

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.250918

大挑臂复合截面节段梁挑臂连接构造研究

郭 济

[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: 为解决宽桥面节段梁运输吊装困难、传统多箱断面施工复杂等问题,系统研究了大挑臂复合截面节段梁的后装挑臂连接构造。通过归纳分析 6 种关键连接构造,提出了 5 种合理的成套连接方案。结合有限元方法分析对比了各方案在受力性能、施工效率、经济指标及超高渐变段适应性等方面的表现。研究成果为大挑臂复合截面节段梁的连接设计,提供了理论依据与实践指导,推荐的方案一在直线及圆曲线段桥梁中综合性能最优,方案二凭借良好的受力性能与对超高渐变段的适应能力,可适用于复杂线形桥梁。

关键词: 节段梁;大挑臂;复合截面;后装挑臂;连接构造;受力性能;有限元分析

中图分类号: U443.33;TU997 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2026)05-0208-04

Research on Connection Structure of Cantilevers in Segmental Beams
with Large Cantilever Composite Sections

GUO Ji

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

Abstract: To address the difficulties in transporting and hoisting segmented beams of wide bridge decks and the complexity of traditional multi-box section construction, the connection structures of post-installed cantilevers in large cantilever composite cross-section segmental beams are systematically studied. By sorting out and analyzing six types of key connection structures, five reasonable complete connection schemes are proposed. Combined with the finite element method, the performances of each scheme in terms of force performance, construction efficiency, economic indicators and adaptability to ultra-high gradient sections are analyzed and compared. The results show that the theoretical basis and practical guidance are provided for the connection design of large cantilever composite cross-section segmental beams. The recommended Scheme 1 exhibits the optimal comprehensive performance for straight and circular curved bridges, and Scheme 2 is suitable for the bridges with complex alignments by means of good load-bearing performance and adaptability to extremely high gradient sections.

Keywords: segmental beam; large cantilever; composite cross-section; post-installed cantilever; connection structure; mechanical performance; finite element analysis

0 引 言

当前,我国建筑业正加速向绿色化、工业化转型,推动装配式建筑广泛应用^[1-4]。节段预制拼装技术作为桥梁工业化建造的典型代表,兼具工厂化高品质与现场施工高效率优势,在各类交通工程中取得显著成效,应用前景广阔^[5-10]。

宽桥面节段梁常采用分体式多箱断面以控制构件尺寸与吊装重量^[11-12],但该方案存在工程设备投入大、墩顶横梁施工困难、工期长、造价高及景观效果不理想等问题。为克服这些技术瓶颈,大挑臂复

合截面节段梁方案应运而生。该方案将整体断面分解为“核心箱梁”和“预制挑臂”两大模块^[13-14]。施工过程中,“核心箱梁”优先采用架桥机完成吊装与拼装,随后分阶段安装“预制挑臂”,如图 1 所示。这一施工流程显著降低了对架梁设备吊重能力的要求,形成了一种高效的结构体系,具有广阔的应用前景。

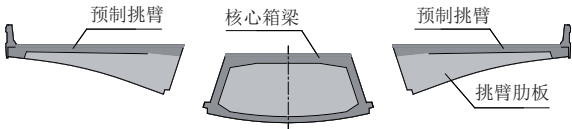


图 1 大挑臂复合截面节段梁拆解图

预制挑臂与核心箱梁之间的连接构造至关重要,其不仅承担横向荷载的传递,还影响由核心箱梁预应力效应产生的纵向受力性能。目前世界范围

收稿日期: 2025-09-21
作者简介: 郭济(1986—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

