

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.260280

轻量化预制混凝土盖梁设计研究

刘大中

[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: 在城市更新的背景下,交通饱和路段开展高架改造,为确保现状道路正常通行,工程项目需采用轻量化混凝土预制盖梁进行安装作业。梳理了预制盖梁的多种轻量化方案,包括轻质高强材料采用、结构体系优化、施工方法改进等,并重点研究了预制混凝土盖梁纵向分片方案。针对大挑臂预制盖梁的3种纵向分片方案进行对比研究,纵向分片后设置全截面湿接缝的方案具有相对优势,并对其设计、施工方案进行了细致的分析,可在同类工程建设中推广应用。

关键词: 轻量化;预制盖梁;分片盖梁;结构设计;施工方案

中图分类号: TU997 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2026)08-0166-04

Research on Design of Lightweight Precast Concrete Bent Cap

LIU Dazhong

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Against the backdrop of urban renewal, the elevated road sections with saturated traffic are being reconstructed. To guarantee the normal traffic of existing roads, the lightweight precast concrete bent caps are adopted for installation in the project. The multiple lightweighting schemes for precast bent caps are sorted out, including the application of lightweight and high-strength materials, the optimization of structural systems and the improvement of construction methods, and the longitudinal segmentation scheme of precast concrete bent caps is specially studied. For large-cantilever precast bent caps, three types of longitudinal segmentation schemes are compared and analyzed. The scheme of setting full-section wet joints after longitudinal segmentation has a relative advantage, and its design and construction schemes are analyzed in detail, which is convenient for promotion and application in similar engineering construction projects.

Keywords: lightweight; precast bent cap; segmental bent cap; structural design; construction scheme

0 引 言

上海城市建设已进入存量更新为主阶段,中心城区的更新必须以骨干路网提质为前提,高快速路网的功能提升通常有地面高速路拼宽、地面高速抬升为高架等多种方式。其中城区地面高快速路抬升为高架是上海地区主要环线高快速或射线高快速路功能提升的主要模式。改造后的道路一般采用主线高架+地面辅道的方案,具有车道规模增加较多、消除地块阻隔等综合性优势。

上海交通的症结体现在车多路少、结构失衡、局部拥挤,因此在高快速路功能提升的施工过程中,为避免加剧交通拥堵,改造过程中既有线路的保通保畅就更为迫切^[8]。新建上层高架的同时,需确保新

收稿日期: 2026-03-30
作者简介: 刘大中(1986—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

建桥梁的投影面下的保通道路在施工过程中不受施工影响或者尽量缩短交通被影响的时间。施工过程中的典型道路横断面如图1、图2所示。

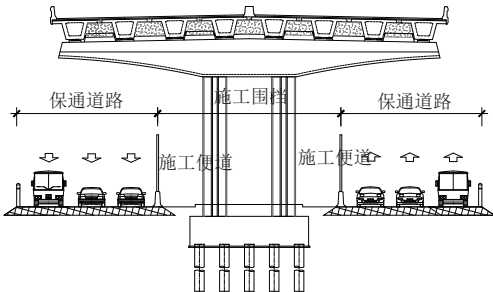


图1 大挑臂盖梁桥梁投影面下保通断面

常规混凝土大挑臂盖梁或者门墩盖梁的结构自重非常大,如图1所示的大挑臂盖梁,自重可达490 t,常规设备整体吊装的难度较大。一般的解决方案是将盖梁横向分为两段,设置湿接头+临时墩柱的施工方

