

通信技术

地铁工程车智能安全监控系统与 信号系统接口方案研究

张 轶^{1,2}

(1. 上海申中轨道交通运行安全工程技术研究有限公司, 上海 201103; 2. 上海申通地铁集团有限公司 技术中心, 上海 201103)

摘 要: 目前, 地铁工程车主要依靠乘务员经验、目视信号等方式操控车辆行进。为了改变工程车作业无技防手段的现状, 地铁工程车智能安全监控系统得到广泛应用, 该系统可对冒进信号、异物侵限、挤岔脱轨、冲撞车挡、列车冲突等安全事故进行智能化安全防护, 为实现上述功能需解决联锁信号上车的问题。依据目前上海地铁联锁信息获取情况, 文章主要阐述了从段场联锁侧、各线路侧运行控制中心—列车自动监控系统 (OCC-ATS) 侧及 3C 大楼数据中心—列车自动监控系统 (3C-ATS) 侧获取联锁信息的 3 种方案, 并对各方案进行了细致分析及对比研究。在满足系统安全防护条件下, ISM 系统与管理网 CFEP 接口方案集成度高、可靠性高, 对其他系统的影响小, 可实现信息的互联互通。

关键词: 地铁工程车; 智能安全监控系统; 联锁信息; 系统接口

中图分类号: TP273⁺.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2021)03-0099-05

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2021.03.017

Research on Interface Scheme Between Intelligent Safety Monitoring System and Signal System for Metro Maintenance Trains

ZHANG Yi^{1,2}

(1. Shanghai S&C Rail Transit Operation Safety Engineering Technology Research Co., Ltd., Shanghai 201103, China;

2. Technical Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., Shanghai 201103, China)

Abstract: Metro maintenance train driver mainly relies on working experiences and visual signals to control the vehicles. In order to change the status quo that there are no technical defense methods for maintenance train operation, ISM system is widely used. The system can realize intelligent safety protection from safety accidents such as the signal of rushing in, the limit invasion of foreign matters, the derailment of the switch, the collision of the car block, the train conflict, etc. To realize the above functions, it is necessary to solve the problem of onboard signal interlocking. According to the current situation of Shanghai Metro interlocking information acquisition, this paper mainly expounds three schemes to obtain interlocking information from the interlocking side of the depot, the OCC-ATS side of each line and the 3C-ATS side, and analyzes and compares each scheme. The interface scheme between ISM system and management network CFEP has high integration, high reliability, low impact on other systems, and can realize the interconnection of information under the condition of meeting the system safety protection.

Keywords: metro maintenance trains; intelligent safety monitoring system; interlocking information; system interface

0 引言

在我国大多数大城市, 地铁已成为市民出行的主

要交通工具之一, 且开通城市轨道交通的城市也逐年增加。截至 2021 年 6 月, 上海地铁全网已开通运营线路共 19 条 (含磁浮线), 运营里程达 722 km (含磁浮线 29 km)。与之配套的不仅有众多的维修基地以及停车库; 还有相当数量的工程车, 其主要用

收稿日期: 2021-01-11

作者简介: 张轶 (1992—), 男, 主要从事车辆电气研究工作。

于车辆段场调车作业、线路施工和养护、正线突发事件救援等工作。为了改变地铁工程车主要依靠乘务员经验、目视信号等操控现状，实现对冒进信号、异物侵限、挤岔脱轨、冲撞车挡及列车冲突等安全事故的智能化防护，地铁工程车智能安全监控系统（intelligent safety monitoring system, ISM）^[1-4]应运而生。本文主要介绍了 ISM 系统与信号系统接口方案，从中通过接口匹配来获取联锁信息^[2-3]，以提高系统智能化程度，这已成为整个系统设计的重点及难点之一。

