

摘 要

随着家用汽车总数不断增多，城市车位严重不足的问题日益突出，因此本文提出了立体车库的智能管理与控制系统。论文首先结合国内汽车占有量不断增加的现状，指出论文研究的必要性和解决停车难的意义，又从国内外研究现状与应用现状出发，找出当前国内外存在的差距，指出当前国内在立体车库的研究资金、后期维护、系统的稳定性与推广方面存在很多不足，为论文的设计方向提供了指引；之后对立体车库模型进行分析，从基本构成、工作原理、单控与群控模式、单控模式的仿真等方面进行阐述，指出立体车库实现的基本功能的核心组件，提出基于 PLC 实现对车辆自动检测、自动存取车与自动收费功能的实现原理，为论文设计找到切入点；随后从智能管理系统的硬件控制系统与软件控制系统进行分析，指出各自如何实现对立体车库的智能管理控制，并通过模型分析的方法对各种车库控制模式进行对比分析，设计了立体车库监控系统，并选择了适宜的开发设备进行组装和二次编程，分别从上位机模块、PLC 模块与通信模块进行设计与实现；最后结合当前立体车库的实际需求对机械式立体车库智能管理控制系统进行开发，提出基于组态王的 3D 立体车库控制系统，并从系统的控制、运营、监控与通信等方面进行探讨，增加了系统的可行性。实验表明，该系统有效解决了机械式立体车库的管理与控制的相关问题。

该论文有图 29 幅，表 4 个，参考文献 53 篇。

关键词：立体车库；车库结构；单控和群控模式；监控管理系统；仿真

Abstract

With the increasing number of household cars, the serious shortage of urban parking spaces is becoming increasingly prominent. Therefore, this paper proposes an intelligent management and control system for three-dimensional garage. Firstly, the paper points out the necessity of the research and the significance of solving the parking difficulty in the light of the present situation of increasing car occupancy in China. Then, starting from the current research situation and application situation at home and abroad, it finds out the existing gap at home and abroad, and points out that there are many deficiencies in the research funds, late maintenance, system stability and promotion of the three-dimensional garage in China. Direction planning provides guidance; then the model of stereo garage is analyzed from the basic composition, working principle, single-control and group-control mode, simulation of single-control mode and so on. The core components of the basic functions of stereo garage are pointed out, and the realization principles of auto-detection, auto-access vehicle and auto-charging function based on PLC are proposed, which can be found for the design of this paper. Then, it analyses the hardware control system and software control system of the intelligent management system, points out how to realize the intelligent management and control of the three-dimensional garage, compares and analyses various garage control modes through the method of model analysis, designs the three-dimensional garage monitoring system, and chooses the appropriate development equipment for assembly and secondary programming, respectively. The PC module, PLC module and communication module are designed and implemented. Finally, the intelligent management and control system of mechanical three-dimensional garage is developed according to the actual needs of the current three-dimensional garage. A three-dimensional garage control system based on Kingview is proposed, and the feasibility of the system is increased by discussing the control, operation, monitoring and communication of the system. Experiments show that the system effectively solves the problems related to the management and control of mechanical three-dimensional garage.

The paper has 29 pictures, 4 tables, and 53 references.

Keywords: stereo garage; garage structure; single control and group control modes; monitoring and management system; simulation analysis

目 录

摘 要.....	I
目 录.....	III
图清单.....	VII
表清单.....	IX
1 绪论.....	1
1.1 课题的建立基础	1
1.2 国内外立体车库应用现状	2
1.3 国内外立体车库控制系统研究现状	13
1.4 论文研究的目的是主要内容	14
2 立体车库车辆存取模型.....	16
2.1 立体车库的基本结构和工作原理	16
2.2 立体车库单控和群控模式分析	18
2.3 立体车库单控和群控模型构建	19
2.4 立体车库单控模式仿真分析	21
2.5 本章小结	23
3 立体车库智能控制研究.....	24
3.1 立体车库控制硬件系统设计	24
3.2 基于 PLC 的车库控制硬件系统的设计与选用	25
3.3 立体车库控制硬件系统的设计与选用	28
3.4 PLC 控制系统与外围设备的连接	31
3.5 本章小结	31
4 立体车库智能系统实现.....	32
4.1 立体车库智能控制软件系统	32
4.2 PLC 机控制管理系统	34
4.3 PLC 控制系统	35
4.4 本章小结	36
5 基于组态王的 3D 立体车库控制系统.....	37
5.1 立体车库智能控制系统软件设计	37
5.2 通信的实现	38

5.3 组态监控界面设计与编程	40
5.4 调试运行	40
5.5 本章小结	41
6 结论和展望.....	42
6.1 结论	42
6.2 展望	42
参考文献.....	44
作者简介.....	47
学位论文原创性声明.....	48
学位论文数据集.....	49

Contents

Abstract	I
Contents	III
List of Tables	VII
List of Tables	IX
1 Introduction	1
1.1 The foundation of the project	1
1.2 Application status of three-dimensional Garage at Home and abroad	2
1.3 Research status of three-dimensional Garage Control system at Home and abroad	13
1.4 The purpose and main content of this thesis	14
2 Construction of vehicle access Model in Stereo Garage	16
2.1 Basic structure and working principle of three-dimensional Garage	16
2.2 Analysis of single Control and Group Control Mode in Stereo Garage	18
2.3 Construction of single Control and Group Control Model for Stereo Garage	19
2.4 Simulation Analysis of single Control Mode in Stereo Garage	21
2.5 Summary of this chapter	23
3 Design of Intelligent Control hardware system for Stereo Garage	24
3.1 Design of Control hardware system for Stereo Garage	24
3.2 Design and selection of Garage Control hardware system based on PLC	25
3.3 Design and selection of Control hardware system for Stereo Garage	28
3.4 Τηε χοννεχτιον βετωεεν ΠΛΧ Χοντρολ σνστεμ ανδ Περιπηεραλ εθυιπμεντ ...	31
3.5 Summary of this chapter	31
4 3D garage intelligent control management system software development	32
4.1 Software Development of Intelligent Control and Management system for Stereo Garage .	32
4.2 Design of PC Control and Management system	34
4.3 Program Design of PLC Control system	35
4.4 Summary of this chapter	36
5 Development of 3D Garage Control system based on Kingview	37
5.1 Software Design of Intelligent Control system for Stereo Garage	37

5.2 Communication realization	38
5.3 Design and programming of configuration Monitoring Interface	40
5.4 Debugging operation	40
5.5 Summary of this chapter	41
6 Conclusions and prospects.....	42
6.1 Conclusion	42
6.2 Outlook	42
References	44
Author’s Resume	47
Declaration of Thesis Originality.....	48
Dissertation data set.....	49

图清单

图序号	图名称	页码
图 1.1	近五年汽车保有量情况	2
Figure 1.1	Car ownership in the past five years	2
图 1.2	立体车库类型	3
Figure 1.2	The types of stereo garage	3
图 1.3	二层升降横移类停车设备	4
Figure 1.3	Two-level lifting and traversing parking equipment	4
图 1.4	多层升降横移类停车设备	4
Figure 1.4	Multi-layer lifting and traversing parking equipment	4
图 1.5	升降横移类停车设备运行原理图	5
Figure 1.5	Operating principle diagram and transverse parking equipment	5
图 1.6	简易升降类停车设备	6
Figure 1.6	Simple lifting parking equipment	6
图 1.7	简易升降类停车设备	7
Figure 1.7	Simple lifting parking equipment	7
图 1.8	垂直升降类停车设备	7
Figure 1.8	Vertical lifting parking equipment	7
图 1.9	垂直升降类停车设备	8
Figure 1.9	Vertical lifting parking equipment	8
图 1.10	巷道堆垛类停车设备	8
Figure 1.10	Roadway stacking parking equipment	8
图 1.11	巷道堆垛类停车设备	9
Figure 1.11	Roadway stacking parking equipment	9
图 1.12	平面移动类停车设备	9
Figure 1.12	Plane mobile parking equipment	9
图 1.13	平面移动类停车设备	10
Figure 1.13	Plane mobile parking equipment	10
图 1.14	垂直循环类停车设备	11
Figure 1.14	Vertical circulation type parking equipment	11
图 1.15	垂直循环类停车设备	11
Figure 1.15	Vertical circulation type parking equipment	11
图 1.16	汽车专用升降机	12
Figure 1.16	Elevator for car	12
图 2.1	垂直循环机械式立体车库机架	16
Figure 2.1	Vertical circulation mechanical stereo garage frame	16
图 2.2	车库控制系统组成框图	17
Figure 2.2	Block diagram of garage control system	17
图 2.3	车库简化示意图	20