内典型桥梁工程中的后装挑臂连接方式如表 1 所示。

表 1 后装挑臂连接方式工程案例

项目名称	所在国家	接缝位置	接缝类型
Hammersmith 立交桥	英国	相邻挑臂顶板间	湿接缝
West Gate 高架桥	澳大利亚	悬臂面板与核心箱梁面板间	湿接缝
Qurashiyah 高架桥	沙特	悬臂面板与核心箱梁面板间	湿接缝
Shaikh Isa Bin Salman 桥	巴林	悬臂翼缘肋板与核心箱梁腹板间	湿接缝
Vrsovice 桥	捷克	悬臂面板与核心箱梁面板间	湿接缝
新加坡机场高架桥	新加坡	悬臂肋板与核心箱梁间	湿接缝
Sungai Prai 桥	马来西亚	预制悬臂板与核心箱梁间、相邻预制悬臂板间	湿接缝
Tol Jakarta - Cikampek II 高架桥	印度尼西亚	挑臂与核心箱梁间	干接缝

分析表明,预制拼装桥梁的构件连接方式具有显著的多样性。在实际工程中,需结合项目具体条件选择合适的连接构造。鉴于此,本文系统研究大挑臂复合截面节段梁后装挑臂与核心箱梁间的连接构造,旨在从施工效率、经济指标、景观效果、超高渐变段适应性和受力性能等多个维度,筛选出综合最优的连接方案,为该类型桥梁的推广应用提供技术支持。

1 后装挑臂接缝连接构造研究

为实现“预制核心箱梁先行,预制挑臂后装”的施工时序,大悬臂节段预制复合截面混凝土桥的后装挑臂需设置三类拼装接缝:一是后装挑臂顶板与核心箱梁顶板间的接缝;二是后装挑臂肋板与核心箱梁腹板(或肋板)间的接缝;三是相邻后装挑臂顶板间的接缝。各接缝处的典型受力状态如图 2 所示。

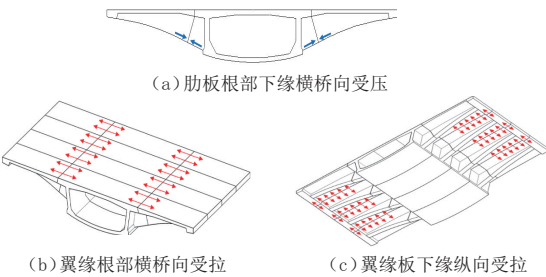


图 2 三种接缝受力情况

本研究聚焦于后装挑臂接缝的六项关键连接构造:一是后装挑臂与核心箱梁间的接缝位置;二是接

缝处肋板的倾斜方向;三是挑臂顶板与核心箱梁顶板的连接方式;四是挑臂肋板与核心箱梁肋板的连接方式;五是相邻挑臂顶板间的连接方式;六是后装挑臂的模数化设计。

1.1 后装挑臂与核心箱梁间接缝位置

接缝位置的确定是后续构造研究的基础。初步考虑三种方案:方案一(挑臂根部)、方案二(挑臂中部)和方案三(加腋端部)。

方案一的挑臂与核心箱梁尺寸重量适中,设备吊重要求较小,腹板内侧拉应力较小,综合性能较优;方案二的挑臂尺寸虽小,但核心箱梁尺寸重量较大,导致设备吊重要求增加,且腹板内侧拉应力较大;方案三的各项指标介于二者之间。因方案二中核心箱梁吊重较大且受力性能不佳,不予推荐,推荐采用方案一或方案三。

1.2 后装挑臂与核心箱梁间肋板接缝倾斜方向

接缝处肋板的倾斜方向存在三种可能:外倾(方案一)、内倾(方案二)和竖直(方案三)。

方案一对接缝位置选择有限制,施工难度较大,且对挑臂的支撑效率较低,工程应用案例较少;方案二和方案三对接缝位置无特殊限制,施工难度相对较小,支撑效率较高,且有较多工程实例支撑。因方案一施工难度大且对挑臂肋板的支撑效率低,且工程案例少,故不推荐,推荐采用方案二或方案三。

