DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.250285

大型整孔预制PC箱梁吊装设计研究

吴亚东
(浙江数智交院科技股份有限公司,浙江 杭州 310030)

摘 要: 位于沿海滩涂或浅海区的大型高架桥,整孔预制混凝土箱梁由于较好的制造质量及结构耐久性,在具备大型预制场等临建设施的条件下,能充分发挥规模优势,具备良好的技术、经济性。由于预制箱梁施工过程中需要多次转场,吊装重量大,需进行必要的专项设计。结合杭甬高速复线宁波段一期工程项目,通过对吊装工况的精细化分析,研究了设置腹板外竖向精轧螺纹钢筋吊装方案,以改善吊装受力状态及技术经济性。

关键词: 整孔预制;箱梁;吊装
中图分类号: U445;TU997 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2026)01-0311-03

Research on Hoisting Design of Large-scale Full-span Prefabricated PC Box Girder

WU Yadong
(Zhejiang Digital Intelligence Transportation Institute Technology Co., Ltd., Hangzhou 310030, China)

Abstract: For the large-scale elevated bridges located in coastal mudflats or shallow sea, the full-span prefabricated concrete box girders can fully play the scale advantage and have the good technology and economical efficiency because of the good manufacturing quality and structural durability under the condition of having temporary facilities such as large-scale prefabrication yards. Due to the need for multiple site transfers during the construction of prefabricated box girders and the large hoisting weight, the necessary special designs are required. Combined with the Hangzhou-Ningbo Expressway Duplex Line (Ningbo Section) Phase I Project, through the refined analysis on the hoisting condition, the hoisting scheme of vertical precisely-rolled threaded steel bars outside the web is studied to improve the hoisting force state and technical economy.

Keywords: full-span prefabrication; box girder; hoisting

0 引 言

随着社会经济的不断发展,沿海省市陆续布局了多项跨海高速公路、铁路工程建设。由于严苛的施工及运营环境,跨海工程对结构耐久性提出了更高的要求。海洋环境中的高速公路主线桥梁,综合考虑结构力学性能及全寿命周期成本,引桥及标准跨上部结构多采用混凝土箱梁,主要有整孔预制、节段预制拼装、移动模架现浇等方案。此类桥梁的上部结构施工往往需沿路线渐次推进,工作面有限,若线路较长则多成为控制工期的关键节点。对于沿海滩涂或浅海等大型浮吊设备运用受限的区域,即使需要大型预制场及大吨位运架设备,整孔预制,梁上运梁方案因其较好的预制质量,受力性能,结构耐久性及施工工效成为具有规模优势的结构型式[1-2]。由于整孔预制箱梁经济跨径往往在40 m及以上,自重较大,施工期间需由预制台座—存梁台座—提梁站—运梁车—桥墩落梁的多次吊装转场,因此需进行必要的吊装设计,本文以杭甬高速复线宁波段一期工程为例,利用有限元软件ANSYS模拟箱梁吊装及存梁工况,进行实体模型精细化分析,提出一种具备技术经济性的吊装方案,适应工程需要。

收稿日期:2025-03-19
作者简介:吴亚东(1988—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

1 工程概况

杭甬高速复线宁波段一期工程东段连接慈溪附海镇与宁波镇海区,按双向六车道120 km/h标准设计,路基标准宽度34.5 m。线位经过宁波慈溪海积平原和镇海滩涂围垦及近海区,自K14+148.5~K40+520设置连续高架,全长26.372 km。上部结构采用40 m、50 m跨径为主的单箱单室整孔预制箱梁,共计1 138片。其中50 m箱梁梁宽16.5 m,梁高3.2 m,最大梁重约

1 750 t，是国内吊装重量最大的箱梁[3]，下部结构采用花瓶墩，承台桩基础。

2　吊装设计方案

在条件满足的情况下，大型整孔预制混凝土箱梁多采用兜底吊装方案[4-5]，兜底吊装时受力状态接近理论设计，往往无需对箱梁进行额外加强，由于本项目建设条件限制，需采用运梁车在已架设的梁上运梁至架桥机架设，由于采用兜底吊装方案架桥机及运梁车高度相对较高，本项目高架存在多处超高渐变段，曲线半径最小1 800 m[6]，横坡最大达4%[7]，外加宁波沿海属于台风多发地，综合考虑施工安全风险后采用吊孔吊装方案[8-9]。

