

文章编号: 1674—8247(2020)03—0091—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.03.019

高速铁路预应力混凝土连续梁节段预制悬拼法 建造关键技术研究

董传新¹ 杜振华² 徐 领¹

(1. 中国铁路上海局集团有限公司, 上海 200071; 2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘 要:连云港至徐州高速铁路东海特大桥(32+48+32)m无砟轨道预应力混凝土连续梁采用节段预制胶拼法建造,本文对其预制拼装方案、节段划分、预应力束布置、结构设计以及主要工程数量等进行了分析研究。主要研究成果有:(1)节段预制胶拼法施工预应力混凝土连续梁的设备及施工方法多样,应结合施工现场实际情况,因地制宜选择相应设备和施工方法,本桥采用的平衡悬臂拼装工艺,起吊重量较小,架桥机成本投入较少;(2)采用与原设计(32+48+32)m悬灌梁相同的外轮廓及梁高,可满足节段预制拼装法施工的需求;(3)节段预制拼装连续梁预应力度较高,混凝土、预应力筋及普通钢筋用量较悬灌梁多,总体费用偏高,有必要开展进一步研究,提高其经济性。相关成果可供类似工程借鉴参考。

关键词:高速铁路;铁路桥;预应力混凝土;连续梁;箱梁;节段预制拼装;胶接缝;设计

中图分类号:U445.57 **文献标志码:**A

Research on Key Technology for Prestressed Concrete Continuous Beam with Precast Segment Cantilever Assembling Method in High-speed Railway

DONG Chuanxin¹ DU Zhenhua² XU Ling¹

(1. China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200071, China;

2. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

Abstract: Donghai super major bridge (32+48+32)m ballastless track prestressed concrete continuous beam of Lianyungang-Xuzhou high speed railway is constructed by precast segment assembling method with epoxy resin joints. The precast and assembly scheme, segment division, prestressed tendon arrangement, structural design and the quantities of the main works are analyzed and researched in this paper. The main results are as follows: (1) if the precast segment assembling method with epoxy resin joints is used in prestressed concrete continuous beam in high-speed railway, there are various equipment and construction method for prestressed concrete continuous beam. The corresponding equipment and construction methods should be selected according to the actual situation of the bridge site. The balanced cantilever assembly technology is adopted for this bridge, which has small lifting weight and less investment in bridge erecting machine. (2) The same outer contour and beam depth as the original cantilever beam (32+48+32)m can meet the requirements of precast segment assembling construction. (3) Because the prestressing force of the precast segment assembling continuous beam is big, and the amount of concrete, prestressing tendon and ordinary reinforcement is more than that of cantilever beam, the overall cost is higher. It is necessary to carry out further

收稿日期:2020-03-16

作者简介:董传新(1971-),男,高级工程师。

引文格式:董传新,杜振华,徐领. 高速铁路预应力混凝土连续梁节段预制悬拼法建造关键技术研究[J]. 高速铁路技术,2020,11(2): 91-96.

DONG Chuanxin, DU Zhenhua, XU Ling. Research on Key Technology for Prestressed Concrete Continuous Beam with Precast Segment Cantilever Assembling Method in High-speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 91-96.

research to improve the economy of segmental concrete bridges. The results of this project can be used for reference in similar projects.

Key words: high-speed railway; railway bridge; prestressed concrete; continuous beam; box girder; assembled precast segment; epoxy resin joint; design

高速铁路具有运能大、能耗低、成本低、占地少、污染小、安全性高、全天候等一系列优势,是交通运输行业不可或缺的一种交通方式,在带动经济发展、保障民生、解决人们日常出行等方面起到了重要的作用。但高速铁路建设、施工、运营、维修等过程中有废气、废渣、噪音等的产生,在可持续发展上仍有发展空间,绿色科技仍需进一步加强和深化^[1]。

节段预制拼装法是将桥梁结构划分为若干节段块,在工厂里或桥位附近的预制场内成型后,运至桥位现场,利用预应力技术将各节段组拼为整体结构的一种施工方法。通俗地说,是“将天上的浇筑工作请到车间”的一种施工方法^[2],具有施工速度快、施工质量好、徐变变形小、工厂化和机械化程度高、绿色环保等优势。

