

环境与生态

Environment and Ecology



ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

(517 666 0904)

263 S KENWOOD ST 560

CASPER, WY 82601

Copyright © 2026 by ART AND TECHNOLOGY PRESS INC. (United States)

Complimentary Copy



ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.
(United States)

Editorial Board Member

Guobin Lv

Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center of China
Geological Survey

Zhen Da

Ngari Prefecture Gar County Emergency Management Bureau (Natural
Disaster Prevention and Rescue Center)

Shuai Yu

Hebei Province geological mineral exploration and development
Bureau second geological brigade(Hebei Province mine environmental
remediation technology center)

环境与生态

Environment and Ecology

(双月刊)

第3卷 第1期 2025年2月刊

主管 ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

主办 ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

编辑 《环境与生态》编辑部

ISSN(O): 2998-9108

ISSN(P): 2998-9094

地址: 263 S KENWOOD ST 560

CASPER,WY 82601

网址: <https://arttechpress.com>

本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事项如下:

1. 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著作权在世界范围内免费转让给本刊。
2. 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单位造成的全部损失。
3. 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作者的身份真实。
4. 论文未曾以任何形式公开发表过。
5. 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



- 001 基于GIS与地统计的五大连池市黑土厚度空间分异特征及成因探析 赵国强, 王旭, 卢彦达, 公成成, 吴怡慧, 孙玉雪, 张刘波, 刘健, 付龙龙
Analysis of Spatial Differentiation Characteristics and Causes of Black Soil Thickness in Wudalianchi City Based on GIS and Geostatistics Zhao Guoqiang, Wang Xu, Lu Yanda, Gong Chengcheng, Wu Yihui, Sun Yuxue, Zhang Liubo, Liu Jian, Fu Longlong
- 005 流动注射测定氰化物精密度反应条件优化研究 张乾, 王璞玉
Optimization of Reaction Conditions for Determination of Cyanide Precision by Flow Injection Zhang Qian, Wang Puyu
- 008 甘蔗高产栽培关键技术与管理措施 王淑惠
Key Cultivation Techniques and Management Measures for High-Yield Sugarcane Wang Shuhui
- 011 云南边疆民族地区农村生活污水治理的实践——以怒江州贡山县为例 董锡斌
Practice of Rural Domestic Sewage Treatment in Ethnic Minority Areas of Yunnan Border — A Case Study of Gongshan County, Nujiang Prefecture Dong Xibin
- 015 公共空间光影艺术的设计策略分析——以上海国际光影节为例 陈锋锋, 金承璋, 张利超
Analysis of Design Strategies of Light and Shadow Art in Public Space — Taking the Shanghai International Light Festival as an Example Chen Fengfeng, Jin Chengzhang, Zhang Lichao
- 018 生态文明视域下区域绿色发展的政策协同研究 王雯洁
Research on Policy Coordination of Regional Green Development from the Perspective of Ecological Civilization Wang Wenjie
- 021 煤矿石填沟造地综合利用及土地复垦项目环境影响的深度剖析与评价 任林霞
In-depth Analysis and Evaluation of Environmental Impacts of the Comprehensive Utilization of Coal Gangue for Land Reclamation by Filling Gullies and Land Restoration Project Ren Linxia
- 023 新型配方基质栽培“增香鸡腿菇”的研究初报 郭兵, 姚利, 王祥峰, 曹德宾
Preliminary Report on the Study of "Fragrance-Enhanced Coprinus Comatus" Cultivated with a New Formula Substrate Guo Bing, Yao Li, Wang Xiangfeng, Cao Debin
- 026 林业碳汇空间占用补偿机制实践分析——以元谋县试点为例 段映丞, 张伟, 陈云刚
Practical Analysis of the Spatial Occupancy Compensation Mechanism for Forest Carbon Sinks — A Case Study of the Yuanmou County Pilot Program Duan Yingcheng, Zhang Wei, Chen Yungang
- 030 修井作业中常见卡钻机理及多元化解卡技术综合研究与应用分析 杨帆
Comprehensive Research and Application Analysis of Common Sticking Mechanisms and Diversified Sticking Solutions in Well Servicing Operations Yang Fan
- 033 以生态文明理念推进美丽乡村建设的思考 张国才
Reflections on Promoting the Construction of Beautiful Villages with the Concept of Ecological Civilization Zhang Guocai
- 036 乡村振兴背景下农村生活污水治理模式选择与绩效评价 陈鑫
Selection and Performance Evaluation of Rural Domestic Sewage Treatment Models under the Background of Rural Revitalization Chen Xin

039	基层环保执法队伍应对日常水污染投诉的处理流程与优化建议 Processing Procedures and Optimization Suggestions for Grassroots Environmental Law Enforcement Teams in Handling Daily Water Pollution Complaints	郭海卿 Guo Haiqing
042	环境工程执法“双随机、一公开”机制优化研究 Research on the Optimization of the "Double Random, One Public" Mechanism in Environmental Engineering Law Enforcement	李洁 Li Jie
046	碱性过硫酸钾氧化紫外分光光度法分析 Analysis Using Alkaline Potassium Persulfate Oxidation-Ultraviolet Spectrophotometry	周健能 Zhou Jianneng
050	水样中大肠菌群滤膜法检测条件优化研究 Optimization of Detection Cconditions of Coliform Bacteria in Water Samples by Filter Membrane Method	王璞玉 Wang Puyu
053	沉积盆地构造演化对油气矿产成藏规律的控制作用分析 Analysis of the Controlling Effect of Structural Evolution in Sedimentary Basins on the Patterns of Hydrocarbon Accumulation	李玉航 Li Yuhang
056	环境监测数据全流程质控体系设计与实践——基于《生态环境监测条例》要求 Design and Practice of the Whole Process Quality Control System for Environmental Monitoring Data — Based on the Requirements of the "Regulations on Ecological Environment Monitoring"	钱森, 刘赛 Qian Shen, Liu Sai
059	森林·草原·湿地一体化保护行政执法机制研究 Research on the Administrative Law Enforcement Mechanism for Integrated Protection of Forests, Grasslands, and Wetlands	王鹏飞 Wang Pengfei

基于 GIS 与地统计的五大连池市黑土厚度空间分异特征及成因探析

赵国强^{1,2}, 王旭^{1,2*}, 卢彦达^{1,2}, 公成成^{1,2}, 吴怡慧^{1,2}, 孙玉雪^{1,2}, 张刘波^{1,2}, 刘健^{1,2}, 付龙龙^{1,2}

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.2026010001

摘 要 : 为揭示五大连池市黑土厚度的空间分布规律及形成机制, 本文以该市黑土分布区为研究对象, 通过野外采样结合 GIS 空间分析与地统计方法, 系统研究黑土厚度的空间分异特征及成因。分析发现, 五大连池市黑土厚度 8 ~ 65cm, 均值 32.6cm, 呈中等强度空间变异; 半方差函数最优拟合为球状模型, 块金值/基台值 38.7%, 中等空间相关性, 受自然与人为因素共同影响; 空间呈“中部高、边缘低”格局, 中部岗阜状平原厚度最大, 边缘低山丘陵区最小。成因上, 地貌是主导自然因素, 气候、成土母质次之, 土地利用、垦殖年限等人为因素加剧差异。研究可为黑土保护、耕地质量提升提供依据。

关 键 词 : GIS; 地统计; 五大连池市; 黑土厚度; 空间分异; 成因探析

Analysis of Spatial Differentiation Characteristics and Causes of Black Soil Thickness in Wudalianchi City Based on GIS and Geostatistics

Zhao Guoqiang^{1,2}, Wang Xu^{1,2*}, Lu Yanda^{1,2}, Gong Chengcheng^{1,2}, Wu Yihui^{1,2}, Sun Yuxue^{1,2}, Zhang Liubo^{1,2}, Liu Jian^{1,2}, Fu Longlong^{1,2}

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 reveal the spatial distribution pattern and formation mechanism of black soil thickness in Wudalianchi City, this study takes the black soil distribution area in the city as the research object. Through field sampling combined with GIS spatial analysis and geostatistical methods, the spatial differentiation characteristics and causes of black soil thickness are systematically investigated. The analysis reveals that the black soil thickness in Wudalianchi City ranges from 8 to 65 cm, with an average of 32.6 cm, exhibiting moderate spatial variability. The optimal fitting of the semivariogram is a spherical model, with a nugget-to-sill ratio of 38.7%, indicating moderate spatial correlation influenced by both natural and anthropogenic factors. The spatial pattern shows a "high in the center and low at the edges" distribution, with the thickest black soil found in the central hilly plain and the thinnest in the marginal low mountain and hilly regions. In terms of causes, topography is the dominant natural factor, followed by climate and parent material, while anthropogenic factors such as land use and reclamation duration exacerbate the differences. This study provides a basis for black soil conservation and improvement of cultivated land quality.

Keywords : GIS; geostatistics; Wudalianchi City; black soil thickness; spatial differentiation; cause analysis

引言

黑土是世界上最肥沃的土壤之一, 以腐殖质含量高、团粒结构好、保水保肥能力强为显著特点, 是保障粮食安全的核心战略资源^[1]。五大连池市位于黑龙江省北部, 地处东北黑土区北缘, 境内黑土面积达 109.9 万亩, 占全市总面积的 19.9%, 在耕地中占比更是高达 57.8%, 是当地农业生产不可或缺的基础^[2]。然而近年来, 受自然侵蚀与人为开垦等因素影响, 东北黑土区普遍面临黑土层变薄、肥

资助项目: 中国地质调查局地质调查项目 (编号: DD20230517, DD20242507)。

第一作者: 赵国强 (1991-), 男, 本科, 中国地质大学 (武汉), 助理工程师。主要研究方向为地质工程。Email: 1369255947@qq.com

通讯作者: 王旭 (1988-), 男, 本科, 助理工程师, 中国地质大学 (武汉), 主要从事水文与水资源工程研究。E-mail: 415259651@qq.com

力下降的问题^[3]，五大连池市也面临黑土退化问题，部分坡度较大、开垦历史较长的漫岗区，黑土腐殖质层厚度已明显降低^[4]。黑土厚度的空间分异直接反映资源禀赋与退化程度，明确其规律及成因是保护的关键^[5]。现有研究多聚焦全省或更大区域，针对该市独特地貌的专项研究不足，本文通过野外采样、GIS空间分析与地统计方法结合，揭示其分异特征与成因，为精准保护和农业可持续发展提供支撑。

一、研究区概况与数据来源

（一）研究区概况

五大连池市位于黑龙江省西北部（东经125°42′~127°37′、北纬48°16′~49°12′），总面积8745km²，地处小兴安岭与松嫩平原过渡带，地貌分四类：岗阜状平原（中部及西南部，坡度<10度，黑土主分布区）、低山丘陵（北部及东部，坡度15~20度，以暗棕壤为主）、火山熔岩台地（讷谟尔河北侧，火山砾质土）、阶地漫滩（沿河谷分布，草甸土、泛滥土）。

气候为温带大陆性季风，年均温-0.5~1.0℃，年降水量450~600mm（集中6~8月），日照2600~2800小时，无霜期110~130天，植被以针阔叶混交林、草甸草原为主，利于腐殖质积累。土壤类型中，暗棕壤占78.8%，黑土次之，分布于11个乡（镇）的漫岗及平原。

（二）数据来源与预处理

1. 土壤采样数据

本研究在五大连池市全部黑土分布区开展采样。采样点布设遵循“均匀分布、兼顾地貌”原则，采用网格采样法结合随机抽样，共布设120个采样点，采样深度为0~60cm。采样时，使用北斗定位，记录地貌、土地利用等信息；实验室测容重并记录黑土厚度，剔除异常值得118个有效数据。

2. 基础地理数据

数字高程模型（DEM）数据来源于地理空间数据云，分辨率为30m，用于提取研究区坡度、海拔等地形因子；地貌类型图、土壤类型图基于《五大连池市志》及黑龙江省土壤普查数据数字化获得；土地利用数据来源于国家自然资源部年度土地利用变更调查数据（2023年），用于分析不同土地利用方式对黑土厚度的影响。

二、研究方法

（一）GIS空间分析方法

本研究运用ArcGIS10.8软件的空间分析模块，对DEM数据进行地形因子提取，获得研究区海拔、坡度等数据；通过叠加分析功能，将采样点数据与地貌类型图、土壤类型图、土地利用图进行空间关联，明确不同地貌、土地利用类型下黑土厚度的统计特征。

（二）地统计分析方法

地统计分析的核心是半方差函数，其能够量化土壤属性的空间相关性和变异程度。半方差函数计算公式如下：
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

式中， $\gamma(h)$ 为半方差函数值； h 为样点间的距离（滞后距）； $N(h)$ 为距离等于 h 的样点对数量； $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别为土壤属性在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 处的观测值。

本研究使用GS+9.0软件对黑土厚度数据进行半方差函数分析，首先确定最佳滞后距和步长，然后分别拟合球状模型、指数模型、高斯模型三种常用理论模型，根据决定系数(R^2)和残差平方和(RSS)选择最优模型。通过半方差函数分析获得块金值(C_0)、基台值($C_0 + C$)、变程(a)等参数，其中块金值反映随机因素引起的变异，基台值反映总变异程度，变程表示空间相关性的范围；块金值/基台值($C_0 / (C_0 + C)$)用于判断空间相关性强度，比值<25%为强空间相关性，25%~75%为中等空间相关性，>75%为弱空间相关性。

（三）成因分析方法

本研究采用相关性分析、单因素方差分析，结合自然与人为因素，揭示黑土厚度分异驱动机制。

三、结果与分析

（一）黑土厚度统计特征

五大连池市黑土厚度统计特征如表1所示。其厚度介于8~65cm之间，平均值32.6cm、中位数31.8cm，整体处于中等水平但差异显著。标准差10.3cm，变异系数31.6%，属中等强度变异。最大值65cm出现在中部建设乡岗阜状平原（地势平、垦殖短、腐殖质足），最小值8cm位于东北部朝阳乡低山丘陵边缘（坡度大、流失重、发育不足）。

表1 五大连池市黑土厚度统计特征表

统计指标	数值
样本数量（个）	118
最小值（cm）	8.0
最大值（cm）	65.0
平均值（cm）	32.6
中位数（cm）	31.8
标准差（cm）	10.3
变异系数（%）	31.6
偏度	0.21
峰度	-0.35
K-S检验（P值）	0.203

（二）黑土厚度空间相关性分析

通过GS+9.0软件对黑土厚度数据进行半方差函数分析，分别拟合球状模型、指数模型、高斯模型，拟合结果如表2所示。由表2可知，球状模型的决定系数($R^2=0.897$)最大，残差平方和(RSS=12.36)最小，因此选择球状模型作为黑土厚度空间变异的最优拟合模型。

$$\text{球状模型的表达式为: } \gamma(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0 + C \left[\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & 0 < h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases}$$

