

文章编号: 1674—8247(2018)01—0010—05

中国铁路列控系统技术及发展趋势

赵德生

(南京铁道职业技术学院, 南京 210031)

摘要:目前,中国列车运行控制系统技术体系分为5级:CTCS-0级、CTCS-1级、CTCS-2级、CTCS-3级、CTCS-4级列控系统,衍生列控系统有3种:CTCS-0+列控系统(试验阶段)、CTCS-2+ATO列控系统(应用阶段)、CTCS-3+ATO(研究阶段)。文章首先介绍了CTCS-0+列控系统和CTCS-2+ATO列控系统的系统需求、总体技术方案和技术原则,然后介绍了目前技术成熟的CTCS-0、CTCS-2和CTCS-3列控系统的组成、系统原理和各子系统功能,提出了一种基于无线通信的CTCS-1列控系统总体技术方案设想,最后分析了中国列控系统未来的发展趋势,并总结我国下一代CTCS-4列控系统所用到的关键技术。

关键词:列控系统; LKJ; 通信; ATO

中图分类号:U284.2 **文献标志码:**A

Technology and Development Trend of Chinese Train Control System

ZHAO Desheng

(Nanjing Institute of Railway Technology, Nanjing 210031, China)

Abstract: Chinese train control system is divided into 5 levels: CTCS-0, CTCS-1, CTCS-2, CTCS-3, CTCS-4, the current derivative train control system includes three kinds: CTCS-0 + train control system (experimental), CTCS-2 + ATO train control system (application stage), CTCS-3 + ATO (research stage). The article introduces the system requirements and overall technical solution and principles of CTCS-0 + and CTCS-2 + ATO train control system, and the composition, principle and subsystem functions of CTCS-0, CTCS-2 and CTCS-3 train control system with mature technology. The article proposes an overall plan for CTCS-1 system based on wireless communication, analyses the future development trends of Chinese train control system and summarizes the key technology for the next generation train control system CTCS-4.

Key words: train control system; LKJ; communication; ATO

列控系统由地面设备和车载设备组成,利用点式应答器、ZPW-2000A、RBC等地面设备提供的线路信息、目标距离和进路状态,列控车载计算机生成列车允许速度控制模式曲线,通过与列车速度的实时比较,如超速后可及时限速,是确保行车安全的信号系统。

借鉴欧洲ETCS列控系统的发展思路和其他国外高速铁路列控系统运营经验,结合我国铁路运输特点和特色,遵循全路统一规划的原则,原铁道部确定构建中国的列车运行控制系统技术体系(CTCS)^[1-2]。

CTCS列控系统应用分为5级:CTCS-0级、CTCS-1级、CTCS-2级、CTCS-3级、CTCS-4级列控系统,目前衍生列控系统共3种:CTCS-0+(试验阶段)、CTCS-2+ATO(应用阶段)、CTCS-3+ATO(研究阶段)。

根据线路允许速度选用CTCS列控系统装备等级,250 km/h以下铁路采用CTCS-2级列控系统,250 km/h铁路宜采用CTCS-3级列控系统,300 km/h铁路采用CTCS-3级列控系统。

目前,已开通和在建的铁路列控系统装备等级选

收稿日期:2017-05-02

作者简介:赵德生(1984-),男,讲师。

引文格式:赵德生. 中国铁路列控系统技术及发展趋势[J]. 高速铁路技术,2018,9(1):10-14.

ZHAO Desheng. Technology and Development Trend of Chinese Train Control System [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(1): 10-14.

择如下:

(1) 高速铁路:CTCS-3 级(主流)和 CTCS-2 级列控系统。

(2) 城际铁路:CTCS-2 + ATO(主流)和 CTCS-2 级列控系统。

(3) 客货共线铁路: CTCS-0 级(既有线)、CTCS-0 + (试验阶段)和 CTCS-2 级(新建)列控系统。

1 CTCS-0 列控系统

目前既有线均采用 CTCS-0 级列控系统,特别是第五次大提速的干线线路。

CTCS-0 级列控系统是以地面信号显示作为行车凭证,而机车信号和 LKJ 设备为司机提供辅助行车信号,完成地面联锁信号向列车控制的延伸,是列车超速防护的基础应用;通常采用固定闭塞(自动闭塞),列车采用分级速度控制运行,部分线路采用自动站间闭塞和半自动闭塞,由地面设备和车载设备构成。

地面设备主要包括调度指挥 (TDCS) 或调度集中 (CTC)、车站联锁、站内电码化设备、区间闭塞、站内轨道电路、信号集中监测系统、电源系统等; 车载设备由通用式机车信号和列车运行监控记录装置 (LKJ) 构成。

