

# 2026 年

## “认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛

### 第二阶段

#### B 题 新能源园区：微电网—电动车—建筑的协同调度

随着分布式光伏、固定储能系统以及电动车的大规模接入, 科技园区或工业园区的综合能源系统正在由传统的“被动供电”模式向“源—荷—储—车”协同运行模式转变, 进而可以降低碳排放和污染。对于具备光伏发电、固定储能、电动车充放电设施以及多类建筑负荷的现代园区而言, 如何在保证建筑正常运行和车辆出行需求的前提下, 提高可再生能源消纳水平、降低运行成本与碳排放、并减缓电池寿命衰减, 已成为一个具有现实意义的关键问题。

在实际运行中, 园区能源系统通常同时面临以下特点:

1. 光伏发电出力具有明显的时变性和不确定性;
2. 建筑负荷具有日内波动特征, 其中部分负荷可在一定范围内调节;
3. 接入园区的电动车到离站时间、初始荷电状态及离站需求各不相同;
4. 固定储能和电动车电池均可以提供灵活调节能力, 但频繁充放电会带来额外寿命损耗;
5. 园区与外部电网相连, 但购电功率和电价通常随时间变化, 某些时段还可能受到购电上限约束。

因此, 园区管理者需要建立合理的调度模型, 统一协调光伏、固定储能、电动车和建筑负荷之间的关系, 从而在经济性、可靠性、低碳性和设备健康性之间取得平衡。

假设某科技园区配备了以下能源与负荷资源:

1. 一套分布式光伏发电系统;
2. 一套固定储能电池系统;
3. 一批在园区停车场停放的电动车, 其中部分车辆允许参与园区反向供电;
4. 若干栋建筑负荷, 其中部分负荷可进行一定程度的时移或削减;
5. 与外部公共电网相连, 可在约束条件下购电, 部分时段允许对外售电。

现提供该园区的供电设施的部分运行数据(时长 7 天、分辨率 15 分钟), 以及电动车会话记录、储能系统参数和每日汇总信息。请基于所给数据建立数学模型, 研究园区微电网—电动车—建筑系统的协同调度问题。

第一阶段问题:

1. 在不考虑预测误差的条件下, 参考附件中所给数据, 建立园区微电网—电动车—建筑系统的确定性协同调度模型, 合理安排各时段的:
  - 外网购电功率;
  - 固定储能充放电功率;
  - 电动车聚合充放电功率;
  - 可调建筑负荷调整量;
  - 必要时的弃光或售电功率。

对你给出的调度方案, 与至少一种非协同的调度方案进行比较。分析你的调度方案相对于非协同调度方案的改进效果。作为基准的非协同策略可由你自行设计, 例如: 电动车到站后立即按最大功率充电, 不参与反向供电; 固定储能按固定规则运行; 建筑负荷不参与调节, 诸如此类。

2. 在问题 1 的基础上, 将固定储能和电动车电池的寿命损耗纳入调度决策, 建立兼顾运行成本与寿命损耗的调度策略。在讨论中请考虑以下问题:
  - 为固定储能和电动车构造可计算的寿命损耗指标或寿命成本模型;

- 考虑固定储能和电动车的电池损耗, 重新优化调度策略;
- 比较引入电池寿命损耗前后系统调度行为的变化;
- 优化固定储能设备与电动车在削峰、储能和供能中的分工比例;
- 分析短期经济收益与长期电池健康损耗之间应当如何折算和权衡。

## 第二阶段问题:

1. 实际运行中, 光伏出力、建筑负荷和电动车接入状态可能偏离预测。请基于第一阶段所给数据, 自行构造合理的不确定性场景, 建立依据系统状态随时更新的滚动调度模型。至少应当分析如下问题:
  - 用什么方法来描述光伏、负荷和电动车接入情况的不确定性;
  - 调度方案如何随系统的实时状态更新;
  - 在光伏偏低、负荷偏高、电动车提前离站或购电受限等情景下, 系统是否仍能满足基本运行要求;
  - 与确定性调度相比, 评估滚动调度在运行成本、碳排放、弃光率、峰值购电、电池寿命损耗和违约风险方面的变化情况。
2. 固定储能、电动车反向供电和建筑的自适应负荷调整均可为园区提供调节能力。请基于第一阶段的模型和数据, 分析不同资源规模或参与程度对系统运行效果的影响。请在讨论中包含如下问题:
  - 固定储能容量或功率上限变化对系统性能的影响;
  - 允许参与对建筑反向供电的电动车比例变化对系统性能的影响;
  - 建筑可调负荷比例变化对削峰、光伏消纳和成本的影响;
  - 在有限投资或管理成本约束下, 园区应优先提升哪类资源, 并给出依据。
3. 电动车参与对建筑的反向供电会为园区提供灵活调节能力, 但也可能增加车主电池寿命损耗并带来不便。请在已有电动车会话数据和电池寿命损耗模型基础上, 设计电动车参与园区调度的补偿与公平调用机制。需要分析如下问题:

- 如何度量单辆电动车参与反向供电所产生的寿命损耗和不便成本？
- 如何设计补偿规则, 使车主具有参与意愿, 在不同补偿水平下, 车辆参与率、园区总成本和系统调节能力如何变化？
- 如何避免少数车辆被过度调用, 如何在园区经济性、车主收益和调度公平性之间取得平衡？