由表2可知，黑土厚度的块金值((C_0))为18.7，基台值((C_0+C))为48.3，块金值/基台值为38.7%，处于25%~75%之间，表明研究区黑土厚度具有中等空间相关性。这一结果说明黑土厚度的空间变异是由结构性因素（如地貌、成土母质、气候等自然因素）和随机性因素共同作用的结果。变程((a))为8.6km，表明在8.6km范围内，黑土厚度具有空间相关性，超过该范围后，空间相关性消失，这一范围与研究区岗阜状平原的连续分布范围基本一致。

表2黑土厚度半方差函数拟合参数表

模型类型	块金值 ((C_0))	基台值 ((C_0+C))	块金值 /基台值 (%)	变程 ((a)), km	决定 系数 ((R^2))	残差平 方和 (RSS)
球状模型	18.7	48.3	38.7	8.6	0.897	12.36
指数模型	21.5	50.2	42.8	7.9	0.823	18.75
高斯模型	23.1	51.6	44.8	7.3	0.789	21.42

(三) 黑土厚度空间分异特征

五大连池市黑土厚度空间分异显著，整体呈“中部高、边缘低”的圈层式分布，且与地貌类型高度契合。

空间分布上，高值区(>40cm)集中在中部的岗阜状平原，该区域地势平坦(坡度<5度)，成土母质为中更新统亚粘土，有机质积累条件优越，垦殖年限较短、退化较轻，部分区域厚度达50~65cm；中值区(25~40cm)分布于高值区外围，涵盖兴隆乡、新发乡等，以缓坡漫岗为主(坡度5~10度)，存在轻度水土流失，厚度中等；低值区(<25cm)位于研究区边缘，包括东北部朝阳乡、莲花山乡的低山丘陵区、西南部四平乡丘陵边缘及讷谿尔河沿岸阶地，这些区域坡度较大(10~20度)、水土流失严重，或受砾石底、砂质土等成土母质限制，黑土发育较差，厚度多为8~25cm，部分靠近暗棕壤区的采样点不足10cm。此外，黑土厚度还呈现带状分布特征：西南部四平乡至建设乡一带，沿岗阜状平原延伸方向呈条带状分布，厚度35~50cm；讷谿尔河南岸阶地与漫滩过渡区，厚度呈狭长带状递减，从平原区30cm以上降至阶地20cm以下，契合从漫岗到河谷土壤类型(黑土→草甸土→泛滥土)的水平分布规律。

四、成因探析

(一) 自然因素对黑土厚度空间分异的影响

1. 地貌类型

地貌类型是影响五大连池市黑土厚度空间分异的主导自然因素，不同地貌的成土条件直接决定黑土发育程度与厚度。中部岗阜状平原地势平缓(坡度<10度)，地表径流缓慢，水土流失轻微，且成土母质为中更新统亚粘土，质地疏松、通气透水性好，利于植被残体积累和腐殖质形成，黑土厚度最大；低山丘陵区地势起伏大(坡度15~20度)，地表径流冲刷强烈，植被覆盖率低，有机质输入少且易流失，成土母质多为坚硬的花岗岩、

火山碎屑岩，风化程度低，不利于黑土发育，厚度最小；阶地与漫滩区受河流沉积影响，成土母质为冲积砂、砂砾石，土壤质地偏砂，保肥保水能力差，腐殖质易分解流失，黑土厚度介于两者之间。

2. 气候条件

气候通过影响植被生长和微生物活性，间接作用于黑土腐殖质的积累与分解，进而影响黑土厚度^[6]。五大连池市年均气温较低，微生物活性弱，有机质分解慢，利于腐殖质积累，黑土厚度整体处于中等水平。研究区内部气候存在差异：北部低山丘陵区海拔高，年均气温比中部平原低1~2℃，植被以针叶林为主，枯枝落叶难分解，有机质输入有限，黑土厚度较小^[7]；中部平原区海拔低、热量充足，植被以草甸草原为主，草本残体多且分解快，有机质输入量大，黑土厚度较大。此外，全球气候变暖导致东北地区气温升高速率达0.31℃/10a，高于全国平均水平，加速了有机质分解，使黑土厚度呈减薄趋势，这一现象在中部平原垦殖区更为显著。

3. 成土母质

成土母质是土壤形成的物质基础，其类型和性质直接影响黑土的发育过程和厚度^[8]。五大连池市黑土的成土母质主要为中更新统亚粘土和上更新统堆积亚粘土，其中中部岗阜状平原的黑土母质为中更新统亚粘土，质地均匀，颗粒细腻，富含矿物质养分，通气透水性适中，有利于植物根系生长和腐殖质的吸附积累，因此黑土厚度较大；西南部丘陵区黑土母质为花岗岩风化壳，质地偏粗，含砾石较多，养分含量低，通气透水性过强，腐殖质易淋溶流失，黑土厚度较小；阶地区的黑土母质为冲积砂质土，颗粒较粗，保肥能力差，有机质积累有限，黑土厚度中等。

(二) 人为因素对黑土厚度空间分异的影响

1. 土地利用方式

土地利用方式通过改变植被覆盖类型和地表扰动强度，影响黑土厚度^[9]。研究区黑土的土地利用类型主要包括耕地、林地、草地，其中耕地占比达71.5%，是黑土的主要利用方式。耕地由于长期耕种，地表植被以农作物为主，秸秆还田率较低，有机质输入量有限，且耕作活动破坏了土壤结构，加剧了水土流失，导致黑土厚度普遍小于林地和草地；林地和草地植被覆盖率高，枯枝落叶和草本残体积累多，有机质输入量大，且地表扰动小，水土流失轻微，黑土厚度相对较大。

2. 垦殖年限

垦殖年限是影响耕地黑土厚度的重要人为因素。五大连池市黑土开垦历史悠久，部分区域垦殖年限超过100年，长期的农业生产活动导致黑土厚度逐渐减薄^[10]。这是因为随着垦殖年限的增加，土壤侵蚀加剧，有机质不断消耗，且化肥的长期过量使用抑制了土壤微生物活性，进一步加速了黑土退化，导致黑土厚度持续减薄。

3. 水土流失治理

人为水土流失治理措施对黑土厚度具有积极影响。近年来，五大连池市在黑土分布区实施了梯田改造、退耕还林、秸秆还田、水土保持林建设等措施，有效减缓了黑土流失速度^[11]。例

如，中部团结乡实施梯田改造后，耕地坡度从8~10度降至3~5度，黑土厚度年均减薄速率从0.32cm/a降至0.15cm/a；而东北部朝阳乡未实施有效治理措施，黑土厚度年均减薄速率达0.45cm/a，导致该区域黑土厚度成为全市最低。

五、结语

本文基于GIS与地统计方法，通过野外采样与室内分析，系统研究了五大连池市黑土厚度的空间分异特征及成因，得出以下主要结论：

（1）黑土厚度8~65cm，均值32.6cm，中等变异；球状模型拟合优，中等空间相关性，受自然与人为因素共同影响。

（2）空间呈“中部高、边缘低”格局，沿地貌过渡带带状递减。

（3）地貌是主导自然因素，气候、母质次之；土地利用、垦殖年限、治理措施加剧差异。

基于研究结果，建议中部推广秸秆还田、轮作休耕；边缘实施退耕还林与梯田改造；建立动态监测体系。未来需扩大采样范围，结合遥感研究时空演变，探究与肥力、产量关联，支撑精细化保护。

参考文献

[1] 鞠正山. 重视黑土资源保护, 强化黑土退化防治 [J]. 国土资源情报, 2016, (02): 22-25.

[2] 齐昕宇, 王敬元, 姜莹, 等. 黑河大豆产业发展现状与战略选择 [J]. 农业展望, 2023, 19(09): 46-52.

[3] 于秀春, 孙仲秀, 姜炎炎, 等. 东北黑土区主要土壤障碍层的研究进展与展望 [J]. 土壤, 2025, 57(03): 498-509.

[4] 雷国平, 代路, 宋戈. 黑龙江省典型黑土区土壤生态环境质量评价 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(07): 243-248.

[5] 杜国明, 梁常安, 张树文, 等. 黑土地保护的对象特性、面临形势与应对策略 [J]. 资源科学, 2023, 45(05): 887-899.

[6] 谭晓红, 甘凤玲, 蒋莉沙, 等. 坡向对喀斯特槽谷区不同土地利用类型土壤理化性质和酶活性的影响 [J]. 生态学报, 2025, 45(16): 8007-8019.

[7] 潘英杰, 何志瑞, 刘玉林, 等. 黄土高原天然次生林植被演替过程中土壤团聚体有机碳动态变化 [J]. 生态学报, 2021, 41(13): 5195-5203.

[8] 贾磊, 刘洪, 苏悦, 等. 基于地质条件的粤港澳地区成土母质类型划分 [J]. 中国地质调查, 2025, 12(01): 69-80.

[9] 于秀春, 孙仲秀, 姜炎炎, 等. 东北黑土区主要土壤障碍层的研究进展与展望 [J]. 土壤, 2025, 57(03): 498-509.

[10] 腾云, 孙悦. 推动我国东北黑土区耕地轮作的策略优化研究 [J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(07): 36-51.

[11] 周宁, 李超, 李铁男, 等. 黑龙江省水土保持规划实施效果评价 [J]. 中国水土保持, 2021, (06): 51-54.

流动注射测定氰化物精密度反应条件优化研究

张乾, 王璞玉

北京市地质环境监测所, 城市地下水安全防控技术创新基地, 北京 100079

DOI:10.61369/EAE.2026010017

摘 要 : 氰化物具有剧烈毒性, 精准检测关联环境监测与食品安全两大核心领域。流动注射法凭借操作便捷、检测高效的特质获广泛运用, 检测精密度却易受反应条件干扰。针对流动注射测定氰化物的关键反应条件展开优化试验, 梳理各条件对检测精密度的作用规律, 筛选适配的最优参数组合。优化后方法强化检测结果稳定性与可靠性, 为氰化物精准定量筑牢技术根基。

关 键 词 : 流动注射法; 氰化物检测; 反应条件优化; 检测精密度; 环境监测

Optimization of Reaction Conditions for Determination of Cyanide Precision by Flow Injection

Zhang Qian, Wang Puyu

Beijing Geological Environment Monitoring Institute, Urban Groundwater Safety Prevention and Control Technology Innovation Base, Beijing 100079

Abstract : Cyanide is extremely toxic. Accurate detection is related to two core areas: environmental monitoring and food safety. Flow injection method is widely used because of its convenient operation and high detection efficiency, but its detection precision is easily disturbed by reaction conditions. In this paper, the key reaction conditions of cyanide determination by flow injection were optimized, and the effects of each condition on the detection precision were combed, and the optimal parameter combination was screened. The optimized method strengthens the stability and reliability of the test results, and lays a solid technical foundation for accurate quantification of cyanide.

Keywords : flow injection method; cyanide detection; optimization of reaction conditions; detection precision; environmental monitoring

引言

水是自然界一种宝贵的资源, 是动植物生存和工农业生产的基础, 水是生命之源, 是人类赖以生存和发展不可或缺的物质资源之一。高浓度的氰化物会导致水质恶化, 水生生物死亡, 给生态环境造成严重危害。长期饮用氰化物含量高的水, 会导致人体出现头痛、心悸、呼吸困难等慢性中毒症状, 所以水体中氰化物的含量是水质监测中的一项重要指标。流动注射技术凭借高自动化水平与低试剂耗用量跻身氰化物检测常规技术, 反应温度等条件的波动却易削弱检测精密度, 现有相关研究侧重方法构建而欠缺对反应条件的系统化优化, 针对关键条件的优化探索亟待推进, 借此提升检测精密度, 为同类检测实践提供切实可行的参照依据。

一、流动注射测定氰化物反应条件的影响分析

(一) 反应温度对检测精密度的作用机制

在流动注射分析中, 反应温度是影响氰化物显色反应动力学与热力学平衡的关键物理参数, 对检测精密度具有决定性作用。当体系温度过低时, 分子热运动减弱, 反应活化能难以有效克服, 导致显色反应速率显著下降; 在有限的管路停留时间内, 反应无法充分完成, 生成的有色产物量不足且批次间差异增大, 表现为吸光度信

号偏低、重复性差^[1]。反之, 若温度过高, 虽可加快反应速度, 但易引发显色试剂(如氯胺-T或巴比妥酸类化合物)的热分解, 降低其有效浓度, 同时可能激活非特异性副反应路径, 生成非目标有色物质, 干扰主信号的准确读取。此外, 高温还可能改变反应产物的稳定性, 使其在检测窗口内发生褪色或结构转化, 进一步加剧数据波动。值得注意的是, 实验室环境温度的日变化或季节性波动若未通过恒温装置加以控制, 会直接传导至反应线圈, 造成体系实际温度偏离设定值, 使精密度在无意识中劣化。因此, 必须通过系统

实验明确显色反应对温度的敏感区间，识别出既能保障反应完全又避免试剂降解的“温度平台区”，从而为构建高重复性、高稳定性的氰化物检测方法提供关键参数支撑。

（二）试剂浓度配比的适配性研究

在流动注射测定氰化物过程中，试剂浓度配比的合理性直接决定显色反应的效率与重现性。显色剂（如吡啶-巴比妥酸体系中的关键组分）需在适量范围内确保与氰离子充分反应生成稳定有色络合物；浓度过低时，反应不完全，导致吸光度响应偏低且波动大，影响定量准确性；而过量则不仅增加试剂空白值，还可能引发副反应或沉淀，抬高背景噪声，降低信噪比，进而损害检测精密度。与此同时，缓冲溶液的浓度及其所维持的 pH 环境对反应体系尤为关键——氰化物在碱性条件下以 CN⁻形式稳定存在，而在弱酸性至中性条件下才可释放 HCN 参与后续显色反应，因此缓冲体系必须精准控制反应段 pH 于最佳窗口（通常为 pH 4.5-6.0）。若 pH 偏离，显色产物易发生水解或结构异构，造成颜色强度衰减甚至完全失效，使平行测定结果离散度显著增大。因此，需通过梯度实验系统考察显色剂与缓冲液浓度的协同效应，在保障反应完全的同时抑制背景干扰，最终筛选出既能维持高灵敏度又具备优异重复性的试剂配比方案，为提升整体检测精密度奠定化学基础。

（三）载流流速对反应进程的调控效果

载流流速不仅决定样品与试剂的传输节奏，更深刻影响反应动力学过程与信号输出的稳定性。流速过低时，混合液在反应盘管中滞留时间延长，虽理论上有利于反应充分进行，但实际却易引发显色产物在管壁吸附或发生缓慢光/热降解，导致信号随时间逐渐衰减，表现为连续测定中峰高或峰面积的系统性漂移，严重损害精密度。同时，过长的分析周期也降低通量，不适用于大批量样品检测。而当载流流速过高时，样品塞与试剂塞在汇合区混合时间被压缩，湍流不足导致微观混合不均，局部浓度差异使显色反应无法同步完成；加之反应停留时间短于显色平衡所需阈值，生成的有色络合物量不足且批次间一致性差，造成吸光度响应偏低、相对标准偏差显著升高。理想的载流流速应在保证充分混合与反应完成的前提下，尽可能缩短分析时间。该平衡点需结合管路内径、盘管长度及反应活化特性综合确定。通过梯度流速实验，可识别出信号强度高、峰形稳定、RSD 最小的“最佳流速窗口”，从而实现反应效率与检测精密度的协同优化，为方法稳健运行提供关键操作依据。

