

城市轨道交通线路无人值守全自动运行模式下的综合监控系统功能设计

杨 毅

(武汉地铁集团有限公司, 430070, 武汉 // 高级工程师)

摘 要 基于城市轨道交通无人值守的全自动运行模式, 详细阐述了综合监控系统的功能设计。以武汉轨道交通 5 号线为例, 针对全自动运行线路的运营、维护、救灾及服务 etc 系统需求, 介绍了综合监控系统的结构和车载各专专业子系统的接口功能; 并选择部分主要运营场景, 详细介绍了综合监控系统的功能设计方案。

关键词 城市轨道交通; 无人值守全自动运行模式; 综合监控系统; 系统功能设计

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.08.014

Functionality Design for ISCS on Urban Rail Transit UTO Line

YANG Yi

Abstract Based on operation mode of urban rail transit UTO (unattended transit operation), the functionality design for ISCS (integrated supervisory control system) is elaborately expounded. Taking Wuhan Rail Transit Line 5 as an example, targeting the system need of operation, maintenance, emergency rescue, service of UTO line, the structure of ISCS and interface function of on-board specialized sub-system is introduced. Certain main operation scenarios are selected to demonstrate the ISCS functionality design in depth.

Key words urban rail transit; UTO (unattended transit operation); ISCS (integrated supervisory control system); system functionality design

Author's address Wuhan Metro Group Co., Ltd., 430070, Wuhan, China

城市轨道交通系统全自动运行模式包括 DTO (有人值守的全自动运行) 和 UTO (无人值守的全自动运行)。本文以在建的武汉轨道交通 5 号线 (以下简为“5 号线”) 为例, 对全自动运行系统线路中 ISCS (综合监控系统) 的组成、场景联动功能设计、车载 ISCS 的结构及接口功能进行研究。

1 ISCS 的组成

在传统的 DTO 模式下, ISCS 主要由中央级子系统、车站级子系统、NMS (网络管理系统)、TMS (培训系统)、DMS (设备维护系统) 等构成。为适应 UTO 模式, 更好地服务于 OCC (运营控制中心) 调度人员, 辅助调度人员进行调度决策, ISCS 在每列列车内都部署了车载 ISCS。

ISCS 的中央级子系统部署于 OCC, 主要为 OCC 调度人员 (包括行车调度员、电力调度员、环控调度员、维修调度员等) 服务。中央级子系统通过与相关系统的集成、互联, 实现 OCC 调度人员对全自动运行线路的行车调度、防灾救灾、乘客信息及维修调度等业务的集中监视或控制。

ISCS 的车站级子系统主要为车站运营人员服务。其通过与相关系统的集成、互联, 实现 OCC 调度人员及车站值班指挥人员对本站的集中控制。

车载 ISCS 设置于线路所有列车内, 主要用于完成车辆信息的采集及车载系统间的联动。

1.1 硬件构成

ISCS 系统的硬件由中央级 ISCS、车站级 ISCS 及车载 ISCS 构成, 主要包括工作站、服务器、交换机及前置处理器等设备。

1.2 软件构成

ISCS 软件分为以下三层:

1) 数据接口层: 在车站及列车等处设置 FEP (前端处理器), 专门用于集成和互联各专业系统的数据采集和协议转换。

2) 数据处理层: 用于实时和历史数据管理, 主要由 OCC、车站、停车场或车辆段 (以下简为“场段”) 等节点的服务器构成, 通过实时数据库和关系数据库提供 ISCS 的应用功能^[1]。

3) 人机接口层: 用于处理人机接口, 主要由操

作员工作站构成,通过从 OCC 及车站等机构的服务器获取数据,在工作站上显示 HMI(人机界面),完成各种运营场景联动执行、数据存储、网络维护及维修调度等监控操作。

1.3 网络构成

ISCS 网络由主干层、局域层、现场层及车地无线通信网络等组成。主干层用于 OCC 与各车站、场段等各节点局域层网络的互联。现场层即各子系统就地级层面上的网络,包括车载 ISCS、BAS(环境与设备监控系统)等子系统,一般采用工业以太网或现场总线^[2]。车地无线通信网络提供车辆与 OCC 的 ISCS 数据传输通道。5 号线车地无线通信网络由 PIS(乘客信息系统)搭建。

2 UTO 与 DTO 模式下 ISCS 的区别

传统的 DTO 模式下,在 OCC 设置行车调度、电力调度、环控调度、维修调度等岗位。其中,行车调度主要负责行车调度指挥,电力调度及环控调度分别负责电力设备及环控设备的管理,维修调度负责组织管理维修任务。