其中,LKJ 是实现对列车运行的监控记录和控制。线路相关数据存储于车载设备中;临时限速信息和其他信息由机车司机通过 IC 卡的方式输入;机车信号的显示信息为机车司机提供行车许可,LKJ 自动生成速度监控曲线。

随着 LKJ 和通用式机车信号的推广,列车最高运行速度可达到 160 km/h,实现全路范围的机车信号低频信息统一,促进机车信号主体化技术发展,装备通用式机车电台使得机车可在全路范围跨交路运行。

但是,由于 CTCS-0 级列控系统采用车载数据库存储方式,存在线路施工过渡、信号设备大修等情况下与大量车载基础数据应及时修改的矛盾。

2 CTCS-0 + 列控系统

2.1 CTCS-0 系统存在问题

CTCS-0 系统中的列车运行监控装置(LKJ)以轨道电路及机车信号作为列车运行指令信息,采用车载线路数据预先存储方式获取运行线路参数信息,通过计算机智能处理对列车运行速度进行安全监控。在LKJ的系列产品中,以LKJ2000型最具代表性。

(1) 由于既有列车运行监控装置(LKJ)将线路基础数据存储于车载设备中,如果线路上任一处参数产

生变化,都需对 LKJ 芯片进行换装。在我国目前机车长交路大面积运用、机车调配频繁、既有线路数据变化及施工改造频繁等现实情况下, LKJ 的数据编制和芯片换装的工作量很大,难免会产生数据装漏、装错等问题,严重危及行车安全。

(2) LKJ 数据实际维护管理难度大。高频次的 LKJ 数据制作、换装及局间、段间信息交换耗费了大量的人力、物力和财力,现场运用、维护、管理等各部门,对彻底扭转这种被动的局面十分迫切。

(3)人工调整列车位置。开车对标时,人工确定列车位置,LKJ 根据输入位置调用控车数据;车位误差较大时,需人工进行车位调整。

(4)人工选取控车数据。LKJ 在运行中需人工输入支线号、股道号,来调取线路数据。

2.2 CTCS-0 + 系统总体方案

(1)为解决高频次更换车载数据的问题,将LKJ基础数据全部存储到地面应答器当中。

(2) LKJ 通过应答器位置信息和发送给车载的数据进行校标,来确保列车定位的精确性。

(3)对于机车司机的支线号选择和出站对标等操作可以基本取消。

(4)反向控车基础数据可由应答器提供,可满足列车反方向运行的监控需求。

2.3 技术原则

(1)通过地面应答器提供 LKJ 基础数据。在车站附近设置无源应答器组,写入 LKJ 基础控车数据,当列车通过应答器时,从应答器接收相应的 LKJ 基础数据。充分利用 CTCS 列控系统已经定义的应答器报文,并新增部分特殊报文,按 CTCS 列控系统技术规范进行定义。

基于无源应答器,正线正向运行数据冗余;预告点设置应答器组,发送正线线路数据和车站股道数据,实施列车定位;进站端设置应答器组,发送反向运行线路数据,实施列车定位;出站端设置应答器组,发送正线线路信息,实施列车定位。若考虑反向数据冗余,二离去区段可设置应答器组。CTCS-0 + 列控系统应答器设置如图 1 所示。

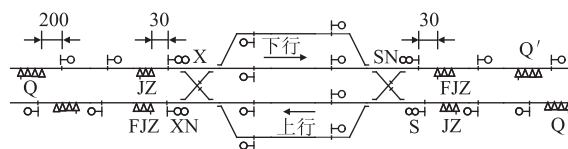


图 1 CTCS-0 + 列控系统应答器设置(m)

(2)基本保持既有LKJ设备的结构组成、操控方

式、控制模式、人机界面。仅增加应答器信息接收模块(BTM)和天线单元,构成LKJ设备+JT-C系列机车信号+BTM模式。为满足新的性能需求,还需对LKJ主机的监控记录插件进行改造,即更换新的通信插件,增加与机车信号的串行通信接口,提高系统安全。

(3)股道号选择和临时限速调度命令(IC卡)仍需司机进行操作。

CTCS-0+列控系统目前在试验阶段,在北京铁路局京沪线(丰台南—天津西)实施LKJ数据地面化试点工程,线路全长116.688 km,14个车站。

3 CTCS-2 和 CTCS-3 列控系统

CTCS-2、CTCS-3级列控系统分别装备时速200 km等级、时速300 km等级高速铁路。经过多年的研究开发与工程实施,CTCS-2、CTCS-3级系统已经大量装备高速铁路线路,技术体系非常成熟^[3]。

