

城市轨道交通特定安全防护距离下的 极限进站方案研究*

孔令发

(上海富欣智能交通控制有限公司, 201203, 上海//工程师)

摘要 针对城市轨道交通信号控制系统线路终端安全防护距离较短的情况, 提出通过车载ATO(列车自动运行)实时计算并调整列车进站时的制动率来控制列车高效进站的一种技术方案, 并对该方案进行了仿真分析。结果表明, 该方案可以缩短线路终端的安全防护距离, 降低建设成本; 同时在线路安全防护距离一定的情况下, 可提高列车的进站效率。

关键词 城市轨道交通; 安全防护距离; 极限进站; 变制动率

中图分类号 U231.7; U298.1

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.03.017

On Limit Station Entry at Special Safety Distance of Urban Rail Transit

KONG Lingfa

Abstract In view of the short safety distance at line terminal in urban rail transit signal control system, an effective control technique is proposed and simulated, which is based on the real-time calculation through the vehicle mounted ATO and the adjustment of breaking rate at station entry. The result shows that the adoption of this scheme could shorten the safety distance, reduce construction cost and improve the efficiency of train arrival at a certain safety distance.

Key words urban rail transit; safety distance; limit station entry; variable breaking rate

Author's address Shanghai Fuxin Intelligent Traffic Control Co., Ltd., 201203, Shanghai, China

在城市轨道交通信号领域, 为了保证列车能够安全进站, 在线路终端站台后方需预留一定的安全防护距离。线路终端的安全防护距离由土建建设的客观条件决定, 同时应兼顾建设成本来进行确定。因此, 在特定(较短)的安全防护距离下, 研究如何保证列车安全且高效进站具有十分重要的

意义。

目前, 我国通用的进站技术方案采用常用制动率进站方案。即在接近站台区域时, 通过一个固定的常用制动率控制列车进站停靠站台。该方案无论对于车载ATO(列车自动运行)控车还是人工驾驶均有易控、易操作的优点, 但同时存在以下问题: ①为了保证进站效率, 所需的站后安全防护距离较长; ②在特定的安全防护距离下, 只能通过降低进站效率来达到安全进站的目的。因此, 研究一个兼顾行车安全、运营效率及建设成本的进站方案就显得尤为重要。

1 安全防护距离计算模型

安全防护距离是指在IEEE 1474.1标准中规定的列车安全制动模型中紧急制动曲线对应的目标停车点与常用制动曲线对应的目标点停车点之间的距离。其本质是附加在常用制动距离之上的安全富裕量, 是CBTC(基于通信的列车控制)系统制动模型中的关键。它能保证列车在最不利的情况下发生紧急制动, 也可停靠在安全停车点之前。安全防护距离模型如图1所示。

由以上模型, 可以得到 S_d 的计算方法如下:

$$S_d = \max(S_{d_i}) \quad (1)$$

$$S_{d_i} = d_{eb}(v_i) - d_{sb}(v_i) \quad (2)$$

式中:

$d_{eb}(v_i)$ ——在列车允许速度为 v_i 处触发紧急制动, 经过安全制动模型三阶段制动计算得出的紧急制动距离;

$d_{sb}(v_i)$ ——在列车允许速度为 v_i 处触发常用制动, 经过常用制动率制动停车的常用制动距离。

通过以上计算模型可以看出: 为了减小安全防

* 上海市科学技术委员会科研计划项目(14231200900)

