

文章编号: 1674—8247(2019)06—0096—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.06.020

铁路 CTCS2 + ATO 列车运行控制系统技术研究

张浙梁

(江阴市交通运输局铁路建设服务中心, 江苏 江阴 214432)

摘 要:目前,铁路客运专线正逐步呈现出“高密度、公交化”的趋势,列车发车间隔短、行车密度高,传统的依靠列车驾驶员人工驾驶难以保证行车效率。针对这一问题,本文重点介绍了基于 CTCS2 + ATO 自动驾驶技术的城际铁路列车运行控制系统技术方案、工作模式、运营场景、系统功能等,使相关人员详细了解新型市域铁路列控系统的原理,便于时速 250 km 及以下的城际铁路列控系统运用和维护的顺利进行。

关键词:列控系统;自动驾驶;城际;铁路

中图分类号:U284.48⁺2 **文献标志码:**A

Research on CTCS2 + ATO Train Operation Control System Technology

ZHANG Zheliang

(Railway Construction Service Center of Jiangyin Transportation Bureau, Jiangyin 214432, China)

96

Abstract: At present, the railway passenger dedicated line is gradually showing the trend of "high density, public transportation", with short departure interval and high traffic density. It is difficult to ensure the driving efficiency by relying on the traditional manual driving. In view of this problem, this paper mainly introduces the technical scheme, working mode, operation scenario, system function of the train operation control system of the intercity railway based on CTCS2 + ATO automatic driving technology, so that relevant personnel can understand in detail the principle of the new urban railway train control system, which facilitates the smooth operation and maintenance of the intercity railway train control system with the speed of 250 km and below.

Key words: train control system; automatic driving; intercity; railway

交通运输是基础性、先导性、战略性产业,轨道交通对地区经济增长有明显的支持和拉动作用。目前,客运铁路专线正逐步呈现出“高密度、公交化”的趋势,列车发车间隔短、行车密度高,传统的依靠列车驾驶员人工驾驶难以保证行车效率。传统列车运行控制系统(CTCS)结合先进的自动驾驶技术(ATO)成为当前铁路列控技术发展新的突破口^[1]。

1 系统组成

CTCS-2 级列控系统作为我国铁路客运专线中采用的标准,技术体系成熟、应用广泛。其采用轨道电路完成占用检测,通过点式应答器传输定位和线路数据信息,驾驶员在车载信号监督下人工驾驶行车^[2]。ATO 为自动列车运行控制系统,其与传统 CTCS-2 系统的结合是我国铁路领域的重大技术突破与创新。CTCS2 + ATO 信号系统分为地面、车载两个部分,主要

收稿日期:2019-06-21

作者简介:张浙梁(1979-),男,助理馆员。

引文格式:张浙梁. 铁路 CTCS2 + ATO 列车运行控制系统技术研究[J]. 高速铁路技术,2019,10(6):96-100.

ZHANG Zheliang. Research on CTCS2 + ATO Train Operation Control System Technology [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(6): 96-100.

是在传统 CTCS-2 级系统的基础上进行扩展,新增 ATO 处理单元,ATP 向 ATO 提供列车运行状态、ATP 监控曲线、驾驶员驾驶状态、车门释放等信息,ATO 处理单元直接向动车组输出牵引/制动、牵引锁闭、开关车门等信号^[3]。

1.1 CTCS2 + ATO 地面设备组成

CTCS2 + ATO 地面设备主要包括:列控中心、ZPW2000 无绝缘移频轨道电路、应答器、轨旁电子单元 LEU、TSR 服务器、CTC 车站分机、ATO 无线接口设备、计算机联锁、集中监测、信号机等,地面设备组成如图 1 所示。