二、流动注射测定氰化物反应条件的优化方案设计

（一）单因素变量优化试验的设置

单因素变量优化试验是筛选流动注射测定氰化物关键反应条件最优区间的基础核心手段，核心思路在于严格遵循控制变量原则，固定其他所有反应条件，仅对目标影响因素设置多组梯度化水平，系统精准探究该单一因素对检测精密度的独立影响规律^[2]。具体试验设计需紧密结合前期对反应温度、试剂浓度、载流流速等关键因素的影响分析结果，为每个因素科学设定合理梯

度范围，确保梯度间隔覆盖可能的最优区间，同时规避间隔过大引发的关键信息遗漏。每个梯度水平下均需开展多次平行检测，削减偶然误差，再计算检测结果的相对标准偏差，定量表征该因素对精密度的影响程度与变化趋势。绘制因素水平与相对标准偏差的关系曲线，直观呈现两者关联特征，明确各因素适宜调整区间，排除非最优区间干扰。此类试验方式可最大程度规避多因素交互作用带来的复杂干扰，精准定位单个因素的影响规律与临界范围，为后续多因素组合优化试验提供清晰可靠的参数范围依据，保障后续优化工作高效推进。

（二）多因素交互作用的探究方法

流动注射测定氰化物的反应体系内，各反应条件并非独立作用，反应温度、试剂浓度、载流流速等关键因素间存在复杂交互关联，单一因素的最优水平脱离其他条件适配，往往难以实现整体检测精密度最大化，甚至可能因因素间拮抗效应造成检测性能下滑，需设计针对性多因素交互试验，系统探究这些因素间的协同或拮抗作用机制。试验设计需严格依托单因素优化确定的适宜区间，避免超出合理范围增加无效试验，选取区间内关键水平构建多因素多水平完整试验矩阵，确保全面覆盖各因素不同组合的交互情况。继而对不同条件组合下的检测精密度数据开展系统性梳理与深度分析，明确各因素间的交互作用规律，反应温度与载流流速对反应时间的协同调控效应、试剂浓度与缓冲溶液 pH 值对显色反应稳定性的联合影响皆属此类。厘清这些交互作用规律，能够有效突破单因素优化的局限性，为精准构建全局最优的反应条件组合提供坚实科学依据，保障优化方案的全面性与可靠性。

（三）最优反应条件组合的筛选标准

最优反应条件组合的筛选依托科学全面的多维度评价体系，这是保障优化方案兼具精准性与实用性的关键。评价体系核心围绕检测精密度，同时兼顾分析效率、试剂消耗量等实际应用场景的核心需求，检测精密度以多次平行测定结果的相对标准偏差作为核心量化指标，数值越小代表检测结果重复性与稳定性越优，这也是筛选过程中优先考量的核心依据^[3]。在此之上同步重点考察检测信号灵敏度，保障优化后的反应条件稳定产生足够强度的信号响应，规避单纯追求精密度而过度调控参数，最终造成检测灵敏度下降、无法精准识别低浓度氰化物的问题。还要充分考量实际应用中的可操作性与经济性，筛选出的反应条件需便于通过常规设备精准控制，试剂消耗量把控在合理范围，检测周期压缩至可接受区间，以此削减实际检测的人力与物料成本。对这些核心指标展开系统性综合权衡，建立科学严谨的多维度筛选标准，保障最终确定的反应条件组合既具备优异检测精密度，又能全面满足实际检测工作的多元化应用需求。

三、流动注射测定氰化物优化条件的验证与应用价值

（一）优化条件下检测精密度的重复性验证

重复性验证系检验优化方案有效性的核心环节，旨在确认筛选所得最优反应条件组合具备稳定精密度表现。验证过程中，于

最优条件参数下，对同一浓度氰化物标准样品开展多次平行检测，细致记录每次检测的信号响应值，计算相对标准偏差量化精密度水平；选取不同浓度梯度标准样品开展验证，覆盖低、中、高三个浓度区间，全面考察不同含量水平下精密度的稳定状态。验证过程需严格控制试验环境参数，规避温度、湿度等外界因素干扰，规范操作流程每一个步骤，杜绝人为操作误差，保障检测数据的客观性与可靠性。借由重复性验证，直观判断优化条件对精密度的提升效果，为后续方法实际应用提供坚实数据支撑。

（二）优化方法与传统方法的对比分析

将优化后的流动注射法与传统氰化物检测方法（如手工分光光度法或蒸馏-滴定法）进行系统对比，可清晰凸显其在实际应用中的综合优势。传统方法通常依赖人工控制反应时间、温度及试剂添加量，操作步骤繁琐且易引入人为误差，导致平行测定结果离散度大，精密度难以稳定控制。而优化后的流动注射体系通过精确设定载流流速、反应温度及试剂配比等关键参数，实现了反应过程的高度可控与重复，显著缩小了检测结果的波动范围。同时，该方法继承了流动注射分析固有的自动化特性，从进样、混合、显色到检测全程封闭连续，不仅将单次分析时间大幅压缩，还有效减少了试剂和样品的使用量，契合绿色分析理念。更重要的是，在面对含悬浮物、有机质或共存离子的环境水样及工业废水时，优化方法展现出更强的抗干扰能力，信号响应稳定，基线漂移小，表明其对复杂基质具有良好的适应性。

（三）优化方案在实际检测中的应用前景

优化后的流动注射测定氰化物反应条件方案，凭借出众检测

精密度与稳定性能，在环境监测、食品安全等诸多领域拥有广阔应用前景^[4]。环境监测领域内，方案可直接应用于工业废水、地表水、地下水等各类水体中氰化物的精准检测，为环境污染溯源、污染治理效果评估提供可靠数据分析支撑，助力区域生态环境质量稳步跃升。食品安全领域内，方案可用于粮食、果蔬等农产品以及食品加工全流程中氰化物残留的检测，从源头把控食品质量安全，守护公众身体健康。该优化思路与方案亦能进一步推广至其他痕量污染物的流动注射检测方法优化工作中，为同类型检测技术改进升级提供有益参照。依托成熟技术转化与大范围推广，能够推动整个检测行业自动化、精准化水准全面提升，充分满足各领域对氰化物及相关污染物检测的严苛要求。

四、结语

氰化物检测精准度直接关联生态环境安全与人体健康，流动注射法反应条件优化对提升检测精密度意义重大。系统解析反应温度、试剂浓度、载流流速等条件的影响机制，设计科学的单因素与多因素优化方案，筛选最优反应条件组合，可切实改善检测结果重复性与稳定性。重复性验证与传统方法对比分析，充分佐证优化方案的有效性与优越性。未来可进一步融合自动化控制技术，实现反应条件实时动态调控，提升检测过程智能化水平，同步拓展优化方法在复杂基质样品检测中的应用范畴，增强抗干扰性能，为痕量氰化物检测提供更高效精准的技术支撑，助力环境监测与食品安全保障工作稳步推进。

参考文献

- [1] 谢燕华. 控制图在流动注射分光光度法测定氰化物的应用研究 [J]. 辽宁化工, 2025, 54(08): 1353-1355.
- [2] 冯旭峰. 流动注射法测定水质中氰化物含量的实验研究 [J]. 山西化工, 2024, 44(06): 69-72.
- [3] 魏若宇, 王巍. 流动注射分析法测定总氰化物标准研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(05): 185-187+195.
- [4] 何成媛. 流动注射分光光度法测定水中总氰化物的实验研究 [J]. 绿色科技, 2023, 25(14): 141-147.

甘蔗高产栽培关键技术与管理措施

王淑惠

陇川县陇川农场社区管理委员会, 云南 德宏 678704

DOI:10.61369/EAE.2026010003

摘 要 : 为提升云南省德宏州陇川县地区甘蔗产量, 需采用高产栽培技术, 强化综合管理措施。本研究聚焦于云南省德宏州陇川县甘蔗生产基地, 详细探讨了甘蔗栽培关键技术和措施, 主要涉及品种选择、精细整地、科学播种、田间综合管理措施以及病虫害防治措施, 以提升甘蔗产量和品质, 推动云南省德宏州陇川县地区甘蔗产业高质量发展。

关 键 词 : 云南省德宏州陇川县; 甘蔗; 高产栽培技术; 病虫害防治; 收获方法

Key Cultivation Techniques and Management Measures for High-Yield Sugarcane

Wang Shuhui

Longchuan Farm Community Management Committee, Longchuan County, Dehong, Yunnan 678704

Abstract : To enhance sugarcane yields in Longchuan County, Dehong Prefecture, Yunnan Province, it is essential to adopt high-yield cultivation techniques and strengthen comprehensive management measures. This study focuses on the sugarcane production base in Longchuan County, Dehong Prefecture, Yunnan Province, and provides a detailed exploration of key sugarcane cultivation techniques and management measures. These primarily include variety selection, meticulous land preparation, scientific sowing, comprehensive field management practices, and pest and disease control measures, aiming to improve sugarcane yield and quality and promote the high-quality development of the sugarcane industry in Longchuan County, Dehong Prefecture, Yunnan Province.

Keywords : Longchuan County, Dehong Prefecture, Yunnan Province; sugarcane; high-yield cultivation techniques; pest and disease control; harvesting methods

云南省德宏州陇川县位于云南省西部, 隶属于德宏傣族景颇族自治州。该地区属于南亚热带季风气候, 光照充足, 无霜期长 (年均290天以上), 雨热同期, 河谷地带地势平坦, 土壤肥沃, 为甘蔗的生产提供了天然的优越条件。但在实际生产过程中, 仍然存在问题, 如甘蔗品种不适宜、生产效率低、病虫害防治效果不佳等, 导致甘蔗产量无法稳定提升。因此, 深入研究并推广甘蔗高产栽培技术, 采用科学的田间管理措施, 构建有效病虫害防治体系, 对推动云南省德宏州陇川县甘蔗产业健康发展、增加农户收入具有重要意义。

一、选择优良品种

云南省德宏州陇川县地区年平均气温在18 ~ 20℃, 年降水量为1400 ~ 1800mm, 土壤类型以赤红壤、红壤为主, pH值在5.0 ~ 6.0之间。为提升甘蔗产量, 甘蔗品种的挑选是其重要基础。目前, 市面上适宜云南省德宏州陇川县地区生产的甘蔗品种有云蔗05-51、云蔗08-1609、德蔗03-83等品种。云蔗05-51具有良好的抗逆性能 (尤其抗干旱、抗倒伏), 分蘖能力强, 甘蔗糖分含量高 (蔗糖分14% ~ 16%), 在本地蔗糖市场中竞争力较强。根据相关数据显示, 云蔗05-51产量达6500 ~ 8500kg/667m²。云蔗08-1609的适应能力强, 具有良好耐湿热能力, 适合在陇川县河谷及丘陵地带进行种植, 其年产量6000 ~ 7500kg/667m²。德蔗03-83品种为本地选育品种, 适应

当地气候土壤条件, 种植前期生长稳健, 中后期生长速度加快, 其抗病虫害能力强, 年产量为7000 ~ 9000kg/667m²。

此外, 选种要求甘蔗种茎无病虫害侵害、无机械损伤、直径以2 ~ 3cm为宜。确保种茎芽眼饱满、颜色为浅褐色、芽鳞完整。同时需对种茎进行处理, 保留3 ~ 4个饱满芽, 并在斩种时, 使用斩种刀切出双芽段。切口与芽眼距离保持在1 ~ 2cm, 该距离可避免斩种时对芽体造成损伤, 切口要求具有一定的平滑度。平滑的切口可阻碍病原菌侵入。完成斩种作业后, 应当使用50%多菌灵可湿性粉剂500倍液对种茎进行浸泡, 浸泡时间为10min。随后将种茎捞出, 置于通风阴凉处进行晾干, 在种茎表面水分蒸发后, 即可进行播种作业。对种茎使用药剂进行浸泡, 可防治黑穗病、梢腐病等真菌性病害^[1]。

二、精细整地技术

在甘蔗种植前，需进行整地处理。整地作业一般在前茬作物收获后一周内进行。选择双耙双耕的模式，提高甘蔗地的土壤疏松度，提升土壤肥力。首先需对土壤进行深耕，选择大型拖拉机牵引深松犁进行深耕，深度控制在25～30cm（因陇川县土壤黏重程度较高，需适当增加深耕深度），可打破致密的犁底层，优化土壤结构，增加土壤透气性与透水性，促进甘蔗根系生长发育。在完成翻耕作业后，需进行自然暴晒，时间为3～5天，可借助太阳光的紫外线，杀灭土壤中的细菌。第二次耕作作业，可选择旋耕机，耕作深度控制在20～25cm之间。此次耕作的目的是将土块破碎，同时施入充分腐熟的农家肥2500kg/667m²（陇川县农户农家肥资源丰富，适当增加用量可提升土壤有机质含量）、钙镁磷肥50kg/667m²，确保肥料与土壤混合均匀。农家肥要求充分腐熟，否则会造成甘蔗根系烧根。

耙地作业通常分为两次进行，第一次需使用圆耙盘将土块粉碎，确保土壤颗粒直径小于3cm。第二次需使用钉齿耙，对土壤进行整平作业，使甘蔗地土壤高低差小于3cm。在耙地时，可向甘蔗地施入5%辛硫磷颗粒剂3kg/667m²，以防治蛴螬、蝼蛄（陇川县旱地蛴螬发生频率较高，需重点防控）。在施入药物时，应尽量确保均匀。起垄时，需将垄高控制在30～35cm（陇川县雨季降水集中，增加垄高可有效防止田间积水）、垄面宽设定为30～40cm，垄向与地块保持一致，以免后续进行灌溉作业。

三、科学播种方法

在云南省德宏州陇川县地区，甘蔗播种以冬植与早春植结合为主，冬植蔗适宜时间为11月至翌年1月，早春植蔗为2～3月。播种时需确保气温稳定在12℃以上，为种茎发芽提供适宜条件。种植采用地膜覆盖技术，优先选用宽膜双沟覆盖模式，盖膜前需保证土壤墒情充足，可使5cm土层温度提升3～5℃，使出苗时间提前一周，同时减少水分蒸发、抑制杂草生长（可搭配低毒除草剂进一步提升除草效果），促进甘蔗苗期生长发育。播种前按1.1～1.2m行距开挖植蔗沟，标准沟深25～30cm、底宽20cm以上，确保种茎扎根深度与养分吸收空间。沟底施入基肥，推荐搭配农家肥或滤泥，若单施复合肥（总养分≥40%），用量为100～120kg/667m²；若选用单质肥，需按氮磷钾配比合理搭配，确保养分供给。施肥后将肥料与土壤混合均匀，避免局部浓度过高导致烧芽^[2]。