CTCS-2级列控系统是基于ZPW-2000轨道电路和地面点式应答器传输列车运行许可信息,同时采用目标—距离连续速度控制模式来监控列车的安全运行。目前采用此等级列控系统的线路包括合宁、合武、广珠、海南环线、温福、甬台、武黄、向莆、厦深、成绵乐、南广、哈齐、兰新、石济等。

CTCS-3级列控系统是在CTCS-2列控系统的基础上采用无线闭塞中心(RBC)生成运行许可,GSM-R实现车地之间列控信息的双向传输,地面应答器传送列车定位基准信息,ZPW-2000型轨道电路完成区段占用及列车完整性的检查。

CTCS-2级作为CTCS-3级的后备模式。当无线闭塞中心(RBC)或无线通信子系统出现故障时,降为CTCS-2模式控车,CTCS-3级列控系统的结构框图,如图2所示。

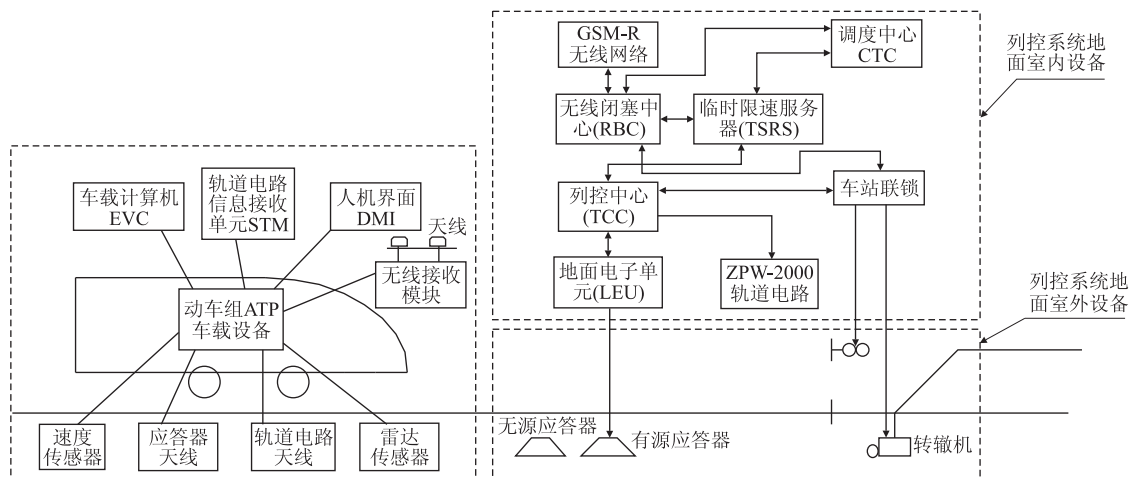


图2 CTCS-3 列控系统结构框图

已开通的采用CTCS-3级列控系统的线路有:京沪、京广、哈大、沪昆、沪宁、沪杭、合蚌、合福、津秦、杭甬、杭黄、郑西、郑徐等高速铁路。

4 CTCS-2 + ATO 列控系统

4.1 系统需求

轨道交通主要包含普速铁路、高速铁路(客运专线)、城市轨道交通、城际铁路4种类型,其中城际铁路主要解决城市间或城市与其周边卫星城间交通问题,具有中速、高密度、公交化等特点。

为了能够满足城际出行需求,降低司机劳动强度,提高系统自动化水平,提高运营效率,与国铁互联互通,并实现高度自动化^[4]。

CTCS-2+ATO列控系统依据CTCS-2级列控系统标准,吸收地铁ATC系统功能,结合高密度、较短站间距、公交化灵活组织特点,构建适用于160 km/h以上速度、3 min追踪间隔、高自动化、智能化的先进城际铁路列控系统。

4.2 总体方案

(1)在CTCS-2级列控系统中叠加ATO功能。

(2)在CTCS-2列控地面原有设备的基础上,增加通信控制服务器(CCS)、GSM-R通信接口设备。

(3)为实现互联互通运行要求:装备CTCS-2/CTCS-3级列控车载设备的列车可在城际线路按CTCS-2级运行;装备城际铁路列控车载设备的列车可在CTCS-2/CTCS-3级线路按CTCS-2级运行。

- (4)当车载 ATO 功能不具备使用条件时,可在车载 ATP 模式下控车。
- (5)只有当车载设备处于完全监控模式(FS)时才允许转入自动驾驶模式(AM)。
- (6)能够对站台门、防淹门、紧急关闭等进行防护。