与 DTO 模式相比,UTO 模式下的 OCC 在工作内容、运作模式、应急处置方式等方面均有所不同。综合国内外采用 UTO 模式线路的运营现状来看,UTO 模式下的全自动运行完全没有司机参与,列车在 OCC 的统一控制下实现列车的休眠、唤醒、自动运行及故障恢复等功能。以 ATS(列车自动监控)子系统为例,在既有的运营体系中,ATS 子系统和 ISCS 的大部分信息都是独立的,当转换为 1 个需要多系统共同参与的运营场景时,各专业系统间的联动和反馈明显存在不全面和不一致的问题,各专业系统的管控能力和软件界面也有着很大差异。如果各专业系统的关键信息无集成汇总,则调度员要反复在多个专业系统间切换,并通过多个工作站界面才能执行一次操作。这种工作模式和工作效率是有违全自动运行设计初衷的。解决这类问题的关键在于 ISCS 及 ATS 子系统等主要系统间的信息集成、联动功能增强及调度员岗位职责集成等。

2.1 岗位调整

采用 UTO 模式线路的运营调度员岗位,在传统 DTO 模式的调度组织基础上,增设了车辆调度岗位和乘客信息调度岗位。其中:车辆调度员承担了司机原有的部分职能,负责处置常见故障、紧急牵引动车、监视列车状态及监视站台门等,实现 OCC 对

列车的远程控制;乘客信息调度员负责处理客运服务事务,如乘客紧急对讲、车厢广播、清客处置及信息发布等^[3]。

2.2 集成模式

目前,在我国已开通或在建线路中,ISCS 与 ATS 子系统有以下几种集成模式:ISCS 与 ATS 子系统互联、增加交互信息(如 5 号线);ISCS 与 ATS 子系统均独立,而界面集成(如上海轨道交通 10 号线);ISCS 与 ATS 子系统深度集成,建设统一平台(如北京地铁燕房线)。

以 5 号线为例,ISCS 与 ATS 子系统相互独立,二者的服务器、数据库及软件平台分开设置,并在传统的互传信息基础上增加了接口,以支撑调度人员的判断和决策。此外,为弥补两系统集成度不够、HMI 不统一的问题,ISCS 除设置 OCC 总调度员、行车调度员、电力调度员、环控调度员、维修调度员工作站软件之外,还可设置车辆调度员和乘客信息调度员辅助工作站及辅助软件,以方便调度员及时高效地操作。

2.3 UTO 模式下的 ISCS 新增功能

ISCS 增加了对车辆的远程监控功能,增加了 OCC 操作员对车厢乘客的广播、视频监视、对讲及对车辆设备的管理等功能,还增强了对 CCTV(闭路电视监控)系统、PIS、PA(广播)系统的监控功能,增强 HMI 显示功能。为提高自动化控制水平,根据行车需要,还需增加更多的自动联动功能,为 UTO 模式下的运营调度提供更高水平的自动化控制服务。

3 车载 ISCS 的功能接口

在 UTO 模式下,OCC 承担更多的监视和紧急情况处理工作,需及时有效了解列车的运行情况,包括列车本身的设备系统工作状况,车载 PIS、PA 系统及 CCTV 系统等列车面向乘客服务的子系统的工作状况,以及紧急情况下乘客需要的服务和响应等。

对此,ISCS 在列车上增设了车载 ISCS,并在传统功能上增加了大量对车载 ISCS 设备的远程监控及联动功能。这也是与 DTO 相比,ISCS 专业功能变动最大的内容之一。车载 ISCS 的意义,在于对列车及车载设备进行更为全面的状态信息搜集汇总^[4],发挥 ISCS 在软件方面的集成及互联功能优势,通过场景化的设计来降低调度工作的复杂度,帮助调度员做出快速、准确的判断,满足调度运营

需求,更好地服务乘客。

3.1 车载 ISCS 的结构

车载 ISCS 主要由在列车车头及车尾设置的车载 FEP 构成。车载 ISCS 通过 MVB(多功能车辆总线)网络与 TCMS(列车控制与管理系统)进行信息交互,监视列车状态,集成车载设备的状态信息。

