖梁,针对预制拼装倒 T 盖梁进行了计算分析。结果表明,预制拼装倒 T 盖梁计算结果均满足现行规范要求。结合施工情况,对盖梁设计和施工提出改进意见,对后续预制拼装大悬臂倒 T 盖梁的大规模推广具有一定参考意义。

参考文献:

- [1] DG/TJ 08-2160—2015, 预制拼装桥墩技术规程[S].
- [2] 刘书杰.全预制拼装技术在呼和浩特市某快速路改造提升工程中的应用[J].上海建设科技,2018(6):25-27.
- [3] JTG D60—2015, 公路桥涵设计通用规范[S].
- [4] JTG 3362—2018, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

(上接第 88 页)

面板的内力分配比例,不能单纯通过调整横向钢筋的疏密来控制横向钢筋应力,这在以后的设计中需给予更多的关注。

(2)根据本文系统分析结果,为兼顾钢筋应力状态,并同时充分利用钢桥面板的力学优势,在钢顶板厚度 14 mm、钢筋直径 22 mm 的情况下,宜将横向钢筋间距、纵向钢筋间距分别取为 150 mm,如此组合可认为是最优的钢筋布置方式。

(3)计算结果表面,桥面板底部纵向钢筋对间距

的变化较不敏感,并且整体始终处于较低的应力水平,因而可考虑对桥面板底部纵向钢筋进行优化设计,削减底部钢筋密度与用量,从而节约工程造价,优化桥梁结构。

参考文献:

- [1] 邵长宇.梁式组合结构桥梁[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [2] 刘明虎.桥梁钢—混凝土结合技术工程实践与展望[J].桥梁建设,2022(52):18-25.
- [3] 赵路洋,郑凯锋.钢—混凝土组合梁桥设计方法和新结构形式[J].铁路与公路,2022(5):141-144.