

文章编号: 1005-8451 (2020) 11-0044-05

基于全自动运行的智能站台门控制系统研究

李 帅¹, 左艳芳², 郭顺利², 王振欣²

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司 电子计算技术研究所, 北京 100081;

2. 北京经纬信息技术有限公司, 北京 100081)

摘 要: 站台门控制系统已在城市轨道交通线路中取得广泛应用, 但随着城市轨道交通自动化运行水平的不断提高, 国内全自动运行线路逐渐增多, 既有站台门控制系统已难以满足全自动运行模式的运营需求。站台门控制系统既要实现与列车门的对位隔离, 又要在可靠性和安全性方面满足 SIL2 的相关要求。针对全自动运行轨道交通线路, 设计智能站台门控制系统, 实现站台门与列车门的对位隔离, 并采用“二取二”设计架构, 提高站台门控制系统的可靠性和安全性; 同时, 支持多种车型混跑的运行场景, 满足全自动运行轨道交通线路对站台门控制系统的要求。

关键词: 全自动运行; 站台门; 对位隔离; 安全完整性等级

中图分类号: U231.4 : TP39 **文献标识码:** A

Intelligent platform door control system based on fully automatic operation

LI Shuai¹, ZUO Yanfang², GUO Shunli², WANG Zhenxin²

(1. Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China; 2. Beijing Jingwei Information Technologies Co. Ltd., Beijing 100081, China)

Abstract: The platform door control system has been widely used in urban rail transit lines, but with the continuous improvement of urban rail transit automation operation level, the number of domestic fully automatic operation lines is gradually increasing, and the existing platform door control system has been difficult to meet the operation requirements of fully automatic operation mode. The platform door control system should not only implement the alignment and isolation from the train door, but also meet the relevant requirements of Safety Integrity Level(SIL) 2 in terms of reliability and safety. This paper designed intelligent platform door control system for fully automatic rail transit lines to realize the alignment and isolation between platform doors and train doors, and adopted the "two out of two" design framework to improve the reliability and safety of platform door control system, at the same time, supported the operation scenario of mixed running of various vehicles to meet the requirements of platform door control system for fully automatic rail transit lines.

Keywords: fully automatic operation; platform door; contraposition isolation; Safety Integrity Level (SIL)

站台门是城市轨道交通中, 保障乘客安全、改善候车环境的重要设施, 已在城市轨道交通中取得广泛应用。在全自动运行线路中, 引入了许多新的应用场景, 对站台门控制系统也提出了新的需求。之前对于全自动运行线路中站台门控制系统的研究, 提到的多组就地控制盘(PSL, Platform Screen doors Local control panel)应用^[1]、障碍物探测^[2]、间隙探测^[3]等多种研究成果, 其实已在人工驾驶线路中取得了普遍应用, 在全自动运行线路中并无重大变化。

而基于图像识别的障碍物探测技术^[4], 并未在全自动运行线路中取得广泛应用。其实, 全自动运行线路中, 站台门控制系统新增的两项关键需求, 是对位隔离功能和达到 SIL2 级别的高可靠性和高安全性运行。之前的研究多是针对全自动运行模式下, 站台门新增系统需求的探讨和论证, 并未给出具体的解决方案。本文根据行业研究成果, 结合项目应用情况, 针对全自动运行模式下站台门的新增需求, 设计研发一套满足功能和性能要求的智能站台门控制系统: 实现了对位隔离功能, 支持多种列车车型的不同开关门控制方式, 符合 SIL2 的相关要求, 满足全自动运行线路的需求。

收稿日期: 2020-07-01

基金项目: 中国铁路网络有限公司科研项目(DZYF19-13)

