

新型分片预制盖梁构造及受力性能研究

王 巍, 杜林清, 马 磊, 赵晓梅

[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: 从城市高架桥预制盖梁轻量化需求出发, 提出了基于钢结构剪力键和后浇混凝土剪力键两大类共 4 种连接构造的分片预应力混凝土盖梁构造形式, 并分析了新型分片预制盖梁的技术优势。同时, 重点针对采用高强螺栓连接键的预埋钢结构连接形式分片预制盖梁开展空间有限元受力分析, 并与整体盖梁传力和变形进行对比, 验证了该新型分片预制盖梁形式的连接可行性。新型顺向分片预制盖梁技术在保证盖梁整体性和耐久性的前提下能大幅减轻预制盖梁运输、吊装重量, 在吊装架设过程中无需另设临时支架、施工快速便捷, 同时兼备施工过程中的稳定性和结构耐久性, 因而具有广阔的应用前景。

关键词: 预制盖梁; 轻量化; 顺向分片; 剪力连接键; 快速施工

中图分类号: U448.28; TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)11-0104-04

Research on Structure and Mechanical Performance of New Segmented Prefabricated Bent Cap

WANG Wei, DU Linqing, MA Biao, ZHAO Xiaomei

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

Abstract: Based on the lightweight requirements of prefabricated bent cap for urban viaducts, a structural form of segmented prestressed concrete bent cap based on four types of connection structures in two types of steel structure shear keys and post-cast concrete shear keys is proposed, and the technical advantages of the new segmented prefabricated bent cap are analyzed. The spatial finite element force analysis is mainly carried out on the segmented prefabricated bent cap of the embedded steel structure connection form using high-strength bolt connection key. Compared with the force transmission and deformation of the overall bent cap, the connection feasibility of this new segmented prefabricated bent cap form is verified. Under the premise of ensuring the integrity and durability of the bent cap, the new forward segmented prefabricated bent cap technology can greatly reduce the transportation and hoisting weight of the prefabricated bent cap. There is no need to set up another temporary support in the hoisting and erection processes, the construction is fast and convenient, and it has both stability and structural durability in the construction process, so it has a broad application prospect.

Keywords: prefabricated bent cap; lightweight; forward segment; shear connector; rapid construction

0 引 言

预制装配化是城市桥梁的发展趋势。目前, 桥梁各部位预制构件的轻型化、现场安装施工便捷化, 成为桥梁预制拼装技术的研究重点。整幅预应力混凝土预制盖梁运输吊装重量大是制约桥梁预制装配率进一步提升的重要因素。特别是对于城市主干快速路高架预制拼装盖梁, 双向 6 车道上部结构跨径

30 m 左右的标准段整幅预制预应力混凝土盖梁重量已达 230~250 t, 对运输路线上桥梁造成较大安全风险。此外, 大重量预制盖梁吊装往往需要大吨位履带吊安装, 施工成本高, 施工期间占用场地大, 增大了市区内施工时对既有道路的通行压力。因此, 预制盖梁轻量化是桥梁下部结构预制装配技术的重要研究方向。

1 盖梁轻量化技术现状分析

现有盖梁轻量化解决方案主要有横向分段预制、上下分层预制、外壳预制内部现浇、采用高强材料减重四个方向。

1.1 横向分段预制

横向分段预制、分段间采用后浇湿接缝连接的

收稿日期: 2024-01-09

基金项目: 新疆维吾尔自治区“2+5”重点人才计划项目“新疆装配式桥梁设计与施工关键技术研究”

作者简介: 王巍(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁结构设计及预制装配桥梁结构研究工作。

盖梁在施工过程中需要在挑臂端设置临时支墩,后浇湿接缝段需另设模板支架,湿接缝混凝土浇筑养生周期结束后才能张拉钢束,施工工艺总体较为复杂、施工周期长^[1]、措施成本较高。

横向分段间采用齿键干接缝,接缝涂胶后依靠钢束将块段连接为整体的盖梁拼装方案,虽缩短了施工工期,但交界面处仅有预留管道的后穿预应力钢束或少量纵筋通过,成为结构抗弯能力薄弱界面。试验表明,与整体预制盖梁相比,其极限承载力和变形能力均有所降低^[2]。

1.2 上下分层预制

通过将盖梁上下分层,下层工厂预制、上层现场浇筑的方式也可显著降低吊装重量,同时做到无支架施工。上海嘉闵高架部分标准六车道倒 T 盖梁重量超过 300 t 就采用了分层预制方式。但这种工艺存在现场工作量较大、工期较长等不足^[3]。

1.3 外壳预制内部现浇

外壳预制内部现浇的方式是将预制装配和现浇相结合的技术,通过预制钢筋混凝土薄壁结构作为永久性模板,吊装就位后在其内浇筑混凝土^[4],但此方法同样存在现场工作量大、施工周期长等不足。

1.4 应用高强材料

超高性能混凝土(UHPC)因超高强度力学性能可实现结构轻量化,目前已有关于预应力 UHPC 盖梁的试验研究^[5-6],相比常规预应力混凝土盖梁可减重 40%~50%。但由于 UHPC 单价远高于普通混凝土,因此同等情况下 UHPC 预制盖梁的综合造价还是远高于常规预应力混凝土预制盖梁。

