

基于可编程逻辑控制器的立体车库系统控制设计与研究

吴文琦¹, 盛东明², 宋 晓³

¹浙江金环链条制造有限公司, 浙江 武义

²金华欣火信息科技有限公司, 浙江 金华

³浙江武精机器制造有限公司, 浙江 武义

收稿日期: 2025年6月23日; 录用日期: 2025年7月13日; 发布日期: 2025年7月25日

摘 要

随着全球城市化进程的加速及机动车保有量的持续攀升, 城市停车难题日益凸显, 已成为制约城市可持续发展的瓶颈。立体车库系统凭借其卓越的空间利用率和智能管理优势, 正迅速成为缓解停车压力的核心解决方案。本文深入探讨了基于可编程逻辑控制器(PLC)的立体车库控制系统的先进设计与研究。首先, 论文系统阐述了不同类型立体车库的分类标准与基本运行机制, 并剖析了PLC作为工业级核心控制器在确保系统高可靠性、灵活性与精确控制方面的独特优势。随后, 重点详细阐述了新一代PLC控制系统的硬件架构优化、软件逻辑精细化设计, 特别是如何融入工业物联网(IIoT)、边缘计算、高级人机界面(HMI)及数据可视化等前沿技术, 以实现车辆存取管理的智能化、车位分配的动态优化、设备状态的实时预警与预测性维护, 以及多重安全联锁机制的无缝集成。最后, 论文展望了未来立体车库控制系统在人工智能驱动的运行优化、能源效率最大化及网络安全强化等方向的创新潜能。本文旨在为下一代立体车库控制系统的研发与部署提供全面而深入的理论依据与实践指导。

关键词

立体车库, PLC, 控制系统, 工业自动化

Design and Research of Control System for Stereo Garage Based on Programmable Logic Controller

Wenqi Wu¹, Dongming Sheng², Xiao Song³

¹Zhejiang Jinhuan Chain Manufacturing Co., Ltd., Wuyi Zhejiang

²Jinhua Xinhua Information Technology Co., Ltd., Jinhua Zhejiang

³Zhejiang Wujing Machinery Manufacturing Co., Ltd., Wuyi Zhejiang

文章引用: 吴文琦, 盛东明, 宋晓. 基于可编程逻辑控制器的立体车库系统控制设计与研究[J]. 动力系统与控制, 2025, 14(3): 302-309. DOI: 10.12677/dsc.2025.143030

Abstract

The accelerating pace of global urbanization and the relentless increase in vehicle ownership have exacerbated urban parking challenges, becoming a significant bottleneck to sustainable urban development. Automated parking garage systems, owing to their superior space utilization and intelligent management capabilities, are rapidly emerging as a pivotal solution to alleviate parking pressure. This paper delves into the advanced design and research of automated parking garage control systems primarily driven by Programmable Logic Controllers (PLCs). We commence by systematically delineating the classification criteria and fundamental operational principles of various automated parking garage types, simultaneously analyzing the distinct advantages of PLCs as industrial-grade core controllers in ensuring high reliability, flexibility, and precise control. Subsequently, the paper meticulously details the optimized hardware architecture and refined software logic design for new-generation PLC-based control systems. A particular emphasis is placed on the integration of cutting-edge technologies, such as the Industrial Internet of Things (IIoT), edge computing, advanced Human-Machine Interfaces (HMI), and data visualization to achieve intelligent vehicle storage and retrieval management, dynamic parking space allocation, real-time equipment status alarming and predictive maintenance, and seamless integration of multi-layered safety interlock mechanisms. Finally, the paper casts a forward-looking perspective on the innovative potential of future automated parking garage control systems, particularly in areas like AI-driven operational optimization, maximization of energy efficiency, and strengthened cybersecurity. This work aims to provide comprehensive and in-depth theoretical foundations and practical guidance for the research and deployment of next-generation automated parking garage control systems.