我国高速铁路大量采用标准跨度 24 m、32 m 的整孔预制架设简支箱梁,符合工业化和绿色建造的需求。但截止目前,连续梁还是大量采用支架现浇或挂篮悬灌法施工,桥位现场工作量大,工业化和预制装配化程度较低。因此,在铁路连续梁中,推广应用节段预制拼装法对提高整个铁路桥梁的工业化和绿色建造水平具有重要的意义。

自 20 世纪 90 年代后期以来,节段预制拼装法建造技术在铁路、公路、市政、轨道交通等领域逐渐应用开来。上海沪闵二期高架桥工程、上海新浏河大桥、广州城市轨道交通 4 号线、厦门 BRT^[3]、厦门集美大桥、苏通大桥引桥、上海长江大桥引桥、泉州湾跨海大桥引桥、芜湖长江二桥引桥、港珠澳大桥香港接线高架桥等均采用了节段预制拼装技术。2014 年竣工的黄韩侯铁路芝水沟特大桥是国内首座采用节段胶拼法建造的大跨度简支梁^[4],2017 年竣工的郑阜高速铁路周淮特大桥(40+56+40) m 预应力混凝土连续梁是国内首座采用节段预制胶拼法建造的高速铁路预应力混凝土连续梁^[5]。京唐高速铁路潮白新河特大桥(48+80+48) m 双线无砟轨道预应力混凝土连续梁也采用了节段预制胶拼法建造技术^[6]。

1 项目概况

连云港至徐州铁路是国家《中长期铁路网规划》中“八纵八横”高速铁路主通道横向“陆桥通道”的组

成部分,是“十三五”江苏省开工建设的首个铁路项目。其中东海特大桥(32+48+32) m 无砟轨道预应力混凝土连续梁采用了节段预制胶拼法建造。

主要技术标准如下:

- (1) 铁路等级:高速铁路。
- (2) 设计速度:350 km/h。
- (3) 线路情况:线路纵坡 -5.0‰,双线,线间距 5.0 m。
- (4) 轨道形式:CRTSⅢ型板式无砟轨道,轨道结构高度 738 mm。
- (5) 环境类别及作用等级:一般大气条件下无防护措施的地面结构,环境类别为碳化环境,作用等级 T2。
- (6) 设计使用年限:正常使用条件下,梁体结构设计使用寿命为 100 年。
- (7) 施工方法:节段预制悬臂拼装法施工。
- (8) 地震烈度:8 度,地震动峰值加速度 0.2g。

2 结构设计

2.1 立面布置

东海特大桥(32+48+32) m 连续梁全长 113.5 m,边支座中心线距离梁端 0.75 m,梁缝分界线至梁端 0.10 m。边支座横桥向中心距 4.50 m,中支座横桥向中心距 4.50 m。防护墙内侧净宽 9.0 m,桥梁宽 12.6 m,桥梁总宽 12.9 m。

主梁截面为单箱单室等高度斜腹板截面,采用 C55 混凝土,截面中心处梁高 3.035 m;箱梁顶宽 12.6 m,底宽 5.5 m,顶板厚分别为 38.5 cm、63.5 cm,腹板厚分别为 48 cm、70 cm、90 cm,底板厚分别为 40 cm、60 cm。全桥共设 4 道横隔梁,中支点处设置厚 1.9 m 的横隔梁,边支点处设置厚 1.05 m 的端隔梁。隔板设有孔洞,供检查人员通过。

2.2 节段划分

梁体节段划分要考虑设计问题(如跨度、施工方法等),还要结合现场施工条件(如节段运输能力及吊装能力等)综合确定。本桥共划分为 40 个预制节段,标准节段长 2.8 m,其余节段长 2.4 m、3.0 m、3.25 m,中墩墩顶节段重 1 433 kN,边墩墩顶梁段 1 244 kN,其余节段最大吊重为 919 kN,中跨跨中合龙段长 1 m,采用湿接缝。节段划分如图 1 所示。

