

# 既有线列车运营顶篷速度提升方法研究

## Research on the Speed Improvement Method of Roof of Existing Train Operation

李俊<sup>1</sup> 朱文寅<sup>1</sup> 施董燕<sup>2</sup>

Jun Li<sup>1</sup> Wenyin Zhu<sup>1</sup> Dongyan Shi<sup>2</sup>

1. 上海地铁维护保障有限公司 中国·上海 200070

2. 上海申通地铁集团有限公司技术中心 中国·上海 201103

1. Shanghai Metro Maintenance Guarantee Co., Ltd., Shanghai, 200070, China

2. Technology Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., Shanghai, 201103, China

**摘要:** 论文将中国上海 16 号线直达车提速作为分析案例, 在提速过程中以 ATO 速度设计原理作为基础, 相关边界参数为条件, 理论仿真及现场测试为依据, 通过信号系统升级后实现了提速目标。在案例后评估中提炼经验, 明确既有线顶篷速度提升设计提资内容, 总结适合未来既有线列车提速改造方法。

**Abstract:** In this paper, the through train speed increase of Shanghai, China Line 16 is taken as an analysis case. In the process of speed increase, based on ATO speed design principle, relevant boundary parameters, theoretical simulation and field test, the speed increase goal is achieved after the signal system is upgraded. In the case post evaluation, we refined the experience, clarified the content of the ceiling speed improvement design of the existing line, and studied and summarized the reconstruction methods suitable for the future train speed increase of the existing line.

**关键词:** 提速; 信号系统; 设计提资; 改造方法

**Keywords:** increase speed; signal system; design funding; transformation method

**DOI:** 10.12346/etr.v4i12.7456

## 1 引言

随着上海地铁各条线路陆续进入大修更新改造, 既有线运能进一步提升不再成为无法完成的难题。通过前期的研究, 提出影响旅速的还有一个重要的因素就是提升最高运行速度, 目前上海的轨道交通网络设计最高运行速度是 80km/h 的线路, 部分老线信号设计的 ATP 顶篷速度为 80km/h, ATO 目标速度仅 70km/h, 原因是线路、车辆、限界、轨道、信号、结构, 各个专业对最高运行速度的理解和认识不一样, 各专业均考虑安全余量, 导致最终信号的 ATO 目标速度达不到设计的最高运行速度 80km/h。新线设计时参考了企业标准 STB-CL-010002—2015《轨道交通列车运行速度限制与匹配技术规定》进行各专业的匹配设计, 以提高设计旅速, 但对于既有线如何改造, 且外部条件存在较多需要评估的情况, 如土建条件、车辆性能、轨道参数、道岔型号情况等,

因此需研究一套安全、高效的方法, 实现既有线顶篷速度提升, 既可用于大修更新改造, 也可用于局部车站运能提升瓶颈的改造。

## 2 信号 ATO 速度设计原理

根据信号系统 ATP 控车模型计算曲线, ATP 采用安全速度, ATO 采用非安全速度。安全和非安全速度都在车载子系统的轨道数据中给出, 因此随着轨道限速参数以及车辆限速提高, ATO 的速度也会相应增加。

ATO 子系统会通过能量检测, 确保制动力大于列车的动能和势能的总和以保证列车在前方限制点(区间主要限制点为永久速度限制、计轴边界、限制信号、站台防护区段以及授权终点)安全停车。

信号系统是控制列车安全、有效运营的系统, 线路的运

【作者简介】李俊(1987-), 男, 中国上海人, 本科, 工程师, 从事轨道交通信号研究。

营能力很大程度上取决于该线路信号系统的系统能力<sup>[1]</sup>。一般情况下，信号系统中的ATO子系统控制列车在ATP子系统的防护下，以不超过ATP顶速速度的列车速度自动运行。目前ATP紧急制动触发曲线，即ATP超速检测曲线为速度—距离曲线，如图1所示为典型的ATP安全制动模式示意。

