

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.03.003

浅析地下智能停车库的系统设计

冯大权

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 论述了一种基于城市道路地下空间开发的集约型地下智能停车库的主要设计要点和关键技术,该种形式的停车库能作为城市公共车位配建不足的补充,较好地缓解了城市静态交通问题。分析了集约型地下智能停车库的主要构成,以及不同智能停车模式车库空间利用率、经济性、存取车行程时间、排队等候长度等,从科学角度给出了该类车库的适用范围及建设建议。

关键词: 静态交通;地下空间;集约型;智能;停车库

中图分类号: U491.7+1;TU921

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)03-0009-04

0 引言

随着城市机动车保有量持续增高,停车位供需矛盾越发突出,尤其是一些老旧城区,既有的配建停车位严重不足,又无多余土地来新建停车场库,车位供给与需求的矛盾已成为城市静态交通的一个痛点。加快推进停车设施建设、缓减停车供给不足,是解决城市静态交通问题的关键所在,同时停车设施建设也是城市复兴与发展的重要基础设施保障。2015年8月国家发改委等7部委颁布了《关于加强城市停车设施建设的指导意见》^[1-2]后,各部门、各地方持续出台相关政策指导文件,鼓励智能化、集约型立体停车库建设,充分挖掘空间资源,引领城市停车设施建设与管理在“新基建”趋势下向集约化、智能化、网联化、无人化的新方向发展^[1-2]。

随着近几年城市停车场建设模式的探索,一些新的建设模式应运而生。如在规划配建指标的基础上补充配建部分公共停车位、既有地下空间改造成停车库、产权单位院内空间建设立体停车楼、利用城市市政道路地下空间开发建设地下停车库、与城市地下市政设施结合开发地下停车库等。

本文论述了一种利用城市道路地下空间开发建设的集约型地下智能停车库的关键技术。智能地下立体车库具有占地小、集约、适应性强、综合经济指标良好等特点,同时自动停车系统、智慧互联的停车网络可实现预约取车并保证高效率停取车。该类型

的地下停车场能够很好地满足大中型城市的建造需求,模块化的设计便于作为一种新的模式进行标准化建设和推广。

1 集约型地下智能停车库的主要构成

利用城市道路地下空间开发的集约型智能停车库的构成主要包括^[3]:

(1)车库主体:车库主体位于城市道路下方,主要包含停车区域、车辆搬运通道区域、设备房。

(2)车库垂直通道:车库垂直通道位于车库主体的纵向一端或两端,主要用于连通地上与地下,通过垂直升降梯搬运机动车进出库。同时设置检修楼梯,用于人员进出对车库进行管理和日常维护。垂直升降机根据车库所服务的地块高峰小时到达车辆及停车设备的服务效率进行设置。可以为两端各1个,同时具备进出功能;或者两端各2个,1进1出布置。同时在管理上可以根据停取车的潮汐性,在进出功能上进行分时段调整。

(3)地面港湾式泊车点:停取车泊车点设置于市政道路一侧或两侧,车行道与人非道之间,由停取车泊车房、等候区、车辆排队区组成,按港湾式站点设计。泊车房设置于车库主体的纵向一端或两端,用于车辆进出;车辆从城市道路进入泊车房,车行流线按港湾式停靠站流线设计。等候区主要用于出库车辆驾驶员取车出库时排队等候。车辆排队区在市政道路外侧进行渠化设计,主要为高峰时段停车时等候车辆的排队空间,避免等候车辆占用主线道路,导致交通拥堵。

集约型车库主体的纵向与地面道路的横向一致,

收稿日期: 2023-03-28

作者简介: 冯大权(1979—),男,硕士,高级工程师,副总工程师,从事地下空间工程规划设计研究与咨询工作。

纵向长度与地面市政道路宽度一致,可根据一定模数按模块化扩展。可扩展的模块化设计也为该类型的车库在建造上采用预制拼装技术和大规模工业化生产提供了可能。

地下停车库主体层高按单层停车或多层停车确定,顶板覆土厚度根据道路市政管线高程确定,车库底板顶面标高不宜超过-10 m。以3 m覆土厚度为例,单层停车车库层高约3 m,双层停车车库层高约5.8 m,每增加1层,层高增加2.8 m。

地下智能停车库平面布置图和立面示意图见图1、图2;地面港湾式泊车库平面布置图见图3。在图1至图3中:1为地面道路;2为车库底板;3为车库侧墙;4为车库通道;5为停车区域;6为逃生检修梯;7为泊车升降梯;8为设备机房;9为等候区;10为集水井。

