

基于无线通讯列车控制系统的全自动无人驾驶地铁系统研究

康海涛

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 青岛 266000)

摘要: 全自动无人驾驶轨道系统是全球各国轨道车辆发展的趋势, 通过分析 CBTC (communication based train control system) 即基于无线通讯的列车控制系统信号系统的无人驾驶地铁系统特点, G0A4 级全自动无人驾驶地铁系统相对于传统轨道车辆系统具有明显的优点, 系统具有高可靠性、高安全性和可维护性等优点; 全自动无人驾驶系统的应用, 提升了运营系统应急处置水平, 提升系统和自动化水平, 降低了劳动强度; 全自动驾驶列车的核心为 ATC 与 TIMS 系统, 列车结构与传统地铁列车相同, 由走行部、车体、电路、控制系统等构成; ATC 通过自身的 ATP、ATO 模块对列车的运行施加控制与保护, TIMS 系统与 ATC 系统进行信息交流, 通过 ATC 接收远程的 ATS 发出的指令, 使列车自动加速、制动、精准靠站; 运行中的突发状况由信号系统 ATS 与监控系统 MFT 处理, 通过人工的监测对列车进行控制, 决定跳站或扣车; 若危险等级过高, 则就近停车进行人工上车解决; 若危险等级较低以至于不影响列车的运行, 或者由于乘客的误操作, 则由控制中心对车内进行语音提示或实时广播, 引导乘客自行解决; 文章明确了全自动无人驾驶系统设计的总体原则, 对全自动无人驾驶轨道系统运行的 11 种典型场景进行了设计分析, 配置了全自动无人驾驶运行系统的各子系统。

关键词: 无人驾驶; CBTC; 系统研究

Research for Fully Automatic Operation Based on CBTC Metro System

Kang Haitao

(Crrc Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

Abstract: FAO (fully automatic operation) system is the trend of the development of the railway vehicles around the world, through the analysis driverless metro system characteristic on the basedon CBTC signal system, G0A4 level automatic driverless metro system has obvious advantages compared with traditional railway vehicles, high reliability, high security and maintainability. FAO system has been used, and itenhance emergency disposal of the operating system, and the level of automation, reducing the labor intensity. ATC and TIMS are the core system of the FOA train. The train structure is the same as the traditional subway train, which consists of running gear, car-body, circuit and control system. ATC exerts control and protection on train operation through ATP and ATO modules. TIMS system communicates with ATC system, and ATC receives instructions from remote ATS so as to automatically accelerate, brake and accurate stop at station. ISCS MFT and signaling system ATS deal with emergency affairs, through monitoring system to control train, in order to jump or buckle; if the risk grade is too high, the train parking and get on manually solution; if the risk grade is low, which does not affect the running, or wrongly operation by the passengers, the voice prompt by the control center or live broadcast to guide passengers to resolve. This paper go to clear up the FAO system designgeneral principles, and analyzedthe kinds of 11 typical scenario, collocated each subsystem of the FAO system.

Keywords: driverless; CBTC; systematic research

0 引言

CBTC (communication based train control system) 即基于无线通讯的列车控制系统, 作为先进的列车控制思想得到了全世界的认可。它的主要特点为应用可靠的、更高带宽的无线通讯方式来实现列车和地面设备之间的双向通信, 用以代替轨道电路、应答器等作为媒介来实现列车运行控制。

全自动运行系统涉及车辆、信号、综合监控、通信、

等多个专业, 各专业联系密切。传统意义上的运行部分交由车载 ATC 以及 TIMS 负责, 其余通讯以及监控管理部分, 则由控制中心负责。传统的司机、控制中心调度员和车站值班员共同参与运营管理, 以控制中心调度员直接面向列车运行。

运营控制系统需要具有完善的自动控制功能, 以列车为核心, 信号与车辆、综合监控、通信等多系统配合, 完成真正意义上的无人驾驶以及自动化控制。同时, 运营控制系统应具有较为完善的综合维护辅助功能, 便于提升列车的安全性以及自愈能力。

城市轨道交通的运行最早由司机目视驾驶, 安全性完全取决于司机, 列车运行效率较低。后来, 列车自动防护 (ATP) 系统的出现, 可防止列车碰撞, 提升了运行安全