Figure 2.3	Simplified diagram of garage	20
图 2.4	两种策略的存取车时间仿真曲线	22
Figure 2.4	Simulation Curve of Access Time for Two Strategies	22
图 3.1	立体车库系统结构图	25
Figure 3.1	Control Mechanism of Stereo Garage	25
图 3.2	PLC 扫描工作过程	26
Figure 3.2	PLC scanning process	26
图 3.3	S7-200 与外部设备的连接	27
Figure 3.3	S7-200 Connection with External Devices	27
图 3.4	立体车库监控检测系统工作原理	29
Figure 3.4	Working Principle of Stereo Garage Monitoring and Detection System	29
图 3.5	传感器的组成	30
Figure 3.5	Composition of sensor	30
图 4.1	车辆存取流程图	33
Figure 4.1	Vehicle Access Flow Chart	33
图 4.2	立体车库控制管理系统架构	34
Figure 4.2	Architecture of Control and Management System for Stereo Garage	34
图 4-3	PLC 控制流程图	35
Figure 4.3	PLC control flow chart	35
图 5.1	单控系统结构图	37
Figure 5.1	Structure diagram of single control system	37

表清单

表序号	表名称	页码
表 1.1	立体车库的分类特点及结构	12
Table 1.1	Classification Characteristics and Structure of Three-dimensional Garage	12
表 2.1	两种策略的存取车时间比较	23
Table 2.1	Comparison of Vehicle Access Time between Two Strategies	23
表 3.1	PLC 与上位机 I/O 点对照表	31
Table 3.1	PLC and host computer I/O point comparison table	31
表 5.1	变量库定义	40
Table 5.1	Variable library definition	40

1 绪论

1.1 课题的建立基础

目前我国居民的生活水平也越来越高，人们的物质需求也得到更多的满足，近年我国将汽车变得越来越普及，汽车数量的增加，也使人们对城市车库规划提出了更多的要求。已有研究资料显示，2010 年我国汽车的保有量已经突破了 2000 万。此外，近年来我国汽车的保有量仍然不断攀升，而城市停车困难的问题日益凸显，这也是城市建设过程中必须解决的问题之一。截至 2018 年底，据公安部统计，2018 年全国新注册登记机动车 3172 万辆，机动车保有量已达 3.27 亿辆，其中汽车 2.4 亿辆，小型载客汽车首次突破 2 亿辆；机动车驾驶人突破 4 亿人，达 4.09 亿人，其中汽车驾驶人 3.69 亿人。截至 2018 年底，全国汽车保有量达 2.4 亿辆，比 2017 年增加 2285 万辆，增长 10.51%。从车辆类型看，小型载客汽车保有量达 2.01 亿辆，首次突破 2 亿辆，比 2017 年增加 2085 万辆，增长 11.56%，是汽车保有量增长的主要组成部分；私家车(私人小型载客汽车)持续快速增长，2018 年保有量达 1.89 亿辆，近五年年均增长 1952 万辆；载货汽车保有量达 2570 万辆，新注册登记 326 万辆，再创历史新高。从分布情况看，全国有 61 个城市的汽车保有量超过百万辆，27 个城市超 200 万辆，其中，北京、成都、重庆、上海、苏州、郑州、深圳、西安等 8 个城市超 300 万辆，天津、武汉、东莞 3 个城市接近 300 万辆。因此，在城市汽车保有量不断增大的情况下，解决越来越多的汽车停放问题，就显得十分重要。近五年汽车保有量情况如图 1.1 所示。

当前汽车在中国家庭中为人们提供了更多方便，我国汽车的总数量也在快速上升，汽车数量的增多也会带来一系列的城市问题，例如交通压力会不断的增大。近年来我国政府已经意识到了这个问题并且在建设城市基础设施时开始重视对停车场的规划。然而目前我国城市仍然存在停车困难的问题。我国自改革开放后就大力推动城市建设，城市的交通设施不断完善，然而汽车数量逐年增长也给城市的交通基础设施建设提出了更高的要求。尤其是一线城市，我国一线城市在早晚的高峰期都会出现严重的交通拥堵状况，这不仅影响了城市整体的美观，也会加大交通的压力，给城市管理部门带来巨大的工作负担。

本文选择对立体车库进行研究，立体车库能够有效的节省车库的空间，使一定空间中能容纳更多的汽车。本文在开展课题研究时对城市地下空间等各类因素进行了综合考量，最终选择开发一款机械式的立体车库智能控制系统，该系统能应用于城市的车库建设，也能帮助城市在规划车库时节约更多的地面空间。



图 1.1 近五年汽车保有量情况

Figure 1.1 Car ownership in the past five years

1.2 国内外立体车库应用现状

1.2.1 国外立体车库应用现状

日本是国际上开展立体车库研究最早的国家，最早可以追溯到 1960 年左右，在当时也投入了大量的资金用于立体车库的研究和开发^[1]。由于日本本国的国土面积较小，立体车库的成功研发能够帮助日本有效的解决停车困难的问题，已有研究资料显示，20 世纪 60 年代日本的汽车保有量已经突破了几百万，通过对立体车库的全面研究也能够进一步完善目前日本国土紧张等诸多问题，进而帮助解决停车困难的现状。早在 1980 年左右，韩国也开始注重这方面技术的研究，并且也从日本引进了先进技术。到了 1990 年左右，日本的汽车保有量已经突破了 6000 万。德国是全球公认的工业强国，德国的本地企业中已经有 20 多家企业可以自主的生产出停车设备。韩国学者也在 1980 年开始注重对这方面技术的相关研究，同时结合本地实际情况对各类技术开展全面应用。目前韩国立体车库的相关技术处于全球领先的水平。韩国能够独立生产停车设备的企业数量众多。而我国立体车库技术的研发起步较晚，我国立体车库的相关技术和日本、韩国等相比还较为滞后。

1.2.2 国内立体车库应用现状

我国在立体车库的研究方面最早可以追溯到 1980 年左右，当时大多数学者最为关注的车库类型是垂直循环这种类型的车库^[2]。虽然起步时间比较早，但是经过几十年的发展相关技术提升较为缓慢，和发达国家相比也有一定的差距。

近年来我国居民的整体收入水平不断攀升，这也带动了汽车行业的消费需求增长，我国汽车的保有量逐年很多。已有研究这样显示我国停车设备的增长量和我国汽车的保有量相比较为滞后。我国立体车库的相关技术并不成熟。而近年来我国经济的增长也使更多的学者开始重视对立体车库技术的研发，相信在不久的将来我国立体车库的相关技术会有质

的飞跃。

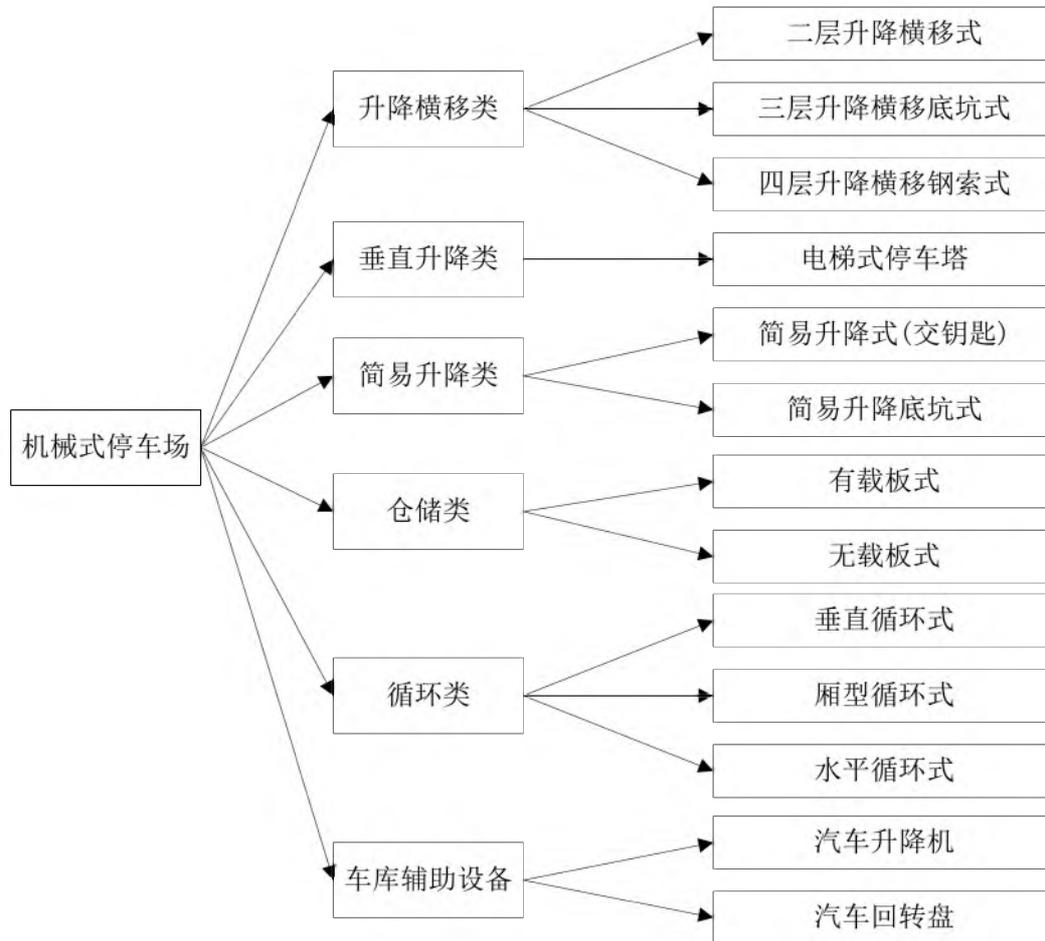


图 1.2 立体车库类型

Figure 1.2 The types of stereo garage

机械式立体车库按照结构分类大体可分为升降横移类、简易升降类、垂直升降类、巷道堆垛类、平面移动类、垂直循环类、多层循环类、汽车专用升降机等九大类，具有存取方便、占地面积少、节约土地并最大化利用等特点^[3-4]。立体车库最大优势在于其能够充分利用城市空间，被称为城市空间的“节能者”，因此也被广泛用于缓解当今社会停车难问题。立体车库类型如图 1.2 所示。

