

市域轨道交通网络化运营信号系统技术应用及 方案选择

梁紫玥

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//助理工程师)

摘要 目的:目前,市域轨道交通信号系统制式的选择面临较大的困难,信号系统制式对线路运营组织管理模式具有决定性的作用,因此有必要对影响市域轨道交通信号系统的相关因素进行深入研究,选择适宜的信号系统制式。方法:介绍了现有信号系统制式选择存在的问题;介绍了我国主要的信号系统制式;对信号系统制式方案的选择因素进行了分析,并总结了选择信号系统制式方案时需考虑的因素。结果及结论:现有的CBTC(基于通信的列车控制)信号系统及CTCS2(中国列车控制系统C2级)系统不能完全匹配市域轨道交通公交化运营及线网互联互通的运营要求;目前,可供市域轨道交通选择应用的主要信号系统制式包括CBTC信号系统制式、CTCS2信号系统制式及STCS(市域轨道交通列车控制系统)兼容型信号系统制式;市域轨道交通信号系统选择因素大体可分为系统技术限制因素、运营管理模式因素、网络化运营需求因素等决定性因素,线路客流特征、投资效益、设备故障影响等重要因素,以及技术发展、乘客体验、服务舒适性、安全性、外部环境影响等其他因素。

关键词 市域轨道交通;网络化运营;信号系统

中图分类号 U239.57

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.09.018

Technological Application and Scheme Selection of City Rail Transit Networking Operation Signaling System

LIANG Ziyue

Abstract Objective: Currently, the signaling system format selection of city rail transit is facing significant challenges due to its crucial role in determining the line operation organization-management mode. Therefore, it is necessary to conduct in-depth research on relevant factors that influence the city rail transit signaling system and select an appropriate signaling system format. Method: The problems existing in the selection of signaling system formats are introduced, together with the main signaling system formats in China. The factors affecting this selection are analyzed, and the considerations for choosing a signaling system format are summarized. Result & Conclu-

sion: The existing CBTC (communication-based train control) signaling system and CTCS2 (Chinese train control system 2) cannot fully meet the operational requirements of city rail transit in terms of public-transit-oriented operations and network interoperability. Currently, the main signaling system formats available for city rail transit include CBTC, CTCS2, and STCS-compatible (signaling and train control system). The factors influencing the selection of city rail transit signaling system can be broadly categorized into determinative factors such as system technical limitations, operation-management mode, and networking operational requirements, as well as important factors such as passenger flow characteristics, investment efficiency, equipment failure impact, and other factors including technological development, passenger experience, service comfort, safety, and external environmental impacts.

Key words city rail transit; networking operation; signaling system

Author's address China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

随着我国经济社会的发展,市域轨道交通逐渐成为了城市轨道交通的主要建设领域。国家铁路局颁布的TB 10624—2020《市域(郊)铁路设计规范》已于2021年2月开始实施,为市域轨道交通信号系统制式的选择提供了方向指引。但由于信号系统方案的选择与线网工程的应用受到线路功能定位、建设环境、网络化运营、投资主体及城市轨道交通与国铁间的互联互通等较多因素的影响或制约,信号系统制式的选择仍面临较大的困难,信号系统制式对线路运营组织管理模式具有决定性的作用,因此有必要对影响市域轨道交通信号系统的相关因素进行深入研究,选择适宜的信号系统制式。

本文针对不同的信号系统制式,从技术限制及运营管理模式等决定性影响因素、客流特征及投资效益等重要因素和技术发展及乘客体验等其他因

素三方面进行了分析研究,确定了市域轨道交通信号系统制式方案的选择比选依据。本文研究可为实际工程项目提供一定的借鉴与参考。

1 现有信号系统制式选择存在的问题

目前,网络化运营的市域轨道交通信号系统制式选择主要存在两大技术路线,即以国铁为主体的 CTCS(中国列车控制系统)信号系统和以轨道交通为主体的 ATC(列车自动控制)信号系统。“四网”中的国铁、轨道交通线路路权明确,管理模式和功能定位清晰,技术标准统一,均采用 CTCS 信号系统和 ATC 信号系统。但对于市域轨道交通而言,由于其工程前期管理权模糊,系统功能定位、运营模式、设备维护方式、工程投资均难以确定,这就使得市域轨道交通信号系统制式的选择也较为复杂和艰难。若信号系统制式选择错误,与线路功能定位不匹配,则将对土建规模、运营管理、线路效益产生反作用,也会为后期线路运营带来较大的隐患。

