

公共汽车立体综合车场调度模式研究

覃鹏, 肖亮, 陈建凯

(深圳市城市交通规划设计研究中心有限公司, 广东 深圳 518021)

摘要: 公共汽车立体综合车场(以下简称“立体车场”)能有效应对城市用地日益趋紧的困境, 同时契合公共交通优先发展的战略需求。有必要研究总结立体车场的调度理论与方法, 以解决立体车场调度中可能面临的问题。首先, 总结立体车场的现实意义与调度研究现状。其次, 分析立体车场的主要特征、要素构成以及规模测算。再次, 基于立体车场的调度逻辑与调度特征, 划分不同的调度模式并分析其适用性。最后, 通过对实际案例进行调度流线方案分析, 初步验证不同调度模式的适用情景。结果表明, 异层分发模式总体优于同层集发模式。

关键词: 公共汽车; 立体综合车场; 调度模式; 同层集发; 异层分发; 调度流线

Scheduling Strategies of Function-Integrated Depot for Buses

Qin Peng, Xiao Liang, Chen Jiankai

(Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518021, China)

Abstract: The tridimensional function-integrated depot for buses (FID in short) can effectively deal with the dilemma of the increasing reduction of urban land use, and it suits the strategy for prioritizing public transit development well. It is of great significance to explore feasible theory support and method guidance in scheduling FID to solve the relevant problems. By briefly summarizing the existing dispatching mode of FID and the significance of developing such a strategy, this paper analyzes the main characteristics, element composition and scale forecasting of FID. Based on the operating features of parking depots, the paper discusses the dispatching mode and their applicability. Finally, the applicability of different dispatching modes are demonstrated through analyzing different scheduling strategies in a real-world case. The result shows that dispatching in different floors is generally effective than dispatching in the same floor.

Keywords: bus; tridimensional function-integrated depot; scheduling mode; dispatching in the same floor; dispatching in different floors; scheduling line

收稿日期: 2019-09-22

作者简介: 覃鹏(1992—), 男, 贵州毕节人, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 交通运输系统规划设计与控制、交通安全、非机动车交通。E-mail: qinpeng@Sutpc.com

0 引言

公共汽车立体综合车场(以下简称“立体车场”)作为公共汽车服务的配套设施, 是进一步完善城市公共汽车系统的重要突破口, 其发展的现实意义主要体现在两个方面:

1) 助力城市用地集约。传统的公共汽车车场站以平面式布置为主, 占地面积大。鉴于城市用地日趋紧束的现实困境, 部分省市提出建设立体停车场, 系统性解决公共汽车运营中存在的停车、维保、充电等问题^[2-6]。例如深圳市开展有关立体车场建设研究, 并

在建设中国第一个新能源立体车场——月亮湾综合车场^[5-6]。通过建设立体车场, 可在有效降低车均占地面积的同时提供更多停车位及相关服务功能, 助力实现城市用地集约化。

2) 完善公共汽车设施配套。不断增加的公共汽车要求同步提升配套设施的服务能力, 发展立体化的公共汽车场站实为当前关键举措之一。同时随着新能源公共汽车的推广, 相比传统燃油公共汽车需配置更多车辆。立体化布置能有效提升立体车场的服务能力, 可助力完善公共汽车配套设施。

鉴于立体车场发展时间相对较短, 故关

于立体车场调度问题,当前国内外鲜有可查阅、可参考的研究且缺乏实践经验。现有研究资料主要是对立体车场建设的可行性、车场设计的要点及车场停车规模测算分析等方面进行讨论。研究文献指出,立体车场停车规模可根据车场服务半径进行确定,车场设计应以节约用地为原则;为协调车辆日常调度,应以内外交通衔接顺畅、内部交通流线相对独立、车场设施布局及其工艺流线无交织为基本设计思路^[2-6]。关于立体车场车辆运行调度方面的研究则处于空白,因此本文尝试对这一方面进行研究^[7-9]。

