

北京大兴国际机场线信号系统制式的选择

张传琪^{1,2} 杨艳艳³

(1. 北京市轨道交通建设管理有限公司, 100068, 北京;

2. 城市轨道交通全自动运行系统与安全监控北京市重点实验室, 100068, 北京;

3. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 100070, 北京//第一作者, 高级工程师)

摘要 从北京大兴国际机场线的工程特点和运营特点出发,对适应这些运营需求的城市轨道交通工程和国铁工程进行工程特点对比,以及对北京大兴国际机场线信号系统的工程需求进行分析。对城市轨道交通信号系统和国铁信号系统的系统制式原理和系统特点进行了介绍,对北京大兴国际机场线的适应性进行了分析,提出北京大兴国际机场线工程信号系统制式的选择要点。

关键词 北京大兴国际机场线; 信号系统; 制式选择

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.12.035

Selection of Signal System for Beijing Daxing International Airport Express

ZHANG Chuanqi, YANG Yanyan

Abstract In view of the engineering and operating characteristics of Beijing Daxing International Airport Express, compared with the characteristics of urban rail transit engineering and national railway engineering that adapt to the airport line operational requirements, the engineering requirements of Beijing Daxing International Airport Express signal system are analyzed. Then, the principles and characteristics of metro signal system and railway signal system are introduced, the adaptability of Beijing Daxing International Airport Express is analyzed, the selection of signal system for Airport Express is proposed.

Key words Beijing Daxing International Airport Express; signal system; mode selection

First-author's address Beijing MTR Construction Administration Corporation, 100068, Beijing, China

北京大兴国际机场线(以下简为“大兴机场线”)工程北起南三环草桥站,南至大兴机场,远期规划还将向北延伸至金融街中心城区。通过大兴机场线,大兴机场还可实现其与3条高铁线路、3条城市轨道交通线路的综合换乘。大兴机场线预定

目标为半小时内由大兴机场到达中心城区金融街。本文将大兴机场线工程中信号系统采用的制式进行分析和研究。

1 大兴机场线工程运营需求分析

1.1 工程特点

信号系统是行车指挥的控制系统,在满足信号系统安全性的前提下,可通过提高信号系统的可用性,并考虑各种故障环境下的行车指挥方案,来提高运营效率、运营服务质量和信号系统的可维护性,从而满足运营维护维修的要求。

大兴机场线工程的主要运营特点如下:

1) 线路具有速度高、站间距大的特点,采取小间隔运行。最高运行速度为160 km/h及以上,可实现4 min或更小的运行间隔。

2) 采用市域车和交流25 kV牵引供电制式。

3) 采用公交化运营和站站停的方式。客流存在变化的可能,要求具有灵活的运输组织方式。乘客出行以全线走行时间和发车间隔为关注点,尤其关注下一班列车的到达时间。

4) 线路正常运营时采用单一交路,同时考虑临时交路。

5) 采用全自动驾驶技术,可尽量减少人为误操作,进一步提升系统安全性及提高系统可靠性。

6) 与同类型线路构建线网,存在联通联运的可能。线网间部分线路存在互联互通需求,规划线网内各线路与国铁、城市轨道交通间采用换乘模式,无互联互通需求。

由上述分析可见,大兴机场线工程既具有城市轨道交通的特点,又具有国铁和城际铁路的特点,但与城市轨道交通项目和城际铁路又不尽相同,因此需结合线路定位和运营需求确定信号系统的制式。

1.2 信号需求分析

为满足大兴机场线工程安全、高效、便捷运输的要求,需选择技术成熟、安全可靠的信号系统。信号系统功能定位需基于大兴机场线工程的特点和运营需求的实现,同时兼顾线网规划的统筹。结合大兴机场线的工程特点和运营需求得到相应的信号系统需求如下:

1) 信号系统需满足最高运行速度下信号系统可靠工作的要求,以及需适应交流 25 kV 牵引供电制式及市域车的相关要求。

2) 信号系统需满足远期行车间隔的能力要求,并留有一定余量;信号系统应满足大运量、高密度行车、行车交路变化(正常交路和临时交路)的运营要求。

3) 设备系统具有较高的自动化水平,采用完整的列车自动控制系统;具有安全可靠的降级控制模式;具备 ATS(列车自动监控)、ATP/ATO(列车自动保护/列车自动运行)、联锁等功能,满足全自动驾驶需求。