护距离,可以通过减小常用制动率,使常用制动距离增大,这样紧急制动距离与常用制动距离的差值减小,从而达到减小安全防护距离的目的。

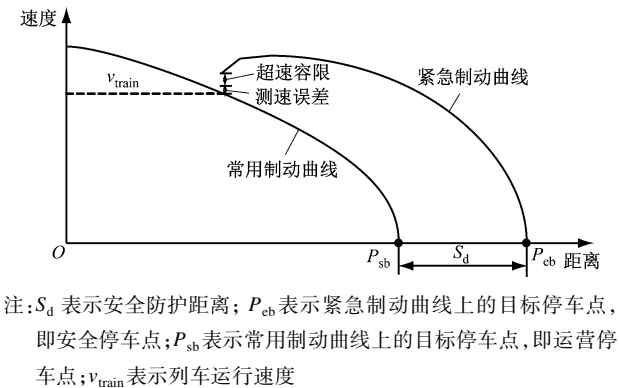


图1 安全防护距离模型示意图

2 线路终端站台进站策略分析

当线路的终端位置及终端站台位置固定时,列车的进站示意如图2所示。

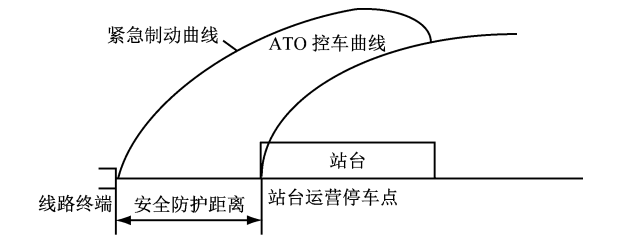


图2 线路终端位置及终端站台位置固定情况下的列车进站示意图

2.1 常用制动率进站分析

当线路终端和终端站台位置确定时,线路的安全防护距离长度一定,此时为了满足站台精确停车的运营需求,需要计算常用制动率。由上述分析可知,当安全防护距离较短时,只能通过减小常用制动率来满足列车能在站台停车点停车。然而,常用制动率的降低可带来进站速度降低、进站时间过长及乘客体验变差等诸多问题。

2.2 变制动率进站分析

当列车采用变制动率进站时,列车停站模型如图3所示。车载ATO控制列车沿着ATO允许速度曲线行驶,考虑在ATO允许速度的基础上叠加速度不确定性和超速容限后触发紧急制动,在安全制动模型规定的三阶段制动停车后,列车可安全地停靠在线路终端。

考虑极限情况,若要求运营停车点尽量靠近车

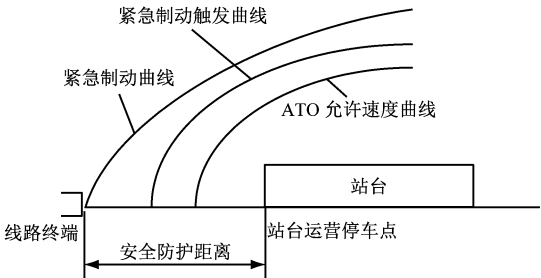


图3 列车采用变制动率进站示意图

档时,兼顾停站效率及舒适度,设计进站方案需考虑以下几个方面:

- (1) 计算并绘制紧急制动触发曲线。该曲线为安全曲线,当车辆特性参数发生变化时,会影响最终的停站距离(计算中已考虑了位置的不确定性)。
- (2) 考虑站台区域速度不确定性和ATO控制范围,在紧急制动触发曲线的基础上,减去超速容限,得到允许速度-距离曲线。该曲线为ATO可控行车曲线。
- (3) 当列车进站靠近终端时,列车速度和加速度均已很小,车辆特性决定此时通过ATO控制已很难调整,此时ATO保持当前加速度进站并对准站台进行停靠。
- (4) 列车停站过程中,需考虑乘客舒适性及冲击极限的要求。

3 上海某轨道交通线路变制动率进站方案仿真分析

3.1 仿真参数选取

为了验证列车采用变制动率进站策略的可行性,以及将其与常用制动率进站策略进行对比,选取上海某轨道交通线路的典型参数对该方案进行仿真分析。选取的参数如表1所示。

3.2 仿真结果分析

3.2.1 列车采用常用制动率进站方案

图4为安全防护距离与常用制动率关系图。由图4可知,当满足11.8 m的安全防护距离时,常用制动率为 0.3 m/s^2 。

此时列车在站台边缘的进站速度为 7.53 m/s ,列车从到达站台边缘至完全停止所用的时间为 25.09 s 。

3.2.2 列车采用变制动率的极限进站方案

图5为采用变制动率的极限进站方案时列车运行速度与安全防护距离关系图。由图5可知,当ATO控制列车完全按照ATO允许速度曲线行驶

时,经仿真可得列车最近可停靠在距离安全停车点 8.01 m 的位置。但实践表明,当 ATO 允许速度较低时,由于车辆特性的影响,会导致 ATO 控车精度变差。

表 1 上海某轨道交通线路变制动率进站方案参数表	
参数	取值
终端安全防护距离长度/m	11.80
列车失控加速度/(m/s ²)	1.00
超速容限/(m/s)	1.00
速度不确定度/(m/s)	0.40
进站时位置不确定度/m	0.80
车辆长度/m	94.40
站台长度/m	94.40
保证紧急制动率/(m/s ²)	-1.08
牵引切除时间/s	0.93
紧急制动施加时间/s	0.90
最大常用制动率/(m/s ²)	1.00
线路坡度/(°)	0