1 立体车场基本特征

立体车场指以车辆停放、二级保养和中修为核心功能,兼具一级保养、小修、车辆清洗和运营管理等辅助功能。通过建筑立体化设计,实现多种服务功能(洗车、充电、维保、修理、停车及其他相关功能)的集中布置。

相比于传统场站,立体车场有两个特征。1)功能集中复合化。传统场站服务功能单一,立体车场将洗车、维保、修理、停车以及充电等功能统一集中布置在一个场站内,实现车辆一站式服务。2)建筑布置立体化。传统场站基本为平面布置形式,立体车场则遵从土地集约利用的原则将建筑立体化布置,有效控制车均占地面积,提高车场停车容量。

平面车场不存在考虑坡道布局方案对调度的影响问题,而立体车场基底面积小,车辆运行调度与其坡道的布局方式、通道布局方式等密切相关。立体车场的坡道虽然可视为平面车场的公用通道段,实际上却是立体车场的出入口,限制了每层及其以上楼层车辆的组织。一方面,立体车场的车辆不可以直接从停车位到坡道,而平面车场的车辆可以从停车位直接驶入通道;另一方面,因为坡道存在坡度,车辆运行时远不如在平面上行驶高效便捷。这些差异在一定程度上增加了立体车场调度的组织难度,这也是本文针对立体车场车辆运行调度问题进行研究的原因之一。

此外,立体车场首层布置以洗车、保养、修理等功能为主,以停车、充电功能为辅;立体车场首层以上则以停车、充电功能为主,辅以部分车场管理、工具材料储存

功能。

2 立体车场设计要素

立体车场的车辆调度需要基于车场物理设施,有必要了解车场的各设施要素设计,以确保设计更适合的基本调度流线。立体车场组成要素包括停车位、上下坡道、停车通道、出入口、充电设施、维保设施、修理设施、洗车设施、调度管理岗亭、材料工具间、指挥中心以及相关标志标线等,是车场调度的硬件基础。

立体车场组成要素中,停车位、出入口、上下坡道、停车通道等4个要素与调度密切相关,是支撑立体车场调度的关键设计要素。同时,车场维保、修理设施等要素也对车场调度有所影响,是立体车场的衍生设计要素。关键设计要素的规模(即停车位数量、坡道数量、通道数量、出入口数量)、空间布局及基于此的流线组织直接影响调度模式选择与调度方案设计,最终决定车场的调度效率。

规模测算是确定各要素的数量,空间布局是确定各要素的空间位置与布局方式。立体车场各要素的规模及布局,可参照相关规范及结合项目实际条件进行确定。

2.1 关键设计要素规模测算

1) 停车位规模。

首先依据全市(区)规划立体车场总数、全市(区)公共汽车线路服务面积及有关公共汽车首末站(以下简称“首末站”)规划的资料,确定立体车场服务范围内的首末站总数。进一步结合各首末站公共汽车线路及各线路运营车辆数,确定立体车场服务的公共汽车车辆数。最后参照相关规范,确定立体车场停车位面积,同时可在此基础上进一步确定其他基础功能分区面积以及其他生产辅助等衍生功能设施与用房规模。

2) 出入口及坡道规模。

立体车场出入口数可依据相关规范进行确定,坡道数则可通过将其转换为每层及其以上或以下楼层的对外出入口并参考规范确定。例如,某立体车场为地上6层建筑,首层为基础功能层,地上第2~6层为“停车+充电”核心功能层。立体车场停车当量为320辆,其中第2~5层停车当量均为70辆,第6层停车当量为40辆。通过转换,上下坡道

视为出入口,针对第2层,由于停车当量大于100辆,出入口数量不少于2,则需设置两条连接1层的坡道;针对第3层,由于停车当量为250辆,大于100辆,出入口数量不少于2个,则需设置2条(一上一下)连接第2层的坡道;同理,针对第3~5层,由于停车当量大于100辆,均需设置2条(一上一下)坡道与其下面一层连接;针对第6层,由于停车当量为40辆,小于100辆,出入口数量不少于1个,可以设置1条(上下共用)坡道连接第5层。