Lift-sliding Mechanical Parking Equipment

升降横移类 停车设备 (八层及以下) >>>

升降横移类机械式停车设备是停车行业应用最广泛的一类停车产品。该产品可根据不同的地形和空间进行任意组合、排列。地面上可建二层至多层，对场地的适应性较强。二层设备特别适用于地下室，运行平稳可靠，无噪音污染。我公司生产的此类产品采用人性化设计，安全方面始终保持行业领先的水平。

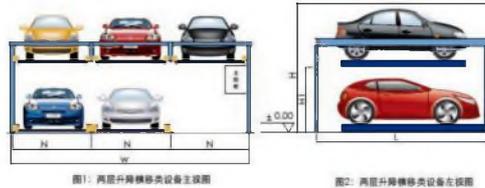


图1: 两层升降横移类设备主视图

图2: 两层升降横移类设备左视图

表1: 升降横移类设备技术参数表 (两层)

结构形式	升降高度 (参考值)	跨度 W	高度 H	提升方式	升降速度 (m/min)	横移速度 (m/min)	最长停留时间 (s) (单侧)	车位数	设备深度 (mm)
四柱型	2415	3N	5500	电机+链条	4.5	6.5	35	5	7

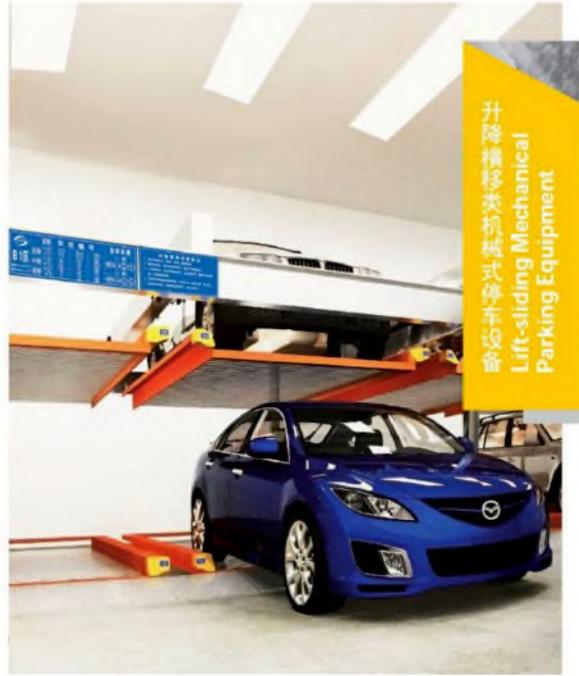


图 1.3 二层升降横移类停车设备

Figure 1.3 Two-level lifting and traversing parking equipment

PSH

升降横移类 停车设备 (八层及以下) >>>

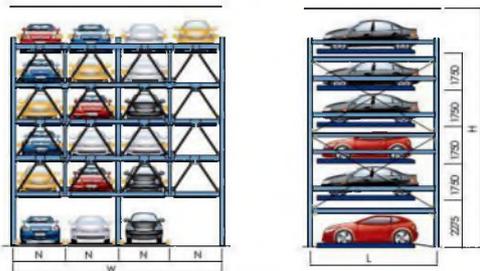


图4: 多层升降横移类设备前图

表2: 升降横移类设备技术参数表 (多层)

层数	跨度 W (参考值)	高度 H	提升方式	升降速度 (m/min)	横移速度 (m/min)	最长停留时间 (s) (单侧)	车位数	设备深度 (mm)
3	3N-50	5900	电机+链条 电机+钢丝绳	5.5-6	6-6.5	45	7	1500
4	3N-50	6000	电机+钢丝绳	2-3层: 5.5-6.0 4-6层: 7.0-7.5	6-6.5	55	5	2500
5	2N	6000	电机+钢丝绳	2-3层: 5.5-6.0 4-6层: 7.0-7.5	6-6.5	70	6	2500
6	2N	6000	电机+钢丝绳	2-3层: 5.5-6.0 4-6层: 7.0-7.5	6-6.5	90	7	2500
7	2N	6000	电机+钢丝绳	2-3层: 5.5-6.0 4-6层: 7.0-7.5 7层: 7.0-7.5	6-6.5	110	8	2500
8	2N	6000	电机+钢丝绳	2-3层: 5.5-6.0 4-6层: 7.0-7.5 7-8层: 7.0-7.5	6-6.5	130	9	2500



设备技术特点:

- 模块化设计, 车位数从几个到上千个均可采用。可以在地面及地下停车场使用, 也可设计成半地下形式, 使用形式灵活, 造价较低。
- 充分利用空间, 可显著提高停车数量。
- 系列化、标准化设计, 结构合理, 多种保护装置, 安全可靠。
- 布局灵活, 运行方便, 可采用多种形式, 形成大型停车场。
- 适应性强, 地上、地下均可建造, 可作2-8层, 可多种单元组合, 既有单列式, 又有重列式。
- 电动倒索 (或链条) 式升降驱动系统, 运行平稳可靠。
- 操作方式自由选择: 按钮式、触屏式、刷卡式。
- 安全系数大, 系统具有以下安全装置: 防坠装置、紧急停止按钮、超程运行的防止装置、前面光电开关、超高层报警器等。

