

共享电单车升降横移式立体车库及其智能化系统设计

刘芳池, 陈雪平, 李源, 胡彩凤*

南宁学院交通运输学院, 广西 南宁

收稿日期: 2025年11月26日; 录用日期: 2026年3月3日; 发布日期: 2026年3月12日

摘要

在“双碳”目标与“15分钟生活圈”建设背景下, 共享电单车“停放难、调度难”问题日益凸显。本文提出一种圆柱体升降横移式立体车库方案, 突破传统设备本位思路, 融合立体空间与共享行为协同优化。通过结构设计、PLC控制与物联网平台集成, 实现三层自动化存取与智能管理。该方案占地小、容量大, 有效缓解地铁口停车压力, 提升运营效率, 满足城市短途接驳需求。

关键词

立体车库, 共享电单车, PLC控制、物联网、结构设计

Design of a Lift-and-Shift Multi-Level Garage for Shared E-Bikes with Its Intelligent System

Fangchi Liu, Xueping Chen, Yuan Li, Caifeng Hu*

School of Transportation and Transportation Engineering, Nanning University, Nanning Guangxi

Received: November 26, 2025; accepted: March 3, 2026; published: March 12, 2026

Abstract

Under the “dual carbon” strategy and “15-minute living circle” initiative, the inefficient parking and dispatch of shared e-bikes have become major operational challenges. This paper proposes a cylindrical lift-and-shift multi-level parking garage, integrating spatial optimization with shared behavior. The three-tier structure, controlled by PLC and IoT, enables automated access and intelligent

*通讯作者。

management. Compact yet high-capacity, the system alleviates parking congestion at subway stations and improves operational efficiency for urban short-distance transit.

Keywords

TStereo Garage, Shared E-Bikes, PLC Control, Internet of Things (IoT), Structural Design

Copyright © 2026 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

共享电单车凭借绿色、便捷的特性，成为城市 15 分钟生活圈短途出行的重要载体，却在地铁口等交通接驳节点因无序停放引发公共空间挤占、交通通行效率下降、车辆损耗加剧等城市治理难题[1]。目前国内共享电单车多为平面散停模式，缺乏专用集约化停车设施，不仅增加了运营方的调度与维护成本[2]，还因车辆露天存放影响使用体验，制约了共享慢行交通系统的可持续运营。

立体车库因空间利用率高、管理智能化的优势，成为解决城市停车难题的有效路径[3]。现有慢行交通工具立体车库已形成垂直升降式、巷道堆垛式、平面移动式等多种技术方案[4]-[6]，部分城市也落地了双层钢结构共享驿站、地下智能停车库等实践案例[7]，但此类设施或因结构复杂、成本较高难以适配地铁口的小型化部署需求，或因设计未兼顾共享电单车高频潮汐式的存取特点，针对性与实用性不足。针对地铁口接驳场景的共享电单车专用立体车库设计，仍需结合实际停车需求进行场景化优化。鉴于此，本文以南宁市楞塘村地铁站为研究对象，从结构设计、PLC 自动控制、物联网智能化管理三个维度，提出圆柱体升降横移式立体车库方案，为城市交通接驳节点的共享电单车停车设施建设提供技术参考。

2. 研究区域现状与需求分析

为验证立体车库设计方案的可行性，本研究选取南宁市楞塘村地铁站作为典型案例进行调研分析。该站点设有 A、B、C、D、E、F 六个出入口，其中 E 口与 A 口闲置空间充足，且 E 口毗邻十字路口，人车流量大，接驳需求显著，具备建设立体车库的先天条件。

实地调研发现，工作日晚高峰(18:00~19:30)时段，该站点周边共享电单车总量高达 423 辆，其中青桔与美团两大品牌占比超过 85%。车辆的爆发式聚集引发了四大突出问题：一是公共空间遭严重挤占，大量车辆无序停放在人行道、公交站台甚至盲道，导致人车混流、交通受阻；二是静态停放与动

Table 1. Total quantity of shared electric scooters

表 1. 共享电单车数量总表

时间：11:30~12:30							单位：辆
品牌 \ 地铁口	A	B	C	D	E	F	总和
青桔	34	0	3	0	55	52	144
美团	28	24	2	18	68	35	175
人民出行	3	0	0	0	0	42	45
总和	65	24	5	18	123	129	364

Table 2. Summary of shared electric scooter quantities**表 2.** 共享电单车数量总表

时间：18:00~19:30							单位：辆	
品牌 \ 地铁口	A	B	C	D	E	F	总和	
青桔	28	0	2	18	39	47	134	
美团	35	27	1	31	52	95	241	
人民出行	2	0	0	2	0	44	48	
总和	65	27	3	51	91	186	423	

态交通矛盾突出，公交车因站台被占无法正常停靠，加剧了高峰期的拥堵隐患；三是空间利用效率极低，平面停放模式无法满足高峰时段超过 360 辆的停放需求，导致车辆大量“溢出”；四是车辆运维成本高企，长期露天停放加速了车辆损耗。这些问题共同凸显了在该区域建设集约化、智能化停车设施的紧迫性。