作者简介: 李 帅, 研究实习员; 左艳芳, 工程师。

1 全自动运行场景下的新增需求

1.1 对位隔离

当前的城市轨道交通人工驾驶线路中，当单个站台门或列车门发生故障无法打开时，其对应的列车门或站台门无法获知对方运行状态，依然会打开。这就造成站台门或列车门只有一方打开，而另一方不打开的问题，可能引起乘客撞伤、挤伤、物品掉落到轨行区等危险事故发生。若因为单个列车门或站台门无法动作，而让整侧站台门或列车门停止使用，对线路运行影响过大。尤其在全自动运行线路中，站台候车区域配备值守人员较少，特别需要在单个站台门或列车门故障时，能让其对应列车门或站台门不打开，同时不影响其它正常站台门和列车门打开，即对位隔离^[5]，以此提高系统自动化运行程度，减少运营人员劳动量，降低人力成本。

1.2 安全完整性等级

EN50126^[6]、EN50128^[7]、EN50129^[8]3项标准，是由欧洲电气化标准委员会制定，以计算机控制的信号系统作为对象的铁道信号标准，对轨道交通安全相关的电子系统及软件的可靠性、可用性、可维护性和安全性提出了具体要求，并给出规定和示例来描述相关的评估活动和评估方式。目前轨道交通行业均以此3项标准为依据，对站台门控制系统进行安全评估。

目前，在全自动运行线路中，上海地铁10号线和北京地铁燕房线、北京大兴机场线均将SIL2认证作为站台门控制系统交付的条件^[2]，而新建的全自动运行线路中，SIL2认证已成为必备的投标资质。目前，我国正在运营的全自动驾驶线路均在站台设有站务人员值守，对站台门控制系统的运营情况进行监控和管理。随着运营组织要求的不断提高，实现站台无人监管将成为必然趋势^[9]。因此，对站台门控制系统进行全生命周期的可靠性、可用性、可维护性和安全性（RAMS，Reliability, Availability, Maintainability, Safety）管理。

2 功能实现

2.1 架构设计

如图1所示，站台门控制系统由多个门机控制单元（DCU，Door Control Unit）、2套单元控制器（PEDC，Platform Emergency Door Controller）、两台工控机（运行有监控软件）组成。其中，2套PEDC分别由可编程逻辑控制器（PLC，Programmable Logic Controller）和继电器模组构成，分别控制上行和下行的DCU，并采集每个DCU的运行状态，即每个站台门的状态；将状态信息整合汇总后，通过交换机发送给两台工控机（工控机A和B）。2台工控机分别通过两条通信链路与列车自动运行（ATO，Automatic Train Operation）系统进行通信，交换每个列车门和每个站台门的状态信息。

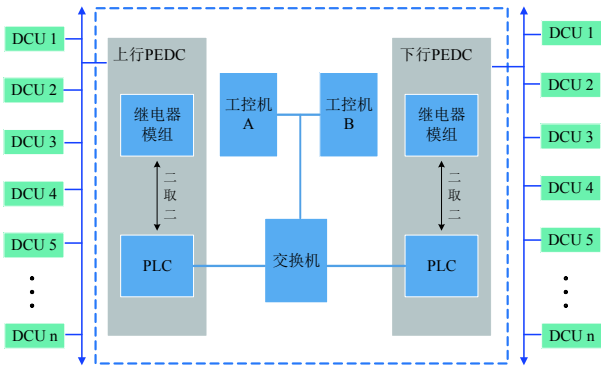


图1 站台门控制系统架构

站台门控制系统和ATO系统通过网络接口实现双向、实时通信，向对方传输自身状态信息的同时，也要接收对方的状态信息，并据此控制自身设备，实现站台门和列车门的对位隔离。

