

文章编号: 1674—8247(2021)01—0065—05  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.01.014

## 两种生产工艺机制砂掺配对混凝土性能的影响

董藏龙<sup>1</sup> 肖志敏<sup>1</sup> 夏京亮<sup>2</sup>

(1. 中交四航局第一工程有限公司, 广州 510000; 2. 中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013)

**摘 要:**本文针对湿法制砂得到的水洗砂和干法制砂得到的风吸砂掺配比例问题,分析了水洗砂和风吸砂的差异,研究了不同生产工艺机制砂掺配比例对铁路工程泵送混凝土工作性能、抗压强度、电通量和碳化性能的影响。结果表明:两种机制砂级配和压碎值相近,风吸砂略粗,石粉含量较低,水洗砂较干净,需水量比较低;随着水洗砂掺配比例的提高,混凝土减水剂掺量呈现降低的趋势,混凝土流动性得到改善,采用泵送施工工艺的情况下,推荐机制砂掺配比例水洗砂/风吸砂为 7/3;随着水洗砂掺配比例的增加,混凝土抗压强度逐渐增大,电通量呈现降低趋势,抗碳化性能提高,主要原因是水洗砂掺配比例增加,混凝土密实性得到提高。研究工作能够推进机制砂混凝土应用,提高机制砂混凝土质量。

**关键词:**机制砂; 生产工艺; 工作性能; 电通量; 碳化性能

**中图分类号:**TU528 **文献标志码:**A

## Effects of Blending of Machine-made Sand Manufactured with two Production Technologies on Concrete Performance

DONG Canglong<sup>1</sup> XIAO Zhimin<sup>1</sup> XIA Jingliang<sup>2</sup>

(1. The First Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., GuangZhou 510000, China;  
2. China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

**Abstract:** This paper analyzes the difference between water-washed sand and wind-sucked sand for the blending proportion of the water-washed sand obtained by wet process and the wind-sucked sand obtained by dry process, and studies the effects of the blending proportion of the sand manufactured with different production technologies on the working performance, compressive strength, electric flux and carbonization performance of the pumped concrete for railway engineering. The results show that the sand gradation and crushing value of the two types of machine-made sand are similar, and the wind-induced sand is slightly thicker with a lower stone powder content while the water-washed sand is cleaner with lower water demand. With the increase of the blending proportion of water-washed sand, the content of water reducing agent in concrete is decreasing, and the fluidity of concrete is improved. Under the condition of pumping construction technology, it is recommended that the blending proportion of water-washed sand to wind-sucked sand is 7/3. With the increase of the blending proportion of water – washed sand, the compressive strength of concrete increases gradually with a decreasing electric flux and improving carbonization resistance, which is mainly due to the increased blending proportion of water-washed sand improves the compactness of the concrete. The research work can promote the application of the concrete with machine-made sand and improve the quality thereof.

**Key words:** machine-made sand; production technology; working performance; electric flux; carbonization performance

收稿日期:2020-06-28

作者简介:董藏龙(1986-)男,工程师。

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0701000)

引文格式:董藏龙,肖志敏,夏京亮. 两种生产工艺机制砂掺配对混凝土性能的影响[J]. 高速铁路技术,2021,12(1):65-69.

DONG Canglong, XIAO Zhimin, XIA Jingliang. Effects of Blending of Machine-made Sand Manufactured with two Production Technologies on Concrete Performance[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1):65-69.

随着基础设施建设量的增加和国家环保要求的提高,河砂资源匮乏现象日益显著,工程中机制砂代替河砂配制混凝土已经成为铁路行业不可逆转的趋势<sup>[1]</sup>。机制砂是经除土处理,由机械破碎、筛分制成的粒径小于 4.75 mm 的岩石、矿山尾矿或工业废渣颗粒,但是不包括软质、风化的颗粒<sup>[2]</sup>。目前国内外对于机制砂及机制砂混凝土研究愈加广泛,包括机制砂各技术指标,级配、岩性、石粉、MB 值等对混凝土性能的影响<sup>[3-6]</sup>;机制砂混凝土工作性能、力学性能、耐久性能、疲劳性能等方面<sup>[7-9]</sup>。然而对于机制砂生产工艺的研究不多<sup>[10]</sup>,尤其是湿法制砂得到的水洗砂和干法制砂得到的风吸砂掺配比例问题。本文分析水洗砂和风吸砂的差异,研究不同生产工艺机制砂掺配比例对泵送混凝土工作性能、抗压强度、电通量和碳化性能的影响,旨在提高工程混凝土质量,推进机制砂混凝土应用。