案^[1-2]。但是在保通的前提下,几乎不具备设置临时墩的条件,为实现盖梁的横向不分段吊装,控制吊

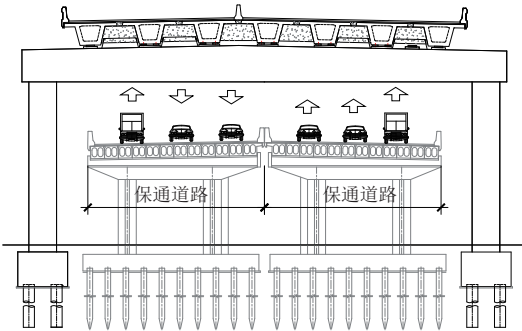


图2 门墩盖梁桥梁投影面下保通断面

装重量不超过 250 t, 兼顾预制盖梁建设的经济性和施工效率, 对盖梁的轻量化方案进行研究具有一定的工程实践价值。

1 盖梁轻量化实施方案

为了减轻盖梁的总重量, 一般有 3 种方法: 第一种是改变工程材料, 这是最直接的方法, 如采用高强材料或者轻质材料, 如钢结构^[7]、UHPC 结构、组合结构等; 第二种是利用结构体系减重, 如采用变高度盖梁、空心或箱型盖梁、槽型盖梁等; 第三种是改变施工方法, 如横向分段吊装^[1-2]、先预制槽型外壳再后浇凹槽、纵向分片预制吊装等方法, 化整为零便于施工。

(1) 采用高强或轻质材料是减轻盖梁自重的直接方法。钢盖梁是公路、铁路、轨道交通项目中常用的结构, 技术成熟, 但是造价较高, 结构刚度较小, 梁柱节点和支座区局部受力相对复杂。纯 UHPC 薄壁盖梁的工程应用较少, 造价也较高, 目前更多处于研究和技术积累阶段^[3,5]。国内也有进行高强钢-UHPC 组合盖梁的研究和应用案例, 此种结构具有降低梁高、减轻重量、缩短施工周期方面的优势, 目前尚处于研究和试验性应用阶段^[14-16]。

(2) 通过改变结构体系来减重, 比如采用变高盖梁、槽型盖梁、空心盖梁^[12]、箱型盖梁等, 利用结构形式的变化来减轻自重, 从力学的角度来看是效率最高的手段。变高梁很常见, 工程中已经普遍应用; 空心或箱型盖梁能够直接减轻重量^[3], 但是受盖梁截面尺寸限制, 存在模板复杂、钢筋及预应力钢束布置困难、支座区应力集中等缺点。

(3) 通过改变施工方法也能实现盖梁的轻量化施工。如将盖梁横向分段吊装后再浇筑横向湿接头的方法^[2], 可以降低单次吊装重量。又如引言中介绍的门架墩施工受限时, 可以将盖梁抠槽成船形, 先预制盖梁外壳, 将槽型外壳吊装于立柱之后, 再浇筑

槽型凹槽内的混凝土, 实现轻量化安装^[11]。在大挑臂盖梁不具备设置横向湿接段的情况下, 可将盖梁纵向分片^[13], 逐片预制、运输和吊装, 单片吊装之后跟立柱固结, 这种施工方式对桥下行车的影响较小, 因此纵向分片盖梁也是本文重点研究对象。

2 纵向分片盖梁设计方案

鉴于混凝土大挑臂盖梁的自重可达 490 t, 整体预制会给运输、吊装带来极大困难。盖梁纵向分片预制, 可以显著减轻单次吊装重量。

如图 3、图 4 所示, 大挑臂盖梁纵向分片可以有 3 种方式: 第 1 种, 分片盖梁之间相互独立, 并设置永久结构缝; 第 2 种, 分片盖梁之间顶部连接, 其余部分仍保留结构缝; 第 3 种, 盖梁分片预制, 分片盖梁之间全截面湿接形成整体。

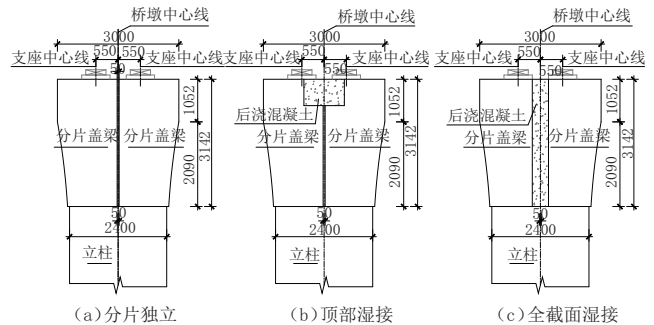


图3 分片盖梁横向连接方式(单位:mm)

