



Analysis of Influencing Factors of Metro Headway Capability

Mingfeng Li

Shanghai Tunnel Engineering & Rail Transit Design and Research Institute, Shanghai, China

Email: 540966370@qq.com

How to cite this paper: Li, M.F. (2024) Analysis of Influencing Factors of Metro Headway Capability. *Open Access Library Journal*, 11: e12449.
<https://doi.org/10.4236/oalib.1112449>

Received: October 10, 2024

Accepted: November 16, 2024

Published: November 19, 2024

Copyright © 2024 by author(s) and Open Access Library Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

It is of practical value and significance to study the influencing factors of the headway capability of moving block system. This paper mainly analyzes the factors affecting the train headway capability in urban rail transit from two aspects: safety braking model and dwell time. The balanced transport capacity of the whole line is realized with reasonable optimization of train speed limit, GEBC value and dwell time value. At the same time, it also puts forward the optimization of the above influence factor values, the need to consider the balance of train, passenger volume, operation, platform door and other professional, and retain a certain margin to meet the safety-related requirements.

Subject Areas

Transportation Engineering

Keywords

Headway capability, Moving block, Safe braking model, Dwell time

1. 引言

列车区间追踪间隔能力是指单位时间内区间最大允许通过的列车对数[1]。地铁的信号系统现在普遍采用基于通信的列车控制技术(即CBTC系统)。因此,研究移动闭塞下的列车区间追踪间隔能力的影响因素,具有一定的实用价值和意义。

国内外研究高速铁路上的区间追踪间隔能力的学者较多。比如,蔡伯根等以高速列车运行安全性、效率、能耗和乘客舒适度作为列车运行控制策略曲线的优化目标,提出了列车弹性追踪间隔模型[2]。朱中毅等研究并建立不同闭塞方式下的列车追踪运行仿真模型,研究分析了不同区间运行限速条件下各类闭塞方式对应列车追踪间隔的差异性[3]。

在城轨系统中,侯黎明等提出通过提升列车的牵引/制动性能来减小列车追踪间隔的解决方案[4]。聂英杰等提出可以通过提高咽喉道岔限速来提高列车在咽喉区的平均通过速度,从而压缩列车出发间隔[5]。Emery 提出使用最大紧急制动率来代替常用制动,以减少列车的制动距离,从而缩短区间追踪间隔[6]。Hasegawa 等以及 Landex 等发现可以通过降低最高运营速度来压缩追踪间隔时间来提高运能[7] [8]。

基于上述的文献总结,缺少对于城市轨道交通安全制动模型参数对于区间追踪间隔时间的影响,以及停站时间中的每个阶段时间对于追踪间隔能力的影响研究的不多。因此,本文主要从安全制动模型和停站时间 2 方面出发,分析安全制动模型部分参数,以及停站时间的部分时间对于列车区间追踪能力的影响程度,从而为不同专业的设计、关键设备选型等提供参考价值。

2. 城轨区间追踪间隔的原理分析

不同于高速铁路,城市轨道交通大部分采用的是移动闭塞技术,区间发车密度高。因此,区间内列车的追踪间隔主要遵循安全制动模型的原则,如图 1 所示[1]。安全制动模型包含 3 个阶段。

第一阶段:列车自动防护系统(即 ATP 系统)在 D_1 处触发紧急制动,此刻的列车速度为 v_1 ;车载 ATP 系统判断列车牵引工况失去作用之前,切除牵引信号的时间为 t_1 。ATP 系统在 D_2 位置时,牵引工况全部切除,此时列车速度为 v_2 ,列车的运行距离为 s_1 。

第二阶段:ATP 系统在 t_2 时,列车不存在牵引工况,但列车还需要继电器动作的完成以切换到施加紧急制动状态,在这段时间内列车既没有牵引也没有制动,列车处于惰行状态,完全依赖于列车所处的上坡/下坡运行。