Keywords

Automated Parking Garage, PLC, Control System, Industrial Automation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球范围内,城市人口的持续增长和私家车数量的急剧攀升,使得城市停车位供需矛盾日益尖锐,这不仅加剧了交通拥堵,也严重影响了城市环境和居民生活质量。传统的平面停车方式已无法满足巨大的停车需求,促使城市规划者和技术开发者将目光投向更高效的停车解决方案。在此背景下,立体车库系统[1]应运而生,作为一种利用机械设备将车辆多层停放的创新设施,它显著提高了土地利用效率,并实现了停车过程的自动化与智能化管理,是解决现代城市停车困境的关键技术路径。

当前,立体车库系统已获得广泛重视,并逐步在城市经济、商业以及娱乐中心区进入实际应用阶段。随着私家车数量的持续增长,用户对停车体验的个性化、便捷性需求不断提升,这要求立体车库在服务与产品种类上持续创新。然而,现有立体车库的发展仍面临诸多挑战,包括维护成本高昂、系统结构复杂、初期建设投入大、能耗高,以及运营管理难度大等问题。此外,部分系统在存取车体验上仍有待改善,耗时较长,用户满意度受影响。尤其是在有限的城市土地资源和既有建筑物空间限制下,如住宅小区和办公单位的停车场面积不足,对立体车库的设计提出了更高的要求。因此,市场迫切需要一种在小

面积停车场中能够实现低维护成本、便捷人机交互、高度稳定可靠、经济造价且用户友好的立体车库解决方案。基于上述现实需求与挑战,本文将深入分析现有车库环境,并聚焦于自动化控制的 PLC 立体车库控制系统的设计与优化,旨在通过融合最新的工业自动化和信息技术,构建一个更高效、更智能、更易于维护的停车体系[2] [3]。

2. 立体车库概述

立体车库系统的核心在于其控制系统,其性能直接决定了车辆存取过程的精准度、效率 and 安全性。在工业控制领域,可编程逻辑控制器(PLC)凭借其卓越的工业级稳定性、强大的抗干扰能力、灵活的可编程性及高效的实时处理能力,成为立体车库控制系统设计的主流且不可替代的核心技术[4]。

根据不同的分类标准,立体车库可以进行细致划分:

- 按规模:主要包括小型车库(通常为几层到十几层)、中型车库和大型车库(可容纳数百甚至上千辆车)。
- 按结构:可分为机械式(完全由机械设备完成车辆搬运)、自走式(车辆可自行驶入指定车位,机械辅助)及半机械式(两者结合)。
- 按运行原理:种类繁多,包括但不限于平面移动式(车辆在同一平面上移动)、垂直循环式(车辆随循环链条垂直运动)、升降横移式(结合垂直升降和水平横移)、简易升降式(仅垂直升降)、垂直升降式(通过提升机垂直搬运车辆)、以及巷道堆垛式(利用堆垛机在巷道内实现存取)。