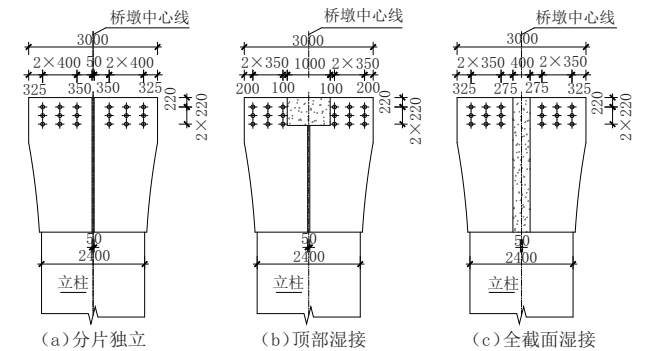


图4 分片盖梁钢束布置横断面(单位:mm)

(1) 分片盖梁相互独立, 优势在于施工便利, 预制盖梁吊装完成之后没有相互连接工序, 对盖梁投影面下的行车安全更有利。其缺点在于: 由于分片盖梁之间不连接, 单片盖梁在温度力、制动力等纵桥向的水平力下, 盖梁的面外应力大, 盖梁的面外刚度和承载力低于整体盖梁; 预应力合力相对单片盖梁有偏心, 预应力会导致两片盖梁之间的缝隙变大, 如图 5 所示; 盖梁中间设结构缝, 不适宜于连续梁中墩, 整体垫石跨结构缝易出现病害; 盖梁之间的结构缝永久存在, 伸缩缝等易损构件发生渗水等病害

也会影响盖梁的耐久性和景观效果。



图5 分片独立盖梁预应力横弯变形(单位:mm)

(2)分片盖梁顶部湿接,其余部分仍保留结构缝,顶部的湿接混凝土能够以预制部分为底模,施工对盖梁投影面下行车安全影响较小。顶部形成整体克服了纵向水平力作用下的面外受力的问题和盖梁顶部渗水问题。其缺点在于:盖梁顶部刻槽,预应力合力相对盖梁偏心更为不利;盖梁之间的结构缝永久存在,耐久性和可维修性较差。如果在盖梁梁体张拉纵向短钢束或者钢拉杆,可以进一步增强整体性,改善受力性能。

(3)盖梁纵向分片预制,吊装就位后整体湿接,这种盖梁与常规预应力混凝土盖梁力学性能相当,整体性好,施工便利^[9]。其面外刚度、竖向刚度、耐久性、美观性均优于前两种方案。由于分片盖梁之间是混凝土湿接缝,桥梁排水管可以预埋于盖梁中间,采用内置式排水,能进一步提升结构景观。其缺点是混凝土用量有所增加,湿接施工现场作业量稍大,施工周期相对较长。

3 纵向分片盖梁施工方案

纵向分片盖梁既要满足单片盖梁在保通和常规设备前提下的可吊装性,也要尽量满足其施工的便利性,以下简要介绍纵向分片盖梁的施工方案。

以桥宽 $B=33.5$ m,上部结构为8片小箱梁的双柱大挑臂盖梁为例。立柱尺寸 2.0 m $\times$ 2.4 m,盖梁梁高 3.2 m,厚度 3 m,截面侧面为直线、 $R=18$ m的圆弧线,盖梁的主要构造如图6~图8所示,纵桥向分为2片,单樁顶宽 1.3 m,湿接缝宽度 0.4 m,分片盖梁底部设置 0.2 m厚预制底板,可以兼作湿接缝底模。

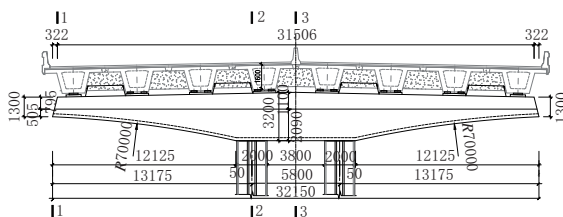


图6 分片独立盖梁立面图(单位:mm)

盖梁预应力线形、钢束横断面布置如图7、图8所示,单片盖梁预应力分3层,每层3束,上3层钢束规格 $\phi_{15.2-17}$,下层钢束规格 $\phi_{15.2-15}$,预应力钢束分3批张拉,张拉次序如图8中的3-3断面所示。

