

大型超宽钢梁提梁装置

廖 虎 赵永思 史小龙

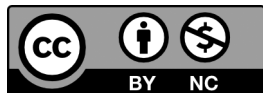
中交武汉港湾工程设计研究院有限公司，武汉

摘 要 | 本文根据济南凤凰路黄河大桥的顶推工程，设计一种新型提梁装置。重点介绍了提梁装置的结构组成、施工工艺流程与应用效果，并对整个结构进行有限元分析。综合分析表明，该新型提梁装置能够适应腹板间距变化的钢箱梁，且能满足双向顶推施工需求，结构转换快捷，施工效果好，具有较强的可调性与适用性。

关键词 | 提梁装置；腹板间距；钢箱梁；双向顶推

Copyright © 2022 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



近年来，随着钢结构产量的提高，钢结构加工制造技术的发展进步，钢桥的建造数量在不断增加，特别在市政道路的高架桥中，钢箱梁因其抗扭性能好，施工速度快、施工可减少对交通的影响等优点被广泛运用于桥梁建设中^[1]。提梁站作为预制节段梁的主要吊装设备之一，具有结构简单、操作方便、成本低廉等优点。但传统的提梁站多适用于小型箱梁，对施工场地要求较高，已不能满足复杂的施工需求^[2]。因此，本文结合济南凤凰路黄河大桥施工工程，开展了变宽钢箱梁双向顶推的提梁站设计与应用研究。通过结构创新，满足主桥与引桥钢箱梁双向顶推的吊装施工需求的同时，创造了巨大的经济价值。从主桥施工转换为引桥施工时，结构转换方便快捷，可广泛运用于桥梁施工领域。

作者简介：廖虎，中交二航局武汉港湾工程研究院有限公司，初级工程师。

文章引用：廖虎，赵永思，史小龙. 大型超宽钢梁提梁装置[J]. 土木工程进展, 2022, 4(3): 13-20.
<https://doi.org/10.35534/ace.0403002>

1 工程概况

本工程为济南凤凰路黄河大桥主桥与引桥顶推施工工程, 济南凤凰路黄河大桥是目前世界上跨度最大的三塔自锚式悬索桥, 主桥长 1332 m, 跨径布置为 $(70+168+428+428+168+70)$ m, 南引桥跨径组合为 3×70 m, 北引桥跨径组合为 4×70 m。为满足主桥与引桥顶推施工, 需设计一种提梁装置, 将钢箱梁提升 34.5 m。主要技术难点有: ①提升高度较高: 34.5 m; ②钢箱梁超宽: 61.7 m; ③主桥与引桥顶推方向相反, 提升移动方向相反; ④主桥与引桥钢箱梁腹板间距不同, 提梁装置结构适应性要求高。