本文在具体的设计中,以一款小型、机械式、垂直升降式立体停车库为研究对象进行构造。其具体的示意图(图 1)展示了该系统的基本运行逻辑和主要组成部分。

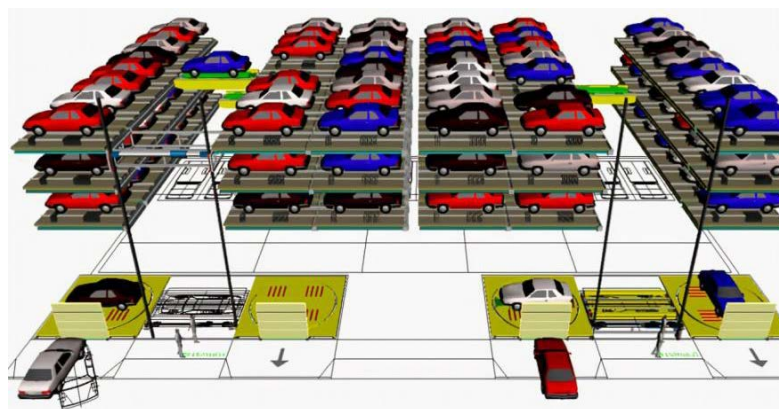


Figure 1. System diagram of the automated parking garage

图 1. 立体车库的系统图

3. 基于 PLC 的立体车库控制系统设计

基于 PLC 的立体车库控制系统是一个高度集成的机电一体化系统,其设计不仅需要精选高性能硬件,更要构建稳定高效的软件逻辑,同时充分考虑系统安全保障和用户友好型人机交互界面。整个控制系统软件通常包含三个关键层面:上位机监控程序、PLC 应用程序和触摸屏人机交互系统程序。本研究聚焦于 PLC 应用程序设计和触摸屏人机交互系统程序设计,因为它们直接负责系统的核心控制和现场操作。在实际车库运行中,PLC 应用程序发挥着决定性作用,其编程主要采用西门子 STEP 7 等专业软件。设计内容涵盖主程序框架、硬件组态、PLC 与变频器的工业总线通信、以及 PLC 的串口通信等。同时,车库的运行状态及车位信息可通过触摸屏直观展示,这需要进行人机界面画面组态及触摸屏与 PLC 的通信连接。

3.1. 车库 PLC 控制系统的硬件组态与网络架构优化

本立体车库控制系统采用先进的西门子 S7-300 系列 PLC 作为主控制器，并构建基于 PROFIBUS-DP 总线的高速、高可靠性分布式控制网络。硬件组态是系统搭建的第一步，需要通过 STEP 7 编程软件进行详细的网络规划与设备配置。

硬件组态的核心内容包括：配置 PLC 机架、建立项目、分配系统电源、明确 CPU 模块型号及其参数，并配置所需的输入/输出模块。PROFIBUS-DP 总线控制网络的构建涉及主站与多个从站的规划与连接。在此过程中，必须精确设定各站的波特率、站地址等关键通信参数，以实现分布式设备资源的优化分配和高效通信。

在控制系统架构中，PLC 主站作为中央控制器，协调所有现场设备；分布式 I/O 设备 ET200M 作为远程从站，负责现场信号的采集与执行；而 MM440 系列变频器则作为电机驱动的从站，实现精确的速度与位置控制。触摸屏(HMI)的组态则通过 WinCC flexible2008 软件完成，其参数设置需与 STEP 7 中的 PLC 配置保持一致，并通过 PROFIBUS-DP 总线与 PLC 建立连接。在仿真调试阶段，可利用 S7-PLCSIM 软件模拟 PLC 运行环境，验证组态与程序逻辑的正确性。

(1) 硬件系统核心配置参数

- ① 主站：
 - o 主站 CPU：西门子 S7-300 CPU315-2DP，站地址配置为 2。
 - o 主站 PLC 的 I/O 模块配置：
 - 16 点 DC24V 数字量输入模块 1 个(用于接收关键控制信号)。
 - 8 点继电器输出模块 1 个(用于驱动主要执行机构)。
- ② 从站：
 - o 从站 1：分布式 I/O 从站 ET200M (现场数据采集与执行)，站地址为 3。
 - SM321 系列 16 点 DC24V 数字量输入模块 5 个(用于接收大量传感器信号)。
 - SM322 系列 16 点 DC24V 数字量输出模块 3 个(用于控制多个现场执行器)。
 - o 从站 2：分布式 I/O 从站 ET200M (辅助 I/O)，站地址为 4。
 - SM321 系列 16 点 DC24V 数字量输入模块 5 个。
 - SM322 系列 16 点 DC24V 数字量输出模块 3 个。
 - o 从站 3：四台西门子 MM440 变频器(用于精确电机速度控制)，站地址分别为 5 至 8。

(2) 主站的组态流程

在 STEP 7 环境下，首先创建空白项目，然后插入主站 S7-300 站点。双击“硬件”图标进入硬件组态界面，依次配置电源模块、CPU 机架、CPU 模块以及机架上的输入/输出模块。关键步骤是对 CPU 的 DP 接口进行双击，创建 PROFIBUS-DP 总线，并将 CPU 在该总线上的站地址设置为 2，同时选择 1.5 Mbps 作为常用传输速率，配置文件类型为 DP。

