

大悬臂预应力盖梁在上部结构换梁施工过程中的受力性能研究

杨 玲

[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: 大悬臂预应力混凝土盖梁施工中常常采用预应力分批张拉以满足受力需求,若后续桥梁维修更换上部结构,大悬臂预应力盖梁则会面临卸载工况,出现应力过大,甚至混凝土开裂或压溃等不利情况。为研究S20外环泰和路高架在整体换梁施工过程中大悬臂预应力混凝土盖梁的受力性能,建立了施工全过程有限元模型,通过结算结果分析,提出汽车吊联合压重块压重的施工措施,优化全过程施工步骤,解决了盖梁应力超限的问题,保障施工安全,为以后类似工程提供参考。

关键词: 大悬臂;预应力混凝土盖梁;分批张拉;卸载;受力性能

中图分类号: U442.5;TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)03-0186-04

Research on Mechanical Behavior of Large Cantilever Prestressed Bent Cap during Superstructure Girder Replacement Construction

YANG Ling

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

Abstract: Large cantilever prestressed concrete bent caps commonly employ staged tensioning of prestressing tendons during construction to meet structural requirements. If bridge superstructure is replaced during subsequent bridge maintenance, large cantilever prestressed bent caps will encounter unloading scenarios, potentially leading to adverse conditions such as concrete cracking or crushing failure. To investigate the mechanical behavior of large cantilever prestressed concrete bent caps during the holistic girder replacement of Shanghai S20 Outer Ring Taihe Road Viaduct, a full-process FE model was established. Analysis of structural calculation results led to the implementation of construction measures utilizing mobile cranes combined with counterweight blocks. This approach optimized construction sequencing, resolved bent cap stress exceedance issues, ensured construction safety, and provided valuable references for similar future projects.

Keywords: large cantilever; prestressed concrete bent cap; staged tensioning; unloading; mechanical behavior

0 引 言

大悬臂预应力混凝土盖梁在保证桥上有足够的行车道宽度的同时又在桥下预留了更多空间^[1],满足地面交通的需求,可节约土地,同时具有通透性、美观性,在许多城市高架桥梁中被广泛应用。其上部结构一般采用空心板梁、小箱梁、T梁等预制装配式结构形式。随着桥梁服役时间的增长,超载、施工偏差、结构老化等因素导致上部结构出现结构性裂缝、下挠等影响桥梁安全性的病害。当病害严重时,

上部结构整体换梁在彻底修复病害的同时也成了桥梁全寿命周期最具经济性的维修方案。桥梁上部结构换梁施工过程中,下部结构将面临卸载、偏载等工况。大悬臂预应力混凝土盖梁在新建的时候根据受力需求,一般采用分批张拉,即盖梁混凝土达到设计要求后张拉第一批预应力钢束,上部结构架设完成后张拉第二批预应力钢束,之后施工桥面铺装、护栏等附属结构。所以在面临与新建桥梁逆工序的拆梁施工时,大悬臂预应力混凝土盖梁在预应力作用下可能会出现悬臂上缘混凝土压应力过大或下缘混凝土拉应力过大,甚至出现混凝土压溃、开裂等危险^[2]。荣向波等^[3-5]研究了大悬臂预应力混凝土盖梁的受力特征,提出了相应的设计方法与计算要点;糜怀谷等^[6-8]研究了大悬臂预应力混凝土盖梁的病害

收稿日期: 2025-07-17

基金项目: 上海市交通委科研项目(JT2024-KY-001)

作者简介: 杨玲(1990—),女,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

形式及其成因,提出了病害处置方案;陈殿邦等^[9-11]研究了大悬臂预应力混凝土盖梁的配束方式,分析了施工顺序对盖梁受力的影响;李贵勇等^[12-13]根据某城市高架桥换梁实例,提出了框架预应力混凝土盖梁在上部结构换梁过程中的安全控制措施。目前,针对大悬臂预应力混凝土盖梁在上部结构换梁施工过程中受力性能的研究鲜少,相关的工程实例也比较罕见。

