

文章编号:1673-2049(2009)04-0030-05

立体车库的结构形式及应用与发展

贺拥军¹, 杨承超¹, 周绪红^{1,2}, 刘永健³

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 兰州大学 土木工程与力学学院, 甘肃 兰州 730000;
3. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要:阐述了研究与发展立体车库的必然性和必要性,介绍了立体车库的类型,研究了多高层立体车库的结构特点,并提出了3种多高层立体车库的结构体系和平面布置形式;分析了立体车库的应用现状与发展前景以及发展立体车库需要解决的技术难题,主要包括立体车库的建筑与结构设计要求及制作安装技术、与各类建筑物相匹配的结构设计方法和构造、停车设施与绿化共存的设计建造技术以及编制立体停车设施结构设计规范应该重点研究的问题。结果表明:应该针对立体停车设施的特点,根据理论分析结论与试验结果,尽快制订合理的立体停车设施结构设计规范,指导立体停车设施的设计与施工。

关键词:立体车库;结构形式;结构特点;应用与发展;技术难题

中图分类号:TU312 **文献标志码:**A

Structural Forms, Application and Development of Three-dimensional Garages

HE Yong-jun¹, YANG Cheng-chao¹, ZHOU Xu-hong^{1,2}, LIU Yong-jian³

(1. School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China; 2. School of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China; 3. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The necessity of research and development of three-dimensional garage was described. The classification of the three-dimensional garages was introduced. As to the multiple-story and high-rise three-dimensional garages, several structural systems and layout forms were presented, and the structural characteristics were studied. The application status and prospect of three-dimensional garages were analyzed. The technical issues of developing three-dimensional garage were finally discussed in detail, including architectural and structure design requirements, manufacture and installation technology, structure design method and construction matching with other types of buildings, the coexistence methods between parking facilities and greening in designing and construction, and the important problems that compiling the structure design code of three-dimensional garage should be focused on. The results show that the structure design code should be compiled quickly to guide design and construction of parking facilities, according to theoretical analysis conclusions and test results.

Key words: three-dimensional garage; structural form; structural characteristic; application and development; technical issue

收稿日期:2009-09-02

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAJ18B06-01);湖南省杰出青年基金项目(08JJ1006)

作者简介:贺拥军(1970-),男,湖南宁乡人,教授,博士研究生导师,工学博士,博士后,E-mail:hyj0087@163.com。

0 引言

随着人类社会的不断进步和经济的飞速发展,城市车辆日渐增多,人们的生存空间却越来越小,城市市区尤其是中心商业区停车难的问题已成为制约城市发展的一大难题。立体车库作为一种新型的停车形式,具有节省占地面积、节约投资、出入库管理方便、省时省力、能有效保障车辆安全以及配置灵活的特点^[1-3],并已经在国外得到了广泛的应用^[4-6],成为有效改善城市静态交通的必然选择。在中国,立体车库的发展还处于初始阶段,在设计和建设上还存在诸多问题,很少有人对立体车库结构进行过系统深入的研究,更没有专门的结构设计规范供设计人员参考。针对多高层立体车库,笔者系统地归纳了其结构类型,详细地分析了其结构特点,并提出了几种合理的平面与竖向布置形式,同时阐述了立体车库在中国的应用与发展前景,最后对其技术难题进行了重点分析。

1 结构形式与特点

1.1 结构形式

立体车库的建筑功能就是停放车辆。对于一般的立体车库,由于城市商业中心、文化体育中心、住宅小区等市民出行方式、现场空间大小的不同,以及车辆存取循环方式、汽车的泊位、汽车的数量和类型以及使用场合的不同,必然会有不同的建筑结构形式、结构布置原则和典型结构形式。根据车辆存取循环方式,立体车库可以分为升降横移式、水平循环式、多层循环式、简易升降式、巷道堆垛式、汽车升降机、垂直升降式、垂直循环式^[7-8];根据汽车的泊位和数量,可以分为大型立体车库、中型立体车库和小型立体车库;根据使用类型的不同,可以分为停放小型轿车的立体车库和停放大型公交车的立体车库;根据使用场合的不同,可以分为公共型立体车库和家用型立体车库;根据与房屋建筑的关系,可以将立体车库分为独立式和内置式(依附式)。