3) 停车通道规模。

规范未给出大型车辆停车通道数量与宽度的具体要求。停车通道宽度与停车位排布方式有关,根据相关试验建议通道宽度适当大于服务车辆长度。通道数量可根据一条通道服务一侧或双侧停车位进行确定。

2.2 关键设计要素空间布局

车场各关键设计要素的空间布局旨在确保车场进出流线顺畅,减少或消除场内流线交织,降低进出场车流与市政道路车流之间的相互干扰。鉴于车场车流具有早出晚进的时空特征,车场坡道在实际运用中可不区分上下。本文主要对车场的坡道、通道布局进行分析。

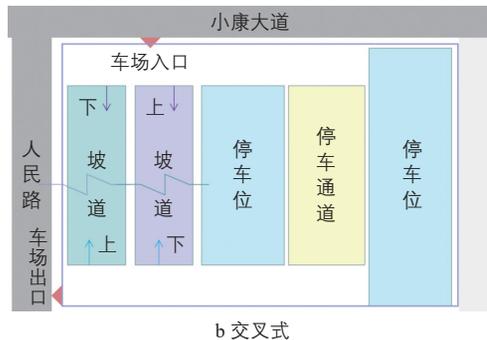
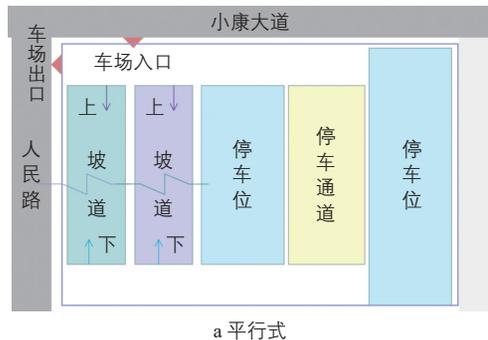


图1 坡道布局方式

Fig.1 Layout of the rampway

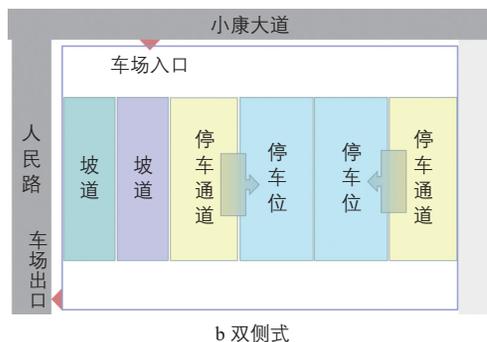
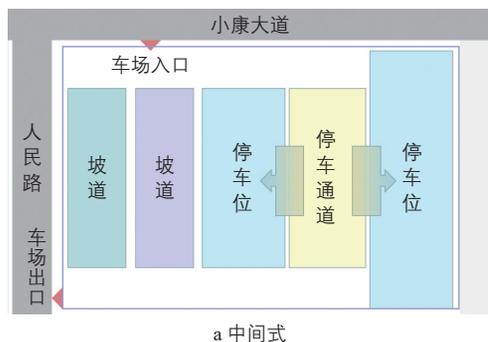


图2 停车通道布局方式

Fig.2 Layout of the parking passageway

1) 上下坡道。

坡道的空间布局是指确定坡道的空间位置及布置方式,本文指后者。其布局方式包括平行式与交叉式两种(见图1)。平行式布局是指连接本楼层与另一楼层的两条或者多条坡道相互平行,交叉式布局的坡道则是相互交叉。

2) 停车通道。

通道的空间布局是指确定通道的空间位置及服务停车位的方式,本文指后者。其布局方式主要有中间式与双侧式两种(见图2)。中间式是指一条通道需要服务双侧停车位,双侧式则只服务一侧停车位。

3) 停车位和出入口。

停车位一般有平行式、垂直式和斜列式3种排布方式。具体排布方式根据车场实际条件决定,以方便车辆进出停车位和最大化停车位供给为原则。车场出入口布局主要考虑与周边市政道路衔接顺畅,方便车辆右进右出及车场内部的流线组织。

