

文章编号: 1674—8247(2021)06—0100—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.06.019

40 m 铁路简支箱梁运架过程支承梁体安全性分析

姚君芳

(中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055)

摘 要:在高墩、复杂地质条件下的铁路桥梁建设中,规模化地应用预制架设方法施工的 40 m 预应力混凝土简支标准梁能显著减少基础工程造价,具有重要的经济价值。然而,其运架过程的安全性尚待评估。本文以新建郑州至济南高速铁路工程为依托,对运架 40 m 铁路简支箱梁通过(40+64+40) m 混凝土支承梁体时的安全性进行分析。采用 Midas FEA 等有限元软件对运架过程中(40+64+40) m 连续梁整体和局部应力进行详细的计算分析,并对运架设备的支腿布置提出建议和要求,研究成果可为同类工程提供借鉴。

关键词:(40+64+40) m 连续梁; 40 m 简支梁; 安全系数; 应力; JQS1000 型架桥机; YLS1000 型运梁车
中图分类号:U445.36 **文献标志码:**A

Safety Analysis for Support Girder During Transport and Erection of 40 m Simply Supported Box Girder of Railway

YAO Junfang

(China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100055, China)

Abstract: In the erection of railway bridges characterized by high piers and complex geological conditions, 40 m prestressed concrete simply supported standard girder constructed by large-scale application of precast erection method can significantly reduce the construction cost of foundation and has important economic value. However, the safety of transport and erection remains to be assessed. Based on the case of new Zhengzhou-Jinan High-speed Railway, this paper analyzes the safety of transport and erection of 40 m simply supported box girders of railway through (40+64+40) m concrete support girders. Detailed calculation and analysis of the overall and local stresses of (40+64+40) m continuous girder during transport and erection were carried out using finite element software such as Midas FEA, and recommendations and requirements were put forward for the leg arrangement of the transport and erection equipment. The study results can provide a reference for similar projects.

Key words: (40+64+40) m continuous girder; 40 m simply supported girder; safety factor; stress; JQS1000 girder erecting machine; YLS1000 girder transport vehicle

为满足高速列车对线路平顺性、稳定性要求和建设质量、工期要求,我国高速铁路建设形成了标准梁工厂化预制、机械化安装的建造模式^[1]。采用以 32 m 跨度为主的双线整体箱梁,形成了常用跨度 900 t 级简支

箱梁建造模式^[2]。采用运架设备架设整孔预制箱梁可缩短建设周期、降低施工成本、提高桥梁质量等,是高速铁路混凝土箱梁施工首选模式^[3]。但随着跨越河流、沟谷的高墩桥梁以及软基沉陷地区的深基础桥

收稿日期:2021-07-16

作者简介:姚君芳(1984-),女,高级工程师。

引文格式:姚君芳. 40 m 铁路简支箱梁运架过程支承梁体安全性分析[J]. 高速铁路技术,2021,12(6):100-114.

YAO Junfang. Safety Analysis for Support Girder During Transport and Erection of 40 m Simply Supported Box Girder of Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(6):100-114.

梁越来越多,下部结构造价在桥梁建设费用中的比重也逐渐增大。实现跨度 40 m 预应力简支梁的规模化应用,并采用沿线集中预制、运梁车运梁、架桥机架设的施工模式具有重要经济意义。

40 m 预制简支梁可满足更高速度、更大跨越能力以及高墩条件下高速铁路标准梁桥建造需求,且相对于 32 m 预制简支梁,40 m 梁可减少施工作业班次、提高生产效率^[4]。新建郑州至济南铁路郑州至濮阳段设计速度为 350 km/h,采用 40 m 预制铁路简支箱梁,是我国大跨度(40 m)铁路简支箱梁建造技术在国内的首批工程化应用^[5]。40 m 铁路简支箱梁架设采用 JQS1000 型架桥机及配套 YLS1000 型运梁车架设,该运架设备能方便架设首末跨、曲线梁和变跨梁。其成套技术 2016 年 5 月开始研发,2018 年 9 月在郑济线黄河特大桥实现 40 m 箱梁首架,2020 年 6 月完成全线 344 片 40 m 箱梁架设,架设平均效率约为 3~3.5 h/片。

