

大挑臂复合截面节段梁总体布置与结构体系研究

王 猛

[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: 对大挑臂复合截面节段梁在断面形式上进行创新,将整幅断面分解为节段预制的“预制核心段箱梁”和“预制挑臂”两部分。其中,“预制核心段箱梁”采用架桥机进行吊装、架设及拼装,而“预制挑臂”则在核心段成型后逐步拼装完成。基于复合截面的施工吊重及减重效率,对大挑臂复合截面节段梁的标准断面及跨径适应性进行了定性分析,同时结合有限元计算,研究不同跨径的合理结构体系和施工方案,提供了适用大挑臂复合截面节段梁的总体布置和结构体系。

关键词: 大挑臂复合截面;节段梁;核心段箱梁;预制挑臂;总体布置;结构体系

中图分类号: U442.5⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)07-0093-05

Research on Overall Layout and Structural System of Large-cantilever Composite Cross-section Segmental Girder

WANG Meng

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

Abstract: The cross-sectional form of the large-cantilever composite cross-section segmental girder is innovated. The entire cross-section is decomposed into two parts of "prefabricated core section box girder" and "prefabricated cantilever", which are prefabricated in segments. The "prefabricated core section box girder" is hoisted, erected and assembled by the bridge erection machine, and the "prefabricated cantilever" is gradually assembled and completed after the core section is formed. Based on the construction hoisting capacity and weight reduction efficiency of the composite cross-section, the qualitative analysis is conducted on the standard section and span adaptability of the large-cantilever composite section segmental girder. At the same time combined with the finite element calculation, the reasonable structural systems and construction schemes for different spans are studied. The overall layout and structural system applicable to the large-cantilever composite cross-section segmental girder are provided.

Keywords: large-cantilever composite cross-section; segmental girder; core section box girder; prefabricated cantilever; overall layout; structural system

0 引 言

相比于传统混凝土箱梁的现浇工艺,预制节段拼装施工有诸多优点^[1],如:箱梁节段工厂化预制,施工质量优,外观好;施工速度快;大规模运用能使造价趋于经济;桥梁耐久性更有保证,桥梁全寿命周期花费和能源消耗少;施工期间可实现交通低干扰与环境友好的现场作业。

对于宽桥幅节段梁^[2],大挑臂复合截面节段梁在箱梁断面形式上进行创新,抛弃了传统的分离双箱断面,采用力学性能、经济指标、景观效果都更为优异的整幅断面^[3]。断面分解为节段预制的“核心

段箱梁”和“预制挑臂”两部分。其中,“核心段箱梁”采用架桥机进行吊装、架设及拼装,而“预制挑臂”则在核心段成型后逐步拼装完成。该结构形式在国内尚无相似案例,部分设计、施工内容缺少规范标准,因此有必要对其总体布置、合理构造等方面进行深入研究,指导工程设计。

1 总体布置

如图1所示,该大挑臂复合截面预应力混凝土节段梁施工时序整体采用“预制核心段箱梁”先行、“预制挑臂”后装的原则。其中,“预制核心段箱梁”采用架桥机进行运梁、吊装、架设及拼装,而“预制大挑臂翼缘板”则在核心段成型后逐步拼装完成,两者间采用湿接缝连接,并施加横向预应力,保证桥梁结构的安全可靠。

收稿日期: 2025-04-25

作者简介: 王猛(1982—),男,工学硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

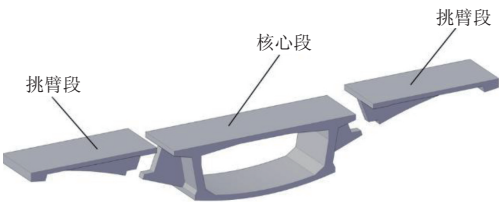


图1 大挑臂复合截面节段梁拆解图

对于大挑臂复合截面节段梁而言,其主要目的在于通过将横断面分解为大挑臂以及宽幅单箱核心箱梁两部分,在充分利用材料性能优势的同时降低施工吊重,减少施工设备投入,使桥梁上部结构施工更加简便高效。