第三阶段:列车完全施加紧急制动。此时列车速度为 v_3 ,列车所在的位置为 D_3 。

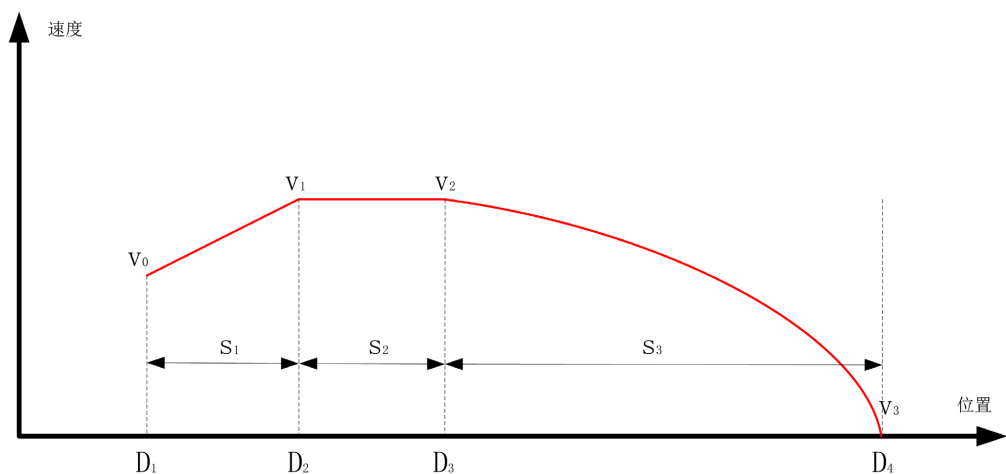


图 1. 安全制动模型示意图

假设整个紧急制动过程中的平均坡度减速度为 a_{grade} , 则安全制动距离的计算可参考表 1 所示的方法和公式。

表 1. 安全制动距离的计算方法

	一阶段[9]	二阶段[9]	三阶段[9]
速度	$v_1 = v_0 + (a_1 + a_{grade})t_1$	$v_2 = v_1 + (a_{grade})t_2$	$v_3 = 0$
距离	$s_1 = v_0 t_1 + \frac{(a_1 + a_{grade})t_1^2}{2}$	$s_2 = v_2 t_2 + \frac{(a_{grade})t_2^2}{2}$	$s_3 = \frac{v_2^2}{2(a_{GEBR} + a_{grade})}$
总距离	$S = s_1 + s_2 + s_3$		

因此，缩短安全制动模型的距离，就可以减少前后追踪列车之间的间隔时间，提高区间运能。

3. 列车区间追踪间隔能力的影响因素分析

3.1. 列车速度的影响分析

根据图 2 所述的安全制动模型，降低列车的最大速度、缩短列车切断牵引的继电器动作反应时间、缩短列车施加制动的切换时间、提高列车的最小保证紧急制动率(即 GEBR)都可以有效减少列车的紧急制动距离。

但是，列车的牵引切断时间、列车施加制动时间和列车的保障紧急制动率都属于车辆的参数[10]-[12]。改变车辆的参数需要对列车进行改造，成本较高。所以，优化列车限速对于正线追踪间隔的影响是性价比最高的。

根据图 1 中的原理分析，由于列车制动做负功将列车从 D_1 位置处，制动停在 D_4 位置，即列车的动能从 $\frac{1}{2}mv_1^2$ 到 0。由于列车的势能与线路坡度有关，属于固定值。所以，列车能量的大小主要取决于列车的动能，即列车速度的大小。

所以，列车速度越低，动能就越小，安全制动距离也相应会变小。但是，速度降低也导致了后续列车通过安全制动距离的时间也可能相对变长了。通过车辆的数据分析可以得到，正线追踪间隔与速度的关系类似于抛物线(见图 2 所示)，列车速度过低时，区间追踪间隔时间反而会突然增大。只有当列车速度等于 30 km/h 左右时，区间追踪间隔时间最短。