40 m 铁路简支箱梁梁重约 9 500 kN,运梁车自重约 4 750 kN,架桥机自重约 6 600 kN,其梁体及运架设备重量较 32 m 铁路简支梁均有大幅增加,因此运架过程支承梁体的安全性亟待研究。

架桥设备与桥梁结构密切相关,需对作用于桥梁结构的运架荷载进行全面检算^[6]。针对架桥机施工安全问题,徐格宁^[7]等通过分析架桥机架梁流程的整个工作周期,提取架桥机在整个工作周期中的两个危险工况,分别采用结构分析理论与有限元分析软件进行静态分析,得出新型运架一体式架桥机金属结构主梁的合理设计。李方柯^[8]等针对昆仑号千吨级架桥

机的各种工况,建立了相应的桥梁整体和局部有限元计算模型进行分析,研究架桥机对高铁简支箱梁的适应性。上述研究成果,对架桥机主梁及高速铁路简支箱梁进行了研究,尚不能判别更多种类支承梁体的安全性。

在 40 m 铁路简支箱梁运架过程中,运架能否安全通过(40+64+40) m 混凝土连续梁,是推广应用 40 m 标准梁需解决的重要问题。为确保 40 m 铁路简支箱梁运架过程中混凝土连续支承梁体(40+64+40) m 的安全性,有必要对(40+64+40) m 连续梁梁体安全性进行详细的计算分析。

1 40 m 铁路简支箱梁运架过程工作原理

JQS1000 型架桥机为无导梁型式,采用单跨架梁模式,小车与运梁车上的驮梁台车同步拖拉取梁,步履式走行过孔主要由前辅助支腿、前支腿、机臂、中支腿、起重小车、后支腿、电气系统、液压系统等组成,架桥机结构如图 1 所示,40 m 箱梁架设流程如图 2 所示。