表 1 与表 2 的调研数据表明，该区域共享电单车总数超过 400 辆，且主要集中在 E 口与 F 口。这为立体车库的选址与容量规划提供了数据支撑。

3. 立体车库总体设计方案

基于上述需求分析，本研究提出一种圆柱体升降横移式立体车库的总体方案。方案旨在同时满足以下核心需求：

- 1) 停放需求：通过三维空间扩展，大幅提升单位面积的停车容量，缓解地铁口停车压力。
- 2) 便利性需求：优化存取流程，确保用户能够快速、便捷地完成车辆的存与取。
- 3) 智能化需求：集成物联网技术，实现用户通过智能手机即可完成全部操作，并支持远程监控与智能调度。

3.1. 立体车库主体结构设计

智能化立体具有很强的适应性，每一层都有放车辆的位置，升降平台装置通过升降，上下横向移动到地面，然后车辆就可以通过控制装置存放或者取出，用户则可以在外面等待车辆出来，这样就完成车辆的存取过程。该车库的主体结构由底座、旋转平台、升降平台、主梁、车轮滑槽、支撑梁和顶棚构成，设计成三层，每层之间高度为 1.2 米，图 1 为立体车库平面图。可分为两大部分：刚性结构和传动结构。

钢结构主要由底座、主梁等型材构成，具有可靠性高、强度大、自重轻、塑韧性好、制造简便及密闭性佳等特点，能满足车辆停放的力学要求，但需注意其耐锈蚀性较差。

传动结构作为车库执行车辆存取功能的核心，主要由旋转平台与升降平台构成。其横向移动由驱动装置提供动力，升降运动则通过传送带系统实现[5]。车辆存取过程中的所有定位与位移操作，均由中央控制系统统一调度，因此传动系统的可靠性直接关乎车库的整体安全。

3.1.1. 关键零部件结构设计

1) 底座

立体车库的底座主要起到支撑旋转平台和升降平台的作用，如图 2 所示。底座是采用焊接结构件组成，运用高强度螺栓连接成框架结构，具有很好的强度和刚度，这样才能保证整个车库的运作和安全性。整个车库的运作和安全性。

