doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.05.019

基于全电子计算机联锁系统的站台屏蔽门控制器方案

卢　平，师秀霞，王瑞云
（浙江众合科技股份有限公司，杭州 310052）

摘　要：针对传统站台屏蔽门控制系统配线复杂、继电器日常维修困难、故障排查不易和信号系统交互中间传输环节繁琐等问题，提出一种站台屏蔽门控制器方案，该方案采用基于国产软硬件的 SIL4 级安全技术和“故障-安全”的全电子单板技术，实现站台屏蔽门控制器的全电子化设计；通过融合计算机技术、网络技术，实现信号系统与站台门系统之间的一体化和接口数字化；将传统站台屏蔽门控制系统和本文方案在系统架构、控制链路、工程实施方面进行对比，结果表明：站台屏蔽门控制器的全电子化设计整体架构简单，具备实时故障检测和报警功能，杜绝了继电器执行控制电路所固有的安全隐患，显著提升系统的安全性、可靠性、可用性；本文方案不仅可以简化列车车门和站台屏蔽门的联动的调试工作，同时显著缩短车载进站开/关门信息交互时间约 4 s，提高整条线路的运行效率和运行间隔。研究结果可为城市轨道交通多元融合的发展提供参考。

关键词：全电子联锁；站台屏蔽门；控制器；一体化设计；全自动运行系统
中图分类号：U231　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-6073(2025)05-0153-06

Platform Screen Door Controller Scheme Based on All-electronic Computer Interlocking System

LU Ping, SHI Xiuxia, WANG Ruiyun
(UniTTEC Co., Ltd., Hangzhou 310052)

Abstract: In response to issues such as complex wiring in traditional platform screen door control systems, difficulties in daily maintenance of relays, challenges in troubleshooting, and cumbersome intermediate transmission links in interactions with signaling systems, this paper proposes a platform screen door controller (PSDC) solution. This solution employs SIL4-level safety technology based on domestically developed hardware and software, along with a “fail-safe” all-electronic single-board technology, achieving a fully electronic design for the platform screen door controller. By integrating computer and network technologies, the solution realizes the integration and digitalization of interfaces between the signaling system and the platform screen door system. Comparative analysis between the traditional platform screen door control system and the proposed solution in terms of system architecture, control links, and engineering implementation reveals that the fully electronic design of the platform screen door controller features a simpler overall architecture, real-time fault detection and alarm capabilities, and eliminates inherent safety hazards associated with relay-based control circuits, significantly enhancing system safety, reliability, and availability. The proposed solution not only simplifies the debugging process for the coordinated operation of train doors and platform screen doors but also significantly reduces the information exchange time for onboard train door opening/closing upon station arrival by approximately 4 seconds, thereby improving the operational efficiency and headway of the entire line.

收稿日期：2025-03-18　修回日期：2025-05-26
第一作者：卢平，男，本科，工程师，从事信号系统联锁研发，luping@unittec.com
基金项目：浙江省科技计划项目(2022C01064)
引用格式：卢平，师秀霞，王瑞云. 基于全电子计算机联锁系统的站台屏蔽门控制器方案[J]. 都市快轨交通，2025，38(5)：153–158.
LU Ping, SHI Xiuxia, WANG Ruiyun. Platform screen door controller scheme based on all-electronic computer interlocking system[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(5): 153–158.

The research findings can serve as a reference for the development of multi-dimensional integration in urban rail transit.
Keywords: all-electronic interlocking; platform screen door; object controller; integrated design; fully automatic operation

随着城市轨道交通的快速成熟发展，站台屏蔽门(platform screen door，PSD)作为一种能够将轨行区和站台区域隔开，有效保护乘客安全，改善候车环境，并具备节能减排效果的地铁核心组成系统，越来越受到人们的重视[1]。站台屏蔽门从封闭形式上可以分为 2 种：一种是半高敞开式，另一种是全高封闭式[2]。它的安全、可靠、稳定的运行为乘客的舒适出行提供了保障。

传统的站台屏蔽门系统采用电气控制，站台门系统的安全等级为 SIL2，在正常运营中，站台屏蔽门控制系统(PSD system controller，PSC)严格遵循信号系统的指令，通过和信号系统的继电器接口，进行站台屏蔽门的开关控制以及站台屏蔽门状态的信息交互，从而实现车门和站台门的联动[3]。