1 ISM 系统与信号系统接口方案研究

1.1 接口方案分析

ISM 系统获得信号系统数据共有 3 种方案，分别是段场联锁接口方案、各线路侧运行控制中心—列车自动监控系统（operation control center-automatic train supervision, OCC-ATS）接口方案以及数据中心大楼（3C 大楼）3C-COCC（center of operation control center）-ATS 方案。3 种信号接口方案比较如表 1 所示。

表 1 信号接口方案对比
Tab. 1 Comparison of signal interface schemes

项点	方案 1	方案 2	方案 3
信息来源	联锁	OCC-ATS	3C-COCC-ATS
延时	可忽略	2 s	7 s（预估）
通信传输	与生产核心网数据采用串口连接	生产核心网数据直接传到生产辅助网，需增加信号系统前置服务器进行单向通信	同在生产辅助网侧，符合现有申通信息化网络安全架构
安全距离	留有一定安全距离	留有一定安全距离	安全距离可能过大
成本	每个集中站设一套地面设备，资源占用多，成本高，协调难度大	每条线路和分段场设一套地面设备，成本较高	全网络设置一套地面设备，成本较低

综合比较来看，3C-ATS 方案从成本和可实施性上最具优势；但是由于基础数据传输路径较长，延时时间能否满足本系统的要求尚未可知，因此需要对其进行试点验证，并同时考虑后备方案。以下将 3C-ATS 接口方案统称为“网络侧信号接口方案”，而联锁及 OCC-ATS 接口方案统称为“线路侧信号接口方案”。

1.2 接口设备需求

为了保障数据传输的安全性，无线传输将采用安全通信机制，其能识别由于硬件故障、电磁干扰等原

因导致的通信错误，对接口设备的主要要求包括：

（1）数据的发送端应具备安全检验数据代码的功能。

（2）数据的接收端应具备数据传输错误检测功能。接收端一旦检测到数据准确性、完整性以及实时性方面的错误后，应能进行相应的安全防护处理。

（3）每帧传输数据必须能够被唯一地识别。传输数据的识别采用识别码（ID）方式进行，每帧传输数据的识别码应至少包括数据类型（安全 / 非安全）、数据发送设备与部件的编号、数据编号等。

满足以上要求，则可以尽可能准确地获取联锁系统中表示站场设备、设施状态的信息，包括列车信号机状态、调车灯信号状态、道岔开放方向、轨道区段占用和出清状态等。

2 网络侧信号接口方案

2.1 接口方案介绍

3C 大楼信号系统数据消息队列路径如图 1 所示，其主要包含

（1）线路侧的列车自动监控系统 ATS（automatic train supervision）；

（2）位于生产网侧的中央前端处理器 CFEP（center front end processor），用于收集汇总 ATS 数据；

（3）用于隔离生产网与管理网的摆渡系统及管理网的 CFEP。

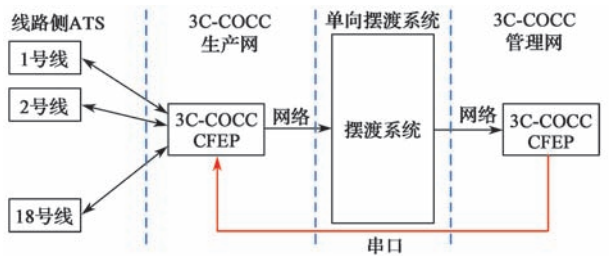


图 1 3C 大楼信号系统数据消息队列路径
Fig. 1 Data message queue path of signal system for 3C building

图 1 中，线路 ATS 与生产网 CFEP 间、生产网 CFEP 与单向摆渡系统间、单向摆渡系统与管理网 CFEP 间的接口通信方式和协议均相同，都是接口双方建立一个 TCP 连接，信息提供者为 Server，信息接收者为 Client。即每一个节点，若为上游节点，则被设置为 Client；若为下游节点，则被设置为 Server，并采用 TCP/IP 协议。单向摆渡系统之间为万兆单向网闸，使用 UDP 协议，并配置了一个反向的串口通信，用于实现单向摆渡系统之间的双向通信。

