

人工智能驱动的自然资源规划变革：技术赋能与发展路径

黄 斌 仲崇高

苏州市自然资源和规划局吴中分局 泰州学院 江苏苏州 215000

摘要：自然资源规划是协调资源开发、环境保护与经济社会发展的关键手段，传统方法在应对复杂系统动态性与多目标优化方面渐显局限，人工智能（Artificial Intelligence, AI）技术凭借其强大的数据处理与智能决策能力，为规划的精准化、动态化转型提供了新范式。本文阐述了AI在自然资源数据治理、方案生成与优化、动态监测评估等环节的应用机制，分析了其在提升规划效率与科学性上的成效；同时，探讨了AI应用面临的数据质量、算法可解释性、技术适配性及伦理规范等挑战，并从数据治理、模型研发、制度保障等方面提出对策，旨在为推动AI与自然资源规划深度融合提供理论参考，助力可持续发展目标实现。

关键词：深度学习；强化学习；国土空间智能；可解释；AI；模型

引言

在全球气候变化与快速城市化的双重驱动下，自然资源的可持续利用与生态系统保护已成为全球可持续发展的核心议题。自然资源规划作为平衡资源开发、环境保护与经济社会发展的基础性工具，其科学性与有效性直接关系到区域协调发展与生态安全。传统规划方法多依赖经验判断、静态模型与定性分析，在处理海量异构数据、模拟复杂系统动态演化及平衡多元目标优化方面存在显著局限。与此同时，以机器学习、深度学习为代表的人工智能技术迅猛发展，正深刻改变着学科研究与实践模式。在地理信息科学领域，AI与遥感（RS）、地理信息系统（GIS）、物联网（IoT）的深度融合，形成了从数据获取、处理到决策支持的全链条智能化能力，为破解自然资源规划的传统困境提供了新的技术路径。国内研究虽起步稍晚，但发展迅速，尤其在国土空间规划背景下，AI技术的应用探索日益深入。研究多集中于土地利用优化配置、生态保护红线智能划定、自然资源承载力智能评估等方向，强调技术的本土化适配与应用落地。例如，有学者将深度学习与传统CA模型结合，提升了城市扩张模拟的精度；在水资源管理中，AI模型被用于水文预测与水资源优化调度。然而，国内外研究均存在一些共性问题：如对AI算法可解释性关注不足、数据质量与共享机制制约技术应用、跨学科人才缺乏等，这些均为本研究的重点探讨内容。

一、AI赋能自然资源规划的技术基础

AI技术在自然资源规划中的有效应用，依赖于其核

心技术体系与规划流程的深度融合。这些技术通过协同作用，重塑了规划的技术路径与决策模式。

（一）AI核心技术体系

机器学习是AI应用于自然资源规划的基础。传统机器学习算法如随机森林、支持向量机等，因其模型结构相对清晰、可解释性较好，在处理中小规模数据集和进行土地适宜性评价、资源潜力初步预测等方面仍发挥重要作用。它们通过对历史数据的学习，识别影响自然资源分布与利用的关键因子，建立预测模型。

深度学习作为机器学习的重要分支，以其强大的特征自动提取与非线性拟合能力，在处理海量、高维、非结构化数据方面展现显著优势。卷积神经网络（CNN）在遥感影像解译中表现突出，能够自动识别和提取地表覆盖类型、土地利用状况等空间信息，精度和效率远超传统方法。循环神经网络（RNN）及其变体如长短期记忆网络（LSTM）则在处理具有时间序列特性的数据方面独具优势，例如在水资源量预测、土地利用变化动态模拟等场景中，能有效捕捉数据的时序依赖关系，提高预测准确性。

知识图谱技术通过构建实体与关系的语义网络，整合自然资源规划领域的专业知识、政策法规与约束条件，为AI模型提供显性知识支持，增强模型决策的合理性与合规性。强化学习通过与环境的交互试错，学习最优决策策略，在动态规划方案优化、资源自适应调度等方面展现巨大潜力，尤其适用于平衡长期效益与短期目标的复杂规划问题。数字孪生技术通过构建物理世界的虚拟