基于集约用地的原则以及立体车场的适宜服务半径,一般情况下车场规模较小时布设两条坡道、一条通道和两个出入口满足车场停车需求。同时,在立体车场设计中需结合车场的用地形状、用地面积、周边道路等条件,合理适当增加车场的坡道数与通道

数, 既能够提升立体车场调度组织的灵活性, 又便于特殊情况下弹性应急疏散。

3 基于立体车场设计的调度模式

3.1 车场调度基本术语定义

在分析调度特征和逻辑之前, 为准确描述立体车场调度的本质, 同时为避免与以往研究中已达成共识的术语相冲突, 本文对与车场调度相关的一些术语进行定义:

1) 流线路径, 指车辆从停车位至车场出入口的路径;

2) 出车时刻, 指车辆启动驶出车场停车位的时刻;

3) 出场时刻, 指车辆离开车场出入口的时刻;

4) 出场时差, 指任意前后相邻的两辆公共汽车的出场时刻之差;

5) 出场时段, 指两个不同的出场时刻之间的时间, 如 6:10 为一个出场时刻, 7:10 为另一个出场时刻, 则 6:10—7:10 为一个出场时段;

6) 到站时刻, 指车辆到达首末站供乘客上车的时刻, 一般可视为车辆在首末站的发车时刻;

7) 内行程时间, 指车辆在车场内部的行程时间总和, 包括车辆在停车位、通道、坡道以及出入口处的排队时间(见图 3);

8) 外行程时间, 指车辆自离开车场出入口(即出场时刻)至到达首末站(即到站时刻)的时间差, 包括行程中的行驶、停驻排队时间(见图 3)。

由以上定义可知, 出场时刻与出车时刻之差是车辆在车场内部的行程时间。每辆公共汽车的内行程时间与所在楼层、交织次数以及交织严重程度有关, 外行程时间则主要与车场至首末站的距离有关。实践中, 公共汽车到站时刻客观固定, 是立体车场调度中反推公共汽车出场时刻的依据。

3.2 车场调度逻辑与特征

既有文献多针对高峰期公共汽车的动态(或静态)单线(或多线)调度问题进行研究, 考虑车辆的发车间隔、到站可靠性、乘客等待时间、企业运营成本以及乘客出行成本等要素, 最终所得调度方案是首末站的车辆发车时间班次表、车辆运营线路数量以及车辆容量^[7-9]。本文所研究的立体车场调度逻辑则

是指依据车场具体设计方案(关键要素规模与空间布局等), 结合停驻车场的信息(公共汽车线路数、首末站发车时间、立体车场与首末站距离等)、周边道路交通信息(交通组织、交叉口管控等), 选定适用的调度模式对车场内各车辆的停车位置与出车时序方案进行决策, 以期实现车场公共汽车在一定时间内能够准时、足数、有序、低影响发车出场的统筹行为。

从车辆可能的时空分布来看, 立体车场调度具有两个典型特征:

1) 调度流线早间流出晚间流进。

车辆早间出车离开车场, 是驶出流线, 晚间收车返回车场, 是驶入流线。驶出流线是车辆离开停车位经过通道和坡道至出入口的流线, 驶入流线是车辆从出入口驶入车场经过坡道和通道至停车位的流线。

2) 车辆早间规律晚间无序。

早间车辆发车驶出车场的时间有规律, 因为每条线路的每班车在首末站发车时间固定, 且早上出车时刻比较集中。晚间收车驶入车场的时间无序, 因为各线路回场车到达车场时间存在不确定性, 受道路交通条件、上下乘客数以及天气条件等因素影响, 同时晚间车队收车时段较长, 收车回场驶入车流较为分散。

从实际意义上来看, 立体车场的车辆调度研究主要针对早间离场高峰驶出车流。晚间回场驶入车流通常无需进行专门调度, 仅需一定的指挥辅助完成车辆入场停车。因此, 本文主要针对早间车场发车调度问题展开研究。

