

城市轨道交通全自动运行系统列车蠕动模式设计与实现^{*}

郎永强

(深圳市地铁集团有限公司, 518035, 深圳//工程师)

摘 要 FAO(全自动运行)系统在城市轨道交通新建线路中占比越来越高。FAO 列车使用网络系统对列车的牵引/制动单元进行控制,以实现列车在区间安全运行及在站台的精确对标停车。在列车网络系统发生故障时,如 TCMS(列车控制和管理系统)与 CC(车载控制器)通信中断、TCMS 严重故障、牵引网络通信故障及制动网络通信故障等情况下,列车无法正常进行牵引/制动控制,此时需要申请进入 CAM(蠕动模式)。对 CAM 下列车牵引/制动级位的两种控制方式(0/1 数字编码信号控制、PWM(脉宽调制)编码信号控制)在级位信息传输、功能实现、设备配置等方面进行了对比分析,认为 0/1 编码信号控制方式具有更强的适用性及经济性。

关键词 城市轨道交通;全自动运行;列车蠕动模式;列车网络系统故障

中图分类号 U284.48; U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.019

Train Creeping Mode Design and Implementation for Urban Rail Transit FAO System

LANG Yongqiang

Abstract The proportion of FAO (fully automatic operation) system in newly built urban rail transit lines is getting higher and higher. FAO trains use a network system to control the train traction/braking units, so as to realize train safe operation in the section and accurate benchmarking stop at the platform. When a train network system fault happens, such as TCMS (train control and management system) and CC (carborne controller) communication interruption, TCMS serious failure, traction network communication failure and brake network communication failure, etc., the train cannot perform traction/braking control normally, and it is necessary to apply to enter CAM (creep automatic mode). Two train traction/braking levels, the 0/1 digital coded signal control and the PWM (pulse width modulation) coded signal control under

CAM are compared and analyzed in terms of information transmission at levels, function realization, equipment configuration, etc., and the 0/1 coded signal control is considered to be more applicable and economical.

Key words urban rail transit; FAO; train creep mode; train network system fault

Author's address Shenzhen Metro Group Co., Ltd., 518035, Shenzhen, China

1 FAO 列车的牵引及制动控制

在城市轨道交通 FAO(全自动运行)线路中,列车以 FAM(全自动运行模式)运行。FAM 下信号系统的 ATP(列车自动防护)子系统保证列车的运行安全,ATO(列车自动运行)子系统负责控制列车在站台自动发车、站间自动运行、自动广播、自动对位停车、自动开关门等操作,此时列车的牵引/制动控制指令及对应的控制级位信息由信号系统发送。正常情况下,列车的方向指令、牵引/控制指令由信号系统的 CC(车载控制器)通过 I/O(输入/输出)接口进行控制,由车辆系统的 TCMS(列车控制和管理系统)对指令进行采集,牵引/制动的级位信息通过网络协议给出。

FAM 下 CC 的牵引/制动级位信息传递如图 1 所示。CC 将牵引/制动级位信号通过网络协议发送给 TCMS。TCMS 将该信息分别转发至车辆的牵引控制单元及制动控制单元。当列车出现停车对标不准时,信号系统通过对牵引/制动级位的调整来实现列车到站自动对位停车,此时列车应响应信号系统的精细化调整策略,以实现车门与站台门的精确对标。

^{*} 上海市自然科学基金项目(22ZR1422200)

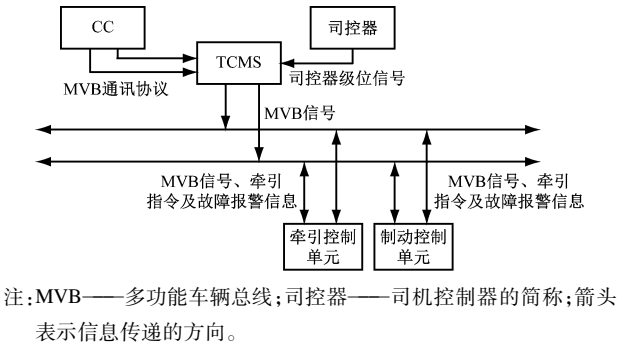


图 1 FAM 下 CC 的牵引/制动级位信号传递流程示意图
Fig. 1 Diagram of the CC traction/braking level signal transmission process under FAM

FAM 下若出现网络故障,列车将不能继续通过网络途径发送牵引/制动级位信息,此时需要通过采用硬线信号设备实现牵引/制动级位信息的传递,以确保区间内的列车可维持运行至下一站。