种茎的摆放，需按照双行品字进行摆放。两行之间的距离需保持在30cm、株距控制在15～20cm。将种茎芽眼朝向垄面外侧，使甘蔗苗获取充足的营养，确保出苗均匀。播种量控制在2500～3000kg/667m²，在实际播种过程中，应根据种茎的大小对播种量进行调整。对于粗大的种茎，其播种量为2500kg/667m²；对于细小的种茎，其播种量为3000kg/667m²。完成摆种后，应覆盖一层厚度为3～5cm的细土，将所有芽眼覆盖住。完成上述操作后，应进行浇水，浇水量为50～60m³/660m²。灌溉要求水分深入土壤下20cm。随后对甘蔗地进行除草作业。选用除草剂50%乙草胺乳油，用量为150mL/667m²，兑水50kg后进行喷雾。喷施作业时，需重点喷施

垄面和垄沟。随后覆盖厚度为0.008mm的地膜，宽度为100cm。在地膜边缘，需使用土进行压实，以免大风时导致地膜被吹起，陇川县春季多西南风，地膜压实可防止被风吹破。

四、田间管理

（一）苗期管理措施

在播种后2～3周，甘蔗便会开始出苗。当幼苗长出3～4叶时，应进行破膜。种植人员可使用刀具，在地膜上，以十字形划出开口，以便后续幼苗引出。开口规格一般为5cm×5cm。在幼苗出膜后，应使用土对膜口进行封实。封土厚度在3～5cm之间，可防止热气灼伤幼苗。在日常巡查过程中，如何发现存在缺苗断垄的情况，应进行补苗。补苗时间通常在3叶期进行。完成移栽补苗后，需进行浇水，以提升成活率。

在苗期时，追肥时间通常在甘蔗幼苗长出5～6叶时进行。处于该时期的甘蔗幼苗，其生长发育速度快，需要大量养分以维持生长发育状态。因此，种植者需向甘蔗地施入尿素10kg/667m²。尿素可为甘蔗补充氮肥，促进甘蔗叶片生长发育。同时可施入氯化钾5kg/667m²，氯化钾可提高甘蔗幼苗的抗逆性。在施肥前，需在距离幼苗10cm的区域进行开沟，沟深控制在5～8cm。此外，还应甘蔗地进行中耕除草。在中耕过程中，应谨慎操作，以免损伤甘蔗幼苗根系。在苗期时，需维持土壤的湿润度。若0～20cm土层含水量小于60%，应立刻采取灌溉措施，陇川县春季易干旱，需加强苗期水分管理。

（二）分蘖期调控技术

在分蘖期，应当采取合理的管理措施，控制分蘖状态。一方面需促进有效分蘖的生长发育，另一方面需要抑制无效分蘖导致的养分消耗，在分蘖初期，即主茎长出7～8叶后，采取追肥处理，使用复合肥料（N:P₂O₅:K₂O=18:10:12），施入量为25kg/667m²。施肥方式采用沟施法，在玉米甘蔗茎基部15cm处，挖掘深度10cm的施肥沟。完成施肥沟，应进行覆土镇压，以免氮肥过度挥发。在分蘖苗长至3～4叶时，应进行间苗疏蘖工作，将生长状态差的分蘖去除，保留生长健壮的分蘖苗。间苗可优化甘蔗地的通风透光条件，提升光照资源利用率^[3]。

分蘖期需进行第二次中耕，耕作深度为8～10cm，促进根系深入土壤深层。中耕过程中，应将土壤坷垃粉碎，确保土壤具有一定疏松度。在中耕时，可进行培土，培土高度在5～8cm为宜。将一部分分蘖基部埋入土壤中，促进不定根的生长发育，降低甘蔗植株倒伏率。如果甘蔗田杂草多，可使用20%敌草隆可湿性粉剂进行除草，使用量为200g/667m²，兑水50kg后进行喷雾防治。在喷雾时，需谨慎操作，以免药液与甘蔗叶片直接接触。在喷入药液2～3天内，禁止浇水，以维持药液效果。处于分蘖期的甘蔗苗，其需水量大大增加。种植者需调控好水分管理工作，确保甘蔗地土壤含水量在65%～70%。若含水量低于65%，应立刻进行灌水。陇川县雨季为5～10月，分蘖期多处于雨季初期，需做好排水工作，以免田地积水过多，导致根系发生腐烂^[4]。

（三）伸长期强化管理

在甘蔗整个生长发育周期中，伸长期的生长速度最快。甘蔗茎干在此时期，每日伸长量可达2～3cm，需水量与需肥量在此时期明显增加。因此，在伸长初期，应向甘蔗地施入尿素

20kg/667m²、氯化钾 15kg/667m²。尿素可为甘蔗供应氮元素，促进茎干生长发育。氯化钾可为甘蔗供应钾元素，提高甘蔗植株韧性，降低倒伏率。施肥方式采用穴施，在甘蔗茎干附近挖掘深度为 5cm 的穴，向其中施入肥料。

在伸长期，应进行大培土。培土高度控制在 15 ~ 20cm，垄高设定在 40 ~ 45cm。培土时，确保将土培在甘蔗茎基部，以提升甘蔗的抗倒伏能力，陇川县夏季多暴雨大风，高培土可有效预防倒伏。在进行培土前，应向甘蔗地喷施 0.2% 磷酸二氢钾溶液，喷施量为 50kg/667m²，磷酸二氢钾溶液可为甘蔗补充磷钾元素，从而提高甘蔗叶片光合作用能力，促进光合作用产物向茎干部位运输。喷施磷酸二氢钾时，应选择在早上 9 点前或下午 4 点后，陇川县夏季午后气温高，避开高温时段可防止叶片灼伤，以免高温喷施药液，导致甘蔗叶片发生灼伤。处于伸长期的甘蔗，其需水量大大增加。为促进甘蔗伸长，应将甘蔗地含水量控制在 70% ~ 80%。采用喷灌的方式进行灌溉，以提高土壤含水量。灌溉量为 30m³/667m²，每隔一周灌溉一次。采取喷灌的方式，可使水均匀分布在甘蔗地中，以免大水漫灌导致土壤发生板结。

（四）成熟期管理要点

在成熟期，需严格把控甘蔗水分管理工作。将甘蔗地土壤含水量控制在 55% ~ 60%，促进糖分积累。当甘蔗植株下部有 2 ~ 3 片叶片发黄时，应当停止进行灌溉，否则会导致甘蔗茎干部的糖分降低。在成熟期禁止采取追肥措施，以免导致植株贪青晚熟，使收获期延长。在成熟期前一个月进行培土，可降低甘蔗倒伏率。此外，还应针对鼠害采取防治措施，采用毒饵诱杀法，在害鼠活动频繁的区域放置 50% 敌鼠钠盐毒饵，放置量为 200g/667m²，陇川县甘蔗成熟期多为 11 月至次年 3 月，此时农田鼠害活跃，需加强防控。为保障杀鼠效果，应定期对毒饵进行检查，及时进行更换。

（五）病虫害综合防治

甘蔗种植过程中，主要面临的病害是黑穗病、凤梨病。黑穗病严重时会导致甘蔗产量下降 30%，凤梨病会造成种茎腐烂，影响出苗率。对于黑穗病、凤梨病的防治，需选择对该病抗病能力强的品种（如云蔗 05-51）。同时对甘蔗种茎进行消毒处理。使用 50% 多菌灵可湿性粉剂 500 倍液对种茎进行浸泡，时间为 10min。在病情初期，需将病株及时清除，并在远离甘蔗地的区域进行集中焚毁。在病穴处，需施入生石灰进行消毒，以杀灭病原菌。在发病较为严重的区域，应使用 25% 三唑酮可湿性粉剂 50g/667m²，兑水 50kg 后进行喷雾防治。喷雾时，需确保均匀喷

洒在甘蔗的叶片和茎尖上。每隔一周喷施一次，连喷 2 ~ 3 次。

甘蔗生产主要面临二点螟、黄螟、蚜虫等害虫威胁（陇川县二点螟 6-8 月发生较重，孵化高峰期为 6 月中旬、8 月上旬，需重点防控）。螟虫主要侵害甘蔗茎基，导致甘蔗糖分下降、产量降低；蚜虫通过刺吸汁液影响光合作用，还传播病毒病，需针对性落实综合防治措施。甘蔗收获后（11 月下旬至 12 月），对田间进行深耕（深度 30cm）+ 清园，清除残株、枯叶，破坏螟虫越冬场所，降低虫源基数。同时可在田埂种植玉米作为诱集植物，集中诱杀螟虫成虫。在二点螟产卵初期（6 月上旬、8 月上旬前 1 ~ 2 天），分 2 ~ 3 次释放赤眼蜂，总密度 1.5 万 ~ 2 万头/667m²，间隔 5 ~ 7 天，选择晴天上午释放；螟虫孵化高峰期，使用 20% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂 20 ~ 30mL/667m²，兑水 30kg，重点喷施甘蔗茎干中下部（螟虫聚集区），若茎基已有蛀孔，可搭配灌根（每株灌药液 50mL），提升防效。田间悬挂黄色粘虫板 20 ~ 30 块/667m²，诱杀蚜虫成虫；当田间蚜株率达 10% 时，使用 10% 吡虫啉可湿性粉剂 20g/667m²（或交替使用 5% 啉虫脒乳油 30mL/667m²），兑水 30kg，重点喷施甘蔗心叶与叶背，每隔 7 天喷施 1 次，连喷 2 ~ 3 次^[5]。

（六）科学收获方法

甘蔗的收获时间，一般在每年 11 月至次年 3 月，陇川县甘蔗成熟期糖分积累高峰期为 12 月至次年 2 月。具体收获时间，需根据甘蔗茎干糖分比例进行确定。当甘蔗茎干糖分达 13% 时，即可进行收获作业。如果收获时间过晚，会导致甘蔗糖分不足，如果收获时间过晚会导致甘蔗发生冻害，陇川县冬季极端低温偶有出现，需避免晚收导致冻害。收获通常采用人工砍收，砍收后需将甘蔗叶片和叶鞘除去，保留甘蔗茎。完成收获后需对甘蔗地进行全面清理，并将病株、病叶集中处理。同时对土壤进行深翻，深翻后需进行晾晒，时间为一周，以降低病菌的数量。

五、结语

综上所述，在云南省德宏州陇川县地区，研究并应用甘蔗高产栽培技术，并强化综合管理措施，构建有效的病虫害防控体系，可提高甘蔗产量与品质，增加当地农户收入。未来，需继续深入研究甘蔗高产栽培技术，不断优化病虫害防控体系，推动云南省德宏州陇川县地区甘蔗种植业高质量发展。

参考文献

- [1] 凌芸, 黄文钊. 甘蔗高产栽培技术研究与展望 [J]. 种子科技, 2024, 42(3): 32-34.
- [2] 黄美权. 扶绥县甘蔗高产栽培技术应用现状与展望 [J]. 果农之友, 2024(7): 146-149.
- [3] 凌芸, 黄文钊, 韦有璐. 田阳区甘蔗丰产栽培及病虫害综合防治技术 [J]. 农业技术与装备, 2024(2): 163-165.
- [4] 周带群, 欧崇生. 甘蔗双高栽培存在的问题及技术优化对策 [J]. 新农民, 2023: 72-74.
- [5] 赵朝明. 探讨甘蔗高产栽培技术及病虫害防治 [J]. 花卉, 2023(12): 160-162.

云南边疆民族地区农村生活污水治理的实践 ——以怒江州贡山县为例

董锡斌

云南环拓环保咨询有限公司, 云南 昆明 650100

DOI:10.61369/EAE.2026010004

摘 要 : 本论文以怒江州贡山县为例,对云南边疆民族地区农村生活污水治理的实践进行研究。在少数民族山区农村生活污水治理中,不仅要考虑到地形、气候、集散程度等自然条件,还需要综合考虑少数民族生活习惯、接受程度等方面。笔者认为,作为一个国家级贫困县,贡山县在农村生活污水治理方面取得的成就是值得肯定的,在推进过程中的许多实践经验都值得相似条件的地方进行学习参考。同时,在贡山县今后的农村生活污水治理中,通过参考相关工程经验,治理工作能更加高效稳定。

关 键 词 : 边疆民族地区; 农村生活污水处理; 贡山县

Practice of Rural Domestic Sewage Treatment In Ethnic Minority Areas of Yunnan Border — A Case Study of Gongshan County, Nujiang Prefecture

Dong Xibin

Yunnan Huantuo Environmental Protection Consulting Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650100

Abstract : This paper takes Gongshan County in Nujiang Prefecture as an example to study the practice of rural domestic sewage treatment in ethnic minority areas of Yunnan Province. In the treatment of rural domestic sewage in ethnic minority mountainous areas, it is not only necessary to consider natural conditions such as terrain, climate, and distribution degree, but also to comprehensively consider the living habits and acceptance level of ethnic minorities. The author believes that as a national poverty-stricken county, Gongshan County's achievements in rural domestic sewage treatment are worthy of recognition, and many practical experiences in the promotion process are worth learning and referring to in places with similar conditions. Meanwhile, in the future rural domestic sewage treatment in Gongshan County, by referring to relevant engineering experience, the treatment work can be more efficient and stable.

