

# 市域(郊)铁路信号系统制式比选及建议

成正波<sup>1,2</sup> 刘华祥<sup>1,2</sup>

(1. 上海轨道交通无人驾驶列控系统工程技术研究中心, 200071, 上海;

2. 卡斯柯信号有限公司, 200071, 上海 // 第一作者, 工程师)

**摘要** 基于市域(郊)铁路公交化运营、互联互通运行的功能需求,对现有信号系统制式与市域(郊)铁路的匹配性进行了分析。建议根据市域(郊)铁路运营需求的差异,选择相匹配的市域(郊)铁路信号系统。

**关键词** 市域(郊)铁路; 信号系统; 互联互通; 公交化运营  
**中图分类号** U239.57

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2021.04.017

## Comparative Selection and Suggestion of Suburban Railway Signaling System Format

CHENG Zhengbo, LIU Huaxiang

**Abstract** The matching performance between existing signaling system format and suburban railway is analyzed based on function requirements of mass transit operation and interoperable operation of suburban railways. It is suggested to choose the appropriate match of suburban railway signaling system according to different requirements of suburban railway operations.

**Key words** suburban railway; signaling system; interoperation; mass transit operation

**Author's address** Shanghai Engineering Research Center of Driverless Train Control of Urban Guided Transport, 200071, Shanghai, China

市域(郊)铁路具有高密度、通勤化、公交化的服务特性,以及距离长、速度快、服务范围广、站间距大等特点。其服务范围、技术特征和运输组织特点均介于国家铁路和常规地铁(轻轨)之间。为增强城市对外辐射能力,市域(郊)铁路要实现与国家铁路干线的互联互通。

## 1 现有信号系统

目前,我国轨道交通信号系统主要有国家铁路的CTCS(中国列车运行控制系统)和地铁的ATC(列车自动控制)系统。当前已开通的市域(郊)铁路信号系统也主要来自于这两大系统<sup>[1]</sup>,以及STCS(Suburban Train Control System,市域铁路列

车控制系统)。

### 1.1 CTCS

CTCS主要有CTCS-2级和CTCS-3级列车运行控制(以下简为“列控”)系统。为满足城际铁路的公交化运行需求,珠三角城际铁路采用了CTCS-2+ATO(列车自动运行)信号系统。

CTCS-2级信号系统应用于设计时速不高于250 km的线路,采用准移动闭塞制式。其采用ZPW-2000系列无绝缘轨道电路来检查列车占用情况,并向列车传送列车运行前方的空闲闭塞分区数或进路信息;通过点式应答器向车载设备传送临时限速、列车定位、线路参数等信息。地面可不设通过信号机,以ATP(列车自动保护)车载信号设备的信号作为行车凭证。列控车载设备根据轨道电路和应答器传送的信息生成目标-距离速度控制曲线来监控列车运行。

CTCS-2+ATO信号系统在CTCS-2级基础上叠加了ATO系统,能满足列车超速防护、列车自动运行调整、列车自动驾驶、站台精确定位停车、列车车门与站台门防护及联动控制、防淹门、站台紧急关闭防护的需求。

CTCS-3级信号系统应用于时速不高于350 km的线路,仍采用准移动闭塞制式。其增加了RBC(无限闭塞中心)和GSM-R(铁路综合数字移动通信系统)设备。轨道电路仅用于检查列车占用情况;应答器用于列车定位,传输GSM-R网络注册及RBC切换等信息;地面RBC和车载设备通过GSM-R无线网络传输行车许可和线路数据等信息。CTCS-3级列控系统配合ZPW-2000系列无绝缘轨道电路提供的低频信息,可自动向下兼容CTCS-2级列控系统。

CTCS-2和CTCS-2+ATO及CTCS-3目前已大规模应用。根据相关经验,这些系统较为成熟稳定,可实现市域(郊)铁路与国家铁路的跨线运营及

互联互通。

### 1.2 ATC 系统

地铁 ATC 系统采用 CBTC(基于通信的列车控制)方案,为移动闭塞制式。CBTC 系统的控制精度高,后车可以追踪到前车的尾部,最小行车间隔可达到 90 s;CBTC 系统的自动化程度非常高,可实现 ATO 乃至 UTO(无人驾驶),可使列车自动化等级达到 GoA 4 级。