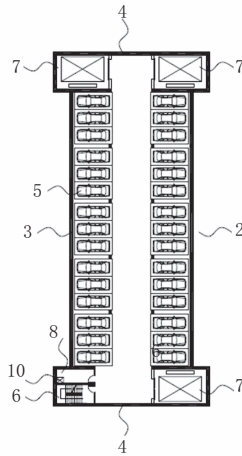


图1 地下智能停车库平面布置图

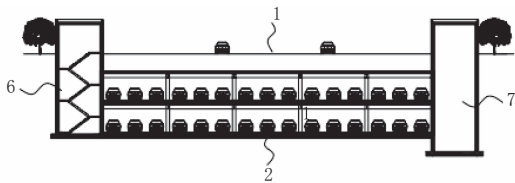


图2 地下智能停车库立面示意图

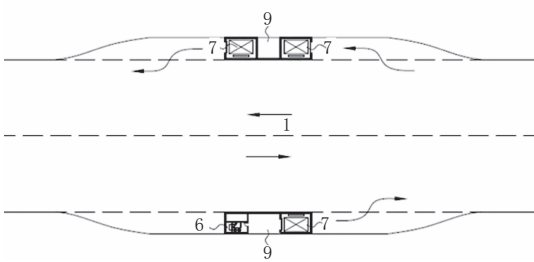


图3 地面港湾式泊车库平面布置图

2 地下智能停车库设计关键技术

2.1 停车效率与交通影响分析

车库停车效率与车库停车位规模、存车小时到达量、出入口设置数量及自动搬运设备的效率相关。

由于车位进出口设置于城市道路两侧,车库产生的交通吸引量、进库排队等候车位数将对城市道路的交通产生一定影响,设计时应充分论证。左为恒等^[4]以堆垛机类停车设备为例,应用排队论^[5]对立体车库的排队和运行效率进行了分析。笔者以排队论为理论基础,对新型的智能存取车系统进行分析对比,给出各类型存取车系统服务效率的各项指标,为智能停车库系统的设计提供依据。

根据排队论,泊松流事件具有稀有性、无后效性和平稳性这3个基本特征^[4]。集约型智能停车库车辆到达过程满足泊松流事件的特性。车辆到达的时间间隔近似服从负指数分布,同时由于智能停车库存取车位位置的随机性,智能停车库完成存取车所需的服务时间也近似服从负指数分布^[4]。

在集约型智能停车库存取车排队等候系统中,车辆排队等候存车和车库接受车辆存取的车库效能与下列几个指标相关^[4]:

- (1)车辆到达率 λ (辆/s),即车辆到达的时间间隔为 $1/\lambda$ 。
- (2)智能停车设备的服务速率 μ ,即每台车接受智能设备的服务时间为 $1/\mu$ 。
- (3)一般到达车辆需排队等待的概率 P_b 。
- (4)车库某个出入口车辆等待排队进库的平均排队长度 L_q 。
- (5)出入口升降机数量 s 。

车辆到达时全部升降机空闲的概率 P_0 为^[4]:

$$P_0 = \left[\sum_{i=0}^{s-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^s}{s!} \left(\frac{1}{1-\rho_s} \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

式中: i 为接受服务的排队等候车辆数; ρ 为配置 s 台升降机的车库的服务强度; ρ_s 为单台升降机的服务强度。

当车辆等候进库时,只有当接受服务的排队等候车辆数 i 大于车库升降机配置数量 s 时,才会出现车辆排队等候的情况^[4]。等待服务车辆的平均排队长度 L_q ^[4]为:

$$L_q = \frac{\rho^{s+1} P_0}{s! s (1-\rho_s)^2} \quad (2)$$

升降机的利用率 ρ_s ^[4]为:

$$\rho_s = \frac{\rho}{s} = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (3)$$

等待服务车辆与正在接受服务车辆构成的排队等候总长度 L_a 为:

$$L_a = L_q + \rho_s \quad (4)$$

当升降机的利用率 ρ_s 大于1时,升降机的服务速率小于车辆到达率,到达车辆将一直处于等待状态,导致排队长度无限延长,实际驾驶员会因为等待时间太长而放弃停车。因此在设计该类车库时,应充分调研车库对交通的吸引力,通过配置升降机数量来达到高峰时段升降机的利用率 $\rho_s<1$ 。

