

市域铁路列车出车辆段/停车场效率研究 ——以温州轨道交通 S3 线丽岙车辆段为例

徐 军¹ 邓志翔^{2*} 姜 西²

(1. 温州市铁路与轨道交通投资集团有限公司, 325088, 温州;

2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//第一作者, 高级工程师)

摘 要 针对市域铁路运营需求及市域列车自身特点, 分析了车辆段/停车场道岔选型、列车修程修制、信号系统选型及车辆段/停车场信号机布点方案等对列车出车辆段/停车场效率的影响。以温州轨道交通 S3 线丽岙车辆段为例, 结合一次出段方案和分段出段方案的信号机布点形式, 分析了在不同修程修制条件下的场段工艺布局及不同信号机布点方案的 4 种实际工况, 计算了列车的出段时长。

关键词 市域铁路; 车辆段/停车场; 出段效率

中图分类号 U279.1:U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.01.018

Research on Depot/Yard Exit Efficiency of City Railway Train——Focusing on Wenzhou Rail Transit Line S3 Li'ao Depot

XU Jun, DENG Zhixiang, JIANG Xi

Abstract According to the operation requirements and train characteristics of city railway, from the aspects of depot/yard turnout type, train maintenance system, signaling system model and depot/yard signal machine point layout scheme, the impact of the above factors on train exit efficiency from depot/yard is analyzed. Taking the Li'ao Depot of Wenzhou Rail Transit Line S3 as an example, considering the signal machine distribution formats of one-time exit scheme and segmentation exit scheme, the four actual working conditions of depot process layout and different signal machine distribution plans under different conditions of maintenance system are simulated, and train exit duration is calculated.

Key words city railway; depot/yard; depot exit efficiency

First-author's address Wenzhou Railway & Rail Transit Investment Group Co., Ltd., 325088, Wenzhou, China

市域铁路的行车运营能力一般为 24 对/h^[1], 其出入车辆段/停车场(以下简称“段/场”)能力需

要与正线行车运营能力相匹配, 且预留一定余量。因此, 市域铁路对出入段/场能力的要求相对较高。此外, 市域列车的车体参数、列车修程修制模式、段/场道岔选型等因素均会对列车出入段/场能力产生不同的正负相关影响, 即列车出段/场能力的边界约束条件发生了变化和调整。因此, 如何优化段/场设计, 并辅以合理的信号系统设计, 保障市域铁路线路的发车效率和运营间隔, 是现阶段亟待研究的重要问题之一。本文以温州轨道交通 S3 线丽岙车辆段为例, 通过不同条件的信号设计方案, 分析了各方案下的出段效率。本文研究可为新建市域铁路出段能力的测算、段/场工艺方案和信号设计方案提供借鉴与指导。

1 市域铁路车辆特点对出段/场能力的影响

1.1 市域铁路车辆车体对段/场规模的影响

一般情况下, 市域铁路的运营覆盖范围较大, 速度目标值和旅行速度较高且线路较长。为了保证乘客乘坐的舒适性, 市域铁路车辆的车体比城市轨道交通(以下简称“城轨”)其他制式车辆的车体略宽, 车辆定距和轴重也相对较大。因此, 市域铁路段/场一般采用 9 号道岔(其他城轨线路段/场主要采用 7 号道岔), 以减小道岔对于车轮的摩擦, 进而降低车轮在段/场内运行时的磨耗, 减少道岔的损耗。相比于 7 号道岔, 在相同条件下, 9 号道岔的长度更长, 进而导致市域铁路段/场的咽喉区较长, 段/场规模也相对较大。较大的段/场规模, 意味着列车在出段/场过程中需要行驶更远的距离, 降低了列车的出段/场效率。因此, 市域铁路车辆车体是影响其出段/场能力的因素之一。

* 通信作者

1.2 市域铁路车辆修程修制对存车线的影响

市域铁路车辆检修场所一般分为车辆检修基地、车辆段和停车场三部分^[2]。车辆检修基地一般服务于线网或数条市域线路,承担线网内配属车的定期检修、日常维修、临修、运用整备和停放作业,并具有车辆管理、零配件储备及配送、信息管理及线网车辆运用检修管理培训中心等功能。车辆段和停车场一般服务于特定线路。车辆段主要承担本线定修、日常维修、临修、运用整备和停放作业。停车场主要承担本线配属车辆的运用整备和停放作业。