4) 信号系统的配置和功能需满足互联互通的要求。

2 信号系统制式选择

2.1 信号系统简介

结合大兴机场线工程的运营特点和运营需求,可应用于大兴机场线工程的信号系统制式主要有城市轨道交通信号系统和列车控制系统(CTCS)等。目前,国内得到较广泛使用的城市轨道交通信号系统主要有准移动闭塞系统和移动闭塞系统,铁路列车控制系统主要有 CTCS2、CTCS3 和 CTCS2+ATO 系统。本文主要对城市轨道交通和国铁的信号系统进行初步分析。

2.1.1 城市轨道交通信号系统

应用于城市轨道交通的 ATC(列车自动控制)系统按闭塞方式主要有 3 种,分别为基于固定闭塞方式的 ATC 系统、基于数字轨道电路的准移动闭塞方式的 ATC 系统及基于通信的移动闭塞方式的 ATC 系统。

固定闭塞制式的 ATC 系统通常由轨道电路按预先设定的长度,检测列车位置和列车间距。ATP 根据每个闭塞分区的限速指令来监控列车的速度,其速度控制模式一般为阶梯的分级方式。

基于数字轨道电路的准移动闭塞制式的 ATC

系统,采用目标-距离控制方式进行闭塞分区的划分。通过列车前方目标距离、线路状态及列车性能等因素确定的速度-距离控制曲线实现对列车速度的监控。其速度控制模式既具有连续的特点,又具有分级的性质。

基于通信的移动闭塞制式的 ATC 系统采用车地双向通信,将前方列车的移动定位信息,经由车地通信环节传给后续列车,且其控制信息亦随前方列车的行进而连续地或周期性地作出响应。移动闭塞信号系统,通过将移动的前车尾部安全包络作为速度-距离控制的追踪目标点,可实现对列车运行速度的自动连续监测。该系统突破了固定或准移动闭塞的局限性,具有列车间隔动态移动、车地实时双向通信、信息传输量大、更强的运行调整能力、更小的运行间隔等特点,有利于实现互联互通,为全自动驾驶提供技术支撑。该系统是目前国内应用最多的一种闭塞制式和目前城市轨道交通信号系统的主流技术。

综合以上 3 种闭塞制式的特点、技术发展及应用情况,适用于大兴机场线工程的城市轨道交通信号系统为基于通信技术的移动闭塞信号系统(CBTC)。

2.1.2 国铁信号系统

CTCS 划分了 CTCS0 至 CTCS4 5 个应用等级,目前较广泛使用的国铁列控系统主要有 CTCS2、CTCS3、CTCS2+ATO 系统。

CTCS3 级列控系统的车载设备与地面的无线闭塞中心(RBC)通过 GSM-R(铁路综合数字移动通信系统)进行车地无线通信,同时车载设备通过应答器获取列车的位置信息。该系统采用目标距离控制模式和准移动闭塞方式,不具备 ATO 功能。根据《高速铁路设计规范》中对采用的列控系统的要求,其大多配置在设计速度为 250 km/h 及以上的线路上。

CTCS2 级列控系统是基于轨道电路和应答器设备传输信息的点连式列控系统,采用目标-距离控制模式和准移动闭塞方式,不具备 ATO 功能。根据《城际铁路设计规范》中对采用的列控系统的要求,其大多配置在设计速度为 160 km/h 及以上的线路上,可根据需要设置 ATO 子系统。

应用于城际铁路的 CTCS2+ATO 系统是在 CTCS2 级 ATP 功能的基础上增加了 ATO 功能。该系统采用 GSM-R 技术通过网络交换数据业务实现了车地双向通信。在城际铁路领域,CTCS2+

ATO 系统目前正在珠江三角洲地区的城际线路上推广应用,其中莞惠线已于 2016 年 1 月开通。

综合 CTCS 的技术特点及应用情况,目前适用于大兴机场线工程的国铁列控系统主要是 CTCS2+ATO 系统。

通过上述初步分析,结合大兴机场线工程的功能需求、运营需求及适应工程等特点,大兴机场线可采用的信号系统制式主要有城市轨道交通 CBTC 信号系统和应用于城际铁路的 CTCS2+ATO 系统。本文主要对 CBTC 系统和 CTCS2+ATO 系统在大兴机场线工程的应用进行适应性分析。