传统站台屏蔽门控制系统是一个独立的系统，与信号系统在功能上紧密耦合，列车进站停车和站台发车均需要通过复杂的信息交互才能获得站台屏蔽门的关锁状态，同时传统站台屏蔽门系统控制电路大量采用硬线和安全继电器导致硬线施工量大，故障率高。从而导致传统的站台屏蔽门系统难以满足车车通信、灵活可变编组等提升运行效率的需求。针对这些弊端，本文提出了一种基于全电子计算机联锁的站台屏蔽门控制系统，采用站台屏蔽门控制器(platform screen doors controller，PSDC)替代传统的站台屏蔽门系统。相较于当前应用的 SIL2 等级站台屏蔽门系统，PSDC 的安全等级达到 SIL4 级，它融合计算机技术、网络技术、“故障-安全”电子单元，将信号系统中的安全继电器和传统站台屏蔽门的 PSC 整合为站台屏蔽门控制器，实现了车载系统、联锁系统与站台屏蔽门控制器的直接网络通信，具备在线快速自检测和自诊断功能，杜绝了继电器执行控制电路所固有的安全隐患和缺陷，具有整体结构简单、施工调试快速、后期维护方便、系统的可靠性和可用性高的特点。

1 传统站台屏蔽门系统架构

传统的站台屏蔽门系统架构如图 1 所示。图 1 中，PSL 为就地控制盘，CAN 为控制器局域网总线，PEDC 为单元控制器，IBP 盘为综合后备盘。在正常运行模式下，信号系统直接对站台屏蔽门进行控制[4]，当联锁系统(computer based interlocking，CBI)收到来自车载系统(carborne controller，CC)发来的开/关门命令后，联锁子系统通过安全继电器的励磁将开/关门命令发送给站台屏蔽门系统，站台屏蔽门系统采集到开门/关门继电器励磁后，利用内部的电气控制电路，将硬线输出开门/关门命令发送给门控单元(door control unit，DCU)，控制站台屏蔽门的打开/关闭。同时站台屏蔽门打开或者关闭后，DCU 会将关闭且锁闭信息通过硬线反馈给站台屏蔽门系统，站台屏蔽门系统再根据门控单元反馈的关闭且锁闭信息将对应的安全继电器吸起或落下并提供给联锁系统采集。联锁采集到关锁信息后进行内部运算，再通过网络通信发送给车载设备。

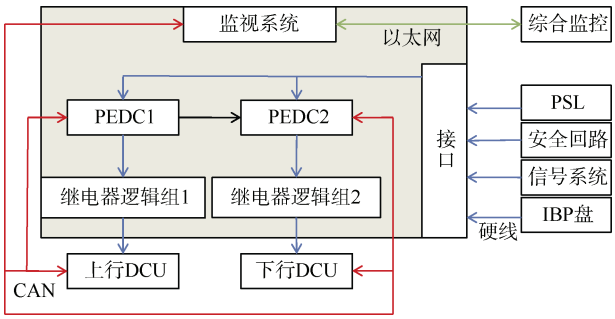


图 1 传统电气控制站台屏蔽门系统架构

Figure 1 Diagram of the traditional electrical control platform screen door system architecture

传统站台屏蔽门系统与信号系统的接口如图 2 所示，ATS 为列车自动监控系统。不管是列车进站后通过 CC 发送开/关门到屏蔽门执行开关门动作，还是屏蔽门关闭或打开后 CC 收到关锁信息，在这个传输路径上都经过多次的中间环节，且每个系统都有自己的运行控制周期，系统之间没有实现时钟同步，因此存在数据和命令传递延时，进而影响列车到站时的上/下客时间。在实际地铁项目前期开通调试以及正常运营过程中，信号系统和屏蔽门系统的信息交互也存在中间环节多、配线繁琐、继电器日常维修复杂、故障排查困难等不足。随着城市轨道交通运营场景(如车-

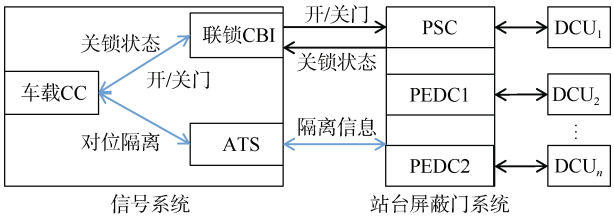


图 2 站台屏蔽门系统与信号系统接口

Figure 2 Interface between the Platform Screen Door System and the Signal System

车通信、全自动运行系统、灵活可变编组等)的增多以及全自动运行系统运营技术和管理规范的发布，信号系统与站台门系统的交互信息也越来越多，传统的硬线接口方式已无法满足日益增长的用户需求[5]。