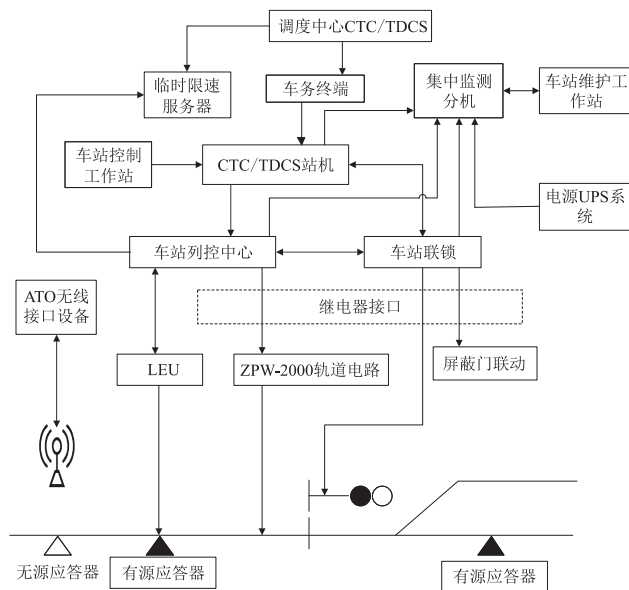


图 1 CTCS2 + ATO 地面设备组成图

1.2 CTCS2 + ATO 车载设备组成

CTCS2 + ATO 车载设备主要包括:车载安全计算机、ZPW2000 信息接收单元、应答器接收单元、测速单元、ATO、无线设备、DMI、总线等^[4],车载设备组成如图 2 所示。

2 系统模式

新型自动驾驶高速铁路运行控制系统有如下几种系统模式^[5]:

(1) 待机(简称 SB)模式:当列车唤醒上电但驾驶室未激活时,列控设备开始执行自动检测功能,当检测到系统正常后处于列车运行禁止的模式。

(2) 部分监控(简称 PS)模式:当驾驶室激活,系统从 ATP 天线接收到地面允许列车运行信号,但列车未定位,系统对车辆进行固定速度限制。此时由驾驶员在固定速度监督下人工驾驶列车,需根据地面信号显示行驶。

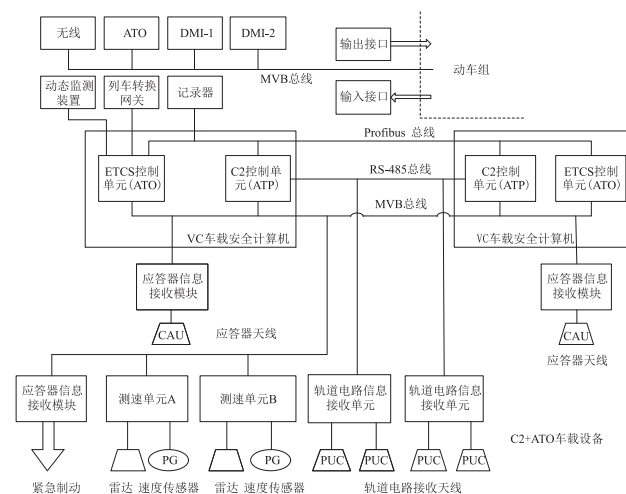


图 2 CTCS2 + ATO 车载设备组成图

(3) 完全监控(简称 FS)模式:即传统列控 C2 级下的正常人工驾驶模式。该模式下,由车载生成 ATP 连续控制防护曲线,并通过驾驶台显示单元显示列车运行速度、限速、目标速度/距离等信息,对列车运行进行监控。

(4) 引导(简称 CO)模式:当线路出现异常,信号机开放引导信号时,系统生成目标速度曲线,并通过驾驶台显示单元显示列车运行速度、限速、目标速度/距离等信息等。此模式下,车载列控设备以 40 km/h 限制速度监督列车,驾驶员在固定速度监督下人工驾驶列车,需根据地面信号显示驾驶。

(5) 目视行车(简称 OS)模式:当前方信号为红灯,但停车后仍需前进时,根据相关规范,可进入该模式。在该模式下,车载列控设备以 40 km/h 限制速度监督列车行车,运行过程中每隔 300 m 或 60 s 需驾驶员确认一次。在该模式下,系统监控列车的最高速度,驾驶员在固定速度监督下人工驾驶列车。