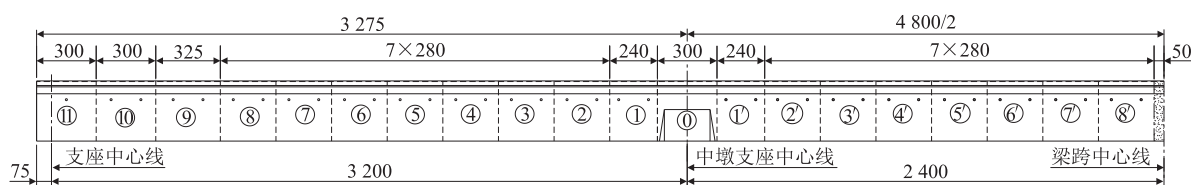


图1 (32+48+32)m节段预制拼装连续梁节段划分(cm)

2.3 接缝面构造设计

本桥接缝采用胶接缝。剪力键是胶接缝截面的重要组成部分,主要起辅助定位和提供抗剪能力的作用,常采用密齿型剪力键,其构造尺寸参照AASHTO《节段式混凝土桥梁设计与施工指南》要求办理。剪力键在截面上的布置力求均匀,并尽量避开纵向预应力管道,剪力键尺寸、位置应标准化和模数化,以便于端模板的设计和重复利用,节省模板投入。

环氧树脂胶在拼装过程中主要起到润滑和调节定位的作用,固化后可以对拼接缝起到密封防水、防止预应力钢绞线锈蚀的作用。单面涂胶时,涂抹厚度不大于3 mm,固化所需压应力按0.3 MPa控制。施工时需要结合实际温度选择相应的产品,在可施胶时间范围内完成环氧树脂胶的涂抹,并及时施加临时预应力。临时预应力施工完后应及时进行清孔,防止孔道被固化后的环氧树脂胶堵塞,影响后期预应力穿束和灌浆。

3 拼装方案及预应力布置

3.1 拼装方案

节段预制拼装的工法多样,大体上可分为逐跨拼装法、悬臂拼装法和渐进式吊装法等,每种工法又有多种设备可供选用。以悬臂拼装法为例,拼装设备可选用桥面吊机、履带吊、汽车吊、架桥机、龙门吊等多种设备,采用架桥机施工时又可采用逐节段对称悬拼、小节段预制大节段悬拼、半联满跨悬拼等多种方法。各种设备及工法的特点不同,拼装过程中的受力特点各不相同,对应的预应力钢束布置也不同,必须结合现场条件及设备投入情况,确定拼装方案后才能开展设计。

最近的预制梁场距离本桥桥位约2.5 km,无限高及限宽点,具备在预制场内制造后运输至现场拼装的条件。经过多次现场踏勘和方案研讨,最终选用短线法预制、满跨上行式架桥机逐节段拼装的施工方案。节段在简支梁预制场预制、养护、匹配,借由社会道路和施工便道运输运至现场对称悬臂拼装。简支梁预制场根据短线匹配预制的特点进行改扩建。

现场拼装主要施工步骤如下:

(1)搭设中墩及边墩墩旁支架,拼装架桥机,吊装

0号块,精调后墩梁临时固结;拼装架桥机,架桥机中支腿转移至0号块顶面,拆除中墩墩旁支架。

(2)吊装1号和1'号节段进行试拼,试拼合格后,安装节段断面孔道处密封圈,涂抹环氧树脂胶,张拉临时预应力,单侧涂胶,厚度2~3 mm,涂胶前对箱梁断面进行打磨洗净和干燥处理,涂胶后至环氧树脂胶固化前对接缝进行覆盖,防止雨淋和暴晒。