(3) 从站 ET200M 的组态流程

在 PROFIBUS-DP 总线创建完成后，右击 PROFIBUS-DP 总线，在项目列表中按顺序选择“PROFIBUS-DP”、“ET200M”和“IM153-1”接口模块。此时，ET200M 从站即可插入到 PROFIBUS-DP 总线中。双击 IM153-1 图标，进行接入总线的属性设置，并精确配置其站地址等信息，最后在相应窗口下插入所需的 I/O 模块。

(4) 从站变频器 MM440 的组态流程

变频器 MM440 的组态过程与 ET200M 从站类似。在 PROFIBUS-DP 总线创建完成后，右击

PROFIBUS-DP 总线,依次选择“PROFIBUS-DP”、“SIMOVERT”和“MICROMASTER4”。此时,MM440 从站即可成功插入 PROFIBUS-DP 总线。双击变频器图标,进行其属性设置,并完成站地址的分配。

3.2. PLC 核心控制流程设计

车库系统的核心目标是实现车辆的快速、安全存取。PLC 程序的运行流程是实现这一目标的关键。具体的控制标准和运行逻辑如图 2 所示。

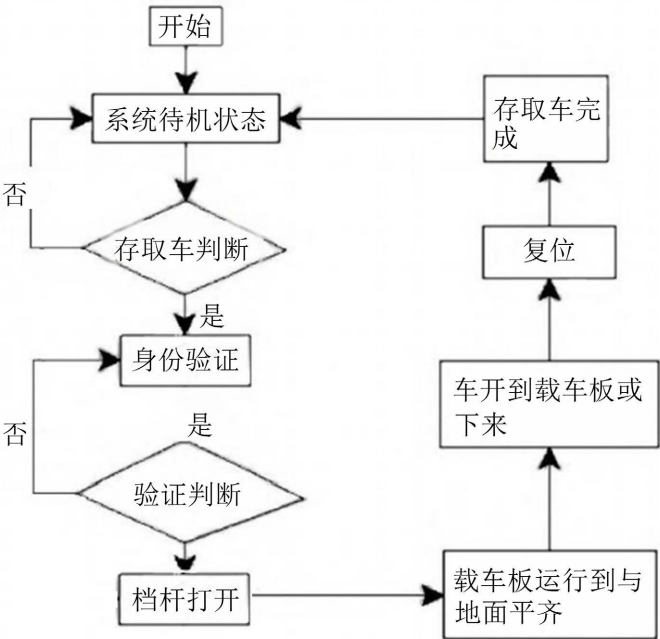


Figure 2. Parking system operation process
图 2. 车库系统运行流程

该流程图应详细描绘车辆从进入到成功停放,以及从取车请求到车辆交付给用户的完整过程,包括各个环节的传感器检测、设备动作、安全判断和异常处理路径。

3.3. PLC 与变频器的高效通信策略

在本系统中,PLC 与变频器之间采用 PROFIBUS-DP 总线进行高速、稳定的数据通信。PLC 作为系统主站,负责对变频器进行集中控制和参数管理;变频器则作为从站,执行 PLC 下发的指令。在硬件组态阶段,CPU 与变频器之间选用了 PPO1 通信报文格式,该格式包含 4PKW (参数通道)和 2PZD (过程数据)。4PKW 用于设置和读取变频器的参数(如加减速时间、电机额定电流等),而 2PZD 则用于实时控制变频器的输出频率和接收其运行状态。

MM440 变频器不仅支持与主站进行规律性的过程数据(PZD)连通,也支持不规律的数据(PKW)读写。西门子 S7-300 系列 PLC 能够通过调用系统功能块 SFC14 (DPRD_DAT)和 SFC15 (DPWR_DAT)实现对变频器参数的灵活修改和实时读取。

