

我国城市地下停车场发展现状及修建技术研究

谭忠盛, 王梦恕, 王永红, 陈雪莹

(北京交通大学土木建筑工程学院, 北京 100044)

摘要: 目前, “停车难、乱停车”现象不断加剧, 严重影响了城市环境与交通秩序, 而通过挖潜、改造、新建等方式大力推进城市地下停车场建设无疑是解决“停车难、乱停车”现象最为有效的办法。本文主要通过对国内外城市地下停车场建设典型案例进行调研, 系统分析我国地下停车场建设管理、规划设计及施工方面存在的问题, 提出停车场的规划与设计、运营模式和投融资模式的建设意见, 为我国解决城市交通拥堵和城市地下停车场的综合规划与建设提供参考。

关键词: 地下停车场; 停车政策; 建设管理; 规划设计; 施工

中图分类号: TU457 **文献标识码:** A

Present Situation and Application of Urban Underground Parking Lots

Tan Zhongsheng, Wang Mengshu, Wang Yonghong, Chen Xueying

(School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Parking problems have become increasingly prominent, thereby seriously affecting the urban environment and traffic order. At present, better utilization and transformation of parking lots and building new lots to vigorously promote the construction of urban underground parking lots are undoubtedly the most effective methods of solving parking problems. This study mainly analyzes the existing problems in construction management, planning, design, and construction of underground parking lots through a typical case investigation on the construction of domestic and foreign city underground parking lots. To address these problems, corresponding development suggestions regarding planning and design proposals, operating model, and investment and financing mode are proposed to guide the scientific and effective development of underground parking lots and solve the urban traffic congestion.

Keywords: underground parking lots; parking policy; construction management; planning and design; construction

一、前言

随着我国经济的快速发展, 人民生活水平日渐提高, 私人小汽车数量日益增加, 人们在享受小汽车带来便利的同时, 还必须面对小汽车给百姓生活

带来的交通拥堵、停车难、环境污染等社会问题。目前一二线城市的机动车保有量持续增长, 停车需求正不断膨胀和集中释放, 而各大城市停车场等基础设施建设总是滞后于汽车的发展, 停车管理水平跟不上需求, “停车难、乱停车”现象不断加剧,

收稿日期: 2017-12-01; 修回日期: 2017-12-20

通讯作者: 谭忠盛, 北京交通大学土木建筑工程学院, 教授, 主要从事地下工程设计新理论及施工技术等方面的研究工作;

E-mail: zstan@vip.sina.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“城市地下空间开发规划战略研究”(2015-XZ-16)

本刊网址: www.enginisci.cn

严重影响了城市环境与交通秩序。解决城市停车难特别是有效缓解城市中心区域的停车难已成为迫在眉睫的问题。

地下停车场能够充分利用地下空间,是一种解决目前停车难问题的切实可行的方案,亦是趋势所在。但由于停车取车麻烦、收取费用较高、动静交通结合不够等原因,在局部地区及特殊时段就出现了许多地下停车场停不满的现象。地下停车场在国内推广,还有许多关键性问题需要解决。因此,本文旨通过对地下停车场建设的必要性和紧迫性、地下机械式停车场的规划与设计、运营和投融资等内容进行研究,为我国解决城市交通拥堵和城市地下停车场的综合规划与建设提供参考。

二、地下停车场建设的必要性与紧迫性

(一) 国内城市停车现状及存在问题

通过对我国城市停车系统的调研和分析,可以发现停车问题主要集中在以下五点。

1. 停车位缺口较大,供需矛盾突出

随着我国社会经济的不断发展,汽车保有量飞速增长,如图 1 所示,截至 2017 年 3 月底,我国汽车保有量已达 2 亿辆,全国有 49 个城市汽车保有量超过 100 万辆,19 个城市的汽车保有量超过 200 万辆,其中北京、成都、重庆、上海、苏州、深圳 6 个城市登记备案的汽车数已突破 300 万辆,部分城市汽车保有量年平均增速超 20%。

近年来,停车设施供给数量一直保持稳步增长,

但是与停车需求的快速膨胀相比,仍然存在停车位总量不足,停车供需矛盾突出的问题 [1]。以北京为例(见图 2),截至 2017 年 3 月,北京市汽车保有量已经达到了 554 万辆,而北京全市备案停车位为 196.14 万个,约为汽车保有量的 1/3。根据国内外城市经验标准,城市中每辆汽车应配备 1.2~1.3 个停车位,按汽车与停车位 1:1 保守估计,北京市备案停车位缺口达 358 万个。国家发展和改革委员会公布的数据显示,目前我国大城市小汽车与停车位的平均比例约为 1:0.8,中小城市约为 1:0.5 [2],以此为标准,我国大多数城市的停车位缺口很大,由此可见地下停车场的建设刻不容缓。

2. 停车位组成不合理,配建停车设施严重不足
在交通工程中停车场可分为三类:配建停车场、路外停车场和路边停车场。合理的停车结构是三者之比约为 6:2:2 [3],而国内许多城市三者之比约为 1:5:4,理论上起主导作用的配建停车场只起到补充作用。

3. 路内停车现象严重

据调查和统计,国内许多城市普遍存在路内停车比重偏大现象。路内停车占用了大量人行道、非机动车道,严重影响道路通行能力,容易导致行人、自行车与机动车抢道,交通秩序混乱,交通事故多发的局面 [1]。