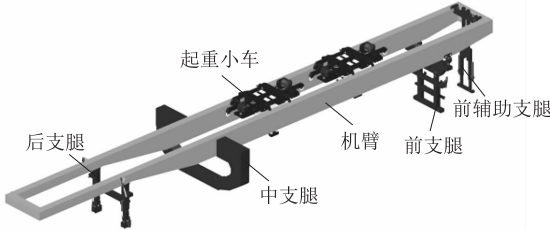


图 1 JQS1000 型架桥机结构图

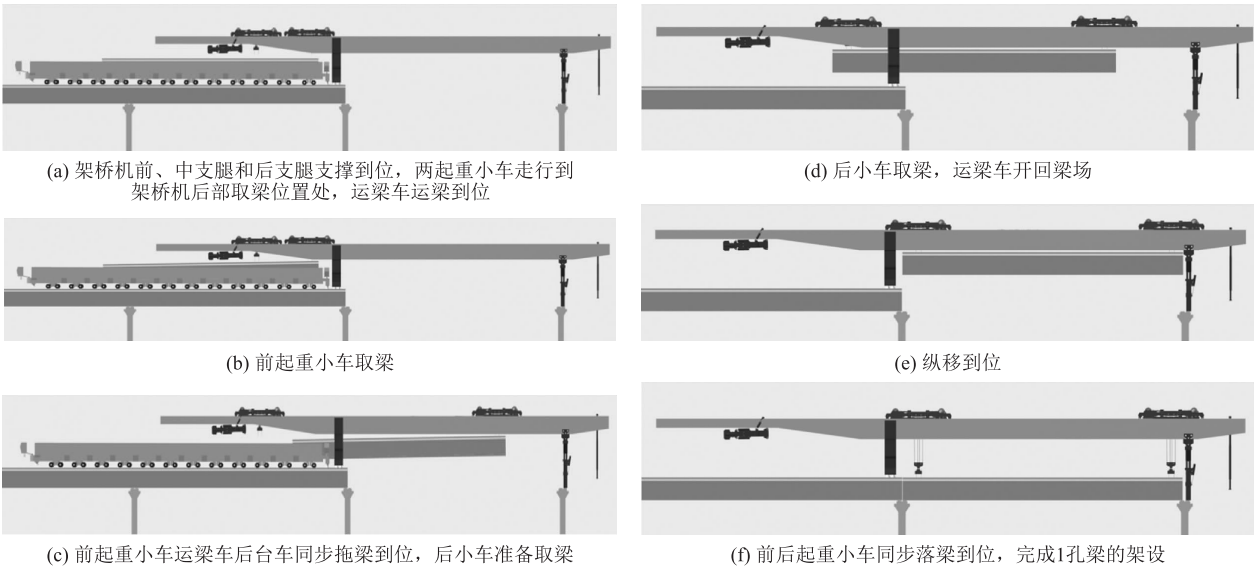


图 2 JQS1000 型架桥机架设 40 m 等跨箱梁架设流程图

支承梁体(40+64+40) m 连续梁(通桥(2017) 2368A-Ⅲ),梁体为单箱单室、变高度、变截面箱梁,中支点梁高 6.035 m,边支点梁高 3.035 m,梁底下缘按二次抛物线变化,边支座中心线至梁端 0.75 m。底板、腹板、顶板局部向内侧加厚,均按直线线性变化。全联在端支点、中支点处设横隔板,横隔板设有孔洞,供检查人员通过。(40+64+40) m 连续梁构造如图 3 所示。由于(40+64+40) m 通用图设计中仅考虑了 32 m 及以下跨度铁路简支箱梁架设工况,并未考虑 40 m 铁路简支箱梁利用 JQS1000 型架桥机及配套 YLS1000 型运梁车架设工况。为确保 40 m 铁路简支箱梁运架过程的安全性,需对运架过程中(40+64+40) m 连续梁整体和局部应力进行详细的计算分析。

根据 40 m 箱梁运架流程,40 m 铁路简支箱梁运架过程中主要有以下几个控制工况:

(1) 工况 I :运梁车偏载

YLS1000 型运梁车驮运 40 m 后张法预应力混凝土

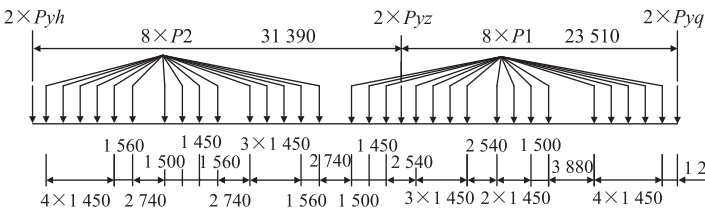


图 4 YLS1000 运梁车运 40 m 梁荷载图(mm)

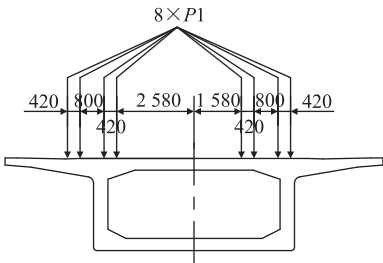


图 5 运梁车横向偏载 500 mm 断面图(mm)

表 1 运梁车荷载表(kN)

项目	前液压 支腿荷载 P_{yq}	中液压 支腿荷载 P_{yz}	后液压 支腿荷载 P_{yh}	运梁车轮 组荷载 P_2	运梁车轮 组荷载 P_1
荷载值	0	0	0	55.4	59.3

(2) 工况 II :首孔中支腿荷载最大

架桥机后起重小车取梁,运梁车返回梁场,荷载工况如图 6 所示,架桥机荷载如表 2 所示。

(3) 工况 III :末孔梁前辅助支腿荷载最大

前辅助、中、后支腿支撑,前支腿纵移 40.7 m 站位墩台,荷载工况如图 7 所示,架桥机荷载如表 3 所示。

土双线简支箱梁荷载如图 4 所示。考虑到实际施工误差,运梁车横向最大偏心按 500 mm 考虑,如图 5 所示。运梁车荷载如表 1 所示。

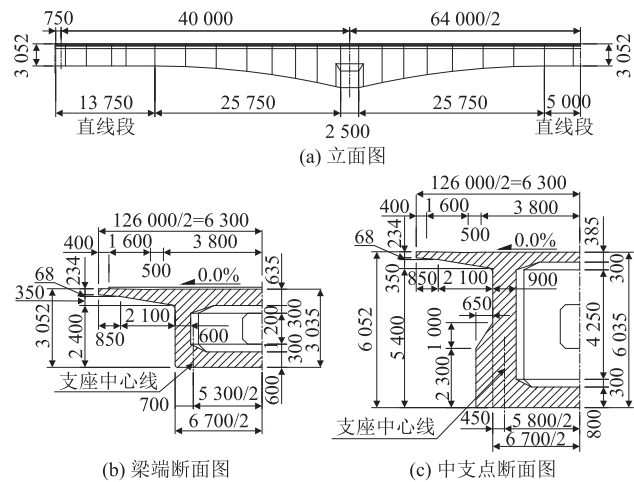


图 3 连续梁立面图及梁端、中支点断面图(mm)