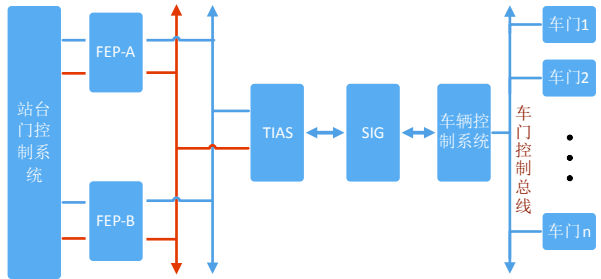


图2 对位隔离方案示意

如图2所示，列车门信息通过车辆控制系统传输给信号系统，再经过行车综合自动化系统（TIAS，Traffic control Integrated Automation System）和2台前端机FEP-A和FEP-B发送给站台门控制系统的2

台工控机，工控机接收到列车门状态信息后，判断每个列车门的状态，并据此控制站台门实现对未隔离。同时，DCU 可通过声光警报等方式提示站台候车的乘客，该站台门处于对位隔离状态，需要通过其它站台门上车。同理，处于对位隔离状态的列车

门也不打开，并提示车上乘客通过其它列车门下车。

2.2 工作流程

如图 3 所示，站台门控制系统在完成系统初始化工作后，开始数据发送和数据接收 2 项工作，2 项工作相互独立，互不影响。

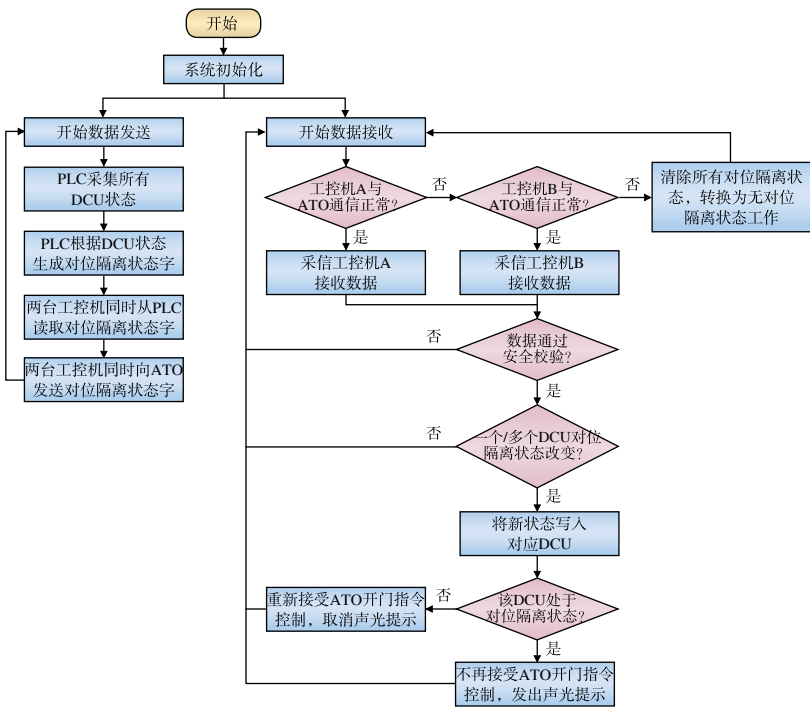


图3 对位隔离工作流程

2.2.1 数据发送

在数据发送过程中，站台门控制系统中的 PLC 会周期性（每隔 0.5 s）采集每个 DCU 的运行状态，站台门控制系统中某个站台门故障或隔离时，该站台门对应的 DCU 将其故障或隔离信息上传给 PLC，PLC 则根据每个 DCU 的状态，生成站台门对位隔离状态字，将其传输给工控机 A 和工控机 B。2 台工控机上均运行一套监控软件，负责与 ATO 系统进行通信，将 PLC 发送过来的站台门对位隔离状态字发送给 ATO。该状态信息可供 ATO 判断当前的站台门状态，并根据当前站台门状态，控制与故障或隔离的站台门相对应的列车门不再打开，而其它列车门正常打开。

