doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.202001008

70 m PC 整孔预制箱梁施工关键技术分析

王 通1,王毓晋1,宋 杰2,吴方钰3

(1. 浙江舟山北向大通道有限公司,浙江 舟山 316000;

2. 中铁大桥局集团第二工程有限公司,江苏南京 210015;

(3. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310058

摘要:以主通道项目非通航孔桥 70 m PC 箱梁为背景,利用 BIM 技术对预制场布局合理划分,优 化海工混凝土配合比,采用钢筋模块化生产、内模滑移式设计、自动喷淋养护技术等方式极大提 高了箱梁预制工效。深入分析大跨度 PC 箱梁预拱度设置,建立了边、中跨的预拱度函数曲线, 指导了箱梁预制施工。自主研发 1 200 t 通用门式起重机,可适应场地大纵坡的不利影响,提升 箱梁场内搬运效率。借助信息化手段对箱梁海上运输实时监控,保障了海上运输的安全。箱梁 海上安装的关键在于吊具,设计了一种自重轻、结构简单的下托梁杆结构。通过 ANSYS 进行最 不利受力分析,验证了吊具受力合理、强度、刚度及稳定性均满足要求。

关键词:70 m PC 箱梁;整孔预制;场内转运;预拱度

中图分类号:U445.4 文献标志码:A 文章编号:1671-5322(2020)01-0043-07

跨海桥梁属于特大型桥梁集群,规模大,技术 含量高,如港珠澳大桥、杭州湾跨海大桥,这些桥 梁的建成方便了人民出行、助推了当地经济。非 通航孔桥作为跨海桥梁的重要组成部分,面临距 离长、曲线长特点,面临恶劣海况,施工难度极大、 周期长、项目投资规模受限等挑战。借鉴国内跨 海桥梁施工经验,对大型箱梁预制、出运、安装等 施工工艺进行深入研究,形成适用于跨海大桥非 通航孔桥的合理工程方案,为类似项目提供 借鉴^[1-2]。

1 工程概况

宁波舟山港主通道项目 70 m PC 非通航孔桥 总长 12.320 km,箱梁采用 C55 海工混凝土,上部 结构为双幅、单箱单室斜腹板预应力混凝土箱梁, 采用纵横向双向预应力体系。箱梁顶板宽 12.55 m,底板宽 5.5 m,底板水平通过两侧腹板高度不 同形成桥面 2% 横坡(见图 1)。箱梁中心线处梁 高 4.0 m,高跨比为 1:17.5。标准联长 5 跨一联, 采用先简支后连续结构形式,通过在墩顶设置湿



收稿日期:2019-09-04

作者简介:王通(1992一),男,河南商丘人,助理工程师,硕士,主要研究方向为大跨度桥梁施工控制。

第33卷

接头实现连续,墩顶湿接头宽度 90 cm。每片箱 梁自重1850 t,总共 370 片箱梁。

2 70 m PC 箱梁预制及场内转运技术研究

2.1 预制场建设

金塘预制场面积共20.67 万 m²,借助 BIM 手 段对预制场功能区合理划分,设有制墩区、存墩 区、制梁区、存梁区、砼生产区、钢筋加工车间、设 备维修存放区、生活办公区等。预制场内设制梁 台座6座,存梁台座19座,预制场一次可放34 片 箱梁。预制场 BIM 模型(见图2),箱梁预制、运 输及安装总体工艺流程图见图3。事实表明,BIM 技术提升指导了预制场建设质量与功效。



图 2 金塘预制场 BIM 模型图 Fig 2 BIM model diagram of Jintang prefabrication field



Fig 3 Overall process flow chart for prefabrication, transportation and installation of box girder

2.2 整孔预制难点分析

前期调研了东海大桥、金塘大桥等国内类似 工程,在此基础上对钢筋模块化生产、内模滑移式 设计、自动喷淋养护技术、优化海工砼配合比重点 攻关,提高了箱梁预制工效^[3]。箱梁预应力分3 次张拉,1期纵向预应力张拉在制梁台座上进行, 2期是在海上施工(场内存放3个月),3期为湿 接缝合龙束张拉。图4为移动式厂房立面图。



