

超大吨位预制拼装盖梁纵向分片设计与分析

武占科

[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: 超大吨位盖梁的预制拼装方案是桥梁下部结构的关键问题。对常用的预制拼装盖梁的设计方案进行比较分析,提出了纵向分片的设计方案。通过总体计算、局部分分析和缩尺模型试验等手段,对设计方案进行了分析和验证,确认方案合理、可行。分析结果表明:不仅可用于双柱大悬臂盖梁,还能用于门架墩盖梁,具有较强的借鉴和推广意义。

关键词: 预制拼装;超重;盖梁;纵向分片

中图分类号: U443.32

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)04-0108-05

Design and Analysis on Longitudinal Segments of Super-large Tonnage Prefabricated Bent Cap

WU Zhanke

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

Abstract: The prefabrication and assembly scheme of super-large tonnage bent cap is the key problem of the bridge substructure. The common design schemes of the prefabricated bent cap are compared and analyzed to propose the design scheme of longitudinal segments. Through the means of overall calculation, local analysis and scaling model test, the design scheme is analyzed and verified to obtain the reasonable and feasible conclusion of the design scheme. The design scheme can be used not only for double-column large-cantilever bent cap, but also for gantry pier bent cap.

Keywords: prefabricated assembly; overweight; bent cap; longitudinal segments

0 引言

在国家绿色基建的倡导精神下,国内装配式桥梁建设发展较快。近10 a来,高装配化率的桥梁在建造质量、施工工期、风险控制和环境保护方面体现出了巨大的优势^[4]。

盖梁是下部结构的主要承重构件,一直是桥梁设计和施工关注的重点。城市高架桥受到地面辅路断面形式的限制,要求有较大桥下空间,故盖梁常见大悬臂盖梁或门式墩盖梁形式。因该类盖梁跨越和承重能力要求高,盖梁截面尺寸和重量均很大,整体预制盖梁的重量往往超过250 t,盖梁的运输和吊装困难一直制约盖梁的预制装配施工,预制盖梁构件的轻量化技术已成为当前亟须研究解决的问题。

本文以上海市外环东段(华夏中路—龙东大道)交通功能提升工程为背景,介绍了超大吨位预制拼

装盖梁纵向分片方案的设计方案,有效减轻了运输和吊装重量,可供类似工程设计参考。

1 工程概况

外环东段(华夏中路—龙东大道)交通功能提升工程实施范围南起华夏中路,北至龙东大道,全长约4 km,采用“主线高架+地面道路”的建设形式。主线将现状地面快速路改建为高架快速路,维持标准段双向8车道规模,整幅段标准桥宽34 m,设计速度80 km/h。主线高架荷载等级为城—A级,并按特-300验算。主线高架标准段上部结构采用跨径30 m左右的先简支后连续预应力混凝土小箱梁,跨路口和河道节点处采用连续组合梁,标准断面见图1。

受外环线的交通特征限制,该工程的特点是荷载大,施工期间原则维持双向8车道交通组织。这对预制拼装构件提出了高要求。

下部结构采用预应力混凝土盖梁,本文主要介绍大悬臂和门式墩处超大吨位预制拼装盖梁的预制拼装设计方案。

收稿日期: 2024-04-24

作者简介: 武占科(1981—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。



图1 主线高架工程断面效果图

2 预制拼装方案比选

如果采用钢盖梁,可以实现整体运输吊装,但钢盖梁造价高,钢盖梁和混凝土立柱接头受力和构造复杂,不作为推荐方案。

如果采用预应力混凝土盖梁,根据盖梁的受力和抗裂要求,初拟盖梁截面3.0 m(高)×2.7 m(宽),整个盖梁的重量达500 t,远远大于运输重量的限值250 t,盖梁须采用离散化预制运输,在现场进行拼装。结合施工时交通组织的要求,就目前可供选择的预制拼装方案进行比较分析。

(1)方案1:临时支撑法湿接缝横向分段

对较重的盖梁,通过横向分段后湿接缝连接,其受力性能接近整体盖梁,是横向分段常用的方法之一^[5],见图2。由于外环线施工期间盖梁下无搭设支架的条件,不推荐采用临时支撑分段吊装的工艺。