3.3 车场基本调度模式

1) 同层集发。

同层集发指通过将处于同一出场时段、

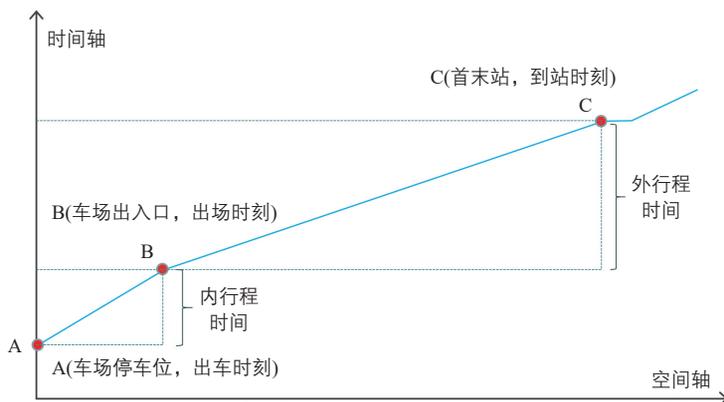


图3 主要时间参数的时空关系描述

Fig.3 Temporal-spatial relations when discussing major time parameters

不同线路的车辆停放于同一楼层，在早间可同时调度同层不同线路的车辆集中出车离场（空间上集中意味着时间上的集结）。当车场每层停车规模很大时，需在每层划分多个分区，可能导致不同线路的车辆流线存在过多交织。同层集发模式意味着出场时段相同的车辆其出车时刻相近，因此容易导致交织。该模式的主要优点是所需现场调度指挥人员少；缺点是车流交织多、拥堵排队长、时间损失高，且组织管理难度高。

2) 异层分发。

异层分发指通过将处于同一出场时段、不同线路的车辆停放于不同楼层，在早间可异层同时调度不同线路的车辆分散出车离场（空间上分散以争取时间上分离）。当车场每层停车规模很大时，同样需对每层进行分区，也可能导致不同线路的车辆流线存在一定交织。异层分发模式意味着出场时段相同的车辆其出车时刻通常不同，故车辆交织次数较少。该模式的主要优缺点与同层集发相反，由于多数情景下异层分发模式有效减少车辆之间的交织，故其优于同层集发模式。

需要注意的是，虽然异层分发模式总体上优于同层集发模式，但并不排除存在立体车场不适用于异层分发模式的情况。因此对每个实际的立体车场，需通过建立一定的评价指标体系作为对比分析调度模式优劣的依据。基于立体车场车辆运行调度的内在逻辑，将车场内部车辆总交织次数作为评价调度模式优劣的控制性指标，即交织次数越少的调度模式越优；若交织次数相同或差值比（差值比=（交织次数多-交织次数少）/交织次数少×100%）较小时（<5%），则结合行程时间、与线路首末站发车时间吻合性等参考性指标进行分析评价。其中，行程时间主要指内行程时间；与线路首末站发车时间的吻合性以车辆到首末站时刻（车辆到达首末站时刻通过车辆出场时刻与外行程时间求算）与车辆首末站发车时间的偏差绝对值表征。求

偏差是因为车辆需要提前到达首末站提供上客时间，而并非准点到达首末站。各指标的测值可结合立体车场设计构建的车场车辆运行调度模型求解。

3.4 调度模式的适用性分析

影响调度模式选择的要素包括车场层均停车规模、车场空间布局、进驻车场线路数量以及发车间隔等。

独立分析各影响要素：1)当车场层均停车规模小时，若小于高峰期平均发车数时，宜选择同层集发模式确保较短的内行程时间，否则宜选择异层分发模式；2)当车场空间布局中坡道采用交叉式、停车通道采用双侧式布局时，采用两种模式均可有效降低交织次数，否则宜采用异层分发模式；3)当进驻车场线路数少时，如少于车场层均停车位规模，宜采用同层集发模式以减少车辆的内行程时间，否则宜采用异层分发模式；4)当公共汽车发车间隔大时，若远大于车辆内行程时间，采用两种模式均可有效降低交织次数，否则宜选择异层分发模式（见表1）。