本文以 S20 外环泰和路高架桥梁修复养护工程为背景,通过对整体换梁施工全过程建立有限元模型模拟分析,研究大悬臂预应力混凝土盖梁在上部结构换梁施工过程中的受力性能,提出相应的施工顺序与施工措施,为换梁施工安全性提供依据,也为类似项目施工提供参考。

1 工程概况

S20 外环高速泰和路高架桥梁标准跨径为 22m,双幅布置,单幅横断面布置为 0.5 m(防撞墙)+16 m(车行道)+0.5 m(防撞墙)=17 m。原上部结构采用 16 片铰接空心板梁,如图 1 所示;换梁后上部结构采用 10 片刚接空心板梁^[14],如图 2 所示。

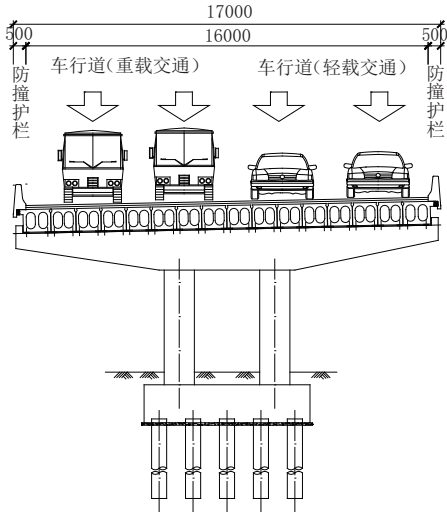


图 1 原桥标准断面图(单位:mm)

盖梁采用倒“T”型式,跨径布置为 6.5 m+3.8 m+6.5 m=16.8 m,宽 2 m,中心处高 2.555 m,如图 3 所示。

倒“T”盖梁配 6 根 $\phi_{15.2-9}$ 钢绞线,分 2 批张拉,盖梁混凝土达到 100% 设计强度后张拉第一批钢束 N1,上部结构空心板架设完成后张拉第二批预应力钢束 N2,如图 4 所示。预应力钢绞线标准强度 $R_y=1\ 860\ \text{MPa}$,弹性模量 $E_y=1.95\times 10^5\ \text{MPa}$,控制张拉应力 $\sigma_k=0.75R_y$ 。

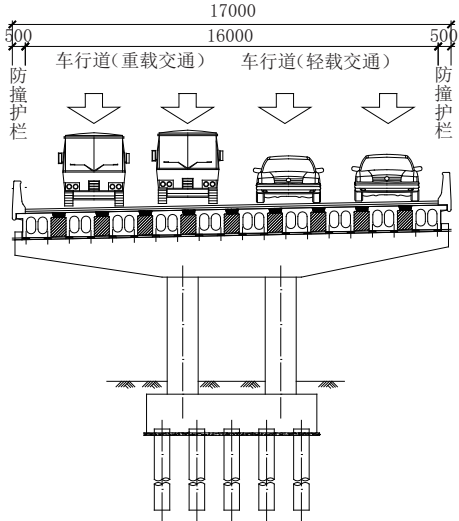


图 2 换梁后标准断面图(单位:mm)

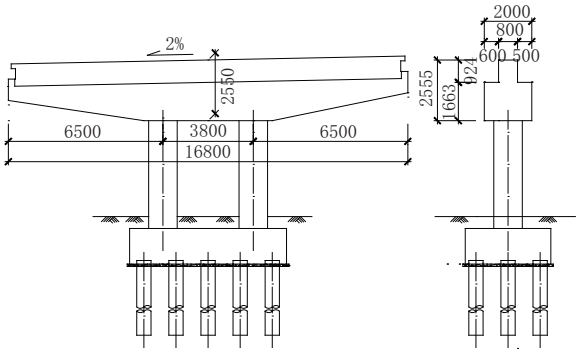


图 3 盖梁构造图(单位:mm)

