

# 大数据驱动的耕地保护动态监测与风险预警体系构建

刁云浩<sup>1,2</sup>, 孙月<sup>1,2</sup>

1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086

2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150086

DOI:10.61369/EAE.2025060002

**摘要 :** 为实现耕地“数量 – 质量 – 生态”三位一体保护目标, 解决耕地利用动态监管不及时、风险预警不精准等问题, 本文构建了大数据驱动的耕地保护动态监测与风险预警体系。体系采用“数据 – 技术 – 应用 – 保障”四层递进式架构, 以“数据驱动 – 智能分析 – 精准预警 – 闭环处置”为运行机制, 通过整合遥感、地理、实地监测及多部门业务等多源异构数据, 经预处理、标准化与分级融合治理构建高质量数据资源池; 进而搭建耕地数量变化、质量演变、生态状况三维动态监测模型, 实现对耕地利用全维度精准感知; 在此基础上, 识别四大核心风险因子, 构建“目标层 – 准则层 – 指标层”三级预警指标体系, 结合多模型协同运算与分级分类预警机制, 形成全流程闭环风险防控体系。该体系打通了跨部门数据壁垒, 提升了耕地保护监测的时效性与预警的精准性, 能够为耕地保护政策制定、精准管控及科学决策提供有力的数据支撑与技术保障。

**关键词 :** 耕地保护; 动态监测; 风险预警; 大数据

## Construction of a Big Data-Driven Dynamic Monitoring and Risk Early Warning System for Farmland Protection

Diao Yunhao<sup>1,2</sup>, Sun Yue<sup>1,2</sup>

1. Harbin Natural Resources Survey, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150086

2. Observation and Research Station of Earth Critical Zone in Black Soil, Harbin, Ministry of Natural Resources, Harbin, Heilongjiang 150086

**Abstract :** To achieve the trinity protection goal of "quantity–quality–ecology" for farmland and address issues such as untimely dynamic supervision of farmland utilization and imprecise risk early warning, this paper constructs a big data–driven dynamic monitoring and risk early warning system for farmland protection. The system adopts a four–tier progressive architecture of "data–technology–application–guarantee" and operates on the mechanism of "data–driven–intelligent analysis–precise early warning–closed–loop disposal". By integrating multi–source heterogeneous data from remote sensing, geography, field monitoring, and multi–departmental operations, a high–quality data resource pool is constructed through preprocessing, standardization, and hierarchical fusion governance. Subsequently, three–dimensional dynamic monitoring models for farmland quantity changes, quality evolution, and ecological conditions are established to achieve precise perception of the full dimensions of farmland utilization. On this basis, four core risk factors are identified, and a three–tier early warning indicator system of "objective layer–criterion layer–indicator layer" is constructed. Combined with multi–model collaborative computation and a hierarchical classification early warning mechanism, a full–process closed–loop risk prevention and control system is formed. This system breaks down inter–departmental data barriers, enhances the timeliness of farmland protection monitoring and the precision of early warning, and provides robust data support and technical guarantees for formulating farmland protection policies, precise management and control, and scientific decision–making.

**Keywords :** farmland protection; dynamic monitoring; risk early warning; big data

## 引言

当前我国耕地保护面临着“非农化”“非粮化”蔓延、土壤质量退化、生态风险加剧等多重挑战, 叠加跨区域、跨部门数据壁垒突

依单位: 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心。依托项目: 全国国土变更调查国家级外业核查(哈尔滨中心), 项目编号: DD20230517; 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150000。

出、传统监测手段时效性不足、风险预警精准度欠缺等问题，导致耕地动态变化难以及时捕捉、潜在风险难以提前预判，严重制约了耕地保护的精细化管控水平。基于此，本文聚焦耕地保护的现实需求与技术瓶颈，构建大数据驱动的耕地保护动态监测与风险预警体系。研究将整合多源异构耕地数据，搭建三维协同监测模型，建立科学高效的风险预警机制，旨在打破跨部门数据壁垒，提升耕地保护监测的实时性、预警的精准性与处置的闭环性，为耕地保护政策制定、精准管控及科学决策提供技术支撑与实践参考，助力筑牢国家粮食安全与生态安全双重屏障。