(3)待环氧树脂胶固化后穿钢绞线,张拉永久预应力钢束,并及时进行孔道压浆。

(4)重复步骤(2)~(3),依次悬拼2~8、2'~8'节段,并张拉相应预应力钢束。

(5)现浇中跨合龙段,待合龙段混凝土强度及弹性模量均达到设计值的100%且混凝土龄期不小于5 d后张拉并锚固中跨合龙段预应力钢束并及时进行压浆。

(6)拆除中墩临时固结体系,转化为永久支座。利用架桥机同步吊装两边跨9号节段,胶拼、临时张拉、待环氧胶完全固化后,张拉相应永久钢束并及时压浆。

(7)对边墩墩旁托架进行预压,预压合格后,在托架上拼装边跨10、11号节段。

最大悬臂施工阶段和边跨9号节段悬拼阶段为整个施工过程中风险最高的阶段。最大悬臂施工阶段控制中墩墩梁临时固结的设计,应注意避开大风恶劣天气,减少桥面不对称堆载,并通过控制节段预制尺寸误差等措施来减小不平衡弯矩,降低风险。节段悬拼过程中,在相应节段永久预应力筋张拉前,节段重量应全部由架桥机承受,待永久预应力张拉完成后方可脱钩。若节段吊杆力控制不到位,节段自重传递至已成型结构上,会造成已施工接缝开裂。以9号节段悬拼为例,此时结构受力体系为伸臂梁体系,9号节段自重会在中跨跨中上缘产生拉应力,拉应力最大值约2.9 MPa,极易造成中跨跨中接缝处开裂,必须严格按照设计要求的张拉和脱钩顺序进行施工。

本项目的主要特点为:

(1)该项目是我国高速铁路首座采用短线法节段预制、悬臂拼装的连续梁项目,线形控制要求较高。

(2)边跨均为预制节段,无湿接缝及现浇段,仅在中跨跨中设置湿接缝用于调整悬拼线型,避免边跨设置支架进行现浇施工。

(3)采用满跨上行式架桥机进行双T构同步悬臂胶拼施工,避免了顶推移动,提高了施工功效,降低了安全风险。

(4)边跨节段预制节段在墩旁托架上进行拼装,取消了落地支架,既节省了支架地基处理费用,又对高墩及不便于搭设落地支架情况下的节段悬拼进行了有益探索。

3.2 预应力钢束布置

本梁采用悬臂拼装施工,施工阶段受力与悬灌梁相同,故预应力布置与悬灌梁一样,采用了腹板束、顶板束和底板束。相比悬灌梁,本梁腹板束采用了19-7 ϕ 5的大规格预应力钢束,以减少每个腹板上的腹板束数量,便于布置腹板剪力键。在悬臂节段底板布置了4束12-7 ϕ 5的永久预应力钢束,并采用连接

器接长,以满足施工阶段接缝压应力储备要求。

3.3 施工工艺控制

0号节段的预制精度和定位控制对整个结构的线形影响较大。本桥施工阶段最大悬臂长23 m,0号块竖向定位角度若发生0.1°的误差,将导致合拢口产生40 mm的竖向位移,施工时必须高度重视。0号块的预制精度主要通过控制模板的尺寸和定位精度来保证,预制时,在对应墩顶预埋 ϕ 32 mm的精轧螺纹钢位置预埋 ϕ 60 \times 4 mm钢管,待墩顶预埋精轧螺纹钢穿过预埋钢管后,再在墩顶进行0号块的精调。0号段放置于4套微调三向千斤顶装置上,微调千斤顶下设置临时支墩,千斤顶上加垫厚钢板,待高程及纵横向位置调整至误差范围后,与桥墩临时锚固。临时锚固措施在中跨合龙后拆除,拆除时,先烧除临时支墩中部的硫磺水泥砂浆,松开锚固钢筋,再凿除墩顶临时支墩混凝土。中墩墩梁临时固结构造及微调千斤顶平面布置如图2所示。

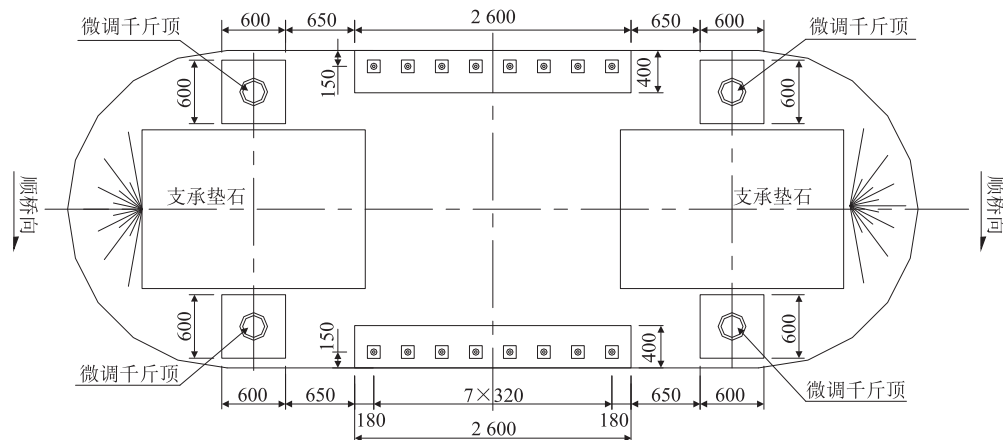


图2 中墩墩梁临时固结构造及微调千斤顶平面布置图(cm)