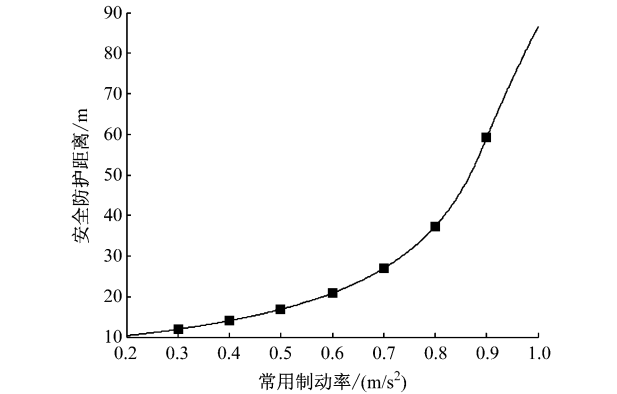


图 4 安全防护距离与常用制动率关系图

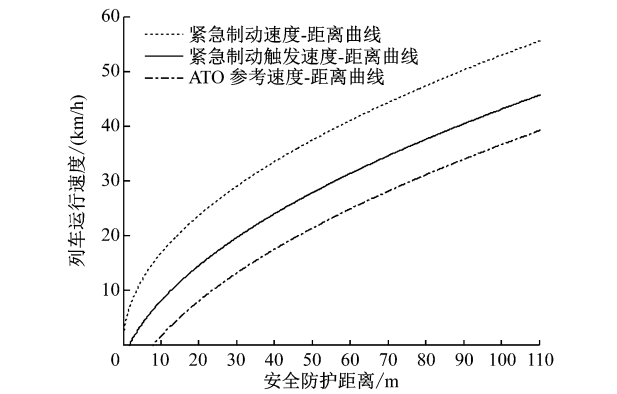


图 5 列车运行速度与安全防护距离关系图

通过仿真可得 ATO 允许速度-距离曲线上对应的加速度(见图 6)。由图 6 可知,当列车靠近停车

点时,ATO 控车的加速度也逐渐减小,此时 ATO 采用变制动率控车的难度变大,相应精度变差。因此,采用优化的控车策略,即列车在接近停车点时采用固定制动率进行对准停车。

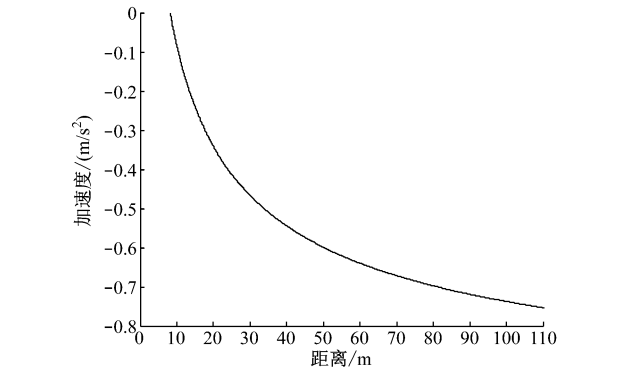


图 6 ATO 控车加速度-距离曲线

为了让列车准确地停靠在站台停车点处,即满足安全防护距离为 11.8 m 的要求,此时可以在 ATO 允许速度-距离曲线上选取一个点,ATO 控制列车行驶至该点时,采用该点固定的制动率将列车停下。假设该点的速度为 v_s ,加速度为 a_s ,则该点的选取需满足 S_{sbm} 与 S_{ser} 的差值为 11.8 m。其中, S_{sbm} 表示在当前 v_s 下,按照安全制动模型三阶段停车的制动距离; S_{ser} 表示在当前 v_s 下,按照固定制动率停车的制动距离。

通过仿真可得“变制动率 + 固定制动率”下的速度-距离曲线,如图 7 所示。

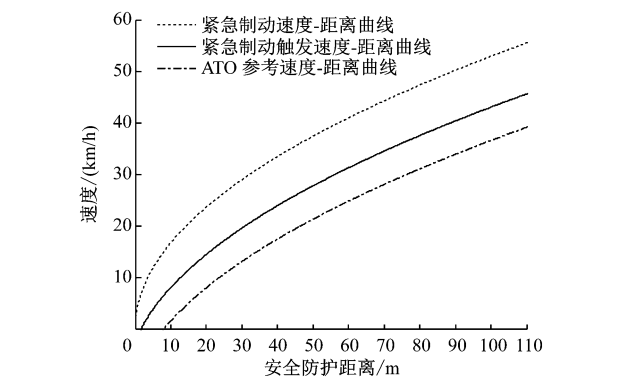


图 7 “变制动率 + 固定制动率”下的速度-距离曲线

图 7 中,当列车距安全防护点的距离为 17.16 m 时,可按照此刻的固定加速度 -0.3 m/s^2 将列车停下。此时计算得出列车在站台边缘处的速度为 10.61 m/s,列车从站台边界至完全停车所用的时间为 20.9 s。