4. 现有停车场规划及设计不合理

由于公共停车设施的空间布局与需求不均衡、停车设施分布不均匀、停车需求预测不准确以及规划布局不合理等原因,虽然我国停车位十分紧张,

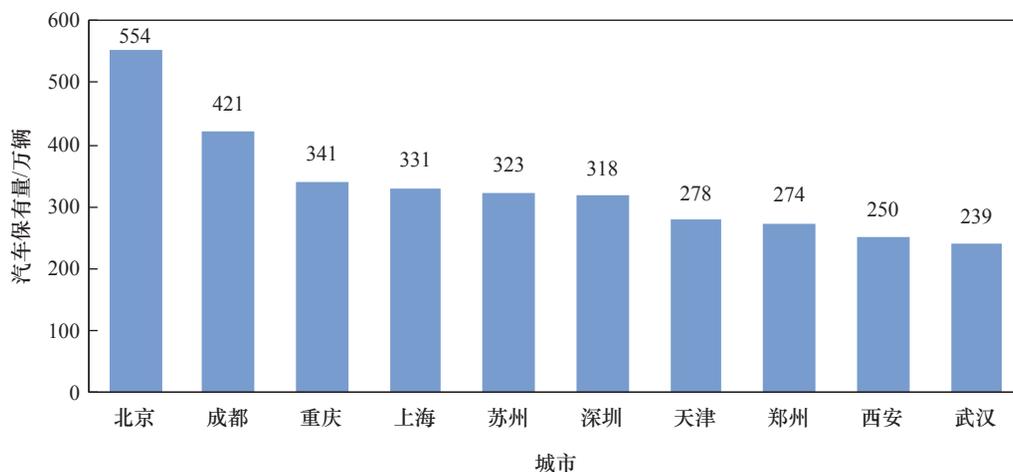


图 1 2016 年全国主要城市汽车保有量

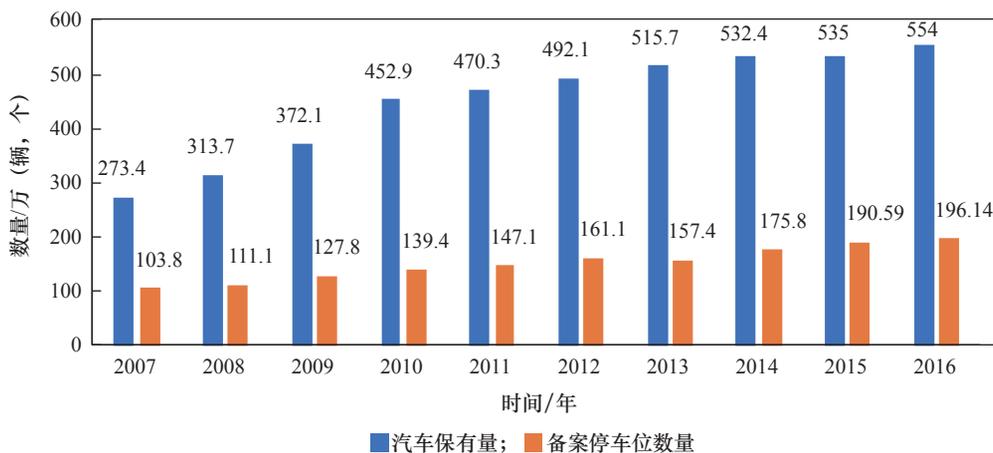


图2 2007—2016年北京市汽车保有量与停车位数量

但部分停车场仍然存在使用率低、经营状况较差等问题 [1]。此外规划的停车场形式单一，绝大多数为地面停车场，空间利用率高、使用效率高的机械式停车场使用较少 [1]。

5. 居民守法意识不强、违法治理不足

居民守法意识不强导致的违法停车也是引起停车难的原因之一 [4]。由于停车资源的不足，很多人直接在路边随意停车，不仅影响交通还对城市的环境造成负面影响。另一方面，我国路内违法停车的成本极低，一定程度上纵容和加剧了停车难的现象。

(二) 停车政策发展分析

针对停车难问题，从国家到地方各个层级都推出了相应的停车场相关政策，着力于引导和协调资金、规划、施工等各方面工作，促进停车场发展。

2015年国家发展与改革委员会、财政部、国土资源部等七部委联合下发《关于加强城市停车设施建设的指导意见》(以下简称意见)，要求充分调动社会资本积极性，加快推进停车设施建设，有效缓解停车供给不足 [5]。《城市地下空间开发利用“十三五”规划》也提出了地下停车场发展建设的要求。目前，全国共有18个城市出台了31条与停车场建设相关的法规，主要包括以下五大方面内容：土地划拨、出让；商业配套可达50%；税费减免，免征房产税或土地使用税；奖励补贴，市、区两级分担；收费市场调节价。

虽然全国各大城市几乎都出台了鼓励公共停车场建设、引导民间资金投入停车场、停车场建设管

理条例等地方性法规政策，然而地下停车场在国内推广效果却不显著，主要原因如下：①虽然各地政策频出，但政策支持还停留在文本阶段，没有具体落实；②虽然已经提供了停车场建设的利好条件，但是支持力度还是不够，使得建设地下停车场成本过高，收益预期无法吸引民间资本；③各地停车场政策法规复杂交错，在实际工程建设过程中会出现多头管理、重复审核等问题，影响停车场建设效率和积极性。因此，地下停车场在国内推广，还有许多关键性问题需要解决。

三、国外停车场发展现状

为解决无规则的路面停车现象，提高道路通行能力，改善交通不畅状况，维持和促进城市的功能，世界各国相继采取了多种政策、措施来改进停车场建设和管理，目前已形成了较为完善的停车场法规体系和相对独立的管理体系。