1 试验

1.1 试验原材料

(1)水泥:P·O 42.5 普通硅酸盐水泥,其性能如表 1 所示。

表 1 P·O 42.5 水泥物理性能表

比表面积 /(m <sup>2</sup> /kg)	标准稠度 /%	凝结时间/min		抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
		初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
328	26	189	321	31.5	54.7	4.6	8.3

(2)粉煤灰:Ⅱ级粉煤灰,细度(45 μm 方孔筛筛余)15.3%,需水量比 98.3%,28 d 活性指数 78.5%。

(3)机制砂:两种生产工艺机制砂,一种为水洗除粉工艺生产,一种为干法生产。

(4)粗骨料:5~10 mm 和 10~20 mm 两种规格,掺配比例为 2:8,掺配后碎石级配如图 1 所示,表观密度为 2 680 kg/m<sup>3</sup>,孔隙率为 39%,针片状含量 4%。

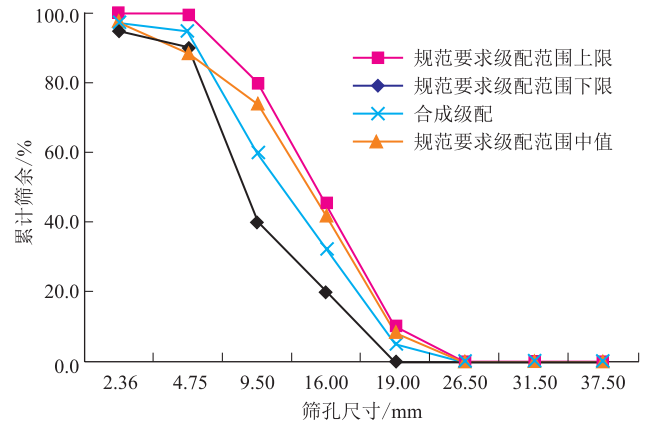


图 1 碎石级配曲线图

(5)减水剂:聚羧酸系高性能减水剂,减水率 28%,含气量 2.3%,压力泌水率比 42%,28 d 抗压强度比 159%。

1.2 试验混凝土配合比

采用 C35 强度等级泵送混凝土进行试验,水洗砂和风吸砂比例分别为 4:6、5:5、6:4、7:3 四种,具体各组代号相应的混凝土配合比如表 2 所示。

表 2 试验混凝土配合比表

编号	水泥/ (kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰/ (kg/m <sup>3</sup> )	水洗砂/ (kg/m <sup>3</sup> )	风吸砂/ (kg/m <sup>3</sup> )	石/ (kg/m <sup>3</sup> )	水/ (kg/m <sup>3</sup> )
C35-1	318	80	330	494	1 025	163
C35-2	318	80	412	412	1 025	163
C35-3	318	80	494	330	1 025	163
C35-4	318	80	577	247	1 025	163

1.3 试验方法

混凝土工作性能按照 GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》测试;抗压强度按照 GB/T 50081-2019《普通混凝土力学性能试验方法标准》进行测试,试块尺寸为 150 mm×150 mm×150 mm;电通量和碳化性能按照 GB/T 50082-2009《普通混凝土耐久性和长期性能试验方法标准》进行测试。

2 混凝土性能分析

2.1 两种工艺机制砂对比

两种生产工艺机制砂均采用冲击式制砂机生产,区别在于水洗砂采用轮式吸砂机洗掉部分石粉来控制机制砂石粉含量,风吸砂采用旋风吸尘器通过风力将部分石粉吸出控制机制砂石粉含量。两种机制砂颗粒形貌如图 2 所示。从图 2 可以看出,两种机制砂颗粒形相近,说明制砂工艺是相同的,差别在于风吸砂颗粒表面附着石粉较多,颜色较浅。

