

# 城市轨道交通停车场/车辆段的列车出段能力 分析与计算\*

刘 嫻<sup>1</sup> 胡 华<sup>1\*\*</sup> 刘志钢<sup>1</sup> 段龙杰<sup>2</sup>

(1. 上海工程技术大学城市轨道交通学院, 201620, 上海;

2. 上海申通地铁集团有限公司运营管理中心, 200070, 上海//第一作者, 硕士研究生)

**摘 要** 针对城市轨道交通停车场/车辆段的列车出段能力亟待提高的需求,从列车出段流程入手,从设施设备设置、出段作业管理、人员作业效率等方面分析了影响列车出段能力的主要因素。将列车出段过程的各分段进路作业划分为进路排列时间、列车司机作业时间和列车走行时间三部分,提出地铁场段列车出段能力计算方法。以上海地铁九亭车辆段为例,进行了测算与分析。测算分析结果表明,该列车出段能力计算方法可为既有地铁场段出段能力测算、能力瓶颈分析与增能措施制订等提供依据。

**关键词** 地铁; 停车场/车辆段; 出段能力计算

**中图分类号** U292.5; U279.1

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2020.11.013

## Analysis and Calculation of Train Exit Capacity of Urban Rail Transit Stabling Yard and Depot

LIU Xian, HU Hua, LIU Zhigang, DUAN Longjie

**Abstract** Targeting the increasing demand towards train exit capacity improvement of urban rail transit stabling yard and depot, by tackling the train exit procedure, the main factors that affect the capacity are analyzed from the aspects of equipment setting, operation management and personnel working efficiency. Furthermore, the train exit procedure is divided into three parts of entry array timing, driver operation timing and train operation timing and a method for calculating the exit capacity of metro depot is presented. Taking the Jiu Ting depot of Shanghai metro as an example for calculation and analysis. The results show that this train exit capacity calculation method can provide reference for making policies on depot capacity estimation, capacity bottleneck analysis and capacity enhancement measures.

**Key words** metro; stabling yard/depot; exit capacity calculation

lation

**First-author's address** College of Urban Railway Transportation, Shanghai University of Engineering Science, 201620, Shanghai, China

随着城市轨道交通线网规模的不断扩大,客流量的持续增加,对线路运能的要求也不断提高。停车场/车辆段(以下简称“场段”)的列车出段能力逐渐成为制约正线列车运输能力、影响城市轨道交通服务水平的关键因素。

文献[1]分析了车辆基地列车出段方式和过程这两种限制列车出段能力的因素,对新线和既有线分别提出提高出段能力的策略;文献[2]针对上海轨道交通北翟路车辆段,提出增设信号机等扩能方案,并分析了扩能方案的设计条件;文献[3]根据广州地铁嘉禾车辆段的线路布置和发车方式,提出了一种大型复合车辆段发车能力的测算方法。

目前,我国对地铁场段的列车出段能力研究多数集中在以具体实际方案为基础的定性分析,缺乏对列车出段能力通用性计算方法的研究。

本文通过分析场段设施设备的布设、管理规定及人员作业等出段能力的影响因素,提出通用性的出段能力计算方法。

## 1 列车出段能力影响因素分析

列车出段能力是指单位时间内由场段进入正线的列车对数,是列车最小出段间隔的能力。列车由场段出段时,从停车列检库发车,通过各信号机防护的进路,由出段线经转换轨出段进入正线。在

\* 国家科技支撑计划项目(2015BAG19B02-28);国家自然科学基金项目(71601110)

\*\* 通信作者

此过程中,列车出段能力受到设施的布设方案、场段管理规定以及人员作业效率等多方面因素的影响。

### 1.1 信号机的设置

场段内参与列车出段的信号机主要有出库信号机、调车信号机及出段信号机。这些设于固定地点的信号机用于指示列车运行,防护场段至正线的进路。各信号机具体功能如表 1 所示。

表 1 参与列车出段的主要信号机功能	
信号机	功能
出库信号机	兼调车信号机,设置于停车列检库前,用于指示列车出库
调车信号机	依据实际使用效率设置,实现转线、阻挡等作业功能
出段信号机	设置于临近出段位置,列车在信号机前停车转换驾驶模式后出清该信号机完成出段