2 基于全电子联锁的站台屏蔽门控制器

2.1 方案架构

基于全电子计算机联锁的站台屏蔽门控制器(PSDC)是在全电子联锁的安全计算机平台和全电子执行单元的基础上进行开发设计，其方案架构如图 3 所示。图 3 中，DCU 有多个，用 DCU*n* 来表示。PSDC 系统主要由逻辑应用业务软件、BiSTAR(better insigma safety targeted architecture)安全计算机平台、控制器软件、监控系统组成。

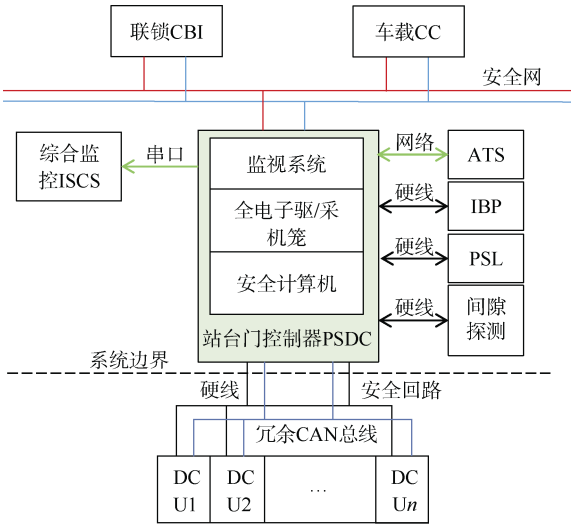


图 3 站台屏蔽门控制器架构

Figure 3 Platform Screen Door Controller Architecture

BiSTAR 安全计算机平台按照 CENELEC EN50128 标准进行开发设计[6]，采用全电子化执行单元，并通过安全在线检测技术、动静态回采技术、安全编码技术以及二取二的软硬件异构架构实现对外部设备的控制和状态采集。同时还要实现当功能逻辑软件或网络通信出现故障时，能够继续执行来自 PSL 和 IBP 盘的开/关门命令。

逻辑应用业务软件和控制器软件实现接收来自 CC、PSL 和 IBP 盘的开/关门命令，并进行布尔运算，实现优先级判断。当判断满足输出要求后，功能软件模块会输出相应的命令给 DCU 控制站台屏蔽门的开门和关门。同时也会采集 PSL 上的互锁解除状态，并及时将互锁解除信息传递给联锁子系统和车载子系统。

监视系统基于全电子联锁的维护台进行开发，通过接收来自 BiSTAR 平台、DCU 的诊断维护信息、逻辑应用数据日志信息、DCU 运行状态和日志信息等以实现站台屏蔽门控制系统和 DCU 的故障定位分析，运营维护查看，同时监视系统也支持通过 Modbus 协议实现和综合监控系统的接口功能。

在本文提出的方案中，PSDC 系统纳入到信号系统，并接入到信号系统的安全网里，实现车载、联锁与 PSDC 之间的直接通信功能。

PSDC 的控制命令主要来自车载、PSL 盘和 IBP 盘，3 种不同来源的控制命令都可以实现对站台屏蔽门的控制。车载与 PSDC 的信息交互过程如图 4 所示。