2.2 CBTC 系统与 CTCS2+ATO 系统比选分析

以下针对 CBTC 系统与 CTCS2+ATO 系统,从大兴机场线的功能需求、运营需求、运行速度、交流 25 kV 牵引供电、市域车等方面的适应性比选分析。

2.2.1 城市轨道交通 CBTC 系统简介

CBTC 系统的自动化水平较高,协同性较强。该系统由 ATS、ATP、ATO 和计算机联锁(CI)等子系统组成。子系统间通过信息交换网络构成闭环系统,通过车载、轨旁、车站和控制中心设备共同完成列车运行的自动控制。CBTC 系统可以可靠而精

确地检测列车位置,并根据线路条件对列车进行控制,以保证列车的安全间隔。典型的 CBTC 系统的结构示意图如图 1 所示。

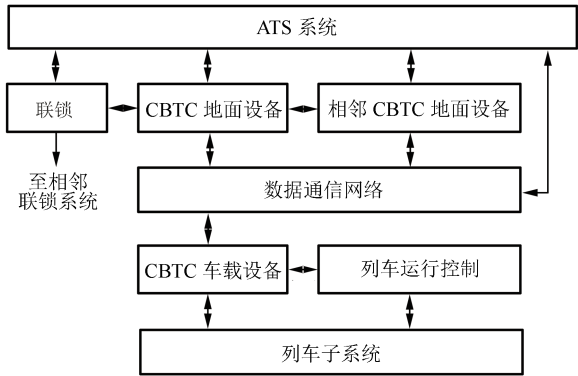
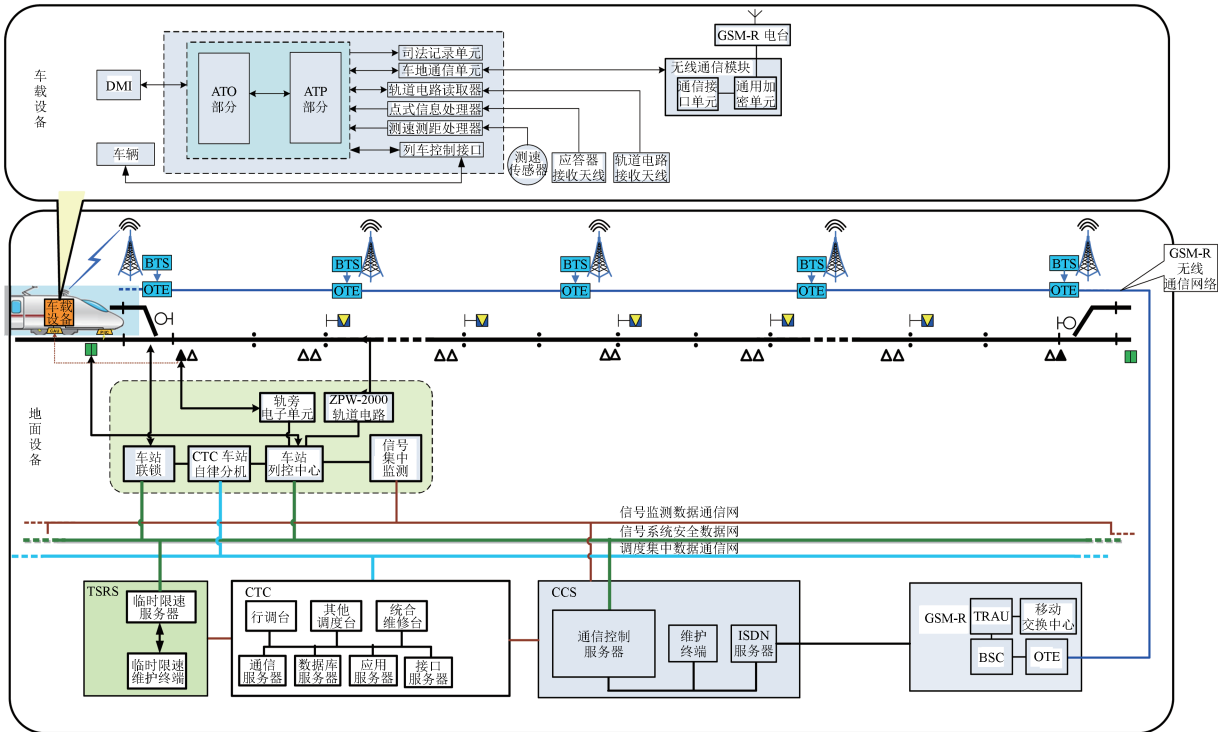