4 计算分析

4.1 主要设计指标

(1)箱梁纵向按全预应力构件进行设计,设计安全系数及各阶段应力控制如表1所示。

(2)参考美国AASHTO《节段混凝土桥梁设计与施工指南》,环氧树脂胶接缝截面抗弯强度取0.95的折减系数,抗剪强度取0.9的折减系数^[7]。

(3)挠度及梁端转角计算时,梁体刚度按0.90进行折减。整个施工过程中,环氧树脂接缝截面压应力不小于0.5 MPa。运营节段胶接缝截面压应力储备不小于1.0 MPa。

(4)验算胶接缝截面的抗裂安全系数时,忽略环氧胶与混凝土的粘结抗拉强度,仅作为抗裂性能的安

全储备^[8]。

4.2 主要计算结果

(1)截面受力

运营阶段全梁控制截面和胶接缝截面的计算结果分别如表2和表3所示。

(2)梁部竖向挠度

列车竖向静活载作用下,边跨最大竖向位移-4.4 mm,为跨度的1/7 272;中跨最大竖向位移-11.7 mm,为跨度的1/4 102。最大梁端转角为0.466‰,均满足规范要求。

列车竖向静活载作用下产生的挠度值与0.5倍温度引起的挠度值之和为-14.85 mm,为跨度的1/3 232;0.63倍列车竖向静活载作用下产生的挠度值与全部倍温度引起的挠度值之和为-14.63 mm,为跨

表 1 设计安全系数及各阶段应力控制表

序号	项目	检算条件		控制条件
1	设计安全系数	强度安全系数(考虑强度折减)	主力	$K_{\pm} \geq 2.2$
			主力+附加力	$K_{\pm+附} \geq 1.98$
2		抗裂安全系数	主力	$K_{\pm} \geq 1.25$
			主力+附加力	$K_{\pm+附} \geq 1.25$
3	预应力钢绞线应力	预加应力时的锚下钢绞线控制应力		$\sigma_{con} \leq 0.75f_{pk}$
4		预应力用螺纹钢筋的锚下控制应力		$\sigma_{con} \leq 0.90f_{pk}$
5		传力锚固时的钢绞线控制应力		$\sigma_p \leq 0.65f_{pk}$
6		运营荷载下钢绞线应力		$\sigma_p \leq 0.60f_{pk}$
7		疲劳荷载作用下钢束应力幅		$\Delta\sigma_p \leq 140 \text{ MPa}$
8	钢筋应力	疲劳荷载作用下带肋钢筋基本应力幅		$\Delta\sigma_s \leq 145 \text{ MPa}$
9	混凝土应力	传力锚固时混凝土压应力		$\sigma_c \leq 0.75f'_c$
10		传力锚固时胶接缝处混凝土最小压应力储备		$0.5 < \sigma_c$
11		传力锚固时其余部位混凝土拉应力		$\sigma_{ct} \leq 0.70f'_{ct}$
12		运营荷载下胶接缝处混凝土压应力(主力)		$1.0 \text{ MPa} \leq \sigma_{c\pm} \leq 0.50f'_c$
13		运营荷载下胶接缝处混凝土拉应力(主+附)		$1.0 \text{ MPa} \leq \sigma_{c\pm+附} \leq 0.55f'_c$
14		运营荷载下其余部位混凝土压应力(主力)		$0 \leq \sigma_{c\pm} \leq 0.50f'_c$
15		运营荷载下其余部位混凝土拉应力(主+附)		$0 \leq \sigma_{c\pm+附} \leq 0.55f'_c$
16		运营荷载下混凝土最大剪应力		$\tau_c \leq 0.17f'_c$
17		抗裂荷载下胶接缝处混凝土主拉应力		$\sigma_{tp} \leq 0.65f_{ct}$
18		抗裂荷载下其余部位混凝土主拉应力		$\sigma_{tp} \leq f_{ct}$
19		抗裂荷载下混凝土主压应力(主力)		$\sigma_{cp} \leq 0.60f'_c$
20		抗裂荷载下混凝土主压应力(主+附)		$\sigma_{cp} \leq 0.66f'_c$