如图1所示,对于多高层电梯式立体车库,按抗侧力构件的类型和布置形式,可以分为框架结构体系[图1(a)]、框支结构体系[图1(b)]和巨型支撑结构体系[图1(c)]。另外,由于车辆在停车间与提升井之间需要横移,所以提升井左右两侧不能设有斜支撑与实体墙,尤其在电梯井处设置剪力墙的结构体系不适用于立体车库。

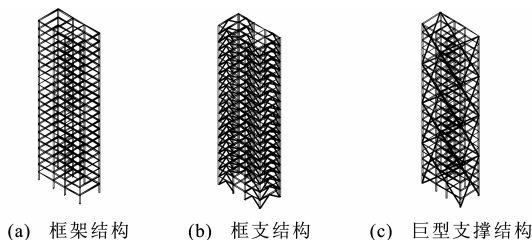


图1 多高层立体车库结构形式

Fig. 1 Structural Forms of Multiple-story and High-rise Three-dimensional Garages

1.2 平面布置方式

立体车库的平面布置方式多种多样,不同的结构平面布置会有不同的车位布置方式。图2(a)所示的车库平面为一种最基本的布置方式,其布置简单,占地面积小,面积利用率高,车辆存取方便,这里称作基本单元。其平面尺寸一般可以取为 $7.8\text{ m} \times 6\text{ m}$,纵向3跨,横向1跨,两边跨为停车间,中间跨为提升井,停车间与提升井之间不设支撑等抗侧力构件,以方便车辆停放时进出停车间。大部分车库的平面布置都由这种基本单元按一定顺序组合而成。图2(b)所示的车库平面由2个基本单元纵向并列而成,当然,也可由3个或3个以上的基本单元纵向并列而成,如果条件允许,这种布置方式可以设置单独的进口和出口,车辆进出车库会方便,但是由于其高宽比较大,容易发生整体失稳和整体倾覆,而且横向刚度和纵向刚度相差也较大,对扭转较敏感。图2(c)所示的车库平面由2个基本单元横向并列而成,这种布置方式横向刚度和纵向刚度相差较小,抗扭效果好,但高宽比也较大,容易发生整体失稳和整体倾覆,所以其建筑高度不能很高。图2(d)所示的车库平面由多个基本单元按一定的顺序纵横并列而成,这种布置方式的平面尺寸较大,高宽比较小,整体稳定性好,横向刚度和纵向刚度相差较小,抗扭性能好。

图2(a)所示的车库平面布置方式占地面积不大,建筑高度不是很高,对于停放车辆不多的小型立体车库,可以选择这种布置方式;对于停放车辆不是很多的中型立体车库可以选择图2(b)、(c)所示的平面布置方式;而建筑平面尺寸较大、建筑高度很高、停放车辆又很多的大型立体车库可以选择图2(d)所示的平面布置方式。

1.3 结构特点

与房屋框架相比,立体车库有以下一些独有的特点:

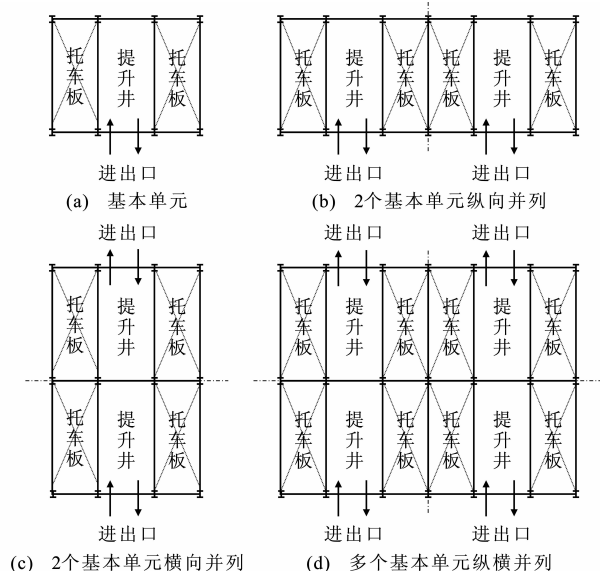


图2 立体车库平面布置

Fig. 2 Layout of Three-dimensional Garages

(1) 立体车库较容易发生整体失稳和整体倾覆。其原因主要有以下 2 个方面:①结构的高宽比很大,立体车库一般修建在繁华的城市闹市区,为了少占土地,多利用上部空间,再加上车库的机械设备很昂贵,其建筑尺寸一般不会很大,而建筑高度却很高,所以,立体车库框架结构的高宽比较一般的房屋框架结构要大很多;②二阶效应显著,立体车库的竖向活荷载主要是汽车的自重,活荷载值很大,而且还有电机运行和提升设备产生的冲击振动等动荷载,当这些静荷载和动荷载作用在高宽比较大的立体车库框架上时,结构会容易发生侧弯,产生较大的二阶弯矩,因此,立体车库结构的二阶效应较一般房屋结构要显著得多。