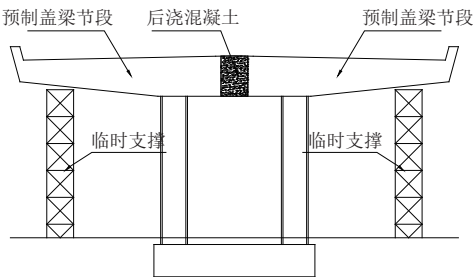


图2 临时支撑法湿接缝横向分段拼装盖梁

(2)方案2:反拉法湿接缝横向分段

有工程采用临时拉杆锚固法^[6-7],用精轧螺纹钢平衡固定半幅盖梁在承台上,再浇筑中间湿接缝,见图3。此种施工方法仅吊装时封闭盖梁下交通,对盖梁悬臂下的交通影响小。缺点是临时拉杆会占用两个立柱之间的空间,对施工通道的布置有较大影响。且该方案仅适用于大悬臂盖梁,不适用于门架墩盖梁。

(3)方案3:胶接缝法横向分段

在横向通过胶结拼缝将大悬臂盖梁的悬臂部分和中间部分进行拼装,是目前采用的分段拼装的方

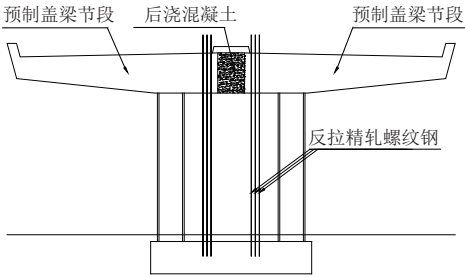


图3 反拉法湿接缝横向分段拼装盖梁

法之一^[8]。与整体预制盖梁相比,分段预制拼装盖梁的胶接缝是薄弱环节^[9]。根据现行规范要求,接缝处的抗弯承载能力须乘折减系数0.95,抗裂性能须按全预应力构件考虑。因此,当采用横向胶接缝连接时,接缝截面应尽量选在受力较小的位置,并通过适当增加梁高、增设预应力筋等措施提高接缝处的承载能力和压应力储备。

在该工程中,控制中间预制段的重量250 t,则拼接缝的位置在3#和6#小箱梁外侧,靠近盖梁根部,接缝处的受力较大,见图4。而通过增加盖梁高来提高承载能力时,会进一步恶化拼接缝的位置,使其更靠近立柱。另外,横向胶接缝法不适用于门架墩盖梁。

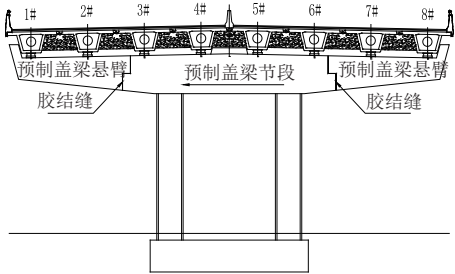


图4 胶接缝法横向分段拼装盖梁

(4)方案4纵向分片连接

方案1至方案3还存在现场安装预应力钢束的工序,对桥下交通有较大的影响。

该工程受到交通组织影响,地面没有条件搭设临时支撑,综合分析后拟采用纵向分片盖梁的形式。采用将盖梁纵向分片预制吊装,再浇筑接缝混凝土的工艺。该方案可以较好的解决运输、吊装和保证地面交通等问题。

3 纵向分片盖梁结构设计

盖梁采用C60高标号混凝土,截面采用T型断面形式,顶宽2.7 m,底宽2.0 m,在立柱处底宽加宽至2.2 m。盖梁长约33 m,中心高3.0 m,总重约500 t。立柱采用钢筋混凝土结构,横桥向宽2.0 m,纵桥向宽2.2 m,中心间距9 m。盖梁纵向分为预制构件A

和预制构件B两部分,分别运输吊装后,再施工预制构件部分的湿接缝形成整体盖梁受力。预制构件宽1.1 m,中间湿接缝宽0.5 m,湿接缝范围通过钢筋将构件A、B连成整体。构件A设有底板和侧板,兼做后浇混凝土的底模和侧模。经施工人员操作验证,0.5 m宽的湿接缝能够满足正常施工的空间需求。盖梁的断面和拼接方案见图5。

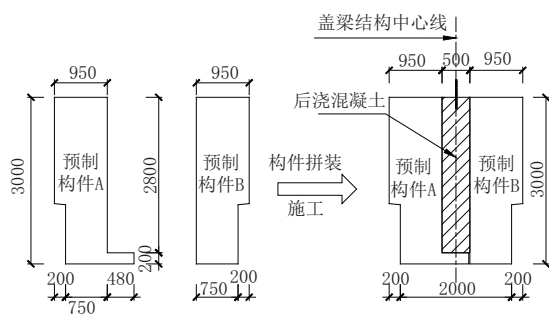


图5 分片盖梁断面构造及拼接方案示意图(单位:mm)

