

一、问题分析

问题一思路分析

为了研究光伏电站的发电特性，我们首先需要估算在“理想天气”条件下，电站本应能够产生多少电。这种理想条件下的太阳辐射强度被称为“晴空辐照”，即在天空没有云、空气通透时，太阳直射地面能达到的最大值。我们使用一种国际上常用的估算方法来计算这种辐照，它会考虑地理位置（经度、纬度）、海拔高度以及太阳在天空中的位置（包括太阳高度角和方位角）。每隔 15 分钟计算一次这个“理想辐照”，我们就可以得到电站在晴朗天气下每个时刻理论上能产生的发电量，用以下公式表示：

$$P_{cs}(t) = \eta_{STC} \cdot \frac{G_{cs}(t) \cdot A}{G_{STC}}$$

$$\eta_{STC} = 0.17$$

其中， $G_{cs}(t)$ 是理想天气下的太阳辐射， A 是光伏组件的总面积， G_{STC} 是标准测试条件下的辐照强度。

随后，将实际观测到的发电功率 $P_{act}(t)$ 与理论值 $P_{cs}(t)$ 相除，可以得到一个“发电达成率”指标，称为“全天空指数”：

$$K_t(t) = \frac{P_{act}(t)}{P_{cs}(t)}$$

该指标越接近 1，表示当天的天气接近理想状态；越低，则表明云层遮挡或气象条件较差。我们按每天计算这个值的中位数，可以判断该天是晴天、阴天还是多云天气。

在分析长期趋势时，我们会计算每日发电功率与额定容量的比值，即“容量因子”：

$$CFd = \frac{\sum_{t \in d} P_{act}(t)}{P_{rated} \cdot 24}$$

再对其进行季节性拟合，判断春夏秋冬的发电差异；短周期特性则通过每小时统计全天空指数的波动情况来体现。

此外，我们定义每月的“性能比”来衡量电站的整体发电效率：

$$PR = \frac{\sum P_{act}}{\sum P_{cs}}$$

例如，如果某月性能比低于 0.75，则说明天气条件或设备本身存在问题，如频繁的云层遮挡或系统限功。

问题二思路分析

本问题目标是利用历史光伏发电数据，预测未来 7 天中每 15 分钟的发电功率。首先按照要求将第 2、5、8、11 月的最后一周作为测试集，其余作为训练集。

简单的基线方法是直接使用前一天的功率作为预测值：

$$\hat{P}_{d,h} = P_{d-1,h}$$

为了提高预测精度，可以使用 LSTM 深度学习模型处理非线性序列。LSTM 的输入为过去 96 个时间点的功率值及时间特征，如：

$$\sin\left(\frac{2\pi h}{96}\right), \cos\left(\frac{2\pi h}{96}\right)$$

损失函数可选择加权平均绝对误差，仅在白天有阳光的时段计算：

$$\mathcal{L} = \frac{1}{N} \sum_{t \in \text{白天}} |P_t - \hat{P}_t|$$

评价模型时采用以下两个指标：

$$\text{nMAE} = \frac{\sum |P_t - \hat{P}_t|}{\sum P_{\text{rated}}}$$

$$\text{nRMSE} = \sqrt{\frac{\sum (P_t - \hat{P}_t)^2}{\sum P_{\text{rated}}^2}}$$