CBTC 系统采用车地无线通信传输方式,不仅可大量减少轨旁设备,而且可实现高精度的主动列车定位及车地之间的双向实时通信,具有更高的效率和灵活性。

### 1.3 STCS

STCS 是一种充分借鉴国内外类似项目的建设案例和经验,以目前既有成熟列车控制系统为基础,以功能需求为导向构建的兼容 CTCS-2 和 CBTC 的移动闭塞列车控制系统,具备以移动闭塞为基础的高密度、公交化运营能力,并能实现与 CTCS-2 线路的互通运行。

## 2 市域(郊)铁路功能需求分析

《关于促进市域(郊)铁路发展的指导意见》(发改基础[2017]1173 号)要求:市域(郊)铁路在充分利用既有铁路的基础上,有序新建部分线路,优化完善市域(郊)铁路网络;市域(郊)铁路原则上应采用公交化运营模式。

### 2.1 互联互通运营需求

无论是新建线路,还是利用既有铁路线改造的线路,市域(郊)铁路内部及其同国家铁路、城际铁路或其他市域(郊)铁路均有互联互通运营的需求,其信号系统也必须满足互联互通的运营需求。

### 2.2 公交化运营需求

市域(郊)铁路是连接新城及新市镇的纽带,肩负减轻城市交通压力、构建“公交-市域铁路-铁路出行”便捷出行链的重任,具有公交化运营的服务特性。

为了实现公交化运营,市域(郊)铁路还须具备自动驾驶、精确停车、自动开关门、联动屏蔽门及安全门等 ATO 相关功能,既能为列车精确对标停车及正确开门提供有力的技术保障,也能有效减轻司机和站台客运人员的劳动强度,提高自动化水平和运营效率。

可见,市域(郊)铁路信号系统必须满足公交化

运营的需求,具备 ATO 相关功能。

## 3 信号系统对功能需求的适应性分析

### 3.1 信号系统对互联互通及 ATO 功能的适应性分析

不同信号系统的互联互通适应性分析如表 1 所示。

表 1 不同信号系统的互联互通适应性分析

互联互通对象	不同信号系统的互联互通要求				
	CTCS-2	CTCS-2+ATO	CTCS-3	CBTC	STCS
国家铁路	满足	满足	满足	不满足	满足
其他城际铁路或市域铁路	满足	满足	满足	不满足	满足
市域铁路内部	满足	满足	满足	满足	满足

在中国铁路总公司主导下,制定了 CTCS 统一标准,以满足不同系统设备、不同车载设备及不同等级 CTCS 间的互联互通要求。

地铁 CBTC 系统目前没有统一的标准。互联互通型 CBTC 系统虽可实现不同供应商 CBTC 之间的互联互通,却不能满足与 CTCS 互联互通的要求。

CTCS-2+ATO 系统与 CBTC 系统均能实现 ATO 相关功能。CTCS-2 及 CTCS-3 均未能实现 ATO 相关功能。

根据互联互通及 ATO 相关功能的要求,市域(郊)铁路信号系统应采用 CTCS-2+ATO 系统或能兼容 CTCS-2+ATO 的 STCS。

### 3.2 信号系统对公交化运营的适应性分析

#### 3.2.1 CTCS-2+ATO 系统

CTCS-2+ATO 系统的核心理念是区间自动闭塞追踪运行。CTCS-2+ATO 系统通过调整闭塞分区的长度来优化区间追踪间隔,可使得最小区间追踪间隔缩至 3 min。CTCS-2+ATO 系统的区间追踪间隔取决于站台区域追踪间隔与折返区域追踪间隔。

##### 3.2.1.1 站台区域追踪间隔

站台区域追踪有两种情况:①到通,当车站存在配线时,前行列车到发线进站停车,后行列车正线通过;②到到,当车站没有配线时,前行列车到发线进站停车,后行列车到发线进站停车。

与到通追踪间隔相比,到到追踪间隔需要多考虑停站时间及列车出清站台的时间。因此,站台区域追踪间隔的最大值为到到追踪间隔。

站台区域追踪间隔时间计算为:

$$t_{\text{到到}} = (L_{\text{制}} + L_{\text{防}} + L_{\text{进站}})/v_{\text{到达}} + (L_{\text{标}} + L_{\text{列}})/v_{\text{出发}} + t_{\text{到达作业}} + t_{\text{停站}} \quad (1)$$