图 4 移动式厂房立面图 Fig 4 Mobile building elevation

箱梁预制线形对于成桥线形控制尤为重要。 建立5m×70m标准联的有限元模型(见图5), 经计算可知成桥初期(施加2期恒载后)未设置 反拱前边跨跨中位移为18.5mm,中跨成桥初期 跨中位移为22.4mm。本文分别取20%、40%、 60%、80%、100%跨中累计挠度作为反拱值(见表 1)。由表1数据可知,当取箱梁跨中累计挠度的 60% 来设置反拱度,即边跨跨中设置 2.8 mm 反 拱度,中跨跨中设置 7.3 mm 反拱度,可满足结构 运营阶段桥面处于上拱状态,成桥状态有 15 mm 拱度的线形控制目标^[4-5]。为保证整体线形平 顺,利用二次抛物线进行拟合,得到边跨、中跨反 拱值设置曲线(见图 6)。



图 5 5 m × 70 m 箱梁有限元计算模型 Fig 5 Finite element calculation model of 5 m × 70 m box girder

表1 边、中跨跨中位移

Table 1Mid span displacement of side and mid span						mm
跨中累计		中跨跨中			边跨跨中	
挠度比例/%	反拱度	成桥初期位移	运营状态位移	反拱度	成桥初期位移	运营状态中位移
20	2.4	20.0	8.5	0.9	17.6	2.2
40	4.9	17.5	6.0	1.8	16.7	1.3
60	7.3	15.1	3.6	2.8	15.7	0.4
80	9.8	12.6	1.1	3.7	14.8	-0.5
100	12.2	10.2	-1.3	4.6	13.9	-1.5



图 6 边跨、中跨反拱值设置曲线 Fig 6 Setting curve of inverted arch value of side span and middle span

2.3 场内转运技术分析

箱梁场内搬运所用吊具由动滑轮总成、吊具梁、下托梁及吊索4部分组成。利用25t汽车吊 先将下托梁吊放至箱梁吊点附近,再通过导链或 小卷扬机拖拉将下托梁拖拉到箱梁吊点的梁底 (见图7)。箱梁张拉1期预应力后,通过2台 1200t通用门式起重机移运至存梁台座简支存 放。1期预应力张拉完成后,由存梁台座搬运至 出海码头装船(见图8)。



图 7 箱梁场内搬运图 Fig 7 Handling map of box girder in the field





3 70 m PC 箱梁海上运输及安装技术研究

3.1 箱梁海上运输要求

运输选在低平潮期,金塘大桥船舶流量较小的时段进行,利用大型非自航运输驳装载,拖轮拖带的方式进行^[6-7]。运输驳出运前需正确标识

AIS 信息,箱梁运输驶出码头(见图 9),完成编队 后出发,高平潮前到达桥位处,平均航行 3 h 到达 桥位。

3.2 箱梁安装技术难点分析

箱梁吊装选用"奋进"号2600t起重船及 "大桥海鸥"号3600t起重船,其中"大桥海鸥" 号起重船可满足本项目所有工况下的箱梁吊装, 2 600 t浮吊整体吊装箱梁工作照(见图 10)。吊 具设计质量决定着箱梁安装成败,自主设计了结 构简单、自重轻、易存放的下托梁结构吊具(见图 11)。通过 ANSYS 计算分析,该吊具整体受力合 理、强度、刚度及稳定性满足要求。其中连接梁、 支撑梁限元分析等效应力云见图 12,平衡梁有限 元分析等效应力云见图 13。建议定期对吊具进 行焊缝的探伤检测,安装过程中应确保吊具平衡 梁保持同一高度^[8]。



图 9 箱梁出运平面图 Fig 9 Plane figure of shipment of box girder



图 10 2 600 t 浮吊整体吊装箱梁工作照片 Fig 10 Working photo of 2 600 t floating crane integral lifting box beam

4 结论

本文重点研究了跨海桥梁非通航孔桥 70 m 箱梁预制、场内搬运、海上运输及安装的技术总结 及创新,并成功应用于实桥,提升了项目实施进度 与质量,总结得到以下结论:

(1)利用 BIM 手段,对预制场功能区合理划 分,各功能区分界清晰,节约用地、体现工厂化、大 型化、装配化作业。积极引入信息化手段,可实现 海上船舶监控管理,减少船舶事故发生。

(2)优化海工混凝土配合比,采取钢筋模块 化生产、内模滑移式设计、自动喷淋养护技术等方 式极大的提高了箱梁预制工效。









图 13 平衡梁有限元分析等效应力云图 Fig 13 Equivalent stress cloud diagram of finite element analysis of balance beam

(3)对大跨度 PC 箱梁反拱值深入研究,取累 计挠度的 60% 来设置反拱度更为合理,并建立了 边跨及中跨反拱曲线函数,进一步指导施工。

(4)自主研发1200 t 通用门式起重机可适应 大纵坡运梁,摆脱传统的轨道式起重机,对场地的 适应性更强,提升了场内搬运的效率。 (5)合理选择运输时机,利用大型非自航运 输驳装载,拖轮拖带的方式进行,做好相关的应急 预案。

(6)优化吊具设计,选择了结构简单、自重 轻、易存放、适用性广的下托式梁杆结构,通过 ANSYS 计算分析,表明吊具整体受力合理、强度、 刚度及稳定性满足要求。

参考文献:

- [1] 王华治,冯清海,程德林. 浅谈跨海大桥非通航孔桥结构型式选择的制约因素[J]. 公路,2018,63(7):193-195.
- [2] 俞华标,马元飞. 跨海桥梁非通航孔桥设计方案与造价控制[J]. 公路交通技术, 2018,34(2): 44-49,55.
- [3] 王泽林,羊雨林.金塘大桥 60 m 箱梁预制施工技术[J].公路,2008,53(6):30-33.
- [4] 梅晓亮,张志强.港珠澳大桥深水区非通航孔桥钢箱梁架设线形分析[J].桥梁建设,2016,46(1):106-110.
- [5] 王文洋,王通,王毓晋.大跨径整孔预制箱梁张拉方式及反拱度设置研究[J].桥梁建设,2019,49(S1):74-79.
- [6] 王毅. 杭州湾跨海大桥 70 m 箱梁预制、运输及架设的关键技术[J]. 公路,2006,51(9):117-120.
- [7] 莫兴林. 大型跨海大桥非通航孔桥施工技术研究[D]. 大连:大连理工大学,2015.
- [8] 叶昌勇.70 m 预应力混凝土箱梁整体预制和海上运输技术研究[D]. 西安:长安大学,2009.

Key Technology Analysis of 70 Meters PC Whole Hole Precast Box Girder Construction

WANG Tong¹, WANG Yujin¹, SONG Jie², WU Fangyu³

1. Zhejiang Zhoushan Northward Channel Co., Ltd., Zhoushan Zhejiang 316000, China;

2. China Railway Bridge Bureau Group Second Engineering Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210015, China;

3. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310058, China

Abstract: Taking 70 meters PC box girder of non-navigable hole bridge of the main channel project as the background, the prefabrication site layout is reasonably divided by using BIM technology, the mixing ratio of Marine concrete is optimized, and the prefabrication efficiency of box girder is greatly improved by means of modular production of reinforcement, sliding design of internal mold and automatic spray curing technology. Based on the analysis of the pre camber setting of long-span PC box girder, the pre camber function curve of side and middle span is established, which guides the construction of box girder prefabrication. Self developed 1 200 t universal gantry crane can adapt to the adverse effects of large longitudinal slope of the site and improve the efficiency of handling in the box girder field. With the help of information technology, the real-time monitoring of box girder maritime transportation ensures the safety of maritime transportation. The key to the offshore installation of box girder lies in the spreader. A lower joist structure with light weight and simple structure is designed. Through the most unfavorable stress analysis of ANSYS, it is verified that the spreader is reasonable in stress, strength, stiffness and stability meet the requirements. **Keywords**:70 meters PC box girder; whole hole prefabrication; field transfer; pre-camber

(责任编辑:张英健)