对于单向摆渡系统来说，单线每秒约有 200 包左右的数据量，而万兆单向网闸每秒最多提供 10 000 包的数据传输，因此该系统原则上能够满足 30 条线同时摆渡的需求。

ISM 系统服务器定位于管理网段，因此 ISM 系统与 3C 的接口也必须位于生产辅助网侧。接口设计时主要考虑两个问题：一是信息的接入源，其既可来自生产辅助网单向摆渡系统，也可来自生产辅助网 CFEP，甚至可以来自数据中心；二是接口数据可以经过现有系统解析再传送给 ISM 系统，或直接从信息源传送给 ISM 系统的 FEP。基于此，有以下 5 种接口方案：

（1）方案一

ISM 系统与单向摆渡系统接口，增加工程车专用 CFEP 进行解析，再传送给工程车 ISM 系统。其接口示意如图 2 所示。

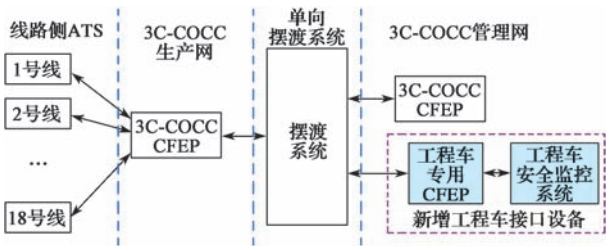


图 2 3C 方案一接口示意图
Fig. 2 Interface diagram of the scheme 1 for 3C

（2）方案二

ISM 系统与管理网 CFEP 接口，通过 3C-CFEP 将数据交由工程车专用 CFEP 进行解析，再传送给 ISM 系统。其接口示意如图 3 所示。

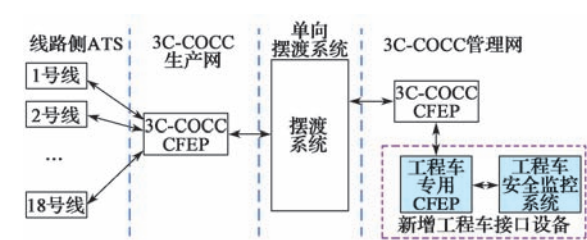


图 3 3C 方案二接口示意图
Fig. 3 Interface diagram of the scheme 2 for 3C

以上两个方案中新增的工程车专用 CFEP 都需要集成 ISM-FEP 的功能，该功能可实现对单独线路联锁信息的解析、翻译及筛选。

（3）方案三

ISM 系统与单向摆渡系统接口，不经 3C-CFEP 解析，直接给 ISM-FEP（ISM-front end processor），再传送给 ISM 系统服务器。其接口示意如图 4 所示。

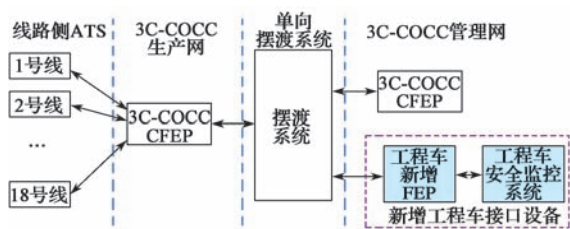


图 4 3C 方案三接口示意图
Fig. 4 Interface diagram of the scheme 3 for 3C

（4）方案四

ISM 系统与管理网 CFEP 接口，3C-CFEP 转发所有收到的信息直接给 ISM-FEP，或集成了过滤功能后只转发所有需要的数据给 ISM-FEP，再给 ISM 系统服务器。其接口示意如图 5 所示。

