

基于遥感与机器学习的城市热岛效应监测与缓解策略

李路云 410526199002105315

摘要

城市热岛效应是城市化进程中引发城市生态环境恶化的典型气候问题，对居民健康、城市能耗与区域生态平衡均存在显著负面影响。传统热岛监测方法受地面站点分布限制，难以实现大范围连续监测，而遥感技术凭借覆盖范围广、数据获取便捷的优势，结合机器学习算法的智能分析能力，为城市热岛效应的精准监测与规律挖掘提供了新路径。本文梳理遥感技术与机器学习在城市热岛效应监测中的应用流程，分析热岛空间分布的形成机制，从土地利用优化、蓝色灰色基础设施布局等维度提出针对性缓解策略，为城市生态规划与气候适应型城市建设提供参考。

关键词：遥感；机器学习；城市热岛效应；监测；缓解策略

一、引言

随着我国城镇化水平持续提升，城市下垫面结构发生剧烈改变，人工建筑、硬化路面取代了自然植被与水体，加上人为热源排放不断增加，城市热岛效应已经成为我国城市发展中不可忽视的生态环境问题。城市热岛效应不仅会提升城市夏季高温灾害发生频率，加剧城市热应激，提升心脑血管、呼吸道疾病的发病风险，还会增加城市空调制冷能耗，进一步推高人为热排放形成恶性循环，同时也会改变城市区域水文、生物群落结构，破坏城市生态系统稳定性。

传统城市热岛监测主要依赖地面气象站点的温度观测数据，仅能获取离散点的温度信息，对于大尺度城市热岛的空间分布特征刻画能力不足。而遥感技术可以通过热红外传感器获取地表温度数据，实现大范围连续的热环境观测，已经成为当前城市热岛监测的核心数据来源。在此基础上，机器学习算法可以高效处理多源遥感数据，挖掘地表温度与下垫面因子、人为活动因子之间的非线性关联，实现热岛强度的精准预测与驱动因子的定量识别，大幅提升城市热岛监测的效率与精度。因此，探究遥感与机器学习结合的城市热岛效应监测方法，并在此基础上提出科学的缓解策略，对改善城市生态环境具有重要现实意义。

二、基于遥感与机器学习的城市热岛效应监测流程

（一）数据获取与预处理

现阶段用于城市热岛监测的遥感数据主要包括 Landsat 系列卫星、MODIS 卫星、Sentinel-3 卫星以及国产高分系列卫星的热红外影像数据，其中 Landsat 数据空间分辨率较高，可以满足中小尺度城市热岛精细监测的需求，MODIS 数据时间分辨率高，适合分析热岛效应的日变化与季节变化规律。数据预处理阶段，首先需要对热红外影像进行辐射定标与大气校正，消除大气辐射、传感器本身带来的误差，然后通过普朗克定律反演得到地表真实温度，同时还需要同步获取研究区的土地利用、归一化植被指数（NDVI）、不透水面占比、人口密度、路网密度等驱动因子数据，为后续分析提供基础。

（二）机器学习模型的应用

获取预处理数据后，机器学习算法主要承担两方面核心任务：其一，热岛范围与强度的识别划分。传统热岛强度划分多采用均值标准差法，对数据分布的假设性较强，而诸如随机森林、支持向量机、K-means 聚类等机器学习算法，可以基于多维度特征自动划分热岛等级，识别结果更符合城市热环境的实际情况。其二，驱动因子的定量贡献分析。城市热岛的形成是下垫面结构、人为活动、气象条件等多因子共同作用的结果，机器学习算法中的特征重要性评估模块，可以定量计算不同驱动因子对热岛强度的贡献度，多数研究结果显示，不透水面占比与植被覆盖率是影响城市热岛强度最核心的两个因子，人为热排放的贡献次之。