(6) 调车(简称 SH)模式:当需要调车操作时,由驾驶员按压并激活调车模式,车载列控设备以 40 km/h 限制速度监督列车行车。该模式下,系统监控列车的最高速度,驾驶员在固定速度监督下人工驾驶列车,需防止列车驶入危险区域。

(7) 机车信号(简称 CS)模式:当车辆驶入无列控地面设备的线路时,根据相关管理办法或调度员的指令,需经驾驶员转到 CS 模式。该模式下,车载列控设备以 80 km/h 限制速度监督列车行车,并显示机车信号,当列车闯红灯时,系统将会触发紧急制动。在 CS 模式下,驾驶员负责根据地面信号显示驾驶列车。

(8) 休眠(简称 SL)模式:用于非激活的驾驶端系统设备。在 SL 模式下,系统不对列车运行进行监控,但仍然保留测速测距、位置计算、检查 CCS 通信状态

等功能。列车折返后,非激活端升为激活端,系统设备可自动进入正常的工况状态。

(9)隔离(简称 IS)模式:当系统设备产生故障或宕机时,应在列车停稳的情况下,操作相关隔离开关对列控系统的制动等功能进行隔离。该模式下,信号系统设备不具备任何监控功能,完全由驾驶员保证安全。

(10)自动驾驶(简称 AM)模式:系统工作在完全监控模式且满足自动驾驶检查条件时,由驾驶员确认后进入自动驾驶模式。在该模式下,ATP 对列车执行超速防护,ATO 执行列车自动驾驶功能(包括自动牵引/制动/惰行控制)和车门自动控制等。AM 模式下,一旦系统检查到自动驾驶模式相关检查条件出现异常或 ATO 设备故障,会立即退出自动驾驶模式,并提示给驾驶员确认。车载设备通过预选模式,可确定驾驶员是否允许系统转入 AM 模式。当预选模式被设置为“预选 ATO”时,系统允许自动转入 AM 模式;当预选模式被设置为“无 ATO”时,会不允许系统转入 AM 模式。

系统各模式间的转换条件如表 1 所示。

表 1 模式转换条件

编号	条件内容
1	(停车)且(按下“启动”键)
2	(收到 HU、H 或无码)且(停车)且(按“目视”键)
3	(停车)且(按下“调车”键)
4	(停车)且(按下“机信”键)
5	(停车)且(驾驶台关闭)且(有休眠信号)
6	(隔离开关打到隔离位)
7	(收到绝对停车信息)且(紧急制动停车)且(按下“缓解”键)
8	(驾驶台关闭)
9	(列车位置确定)且(线路数据满足完全监控条件)且(地面为允许信号(HB 除外)或 HU 码)
10	(收到 HB 码)且($SBI\leq 45\text{ km/h}$)且(列车速度 $\leq 40\text{ km/h}$)且(驾驶员确认)
11	(线路数据不足)
12	(列车位置不确定)
13	(收到允许信号(HB 除外))且(线路数据不足或列车位置不确定)
14	(收到允许信号(HB 除外))且(列车位置确定)且(线路数据满足完全监控条件)
15	(收到 HB 码)且(列车速度 $\leq 40\text{ km/h}$)
16	(停车)且(按下“调车”键)
17	(收到调车危险信息)且(紧急制动停车)且(按下“缓解”键)
18	(停车)且(按下“机信”键)
19	(驾驶台激活)
20	(列车停车)且(无休眠信号)
21	(隔离开关处于正常位(车载设备上电))
22	(方向手柄向前)且(牵引/制动手柄处于零位)且(车门关闭)且(按压“ATO 发车”按钮)且(收到允许码)
23	(方向手柄非向前或牵引/制动手柄不处于零位)
24	ATO 故障或 AM 模式条件不满足