信号机的数量决定了进路的分段数,其设置的位置决定了各分段进路的长度。

若只设置出库信号机和出段信号机,则列车出段过程仅有单一进路,即列车采用长进路模式出段。该模式下,后续列车需等待前行列车出清出段信号机,才可从车库凭出库信号机允许信号动车。因此,列车采用长进路模式出段会导致前后列车追踪间隔较大,使列车出段能力较低。上海轨道交通 1 号线富锦路车辆段的列车就采用了长进路模式出段,其列车最小出段间隔为 355.8 s,车辆段列车出段能力为 20 列/h,形成正线早高峰发车间隔需求的瓶颈。

若在出段过程中增设总出发信号机或其他若干顺向调车信号机,则列车出段过程至少划分为两段进路,即列车采用列调结合模式出段。该模式下,后续列车待前车出清所在进路后即可凭允许信号进入该进路。一般情况下,进路分段数越多,可与前行列车进行同步作业的列车就越多,场段列车出段能力也就越高。上海轨道交通 9 号线金桥车场列车就采用了列调结合模式经两段进路出段,其列车最小出段间隔为 238.7 s,车场列车出场能力为 30 列/h,可满足正线的发车间隔需求。

在对出段线进行进路分段时,最大进路长度应以“列车出段能力可满足各地铁线路正线发车间隔需求”为主要原则。假设某地铁线路正线最小发车间隔要求达到  $T$ ,既有信号系统条件下的该线路场段内列车最高运行速度为  $v$ ;若该场段采用单条出

段线出车,则分段进路中最大进路长度  $L \leq Nv$ ;若采用双线交替出车,则最大进路长度  $L \leq 2Nv$ ,且在资金、场地、设备条件允许的情况下,应向  $Nv$  靠拢,以尽可能提高场段列车出段能力。以上海地铁为例,新建场段标准为单股道,应满足  $N=3 \text{ min}$ ,若场段内列车最高运行速度为 20 km/h,根据上述要求,最大进路长度为 1 000~2 000 m,对应的最小出段间隔为 1.5 min~3.0 min。这样既能满足上海地铁新建场段的标准,也为能部分重点线路出段间隔的进一步缩短预留条件。

此外,增设进路分段虽会提高场段出车效率,但其土建工程费用和信号机、计轴等设备投资成本和维修费用也不少。因此,在改造既有地铁场段或新建场段时,还应综合考虑工程建设费用与运营成本,不建议无限制增设分段数。

### 1.2 转换轨的设置

场段作业性质及作业方式同正线有很大区别,一般设有独立的联锁系统,其列车采用 RMF(人工限速向前)模式运行。故在场段与正线之间会设置用于列车驾驶模式转换的过渡区段。该过渡区段称为转换轨。

列车出段能力与转换轨的长度和设置位置有关。

转换轨一般设置在场段入口咽喉区与正线联络线之间的平直线路且坡道较小的区段,其长度须大于整列列车长度加车辆常用制动距离长度及富余量之和<sup>[5]</sup>。可见,转换轨的长度受列车编组数、列车制动性能及安全余量的影响。一般而言,同一个场段里的转换轨长度相对固定。

从转换轨设置的位置看:在长进路出段模式下,转换轨设置的位置离停车列检库越近,则列车在场段内走行总距离越短,出段能力越高;在列调结合出段模式下,转换轨的设置会增大所在分段进路的长度,故在设置位置选择时,可以转换轨所在进路是否会成为出段能力瓶颈为目标进行对比分析。

### 1.3 列车限速规定

根据场段信号机和转换轨的设置,以及联锁关系的设定,列车出段能力受出段过程各进路所需时间中最大值的制约。列车在各进路的走行时间取决于进路的长度和列车运行速度。其中,列车在场段内采用 RM(人工限速)模式或 RMF 模式运行,其运行速度受限速规定的影响。一般情况下,列车出

入库作业速度应不大于 5 km/h<sup>[6]</sup>。建标 104—2008《城市轨道交通工程项目建设标准》规定:“列车进入车辆段站场线路的运行速度不宜大于 25 km/h”<sup>[7]</sup>。但我国各城市地铁场段对列车运行速度的限制不尽相同。上海规定,列车出库后最高运行速度不得超过 20 km/h<sup>[8]</sup>;西安规定,列车出库后按最高 25 km/h 速度运行<sup>[9]</sup>。由于司机的驾驶习惯不同,各场段列车最高运行速度也不尽相同。经调研,在上海,地铁场段内的列车平均最高运行速度区间为 15~18 km/h,尚有一定的提升空间。