(一) 日本停车场的发展现状

由于日本人口密集、车辆较多、道路条件较差，其从20世纪50年代开始通过政策引导、法制管理、技术创新等手段促进停车场建设与停车管理，其主要措施包括以下三点。

1. 制定促进停车场建设的相关优惠政策

①明确停车场建设的主体是民间机构，对私营及半民营停车场建设给予一定的财政补助，鼓励民间资金投入停车场的建设；②通过公路开发资金、银行特别利率融资、日本电信电话公司 (NTT)

股票销售收入等手段对民建停车场建设提供低息贷款；③对停车场建设的相关税收如建设税、企业所得税等实行不同的减免规定 [6]。

2. 健全的法律规范了停车场建设与管理秩序

如表 1 所示,日本停车建设相关的法规较完善,具有全面细致的特点,基本涵盖了停车场建设与停车管理的全部内容,同时其出台时间较早并适时进行修订,使日本停车场建设与管理的规范性和有序性得到有力保障 [6]。

3. 因地制宜发展地下停车场建设技术

①主张推广立体机械车库。日本是最早应用机械式车库的国家之一,其在 20 世纪 60 年代初就开发并使用可最大限度地利用空间的机械式停车设备,截至 2014 年,日本机械停车位共计 296 万个;②积极倡导“小而分散”的原则,鼓励经营者合理利用空间建设小规模停车场,部分停车场只有两三个车位,主打灵活便捷;③提供完善的停车场指南和停车诱导系统,减少不必要的探路行驾和路面停车,提高已有停车场的使用效率 [7]。

(二) 欧美停车场的发展现状

随着汽车交通量的增加,停车以及相关的问题日益严重,欧美许多国家也采取了多种多样的停车政策来改善停车问题,这些政策、措施甚至涉及城市规划以及城市交通结构合理化 [8]。其典型经验如下。

1. 增加停车场容量,减小供需矛盾

停车场建设初期,欧洲城市主要通过街道放置临时停车板的方式为短时间停车创造条件,但后来发现该法会降低道路通畅性,各国相继取消该措施 [8]。停车场建设中后期,各大城市主要通过建设立体化、机械化的停车场来适应停车需求的发展 [9]。

2. 完善法规,明确停车场建设者义务

美国部分城市通过实行利益课税制度,要求新建停车场服务范围内的企业、不动产的所有者负担一部分停车场建设费用,以此促进地区内的停车场

建设 [3]。

3. 加强对各种停车场的管理

英国拥有世界上最复杂的停车管理体系,也是世界上停车管理最成功的国家之一。英国赋予停车管理机构 GLC (Greater London Council) 具有强制性权利,在交通量不断增加的城市中心部,通过管制停车场达到抑制汽车交通量,促进使用公共交通方式的目的。主要做法包括:①对不同区域设置不同停车时限,通过采取时间累进制费率政策(对长时间停车者征收比短时间停车更高的费用)及严格执法来保证车位网络的高效运转 [9];②通过设置配建停车场规模的上限、动员私有停车场的所有者将其停车场向公共开放、对于现有的私有停车场课税以促使其转向公共停车场等手段加强对非公共停车场的管理。

4. 利用停车政策促进城市交通结构调整

到了机动化中期,城市中心区停车设施的发展已从大兴土木的建设阶段转入强化管理的完善阶段,停车场作为交通系统的子系统,不仅是一个静态交通供应问题,更是一个“以静治动”的重要手段,停车政策逐渐被作为整个城市规划、交通政策的一部分加以利用,促进城市交通结构的调整 [9,10]。主要做法如下:①通过有偿使用限制路上停车,提高道路通行能力;②通过步行街实现人车分离,实施边缘地带停车,控制城市中心车流量 [9];③通过建设停车换乘 (P&R) 停车场,利用换乘方式促进机动车交通需求向大量运输的公共交通方式转移,调整城市交通结构 [8,9]。

(三) 新加坡停车场的发展现状

新加坡是一个高度发达的国家,国土面积小,人口密度高,但是却没有严重的停车问题,其解决停车问题主要是从供需两方面入手。

1. 供给方面

①在城市密集地段,利用先进智能的停车网络,发展立体化停车系统,确保公共停车场容量满足需

表 1 日本停车场建设相关法规一览表

法规名称	实施时间 / 年	主要内容
《停车场法》	1957	规范各种类型的停车场建设与经营管理的法规
《车库法》	1962	规定在车辆登记时必须提供停车位证明,对车辆在出发地的停放实行严格管理
《道路交通安全法》	1960	通过路面计时停车带设置与管理,严肃统一惩罚乱停车现象

求；②停车位实行“只租不售”政策，公共住宅楼、私人公寓楼和商业服务区内都不设置单个固定的租车位，停车实行“先来先停，有空可停”的做法，提高停车位的利用效率 [6]。

2. 需求方面

新加坡政府不鼓励百姓买车，每年高达数万元的养路费用使百姓买得起车但用不起车，因此有车族是少之又少，从源头上控制停车需求。

四、城市地下停车场建设管理模式

(一) 投融资模式

地下停车场数量巨大，所需建设资金也较大，建设停车场时，应结合城市停车场建设的自身特点，按照建设多元化，管理属地化和统筹、一体、集约的思路，不同的停车场建设项目应采取不同的模式。目前国内城市修建地下停车场主要有政府直接投资、政府与民间共同投资和政府管制下的民间投资三种模式。由政府与民间共同投资或民资独资建设的停车场的主要融资模式有建设-运营-移交 (BOT)、建设-移交 (BT)、移交-运营-移交 (TOT)、移交-建设-移交 (TBT)、政府和社会资本合作 (PPP) 模式等几种。