度的 1/3 281,满足规范要求。

(3) 工后徐变变形

节段预制拼装连续梁梁体残余徐变变形最大值 0.7 mm,悬灌施工连续梁残余徐变变形值最大值 3.8 mm。预制节段存梁时间按不小于 28 d 控制,远大于悬灌施工时混凝土不小于 7 d 的加载龄期要求。梁体徐变变形值远小于悬灌梁,为采用短线法预制和节段悬拼提供了有利的条件。

从以上计算结果可知,采用与原设计(32 + 48 + 32) m 悬灌梁相同的外轮廓尺寸及梁高,可满足节段预制拼装法施工的需求。

4.3 接缝截面耐久性设计

与湿拼梁或现浇梁相比,节段预制胶拼桥梁对施工质量和耐久性要求更高。节段接缝及管道压浆密实性对预制节段拼装桥梁的耐久性影响最为突出。既要保证接缝截面在整个施工及运营阶段均有一定的压应力储备,又要保证接缝处的密闭性和预应力管道灌浆的密实性。特别是管道压浆环节,必须严格按《铁路混凝土工程施工技术规程》中的相关工艺要求,采用真空辅助压浆工艺,以提高管道灌浆的密实性。

接缝截面预应力管道接头采用密封垫圈 + 涂胶方法,可满足管道密封性要求。密封垫圈可采用闭孔发泡聚乙烯垫圈,也可采用橡胶垫圈。同时,为了进一步

表 2 运营阶段全梁控制截面计算结果表

项目	上缘		下缘		最大主压应力 / MPa	最小主拉应力 / MPa	最大剪应力 / MPa	强度安全系数	抗裂安全系数
	最大正应力 /MPa	最小正应力 /MPa	最大正应力 /MPa	最小正应力 /MPa					
主力	11.68	1.21	14.09	2.81	13.61	-1.83	3.15	2.50	1.41
主+附	13.62	0.45	14.91	1.40	14.41	-2.12	3.15	2.07	1.33

表 3 运营阶段胶接缝截面计算结果表

项目	上缘		下缘		最大主压应力 / MPa	最小主拉应力 / MPa	最大剪应力 / MPa	强度安全系数	抗裂安全系数
	最大正应力 /MPa	最小正应力 /MPa	最大正应力 /MPa	最小正应力 /MPa					
主力	11.06	2.04	13.59	2.81	12.97	-1.25	2.88	2.82	1.70
主+附	13.47	1.95	14.08	1.29	13.89	-1.74	2.88	2.31	1.63

提高接缝处耐久性,应注意做好接缝处的防排水设计。接缝防水采用多重防护体系:(1)每个胶接缝沿箱梁四周内外侧各刷 5 cm 宽与混凝土颜色一致的聚氨酯防水涂料,防水涂料厚 1.5 mm,抗拉强度 6 MPa;(2)采用与桥面铺装防水层一致的材料,先在节段拼接缝处顶板涂 1 层,再施工整个桥面防水层。

5 主要工程量对比

节段预制胶拼连续梁和挂篮悬臂浇筑施工连续梁的主要工程数量对比,如表 4 所示。

表 4 主要工程数量对比表

项目	预制拼装	悬臂浇筑
混凝土用量/m ³	1 418.00	1 363.39
纵向预应力筋用量/t	76.90	58.51
普通钢筋用量/t	329.08	265.44
预应力钢筋含筋率/%	54.23	42.92
普通钢筋含筋率/%	232.07	194.69

与挂篮悬臂浇筑施工的连续梁相比,(32 + 48 + 32) m 节段预制胶拼连续梁的混凝土用量、预应力筋及普通钢筋含筋量均要大得多,主要原因为:

(1) 节段预制拼装连续梁施工及运营过程中压应

力储备均较悬灌梁要大。预应力度高,接缝截面抗弯及抗剪强度均进行了折减,且接缝截面抗裂性计算时未考虑环氧树脂胶与混凝土的抗拉强度,主梁腹板厚度增加,预应力钢绞线用量也有所增加。