本文以存取车平均用时 t 分别为75 s、90 s、120 s、150 s这4种服务效率,升降机设置1台、2台共8种工况,在高峰小时到达量为10~70辆的情况下,通过不同的到达率 λ 、智能停车设备的服务速率 μ 、停车车库配置的升降机数量 s ,来研究不同工况下的停车排队等候总长度 L_a 。

以设置2台升降机,设备存车平均用时为90 s,在高峰小时到达量为50辆时的排队等候总长度计算为例。

根据公式(1)~(4),当 $s=2, \lambda=50/3\ 600, \mu=1/90$ 时,则升降机的服务强度 $\rho=\lambda/\mu=50\times90/3\ 600=1.25$;升降机的利用率 $\rho_s=\lambda/(s\mu)=0.625<1$ 。

全部升降机空闲的概率 $P_0=0.231$;等待服务车辆的平均排队长度 $L_q=0.801$;排队等候总长度 $L_a=0.801+0.625=1.426$ 。

从表1和图4可以看出,该类车库存车效能与智能设备存车平均用时、升降机的数量和高峰小时车辆到达量相关。

表 1 升降机服务效能对比指标(L_a)														
升降机数 量 s / 台	存车平均 用时 t / s	高峰小时到达量 / (辆·h ⁻¹)												
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
1	75	0.263	0.455	0.714	1.087	1.667	2.692	5.000	15.000					
1	90	0.333	0.600	1.000	1.667	3.000	7.000							
1	120	0.500	1.000	2.000	5.000									
1	150	0.714	1.667	5.000										
2	75	0.106	0.164	0.227	0.298	0.380	0.476	0.592	0.733	0.909	1.133	1.426	1.823	2.385
2	90	0.129	0.201	0.283	0.380	0.498	0.645	0.833	1.083	1.426	1.920	2.679	3.969	6.592
2	120	0.176	0.283	0.417	0.592	0.833	1.185	1.733	2.679	4.621	10.562			
2	150	0.227	0.380	0.592	0.909	1.426	2.385	4.621	14.546					

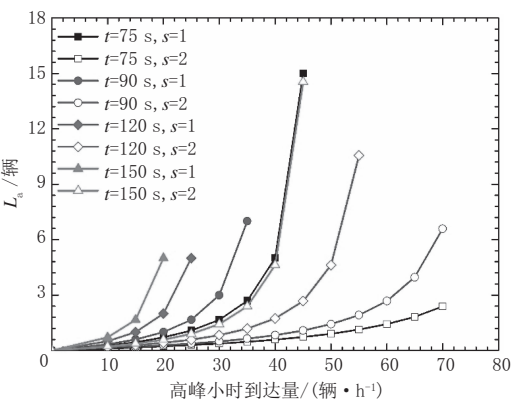


图4 高峰小时到达量与排队等候总长度 L_a 的关系

在管理上可以通过交叉存取车和连续存取车模式的切换,在存取车高峰时段采用连续存取车模式,在存取车平峰时段采用交叉存取车模式。高峰时段采用连续存取车模式,可以让存车流线与取车流线分离,达到顾客等待时间最短的效果。平峰时段采用交叉存取车模式,可以降低载车板空载的概率,提高设备的利用效率^[6]。

2.2 不同智能设备停车空间利用效率分析

随着停车产业的发展,各种全自动停车设备应运而生。传统全自动机动车停车设备主要有以下几

种:平面移动类、垂直升降类、巷道堆垛类、垂直循环类、水平循环类和多层循环类等^[7]。近几年随着智能控制技术的发展,一些新型的智能停车设备逐渐在智能停车库得到应用,其中自动引导搬运机器人AGV系统、基于并行工作逻辑运行的SSP智能停车系统是目前采用较为广泛的新型智能停车设备系统。针对道路地下空间开发的集约型停车库的特点,选用AGV系统和SSP系统作为主要的智能设备系统。AGV系统通过平面移动的自动搬运机器人,实现停车位车辆与升降机的衔接。SSP系统通过平面所有停车位设置相同的动力单元,运用并行工作逻辑原理,通过动力单元前后左右的移动,实现停车位车辆与升降机的衔接。这两种类型的智能停车设备均适用于构建立体智能集约型自动停车库。对这两种系统,笔者针对利用道路地下空间开发的集约型停车库的平面特点,就空间利用效率、经济性进行对比分析,为决策与设计提供依据。