1.4 人员作业内容和效率

列车出段过程涉及场段信号楼及运转值班室值班员、列车司机等岗位,主要包括以下作业流程:

- 1) 当信号楼值班员办理完成出库进路,并开放出库信号后,司机与信号楼值班员进行车调联控,确认出库信号开放,确认出库列车车次号及股道,并执行相应的手指呼唤。在列车运行过程中,司机需确认前方每副道岔的开通位置。
- 2) 列车司机在出库过程中应做到瞭望不间断;当有人员在前方线路上行走时,应减速停车;待确认平交道上无人员走动且具备行车条件后,方可驾驶列车通过平交道。
- 3) 列车按照场段限速要求运行至出段信号机前转换轨处一度停车,转换无线信道和驾驶模式。并确认信号机开放状态、道岔位置和速度码。
- 4) 列车司机与信号楼值班员进行车调联控,确认出场信号机开放后动车出清出段信号机,列车驶入正线。

在此过程中,值班员是否在具备进路排列条件后及时排列相应进路,列车司机与值班员的联控作业是否紧凑,是否有人员在列车出段时进入动车区域,这些因素都影响着列车在段内的停留时长,进而影响列车出段能力。

2 列车出段能力的分析与计算

由于列车最小出段间隔受出段过程中进路段数与各进路所需时间最大值的制约,若设列车出段进路分为出库进路、调车进路及列车进路等  $i$  条进路,完成第  $i$  条进路作业所需时间为  $t_i$ ,则列车最小出段间隔  $T$  为:

$$T = \max t_i \tag{1}$$

其中:

$$t_i = t_{i,进} + t_{i,司} + t_{i,走} \tag{2}$$

式中:

- $t_{i,进}$ ——第  $i$  条进路的进路排列时间;
- $t_{i,司}$ ——第  $i$  条进路中列车司机除驾驶列车外的其他作业时间;其他作业主要为联控、确认平交道无人、转换驾驶模式、切换通信信道等;
- $t_{i,走}$ ——第  $i$  条进路中的列车走行时间。

其中,进路排列时间与进路所含道岔数有关,地铁场段一般采用 7 号道岔,每副道岔转换时间约 3 s。经调研,上海地铁场段列车出段过程列车司机部分作业经验值如表 2 所示。由  $T$  可得列车出段能力。

表 2 上海地铁列车出段过程司机部分作业时间

作业内容	上海地铁作业时间经验值/s
出库车调联控	15
停车确认平交道无人	10
转换 RMF 驾驶模式为 ATO/ATPM 模式	15
将无线通信系统切换至正线信道、与驻调司机联控	15

列车在走行过程中,先牵引加速,后匀速,再制动停车。速度-时间-距离关系为:

$$\begin{cases} v_t = v_0 + at \\ S = v_0t + \frac{1}{2}at^2 \\ v_t^2 - v_0^2 = 2aS \end{cases} \tag{3}$$

式中:

$S$ ——列车走行距离,包括进路长度  $S_{进}$ 、出清停车列检库或当前进路时走行 1 列列车的车长度距离  $S_{列}$  等;

- $v_0$ ——列车运行的初速度;
- $v_t$ ——列车运行的末速度;列车加速过程中的末速度为场段中的分段限速值;
- $a$ ——列车牵引加速度( $a$  为正值)或制动减速度( $a$  为负值)。

一般情况下,列车从 0 加速到 40 km/h,牵引平均加速度不低于 0.83 m/s<sup>2</sup>;从 0 加速到 80 km/h,牵引平均加速度不低于 0.50 m/s<sup>2</sup>;列车从最高运行速度到停车,常用制动平均减速度不低于 1.0 m/s<sup>2</sup>,紧急制动平均减速度不低于 1.2 m/s<sup>2</sup><sup>[10]</sup>。

3 案例分析

上海轨道交通九亭车辆段列车采用列调结合模式出段。场段信号楼运转值班员先完成了出库信号机至总出发信号机的调车进路,再完成总出发信号机至出段信号机的列车进路办理。由于前