- SFC14 (DPRD_DAT): 主要用于读取 DP 从站(如变频器)的数据,实现主站 PLC 对变频器状态和参数的实时监控。
- SFC15 (DPWR_DAT): 主要用于将数据从主站 PLC 写入 DP 从站,实现主站 PLC 对变频器运行指

令和参数的下发。

通过 SFC14 和 SFC15 的数据交换功能,主站 PLC 与从站变频器之间建立了高效、可靠的通信链路。以控制 1 号基本单元的升降电机变频器为例,其具体设计涉及在 PLC 程序中调用 SFC14 和 SFC15 模块进行参数读取和修改。其中,LADDR (逻辑地址)被设定为 W#16#100,这代表 PKW 的起始地址。DB11.DBB0 开始的 8 个字节可作为读取到的具体参数值,而 DB11.DBB24 开始的 8 个字节则作为待修改的参数值,这些数据在 PLC 程序中进行处理,并根据运行逻辑更新变频器参数,从而实现电机的精确调速和位置控制。

3.4. PLC 串口通信与外部系统集成

在立体车库的实际应用中,用户身份信息的鉴别(例如通过刷卡)往往需要 PLC 与外部设备进行串行通信。此时,单片机或读卡器等外部设备需要接收 PLC 发送的控制指令,例如控制电子换向机构的动作或播放语音提示。因此,建立可靠的串行通信接口(PtP 接口)至关重要。

由于西门子 S7-300PLC 的 CPU315-2DP 型号本身不集成 PtP 接口,需要通过扩展模块来实现。西门子提供了 CP340 和 CP341 等系列模块,这些模块在结构和用途上具有相似性,但支持不同的通信接口标准,包括 RS-232、TTY 和 RS422/485。值得注意的是,一个模块通常只能支持一种通信接口标准。本立体车库控制系统选择 CP341 模块作为串口通信结构,并选用 ASCII 码通信协议,以确保与外部刷卡系统和语音提示系统进行稳定、高效的数据交换。

3.5. PLC 与触摸屏(HMI)的先进组态与人机交互优化

触摸屏作为现代工业控制领域中的重要人机交互终端设备[5],其应用极大地提升了操作的便捷性与直观性。随着智能化发展,触摸屏正逐步取代传统的控制台,更好地满足了复杂系统的人机交互需求,可实现数字输入、现场监控、报警提示以及系统控制等多样化功能[6]。

(1) 触摸屏和 PLC 的连接建立

在系统设计中,我们选用西门子 MP270B 触摸屏作为人机交互模块,并以 WinCC flexible2008 软件进行组态。触摸屏通过 PROFIBUS-DP 总线的 DP 接口与 PLC 建立通信桥梁,触摸屏的网络地址设置为 10。通信接口选择为 IF1B,波特率为 1.5 Mbps,配置文件类型为 DP。触摸屏和 PLC 的地址分别设定为 10 和 5,确保通信链路的正确建立。

(2) 触摸屏画面的组态与可视化增强

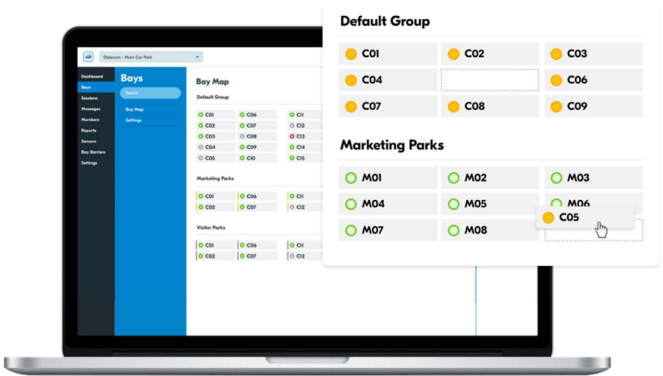


Figure 3. Schematic diagram of the three-dimensional garage control system interface
图 3. 立体车库控制系统界面示意图