Keywords : border ethnic areas; rural domestic sewage treatment; Gongshan County

引言

农村生活污水治理是农村人居环境整治的重要内容,是实施乡村振兴战略的重要举措,也是建设富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国,实现中华民族伟大复兴的内在要求^[1]。

云南省地处中国西南边陲,属低纬度内陆地区,山地高原地形占全省国土总面积的88.6%。云南省在全面系统性治理农村生活污水方面起步较晚,主要分为两个阶段:第一阶段是2008年-2019年,第二阶段是2019年以后。2023年,云南省《农村生活污水治理技术指南》发布,进一步指导坝区、山区半山区、水生态环境敏感区等不同区域村庄科学选择治理模式和技术推进治理。时下,“云南省农村生活污水治理攻坚三年行动(2023-2025年)”正全力推进。虽起步较晚,但云南省农村生活污水治理工作成效是显著的,截至2024年9月,全省13262个行政村中已有7029个完成了治理,治理率达53%,已高于全国农村生活污水约45%的治理率(见图1-2)。

贡山县(全称贡山独龙族怒族自治县)地处祖国的西南边境线,横断山脉的西北部,位居云南省西北部,是怒江傈僳族自治州所辖四县之一,地处州域最北端。贡山县属云南边疆民族地区,也是我国边疆民族地区,东部与迪庆藏族自治州相连,南部与福贡县接壤,西部与缅甸联邦共和国接壤,北部与西藏自治区林芝市察隅县毗邻,全县总面积为4381.53平方千米,国境线长180公里。在全省农村生活污水治理如火如荼推进过程中,处于西北边疆的贡山县也紧跟步伐,积极探求适合当地的治理模式。目前,贡山县已完成治理行政村20个,自然村149个,行政村治理率为76.92%,自然村治理率为74.13%(见图3),成绩斐然。

作者简介:董锡斌(1987.05-),男,白族,云南大理人,学历:本科,职称:工程师,研究方向:环境工程。

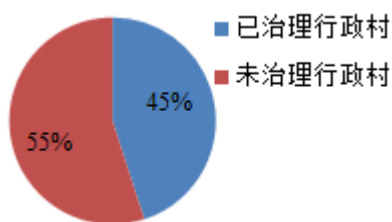


图1 全国农村污水治理概况

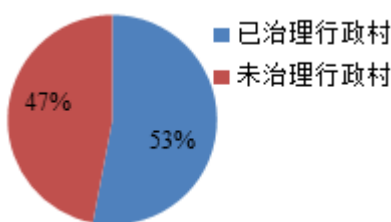


图2 云南省农村污水治理概况

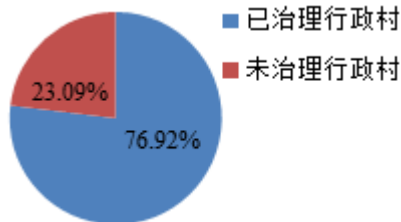


图3 贡山县农村污水治理概况

通过研究贡山县农村生活污水治理工作的实践，在边疆民族地区树立典范，在类似条件下农村生活污水治理具有积极的借鉴意义和推广作用。

一、贡山县农村生活污水治理的背景与挑战

（一）贡山县农村生活污水治理背景

贡山县集“边疆、民族、贫困、山区、宗教”五位一体，根据第七次人口普查数据，全县户籍约3.84万人，常住人口呈逐年下降的趋势，至2024年，常住人口约3.6万人。贡山县是全国唯一的独龙族怒族自治县，少数民族人口占比约为96.4%，独龙族、怒族占主体，另有傈僳族、藏族等，云南省内所有25个少数民族在贡山均有分布。农业人口占比约为84%，最大产业是农业种植业。

贡山是世界上生物多样性最丰富的地区之一，是高黎贡山国家级自然保护区、世界人与生物圈保护区和三江并流世界自然遗产地的重要组成部分，全县森林覆盖率达83.89%，全年生态环境状况优良率达100%，素有“天然氧吧”、“世界物种基因库”、“世界自然博物馆”的美称。贡山县同时是第一批川滇森林及生物多样性国家重点生态功能区。国家重点生态功能区关系全国或较大范围区域的生态安全，加强国家重点生态功能区环境保护和管理，是增强生态服务功能，构建国家生态安全屏障的重要支撑，是促进人与自然和谐，推动生态文明建设的重要举措，是推进主体功能区建设，优化国土开发空间格局、建设美丽中国的重要任务。

贡山县农村生活污水治理在2019年前共治理11个村小组及8个安置点，处于探索阶段，治理自然村主要分布于水源地及重点敏感区域。2020年6月，贡山县完成《贡山县县域农村生活污水治理专项规划（2020-2035年）》并颁布实施，在指导全县农村生活污水治理的前提下，进一步明确总体治理任务及轻重缓急。这是贡山县农村生活污水治理的标志性节点，从此，核心项目谋划及治理工作在整个县域大面积铺开。但农村生活污水治理，具有点多面广、问题复杂的特点，治理工作必须以全面摸清现状和深刻总结分析为依据^[2]。

二、贡山县农村生活污水治理面临的挑战

（一）大多数村庄农户分布分散

解放前贡山县少数民族以“烧山轮耕”为主，耕地随土地肥

力转移，形成“人随地散”的居住模式，定居后，人口分布极为分散，仅在河流沿线村庄相对集中。县域98%以上面积为高山峡谷，可耕地仅占0.74%，农户被迫依零星台地或缓坡分散建房。农户分布分散导致污水收集难度加大，管网拉长，投资加大。

（二）地形地质条件极为复杂

贡山县地处滇西北横断山脉核心区，形成“三山夹两江”（碧罗雪山、高黎贡山、丹当力卡山与怒江、独龙江）的地貌格局。主要地貌形式分为夷平面与剥蚀台地地貌、流水地貌、冰川地貌，平地极少。主要地层和岩浆岩、变质岩分布均与深大断裂活动密切相关，岩性复杂，污水收集处理中地形地质条件制约较大，工程造价数倍增加。

（三）边疆少数民族环保意识局限

贡山县是边疆少数民族自治县，少数民族占比很高，老一辈文化程度偏低。长期以来的生活方式及环保知识理解的不足让部分居民觉得生活污水治理是“多此一举”。部分村民关注短期经济利益，忽视环境破坏的长远影响，也意识不到生态环境的破坏是一个长期量变的过程。

（四）资金短缺

农村生活污水治理资金可分为建设资金及运维资金，贡山地区农村生活污水资金大多数上依靠政府拨款。建设中，因污水管网建设和末端污水处理需要投资大量的资金，加之资金紧张和投入不足等实际情况，目前部分村组生活污水治理进展滞后，成为人居环境提升的短板和硬伤。而在运维中，持续运维成本的注入是使污水收集处理设施持续运行，不成为“晒太阳”工程的关键。

（五）人才短缺

污水处理设施的管理是一项专业技能，因此需要一定的技术能力。污水设施的正常运行，是各个工艺段联合作用的结果，设计参数在实际中起着指导作用，关键还是根据实际灵活调整，找到最适合的工况参数，在达到效果的同时力求能耗最低，因此水站运维人员的技术要求较高。因缺乏平台及合理薪酬，大多数专业技术领域人才的缺失是也给运维工作带来不小的困难。

三、贡山县现状农村生活污水治理情况

贡山县5个乡镇除去城镇部分，下辖农村共26个行政村，201

个自然村，227个村小组及12个安置点。上文提到，贡山县自然村治理率为74.13%，约170个自然村完成污水治理。

污水收集采用雨污分流的方式，雨水系统采用村庄现有的沟渠、涵洞等，自然排放至周边水体，不做修改；污水则采用管道收集的方式，在污水收集集中进入化粪池前厨余废水大都采用收集池，农户用化粪池收集至污水处理设施进行处理。

治理设施方面，包括2019年之前建设的部分，集中式处理站采用的工艺模式较多，有“氧化塘+表流湿地”、“强化人工快渗+人工湿地”、“多介质土壤渗滤”、“A²/O+MBBR一体化反应器”、“沉淀池+厌氧生化池+潜流湿地”和“集中化粪池”等等，处理后尾水尽量进行农田及林地等灌溉用途。分散式处理一般采用“庭院式污水处理系统”、“集中化粪池”和“预处理+无动力净化罐”等资源化利用工艺，出水用于单户或联户的农田灌溉等用途。

目前，贡山县农村生活污水治理已实现“三基本”，即基本看不到污水横流，公共空间基本没有生活污水乱倒乱排现象；基本闻不到臭味，公共空间或房前屋后基本没有黑臭水体、臭水沟、臭水坑等；基本听不到村民怨言，治理成效为多数村民认可。但部分村组仍然存在污水直排的情况，贡山县正在进行大力推进治理，并提出2025年农村生活污水治理率不低于92%的目标任务。

四、贡山县农村生活污水模式的实践

（一）规划制度先行，找准目标定位

严格参照《贡山县县域农村生活污水治理专项规划（2020—2035）》及《贡山县农村生活污水治理攻坚三年行动方案（2023—2025年）》等，在农村生活污水治理中需要根据村庄类型主次分明，定位精准，呈梯队逐步推进。贡山县在这方面的推进是值得肯定的，在运维中对《贡山县农村生活污水治理设施运行维护管理办法》的执行也较为严格，已建污水处理设施使用率达到100%。村民参与制度和评优等政策挂钩，让制度不再成为一纸空谈。

（二）改变传统生活民居

传统怒族木楞房结构（底层为畜圈、中层人居、顶层晾晒）是贡山县少数民族传统民居，针对坡大、地少、多雨等自然条件设计，是少数民族智慧的结晶。但也存在环境脏乱，污物混杂，雨污混流等问题。随着贡山县脱贫攻坚的胜利，传统民居以怒族木楞房为主的方式得到改变，建筑内部人畜分离，解决了千百年来生活污水和畜圈排水合流的问题。

（三）适合当地的收集方式

贡山县在近年来的污水收集集中积极采用规范收集方式，在厨房废水收集时设置收集池，即户用清扫井，内部设有提篮格栅进行初步过滤，然后铺设污水收集管（如De110PE管），连接家庭厨房、洗浴和冲厕等污水源进入户用化粪池，化粪池出水连接管网系统。一般村落因地形限制，通过小型管网接入集中处理点或就近生态处理。贡山大部分村养殖生态黑猪、独龙牛等，对于畜圈污水，是农村粪污的一部分，在收集时是个独立的系统，不

与生活污水混接，而是接至沼气池或沤肥池，是农田肥料的重要来源。

（四）适合当地的处理方式

上文提到，贡山县已完成治理行政村20个，自然村149个，行政村治理率为76.92%，自然村治理率为74.13%，治理工艺灵活多样。从一开始的简易“氧化塘”到集中安置点的“A²/O+MBBR一体化反应器”，运行中设备老化及电能消耗，在工艺技术的选择中一直在探索中。污水工艺技术的选择是否得当直接影响到污水处理运行效果和稳定程度，也对工程基建投资、运行费用、管理操作等产生根本影响^[9]。运维费用等重点内容也是规划设计阶段所需要考虑的内容。

贡山县独特的自然条件，需要因地制宜选择合适的处理方式。县域降水量较为充沛，独龙江地区年平均雨量达3672.8毫米，因此独龙江地区太阳能动力的处理设备是不适用的。全年平均霜日仅有42天，热量条件稍好，适合绝大部分地区植物微生物生存，因此生态工艺如湿地、土壤渗滤等运行较好^[10]。贡山县的地面风向与峡谷走向大体一致，全年最多风向盛行南风，风速随着海拔^[11]高度的升高而增大，又因受山口、峡谷地形的影响，大风出现日较多，因此，“预处理+无动力净化罐”的引风微曝系统运行也较为稳定。因居住分散，资源化利用在山区半山区村庄应用广泛。在技术选择方面，进一步推广分散式污水处理系统，尤其是在地理环境复杂的农村地区，应重视低成本、低维护的生态技术^[12]。

（五）运行维护

运维不仅是技术操作，更是融合环境效益、经济可持续与社会共治的系统工程。大力花费建设成本将设施建成只是治理工作的基础，而污水治理是常态化工作，运维极为关键^[13]。

2023年2月，贡山县人民政府办公室发布《贡山县农村生活污水治理设施运行维护管理办法》，在贯彻落实方面是可圈可点的。贡山县污水治理也成为村规民约“红黑榜”的重要组成部分。工作推进机制把月调度、季通报、年度考核作为农村生活污水推进工作的重要手段，把考核结果作为农村人居环境整治提升和乡村振兴战略实绩考核的重要依据^[14]。最值得肯定的是，贡山县在执行“禁止把雨水、工业性污（废）水、畜禽养殖废水等非生活污水接入污水管网系统”方面非常坚决，保证了治理设施后端系统的正常运转。同时政府也在尝试采用市场化运维，采购引入专业运维公司进行专业运维。

（六）加大宣传力度

贡山县通过党员干部带头、村民参与及制度约束相结合的方式提升公众意识。通过宣传栏、手册、乡村“大喇叭”等渠道普及污水治理政策，并设立意见箱收集村民建议，确保项目规划符合实际需求。党员干部带头学习政策，支持项目建设和管护，以身作则引导村民参与^[15]。将污水管控措施纳入村规民约，建立村级管控制度，确保已建设施有效运行。每月发布人居环境整治“红黑榜”，对公厕管护、农户卫生（污水、垃圾）等问题公开通报，形成常态化监督机制。

同时相关部门在相关专业单位在项目前期满意度调查时委托其进行相关治理工作的技术宣传，同时，相关负责人还用当地语

言进行解释，并进行政策讲解，产生了良好的效果，在后期项目实施过程中相关阻力也随之减少^[9]。

五、结语

云南边疆民族地区农村生活污水治理的实践中，贡山县在农村生活污水治理方面取得的成就是值得肯定的。贡山县在三年行动计划中进一步提出2025年农村生活污水治理率不低于92%的

目标任务。这就要求相关专业队伍从提高自身能力出发，通过生态保护方面的科学知识及能力培训，增强相关工作人员对生态保护工作的胜任能力，在要求越来越高、越来越严格的当下，切实做好自身工作，保证生态保护工作的质量和成效^[10]。在新的实践中，紧跟先进的步伐，不断创新，在国家重点生态功能区打好污染防治攻坚战。加大环境保护力度，保护好高黎贡山丰富的生物多样性资源，秉持“绿水青山就是金山银山”的理念，实现人与自然的永续发展^[6]。

参考文献

-
- [1] 邹渊. 改良型土壤渗滤装置处理农村生活污水试验研究 [D]. 西南交通大学, 2019.
- [2] 侯娟, 赵祥华, 吴学灿, 赖丹. 云南省农村生活污水治理现状与形势分析 [J]. 环境科学导刊, 2020, 39(6): 72-77.
- [3] 钱海燕, 陈葵, 戴星照, 张其海, 严玉平. 农村生活污水分散式处理研究现状及技术探讨 [J]. 中国农学通报, 2014, 30(33): 176-180.
- [4] 高丽, 韩彰, 吕维先, 欧斌, 凌祯. 云南省山区农村生活污水治理与生态修复对策 [J]. 环境生态学, 2025(7-1): 83-88.
- [5] 李欢萍. 高黎贡山国家级自然保护区生态保护措施分析 [J]. 现代园艺, 2020(22): 168-169.
- [6] 赵文聪. ABR-复合流人工快渗生态床工艺处理农村生活污水的研究 [D]: 9-10.
- [7] 杨贞武, 钟晨, 周梦雨, 胡玉洁. 潜流人工湿地对实际农村生活污水的净化效果 [J]. 生态环境, 2019(3): 84-93.
- [8] 于婷, 于法稳. 农村生活污水治理相关研究进展 [J]. 生态经济, 2019(7): 209-213.
- [9] 刘军, 李世广, 刘小梅. 农村水污染治理现状及对策研究 [J]. 环境科学与管理, 2019, 44(8), 67-72.
- [10] 王青, 马强, 韩志勇, 等. 农村水污染治理模式研究进展 [J]. 环境保护与循环经济, 2018, 40(4), 44-50.