三、城市热岛效应的形成机制与空间分布特征

基于多源遥感数据与机器学习分析结果，当前我国城市热岛效应整体呈现出三个核心特征：第一，热岛强度随城市发展不断增强，建成区面积越大、人口密度越高，城市平均热岛强度显著高于中小城市，且热岛范围随城市扩张逐步向郊区延伸。第二，热岛空间分布与下垫面结构高度相关，城市中心商业区、工业区往往是热岛高温中心的集中分布区，而公园、水体周边则形成明显的低温斑块，热岛强度呈现出从中心向郊区递减的整体格局，但也会因为蓝绿空间的分布形成局部波动。第三，热岛效应存在明显的季节与昼夜差异，多数北方城市夏季热岛强度高于冬季，而南方城市因为冬季取暖人为热排放增加，热岛强度冬季略高于夏季，夜间城市下垫面储存的热量缓慢释放，热岛强度通常高于白天。

从形成机制来看，核心诱因可以分为两类：首先是下垫面性质的改变，自然下垫面中的植被可以通过蒸腾作用消耗热量，水体也具备较高的热容量，可以调节区域温度，而城市不透水面的热容量小、导热率高，白天快速吸收储存热量，

夜间缓慢释放，导致区域温度持续升高。其次是人为热源的排放，城市工业生产、交通出行、居民生活都会排放大量人为热，在冬季高纬度城市，人为热排放对热岛效应的贡献甚至可以超过下垫面的影响。

四、城市热岛效应的缓解策略

（一）优化城市土地利用格局，增加蓝绿空间占比

蓝绿空间是缓解城市热岛效应最核心的生态载体，在城市规划过程中，需要严格控制城市不透水面占比，构建“镶嵌式”的城市蓝绿空间格局，避免大规模连片开发硬化地表。要提升城市植被覆盖率，优先建设大型城市公园，相较于小型街头绿地，大型公园的降温范围更大、降温效果更稳定，同时要推广立体绿化，在建筑屋顶、墙面种植植被，充分利用城市空间增加绿化面积，降低建筑表面温度。

（二）推广使用降温型城市下垫面材料

在城市道路、广场等公共硬化空间，推广使用高反射率的透水铺装材料，这类材料一方面可以提升下垫面对太阳辐射的反射率，减少热量吸收，另一方面透水性设计可以让雨水下渗，通过水分蒸发带走热量，有效降低硬化地表的表面温度。在建筑设计层面，推广使用高反射率的屋顶材料，降低建筑屋顶的吸热量，减少建筑物向周边环境释放的热量，同时也可以降低建筑内部的制冷能耗，减少人为热排放，形成良性循环。

（三）优化城市通风廊道规划

结合城市主导风向，规划建设城市通风廊道，将郊区的冷空气引入城市中心，提升城市空气对流效率，促进城市热量扩散，缓解热岛效应。通风廊道规划需要结合城市自然水系、道路、大型公园等空间进行布局，严格控制通风廊道沿线的建筑高度与开发强度，避免高层建筑阻挡气流，保障通风廊道的通畅性，提升通风降温的效果。

五、结论

遥感技术与机器学习的结合，突破了传统城市热岛监测的空间限制，实现了大尺度、高精度的热岛效应监测与驱动机制分析，为热岛效应的治理提供了科学支撑。城市热岛效应是城市化发展过程中多种因素共同作用的结果，缓解城市热岛效应需要从城市规划、工程建设、能源管控多维度协同发力，通过优化城市空间格局、增加蓝绿空间、推广降温材料、建设通风廊道、管控人为排放等多种措施，逐步降低城市热岛强度，改善城市人居环境，推动城市可持续发展。

参考文献

- [1] 徐涵秋, 陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J]. 遥感技术与应用, 2003(03):129-133.
- [2] 余庄, 张奇. 基于卫星遥感的城市热岛效应研究与对策[J]. 城市规划学刊, 2007(04):89-93.
- [3] 李帅, 曾琪, 陈德良. 机器学习在城市热岛效应研究中的应用进展[J]. 生态环境学报, 2021, 30(02):423-432.