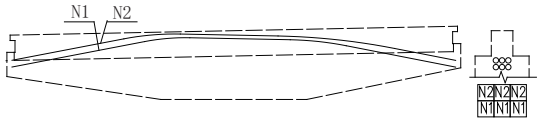


图 4 盖梁钢束布置图

2 整体换梁施工步骤

2.1 总体工序

泰和路高架桥梁整体换梁施工采用汽车吊梁上拆梁、梁上架梁,单幅施工时,先更换重载交通侧 9 片板梁,剩余 7 片板梁作为运梁通道。重载交通侧板梁更换完成、钢筋混凝土铺装浇筑后,再利用新换刚接板梁作为运梁通道,更换另一侧板梁。

2.2 盖梁最不利工况判别

施工过程中,当重载交通侧 9 片板梁拆除完毕,新梁未安装,汽车吊开走时,大悬臂预应力混凝土盖梁会出现一个最大的卸载工况,如图 5 所示。

采用桥博 V5.0 建立上述盖梁最不利工况有限元模型,盖梁、立柱、承台均采用梁单元模拟,承台底固结,如图 6 所示。

下部结构自重按实际截面尺寸计算,混凝土容重 $26\ \text{kN/m}^3$,上部结构反力按支座实际位置加载,单

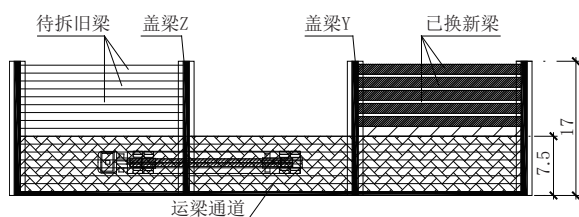


图5 盖梁最不利工况(单位:m)

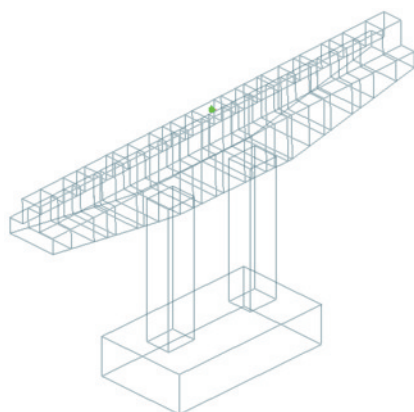


图6 盖梁有限元模型

片铰接空心板中板自重 300 kN(含 80 mm 厚钢筋混凝土铺装)、边板自重 400 kN(含 80 mm 厚钢筋混凝土铺装),单片新梁刚接空心板中板自重 380 kN,边板自重 430 kN。最不利工况下盖梁 Z 加载如图 7 所示,对应盖梁应力如图 8 所示;盖梁 Y 加载如图 9 所示,对应盖梁应力如图 10 所示。

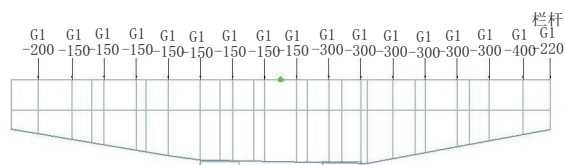


图7 最不利工况盖梁Z加载(单位:kN)

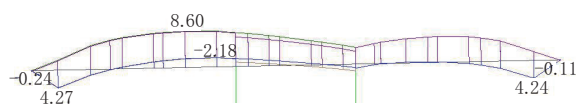


图8 盖梁Z应力(单位:MPa)

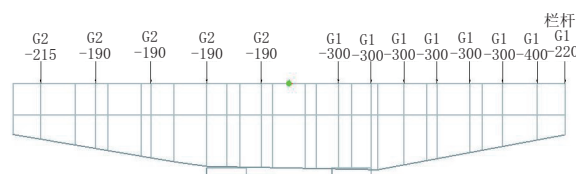


图9 最不利工况盖梁Y加载(单位:kN)

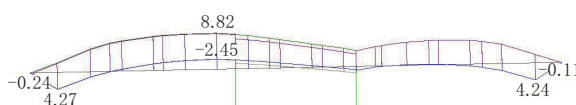


图 10 盖梁 Y 应力(单位:MPa)

