

文章编号: 1674—8247(2023)04—0050—06

DOI: 10. 12098/j. issn. 1674 - 8247. 2023. 04. 010

高原山区高速铁路热备动车组布点研究

王利军 陈 科 任 冲 于汝滨

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:热备动车组是保障高速铁路安全运营的重要措施。本文介绍了热备动车组救援方式与救援场景,研究了高原山区高速铁路热备动车组救援性能和布点,验证了热备动车组救援性能,提出了热备动车组救援布点规则,对不同救援区段进行了模拟计算,并对客运列车应急供电、应急自走行研发提出了参考意见。

关键词:热备动车组;高原山区高速铁路;救援场景;救援性能;救援布点;应急供电

中图分类号: U266

文献标志码: A

A Study on the Distribution of Hot Standby EMUs for High-speed Railways in Plateau and Mountainous Area

WANG Lijun CHEN Ke REN Chong YU Rubin

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Hot standby EMUs are an important measure to ensure the safe operation of high-speed railways. This paper introduced the rescue methods and scenarios of hot standby EMUs, investigated the rescue performance and distribution of hot standby EMUs for high-speed railways in plateau and mountainous areas, verified the rescue performance of hot standby EMUs, proposed guidelines for the placement of hot standby EMU rescue points, conducted simulated calculations for different rescue sections, and provided reference suggestions for the development of emergency power supply and emergency self-propulsion for passenger trains.

Key words: hot standby EMUs; high-speed railway in plateau mountainous area; rescue scenario; rescue performance; rescue point distribution; emergency power supply

热备动车组是保障高速铁路安全运营的重要措施,是配备司乘人员、存放在指定地点的运营动车组。热备动车组需具备随时上线运行状态,保证故障救援或上线运营。热备模式一般为:热备1 d→上线运营1 d→回所整备。

根据铁总科技〔2014〕172号《铁路技术管理规程》(高速铁路部分)^[1],热备动车组救援包括动车组互救和热备动车组换乘故障动车组旅客两种作业方式。当故障动车组可通过外力牵引走行且辅助供电系统

正常工作时,热备动车组救援采用动车组互救方式,即热备动车组出动牵引故障动车组至就近车站;当故障动车组通过外力无法走行或辅助供电系统无法正常工作,热备动车组救援采用换乘故障动车组旅客方式,即热备动车组出动至故障动车组相邻站台面,实现旅客同台换乘。

高原山区高速铁路建设中普遍具有超长超大埋深复杂地质隧道、超大跨度高原深切峡谷桥梁、超长连续大坡度线路等显著工程特点^[2-3],特别是超长大

收稿日期:2022-07-31

作者简介:王利军(1981-),男,教授级高级工程师。

引文格式:王利军,陈科,任冲,等.高原山区高速铁路热备动车组布点研究[J].高速铁路技术,2023,14(4):50-55.

WANG Lijun, CHEN Ke, REN Chong, et al. A Study on the Distribution of Hot Standby EMUs for High-speed Railways in Plateau and Mountainous Area [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(4):50-55.

坡道(如限制坡度超20‰的长大坡道)和超长隧道(如超20 km隧道)给动车组救援带来极大的挑战。因此,有必要对热备动车组救援性能、救援布点、救援场景进行研究。

1 应急动车组救援性能

以某高原山区高速铁路为研究对象,该项目速度目标值为200 km/h,限制坡度30‰,线路处于高原山区,地形条件极其复杂。动车组主要技术参数为:轮周牵引功率(额定功率) $\leq 10\,800\text{ kW}$,6动2拖,最高运营速度200 km/h,最高试验速度220 km/h。

轮周牵引力由式(1)计算得到:

$$\begin{cases} F = 400 - \frac{400 - 389}{100}v & v \leq 100(\text{km/h}) \\ F = \frac{10\,800 \times 3.6}{v} & v > 100(\text{km/h}) \end{cases} \quad (1)$$