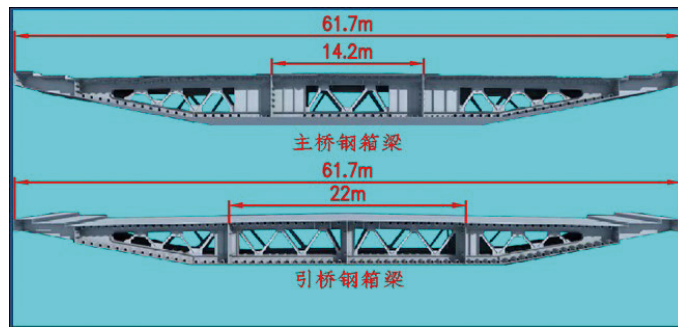


图 1 钢箱梁截面图

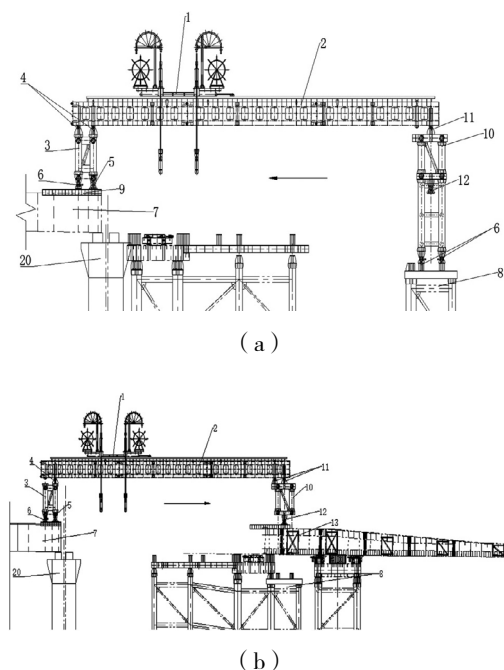
Figure 1 Steel box girder section view

2 提梁装置结构设计

目前, 国内外提梁装置大都相似, 主要组成有: 支撑系统、主纵梁、横移天车、液压控制系统等。其原理是控制天车提升预制小梁段, 通过横移与纵移系统将梁段移动至目标位置 (多为拼装平台) ^[3]。现有提梁站多用于小型箱梁的提升, 结构固定, 对钢梁腹板变化的箱梁适用性低。

2.1 结构设计

本文所述的适用于钢梁腹板变化的提梁装置, 主要组成有: 纵向主梁、固定支腿、活动支腿、联系横梁、滑移轨道、纵向调位系统和吊具, 具体结构形式如图 2 所示。



注: 1—滑座; 2—主纵梁; 3—活动支腿; 4—第一铰支座; 5—横移滑座; 6—横移滑道; 7—钢箱梁; 8—临时墩; 9—纵移滑道; 10—固定支腿; 11—第二铰支座; 12—第二纵移滑座; 13—钢导梁; 14、15—横梁; 16—横移滑道; 17—横移轨道反力座; 18—横移油缸; 19—横移划船; 20—桥梁永久墩。

图2 提梁装置结构图

Figure 2 Structure diagram of Steel beam lifting device

吊装提梁装置主要是在4条主纵梁上设计2组滑座,单组滑座在2条主纵梁上纵向滑动,稳定性强。横向移动则是通过提梁站支腿在横向滑轨上移动实现,横向滑轨一段固定,一端放置在已拼节段梁上,对钢梁线型具有较强的适应性。滑座上放置200 t吊装千斤顶,通过千斤顶钢丝绳提升吊具分配梁,分配梁与钢箱梁顶面耳板通过销轴连接,从而实现钢箱梁吊装提升。

2.2 施工工艺流程

主桥钢箱梁吊装时,提梁装置的活动支腿位于主桥钢箱梁上,固定支腿采用钢管桩形式布置。因成桥线型存在1%纵坡,控制顶推线型也存在纵坡,在每个支腿顶部布置4组绞座,使支腿与主纵梁通过2根销轴连接。主桥钢箱梁吊

装时，引桥侧支腿与主纵梁通过 2 根销轴连接，为固定支腿；主桥侧支腿与主纵梁通过 1 根销轴连接，为活动支腿，能很好地适应钢箱梁顶推线型，整体结构柔性更大，避免整体结构应力集中。从主桥吊装转换为引桥吊装时，钢箱梁腹板间距变宽，相应的提梁装置 2 组吊具间距也需增大，通过主纵梁在横移滑道上滑行增加 2 组吊具的间距，适应钢箱梁腹板间距的变化。提梁装置换向吊装，适应钢箱梁腹板间距变化如图 4 所示。

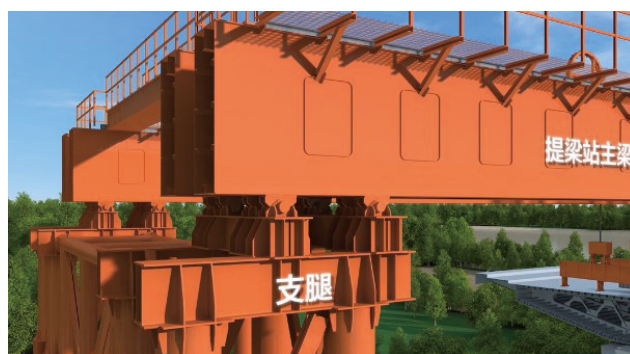


图 3 支腿与主纵梁连接结构图

Figure 3 Structure diagram of connection between outrigger and main longitudinal beam