式中：

- $t_{\text{到到}}$ ——前后两列车到达站台的时间间隔；
  - $L_{\text{制}}$ ——列车制动距离；
  - $L_{\text{防}}$ ——安全防护距离；
  - $L_{\text{进站}}$ ——从进站防护信号机至站台停车点的距离；
  - $v_{\text{到达}}$ ——列车到达进站防护信号机干扰点时的运行速度；
  - $L_{\text{标}}$ ——站台停车后,列车车头与出站信号机的距离；
  - $L_{\text{列}}$ ——列车的车长；
  - $v_{\text{出发}}$ ——列车出清( $L_{\text{标}}$ 与 $L_{\text{列}}$ )的运行速度；
  - $t_{\text{到达作业}}$ ——列车到达时接车作业时间；
  - $t_{\text{停站}}$ ——列车停站时间。
- 当设计行车速度为 160 km/h、 $t_{\text{停站}}=40\text{ s}$ 、 $t_{\text{到达作业}}=16\text{ s}$  时,闭塞分区长度为 800 m 时,经过牵引计算,  $t_{\text{到达}}=103\text{ s}$ 、 $t_{\text{出发}}=42\text{ s}$ 。由式(1)可得,  $t_{\text{到到}}$  为 201 s。

3.2.1.2 折返区域追踪间隔

根据折返站的站型,折返区域追踪间隔可按站前折返与站后折返两种情况计算。站前折返的追踪间隔往往大于站后折返的追踪间隔,故本文仅分析站前折返的情况。

根据文献[2]第 6.1 条与第 6.5 条的规定,采用 CTCS-2+ATO 系统的线路在列车折返作业时需执行相应操作流程<sup>[2]</sup>。因此,列车在折返站的停站时间必须满足完成规定操作流程的需要。珠三角广

惠城际铁路为国内已开通运营的、且采用 CTCS-2+ATO 系统的线路,根据该线路莞惠段(东莞—惠州段)的折返运营数据,计算列车按照规定流程完成折返站从进站停车至折返站起动发车所需的理论时间:在单司机配置下为 335 s 左右,在双司机配置下为 240 s 左右。

上海市域铁路嘉闵线的嘉定北车站型简图如图 1 所示。

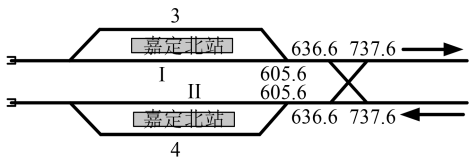


图 1 嘉闵线嘉定北车站型简图

嘉定北站的站前单折返追踪间隔相关参数如表 2 所示,进而可得嘉定北站的站前单折返追踪间隔见表 2。表 3 及表 4 为嘉定北站站前交替折返的相关参数,进而可得嘉定北站的站前交替折返追踪间隔如表 5 所示。

表 2 嘉定北站站前单折返追踪间隔

折返过程参数	时间/s	
	单司机配置	双司机配置
进路办理时间	16.0	16.0
列车从最远一组道岔防护信号机的干扰点至站台停车的时间	123.7	123.7
司机按照规定的流程完成折返站从进站停车至折返站起动发车所需时间	335.0	240.0
列车从站台发车至出清站前咽喉区的运行时间	60.9	60.9
站前单折返追踪间隔	535.6	440.6

表 3 嘉定北站 CTCS2+ATO 单司机站前交替折返追踪间隔相关数据

发车序号	嘉定北站发车时间/s	嘉定北站清站前道岔区域的时间/s	进路办理及解锁时间/s	接车序号	嘉戢公路站发车时间/s	道岔防护信号机干扰点的时间/s	出清站前道岔区域的时间/s	进路办理及解锁时间/s	嘉定北站到达时间/s	停站时间/s
1	0	60.9	76.9	1	-124.0	77.3	170.3	186.3	201.0	335.0
2	268.0	328.9	344.9	2	144.0	345.3	438.3	454.3	469.0	335.0
3	536.0	596.9	612.9	3	412.0	613.3	706.3	722.3	737.0	335.0
4	804.0	864.9	880.9	4	680.0	881.3	974.3	990.3	1 005.0	335.0
5	1 072.0	1 132.9	1 148.9	5	948.0	1 149.3	1 242.3	1 258.3	1 273.0	335.0
6	1 340.0	1 400.9	1 416.9	6	1 216.0	1 417.3	1 510.3	1 526.3	1 541.0	335.0