盖梁按A类预应力混凝土结构设计,预应力钢束采用4×4共16束15-19低松驰高强度预应力钢绞线,都设置在预制构件A、B中,每片预制构件中8束,后浇部分不设预应力钢绞线。

盖梁的钢束立面布置见图6,钢束的断面布置见图7。

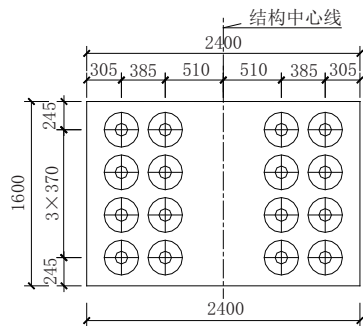


图6 分片盖梁预应力钢束布置断面(单位:mm)

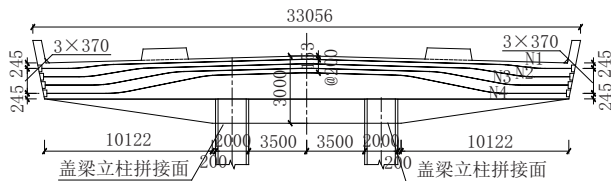


图7 分片盖梁预应力立面图(单位:mm)

分片盖梁的施工顺序如下:

- (1)在工厂浇筑预制构件A、B,并张拉第一批预应力钢束;
- (2)运输、吊装,将盖梁和立柱固结;
- (3)施工盖梁后浇带部分;
- (4)张拉第二批预应力钢束,后浇带参与受力;
- (5)吊装上部预应力混凝土小箱梁;
- (6)张拉盖梁第三批预应力钢束;

(7)施工桥面铺装、栏杆、声屏障等附属;

(8)运营通车。

该施工方案取消了盖梁的临时支撑或临时锚固措施,钢束在工厂穿好,取消现场钢束安装工作,对桥下交通影响最小,施工的安全度和可靠性高,也能够保证盖梁受力整体性。预制构件A、B通过匹配施工,保证搭接的钢筋能够较好的错开、对准,保证构件能够顺利、准确安装就位。

分片式盖梁不仅可以用于标准段的双柱大悬臂盖梁,还能用于门架墩的盖梁,具有较好的适用性。

4 分片盖梁计算分析

4.1 整体计算

分片盖梁整体计算采用MIDAS Civil有限元程序建立空间模型,计算模型共计50个梁单元。分片盖梁采用联合截面模拟预制和后浇部分,偏不利考虑60 d的混凝土龄差。准确模拟了盖梁预制、运输吊装、湿接缝施工、钢束分批张拉、二期荷载和运营等过程,偏安全不考虑横向车道数折减。结构整体计算模型见图8。

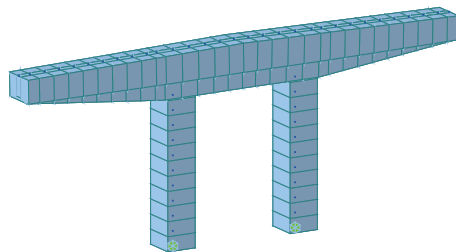


图8 分片盖梁整体计算模型

主要计算结果见表1。由整体计算结果可知,基本组合下,立柱顶处控制截面的抗弯承载能力和抗剪承载能力安全系数均有1.15的安全系数。由于施工顺序、预制部分和先浇部分混凝土存在龄差,在成桥状态立柱顶的控制截面,预制部分混凝土顶部有10.1 MPa的压应力,后浇部分有5.2 MPa的压应力,两者之间存在5 MPa的应力差。在准永久组合和频遇组合两种正常使用状况下,预制部分和后浇部分的抗裂性能均满足规范要求,受收缩徐变等因素的影响,两者的应力差缩小到3.5 MPa左右。在标准组合下,控制截面的预制部分和后浇部分的压应力均满足规范要求,两者存在约3.5 MPa应力差值。