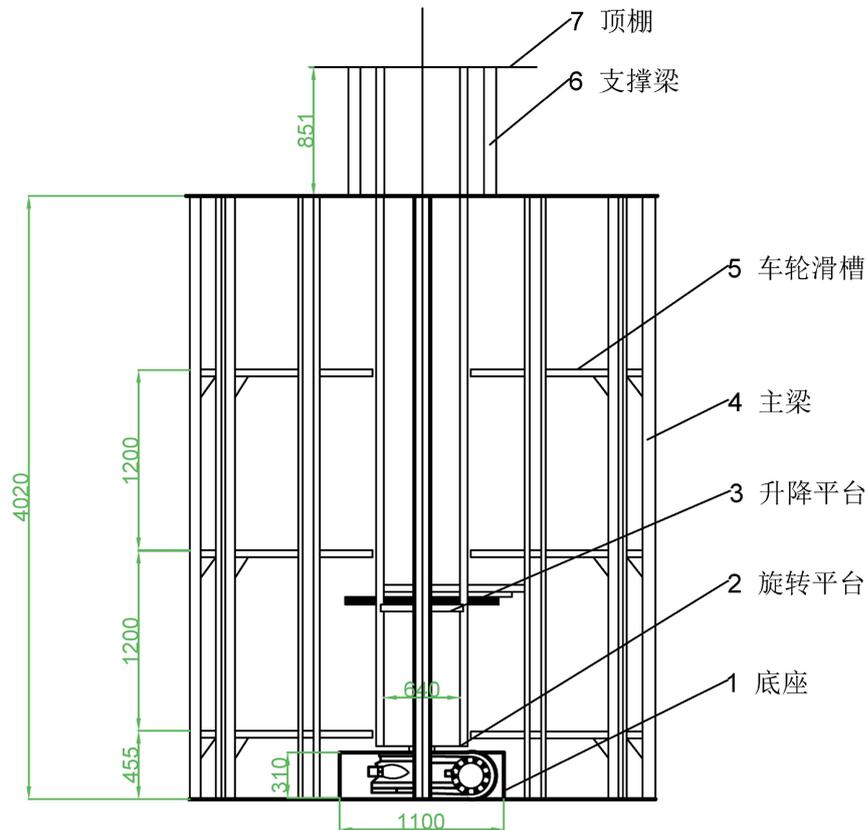


Figure 1. Plan of the stereo garage
图 1. 立体车库平面图

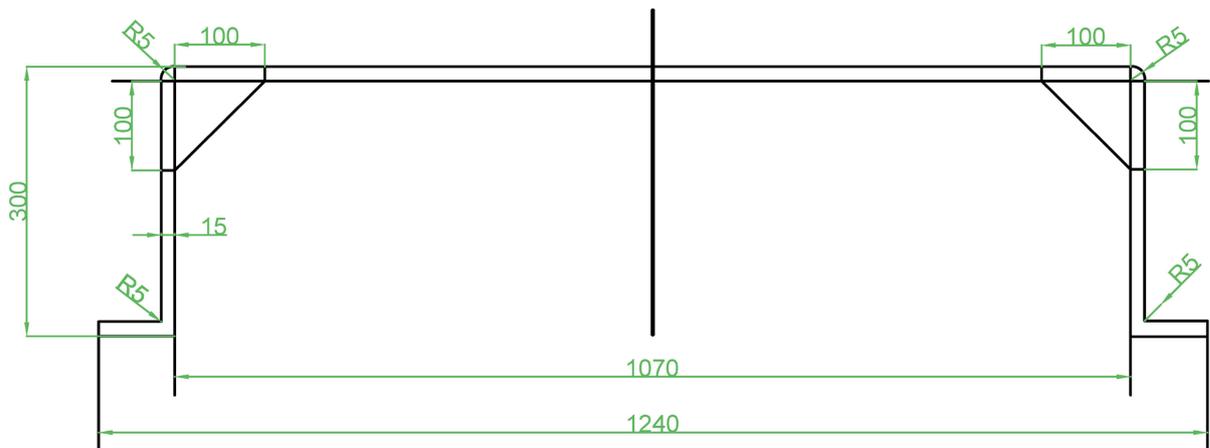


Figure 2. Base
图 2. 底座

2) 旋转平台

转运平台是共享立体车库的一个关键的组件，其核心作用是承载车体并将其转移至目标位置，如图 3 所示。该平台由旋转机构和由若干段方形钢材焊接而成的钢架结构搭建，焊接过程中，采用惰性气体保护焊技术来确保焊缝的强度和耐用性，以符合既定的力学和功能需求。此外，旋转机构的设计旨在与升降平台协同，以维持车辆在进行垂直移动及转向操作时的平衡与稳定。

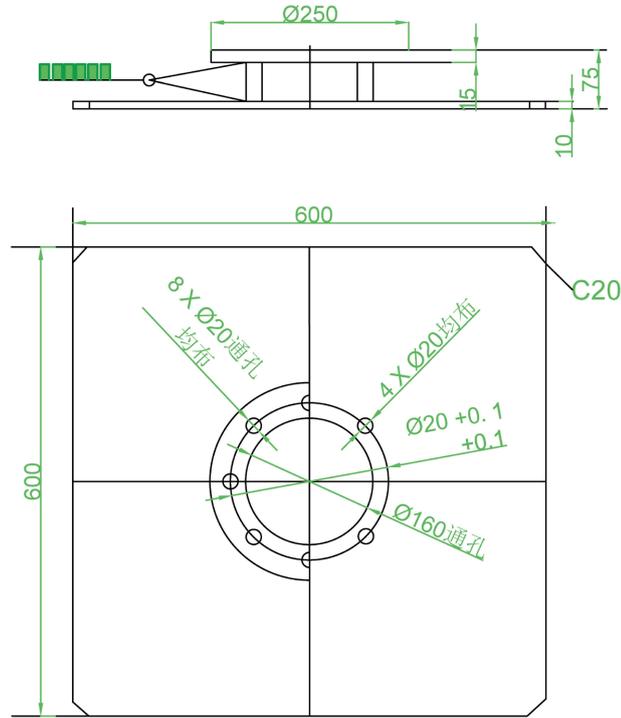


Figure 3. Rotating platform
图 3. 旋转平台

3) 升降平台机构

升降平台机构是共享电单车存取的核心执行机构，由移动车架、载车板、轨道、升降与驱动装置等组成(图 4)。其工作流程如下：车辆驶入载车板，通过其定位系统检测到位后锁紧，防止运行中意外跌落；移动车架不仅要承载和，还集成重量监测功能，通过识别重量异常以提升安全；轨道与机构内置的双排车轮配合，在驱动装置作用下实现平稳行进，此种设计也有效降低了轨道磨损；最终，升降装置与驱动系统协同，完成车辆的垂直与水平输送。轴承座则为整个移动结构提供关键支撑。

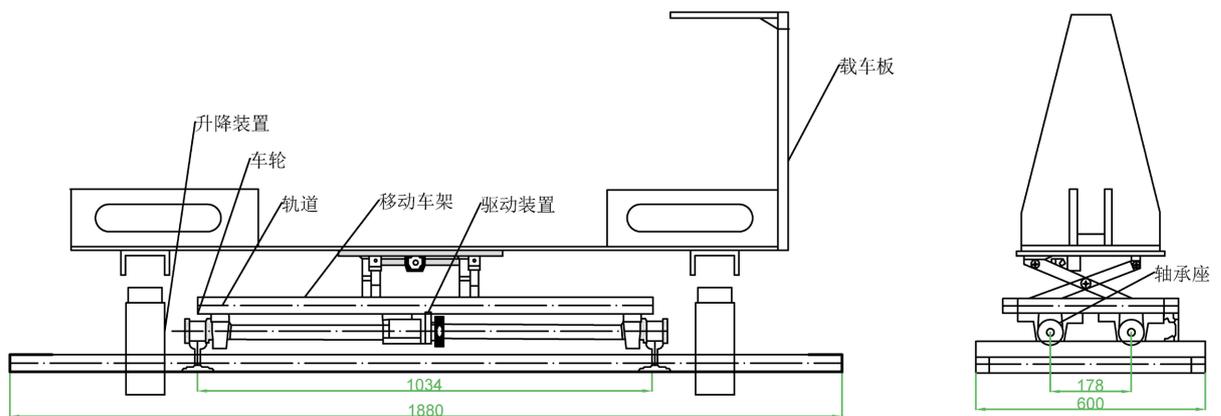


Figure 4. Lifting platform mechanism (front view and side view)
图 4. 升降平台机构(正视图和侧视图)