图 1.4 多层升降横移类停车设备

Figure 1.4 Multi-layer lifting and traversing parking equipment

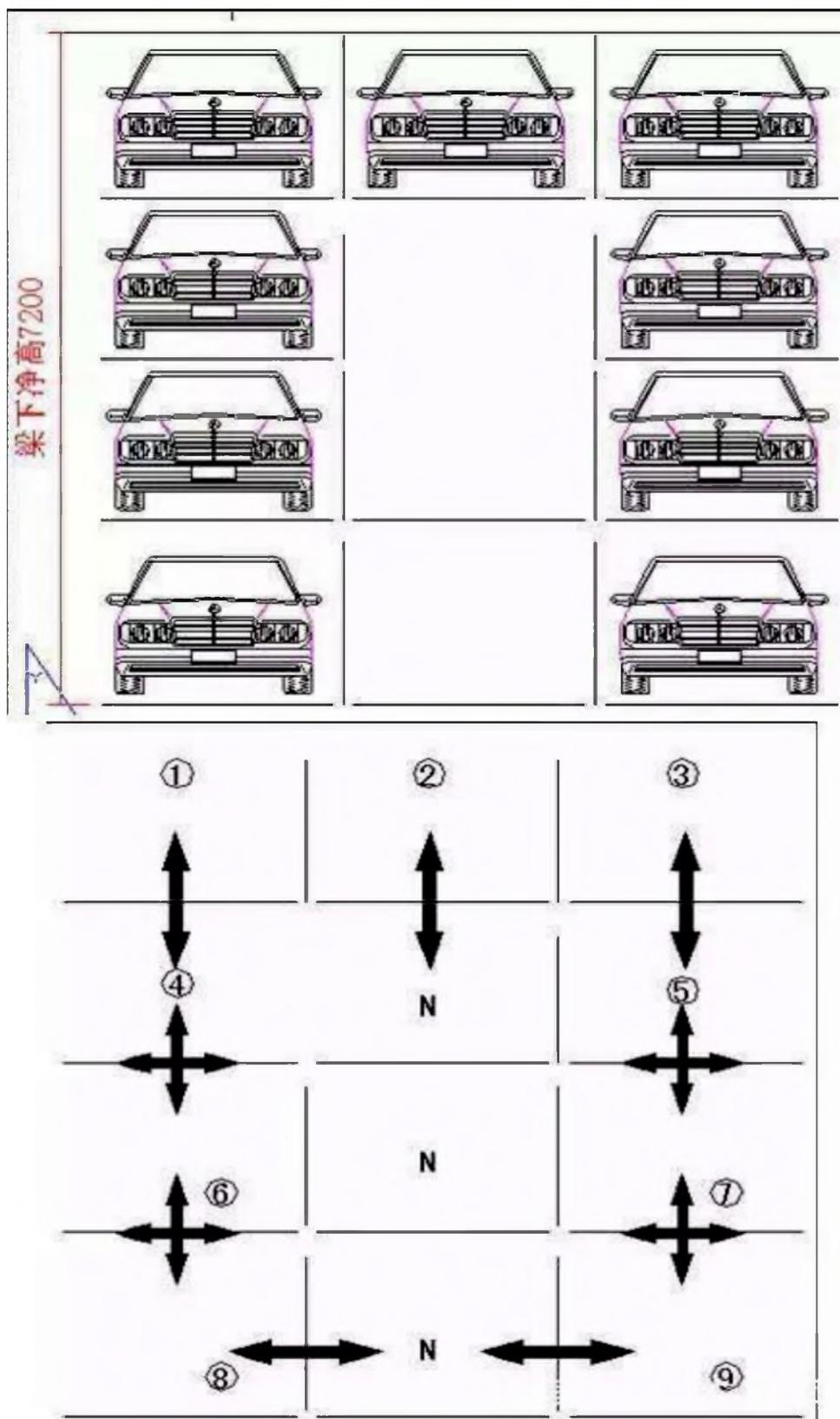


图 1.5 升降横移类停车设备运行原理图

Figure1.5 Operating principle diagram and transverse parking equipment

升降横移类机械式停车设备是停车行业应用最广泛的一类停车产品，在市场占有率较高。该类产品可根据不同的地形和空间进行任意组合、排列，地面上可做到二层至多层，

对场地的要求不高，适应性较强^[5]。二层设备特别适合地下室，运行平稳可靠，无噪音污染。此类车库运行也较为简单，一层车板只能横移，顶层车板只具备升降功能，中间层车板既可横移运动，也可升降运动^[6]。当存取二层以上（含二层）车位，其下一层车位只需横移至旁边车位，预留其下降空位，待取车位既可下降至一层^[7]。二层升降横移类停车设备如图 1.3 所示。多层升降横移类停车设备如图 1.4 所示。升降横移类停车设备运行原理如图 1.5 所示。

简易升降类停车设备在各类车库中具有密度最高、噪音最低、结构最简单、使用最简便、出车最高、地面无遮挡等诸多优点^[8]。该停车设备可建在地上，亦可建在地下，大大提供了地面使用率，尤其适用于既要求增加停车位又要求地面绿化美化设施的情况，此类设备应用也较为广泛^[9]。此类车库运行简单，车板均只能升降，存取车时选定相应车位，升降机将相应车板提升至取车层。简易升降类停车设备如图 1.6 和 1.7 所示。

Simple-lifting Mechanical Parking Equipment
 简易升降类 停车设备（四层及以下） >>

简易升降类停车设备在各类车库中具有停车密度最高、噪音最低、结构最简单、使用最简便、出车速度最快、地面无遮挡等诸多优点。该停车设备可建在地上，亦可建在地下，大大提高了地面使用效率，尤其适用于既要求增加停车位又要求地面绿化美化设施的情况，这种设备目前已被广泛使用。
 我公司拥有地下四层简易升降类停车设备安装制作资质，在行业中处于领先水平。

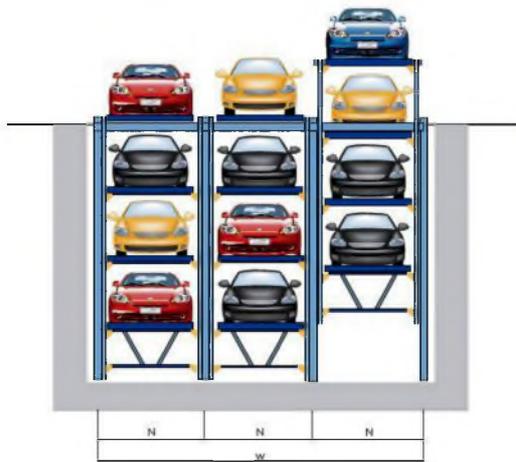


图1：简易升降类设备主视图

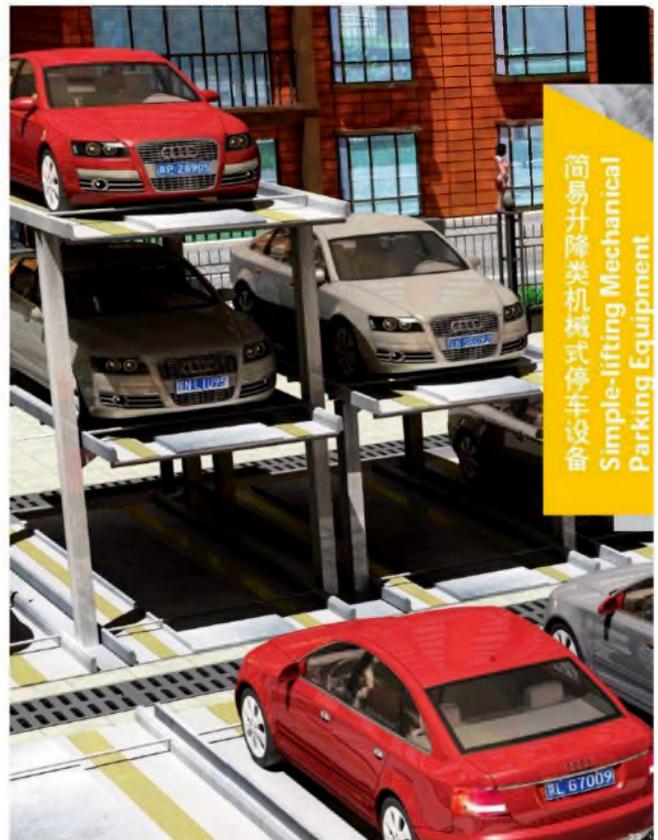


图 1.6 简易升降类停车设备

Figure 1.6 Simple lifting parking equipment

PJS
简易升降类 停车设备 (四层及以下) >>>

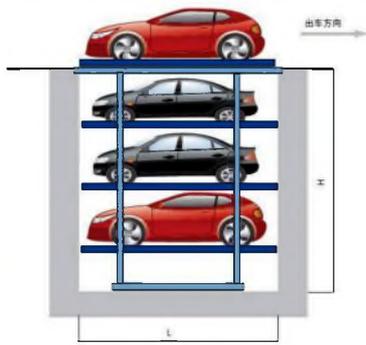


图2: 简易升降类设备示意图

表1: 简易升降类停车设备技术参数表

层数 (N+1)	车位宽 (mm)	间距 W (mm)	高度 H (mm)	集车深度 L (mm)	提升方式	升降速度 (m/min)	最大存取 车数/层	车出 口车数/层
2	2550	3N	5500	≥4000mm	电机+钢丝绳	2.5-2.7	20	3(N+1)
3	2800	3N	5500	≥4250mm	电机+钢丝绳	6-7	30	3(N+1)



设备技术特点:

- 电动机直传系统, 配合简单的车台升降原理, 车研取操作简单, 最经济实用;
- 设备工作时有人进入设备区域, 则两灯亮并报警, 确保安全;
- 设有专用钥匙开关, 防止外人开启动设备;
- 下部车辆红外线检测装置, 确保车辆安全停放;
- 设有车板防撞保险装置, 确保安全。

图 1.7 简易升降类停车设备
Figure 1.7 Simple lifting parking equipment

垂直升降类机械停车设备亦被称之为“塔库”，此类设备在占地 64 m²即约 2.5 个平面车位的情况下，最高可建设 25 层，可停车 50 辆，土地利用率极高。此类设备主要通过升降装置的升降和装在升降装置上的智能搬运器将车辆搬至固定车位上，从而实现车辆的存取^[10-12]。库的外框结构可以设计为混凝土结构，也可以设计为全钢结构。垂直升降类机械停车设备如图 1.8 和 1.9 所示。

Vertical-lifting Mechanical Parking Equipment
垂直升降类 停车设备 (二十五层及以下) >>>

垂直升降类的机械停车设备亦称之为“塔库”，主要通过升降装置的升降和装在升降装置上的智能搬运器将车辆搬至固定车位上，从而实现车辆的存取。库的外框结构可以设计为混凝土结构，也可以设计为全钢结构。

表1: 垂直升降类停车设备技术参数表

设备名称	垂直升降类
每层停车位	2辆
设备层数	1至25层
电机功率	升降: 22kw-37kw 搬运: 0.25-0.4kw
控制方式	全微机控制/变频控制
操作方式	按钮+IC卡
电压	AC 220V/380V/50Hz
载重	<450kg
停车面积 (不含大堂)	1型车(2000×1000)×1000 2型车(2000×1000)×1000
平均存取时间	75s
平均存取时间	60s

注: 设备层数计算
设备层数=25层
停车位总数=车位数×层数=1700
设备层数=1420m²
设备层数=2500×2000×3000+1700×1000×1000=1420