4.2 实体单元局部计算

采用MIDAS FEA软件建立实体模型,进一步分析预制和后浇部分的应力差和拼接面处的应力状态。实体模型共划分351 910个混凝土单元和1 600

表 1 分片盖梁整体计算结果

编号	计算内容	需求	能力/限值	富裕系数
1	立柱顶处整体抗弯承载力	113 560 kN·m	131 800 kN·m	1.16
2	立柱顶处整体截面抗剪承载力	19 375 kN	22 365 kN	1.15
3	立柱顶处整体斜截面抗剪承载力	19 375 kN	22 218 kN	1.15
4	成桥状态预制部分顶缘应力	-10.1 MPa	-26.9~+1.99 MPa	—
5	成桥状态后浇部分顶缘应力	-5.2 MPa	-26.9~+1.99 MPa	—
6	准永久组合下预制部分顶缘拉应力	-6.1 MPa	0	—
7	准永久组合下后浇部分顶缘拉应力	-2.6 MPa	0	—
8	频遇组合下预制部分顶缘拉应力	-4.9 MPa	+1.99 MPa	—
9	频遇组合下后浇部分顶缘拉应力	+1.7 MPa	+1.99 MPa	—
10	标准组合下预制部分最大压应力	-15.5 MPa	-19.25 MPa	—
11	标准组合下后浇部分最大压应力	-12.8 MPa	-19.25 MPa	—

注:“-”表示压应力,“+”表示拉应力。
个预应力钢筋单元,模拟了施工和运营状态下的结构受力。实体计算模型见图 9。

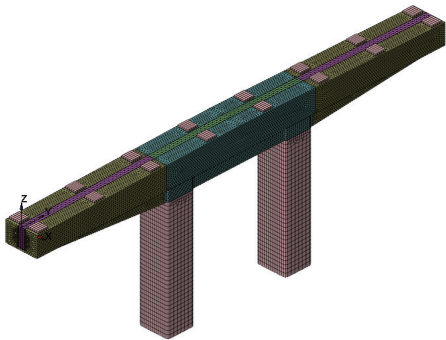


图 9 分片盖梁实体计算模型

由施工阶段和运营阶段分析可知,实体模型预制和现浇截面的上、下缘压应力基本都比杆系的结果大 0.5 ~ 0.8 MPa,实体模型施工阶段预制和现浇截面的上下缘正应力结果和杆系基本一致。

收缩变形是混凝土硬化过程中出现的,和混凝土表面接触大气的面积、空气湿度相关。在盖梁长度方向,混凝土与大气的接触面仅仅是盖梁端部,而且大悬臂盖梁的端部没有约束,收缩效应不明显。徐变变形是由于混凝土在长期受压作用下的变形,由于分片盖梁的预应力钢束布置在预制部分,后浇带的压力是通过接触面传递过来的。当压力均匀传

递后,徐变引起的剪应力也降到最低。徐变引起的应力差仅是预制构件和后浇混凝土之间的应力差导致的。徐变引起的剪应力和龄期差关系不大。这和实体模型分析结果比较一致。

为了考虑预制分片盖梁的存放时间对后浇部分的影响,预制盖梁的存放时间分别按 7、14、30、60 d 考虑,比较后浇部分的纵向剪应力。对于预制分片盖梁存梁期 60 d 工况,成桥时收缩引起的剪应力小于 0.1 MPa 可忽略不计,10 a 后最大剪应力约 0.1 MPa;成桥时徐变引起端部的剪应力约 0.4 MPa,运营 10 a 后盖梁端部由于混凝土内部压应力分布不均匀,导致徐变引起的剪应力约 2 MPa,除端部外的剪应力小于 0.1 MPa 可忽略不计。计算结果见图 10、图 11。

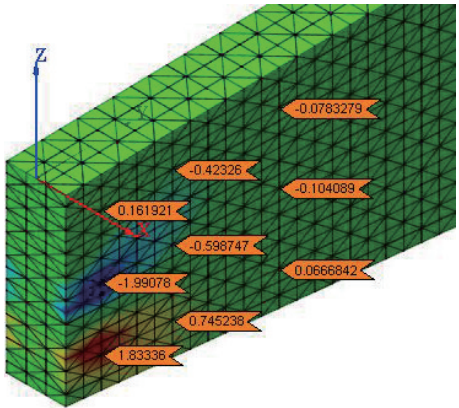


图 10 成桥 10 a 后拼接面的徐变应力(单位:MPa)