## 一、体系总体架构设计

### (一) 设计原则

探索实现数量、质量、生态三位一体的耕地保护格局，必要前提是全面及时地掌握耕地利用情况。实施统一标准的动态监测，监测成果既是支撑政策制定实施的数据基础，也是监督政策落实成效的考核依据<sup>[1]</sup>。该体系以精准为导向，依托大数据、遥感等成熟技术，构建耕地“数量—质量—生态”三维协同保护平台，实现全流程精准监测与高效预警。通过打通跨部门数据壁垒来促进管理协同，同时预留灵活接口以支持动态迭代，并建立全流程安全防护机制，确保体系先进、实用、安全且可持续。

### (二) 体系总体框架

体系采用“数据—技术—应用—保障”四层递进式架构，构建全链条、闭环式耕地保护动态监测与风险预警系统<sup>[2]</sup>。数据层整合遥感、地理、监测及业务等多源数据，形成统一资源池；技术层提供数据处理、动态监测、风险预警及智能分析等核心能力；应用层面向政府、基层和公众，提供监测看板、任务派发、政策宣传等场景化服务；保障层则从制度、技术和人才三方面确保体系稳定运行与持续优化。

### (三) 体系运行机制

体系构建“数据驱动—智能分析—精准预警—闭环处置”的全流程运行机制，确保各环节高效协同、无缝衔接。通过“实时+定期+按需”模式采集数据，结合“批量+实时+预测”方式进行分析，实现动态感知与趋势研判<sup>[3]</sup>。建立分级分类预警机制，通过多渠道定向推送预警信息，确保责任主体快速响应。形成“预警—核查—整改—销号”的闭环管理，并持续反馈优化，不断提升体系的精准性与适应性。

## 二、多源异构耕地大数据融合治理

### (一) 数据来源与分类

多源异构耕地大数据涵盖空间、属性、实时监测等多维度信息，其来源广泛且类型多样，为耕地动态监测与风险预警提供全面的数据支撑<sup>[4]</sup>。以卫星和无人机影像为核心的遥感数据，提供空间分布与变化信息；来自GIS平台的地理空间数据，作为统一空间基准；通过物联网和人工调查获取的实地监测数据，反映土壤、气象等实时状况与种植属性；以及来自多部门的业务管理数据，记录执法、整治等管理动态。这些数据被分类纳入结构清晰的数据库，共同构建了一个覆盖全面的耕地大数据资源池。

### (二) 数据预处理与标准化

为解决多源数据格式不一、尺度各异、质量参差不齐的异构问题，需通过系统的预处理与标准化流程提升数据质量与兼容

性<sup>[5]</sup>。数据清洗环节，采用统计分析、异常检测算法剔除传感器故障、人为记录误差等导致的异常值，通过插值法、回归分析等方法填补缺失数据，修正数据采集过程中产生的系统误差与随机误差，确保数据的准确性与完整性；格式转换针对不同数据源的异构格式，采用统一的数据格式标准进行批量转换，实现数据格式的一致性；坐标统一是空间数据预处理的核心，所有空间相关数据均采用国家统一的2000国家大地坐标系与1985国家高程基准，通过坐标转换算法完成不同坐标系数据的精准匹配，保障空间数据叠加分析与空间关联挖掘的准确性；指标标准化针对不同数据源中监测指标的单位差异与尺度差异，采用极差标准化、Z-score标准化等方法将指标值转换至统一区间，消除量纲影响，为多指标综合分析与模型运算提供统一的数据基础；通过数据质量校验环节，从完整性、准确性、一致性、时效性四个维度建立校验指标体系，对预处理后的数据进行全面审核，不合格数据返回重新处理，确保进入数据资源池的所有数据均满足后续融合与分析的要求。

### (三) 数据融合与治理技术

多源异构耕地大数据的有效融合与规范治理是体系高效运行的核心技术支撑，通过分层融合与全流程治理构建高质量数据应用基础<sup>[6]</sup>。数据融合采用“数据级—特征级—决策级”三级体系，通过空间配准与像素叠加形成基础数据集；运用机器学习提取并整合核心特征以提升信息有效性；再基于模糊评价等方法交叉验证决策结果，精准识别耕地“非农化”等真实情况<sup>[7]</sup>。同时数据治理技术覆盖全生命周期，利用分布式存储与云计算处理海量数据，借助区块链建立数据溯源与安全共享机制，并通过AI算法自动优化数据质量，以标准规范体系形成“采集—应用—优化”的闭环管理，确保耕地大数据的规范、安全与高效利用。