式中: F ——轮周牵引力(kN)。

电制动力由式(2)计算得到:

$$\begin{cases} F' = \frac{380}{10}v & v \leq 10(\text{km/h}) \\ F' = 380 & 10 < v \leq 123(\text{km/h}) \\ F' = \frac{12\,960 \times 3.6}{v} & v > 123(\text{km/h}) \end{cases} \quad (2)$$

式中: F' ——电制动力(kN)。

基本阻力由式(3)计算得到:

$$W_0 = \xi(1.34 + 0.013\,11v + 0.000\,555v^2) \quad (3)$$

式中: W_0 ——基本阻力(kN);

ξ ——隧道阻力系数,明线区段取值1,本项目单洞双线区段取值1.2,单洞单线区段取值1.5,隧道区段均按照1.5取值。

坡道单位附加阻力由式(4)计算得到:

$$W_i = i \quad (4)$$

式中: W_i ——坡道单位阻力(N/kN);

i ——坡道千分数,上坡取正值,下坡取负值。

该高原山区铁路为时速200 km客货共线铁路,曲线半径一般为3 500 m,因此单位曲线附加阻力可忽略不计。

依据牵引计算规程,对该高原山区高速铁路动车组自救及热备动车组救援性能进行检算。动车组按照6动2拖考虑,因此动力损失按照一节整车动力单位全部失效进行检算,即分别按照损失1/6、1/3、1/2、2/3和5/6动力检算。

1.1 牵引检算

明线区段和隧道区段动车组自救及热备检算分别如图1、图2所示。

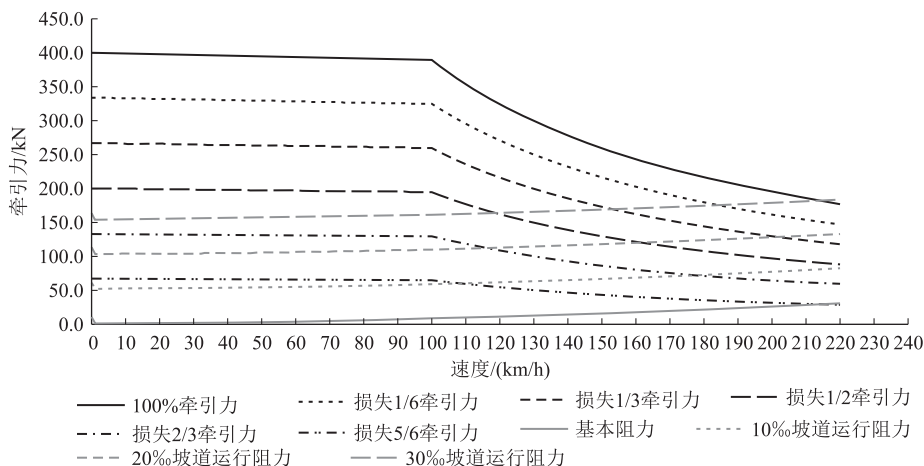


图1 明线区段动车组自救及热备检算图(牵引)

由图1、图2可知:

(1) 损失1/6牵引力时,列车可依靠自身动力在30‰坡道上起动并运行,明线区段最大运行速度约为184 km/h,隧道区段约为175 km/h。

(2) 损失1/3牵引力时,列车可依靠自身动力在30‰坡道上起动并运行,明线区段最大运行速度约为153 km/h,隧道区段约为147 km/h。

(3) 损失1/2牵引力时,列车可依靠自身动力在30‰坡道上起动并运行,明线区段最大运行速度约为

118 km/h,隧道区段约为114 km/h。该动车组自救等同于热备动车组救援工况。

(4) 损失2/3及以上牵引力时,列车无法在30‰坡道上起动,需依靠热备动车组或应急热备机车牵引运行。

1.2 制动检算

电制动状态下明线区段动车组自救及热备检算如图3所示,隧道区段动车组自救及热备检算如图4所示。

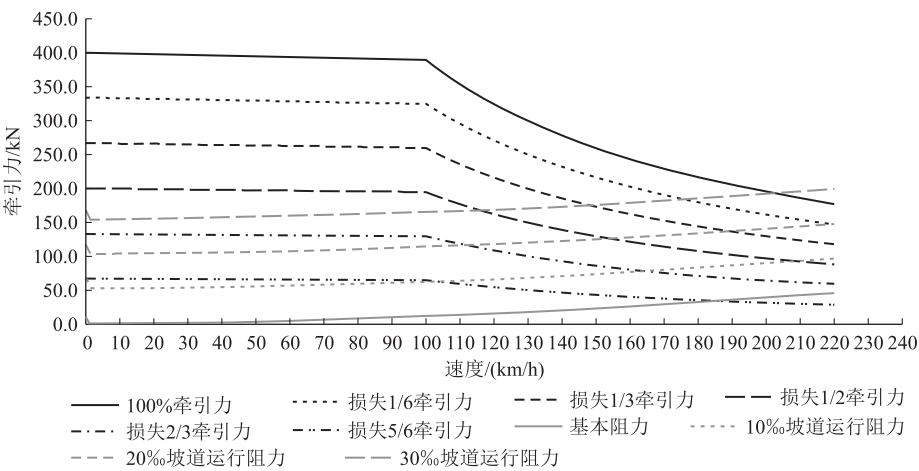


图 2 隧道区段动车组自救及热备检算图(牵引)

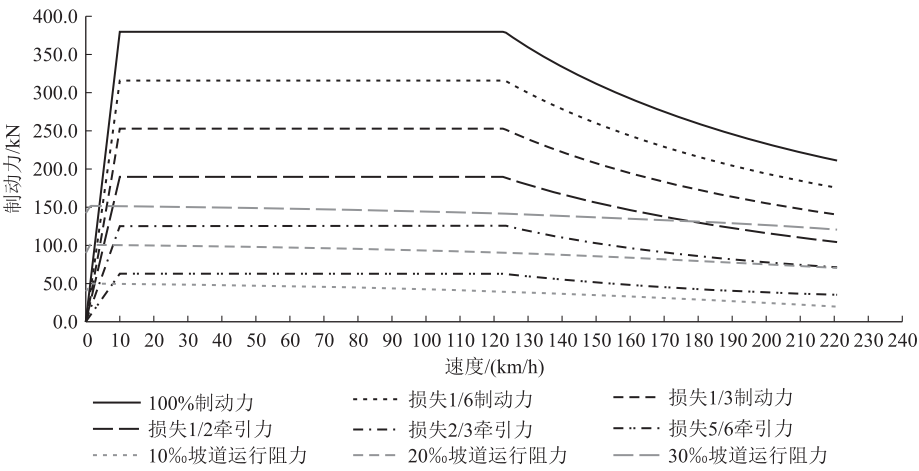


图 3 明线区段动车组自救及热备检算图(电制动)

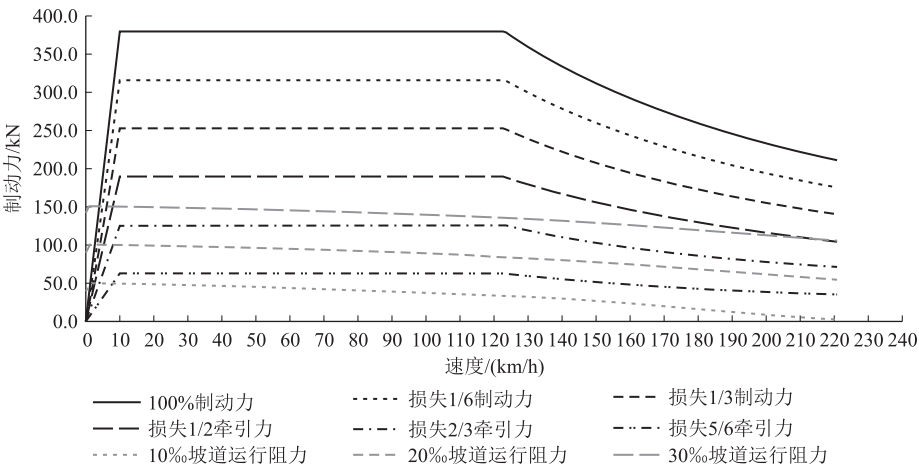


图 4 隧道区段动车组自救及热备检算图(电制动)