各模式间的转换关系如表 2 所示。

表 2 车载设备模式转换表

SB	<7,8	<7,8	<7,8	<7,8	<7,8, 16,17	<7,8, 18	<19, 20	<21	<7,8
1>	PS	<11,12	<13	<13	-	-	-	-	<11,12
-	9>	FS	<14	<14	-	-	-	-	<23,24
-	15>	10>	CO	<15	-	-	-	-	<10
2>	2>	2>	2>	OS	-	-	-	-	<2
3>	3>	3>	3>	3>	SH	-	-	-	<3
4>	4>	4>	4>	4>	-	CS	-	-	<4
5>	-	-	-	-	-	-	SL	-	-
-	6>	6>	6>	6>	6>	6>	6>	IS	6<
-	-	22>	-	-	-	-	-	-	AM

注:①表中“1>”或“<1”表示:条件 1 必须要满足,才可能触发该列的模式转换到箭头“>/<”指示的模式
②“7,8”表示“条件 7 或 8”

3 系统运营场景

CTCS2 + ATO 列控系统主要行车场景包括列车自动驾驶运行、系统启动和注册/注销、行驶出动车段、车门和站台门联动和防护等^[6]。

3.1 注册与启动

驾驶员闭合车上设备电源断路器,车载设备上电并开始自检,车载电台能够自动连接到 GSM - R 网络。自检成功后,系统会自动进入 SB 模式。此时驾驶员插入主控钥匙激活驾驶台,处于 SB 模式的系统设备将被唤醒。列车唤醒后,驾驶台显示单元会提示驾驶员输入相关列车数据,驾驶员在 DMI 上输入列车参数(车长和车次号等),并选择预选模式为“预选 ATO”。系统设备会按照驾驶员现场输入或已存储的 CCS 信息连接 CCS,车载系统将向 CCS 报告列车位置信息已完成注册。

3.2 注销

列车运营结束停车后,驾驶员将关闭驾驶台,车载设备进入 SB 模式,随后自动向 CCS 报告结束信息,车载设备随后将关闭与 CCS 的通信会话,CCS 将注销该列车的注册信息,随后车载设备下电休眠。

3.3 驶出动车段

调度集中系统或动车段的值班员通过动车段联锁上位机办理发车进路,进路开放后,车站列控中心控制对应股道发送允许列车运行的轨道电路码,ATP 接收并给出行车许可。驾驶员根据系统的行车许可,人工驾驶列车出发。车载设备接收到地面应答器提供的线路定位数据后,具备 FS 模式条件时能够自动转入 FS 模式监督列车运行安全。车载设备工作在 FS 模式时,ATO 判断能够进入自动控车条件时,“ATO 发车”指示灯会闪烁,提示驾驶员按压该按钮。

驾驶员确认并按压“ATO 发车”按钮后,车载设备转入自动驾驶控制列车运行。若驾驶员在“ATO 发

车”指示灯闪烁后未进行确认,ATO 会保持该指示灯闪烁,直到驾驶员确认或者 ATO 控车条件不具备时熄灭。

3.4 列车自动运行

列车在到达车站预定的发车时间后,驾驶员通过瞭望检查旅客乘降作业后,将进行关门操作(或由 ATO 自动关门)。车载系统和地面系统会进行车地门联动控制,车门和站台门会同步关闭。联锁检测到站台门关闭且锁闭后,将开放出站信号,此时车站列控将控制轨道电路发送允许码。

车载设备根据轨道电路发送的允许码更新行车许可。ATO 确认车门关闭,驾驶员驾驶手柄位置正确,且相关条件检查完毕后,“ATO 发车”指示灯将闪烁以通知驾驶员。驾驶员确认车门关闭后,可按下“ATO 发车”按钮,ATO 将根据列车运行计划及行车许可,自动驾驶列车运行。

若发车时车载设备无法转入自动驾驶模式,需由驾驶员人工驾驶列车从车站出发。

3.5 ATO 车门控制

ATO 在 ATP 给出开门允许后,会进行车门控制,提供以下几种车门控制模式。

(1)自动开门/自动关门:由 ATO 自动打开车门,并在站停时间倒计时结束后自动关车。

(2)自动开门/手动关门:由 ATO 自动打开车门,由驾驶员手动关闭车门。

(3)手动开门/手动关门:由驾驶员手动开/关车门。

任何车门控制模式下,驾驶员均可人工操作车门。在自动开门/自动关门、自动开门/手动关门模式下,ATO 可自动打开车门。车门控制模式采集失效时,按照手动开关门模式处理。当 ATP 允许开双侧门时,ATO 不会自动控制车门,需由驾驶员进行车门操作。当股道运行计划为“通过”或无效时,ATO 不自动控制车门。本股道运行计划为“不载客”时,ATO 不自动控制车门,终到站不会自动关门。