(2) 立体车库框架由于没有楼板,在水平风荷载和地震荷载的作用下,其水平位移和变形不能很好地协调,即同一层各点位移基本不一致。这样,立体车库框架在结构设计时一般不能简化为平面结构进行计算,而应该采用空间杆系模型进行计算,这是区别于一般房屋框架结构的最主要的特点。另外,外围框架梁由于在平面外没有楼板的支撑,平面外稳定性能较有楼板的房屋框架要差。

(3) 荷载作用较复杂。立体车库是一种特殊的建筑结构,其荷载作用不同于一般的房屋建筑,除自重、外界环境温度变化引起的温度应力、地震荷载、整体结构所受的风力外,还有处于运动状态的车辆荷载及其引起的动荷载、电机运行和提升设备产生的冲击振动等,荷载作用模式及其工况组合较多、情

况复杂。另外,车辆活荷载布置方式不同,结构构件的内力分布也会不一样。

2 应用与发展前景

随着城市的规模越来越大,城市人口车辆日渐增多,城市市区尤其是中心商业区“停车难”的问题已成为制约城市发展的一大难题。为了少占用土地,停车设施必须向空间发展,立体车库便应运而生^[9-10]。

早在 50 多年前,立体停车设备在国外就有所发展,先后出现了针对家庭的双层停车设备;利用住宅空地搭建的 2~4 层升降横移停车设备;适合城市中心商住区使用的停车楼和停车塔;利用广场、建筑物地下空间建设的停车库等。自 20 世纪 70 年代末以来,世界经济高速发展,汽车保有量不断增加,迫使地少人多的国家、地区和一些发达国家开展了机械式停车技术的研究。以日本、美国、德国等为代表的发达国家在停车技术领域的研究处于世界领先水平^[11]。

中国自 20 世纪 90 年代初已经认识到立体车库的优点,并对其进行了一系列相关的研究及实践。其中塔式立体车库以其高密度的容车率优势被广泛地用于全国各宾馆、酒店、办公大厦等商用楼,其仓储式、循环式等形式的立体车库也都以其独特的优势满足了不同业主的个性化需求,而简易升降式和升降横移式这 2 种立体车库更适合小区,因为它可以根据场地的大小和空间的高度来自由设置层数和列数,建造方便,操作极其简单。

目前,中国的停车场仍以平面停车场为主,这些类型的停车场占地面积大,汽车的容积率低,在土地资源越来越稀缺的今天已经不能满足要求,大力推广立体车库已成为必然。从立体车库的数量上来看,全国已建成的立体停车位才 30 000 多个,而且大部分集中在沿海等发达的大城市,内陆城市以及中小城市分布较少;从技术上来看,中国机械式立体车库与日本、美国、德国等发达国家还有很大的差距,尤其是在立体车库的自动化和智能化管理方面。因此,中国立体车库的发展和建设才刚刚起步,还有很大的发展空间。

3 发展立体车库需解决的技术难题

3.1 建筑与结构设计要求及制作安装技术

3.1.1 建筑设计要求

立体车库一般应用于城市商业中心、文化体育

中心、住宅小区等用地面积紧张而车流量又较大的区域,这些区域土地价格昂贵,寸土寸金。建筑设计从总体上决定了空间的使用效率,因此,采用何种建筑形式最能节约空间,使得空间利用率达到最大成为一个首要的问题。

在车辆存放和提取的高峰时段,立体车库的存放和提取效率就成为一个突出的问题。存放和提取效率低会引起排队等候存放和提取车辆现象的发生,并且在等候存放车辆的时段还极易造成库外交通的堵塞,给附近道路的交通带来不良影响,因此,如何通过建筑设计来优化立体车库的存放和提取效率是需要解决的技术问题。