一般来说 PPP 模式适用于建设公益性停车设

施，可以按照公私合作模式，吸引社会投资人参与，特许经营期一般不超过 30 年，内部收益率一般不超过 8%，若实际收益低于目标收益时由政府提供支持。其他经营性停车场建设，则可以采取市场化方式建设，鼓励通过 BOT、BT 等方式通过公私合作进行投资、建设和经营停车设施。停车场 PPP 项目的运作流程可参考泸州市第二批城市停车场 PPP 项目，如图 3 所示，在通过采购方式确定社会资本方后，由设立的项目公司完成各停车场项目的前期审批手续、勘察设计、工程建设等工作，项目建设完成并验收合格后，由项目公司按照相关规定对停车场进行收费运营管理，并负责停车场的卫生清洁、检修、主要构件结构的保养维护，在 30 年项目特许经营期满后，项目公司应无偿将项目资产移交给项目实施机构，项目公司清资核产后注销，项目合作终止。

(二) 建设用地获取方式

在地下停车场建设的过程中，取得建设用地是关键问题之一。一般要考虑以下几种情况：①新建项目配套建设地下停车场，其土地及产权按照新建项目的主体性质划分，采用出让形式的，不额外收取土地出让金；②已建项目扩建地下停车场，按照已建项目性质确定，主体是划拨方式的则地下停车

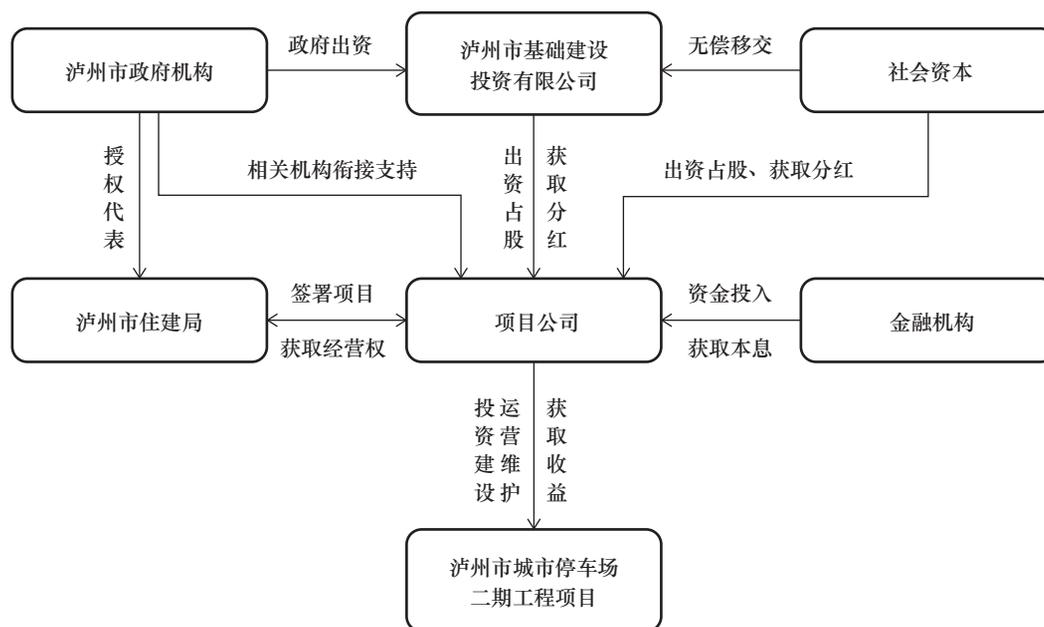


图 3 泸州市第二批城市停车场 PPP 项目投融资结构图

场用地也按照划拨方式获取；③政府主导新建公共停车场，由地方政府协调国土部门购地，财政拨款，地方国有投资公司投资。采用公私合营 PPP 模式新建的停车设施，可按照“政府出地、市场出资”的公私合作模式，吸引社会投资人参与；④其他地下停车建设用地，一般采用招标、拍卖、挂牌等方式供地。

（三）运营管理

在停车场管理方面，建议发展智能地下机械停车场，通过建设部署统一停车位编码及车辆地磁感应装置、车载智能终端、北斗高精度地基增强定位技术、无线智能停车收费管理终端、智慧停车系统、自动识别车牌、面向用户的手机 APP 应用等高新技术的应用，汇集停车场（位）的基本信息、管理信息、运营信息，借助互联网、物联网、大数据等信息化、网络化技术手段，建立一个智能停车管理服务平台，实现城市级停车场互联互通和车辆统一管理、智能监督管控、电子支付以及涉事数据共享等 [5]。在“互联网+”盛行的情况下，推动停车场智能化和信息化管理是用互联网的思维对传统停车行业进行管理升级乃至盈利模式的变革，可以有效提高停车资源的使用效率，缓解城市停车难问题。

在停车管理上，建议推行限时停车制度，通过停车计时收费、增加违章停车处罚力度、限制路边停车等手段，使部分车主改乘公共交通工具，以减少机动车对停车场的需求。在交通流量大的路段严禁停车，对大城市来说是非常必要的。与国外管理法规的实施相比，在处罚的严格程度和条款的细化公正方面，我国还有着不小的差距，在此建议政府尽快将停车问题纳入立法管理轨道，保障停车资源的合理使用。