由上图计算结果可知,最不利工况下盖梁悬臂根部下缘混凝土拉应力分别为 2.18、2.45 MPa,盖梁为 C40 混凝土,允许拉应力限值为 1.65 MPa^[15],最不

利工况下盖梁的拉应力超出了规范限制。

2.3 施工措施与具体流程

针对上述最不利工况盖梁拉应力过大的问题,泰和路高架桥梁整体换梁施工过程中采取了汽车吊加压重块联合压重的措施。全过程施工具体流程如下。

(1) 铣刨沥青。

(2) 两台 100 t 汽车吊于重载交通侧半幅桥梁支腿就位,加配重 40 t。另半幅桥梁作为运梁通道。汽车吊站位前腿必须保证至少一半荷载传递至盖梁上,后支腿在老桥铰接空心板处必须踩在两片梁中间,保证两片梁均匀受力,后支腿在新桥刚接空心板处不能直接踩在边梁上,需通过路基箱将荷载传递至两侧相邻板梁。

(3)拆除重载交通侧9片板梁。运梁车就位,通过运梁通道将拆除板梁运至指定地点。拆梁顺序为由边梁至中梁,板梁全部拆除后,汽车吊带配重作为盖梁压重不移位。

(4) 安装 5 片新板梁。架梁顺序为先中板后边板。

(5)汽车吊移至下一跨,已换梁侧盖梁上压重块($2 \times 10 \text{ t}$)就位,如图 11 所示。

(6)重复步骤(1)~(5),直至重载交通侧半幅桥梁板梁更换完毕。

(7)施工新板梁湿接缝、浇筑钢筋混凝土铺装。

(8)已换梁侧半幅桥梁作为运梁通道,重复步骤(1)~(7),施工另半幅桥梁。

(9)全桥换梁施工完毕,摊铺沥青,施工桥面附属结构,成桥。

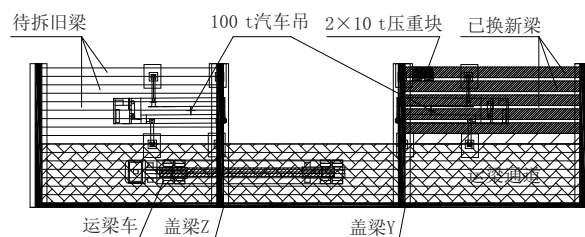


图 11 换梁施工典型阶段示意图

3 施工全过程计算

采用2.2节中盖梁有限元模型模拟2.3中换梁施工全过程,计算各施工阶段盖梁应力如表1所示。

由以上表格计算结果可知,泰和路高架整体换梁施工过程中,通过压重措施解决了大悬臂预应力混凝土盖梁卸载过程中混凝土拉应力超限的问题,整个施工过程中盖梁最大压应力 7.59 MPa,最大拉

表 1 盖梁悬臂上下缘应力表				单位: MPa	
项目		悬臂上缘应力		悬臂下缘应力	
施工步骤		最大	最小	最大	最小
铣刨沥青		6.14	0	4.57	-0.22
施工重载 交通侧板 梁	汽车吊就位,加配重	6.14	-0.16	4.57	-0.20
	9片板梁拆除	7.61	-0.25	4.27	-1.41
	5片新板梁安装	6.39	-0.23	4.29	-0.42
	汽车吊移至下一跨,已换梁侧压重块就位	6.14	-0.20	4.30	-0.20
	拆除下一跨9片板梁	7.59	-0.22	4.29	-1.40
	安装5片新板梁,卸除压重块	7.01	-0.22	4.29	-0.84
	施工湿接缝及钢筋混凝土铺装	5.61	-0.17	4.63	-0.20
	汽车吊就位,加配重		5.74	-0.25	4.66
7片板梁拆除		7.35	-0.30	4.63	-1.29
5片新板梁安装		6.41	-0.30	4.66	-0.41
施工另一 侧板梁	汽车吊移至下一跨,已换梁侧压重块就位	6.15	-0.23	4.65	-0.19
	拆除下一跨7片板梁	7.29	-0.28	4.53	-1.20
	安装5片新板梁,卸除压重块	6.8	-0.31	4.66	-0.73
	施工湿接缝及钢筋混凝土铺装	5.75	0	4.65	0
	摊铺沥青,施工桥面附属结构,成桥		5.40	0	4.61

