

2026 年 “认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛

第二阶段

D 题 共享充电宝的投放配置

(本题仅限专科组和爱好者组选用)

随着移动支付、扫码点餐、短视频社交和即时通讯的普及,移动设备的续航问题越来越直接地影响消费者在商业场景中的体验。共享充电宝作为一种即时租借设备,已广泛应用于餐饮街区、综合商业园区、步行街和休闲娱乐场所。对于运营方而言,如何在有限预算下合理布设柜机、配置容量,并在需求波动下保持较高服务水平,是一个典型而重要的运营优化问题。

与校园、办公楼等较封闭场景不同,开放式商业园区中的顾客行为更具随机性。顾客可能从主入口、停车场入口或侧入口进入园区,在餐饮区、零售区、咖啡区、娱乐区等区域间随机走动,并表现出明显的时段差异和区域偏好。例如,中午时段餐饮区借用需求较强,晚间娱乐区和夜间餐饮区更为活跃;不同区域顾客停留时间不同,借还行为也会随之变化。与此同时,共享充电宝系统还面临“借空”和“还满”两类问题:某些站点可能没有可借充电宝,另一些站点则可能没有空闲插槽供归还。

某商业园区计划在若干候选位置布设共享充电宝柜机。园区划分为若干功能区域,具有多个主要入口、步行骨架和若干候选安装点。运营方已收集到区域分布、候选站点位置、区域—站点距离、分时段入口流量、区域吸引强度、平均停留时长、区域借还需求统计、设备规格与成本参数等信息。请你建立合理的数学模型,在预算约束下优化共享充电宝系统的空间布局与运营策略。

为便于建模,我们对本问题作如下简化说明:

1. 商业园区按功能划分为若干区域, 每个区域代表一类相对集中的人流活动空间, 如主入口广场、停车场连廊、餐饮区、零售区、娱乐区等。
2. 园区内仅允许在给定的候选位置安装共享充电宝柜机。
3. 每个柜机可选择不同容量规格, 容量越大, 建设成本越高。
4. 顾客通常在其所在区域或附近站点借还充电宝, 步行距离越长, 使用意愿越低。
5. 借用需求与归还需求均随日期类型和时间段变化, 并带有一定随机波动。
6. 站点运行过程中, 可能出现库存失衡, 因此运营方可以在相邻时段之间进行人工调拨, 但调拨会产生费用。
7. 附件中给出的数据可供参考, 但我们希望同样的建模思路能够用于各种不同布置的商业园区当中。如果在建模时需要更多的信息, 请给出这些信息的获取方式, 例如进行何种观测或调查才能获取。
8. 本问题主要考虑共享充电宝的运营优化, 不要求建立微观个体级行为模型; 但鼓励在建模时结合入口流量、区域吸引强度、停留时间等现实信息, 对需求形成机制作出合理解释。

第一阶段问题:

1. 请结合附件中的园区示意图、区域信息、分时段入口流量、区域吸引强度、平均停留时间以及区域借还需求统计, 分析该商业园区共享充电宝需求的时空特征。至少讨论以下内容:
 - 不同日期类型与时间段下, 哪些区域是主要借出热点, 哪些区域是主要归还热点;
 - 商业园区中的需求分布是否呈现明显的“几何中心”特征, 还是更接近“多热点”分布;
 - 区域吸引强度、平均停留时长、入口流量等因素与借还需求之间的关系。

在此基础上, 请你建立一个适合后续优化使用的需求描述模型。该模型既可以直接使用附件给出的区域借还需求均值, 也可以在此基础上引入波动、修正或将多区域求和等处理, 但应说明理由。

2. 由于运营方的建设预算有限。请你建立合理的数学模型并确定部署方案, 在方案中需要包括:

- 应选择哪些候选位置安装共享充电宝柜机;
- 每个站点应选择何种容量规格;
- 各站点初始应配置多少个充电宝以及预留多少空闲插槽。

你的模型应综合考虑至少以下目标中的若干项:

- 用户借还时的步行便利性;
- 借空现象带来的服务损失;
- 还满现象带来的服务损失;
- 建设成本与设备投入成本。

请给出一个可执行的优化方案, 并说明你的目标函数、约束条件以及求解思路。同时, 请将你的方案与一个简单的基准方案进行比较。基准方案可自行设计, 例如“按几何中心附近优先布点”或“按区域均匀分散布点”等, 并比较二者在服务水平和成本上的差异。

第二阶段问题:

1. 请你根据第一阶段得到的部署方案, 建立一个周期(设定为一天或几天)内运行的库存演化模型。根据模型回答如下问题:

- 分析在不进行人工调拨的情况下, 你的部署方案在一个周期内是否会出现借空或还满? 哪些站点最容易发生问题?
- 若允许在相邻时段之间进行人工调拨, 应如何确定调拨时机、调拨方向和调拨数量?
- 请比较“无调拨方案”和“有调拨方案”在服务损失、调拨成本、借空率、还满率等指标上的差异。
- 请说明调拨策略是否能够替代一部分柜机容量建设。

2. 商业园区顾客行为具有随机性, 借用需求与归还需求均可能围绕附件给出的统计值波动。请基于第一阶段得到的布点与容量方案, 研究其在需求波动下的稳定性。包括如下问题:
- 当各区域、各时段的借还需求发生随机波动时, 第一阶段方案的借空率、还满率和服务损失如何变化?
 - 哪些站点或区域对需求波动最敏感?
 - 在不改变总预算或只允许少量调整预算的条件下, 如何改进原方案, 使其在需求波动下更加稳健?
 - 请比较“平时表现最优方案”和“稳健性更强方案”的差异, 并说明你在商业规划中应当如何权衡平均服务效果与极端情形风险。
3. 在运行了一段时间后, 运营方希望在初始的部署方案上进行有限的升级。假设只能进行少量改造, 可供使用的手段包括增加少数站点容量、调整站点初始库存、增设少量备用充电宝(可供人工调拨使用)、在少数关键时段的增加人工调拨、关闭/降级表现较差的站点并把资源转移到其他站点等待。请你提出运营升级的方法, 包括需要在运营时获取什么信息, 以及使用这些信息如何设计升级后的方案。