由图 3、图 4 可知：

(1) 损失 1/3 及以下制动力时,在 30‰坡道上,明线区段、隧道区段列车电制动力可满足 6~220 km/h

的制动需求。在实际工程中,需考虑基础制动的添加,以保障长大下坡制动并实现可靠的制动停车。

(2) 损失 1/2 制动力时,在 30‰坡道上,明线区段

列车电制动力可满足 8~176 km/h 的制动需求,隧道区段列车电制动力可满足 8~210 km/h 的制动需求。在实际工程中,需考虑基础制动的添加,以保障长大下坡制动并实现可靠的制动停车。该动车组自救等同热备动车组救援工况。

(3) 损失 2/3 及以上制动力时,在 30‰坡道上,列车电制动力小于下滑力,无法在坡道上实现电制动需求。

2 热备动车组布点

根据高原山区铁路设计规范,热备动车组布点宜按救援半径 200 km 设置。本项目在 F 站、J 站和 M 站

设置热备动车组,与 A 站枢纽、P 站地区设置的热备动车组共同承担本项目的救援任务,适应本项目长、短编动车组救援的换乘需求,配套热备动车组按照长编组配置。配套考虑热备动车组停放条件,其中有动车组设施的车站,热备动车组停留线与动车组设施集中建设^[4-5]。如 M 站设有动车运用所, M 站热备动车组停留线与动车运用所合设。以上 3 站同时为本项目应急热备机车、救援列车布点,以确保沿线机动车辆设备设施集中布置。高速铁路热备动车组布点如图 5 所示。F 站和 J 站热备动车组存放设施如图 6、图 7 所示。

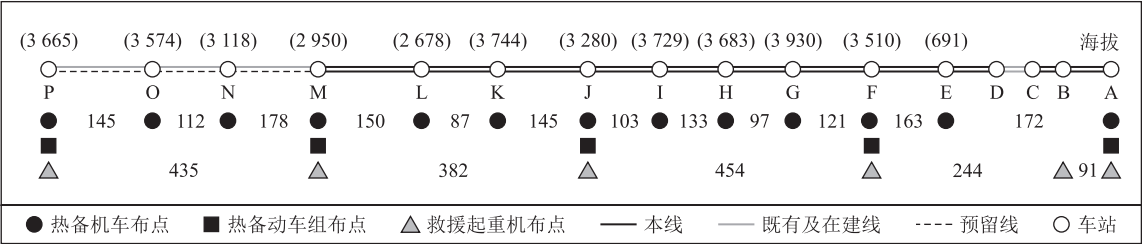


图 5 某高原山区高速铁路热备动车组布点图(km)