此外,当网络发生故障时不能对列车状态进行实时监控,需命令列车限速运行,以提高行车安全性。针对网络故障带来的风险及影响,FAO 命令列

车采用 CAM(蠕动模式)运行,以解决此问题。即:当车辆网络发生故障或车辆与 CC 间发生通信故障时,列车将向 OCC(运营控制中心)申请进入 CAM。列车停车后经 OCC 行调确认,列车由 FAM 转为 CAM。CAM 下 ATP 监控列车以不超过 25 km/h 的速度自动运行至车站对标停车后扣车,列车自动打开车门完成乘客的乘降作业,随后在站台等待工作人员上车对故障进行处理。

2 列车申请进入 CAM 的条件

典型的 FAO 列车网络拓扑如图 2 所示。与行车及牵引/制动控制相关的关键网络结构由 3 个部分组成:① 由 TCMS 管理的列车级 MVB 网;② 信号系统内部通信的红蓝网;③ 制动 CAN(控制器局域网)。其中,制动 CAN 用于制动控制单元指令的执行及故障诊断。任一网络发生故障,都将影响列车的正常牵引/制动控制功能,可据此分析列车申请进入 CAM 的条件。

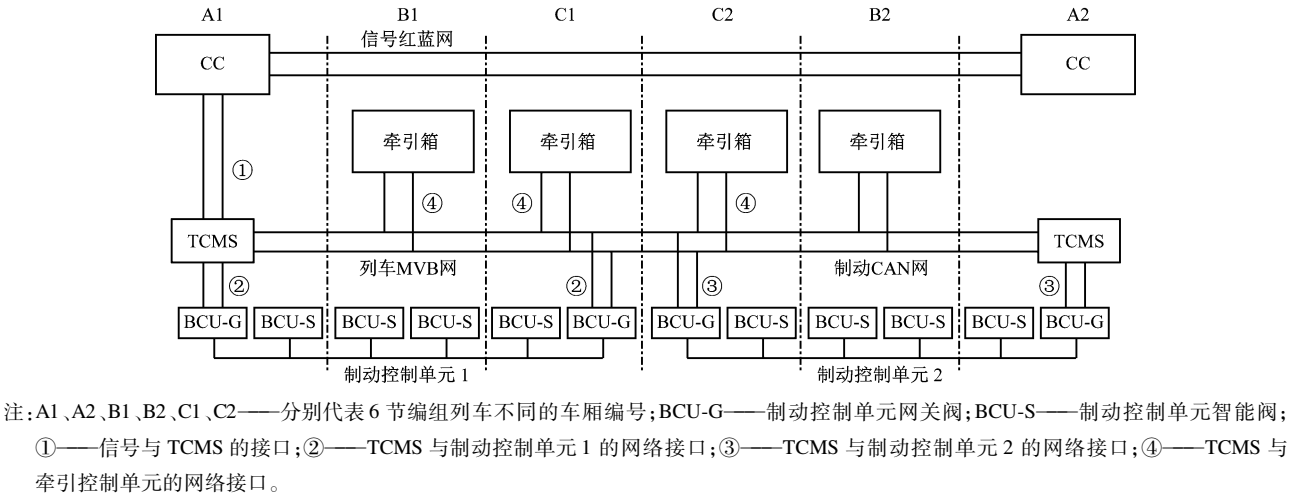


图 2 FAO 列车网络拓扑示意图
Fig. 2 Schematic diagram of FAO train network topology

2.1 TCMS 与 CC 间通信中断

FAM 下 TCMS 与 CC 的网络连接接口故障,或 TCMS 的 2 个 VCU(车载控制单元)均发生严重故障时,将会导致列车无法继续通过网络途径进行列车的牵引/制动控制。该故障的判定条件为:通过 TCMS 与 CC 之间互相检测生命周期信号,在互相设定的时间(如 8 个生命周期)内检测不到生命信号,则可判断为二者间通信故障。

TCMS 与 CC 间若发生通信故障,列车将触发紧急制动,此时 CC 向 OCC 行调申请进入 CAM。

OCC 行调下发授权指令后,列车进入 CAM。此时牵引/制动系统将切换至接收 CC 的硬线设备级位信号,并执行与之对应的牵引/制动级位信息输出。

2.2 TCMS 严重故障

当监视列车运行及控制列车的关键采集模块故障时,列车也无法通过网络模式继续控制前行。FAM 下出现以下任意一种场景下的 I/O 模块故障,都被视为 TCMS 严重故障:①图 2 的 A1 端 TCMS 某个 I/O 模块机箱 A 网、B 网同时离线;②图 2 的 A2 端 TCMS 某个 I/O 模块机箱 A 网、B 网同时离