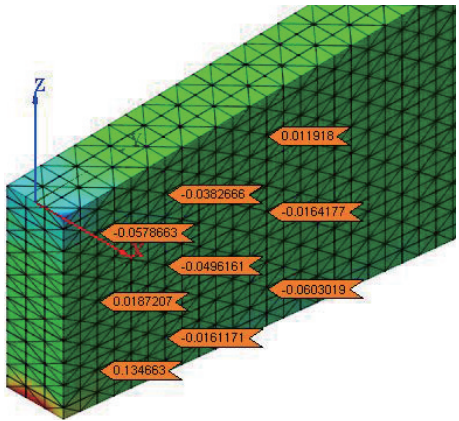


图 11 成桥 10 a 后拼接面的收缩应力(单位:MPa)

根据实体计算结果,梁端预应力张拉端受到预应力锚固集中力影响,存在局部承压和应力扩散问题,受力模式类似拉压杆状态。分析结果见图 12。

4.3 预制构件 A、B 的应力差

考虑施工便利性,预制构件 A 比 B 多一部分底板,两者的截面特性存在一定差异,对张拉预应力的结果会有一定影响。计算分析结果,在盖梁高度较小的悬臂端部,截面特性相差最大,A、B 构件之间存在约 2.0 MPa 的应力差,在立柱顶的控制截面,应力

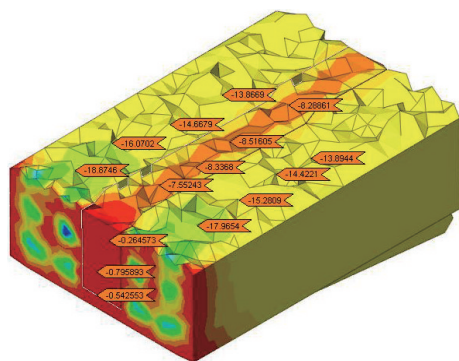


图12 分片盖梁实体计算模型(单位:MPa)

差约1.0 MPa,均在设计受控范围内。

4.4 预制部分横向变形控制

由于预制部分高度达3.0 m,厚度仅有1.1 m,通过合理设置预应力钢筋在断面的位置,控制张拉钢束时引起的水平向变形,以保证预制部分能够顺利拼装。

5 试验验证

在实际工程实施之前,通过采用缩尺模型试验的方式,验证分析分片盖梁的抗裂性能、承载能力和接缝处连接的可靠性等。考虑试验条件和构造要求等,盖梁的缩尺比为1:3.6,见图13、图14。

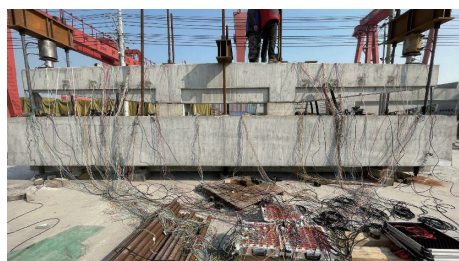


图13 分片盖梁缩尺试验模型加载照片

通过试验模型破坏性加载,得到初步结论:分片盖梁的抗裂性能、承载能力基本和理论计算一致,接缝处的连接比较可靠。

6 结语

城市高架施工时复杂的交通组织要求和施工条



图14 分片盖梁缩尺试验模型破坏照片

件是影响盖梁预制拼装方案的重要因素,当桥下施工条件受限时,盖梁的预制拼装方案就成了设计方案成败的决定因素。

本文以针对超大吨位预制拼装盖梁的设计方案进行了比较分析,提出了纵向分片的设计方案,通过总体计算、局部分分析和缩尺模型试验等手段,对设计方案进行了分析和验证,得出该设计方案合理、可行的结论。该设计方案不仅可用于双柱大悬臂盖梁,还能以用于门架墩盖梁,具有较强的借鉴和推广意义。

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] JTG/T 3365-05—2022,公路装配式混凝土桥梁设计规范[S].
- [4] 卢永成.桥梁预制拼装技术[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.
- [5] 袁慧玉.两港大道中段工程桥梁预制拼装设计[J].城市道桥与防洪,2021(11):86-89.
- [6] 王兵,万星,沈殷.基于可靠度理论的盖梁无支架反拉法设计[J].建筑施工,2021(增刊1):394-399.
- [7] 石茂银.悬臂式预制盖梁无支架反拉法施工[J].建筑施工,2023,45(5):951-953.
- [8] 田周松.超大悬臂盖梁预制拼装方案分析[J].上海公路,2023(1):89-94.
- [9] 卓卫东,李长春,孙作轩,等.分段预制拼装预应力混凝土盖梁静力性能试验[J].同济大学学报(自然科学版),2022,20(12):1752-1759.