PIS 在每列车的车头和车尾各设置 1 台三层工业以太网交换机,搭建车载交换机网络。车载 ISCS 利用 PIS 车载交换机通过车地无线通信通道将信息上传至 OCC 及场段车辆调度工作站,以实时反馈列车及车载设备状态,并实现列车与 OCC 的数据交互。车载 ISCS 的整体结构如图 1 所示。

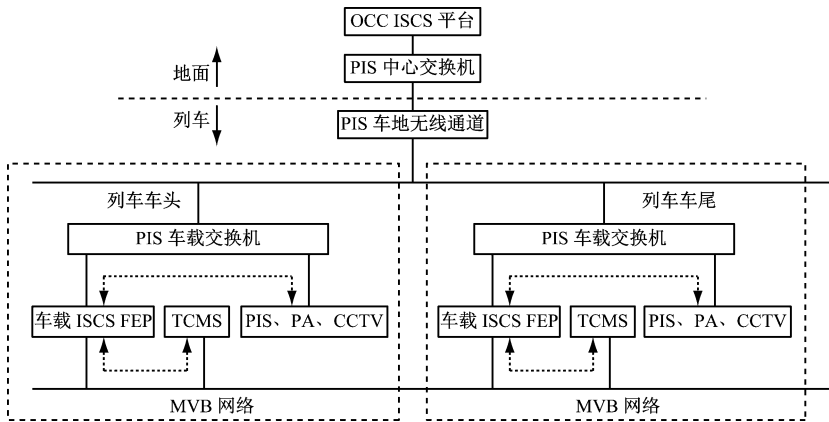


图 1 车载 ISCS 的结构示意图
Fig. 1 Structure of on-board ISCS system

3.2 接口功能分析研究

一般情况下,车辆上与信息集成相关的网络主要为 MVB 网络,其将车辆上大部分机电设备串联连接,从而实现对列车各机电设备的监控。

车载 ISCS 通过 MVB 网络与车辆 TCMS 进行信息交互,集成车载设备信息并实时反馈车载设备状态。

车载 ISCS 同地面 PIS 设置在车头及车尾的环网交换机连接,形成车载 ISCS 与地面 ISCS 数据传输通道。通过车载 ISCS 至 PIS 交换机的物理链路,以及车载 PIS、PA 系统及 CCTV 系统至 PIS 交换机的物理链路,可实现车载 ISCS 同车载 PIS、PA 系统及 CCTV 系统的接口互联。

接口功能详见表 1。

表 1 车载 ISCS 与其他车载系统的接口功能

Tab. 1 Interface functionality of on-board ISCS and other on-board systems

接口对象	功能描述
车地无线通信	车地无线通信网络提供车载 ISCS 与控制中心 ISCS 的数据传输通道
车载 CCTV	车载 ISCS 通过通信协议与车载 CCTV 建立连接;当发生异常状况时,车载 ISCS 获取异常报警信息后,根据场景功能联动需求将异常处的 CCTV 图像显示在相应工作站上,以供调度员浏览及决策
TCMS	车载 ISCS 通过 MVB 网络与 TCMS 建立连接,监视车辆状态信息:车辆照明、车灯、车辆空调、车辆广播状态(正常,故障,占用)、PIS 播控状态信息、车辆乘客信息、车辆摄像头、车上采暖、车门系统及开关、车上 FAS(火灾报警系统);发送车载 ISCS 的设备监控信息
车载 PA 及 PIS	车载 PA 系统及 PIS 接收并响应车载 ISCS 发送的控制命令、文本信息等,实现对列车 PA 系统、PIS 信息播放控制的功能

4 主要运营场景中的 ISCS 功能设计

5 号线采用 UTO 模式,设计了 42 个全自动运行主要运营场景类型,如早间送电、紧急制动缓解、区间疏散、跳停、扣车、车站(区间、列车)火灾等。现对部分 ISCS 参与度较高的运营场景的功能设计方案进行分析介绍。

4.1 早间送电

ISCS 接收 ATS 系统的上电提醒,联动场段 CCTV 系统将场段摄像机(以序列的方式)图像显

示到 OCC 及场段的行车调度和车辆调度工作站上,由调度员查看确认是否具备送电条件;同时自动触发场段预录制广播,以提醒场段内工作人员。

车站 ISCS 的 BAS 子系统根据 BAS 时间表执行早间模式,打开空调通风,开启照明,联动相关设备(如联动车站出入口开启卷帘门、开启安检机等)以配合早间车站投运。