图 1 典型的 CBTC 系统结构示意图

2.2.2 CTCS2+ATO 系统简介

CTCS2+ATO 级列控系统包括地面设备和车载设备。地面设备由通信控制服务器(CCS)、列控中心(TCC)、临时限速服务器(TSRs)、ZPW-2000 系列轨道电路、应答器及 LEU(轨旁电子单元)、GSM-R 通信接口设备等组成;车载设备由 ATP 和 ATO 构成。CTCS2+ATO 级列控系统结构如图 2 所示。



注: BTS 表示基站控制器; BTS 表示基站; DMI 人机界面; OTE 表示光传输设备; TRAU 表示码型转换和速率适配单元; CTC 表示中央调度集中; ISDN 表示综合业务数字网; 表示停车标志牌; ▲表示无源应答器; ▲表示有源应答器; ■表示安全门/屏蔽门

图 2 CTCS2+ATO 列控系统结构图

2.2.3 城市轨道交通 CBTC 系统和 CTCS2+ATO 系统在大兴机场线工程中的适应性分析

城市轨道交通 CBTC 系统和城际铁路 CTCS2+ATO 信号系统在大兴机场线工程的适应性比选如表 1 所示。

由表 1 可知,城际铁路 CTCS2+ATO 系统需使用 GSM-R 铁路专用频点,频点申请较困难,且该系

统不具备全自动驾驶功能,运行调整功能较弱,若将该系统应用于大兴机场线工程需要进行二次开发。而 CBTC 系统在城市轨道交通工程中应用广泛,该系统的运营模式和系统功能可完全满足大兴机场线工程的需要,且具备互联互通的条件。

因此,最适合大兴机场线工程的信号系统应为城市轨道交通制式的 CBTC 系统。

表 1 城市轨道交通 CBTC 系统和城际列控系统的适应性对比表

项目	CBTC 系统的适用性分析	CTCS2+ATO 系统的适用性分析
控制方式	采用移动闭塞和目标距离控制模式	采用准移动闭塞和目标距离控制模式
列车运行间隔	2 min	3 min
交路采用情况	采用单一交路或大小交路套跑,同时考虑临时交路,具有较强的运营调整功能	采用单一交路或跨线交路,运营调整功能较弱
系统基本功能	具备 ATS、ATP/ATO 及联锁等完善的系统功能	具备 ATS、ATP/ATO 及联锁等基本功能,目前不具备自动折返功能
全自动驾驶需求	满足	目前不满足
车地通信和设备控制要求	设备控制可以满足列车运行速度 160 km/h 的要求;车地通信应采用 LTE 技术,满足列车运行速度 160 km/h 的要求	车地无线通信采用 GSM-R 技术,满足列车速度 160 km/h 的要求;频点为铁路专用频点,频点需进行申请;设备控制可以满足列车速度 160 km/h 的要求
运行的可靠性	能实现交流 25 kV 供电制式下的可靠运行	能实现交流 25 kV 供电制式下的可靠运行
系统接口要求	需将列车参数和系统接口进行匹配	需将列车参数和系统接口进行匹配
互联互通功能	可实现 CBTC 系统的互联互通	可实现 CTCS2、CTCS3 线路的互联互通
系统的成熟度	系统较为成熟,在城市轨道交通中应用亦较为广泛	目前已有开通运营线路
工程造价	正线约为 1 400 万元/km	该系统设备多于 CBTC 系统,造价较高
对土建的影响	保护区段可使用道岔,道岔岔尖距有效站台边 12 m	目前系统的安全防护距离(一般为 65 m),包括在进路内,不能按照独立保护区段的原则进行设置;当站台设置道岔时,道岔距站台的距离应大于 60 m,这对于土建投资的影响较大;若缩短上述距离,需对国铁联锁设备等进行修改
设备维护	较小	该系统设备多于 CBTC 系统,特别是采用轨道电路,维护量大

3 结语

大兴机场线工程既具有常规城市轨道交通的特点,又具有国铁、城际铁路的特点,但与常规城市轨道交通项目和城际铁路又不尽相同。根据具体工程的特点和运营需求,推荐大兴机场线工程的信号系统采用城市轨道交通制式的 CBTC 系统。由于北京市交通委员会批复要求大兴机场线按照全自动运行系统线路进行建设,因此大兴机场线工程的信号系统还需

要在传统 CBTC 系统的基础上进行全自动运行系统相关功能的增强和工程参数的适配。

参考文献

[1] 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[G].北京:中国铁路总公司,2013.

[2] 王冬梅.简谈福莆宁城际轨道交通信号系统制式选择[J].铁路通信信号工程技术,2014(3): 52.

(收稿日期:2019-07-05)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704