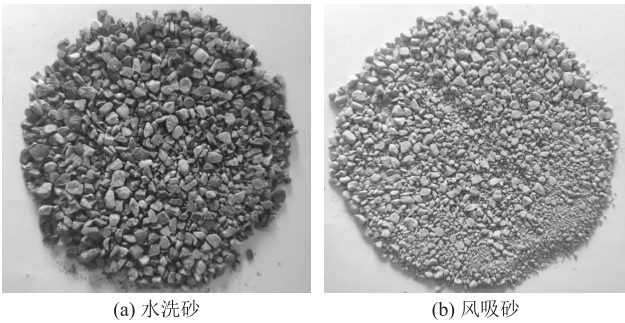


图 2 两种工艺机制砂颗粒形貌图

两种生产工艺机制砂技术指标如表 3 所示,级配

情况如图 3 所示。从表 3、图 3 可以看出,两种机制砂级配相近,风吸砂略粗,水洗砂细度模数为 3.27,风吸砂细度模数为 3.33;水洗砂相对风吸砂相对较干净,水洗砂 MB 值为 0.9,而风吸砂 MB 值为 1.2,风吸砂 MB 值高出 33.3%;风吸砂石粉含量较低,仅为 7.8%,而水洗砂为 9.6%;两种机制砂压碎值相近,水洗砂为 12.1%,风吸砂为 14.5%;采用 JG/T 568 – 2019《高性能混凝土用骨料》试验了两种机制砂需水量比,该方法首先采用 ISO 标准砂,在水泥与标准砂比例为 1:3、水灰比为 0.5 的情况下测试砂浆流动度,然后再采用机制砂,在水泥和砂比例相同的前提下,通过掺加不同量的水,调整机制砂浆浆流动度使其接近标准砂的砂浆流动度,以此时的用水量和标准砂浆用水量之比为机制砂需水量比,用于表征机制砂的整体性能。机制砂粒形越好、级配越佳、石粉含量越恰当,需水量比越小。从试验结果可知,水洗砂需水量比为 112% 时,可达到 JG/T 568 – 2019《高性能混凝土用骨料》标准中特级人工砂要求,风吸砂需水量比为 121% 时,可达到 JG/T 568 – 2019《高性能混凝土用骨料》标准中 I 级人工砂要求。整体来看水洗砂要优于风吸砂。

表 3 两种工艺机制砂技术指标表

种类	细度模数	MB 值	石粉含量 /%	压碎值 /%	需水量比 /%
水洗砂	3.27	0.9	9.6	12.1	112
风吸砂	3.33	1.2	7.8	14.5	121

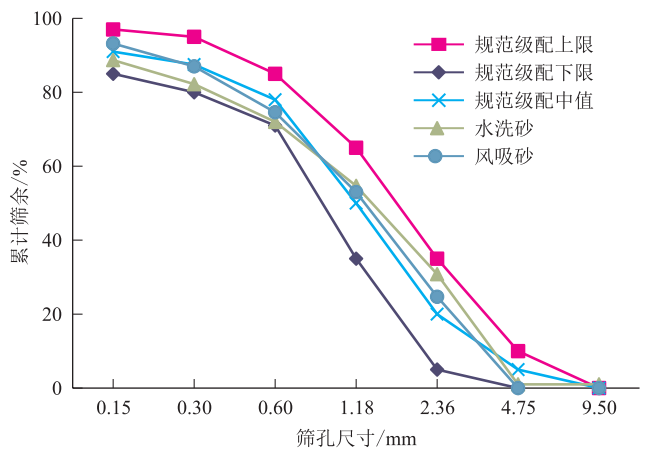


图 3 两种工艺机制砂级配曲线图

2.2 对泵送混凝土性能的影响

为探究湿法生产和干法生产两种生产工艺的机制砂掺配比例对泵送混凝土工作性能的影响,试验采用不同比例的水洗砂和风吸砂掺配配制了 C35 强度等级混凝土,混凝土外加剂掺量和工作性能如表 4 所示。

表 4 两种机制砂掺配对混凝土工作性能的影响表

编号	水洗砂/风吸砂	减水剂/(kg/m³)	坍落度	扩展度
C35-1	4/6	5.77	200	490
C35-2	5/5	5.77	210	530
C35-3	6/4	5.57	215	550
C35-4	7/3	5.37	220	570

由表 4 的试验结果可知,随着水洗砂掺配比例的提高,混凝土减水剂掺量呈现降低的趋势,水洗砂/风吸砂为 4/6 时,减水剂掺量为 5.77 kg/m³,而当水洗砂/风吸砂为 7/3 时,减水剂掺量为 5.37 kg/m³,节约减水剂用量 0.4 kg/m³。在节约了减水剂用量的情况下,提高水洗砂比例,混凝土工作性能仍然在改善。水洗砂/风吸砂为 4/6 时,混凝土坍落度为 200 mm,扩展度为 490 mm;而水洗砂/风吸砂为 7/3 时,混凝土坍落度为 220 mm,扩展度为 570 mm,坍落度提高了 20 mm,扩展度提高了 80 mm,混凝土流动性得到较大改善。若采用泵送施工工艺,推荐机制砂掺配比例水洗砂/风吸砂为 7/3。