ATP子系统如果发现列车测量点的测量速度超过超速检测曲线的限定，就会立即激活紧急制动程序。程序激活后，

ATP子系统就切断牵引回路，列车按照紧急制动曲线进行紧急制动。ATP超速检测曲线包括初始牵引增速阶段，直至牵引取消。

在保证安全的前提下，通过协调车辆、限界、线路、结构、信号等专业之间的速度要求，可使线路运营的效率达到最大化。列车运行控制相关的各类速度之间相对应的关系如图2所示。

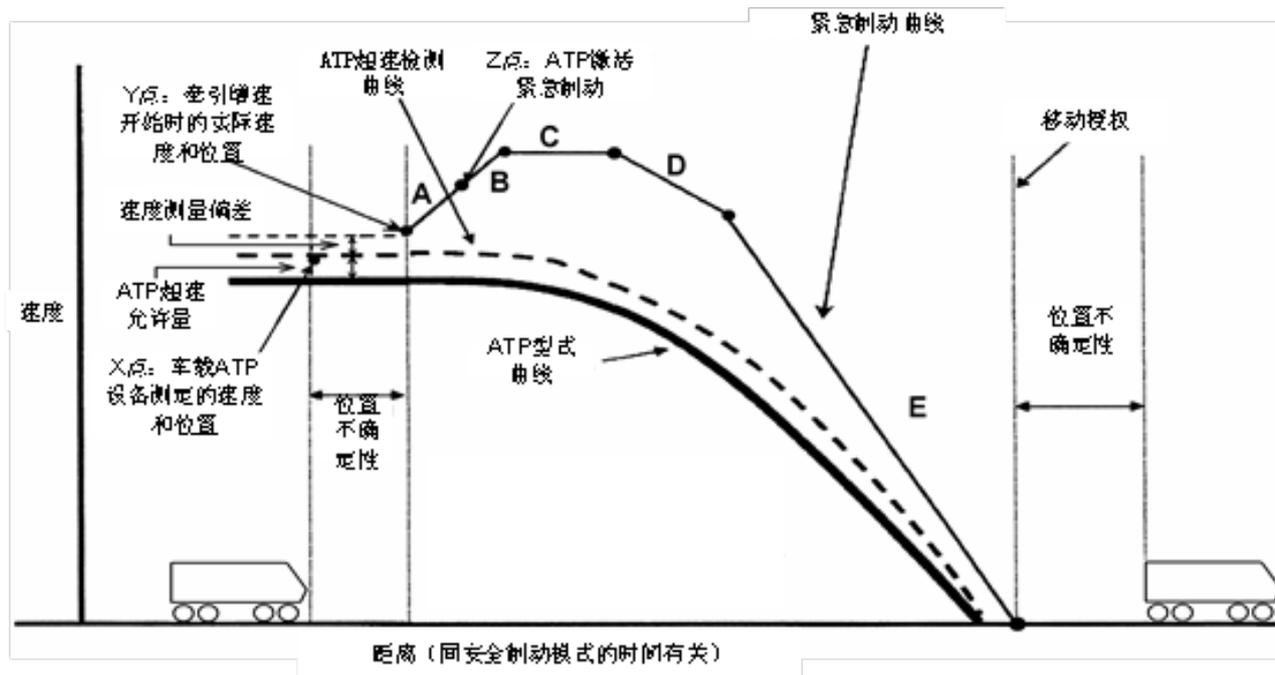


图 1 典型的 ATP 安全制动模式示意图

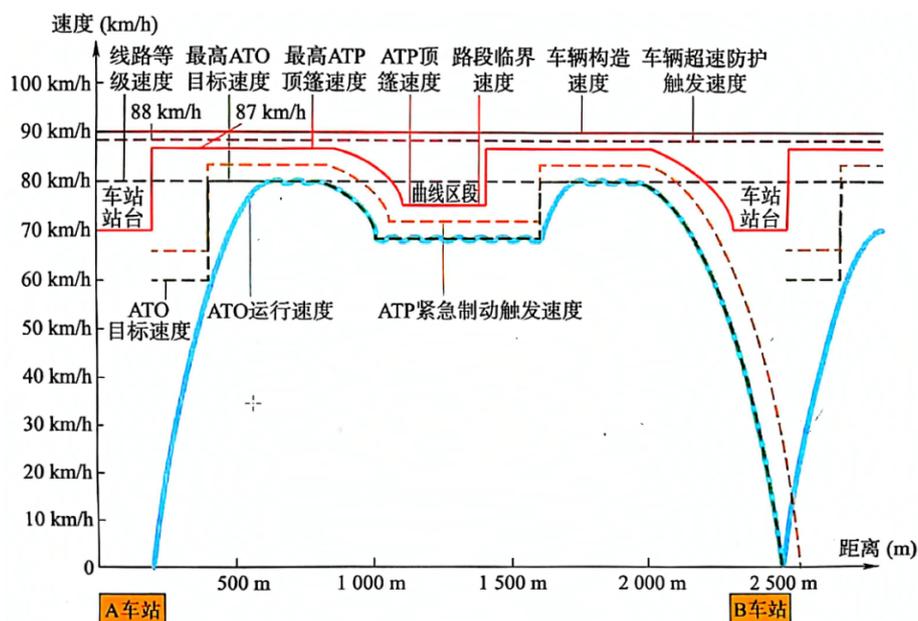


图 2 列车运行控制相关的各类速度之间相对应的关系

### 3 边界条件确认

根据上述影响 ATP 顶蓬速度提升的相关边界条件,需对 16 号线既有的边界情况进行评估,在满足安全前提下通过信号控制软件修改,完成 ATP 顶蓬速度的提升。

上海 16 号线等级速度为 120km/h,根据沪地铁[2016]17 号文件《轨道交通列车运行速度限制与匹配技术规定》,对于不同线路等级速度下的各专业速度的规定,可对现有限速情况做如下提升。

根据表 1 内容评估了既有 16 号线相关限速情况及其他边界情况。

土建限速:区间直向顶蓬速度可由 120km/h 提升至 130km/h;

在曲线地段,路段临界速度根据公式:

$$v = \sqrt{\frac{(h + 76.5)}{11.8} R}$$

其中,  $v$  为路段临界速度;  $h$  为超高;  $R$  为曲线半径进行计算。

当计算值大于等于车辆紧急制动触发速度加 2km/h 时,取该值为路段临界速度<sup>[2]</sup>。假设超高  $h=0$ ,反推在  $R>2700m$  时,曲线限速可提升至 130km/h。

道岔侧向临界速度由 50km/h 提升至 55km/h。

列车最大车速由 120km/h 提升至 130km/h。其余车辆相关参数保持不变,如表 2 所示。

其余边界条件如站台限速保持 80km/h 不变,全线各站停站时间保持不变。

表 1 既有 16 号线相关限速情况及其他边界情况

| 线路等级速度 (km/h) | 车辆构造速度 (km/h) | 车辆超速防护触发速度 (km/h) | 最大动态包络线计算速度 (km/h) | 结构设计速度 (km/h) | 最高 ATP 顶蓬速度 (km/h) | ATP 目标速度 (km/h) |
|---------------|---------------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------|-----------------|
| 80            | ≥90           | 88                | 90                 | ≥90           | 87                 | ≥78             |
| 100           | ≥110          | 108               | 110                | ≥110          | 107                | ≥98             |
| 120           | ≥135          | 128               | 130                | ≥130          | 127                | ≥118            |