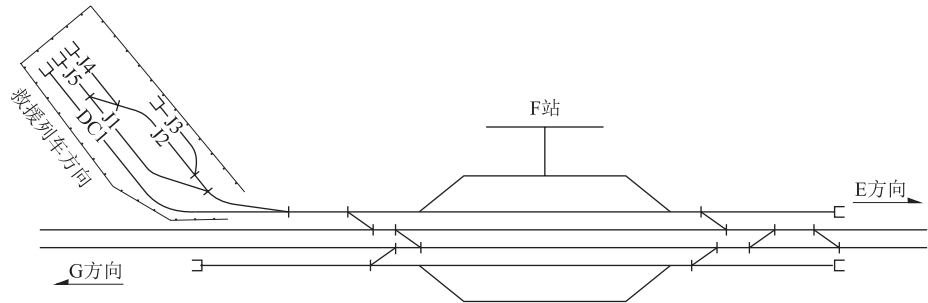


图 6 F 站热备动车组存放设施示意图

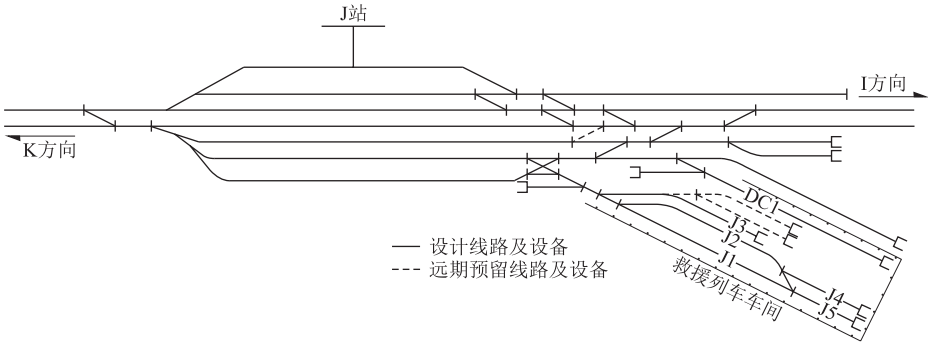


图 7 J 站热备动车组存放设施示意图

F 站和 J 站热备动车组存放线与救援列车车间合设。其中 J1 线为机走线, J2 线为救援列车停留线, J3 线为热备机车存放线, J4、J5 线为救援列车演练线, DC1 线为热备动车组存放线。热备动车组存放与热备

机车、救援列车共址建设,可减少全线车辆布点,辅助生产生活设施资源共享,节约工程投资。热备动车组存放线接通车站所有股道,便于出动救援。M 站设有动车运用所,热备动车组存放考虑由 M 站动车运用所承担。

3 热备动车组工况模拟

本项目热备动车组布点为 F 站、J 站和 M 站。根据铁总科技〔2014〕172 号《铁路技术管理规程》(高速铁路部分),并考虑救援极限条件,热备动车组邻近事故车区间时,按区间内采用隔离模式(或目视行车模式)限速 40 km/h 考虑,应急热备机车与被救车组连挂后按照 40 km/h 限速运行至临近车站,回送不考虑被救车组制动失效情况。热备动车组救援过程及具体内容如表 1 所示。选择故障点为各热备布点中部,对热备动车组热备工况进行模拟,如表 2 所示。

表 1 热备动车组救援过程表

序号	救援过程划分	救援过程及具体内容
1	热备动车组前往事故点	1. 热备动车组由热备点出发,在未进入事故区间前,在常规LKJ列控模式下,采用正常速度运行至进入锁闭区间的前方车站 2. 热备动车组按限速 40 km/h 进入被救援列车所在的锁闭区间 3. 在接近被救援列车 2 km 时,减速至 20 km/h 继续运行 4. 在距被救援列车 300 m 处一度停车,检算结束
2	热备动车组牵引被救援列车由事故点返回邻近车站	1. 热备动车组牵挂被救援车按限速 40 km/h 运行至邻近车站 2. 至邻近车站停车,检算结束

根据检算结果, A 站至 F 站热备动车组救援半径内,作业最长时间为 15 min (热备动车组出动)+ 82 min (热备动车组至故障点)+ 30 min (连挂及试验)= 127 min; F 站至 J 站热备动车组救援半径内,作业最长时间为 15 min + 122. 7 min + 30 min = 167. 7 min; J 站至 M 站热备动车组救援半径内,作业最长时间为 15 min + 121. 1 min + 30 min = 166. 1 min。

根据铁总科技〔2014〕50 号《时速 350 公里中国标准动车组暂行技术条件》,动车组蓄电池技术参数和性能,紧急情况下向重要负载供电,应急通风至少应大于 90 min,其余应急用电至少应维持 2 h (蓄电池应急用电量含应急照明、列车无线装置、广播装置、尾灯、应急通风/供氧用电量)。

以上热备动车组救援时间均远超 90 min,若按 90 min 救援时间进行布点,热备动车组布点将大幅加密,且无法在始发终到车站进行布置。因此,建议开展适应高原山区高速铁路动车组车型研究,需加大蓄电池容量以提高应急通风及辅助供电时间,使蓄电池至少具备 180 min 应急用电条件;或增加客运列车应急自走行系统,为事故列车救援争取更有利的条件。