根据 TB 10624—2020《市域(郊)铁路设计规范》的相关规定,市域铁路在段/场内,如果仅考虑停车作业需求,则停车股道可按露天设计;当停车作业与列检作业合并设置时,可设置库(棚)。由此可知,从建设成本上考虑,在市域铁路的段/场内会设置较多的露天或有顶棚的存车线,一般只在段/场内的部分区域设置停车列检库。目前,此种布局方式,已应用于温州、台州等地的市域铁路项目中。市域铁路车辆段/场典型布局如图 1 所示。存车线上的列车每天出段/场时,可以一次加速到段/场内限速值(即道岔侧向通过限速),可以实现高速出段/场。

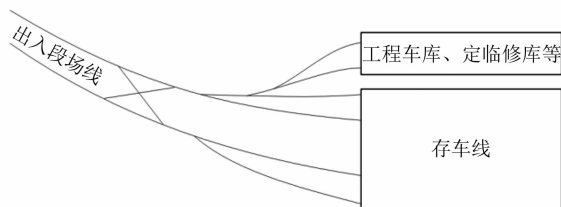


图 1 市域铁路的段/场典型布局

Fig. 1 Typical layout of city railway depot/yard

在城轨其他制式项目中,车辆的修程修制针对的是单一线路,没有服务于线网的检修基地,因此一般将存车线和列检线(包括定期检修、日常维修、临修及运用整备等功能)合二为一,段/场内设置的是停车列检库。城轨段/场的典型布局如图 2 所示。当列车在停车列检库内运行(驶入或者驶出)时,其行车速度必须小于等于 5 km/h;只有当列车驶出停车列检库且列车尾部越过库门后,方可加速至车辆检修基地内的限速。

在市域铁路的段/场中,若采用存车线的方式存车,那么列车在存车线上运行将无 5 km/h 特定限速的要求,提高了列车在场段内的平均行驶速度,这有利于提高段/场内的收发车效率。

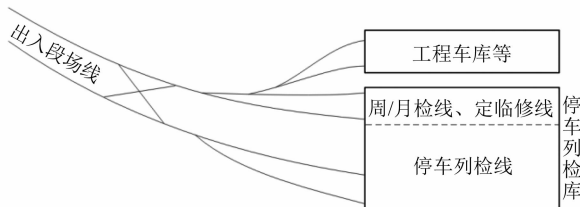


图 2 城轨的段/场典型布局

Fig. 2 Typical layout of urban rail transit depot/yard

2 信号机布点方案对出段/场能力的影响

2.1 市域铁路信号系统种类

目前,市域铁路主流信号系统分为两类:当线路与国铁线路互联互通时,则一般采用 CTCS-2(中国列车运行控制系统 2 级)信号系统;当线路独立运营或独立成网时,一般采用 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统。不同的信号系统所遵循的规范和设计标准有所差异,段/场内的信号机布点方案也有所不同,这会影响列车出段/场的效率。

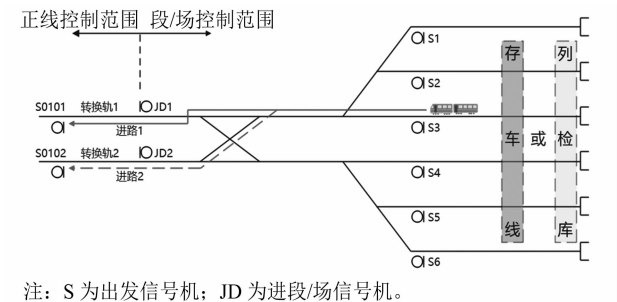
CTCS-2 信号系统的信号机布点方案需满足 TB 10007—2007《铁路信号设计规范》等一系列标准规范的要求,有成熟的规范标准可以遵循;其信号控制逻辑较为简单,能满足大多数的运营场景,场调人员工作量较小。然而也有其劣势:对于超大运量的线路而言,出段/场效率可能难以与高峰时段的运营需求相匹配。

CBTC 信号系统的信号机布点方案主要满足 GB 50157—2013《地铁设计规范》、GB/T 12578—2004《城市轨道交通信号系统通用技术条件》等的要求。出段/场进路可分段办理,信号机布点方案的灵活性相对较高,因此出段/场能力可以满足超大运量高峰客流时期的运营需求。然而也有其劣势。即:在 CBTC 系统的联锁机制主要沿用国铁规范的情况下,需要对联锁条件做出相应的突破和调整;其控制逻辑相对复杂,场调人员的工作量相对较大。