公共空间光影艺术的设计策略分析

——以上海国际光影节为例

陈锋锋¹, 金承璋², 张利超²

1.上海市城市综合管理事务中心, 上海 200023

2.上海市区电力照明工程有限公司, 上海 200235

DOI:10.61369/EAE.2026010005

摘要 : 随着大众对夜景审美需求的增加, 城市景观照明迅速发展, 光影艺术成为夜间景观中最具吸引力的形式之一, 对打造独特城市景观、提升夜间公共空间品质、展示良好城市形象具有重要意义。上海国际光影节是上海市政府批准创办的市级重大活动, 对光影艺术的运用十分出色, 致力于彰显上海城市精神、展现上海城市品格。文章梳理整合了光影艺术与光影艺术节的设计策略, 分析了其上海国际光影节中的巧妙应用, 为在公共空间设计中的光影艺术作品设计提供思路, 更好地激发观众情感, 给观赏者带来更好的光影体验, 进一步优化公共空间夜间环境, 完善城市景观体系, 打造城市文化名片。

关键词 : 城市公共空间; 光影艺术; 上海国际光影节; 城市文化

Analysis of Design Strategies of Light and Shadow Art in Public Space —Taking the Shanghai International Light Festival as an Example

Chen Fengfeng¹, Jin Chengzhang², Zhang Lichao²

1. Shanghai City Comprehensive Management Affairs Center, Shanghai 200023

2. Shanghai Electric Power Lighting Engineering Co., Ltd., Shanghai 200235

Abstract : With the increasing public demand for nighttime aesthetics, urban landscape lighting has experienced rapid development. Light and shadow art has become one of the most captivating forms in nocturnal landscapes, playing a crucial role in creating distinctive urban scenery, enhancing the quality of nighttime public spaces, and establishing a positive corporate image. The Shanghai International Light Festival, a significant municipal event approved by the Shanghai Municipal Government, excels in the application of light and shadow art, dedicated to highlighting Shanghai's urban spirit and character. This article systematizes design strategies for light and shadow art and light festivals, analyzes their innovative application within the Shanghai International Light Festival, and provides insights for designing light and shadow artworks in public spaces. It aims to better stimulate audience emotions, deliver superior light and shadow experiences to viewers, further optimize the nighttime environment of public spaces, refine the urban landscape system, and establish a recognizable cultural identity for the city.

Keywords : urban public space; light and shadow art; Shanghai International Light Festival; urban culture

引言

本文系统探讨光影艺术在城市公共空间中的应用价值与设计策略, 并以上海国际光影节为例展开实践分析。光影艺术已成为塑造城市夜间形象、提升公共空间品质、强化文化认同的重要手段。上海国际光影节凭借其丰富的主题表达、前沿的科技呈现、深厚的文化融合以及创新的互动设计, 成功打造出具有全球影响力的光影艺术 IP 和城市名片, 不仅彰显了上海的城市精神, 也为公众提供了沉浸式的情感与文化体验, 成为公共空间与光影艺术的典型范例, 为打造城市光环境、推进城市文化建设提供了可借鉴经验。=

一、光影艺术与光影艺术节的概述

（一）光影艺术

一般来说，光影艺术是“一切与光有直接或者间接联系的”视觉艺术表现形式。在材料技术、交互技术蓬勃发展的当下，以灯光为基础的光影艺术形式主要有建筑投影秀、3D Mapping 秀、全息投影技术、新媒体艺术装置、光影雕塑、光影空间与水中作品等^[1]，相较于传统的绘画、雕塑，互动性和感染力更强。学者练欣总结前人研究成果，概括出光影艺术的7个特性：艺术性、主题性、公共性、在地性、空间融合性、科技性和互动性^[2]。光影艺术的价值主要集中于城市价值、空间环境价值和文化价值三个层面。就城市价值而言，诸多研究表明，光影艺术的应用对于提升城市吸引力、塑造城市品牌形象和增强公众城市认同感具有显著作用。空间环境价值指的是光影艺术是公共空间的一部分，会直接影响“空间的感知和使用体验”^[3]。在文化价值方面，光影艺术从艺术角度呈现城市面貌，展现了城市的地域特色和个性文化，有利于增强城市公共空间的吸引力^[4]。

（二）光影艺术节

光影艺术节是“以照明为主要手段的文化艺术活动”，通常利用主要道路、标志性建筑物以及重要公共空间的界面，旨在结合新型技术手段，创新光影设计表达，为观众创造独特的视觉效果^[5]，带来全新的感官体验和艺术感受，充分彰显城市文化特色。光影艺术节历史悠久，19世纪末以后，欧洲的城市规划者和建设者意识到了景观照明可以对内激发城市活力、对外提升城市知名度，景观照明开始迅速发展。里昂灯光节、阿姆斯特丹灯光节、悉尼灯光节、柏林灯光节等国际性大型艺术活动凭借先进的灯光装置、具有创造力的光影设计和精彩的灯光表演吸引了众多海内外游客。学者高飞等人经过研究为光影艺术节划分了类型，一是与传统节日相结合的光影节，如上海豫园元宵灯会；二是与城市公共事件结合的光影节，如荷兰阿姆斯特丹灯光艺术节最初举办是为了照亮黑暗的冬日；三是专门组织举办的光影节，如里昂灯光节、广州首届国际灯光节等^[6]。我国景观照明的起步较晚，但发展速度快、规模大，起源于国际大型赛事活动的举办。上海世博会、北京奥运会等盛事对我国光影艺术的发展起到了巨大推动作用^[7]。

二、光影艺术设计策略

（一）构思主题概念

能够引发情感共鸣的光影艺术作品总是能反映出设计师的思想感情。因此，在光影艺术的创作中，主题概念的设计显得尤为关键，成为作品成功的因素之一。主题设计要结合不同场景、空间元素进行选择变化，强调内心感受和情感表达，传递着对世界观、人生观、价值观的认知，让观众能够通过光影元素、色彩搭配、造型等感受到作品的主旨情感和深刻内涵，引发观众深层次的思考和感悟。

（二）优化视觉效果

在光影艺术设计实践中，主要通过合适的尺度比例来适配空

间场地，再凭借表现形式和合理利用空间元素等技巧来提高光影艺术的视觉效果，以不同的外部设计材料、色彩搭配、灯光亮度、闪烁频率等呈现风格迥异的视觉效果和观赏体验，还会加入几何图形、线条等元素，经过巧妙布局，创造出动态的、有层次的形式。

（三）融入地域特色

光影艺术的表现形式和审美特征随着地域和文化背景发生改变。设计必然需要联系地理环境，考虑当地自然条件、地形特点等。同时注重人文历史，通过将非物质的文化记忆转化为具象作品，实现历史叙事与当代公众的真实对话，深刻传达场所精神与集体情感，成为地域文化的鲜活载体。以广州为例，其历年主题如“幻彩广州，鎏光之城”“跨粤”等，均扎根岭南文脉，在光影交织中强化城市认同。

（四）提升互动体验

随着公众对艺术体验需求的不断提升，光影艺术的互动性已成为其发展的核心方向。研究主要围绕三个层面展开：在知觉交互层面，注重通过视觉形态、色彩与空间设计直接刺激参与者的感官，营造沉浸式环境；在行为交互层面则关注夜间公共空间的可用性与参与性，通过设计降低社交尴尬感、利用“蜜罐效应”鼓励群体互动，增强行为的可持续性；而情感交互层面致力于引发观者的思考与共鸣，将作品融入特定场所，实现深层的情感连接与艺术沉浸。

（五）融入空间环境

光影艺术的精髓在于与空间环境的深度融合，需将灯光艺术、建筑、自然及人文因素整合为有机整体，营造出兼具艺术性、观赏性与文化认同的空间氛围。设计时应遵循三个关键原则：一是结合场景特点，如在城市广场展现历史与未来，在博物馆诠释文化遗产；二是呼应建筑形态，利用灯光效果强化建筑语言，实现视觉连续性；三是紧密联系场所实际，提前解决供电、安全等制约因素，保障艺术完整性与环境协调。

（六）促进公众参与

光影艺术的公共性源于其与生活及社会的深度融合，它已从功能特性拓展至艺术与社会特性，在情感与精神领域丰富着个人与社会空间。在挑选公共艺术作品展出地点时，要考虑开放性，需结合场地人流、交通、气候等条件，拉近作品与公众的距离。光影艺术的呈现带来平等参与，通过多元表现形式满足不同群体需求，使观众在共享空间中平等互动、共同反思社会议题、增加文化交流、感受艺术魅力。

三、上海国际光影节设计策略实践

（一）丰富创作主题

中国综合国力和文化软实力的提升日益成为全国人民乃至世界人民的关切。2024年首届上海国际光影节主题是“穿越光年的奇妙之旅 Travel in Light——探索时空的奥秘，绽放光影的绚丽”，立足上海“世界著名夜游城市”的形象，联动上海之夏国际消费季、上海旅游节、上海时装周、古埃及文明等重要活动，

呼应上海打造中国入境游“第一站”的宏伟目标，致力于让每一位游客都能沉浸于光影交错的梦幻之旅，感受上海国际大都市的魅力，展现了中国城市建设欣欣向荣、中华优秀传统文化一脉相承的景象，增强了市民的归属感和社会大众的文化自信。2025年第二届上海国际光影节以“点亮上海”（Light Up Shanghai）为主题，打造具有全球影响力的光影艺术IP，致力于在跨越时空的体验中感受城市的积淀与生长，展现多元融合、海纳百川的城市形象，彰显“上海精神”和城市品格，契合海内外游客的期待，容易吸引注意力。

（二）打造视觉奇观

首届上海国际光影节投入了全球顶级的高清工程激光投影机，采用20K超高清分辨率制作建筑投影秀，采用更为先进的3D Mapping和超高清视听科技与文化技术，使光影作品在建筑体上的投影效果更为细腻、逼真，提高观赏性。第二届光影节主会场西岸穹顶艺术中心室内的整个穹顶部分作为载体，其直径约为60米、面积约3000平方米，实际像素画幅达到8000*8000像素；穹顶下部环幕墙体投影直径为60米、面积约为3500平方米，制作画幅更是达到了12000*6000像素。穹顶的18块钢结构做了1:1还原3D建模，投影超高清制作，圆柱横向360环幕融合，为观众带来7分钟环绕沉浸的空间视觉震撼，构建出了极富生命力的人民城市光影叙事。

（三）展示城市文化

首届光影节围绕国庆节、中华优秀传统文化、红色文化、海派文化、江南文化、时尚文化等主题展演主题投影秀。第二届上海国际光影节通过大型光影时装秀串联唐宋元明清服饰演变，展演中秋、国庆传统节日主题作品，再次通过光影艺术呈现红色文化。同时，将“海派光影美学”专属标签融入建筑投影秀、沪剧光影演绎等，进一步强化文化认同，展现开放、创新、包容的城市品格^[8]。

（四）提升互动体验效果

首届光影节应用AI技术，展览中的互动式光影作品借助AI捕捉观众动作和表情，并做出相应的反馈；有的作品采用虚拟现实技术，让观众可以身临其境地体验艺术家的创作；有的作品则利用大数据和互联网技术，让艺术作品成为一个动态的、可与观众互动的平台，增强观众的互动感。今年，徐汇西岸江边，上海亚明照明打造了“爱IN上海”装置，白天是半透LED屏艺术雕塑，夜晚变身为收集爱意的“光影容器”。互动时，只需轻轻摇晃手机，专属爱心图案便会随之生成并实时投送至巨型灯泡造型的

屏幕上，寓意着人人都能成为美好城市建设者，增添了情感层面的互动体验效果。

四、光影艺术设计策略的启示

（一）注重主题故事讲述

从受众需求出发，关注社会热点话题，选择丰富立体、符合审美的故事，设计清晰的故事结构和合理的情节变化，在重要转折点利用光影元素进行突出展示，借助色彩、音乐、光线等要素和光影效果的变化，引导观众深入感受特色主题营造的氛围，在展示地域特色、传递正能量的同时满足市民文化需求，引发情感共鸣。

（二）科学制定互动反馈机制

增加互动装置和环节，通过灯光变化、声音效果、触摸感应及运动追踪等技术，对观众行为作出即时回应，增强参与的直观性与沉浸感。融合多感官体验，结合嗅觉、听觉与触觉等多重感知渠道，使观众能够全身心融入作品情境。设计多人社交化互动形式，通过合作任务或竞技游戏等机制，促进观众间的交流合作，营造富有集体乐趣的互动环境，推动光影艺术从简单展示转向互动参与。

（三）凸显地域特色魅力

在进行光影设计之前，进行充分的历史背景分析与深入调研，了解城市民俗、艺术等文化传统，利用当地地标建筑和历史老建筑的外墙、屋顶等，通过应用特定符号、文化图案、标志等元素设计作品，融入当地特色乐器或声音作为音效或背景，通过投影灯光凸显建筑轮廓细节，讲述城市历史，彰显深厚的文化底蕴。同时探索与周边自然环境融合互动的路径，实现自然景观与光影效果的有机结合，创造别出心裁的视觉交互，引起对自然环境的关注和思考。

随着城市夜经济的繁荣，城市公共空间的价值愈发凸显。光影艺术作为新兴的艺术形式，已经广泛应用于夜景照明领域，成为城市公共空间的一部分，在赋能城市形象塑造、提供人文关怀、展现城市文化、助力夜间经济发展等方面发挥重要作用。近年来，举办灯光秀成为潮流，在主要建筑和公共空间融入光影艺术元素，融入当地的文化特征，丰富了城市夜间景观的表现形式，为海内外游客带来一场“光影盛宴”，为城市规划建设与光影艺术表达提供了有益的启示和指导。

参考文献

- [1] 晏莉. 城市背街小巷更新中光影艺术应用研究 [D]. 四川美术学院, 2021.
- [2] 练欣. 公共空间光影艺术的评价与设计策略研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2023.
- [3] 沈海英. 浅析灯光装置设计与城市公共空间 [J]. 美术教育研究, 2019, (08):68-69.
- [4] 胡瑞歌. 光影艺术在城市公共空间中的应用研究 [D]. 北京交通大学, 2019:2.
- [5] 高飞, 周侧, 马彬. 城市灯光节的思考——2014年法国里昂灯光节观感 [J]. 照明工程学报, 2015, 26(01):70-73.
- [6] 吴嘉振. 透过光影, 看城市文化——城市光环境艺术略谈 [J]. 雕塑, 2011, (03):68-69.
- [7] 袁樵. 科技点亮2024年首届上海国际光影节 [J]. 照明工程学报, 2024, 35(05):165-166.
- [8] 沈莹. 光影节, 让城市IP在科技与人文中破圈成长——SMG融合发展战略下的第二届上海国际光影节构想 [J]. 上海广播电视研究, 2025, (02):50-53.