1.3 后装挑臂顶板与核心箱梁顶板间连接方式

纵桥向通长的挑臂顶板接缝是受力最关键的部位之一,通常设计为带普通钢筋的湿接缝以确保传力可靠。为减少现场模板工程,研究了三种连接方式如图 3 所示。

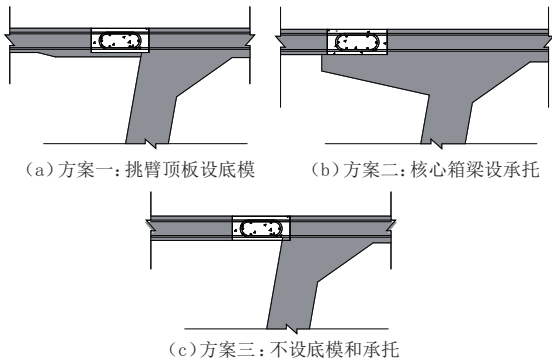


图 3 后装挑臂顶板与核心箱梁顶板间连接方式示意图

方案一(挑臂顶板设底模)和方案二(核心箱梁设承托)均无需临时模板,可降低施工难度与风险,但预制难度相对较大,对超高渐变段的适应性一般;方案三(不设底模和承托)需要搭设临时模板,增加

了高空作业风险和现浇难度,但其预制难度较小,对超高渐变段的适应性较好。综合考虑施工难度与对超高渐变段的适应性,推荐直线及圆曲线段桥梁采用方案一或方案二,超高渐变段桥梁采用方案三。

1.4 后装挑臂肋板与核心箱梁腹板间连接方式

实际工程中,肋板连接多采用湿接缝与临时支承结合的混合方式。本研究对3种连接方式进行比选,如图4所示。

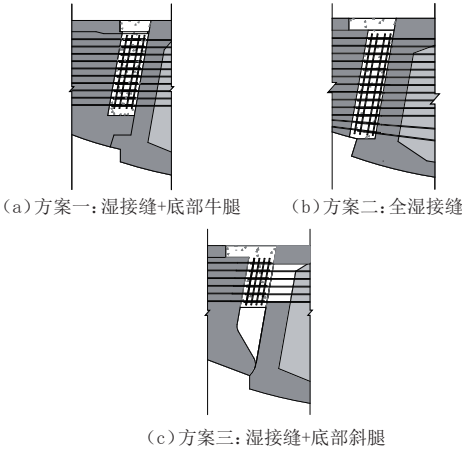


图4 后装挑臂肋板与核心箱梁腹板间连接方式示意图

方案一(湿接缝+底部牛腿)景观效果和受力性能较好,施工速度快,但预制构件精度要求高;方案二(全湿接缝)传力最可靠,受力性能好,但现浇工程量,施工速度慢;方案三(湿接缝+底部斜腿)施工速度较快,但景观效果一般,且对接缝位置有特定要求(需在挑臂根部)。方案二因现浇工程量、施工速度慢,不推荐应用在标准化程度高的直线或圆曲线段,此类区段推荐采用方案一或方案三。

1.5 相邻两块后装挑臂顶板间连接方式

为适应超高渐变和预制误差,相邻挑臂顶板间

通常采用湿接缝。研究了2种连接方式,如图5所示。

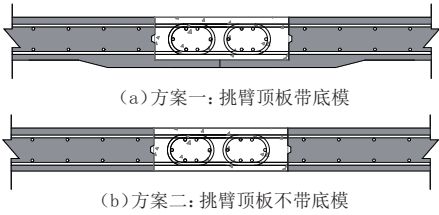


图5 相邻两块后装挑臂顶板间连接方式示意图

方案一(挑臂顶板带底模)无需临时模板,景观效果好,施工速度快,但对预制构件精度要求较高,对超高渐变段的适应性一般;方案二(挑臂顶板不带底模)需要搭设临时模板,景观效果和施工速度相对较差,但对超高渐变段的适应性较好。因此,推荐直线及圆曲线段采用方案一,超高渐变段采用方案二。