表 2 热备动车组工况模拟表

模拟事故点	救援过程		牵引至前方车站距离/km	行车检算	
				动车组	
				动力全损失	
				时间/min	平均速度/(km/h)
D 站至 E 站区间: 距离 F 站 168 km (事故点位于 A 站和 F 站中部)	场景 1: A 站动车运用所热备动车组出动	热备动车组从 A 站动车运用所前往事故点	173. 12	82. 0	126. 7
		热备动车组由事故点牵引事故车组至 D 站方向最近车站	11. 65	20. 5	34. 2
		场景 1 小计	—	102. 5	—
	场景 2: F 站热备动车组出动	热备动车组从 F 站前往事故点	173. 12	70. 1	148. 1
		热备动车组由事故点牵引事故车组至 E 站方向最近车站	9. 88	17. 4	34. 1
		场景 2 小计	—	87. 5	—
G 站至 H 站区间: 距离 F 站 225 km (事故点位于 F 站和 J 站中部)	场景 1: F 站热备动车组出动	热备动车组从 F 站前往事故点	224. 93	90. 2	149. 6
		热备动车组由事故点牵引事故车组至 G 站方向最近车站	9. 40	16. 7	33. 7
		场景 1 小计	—	106. 9	—
	场景 2: J 站热备动车组出动	热备动车组从 J 站前往事故点	224. 93	122. 7	110
		热备动车组由事故点牵引事故车组至 H 站方向最近车站	31. 80	60. 3	31. 7
		场景 2 小计	—	183. 0	—
K 站至 L 站区间: 距离 J 站 188 km (事故点位于 J 站和 M 站中部)	场景 1: J 站热备动车组出动	热备动车组从 J 站前往事故点	187. 82	83. 5	134. 9
		热备动车组由事故点牵引事故车组至 K 站方向最近车站	13. 03	23. 8	32. 9
		场景 1 小计	—	107. 3	—
	场景 2: M 站动车运用所热备动车组出动	热备动车组从 M 站前往事故点	187. 82	121. 1	93. 1
		热备动车组由事故点牵引事故车组至 L 站方向最近车站	37. 80	151. 5	15
		场景 2 小计	—	272. 6	—

4 结论

本文研究了高原山区高速铁路热备动车组救援性能和布点,模拟了不同区段的热备车组救援,对客

运列车应急供电、应急自走行研发提出了参考意见,得到主要结论如下:

(1)高原山区高速铁路热备动车组救援时,可实现动车组 30‰坡道上明线区段 118 km/h、隧道区段 114 km/h 速度及以下的牵引上坡,明线区段 176 km/h、隧道区段 210 km/h 速度及以下的电制动下坡,救援性能满足需求。

(2)高原山区高速铁路热备动车组布点按救援半径 200 km 设置,设于有始发终到客流的车站。热备动车组、应急热备机车、救援列车及机辆段所布点一致,充分考虑资源贡献,尽量减少机辆设备设施布点,减轻人员分布及劳动强度。

(3)高原山区高速铁路客运列车研发需提高应急通风及辅助供电时间,提高救援等待时间;此外,客运列车至少需具备 180 min 应急供电条件或增加应急自走行系统,以确保司乘及旅客的生命安全。

参考文献:

- [1] 铁总科技[2014]172号,铁路技术管理规程(高速铁路部分)[S].
Tie Zong Ke Ji [2014] No. 172, Regulations of Railway Technical

Operation (Part of High-speed Railway)[S].