本工程箱梁在单侧梁端靠近两侧腹板各设置4个ϕ12 cm吊装孔，吊装过程中由于应力集中顶板与腹板箱室内交角处易开裂，以往整孔预制箱梁多在吊孔附近腹板内设置JL32竖向精轧螺纹钢筋作为吊装加强钢束，见图1、图2。

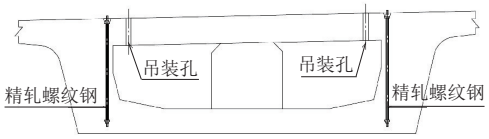

图1　既有工程整孔预制箱梁吊装加强方案钢束断面图

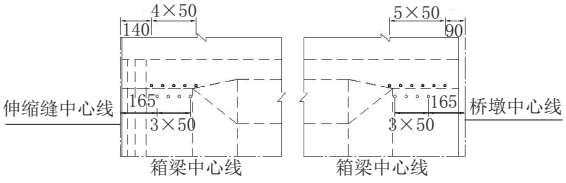

图2　既有工程整孔预制箱梁吊装加强方案钢束平面图（单位：cm）

精轧螺纹钢筋标准强度930 MPa，按3.2 m梁高计算单片箱梁需精轧螺纹钢约0.48 t，由于吊装加强钢束主要作用于吊装阶段，非运营阶段必要构造。同时由于吊孔附近腹板箍筋配置较强，影响腹板内竖向预应力实际效率，故考虑对吊孔加强方案进行调整，将精轧螺纹钢调整至箱室内，在底板顶缘设置连接器，通过预埋PVC管穿过顶板锚固。箱梁架设完成后连接器以上段螺纹钢可拆除并重复利用，降低箱梁运营阶段附加内力。调整后单片箱梁理论上仅需精轧螺纹钢约0.08 t，具体见图3、图4。调整后全线理论可减少精轧螺纹钢用量约346 t，具有较好的技术经济性。

3　吊装工况分析

3.1　计算模型

根据调整后方案建立ANSYS实体模型[10]，纵向

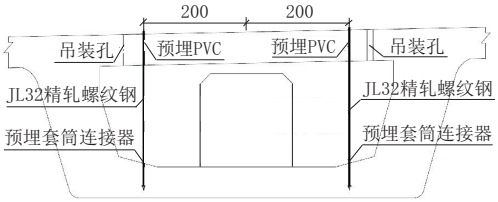

图3　调整后整孔预制箱梁吊装加强方案钢束断面图

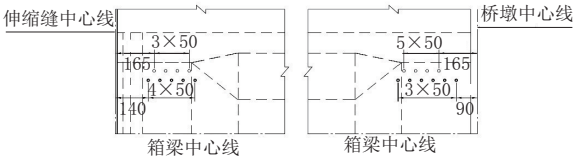

图4　调整后整孔预制箱梁吊装加强方案钢束平面图

布置2×6根ϕ32加强钢筋，单根截面面积964.61 mm^2，张拉控制应力取800 MPa及700 MPa对比分析，加强钢束初始应变如下选取：$\varepsilon=\frac{\sigma}{E}=\frac{800}{210\,000}=3.81\times10^{-3}$。

考虑吊孔附近横向预应力钢束效应，横向预应力按50 cm间距设置，单根钢束面积416 mm^2，张拉控制应力为1 395 MPa，考虑0.8的预应力损失初应变取：

$$\varepsilon=\frac{\delta}{E}=\frac{1\,395\times0.8}{1.95\times10^5}=5.72\times10^{-3}$$

边界条件在支座位置添加约束，支座间距5 m，模型离散图见图5。

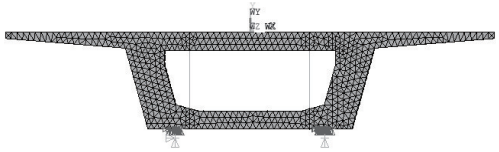

图5　模型离散图

3.2　计算工况

工况一：吊装前施加临时预应力工况（存梁工况），张拉控制应力取800 MPa；

工况二：吊装工况，张拉控制应力取800 MPa。

从表1结果可知，由于施加预应力影响，工况一箱梁各控制截面拉应力值较方案二大，故仅对张拉控制应力800 MPa下工况一验算顶板和腹板最不利截面的受力，验算截面位置见图6。