1.6 后装挑臂肋板模数

增加单块预制挑臂的肋板数量可减少构件数量和湿接缝,提高施工速度与吊装稳定性,但会削弱对超高渐变段的适应性。对双肋板(方案一)和单肋板(方案二)两种模数进行比选如下。

方案一(双肋板)的挑臂尺寸和重量较大,临时支承稳定性强,施工速度快,但对预制精度要求高,且对超高渐变段的适应性较差;方案二(单肋板)的挑臂尺寸重量适中,对超高渐变段适应性好,但临时支承稳定性较弱,施工速度较慢。因此,推荐直线及圆曲线段采用方案一,超高渐变段采用方案二。

1.7 后装挑臂与核心箱梁的成套连接构造

综合上述比选分析,提出五种合理的成套连接构造方案,如表2所示。

表2 五种成套连接构造方案

	接缝位置		接缝倾斜方向		挑臂与核心箱梁顶板连接			挑臂与核心箱梁肋板连接			挑臂间顶板连接		挑臂肋板模数	
	加腋端部	挑臂根部	内倾	竖直	带承托	带底模	无底模	底部牛腿	底部斜腿	全湿接缝	带底模	无底模	一道	两道
方案一	●		●		●			●			●			●
方案二		●	●				●		●			●	●	
方案三	●			●	●			●			●			●
方案四		●	●			●		●			●			●
方案五		●	●				●			●		●	●	

方案二和方案五因挑臂和核心箱梁顶板均不设底模,且为单肋板构造,更适用于超高渐变段桥梁。对比后,方案五在施工效率和经济性上均不如方案二,故不予推荐。

方案一、三、四因带底模且为双肋板构造,适用

于直线及圆曲线段桥梁。三者综合指标接近,需进一步通过受力分析确定最优方案。

2 后装挑臂接缝连接构造受力性能

为评估优选方案的力学性能,对方案一至四建

立精细化有限元模型进行分析,如图 6 所示。模型基于某单箱单室带肋大挑臂截面,桥宽 24.8 m,挑臂长度 8.2 m,箱室顶宽 7.5 m,梁高 3.3 m。跨径取 50 m,截面两侧施加固定约束,干接缝采用接触单元模拟。荷载考虑结构自重、预应力(纵向采用体内体外混合配束的预应力体系,横向每 0.5 m 布置一根桥面板预应力钢束)及最不利四轴车辆荷载(偏载于挑臂端部)。

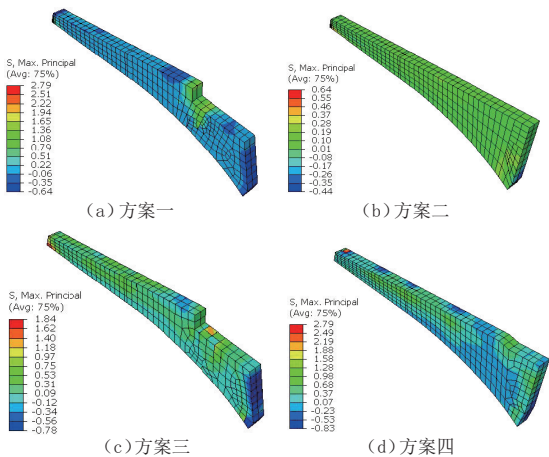


图 6 挑臂-箱梁肋板接缝应力对比(单位:MPa)

挑臂与核心箱梁肋板接缝处的混凝土最大主拉应力对比如图 6 所示。4 种方案接缝处应力传递均匀,无应力突变,且最大主拉应力均低于材料强度标准值。方案一和方案三由于仅接缝倾斜方向不同而相差不大(分别为 1.54 MPa 与 1.38 MPa);方案二作为单肋板方案,应力最小(0.13 MPa);方案四应力最大(2.70 MPa)。

挑臂与核心箱梁顶板接缝处的混凝土最大主拉应力对比如图 7 所示。各方案应力传递良好,最大值均未超限。方案一和方案二应力较低(0.11 MPa, 0.29 MPa),方案三和方案四应力相对较高(0.50 MPa, 0.45 MPa)。