信号系统是保证列车运行安全、提高列车运行效率的重要基础设施,信号制式的选择应与线路特征、功能定位、运营模式、系统能力及乘客服务等密切相关,同时还应结合线路管理权、投资需求、网络化运营和资源共享等因素综合确定。

2 我国主要的信号系统制式

市域轨道交通的线路长度一般介于城际铁路和城市轨道交通线路长度之间,其功能定位根据线路服务对象的不同而有所不同。信号系统制式的选择范围较为广泛,目前应用于我国的信号系统制式主要有:国铁 CTCS 系列信号系统、轨道交通 ATC 系列信号系统和多网融合 STCS(市域轨道交通列车控制系统),即 CTCS2 + CBTC(基于通信的列车控制),兼容型信号系统。

2.1 国铁 CTCS 系列信号系统

CTCS 系列信号系统在我国铁路系统中的应用较为广泛。在中国国家铁路集团有限公司的主导下,CTCS 系列信号系统具有统一的技术标准,非常容易实现国铁网络化运营下的资源共享和互联互通功能,可延伸应用于市域轨道交通和城际铁路。CTCS 系列信号系统分为 5 个应用等级(0~4 级)。CTCS0 级信号系统没有 ATP(列车自动防护),不满足国家交通部新颁布的运营条件要求;CTCS1 级信号系统在我国几乎没有应用;CTCS2 级信号系统主

要应用于城际铁路和作为高速铁路的降级系统;CTCS3 级信号系统主要应用于高铁,产品价格较贵,在市域轨道交通应用的性价比较低;CTCS4 级信号系统目前技术应用不成熟,因此市域轨道交通 CTCS 信号系统制式的选择主要为 CTCS2 级。为减少司机劳动强度,实现自动化功能,文献[1]提出一种 CTCS2 + ATO(列车自动运行)系统。

国铁 CTCS 系列信号系统的优点是工程应用性价比高,易实现资源共享。国铁 CTCS 系列信号系统的缺点是:对不同运营需求的适应性差,特别是产品功能需求调整方面的适应性较差;对地下段占比高的线路易造成站场规模较大、总投资费用较多的情况,总体性价比较低。