基于常见的城市高架主线桥宽(主要分为双4、双6、双8以及双10断面),如图2至图5所示,结合挑臂与核心箱梁的合理宽度比例范围,参考类似节段梁工程项目,总结出以各个桥宽类型下单位跨径下构件吊重数据。

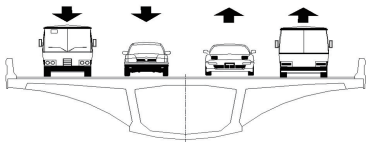


图2 双4断面

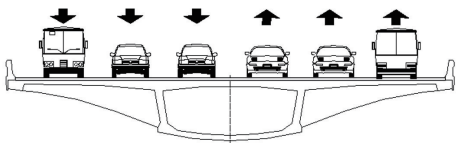


图3 双6断面

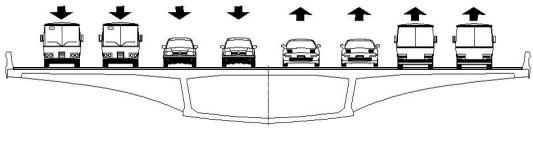


图4 双8断面

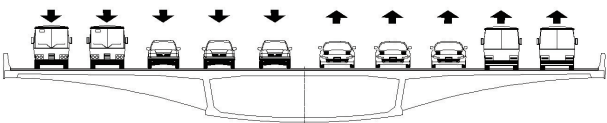


图5 双10断面

根据表1可知,随着桥宽的增加,节段梁所需预制的混凝土吨数也随之增加,导致相同跨度下投入的架桥设备规格和成本也有所提升,同时施工过程中对于核心梁与挑臂段之间的拼装难度和施工精度要求也有所提高。此外,桥宽越宽,基于常规设备吊重时,后续可选的跨径范围越小,桥体间所需架设的桩基与桥墩数量就越多。

另外随着桥宽的减小,挑臂占整体吊重的比例也随之减小,如双4断面桥宽中,挑臂最低仅占整体吊重的35%,通过横断面分解使节段梁减重效果不

表1 断面适用分析表

断面形式	双4断面	双6断面	双8断面	双10断面
桥宽/m	17	25	33	40
核心箱梁吊重/(t·m ⁻¹)	17.3~20.1	18.6~22.9	19.9~25.2	21.1~27.5
挑臂吊重/(t·m ⁻¹)	10.9~13.7	15.2~19.5	20.5~25.8	24.9~31.3
结论	不适用	适用	适用	不适用

明显,意义相对不大。
对于城市高架主线,综合设备规格、架桥成本、施工难度及挑臂吊重占比等因素,标准“双6”和“双8”断面较为适用。

标准跨径的选择主要从材料经济指标、桥梁跨径布置的标准化程度、施工进度、架桥机设备要求及与桥梁宽度和桥梁净高的匹配性等几个方面进行比较。

主梁跨径一般不宜太大,否则吊装施工难度较大。对市面上各型号架桥机参数进行分析,并选取常用的几种型号架桥机作参考,各型号架桥机的最大吊装重量如表2所列。

表2 各跨径单跨重量

型号	TJ1200	TP48	HZP1600	TPZ80/2700	LG
架设跨度/m	30~50	≤48	≤50	≤80	80
额定起吊重量/t	100	180	140	220	240
最大吊重/t	1 200	1 700	1 600	2 700	3 000

根据估算,各跨径单跨重量如表3所列。对比不同跨径情况下单跨的重量可知,80 m跨径单跨重量3 048 t超过市面大部分架桥机最大吊装重量3 000 t,因此最大适用跨径不应超过70 m,60 m以下相对更优。

表3 各型号架桥机吊重参数

跨径/m	30	40	50	60	70	80
每跨重量/t	1 143	1 524	1 905	2 286	2 667	3 048

考虑施工的效率和经济性,大挑臂复合截面节段梁跨径也不宜太小,结合挑臂肋板的倾斜角度,主梁的梁高取2.8~3.5 m时,传力性能最佳,跨径不宜小于40 m。

综上所述,大挑臂复合截面节段梁相对适用于标准双6、双8断面,跨径40~60 m的城市高架主线桥,复合截面各部分进行分阶段独立拼装,大幅降低施工吊重,减少施工设备投入,使桥梁上部结构施工更加简便高效。