WinCC flexible2008 项目用于创建多个操作画面,这些画面在监控和操作过程中发挥关键作用,能够

实时显示系统状态和相关数值。画面内容丰富,包括但不限于:文本域、输出域、动态显示域、输入输出域、按钮、时间和日期域以及图形域。单个项目可根据触摸屏型号支持多个画面,且可自由添加。在立体车库控制系统中,设计了多个操作画面,通过整合传感器数据,触摸屏能够直观地分析和显示车库每个车位的实时状态。例如,通过特定的标志显示,操作人员或用户可以清晰地判断某个载车板是否已被占用。特别地,在停车过程中,通过使目标载车板在触摸屏上持续闪烁,能够有效提醒车主停车位置,极大地方便了用户了解车位信息[7]。立体车库的控制界面如图3所示。

(3) 触摸屏变量的组态与数据流

触摸屏与 PLC 之间的高效通信离不开变量的组态。在 WinCC flexible2008 项目中组态的触摸屏变量地址与 PLC 中的数据块(DB)、输入(I)、输出(Q)或存储器(M)地址存在精确的对应关系。在前期编程过程中,触摸屏的变量已与 PLC 的输入输出完成了映射。变量主要分为两种类型:内部变量和外部变量。

- 外部变量:是实现触摸屏与 PLC 之间数据交换的关键。它们本质上是 PLC 中定义的存储位置映像,其数值会随着 PLC 程序的运行而实时变化。通过组态,触摸屏能够直接读写这些外部变量,从而实时获取 PLC 的运行数据并向 PLC 发送控制指令。因此,外部变量的数据类型必须与 PLC 中相应的数据类型保持严格一致。
- 内部变量:仅存储在触摸屏自身的内存中,不直接与 PLC 进行通信。它们通常用于触摸屏内部的逻辑判断、界面显示效果控制或临时数据存储,访问权限仅限于组态的触摸屏内部读写操作。

3.6. 新技术融合:工业物联网(IIoT)与边缘计算的深度应用

为了显著提升立体车库系统的智能化水平、运营效率和应对大数据处理能力,现代 PLC 控制系统已开始深度融合工业物联网(IIoT)和边缘计算等前沿技术,构建更具前瞻性的智慧停车解决方案[8]。

- 边缘计算在 PLC 控制系统中的应用:PLC 作为现场层控制的核心,其本身就具备一定的边缘计算能力。通过在 PLC 或其附近部署工业级边缘网关或边缘控制器,可以实现对海量传感器数据的实时预处理、过滤、聚合与初步分析。这种本地化的数据处理模式显著降低了向云端传输的数据量,极大缩短了数据处理的延迟,从而确保了系统对突发事件的毫秒级响应。例如,可以实现对设备振动频率、电机电流、温度等运行参数的实时异常检测与趋势分析,第一时间发现潜在的机械磨损或电气故障,而不是等待数据上传至云端进行离线分析。这种模式对于需要快速决策和高可靠性的立体车库操作至关重要。
- 工业物联网(IIoT)的全面集成:PLC 可以通过支持 OPC UA、MQTT、Modbus TCP/IP 等主流 IIoT 协议的通信模块,与上位机监控系统、云平台或企业资源规划(ERP)系统实现无缝、安全的互联互通。通过 IIoT,车库的各项运行数据(如存取车次数、平均存取时间、设备运行时间、故障率、能耗数据、车位占用率等)可以被实时、安全地采集、传输并上传至云端大数据平台进行集中存储、深度分析和可视化展现。IIoT 的深度集成带来了多方面革新:
 - o 远程监控与智能诊断:运维人员和管理方可以在任何地点通过 Web 界面或移动应用实时查看车库的详细运行状态、设备健康状况,并进行远程故障诊断,甚至进行远程程序升级与调试,大幅提升运维效率。
 - o 预测性维护(Predictive Maintenance):结合云端大数据分析平台和先进的 AI 算法(如机器学习、深度学习),对历史运行数据进行模式识别和趋势预测,精准判断设备部件的磨损程度和预测故障发生时间。这使得车库能够从被动维护转向主动维护,实现计划性停机检修,有效避免突发性设备故障导致的长时间停运,从而延长设备寿命,降低维护成本。
 - o 停车资源优化与智能调度:通过 IIoT 平台,车库的实时空余车位信息可以无缝发布到城市智慧停车