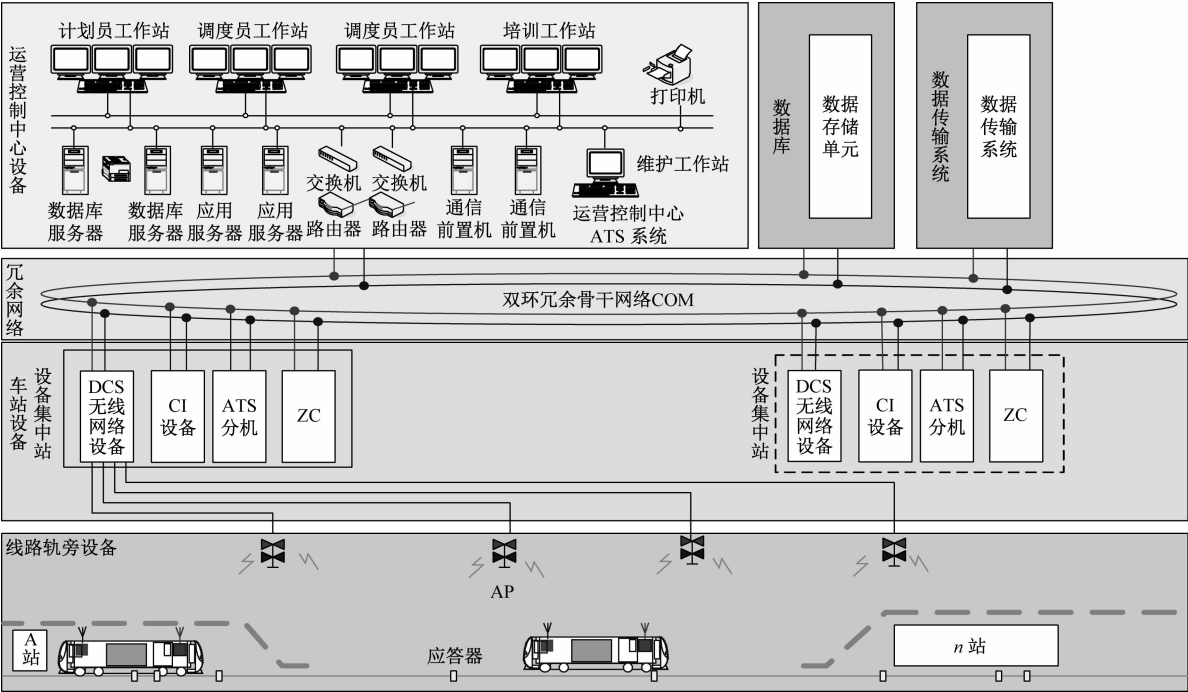
2.2 轨道交通 ATC 系列信号系统

轨道交通 ATC 系列信号系统主要应用于城市轨道交通线路,可以延伸应用于市域轨道交通和城际铁路。轨道交通 ATC 系列信号系统技术成熟,具有自主知识产权,在中国城市轨道交通协会的主导下,逐渐建立起了轨道交通 ATC 信号系统系列标准,可以实现网络化运营的资源共享。此外,由于该信号系统的供货商较多,行业处于公平、自由竞争的状态,业主的选择自由度较大,ATC 系列信号系统集成供货商选择范围较广。ATC 系列信号系统主要有 CBTC 系统和点式 ATP/ATO 系统。为了提高自动化应用水平,该信号系统在 CBTC 基础上发展形成了全自动运行系统。点式 ATP/ATO 系统虽然能够节约投资成本,但由于其在安全性、运营调整、系统运行能力等方面较差,逐渐被市场淘汰,目前仅作为 CBTC 降级模式应用。目前,应用较为广泛的是 CBTC 信号系统,其可根据运营需求,适当增加少量投资,还能够建设全自动运行系统。

CBTC 信号系统的主要优点是自动化程度高、列车运行间隔小、系统运营调整能力强,其缺点是建设期投资较高,但全寿命周期成本较低。CBTC 信号系统特别适合中大运量的市域轨道交通,其技术局限性主要在于交流牵引线路存在应用弊端,计轴设备抗电气化干扰能力较差^[2],且不具备断轨检查功能。CBTC 信号系统示意图如图 1 所示。

2.3 多网融合 STCS(CTCS2 + CBTC)信号系统

针对市域轨道交通网络化运营特点,我国一些信号系统集成商开始研发兼容 CTCS2 和 CBTC 的多网融合列车运行控制系统 STCS(CTCS2 + CBTC)信号系统,其可以适用于装备了 CTCS2 的



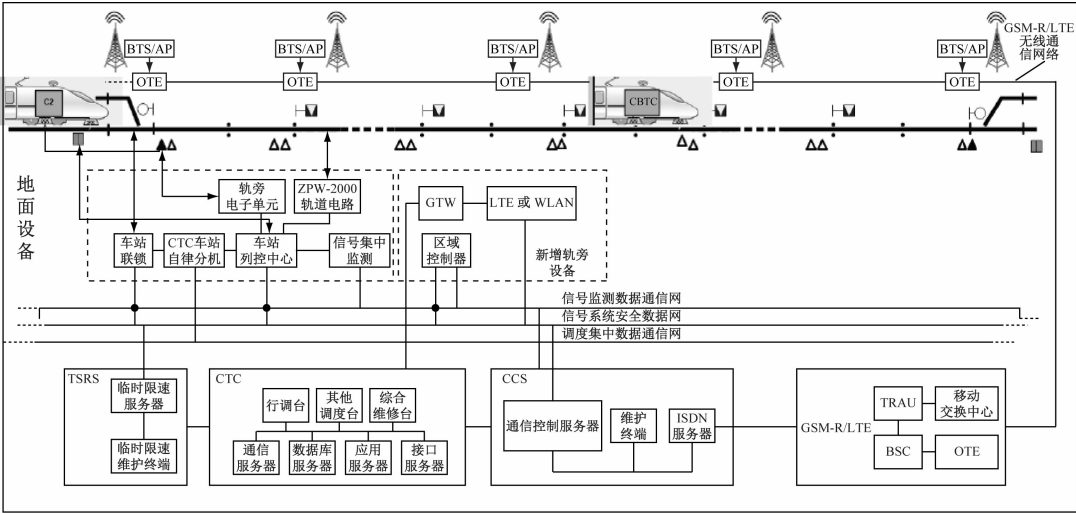
注:ATS 为列车自动监控;DCS 为数据通信系统;COM 为串行通信;ZC 为区域控制器;CI 为计算机联锁;AP 为无线访问接入点。