4.3 系统配置

- (1)车地双向通信设备配置:采用 GSM-R 网络 CSD(电路交换数据)业务;区间单网设置,车站冗余覆盖设置。
- (2)地面设备配置:列控中心(TCC)、应答器及 LEU、临时限速服务器(TSRs)、车站计算机联锁、ZPW-2000 系列轨道电路、信号集中监测系统、电源系统等。
- 在 CTCS-2 列控系统地面设备的基础上增加了通信控制服务器(CCS)、GSM-R 通信接口设备。
- (3)车载设备配置:在原有车载 ATP 的基础上增加 ATO。

4.4 设备增加功能

- (1)CCS:与车载 ATP/ATO 设备、CTC 进行通信,实现门控信息的管理,并实现 CTC 运行计划的处理和转发功能;通过 TCC 实现站台门相关的防护和控制功能。
- (2)ATO:在 ATP 的行车许可及安全防护下根据线路条件、运行计划等信息实现列车自动驾驶及车门自动控制等功能。
- (3)TCC:增加站台门、站台紧急关闭按钮等相关的采集、驱动和防护功能。

- (4)应答器:增加运营停车点、门侧等信息。
 - (5)联锁:增加站台门、紧急关闭、防淹门等防护功能。
 - (6)CTC:增加运行计划管理相关功能。
- 目前珠三角城际铁路采用 CTCS-2 + ATO 列控系统。

5 CTCS-3 + ATO 列控系统

- (1)在 CTCS-3 级列控系统基础上增加 ATO 功能。
- (2)利用无线技术(EUHT、LTE、GSM-R 等)完成车-地信息的传输。
- (3)实现列车自动运行调整、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、自动折返、防淹门防护、站台紧急关闭防护功能。
- (4)地面设备配置兼容 CTCS-3 级列控系统,在车载设备不具备 ATO 功能使用条件时,车载 ATP 设备可靠安全工作,CTCS-2 + ATO 作为 CTCS-3 + ATO 的后备模式。
- (5)实现对列车运行的闭环控制。

6 CTCS-1 列控系统

CTCS-1 列控系统概念是:由主体化机车信号和全型运行监控记录装置组成的列车控制系统^[5]。

目前还没有确定的系统总体方案和技术原则,尚未应用。下面提出一种基于无线通信的 C1 列控系统总体技术方案设想,系统结构框图,如图 3 所示。

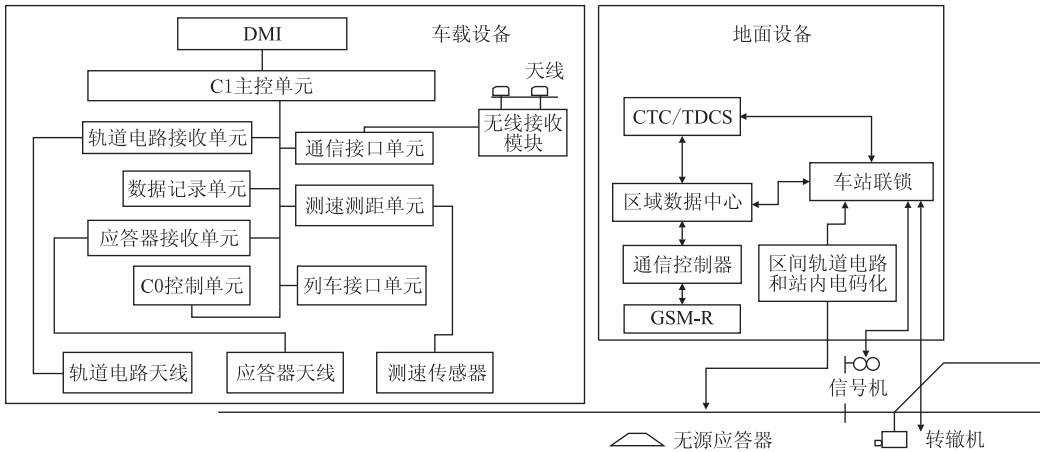


图 3 CTCS-1 列控系统结构框图

在 CTCS0 + 列控系统的基础上,地面增加了区域数据中心、无线通信控制设备、GSM-R 无线通信网络

设备;车载增加了无线通信模块及通信接口单元。区间 ZPW-2000 型轨道电路和站内电码化设备提

供区段的占用检查和行车许可;CTC系统向区域数据控制中心下达临时限速信息;车站联锁通过安全数据网向区域数据控制中心发送进路信息^[2];无源应答器向车载设备传输固定的线路数据。