表 2 架桥机荷载表

项目	架桥机前支腿支撑反力		架桥机中支腿铰点支反力	
	j_{q1}	j_{q2}	j_{z1}	j_{z2}
荷载值/kN	2 380	2 580	5 420	5 720
项目	j_{q1} 、 j_{q2} 中心距		j_{z1} 、 j_{z2} 中心距	
数值/mm	4 400		5 800	

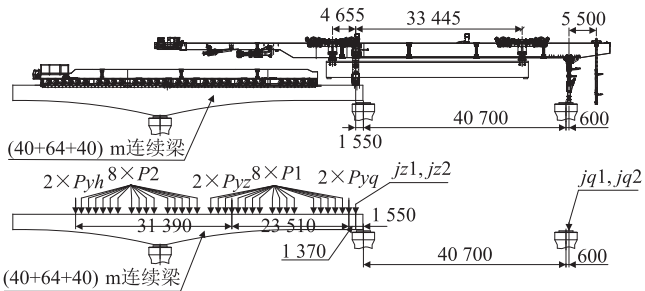


图 6 首孔中支腿荷载最大工况图(mm)

(4) 工况 IV :后支腿荷载最大

后支腿下翻,支撑在钢轨上。前支腿拉杆和梁片吊孔锚固,起重小车运行到架桥机尾部,前辅助支腿后退 4.6 m(插靠前位置的孔)并离地,中支腿离地,准备

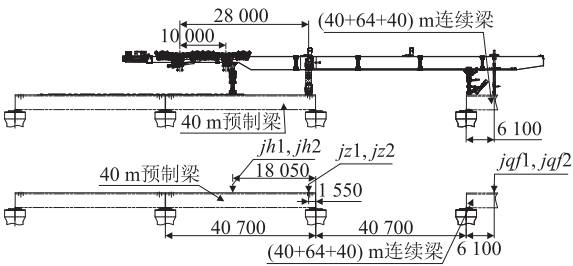


图 7 末孔梁前辅助支腿荷载最大工况图

表 3 架桥机荷载表

项目	架桥机前辅助支腿支撑反力		架桥机前支腿支撑反力		架桥机中支腿铰点支撑反力		架桥机后支腿支撑反力	
	jqf1	jqf2	jq1	jq2	jz1	jz2	jh1	jh2
荷载值/kN	950	1 050	0	0	550	570	1 650	1 830
项目	jqf1、jqf2 中心距		jq1、jq2 中心距		jz1、jz2 中心距		jh1、jh2 中心距	
中心距/mm	2 450		—		5 800		6 000	

整机纵移,荷载工况如图 8 所示,架桥机荷载如表 4 所示。

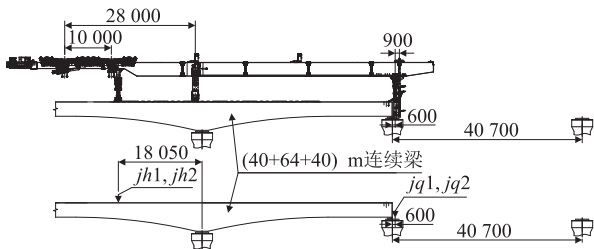


图 8 后支腿荷载最大工况图 (mm)

表 4 架桥机荷载表

项目	架桥机前辅助支腿支撑反力		架桥机前支腿支撑反力		架桥机中支腿铰点支撑反力		架桥机后支腿支撑反力	
	jqf1	jqf2	jq1	jq2	jz1	jz2	jh1	jh2
荷载值/kN	0	0	1 030	1 130	0	0	2 120	2 320
项目	jqf1、jqf2 中心距		jq1、jq2 中心距		jz1、jz2 中心距		jh1、jh2 中心距	
中心距/mm	—		4 400		5 800		6 000	