3.6 车地门联控

系统在车地通信正常时可提供车地门联控功能^[7],如图 3 所示。

开关车门可由驾驶员按压按钮操作,也可由自动驾驶 ATO 系统操作。当 ATP 给出开门允许信号后,驾驶员或 ATO 将进行开门操作,ATP 向地面设备发送开门命令。CCS 根据车型信息和地面站台门设置情况,确认对应股道列车停准且停稳后,通过车站列控向屏蔽门系统发送开门动作,由屏蔽门系统打开站台门。驾驶员或 ATO 进行关门操作,ATP 向地面设备发送关

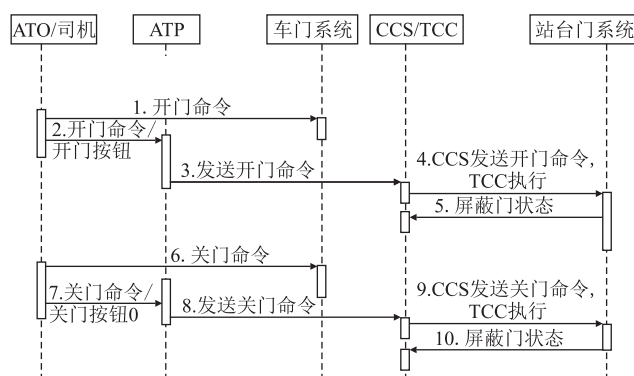


图3 车地门联控示意图

门命令。地面设备向屏蔽门系统发送关门动作,由屏蔽门系统关闭屏蔽门。车地通信故障等异常情况下,车门与屏蔽门不能正常联控时,车地门联控由人工操作实现。

4 新增 ATO 设备的功能及要求

CTCS2 + ATO 在传统 CTCS-2 级列控系统基础上,增加了 ATO 设备,ATO 在 ATP 的行车许可下根据线路条件、运行计划等信息实现列车自动驾驶及车门自动控制,ATO 的主要功能及要求包括:

(1)ATO 具备站间自动运行。车站定点停车及车站通过、列车运行自动调整、列车运行节能控制、折返驾驶、车门自动控制及设备自诊断、记录、报警等功能。

(2)ATO 能提供启动、加速、巡航、惰行、制动、停车等多种工况的控制,满足不同行车间隔和节能的运行要求,适应列车运行自动调整需要。

(3)当 ATO 未接收到有效运行计划信息时,可按默认停车策略实现站台定点停车。

(4)ATO 停车控制过程应满足停车舒适度和精度的要求,ATO 控制列车加/减速度的变化率宜 $\leq 0.75 \text{ m/s}^2$,站台定点停车精度宜 $\leq \pm 0.35 \text{ m}$ 。

5 结束语

CTCS2 + ATO 将传统列控与自动驾驶技术相结合,具有高速度、高密度等特点。自动驾驶技术的应用,对降低动车组驾驶员劳动强度、避免人为驾驶操作失误具有十分重要的作用。该技术已在珠三角城际铁路等示范线路上开通应用^[8],未来该系统必将在我国高速铁路领域得到广泛使用,推动我国高速铁路向智能化、无人化方向发展。

参考文献:

[1] 徐效宁,李一楠,刘磊,等. 干线铁路 CTCS-2 级列控系统融合

- ATO 的方案研究[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(7): 78-83.
- XU Xiaoning, LI Yinan, LIU Lei, et al. The Application of ATO in CTCS-2 Train Control System for Mainline Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(7): 78-83.
- [2] 何斌. CTCS-2 + ATO 列控车载设备运用问题及对策研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(1): 11-13.
- HE Bin. Study on Application Problems and Countermeasures of CTCS-2 + ATO Train Control Onboard Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(1): 11-13.
- [3] TJ/DW149-2013 城际铁路 CTCS2 + ATO 列控系统暂行总体技术方案[S].
- TJ/DW149-2013 Temporary Overall Technical Scheme for CTCS2 + ATO Train Control System of Intercity Railway[S].
- [4] 岳春华, 叶建斌. 珠三角城际铁路 CTCS2 + 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 CTCS2 + ATO System for Intercity Railways in Zhujiang Delta Region[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(4): 4-7.
- [5] 夏进波. ATO 在现有 CTCS-2 线路中的应用研究[J]. 高速铁路技术, 2016, 7(4): 30-31.
- XIA Jinbo. Application Study of ATO on Existing CTCS-2 Line[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(4): 30-31.
- [6] 汪洋. 城际铁路 C2 + ATO 互联互通测试关键技术研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(10): 132-135.
- WANG Yang. Research on Key Technologies in Interoperability Test of C2 + ATO Train Control System of Intercity Railway[J]. Railway Standard Design, 2016, 60(10): 132-135.
- [7] 陈建译. 珠三角城际铁路 CTCS2 + ATO 系统与站台门接口研究[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(12): 1-4.
- CHEN Jianyi. Research on Interface of CTCS2 + ATO System and Station Platform in Pearl River Delta Inter-city Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(12): 1-4.
- [8] 张小星. CTCS2 + ATO 列控系统在珠三角城际轨道交通中的应用[J]. 铁道通信信号, 2015, 51(12): 17-19.
- ZHANG Xiaoxing. CTCS2 + ATO Train Control System and Its Application in Pearl River Delta Inter-city Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(12): 17-19.
- (编辑:赵立红 张红英)

(上接第 90 页)

100

- [2] 朱高明. 国内外无砟轨道的研究与应用综述[J]. 铁道工程学报, 2008, 25(7): 28-30.
- ZHU Gaoming. Overall Comments on Study and Application of Ballastless Track at Home and Abroad[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008, 25(7): 28-30.
- [3] 刘学毅, 赵坪锐, 杨荣山, 等. 客运专线无砟轨道设计理论与方法[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.
- LIU Xueyi, ZHAO Pingrui, YANG Rongshan, et al. Design Theory and Method of Ballastless Track for Passenger Dedicated Line[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2010.
- [4] 高增增. CRTS I 型双块式无砟轨道结构优化设计研究[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(11): 13-18.
- GAO Zengzeng. Research on Optimized Design of CRTS I Double-block Ballastless Track Structure[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(11): 13-18.
- [5] 李娜, 陈辉华, 张慧. 高速铁路 CRTS I 型双块式无砟轨道施工质量评价体系研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2016, 13(5): 812-820.
- LI Na, CHEN Huihua, ZHANG Hui. Research on the Construction Quality Evaluation System of High-speed Railway CRTS I Double-block Ballastless Track[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2016, 13(5): 812-820.
- [6] 邵引明. CRTS-I 型双块式无砟轨道施工工艺及控制要点[J]. 四川建材, 2018, 44(11): 151-153.
- SHAO Yinming. Construction Process and Control Points of CRTS I Double-block Ballastless Track[J]. Sichuan Building Materials, 2018, 44(11): 151-153.
- [7] 杜永昌. 高速与客运专线铁路施工工艺手册[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2006.
- DU Yongchang. Construction Manual for High-speed and Passenger Dedicated Railways[M]. Beijing: Scientific and Technical Documentation Press, 2006.
- [8] 张岷. 双块式无砟轨道连续式道床板后浇带施工工艺研究[J]. 铁道建筑, 2018, 58(3): 72-75.
- ZHANG Min. Construction Technology of Post Casting Belt for Continuous Roadbed Slab of Double Block Ballastless Track[J]. Railway Engineering, 2018, 58(3): 72-75.
- (编辑:刘会娟 白雪)