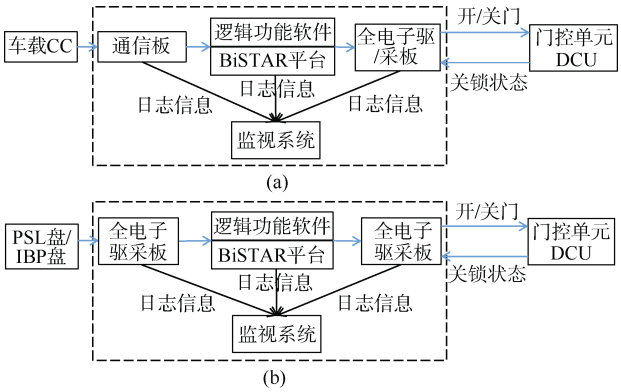


图 4 车载与 PSDC 的信息交互过程

Figure 4 Information exchange process between the onboard system and PSDC

车载判断开/关门满足条件后，产生相应的开门或关门命令并通过网络传输给 PSDC，PSDC 收到相应的开门或关门命令后，进行相应的安全逻辑判断，然后根据运算结果，输出给全电子采集/驱动单板，并通过硬线接口或者 CAN 总线接口输出给 DCU，控制站台屏蔽门的打开或关闭。当站台屏蔽门打开或者关闭后，全电子采集/驱动单板会采集站台屏蔽门的关闭且锁闭状态，站台屏蔽门控制器将关闭且锁闭状态通过网络转发给车载系统，完成站台门的打开或关闭的闭环交互。车站工作人员或者司机在 PSL 盘或者 IBP 盘按下开门或者关门按钮也可以实现站台屏蔽门的打开或关闭。

传统的站台屏蔽门系统按照技术规范和招标要求，每个车站均需要布置一套设备。而基于全电子计算机联锁平台的站台屏蔽门控制器通过联锁子系统融合站台屏蔽门控制系统的功能，实现与 PSL 盘、IBP 盘以及 DCU 的接口。因此可以与联锁子系统做到一体化设计，减少系统设备的数量。

2.2 方案优势

2.2.1 控制链路优化

传统的站台屏蔽门系统与信号系统中的联锁子系统采用物理硬线接口实现信息传递，传递的主要信息包括开门、关门、关闭且锁闭状态、互锁解除状态等[7]。联锁子系统收到来自车载的开/关门命令后，通过内部运算，驱动开门/关门继电器励磁，站台屏蔽门系统侧会复示开门和关门继电器的状态，当继电器励磁后，通过硬线输出给 DCU 控制站台门打开或关闭。联锁子系统通过继电器复示站台屏蔽门驱动的关闭且锁紧状态以及站台门互锁解除继电器状态，联锁子系统采集站台门关门且锁紧状态继电器并反馈给车载。

为了体现本文方案在车载和联锁系统控制链路上的优势，将传统站台屏蔽门系统和站台屏蔽门控制器进行对比，结果如图 5 所示。由图 5 可知：在整个开/关门过程中，传统的站台屏蔽门系统需要通过联锁系统和车载系统进行信息交互，而联锁子系统也要通过安全继电器动作和站台屏蔽门系统进行交互，传统的站台屏蔽门系统已逐渐无法满足当前城市轨道交通全自动运行系统对于提升效率、节省控制时间的要求；站台屏蔽门控制器方案能够实现与车载设备的直连，