在段/场的信号机布点方式上,存在两种主流方案^[3]:CTCS-2 信号系统一般采用一次出段/场布点方案;CBTC 信号系统可以采用分段出段/场布点方案,也可以采用一次出段/场布点方案。由于 CTCS-2 信号系统具有规范性和统一性,所以 CTCS 制式的场段信号机布点方案具有唯一性,不在本文讨论范围内。本文主要针对 CBTC 信号系统下的场段信号机布点方案进行分析和讨论。

2.2 一次出段/场信号机布点方案

一次出段/场信号机布点方案,指列车仅凭存车线前出发信号机的允许信号,一次性行驶至出入段/场线(正线控制范围),出段/场过程中不再有其
余的信号机。一次出段/场信号机布点方案示意图如图 3 所示。在部分城轨项目中,沿用国家铁路的信号机定义和设计原则,在段/场股道前的信号机至正线段不再设置其他用作“发车”的信号机,即任意出发信号机开放时,表示本股道的列车可以越过前方出发信号机,直接驶入出入段/场线(转换轨 1 或转换轨 2)。



注: S 为出发信号机; JD 为进段/场信号机。

图 3 一次出段/场信号机布点方案示意图

Fig. 3 Diagram of signal machine distribution of one-time depot/yard exit scheme

2.3 分段出段/场信号机布点方案

分段出段/场信号机布点方案示意图如图 4 所示。在某些城轨项目中,为了提高出段/场效率,定义停车列检库股道前的信号机为出发信号机(S1—S6),并在场段咽喉区设置出段/场信号机(CD1—CD2),从而将列车的出段/场进路一分为二。在城轨项目中,各方案设置的出段/场信号机位置有所不同,有些方案将出段/场信号机设置在咽喉区的交叉渡线之前(见图 4 a)),有些方案将出段/场信号机与进段/场信号机并置(见图 4 b))。相较于一次出段/场信号机布点方案需要在前车出清转换轨后方可开放出段/场信号机,采用分段方案时,前车车尾越过出段/场信号机后,即可排列出库信号机至出段/场信号机的进路,从而让停车列检库股道上的列车提前发车,提高出段/场效率。从理论计算的角度出发,在咽喉区交叉渡线前设置出段/场信号机,被一分为二的两段出段进路长度比例相对均匀,因此其出段效率更高。但其缺点为,一旦列车在出段/场信号机前停车且发生故障时,咽喉区将无法办理其他股道的出发进路,影响范围较大。

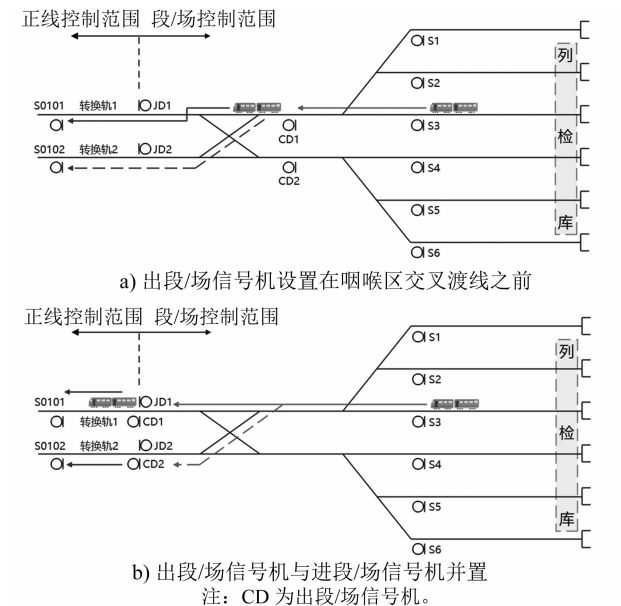


图 4 分段出段/场信号机布点方案示意图

Fig. 4 Diagram of signal machine distribution of segmentation depot/yard exit scheme

3 温州轨道交通 S3 线丽岙车辆段出段能力分析

温州轨道交通 S3 线是温州在建的市域铁路项目,正线最小行车间隔为 2.5 min。设置一座丽岙车辆段,承担该工程的定修、日常维修、临修功能、运用整备和停放作业等功能。丽岙车辆段出入段线包括出段线和入段线 2 条线路,在早晚高峰集中收发车时期,2 条线可同时作为出段线或入段线使用。当列车在出入段线上的单线最小出段间隔不大于正线最小行车间隔时间的 2 倍时,则其出段能力即可与正线最小行车间隔相匹配,即丽岙车辆段单线最小出段间隔不大于 5.0 min。