钢结构比 UHPC 有更高的强度重量比,因此钢盖梁方案重量较常规混凝土盖梁显著减小^[7],但经济性不佳问题也更突出。

综上分析,盖梁预制装配技术在确保整体受力性能好、运输吊装重量轻、施工快速的同时,尚需进一步探索兼备施工稳定性、便捷性和经济性的结构方案。

2 新型顺向分片预制盖梁的构造形式

本文提出的新型顺向分片预制盖梁的预制拼装技术将预制盖梁顺向分为两片、横向整幅预制,吊装就位后实施两片盖梁间剪力连接接缝形成整体,如图 1 所示(以城市高架双向六车道规模的标准双悬臂盖梁为例)。

顺向分片盖梁预应力混凝土预制构件 A、B 部分分别预制,包含各自完整的横向预应力和普通钢筋,

单片预制盖梁重量在 120 t 左右,较整体预制减重一半。

分片预制盖梁与预制立柱的连接可采用灌浆套筒或 UHPC 连接等方式。待预制盖梁分片安装就位后,在架设上部结构梁体前实施分片间的剪力连接,如图 1(b)所示。顺向分片盖梁在实现分片间剪力连接后,在后续上部结构架梁工况、盖梁单侧桥跨内活载偏载工况下,将通过彼此间剪力连接件协同受力、变形协调。

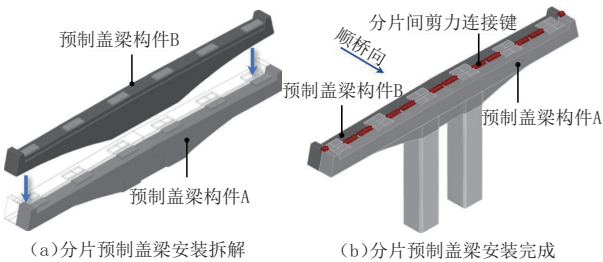


图 1 新型顺向分片预制盖梁构造示意图

本文提出了基于钢结构剪力键和后浇混凝土剪力键两大类分片预应力混凝土盖梁构造形式,如图 2 所示。其中,基于预埋钢构件的剪力连接方式又分为栓接和焊接两种构造形式;基于后浇混凝土剪力键连接方式又分为后浇混凝土接缝和后浇混凝土横梁两种构造形式。

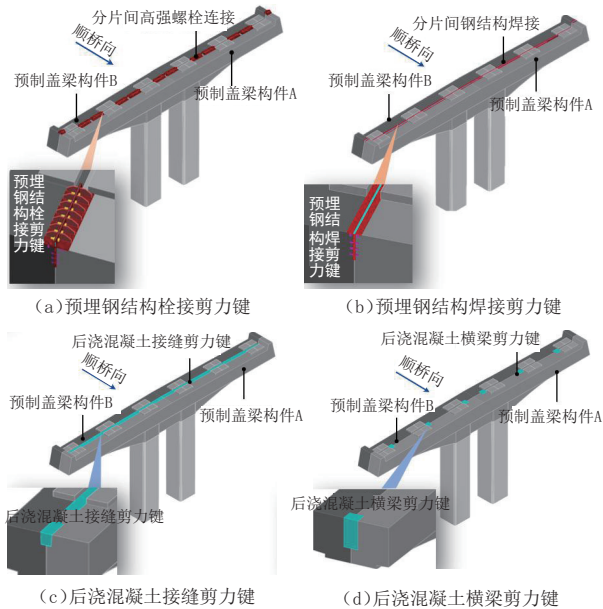


图 2 新型顺向分片预制盖梁间四种剪力连接构造示意图

本文重点针对分片预制盖梁间采用预埋钢结构栓接剪力键的构造形式开展受力性能分析。采用高强螺栓作为分片盖梁顺桥向剪力键的连接形式(见图 3),系在盖梁混凝土预制构件浇筑前在顺桥向两片盖梁交界面侧立面和顶面预埋间断布置的钢板(避让盖梁顶支座垫石位置),其中侧立面预埋钢板

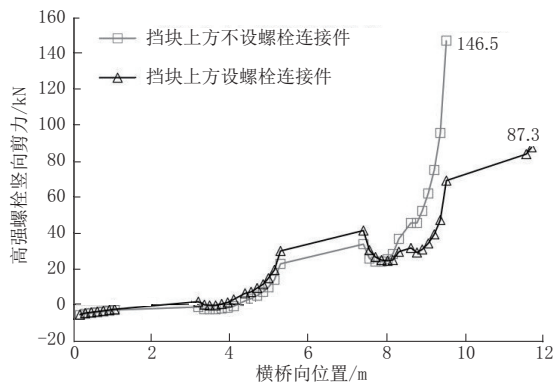


图6 顺桥向单侧架梁工况下高强螺栓剪力沿横桥向分布

向对称轴逐步减小,最大单栓剪力约 59.1 kN,位于横桥向挡块顶缘。与图 6 比较可知,对于分片预制混凝土盖梁间剪力连接件竖向最大剪力控制工况为盖梁顺向单侧架设小箱梁而另一侧空载的工况。