后列车存在同步作业的时段,故列车的连续出段间隔应取列车分别完成 2 段进路所需时长中的较大值。

九亭车辆段平面简图如图 1 所示,各段运行距离和作业时间如表 3 及图 2 所示。

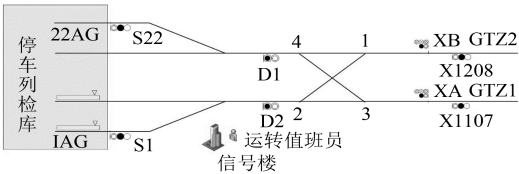


图 1 九亭车辆段平面简图

表 3 九亭车辆段列车出段作业表

作业内容	走行距离/km	速度/(km/h)	作业时间/s
调车进路排列	0	0	15.0
列车出库车调联控	0	0	15.0
列车从停车列检位 A 段运行至大库门口一度停车	0.02	0→5→0	15.8
列车确认平交道无人	0	0	10.0
列车从大库门口运行至列车整列出清大库位置	0.139	0→5	100.8
列车运行至总出发信号机 D <sub>2</sub>	0.165	5→17→0	38.5
列车进路排列	0	0	10.0
列车出清总出发信号机	0.139	0→17	31.8
列车从总出发信号机运行至出段信号机	0.689	0→17→0	150.6
司机转换驾驶模式为 ATO/ATPM 模式;切换通信信道至正线,与驻调司机联控	0	0	15.0
列车出清出段信号机	0.139	0→26	19.0

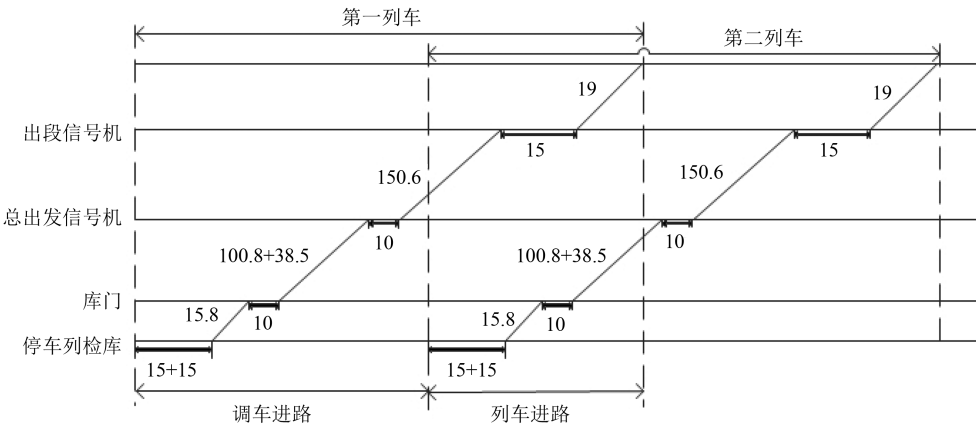


图 2 九亭车辆段列车出段时距图

由式(2)可得,在九亭车辆段,列车由 1AG 股道经出段线 GTZ1(至九亭站)的调车进路时长及列车进路分别为  $t_1 = 236.9\text{ s}$ ,  $t_2 = 194.6\text{ s}$ 。由式(1)可得:

$$T = \max(t_1, t_2) = 236.9\text{ s}$$

故出段线 GTZ1 的出段能力为:

$$N_{\text{GTZ1}} = 15.2\text{ 列/h}$$

经测试,出段线 GTZ2(至中春路站)和 GTZ1 出段能力相近。故九亭车辆段列车总出段能力  $N_{\text{总}} = \sum N = 30\text{ 列/h}$ 。

每段进路各部分作业所占比例如表 4 所示。

九亭车辆段在段内咽喉区设置了总出发信号机 D1 及 D2,以参与列车出段进路的划分,并将转换轨设于段内。前行列车出清总出发信号机后,后

续列车可与其进行同步作业。

由表 4 可知,调车进路由于人员联控作业流程较多、车库内限速较低等原因,较列车进路需要更长时间。因此,调车进路为列车出段能力的主要制约部分。

表 4 九亭车辆段各进路作业所占比例

进路	进路排列		司机其他作业		列车走行		进路作业总计	
	$t_{i,\text{进}}/\text{s}$	时长占比/%	$t_{i,\text{司}}/\text{s}$	时长占比/%	$t_{i,\text{走}}/\text{s}$	时长占比/%	$t_i/\text{s}$	时长占比/%
调车进路	25.0	10.6	25.0	10.6	186.9	78.8	236.9	100.0
列车进路	10.0	5.1	15.0	7.7	169.6	87.2	194.6	100.0

基于九亭车辆段列车出段流程,结合出段能力的主要影响因素,建议九亭车辆段采取如下扩能措施:

1) 目前,九亭车辆段单股道最小出段间隔无法满足上海未来对场段出车间隔(3 min)的要求,因此,建议在段内既有调车信号机与总出发信号机之间的区域增设若干顺向调车信号机,以增加出段线可容纳列车数,进而缩短列车连续追踪间隔、提高列车出段能力。

2) 加强段内行车作业管理,制定规章制度,划分段内动车区域,禁止段内人员在列车出入段期间进入动车区域。这样可免去列车在平交道停车确认的流程。

3) 优化车调联控的执行时机。目前,为了确保安全,列车在运行至出段信号机前停车后,即使出段信号机已开放,司机也会与信号楼值班员进行联控。建议列车在接近出段信号机时,若出段信号机已开放,则不再进行车调联控。

4) 在合理范围内适当提高列车限速,并对列车司机进行系统培训,从而使司机能在确保安全的前提下,以较高速度驾驶列车出段。

5) 优化信号系统设备,将之改造为具备 ATC(列车自动控制)功能的车辆段,使列车在停车库动车时就具备 ATP(列车自动保护)模式运行的功能。具有 ATC 功能的场段不仅可提升行车作业安全性和列车运行速度,还能在正常情况下取消列车在转换轨停车转换模式的步骤,从而大大提升发车效率。

## 4 结语

随着运能需求的增加,场段的列车出段能力逐渐成为制约提升线路运能的瓶颈。本文基于列车出段流程,从设施设备设置、出段作业管理和人员作业效率等方面对地铁场段列车出段能力的主要影响因素进行了分析,提出了列车出段能力的计算

(上接第 62 页)

上述结论可为列车围护结构的隔热方案设计及结构安装提供隔热性能优化的依据。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国铁道部. 铁道客车隔热性能试验方法: TB/T 1674—1993[S]. 北京: 中国铁道出版社, 1993.
- [2] 中华人民共和国铁道部. 客车空调设计参数: TB 1951—1987[S]. 北京: 中国铁道出版社, 1988: 1.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定防护热

方法,以上海地铁九亭车辆段为例进行了测算分析,并提出相应的扩能措施。测算结果表明:列车出段能力的计算方法可为地铁既有场段的出段能力测算和扩能措施制订、新线场段的设计和列车出段模式选择提供参考。

## 参考文献

- [1] 朱沪生,洪海珠,丁建中. 城市轨道交通车辆基地出入段扩能方法研究[J]. 城市轨道交通研究, 2011(4): 1.
- [2] 丁建中,王喜军. 上海北翟路车辆段列车出入段能力研究[J]. 城市轨道交通研究, 2010(7): 37.
- [3] 王帆,叶波,邓卫国. 大型地铁车辆段发车能力测算方法及应用研究[J/OL]. 城市建设理论研究(电子版), 2013(8). <http://d.wanfangdata.com.cn/periodical/csjsllyj201308275>.
- [4] 吴松. 地铁停车场和车辆段信号机的设置[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018(6): 44.
- [5] 肖培龙. 地铁车辆段转换轨设置点与信号系统处置方式分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2012(6): 52.
- [6] 上海地铁申通集团有限公司. 上海市城市轨道交通工程技术标准: STB/ZH-000001—2010[S]. 上海: 上海地铁申通集团有限公司, 2010.
- [7] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国发展和改革委员会. 城市轨道交通工程项目建设标准: 建标 104—2008[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [8] 丁建中,牛振宇. 基于通信的列车控制系统对车辆基地出入段能力的影响研究[J]. 城市轨道交通研究, 2011(5): 31.
- [9] 孙慧. 浅析西安地铁 2 号线列车出入段作业[J]. 铁道通信信号, 2011(8): 40.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁车辆通用技术条件: GB/T 7928—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [11] 李琴. ITC 模式下地铁列车单/双线出段能力比较分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2014(4): 67.

(收稿日期: 2019-01-15)

板法: GB/T 10294—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

- [4] 滕兆武. 车辆制冷与空气调节[M]. 上海: 同济大学出版社, 2004.
- [5] 中华人民共和国铁道部. 铁道客车采暖通风设计参数: TB/T 1955—2000[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2000.
- [6] 万建武. 空气调节[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [7] 张霞. 隔热材料性能的影响因素[J]. 材料开发与利用, 1994(2): 7.
- [8] KNRAEA B H. 温度对车体结构隔热性能的影响[J]. 国外轨道车辆, 1998(1): 42.

(收稿日期: 2019-12-13)