平台、导航应用或第三方停车服务提供商,智能引导车主快速找到停车位,极大缓解城市交通拥堵。同时,可以结合车流预测进行车位智能调度。

- o 能耗精细化管理与绿色运营:实时监测各设备的能耗数据,通过数据分析识别能耗高峰和低谷,优化设备运行策略,例如根据车库实时使用率自动调节升降机、搬运器的运行模式,最大限度地降低整体能耗,实现绿色环保运营。
- o 业务流程集成:与计费系统、支付系统、会员管理系统等进行数据集成,提供更便捷的停车服务和更高效的运营管理。
- 高级人机界面(HMI)与用户体验提升:除了传统触摸屏,现代 HMI 正向更具交互性和沉浸感的方向发展。这包括提供更丰富的可视化效果(如车库的 3D 建模动态模拟、设备运行动画)、更灵活的交互方式(如多点触控、手势控制,甚至语音识别),并支持通过 Web SCADA 或移动端 APP 进行远程访问和操作。这不仅提升了现场操作人员的工作效率,也为用户提供了更加直观、便捷的存取车体验。

4. 结语与展望

基于 PLC 的立体车库控制系统作为现代城市停车解决方案的核心,凭借其精密高效的逻辑控制,显著提升了停车效率与空间利用率。PLC 以其卓越的工业级可靠性、高度灵活性和强大的控制功能,在立体车库自动化管理中持续发挥着不可替代的核心作用。本文对自动化控制的 PLC 立体车库控制系统进行了深入设计与探讨,并融合了工业物联网和边缘计算等前沿技术,旨在提供一个针对当前立体车库维护成本高、结构复杂、造价高、能耗大以及管理困难等挑战的综合解决方案。尤其在小面积停车场场景下,本文所提出的系统展现出低维护成本、便捷人机交互、高度稳定可靠、经济造价以及用户友好等显著优点。综上所述,基于 PLC 的立体车库控制系统是解决城市停车难题的有效途径。通过持续的技术创新与融合工业物联网、边缘计算、人工智能等前沿技术,未来的立体车库将向更智能、更高效、更安全、更环保的方向发展,为构建未来智慧城市贡献关键力量。

参考文献

- [1] 曾超, 杨子涵, 崔子豪, 等. 基于 PSO-OBL 算法的平面移动类立体车库车辆调度优化模型[J]. 科学技术与工程, 2025, 25(2): 816-824.
- [2] 田祖织, 郭阳阳, 谭立远, 等. 地震荷载下高层垂直循环立体车库结构响应特性[J]. 振动与冲击, 2024, 43(22): 279-286.
- [3] 周广连. 沉井式机械立体停车库火灾风险及防治策略研究[J]. 消防科学与技术, 2024, 43(5): 726-730.
- [4] 马德智, 寇志伟, 李文军, 等. 智能立体车库中 PLC 与矢量变频器控制方法的分析设计[J]. 自动化与仪表, 2019, 34(1): 20-23.
- [5] 刘卜文, 姜自燃, 宫志强, 等. 基于 PLC 和串口服务器的称重管理系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2023(7): 62-65.
- [6] 陆波, 盛强. 基于 PLC 的绝热层打磨机控制系统设计[J]. 制造技术与机床, 2020(3): 32-34.
- [7] 刘英会, 张宗彩. 基于双传感器的枕式包装机速度自动调节系统[J]. 传感技术学报, 2024, 37(1): 177-182.
- [8] 周震宇, 蔡杨. 基于 NB-IoT 和物联网技术的地下停车库节能照明系统[J]. 电子产品世界, 2017, 24(10): 67-71.