2 整体计算分析

整体计算采用钢筋混凝土及预应力混凝土桥程序 PRBP。(40+60+40) m 连续梁全桥离散为 84 个单元,85 个节点,如图 9 所示。

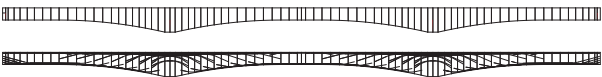


图 9 (40+60+40) m 连续梁 PRBP 单元划分图

在整体计算中,运梁阶段和架梁阶段的荷载动力

系数取 1.0;运架梁须在相当于 20 kN/m 的压重荷载下进行。假定运架梁时实际发生的支座不均匀沉降小于 10 mm,施工荷载的检算按先架后铺的方式,按梁体终张拉完成后检算,抗裂安全系数大于 1.1,强度安全系数大于 1.8。整体计算结果如表 5 所示。

表 5 (40+60+40) m 连续梁整体计算结果表

工况	运梁工况	首孔中支腿荷载最大工况	末孔梁前辅助支腿荷载最大工况	后支腿荷载最大工况
正截面强度安全系数	3.67	3.77	3.73	3.05
抗裂安全系数	2.112	2.166	2.142	1.689

从表 5 可以看出,4 种主要工况下,主梁检算的各项指标均满足 TB 10092-2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》的规定。

3 局部计算分析

局部计算采用 MIDAS FEA 建立实体模型,如图 10 所示。

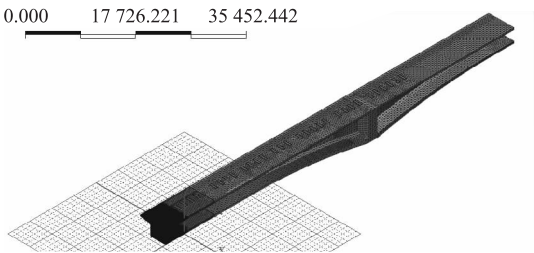


图 10 局部模型单元划分图

(1) 工况 I: 运梁车偏载

考虑运梁车横桥向偏载 500 mm。梁自重和运梁车作用下顶板顶最大主拉应力 1.76 MPa,顶板底最大主拉应力约为 2.10 MPa,小于容许值 2.79 MPa,满足规范要求。

梁自重和运梁车作用下最大主压应力 -11.1 MPa,出现在集中力作用点,小于容许值 -16.8 MPa,满足规范要求。

(2) 工况 II: 首孔中支腿荷载最大

梁端集中力最大的情况,出现于首孔中支腿荷载最大工况。jz1 = 5 420 kN,jz2 = 5 720 kN。jz1、jz2 顺桥向距离梁端 1 550 mm。支垫钢板尺寸按 660 mm (顺桥向) × 1 000 mm (横桥向) 考虑。

最大主拉应力超出了规范容许值,位于端横隔板与腹板、底板相交处及下倒角处,超限范围约为 660 mm,极值为 3.99 MPa,支座处混凝土最大主压应

力为 -23.9 MPa, 规范容许值为 -16.8 MPa, 支座处考虑 1.5 倍放大系数, 容许值为 -25.2 MPa, 满足规范要求。

如将架桥机中支腿铰点 $jz1$ 、 $jz2$ 中心距放大至 6 000 mm, 并扩大单个支撑点面积至 680 mm (顺桥向) \times 1 250 mm (横桥向), 超出规范容许值的应力最大值为 2.813 MPa, 为倒角处局部区域, 范围在 150 mm 以内, 未进入腹板、底板部位, 因此认为中支腿调整中心距后可实施。

(3) 工况Ⅲ: 末孔梁前辅助支腿荷载最大

选取末孔梁前辅助支腿荷载最大工况进行检算, 该工况中, 前辅助支腿直接作用于顶板, 对顶板不利。

JQS1000 型架桥机及配套 YLS1000 型运梁车运架时, 原设计前辅助支腿 $jz2 = 1\,050$ kN, 作用于距离梁端 6 100 mm 处。支腿下方垫 800 mm (纵向) \times 1 300 mm (横向) 钢板, 假定力均匀分配到钢板上, 得出最大主拉应力为 4.94 MPa, 位于顶板底, 不满足规范要求。最大主压应力 -7.15 MPa, 规范容许值为 -16.8 MPa, 满足规范要求。