综合分析各影响要素：1)当车场层均停车规模小、空间布局的坡道采用交叉式、停车通道采用双侧式布局、进驻车场线路数少且发车间隔大时，宜采用同层集发调度模式；2)当车场层均停车规模大、空间布局的坡道采用交叉式、停车通道采用双侧式布局、进驻车场线路数少且发车间隔大时，宜采用同层集发调度模式；3)当车场层均停车规模大、空间布局的坡道采用交叉式、停车通道采用中间式布局、进驻车场线路数多且发车间隔小时，不宜采用同层集发调度模式；4)其余情况可做类似分析。同时各影响要素权重、阈值的界定需要结合车场线路、车场层均停车规模、车场内行程时间协同考虑确定。

由于异层分发模式总体上优于同层集发模式，因此在以车场内车辆总交织次数为控

表1 独立要素与调度模式匹配关系

Tab.1 Relationship between the scheduling strategies and individual element

要素	车场层均停车规模		坡道布局方式		停车通道布局方式		线路数量		发车频率	
	大	小	平行	交叉	双侧	中间	多	少	高	低
同层	不宜	宜	不宜	可	可	不宜	不宜	宜	不宜	可
异层	宜	不宜	宜	可	可	宜	宜	不宜	宜	可

注：“宜”表示宜采用、“不宜”表示不宜采用，“可”表示两者均可采用，需结合实际确定。

制指标时，异层分发模式的交织次数总是不多于同层集发模式。但是在交织次数差值较小时异层分发模式可能导致较长的内行程时间，因此需要结合内行程时间等参考性指标选取合理的调度模式。

基于以上分析，在车场设计之初可结合车场基本条件初步确定调度模式，总体上宜以选择异层分发模式为主。若初步选择同层集发调度模式，则应将车场坡道设置为交叉式、停车通道设置为双侧式布局。若选择异层分发模式，坡道宜设置为交叉式、停车通道可设置为中间式布局，如果车场层均面积较大，停车通道可酌情设置为双侧式布局。同时，若初步选定采用异层分发模式，车场层均面积较大时，坡道可设置为平行式布局，并宜将坡道分开设置，减少车流交织。

此外，为应对车场可能出现的突发事件，车场要素的布局应充分考虑消防与事故应急。主要应结合车场实际条件适当增加出入口数以预留备用出入口；适当增加坡道宽度及转弯处的内侧空间，以确保车辆转弯时轨迹包络线处于有效空间范围内；适当增加停车通道宽度提升车辆进出车位的顺畅性。

3.5 车场调度流线案例分析

立体车场调度流线是车辆进出车场、上下坡道、出入停车位的路径，体现调度车辆行驶的空间权利。立体车场调度需要基于车场设计选定适宜的调度模式，确定车场的基本调度流线。

以某立体车场为例，其第1~5层均设置2条交叉式坡道，第6层设置1条坡道，设置一条双向通行中间式停车通道，共设3个出入口，其中东边两个为车场公共汽车专用出入口。其首层(一般为地上1层)与标准层(立体车场2层及以上楼层布局基本一致，故称为标准层)平面设计如图4所示。

考虑车辆流线早出晚进的时空特征，早间车辆调度时坡道可以全部作为下楼坡道使用。车场设计有两条坡道和一条通道，坡道为交叉式布局，通道为中间式布局。基于既定设计方案，以第2层为基础对车场调度流线进行分析。

情景一：基于同层集发模式的调度流线。该情景下流线方案考虑每层出场车辆同时使用两条坡道和一条通道离场，其驶出流线如图5所示。该情景存在较多的车辆交织。

情景二：基于异层分发模式的调度流

线。该情景下流线方案考虑每层出场车辆只使用其中一条坡道下楼，另一条坡道留作上一层出场车辆循环下楼坡道，其驶出流线如图6所示。该方案有助于减少不同线路车辆之间的交织、缓解排队拥堵与时间损失。当每楼层停车规模较大时，同一楼层可能停放不同线路的公共汽车。