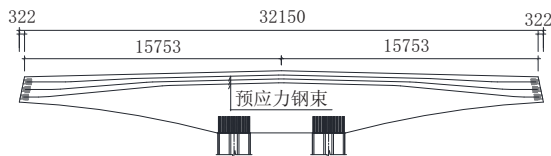


图7 分片独立盖梁钢束立面图(单位:mm)

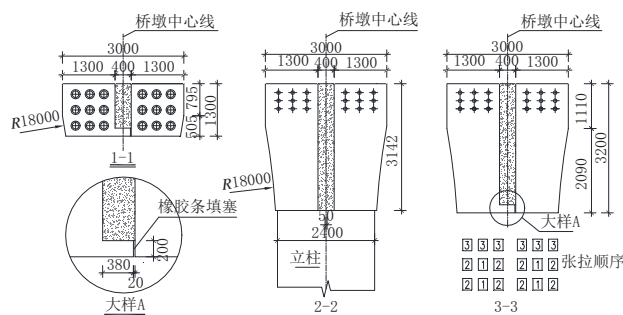


图8 分片横断面及钢束断面图(单位:mm)

盖梁首先在预制厂分片预制,混凝土达到设计强度后,工厂张拉第1批钢束。由于湿接缝预制底板的影响,每片盖梁的重量分别为 238 、 232 t,满足整体运输、吊装的要求。

盖梁运输到施工现场后,吊装至立柱上,盖梁与立柱采用套筒连接^[6],且单片盖梁预埋钢筋伸入混凝土后浇带中,预制底板设置于单侧分片盖梁上,避免吊装过程中盖梁钢筋与预制底板冲突。湿接缝养护达到设计强度后,张拉第2批钢束。

接着吊装小箱梁,全部吊装之后,张拉第3批钢束,盖梁施工完成。后续可进行垫石挡块、小箱梁湿接缝、铺装等施工。

4 纵向分片盖梁结构计算

结合盖梁的施工过程,准确模拟盖梁湿接前后的刚度、钢束张拉顺序等,对盖梁进行结构设计计算,计算模型如图9所示。盖梁采用C60低收缩混凝土,湿接缝采用C60无收缩混凝土,钢束采用公称直径 15.2 mm、抗拉强度 1860 MPa的钢绞线^[4]。

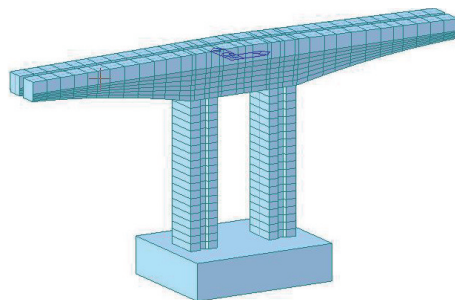


图9 分片盖梁MIDAS计算模型(单位:mm)

计算荷载包括小箱梁自重、铺装栏杆等二期恒载、城-A级车道荷载等,恒载加载考虑施工阶段的影响,活载考虑双向8车道,计入冲击系数、横向多

车道分布系数等,主要计算结果如表 1 所示,分片盖梁的竖向位移及上、下缘应力分布见图 10 ~ 图 15。

表 1 盖梁各工况计算结果

荷载工况	盖梁挑臂端部				盖梁挑臂根部	
	上缘应力/MPa	下缘应力/MPa	竖向位移/mm	横向位移/mm	上缘应力/MPa	下缘应力/MPa
盖梁吊装	-1.1	-6.1	3.0	0.2	-2.3	-0.9
湿接缝	-1.0	-6.1	2.0	0.4	-1.9	-1.4
张拉第 2 批	-3.0	-18.0	14.9	0.4	-9.4	0.2
小箱梁吊装	-3.0	-16.9	-7.4	0.4	-0.2	-8.2
张拉第 3 批	-15.2	-13.4	9.3	0.4	-7.8	-6.1
二期恒载	-15.1	-13.4	3.2	0.4	-5.5	-8.6
收缩徐变	-14.2	-12.0	1.4	0.4	-5.1	-8.7
频遇组合	-13.6	-12.0	-6.7	0.4	-0.7	-9.9
标准组合	-14.1	-12.7	-9.7	0.4	-5.3	-15.2