2 结构体系及受力性能研究

2.1 结构体系分类及特点

节段梁的突出特点在于标准化制造模式对工程

周期的显著优化,因此在结构体系的选择时应优先评估施工效率及便捷性,同时需兼顾结构可靠性、全寿命成本效益等多维度指标。

目前,预应力混凝土节段梁的常用结构体系为连续梁体系^[4-5]或连续刚构体系。

连续梁体系适用于各类地质条件,对基础刚度的要求相对低,联长一般不受限制,但需要在施工阶段设置强大的临时固结措施防止倾覆;连续刚构体系无须临时固结措施,施工费用更少,施工效率更高,但对于基础刚度的要求相对高,联长一般受限。

基于边跨约束条件的差异,连续刚构体系又可划分为 2 种体系:全固结体系和半固结体系。前者将所有墩柱实施固结,具有全桥免设施工临时固定、无支座的特性,但会加大边跨墩身的弯矩;后者通过边跨设置滑动支座,既保留主墩固结的优势,又有效改善边跨结构受力状态。

2.2 结构体系研究

本节以最为常用的“双 6”断面为例,确定影响大挑臂复合截面节段梁结构体系选择的关键参数,以此为基础展开对其结构体系的研究。关键参数包括表层土质情况、墩高、桥墩横断面尺寸、跨径等。本节分析中统一采用核心梁段逐跨拼装的施工方案。

分别按照连续梁、半固结(中墩固结、边墩设置支座)、全固结体系对 3×40 m 大挑臂复合截面节段梁进行纵向受力性能分析。

对于表层地质情况,结合常见工程案例,取软土工况取表层 10 m 为淤泥质土,硬土工况取表层 10 m 为中砂。

在有限元计算中,一般在承台底施加 6 个方向的弹簧,来模拟承台桩基础的基础刚度^[6],如图 6 所示。弹簧刚度根据土层状况和桩的布置形式按 m 法计算。

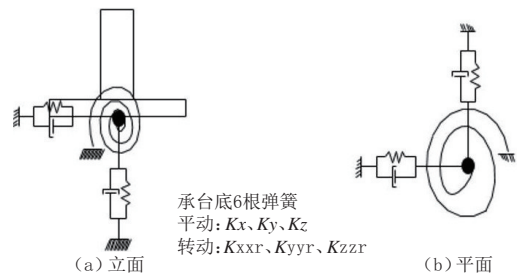


图 6 基础六弹簧模拟图

有限元模型如图 7 所示,计算参数方面,先统一取中、边墩高度 10 m,桥墩配筋采用按距截面边缘 50 mm、沿截面宽度方向间距 150 mm 布置,采用 32 mm

双肢束筋,如图 8 所示。因桥墩承载能力相对富余,主要列出桥墩裂缝宽度的计算结果(见表 4)。

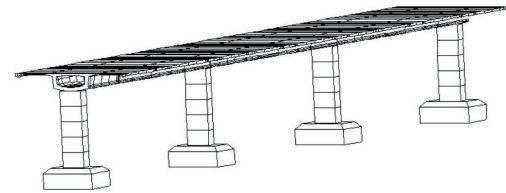


图 7 模型立体图

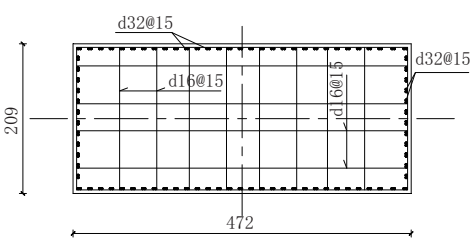


图 8 典型桥墩配筋图(单位:cm)

表 4 桥墩裂缝验算表 单位:mm

验算体系	跨径描述	中墩控制截面 裂缝	边墩控制截面 裂缝
全固结体系	三跨一联	0.252	0.216
半固结体系	三跨一联	0.147	0.127
半固结体系	四跨一联	0.282	0.165