五、地下停车场分类与选型

地下停车场按不同的方式可以有不同的分类。根据其服务人群的不同可分为公用型和专用型，根据与地面建筑的位置关系不同可分为单建式和附建式，根据其使用的方式不同又可分为坡道式和机械式，另外还可以根据停车的规模以及防火的要求不

同进行分类 [7]。

在城市地下停车场的类型中，机械式地下车库是自动化程度、土地利用率高的一种，具有布置灵活、停车密度大等众多优点，是城市停车设施发展的新方向。地下机械式停车场有不同形式，主要类型有垂直升降类、车位循环类、巷道堆垛类、升降横移类等几种 [11]。

（一）垂直升降类地下机械式停车场

垂直升降类地下机械停车设备一般以两辆车为一个层面，每层停放两辆车，通过层数的叠加来增大库容量，一般可达 20~25 层。该类停车场常见的形式是建造在地上的塔式立体停车场，它占地面积小，是所有机械停车设备类型中土地利用效率最高的 [7,11]。

圆筒型地下停车场的建筑平面为圆形，它主要是通过增加设备中每层车位数量来减小层数，对一般停车场进行改造，使其更好地运用到地下空间中。如图 4 所示（图片来源：广州四季快安智能停车场有限公司），圆筒型地下停车场可设计成单圆或多圆组合形式，中心圆形区域为运输通道，周围圆形区域为存车位，每个存车位为扇形，出入口设置在地面，可根据需要随意选择不同角度。该类型的停车场一般只需要直径 20 m 左右的面积，占地面积小，容量大，存取车时间短，是解决目前老旧城区及城市中心停车难问题的一种切实可行的方案。

（二）车位循环类地下机械式停车场

车位循环类地下机械式停车场不需要为存取车的机械装置和车道留出空间，是机械式停车场中对空间的利用率最高的 [7]。如图 5 所示，其根据使用设备的不同可分为水平循环类和多层循环类两种。

（三）巷道堆垛类地下机械式停车场

该类停车场主要通过堆垛机等机械设备，带动车辆在专用通道上进行水平和垂直运动，将车辆运送到车位处或出入口。该类停车场内部需留有堆垛机运行的空间，空间的利用率较循环类停车场低，但运行速度比它要快，适合建造成较大型的停车场 [11]。为提高土地利用效率，该类停车位也为多层布置，其平面及剖面如图 6 所示。

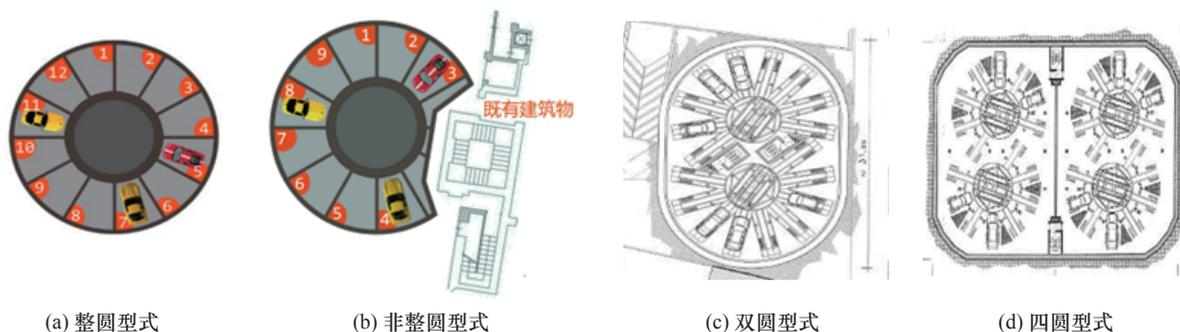


图4 圆筒型地下停车场的类型

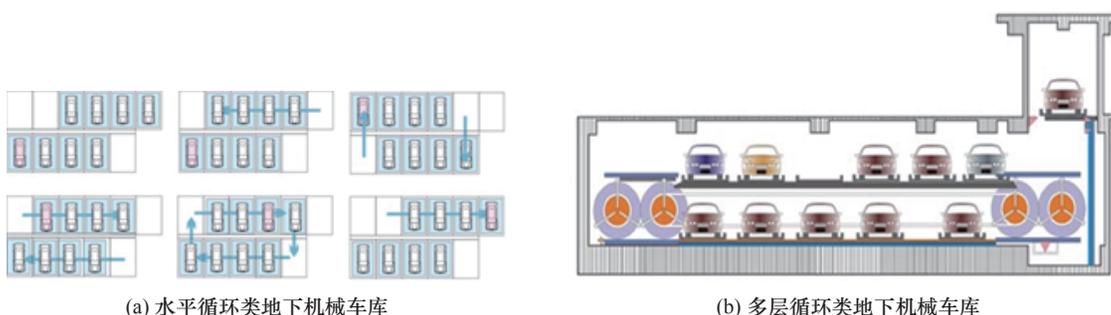


图5 车位循环类地下机械式停车场的类型

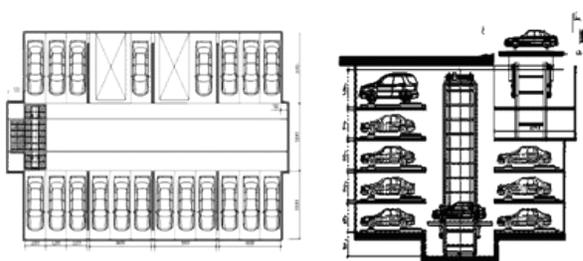


图6 巷道堆垛类地下机械式停车场

(四) 升降横移类地下机械式停车场

该类停车场多采用多层多列的布置方式，在顶层均设置一个空位，当需要取车时，其他车辆向空位方向横移一个车位的距离，使得车位下方形成一个升降通道，从而实现对该车辆的存取 [7]。升降横移类立体停车设备结构相对简单，可实现模块化设计，拥有性价比高、适应性强、技术成熟、可靠度高等优点，是我国目前地下机械式立体停车设备中使用最多的类型，如图 7 所示。