其中 P_{rated} 是额定发电功率。

问题三思路分析

本问题引入天气预报数据（NWP）来提升预测精度。将逐小时的 SSR、 T_{2m} 、TCC 插值为 15 分钟，并对齐历史功率数据。
特征包含：

上一时刻实际功率 P_{t-1}

当前全天空指数 K_t

未来 96 步的 $SSR_{t:t+96}$ 、 T_{2m} 、TCC

时间特征： $\sin\left(\frac{2\pi h}{96}\right), \cos\left(\frac{2\pi h}{96}\right)$

我们可以采用分位数梯度提升树，输出多个置信区间的预测值：

$$\hat{P}_q(t) = f_q(\mathbf{x}_t), \quad q \in 0.05, 0.5, 0.95$$

与第二问结果对比，定义得分衡量提升幅度：

$$\text{Score} = 1 - \frac{\text{nRMSE}_{\text{融合}}}{\text{nRMSE}_{\text{历史}}}$$

将全天空指数中位数用于天气分类：

晴天： $K_t > 0.8$

多云： $0.3 < K_t \leq 0.8$

阴天： $K_t \leq 0.3$

分别计算不同天气下模型的 Score 值，验证 NWP 效果。

问题四思路分析

为克服 NWP 分辨率不足的问题，我们可以引入空间降尺度。以 ERA5 的 SSR_{ERA5}

作为输入，高分辨率辐射观测 SSR^* 作为目标。

模型训练数据为：

$$[SSR_{\text{ERA5}}, \varphi, \lambda, z] \rightarrow SSR^*$$

模型形式为：

$$SSR^* = g(SSR_{\text{ERA5}}, \varphi, \lambda, z)$$

将预测的 SSR^* 替换原始辐射特征，重新训练功率预测模型。评估性能提升：

$$\Delta = \text{nRMSE}_{\text{ERA5}} - \text{nRMSE}_{\text{降尺度}}$$

若 $\Delta > 0$ ，说明降尺度有效。

参考文献

[1]谈玲, 康瑞星, 夏景明, 王越. 融合多源异构气象数据的光伏功率预测模型[J]. 电子与信息学报, 2024, 46(2):255-266.

[2]苏华英, 王融融, 张俨, 廖胜利, 王国松, 代江. 改进特征选择的光伏功率预测融合算法[J]. 实验科学与技术, 2023, 21(5):411-417.

[3]赵耀, 高少炜, 李东东, 林顺富, 杨帆, 黄学勤. 基于天气相似聚类与 QRNN 的短期光伏功率区间概率预测[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(23):103-112.

[4]杨丽薇, 高晓清, 蒋俊霞, 等. 基于小波变换与神经网络的光伏电站短期功率预测[J]. 太阳能学报, 2020, 41(7):152-157.

[5]王晓霞, 俞敏, 霍泽健. 基于近邻传播聚类与 LSTNet 的分布式光伏电站群短期

功率预测[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(6):145-154.

[6]谈玲, 康瑞星, 夏景明, 王越. 融合多源异构气象数据的光伏功率预测模型[J]. 电子与信息学报, 2024, 46(2):503-517.

[7]商立群, 李洪波, 侯亚东, 等. 基于 VMD-ISSA-KELM 的短期光伏发电功率预测[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(21):138-148.

[8]吴明朗, 庞振江, 洪海敏, 占兆武, 靳飞, 唐远洋, 叶璇. 基于残差的分布式光伏发电功率组合预测方法[J]. 深圳大学学报(理工版), 2024, 41(3):293-302

[9]叶其孝, 姜启源译, 数学建模(原书第5版), 机械工业出版社, 2014, 10.

公众号：数模加油站
qq群：2150593325

Company Profile

睿森科研简介



关于我们

睿森科研 深耕论文辅导领域5年
为广大学子提供专业化、个性化的论文咨询服务

坚持初心，砥砺前行

我们始终秉持“授人以鱼不如授人以渔”的初心，为广大师生提供专业化、高水平的论文教育产品以及咨询服务。自19年以来，年均辅导学员人数达数千人，并呈现迅速上升趋势。



国内学术能力提升领导品牌，师资雄厚

提供会议论文辅导与发表、科研论文辅导与发表、硕博核心/S刊辅导、本硕博毕业论文辅导、以及各类大学生竞赛辅导等项目。我们的师资团队由2000余位专业论文咨询师组成。其中海内外高校博士及大学教授1000多人。



业务内容

科研论文、本硕博毕业论文辅导
各类大学生竞赛辅导

科研论文，毕业论文辅导

我们提供SCI、SSCI、CSSCI、EI 源刊、中文核心、学报等科研论文辅导；本硕博毕业论文、课题辅导。已成功助力数千名学员拿到相应辅导的录用通知，因此保研、申博成果的学员不计其数。