表 2 列车最大车速改变,其余车辆相关参数保持不变

|                                 | 值     | 说明                   |
|---------------------------------|-------|----------------------|
| 列车车长 (m)                        | 72.08 |                      |
| 旋转质量 (%)                        | 10    |                      |
| 冲击极限 (m/s <sup>3</sup> )        | 0.75  |                      |
| ATP 最大牵引加速度 (m/s <sup>2</sup> ) | 1.22  |                      |
| 编码里程计安装于制动 / 牵引轴上               | 是     | 在此情况下,空转 / 打滑系数为 15% |
| 制动                              |       |                      |
| 保障紧急制动率 (m/s <sup>2</sup> )     | -0.79 |                      |
| 时间                              |       |                      |
| 牵引切除时间 (s)                      | 1.087 | 包括 ATC 时间            |
| 施加制动时间 (s)                      | 0.85  |                      |

### 4 优化提升效果

#### 4.1 信号实施内容

在上述边界条件确认可提升的前提下,信号系统根据新的边界条件主要执行了以下内容。

①系统设计根据新的输入进行升级:包括防护区段长度重新设计、紧急制动率长度重新计算、联锁、ATS 及 ATC 的各时间参数重新计算、对室外设备位置进行评估,确定是否需要移动;

②系统数据进行升级:包括根据系统设计计算结果,检

查对系统数据的影响、对影响部分进行重新制作、审核;

③ ATC、ATS、联锁子系统升级;包括梳理系统层修改内容、修改进路锁闭区段、修改授权终点长度、修改进路触发区段、修改解锁时间、修改后备时间参数;

④对升级的数据进行室内仿真测试;

⑤现场进行相关数据调试;

⑥现场完成所有软件升级。

#### 4.2 提升效果

经过信号系统软件升级后,16 号线运能提升的实际效

果主要见表3、表4。

ATO 最高运行速度可达到 120km/h，提升 10km。

旅行速度可达到 71 km/h 左右，提升 1km（不考虑提升折返效率时所增加额限速）。

龙阳路、滴水湖折返效率可达到 1min 55s，提升 65s。

上行运行时间缩短 13.1s，下行运行时间增加 5.3s。

若按照 2 分半的间隔运行，开行对数为 24 对 /h，需要列车数量 39 辆（仅只上线所需列车数量）；

若按照 2 分的间隔运行，开行对数为 30 对 /h，需要列车数量 48 辆（仅只上线所需列车数量）。

表 3 旅行速度

| 运行方向           |     | 龙阳路站至滴水湖站（上行） | 滴水湖站至龙阳路站（下行） |
|----------------|-----|---------------|---------------|
| 旅行速度 km/h      | 提速前 | 70.2452       | 70.0669       |
|                | 提速后 | 71.5022       | 70.9296       |
|                | 提升  | 1.257         | 0.8627        |
| 运行时间 /s        | 提速前 | 3009.2        | 3017.4        |
|                | 提速后 | 2956.3        | 2980.7        |
|                | 降低  | 52.9          | 36.7          |
| 最高 ATO 速度 km/h | 提速前 | 110           | 109.7         |
|                | 提速后 | 120.1         | 119.6         |
|                | 提升  | 10.1          | 9.9           |