3.1.2 结构设计要求

立体车库的荷载作用不同于一般的房屋建筑,其特殊荷载有处于运动状态的车辆荷载及其引起的动荷载、电机运行和提升设备产生的冲击振动等。而车辆荷载又远大于其他一般房屋的活荷载,车辆在存放区域分布的不同对结构的内力会产生很大影响。确定立体车库的荷载作用模式及其工况组合,是装配式立体车库的结构设计首先必须解决的问题。

立体车库结构属大型复杂、高冗余度结构系统,鉴于作业对象(车辆)的高价值和安全性要求,其可靠性显得尤为重要^[12]。目前,结构可靠性分析多是针对构件,而未考虑荷载变动、构件破坏等因素变化时结构系统内部构件间的关系重构。高冗余度立体车库结构大型复杂系统的失效模式是可靠性分析的基础。如何确定合理的失效准则,对结构进行合理的简化与模拟则成为立体车库结构设计的技术难题。

3.1.3 制作安装技术

立体车库的结构构件主要是由不同型号的 H 型钢、L 型钢及其支撑件和连接件搭接而成。构造车库的三维框架,首先应当设计 H 型钢、L 型钢及相关配件,而后根据结构形式进行组装。因此对于装配式立体车库的构件标准化制作程序优化的研究,钢构件标准化运输单元体系的研究,构件和连接件的工厂制作、现场装配技术的研究以及标准构件现场吊装装配方案优化设计的研究,直接关系到立体车库的装配质量。特别是 H 型钢作为立体车库结构中的重要构件,在结构中一般用作立柱、横梁、侧梁,H 型钢设计的好坏直接影响立体车库的好坏。因此,针对装配式立体车库的特点,研究开发 H 型钢的制作安装技术是具有重要技术价值的。

3.2 与各类建筑物相匹配的立体车库结构设计

立体车库按建筑形式分为独立式和内置式(依附式)2种。独立式立体车库适用于地下广场和在现有建筑群外建设,规划建设时应注意其与周围环境的融合,主要问题是开发与周围建筑环境相融合的建筑结构形式。内置式(依附式)立体车库需要与新建筑同步规划和建设,停车设施依附在建筑物内,对区域环境规划和建筑观瞻虽然没有影响,但确定其与主建筑物的连接和构造形式,考虑主建筑对立体车库荷载效应的影响,以及立体车库与主建筑的协同工作效应是结构设计必须要解决的问题。

3.3 停车设施与绿化共存的设计建造技术

用绿色植物把立体车库包装起来,不但补偿了因建筑占用的绿地,更能取得良好的环境效果。但立体车库的绿化有其自身的特点,由于立体车库周边环境不良,尾气多、噪音大,因此选用适合于立体车库绿化的植物是首先要解决的问题。应选用一些抗污染、耐旱、耐寒、抗风、轻盈秀美、生长相对缓慢的植物供设计人员参考。

立体车库的外立面,采用攀缘支架的方式实现绿化的立体化,既美化了空间又可以吸收废气、降低噪音,一举多得。针对不同的植物特性设计不同的攀缘支架,使植物能和谐地与立体车库融为一体也是需要解决的技术问题。

由于高空的生态因子与地面不同,光照强、温差大、湿度低、风力大,屋顶绿化要采用质量轻、透气性好、保水保肥、无臭无味、搬运方便又可长期使用的轻型无土基质,并采用根系浅的植物,以解决立体车库屋顶绿化的问题。

在建筑和结构设计时应符合绿化需要。建筑设计应注意屋顶、平台的灌溉、排水、防水处理,要检验并确认无漏水隐患,做好防水设施,并保证给、排水畅通,制定出相应的屋面处理措施条例和参考图集。在结构设计时就要使建筑结构的承载能力满足立体绿化的要求,如何把绿化引起的荷载计入设计荷载中是需要认真加以解决的问题。

3.4 立体停车设施结构设计规范

一般建筑物的结构设计可以依据现有各类结构设计规范,但很多结构工程师对立体停车设施结构设计的特点并不熟悉,因此,应该针对立体停车设施结构设计的特点,根据理论分析结论与试验结果,编制立体停车设施结构设计规范。应解决的问题集中在荷载与荷载工况组合的确定,以及各种典型结构形式的选取与立体停车设施结构安全的可靠性