2.2.2 数据接收

在数据接收流程中，站台门控制系统中的 2 台工控机，能够同时接收信号系统发来的列车门状态

信息，将该信息传输给 PLC。PLC 会对来自 2 台工控机的数据进行智能判断，先判断工控机 A 是否正常工作，若正常，则采信工控机 A 中的列车门状态数据；若工控机 A 发生故障，则判断工控机 B 是否正常工作，若其正常工作，则使用工控机 B 中的列车门状态数据；若工控机 B 也发生故障，则清除所有站台门的对位隔离信息，将站台门系统置于没有对位隔离的状态运行，以此保证对位隔离失效后，不会对站台门系统本身的控制逻辑产生不利影响。

在确定状态数据来源之后，站台门控制系统会对接收的报文进行安全校验，在应用层采用双重 CRC 校验，保障报文传输的完整性和正确性；同时，对数据发送方的 IP 地址和身份标识进行双重认证，保证对方身份合法性。站台门控制系统仅对通过安全校验的报文进行解析。

当前数据通过安全校验后，站台门控制系统从

中解析出当前的列车门状态，并将其与上一条接收到的报文进行对比，当某个或多个列车门的对位隔离状态发生变化时，则将其对位隔离信息发送给对应的 DCU。

DCU 在接收到开门指令时（来自 ATO 系统和 PSL 的硬线指令），会对自身对位隔离状态进行智能判断：若其没有处于对位隔离状态，则正常打开站台门；若处于对位隔离状态，则不执行开门指令，并发出声光报警提示乘客从其它站台门上下车。

3 高可靠性控制系统方案

3.1 二取二冗余架构 PEDC

如图 4 所示，为提高站台门控制系统的可靠性，本文所述站台门控制系统使用 PLC 和继电器模组构成的异构“二取二”架构，两者同时运行，同时接收 ATO 系统的开、关门指令，进行逻辑判断后生成发送给 DCU 的控制命令，仅当两者输出的控制命令一致时，才向 DCU 输出开门或关门命令。该方案采用不同的处理方式对同一指令进行逻辑判断，并对判断结果进行二取二操作，极大降低单点故障对站台门控制系统运行产生的不利影响，提高系统的可靠性、可用性。

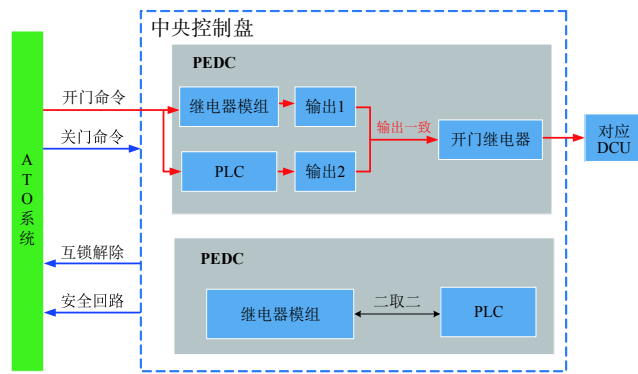


图4 二取二系统架构

3.2 冗余控制和通信链路

3.2.1 监控主机与 TIAS 通信冗余

监控主机与 TIAS 之间采用工业以太网连接，其中，监控主机作为从站响应 TIAS 的数据读写请求。监控主机提供两套独立的接口程序，共用一套寄存器组提供相同的服务，TIAS 可以访问任何一套接口

获取服务，当其中一条通信线路出现故障时，由 TIAS 负责切换通道。

3.2.2 PEDC 与 DCU 通信冗余

PEDC 与 DCU 之间采用双 MODBUS 总线冗余方式进行通信，正常运营时，由一条总线与每个 DCU 交互信息，另一条总线处于热备状态。PEDC 对两条总线的运行状态进行实时监测，并智能选择可用链路：当运行中的总线发生故障，如总线堵塞、断线等状况时，PEDC 选取另一条总线来代替故障总线，负责与每一个 DCU 通信。保障信息传输的实时性、准确性，降低安全隐患，保障运营安全。