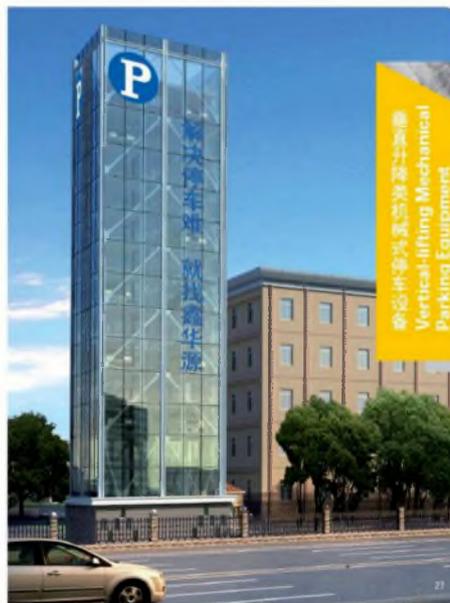


图 1.8 垂直升降类停车设备
Figure 1.8 Vertical lifting parking equipment

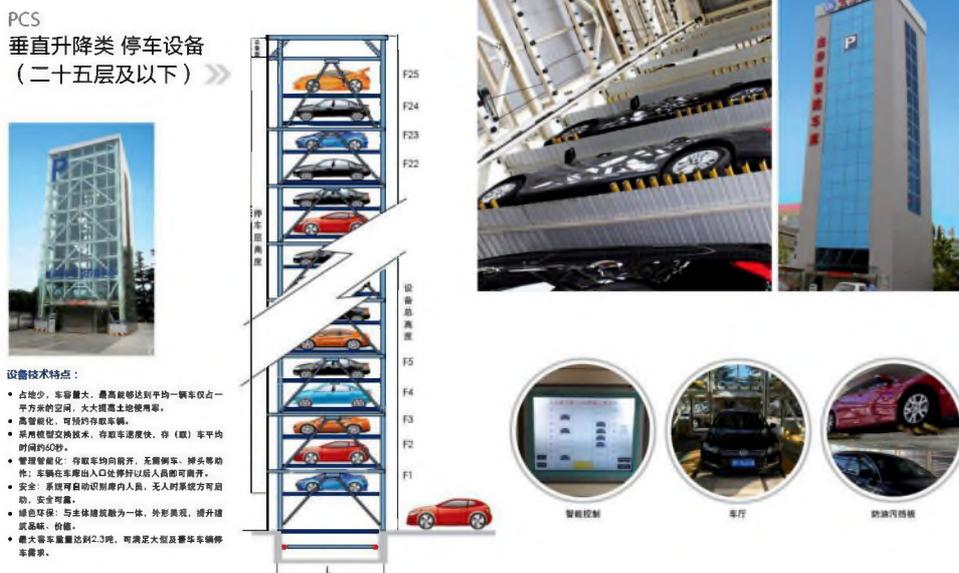


图 1.9 垂直升降类停车设备
Figure 1.9 Vertical lifting parking equipment

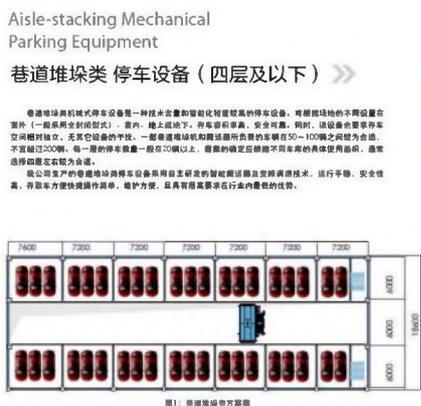


图 1.10 巷道堆垛类停车设备
Figure 1.10 Roadway stacking parking equipment

巷道堆垛类机械式停车设备是一种技术含量和智能化程度较高的停车设备。可根据场地的不同设置在室外（一般采用全封闭式）、市内、地上或地下。存车容积率高、安全可靠。同时，改设备也要求存车空间相对独立，无其他设备的干扰^[13]。一部巷道堆垛机和搬运器所负责的车辆在 50~100 之间较为合适，不宜超过 200 辆。每一层的停车数量在 20 辆以上，层数的确定应根据不用车库的具体使用面积，通常选择四层左右较为合适。此类设备运行平稳、安全性高、存取车方便快捷、操作简单、维护方便等优势。巷道堆垛类机械式停车设备如图 1.10 和 1.11 所示。



PXD
巷道堆垛类 停车设备 (四层及以下) >>>

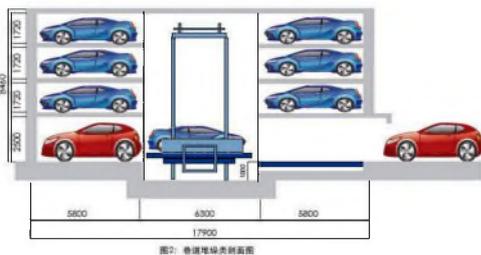


表1-巷道堆垛类停车设备技术参数表

设备名称		巷道堆垛类机械式停车设备	
停车规格	停车数量	因方案而异	
	停车尺寸 (mm)	长	≤8300
		宽	≤1900
		高	≤1550/2050
停车重量	≤2000kg		
升降速度	45m/min	运转速度	90m/min
操作方式	IC卡自动式/触摸屏自动式/按钮手动式	电源	AC380V 50Hz 三相 五线制 双路供电, 自动切换
控制方式	中控室集中控制, PLC自动控制	停车方式	垂直堆停车
进出方式	前进入库, 前进出库	搬运方式	智能机械搬运式, 自动对中, 自动归位
监控系统	视频监控系统 (中控室监控整个车库运行) 无线射频识别 (四轴由平方负责)	管理系统	计算机管理及收费系统

图 1.11 巷道堆垛类停车设备

Figure 1.11 Roadway stacking parking equipment

Plane Shifting Mechanical
Parking Equipment

平面移动类 停车设备 (十层及以下) >>>

平面移动类机械式停车设备是一种自动化程度极高的无人车库, 其工作原理是: 采用以垂直升降机与水平搬运器相互协作的方式进行到停车室内的车辆, 通过水平加垂直运动移动到停车位, 通过搬运器的存取机构存取车辆。

出入口通常设置汽车升降机, 这种车库自动化程度高, 且全封闭式建造, 车辆的安全性好, 该车库类型主要适用于大型密集式存车, 在同一层上采用搬运台车+智能搬运器平面移动车辆, 亦可用搬运台车和升降机配合实现多层平面移动存取车辆的机械式停车设备, 属于智能化、大型化的立体车库。

核心技术采用自主研发的智能搬运器及变频调速技术, 运行平稳, 安全性高, 存取车方便快捷操作简单, 维护方便, 且具有更高要求在行业内最低的优势。

设备技术特点:

- 采用钢结构或混凝土外墙设计, 外观大气大方
- 全封闭式管理, 安全、防盗、为车辆提供最佳防护
- 设备有多种安全自动检测系统和自动导航系统, 体现现代技术最佳使用效果

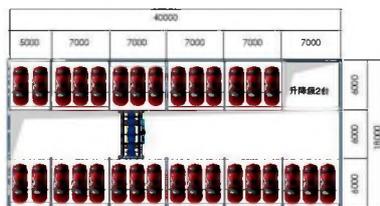


图1: 方案类型1



图 1.12 平面移动类停车设备

Figure 1.12 Plane mobile parking equipment

平面移动类机械式停车设备是一种自动化程度极高的无人车库, 其工作原理是: 采用以垂直升降级与水平搬运器相互协作的方式进行到停车室内的车辆, 通过水平加垂直运动移动到停车位, 通过搬运器的存取机构存取车辆^[14-15]。出入口通常设置汽车升降机, 这种车库自动化程度高, 且全封闭式建造, 车辆的安全性好, 该车库类型主要适用于大型密集式存车。在同一层上采用搬运台车+智能搬运器平面移动车辆, 亦可用搬运台车和升降机

配合实现多层平面移动存取停放车辆的机械式停车设备,属于自动化、大型化的立体车库。此类车库运用变频调速技术,运行平稳、安全性高、存取车方便快捷、操作简单,维护方便等特点^[16]。平面移动类机械式停车设备如图 1.12 和 1.13 所示。



图 1.13 平面移动类停车设备

Figure 1.13 Plane mobile parking equipment

垂直循环类停车设备是采用与地面方向做循环运动而达到存取车辆的停车设备。其工作原理是电机通过减速机带动传动机构,在牵引构件链条上,每隔一定距离安装一个存车托架,当电机启动时,存车托架随链条一起做循环运动,从而达到存取车辆的目的,可停放大型轿车。运行方向可分为自动和手动两种方式,可通过开关切换,在车库正常运行时使用自动方式,在设备和调试时使用手动方式。自动方式和手动方式均采用 PLC 可编程控制器控制,因此可保证设备在任何方式下的安全运行^[17]。人机操作界面采用触摸按键式,存取车时只需输入相应的车位号,然后确认即可实现设备运行。设备设有多种安全装置可确保人车安全,如防坠装置、限位及防过卷装置,断电自动刹车制动装置,错断相保护等等。此类车库优势是占地小、通量大,利用地面两个平面停车位可同时停放 12 辆车;性能稳定、操作简便、存取车方便。垂直循环类停车设备如图 1.14 和 1.15 所示。