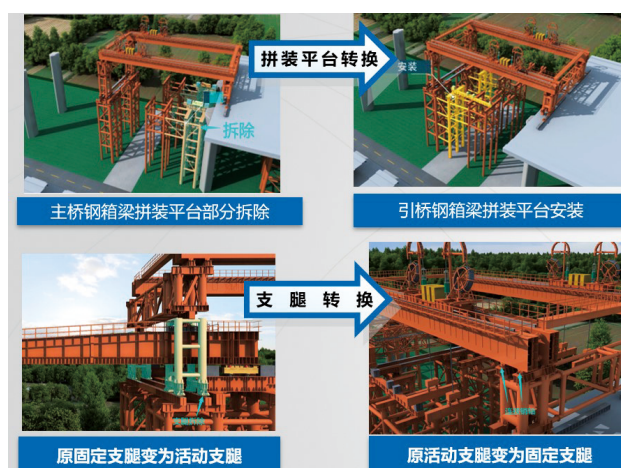


图 4 提梁装置换向吊装施工工艺图

Figure 4 Construction process diagram of reversing hoisting of beam lifting device

3 有限元结构分析

整个提梁装置结构自重 480 t, 钢箱梁吊装最大节段长 11 m, 最大吊重 403 t, 风载荷和温度荷载对结构产生的影响较小, 故计算时不考虑风和温度载荷的影响。

根据《起重机设计规范》, 提梁装置安装起重机工作的状态级别为 HC_2 , 起升状态级别设定的系数 $\beta_2=0.34$, 与起升状态级别对应的起升动载系数的最小值 $\varphi_{2\min}=1.1$, 起升动载系数 $\varphi_2=\varphi_{2\min}+\beta_2 \cdot \nu_q$ 。

起升速度: $\nu_q=0.2\text{m/min}=0.003\text{m/s}$

计算得起升动载系数: $\varphi_2=\varphi_{2\min}+\beta_2 \cdot \nu_q=1.1+0.34 \times 0.003=1.101$

考虑运行时水平惯性力的影响, 运行速度按 0.16 m/s (9.6 m/min), 考虑 0.064 的惯性加速度。起制动惯性力为: $F_q=ma=(205000+12000 \times 2) \times 0.064=14.6\text{kN}$, 载荷分项系数 $\gamma=1.4$ 。

正常工作时风荷载参与荷载组合时取风速为 13.8 m/s (相当于 6 级风), 非工作工况下风速时取为 29.7 m/s (20 年一遇风速)。按《公路桥涵设计通用规范》之 4.3.7 款计算, 作用在单位面积上的风荷载:

$$W_{wh}=0.000613k_0 k_1 k_2^2 k_3 k_5^2 V_{10}^2 e^{-0.0001z}$$

$$W_0=\frac{\gamma V_{10}^2}{2g}=0.000613 V_{10}^2 e^{-0.0001z}$$

式中, k_0 —设计风速重现期换算系数, 临时工程施工期取为 0.75;

k_1 —风载阻力系数, 按《公路桥涵设计通用规范》4.3.7-4 ~ 4.3.7-6 取值;

k_2 —考虑地面粗糙度类别和梯度风的风速高度变化的修正系数;

k_3 —地形地理条件系数, 按一般地区取值为 1.00;

k_5 —阵风风速系数, 对 A、B 类地表取为 1.38;

V_{10} —桥梁所在地区的设计基本风速分别按 13.8 m/s 及 29.7 m/s 计算;

W_0 —基本风压, kN/m^2 ;

γ —空气重力密度, $\gamma=0.012017e^{-0.0001z}\text{kN/m}^3$ 。

提梁装置在使用过程中主要考虑 2 种工况^[2]，分别是：

工况一跨中吊装工况：此时钢箱梁吊装在主纵梁中间，提梁装置受力最差，载荷为提梁装置自重荷载、风荷载、吊装荷载，以此来计算结构的受力与变形；

工况二边缘吊装工况：此时钢箱梁吊装在主纵梁行走最边缘，载荷为提梁装置自重荷载、风荷载、吊装荷载，以此来计算结构的受力与变形。

在 ANSYS 软件中建立提梁装置的结构有限元分析模型，采用极限状态法对结构进行分析，结果如表 1 所示。由分析可知工况一为最危险工况，提梁装置整体最大应力为 $175.1\text{MPa} \leq 215\text{MPa}$ ，整体变形为 63.7 mm ，能够满足设计使用要求。

