

# 基于LTPP的气候监测数据管理系统设计与实现

软件2102班：张艺琛 指导教师：户媛姣 论文类型：毕业论文

**摘要：**本文应用系统设计与实现的方法，探讨了LTPP气候数据高效管理与利用问题。首先，构建了基于Spring Boot、MyBatis与Vue的前后端分离系统，实现数据导入、管理与可视化功能；其次，结合统计分析与ECharts技术，多维呈现气候演变趋势，并引入机器学习算法辅助气候预测；最后，通过实际应用验证系统性能，提升数据价值与决策支持能力。得出LTPP数据管理系统具有实用性与扩展性，并提出未来可引入AI与大数据优化模型，提升跨区域适应性与应用广度。

**关键词：**LTPP气候数据管理；Spring Boot框架；数据可视化；随机森林；气候变化预测

## 1 研究背景

随着全球气候变化加剧与可持续发展需求提升，气候数据的准确管理与高效利用日益重要。LTPP（长期路面性能）项目在收集路面性能数据的同时，也积累了大量高价值的气候信息。基于此，设计并实现一套LTPP气候监测数据管理系统，对于提升数据利用效率、支持气候研究和基础设施规划具有重要意义。

该系统整合气象站、卫星等多源数据，具备采集、存储、处理与分析能力，支持气候监测、预测与评估等核心功能。LTPP气候监测数据管理系统的研发，不仅增强了气候适应性管理能力，也为全球气候治理和可持续发展提供了关键的数据支撑。

## 2 发展现状

在全球气候变化背景下，欧美等发达国家高度重视气候信息管理，LTPP数据作为关键资源被广泛用于公路基础设施与气候影响研究。国外实现了实时处理与决策支持。我国在LTPP数据分析与应用方面起步虽晚，但发展迅速。实现了多源气候数据的融合与高效分析，为气候影响评估提供技术支撑。

综上，国内外在基于LTPP的气候监测数据管理系统研究方面均取得了重要进展。未来，双方均面临提升数据标准化程度、优化模型适应性和推动跨领域协同的共同挑战，这也为全球气候变化治理和可持续发展战略提供了重要研究方向与技术基础。

## 3 相关分析

### 3.1 系统设计与实现

在系统设计上，LTPP气候监测数据管理系统采用了分层架构与模块化设计思想，整体结构包括前端展示层、后端业务逻辑层、数据处理层与数据库层。各模块既独

立又协同。前端页面展示效果即为图 1 所示，从不同维度以图表形式展示气候的变化。

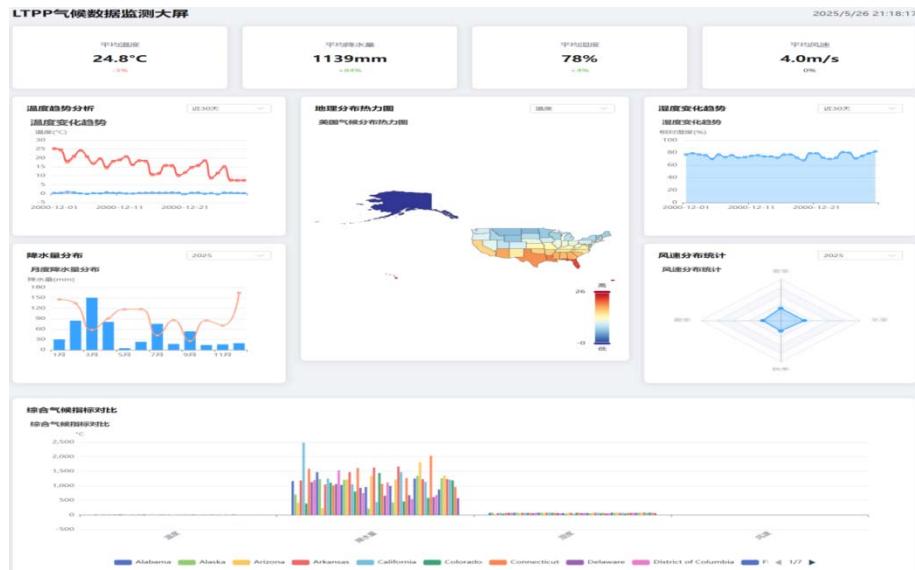


图 1 系统大屏可视化

系统架构是采用前后端分离的技术架构。前端使用 Vue + Element UI 框架进行页面构建与交互，图表部分借助 ECharts 实现气象数据可视化；后端基于 Spring Boot 框架构建，采用 MyBatis 实现与 MySQL 数据库的数据交互，负责接收请求、处理逻辑和数据持久化等功能。系统功能模块结构图如图 2 所示。