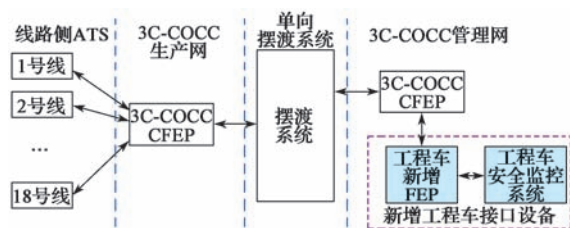


图 5 3C 方案四接口示意图
Fig. 5 Interface diagram of the scheme 4 for 3C

（5）方案五

ISM 系统与“申通数据中心”接口，3C-CFEP 将数据送给“数据采集系统”，“数据采集系统”将数据送给“申通数据中心”，由数据中心对外接口。其接口示意如图 6 所示。

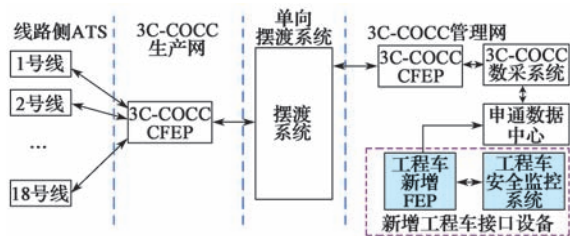


图 6 3C 方案五接口示意图
Fig. 6 Interface diagram of the scheme 5 for 3C

2.2 接口方案对比

5 种接口方案对比见表 2。可以看出，方案一将导致生产网侧单向摆渡系统压力翻倍。方案二虽然略增加了 3C-CFEP 的处理压力，但集成管理可保证 3C 不受影响。方案三和方案四中如果 ISM 周期性地向生产网侧 CFEP 请求设备全量状态数据，将造成严重的网络负载，因此要求 ISM 必须严格遵守客户端在本连接建立有效期内，只发送一次全量数据的要求，且这两种方案并不能有效减少网络延时，因为虽然节省了 3C-CFEP 的解析和转发，但仍需要有 ISM-FEP

的存在，网络总体延时基本一致。方案五由于数据中心原有数据不包含 ISM 系统所需信号系统数据，若需使系统数据满足 ISM 系统的要求，对 3C-COCC 数采系统和申通数据中心的协议改动量较大，且与数据中心的定位不符，因此该方案存在不可行性，在此不予考虑。综合评估分析，推荐采用方案二。

表 2 3C 信号接口方案对比
Tab. 2 Comparison of the signal interface schemes for 3C

方案	改造范围	对 3C 监控大屏的影响	对 ISM 系统的影响
一	单向摆渡系统新增 CFEP	生产网侧单向摆渡系统压力翻倍；原通道的主备切换机制需调整。	-
二	新增 CFEP 并与现有 3C-CFEP 进行接口	略增加了 CFEP 的处理压力，但集成管理可保证 3C 不受影响。	-
三	单向摆渡系统新增 FEP	生产网侧单向摆渡系统压力翻倍；原通道主备切换的机制需调整。	-
四	改造 CFEP 并与现有 3C-CFEP 进行接口	增加了 CFEP 的处理压力，且使得 CFEP 同时位于 3C 和 ISM 两个网段，易于受到攻击。	将不必要的数据提供给 ISM；且 ISM 必须严格按照接口协议执行。
五	改造 3C-COCC 数采系统、申通数据中心	对监控大屏的影响可忽略，但 3C-COCC 数采系统、申通数据中心接口协议需做大量调整。	-