线。TCMS 发生严重故障时,将触发紧急制动并申请进入 CAM。CC 施加紧急制动令列车停车后,向 OCC 行调申请进入 CAM。经过 OCC 行调确认后,CC 向列车发出 CAM 信号,列车进入 CAM。

2.3 牵引网络通信故障

FAM 下若车辆牵引系统不能通过网络接口正常响应列车的牵引级位,则无法继续满足列车的运行需求,此时列车需要尝试以 CAM 继续运行至下一站。以 6 节编组 FAO 列车为例,当 TCMS 判断出与之相连的 3 个及以上牵引系统发生通讯故障时,TCMS 触发紧急制动并申请进入 CAM,CC 施加紧急制动停车后向 OCC 申请进入 CAM。经过 OCC 行调确认后,CC 向列车发出 CAM 模式信号,列车进入 CAM。

2.4 制动网络通信故障

FAM 下若 TCMS 判断出与之相连的 3 个及以上车辆制动系统发生通讯故障,其应对措施与牵引网络通信故障时的措施相同。

3 CAM 下列车牵引/制动级位控制方式

列车申请进入 CAM 后,要实现 CAM 动车功能,除了获取轨旁的移动授权外,列车上需要具备如下指令/信息,才能进行行车控制:①CAM 指令(授权列车进入 CAM);②方向向前指令(提供前进信号);③牵引指令(对列车发出牵引命令);④制动指令(对列车发出制动命令);⑤牵引/制动级位(提供列车发挥牵引/制动力大小的控制指令)信息。其中:CAM 指令是列车进入 CAM 的条件;CAM 方向指令、牵引指令及制动指令与 FAM 间均采用相同的硬线连接;牵引/制动级位信息在进入 CAM 时需要通过硬线接口通道替代原来的网络接口通道。

实现硬线控制牵引/制动级位信息的传输,其方式主要有 0/1 数字编码信号控制、PWM(脉宽调制)编码信号控制两种。这两种方式因接口存在差异性,所需的设备也存在差异。

3.1 数字编码控制

图 3 为 0/1 数字编码信号控制方式示意图,信号系统发出 3 根硬线组合的 0/1 编码信号,将牵引/制动级位信号输出至车辆的牵引/制动系统。其中:牵引系统依据 0/1 编码不同的组合响应不同的牵引控制级位,考虑到 CAM 的控制需要,牵引系统通常采用 4 级调速;制动系统依据 0/1 编码不同的组合响应不同的制动控制级位,按照 CAM 的控制

需要,制动系统通常采用 7 级调速。信号系统通过此级位控制方式控制列车运行至下一站,列车精确停车后打开列车车门。

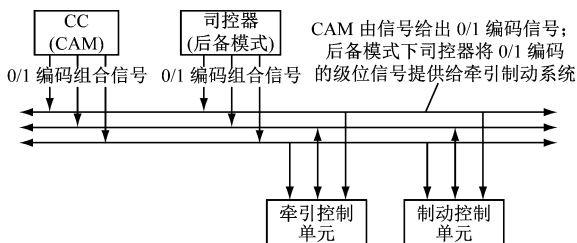


图 3 0/1 数字编码信号控制示意图

Fig. 3 Schematic diagram of 0/1 digital code signal control

司机在手动驾驶并使用后备模式时,司控器也采用 3 根硬线控制的 0/1 编码信号控制列车运行,以确保牵引/制动系统与 CAM 接口的一致性。

3.2 PWM 编码信号控制

图 4 为 PWM 编码信号控制方式示意图,信号系统将 0~20 mA 的电流信号发送至车辆的 PWM 编码器,车辆采集到该信号后将该信号转换成 PWM 方波信号传送给牵引/制动系统。每个牵引控制器内均配有对应的 PWM 解码器,用以对 PWM 编码信号进行解码,实现对牵引级位信息的响应。每个制动控制单元内均配有相应的用于处理 PWM 编码信号的解码模块,可对 PWM 编码的级位信号进行解码,以响应对应的制动控制级位请求信号。

司机在手动驾驶并使用后备模式时,司控器的级位信号将同步输出至 PWM 编码器。PWM 编码器将该信号进行编码后发送给牵引/制动系统,牵引/制动系统再进行对应的解码。