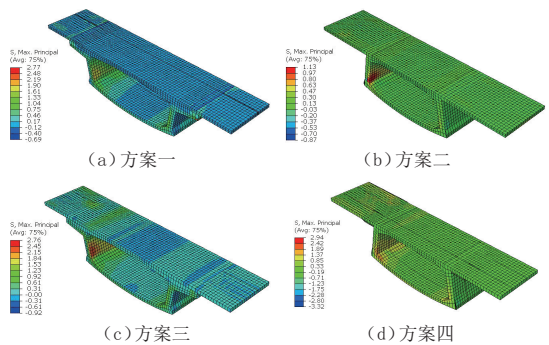


图 7 挑臂-箱梁顶板接缝主应力对比(单位:MPa)

此外,对相邻后装挑臂顶板间接缝的应力也进行了分析,结果显示主拉应力均满足强度设计要求,

且方案二应力最小。从受力性能看,方案二最具优势。

3 后装挑臂接缝合理连接构造

综合施工效率、经济指标、景观效果、适应性及受力性能,对五套连接构造进行最终比选。

(1)方案三与方案四虽在施工效率与景观效果上有优势,但接缝受力性能一般,不予推荐。

(2)方案五受力性能良好,但施工效率与经济性较差,不符合现代桥梁工程要求,不予推荐。

(3)方案一在直线及圆曲线段桥梁中综合优势明显,推荐作为首选方案。方案二凭借优良的受力性能与对超高渐变段的适应能力,推荐用于线形复杂的桥梁。推荐方案构造如图 8 所示。

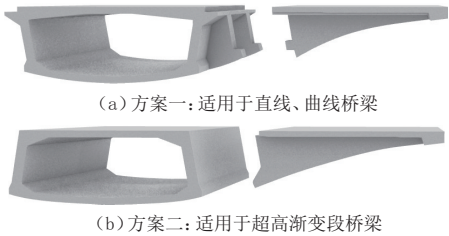


图 8 成套连接推荐方案构造图

4 结 语

系统研究了大挑臂复合截面节段梁后装挑臂的连接构造,提出了 5 种成套方案。通过多维度综合比选与精细化有限元分析,明确了各方案的适用条件。最终推荐,方案一用于直线及圆曲线段桥梁,方案二用于超高渐变段桥梁,为该类结构的工程应用提供了设计依据与关键技术支撑。

参考文献:

[1] 卢永成. 桥梁预制拼装技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
[2] 张鹏, 薛伟辰. 工业化桥梁结构体系研究与应用进展[J]. 建筑结构学报, 2022, 43(6): 1-13.
[3] 吴刚, 王景全, 刘钊. 预制混凝土桥梁结构创新发展与研究进展[J]. 中国公路学报, 2023, 36(5): 1-20.
[4] 刘安双, 马振栋. 预制节段拼装桥梁在轨道交通中的应用[J]. 桥梁建设, 2022, 52(4): 86-92.
[5] 黄虹, 许树壮, 卢永成. 上海长江大桥 60m 跨预制拼装主梁设计[J]. 世界桥梁, 2009(1): 10-13.
[6] 朱希同. 铁路节段拼装悬臂梁受力性能试验[J]. 铁道建筑, 2025, 45(1): 87-92.
[7] 张门哲, 涂光亚, 王双喜, 等. 短线拼装法施工的宽幅多节段混凝土箱梁的预制控制[J]. 中外公路, 2018, 38(2): 150-154.
[8] 黄运林, 杨聪, 万和安, 等. 石首长江公路大桥宽幅短线预制混凝土箱梁横向受力有限元计算模型分析[J]. 中外公路, 2019, 39(1): 115-119.
[9] 徐光兴, 李朝红, 梁亮, 等. 平潭海峡公铁两用大桥北东口水道桥