地下机械式停车场的选型要考虑车辆的规格、停车场容量、服务半径、管理与收费等因素，按照适量化原则、可靠性原则、人性化原则选取最合适的停车场类型。地下空间较大时可以采用巷道堆垛式、升降横移式，地下空间竖长则可以采用垂直升



图7 升降横移类地下机械式停车场

降式，地下空间狭长则采用水平循环式，对普通停车场机械化改造则采用简易升降设备 [12]。

六、城市地下停车场规划设计技术

(一) 地下停车场规划要点

城市地下停车场是城市中重要的节点，即连接着城市动态静态交通，同时又协调城市的规划和发展，对城市交通流量和流向起着重要的调节作用，故应重视城市停车场规划，使之发挥促进和引导城市发展的作用。结合我国停车场建设调研情况，对

我国地下停车场规划提出以下几点建议。

1. 根据停车需求, 科学新建、改建地下停车场

近年来随着机动车数量的快速增长, 各大城市也在加快停车场的建设步伐, 然而新建停车场常常规划在开发区、技术新区等区域, 从数量上增加了不少停车位, 实际却因利用率不高而起不到缓解城区内停车难的问题, 所以在制定规划和新建停车场时需要详细研究停车需求, 着眼于矛盾突出的地方, 如学校、医院、繁华商业区、居民区等, 根据其具体场地条件和功能分区主要分为以下4种情况。

(1) 核心区停车设施建设

重点解决行政功能聚集区和胡同停车难问题。具体措施如下: 利用简易升降设备、升降横移设备等机械对行政办公区自有停车设施进行改造扩容; 灵活利用边角地建设简易机械式停车设施解决胡同停车难问题; 利用周边公共设施、城市绿地的地下空间科学合理建设立体化地下机械停车设施。

如图8所示, 北京车辇店胡同采用下沉式立体停车场方案, 停车库为四层结构, 总停车位有193个。

(2) 医院停车设施建设

重点挖掘医院自有空间资源建设停车设施。如充分利用周边公共设施和城市绿地的地下空间规划建设圆筒型等地下机械式立体停车库。

(3) 世界文化遗产周边停车设施建设

重点加强商业、景点周边停车设施管理, 控制小汽车停车需求, 鼓励公共交通出行。结合世界文化遗产周边公交场站立体化改造, 兼顾旅游大巴停

车功能, 适度满足旅游停车需求。

图9为北京南锣鼓巷地下自动升降停车场, 改造后的停车场为6层结构, 可提供74个车位, 地下停车场面积近2000 m², 而在地面上看占地只有100 m²左右, 与原有古巷街貌相符合。

(4) 居住区停车设施建设

既有居住区配建停车设施不能满足停车需求的, 可挖掘居住区内部平面停车设施等自有公共空间或边角地, 建设小型简易机械式立体停车设施或利用周边公共设施和城市绿地的地下空间建设井筒式立体停车场。

此外, 在公共交通枢纽站换乘站、体育馆图书馆医院等办事场所、5000 m²以上的商场娱乐等经营场所, 停车场建设不足的应及时改建、扩建或补建, 并且优先规划设计土地利用率高地下机械式停车场。

2. 对地下停车场进行分级规划

为了控制流向城市中心区的汽车交通量, 德国人比格在停车场规划时提出对停车设施进行分级的方法, 通过停车分级与换乘减少城市中心区车流量。比格将停车场设施分为三级, 在城市中心区的四个角各布置一个大型的可长时间停车的停车场, 且配建有大型的公共交通工具换乘站, 驾车人可以通过乘坐公共交通工具到达城市中心。在中心区的外围建设一条环形道路。一些车辆由高速公路驶入环城公路后, 可以将车辆停放在环城公路内侧的停车场, 这里的停车场为中间型(既有长时间停车场, 也有短时间停车场)[12]。少数需要短时间进入城市中心的车辆可以通过环路的辅路进入, 同样在辅路终点处设有短时间停车场, 停车后可以步行进入城市的核心区。这种布局还考虑了在城市核心区的左侧



图8 北京车辇店胡同立体停车场



图9 北京南锣鼓巷地下升降停车库

设立一个次中心，在次中心两端高速路外侧设置两个大型的可长时间停车的停车场 [13]。比格提出的停车场布局，如图 10 所示。

为减少城市中心区的交通流量，解决人流拥挤区域停车难的问题，建议在停车场规划时采取停车场分级规划原则，在城市中心区以外的公共交通枢纽附近、快速通道出入口附近、城市中心商业区等人流密集地区修建 P+R 地下智能停车场，并辅以低廉的收费和更加优惠的公共交通收费政策，促进停车换乘及公交优先的发展，减少城市中心区的交通流量，优化城市交通组织结构。

(二) 地下停车场设计要点

1. 地下机械式停车场结构设计

地下机械式停车场的空间设计包括柱网空间设计、剖面设计、出入口设计等几点内容 [7]。柱网空间设计应考虑机械结构运行间距、车辆尺寸等，结合不同结构尽量提高空间利用率；剖面设计时主要考虑车辆净高、机械运行方式等，如图 11 所示，单个车位基本参考尺寸为 5.05 m × 1.85 m × 1.55 m（长 × 宽 × 高）；出入口设计一般采用升降机提高存取车效率，同时注意与周边环境的协调，其尺寸应满足以下要求：宽度比所搬运汽车的最大宽度大 0.5 m