对比两个流线方案，当车场调度方案的现场调度人员规模约束较宽松时，情景二下的调度流线方案更优。

4 结语

针对立体车场缺少调度模式研究理论支撑与实践经验依据的现实问题，本文在研究

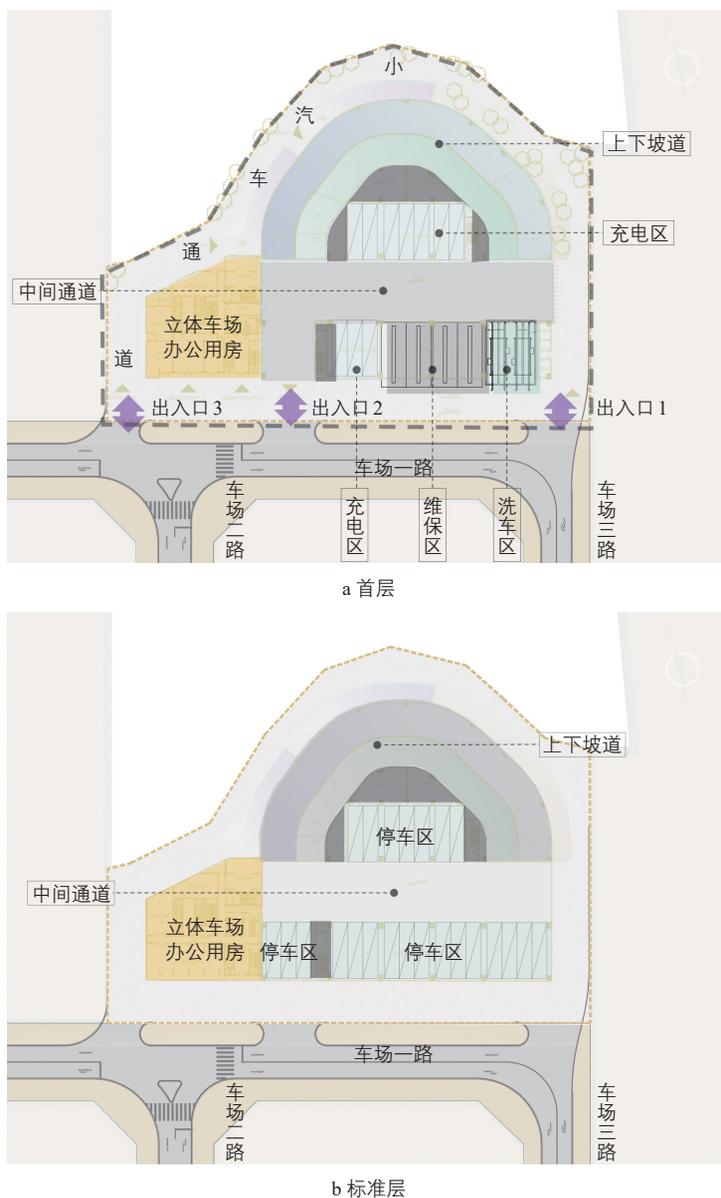
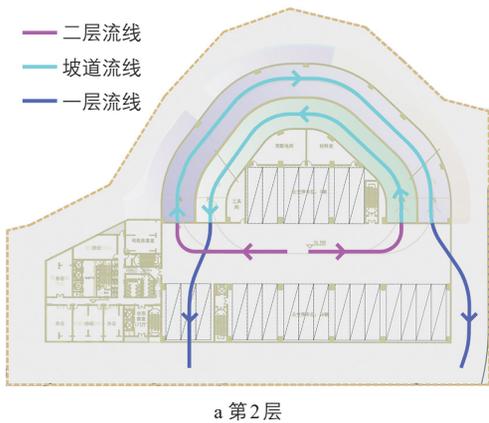
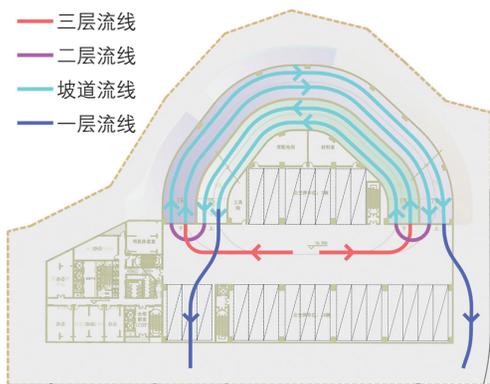