ISM 系统通过新增工程车专用 CFEP 服务器，接收由管理网侧的 CFEP 服务器发送的实时数据。全网网络设备部署及网络连接示意如图 7 所示。

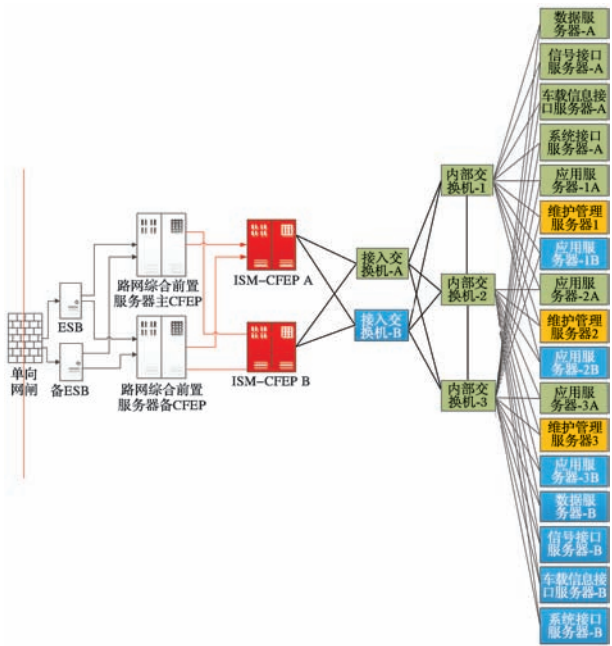


图 7 全网络 3C 接口地面设备部署及网络连接示意
Fig. 7 Schematic diagram of 3C interface ground equipment deployment and network connection in the whole network

图 7 中灰色方框表示 3C 大楼既有设备，彩色方框表示 ISM 系统新增设备。受原单向网闸冗余策略的影响，主、备 3C-CFEP 不同时向 ISM-CFEP A 和 ISM-CFEP B 发送数据，但单个 3C-CFEP 需同时向 ISM-CFEP A 和 ISM-CFEP B 发送数据。这样处理一是可保证系统的冗余性，以防单台 ISM-CFEP 出错时系统瘫痪；二是因原有系统结构导致只有一台 3C-CFEP 可以发送数据，因此采用该种方案。

3 线路侧信号接口方案

为适应上海地铁不同线路线路侧设备不统一的情况，研究确定了 4 种设备部署及网络接口方案，其连接方式如图 8 所示。接下来将对这 4 种方式进行说明。

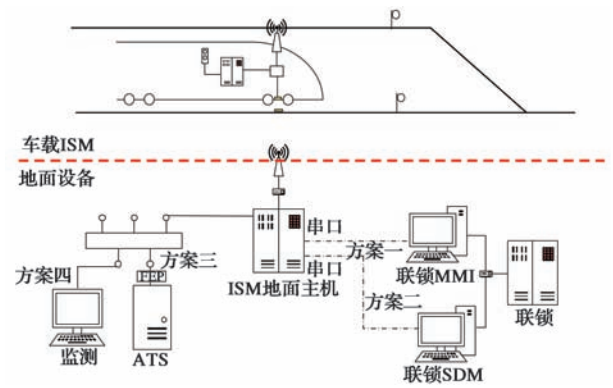


图 8 线路侧信号接口设备部署及网络连接示意
Fig. 8 Schematic diagram of line-side signal interface equipment deployment and network connection

3.1 方案一

通过串口接口与段场的联锁 MMI(man machine interface) 进行通信。信号供应商的主要工作量为

- (1) 开发通信协议；
- (2) 联锁 MMI 存在多个版本，需要多次开发定制产品。

上海地铁 1 号线、2 号线、3 号线和 4 号线可采用该方案。12 号线、13 号线、16 号线、17 号线、15 号线和 18 号线采用直连架构，不再配置联锁 MMI，因此需要采用其他方案。

3.2 方案二

通过串口接口与段场的联锁维护台进行通信。信号供应商的主要工作量为

- (1) 开发通信协议；
- (2) 段场联锁 SDM (system diagnosis mainte-

nance system) 软件存在多个版本, 需要多次开发定制产品。

上海地铁 1 号线、2 号线、3 号线、4 号线、12 号线、13 号线、16 号线和 17 号线可采用方案二。15 号线和 18 号线已经采用集中监测 CMSS(centralized maintenance support system) 的架构, 不再配置联锁 SDM, 因此需要考虑采用其他方案。