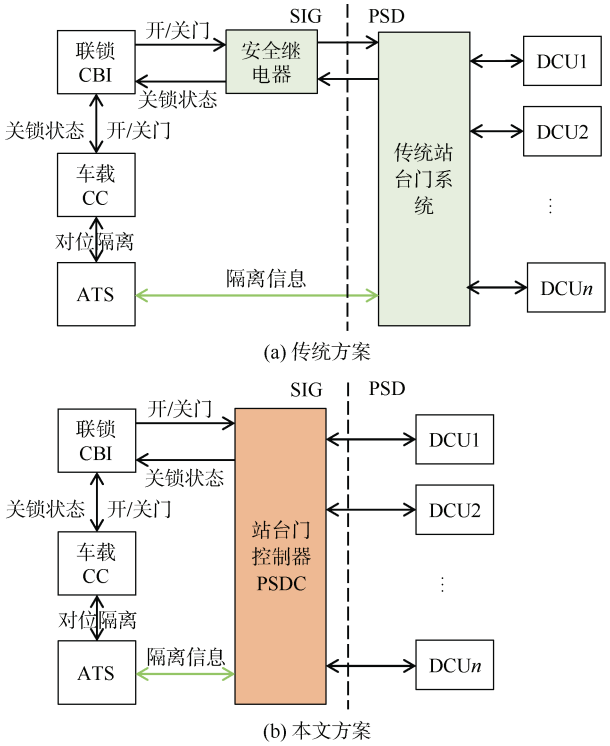


图 5 两种方案对比

Figure 5 Comparison of the traditional system and the proposed scheme

车载直接与站台屏蔽门系统进行信息交互，当站台门控制器收到来自车载的控制命令后，通过和 DCU 进行硬线接口实现站台屏蔽门的控制。

综上，站台屏蔽门控制器方案在整个站台屏蔽门的控制流程中只有车载、站台屏蔽门控制器和 DCU 参与，大大精简了控制链路，在很大程度上提高了站台屏蔽门的动作效率。

2.2.2 时效性增强

将传统站台屏蔽门系统和站台屏蔽门控制器与车载的信息交互路径进行对比，结果如图 6 所示。假设 CI 系统运算周期为 500 ms，传统站台门系统内部运算周期为 500 ms，开门链路传输时间+关门链路传输时间为 400 ms+400 ms=800 ms，继电器吸起/落下时间总计 300 ms，PSDC 系统运算周期为 100 ms。由图 6 可知：传统方案里的安全继电器动作、中央控制盘 PSC 处理时间、CBI 系统处理时间都可以在本文方案中的链路上省略，即车载进站开门/关门命令执行这条链路上，信号侧的节省时间为 2 s；每次关门后，关闭且锁闭信息反馈有效节约时间为 1.5 s。

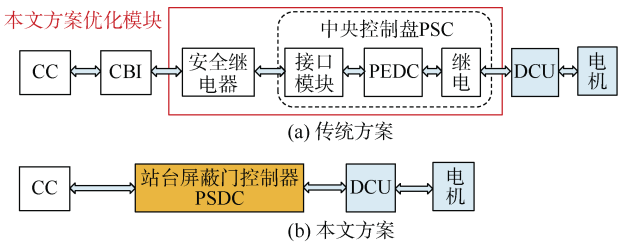


图 6 信息交互路径对比示意

Figure 6 Comparison of information interaction paths

对相同的线路分别使用站台门控制器和传统屏蔽门系统进行仿真测试，结果表明采用本文方案的屏蔽门控制器，从列车在站台停准停稳发出开门命令，到停站结束接收到站台门关锁信息，时间节约近 4 s。

2.2.3 安全性和可靠性高

将传统站台屏蔽门系统和站台屏蔽门控制器的性能指标进行对比，结果如表 1 所示，基于全电子联锁的站台屏蔽门控制器不仅可以满足既有站台屏蔽门系统的功能，又可以实现安全性能、可靠性、可用性上的显著提升。

PSDC 系统基于信号系统中的全电子计算机联锁系统进行增量开发，在全电子联锁系统中增加站台屏蔽门接口模块，设计采用 EN50129 中二取二设计原则[8]，并通过 SIL4 安全等级要求认证；系统的输入输出采用全电子联锁的电子开关量采集/驱动模块，精简了传统

表 1　传统方案和站台屏蔽门控制器方案对比

Table 1　Comparison between the traditional solution and the platform screen door controller solution

方案性能	传统方案	站台屏蔽门控制器
安全性	SIL-2 级	基于全电子联锁安全平台开发，SIL-4 级
可靠性	采用安全继电器，可靠性低	采用网络接口，可靠性高
可用性	搭建电气电路，有较多的机械继电器，使用寿命较短	采用全电子单板，继电器寿命长，与车载通信采用冗余的网络接口
可维护性	硬线和继电器需要定期检查，维护工作量大	板卡具有自检功能，能够及时发出故障报警，且板卡故障率低

站台屏蔽门系统中大量的电路控制电路；全电子开关量采集/驱动模块采用板载安全继电器，其动作寿命可达到 1×10^7 次；同时采用免维护设计，支持热插拔，能够实时对内部进行检测，并根据检测结果快速定位到故障位置发出故障报警，极大提升了系统的维护效率和现场故障诊断的能力[9]。

通过对故障形成的原因进行分析，画出逻辑关系图(即故障树)，从而确定系统故障的原因和发生的概率，识别因不同底层事件失效而可能导致的顶层事件的发生，同时考虑了主备板切换失效率为 3.9×10^{-16}，构建系统故障树得出系统输出危险侧的容许危险率(tolerable hazard rate，THR)值为 8.514×10^{-10}，满足 SIL4 的指标要求[8]。

2.2.4　工程实施便利

传统的站台屏蔽门系统必须有单独的设备室以及电源设备，采用站台屏蔽门控制器方案后，独立的设备室、电源设备均可以取消，站台屏蔽门控制器机柜布置在信号设备室且由信号系统统一供电。这样可以极大地减少工程土建阶段的设备房面积，进而降低土建成本，本文方案设备布置如图 7 所示。