大学生竞赛辅导

各类数学建模竞赛、数学竞赛、英语竞赛、互联网+、挑战杯、力学竞赛、创青春等大学生竞赛辅导，已成功助力数百名学员荣获国奖！



rui sen ke yan & shu mo jia you zhan
安徽省合肥市高速中央广场A座

了解更多内容，请扫码咨询科研助理



数模加油站

资深师资团队

丰富教学经验

助你轻松拿奖

大学生创新创业大赛

精品辅导

互联网+ | 挑战杯 | 创青春 | 三创赛等

我们的优势

- 强大的师资力量
- 多对一全程服务
- 辅导前试听机制
- 无限次在线答疑
- 定制化课程内容
- 学员奖学金激励

课程内容

01 项目诊断

根据不同的项目，结合各方面背景，提供项目改进意见和项目方向规划。

02 参赛规划

依据学校、专业以及项目特点，制定参赛路线。

03 商业计划书修改

提供针对性的书写指导，并在完成后逐页提供修改意见。

04 PPT指导与修改

提供针对性的制作指导，并在完成后提供逐页提供修改意见。

05 答辩指导与训练

对答辩进行训练，并提供针对性的指导意见。

06 全程无限次答疑

比赛中遇见的各个问题，在辅导期间全程免费答疑。

辅导成绩

互联网+省银以上10余项

创青春省二以上10余项

三创赛国奖3项

扫码右侧二维码咨询报名>>>



数模加油站

睿森科研
RUI SEN KE YAN

新学期 科研论文新规划

试听机制 合同保障 全科覆盖 实力师资

雏鹰计划

- 全过程辅导（到论文定稿）：
高质量中文/英文期刊、EI/CPCI会议
- 辅导加发表一体化（到论文发表）：
一对一：高质量中文/英文期刊、EI/CPCI会议
双人团（两篇文章）：EI会议
- 时间周期：定稿2-4个月，录用1个月内，见刊2-6个月，检索1-3个月

卓研计划

- 全过程辅导（到论文定稿）：
SCI、EI源刊、中文核心、学报
- 辅导加发表一体化（到论文发表）：
一对一：SCI、EI源刊
二人小班（共同完成一篇论文）：SCI、EI源刊
三人小班（共同完成一篇论文）：SCI、EI源刊
- 时间周期：定稿3-6个月，录用2-8个月，见刊0.5-2个月，检索0.5-2个月

详情请扫描二维码咨询学术顾问

大学生学科类竞赛 保奖班

数学/英语/物理等

火热招生中

我们的优势

- 强大的师资力量
- 多对一全程服务
- 辅导前试听机制
- 无限次在线答疑
- 定制化课程内容
- 学员奖学金激励

课程大纲

- 基础知识讲解培训
依据相关竞赛大纲，逐点讲解
- 竞赛考点难点分析
针对竞赛难点，重点突破
- 真题选讲点评
结合历年真题，精选例题详解
- 全真模拟练习
竞赛全真模拟，赛后详细解析

数模加油站

大学生计算机类 竞赛保奖班

ACM/蓝桥杯等

国奖导师带你冲！！

我们的优势

- 强大的师资力量
- 多对一全程服务
- 辅导前试听机制
- 无限次在线答疑
- 定制化课程内容
- 学员奖学金激励

课程设置

- 定制学习方案
根据学员基础，定制个性化培训方案
- 算法及编程基础培训
根据方案，开展基础培训
- 刷题特训
导师精选题目，特训练习
- 全真模拟练习
竞赛限时全真模拟，体验竞赛氛围

课程亮点

- 大牛授课
干货十足
- 全程伴学
无限答疑
- 绝密押题
赛前助力

扫码立即报名>>>>>>>

数模加油站

电工杯



转学术论文发表



服务内容



- 可转为EI会议/CPCI会议/高质量中英文期刊
- 免费提供论文方向评估及指导服务

含金量



- 发表一篇EI / CPCI会议堪比省一含金量
- 发表一篇高质量中/英文期刊堪比省奖含金量

我们承诺



- 收费透明，包含版面费，无任何二次收费
- 定金制，成功录用再补齐尾款，不录用全额退款

扫码添加学术顾问了解详情