收稿日期: 2018-11-25; 修回日期: 2019-03-20。

作者简介: 康海涛(1983-), 男, 山东人, 硕士研究生, 主要从事城轨地铁车辆调试技术、列车自动化调试工艺和无人驾驶车辆综合试验方向的研究。

性。随着基于无线通信的列车控制（CBTC）系统的出现，列车在实现自动运行（ATO）的同时进一步提升运营效率，司机的工作主要是控制列车车门开闭、列车启动、降级模式下的处理和车内广播。为进一步提升系统安全性和效率，列车车门开闭、紧急情况处理皆由系统自动控制实现，对系统自动化水平及可靠性、可用性、可维护性、安全性（RAMS）指标提出了更高要求，在此背景下，全自动运行系统应运而生。

1 全自动运行系统总体设计要求

1.1 系统设计原则

全自动运行系统必须安全可靠、经济实用，在设备选型时，应考虑建设要求以及冗余设计，加强系统的自愈能力，降低故障发生率。网络系统必须根据当前环境考虑拓扑网结构的设计，并加强冗余管理，同时具备较强的抗干扰能力。在成本方面，应加大本地生产供货能力，为后期的维保提供方便快捷的保证。

场景的搭建应做到实效、合理性双重考虑，尽量将传统运行线路可能发生的情况都考虑到全自动处理中，保证全自动驾驶列车以及人员的安全。

中心以及车站的主要设备均加入冗余设计，保证主控系统、备用系统衔接正常，互为热备。

列车内所有主要设备（与运行有关的）均有远程状态监控，一旦远程终端显示异常，立即采取应急措施，人工干预或引导乘客紧急处理。列车在运行过程中，全程视频监控，包括两个头车对线路的监控摄像头。

1.2 系统安全原则

全自动运行系统应形成全封闭区域，无特殊情况必须杜绝人员的流动，做好门禁系统的监督。在站台应保证应急开关的安装，包括 SPKS 等。列车内 ATC 的触发器模块应与时刻表相对应，向 TIMS 发送广播命令，提醒乘客注意的事项，遇到非紧急警报时，提醒乘客按照相应对策执行；每日的送电、断电应监管到位，注意各个部门之间的联系。

2 全自动运行系统场景

根据全自动运行系统特点，结合全自动运行的运行场景，对一些特定场景进行设计，制定运营流程。在车内设备及控制设备出现故障时，应保证行车安全，提高故障排查速度，加强故障预警措施，降低故障发生率，使列车面对常见的问题时，能够根据系统的设定自行解决。

根据每日早间到晚间列车运行的线路，将列车能够遇见的情况做成每一个场景来应对，包含正常情况下的处理和异常情况下的处理，共包括场景 40 项，可根据需要自行选择，如图 1。

全自动运行系统在传统有人值守的运行模式中总结日常运营流程，将部分人工手动操作部分自动化，因此，场景搭建是全自动运行的基本建设内容，可以说全自动运行系统是围绕场景的搭建为主来设计的，也可以说场景是完

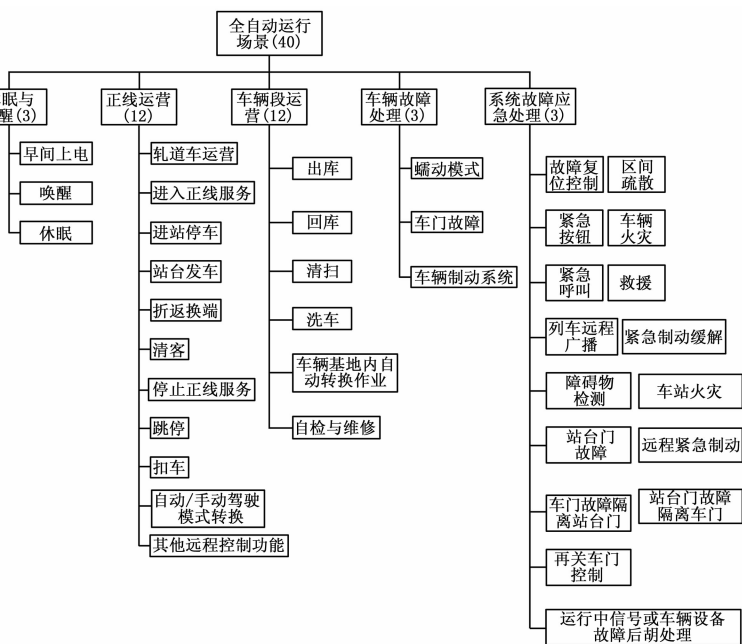


图 1 运行场景

整的全自动运行系统的产物。

2.1 早间自动上电

早间上电需进行人工视频监控道路是否有工作人员遗留，在列车唤醒前 2 分钟，停车场内的工作人员将摄像机推送到行调 CCTV 显示终端上，并触发录制功能，对停车场内进行 2 分钟的检查，并通过站台广播播放录制好的提示音“线路即将送电，请工作人员撤离”，确认无问题后，通过 TIAS 终端的对话框通知电调上电，特殊情况下，电调值班人员也可不经行调确认操作后的软件提示，通过与行调电话沟通确认具备送电条件的前提下，对相关区段人工远程送电，现场库内应设置三轨带电状态指示灯。