4) 车轮滑槽

车轮滑槽承载共享电单车总重量，如图 5 所示。主要由车轮滑槽和牛腿支架构成，起到支撑作用。

车轮滑槽里有定位系统，使用时首先定位销打开，车辆进入，直到达到适当位置，锁定定位销，存车动作完成。

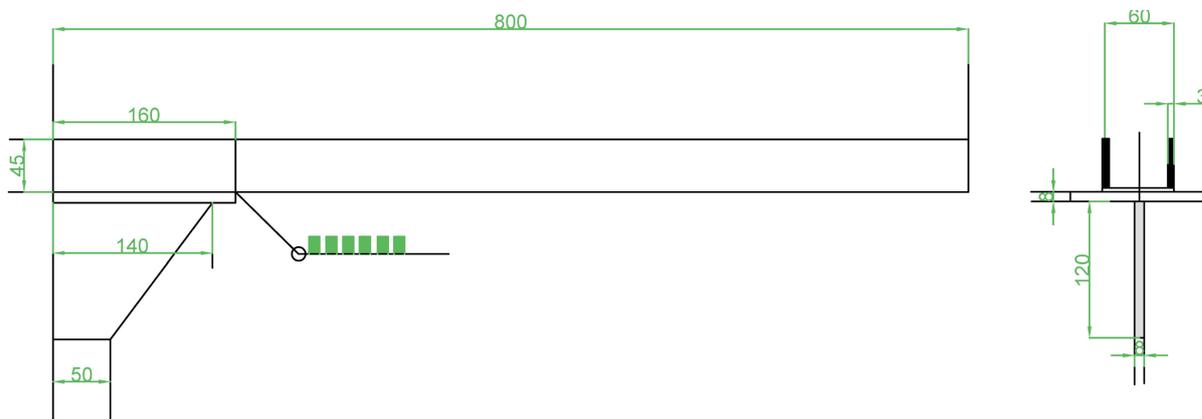


Figure 5. Wheel chute
图 5. 车轮滑槽

滑槽的尺寸是根据共享电单车的标准外形设计，以确保停车时的适应性和安全性，考虑到电动车的一般尺寸大约是 $1800\text{ mm} \times 700\text{ mm} \times 1100\text{ mm}$ ，车轮滑槽的尺寸通常与电动车停车位的规格相一致，为 $2000\text{ mm} \times 900\text{ mm}$ 。

3.1.2. 钢结构系统设计

本车库钢结构系统为三层圆柱体升降横移式承力框架，核心由底座、主梁、支撑梁、车轮滑槽、载车板骨架等刚性构件组成，整体选用 Q235 碳素结构钢，焊接成型后辅以高强度螺栓连接，兼顾结构强度、刚度与工程经济性。钢结构设计遵循《钢结构设计标准》(GB 50017-2017)，针对地铁口户外工况，重点强化承载能力、抗变形能力、抗倾覆稳定性，同时做轻量化设计以降低传动系统负载。通过对核心承力构件进行简化力学核算，该系统钢结构的强度与刚度均符合要求，具体计算结果见表 3。

Table 3. Result data of standard test system
表 3. 标准试验系统结果数据

构件名称	校核类型	核心计算指标	计算结果	校核标准	校核结论
载车板	弯曲强度	最大弯曲正应力 σ	65.9 MPa	$\sigma < [\sigma] = 156.7\text{ MPa}$	满足
	刚度	最大挠度 f_{\max}	0.75 mm	$f_{\max} = [f] = 3\text{ mm}$ ($[f] = L/400$)	满足
主梁	稳定性	长细比 λ	30.1	$\lambda < [\lambda] = 156$ (Q235 钢许用值)	满足
	抗压强度	轴向压应力 σ	8.5 MPa	$\sigma < [\sigma] = 156.7\text{ MPa}$	满足
车轮滑槽	弯曲强度	最大弯曲正应力 σ	84.8 MPa	$\sigma < [\sigma] = 156.7\text{ MPa}$	满足

基础参数：单个载车板额定负载按 200 kg，其中载车板约 15 kg，共享电单车按主流款 55 kg，动载/偏载冗余 130 kg。重力 $F = 200 \times 9.8 = 1960\text{ N}$ ，考虑动载系数 1.2 与偏载系数 1.1，综合计算载荷 $F_{\text{计}} = 1960 \times 1.2 \times 1.1 = 2587.2\text{ N}$ 。Q235 钢屈服强度 235 MPa，取 1.5 倍安全系数，许用应力 $[\sigma] = 156.7\text{ MPa}$ 。弹性模量 $M = 2.06 \times 10^5\text{ MPa}$ 。核心结构尺寸：载车板(花纹钢板 $\delta = 3\text{ mm}$ ，方管骨架 $40 \times 40 \times 2\text{ mm}$ ；有效尺寸 $1800 \times 700\text{ mm}$)；主梁($80 \times 80 \times 3\text{ mm}$ 矩形方管；单跨跨度 1.2 m)；车轮滑槽($60 \times 60 \times 2.5\text{ mm}$ 矩形方管；有效长度 2000 mm)。

计算说明：载车板按简支梁受均布载荷计算，含自身重量；主梁按轴心受压 + 受弯复合受力计算，单根承担 3 车位载荷；车轮滑槽按简支梁受集中载荷计算，集中载荷取车辆单轮压(双轮承载)。结论：所