采用传统的站台屏蔽门系统的项目，在前期调试阶段，经常会遇到车门和站台门不能联动的问题[10]，一方面是由于信号系统和站台屏蔽门的接口只能在现场进行调试，另一方面是接口中间环节多，导致存在很多的潜在故障点[11]。采用本文方案后，车载 CC 直接和 PSDC 系统通过网络接口，这部分接口功能的一致性校验可以在实验室完成。到现场后仅需要关注站台屏蔽门和 DCU 之间硬线接口的一致性测试以及门体测得参数配置即可。现场接口故障点如图 8 所示，采用本文方案后，在现场调试阶段仅需要关注故障点 1 即可，极大减少了车门和站台屏蔽门联动调试的工作内容[12]。

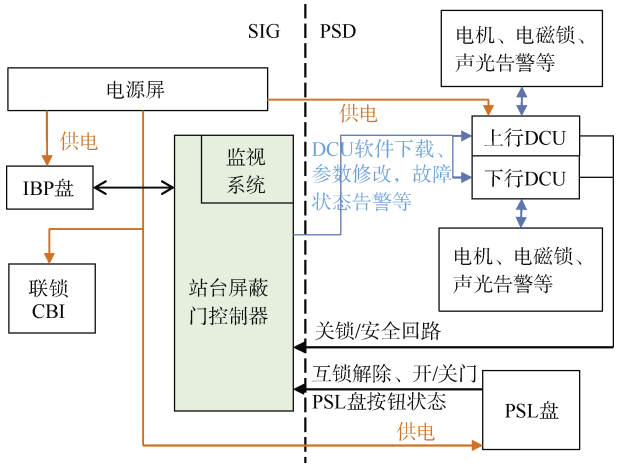


图 7　站台屏蔽门控制器方案设备布置

Figure 7　Equipment layout

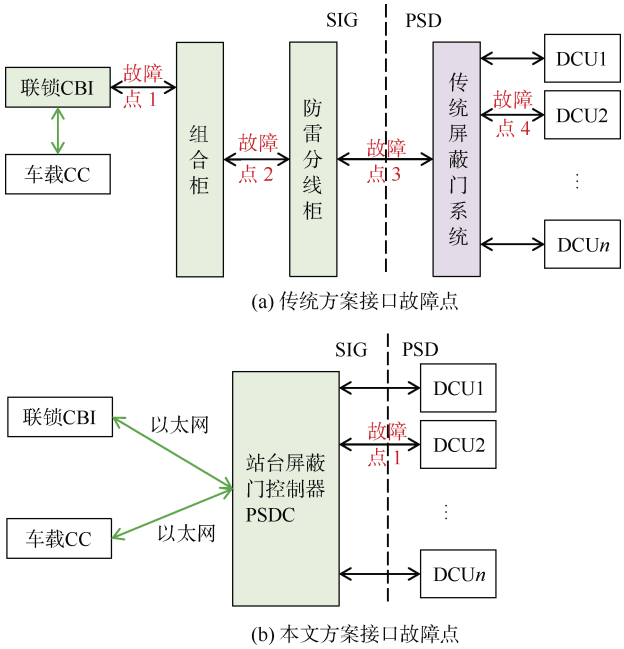


图 8　现场接口故障点

Figure 8　Fault points of field interfaces

2.2.5　故障处置快速

一体化站台屏蔽门控制器采用主备冗余架构设计，为系统的稳定运行提供了坚实保障。系统设计了冗余的通信模块、控制模块以及执行模块，并且单板支持热插拔，结合交叉冗余供电方式，一旦某个模块出现故障，系统能够自动实现无缝切换，确保屏蔽门系统持续稳定运行。

在与信号系统的通信方面，采用双安全网冗余通信模式，摒弃传统每个车站通过继电器传递屏蔽门状态信息的方式，大幅减少了和信号系统的硬线接口。这种改进不仅显著提升了系统的可靠性，还大大降低

了故障运维的难度。

将传统方案和本文方案的故障维护进行对比，结果如表 2 所示：传统方案里各站数据分散，无法进行在线分析，需要人工线下获取数据；本方案突破了传统既有方案的局限，各站站台门的运行数据和维护信息能够通过维护网直接上传至智能运维系统，借助智能运维系统强大的数据分析能力，可实现对设备故障的精准诊断，提高故障处理效率，最大限度降低故障对运营的影响。