(2)节段预制拼装连续梁在断面附近普通钢筋有所加强,吊点位置需增设受力所需钢筋且吊点数量较多,因此普通钢筋含筋率也较悬灌梁大。

此外,节段拼接过程中还需要配套采用环氧树脂胶、临时预应力张拉台座、精轧螺纹钢等,且涉及到预制场改扩建、施工便道加固等,虽在工期上有一定的优势,但总体费用偏高,需达到一定的建设规模才可体现出其优越性。

6 结束语

目前,国内针对高速铁路连续梁的预制装配技术开展的研究还较少^[9],新建连云港至徐州高速铁路东海特大桥(32+48+32)m双线无砟轨道预应力混凝土连续梁是我国首座采用短线法节段预制、对称悬臂胶拼的连续梁,是节段拼装技术在国内高速铁路连续梁中的一次有益补充和尝试,为进一步推动我国铁路桥梁工业化、预制装配化建造水平积累了设计、施工和管理经验,研究成果可供类似工程参考。在铁路连续梁中推广应用节段预制拼装工艺,对于提高铁路建设的工业化、标准化水平,促进产业升级和绿色发展具有重要的意义,应进一步开展系统研究,提高其经济性。

参考文献:

- [1] 冯莎莎. 中国高速铁路绿色发展的思考[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(3): 94-98.
FENG Shasha. Reflections on the Green Development of China's High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(3): 94-98.
- [2] 李浩, 孙峻岭. 节段预制桥梁技术应用发展前景[J]. 铁道建筑技术, 2012(4): 38-40.
LI Hao, SUN Junling. Prospect of Precast Segment Bridge Application [J]. Railway Construction Technology, 2012(4): 38-40.

- [3] 张立青. 节段预制拼装法建造桥梁技术综述[J]. 铁道标准设计, 2014, 58(12): 63-66.
ZHANG Liqing. The Summary of Technologies for Building Bridges with Assembled Precast Segments [J]. Railway Standard Design, 2014, 58(12): 63-66.
- [4] 高明昌. 铁路节段预制胶接拼装简支箱梁的技术特点和优势[J]. 铁道建筑, 2015, 55(10): 60-63.
GAO Mingchang. Technical Features and Advantages of Railway Assembled Simply-supported Box-girder with Epoxy Resin Joints [J]. Railway Engineering, 2015, 55(10): 60-63.
- [5] 张雷, 季伟强, 苏伟, 等. 高速铁路(40+56+40)m预应力混凝土连续梁节段预制胶拼法建造技术研究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(8): 79-84.
ZHANG Lei, JI Weiqiang, SU Wei, et al. Design and Construction of (40+56+40)m Railway Prestressed Concrete Continuous Segmental Bridges for High-speed Railway [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(8): 79-84.
- [6] 施威, 邢雨, 谢远超, 等. 京唐铁路潮白新河特大桥节段预制胶拼法建造关键技术研究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(9): 50-55.
SHI Wei, XING Yu, XIE Yuanchao, et al. Research on Key Technology of Precast Segments for Beijing-Tangshan Railway Chaobai Xinhe Super Major Bridge [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(9): 50-55.
- [7] AASHTO GSCB Interim-2003 Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges [S]. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2003.
- [8] 曹增华. 胶接缝节段预制拼装桥梁的抗裂性计算[J]. 铁道建筑, 2016, 56(12): 21-23.
CAO Zenghua. Crack Resistance Calculation of Precast Segmental Assembling Bridge with Epoxy Resin Joints [J]. Railway Engineering, 2016, 56(12): 21-23.
- [9] 王凯林, 高策, 周勇政. 铁路预应力混凝土连续梁预制装配技术思考与展望[J]. 铁路工程技术与经济, 2019, 34(5): 1-5.
WANG Kailin, GAO Ce, ZHOU Yongzheng. Thinking and Prospect of Railway Prestressed Concrete Continuous Beam Prefabrication Assembly Technology [J]. Railway Engineering Cost Management, 2019, 34(5): 1-5.

(编辑:刘会娟 白雪)