有构件计算结果均低于校核标准，预留充足安全冗余，满足户外长期运行要求。

在本方案里，以上性能均基于理论设计与简化计算，后续可通过 SolidWorks 等专业软件进行动力学仿真与疲劳寿命预测，进一步优化细节设计。

3.2. 立体车库控制系统设计

为优化能源利用与存取效率，共享电动车优先存放于轨道系统底层，利用重力辅助实现便捷取车。系统具备车型自动识别功能，可根据车辆类型智能选择最优存取策略。控制系统由集中控制中心统一协调，整合五大功能模块：视频监控系统、出入口管理设施、系统故障检测模块、自动化存取车机制及费用处理系统。各模块协同运作，依据不同使用场景动态调整运行模式与能耗策略，以适应多样化的存取需求。

3.2.1. 控制系统模块设计

1) PLC 控制系统

系统共控制 5 台电机，其中 3 台负责第二层三个载车板的升降运动(通过电机正反转实现)，2 台负责第一层 2 个载车板的横向移动。为预防载车板间发生碰撞，各运动终端均设有限位开关。另外，系统配置漫反射光电传感器、重量传感器、磁性接近传感器等感知设备，其检测信号全部接入 PLC 输入侧，与电机控制、限位开关、执行单元形成闭环控制，传感器触发的异常信号可优先中断 PLC 常规控制程序，启动安全防护动作，保障系统运行的安全性与自动化水平[8]。PLC 外部接线如图 6 所示。为实现运动互锁，系统设计确保同一时间仅有一个载车板的电机可启动，从根本上避免运动冲突与碰撞风险。

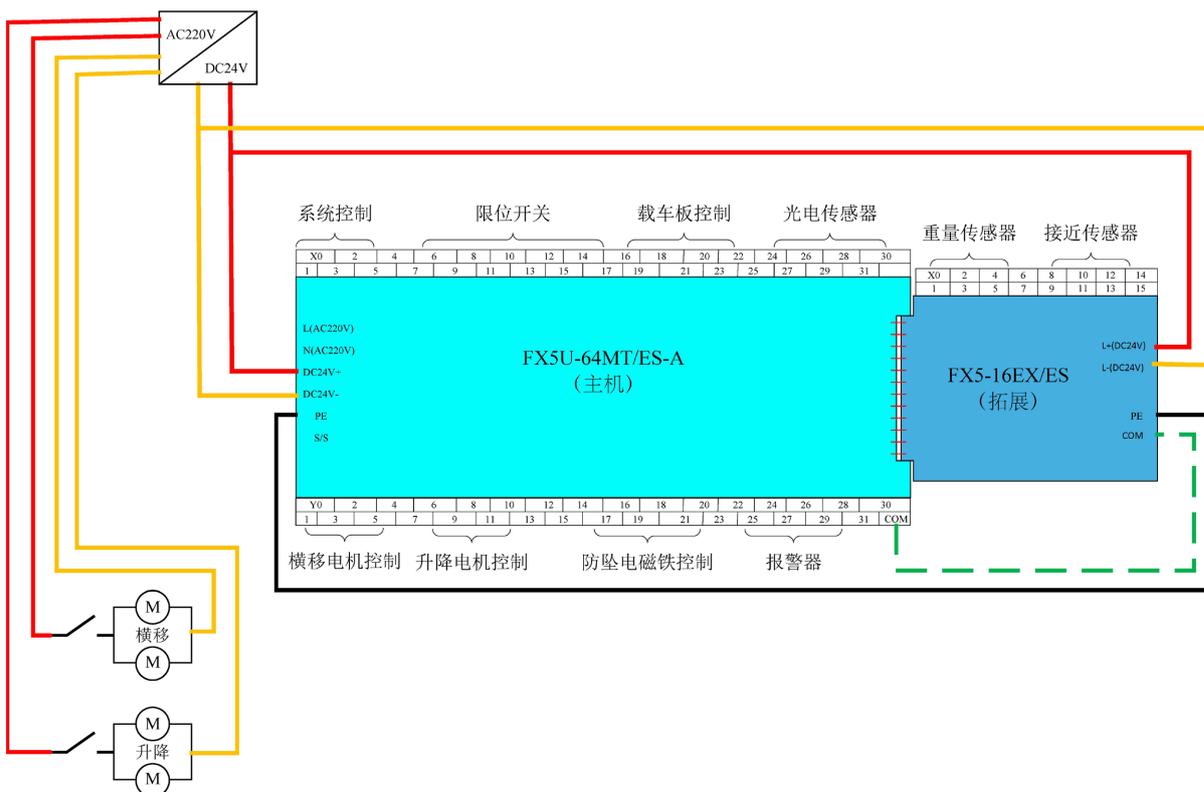


Figure 6. External wiring diagram of PLC
图 6. PLC 外部接线图

PLC 的输入信号主要包括启动/急停按钮、载车板操作按钮及各限位开关状态及各类传感器检测信号；输出信号则用于控制电机转向、电磁铁及报警装置等执行单元，传感器信号均采用开关量输入，与 PLC 输入端口直接对接。