按照温州市域铁路线网既有管理模式,列车完整的出段步骤为^[4]:

步骤 1:办理出段进路。用时按 21 s 计。其中,计算机联锁运算时间按 4 s 计,道岔动作时间按 13 s 计,信号机点灯动作时间按 3 s 计。

步骤 2:从存车线(或列检库)起动加速运行至转换轨停车。若采用存车线方案,只需一次加速至段内最高限速后匀速行驶,随后再制动停车即可运行至转换轨;若采用列检库方案,列车在尾部出清列检库后,会多出一或二次加速至段内最高限速的过程。

步骤 3:转换无线通话组和驾驶模式、与正线控

制中心行调联控,用时按 60 s 计。

步骤 4:从转换轨驶离,行驶距离为 1 列列车的长度。

步骤 5:重复上述步骤,办理下一列列车的出段流程。

列车出段过程中,速度-时间-距离的关系为:

$$\left. \begin{aligned} t_{it} &= \frac{v_t - v_i}{a} \\ L_{it} &= v_i t_{it} + \frac{1}{2} a t_{it}^2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中:

L_{it} ——列车行驶距离, m;

v_i ——列车运行初速度, m/s;

v_t ——列车运行末速度, m/s;

a ——列车运行加速度,加速时为正,制动时为负, m/s²;

t_{it} ——列车以加速度 a 运行的时间, s。

在本工程中,市域列车采用 6 节编组,列车全长为 140 m。当列车运行速度为 0~40 km/h 时,其启动加速度 ≥ 1.0 m/s²,常用制动减速度 ≥ 1.0 m/s²。车辆段内采用 CZ2209 50 kg/m 的 9 号道岔,库内最高运行速度 $v_1 = 5$ km/h,段内最高运行速度 $v_2 = 30$ km/h。为便于后续计算,取 $v_0 = 0$,转换轨的长度按 200 m 计算。

3.1 存车线+一次出段方案

当采用存车线+一次出段方案时,丽岙车辆段信号机布点方案示意图如图 5 所示。该方案下,列车可以直接加速至段内最高限速运行至轨换轨,限速运行时的列车加减速度均按 1.0 m/s² 计。此时,各阶段作业时间和行驶距离可由式(1)获得:①出段进路办理时间 $t_{进路} = 21.0$ s;②列车在段内从 0 加速至 30.0 km/h 的时间 $t_{02} = 8.5$ s,行驶距离 $L_{02} = 35$ m;③列车从段内到转换轨以 30.0 km/h 的速度匀速运行,作业时间 $t_{s31} = 94.0$ s,行驶距离 $L_{s31} = 780$ m;④列车在转换轨内的运行速度由 30.0 km/h 制动至 0 的时间 $t_{20} = 8.5$ s,行驶距离 $L_{20} = 35$ m;⑤司机转换无线通话组和驾驶模式、与正线控制中心行调联控时间 $t_{确认} = 60.0$ s;⑥列车从转换轨起动,向正线行驶并出清转换轨,列车行驶距离 $L_{车} = 140$ m,此时可直接加速驶离,速度按 0~100.0 km/h、平均加速度按 0.5 m/s² 进行计算,驶离转换轨时间 $t_{出转} = 24.0$ s,出清转换轨时的速度约为 43.2 km/h;⑦合计上述所有作业过程作业时间,得出最小出段

间隔为 216.0 s,满足远期单线 5.0 min、双线 2.5 min 的出段能力要求。

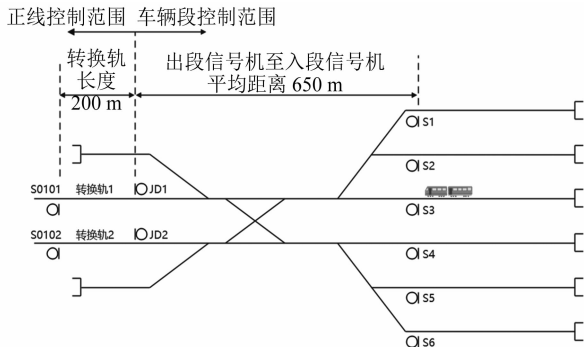


图 5 采用一次出段方案时丽岙车辆段信号机布点示意图
Fig. 5 Diagram of Li'ao Depot signal machine distribution when adopting one-time depot/yard exit scheme

