

机电一体化技术在轨道交通车辆门控系统中的应用

刘丹

西安市轨道交通集团有限公司, 陕西 西安 710000

摘 要： 本文探讨了机电一体化技术在列车车门控制系统中的应用，重点关注车门自动运行、实时故障监测、防夹安全机制、紧急解锁和智能车门速度调节等关键创新。机电一体化集成了机械部件、传感器、执行器和控制系统，以提高列车车门运行的安全性、可靠性和效率。通过实时监控，机电一体化技术降低了事故风险，提高了乘客安全，并延长了车门系统的使用寿命。

关 键 词： 机电一体化技术；轨道交通；车辆门控系统

Application of Mechatronics Technology in Gate Control System of Rail Transit Vehicles

Liu Dan

Xi 'an Rail Transit Group Co., LTD. Xi 'an, Shaanxi 710000

Abstract： This paper explores the application of mechatronics technology in train door control systems, focusing on key innovations such as automatic door operation, real-time fault monitoring, anti-pinch safety mechanisms, emergency unlocking, and intelligent door speed adjustment. Mechatronics integrates mechanical components, sensors, actuators, and control systems to enhance the safety, reliability, and efficiency of train door operations. By enabling real-time monitoring and adaptive control, mechatronics reduces the risk of accidents, improves passenger safety, and extends the lifespan of door systems. The technology also contributes to energy savings and operational efficiency, making it a crucial component in the modernization of rail transportation systems.

Keywords： mechatronics; rail transit; vehicle door control system

引言

随着机电一体化技术的发展，传统的手动或半自动车门系统已发展成为全自动系统，从而提高了运行安全性，减少了人为失误，并确保与列车其他部件的无缝协调。在高速列车和城市轨道交通系统中，机电一体化技术尤为重要，因为在这些系统中，安全和准时是至关重要的。

一、机电一体化技术在轨道交通车辆门控系统中应用的概述

列车车门控制系统中的机电一体化是指将机械系统、传感器、电子设备和基于计算机的控制器进行全面整合，以确保精确和安全的操作。在传统系统中，车门由人工控制或使用基本电路进行操作。然而，现代门系统采用机电一体化解决方案，可实现实时监控、精确驱动和反馈控制。门板和锁定装置等机械部件与传感器和微控制器同步，以检测障碍物、控制开关速度和管理紧急协议。这些系统配备了先进的算法，可根据温度、压力和列车速度等环境条件进行实时调整，以达到最佳运行状态。此外，通信技术的使用还能使车门系统与列车的中央控制系统无缝对接，从而在乘客上车、下车和紧急情况下协调运行。在车门控制系统

中采用机电一体化技术不仅能提高安全性和可靠性，还能减少机械磨损和运行延迟，从而提高能效。

二、机电一体化技术在轨道交通车辆门控系统中的应用

（一）自动开关控制

自动门控制是机电一体化技术在轨道交通领域最重要的应用之一。在现代列车系统中，车门必须高效运行，以确保乘客安全和运行精度。机电一体化技术将机械部件与电子传感器、执行器和控制系统集成在一起，使车门能够在无人干预的情况下自动打开和关闭，这种自动化可确保车门仅在指定车站打开，并在列车出发前正确关闭。自动门系统使用各种传感器，包括压力传感

作者简介：刘丹（1990.9-），女，汉族，陕西西安人，本科，研究方向：机电一体化、自动控制。

器、红外线传感器和光学传感器，来检测车门附近是否有乘客^[1]。这些传感器可在检测到障碍物时停止车门运行，从而防止事故发生。此外，智能控制算法的集成使系统能够根据环境条件或乘客流量调整车门的开关速度，这不仅能提高安全性，还能减少车门装置的磨损，延长其使用寿命，最大限度地降低维护成本。自动门控制系统还有助于提高能源效率的可持续性。通过控制车门运行的时间和持续时间，该系统可减少因车门开启时间过长而产生的不必要能耗。在寒冷或温暖的气候条件下，不必要的开门会导致列车供暖或空调系统的大量能源损耗。配备机电一体化技术的自动门系统还具有内置诊断功能，这些系统可进行自我检查，以检测致动器或锁定装置等部件的潜在故障或磨损情况。此类诊断可进行预测性维护，帮助操作员在系统故障或服务中断之前解决问题，这不仅能提高乘客安全，还能减少停机时间，确保铁路服务更加平稳可靠。因此，机电一体化驱动的自动门控制系统是提高现代铁路运输的安全性、效率和可持续性的关键。