2) 关键部件选型

PLC 的选型由 I/O 点数和程序内存需求共同决定。经统计，系统需 38 个输入点与 17 个输出点，对应启动/急停按钮、载车板操作按钮、限位开关、传感器等设备。根据“内存(字节) \approx I/O 总数 \times 10”的经验公式，初步估算内存需求为 550 字节。为保障控制余量(根据 I/O 点数冗余设计原则，预留 20%以上余量)、传感器信号的实时处理能力及后期扩展性，最终选定三菱 FX5U-80MT/ES-A 作为主控制器，为了保证冗余余量，增加一个扩展模块 FX5-16EX/ES (16 点输入)，两者共提供 80 点 I/O 资源(40 入/40 出)、64 K 步程序内存，远高于核算需求，其 0.03 μ s/步的高速指令处理能力可保障传感器信号的实时响应，兼容工业级传感器的开关量信号输入，标配以太网/RS485/USB 通信接口，兼容 MODBUS TCP/IP 协议，可适配智能化管理需求，且适合长期 24 小时户外运行，满足本立体车库自动化系统的设计需求并兼具一定拓展性[9]。

电机选型：系统需满足载车板和电单车的日常升降横移运行，其中，最大升降运动为本系统的最大动力需求工况，根据单块载车板 + 电单车总重 \approx 200 kg，升降所需最大力矩和功率分别约为 3.8 N·m 和 305 W，同时考虑 1.2~1.5 倍的过载率，因此选用功率额定功率 750 W、扭矩 \geq 5N·m 的三相异步电机，即可满足升降与横移的动力需求。

传感器选型：本系统的传感器主要围绕车库自动化存取、全流程安全防护、设备精准定位三大核心需求，覆盖车辆检测、位置定位、安全防护、状态监测四大类场景，所有传感器均选用工业级型号，适配地铁口户外环境，兼顾通用性和可维护性。

3) 传感器与 PLC 的闭环控制逻辑设计

所有传感器均为工业级传感器，检测信号通过 NPN 型三线制硬接线传输至 PLC 输入端口，采用 DC24V 供电，与 PLC 输入侧电源匹配，传感器信号为高电平有效。传感器信号与 PLC 的控制逻辑联动遵循“感知 - 判断 - 执行 - 反馈”闭环原则，核心联动逻辑如下：

漫反射光电传感器：X32 检测到车辆驶入载车板到位后，PLC 锁定载车板横向移动指令，禁止设备误动作；X33 检测到人员/异物侵入存取口时，PLC 立即发送中断指令，暂停所有电机升降/横移动作，直至异常信号消除；X34 检测到车辆到达车轮滑槽定位点后，PLC 触发定位销锁紧指令。

重量传感器：X35 检测到载车板上有负载(共享电单车)时，PLC 允许后续升降/横移动作；X36 检测到过载/异常重量($>$ 300 kg)时，PLC 立即触发 Y27 报警灯，并锁定所有执行单元动作，直至负载移除。

磁性接近传感器：X37 检测到定位销完全锁紧后，PLC 向物联网云平台发送“存车完成”状态反馈，允许载车板升降；X40 检测到定位销完全打开后，PLC 允许载车板下降至地面，触发取车指令。

所有传感器的异常信号均设置 PLC 内部优先级，高于载车板操作、电机运行等常规指令，确保安全防护动作的优先执行。

4) 电气安全装置

系统集成多重电气安全保护机制，具体包括：

- 具备断电与相序自我保护功能，异常电源条件下自动切断主电路；
- 车辆进出过程中，系统暂停运行；
- 通过光电开关检测人员或异物侵入，并触发系统暂停；
- 各载车板均设限位开关，防止越位碰撞；
- 设置防坠挂钩，防止载车板坠落风险；

- 传感器检测信号与保护装置或动作控制回路联动；
- 辅助安全装置包括急停按钮、车辆超长/超重检测、防滑机构及声光报警器等。

共同构建完整的安全防护体系。传感器防护与原有电气安全装置形成多重冗余防护体系，提升系统安全等级。电气安全设计参考《GB 17907-2010 车库门安全要求》《GB/T 50314-2015 智能建筑设计标准》，设置防坠挂钩、急停按钮等装置，满足公共场所安全规范。

3.2.2. 物联网云平台智能化设计

本系统采用感知层 - 网络层 - 应用层三层物联网架构设计，底层以 PLC 为数据汇总核心，通过光电传感器、重量传感器、限位开关完成车辆位置、负载重量、设备运行状态等数据的精准采集；中层采用 4G + Wi-Fi 双模块实现数据无线传输，保障网络冗余与传输稳定性；顶层分为用户端与管理端，分别实现扫码存取车等用户交互功能和远程监控、故障报警等运维管理功能，三层架构形成“采集 - 传输 - 应用 - 指令反馈”的完整闭环，实现车库的自动化与智能化运行。系统架构图如图 7 所示。