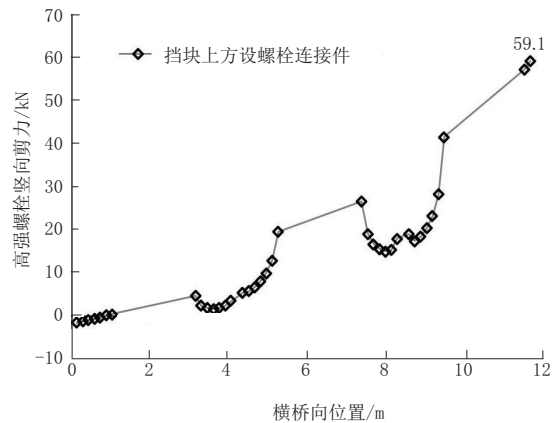


图7 使用阶段单侧活载偏载工况下高强螺栓剪力沿横桥向分布

3.3 偏载工况下分片盖梁间传力比例及变形与整体预制盖梁比较

顺向分片盖梁间若无任何剪力连接,则独自作用在各片盖梁上的竖向荷载只能由盖梁沿横桥向方向传递至支点(立柱),彼此间独立受力变形,当外荷载存在差异时,悬臂端的位移也会不同,二者在相邻边变形不协调,变形差随荷载差而增大。

当顺向分片盖梁间以有限刚度的剪力键进行剪力连接后,作用在各片盖梁上的不同水平的竖向荷载会通过二者间剪力键在两片盖梁间进行重新分配,二者协同受力,在界面处变形协调。当二者间的剪力键刚度趋近于无限大时,其受力性能就逼近整体浇筑盖梁。

在单侧偏心荷载下,若将整体浇筑盖梁的固定端面以对称中线分为靠近偏心荷载一侧的 A 部分及远离偏心荷载一侧的 B 部分,由于扭转剪力流作用, A 部分面积内积分剪应力得到的竖向剪力 Q_A^s 将大于 B 部分所得的 Q_B^s 。无论盖梁为分片间通过剪力连

接,还是整体预制或现浇,挑臂端施加总荷载 P 与近立柱固结端的盖梁断面剪力之和相同,如图 8 及式 (1) 所示。

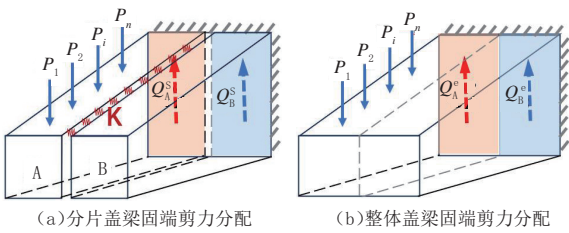


图8 分片盖梁与整体盖梁在相同偏载工况下剪力传递比较

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = Q_A^s + Q_B^s = Q_A^e + Q_B^e \quad (1)$$

通过前述实体有限元分析,将整体浇筑盖梁的悬臂固定端在此偏载作用下的反力分配比例作为参考基数 (Q_A/P 及 Q_B/P),考察预埋钢结构剪力键分片盖梁在相同工况下固定端竖向反力分配情况,如表 1 所示。可见,采用盖梁全长范围布置高强螺栓剪力键形式的分片预制盖梁在单侧架梁偏载工况下两片梁间传力比例与整体浇筑盖梁接近,二者剪力分担比偏差为 2.3%。这也验证了本文提出分片盖梁间剪力键连接形式的可靠性和合理性。

表 1 栓接分片预制盖梁与整体盖梁在相同偏载工况下剪力传递比 单位: kN

盖梁形式	总荷载 $\sum P_i$	加载侧盖梁固端剪力 Q_A	远离加载侧盖梁固端剪力 Q_B
分片盖梁	1 958 (100%)	1 212 (61.9%)	746 (28.1%)
整体盖梁	1 958 (100%)	1 257 (64.2%)	701 (25.8%)

4 结 语

本文从城市高架桥预制盖梁轻量化需求出发,调研了盖梁轻量化技术现状,提出了基于钢结构剪力键和后浇混凝土剪力键两大类共四种连接构造的分片预应力混凝土盖梁构造形式,并分析了新型分片预制盖梁的技术优势。同时重点针对采用高强螺栓连接键的预埋钢结构连接形式分片预制盖梁开展空间有限元受力分析,研究了分片预制盖梁间剪力连接件受力特点和合理布置形式,得到以下结论:

- (1)分片预制混凝土盖梁顶缘采用常规高强螺栓连接的新型构造形式可满足受力需求,建议盖梁边缘挡块顶端也设置螺栓连接件。
- (2)对于分片预制混凝土盖梁间剪力连接件竖向最大剪力控制工况为盖梁顺桥向单侧架设小箱梁的工况。
- (3)分片预制盖梁顶缘全宽范围布设螺栓连接

(下转第 113 页)