表 1 提梁装置各工况计算结果表

Table 1 The finite element calculation result table of each working condition of the beam lifting device

工况	提梁装置整体结构应力 (MPa)	台车整体变形量 (mm)
工况一	175.1	63.8
工况二	133.2	40.4

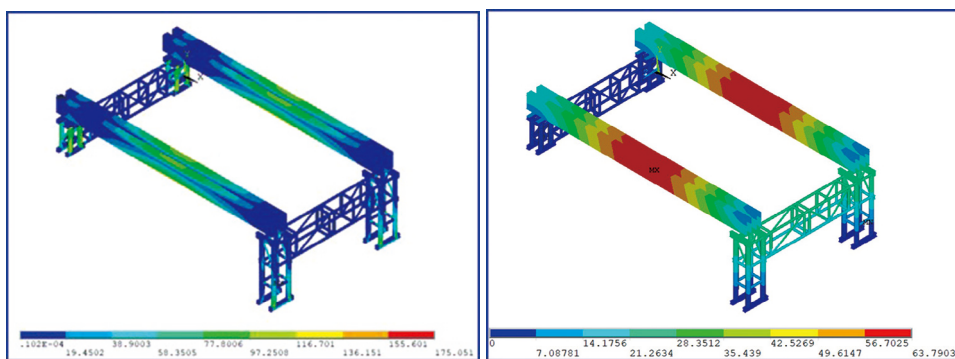


图 5 工况一下提梁装置整体结构应力云图和位移云图

Figure 5 The stress cloud map and displacement cloud map of the overall structure of the beam lifting device under the working condition one

4 结论

本文设计了一种新型提梁装置，以济南凤凰路黄河大桥顶推项目为背景，阐述了新型提梁装置的功能作用、结构形式以及施工工艺要点，并对提梁装置的整体结构进行了有限元分析。总结归纳，此种结构的提梁装置具有以下几点优势。

(1) 提梁装置结构采用模块化设计，便于现场安装使用。

(2) 局部结构设计优化，能够较好地适应钢箱梁顶推线型要求，提梁装置结构柔性很大，具有很强的适应性。

(3) 整体结构设计优化，能够满足主桥与引桥不同吊装需求，创造了较大的经济价值。

参考文献

- [1] 赵秋, 陈美忠, 陈友杰. 中国连续钢箱梁桥发展现状调查与分析 [J]. 中外公路, 2015, 35 (1): 98-102.
- [2] 刘培勇, 张利军, 杨桂龙, 等. 1000 吨整孔预制混凝土箱梁轮胎式提梁机技术研究 [J]. 新型工业化, 2021, 11 (4): 98-99.
- [3] 中交一公局第三工程有限公司. 一种无桥台提梁站: CN201020112136.9 [P]. 2010-02-11.
- [4] 北京起重运输机械设计研究院. 起重机设计规范: GB/T3811-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

Large Super Wide Steel Beam Lifting Device

Liao hu Zhao Yongsi Shi Xiaolong

Cccc Wuhan Harbour Engineering Design & Research Co. LTD Wuhan, Wuhan

Abstract: According to the incremental launching construction of Jinan Fenghuang Yellow River Bridge, a new steel beam lifting device is designed. It focuses on the structural composition, construction process and application effects of the steel beam lifting device, and carries out a finite element analysis of the entire structure to verify its reliability. Comprehensive analysis shows that the new steel beam lifting device, which has the advantages of quick structure conversion, good construction effect, strong adjustability and applicability, adapts to Steel Box Girder with variable width and meets the requirements for incremental launching construction.

Key words: Steel beam lifting device; The distance between webs; Steel Box Girder; Bi-directional incremental launching