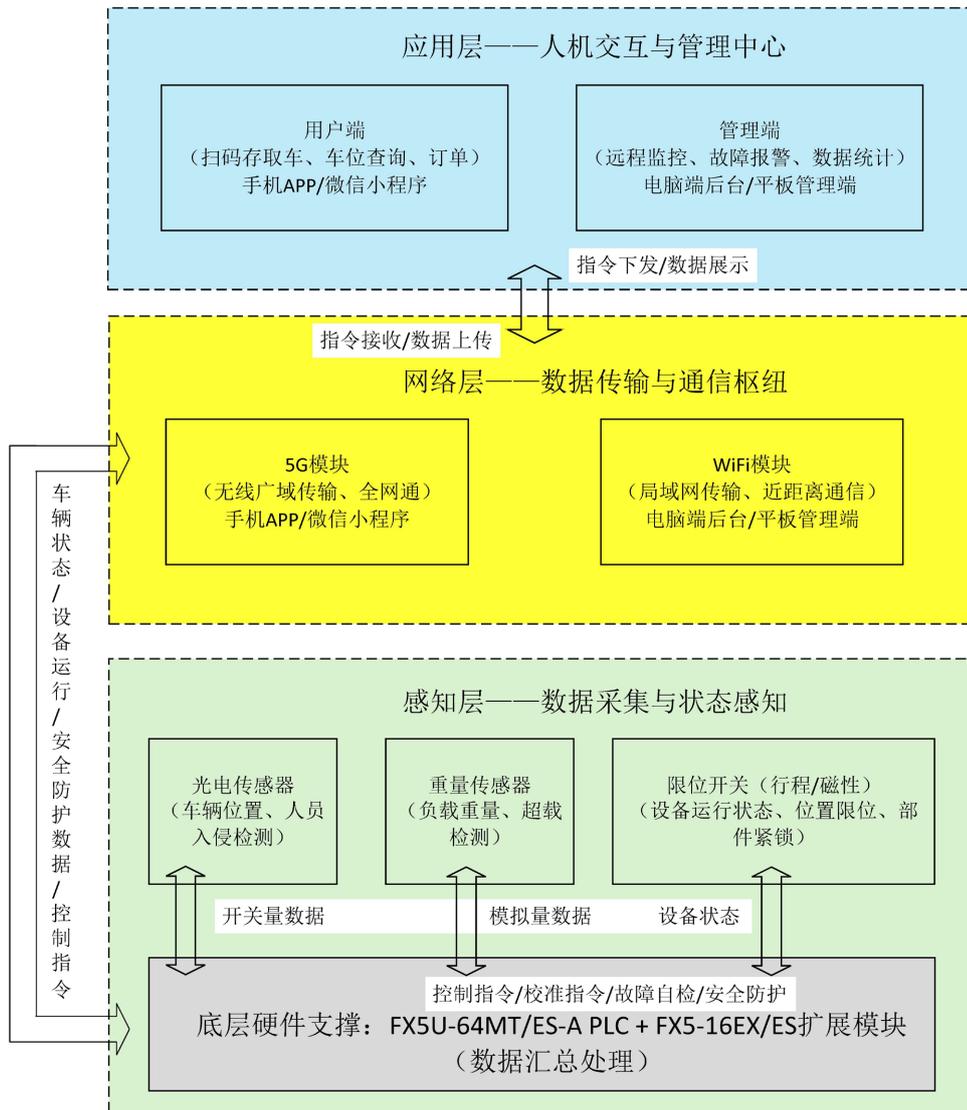


Figure 7. Architecture diagram of IoT platform
图 7. 物联网平台架构图

系统设置了存取车流程，控制流程始于安全状态自检，确认无故障后启动车位分配逻辑：优先使用第一层空位；若第一层满载，则调度第二层空闲载车板下降至第一层，原第一层空位作为下降缓冲空间。车辆就位后，载车板自动提升至第二层完成存车。

此外，系统具备故障实时诊断与上报功能。当检测到车辆超限、车位障碍或位置异常时，限位开关触发 PLC 中断控制程序，同步启动故障报警。该控制系统完整支持两层三列式车位的自动化存取操作，运行稳定，可靠性高。PLC 存取车程序流程如图 8 所示。