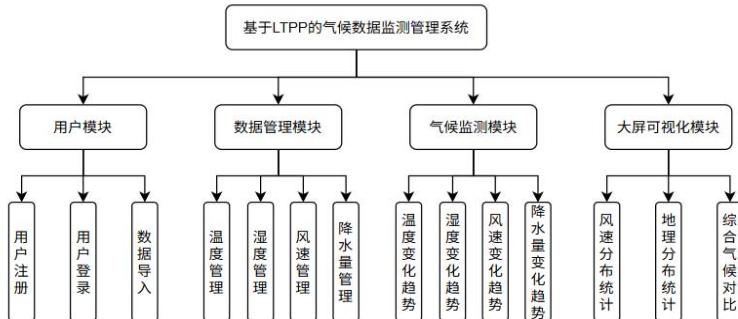


图 2 系统模块功能图

数据收集通过 EasyExcel 实现对 Excel 格式 LTPP 原始数据的导入与处理。数据处理部分使用 Python 实现，主要用于数据清洗、转换与模型训练，前后端通过 HTTP 接口交互文件，实现预测结果的反馈与展示。

数据结构设计方面，数据主要来源于 MERRA 气候网格数据和 LTPP 数据库，涵盖多种气候参数，如字段 TEMP\_MEAN 表示年平均气温；字段 PRECIPITATION 字段表示年总降水量等。

### 3.2 气候预测功能

气候预测是本系统的智能化亮点。预测模块通过对历史气候数据的学习与建模，实现未来若干天内主要气候指标的短期预测。该模块采用机器学习中的随机森林回

归算法，在兼顾精度与可解释性的同时，具备良好的泛化能力与训练效率。

预测功能核心在于特征工程模块，旨在从数据中提取对模型预测具有显著影响的高阶特征变量，提升模型泛化能力与预测精度。具体特征构建策略如下：

(1) 时间周期性特征：针对气候变量呈现的季节性变化规律，系统引入正余弦变换对月份信息进行周期编码，生成连续变量 `month_sin` 与 `month_cos`，有效避免了 one-hot 编码造成的数据维度冗余问题，并增强模型对时间循环结构的识别能力。

(2) 滞后特征构建：系统为目标变量（如气温）构造近三个月的历史滞后特征（即 `target_lag_1`、`target_lag_2` 与 `target_lag_3`），模拟气象变量的时序依赖特性，从而增强模型对时间动态趋势的捕捉能力。

(3) 移动平均特征：构建窗口大小分别为 3 个月和 6 个月的移动平均值，旨在平滑原始数据的短期波动，强化模型对中长期趋势的刻画能力。

模型训练模块核心为随机森林回归模型（`RandomForestRegressor`），使用训练集对随机森林模型进行拟合，评估阶段则引入均方误差（Mean Squared Error, MSE）与决定系数（ $R^2$ ）两个指标，分别衡量预测偏差与拟合优度。

## 4 研究结论及对策建议

### 4.1 研究结论

图 3 (a) 从四个维度对随机森林回归模型进行了系统性的性能评估。模型收敛性分析表明，训练集和测试集的均方误差（MSE）在学习过程的早期阶段快速收敛，训练集 MSE 稳定在约 0.03，测试集 MSE 收敛至约 0.20。两者间的适度差距反映了模型在偏差-方差权衡中的良好表现，未出现过拟合现象。学习曲线分析展现了模型的数据依赖特性。随着训练样本规模的扩大，训练误差和测试误差均呈下降趋势并逐步收敛，表明模型具备良好的可扩展性和泛化能力。