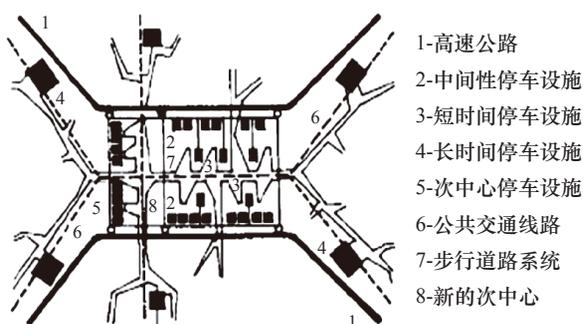


图 10 比格提出的停车场布局

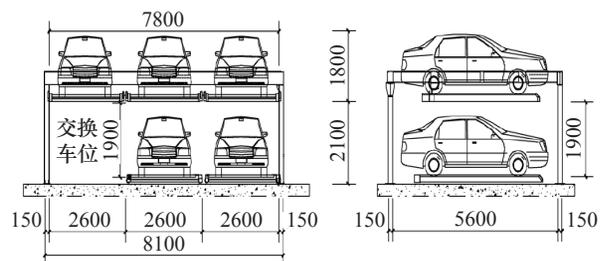


图 11 停车场空间设计示意图（单位：mm）

以上，且总宽度至少为 2.25 m，高度要达到 1.8 m 以上，且总高度至少要比适停车辆高度多 0.1 m [13]。

地下停车场主体结构及围护结构设计主要考虑结构的安全性与可靠性，根据实际工程条件选取合适的围护结构，一般常用的有地下连续墙、钻孔灌注桩等。

在地下停车场防排水、排烟设计时，应合理确定地下机械式停车场防水等级，减少施工缝变形缝等薄弱节点，严格做好防水措施防止机械结构腐蚀、渗水等问题出现。同时应设置好排烟系统，一方面排除尾气，另一方面能在火灾时排除烟气，保证事故及时处理减少损失。

2. 地下机械式停车场辅助设施设计

停车场管理的智能化设计。智能停车场的设计特点主要表现为：设备智能化，减少存取车时间；操作智能化，尽可能降低使用门槛，方便存取车辆；安全模式智能化，安装多项安全设置，保证车辆与人员安全；监控智能化，避免误取盗失等现象发生；维保智能化，智能检测设备运行状态，减少维修管理；管理系统智能化，形成集成了计时、收费、状态信息等功能的智能系统 [12,13]。

停车交换技术。停车交换技术是指车辆自动从移动轨道上进入对应停车位的技术，不仅影响停车的速度，同时还会影响停车空间的设计，以及停车设备的可靠性。停车设备的交换技术可以分为两大类：有载车板的交换技术和无载车板的交换技术，应根据工程实际情况选取并改进。

停车控制系统。地下机械式停车场停车控制系统包括车辆感应系统、自动存取车辆系统等，是机械式停车场自动化的重要组成部分，在运行、维护、安全等各个方面都扮演了极其重要的角色。目前机械式停车场一般采用可编程逻辑控制器（PLC）控制系统 [7]。

七、地下停车场施工技术

(一) 常用施工方法

地下停车场施工技术实质上是深大基坑的施工技术，可分为明挖法、盖挖法、沉井法等多种，具体的适用情况如表 2 所示。

在围护结构施工中，应根据工程特点、地质情况具体选择。地下连续墙适用于对变形、防水要求都比较高的基坑，可以用作主体结构一部分，但是

表 2 不同施工方法的适用情况

施工方法	适用情况
放坡明挖法	适用于场地条件比较开阔的基坑或沟槽，且基坑底位于地下水位以上 50 m，或经过降水以后边坡和基底具有良好自稳能力的地层
垂直明挖法	适用于建筑物密度较大，场地条件比较狭窄的基坑或沟槽，如基坑深度较大，地下水位高，地层基本无自稳能力，环境保护要求较高
盖挖法	适用于开挖面积相对较小，在路面交通不能长期中断的路面或者对居民生活影响太大时，修建基坑时可采用盖挖法
沉井法	适用于土质松软、摩擦力不大、下沉深度不深的地层，对周围土的扰动影响范围较小，特别适用于建筑物密集的城市区

造价较高；钻孔灌注桩造价相对较低，也具有较大的刚度，适用于深大基坑。

（二）井筒施工方法

圆筒型垂直升降类地下停车场由于其占地面积小、适用范围广、空间利用率高等优点尤其受到关注。此类停车场的地下结构就类似于一个井筒结构，因此还可以采用以下井筒施工方法：①当地层条件允许、场地较开阔时可以采用普通钻爆法开挖井筒；②在井筒深度较大、开挖场地条件允许的情况下可以采用机械钻井法，同时可以预制井壁，提高施工质量，缩短工期；③当地层含水量较大、存在淤泥流沙等不稳定地质条件时，可以采用冻结法，利用人工冻结技术，将井筒周围岩体冻结起来，然后开挖掘进。