Vertical Circulating Mechanical Parking Equipment
垂直循环类 停车设备（七层及以下）

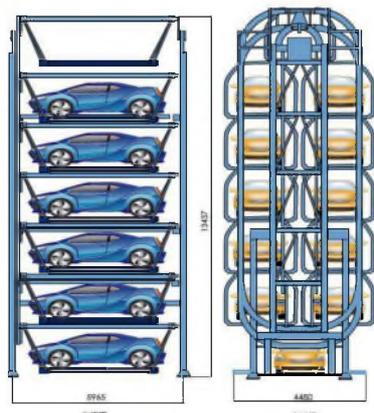


图 1.14 垂直循环类停车设备

Figure 1.14 Vertical circulation type parking equipment

PCX
垂直循环类 停车设备（七层及以下）

垂直循环类停车设备是采用机械传动方式实现垂直方向循环运动的存取车辆的设备。其工作原理是电机通过减速机带动传动机构，在牵引钢索上，每隔一定距离安装一个存车托架，当电机启动时，存车托架随钢索一起做循环运动，从而达到存取车辆的目的。可停放大型轿车。运行方向可分为自动和手动两种方式。通过开关切换，在车库正常进行存取车辆时，设备采用自动方式；手动方式主要用于设备的维护保养和检修控制。因此该设备在运行方式下的安全运行，人车操作非接触接触模式，存取时只需输入相应的车位号，然后确认即可实现。设备有多种安全措施可确保人车安全，如防坠装置、限位及防过卷装置、断电自动刹车制动装置、障碍物保护装置等。



设备技术特点：

- 占地小、容量大，利用地面两个平面停车位同时停放2辆车。
- 机械性能稳定，安装操作简便，配置灵活，存取方便，建设周期短。
- 外观轻巧美观，可整体移动。
- 采用国际W公司生产的无级调速电机驱动减速机驱动，运行平稳，噪音低，制动可靠，安全性能。
- 具有光电检测及防坠落等安全保护装置，使设备运行更加安全可靠。
- 有手动及自动两种操作方式，自动化程度高，操作、维修方便。
- 存取车时间短，平均存取车时间20秒。



垂直循环类停车设备技术参数表

PCX (70K-150)		
停车设备类型	室内垂直循环类停车设备	
可停放汽车规格	车外形尺寸	8000mm x 1850mm x 1550mm
	重量	2000kg
驱动装置	驱动电机	德国Herd 7.5kW
	驱动减速机	减速机与电机一体化
	循环速度	4-6m/min
	刹车系统	AC电磁刹车系统
	循环方式	自然重力驱动传动
	循环频率	10-15分钟/循环
	传动	齿条传动
	外形	3970mm x 2090mm
	自重	400kg
	地面	环氧地坪
结构	型钢框架	
控制系统	电机控制	正反转直接启动
	操作控制模式	德国Siemens PLC控制
	操作方式	按钮
测量传感器	10个	
动力	动力电源	380V/50-60Hz普通电源
	操作电源	380V/50-60Hz普通电源
安装	车辆位置指示灯	红外反射位置传感器
	车辆位置传感器	红外反射
	轨道轨道	钢轨
安全防护	防撞装置	

图 1.15 垂直循环类停车设备

Figure 1.15 Vertical circulation type parking equipment

汽车升降机用于载运进出不同楼层的停车库，尤其以大楼附设地下停车库用的最多。由于其垂直提升的特性，可以大幅节省斜坡走道所占的空间，对面积有限的地下停车空间而言，机具经济效益。此类设备具备运行平稳安全、噪音小、节省坡道面积、噪音小等特点。汽车专用升降机如图 1.16 所示。

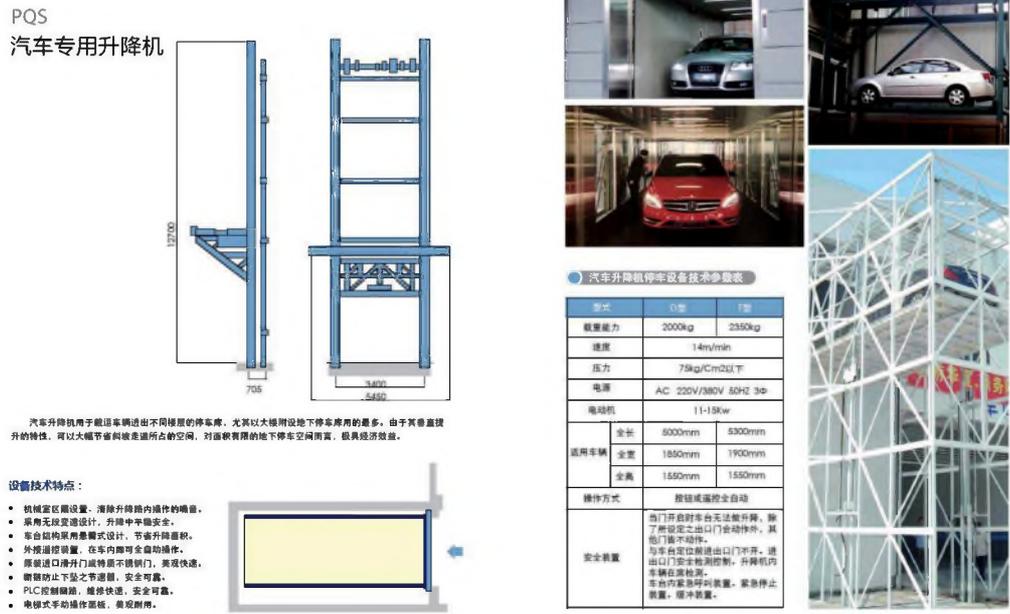


图 1.16 汽车专用升降机
Figure 1.16 Elevator for car

表 1.1 立体车库的分类特点及结构

Table 1.1 Classification Characteristics and Structure of Three-dimensional Garage

垂直循环 (PCX)	垂直循环的立体车库在运作的过程中会通过链传动的形式来实现车辆的存取操作,这款立体车库集成了 PLC 控制系统,能够实现自动的存车和取车,因此能够帮助停车用户节约停放车的时间。此外,这款立体车库能有效的节约车库空间,这款立体车库在运行的过程中具有较低能耗。
巷道堆垛 (PXD)	这款立体车库能有效的节省地面空间。在运行的过程中该款车库的载车板能实现升降的操作。此外,该车库能实现车辆存取的功能。它的最大特点在于运行过程安全和稳定性比较高,同时对于地面空间的节省效果也是最为显著的,而且也能够实现自动化控制,提升操作的效率。
垂直升降 (PCS)	这款立体车库具有较少的占地面积,这款立体车库能够充分的使用上层空间,也能容纳更多的车辆。此外这款立体车库整体设计具有美观性,也能实现存取车的智能化管理。
升降横移 (PSH)	这款立体车库集成了 PLC 的自动化系统,此外这款立体车库在运行的过程中具有较低的噪音,该款立体车库集成了对讲系统,车主在停车的过程中能够与车库的管理人员进行直接的对话,这款立体车库的操作也较为简便。
水平循环 (PSX)	该款立体车库往往适用于建筑的地下车库设计,因此这款立体车库属于封闭式车库。该款立体车库在运行的过程中具有较高的安全性,能有效的节约地面空间,容纳更多的汽车。

目前市面上的立体车库具有较多的种类,立体车库种类不同其内部的结构也有较大的

区别，而工作的原理也有很大的不同。不同种类的立体车库能够适用于不同的场景，各类车库都有其优势。因此需要结合城市建设的实际状况来选择适宜的立体车库。立体车库的种类繁多，但是大部分的立体车库都是由以下几个部分构成：车库的整体框架、传动装置、电气控制等。这些立体车库在结构上有相似之处。几类常用的立体车库的结构和特点见表 1.1。

总体上来看，我国最早开始对立体车库的研究可以追溯到 1980 年，虽然作为起步时间相比比较早，但是截至目前为止在这方面依旧没有取得更为显著的突破，与发达国家还有较大的差距。我国内的车库主要有以下几方面的特点：

(1) 我国立体车库在前期的研发过程中需要投入大量的资金，且在后期也不具有较高的经济效益。

(2) 此外我国立体车库在修建完成后具有较高的维护费用，且后期维护的难度也较大。

(3) 立体车管理控制系统具有较多的漏洞，操作也较为繁杂。

(4) 立体车库在修建完成以后没有发挥实际的作用，推广和使用的效果不佳。

1.2.3 国内立体车库的发展趋势

我国立体车库经过几十年的发展已经逐渐形成了一个独立的产业，立体车库的产业链中涉及的内容较为繁杂，其中包括：立体车库的设计、销售、生产等。目前我国的立体车库呈现出多元化的发展趋势。随着计算机产业的发展，立体车库中也融入了这些高新技术，立体车库的管理系统功能逐渐完善，也开始向自动化、智能化方向进行转变，立体车库系统的整体操作性加强。目前立体车库已经能够实现自动化的管理，也能够有效的节约地面空间，并缓解城市停车困难的问题。