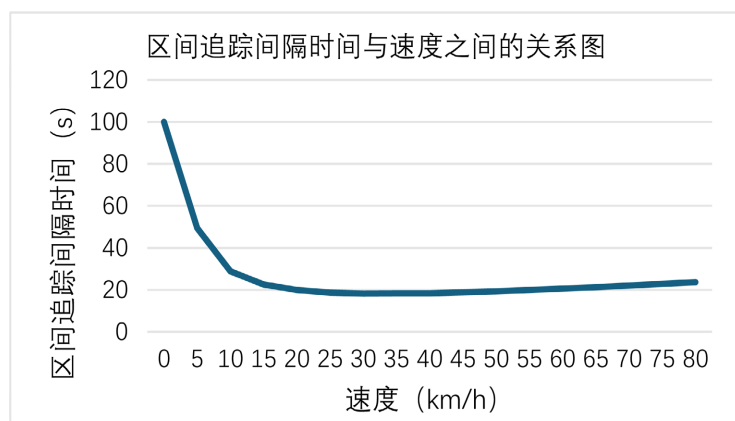


图 2. 区间追踪间隔时间与限速之间的关系曲线

所以，合理设置全线的区间限速，可以实现每个区间的追踪间隔能力的均衡性。

3.2. 列车 GEBR 值的影响分析

GEBR 值是 CBTC 控车安全制动模型中的重要参数，该参数决定了列车安全制动的保护距离长度，目前国内车辆提供给信号的 GEBR 值都比偏低[13][14]，主要原因是考虑各类不利因素的叠加状态。根据表 1 所示的方法，如图 3 所示，50 km/h 速度下，不同 GEBR 值对应的安全制动距离差别很大。

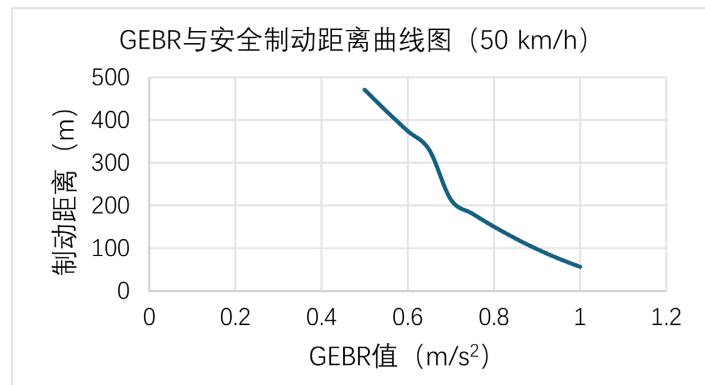


图 3. GEBR 与安全制动距离关系曲线图

因此，提高 GEBR 值，可以快速减少信号系统的安全制动距离，从而减少区间追踪间隔时间。

3.3. 停站时间影响分析

列车在车站的追踪间隔时间直接包含了车站的停站时间[15]。所以，停站时间的减少就是区间追踪间隔时间的减少。如图 4 所示，城轨列车在站台的停站时间包括列车与站台门开/关门时间、乘客上下车时间以及司机确认信号时间 3 部分作业时间值。

列车与站台门开关门时间由车辆与站台门的具体性能参数确定。乘客

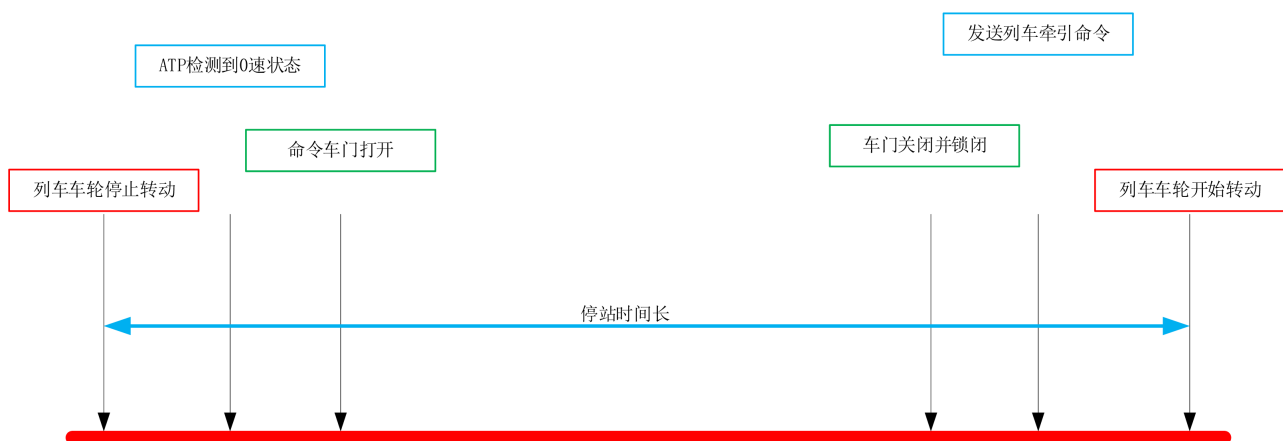


图 4. 列车停站时间分析

上下车时间由运营公司根据各个车站的实际客流量进行调整设置，也属于经验参数；司机确认信号时间可以根据信号系统的优化而改变，比如全自动无人驾驶系统的普及，能够优化该参数值。