3.2.3 PEDC 与 DCU 硬线控制线缆冗余

PEDC 和 DCU 之间的控制线缆采用环形接线方式，从 PEDC 引出后，将每个 DCU 串行连接后，再次回到 PEDC，控制指令可以通过环形线缆两端中的任意一端传送给 DCU，当控缆的某一处断开时，不影响控制命令下发至每个 DCU，不影响站台门控制系统的正常运行。

4 多车型智能控制

国内有些轨道交通线路中，存在多种车型同时运行的问题，每种车型的列车门数量和位置均不相同，这就要求站台门控制系统根据不同车型的列车门位置，提供相应的控制方式^[10]。为此，本方案还能通过配置 PEDC 和 DCU 之间的控制线缆接口，实现多种开门方式的控制。收到车型信息和开门指令时，PEDC 对相关信息进行智能分析后，控制相应的开门继电器，向对应的一组 DCU 发送开门命令。

如图 5 所示，当开门继电器 1 被驱动后，DCU1 ~ DCU7 通过红色控制线路接收到开门命令，执行开门动作。当开门继电器 2 被驱动后，DCU8 ~ DCU14 通过蓝色控制线路接收到开门命令，执行开门动作。PEDC 还可以同时驱动开门继电器 1 和开门继电器 2，则所有 DCU 均会收到开门命令，整侧站台门全部打开。通过 PEDC 和 DCU 之间接口的灵活配置，可以实现多种开门方式的控制，适应多种车型列车混跑。

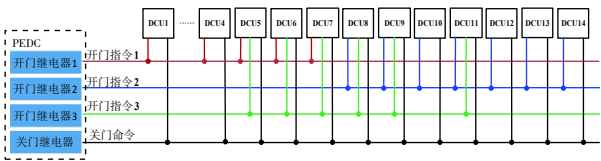


图5 多车型智能控制原理

5 结束语

本文对于全自动运行模式下，站台门控制系统新增的对位隔离和RAMS要求，进行了深入的研究。在此基础上，设计并研发了一种智能站台门控制系统，实现全自动运行模式下站台门的对位隔离，将站台门自动控制级别延伸到单个站台门，提升了站台门智能化运行水平；通过“二取二”冗余架构及多重冗余措施，极大提高了系统的可靠性；同时还能支持多种车型混跑的运行场景，满足全自动运行线路对站台门控制系统的要求。该系统已成功应用于北京大兴机场线，自交付以来，运行安全可靠，RAM指标超过预期水平，对全自动运行线路中的站台门控制系统的设计与应用，具有很好的借鉴意义。

参考文献

[1] 许敬辉. 全自动运行系统下站台门新增异物探测与控制功

能方案研究[J]. 铁道标准设计, 2019(10): 177-178.

[2] 倪 珮. 全自动运行模式下站台门控制系统的适应性分析[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(1): 85-88.

[3] 彭正雄. 地铁站台门安全防护措施研究及建议[J]. 现代制造技术与装备, 2018, 264(11): 136-137.

[4] 王志飞. 城市轨道交通安全门智能门机控制系统研究[J]. 铁路计算机应用, 2014, 23(10): 60-62.

[5] 丁忠锋, 刘 波. 城市轨道交通列车车门与站台屏蔽门对位隔离技术[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(10): 165-166.

[6] CENELEC. Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS): BS EN 50126: 1999[S]. London: BSI, 1999.

[7] CENELEC. Railway applications - Communication signaling and processing systems - Software for railway control and protection systems: BS EN 50128: 2011[S]. London: BSI, 2011.

[8] CENELEC. Railway applications - Communication signaling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling: BS EN 50129: 2003[S]. London: BSI, 2003.

[9] 张银龙. 列车全自动驾驶模式下的站台门全寿命周期管理[J]. 城市轨道交通研究, 2018(3): 40-43.

[10] 魏耀南. 基于多车型的城际铁路站台门控制系统控制方式[J]. 电子技术与软件工程, 2018(3): 148.

责任编辑 徐侃春