表 4 区间运行时间

| 区间      | 龙阳路   |       | 华夏中路  |       | 罗山路   |       | 周浦东   |       | 鹤沙航城  |       | 航头东   |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | 华夏中路  |       | 罗山路   |       | 周浦东   |       | 鹤沙航城  |       | 航头东   |       | 新场站   |       |
|         | 上行    | 下行    |
| 目前最大速度  | 109.2 | 108.9 | 108.4 | 109.5 | 108.9 | 109.3 | 109.0 | 109.0 | 109.0 | 109.7 | 110.0 | 109.6 |
| 提升后最大速度 | 118.8 | 114.8 | 108.6 | 109.7 | 116.2 | 116.5 | 118.4 | 119.1 | 116.4 | 117.4 | 114.5 | 113.9 |
| 速度提升    | 9.6   | 5.9   | 0.2   | 0.2   | 7.3   | 7.2   | 9.4   | 10.1  | 7.4   | 7.7   | 4.5   | 4.3   |
| 时间提升    | 1.9   | 1.2   | 0.2   | 0.4   | 4     | 3.9   | 3.1   | 3.7   | 1.4   | 1.2   | 0.6   | 0.9   |
| 区间      | 新场站   |       | 野生动物园 |       | 惠南    |       | 惠南东   |       | 书院    |       | 临港大道  |       |
|         | 野生动物园 |       | 惠南    |       | 惠南东   |       | 书院    |       | 临港大道  |       | 滴水湖   |       |
|         | 上行    | 下行    |
| 目前最大速度  | 109.7 | 109.6 | 108.4 | 109.4 | 110.0 | 108.5 | 109.0 | 109.0 | 108.6 | 109.6 | 109.8 | 108.5 |
| 提升后最大速度 | 119.8 | 119.3 | 118.8 | 119.2 | 114.1 | 114.6 | 119.4 | 119.4 | 119.0 | 119.9 | 120.1 | 118.3 |
| 速度提升    | 10.1  | 9.7   | 10.4  | 9.8   | 4.1   | 6.1   | 10.4  | 10.4  | 10.4  | 10.3  | 10.3  | 9.8   |
| 时间提升    | 5.2   | 4.3   | 5.2   | 4.5   | 1.1   | 1.1   | 18.5  | 18.4  | 10    | 7.4   | 1.7   | 1.7   |

### 5 既有线路顶蓬速度提升方法

通过 16 号线顶蓬速度提升工作，直接实现了直达车在 30 分钟内完成 16 号线全程 60KM 的运营要求，充分总结本次工作，从安全角度、经济角度、技术角度，并结合大修更新改造契机，形成了初步的顶蓬速度提升工作机制。

第一步复核既有线路各专业的性能数据，首先根据既有线路情况确认各专业边界条件，包括车辆、信号、站台门、线路以及道岔等专业条件，根据上述专业由于线路年限长久产生部分性能指标下降，无法通过原来设计文件中的性能

指标开展提速设计，其中线路数据以及车辆性能需进行第三方测量和评估，其余专业做好原设备的型号性能确认，并获取数据<sup>[3]</sup>。

第二步数据清洗测算形成限速要求，根据第三方测量和评估的结果，设计单位对相关数据进行分析，并测算形成包括线路限速、曲线限速、道岔限速、站台限速等数据。

第三步设计单位向信号系统商进行提资线路限速情况、平纵断面情况，信号系统商进行列车运行仿真，根据提速目标，形成对车辆专业的要求，包括牵引热容量、制动热

容量和车体结构<sup>[4]</sup>。

第四步车辆原厂商或具备技术能力的整车厂组织对车辆相关性能要求进行评估,以确保车辆在新的运行要求满足安全和效率的要求,并与信号方稳定相关接口要求。

最后,大修更新改造实施方根据详细设计结果,进行系统更新改造或局部软件升级,完成后大量开展现场运营测试,包括性能测试、压力测试、综合演练等工作,从而最终确认顶篷速度提升的目标达成。

## 6 结语

论文通过 16 号线提速后评估,提出了既有线顶篷速度提升方法。该方法阐述提升顶篷速度的前期设计提资内容及

相关边界条件的评估流程,从而为实现既有线顶篷速度提升提供了理论上的基础。该方法既可用于既有线大修更新改造,也可用于局部运能提升瓶颈的改造,为实施提供借鉴和参考。

## 参考文献

- [1] 易立富.地铁系统列车最高运行速度分析[J].铁道通信信号,2011,47(12):1-3.
- [2] 张知青.城市轨道交通旅行速度影响因素分析及提升实践[J].都市快轨交通,2021,34(2):48-53.
- [3] 施董燕.城市轨道交通线路限速与列车自动防护顶篷速度匹配性设计探讨[J].城市轨道交通研究,2017(5):80-82.
- [4] 裴伟民.提升上海地铁12号线运行速度[J].上海质量,2018(2):66-69.