4. 结论

本文从安全制动模型部分参数和站台停站时间的细化阶段时间角度分析了城市轨道交通区间追踪间隔的影响因素。通过上述研究，形成以下结论：

1、为了提高区间追踪间隔能力，可以在部分区域采取降低限速的方式实现。但是，这会增加列车在区间的运行时分。因此，需要合理优化列车限速，达到全线的区间运能均衡性，而不能仅考虑部分区间的能力。

2、列车 GEBR 值的优化，需要从车辆的角度去考虑。同时，需要保留一定余量，以满足安全相关的要求。

3、列车停站时间值的优化，需要乘客量、运营、屏蔽门等多个专业综合角度来进行考虑，在保证服务水平的要求下，尽可能缩短列车的停站时间。

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

- [1] 梁宇成, 正波, 黄柒光. 城市轨道交通正线 CBTC 列车追踪间隔的优化[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(12): 76-78.
- [2] 蔡伯根, 孙婧, 上官伟. 高速列车动态间隔优化的弹性调整策略[J]. 交通运输工程学报, 2019, 19(1): 147-160.
- [3] 朱中毅, 彭其渊, 鲁工圆. 准移动闭塞与移动闭塞条件下列车追踪间隔仿真对比分析[J]. 铁道经济研究, 2020(6): 27-33.
- [4] 侯黎明, 孙鹏飞, 聂英杰, 等. 高速铁路追踪间隔分析与优化设计研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(6): 5-11.
- [5] 聂英杰, 胡志垚. 京沪高速铁路北京南站发车追踪间隔研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(11): 28-31.
- [6] Emery, D. (2009) Reducing the Headway on High Speed Lines. *9th Swiss Transport Research Conference*, Monte Verità, 9-11 September 2019, 1-12.
- [7] Hasegawa, D. (2014) The Impact of Different Maximum Speeds on Journey Times, Energy Use, Headway Times and the Number of Trains Required for Phase One of Britain's High Speed Two Line. WIT Press. <https://doi.org/10.2495/cr140401>
- [8] Landex, A. and Kaas, A.H. (2005) Planning the Most Suitable Travel Speed for High Frequency Railway Lines. 1st International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis. TU Delft OPEN Publishing.
- [9] 闫丽霞, 高云波, 李云骢. 城市轨道交通移动闭塞列控系统列车追踪间隔研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(3): 34-37.
- [10] 金娟. 基于移动闭塞原理的列车追踪运行仿真[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [11] 刘畅, 郭进. 基于移动闭塞原理的列车追踪模型及追踪间隔研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2014, 42(2): 70-73.
- [12] 毛保华, 李夏苗. 列车运行计算与设计[M]. 第 2 版. 北京: 人民交通出版社,

- 2013.
- [13] 郜春海. 自主创新 CBTC 系统的核心技术研究[J]. 现代城市轨道交通, 2014(1): 7-10.
- [14] 魏玉光, 夏阳, 赖艺欢. 城市轨道交通线路通过能力计算方法研究[J]. 中国铁道科学, 2018, 39(2): 112-118.
- [15] 李栋, 彭其渊. 高速铁路线路条件对列车追踪间隔时间的影响分析[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(4): 96-104.

Appendix 1. Abstract and Keywords in Chinese

城市轨道交通区间追踪间隔时间影响分析

摘要: 研究移动闭塞下的区间追踪间隔能力及其影响因素, 是具有一定的实用价值和意义。本文主要从安全制动模型和停站时间两方面出发, 分析城市轨道交通中的列车区间追踪能力的影响因素。通过合理优化列车限速、优化列车 GEBR 值以及停站时间值, 实现全线区间运能的均衡性。同时, 本文也提出了上述各个影响因素值的优化, 需要综合考虑列车、乘客量、运营、屏蔽门等多专业的平衡, 并保留一定的余量以满足安全相关要求。

关键词: 区间追踪间隔能力, 移动闭塞, 安全制动模型, 停站时间