2.2 唤醒—自检

列车在当日工作结束后，会进入休眠模式，车辆以蓄电池低压带电，部分模块仍然处于待命状态，当控制远程发送唤醒指令后，列车自动进行上电自检操作，当自检失败后，向中心发送唤醒失败警报信息，并远程休眠或人工手动休眠后，中心再次远程唤醒。

上电自检时 ATC 与 TIMS 联合进行，自检结果中有任何一个设备故障均不允许出库，显示“无服务”，并向中心汇报。唤醒自检时不允许开关门以及转动司机驾驶模式手柄，否则自检中断。自检全部通过后的列车即具备 AM 模式运行的条件。

2.3 出库

ATS 在发车前的一段时间内（根据需求设定计时时间），为列车设定行驶目标，加载时刻表并限速出库，其中包括出库手续办理以及自动驾驶权限的激活，办理结束后自动运行至指定位置，自检失败且无法短时间修复的车辆，控制中心会替换为备用车办理出库，所有车辆准备就绪后，准备更换为进入正线工况运行。

AM 模式下，列车出库进入正线时，车头越过出库信

号机之前发送场内运行指令给车辆，用于车辆断开母线高速断路器（防止出现短路），关闭空调；车尾进入转换轨后，停止发送场内运行指令，车辆恢复母线高速断路器。

2.4 巡道

控制中心唤醒首列车作为巡道车，环形一圈或运行至另外一个终点（车辆段），司机上车后以 PM 手动保护模式运行，期间不开门、不停站。回到正线端点后，司机将模式打至 AM（自动）模式，开始正线载客运行。车辆巡道的目的是检测并确定轨道系统、供电系统、信号系统、ISCS 系统、通信系统等运行正常，满足载客需求。

2.5 进入正线服务

控制中心 ATS 终端检查到列车从库内运行至完全进入转换轨，或已在正线存车线的列车后，自动根据运行图为该列车分配车次号，并向列车发送“正线服务”工况指令，当列车 ATC 检查到车尾已完全驶出场内最后一个信号灯后，自动停止向车辆发送场内运行工况。此时列车的场景将切换至正线运行场景，车内空调、照明等系统投入使用。

2.6 进站停车以及自动开关门

在列车运行过程中，车内摄像头全程监控车内状态，同时 LED 显示器与动态电子地图根据列车时刻表显示到站信息，即将到达站台前 50 米，广播播报“即将到站”语音提示。当列车未自动对准站台时，若在停车标+5 米以内，ATC 会对列车发送指令，跳跃对准站台；若超过 5 米的范围，列车自动跳站至下一站，并向中心发送报警信息，同时 ATC 内部“OVS”（超过站台模块触发器）向 TIMS 发送过站指令，触发车内广播，为乘客播报提示语音。

列车以 AM 模式运行时，到站后自动开启站台侧客室门，相应的广播、LED 显示器、动态电子地图相应的开始工作，正常情况下一分钟后门自动关闭，门障碍物检测功能在后述内容中体现。

2.7 自动换端

列车行驶至规划路线的终点站时，待车门全部关闭后进入转换轨，ATC 会将列车主控移交至另一端，并通过 ATC 完成与 ZC 的注销和换端后的自动运行授权申请，并适时办理折返进路，按照时刻表继续行驶。

列车运行至终点站时，保持车门不关闭，进行清客处理，同时广播播放提示语音，提醒乘客全部下车。站台人员检查清客完成后，手动按下关门按钮，列车进入折返转换轨。

2.8 停止正线服务

在列车停止正线服务后，进入正线存车线或者转换轨，控制中心发送停止正线服务工况指令，并删除列车识别号，ATC 命令 TIMS 关闭一半的灯光并关闭空调和照明系统，准备进入停车场的列车断开高速断路器，准备休眠。