映射，结合多源数据与AI模型，实现规划方案的虚拟仿真与效果预演，为决策提供直观、动态的评估工具。

（二）AI融入规划全流程的机制

AI技术通过渗透到自然资源规划的全流程，实现了规划范式的革新。在数据准备阶段，AI显著提升了数据处理效率与质量。传统数据采集与处理方式耗时耗力，且难以应对多源异构数据的整合。基于计算机视觉的自动解译技术能快速处理海量遥感影像，准确提取各类地物信息；自然语言处理技术可从大量文本型政策文件、规划报告中自动抽取关键信息与约束条件，转化为量化的规划参数，将原本需要数周甚至数月的数据准备工作大幅缩短，且提升了数据的一致性与标准化程度。

在规划实施的监测与评估阶段，AI实现了从静态评估到动态监测的转变。通过整合物联网传感器实时数据、高频率更新的遥感影像等，AI模型能对自然资源利用状况、生态环境变化趋势进行持续监测与快速响应。例如，在生态保护规划中，AI系统可实时识别非法开垦、植被破坏等行为，并评估其对生态系统的影响；在水资源规划中，能动态监测流域水量、水质变化，及时调整调度方案。同时，AI模型能对规划实施效果进行量化评估，预测可能出现的问题，为规划动态调整提供科学依据，形成“规划-实施-监测-评估-调整”的闭环管理。

二、AI在自然资源规划中的典型应用与成效

AI技术在自然资源规划的多个领域已展现出独特应用价值与显著成效，通过代表性实践案例，可深入理解其技术赋能的具体路径与实际影响。

在土地利用与国土空间规划领域，AI技术深度介入正改变传统规划模式。以中国深圳市的国土空间智能优化实践为例，其构建了融合多种AI技术的综合决策支持系统。该系统利用卷积神经网络（CNN）对多期高分辨率遥感影像进行自动化解译，精准提取土地利用类型的空间分布及动态变化特征。实践表明，该系统大幅缩短了规划方案编制周期，并通过纳入“碳排放量”等新兴约束因子，使规划方案更好响应国家战略，实现多目标协同优化。

在生态保护与生物多样性管理领域，AI为解决传统监测手段局限提供创新方案。肯尼亚马赛马拉国家公园的智能监测系统由技术与当地管理部门合作开发，部署数百个物联网传感器节点实时采集环境与野生动物活动信息，结合无人机高分辨率影像，通过Transformer

模型自动识别异常活动，准确率高达93.6%。系统融合生态系统服务价值评估模型，动态调整巡逻路线和保护分区优先级，显著提升保护成效，非法入侵事件发生率大幅下降，旗舰物种种群数量增长。该案例针对当地网络基础设施薄弱现状，采用边缘计算节点进行本地化数据处理，降低了对远程传输的依赖，为发展中国家生态保护智能化提供了借鉴。

三、AI在自然资源规划应用中的挑战

尽管AI在自然资源规划领域潜力巨大，但其深度应用仍面临多重挑战，涉及技术、数据、制度与伦理等多个维度。

（一）数据质量与治理困境

高质量、标准化的数据是AI算法有效发挥作用的基础，但自然资源规划领域的获取与治理面临诸多难题。数据准确性与一致性方面，不同来源数据在精度、格式、坐标基准等存在差异。早期土地调查数据可能存在边界不准确、属性记录不完整；不同时期遥感影像因传感器类型、成像条件不同，辐射与几何精度有偏差，影响变化检测与动态分析。

数据完整性与共享性方面，自然资源管理涉及多部门，各部门往往形成数据壁垒，标准不一、格式各异，难以有效整合共享。进行跨领域综合规划时，常面临关键数据缺失或难以获取，影响AI模型分析全面性。

数据时效性与更新机制方面，自然资源持续动态变化，对实时或近实时监测需求迫切，但高分辨率遥感数据获取成本高，地面监测网络布设受资金人力限制，部分区域数据更新频率低，难以反映最新状况，导致AI模型预测和决策支持可能出现偏差。

（二）算法可解释性与可信度问题

在涉及公共利益与长远发展的自然资源规划领域，决策过程的透明度与可追溯性至关重要，但当前AI模型存在可解释性与可信度不足的问题。许多高性能AI模型，特别是深度学习模型，内部工作机制复杂如“黑箱”，难以用人类可理解逻辑解释决策依据。例如，预测矿产资源潜力的深度学习模型可能准确指出高潜力区域，但判断所依赖的关键地质特征组合、权重分配等却难以明确阐释。