注：嘉戢公路站为嘉定北站的上一站,当采用嘉定北站第一列车的发车时间为 0 时刻基准时,从嘉戢公路站发车的第一列列车时间为负值。下同。

分析正线与折返区域的追踪间隔可知:终端站的折返间隔是整条线路公交化运营能力的瓶颈点;在不固定乘客上下车站台的情况下,采用现有 CTCS-2+ATO 系统时的列车最小追踪间隔可达到

221 s 左右,能满足较低的公交化运营能力需求(运行间隔大于 4 min)。

3.2.2 STCS 系统

STCS 具备移动闭塞的追踪能力,控制精度高,

表 4 CTCS-2+ATO 双司机站前交替折返追踪间隔相关数据

发车序号	嘉定北站发车时间/s	嘉定北站清站前道岔区域的时间/s	进路办理及解锁时间/s	接车序号	嘉戡公路站发车时间/s	道岔防护信号机干扰点的时间/s	出清站前道岔区域的时间/s	进路办理及解锁时间/s	嘉定北站到达时间/s	停站时间/s
1	0	60.9	76.9	1	-124.0	77.3	170.3	186.3	201.0	241.0
2	221.0	281.9	297.9	2	97.0	298.3	391.3	407.3	422.0	335.0
3	442.0	502.9	518.9	3	318.0	519.3	612.2	628.3	643.0	241.0
4	663.0	732.9	739.9	4	539.0	740.3	883.3	749.3	864.0	241.0
5	884.0	944.9	960.9	5	760.0	961.3	1 054.3	1 070.3	1 085.0	241.0
6	1 105.0	1 165.9	1 181.9	6	981.0	1 182.3	1 275.3	1 291.3	1 306.0	241.0

表 5 嘉定北站站前交替折返追踪间隔

折返类型	折返追踪间隔	
	单司机配置	双司机配置
站前交替折返	268 s 等间隔	221 s 等间隔

可使后车追踪到前车的尾部,使正线最小追踪间隔达 90 s。采用 STCS 时,限制列车追踪间隔的主要瓶颈点为列车折返能力。因此主要分析 STCS 下的站前折返能力。

同样以图 1 嘉定北折返站为例,在 STCS 移动闭塞下的折返能力如表 6~8 所示。

通过分析表 6、表 7 及表 8 的 STCS 追踪间隔可知:终端站的折返间隔是整条线路公交化运营能力的瓶颈点;在固定乘客上下车站台的情况下,列车

最小追踪间隔可达约 180 s,能满足较高的公交化运营能力需求(运行间隔小于 3 min)。

表 6 移动闭塞站前单折返追踪间隔计算表

折返过程	时间/s
进路办理时间	16.0
列车从最远一组道岔防护信号机的干扰点至站台停车的时间	63.8
站台停站时间	40.0
列车从站台发车至出清站前咽喉区的运行时间	59.1
站前单折返追踪间隔	178.9

表 7 移动闭塞站前交替折返追踪间隔

嘉定北站	折返间隔/s
站前交替折返	156(等间隔)

表 8 STCS 系统站前交替折返追踪间隔相关数据

发车序号	嘉定北站发车时间/s	嘉定北站清站前道岔区域的时间/s	进路办理及解锁时间/s	接车序号	嘉戡公路站发车时间/s	道岔防护信号机干扰点的时间/s	出清站前道岔区域的时间/s	进路办理及解锁时间/s	嘉定北站到达时间/s	停站时间/s
1	0	59.1	77.1	1	-46.6	77.1	137.6	155.6	157.1	154.9
2	156.0	215.1	233.1	2	109.4	239.1	283.7	301.7	302.9	165.1
3	312.0	371.1	389.1	3	265.4	389.1	449.6	467.6	469.1	154.9
4	468.0	527.1	545.5	4	421.4	551.5	595.7	613.7	614.9	165.1
5	624.0	683.1	701.1	5	577.4	701.1	761.6	779.6	791.1	154.9
6	780.0	839.1	857.1	6	733.4	863.1	907.7	925.7	926.9	165.1

3.2.3 STCS 互通性分析

STCS 是兼容 CTCS-2 的移动闭塞系统,故 STCS 可以实现与 CTCS-2 线路的互联互通跨线和共线运营。STCS 系统具备互联互通 CBTC 功能,也可以实现与其他城市轨道交通线路的互通运营见图 2。