（二）实时故障监测

实时故障监控是机电一体化技术在列车车门控制系统中的重要应用，旨在确保乘客安全和系统可靠性。机电一体化系统集成了传感器、控制器和通信模块，可持续监控车门部件的健康状况和性能，这些传感器被战略性地安装在执行器、锁定装置和控制单元等关键部件上，实时检测任何磨损、故障或失灵的迹象。这些传感器的数据由嵌入式控制器处理，控制器分析性能指标，并能检测异常情况，如门运行过程中的异常振动、阻力或响应时间延迟。实时监控功能使系统能够在检测到任何偏离正常操作的情况时立即向操作员发出警报，从而在故障升级为安全隐患之前进行迅速干预。这对于地铁系统等高频率轨道运营尤为重要，因为即使是轻微的延误也可能导致服务中断。此外，实时故障检测还能确保快速识别并解决卡门等可能危及乘客安全的问题。通过持续评估每个组件的状态，系统可以最大限度地降低意外故障的风险，从而提高整个系统的可靠性^[2]。除了安全性之外，实时故障监控还能通过实施预防性维护策略来改进列车车门系统的维护流程。在传统的定期维护中，无论部件的状况如何都会在一定时间后进行更换，而实时监控则为操作员提供了实际的性能数据^[3]。这样就可以进行有针对性的维护，根据部件的当前状况，只有在必要时才进行维修或部件更换，这不仅能延长门系统的使用寿命，还能避免不必要的维护，从而减少停机时间和运行成本。通信技术的集成还能将故障数据传输到中央控制系统，以便进行进一步分析。操作人员可以获取有关系统性能的详细报告，找出反复出现的问题，并实施长期改进，这种以数据为导向的方法可确保系统地解决常见故障模式，从而不断优化门系统。

（三）安全防夹机制

安全防夹机制是机电一体化技术在列车车门控制系统中的重要应用，旨在防止乘客或物体被夹在关闭的车门之间而发生事故。安全防夹机制将机械部件与先进的传感器、执行器和控制算法相结合，以确保列车门的安全运行。通常情况下，车门边缘会嵌入红外线、超声波或压敏装置等传感器，这些传感器持续监控门板之间的空间，并在关门过程中检测任何障碍物^[4]。如果检测

到物体或人员，系统会立即停止门的移动，并逆转关闭过程，以防止造成伤害。旧式系统只有在受到巨大阻力时才会停止关门，而现代机电一体化系统则不同，其灵敏度和准确性都大大提高。对小物体甚至微小阻力的即时检测提高了乘客的安全性，特别是在拥挤的城市轨道交通环境中，乘客快速上下车的情况非常普遍。这种机制可以保护儿童、老人或残疾人等弱势乘客免受车门关闭伤害^[5]。除了防止伤害之外，防夹装置还在确保轨道系统的运行效率方面发挥着重要的作用。通过可靠地检测障碍物并自动重新打开车门，该系统可降低因车门故障或事故而造成服务延误的风险。如果没有有效的防夹系统，卡住的车门可能会导致长时间的延误，因为可能需要人工干预，甚至需要紧急服务来释放障碍物。然而，自动反转功能可确保运营顺利进行，并将中断程度降至最低，这有助于保持列车的准点率，因为延误会对整个系统产生连带影响。这一安全机制的实施还有助于减少车门部件的磨损。该系统可防止车门在检测到障碍物时施加过大的力，从而将车门致动器和锁定装置的机械应力降至最低，这就减少了频繁维护的需要，延长了车门的使用寿命。通过在列车车门系统中集成防夹技术，铁路运营商可以提高乘客安全，使其成为现代轨道交通系统的重要组成部分。