## 三、耕地“数量—质量—生态”动态监测模型构建

### (一) 耕地数量变化动态监测

耕地数量变化动态监测模型以“空间精准识别+时序动态追踪+合规性校验”为核心，整合多源数据与先进算法实现对耕地数量增减、空间转移及利用合规性的全方位监测<sup>[8]</sup>。模型融合高分辨率遥感影像与GIS规划数据，通过“传统算法+机器学习”技术，精准捕捉并分类耕地转为建设用地、林地或“非粮化”等变化。模型通过空间叠加分析自动比对规划，标记违规行为，并构建时序列动态追踪演变趋势，生成包含位置、面积、类型、时间及合规状态的详细台账，实现从“静态统计”到“动态监管”的转变，为耕地保护提供精准数据支撑。

### (二) 耕地质量动态监测

耕地质量动态监测模型基于“多维度指标整合+时空异质性适配+动态等级更新”的设计思路，构建涵盖土壤理化属性、耕

作条件、产出能力三大维度的综合评价体系，实现对耕地质量等級演变的精准捕捉与趋势预判<sup>[9]</sup>。模型采用层次分析法与熵权法组合赋权，以综合指数法计算得分并依据国家标准划分等级，同时利用时序数据挖掘技术精准捕捉质量演变趋势并识别关键影响因素。此外，模型内置区域适配模块，通过调整权重与标准提升不同场景下的监测精度，最终生成动态评价报告，为耕地提质改造和精准施肥等提供靶向指导。

### （三）耕地生态状况监测

耕地生态状况监测模型聚焦生态系统健康、风险防控与服务价值三大目标，整合多源生态环境数据，融合 RSEI、RUSLE 及 InVEST 等生态模型，实现对耕地健康状况、水土流失强度及生态服务价值的动态评估<sup>[10]</sup>。模型通过模糊综合评价法量化土壤污染、生物多样性减少等生态风险等级，并结合时序分析追踪关键指标演变与污染扩散趋势，从而动态识别生态规律、评估修复效果，对风险区域及时预警，为耕地生态保护与农业绿色发展提供科学依据。

## 四、耕地保护风险预警模型与机制

### （一）风险因子识别与指标体系构建

基于耕地“数量—质量—生态”三维动态监测成果，融合政策执行与社会经济等外部因素，通过文献梳理、实地调研和专家论证，系统识别耕地保护核心风险因子，构建了多层次、可量化的风险预警指标体系。体系聚焦四大核心风险维度，数量安全风险（如非农化、非粮化、撂荒）、质量衰退风险（如土壤退化、污染）、生态安全风险（如水土流失、生物多样性减少）及政策执行风险（如监管不力、协同不畅）。据此构建了“目标层—准则层—指标层”三级结构，目标层为综合风险，准则层对应四大维度，指标层则选取耕地非农化率、土壤重金属超标率等可量化指标。指标筛选遵循科学、可操作、敏感原则，通过层次分析法与熵权法组合赋权确定权重，并结合国家标准、区域特征和历史数据设定预警阈值，形成一套标准化、规范化的风险预警体系，为耕地保护风险评估提供量化依据。

### （二）风险评估模型构建

依托大数据与智能算法，构建“多源数据融合—多模型协同运算—时空动态评估”的耕地保护风险评估模型，以实现风险的精准量化与趋势预判。模型整合耕地数量、质量、生态及政策等多源异构数据，采用“熵权—模糊综合评价法与 BP 神经网络”协同架构进行核心运算，利用熵权法与模糊综合评价法计算各维度及综合风险指数，再将结果输入 BP 神经网络模型进行训练优化，提升评估精准度。针对风险的时空特性，模型结合 GIS 技术实现

风险空间可视化与高风险区定位，并运用时间序列分析预测未来风险演变趋势。输出单维度与综合风险等级、高风险区域分布图及风险趋势预测曲线，为预警决策提供直观、科学的量化支撑。