3.2 列检库+一次出段方案

当采用列检库+一次出段方案时,列车在库内运行的最高速度不能超过 5.0 km/h,此时各阶段作业时间和行驶距离可由式(1)获得:① $t_{进路} = 21.0$ s;②列车在段内从 0 加速至 5.0 km/h 的时间 $t_{01} = 1.5$ s,行驶距离 $L_{01} = 1$ m;③列车在库内以 5.0 km/h 速度运行至列车车尾出库的时间 $t_{s32} = 101.0$ s,行驶距离 $L_{s32} = 139$ m;④列车在段内从 5.0 km/h 加速至 30.0 km/h 时间 $t_{12} = 7.0$ s,行驶距离 $L_{12} = 60$ m;⑤列车在段内至转换轨以 30.0 km/h 匀速行驶时间 $t_{s33} = 74.0$ s,行驶距离 $L_{s33} = 615$ m;⑥列车在转换轨内的运行速度从 30.0 km/h 制动至 0 的时间为 $t_{20} = 8.5$ s,行驶距离 $L_{20} = 35$ m;⑦司机转换无线通话组和驾驶模式、与正线控制中心行调联控时间 $t_{确认} = 60.0$ s;⑧列车驶离转换轨时间 $t_{出转} = 24.0$ s;⑨合计上述所有时间,得出最小出段间隔为 297.0 s,接近 5.0 min。

由 3.1 节和 3.2 节的计算结果可知,均采用一次出段方案时,列车在列检库内运行速度是影响列车出段能力的最关键因素。当设置停车列检库时,相比较设置存车线,列车单线出段耗时增加约 80.0 s,总时长接近 5.0 min;若司机人工驾驶列车速度偏低时,则存在出段效率不足、运营晚点的风险。

3.3 存车线+分段出段方案

当采用存车线+分段出段方案时,丽岙车辆段信号机布点示意图如图 6 所示。该方案下,列车出段需要完成两段进路,最小出段间隔为两段进路完成时长中的较大值。此时出库信号机至出段信号机进路各阶段作业时间和行驶距离可由式(1)获

得:①出库进路办理时间 $t_{\text{进路}} = 21.0 \text{ s}$;②列车在段内从 0 加速至 30.0 km/h 的时间 $t_{02} = 8.5 \text{ s}$, 行驶距离 $L_{20} = 35 \text{ m}$;③列车以 30.0 km/h 匀速行驶至车尾越过出段信号机的时间 $t_{\text{出}} = 68.0 \text{ s}$, 行驶距离 $L_{\text{出}} = 570 \text{ m}$;④进路完成总用时 $t_{\text{分1}} = 98.5 \text{ s}$ 。

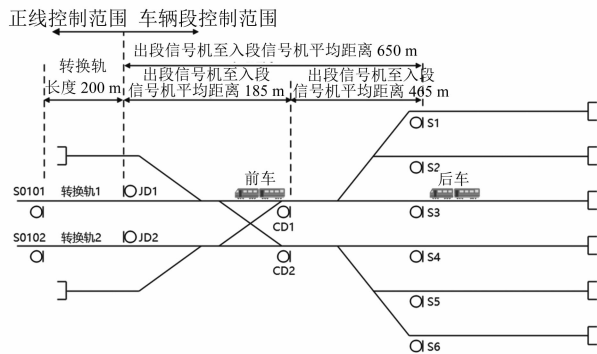


图 6 采用分段出段方案时丽岙车辆段信号机布点示意图
Fig. 6 Diagram of Li'ao Depot signal machine distribution when adopting segmentation depot/yard exit scheme

完成出段信号机至转换轨进路各作业环节作业时间和行驶距离由式(1)获得:①列车在段内到转换轨以 30.0 km/h 匀速行驶的时间 $t_{\text{出}} = 25.5 \text{ s}$, 行驶距离为 $L_{\text{出}} = 210 \text{ m}$;②列车在转换轨内从 30.0 km/h 制动至 0 的时间 $t_{20} = 8.5 \text{ s}$, 行驶距离 $L_{20} = 35 \text{ m}$;③司机转换无线通话组和驾驶模式、与正线控制中心行调联控时间 $t_{\text{确认}} = 60.0 \text{ s}$ 。④列车驶离转换轨时间 $t_{\text{出转}} = 24.0 \text{ s}$;⑤进路完成总用时 $t_{\text{分2}} = 118.0 \text{ s}$ 。此时 $t_{\text{分2}} > t_{\text{分1}}$, 因此最小出段间隔为 $t_{\text{分2}} = 118.0 \text{ s}$ 。