3.3 方案三

通过网络接口与线路 ATS 进行通信。信号供应商的主要工作量为

- (1) 开发通信协议;
- (2) 通过 OCC-FEP 与 ISM 系统通信;
- (3) 各线 ATS 版本不一致, 需要多次开发定制产品。

上海地铁还有几条既有线路, 包括 1 号线、3 号线和 4 号线, 因设备老旧, 目前的系统架构不能支持该接口方案。

3.4 方案四

通过网络接口与段场或单独线路的 OCC 的监测系统进行通信。信号供应商的主要工作量为

- (1) 开发通信协议;
- (2) 部分地铁既有线路的监测终端需要升级为最新系统以适配新监测软件, 6 号线、7 号线和 4 号线蒲汇塘停车场已经改造完成; 12 号线、13 号线和 16 号线正在进行平台改造; 其他未进行改造线路目前不支持该接口方案。

综合比较, 线路方案四可行性较高、覆盖范围较大; 然而如果采用方案四亦需新增前置服务器, 且与网络侧信号 3C 接口方案相似性较高。鉴于此, 信号接口方案采用方案二进行试点。

4 结语

本文针对 ISM 系统与信号系统接口方案进行对比研究, 提出了 5 种网络侧方案及 4 种线路侧方案。通过上述方案的对比研究, 网络侧信号接口方案推荐采用 ISM 系统与管理网 CFEP 接口方案, 在略增

加了现有管理网侧 3C-CFEP 的处理压力情况下, 可实现全网联锁信息与 ISM 系统的接口, 并对现有的系统不会造成影响。而线路侧信号接口方案网络延迟明显优于网络侧信号接口方案, 但由于其要求在各个段场增加设备, 因此整体费用会明显高于网络侧方案, 且因基地及 OCC 地理位置分散导致系统维护难度相应提升。因此, ISM 系统与信号系统接口推荐采用网络侧信号接口方案。

后续将针对网络侧信号接口方案的网络延迟问题进行优化设计, 并对全网络的联锁信息进行统一采集与分析, 在实现 ISM 系统对工程车冒进信号、挤岔脱轨、冲撞车挡、列车冲突等事故的防护功能的同时, 对全网工程车进行灵活调配, 实现平峰时与地铁列车混跑, 积极推动城市轨道交通的智能化。

参考文献:

[1] 梁红梅. LKJ2000 型列车运行监控记录装置的发展及应用 [J]. 科技创业月刊, 2012(6): 176-178.
LIANG H M. LKJ2000 Train Running Monitoring the Development and Application of Recording Devices[J]. Pioneering with Science & Technology Monthly, 2012(6): 176-178.

[2] 雍松坪. 无线调车机车信号和监控系统简介 [J]. 价值工程, 2018, 37(27): 242-243.
YONG S P. Introduction of Wireless Shunting Locomotive Signal and Monitoring System[J]. Value Engineering, 2018, 37(27): 242-243.

[3] 解熙, 金碧筠. 地铁工程车智能安全监控系统设计及应用 [J]. 铁道技术监督, 2021, 49(2): 48-54.

[4] 杨志刚. LKJ2000 型列车运行监控记录装置 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.

[5] 王奇. LKJ2000 型列车运行监控记录装置的可靠性与安全性设计 [J]. 机车电传动, 2001 (5): 26-29.

[6] 陈晓君. 无线调车机车信号和监控系统应用研究 [J]. 数字技术与应用, 2015(4): 22.

[7] 曹桂均, 程君. 适用于正线机车的无线调车机车信号和监控系统研究与试验 [J]. 中国铁道科学, 2012, 33(4): 91-98.
CAO G J, CHEN J. Research and Experiment on Radio Shunting Cab Signaling and Monitoring System Applicable to Main Line Locomotives[J]. China Railway Science, 2012, 33(4): 91-98.

[8] 河南思维自动化设备股份有限公司. LKJ2000 型车载数据无线远程换装系统: CN201821612386.1 [P]. 2019-04-09.