（四）紧急解锁功能

紧急解锁功能是机电一体化技术在列车车门系统中的重要作用，旨在提高紧急情况下的乘客安全。紧急解锁功能可在发生故障、断电或紧急疏散时手动或自动解锁车门。现代列车中的机电一体化系统集成了电子控制和机械执行器，可在触发时快速脱离锁定装置。这些系统经过编程，可对列车中央控制单元上的专用紧急按钮发出的紧急信号做出响应^[6]。一旦检测到紧急信号，机电一体化系统就会覆盖标准车门控制协议，启动解锁装置，使乘客能够快速、安全地离开列车。紧急解锁功能配备了安全冗余装置，以确保其在各种条件下的可靠性。例如，即使列车断电，系统也能依靠机械故障保险装置确保车门解锁。紧急解锁功能可以防止乘客在火灾、脱轨的危急情况下被困在列车内。机电一体化系统中集成的实时诊断功能还有助于监控紧急解锁功能，确保其始终处于工作状态。紧急解锁功能不仅能增强安全性，还能提高轨道交通的运营弹性^[7]。在高客流量的城市铁路网中，紧急情况下快速解锁车门的能力可将乘客恐慌的风险降至最低，并有助于有序疏散，这降低了受伤的可能性，并有助于应急人员更有效地进入列车。此外，该系统与列车中央监控系统的集成使操作员能够识别哪些车门已被解锁，并在紧急情况下为他们提供实时更新，这种协调反应改善了车上工作人员与中央控制中心之间的沟通，确保疏散过程管理有序、高效。从维护角度来看，机电一体化紧急解锁系统还能减少运行停机时间。由于这些系统具备自诊断功能，因此与应急功能相关的任何故障都能被主动检测，从而确保列车始终符合安全规定。在需要人工干预的情况下，系统的设计可确保训练有素的人员能够轻松进入车门装置，进行快速维修或覆盖^[8]。通过集成紧急解锁功能，机电一体化技术在保障乘客安全的同时，还能保持列车系统的运行完整性，发挥了关键作用。

（五）门速智能调节

智能车门速度调节是机电一体化技术在列车车门系统中的重要应用，可根据各种运行和环境因素实时控制车门的开关速度。通过集成传感器、执行器和先进的控制算法，该系统可动态调整车门速度，以提高安全性和效率。例如，在客流量大的高峰时段，车门可以更快地打开和关闭，以方便乘客快速上下车，从而减少站台拥堵，提高列车正点率。反之，在非高峰时段，或在儿童或老年乘客上车等可能存在安全隐患的情况下，可以通过编程使车门以较低的速度运行，以降低事故风险。智能车门速度调节机制依赖于传感器的组合，这些传感器可检测乘客距离、天气状况甚至列车速度等因素^[9]。列车的车载计算机对这些输入进行处理，然后向车门执行器发送信号，以改变运行速度。例如，在大雨或强风等恶劣天气条件下，系统可能会减慢车门的移动速度，以确保精确关闭并防止环境因素造成的机械应变，这不仅能提高安全性，还能减少机械部件不必要的磨损，有助于优化能源使用。除了安全和效率之外，智能车门速度调节还有助于延长列车车门系统的使用寿命。传统系统中频繁而快速的车门运动会导致

机械部件过早磨损，从而造成昂贵的维护费用^[10]。然而，通过根据实时情况智能调节车门速度，系统可最大限度地减少机械应力，从而延长执行器、齿轮和锁定装置的使用寿命，这就减少了维护需求，降低了轨道运营商的长期运营成本。此外，由于该系统可以检测到车门中的障碍物或异常阻力，因此可以减缓或停止车门的运行，从而防止损坏并确保乘客安全。

三、结语

总之，机电一体化技术在列车车门控制系统中的应用是铁路运输领域的一大进步，它提高了安全性、效率和可靠性。通过集成传感器、执行器和控制算法，机电一体化系统可实现自动车门控制、实时故障监测、防夹安全机制、紧急解锁和智能车门速度调节等智能功能，这不仅改善了乘客的体验，还有助于提高效率。随着铁路网络的不断现代化，机电一体化在确保无缝、安全和可持续运营方面的作用将变得越来越重要，并将推动未来运输技术的发展。

参考文献

[1] 鞠丽丽, 王君. 机电协同设计在轨道交通行业的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2023(5):4.
[2] 陈晓钦. 机电一体化技术在地铁中的应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2022.
[3] 周爱华. 机电一体化技术在地铁中的应用研究探讨 [J]. 电脑校园, 2023:3673-3674.
[4] 曲璟. 浅析城市轨道交通机电一体化技术的应用及发展 [J]. 南方农机, 2021, 52(8):191-192.
[5] 宣仁德. 城市轨道交通机电一体化技术的应用及发展趋势 [J]. 百科论坛电子杂志, 2020, (015):366.
[6] 陈永齐. 城市轨道交通机电一体化技术应用质量分析 [J]. 户外装备, 2023(8):328.
[7] 陈晓钦. 机电一体化技术在地铁中的应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2022.
[8] 张硕. 探究城市轨道交通机电一体化技术的应用质量 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2022(5):4.
[9] 邓炳光. 机电一体化技术在地铁系统中的运用探究 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2021(6):2.
[10] 归逸飞. 城市轨道交通机电一体化技术的应用及发展 [J]. 中国科技投资, 2021.