方面。

4 结 语

立体车库作为一种新型的停车形式,已经成为有效解决城市“静态交通”问题的必然选择。本文中笔者首先系统地归纳了立体车库的结构类型,提出了框架结构体系、框支结构体系与巨型支撑结构体系 3 种竖向布置形式和平面布置的基本单元以及几种合理的平面布置形式,包括 2 个基本单元横向并列、2 个基本单元纵向并列以及多个基本单元纵横并列。详细分析了立体车库的结构特点,发现其容易发生整体失稳和整体倾覆,需加强抗侧力构件的布置,且计算分析时宜采用空间杆系模型。然后阐述了立体车库在中国的应用与发展前景,重点分析了立体车库在发展过程中有待解决的技术难题,包括立体车库的建筑与结构设计要求和制作安装技术、与各类建筑物相匹配的结构设计方法与构造、停车设施与绿化共存的设计建造技术以及编制立体停车设施的结构设计规范,为立体车库今后的研究指明了方向。

参考文献:

References:

- [1] 刘丽娜. 浅谈立体车库的特点及其应用[J]. 智能建筑与城市信息, 2007(12): 96-99.
LIU Li-na, Discuss About Characteristics and Application of the Three-dimensional Garages[J]. Intelligent Building & City Information, 2007(12): 96-99.
- [2] 汪 浩, 余 华. 自动化立体停车库的类型、特点和应用[J]. 苏州职业大学学报, 2004, 15(4): 90-92.
WANG Hao, YU Hua, Classification, Peculiarity and Application of the Automatic Three-dimension Parking Systems[J]. Journal of Suzhou Vocational University, 2004, 15(4): 90-92.
- [3] 张启君. 立体车库的主要型式及技术特点[J]. 机电产品开发与创新, 1999(2): 7-9.
ZHANG Qi-jun, Classification and Peculiarity of the Three-dimensional Garages [J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 1999 (2): 7-9.
- [4] KWAK H G, SONG J Y. Live Load Design Moments for Parking Garage Slabs Considering Support Deflection Effect[J]. Computers and Structures, 2001: 1735-1751.

- [5] KWAK H G, SONG J Y. Live Load for Parking Garage Members[J]. Structure Safety, 2000: 251-279.
- [6] 田广范, 刘元洪, 吴绪钧. 日本国立体停车场的现状及我国发展立体停车场的动向与对策[J]. 建筑机械, 1996(10): 31-36.
TIAN Guang-fan, LIU Yuan-hong, WU Xu-jun. Present Situation of Three-dimensional Parking Space in Japan and Trend and Policy of Developing Three-dimensional Parking Space in China [J]. Construction Machinery, 1996(10): 31-36.
- [7] 钱惠君, 赵宇龙. 常见立体机械车库类型[J]. 中国电梯, 2008, 19(1): 63-67.
QIAN Hui-jun, ZHAO Yu-long. Common Types of Three-dimensional Mechanical Garages[J]. China Elevator, 2008, 19(1): 63-67.
- [8] 宋传增, 王玉太, 姚树奎. 机械式停车场的类型及特点[J]. 山东机械, 2003(2): 11-13.
SONG Chuan-zeng, WANG Yu-tai, YAO Shu-kui. Classification and Characteristics of Machine-type Parking Lot [J]. Shandong Machinery, 2003 (2): 11-13.
- [9] 付翠玉, 关景泰. 立体车库发展的现状与挑战[J]. 机械设计与制造, 2005(9): 156-157.
FU Cui-yu, GUAN Jing-tai. Status and Challenge of the Development of Solid Garage [J]. Machinery Design & Manufacture, 2005(9): 156-157.
- [10] 闫宏伟, 潘宏侠. 立体停车库在中国的发展前景[J]. 建筑机械化, 2004(3): 49-51.
YAN Hong-wei, PAN Hong-xia. The Prospect of Solid Parking Systems in China [J]. Construction Mechanization, 2004(3): 49-51.
- [11] 冷 松. 亟待发展的新兴产业——浅析机械式立体停车设备的由来及发展前景[J]. 大重科技, 2000(2): 7-9.
LENG Song. Urgent Developing New Industry — Analysis Origin and Development Prospects of Mechanical Parking Equipment [J]. Da Zhong Ke Ji, 2000(2): 7-9.
- [12] 杨瑞刚, 徐格宁. 大型钢结构系统失效模式和失效准则的影响因素分析[J]. 起重运输机械, 2008(3): 65-68.
YANG Rui-gang, XU Ge-ning. Factors that Influence Large Metal Structural Failure Types and Criteria [J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2008(3): 65-68.