图 1 CBTC 信号系统示意图

Fig. 1 Diagram of CBTC signaling system

车载设备列车,也可以适用于装备了 CBTC 的车载设备列车。此外,多网融合 STCS(CTCS2 + CBTC)信号系统还适用于兼容 CTCS2 和 CBTC 的车载设备列车,也可以使装备了 STCS(CTCS2 + CBTC)车载设备的列车分别在 CTCS2 线路和 CBTC 线路上运行。

该信号系统的优点是网络化运营适应性强,兼容国铁 CTCS2 和轨道交通 CBTC 制式,特别适合市域轨道交通与国铁、轨道交通的网络化运营和既有线改造,其缺点是系统构成复杂,轨旁设备较多,不利于运营维护。多网融合 STCS(CTCS2 + CBTC)信号系统示意图如图 2 所示。



注:BTS 为基站收发器;CTC 为中央调度集中;TSRS 为临时限速服务器系统;GSM-R 为国际铁路无线通信标准;LTE 为长期演进;CCS 为通信控制服务器;ISDN 为综合业务数字网;BSC 为基站控制器;OTE 为光传输设备;TRAU 为码型转换和速率适配单元;WLAN 为无线局域网;GTW 为网关。

图 2 多网融合 STCS(CTCS2 + CBTC)信号系统示意图

Fig. 2 Diagram of multi-network integrated STCS (CTCS2 + CBTC) signaling system

综上所述,网络化运营的市域轨道交通可供选择的系统制式主要为 CTCS 制式下的 CTCS2 + ATO 系统和 ATC 制式下的 CBTC 系统,在特殊运营场景下,也可以考虑兼容性较强的多网融合 STCS(CTCS2 + CBTC)信号系统。

3 信号系统制式方案选择因素分析

3.1 决定因素

市域轨道交通受线路功能定位、乘客服务、运营维护要求的影响,综合考虑各专业的设备配置。信号系统制式方案选择首先应考虑系统技术限制、运营管理模式和网络化运营需求等关键决定因素。

1) 系统技术限制因素。首先,应考虑信号系统的系统技术限制因素,其技术适应性主要包括列车运行能力限制、牵引制式对信号系统的选择制约及运营自动化等级要求等主要决定因素,CTCS2 + ATO 系统不适合直流牵引区段、列车运行能力要求较高、自动化等级较高 GOA3(无人驾驶列车运行)及 GOA4(无人干预列车运行),以及地下段长度占比较高的线路。CBTC 系统不适合系统能力要求较低、每公里投资额较低的线路,由于计轴设备易受电气化干扰影响,CBTC 系统在交流电力牵引的线路应慎重应用或选择干扰能力强的计轴设备。

2) 运营管理因素。运营管理模式的决定因素主要为,考虑运营单位的管理习惯和维护习惯,市域轨道交通信号系统制式的选择应尽量与既有有线网路保持一致,充分实现网络资源共享,降低全生命周期成本,同时与本地的产业政策相向,有利于推动当地产业的发展。

3) 网络化运营需求因素。信号系统制式方案的选择应考虑网络化运营需求,综合考虑线网规划,满足互联互通要求。对于与国铁保持互联互通的市域线路,一般选择 CTCS2 + ATO 制式;未有与国铁互联互通需求的市域线路,可选择 CBTC 制式;有与国铁互联互通需求、但国铁线路列车不进入本线路,本线可采用车载设备兼容的多网融合 STCS(CTCS2 + CBTC)信号系统;有与国铁互联互通需求、但本线路列车不进入国铁线路的市域线路,本线可采用地面设备兼容的多网融合 STCS(CTCS2 + CBTC)信号系统。

3.2 重要因素及其他因素

市域轨道交通信号系统制式方案的选择除系统技术限制因素外,还应综合考虑客流特征、投资

效益、设备故障影响及其他相关因素。

1) 客流特征。服务乘客是交通运输应当考虑的首要因素,客流密度及其构成特征也是信号系统制式选择需考虑的重要因素。CTCS2 系统适用于客流具有旅游、探亲、商务等对票价敏感性不高、平均乘车距离较长的特征人群,对列车准点率敏感性相对不高的中小运量客流;CBTC 系统适用于客流具有通勤、通学、购物等对票价敏感性较高、平均乘车距离较短的特征人群,对列车准点率敏感性相对较高的中大运量客流。

2) 投资效益。投资效益是市域轨道交通建设考虑的重要因素。折算每公里建设投资要求较少、地面线路占比较高的线路选择 CTCS2 系统较适合,其预期经济效益较好;从社会效益角度考虑、对每公里投资敏感性不高的线路、地下段线路占比较高的线路选择 CBTC 系统较适合。