1.3 国内外立体车库控制系统研究现状

目前立体车库已交得到了社会的认可，被广泛的应用于多个领域，但是随着各个城市汽车保有量的不断增加，立体车库的管理难度也在加大，因此需要引入相应的控制管理系统对立体车库实现全面的监管^[18-19]。从 1960 年开始，在工业领域中计算机技术就已经得到充分的应用，发展到 2000 年左右，计算机各方面都迎来了迅速变革，这对于整个工业技术水平的提升也做出了显著贡献。已有研究资料显示早在 20 世纪 70 年代，美国就已经在工业领域中引入了计算机，计算机在工业领域中相应作用的发挥也奠定了坚实基础，此后在工业控制这个领域中技术也更为完善^[20]。组态软件的产生推动了工业领域控制系统的变革，目前工业领域中组态技术能够帮助系统管理人员及时了解机构运动的状态^[21-22]。此外，随着组态技术的发展，组态王技术中还引入了数据库，由此能够实现对数据的存储^[23-25]。

1.3.1 国外立体车库控制系统研究现状

20 世纪 70 年代发达国家就已经开始了对组态软件进行研发。已有研究资料显示，西门子公司首先开发了 WinCC 组态技术^[26]。国外的研究人员 LiTzoo-HsengS 研究过程提出了动态模糊理论上所构造的监控系统，此系统最大的特点是可以实现常规车库的监控，并且更为显著的是它可以完成对立体车库的全面监控^[27]。

当前在整个市场上组态软件被广泛应用的相关软件是由澳大利亚和美国等国家所设计研发的，例如 InTouch 和 Citech，这些组态软件的特点各有不同，可以适用于不同的场景。

发达国家和我相比对立体车库控制系统的研究起步更早，经过多年的发展相应的技术水平得到了巨大的提升。发达国家的研究学者对立即控制系统进行研究时往往会采用 CAD 技术^[28-30]。他们通过大量的研究有效的减少了立体车库控制系统研发的成本，并且也能够最大限度上帮助完善该车库的监管效率，随着后续各项技术的不断发展和完善，目前在针对立体车库的控制方面，相应的技术也会更为成熟，不仅能够简便操作人员的操控，同样也能降低事故发生的概率。另外随着后续通信技术的不断完善以及智能化技术的不断演变，相信在控制系统的发展上也会朝着智能化的方向不断发生相应变革。

本文认为智能化和自动化是立体车库控制系统未来发展的大趋势，随着高新技术的发展，立体车库管理控制系统的功能会逐渐完善，而立体车库管理控制系统也具有广阔的发展前景。

1.3.3 国内立体车库监控系统的发展趋势

近年来，组态软件逐渐向着多平台、总线通信、嵌入式方向不断发展，而总线是才兴起的发展概念，总线属于工业数据线中的一种，是一种非常特殊的网络技术，总线设计的技术与普通的网络技术在属性上是相同的，但是总线的设备非常的多，总线主要适用于处理工业现场设备的数字通信问题，总线在运行的过程中操作非常的简便，且具有安全性和可靠性^[31-32]。此外，总线的是成本也较低，组态技术中操作平台是非常重要的组成部分。本文通过市场调研发现目前市场中组态软件的操作平台主要包括 windows、linux 等。这些平台在运行时都有各自的优点，必须依据相应的应用场景来选择适宜的操作平台。目前这些操作平台并不通用，而未来组态技术在各个操作平台中的通用性也是未来发展的重点内容^[33-34]。近年来，组态技术还向着嵌入式方向不断发展，嵌入式的组态技术能够有效的提高组态软件整体的性能。

1.4 论文研究的目的是主要内容

1.4.1 研究的目的

已有研究资料显示，2000年我国建设的小区中大部分都没有专门建设轿车的停车库，近年来我国人民的消费水平逐渐提升，我国商场等建筑物的数量也在日益增加，而汽车数量的增多也使城市面临越来越严重的停车困难问题。就小区而言，小区的停车位也呈现出紧张的状态，因此立体车库的开发尤为重要。垂直旋转式的立体车库能有效的节约车库的空间，缓解小区停车困难的问题。本文选择对住宅小区里的车库进行研究，并对立体车库的智能管理控制系统进行开发。本文开发的立体车库智能管理控制系统能有效的节约性能，实现快速的取车和停车。本文在进行课题研究时着重对立体车库管理控制系统的性能进行研究。

1.4.2 研究的内容

本文选择对住在小区里的车库管理控制系统进行研究，依据住宅小区现有的环境特征，本文的研究内容主要包括以下几点：

(1) 本文首先讲解了立体车库的结构、立体车库的工作原理，并对立体车库单控等模式的参数进行精确的计算，并且引入相应的数学模型进行分析，并对模型进行进一步的优化。

(2) 后本文设计出了立体车库管理控制系统的方案，并且详解了该方案的工作原理，对该方案各部件的功能也进行了说明，并对立体车库硬件的工作原理和相关的设备进行了介绍。

(3) 本文在开展课题研究时选择适宜的车库管理控制系统工具对车库的存车流程进行进一步的梳理，此外本文在研究时引入了PLC控制系统^[35-36]，进一步提高该系统的运行性能。

(4) 本文在开发车库智能管理控制系统时引入了组态软件，实现了软件通信的功能。此外，本文通过组态软件实现了程序的编程，本文的系统开发完成后还进行了仿真测试。

2 立体车库车辆存取模型

2.1 立体车库的基本结构和工作原理

2.1.1 车库的基本结构

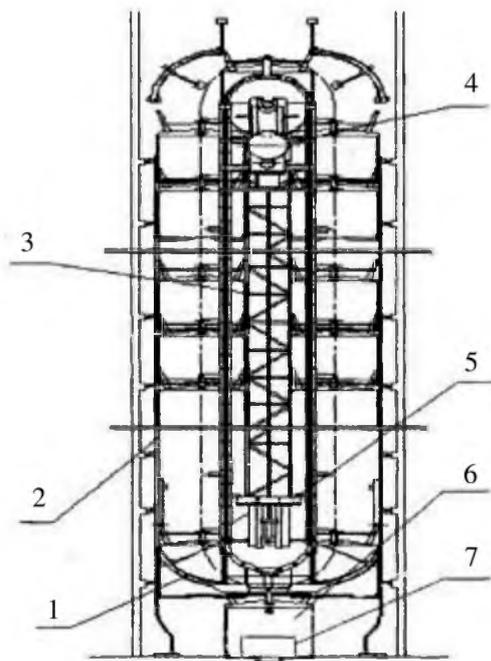
立体车库最大的优点在于可以有效节约地面面积，并且也可以对立体空间开展充分的运用。从运动过程来看，主要是在垂直平面内开展循环的运动，整个车库包括机械和控制系统这两大组成部分^[37-38]。

(1) 机械系统

机械系统的构成包括机架部分以及运动装置这两大部件，详细的说明如图 2.1 所示。

1) 整体机架

该车库总体的机架结构可以参考图 2.1。其中处于最中间部位的是该系统的支架部分，而最底层则是整个立体车库系统的托盘部分，托盘是均匀分布在该车库一周内，也有导轨，导轨周围也和链条相互连接起来。其中 4 和 5 分别代表的是两个不同的平台，上面这个平台则是主动轮，而后一个平台则是从动轮，可以让托盘在对应轨道上完成循环的运动，从而也就形成了升降过程，详细情况可以参考下图所示。



1 角伦导轨，2 托架导轨，3 支架，4(5) 第一(二)平台，6 托盘，7 轿车

图 2.1 垂直循环机械式立体车库机架

Figure 2.1 Vertical circulation mechanical stereo garage frame

2) 运动装置。

在运动装置这方面主要的构成部分包括电机、联轴器、输送链等相应结构，而这一系列的结构都有效够成了运动装置，这些部位是位于机架平台上，在安装的时候需要将链条和托盘相互连接，这样才能够在链条运动的时候带动托盘实现垂直旋转^[39]。

(2) 控制系统

本系统中设计的另外一个重要部分是控制系统，该系统主要由三个组部分构成：包括自动检测、自动计费以及存取车系统，详细的控制系统组成如图 2.2 所示。

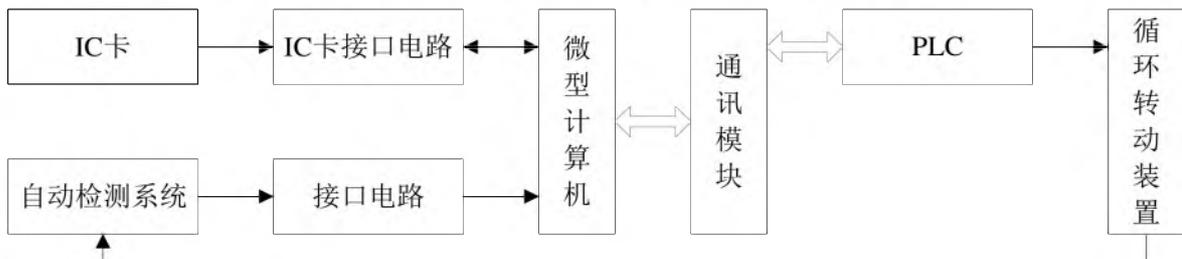


图 2.2 车库控制系统组成框图

Figure 2.2 Block diagram of garage control system

1) 车库的自动检测系统

首先所有的托盘底部上都安装了光电传感器，此部件虽然比较小，但是可以有效的监测当前托盘上是否停有相应车辆。在开关上主要还包括了接收和发射两个部分，这两个结构分别被安装在底盘的两边，从而也就组成一套完整的红外发射电路。如果红外线此时被挡住的话，则证明该车位上有车辆停放，那么输出结果就是 1，如果没有被遮挡，此时就会将这项结果记为 0，并且输入到计算机内。在取车的时候首先需要检测对托盘上是否存在着车辆，这样就能够取得对应车辆的托盘上是否目前已被取走，另外存取车环节都需要对当前托盘的状态进行检测，如果托盘运动到位的前提下，此时就会将相应数据输入到 PLC 系统内，接下来 PLC 则会输出信号对电机转动过程进行全面控制^[40-41]。