2.9 回库

AM 模式运行下，进入转换轨的列车收到停止正线服务指令后，进行回库作业，中心为列车发送派遣指令，并触发回库进路，ZC 为列车办理移动权限。CI 收到回库作业命令时，检查库门是否打开等连锁条件是否满足，为列车办理回库。距离入库信号机前，ATC 触发入库模块触发

器，向 TIMS 发送鸣笛指令。从正线回场的列车，车头越过场内信号机 1 米，ATC 即向 TIMS 发送场内运行工况，直到车尾完全驶出出库信号机，AM 或人工驾驶模式在库内运行时，列车速度限制在 5 km/h 以内。

2.10 清洗

AM 模式下，控制中心根据计划提前打开洗车库库门，并设定好计划内列车的行驶目标，同时将列车的工况设定为“洗车”模式，此时列车恒速（一般为 7 km/h）进入洗车库，洗车台位自动进行洗车任务，清洗完毕的列车会按照中心排好的路段并设定行驶目标进入列检库内，完成一天最后的列检工作。

2.11 休眠

列车到达停车场内后，中心远程发送休眠指令，一般休眠时间为 2 分钟，列车断开主要工作内容，仅保留唤醒模块的供电，由蓄电池提供。断电前 ATC 与 TIMS 发送 PMD 并存储，保存完毕后，车辆进入休眠模式；若远程休眠失败，工作人员上车手动休眠，按下“手动休眠按钮”等待列车休眠。

3 全自动运行系统基础配置

全自动无人驾驶列车系统是充分利用信号技术、通信技术、控制及现代化信息技术的具备高度自动化水平的新一代轨道交通系统。



图 2 全自动运行系统基础配置

将列车驾驶员执行的工作完全自动化、高度集中控制；车辆段列车自动唤醒、车站准备、进入正线服务、正线列车运行、车站折返、退出正线服务、进段、洗车和休眠等，列车的启动、牵引、巡航、惰行和制动，以及车门和车站屏蔽门的开关；车站和车载广播等控制均在无人的状态下自动运行。