（三）施工新技术、新工法

随着地下工程的不断发展，施工技术也不断出现新工法或者改良技术。①球体盾构施工技术。球体盾构可以完成竖向基坑的开挖，同时可以从竖井转向继续开挖，可以直接开挖出停车场所需的地下空间。同时具有环境影响小、结构稳定性高、节省工作量等优点；②“桩墙合一”技术。如图 12 所示，通过咬合桩、地下连续墙、沉井等技术将基坑支护的挡土、止水作用与地下车库的外围护功能三者结合起来的“三合一墙”结构，节能降耗显著，是可持续发展的基坑支护新技术，可以很好地利用在地下停车场的建设过程中。

八、结语

（1）在城市地下停车场的开发过程中，应提高已有停车场的使用效率、安全防范及管理水平
通过统筹城市动静态交通、合理引导区域交通



图 12 咬合桩形成的闭合圆筒结构

流量、完善城市规划，来提高已有停车场的利用率。利用互联网、物联网等技术，形成智能停车管理系统，通过智能预约、智能停车诱导、智能识别等功能，实现停车场集约化管理，同时提高安全水平。根据大数据获取区域停车需求、城市交通发展等数据来优化城市布局，促进城市科学健康高效发展。

（2）灵活处理建设管理及投融资模式

停车场的建设和管理按照建设多元化，管理属地化，设施智能化和统筹、一体、集约的思路，综合运用法律、行政、技术以及价格等多种手段，坚持政府引导、市场主导相结合。

（3）根据停车需求，因地制宜规划设计地下停车场

地下停车场应统筹地下空间特点、城市规划等内容进行具体规划设计，目前来说地下机械式停车场因其占地面积小、结构形式灵活、自动化程度高、安全可靠等多种优点，应该成为新建或改建城市停车场的优先方案。

（4）开发城市地下停车场时，选择合适施工方法，推进停车场产业化发展

根据工程环境合理选择明挖、暗挖等施工方法，

发展快速施工、预制结构装配化施工技术, 统一地下停车场的配套设施、机械结构、控制系统等内容, 形成完整产业链, 提高停车场建设效率, 推动停车场产业化发展, 带动城市经济发展。

参考文献

- [1] 王梦恕, 王永红, 谭忠盛, 等. 我国智慧城市地下空间综合利用探索 [J]. 北京交通大学学报, 2016, 40(4): 1-8.
Wang M S, Wang Y H, Tan Z S, et al. Exploration on the comprehensive utilization of underground space in China's smart city [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2016, 40(4): 1-8.
- [2] 祁娟. 丁丁停车: 打造静态交通生态圈 [J]. 运输经理世界, 2015 (21): 66-69.
Qi J. Tintin parking: To create a static traffic ecosystem [J]. Transport Business China, 2015 (21): 66-69.
- [3] 别牧. 重庆北部新区停车需求预测与停车管理策略研究(硕士学位论文) [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.
Bie M. Study on the prediction of parking demands and parking management strategy of Chongqing New Northern Zone (Master's thesis) [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2011.
- [4] 巩建国, 朱建安. 城市路内违法停车治理对策研究 [J]. 汽车与安全, 2015 (12): 104-107.
Gong J G, Zhu J A. Research on the governance countermeasure for illegal on—Street parking in urban road [J]. Auto & Safety, 2015 (12): 104-107.
- [5] 中华人民共和国发展和改革委员会. 关于加强城市停车设施建设的指导意见 [EB/OL]. (2015-08-03) [2017-09-12]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201508/t20150811_744943.html.
National Development and Reform Commission of the PRC. Guiding opinions on strengthening the construction of urban parking facilities [EB/OL]. (2015-08-03) [2017-09-12]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201508/t20150811_744943.html.
- [6] 董苏华, 章超汉. 部分国家及地区停车问题研究 [J]. 国际城市规划, 1999 (4): 37-41.
Dong S H, Zhang C H. Study on parking problems in some countries and regions [J]. Urban Planning Overseas, 1999 (4): 37-41.
- [7] 王辉. 机械式立体车库的特点研究及其应用(硕士学位论文) [D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
Wang H. The research and application of solid machinery garage (Master's thesis) [D]. Changsha: Hunan University, 2008.
- [8] 于守静, 阴炳成, 刘志鹏. 国内外静态交通发展政策研究 [J]. 城市, 2011 (9): 89-91.
Yu S J, Yin B C, Liu Z P. Study on the development of static traffic at home and abroad [J]. City, 2011 (9): 89-91.
- [9] 关宏志, 任军, 姚胜永. 发达国家机动化早中期的城市停车对策 [J]. 城市规划, 2002, 26(10): 81-84.
Guan H Z, Ren J, Yao S Y. The urban parking policy at the early and middle period of motorization in the developed countries [J]. City Planning Review, 2002, 26(10): 81-84.
- [10] 朱德勤. 中等城市静态交通管理问题与对策——以金华为例(硕士学位论文) [D]. 杭州: 浙江师范大学, 2009.
Zhu D Q. Problems and solutions of static traffic management in medium-sized city take Jinhua as an example (Master's thesis) [D]. Hangzhou: Zhejiang Normal University, 2009.
- [11] 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.
Wen Q Y, Lu L Q. A Review of the present situation and development of stereo garage at home and abroad [J]. Logistics Engineering and Management, 2016, 38(7): 159-161.
- [12] 沈雷洪. 立体停车场规划设计——集约化用地模式下的停车规划探讨 [J]. 交通与运输, 2016 (z2): 112-116.
Shen L H. Stereoscopic parking planning—Discuss intensive land use mode of parking planning [J]. Traffic & Transportation, 2016 (z2): 112-116.
- [13] 张秀媛. 城市停车规划与管理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
Zhang X Y. Urban parking planning and management [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006.