3.4 列检库+分段出段方案

当采用列检库+分段出段方案时,完成出库信号机至出段信号机进路各阶段作业时间和行驶距离由式(1)获得:①出库进路办理时间 $t_{\text{进路}} = 21.0 \text{ s}$;②列车在段内从 0 加速至 5.0 km/h 的时间 $t_{01} = 1.5 \text{ s}$, 行驶距离 $L_{01} = 1 \text{ m}$;③列车在库内以 5.0 km/h 速度运行直至列车车尾出库的时间 $t_{\text{出}} = t_{\text{出2}} = 101.0 \text{ s}$, 行驶距离 $L_{\text{出2}} = 139 \text{ m}$;④列车在段内从 5.0 km/h 加速至 30.0 km/h 的时间 $t_{12} = 7.0 \text{ s}$, 行驶距离 $L_{12} = 60 \text{ m}$;⑤列车以 30.0 km/h 匀速行驶至车尾越过出段信号机的时间 $t_{\text{出}} = 49.0 \text{ s}$, 行驶距离 $L_{\text{出}} = 405 \text{ m}$;⑥进路完成总用时 $t_{\text{分3}} = 179.5 \text{ s}$ 。完成出段信号机至转换轨进路的用时与 3.3 节存车线+分段方案一致, 总用时 $t_{\text{分4}} = t_{\text{分2}} = 118.0 \text{ s}$, 此时 $t_{\text{分4}} < t_{\text{分3}}$, 因此最小出段间隔为 $t_{\text{分3}} = 179.5 \text{ s}$ 。

分别对比 3.1 和 3.3 节、3.2 节和 3.4 节的计算结果可知,无论采用列检库方案还是存车线方案,

分段出段方案比一次出段方案的时长都缩短了约 100.0 s , 列车出段能力有明显提升。考虑实际运营过程中,分段办理进路时存在增加调度人员操作确认时间、司机为保障段内追踪运行时的行车安全可能采取降速行驶等因素,该方案在实际运营中的优势没有理论计算的那么突出和显著。

4 结语

随着市域铁路的迅速发展,市域线路段/场的出段/场效率是否与运营需求相匹配,成为了工程设计之初就应该探究和明确的关键问题。本文从标准规范、工程需求等方面,研究了影响列车出段/场能力的关键因素,并基于温州市域铁路 S3 线丽岙车辆段的实际工程参数,结合一次出段方案和分段出段方案的信号机布点形式,分析了在不同修程修制条件下的场段工艺布局、不同信号机布点方案的 4 种实际工况,计算了列车的出段时长。通过分析对比可知,4 种工况下的出段能力均能与正线行车能力相匹配。

综上所述,针对后续市域铁路建设工程,建议段/场信号系统优先采用有规范明确支撑且联锁条件极为成熟的一次出段方案进行信号机布点设计,其信号系统设计相对规范,联锁逻辑更加成熟,调度员操作工作量较小,更加有利于后期的运营和维护。若由于修程修制要求必须建设停车列检库用于列车存车和检修,且因场段规模较大、一次出段方案的出段能力检算无法满足正线行车能力要求时,信号系统可采用分段出段方案。

参考文献

- [1] 沙金硕,高伟君. 市域快速轨道交通的线路设计特点[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(8): 100.
SHA Jinshuo, GAO Weijun. Design features of urban rapid rail transit line[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(8): 100.
- [2] 李加祺,邱建平,杨辉,等. 市域铁路车辆检修模式及检修设施探讨[J]. 中国铁路, 2018(8): 83.
LI Jiaqi, QIU Jianping, YANG Hui, et al. Research on mode and facility of vehicle maintenance in suburban railway[J]. China Railway, 2018(8): 83.
- [3] 戴宏. 地铁车辆段总出发信号机的设置及控制方式探讨[J]. 铁道通信信号, 2013, 49(2): 46.
DAI Hong. Approach of setting and controlling modes of general starting signal in metro depot[J]. Railway Signalling & Communication, 2013, 49(2): 46.

(下转第 99 页)