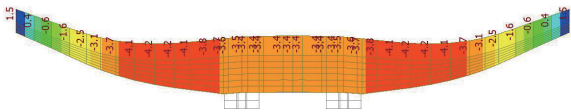


图 10 分片盖梁收缩徐变阶段竖向位移图(单位:mm)



图 11 分片盖梁收缩徐变阶段上缘应力图(单位:MPa)

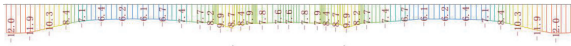


图 12 分片盖梁收缩徐变阶段下缘应力图(单位:MPa)

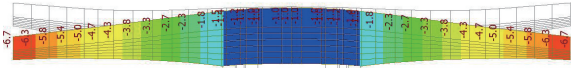


图 13 分片盖梁频遇组合竖向位移图(单位:mm)



图 14 分片盖梁频遇组合上缘应力图(单位:MPa)



图 15 分片盖梁频遇组合下缘应力图(单位:MPa)

由表 1 可知,盖梁在施工期间最大拉应力为 0.2 MPa,最大压应力为 18.0 MPa,满足 C60 混凝土短暂工况应力验算要求;频遇组合不出现拉应力,标准组合最大压应力为 15.2 MPa,满足持久状况正常使用极限状态要求。由于盖梁钢束分 3 批张拉,盖梁的横向变形仅由第 1 批张拉的预应力和湿接缝自重引起,其横向变形仅为 0.4 mm,不影响结构安全及美观。

先纵向分片后全截面湿接的预应力混凝土盖梁,既能解决保通保安全前提下的施工问题,又不削弱盖梁的力学性能,维持了盖梁的强健性^[10]。

5 结 语

该文介绍了混凝土预制梁轻量化设计方案,并着重对大挑臂盖梁的纵向分片方案进行了分析;对

先纵向分片后整体湿接方案的结构设计、力学特点、施工方案都进行了相应研究。该文主要研究结论如下。

(1)常规预制混凝土盖梁自重大,保通前提下采用常规设备整体吊装的难度较大,采用轻量化预制盖梁进行安装是解决此施工难题的一种途径。

(2)可通过采用新材料、新结构体系来减小盖梁自重,其应用受施工场地限制,且造价偏高,施工工艺尚需进一步研究和验证。

(3)纵向分片盖梁基于保通前提下可以采用常规设备施工,纵向分片可因地制宜采用不同形式。

(4)先分片预制后全截面湿接的方案,在合适的施工工序下,能兼顾轻量化施工和力学性能,具备在同类工程中推广的价值。

参考文献:

[1] 王巍,杜林清,马磊,等.新型分片预制盖梁构造及受力性能研究[J].城市道桥与防洪,2025(11):104-107;113.

[2] 武占科.超大吨位预制拼装盖梁纵向分片设计与分析[J].城市道桥与防洪,2025(4):108-112.

[3] 严阅.预制装配式大悬臂 UHPC 空心盖梁受力性能分析研究[J].中国市政工程,2024(3):96-102;107;158-159.

[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].

[5] 姚晓飞,霍龙飞,来猛刚,等.轻量化 UHPC 箱型盖梁力学性能研究[J].混凝土,2025(8):185-193.

[6] 涂文强,陈晔,胡火全.预制盖梁设计关键技术探讨[J].价值工程,2025,44(12):101-104.

[7] 严科,张瑞兴,杨辉,等.装配式高架桥预制盖梁模板轻量化技术研究[J].建筑结构,2022,52(增刊2):1657-1661.

[8] 齐新,孔令刚,吴东升.城市预制拼装桥梁若干问题浅析[J].上海公路,2020(2):40-42;128.

[9] 刘力铭,宋健,孙天霞,等.装配式大悬臂盖梁分片预制拼装纵向湿接缝施工技术[J].石材,2025(5):173-176.

[10] 高飞.大悬臂预制拼装盖梁抗弯安全性能研究[D].上海:上海应用技术大学,2019.

(下转第 187 页)