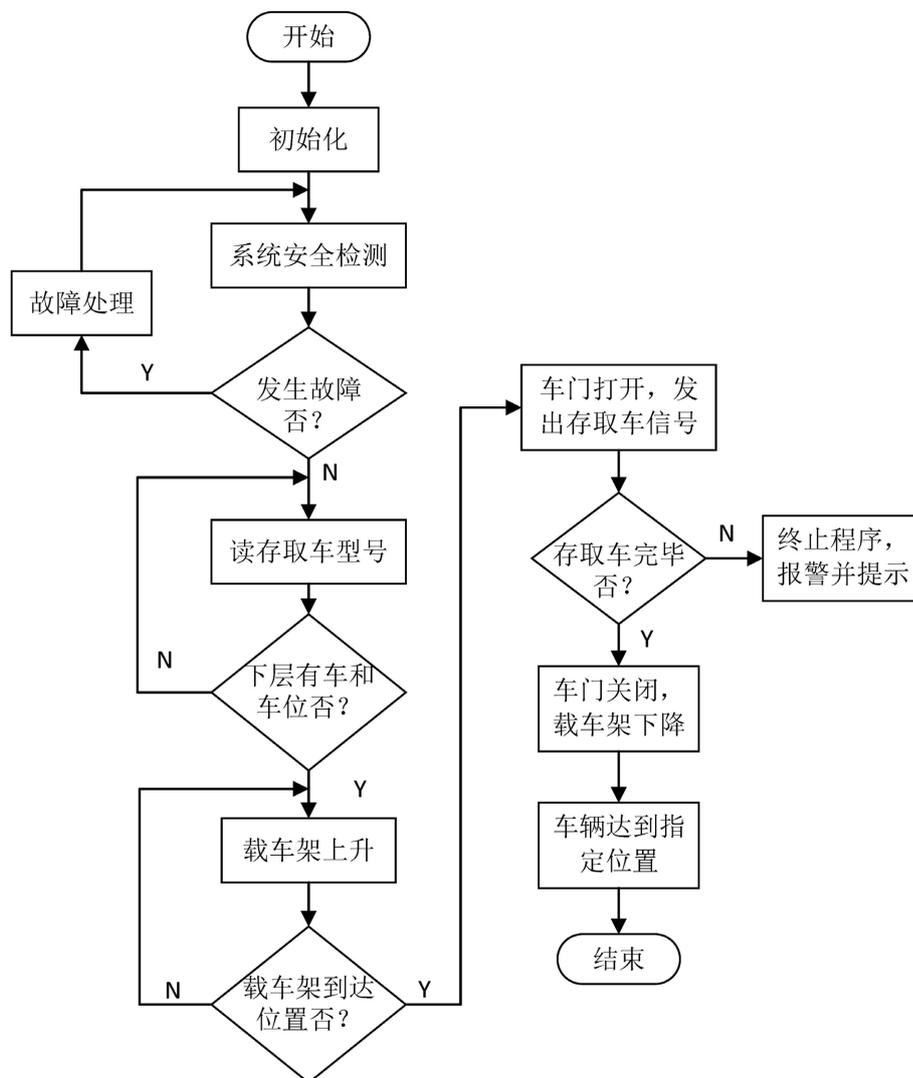


Figure 8. Flow chart of vehicle storage and retrieval program

图 8. 存取车程序流程图

3.3. 性能预估与未来拓展

本方案设计三层结构，占地面积 12 m^2 ，总容量 60 辆，同等占地面积平面停放仅 20 辆，空间利用率提升 200%。经初步仿真，存取车流程单次耗时预计 40 秒(含升降 + 横移)，高峰时段(按每小时 60 辆存取需求)平均等待时间不超过 5 分钟，优于传统平面停放的“找车 + 挪车”平均 15 分钟耗时。核心结构采用 Q235 钢结构，根据材料力学简化计算，经前文简化校核可知，关键构件最大工作应力低于许用应

力, 满足结构稳定性与耐久性要求。后续研究可通过 SolidWorks 进一步开展力学仿真验证。

在设计过程中已考虑核心适配性与鲁棒性: ① 兼容性设计: 车轮滑槽尺寸按共享电单车主流规格 (1800 mm × 700 mm × 1100 mm) 设计, 预留 10% 调整余量, 适配青桔、美团等主流品牌; ② 故障隔离机制: PLC 控制系统支持车位状态实时检测, 若某车位故障, 系统自动标记为“不可用”, 并优先调度其他空闲车位, 不影响整体运营; ③ 环境适应性: 顶棚采用防雨防尘设计, 电气部件选用 IP54 防护等级产品, 适配地铁口户外环境。关于生命周期成本与深度容错机制, 因需实际部署数据支撑, 将作为后续研究重点。

4. 结语

本文针对地铁口共享电单车停放难题, 提出了以圆柱体升降横移式立体车库为核心的系统解决方案。该方案通过三层钢结构实现空间集约化利用, 基于 PLC 控制系统确保存取过程的安全与稳定, 并借助物联网云平台实现智能化管理。该方案预期能显著提升空间利用率, 有效规范停车秩序, 并通过自动化存取与智能化管理优化用户体验与运营效率, 并为治理共享单车“停车乱、管理难”问题提供了新的技术思路与实现路径, 具有明确的工程应用潜力。

基金项目

2025 年南宁学院国家级大学生创新训练项目: “泊泊” 生机 - WiFi 指纹定位驱动的智能停车诱导系统(项目编号: 202511549003)。

参考文献

- [1] 温沁月, 鲁力群. 国内外立体车库现状及发展综述[J]. 物流工程与管理, 2016, 38(7): 159-161.
- [2] 张帮泉, 余佳亮, 张耀林, 等. 立体车库发展现状分析与推广措施研究[J]. 起重运输机械, 2018(12): 95-99.
- [3] 阮文韬. 基于组态软件的住宅小区停车场模拟控制系统设计[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [4] 张俊. 面向摩拜等三种共享单车的立体车库分析与设计[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉轻工大学, 2020.
- [5] 祁宇明, 谢兵, 王刚, 等. 紧凑型自行车立体车库结构设计及控制系统研究[J]. 工程设计学报, 2020, 27(4): 524-532.
- [6] 颜伟平, 王兵, 刘凯, 等. 自行车智能立体车库控制系统设计[J]. 机电一体化, 2020, 26(4): 45-50.
- [7] 苏鹏波, 李飞. 智能立体车库电气控制系统[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2018(2): 135-136.
- [8] 苗沛沛, 张希. 基于 S7-1200 的 PLC 学校智能立体车库控制系统的设计[J]. 电子制作, 2023, 31(24): 71-74.
- [9] 马传奇. 基于 PLC 的立体车库系统设计[J]. 贵阳学院学报(自然科学版), 2023, 18(3): 85-88, 100.