机械式停车库以不大于100辆停车规模为一个防火分区^[8]。本文选取的对比案例以纵向柱距8.4 m、横向柱距6.8 m,车库主体纵向4跨、横向3跨,2层

停车布置。纵向两端布置升降机房及附属设备间。
2种停车库的平面布置见图5、图6。

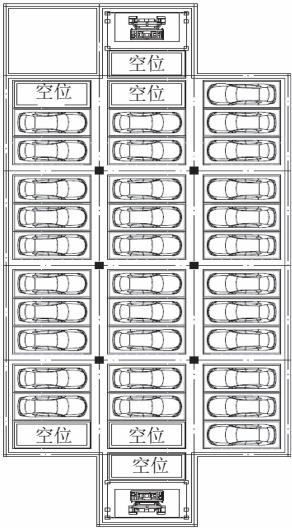


图5 SSP停车库布置平面

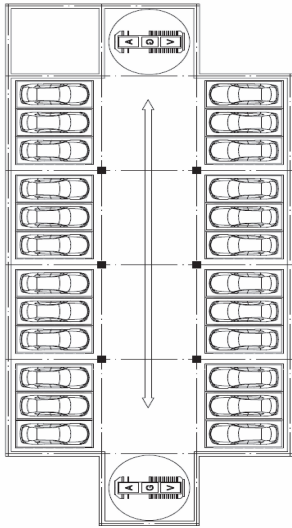


图6 AGV停车库布置平面

2.2.1 车库空间效率分析

车库空间效率分析通过车库建筑面积与所提供的车位数作为主要评价指标。不同智能停车设备空间利用率对比见表2。

表2 不同智能停车设备空间利用率对比					
停车系统	车库主体 面积 /m ²	升降机房 面积 /m ²	附属设备间 面积 /m ²	车位数	单车位 面积 /m ²
AGV 系统	685	84	42	64	19.3
SSP 系统	685	84	42	48	12.7
传统自走 车库					35~40

2.2.2 单车位经济性分析

不同智能停车设备单车位经济性对比见表3。
经济性指标按单平米综合造价经验值进行估算。一般工程经验认为基于地质条件、地下水位与抗

表3 不同智能停车设备单车位经济性对比

停车系统	单车位 面积 /m ²	土建综合 单价 /(元·m ⁻²)	单车位设备 费用 /万元	单车位综合 单价 /万元
AGV 系统	19.3	7 000	4	17.51
SSP 系统	12.7	7 000	8	16.89
传统自走车库	35~40	7 000	0	24.5~28

震设防烈度等的不同,车库类地下结构单平米综合造价约6 000~8 000元/m²,估算时取中间值7 000元/m²;停车设备费用中,AGV系统单车位约4万,SSP系统单车位约8万,设备系统主要包含钢结构支架、控制系统、搬运设备等的费用。

由表2、表3对比可知,智能集约型停车库的空间利用率和经济性大大优于传统的自走车库。同时智能车库与传统自走车库相比,减少了寻车环节以及在进库与出库时车辆怠速状态和运行状态下的碳排放量和污染物排放量,具有节能减排的作用。

3 结 语

(1)本文提出了一种利用城市道路地下空间开发的智能停车库产品概念,对地下智能停车库构成、智能停车库的设计关键技术进行了分析研究。该类型的车库能作为城市静态交通扩容的一种模式,增加城市停车位的供给,空间利用效率与经济性优于传统的自走式车库,且不占地面土地指标。

(2)本文给出了该类型车库停车排队长度的理论计算公式,为车辆等候区域的预留空间设计提供依据。决策与设计时可通过调研车库服务地块的高峰小时到达量、智能停车设备的存车时长,进而确定升降机的设置数量、港湾式泊车站点高峰时段停车排队等候长度等关键技术指标。

参考文献:

[1] 建城〔2016〕193号. 关于进一步完善城市停车场规划建设及用地政策的通知[Z].北京:住房和城乡建设部、国土资源部,2016.
[2] 发改基础〔2015〕1788号. 国家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[Z].北京:国家发展和改革委员会,2015.
[3] 冯大权,梁炜,黄卫挺,等. 一种利用城市道路地下空间开发的集约型车库:CN111663818A[P].2021-09-29.
[4] 左为恒,江代君. 立体车库的排队与效率分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2015,34(增刊): 113-117.
[5] 陆传贵.排队论[M].北京:北京邮电学院出版社,1994.
[6] 华文瀚,田怀文.堆垛式立体车库存取车策略及路径优化问题的分析研究[J].机械设计与制造,2011(3): 260-262.
[7] JGJ 100—2015,车库建筑设计规范[S].
[8] GB 50067—2014,汽车库、修车库、停车场设计防火规范[S].