为控制石粉含量,水洗砂经过水洗,使得机制砂为控制石粉含量,较为干净,MB 值为 0.9,而风吸砂 MB 值较大,为 1.2,使得配制混凝土时,风吸砂对减水剂的吸附作用较为明显,降低了混凝土流动性。两种机制砂需水量比试验(该试验没有用到减水剂)也呈现了相似的规律。

2.3 混凝土抗压强度

不同生产工艺机制砂掺配比例对泵送混凝土抗压强度影响如图 4 所示。从图 4 可以看出,随着水洗砂掺配比例的增加,混凝土抗压强度逐渐增大。7 d 试验龄期时,水洗砂/风吸砂为 5/5、6/4、7/3 的 3 组混凝土抗压强度较水洗砂/风吸砂为 4/6 的抗压强度分别增加了 2.1%、3.9% 和 6.5%;56 d 试验龄期时,水洗砂/风吸砂为 5/5、6/4、7/3 的 3 组混凝土抗压强度较

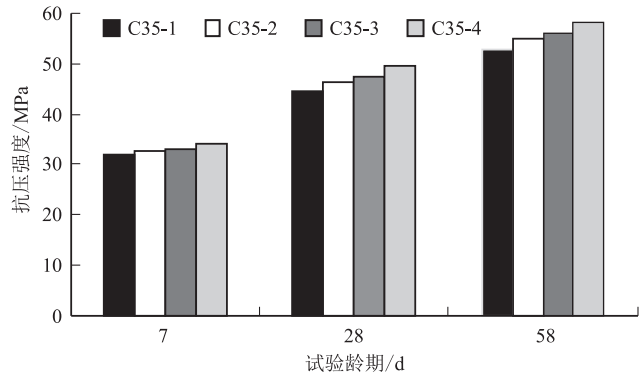


图 4 不同生产工艺机制砂掺配比例对混凝土抗压强度的影响图

水洗砂/风吸砂为4/6的抗压强度分别增加了4.3%、6.0%和10.2%。这主要是因为:(1)水洗砂石粉含量较高,随着水洗砂比例的增加,整个细骨料体系中石粉含量在增加,对于混凝土而言相当于水粉比增加,增加了混凝土强度;(2)随着机制砂石粉含量的增加,较细的石粉在水泥浆体中起到了填充作用,增加了混凝土强度;(3)由于水洗砂技术指标优于风吸砂,水洗砂掺配比例较高的混凝土工作性能较好,混凝土成型时更加容易密实,从而提高了混凝土强度。上述三个方面的综合作用,使得混凝土抗压强度随着水洗砂掺配比例的增加而提高。

## 2.4 电通量

不同生产工艺机制砂掺配比例对泵送混凝土电通量的影响如图5所示。从图5可以看出,不同生产工艺机制砂掺配比例对混凝土电通量的影响不是特别明显,随着水洗砂掺配比例的增加,混凝土电通量呈现降低趋势。56 d试验龄期时,水洗砂/风吸砂为5/5、6/4、7/3的3组混凝土电通量较水洗砂/风吸砂为4/6的电通量分别降低了4.5%、3.6%和15.3%,水洗砂/风吸砂为5/5和6/4两组混凝土56 d的电通量基本一致。其主要原因为:(1)水洗砂石粉含量较高,随着水洗砂掺配比例的增加,混凝土中石粉含量在增加,增加的石粉密实了混凝土;(2)水洗砂掺配比例增加,混凝土工作性能更优,混凝土成型更加密实;(3)机制砂中石粉在水泥水化时具有一定的晶核效应,能够提高水泥水化速率,进一步提高混凝土密实性。