(下转第 156 页)

(1) 长方形地块。这类地块条件最优,长宽比例协调,在长度和宽度条件上较富余,可适应纵列型式、横列型式、倒装型式和半倒装型式等的要求。

(2) 长条形地块。这类地块为狭长形地块,主要指其长度和宽度随地块断面变化而变化,且地块最大长度过长、最大宽度过窄的地块。这类地块一般长宽比不协调且不固定,通常需要采取功能库房拆分与重新组合、增加每线停车列位数、拉长运用库与检修库的距离形成哑铃型布置等措施,来保证站场总平面对地块的适应性,该地块一般较多应用于倒装结构形式中。

(3) 正方形地块。这类地块一般长度与宽度接近,由于地块长度受限,通常运用库、检修库、洗车库并列布置,且运用库采用贯通形式,以满足洗车→停车或列检的工艺要求,一般横列贯通型式对正方形地块的适应性较好。

(4) 凸多边形地块。这类地块一般表现为地块的不规则性,该地块站场总平面图中的运用库与检修库轴线呈一定的夹角,适用于相交结构形式中。

3.2.2 道岔型号对平面布置的影响

道岔的道岔角和导曲线半径对咽喉线路的连接产生重要影响,从而影响到咽喉区与检修库、运用库之间的相互关系。例如,6[#]道岔角度较小,其咽喉呈梭形结构,导曲线半径为 50 m,且其咽喉轴线很难与运用库或检修库保持垂直关系,因此上述横列贯通型式、半倒装型式和相交型式较难适应 6[#]道岔选型。3[#]道岔或梯形道岔由于导曲线半径为 25 m,半径较小,且道岔角度较大,能有效缩短咽喉长度,以及能够满足运用库贯通布置需求。特别地,梯形道岔与横列贯通的组合型式能够有效发挥现代有轨电车车辆段占地节省的特点^[7]。

3.2.3 工艺要求对平面布置的影响

(上接第 77 页)

4 结论

(1) 当列车采用变制动率进站的方案时,在极限情况下,可缩短站后的安全防护距离,适应土建建设的客观条件,降低土建建设成本。

(2) 采用变制动率进站的方案,在终端安全防护距离一定时,可提高进站效率,同时在考虑效率、旅客舒适度的平衡时,可在速度较低时选用更为平滑的固定制动率进站,此时速度曲线更为平滑,提

在实际工程中,工艺对站场结构型式的要求主要表现在洗车工艺(如贯通式洗车、往复式洗车或尽端式洗车),运用库是否贯通布置,以及调车作业进路是否顺畅等方面。

4 结语

本文从工程实际出发,总结了现代有轨电车车辆段站场总平面布置的工作思路,分析了相关影响因素与总平面布置的作用关系,归纳了 6 种通用的总平面布置型式,并从地块形状、道岔类型和工艺特点对各种型式进行了适应性分析,为现代有轨电车车辆段站场总平面布置提供了设计思路和方法。

参考文献

- [1] 张海军,李红雨,胡军红.现代有轨电车旅行速度计算与分析[J].城市轨道交通研究,2017(9):45.
- [2] 张海军,胡军红,杨敏,等.现代有轨电车最小发车间隔及相关指标研究[J].南京工业大学学报(自然科学版),2016(3):107.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013:335-336.
- [4] 上海市住房和城乡建设管理委员会.有轨电车工程设计规范:DG/TJ 08—2213—2016[S].上海:同济大学出版社,2016:160-161.
- [5] 中铁第四勘察设计院集团有限公司.苏州高新区有轨电车 2 号线工程初步设计修编[R].武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司,2016.
- [6] 姚幸.有轨电车与地铁的车辆段比较[J].城市轨道交通研究,2015(7):133.
- [7] 魏笑楠.青岛现代有轨电车梳子型道岔技术[J].都市快轨交通,2017(6):123.
- [8] 邱海波.佛山南海有轨电车车辆基地总图关键要点研究[J].铁道标准设计,2016(6):160.

(收稿日期:2018-03-01)

高了旅客舒适度。

参考文献

- [1] 宋云.移动闭塞中安全距离的分析[J].铁路通信信号工程技术,2009,6(3):45.
- [2] 陈微,邹仕顺,辛骥.基于移动闭塞的列车追踪及其安全性分析[J].铁道通信信号,2009,45(4):18.
- [3] 龙安宝.轨道交通移动闭塞安全距离的仿真研究[J].城市轨道交通研究,2012,15(6):49.

(收稿日期:2017-04-28)