4.2 唤醒自检

唤醒自检是指车载 CCTV 系统、车载 PIS 及车载 ISCS 等含处理器的车辆设备在送电后自动进入工作状态的过程^[5]。

列车送电唤醒成功后,车载 ISCS 向 TCMS 发送空调或电热配置参数,并将实时参数发送至 OCC 的 ISCS 环调工作站显示。配置参数可以时间表形式提前存储或由中心调度员临时编辑下发。

自检完成后,TCMS 通过 MVB 网络将车辆各专业子系统唤醒自检结果发送给 ATS 系统和 OCC 的 ISCS。唤醒失败的信息在 ISCS 维修调度报警页面进行报警,由维修人员根据报警信息进行维修作业。每日早间运营前的轨道车在从唤醒到出库,以及运行过程中发生的故障,均汇总至维修调度工作站,并由调度人员安排处理。

4.3 再关车门及站台门控制

在 UTO 和 DTO 模式下,当车门发生夹人或夹物等故障时,若车门开闭 3 次后仍未关闭,则车载 ISCS 在接收到车门告警信息后,根据车门与 CCTV 摄像头的对应关系将故障区域的图像推送到车辆调度及乘客信息调度工作站,由调度员查看开关门状态,并确认是否可以关门。若可关门,则由车辆调度员下发关车门及站台门的命令。

当站台门发生夹人或者夹物等故障时,OCC 的 ISCS 在接收到站台门系统发送的故障告警信息后,将故障区域的车站 CCTV 系统图像推送到车辆调度工作站和乘客信息调度工作站,由调度员人工查看现场情况,并确认是否可以关门。若可关门,则由车辆调度员下发关车门及站台门的命令。

4.4 紧急情况下调用 CCTV 系统及 PA 系统

在发生紧急制动缓解、区间疏散及远程紧急制动等紧急情况时^[6],ISCS 根据发生紧急状况的位置与 CCTV 摄像头的对应关系,将相关区域的图像推送到车辆调度及乘客信息调度工作站。调度员也可通过 ISCS 人工调用列车内其他位置的摄像头来查看车内情况,还可人工播放车载预录制广播提示或安抚乘客。在此过程中,OCC 维修调度员接收列车紧急制动状态及设备故障等信息,并进行报警提示,下发维修工单。

4.5 列车火灾

4.5.1 自动触发列车火警

在列车运行过程中,当车载 FAS 检测到发生火灾时,先由 TCMS 向 VOBC(车载控制器)提供火灾

报警信息,再由 VOBC 将火灾报警信息上报 OCC 行车调度和环控调度工作站,并由 VOBC 向 OCC 请求火灾确认信息。

车载 ISCS 接收 TCMS 的火灾报警信息后,根据位置对应关系将火灾报警区域的图像推送到车辆调度及乘客信息调度工作站。同时,ISCS 将信息显示在 OCC 的 ISCS 软件场景触发内容模块中,等待调度员查看。调度员点击后也可显示对应的车载 CCTV 系统图像。

4.5.2 人工触发列车火警

当列车火灾未自动触发信号时,调度员可以选择手动执行列车火灾模式。OCC 调度员在 ISCS 软件场景列表中选择场景名称、列车,下发控制命令,联动控制对应的场景模式下的设备。

火灾报警信息也可由乘客通过客室的对讲电话告知 OCC。调度员在 ISCS 软件场景列表中选择场景名称及相应的列车,联动控制对应场景模式下的各系统设备。在乘客与 OCC 的对讲电话接通时,ISCS 将对讲电话区域的 CCTV 系统监控图像推送至 OCC 乘客信息调度工作站,以方便调度员决策,更好更快地服务乘客。

4.5.3 火灾报警信息确认及执行

当 OCC 收到自动或人工触发的列车火灾报警信息后,OCC 调度员确认火灾报警信息是否真实有效。

信号系统接收到 ISCS 发送的火灾报警确认信息后,向 TCMS 发送火灾报警确认信息。若信号系统接收到 ISCS 发送的非火警确认信息,则 VOBC 向 TCMS 转发火灾报警复位指令;待检查到 TCMS 无火灾报警后,自动关门发车。

若确认列车发生火灾且在车站疏散旅客,则 ISCS 系统联动车站 PIS 系统和 PA 系统通知乘客向站外疏散,同时联动控制车站轨行区防排烟系统设备。

若确认列车发生火灾且停在区间,则 OCC 环控调度员根据预案启动相应灾害应急模式。

4.6 区间火灾或区间阻塞

ISCS 收到 FAS 上报的区间火灾报警后,将火警信息发送至 ATS,并将信息显示在车辆调度、行车调度、乘客信息调度工作站的报警列表上。乘客信息调度员通过操作终端向车载 PIS 发出播放紧急消息指令。车内 PIS 显示屏向乘客说明区间火灾情况。ISCS 按照区间火灾或阻塞预案联动控制相关