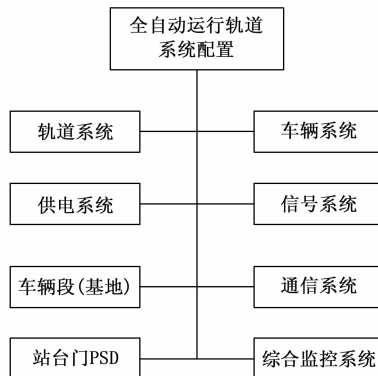


图 3 系统配置图

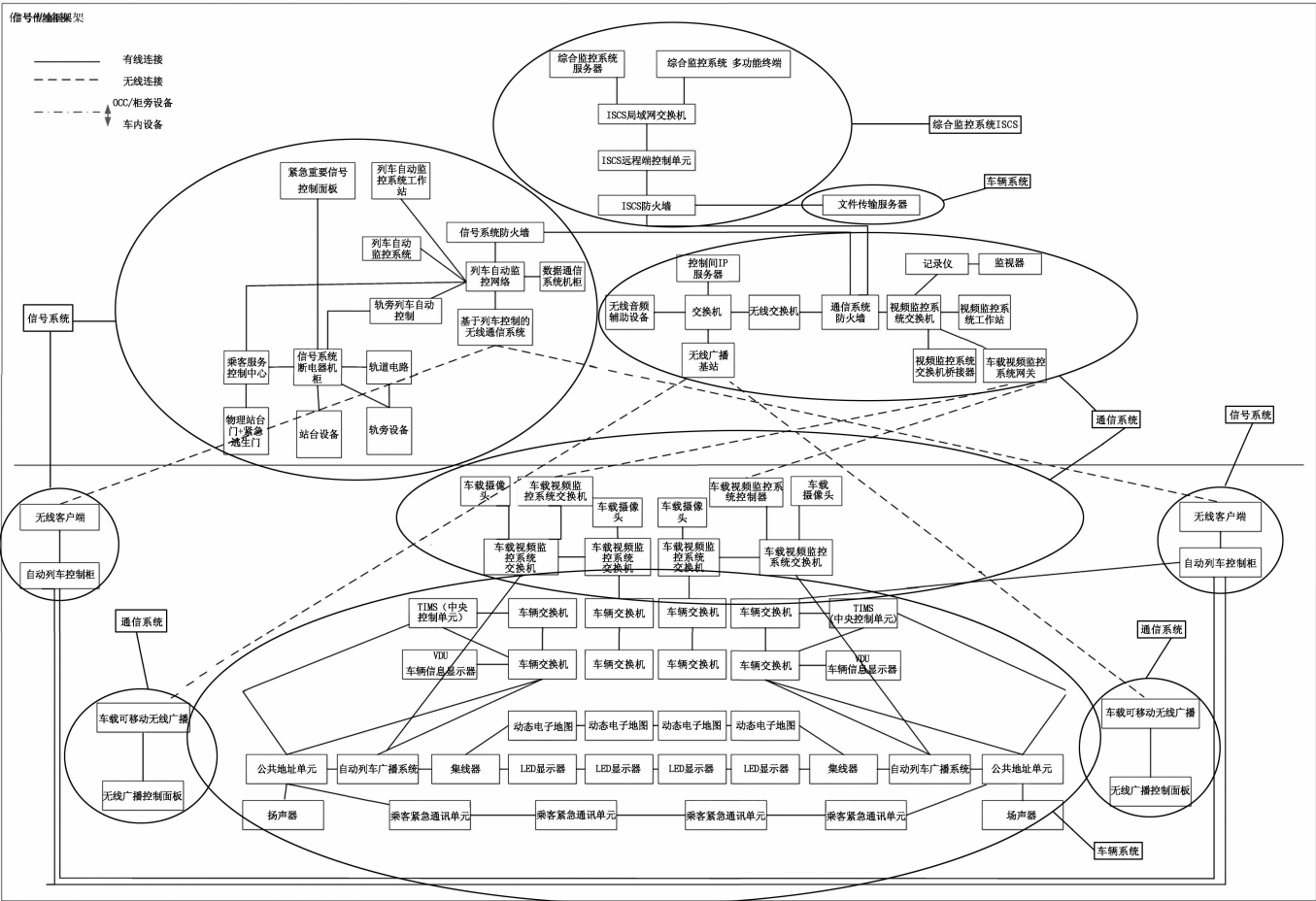


图 4 系统通讯结构图

3.1 信号系统

信号系统是列车全自动运行控制核心系统，是控制列车运行，保证行车安全，提高运输效率，传递行车信息。信号系统应采用基于无线通信技术的移动闭塞系统，正线运行、列车出入库及段/场内全自动区域运行，均可实现全自动运行。

信号系统由ATS、ATC组成，其中车载ATC控制ATP以及ATO，对列车自动驾驶时提供保护以及约束。信号系统作为列车自动运行的大脑，提供行动命令，因此应具备完善的数据结构以及多模式场景的搭建。

列车场景的模式选择由中心内的调度人员发起，包括休眠、唤醒、自动进出段、自动进站停车、自动开关门、自动发车、自动折返、自动洗车和自动调车作业等。当列车模式等级降低时，车载ATC自动为列车限速，在车辆有定位时可由中心为列车限速并排路，此时为有保护的人工驾驶PM模式，列车可高速运行；当驾驶模式降至RM模式时，列车为无区域保护的限制人工驾驶模式，此时司机只能驾驶列车低速运行。

3.2 通讯系统

根据全自动运行需求，通信系统需为调度人员提供运行车辆现场图像、故障信息以及相关联动调度指令下发的传输通道，涉及视频监控、车地无线通信网（数据）以及无线通信（语音）三个系统。

3.3 车辆系统

车辆是全自动运行系统的载体，整个全自动运行技术都是围绕着车辆来构成的，乘客直接面对的也是车辆，全自动运行系统技术的成功需要高可靠性、高可用性车辆系统的支撑。

无人驾驶列车的司机室采用内藏式设计，正常运行时由玻璃罩板保护，司机操控面板安装有车辆状态指示灯，乘客可在玻璃罩板外观看到车辆的运行状态。列车网络之间采用冗余设计，各个接口之间采用双通道传输，降低故障发生率。

每列车车门旁应有供乘客应急使用的紧急逃生手柄，并有盖板保护；车内安装有紧急广播按钮为乘客开放，用于日常的车内突发情况。防止电力系统出现故障，车内蓄电池续航能力应保持高水准，最低带电量的工况下应保持至少10小时续航。

3.4 站台门

每站相对应的都有屏蔽门，防止乘客在列车未到站时误跌入轨道。站内的设备间可对站台门进行编辑，设置开启标准信息录入误差，一直是人们亟需解决的问题。本文引用了智能技术、追踪技术，同时针对IOS系统、Android系统、Blackberry系统、Windows phone四大系统的各项移动终端设备录入信息进行误差控制。该控制系统能够在不影响

(下转第 154 页)