临时限速、线路参数、进路信息均经过区域数据控制中心通过无线通信的方式发送给车载设备。

车载设备集成了C0和C1两个控制单元,C1控制单元负责C1等级下的核心控制逻辑计算功能;C0控制单元负责C0等级核心控制逻辑计算功能^[5],C0作为C1的备用系统,当无线通信系统出现故障时,转为C0模式下运行,从而保证系统的可靠运行。

C1系统车载设备根据地面设备提供的线路参数、临时限速、行车许可等信息和车辆参数,按照目标距离连续速度控制模式生成动态速度曲线,来监控列车的安全运行^[3]。

7 结束语

为满足我国铁路更高运行速度、更高行车密度及降低铁路建设和运营维护成本的要求,结合对世界先进列控系统共同特点的分析,展望我国下一代CTCS-4列控系统技术的发展趋势:

(1)为减小列车追踪运行间隔,从而提高运输效率,采用移动闭塞技术,目前国内多数城市轨道交通采用的CBTC列控系统就应用到了移动闭塞技术。

而我国干线铁路采用的C2和C3系统的准移动闭塞技术虽然对固定闭塞进行了优化,但列车目标制动点仍然应在前方列车所占用闭塞分区的外方,尚没有突破轨道电路的限制^[6]。

由于我国铁路线路情况多变和大站作业复杂等因素,使移动闭塞技术全面应用在铁路干线上还有一定挑战性,所以移动闭塞技术是下一代列控系统的关键技术。

(2)改变基于轨旁设备的传统定位方式,通过卫星与轨旁设备有机结合的方式对列车进行实时定位,从而减少轨旁定位应答器和区间轨道电路的安装^[7]。

(3)地面设备一体化,简化列控中心(TCC)、轨旁电子单元(LEU)、无线闭塞中心(RBC)、联锁(CBI)、调度集中(CTC)、临时限速服务器(TSRs)等地面设备之间的联系,将其中多个或几个设备高度集成,来避免设备之间频繁通信产生的故障,从而降低建设、运营维护成本和难度^[8]。

(4)升级车地无线通信,车地信息的传输仍需要

无线通信方式,实现车-地之间大容量双向无线通信,对无线通信系统的传输带宽及传输可靠性提出了更高的要求。

(5)实现高速铁路列车自动驾驶和智能驾驶,提升列控系统的自动化水平。

(6)系统具有更高的可靠性和安全性,简化系统内部的各种冗余,以减低建设及运营成本。

参考文献:

- [1] 宁滨. 高速列车运行控制系统[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
NING Bin. High-speed Train Control System [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [2] 王海峰, 李开成, 刘宏杰, 等. 列车运行控制系统技术发展趋势分析[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(8): 1-4.
WANG Haifeng, LI Kaizhen, LIU Hongjie, et al. Development Trend of CTCS [J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(8): 1-4.
- [3] 李凯. 高速铁路列车运行控制技术: CTCS-2级列车运行控制系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
LI Kai. High-speed railway train control Technology: CTCS-2 Train Control System [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017.
- [4] 岳春华, 叶建斌. 珠三角城际铁路CTCS-2+ATO系统运营探索与问题研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(4): 4-7.
YUE Chunhua, YE Jianbin. Problems in Operation of CTCS-2+ATO System for Intercity Railways in Zhujiang Delta Region [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(4): 4-7.
- [5] 莫志松. CTCS-1级列控系统总体技术方案探讨[J]. 中国铁路, 2016, 37(8): 37-43.
MO Zhisong. Discussion on Overall Technical Plan for CTCS-1 Train Control System [J]. China Railway, 2016, 37(8): 37-43.
- [6] 郭进, 张亚东, 王长海, 等. 我国下一代列车控制系统的展望与思考[J]. 铁道运输与经济, 2016, 38(6): 23-28.
GUO Jin, ZHANG Yadong, WANG Changhai, et al. Outlook and Thoughts on Next Generation Train Control System in China [J]. Railway Transport and Economy, 2016, 38(6): 23-28.
- [7] 武长海. 西部铁路列控系统总体技术方案研究[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(11): 4-8.
WU Changhai. Research of Overall Technical Proposal for Train Control System in Western Railway [J]. Railway signalling & communication, 2016, 52(11): 4-8.
- [8] 程剑锋, 赵显琼, 刘磊. CTCS-4级列控系统关键技术研究[J]. 北京交通大学学报, 2016, 40(5): 105-110.
CHENG Jianfeng, ZHAO Xianqiong, LIU Lei. Research on Key Technologies of CTCS-4 Level Train Control System [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2016, 40(5): 105-110.

(编辑: 赵立红 张红英)