### （三）风险预警机制设计

构建“分级预警—精准推送—协同响应—闭环优化”的全流程耕地保护风险预警机制，确保预警信息高效传递、风险处置及时到位。分级预警机制基于风险评估结果，严格遵循“阈值对应—等级匹配”原则，将耕地保护风险划分为蓝色、黄色、橙色、红色四级，明确各级风险的量化阈值、判定标准及响应时效。精准推送机制依托体系应用层的多终端服务平台，按“责任主体层级+风险类型”定向推送预警信息，省级管理部门接收区域综合风险预警，县级及乡镇部门获取辖区内具体地块的风险详情，农户及经营主体接收地块级风险提示，推送内容包含风险等级、涉及地块、风险因子、处置建议及责任时限，同时通过体系平台、移动执法 APP、短信、政务专线等多渠道同步发布，确保信息直达。协同响应机制建立跨部门联动体系，明确自然资源部门负责耕地数量风险处置、农业农村部门牵头质量提升与种植规范、生态环境部门主导生态污染治理，形成“监测预警—任务分派—联合处置—结果上报”的协同工作流程，针对不同等级预警制定差异化响应措施。闭环优化机制通过跟踪预警响应全过程，收集风险处置结果与后续动态监测数据，建立“预警—处置—监测—反馈”的闭环管理，定期分析预警准确率、响应及时率、处置完成率等指标，结合耕地保护政策调整与风险演变特征，动态优化预警指标阈值、模型参数及响应流程，持续提升预警机制的适配性与有效性，实现耕地保护风险的前瞻性防控与精细化管理。

## 五、结束语

本文围绕耕地保护精细化、智能化管控需求，针对传统监测手段滞后、风险预警不精准、跨部门协同不足等痛点，构建了大数据驱动的耕地保护动态监测与风险预警体系。研究通过整合多源异构耕地数据，搭建“数据—技术—应用—保障”四层架构与“数量—质量—生态”三维协同监测模型，建立“识别—评估—预警—处置”全流程闭环风险防控机制，实现了耕地保护从“静态统计”向“动态监管”、从“被动应对”向“主动预警”的转变，为破解耕地保护数字化难题提供了系统性解决方案。未来可基于本研究构建的体系框架，进一步深化多源数据融合的深度与广度，结合人工智能、物联网等技术升级监测与预警模型，增强对复杂场景的适配能力。

## 参考文献

- [1] 魏媛, 郑少兰, 王海云. 基于 RS 的广东省耕地保护动态监测技术体系研究 [J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(10):39–42, 46. DOI:10.3969/j.issn.1672-5867.2023.10.012.
- [2] 左建波. 基于物联网及地理国情监测下的耕地保护动态监测系统研究 [D]. 安徽: 安徽农业大学, 2015.
- [3] 金雨泽, 徐智颖, 钟太洋, 等. 我国土地利用动态监测的耕地保护效果评价 [J]. 地域研究与开发, 2016, 35(5):120–123. DOI:10.3969/j.issn.1003-2363.2016.05.021.
- [4] 孙伟东. 耕地质量动态监测在耕地保护中的作用 [J]. 中国科技投资, 2017(20):333. DOI:10.3969/j.issn.1673-5811.2017.20.319.
- [5] 洪士林, 王艳华. 耕地质量动态监测在耕地保护中的作用 [J]. 现代农业科技, 2015(5):234–235, 250. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2015.05.146.
- [6] 洪士林, 王艳华. 基于耕地质量动态监测的耕地保护路径思考 [J]. 农业灾害研究, 2015, 5(4):36–37, 57.
- [7] 马俊. 我国土地利用动态监测的耕地保护效果分析 [J]. 农业科技与信息, 2020(13):33–35. DOI:10.3969/j.issn.1003-6997.2020.13.014.
- [8] 莫秋玉. 城厢镇耕地资源动态监测与保护策略研究 [J]. 数字化用户, 2024(34):17–18.
- [9] 柳阳. 吉林省典型黑土区耕地动态监测研究 [D]. 吉林: 吉林农业大学, 2024.
- [10] 孙桂清, 季宏亮, 赵玉杰. 耕地智能监测及耕地保护开发 [J]. 农业工程技术, 2023, 43(5):55–56. DOI:10.16815/j.cnki.11-5436/s.2023.05.019.