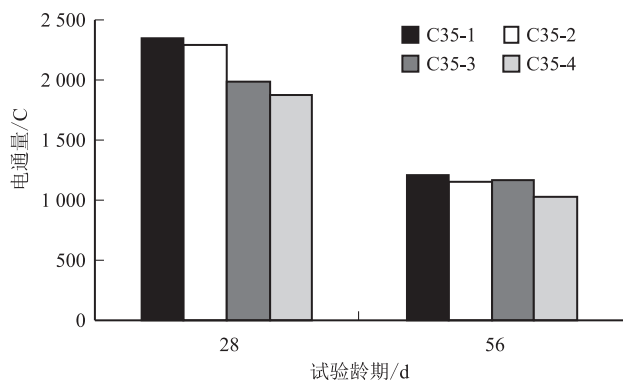


图5 不同生产工艺机制砂掺配比例对混凝土电通量的影响图

## 2.5 抗碳化性能

不同生产工艺机制砂掺配比例对泵送混凝土电通量的影响如图6所示。从图6可以看出,混凝土碳化深度随着水洗砂掺配比例的增加呈现明显减小趋势,28 d试验龄期时,水洗砂/风吸砂为5/5、6/4、7/3的3

组混凝土碳化深度较水洗砂/风吸砂为4/6的碳化深度分别减小了9.2%、12.3%和24.6%;56 d试验龄期时,水洗砂/风吸砂为5/5、6/4、7/3的3组混凝土碳化深度较水洗砂/风吸砂为4/6的碳化深度分别减小了4.9%、12.2%和23.2%。这是由于水洗砂掺配比例增加,更加密实,使得混凝土抗碳化性能提高。

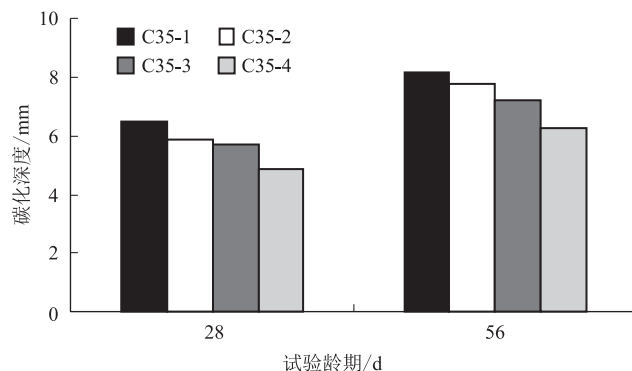


图6 不同生产工艺机制砂掺配比例对混凝土碳化性能的影响图

## 3 结论

本文分析了湿法制砂得到的水洗砂和干法制砂得到的风吸砂的差异,试验研究了不同生产工艺机制砂掺配比例对铁路工程泵送混凝土工作性能、抗压强度、电通量和碳化性能的影响,得到如下结论:

(1)两种机制砂级配相近,风吸砂略粗,水洗砂较干净,风吸砂石粉含量较低,两种机制砂压碎值相近,水洗砂需水量比较低,达到特级人工砂要求。

(2)随着水洗砂掺配比例的提高,混凝土减水剂掺量呈降低趋势,混凝土流动性得到改善,推荐机制砂掺配比例水洗砂/风吸砂为7/3。

(3)随着水洗砂掺配比例的增加,混凝土抗压强度逐渐增大,混凝土电通量呈现降低趋势,混凝土抗碳化性能提高,主要原因是水洗砂掺配比例增加,混凝土密实性得到了提高。

(4)研究工作推进了机制砂混凝土应用,提高机制砂混凝土质量。

## 参考文献:

- [1] 李北星,王威,陈梦义,等.粗骨料的等轴率、圆度和球度及其相互关系[J].建筑材料学报,2015,18(4):531-536.  
LI Beixing, WANG Wei, CHEN Mengyi, et al. Isometric Ratio, Roundness and Sphericity of Coarse Aggregates and Their Relationship [J]. Journal of Building Materials, 2015, 18(4): 531-536.
- [2] GB/T 14684-2011 建设用砂[S].



GB/T 14684-2011 Sand for Construction [S].

[3] 艾长发, 彭浩, 胡超, 等. 机制砂级配对混凝土性能的影响规律与作用效应[J]. 混凝土, 2013(1): 73-76.

AI Changfa, PENG Hao, HU Chao, et al. Influence Law and Action Effect of Manufactured Sand Gradation on Concrete Performance[J]. Concrete, 2013(1): 73-76.

[4] 赵顺波, 王磊, 梁娜. 石粉含量对机制砂水泥砂浆力学性能的影响[J]. 混凝土, 2014(4): 130-132.

ZHAO Shunbo, WANG Lei, LIANG Na. Effects of Stone Powder on Mechanical Properties of Manufactured Sand Cement Mortar [J]. Concrete, 2014(4): 130-132.