图 3 (b) 通过多维度的统计诊断对模型预测质量进行了全面评估。预测精度分析通过真实值与预测值的散点分布展现了模型的拟合效果，数据点高度集中于理想对角线，证实了预测的高精度特征。相关系数接近 1 的结果进一步验证了模型的预测能力。

综合统计结果表明，本系统所构建的随机森林回归模型在湿度预测任务中具备优异的统计性能和预测精度，其他指标如温度等同样预测精确。

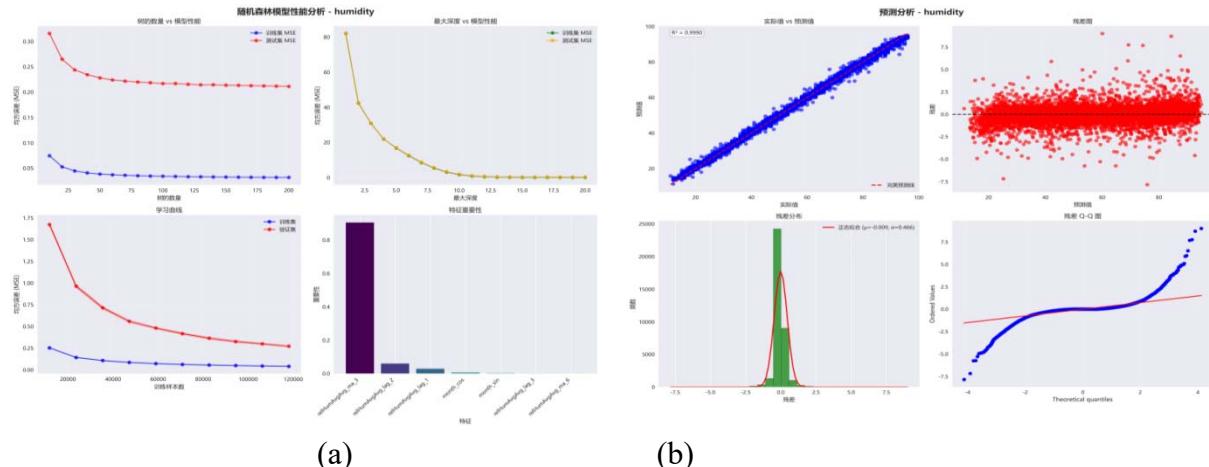


图 3(a) 湿度预测模型 (b) 湿度预测分析

## 4.2 对策建议

在本研究基础上,为进一步提升 LTPP 气候数据管理系统的实用性与智能化水平,并强化其在实际应用场景中的支撑能力,特提出如下对策建议:

### (1) 加强多源数据融合能力

目前系统主要依赖 LTPP 数据库与 MERRA 网格数据,数据维度相对有限,建议未来引入遥感影像、地面传感器数据、气象雷达观测等异构信息源。

### (2) 引入高阶预测算法提升模型适应性

现有系统采用随机森林作为基础预测模型,虽具备较强的非线性拟合能力与可解释性,但在长期趋势预测方面仍存在局限。建议引入深度学习模型(如 LSTM、GRU、Transformer 等)以适配复杂气候系统的时序依赖特性。

### (3) 完善用户交互与决策支持功能

在前端交互设计层面,应进一步优化展示逻辑与操作流程,提升系统易用性与交互性。建议开发自定义查询、智能预警推送与图表导出等实用功能。

## 5 结语

本文围绕 LTPP 气候数据管理系统的设计思路与实现效果,系统阐述了其在数据加载、特征构建、模型训练与预测输出等关键环节中的具体策略与性能表现。实践结果表明,系统具备良好的数据处理能力、可视化能力与短期气候预测能力,能够为气候变化监测、风险预警与科学决策提供有力支撑。同时,通过对系统局限与优化空间的深入分析,本文提出了涵盖多源数据融合、模型优化与标准化部署等方面的对策建议,为后续系统迭代与跨领域应用奠定了理论基础与技术路径。未来,随着人工智能与大数据技术的进一步发展,LTPP 气候数据管理系统有望实现更高的演化与广泛应用,为基础设施建设与可持续发展提供关键技术保障。