图4 车场平面布局

Fig.4 Layout of the FID



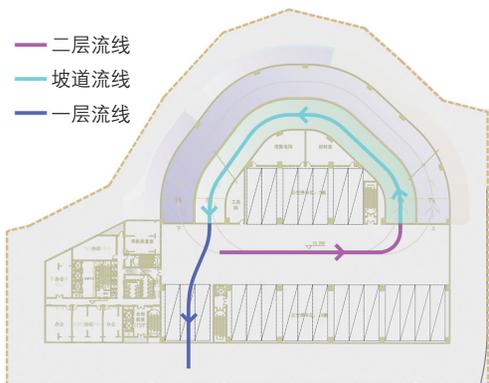
a 第2层



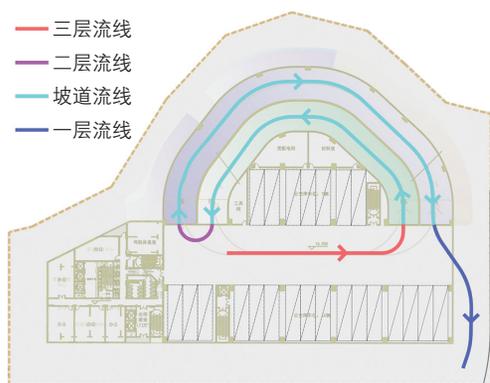
b 第3层

图5 同层集发出场流线组织

Fig.5 Route of dispatching in the same floor



a 第2层



b 第3层

图6 异层分发出场流线组织

Fig.6 Route of dispatching in different floors

立体车场规模测算、设施要素设计布局的基础上，分析了车场的特征以及调度流线特征，并进一步研究了立体车场的调度模式及其适用情景，得出异层分发调度模式优于同层集发调度模式的结论。最后通过立体车场调度流线案例分析，初步证明了该结论。未来的研究可以基于车场各种调度模式构建立体车场调度模型，以进一步完善立体车场调度理论。

参考文献:

References:

[1] 孔令斌, 李紫颜. 存量发展阶段的交通拥堵治理与公共交通优先[J]. 城市交通, 2019, 17(1): 1-6.
Kong Lingbin, Li Ziyang. Traffic Congestion Management and Public Transportation Priority in Infill Development Stage[J]. Urban Transport of China, 2019, 17(1): 1-6.

[2] 陈建凯, 肖亮, 姚江波. 新能源立体公共交通场站规划设计思考: 以深圳市为例[J]. 城

市交通, 2018, 16(4): 89-96.

Chen Jiankai, Xiao Liang, Yao Jiangbo. Multi-Storey Bus Depot Planning and Design for New Energy Bus: A Case Study in Shenzhen [J]. Urban Transport of China, 2018, 16(4): 89-96.

[3] 姚江波, 陈建凯, 陈雪娇. 资源合理配置下立体公交综合车场建设需求方法探讨[C]//中国城市规划学会. 持续发展理性规划: 2017中国城市规划年会论文集(06城市交通规划), 北京: 中国建筑工业出版社, 2017: 13.

[4] 陈建凯, 姚江波, 肖亮, 等. 新能源立体公交综合车场关键设计要素研究[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 交叉创新与转型重构: 2017年中国城市交通规划年会论文集, 北京: 中国建筑工业出版社, 2017: 21.

[5] 深圳市规划国土发展研究中心. 深圳市公交场站设施布局调整及近期实施规划[R]. 深圳: 深圳市规划和国土资源委员会, 2012.

(下转第94页)