生态文明视域下区域绿色发展的政策协同研究

王雯洁

海西中科生态环境监测有限公司，青海 海西州 817000

DOI:10.61369/EAE.2026010006

摘 要： 随着生态文明建设深入推进，区域绿色发展已成为经济、社会与环境协调发展的核心路径。然而，现有政策体系存在碎片化、重复性与执行偏差等问题，影响绿色发展效能。基于生态文明视角，从政策协同的理论框架出发，分析区域绿色发展过程中政策设计、执行与评价环节的协同性问题。通过对典型区域绿色发展实践的案例分析，提出完善政策协同机制的对策，包括政策衔接优化、跨部门合作机制构建、绿色激励机制完善及绩效评估体系强化。研究旨在为推动区域绿色发展提供理论支撑与实践参考，促进经济效益、社会效益与生态效益的统一，实现可持续发展目标。

关 键 词： 生态文明；区域发展；绿色发展途径；政策协同

Research on Policy Coordination of Regional Green Development from the Perspective of Ecological Civilization

Wang Wenjie

Haixi Zhongke Ecological Environment Monitoring Co., Ltd., Haixi, Qinghai 817000

Abstract： With the deepening of ecological civilization construction, regional green development has become the core path for coordinated economic, social, and environmental development. However, the existing policy system suffers from fragmentation, repetitiveness, and implementation deviations, which affect the effectiveness of green development. Based on the perspective of ecological civilization, starting from the theoretical framework of policy coordination, this paper analyzes the synergy issues in policy design, implementation, and evaluation in the process of regional green development. Through case analysis of green development practices in typical regions, measures to improve policy coordination mechanisms are proposed, including policy linkage optimization, cross departmental cooperation mechanism construction, improvement of green incentive mechanisms, and strengthening of performance evaluation systems. The research aims to provide theoretical support and practical reference for promoting regional green development, promoting the unity of economic, social, and ecological benefits, and achieving sustainable development goals.

Keywords： ecological civilization; regional development; green development path; policy coordination

引言

生态文明建设已上升为国家战略，其核心在于实现人与自然和谐共生。随着经济社会快速发展，传统粗放型发展模式带来的资源消耗和环境压力日益凸显，区域绿色发展成为实现可持续发展的必然选择。区域绿色发展不仅要求经济增长方式转型，更依赖政策体系的科学设计与协同实施。当前，我国各地在绿色发展实践中，虽制定了大量生态环保、节能减排、产业结构调整等政策，但政策之间缺乏系统性衔接，部门间协作不足，导致政策效应发挥不充分。政策协同研究强调通过跨部门、跨层级的政策协调，实现资源配置和目标一致性，这对区域绿色发展具有重要意义。本文将以生态文明为视角，梳理区域绿色发展政策体系，分析政策协同存在的主要问题，并提出可操作性对策，以期区域绿色发展提供理论指导和实践参考。^[1]

一、生态文明与区域绿色发展政策框架

（一）生态文明视角下的绿色发展内涵

生态文明是对传统发展模式的深刻反思与创新，强调经济发展、社会进步与生态环境保护的统一。在这一视角下，绿色发展不仅仅是节能减排或环境治理，更是一种系统性的战略安排，它

要求经济结构优化、生产方式绿色化以及社会生活方式的可持续转变。具体而言，绿色发展强调在资源利用过程中实现最小消耗、最低污染，同时提升资源效率与经济附加值。低碳经济、循环经济和清洁能源发展是其核心体现，通过能源结构优化、产业升级和生态修复，实现人与自然的和谐共生。此外，绿色发展内涵还包括社会公平与生态正义，即在追求环境改善的同时，保障

社会成员平等受益，避免绿色政策带来的“环境负担转嫁”问题。在实践中，生态文明视角下的绿色发展要求政策制定者在经济增长目标与环境承载力之间建立明确边界，并通过科学的规划和长期机制保障政策的可持续性。例如，在城市规划中应统筹土地利用、生态廊道和产业布局，实现城市发展与生态保护同步推进；在产业政策中，应鼓励绿色技术创新和低碳生产方式，以技术进步支撑绿色转型。总之，生态文明视角下的绿色发展是一种全局性、系统性理念，它要求在经济、社会和生态三方面同时发力，通过制度创新和政策引导，将绿色理念贯穿到区域发展的每一个环节。^[2]

（二）区域绿色发展政策体系现状

当前，我国区域绿色发展政策体系呈现出多层次、多领域的特点，涵盖产业结构调整、能源管理、环境保护、生态修复及绿色金融等多个方面。在顶层设计上，国家层面出台了《生态文明建设纲要》、《绿色发展行动计划》等政策文件，为各地绿色发展提供方向性指导。然而，在具体实施过程中，各地政策多以地方政府为主体制定，形成了政策高度分散的格局。一方面，不同地区依据资源禀赋和经济发展水平制定了差异化政策，例如东部沿海地区侧重产业升级与能源节约，西部地区则重点发展生态保护与可再生能源^[3]。另一方面，由于缺乏统一标准和协调机制，不同部门在政策执行过程中存在重复审批、职责不清、信息共享不足等问题，导致政策协同效应受限。尤其在跨区域环境治理、跨部门产业规划和绿色投资引导方面，政策碎片化现象较为突出。此外，政策执行的监督评价体系尚不完善，多以单项指标为考核重点，忽视综合生态效益和长期可持续性，使政策激励与约束功能难以充分发挥。实践中，部分地区虽然建立了绿色发展试点、生态补偿机制和绿色产业园区，但政策体系仍存在缺乏长效联动机制、跨部门协调不足以及绩效考核滞后的问题。总体来看，当前区域绿色发展政策体系在目标设计上具有前瞻性，但在执行协调、制度保障和评估反馈方面仍需优化，亟需构建更加系统化、协同化的政策体系，以有效支撑区域绿色发展战略落地。

二、区域绿色发展政策协同的主要问题

（一）政策碎片化

当前区域绿色发展政策存在明显的碎片化特征，这主要表现在政策目标和实施措施的分散性。不同部门在制定政策时各自为政，缺乏统一的顶层设计和系统规划^[4]。例如，在产业结构调整方面，一些地方政府出台支持绿色产业发展的激励政策，但在环保和能源管理领域的相关政策并未同步对接，导致政策之间出现重复或相互冲突的现象。此外，资源配置也因此受到影响。一些项目可能同时获得多项补贴，造成财政资源浪费；而另一些关键环保措施则缺乏支持，导致政策效果无法充分显现。政策碎片化不仅影响执行效率，还增加了地方政府和企业的制度负担，使政策落地面临不确定性。尤其在跨区域生态治理中，不同地区的政策标准和目标差异明显，跨区域协作难度加大，生态资源保护效果受限。因此，解决政策碎片化问题，需要从顶层设计入手，加

强政策整体规划与跨部门、跨区域的协调，以实现政策资源优化配置和绿色发展目标的有效落地。

（二）部门协作不足

在区域绿色发展实践中，各部门在政策执行过程中存在明显的协作不足问题。主要表现为职责界定模糊、信息共享不充分以及协同机制缺失。以能源管理和环保监管为例，相关部门在审批项目、监督执行和评估成效时往往各自为政，缺乏统一的工作流程和协调平台，导致同一项目需多次报批或出现监管空白。此外，部门间缺乏有效的信息共享渠道，企业在政策执行过程中需要向多个部门提供重复资料，增加了行政成本，也降低了政策执行效率。协作不足还可能导致政策执行效果不均衡，一些重点区域和关键领域得不到有效监管，政策激励与约束功能难以发挥。长期来看，这种缺乏协调的现象不仅影响政策效果，也可能削弱公众对绿色发展政策的信任感。解决部门协作不足问题，需要建立跨部门协调机制，明确职责分工，搭建信息共享平台，并通过联合考核和协同激励方式，提高政策执行的整体效能，实现绿色发展目标的协同推进。

（三）绩效评估体系不完善

目前，区域绿色发展政策的绩效评估体系存在明显缺陷，主要表现为评价指标单一、缺乏综合性和长远性。许多地区在政策执行过程中仍以经济效益或单项环保指标为主要考核标准，忽视社会效益和生态效益的综合评价。例如，在评估产业绿色化过程中，往往只关注节能减排数据，而未系统考察生态环境改善、公众参与程度及长期可持续性。这种单项指标导向容易导致短期行为，政策激励作用有限。同时，缺乏动态监测和反馈机制，使政策执行中出现的问题无法及时发现和调整，政策闭环难以形成。绩效评估体系的不完善还可能影响政策制定者和执行者的决策行为，使资源投入与实际需求不匹配。为改善这一问题，应构建多维度、综合性评价体系，将经济、社会与生态效益统一纳入考核框架，并建立动态监测和反馈机制，实现政策执行的科学化、精细化管理，从而提升政策协同效果和绿色发展成效。^[5]

三、政策协同优化路径

（一）完善政策衔接机制

在区域绿色发展中，政策衔接不畅是制约协同效能的关键因素。为此，需要建立跨部门政策衔接平台，统筹产业、环境、能源等相关政策，确保政策之间互为补充、减少冲突。例如，在产业结构调整过程中，应将节能减排政策、环保标准及财政激励措施纳入统一规划，使政策设计与实施目标保持一致。政策衔接机制不仅包括制定阶段的顶层设计，也涉及执行过程中的动态调整，通过定期评估、信息共享和联动调整，及时发现政策重叠或空白区域。此外，应建立跨部门沟通制度，如联合政策审查和协调会，确保各部门在政策制定与实施中充分协商，减少单一部门主导的局限性。通过完善政策衔接机制，不仅可以提高资源配置效率，还能形成政策协同效应，实现绿色发展目标的系统性推进，从而为区域生态文明建设提供坚实的制度保障。^[6]

（二）构建跨部门合作机制

跨部门合作是政策协同落地的重要保障。在实际操作中，各部门往往各自执行职责，缺乏信息共享和协同监管，这不仅影响政策落实效率，也增加了企业和地方政府的负担。构建跨部门合作机制，应首先明确各部门职责和权限，建立联合执法和协同监管制度，形成统一的执行标准。例如，在环境保护与能源管理交叉领域，可通过联合检查、联合审批以及共享数据平台，减少重复审批和监管盲区。同时，建立信息共享机制，确保政策执行过程中的数据透明化，实现部门间实时沟通和决策支持。跨部门合作机制还应包括定期协作会议、绩效联动考核及问题反馈机制，使部门间协作不仅是制度化安排，更成为日常运行的常态化操作。通过这种机制，政策执行效率和整体协调性得以显著提升，为区域绿色发展提供坚实的组织保障。

（三）完善绿色激励机制

绿色激励机制是引导各方主动参与绿色发展的关键手段。政策实施中，单纯依靠行政命令或约束往往效果有限，而通过财政补贴、税收优惠、绿色信贷等市场化手段，可以激发企业和地方政府的积极性。例如，对节能减排技术投入、绿色产业园区建设和可再生能源项目给予财政奖励或税收减免，有助于降低企业转型成本，促进绿色技术推广。同时，可探索建立绿色绩效挂钩激励，将地方政府考核与绿色发展成果挂钩，增强政策执行动力。绿色激励机制还应注重多层次、多维度设计，包括对企业、政府及社会公众的全覆盖引导，使绿色发展目标内化为各方行动的自发选择。通过完善绿色激励机制，可以在政策协同过程中形成正向循环，提升区域绿色发展效率，实现经济、社会和生态效益的统一。^[7]

（四）强化绩效评估体系

有效的绩效评估体系是政策协同的重要支撑。现有政策评价往往偏重单项指标，难以全面反映经济、社会和生态效益。强化绩效评估体系，应构建综合评价指标体系，将能源效率、污染减排、产业升级、社会满意度等多维度指标纳入考核框架。同时，应建立动态监测机制，通过信息化平台收集和分析政策执行数据，实现实时监督和调整。绩效评估还应注重反馈闭环，即根据评估结果对政策进行优化和修正，确保政策执行与目标保持一致。此外，可探索跨部门联合评价模式，由不同部门共同参与评估，确保评价结果客观、公正、全面。通过强化绩效评估体系，不仅能提高政策执行的科学性和透明度，还能形成政策改进的正向动力，为区域绿色发展提供持续的制度保障和实践指导。

四、结论

由此可见，区域绿色发展是实现生态文明建设目标的关键路径，而政策协同是保障绿色发展有效实施的重要手段。本文通过生态文明视角，分析了政策碎片化、部门协作不足及绩效评估体系不完善等问题，提出了优化政策衔接、建立跨部门合作机制、完善激励措施及强化绩效评估体系等对策。实践表明，系统性政策协同能够有效整合资源、明确职责、优化激励，显著提升政策执行效率和绿色发展成效。在信息化时代背景下，应进一步推动政策制度创新、完善跨部门信息共享平台，形成可持续、可复制的区域绿色发展模式，实现经济发展与生态环境的良性互动，为国家生态文明建设提供有力支撑。

参考文献

- [1] 邢华，冯博. 区域协作治理中的领导力：一个动态分析框架——以长三角生态绿色一体化发展示范区为例 [J]. 苏州大学学报（哲学社会科学版），2024, 45(1): 20–32.
- [2] 庄贵阳. 深入推进生态文明建设和绿色低碳发展 [J]. 人民论坛，2024(5): 42–45.
- [3] 董琼玉. 农业绿色发展对生态文明建设理念的践行 [J]. 棉花学报，2024, 36(2): 176–176.
- [4] 肖沁霖，邓宗兵. “双碳”目标下生态文明发展差距测度、来源分解及形成机理——基于重大国家战略区域视角的考察 [J]. 经济问题探索，2024(3): 172–190.
- [5] 陈秀云. 生态文明建设背景下绿色经济发展战略研究——以吉林省白山市林业发展为例 [J]. 商展经济，2024(21): 139–142.
- [6] 李湘儿，胡熠娜. 基于固碳服务供需视角的区域碳平衡研究——以长三角生态绿色一体化发展示范区为例 [J]. 长江流域资源与环境，2024, 33(1): 55–65.
- [7] 袁辉. 生态文明建设与绿色低碳发展——来自中国县域的新证据 [J]. 煤炭经济研究，2024, 44(5): 110–118.