全固结体系为降低桥墩、桩基刚度,相邻边墩基础彼此独立,同时中墩仅采用单排桩布置,桥墩裂缝宽度仍无法满足规范要求;对于半固结体系,三跨一联可满足要求,同时对比三跨一联和四跨一联的计算结果可知,桥墩裂缝的差异主要由整体升降温引起。这主要是因为四跨一联的桥长相对较长,主梁在温度作用下的伸缩变形更大,导致桥墩承受的温度荷载过大。

由于连续梁体系解除了固结约束,桥墩裂缝不再控制设计,主要关注主梁应力情况。经计算三跨一联和六跨一联的连续梁应力情况,主梁应力均能满足全预应力构件的要求。

以既有模型为基础,调整墩高 5、10、15、20、25 m,桥墩截面采用等效矩形截面,在墩高 15、20、25 m 的情况下调整半固结和全固结体系桥墩尺寸,为满足桥墩的承载力要求,需要保证桥墩最大轴压比不超过 0.3(经验值),截面积不能变化太大,同时为了保证裂缝宽度满足规范要求,桥墩截面设计趋于薄壁柔性墩,截面尺寸从 472 cm×209 cm 调整至 600 cm×160 cm。

结合主梁、桥墩应力情况及最大裂缝宽度计算分析^[7],可以得出土质情况对结构体系的选择影响相对不大,适用于大挑臂复合截面节段梁在不同典型跨径和不同墩高下的合理结构体系选用推荐情况

如表5所列。

表5 结构体系选用推荐表

墩高/m	跨径/m				
	5~10	10~15	15~20	20~25	>25
40	连续梁	连续梁	半固结	半固结	半固结
50	连续梁	连续梁	半固结	半固结	全固结
60	连续梁	连续梁	半固结	全固结	全固结

3 施工工法研究

节段梁拼装施工一般有逐跨拼装和悬臂拼装2种常见方案^[8]。本节分别研究2种施工工法的特点,并对其适用性进行简要分析。

3.1 逐跨拼装施工法

逐跨拼装施工法^[9]利用架设设备,一次性架设一跨内的所有节段,在本跨成型后移动架设设备至下一跨,依次进行架设(见图9)。

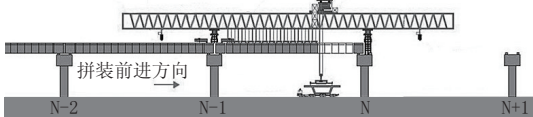


图9 逐跨拼装施工示意图

逐跨施工法的施工周期通常在4~7 d完成单跨架设,尤其适用于跨径40~60 m的多跨等高梁桥建造,符合现行桥梁施工规范要求的工业化建造标准。

3.2 悬臂拼装施工法

悬臂拼装施工法最常用的是对称悬臂拼装施工法,如图10所示,按架梁设备不同可分为架桥机悬臂拼装和桥面吊机悬臂拼装。

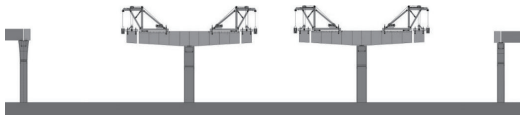


图10 悬臂拼装施工示意图

悬臂拼装施工法本质为平衡悬挑作业,借助悬臂吊机或移动支架系统从桥墩的顶部向两侧同步进行预制节段拼装。其特点是跨越能力大,架梁设备相对较轻,同时拼装误差易累计,其施工精度要求较高。因此对主梁施工时的线型及节段预制时的几何控制要求很严。

3.3 施工工法对比

从施工速度的角度出发,逐跨施工的平均速度比悬臂拼装更快,这是由于悬臂拼装需逐节段对称吊装、逐节段张拉预应力,每个循环均需耗费一定时间,拼装节段越多,时间越久。一般而言,每跨需约5 d时间逐跨拼装施工,而悬臂施工则根据跨径大小而定,60 m主跨的连续梁每跨施工需约20 d。

施工设备方面,逐跨拼装的架桥机规格由一跨核心梁段吊重控制,对架桥机吊装能力的要求相对较高;悬臂拼装的架桥机规格由边跨非悬拼段的梁段吊重控制,对架桥机吊装能力的要求相对较低。

受力方面,主梁核心箱梁的纵向受力对比如表6所列。结果表明,对于不同结构体系下的主梁应力,悬臂拼装相对优于逐跨拼装,但两者计算结果均能满足规范对全预应力构件的要求。