3) 设备故障影响。设备故障影响包括乘客出行影响和社会影响,乘客对因设备故障导致列车晚点的容忍度和引起的社会影响也是衡量信号系统制式选择的重要因素,乘客对设备故障的容忍度基本与客流特征因素下的信号系统制式选择方法一致。

CBTC 系统故障弱化及恢复能力较强,大部分信号设备故障可以在乘客及社会公众未察觉的情况下恢复,设备故障影响相对较弱^[3]。CTCS2 系统故障恢复能力弱,若应用于大客流线路,其设备故障对乘客及社会易造成较大的影响;若应用于中小客流线路,其设备故障对乘客及社会影响则相对不明显。

4) 其他因素。信号系统制式选择相关的其他一般因素包括技术发展因素,以及乘客体验、服务舒适性、安全性、外部环境影响等因素。目前,上述因素对两种信号系统制式的选择没有明显的差别。

4 信号系统制式方案选择

市域轨道交通信号系统制式方案的选择需针对信号系统内外部因素综合分析比选。首先,针对线网规划和线路定位,鉴别其决定因素并进行初步方案的选择。若系统技术限制因素能够确定信号系统制式,则选择完成比选;若无法确定,则进行其他影响因素的详细比选分析。

详细比选分析应根据需要参考的因素重要性程度进行排序,综合分析后确定最佳信号系统制式

方案,也可通过量化指标进行综合定量比选确定最佳信号系统制式方案。

若上述方法仍难以确定信号系统制式方案,则应针对线路特点编制信号系统制式比选专题,再进

行深入详细论证,最后根据专家调查法或组织专家评审方式确定最佳信号系统制式方案。市域轨道交通信号系统制式技术应用及方案选择的考虑因素如表1所示。

表1 信号系统制式技术应用及方案选择的考虑因素																		
Tab.1 Factors influencing signaling system format technological application and scheme selection																		
信号系统制式	系统技术限制因素			运营管理模式		网络化运营需求			客流特征			投资效益			设备故障			其他因素
	列车运行间隔/min	牵引制式	地下段线路占比	运营维护	资源共享	与国铁互联互通	与城市轨道交通互联互通	客运量	客流构成	乘车距离	票价敏感性	经济效益	社会效益	每公里投资额	系统故障弱化及恢复能力	故障造成列车晚点乘客容忍度	社会影响	
CTCS2 + ATO	4	适应交流牵引,不适应直流牵引	占比比较小	与既有线路制式一致	与既有线路制式一致	采用	不采用	中小	旅游、探亲、商务等	长	不敏感	敏感	不敏感	投资额较少	低	高	小	相当
CBTC	2	适应直流牵引,交流牵引线路计轴设备易受干扰	占比比较大	与既有线路制式一致	与既有线路制式一致	不采用	采用	中大	通勤、通学、购物等	短	敏感	不敏感	敏感	投资额较高	高	低	大	相当

5 结语

市域轨道交通网络化运营条件下,信号系统制式主要在CTCS2 + ATO和CBTC制式下进行选择,根据线网运营要求也可选择多网融合STCS (CTCS2 + CBTC)信号系统。具体的应用方案选择应在确定线路定位、基本功能需求前提下,从系统能力、交直流牵引的适应性、地下线路占比等决定性因素中进行初步选择,再辅以客流特征、投资效益、设备故障影响等因素进行深入分析,为市域轨道交通网络化运营选择适宜的信号系统制式,在实现线路及线网整体功能的同时保证投资效益。

参考文献

[1] 罗松. CTCS2 + ATO 城际铁路列控系统总体技术研究[J]. 铁

路通信信号工程技术, 2015, 12(3): 1.

LUO Song. General technique research on CTCS2 + ATO intercity railway train control system[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2015, 12(3): 1.

[2] 邓志翔. 市域轨道交通信号系统方案选择刍议[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(5): 7.

DENG Zhixiang. Research on signal system selection for suburban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(5): 7.

[3] 李晶. 市域快速轨道交通信号制式的选择[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(12): 57.

LI Jing. Selection of signal system in urban rapid rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(12): 57.

(收稿日期:2022 - 07 - 02)

(上接第104页)

YAN Guodong. Study on settlement control of existing building induced by horsehead excavation from transverse gallery to main tun-

nels[J]. Journal of Shijiazhuang Tiedao University (Natural Science), 2013, 26(1): 18.

(收稿日期:2023 - 03 - 27)