由于主拉应力超限较多, 建议在前辅助支腿下部增设下横梁, 将荷载分配至至箱梁腹板上。横梁尺寸为 410 mm (纵向) \times 6 000 mm (横向) \times 550 mm (竖向)。横梁设两个支点, 力通过支点传至腹板, 支点处钢板尺寸为 800 mm (纵向) \times 800 mm (横向)。分配后主拉应力最大值为 1.03 MPa, 满足规范要求。

4 结论和建议

本文对运架 40 m 简支箱梁通过 (40 + 64 + 40) m 混凝土支承梁时的安全性进行分析, 得出以下主要结论:

(1) 整体计算中, 4 种主要工况下, 主梁检算的各项指标均满足 TB 10092-2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》的规定。

(2) 运梁车走行过程中偏载 500 mm 时, 最大主拉、主压应力均满足规范要求。

(3) 首孔中支腿荷载最大时, 最大主拉应力超出规范容许值。建议将架桥机中支腿铰点中心距放大至 6 000 mm, 并扩大单个支撑点面积。

(4) 末孔梁前辅助支腿荷载最大时, 由于主拉应力超限较多, 建议在前辅助支腿下部增设下横梁, 将荷载分配至箱梁腹板上。

2020 年 6 月, 郑济铁路完成全线 344 片 40 m 箱梁架设。运架梁现场监测结果表明, 运架设备所经过的 (40 + 64 + 40) m 连续梁均未出现安全问题, 进一步验证本文研究结论, 可为同类铁路桥梁工程项目提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 胡所亭, 苏永华, 班新林, 等. 高速铁路标准梁式桥技术创新与发展[J]. 铁道建筑, 2020, 60(4): 23-27.
HU Suoting, SU Yonghua, BAN Xinlin, et al. Technological Innovation and Development of High Speed Railway Standard Girder Bridge[J]. Railway Engineering, 2020, 60(4): 23-27.
- [2] 刘辉, 秦顺全. 高速铁路 900t 级常用跨度桥梁建造技术[J]. 铁道工程学报, 2009, 26(2): 60-63.
LIU Hui, QIN Shunquan. Construction Technology for 900 Tonnage Common-Span High-speed Railway Bridge[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 26(2): 60-63.
- [3] 曹德志. 整孔箱梁运架技术原理及设备配套[J]. 高速铁路技术, 2013, 4(3): 93-98.
CAO Dezhi. Principle of Transportation and Erection Technology for Whole Box Girder and Ancillary Equipment[J]. High Speed Railway Technology, 2013, 4(3): 93-98.
- [4] 牛斌. 高速铁路预制后张法预应力混凝土大跨度简支梁技术研究[J]. 铁道建筑, 2015, 55(10): 31-37.
NIU Bin. Research on Precasting Oflong-Span Simply-Supported Post-Prestressed Concrete Girder[J]. Railway Engineering, 2015, 55(10): 31-37.
- [5] 陈海涛, 邓运清, 石鲁宁. 郑济高铁 40 m 整孔预制简支箱梁应用研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(S1): 152-157.
CHEN Haitao, DENG Yunqing, SHI Luning. Application Research on 40-Meter Full-Span Precast Simply Supported Box Beam of Zhengzhou-Ji'nan High-speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(S1): 152-157.
- [6] 徐升桥. 高速铁路常用跨度桥梁技术[J]. 桥梁建设, 2011, 41(2): 62-65.
XU Shengqiao. Techniques of Common Span Bridges for High-speed Railway[J]. Bridge Construction, 2011, 41(2): 62-65.
- [7] 徐格宁, 焦国敏, 顾红泽, 等. 新型运架一体式架桥机主梁静态分析[J]. 中国工程机械学报, 2018, 16(4): 288-292.
XU Gening, JIAO Guomin, GU Hongze, et al. Static Analysis of the Main Girder of the New Type of Integrated Transporter[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2018, 16(4): 288-292.
- [8] 李方柯, 班新林, 王冰, 等. 1 000 t/40 m 梁昆仑号架桥机对高铁简支箱梁的适应性分析[J]. 铁道建筑技术, 2021(1): 22-26.
LI Fangke, BAN Xinlin, WANG Bing, et al. Adaptability Analysis of 1 000 t/40 m Beam Kunlun Bridge Erecting Machine to Simply Supported Box Girder in High-Speed Railway[J]. Railway Construction Technology, 2021(1): 22-26.