STCS 的架构和原理决定了其支持车载兼容和轨旁兼容两种场景配置:通过配置兼容型的车载设备来满足列车同铁路 CTCS 线路及地铁移动闭塞线

路的互联互通和跨线运营;通过配置兼容型的轨旁设备来满足铁路列车与地铁列车的互联互通和跨线运营。

4 结语

对于市域(郊)铁路而言,CBTC 移动闭塞信号系统能更好地发挥公交化运营的优势,同时为了满足互通运行的需求,至少应支持 CTCS-2 的运行,因此:

(下转第 78 页)

突兀地保留在车厢里,要么费事移入老机柜位置,流程复杂。兼容性车载信号系统方案中直接将老机柜拆除,并在同位置放入新机柜,流程简单。

2) 对运营的影响。在信号系统完成升级后,为缩小追踪间隔并提高折返能力,增购列车势在必行。兼容性车载信号系统可以直接在增购的列车上安装,待调试完成后即可批量替换下线改造的既有列车,故能充分保证可用列车数,满足运能需求,在计划安排合理的情况下,甚至还能边改造边增能。在直接翻新 CBTC 车载子系统方案里,增购的列车都是新系统,无法替换线上列车,列车改造只能选择少量扣车进行,否则就无法保证运能。

3) 倒接的风险。直接翻新 CBTC 车载子系统方案中,为满足调试需要,在夜间用倒接开关切换新老系统,如在此期间出现问题则会影响次日运营,且倒接开关长期接在车载设备内也是一大风险。兼容性车载信号系统先天就能适应两种制式,无需设置倒接开关,彻底消除了多车压力测试、数十辆车一起倒接的风险。

4) 节省调试资源方面。兼容性车载信号系统可以在既有轨旁设备下调试包括车辆接口等绝大部分功能,而无需轨旁设备为了配合车载调试反复倒接。其 CBTC 部分的功能除自动折返外,基本都可以在试车线上完成,大大降低了调试难度,更无

需为增加夜间调试时间提前结束运营。

5) 后备模式方面。直接翻新 CBTC 车载子系统方案中,信号系统后备模式普遍是采用计轴、有源应答器设备与计算机联锁共同构建的,具备 ATO (列车自动运行) 及 ATP 功能的点式降级系统。点式降级系统虽然可以通过增加信号系统区间设备、减小轨道区段长度来缩短运营间隔,但仍较难满足骨干线路极短的运营间隔要求。兼容性车载信号系统保留了既有制式作为后备模式,可提供近似于主用系统的运营间隔,列车的降级运行基本不影响运能。

#### 4 结语

兼容性车载信号系统是不局限于特定供应商的系统。对即将升级改造的线路,只需新旧供应商谈妥协议,兼容性车载信号系统就能实现。因此,其具有相当广泛的适用性,尤其适合需升级增加运能,又不能因为改造影响运能的骨干线路。

#### 参考文献

[1] 马永恒.城市轨道交通信号系统改造倒接方案设计[J].微电机与应用,2015(19):7.  
[2] 周波.轨道交通信号系统大修升级对既有线路的运营影响及技术措施[J].交通世界,2014(23):303.

(收稿日期:2020-08-31)

(上接第 74 页)

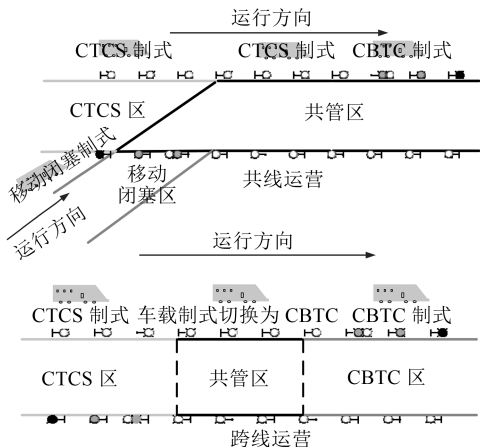


图 2 STCS 市域信号系统互联互通场景

1) 对于公交化运营间隔(大于 4 min)要求不高、接受在不同站台乘车的线路,可采用 CTCS-2+ATO、STCS 信号系统。

2) 对于公交化运营间隔(小于 3 min)要求较高的线路,建议采用 STCS 的移动闭塞信号系统。

#### 参考文献

[1] 徐洋.市域铁路信号系统互联互通方案研究[J].铁道通信信号,2018,54(6):69.  
[2] 中国铁路总公司.城际铁路 CTCS2+ATO 列控系统暂行总体技术方案:铁总科技[2013]79 号[S].北京:中国铁路总公司,2013.

(收稿日期:2020-12-21)