表1　吊装阶段施加临时预应力工况表

工况	工况一		工况二	
张拉控制应力/MPa	800	700	800	700
顶板上缘横向应力/MPa	3.0	2.8	1.9	1.6
腹板外侧竖向应力/MPa	5.2	3.0	1.8	1.0
腹板与顶板箱内交接处竖向应力/MPa	−7.0	−4.0	2.7	4.0

验算截面尺寸：顶板厚度0.6 m，配置ϕ25 mm双肢束筋，间距15 cm；腹板厚度1.1 m，配置ϕ20 mm双

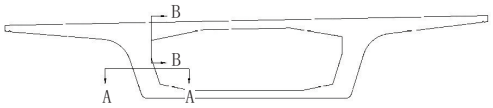

图6　验算截面位置

肢束筋，间距 15 cm。经内力积分验算，腹板截面 A-A 裂缝宽度 0.106 mm，顶板截面 B-B 裂缝宽度 0.094 mm，均小于 0.15 mm，满足规范要求。

3.4　结论

根据验算结果，临时预应力张拉 800 MPa 时，未吊装时裂缝宽度均小于 0.15 mm，满足规范要求。因工况二应力小于工况一，故吊装阶段裂缝宽度也满足规范要求。

当增大吊装加强钢束张拉控制应力时，能减小吊装时顶板与腹板箱内交界处的竖向应力值，但会增大顶板承托处上缘及腹板外缘的拉应力效应，故建议设置时综合考虑钢束布置和张拉控制应力，由于精轧螺纹钢预应力损失较大，且相邻钢束相继张拉时会进一步造成预应力损失，因此施工时应注意对精轧螺纹进行复拧，维持设计预应力。

4　结　语

本文结合项目实践，分析研究了一种具有技术经济性的整孔预制混凝土箱梁吊装加强构造设计，将吊装加强钢束设计为部分裸露形式，可在箱梁架设完成后拆除或重复利用，减小运营阶段结构附加内力。

参考文献：

[1] 丁文长，刘元宝，仙进兵，等. 浅析中国高铁箱梁搬提运架设备发展历程[J]. 中国设备工程，2022(8)：24-25.
[2] 何骏. 疏港高速春晓高架桥 35 m 整孔预制箱梁设计方案探讨[J]. 交通科技与管理，2023，4(4)：111-113.
[3] 范学思. 大吨位整孔预制箱梁提运架关键技术与工艺[D]. 大连：大连交通大学，2023.
[4] 王通，王毓晋，宋杰，等. 70 mPC 整孔预制箱梁施工关键技术分析[J]. 盐城工学院学报(自然科学)，2020，33(1)：43-49.
[5] 肖颉，李成全，覃勇刚. 深中通道 60 m 混凝土箱梁架设过程临时支点方案研究[J]. 桥梁建设，2021，51(4)：38-44.
[6] 杜中超. JQS 1000 型架桥机小曲线箱梁架设关键技术研究[J]. 工程机械，2023，54(3)：53-58.
[7] 张帅锋. 整孔预制箱梁超高渐变段优化解决方案[J]. 北方交通，2022(2)：23-25.
[8] 范学思. 大吨位整孔预制箱梁提运架关键技术与工艺[D]. 大连：大连交通大学，2023.
[9] 王文胜；张光明. 40 m 梁运架成套设备施工应用[J]. 机电工程技术，2022，51(2)：145-147.
[10] 吕丕根，李晓龙，闻斯洋. 大吨位公路整孔预制箱梁运架受力分析[C]//2022 年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册). 北京：中国建筑工业出版社，2022.

(上接第 310 页)

[13] 杨永华，梁亚华，李欢，等. 偏压换乘地铁车站大体积地下连续墙拆除技术研究与应用[J]. 施工技术，2020，49(11)：94-96.
[14] 马春元，杨俊鹏，徐辉，等. 复杂工况下深基坑临时分隔地下连续墙拆除技术[J]. 施工技术，2017，46(23)：108-111.
[15] FAN S Y, SONG Z P, XU T, *et al*. Tunnel deformation and stress response under the bilateral foundation pit construction: a case study[J]. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2021, 21(3): 1-15.
[16] ZhAO H J, LIU W, SHI P X, *et al*. Spatiotemporal deep learning approach on estimation of diaphragm wall deformation induced by excavation[J]. Acta Geotechnica, 2021, 16(11): 1-18.