这种不可解释性降低了规划决策者对AI模型结果的信任度，使其在关键决策中不敢完全依赖模型输出，也可能掩盖模型内部偏见或错误。当模型预测出现偏差时，难以追溯根源并有效修正。此外，AI模型鲁棒性与泛化

能力有限,在特定数据集上训练的性能,应用到数据分布不同的新区域或场景时,可能出现精度下降的“域适应”问题,影响规划决策稳定性。

四、推动AI深度应用的对策与路径

为应对AI在自然资源规划应用中的挑战,需从技术创新、数据治理、制度建设和人才培养等多维度协同发力,构建可持续、健康的发展生态。

(一) 构建高质量数据治理体系

建立健全自然资源数据标准与规范体系是基础。统一数据采集技术标准,包括遥感影像分辨率、地面调查精度等级、传感器布设规范等,确保数据准确性和一致性。明确不同比例尺土地利用数据精度标准,统一采用国家大地坐标系和高程基准,为数据整合共享奠定基础。制定数据质量控制与评估指标,如遥感影像云量阈值、数据属性完整率等,通过标准化流程保障数据质量。

建立常态化数据更新与动态监测机制。加大对高分辨率遥感卫星、无人机、物联网监测网络等新型数据获取手段的投入,提高数据获取频率与覆盖范围,对生态敏感区、重点开发区域等实现常态化监测。结合众包技术与公民科学项目,鼓励公众参与数据收集与验证,补充官方监测数据不足,形成多元化数据更新渠道。

(二) 研发领域适配的可解释AI模型

提升算法可解释性与可信度是关键。加强可解释AI(XAI)技术研究与应用,探索领域知识与AI模型深度融合,在模型设计中嵌入自然资源规划专业规则与约束条件,使决策过程更符合人类认知逻辑。例如,在生态保护红线划定AI模型中,将生态系统服务功能评估指标、物种栖息地连通性要求等明确编码为模型先验知识,使模型既能输出结果,又能解释考虑的关键生态因子。开发模型可视化与解释工具,将复杂模型内部结构与决策路径转化为直观图表或自然语言描述。例如,对土地利用优化模型,通过敏感性分析揭示不同参数变化对结果的影响程度,或通过生成决策树展示模型判断关键节点,增强决策者对模型结果的理解与信任。

五、结论与展望

人工智能技术正以其强大的数据处理、复杂模式识别和智能决策支持能力,深刻改变自然资源规划的理论基础与实践范式。通过在数据治理、方案生成、动态监测等环节的深度赋能,AI不仅显著提升了规划效率与精度,更在平衡资源开发与生态保护、应对复杂多目标决策挑战方面展现独特优势。

然而,AI在自然资源规划领域的应用仍处于探索完善阶段,数据质量、算法可解释性、技术适配性及制度伦理等挑战亟待解决。应对这些挑战需构建数据治理、模型研发、制度保障与人才培养的多维度协同体系。

展望未来,随着AI技术持续演进与配套体系完善,其应用将更广阔。AI与数字孪生、元宇宙等技术融合,将实现规划方案从“纸上”到“虚拟仿真”再到“实时优化”的跨越;在应对全球气候变化、生物多样性保护等全球性挑战方面应用将更深入;AI也将支持构建更开放包容的规划决策过程,促进多元利益主体协商与共识达成。

归根结底,人工智能是强大的辅助工具,延伸人类认知与决策效能,使规划师更专注于价值判断、人文关怀与战略思考。未来的自然资源规划,将是“人工智能精准计算”与“人类智慧深度洞察”的高度融合,朝着更具韧性、公平性与可持续性的方向发展,为实现人与自然和谐共生提供坚实保障。

参考文献

- [1] 樊杰. 国土空间规划的基础理论与方法论基础[J]. 地理学报, 2020, 75(1): 13-29.
- [2] 刘耀林, 焦利民. 土地利用变化模拟的深度学习方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(5): 653-661.
- [3] 李德仁, 眭海刚. 空天地一体化遥感数据智能处理与应用[J]. 测绘学报, 2021, 50(1): 1-11.
- [4] 周成虎, 苏奋振. 遥感大数据与人工智能[J]. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(1): 1-14.