机电设备。环控调度工作站显示参与联动的相关设备状态信息及预案执行情况。

4.7 车门发生故障而隔离站台门或车门状态丢失

车载 ISCS 接收车门告警信息后,推送异常车门处对应的摄像头图像至 OCC 车辆调度、行车调度及乘客信息调度等 workstation,由调度员人工查看开关门状态。当同时发生多个车门异常事件时,后续事件仅通过各调度工作站报警栏提示,不覆盖首次事件的推送图像;列车调度员、行车调度员及乘客信息调度员需要查看后续事件时,可手动点击报警栏信息或调用摄像头查看。

此时,维修调度工作站显示车门故障信息,并在报警页面中报警。维修调度员根据报警信息安排维修作业。

4.8 站台门状态丢失或站台门故障隔离车门

当车门或站台门发生故障时,由 ISCS 自动调用对应故障处的站台摄像机图像,并显示在乘客信息调度工作站界面。由 ISCS 联动车载 PIS 或车站 PIS,通过 PIS 显示屏发布信息、提醒乘客。也可由中心值班员手动发布提醒信息。

站台门的故障信息在维修调度工作站进行报警显示,并由调度员安排维修人员进行维修。

4.9 远程列车广播

当遇到突发状况并需要及时告知乘客时,车载 PA 系统将接收车载 ISCS 的紧急广播命令,进行列车紧急广播。

乘客信息调度员也可发起人工广播或选播提前录制的信息。预录制语音段保存在车载 PA 系统的服务器,车载 PA 系统及 ISCS 对预录制广播语音段进行统一编号。1 个编号代表 1 段语音,以方便调度员进行选择 and 发布。

4.10 障碍物检测及脱轨检测

当列车触发障碍物检测或脱轨检测时,将由 TCMS 发送信息在车辆调度和行车调度的 workstation 界面上进行报警,并通知相关人员到事发地点人工处理。

ISCS 收到 TCMS 告警信息后,推送司机室监视列车前方轨道的车载 CCTV 监控图像到行车调度、乘客信息调度和车辆调度的 workstation 界面。

如遇列车阻塞工况,则由 OCC 环控调度按规定

策略人工启动区间通风等设施。

5 结语

本文结合 5 号线研究了全自动运行线路中 ISCS 的功能设计,分析 UTO 与 DTO 模式下 ISCS 功能的区别,着重分析了车载 ISCS 的方案和接口功能,并对 ISCS 参与的主要运营场景的功能设计进行详细介绍。全自动运行系统中 ISCS 增加了大量的联动和远程操作功能,用以满足全自动运行的功能要求。

参考文献

- [1] 汪侃.城市轨道交通综合监控系统的技术发展[J].城市轨道交通研究,2018(5):48.
WANG Kan. Technological development of integrated monitoring system in urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2018(5):48.
- [2] 李金龙.城市轨道交通综合监控组网方案[J].都市快轨交通,2012(5):122.
LI Jinlong. Integrated supervision and control network options for urban rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2012(5):122.
- [3] 丁建中.从城市轨道交通无人驾驶系统的特点谈运营管理模式创新[J].上海电气技术,2010(3):48.
DING Jianzhong. Discussion on innovation of metro operation management module from features of full automation driverless mass transit system[J]. Journal of Shanghai Electric Technology, 2010(3):48.
- [4] 蒋卫中.轨道交通车载综合监控系统设计[J].都市快轨交通,2012(4):116.
JIANG Weizhong. Design of train-borne integrated supervisory control system of rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2012(4):116.
- [5] 郑伟.全自动无人驾驶模式下系统功能与场景分析[J].城市轨道交通研究,2017(11):107.
ZHENG Wei. Analysis of the function and scene of train operation in full unattended mode[J]. Urban Mass Transit, 2017(11):107.
- [6] 李猛,张艳兵,徐成永,等.全自动运行系统地铁车辆关键技术[J].都市快轨交通,2018(1):123.
LI Meng, ZHANG Yanbing, XU Chengyong, et al. Key technology of vehicle in fully automatic operation system[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018(1):123.

(收稿日期:2020-06-20)