2) 存取车控制系统

用户在进入了停车场以后，首先就需要进行停车操作，想要完成停车需要先刷卡，接下来车库门就会自行打开，同时系统会对该次入库时间进行记录，接下来由控制系统传达命令 PLC 控制器，控制器会对车位上控制托盘进行检测，如果当前存在空车位的前提下，进一步就会把检测的信息传递给该系统，接下来调用最近的停车托盘传递到用户身旁，在将车辆开到指定的托盘上以后此次存车的环节也就结束^[42]。

在取车的过程中，首先用户需要进行刷卡，接下来对该卡片对应的车辆位置信息进行搜索，并且记录用户停车时间，系统会将对应的操作指令传达给 PLC，并选择对应的电机转动方向，将托盘转动到位，用户在车辆驶离以后该托盘就会恢复到原有位置，此次的取车过程因此就结束^[43]。

3) 自动收费系统

一般而言，IC卡包括两种不同类别，第一种是接触式的，另外一种则为非接触式。本次采用非接触式的这种类型来开展设计，目前这种卡片也在多个停车场得到广泛应用。

对于整个车库管理系统而言，停车卡片也相当于用户的身份识别唯一认证标志，只有持有了卡片的前提下才可以让用户完成取车。用户需要通过刷卡来对车辆进行存取，此卡片也可以记录对应的位置信息，另外该卡片还会记录对应的停车开始和结束时间，根据预设的价格记录方式完成费用记录，接下来将信号传递给PLC系统完成对应的操作，用户之后就可以进行存车或者取车^[44-46]。

2.1.2 立体车库工作原理

从原理上来看，针对于立体车库而言，它的基本运动原理是利用电机作为驱动力，并且带动链条开展垂直的循环运动，当车库处于工作状态的时候，此时整个设备会处于圆周运动的状况。对于链条而言，每相隔固定距离都会安装对应的托盘结构，另外还加入了链条、主动轮、从动轮和电机等构件，从而对该结构进行驱动。另外也加入了减速器帮助该车库实现减速，最终通过位置的变换让车辆可以停在托盘上，进而能够帮助节省地面面积，也可以有效利用车库的空间。

2.2 立体车库单控和群控模式分析

2.2.1 单控模式分析

影响立体车库运动的重要因素包括两个方面：首先是呼叫存车和取车过程的相关信号，除此以外还包括该车位驱动装置当前所处的位置状况。

如果再利用单控模式来开展设计，此时该车库只能检测到相应的取车信号，那么存车和取车的时候也会按照该信号呼出的先后顺序来开展优先服务^[47]。整个操作过程会为用户提供最短的路径，在此方面应该做好进一步的优化设计。当处于存车的时候也要考虑到控制车位当前所处的位置以及电机的正转和反转，如果要取车的话，那么需要直接输入该车辆的号码，并且还要结合最优路径来确定该电机的转动方向。

针对于单控式的控制方式而言，车库应该要实现动态响应，也要结合具体的存车或者取车实际需要对各项参数进行临时变动，详细的影响因素主要包括以下两个方面。

(1) 非变化的动态参数

非变化的动态参数这一方面主要包括以下三点因素：首先是当前驱动装置对应的运动速度；其次还包括停止或者启动装置对应的时间；第三还要考虑到用户车辆驶入或者开出车库耗费的时间。

(2) 变化的动态参数

针对于变化的动态参数而言，主要包括以下三个方面：

1) 首先是外呼信号。由于车库的运作必须要在信号发出的前提下才能执行，而每一个命令在响应的时候，车库的运动也要结合当前控制车位或者取车车辆的具体位置来进行路径选择，接下来才能驱动转动到对应位置。

2) 第二是驱动装置对应的运动状态，驱动装置主要有两种运动状态，包括取车以及停车过程中所对应的电机正转和反转两种状况。

3) 最后还需要考虑到当前车辆实际所处的位置状况，要对车库目前的使用状态进行全面显示。

2.2.2 群控模式分析

如果在整个设备内部加入了多个驱动装置的前提下，此时就可以通过一个工程机来完成多个控制系统的全面控制，由于每一个控制系统上对应都搭配了相应的驱动装置，所以在进行优化组合的时候，这种群控模式也能够进一步提升该系统的集成度，另外也可以在后续车库运行环节最大限度降低能量的损耗，帮助节约能源。

如果当多个车位同时响应的过程中，每一个控制系统都具有独立运作的能力，他们相互之间也不会形成互相干扰，从而通过群控的模式也能够让整个控制更为便捷，另外也在最大限度提升了该车库的运作效率。除了在控制过程中相关的参数不会发生变化以外，除此还要做好该模式内各个车库独立性的设计，做好各项车库排列和布置工作，这样才能够让车库得以最大限度的优化，也能为车辆存储过程提供更多的便捷。

2.3 立体车库单控和群控模型构建

2.3.1 立体车库存取车策略

车库容量中，每一个号码代表的是对应的位置编号，在运动过程中此位置编号始终处于不变的状态。而结合该车库对应的工作原理也可以进一步发现，取车的过程主要包括两个步骤：首先是进行 Y 方向上的操作，接下来会在另外 XOZ 平面内开展其他的操作。车库简化示意如图 2.3 所示

而分析存车过程可知，在车辆进入停车场以后，首先需要进行 Y 轴的相关操作，接下来完成才是完成 XOZ 平面的旋转。而不同的车位取车环节内，相对应的 Y 轴的操作时间都是相同的，时间不同则主要是由于 XOZ 平面旋转对应的时间有一定差异。

结合立体车库的相应原理可以发现，垂直循环类型的这类立体车库属于旋转类型车库，在搬运器运作的时候 Y 方向上的作业都是相同的，但是对于驱动电机而言则有一定的差异，该电机在存车和取车两个过程能耗不同，所以这项因素就会对最终的取车环节造成最重要的影响。通过对不同车库开展全面的研究，也能进一步提升出库的设计成果，本次设计的存取车相应策略主要分为原地待命和交叉分组两类策略。

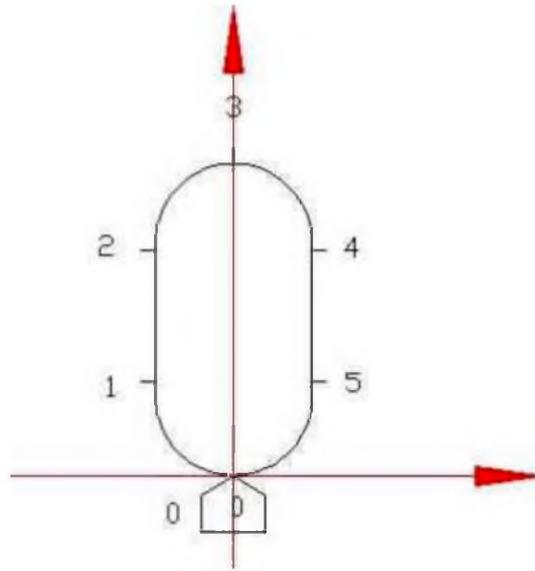


图 2.3 车库简化示意图

Figure 2.3 Simplified diagram of garage

(1) 原地待命策略

在每一次进行取车和存车的操作之后，搬运器对应都会回复到原有的位置，并等待执行下一次相应操作。另外存车和取车相应的具体操作过程中也要按照相关的优先顺序一次执行。

(2) 交叉分组策略

如果此时对应是存车和取车的高峰时间段，此次对应了多辆汽车需要进行存取操作，这种状况下就会按照从前到后的顺序依次对车辆进行调换，取车以及存车这两种不同的操作会被视为交叉任务，采用存取交叉的方式提供对外服务

2.3.2 立体车库数学模型的构建

如果结合时间来作为分析目的对以上两种策略开展相互比对，那么就需要比对取车次数、取车总时间耗费等各项参数，具体的分析如下：

(1) 原地待命策略的数学模型

当采用了原地待命这项策略的时候，此次取车过程需要和上一次存车相互关联起来，因此得出以下四种不同的组合形式：

1) 计算从存车到下一次再次存车所耗费的时间：

$$T_1 = t_2 + t_0 + t_0 \quad (2.1)$$

2) 计算从上次的取车到下一次取车所耗费的时间：

$$T_2 = t_1 * i + t_2 + t_0 + t_0 \quad (2.2)$$

3) 计算从上一轮的存车再到下一次取车所耗费的时间：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/086102144050010105>