

2025 年第五届长三角高校数学建模竞赛

赛题 B: 空气源热泵供暖的温度预测

空气源热泵是一种与中央空调类似的设备，其结构主要由压缩主机、热交换器以及末端构成，依靠水泵对末端房屋提供热量来实现制热。空气源热泵作为热惯性负载，调节潜力巨大。工作时通过水循环系统将水输送到各个房间，与室内进行热交换，从而达到调节室内温度的目的。由于其具有较大的热惯性，对楼宇房间进行小范围的温度调整不会明显影响用户的舒适度，并且由于水和楼宇建筑物的储热性能（可以增加储热水罐增加储热性能），可以将电能转化为热能进行储存。随着“电供暖”方式的普及应用，空调负荷在楼宇供暖方式占比逐渐增高，将空气源热泵作为调节对象加入电网的调度中，对缓解电网调峰压力起重要作用。

不同的供回水温度设定对应能耗也不同，供回水温度越高，机组消耗电能越多，如果供回水温度不能随着环境温度、室内温度的改变而及时调整，则会导致电能消耗过多，进而提高公司供暖成本。目前的调整策略是依据之前的预测模型，预测的是 24 小时的供回水温度，根据这个温度控制机组的开关，效果不是很理想。为了降低成本，拟采用数学建模方法，利用公司采集的历史数据，构建模型，预测 4 小时之后的供回水设定温度，以便及时调整机组的使用量，进而达到降低电力能耗的目的。

某城市冬季采用空气源热泵为多栋楼宇供暖，现收集了两栋不同建筑在 2022 年 11 月至 2025 年 3 月期间每小时室内外温度数据（附件包含：建筑编号、时间戳、室内温度、室外温度、热泵功率等变量），见附件 1、2。

已知以下信息：

（1）建筑类型影响保温性能（如住宅与办公楼不同）；

（2）供暖系统设定目标温度为 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ （舒适区间）；

（3）电力成本取决于设备供水回水温度、环境温度和建筑结构等因素，电价随着高峰和低谷变化而不同，高峰时段电价高，低谷时段电价低，公司会在低电价时段提高供水回水温度，进而提高室内温度，然后利用建筑物的热惰性，即温度会保持接近 4 个小时后下降，在高电价时段降低供回水温度，在降低能耗的同时保证室内温度达到基准要求，温度过高耗能高，温度低达不到标准。

为了保证室温稳定在 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，希望基于当前的设定因素预测未来 4 小时的室内温度 T_1 ，并根据 T_1 的值来调整当前的供回水设定温度 T_0 ，以保证未来 4 小时的室温能够保持在 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

热泵能耗与室内外温差正相关，夜间（22:00–6:00）可降低供暖强度以节省电费（峰谷电价：日间 1.2 元/度，夜间 0.6 元/度）。

根据以上背景，建立数学模型，完成如下问题：

问题 1 统计所给不同建筑的室内温度波动规律；绘制室内外温度相关性曲线，分析热泵能耗与温差的定量关系；分析影响室内温度的影响因素。

问题 2 建立建筑热力学模型，描述室内温度变化过程，利用数据辨识两栋建筑的参数，并分析模型的性能。

问题 3 基于公司采集的历史数据建立数学模型对未来 4 小时的室内温度进行预测（即，基于当前 t 时刻的已知信息，预测 $t+4$ 时刻的室内温度），与问题二的数学模型做比较分析，并基于你的模型给出如下时刻的预测结果：

（1）地点 1，2025 年 03 月 15 日 11、12、13、14 时；

（2）地点 2，2025 年 03 月 16 日 00、01、02、03 时。

问题 4 （1）设计恒温控制策略（假定室温始终保持在 20°C ）；（2）设计分时控温策略（如夜间升高目标温度），以最小化电费为目标，在满足温度舒适性约束的要求下，建立优化模型。分别给出具体的温度控制方法，并分析温度控制效果、能耗和电费情况。

要求

1. 提供数学模型、算法设计、模型性能评价及代码实现（Python、Matlab 等）；
2. 验证模型时需区分建筑类型，避免“一刀切”策略；
3. 结合可视化图表（温度时序图、能耗分布图、优化前后对比图）支持结论。