表 2　故障维护对比

Table 2　Comparison of fault maintenance

对比指标	传统方案	站台屏蔽门控制器
维护数据存储	各站数据分散存储	各站数据统一存储
日志下载	出现问题的车站单独去获取日志	通过智能运维系统可直接获取全线车站日志
问题定位	人工根据经验定位	结合收集的每个屏蔽门的动作时间、电压、电流等历史数据状态，由智能运维系统提供数据分析和故障诊断

对全自动运行线路，一体化站台屏蔽门系统的优势更为凸显。基于其高度智能化和可靠性，能够组建一岗多能队伍，进行跨专业的维护工作。这种高效的运维模式既能充分发挥人员的专业技能，又能灵活调配人力资源，进一步提升运维效率和质量，为轨道交通的安全稳定运营保驾护航。

3　结论

1) 本文提出的基于全电子联锁的站台屏蔽门控制器的方案，采用计算机技术、网络技术、“故障-安全”全电子化单板技术，通过二取二的软硬件异构设计实现对外部设备的控制和状态采集。

2) 与传统的站台屏蔽门控制系统相比，本文方案实现了和车载系统、联锁系统的直接网络通信接口，缩短了列车站台停车时间约 4 s，从而提高整条线路的运行效率，缩短运行间隔。

3) 全电子单板支持热插拔，结合交叉冗余供电方式和系统的无缝切换，确保屏蔽门系统持续稳定运行，这不仅可以满足未来城市轨道交通列车运行组织模式灵活多变的需要，也能满足对于运营安全要求越来越高的需求，同时对轨道交通建设成本的控制也能起到很大的作用。

本文方案是对基于全电子联锁系统的站台屏蔽门控制器方案的探讨，未来随着该方案的工程化实施和运营经验的积累，还需对地铁运营维护、维修制度进行相应的调整和完善，以适应新的系统架构和技术要求，保障轨道交通系统的稳定、安全运行。

参考文献

[1] 秦武. 城市轨道交通中的屏蔽门系统[J]. 上海铁道科技, 2005(4): 37-38.
QIN Wu. Screen door system of urban rail transportation[J]. Shanghai railway science & technology, 2005(4): 37-38.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通站台屏蔽门系统技术规范: CJJ 183—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People’s Republic of China. Technical code for platform screen door system of urban railway transit: CJJ 183—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.

[3] 马威, 张昱敏. 信号与站台门联动一体化控制系统研究[J/OL]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(9): 19-22.

[4] 陈航宇. 地铁站台门系统电气控制方式分析[J]. 时代汽车, 2024(19): 19-21.
CHEN Hangyu. Analysis of the electrical control mode of the subway platform door system[J]. Auto time, 2024(19): 19-21.

[5] 崔惠珊, 盖克荣, 李雪枝, 等. FAO 下信号系统与站台门一体化方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(5): 62-66.
CUI Huishan, GAI Kerong, LI Xuezhi, et al. Integrated design scheme of signaling system and platform screen door under FAO[J]. Railway signalling & communication engineering, 2023, 20(5): 62-66.

[6] CENELEC. Railway applications-Communication, signalling and processing systems-Software for railway control and protection systems: DS/EN 50128: 2011[S]. 2011.

[7] 邹海平. 城市轨道交通全自动运行系统站台门与信号系统集成方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(6): 261-266.
ZOU Haiping. Research on FAO system platform screen door and signaling system integration scheme[J]. Urban mass transit, 2023, 26(6): 261-266.

[8] CENELEC. Railway applications-Communication, signalling and processing systems-Safety related electronic systems for signalling: DS/EN 50129: 2018[S]. 2018.

[9] 韦颐强. 深圳地铁屏蔽门系统的模块化解决方案[J]. 机电信息, 2010(24): 130.

[10] 王黎, 高鑫, 赵娜. 城市轨道交通电客车车门与站台门联动时序设计及调试方案[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(10): 308-312.
WANG Li, GAO Xin, ZHAO Na. Timing design and commissioning scheme for linkage between urban rail transit electric passenger car doors and platform doors[J]. Urban mass transit, 2024, 27(10): 308-312.

[11] 王胜国. 轨道交通站台屏蔽门系统及项目实施控制要点[J]. 中国新技术新产品, 2014(8): 125-126.

[12] 李景虎. 基于城市轨道交通无人驾驶技术的站台门系统与信号系统接口设计与测试[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(12): 101-105.
LI Jinghu. Design and testing of platform screen door system and signaling system interface based on urban rail transit FAO technology[J]. Urban mass transit, 2021, 24(12): 101-105.

（编辑：王艳菊）