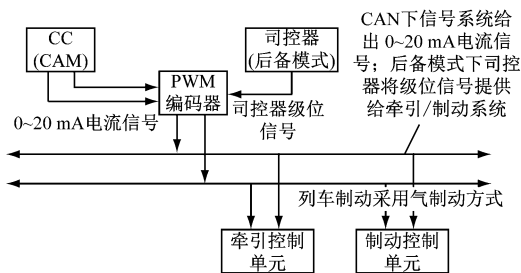


图 4 PWM 编码信号控制示意图

Fig. 4 Schematic diagram of PWM encoding signal control

3.3 两种控制方式的差异分析

从功能应用上看,二者基本一致,均能实现列车的精确停车对标,且能满足 CAM 下列车运行至下一个载客站台进行清客,以及人工登车接管处置列车的功能需求。

两种控制方式在设备上存在一定的差异,PWM 编码信号控制方式需要列车新增编码器及解码器,且对司控器、牵引、制动等提出更高的配置需求:司控器需增加 PWM 编码器,数量为 2 套/列;牵引控制系统需增加 PWM 解码器,数量为 6 套/列;制动控制系统需增加网关阀及 I/O 模块,数量为 6 套/列。因此,与 0/1 数字编码信号控制方式所需费用相比,PWM 编码信号控制方式整体投入的费用更大。此外,PWM 编码信号控制方式在设备的全寿命周期维护管理上也需要付出更多。

综上所述,与 PWM 编码信号控制方式相比,0/1 编码信号控制方式具有更强的适用性及经济性,因此,该方式在 FAO 项目中得以广泛应用。

4 结语

CAM 作为一种应对 FAO 下控制网络故障的降级模式,在实施过程中需要厘清其启动的条件。在选择 CAM 的实施方式时,需在确保实现 CAM 功能的基础上考虑实施方案的经济及匹配性。应选用可靠、简洁的技术实施方案,保障网络故障的降级

(上接第 84 页)

参考文献

- [1] 王栋,刘实秋. 城际铁路应用无人自动折返技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术,2018(12):47.
WANG Dong, LIU Shiqiu. Study on application of automatic turn-back technology in intercity railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering,2018(12):47.
- [2] 沈志凌. CTCS-2 + ATO 系统技术现状与发展展望[J]. 铁道标准设计,2017(9):132.
SHEN Zhiling. Current status and development prospect of CTCS-2 + ATO train control system[J]. Railway Standard Design,2017(9):132.
- [3] 徐娟,郑理华,李辉,等. CBTC 信号系统自动折返方案研究[J]. 机车电传动,2014(5):56.

模式下列车可进站完成对标停车,最大限度降低因列车降级运行对运营产生的影响。

参考文献

- [1] 刘洋. 城市轨道交通全自动运行列车蠕动模式研究[J]. 城市轨道交通研究,2019(增刊2):88.
LIU Yang. Research on train creep mode in urban rail transit FAO system[J]. Urban Mass Transit,2019(S2):88.
- [2] 公吉鹏. FAO 系统中信号系统新增配置和功能[J]. 铁路通信信号,2019(3):76.
GONG Jipeng. New configurations and functions of signal system in FAO[J]. Railway Signalling & Communication,2019(3):76.
- [3] 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 vehicles in fully automatic operation system[J]. Urban Rapid Rail Transit,2018(1):123.
- [4] 张海涛,梁汝军. 地铁列车全自动无人驾驶系统方案[J]. 城市轨道交通研究,2015(5):33.
ZHANG Haitao, LIANG Rujun. Introduction to the unattended train operation system on metro train[J]. Urban Mass Transit,2015(5):33.
- [5] 李兆龄,严业智. 城市轨道交通信号系统灵活编组关键技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术,2021(12):72.
LI Zhaoqing, YAN Yezhi. Key technologies of flexible marshalling in signaling system for urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering,2021(12):72.
- [6] 郑伟杰,孟润虎. CTC 系统自动变更折返车次号功能的实现[J]. 铁道通信信号,2016(2):23.
ZHENG Weijie, MENG Runhu. Realization of turn-back train number automatic change in CTC system[J]. Railway Signalling & Communication,2016(2):23.

(收稿日期:2022-04-27)

(收稿日期:2022-04-18)

敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题,以及新技术、新成果,邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述,是您及时获知行业资讯、深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