表6 核心箱梁受力性能对比 单位:MPa

类型	跨径组合	施工工法	最大应力	最小应力
全固结体系	3×50 m	逐跨拼装	16.60	0.27
	3×50 m	悬臂拼装	15.59	0.08
半固结体系	3×50 m	逐跨拼装	17.10	0.20
	3×50 m	悬臂拼装	15.25	0.58
连续梁体系	6×50 m	逐跨拼装	17.25	0.20
	6×50 m	悬臂拼装	14.56	0.60

对于大挑臂复合截面节段梁,当采用逐跨拼装方案施工时,架桥机整孔架设核心梁段后,首先张拉体外预应力钢束,待后装挑臂安装完成后,再统一张拉体内预应力钢束。实体有限元的分析结果表明此时体内束的预应力效应能有效且相对均匀地扩散至挑臂(见图11)。



图11 核心箱梁体内束效应扩散至挑臂情况(单位:MPa)

当采用悬臂拼装方案施工时,大部分体内预应力钢束已在核心梁段悬拼时张拉完成,待后装挑臂安装完成后,剩余可张拉的体内预应力钢束中顶板束相对较少,而体外预应力钢束位置则距挑臂较远,对挑臂局部受力贡献较小。

经分析,当核心梁段采用逐跨拼装施工时,纵向钢束的预应力效应可以有效作用于后装挑臂。对应的,当核心梁段采用悬臂拼装施工时,常规布束的纵向预应力效应较难有效作用于后装挑臂。

综合考虑,对于跨径50 m及以下的标准段主梁,建议采用逐跨拼装的施工工法;对于跨径50 m以上的大跨段主梁,若采用逐跨拼装则对架桥机的吊重要求过高,可采用悬臂拼装的施工工法。

4 结 语

本文基于大挑臂复合截面节段梁结构特点,对标准断面及跨径适应性进行了定性分析,同时结合有限元计算研究不同跨径的合理结构体系和施工方案,对于推动节段梁的高质量发展,具有显著的示范效应和推广价值^[10]。

(1)对于城市高架主线,双4断面吊重较轻可整体吊装,双10断面横向划分后核心箱梁和挑臂吊重仍较重,大挑臂复合截面节段梁较适用于标准双6、双8断面,跨径40~60 m的城市高架桥。

(2)大挑臂复合截面节段梁合理结构体系与跨径和墩高有关,土质情况影响较小。墩高15 m以下推荐采用连续梁体系;随墩高及跨径的增大而逐步过渡至半固结、全固结体系。

(3)跨径50 m及以下的大挑臂复合截面节段梁建议采用逐跨拼装的施工工法,体内束的预应力效应能有效且相对均匀地扩散至挑臂;跨径50 m以上

可采用悬臂拼装施工工法。

参考文献:

[1] 徐建清,曹亮,王煜栋.城市高架桥梁预制拼装技术及经济效益分析[J].北方交通,2020(8):28-31.
[2] 徐瑞丰,韩大章,单宏伟.宽幅预制节段梁在五峰山长江大桥中的应用[J].上海公路,2020(1):54-56.
[3] Journal. Design for construction, economy and elegance in concrete bridges[J]. Structural concrete: Journal of the FIB.2007, 8(4): 213-217.
[4] 刘钊,武焕陵,种艾秀,等.南京长江第四大桥节段预制拼装箱梁足尺模型试验[J].桥梁建设,2011(3):9-12.
[5] 孙莉.体内-体外混合配束节段预制拼装桥梁设计方法研究[D].南京:东南大学,2009.
[6] 赵凯.大跨径连续梁桥桩土模型对比分析[J].西部交通科技,2017(11):61-63.
[7] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[8] 吴东升,卢永成,齐新,等.南昌市洪都大道高架桥节段梁结构设计[J].城市道桥与防洪,2020(2):67-70.
[9] 富华.逐跨拼装预制节段预应力混凝土桥梁施工技术[J].交通世界,2017(12):140-141.
[10] 刘琼,李向民,许清风.预制装配式混凝土结构研究与应用现状[J].施工技术,2014(12):9-13.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