[5] 唐凯靖, 刘来宝, 周应. 岩性对机制砂特性及其混凝土性能的影响[J]. 混凝土, 2011(12): 62-63.

TANG Kaijing, LIU Laibao, ZHOU Ying. Effects of Lithology on Properties of Manufactured Sand and the Performance of the Concrete with Manufactured Sand[J]. Concrete, 2011(12): 62-63.

[6] 张琨健. 机制砂粒型对混凝土性能的影响研究[J]. 新型建筑材料, 2015, 42(8): 17-20.

ZHANG Kunjian. Study on the Effect of Manufactured-sand's Grain Type on Properties of Concrete[J]. New Building Materials, 2015, 42(8): 17-20.

[7] 沈卫国, 杨振国, 邹晓丹, 等. 机制砂 MB 值的影响因素定量研究[J]. 武汉理工大学学报, 2013, 35(12): 44-47.

SHEN Weiguo, YANG Zhenguo, ZOU Xiaodan, et al. Quantitative Study on Influence Factors of Manufactured Sand's Methylene Blue Value [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2013, 35(12): 44-47.

[8] 季锡贤, 张恒春, 殷新博, 等. C50 机制砂自密实混凝土配制及施工技术[J]. 施工技术, 2014, 43(S1): 158-160.

JI Xixian, ZHANG Hengchun, YIN Xinbo, et al. The Preparation and Construction Technology of C50 Self-compacting Concrete with Manufactured Sand [J]. Construction Technology, 2014, 43(S1): 158-160.

[9] 鹿平, 高明臣, 徐成乾, 等. 机制砂在严寒地区混凝土中的应用[J]. 公路, 2016, 61(6): 224-229.

LU Ping, GAO Mingchen, XU Chengqian, et al. Application of Machine-made Sand in Concrete in the Severe Cold Area [J]. Highway, 2016, 61(6): 224-229.

[10] 黎鹏平, 熊建波, 王胜年. 机制砂的制备工艺及在某桥梁工程中的应用[J]. 混凝土, 2012(3): 127-130.

LI Pengping, XIONG Jianbo, WANG Shengnian. Preparation Process of Manufactured Sand and Its Application in Bridge Engineering[J]. Concrete, 2012(3): 127-130.

(上接第 28 页)

由图 6 可知,调度台的操作指令第一步流向应用服务器和通信服务器,然后流向前置机,最后由车站值班员凭借车务终端设备将其传输给自律机。

## 4 结束语

针对当前高速铁路现场人员的工作实际,本文通过分析 CTC 系统的功能需求,在 CTCS-3 级仿真培训系统的平台上,搭建了 CTC 系统仿真培训系统。在该系统下模拟高速铁路列车运行环境,测试即将投入使用的软件数据,并通过与联锁和列控设备的接口模拟,构建模拟真实环境进行功能试验。本仿真培训系统为独立系统,是专为提高车务人员业务水平而开发的培训系统。

## 参考文献:

[1] 段雯誉, 杨扬, 李毓磊. 基于 CTCS-3 级列车控制场景下的 CTC 仿真系统研究与设计[J]. 铁路计算机应用, 2020,29(2): 53-57.

DUAN Wenyu, YANG Yang, LI Yulei. CTC Simulation System Based on CTCS-3 Train Control Scene [J]. Railway Computer Application, 2020,29(2): 53-57.

[2] 黄晓晖. 分散自律调度集中系统(CTC)实训仿真平台设计与实现[D]. 南昌: 华东交通大学, 2019.

HUANG Xiaohui. Design and Implementation of Training and Simulation Platform for Decentralized Autonomous Dispatching Centralized System (CTC) [D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2019.

[3] 张晶. 高速铁路 CTC 系统仿真技术的研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019,16(2): 14-17.

ZHANG Jing. Research on CTC Simulation Technology of High Speed Railway [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019,16(2): 14-17.

[4] 陈世忠, 沈洪波, 陈洪雨. 铁路行车调度实训全场景仿真系统研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020,17(3): 5-10.

CHEN Shizhong, SHEN Hongbo, CHEN Hongyu. Study on Whole Scene Simulation System of Railway Traffic Control Practical Training [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(3): 5-10.

[6] 刘彩录. CTC 仿真试验关键点探讨[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(4): 29-31.

LIU Cailu. Investigation of Key Points in CTC Simulation Test [J]. Railway Signalling & Communication, 2017,53(4): 29-31.