- [2] 李琦,于丽,王明年,等. 长大铁路隧道及隧道群救援设施的规划探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(2): 567-572.
LI Qi, YU Li, WANG Mingnian, et al. Discussion on Rescue Facilities Planning in Long Railway Tunnels and Tunnel Groups [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(2): 567-572.
- [3] 王英杰,周慧娟,卢文龙. 青藏铁路救援指挥系统的研究[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(4): 81-85, 146.
WANG Yingjie, ZHOU Huijuan, LU Wenlong. Study on Rescue Command System for Qinghai-Tibet Railway [J]. China Safety Science Journal (CSSJ), 2006, 16(4): 81-85, 146.
- [4] 李小平. 铁路突发事件应急救援智能决策关键技术研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2013.
LI Xiaoping. Study of Key Technologies on the Railway Emergency Rescue Intelligent Decision [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2013.
- [5] 陈绍华. 高海拔特长隧道防灾疏散、救援技术研究[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(4): 76-81, 86.
CHEN Shaohua. Research on the Evacuation and Rescue Technology for Disaster Prevention of High Altitude Extra-long Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(4): 76-81, 86.

(上接第44页)

参考文献:

- [1] 梁峰,陈栋宇. 斜交转正交梯形装配式桥梁设计[J]. 现代交通技术, 2011, 8(4): 26-28.
LIANG Feng, CHEN Dongyu. Trapezoidal Fabricated Bridge Design by Changing Oblique Crossing to Vertical Crossing [J]. Modern Transportation Technology, 2011, 8(4): 26-28.
- [2] 李泽鹏,赵洪学,唐宏亮,等. 装配式桥墩施工工艺及其应用[J]. 北方交通, 2019(4): 1-4.
LI Zepeng, ZHAO Hongxue, TANG Hongliang, et al. Construction Technology and Application of Assembled Pier [J]. Northern Communications, 2019(4): 1-4.
- [3] 邵旭东,王文前,辜杰凯,等. 装配式纤维混凝土组合桥面体系试验[J]. 公路交通科技, 2013, 30(6): 60-66.
SHAO Xudong, WANG Wenqian, GU Jiekai, et al. Experiment on Assembled Composite Bridge Deck System Composed of Fiber Concrete [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30(6): 60-66.
- [4] 陈文宝,魏志松,张航,等. BIM技术在装配式桥梁工程中的应用[J]. 北京交通大学学报, 2019, 43(4): 65-70.
CHEN Wenbao, WEI Zhisong, ZHANG Hang, et al. Application of BIM Technology in Assembly Bridge Project [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2019, 43(4): 65-70.
- [5] 郭红,刘君峰. 关于BIM技术对装配式建筑未来发展趋势价值研究[J]. 山西建筑, 2017, 43(19): 212-213.

GUO Hong, LIU Junfeng. Research on the Future Trend Value of BIM Technology for Prefabricated Buildings [J]. Shanxi Architecture, 2017, 43(19): 212-213.

- [6] 齐宝库,李长福. 基于BIM的装配式建筑全生命周期管理问题研究[J]. 施工技术, 2014, 43(15): 25-29.
QI Baoku, LI Changfu. Research on the Whole Lifecycle of Prefabricated Construction Management Based on BIM Technology [J]. Construction Technology, 2014, 43(15): 25-29.
- [7] 刘智敏,王英,孙静,等. BIM技术在桥梁工程设计阶段的应用研究[J]. 北京交通大学学报, 2015, 39(6): 80-84.
LIU Zhimin, WANG Ying, SUN Jing, et al. Application Study on BIM Technology in Bridge Design Stage [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2015, 39(6): 80-84.
- [8] 刘俊娥,高思,郭章林. BIM技术在装配式建筑中的应用探究[J]. 价值工程, 2017, 36(23): 161-163.
LIU June, GAO Si, GUO Zhanglin. Application of BIM Technology in Assembly Building [J]. Value Engineering. 2017, 36(23): 161-163.
- [9] 王学. 高速铁路装配式桥面附属设施造价测算研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(4): 43-48, 99.
WANG Xue. Study on Cost Calculation of Ancillary Facilities of Prefabricated Bridge Deck of High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(4): 43-48, 99.
- [10] TZJ 2002-2017 铁路工程预算定额(第二册 桥涵工程)[S].
TZJ 2002-2017 Railway Engineering Budget Quota (Volume 2 Bridge Engineering) [S].