注:备注:压应力为正,拉应力为负。

应力1.41 MPa,应力满足现行规范要求。

施工全过程盖梁最大弯矩及其对应的抗力、最大剪力及其对应的抗力如表2所示。

表2 盖梁内力表			
项目	内力	抗力	安全系数
弯矩/(kN·m)	16 683	22 548	1.4
剪力/kN	4 856	9 622	2.0

经过验算,泰和路高架桥梁整体换梁全过程中,盖梁强度满足规范要求,施工作业过程安全可靠。

4 结 语

S20外环泰和路高架桥在整体换梁施工过程中,

大悬臂预应力混凝土盖梁面临卸载工况,出现悬臂下缘拉应力过大的问题,最大拉应力2.45 MPa,影响施工中结构安全及后续运营使用中的安全性和耐久性。通过采取汽车吊加压重块联合压重的方法,优化施工步序,合理地解决了盖梁在施工中的应力超限问题,整个施工过程盖梁混凝土最大拉应力1.41 MPa,满足现行规范要求。同时,施工全过程中盖梁抗弯承载力安全系数为1.4,抗剪承载力安全系数为2.0,均满足规范要求。

科学的施工步骤和施工措施为泰和路高架桥梁上部结构整体换梁的施工作业提供了安全保障,也为类似工程施工积累了宝贵经验。

参考文献:

[1] 程苗.装配式大悬臂倒T型预应力混凝土盖梁设计[J].黑龙江交通科技,2022,45(11):72-74.

[2] 李国平.预应力混凝土结构设计原理[M].第二版.北京:人民交通出版社,2009.

[3] 荣向波,李学有.大悬臂预应力混凝土盖梁计算分析[J].交通科技,2016,276(3):14-17.

[4] 俞露.大悬臂预应力混凝土盖梁设计分析[J].中国市政工程,2010,145(2):25-27;77.

[5] 祁巍,聂拥军.大悬臂预应力盖梁设计与计算[J].城市道桥与防洪,2015,192(4):65-68.

[6] 糜怀谷.大悬臂预应力混凝土桥墩盖梁开裂成因分析及处治方案[J].科学技术创新,2023(18):172-175.

[7] 许宏伟,周洁,李勇.在役城市独柱大悬臂桥梁撞击后损伤加固研究[J].国防交通工程与技术,2021,123(6):57-59.

[8] 赵海清,谭桂华,王伟卿,等.高墩大悬臂预应力混凝土盖梁开裂原因分析[J].上海公路,2021,161(2):57-59;167.

[9] 陈殿邦,段晓东.关于大悬臂桥墩盖梁配束方式及施工顺序的探讨[J].黑龙江交通科技,2019,302(4):99-101.

[10] 李锦,刘刚,刘宇.大悬臂预应力混凝土盖梁配束研究及空间力学分析[J].城市道桥与防洪,2018(12):76-79;84.

[11] 李海冬,罗昊冲,李贵峰.上部结构施工顺序对预应力盖梁受力及配束的影响分析[J].北方交通,2015,271(11):13-16;20.

[12] 李贵勇.城市高架桥换梁过程应力分析与方案研究[J].公路交通科技(应用技术版),2020,187(7):191-196.

[13] 李贵勇,黄光文.某城市高架桥换梁施工安全控制与应急预案分析[J].公路交通科技(应用技术版),2020,186(6):228-232.

[14] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.S20外环泰和路高架桥(K93+283~K97+111、K0+000~K0+237)修复养护工程施工图[Z].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2024.

[15] JTG 3362—2018 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].