煤矸石填沟造地综合利用及土地复垦项目环境影响 的深度剖析与评价

任林霞

忻州市生态环境局信访应急宣教中心, 山西 忻州 034000

DOI:10.61369/EAE.2026010007

摘 要 : 煤矸石作为煤炭开采和加工过程中产生的固体废弃物, 大量堆积不仅占用宝贵土地资源, 还会引发一系列环境问题。煤矸石填沟造地综合利用及土地复垦项目, 是实现煤矸石资源化利用、缓解土地资源紧张矛盾的重要途径。本文以某煤矿煤矸石填沟造地综合利用及土地复垦项目为例, 从采取的环境保护措施及项目实施后对各生态环境要素的影响等方面进行全面的环境影响评价, 旨在为项目的合理建设和运营提供科学依据, 促进项目与生态环境的协调发展。

关 键 词 : 煤矸石; 填沟造地; 土地复垦; 环境影响评价

In-depth Analysis and Evaluation of Environmental Impacts of the Comprehensive Utilization of Coal Gangue for Land Reclamation by Filling Gullies and Land Restoration Project

Ren Linxia

Petition Emergency Propaganda and Education Center, Xinzhou Ecological Environment Bureau, Xinzhou, Shanxi 034000

Abstract : Coal gangue, a solid waste generated during coal mining and processing, not only occupies valuable land resources but also triggers a series of environmental issues when accumulated in large quantities. The comprehensive utilization of coal gangue for land reclamation by filling gullies and land restoration projects represents a crucial approach to achieving resourceful utilization of coal gangue and alleviating the tension in land resources. Taking a specific coal mine's comprehensive utilization of coal gangue for land reclamation by filling gullies and land restoration project as an example, this paper conducts a comprehensive environmental impact assessment from the perspectives of the environmental protection measures adopted and the impacts on various ecological environmental elements after project implementation. The aim is to provide a scientific basis for the rational construction and operation of the project and promote its coordinated development with the ecological environment.

Keywords : coal gangue; land reclamation by filling gullies; land restoration; environmental impact assessment

《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见发改环资[2021]381号》及《山西省人民政府关于印发山西省固体废物污染防治攻坚战行动方案的通知》晋政发[2024]17号等文件中提出力争到2027年, 实现工业固体废物“产、用、处”平衡。

某煤矿由于产能的快速提升, 生产过程中产生的矸石也随之增加, 为了保证后续矸石合理处置的需求, 某煤矿在充分调查区域地形地貌、生态环境的基础上, 拟在工业场地附近的一条沟谷用于矸石填充土地复垦, 复垦为乔木林地和灌木林地。该荒沟土地现状为草地、农村道路、林地, 位于煤矿工业场地东北侧, 场地大体呈西北高, 东南低, 利用场地内分布的沟壑填充矸石进行土地复垦, 与现有工业场地有道路联通, 作为运输矸石道路利用, 煤矸石填充完毕后, 在表层铺设0.8m厚的黄土以满足土地复垦用地条件, 并将复垦后合格的土地归还给当地村民。

本项目实施后, 可以增加绿化面积, 提高整体土地利用价值, 对区域生态结构功能的提高亦具有积极作用, 减少沟壑水土流失、有利于水源涵养。

一、项目采取的环境保护措施

（一）抑尘措施

煤矸石充填土地复垦期间，遇到干燥易起尘的土方工程作业时，应辅以洒水压尘，尽量缩短起尘操作时间。遇到四级及四级以上大风天气，应停止土方作业，同时作业处覆以防尘网；施工现场定期喷洒，保证地面湿润，不起尘；施工过程中容易产生扬尘的建筑材料，应采取设置专门的堆蓬，并使用防尘布对原料进行遮盖；对于工地内裸露地面，及道路，采取洒水措施进行抑尘。确保扬尘污染控制达到“6个100%”。

（二）防渗要求

矸石为Ⅰ类一般工业固体废物，对其的储存、处置按照Ⅰ类一般工业固体废物的要求进行；矸石分层压实、黄土覆盖处理，沟底黄土经夯实作为防渗层，可达到良好的防渗效果，可对淋滤液进行吸附、降解，进一步降低对土壤的影响。

（三）废水处理措施

洗车废水：本项目矸石可从工业场地经场地道路进入拟建项目场地，场地出入口设置1座洗车平台，配套建设废水沉淀池，洗车废水沉淀后循环使用不外排。

（四）噪声污染防治措施

为减小建设期项目噪声对周边环境及运输道路沿线敏感目标的影响，煤矸石充填土地复垦期间，加强调度管理，禁止夜间运输，在行驶至居民集中区等噪声敏感点处，要减速行驶，禁止鸣笛；定期对车辆进行保养，使车辆处于良好状态，降低辐射声级严格限制车辆超载等，可最大限度减轻建设期噪声对区域声环境质量的影响。

（五）固废污染防治措施

施工过程中产生的建筑垃圾全部送当地建筑垃圾场处置；生活垃圾统一收集后由环卫部门处置；施工机械车辆维护不在拟建场地内进行，需要维护保养时直接在汽修厂或者修理厂进行。

（六）风险防范措施

矸石堆放区采用黄土夯实作为防渗层，工程矸石堆放采用分层堆置、覆土压实并覆土封场的措施。设置专人对复垦区进行管理和维护，严禁在复垦区周边爆破等危害填充区安全的活动。

（七）取土场生态恢复措施

取土场按照台阶式开挖取土，在取土范围内设置土质排水沟、截水沟，取土结束后，对其进行阶梯性削坡开级，并根据原来的土地利用情况，进行土地整治恢复，灌草结合，进行生态恢复，取土场恢复为灌木林地，林间播撒紫花苜蓿。

二、主要环境影响

（一）环境空气影响分析

项目选址和场区布置符合环境要求，污染源排放强度和排放方式及大气污染控制措施在严格按照规定的要求下可满足达标排放。评价认为从环境空气角度出发，本项目的建设是可行的。

参考文献

- [1] 崔海伟, 袁志丹, 杨宗喜, 等. 国内外煤矸石综合利用新进展与新趋势 [J]. 中外能源, 2025, 30(10): 96-102.
- [2] 范芳梅. 煤矸石综合利用常见问题及处理建议 [J]. 山西化工, 2025, 45(08): 156-158.
- [3] 何海亮, 刘清德. 煤矸石综合利用途径分析 [J]. 天津化工, 2025, 39(03): 9-11.

（二）水环境影响分析

项目回填及复垦期场地出入口设置1座洗车平台，配套建设废水沉淀池，洗车废水经沉淀池沉淀后循环利用，不外排；雨季时，复垦区上游及周边汇水可以通过截水沟、马道排水沟和消力池排出场外，对水环境的影响很小。

（三）声环境影响分析

本项目煤矸石充填土地复垦期间，在采取规定的污染治理措施的情况下，项目施工期及运营期噪声对周边环境的影响很小。

（四）固体废物环境影响分析

本项目建设施工开挖产生的废土全部用于填充区场地的平整，无弃土产生；施工过程产生的废石、混凝土块等建筑垃圾全部由当地环卫部门统一处置，综上，本项目固废排放不会对区域环境产生影响。

（五）生态环境影响分析

本项目为土地复垦项目，随着复垦区的运营，边坡和平台覆土、绿化之后，生态环境较从前得到改善，因此对生态环境的影响不大。

（六）地下水环境影响分析

根据本项目工程分析，正常状况下整治区按设计做好防渗措施，污染物基本不会渗漏进入地下水，对地下水环境影响较小。在非正常工况下，填埋区对包气带造成一定程度的影响。不考虑包气带对污染物的自净、吸附、生化等阻滞效应，地下水污染模拟预测结果显示，项目实施后煤矸石淋溶水中铅输入量很小，非正常情况下填埋区渗漏对区域潜水含水层中污染物浓度影响很小。

（七）土壤环境影响分析

本项目为土地复垦项目，设计2年完成场地内填埋工作，并进行土地造地。场地全部覆土完成后统一交给当地村民使用。在采取严格的土壤环境质量现状保障、源头控制、过程控制等措施后，根据预测结果，本项目实施后占地范围内土壤中铅输入量很小，基本上不会改变土壤中Pb的原始状态，本项目的建设对周边土壤环境的影响不大。

三、结束语

本研究对煤矸石填沟造地综合利用及土地复垦项目的环境影响进行了全面、深入的剖析与评价，研究结果表明，该项目在带来诸多效益的同时，也不可避免地对环境产生了一定影响。

总体而言，煤矸石填沟造地综合利用及土地复垦项目虽然在实施过程中会对环境产生一定的负面影响，但通过采取一系列有效的防治措施，这些影响可以得到有效控制和缓解。在严格落实各项环保措施的前提下，该项目在环境影响控制方面是可行的，能够实现煤矸石的资源化利用，增加土地资源，改善生态环境，促进区域的可持续发展。

新型配方基质栽培“增香鸡腿菇”的研究初报

郭兵^{1,2,3}, 姚利^{1,2,3*}, 王祥峰¹, 曹德宾¹

1. 山东省农业科学院, 山东 济南 250100

2. 农业农村部废弃物基质化利用重点实验室, 山东 济南 250100

3. 养分资源高效利用全国重点实验室, 山东 济南 250100

DOI:10.61369/EAE.2026010008

摘 要 : 鸡腿菇是一种体型大、口感鲜美、营养价值高的食用菌, 但由于新品种的食用菌不断上市, 近年来鸡腿菇关注度下降, 市场表现也较为萎靡。我们以玉米芯搭配豌豆渣、酒糟等农产品加工废弃物, 通过添加玫瑰花、芝麻渣等特殊香味下脚料, 配制成鸡腿菇增香基质, 开展栽培试验。试验结果表明, 增香基质栽培得到的鸡腿菇子实体具有较明显的香味, 评价结果比较理想, 为鸡腿菇的市场化开发提供了新的思路。

关 键 词 : 鸡腿菇; 农业废弃物; 增香

Preliminary Report on the Study of "Fragrance-Enhanced *Coprinus Comatus*" Cultivated with a New Formula Substrate

Guo Bing^{1,2,3}, Yao Li^{1,2,3*}, Wang Xiangfeng¹, Cao Debin¹

1. Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong 250100

2. Key Laboratory of Waste Substrate Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Jinan, Shandong 250100

3. National Key Laboratory of Efficient Utilization of Nutrient Resources, Jinan, Shandong 250100

Abstract : *Coprinus comatus* is a type of edible mushroom known for its large size, delicious taste, and high nutritional value. However, due to the continuous introduction of new mushroom varieties, the attention and market performance of *Coprinus comatus* have declined in recent years. In this study, we formulated a fragrance-enhancing substrate for *Coprinus comatus* cultivation by combining corn cobs with agricultural processing waste such as pea residue and distiller's grains, and adding special aromatic by-products like rose petals and sesame residue. Cultivation experiments were conducted using this substrate. The results showed that the fruiting bodies of *Coprinus comatus* cultivated with the fragrance-enhancing substrate exhibited a distinct aroma, and the evaluation results were satisfactory, providing a new approach for the market development of *Coprinus comatus*.

Keywords : *Coprinus comatus*; agricultural waste; fragrance enhancement

鸡腿菇 (*Coprinus Comatus*), 是一种由珍稀逐渐退位为普通品种的食用菌, 由于其应市期短偏窄、保鲜期较短、并且一直保持其原有的色、味不变而令消费者逐渐产生视觉疲劳、嗅觉疲劳和审美疲劳, 一定程度上影响了市场表现, 近年来市场价格有所回落。食用菌风味物质具有种属特异性^[2], 在此基础上, 增加鸡腿菇的香味, 可以差异化产品, 提升附加值, 对其品质提升和价格增加具有重要的意义。

目前, 有研究表明, 在栽培基质中添加特殊物质 (茶叶、咖啡渣等) 可以提升子实体品质与特殊物质含量。从生物学角度来讲, 食用菌可能通过以下几种方式吸收、吸附或转化利用一些香味物质分子。首先, 菌丝在分解木质纤维素的同时, 可能会分解利用添加的香味物质 (如玫瑰花瓣中的芳香化合物、精油等), 这些外源化合物可能被菌丝体内的酶系统部分转化, 生成新的风味前体物质, 并输送到正在发育的子实体中。最终, 这些前体物质在子实体形成或成熟过程中, 被整合进其代谢产物中, 从而呈现出特殊风味。另外, 一些脂溶性或水溶性的香味分子 (如玫瑰中的香叶醇、苯乙醇等), 在基质中被菌丝吸收后, 可能未经化学结构改变, 直接运输并储存在子实体的细胞壁、细胞膜或液泡内, 这类似于生物富集过程, 使得子实体直接携带添加物的特征风味。在栽培过程中, 添加物 (如玫瑰花瓣) 会持续释放挥发性香气分子, 正在生长的子实体 (尤其是菌盖部分) 表面积大, 具有很强的吸附能力, 可能会像海绵一样物理吸附这些香气分子。这部分风味可能在烹饪初期最为明显。最后, 特殊物质的添加会改变基质的化学成分和微生物群落, 这种改变可能间接影响食用菌自身的代谢途径, 促使它产生一些不同于在常规基质中生长的次级代谢产物, 从而形成独特的风味组合。

本研究中, 我们在农业废弃物栽培基质中, 将本地已有的原与食用菌生产基本无关的两种植物副产品纳入其栽培基质, 通过鸡腿菇生长过程中吸收、吸附以及代谢利用该两种植物副产品中的香味因子, 将鸡腿菇子实体改变成为具有一定风味物质的产品。通过试验, 获得的子实体具有较明显的香味, 评价结果较为理想。现将该增香研究的结果初报如下:

基金项目: 山东省重点研发计划 (乡村振兴科技提振行动计划) (2022TZXD0039); 山东省现代农业食用菌产业技术体系产后加工与菌渣利用岗位专家项目 (SDAIT-07-07)。

作者简介: 郭兵 (1983—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事农业微生物方面研究。E-mail: guo321bing@163.com。

通讯作者: 姚利 (1979—), 女, 硕士, 副研究员, 主要从事废弃物资源化利用方面研究。E-mail: nkyyaoli@163.com。

一、材料与方法

（一）试验材料

1.鸡腿菇菌种：长腿鸡腿菇，该菌株的子实体明显具有“黄金分割率”的比例，菌盖长度：菌柄（外露）长度大约在4.5：5.5左右，外观商品性较高，并且适应反季节生产如控温栽培、菇洞栽培、箱式栽培等。常规制作PDA改良培养基1级试管种、瓶装谷粒基质2级种和袋装棉籽壳发酵熟料3级种。

2.栽培主料：以风干料计，玉米芯60%、酒糟30%、麦麸10%；商品玉米芯最大粒径2cm，约10%粉末状；豌豆渣、酒糟加入1%石灰粉晒干，按干料重加入2%石灰粉拌匀后装袋储存备用。

3.栽培辅料：豆饼粉、石灰粉、石膏粉、复合肥、尿素均为市售品；三维精素由济南农科菌所提供。

4.试验材料：试验材料为“MH”和“MZ”两种材料60%+40%的组合。MH为玫瑰花烘干过程中碎裂的花瓣边角等碎屑，MZ为芝麻香油生产中剩余的芝麻渣，经晒干、粉碎，密封包装、干燥储存，期间严格防虫；其中，材料MH购于济南平阴，MZ为滨州市某企业提供。

5.发酵料栽培：农业废弃物基质基本配方：玉米芯500kg，豌豆渣300kg，酒糟100 kg，麦麸90 kg，豆饼粉10 kg，石灰粉50 kg，石膏粉20 kg，复合肥10 kg，尿素5kg，三维精素480g。基本处理：

——玉米芯加30 kg石灰粉预湿，每天翻堆2~4次、并予适量补水，使之充分吸水；

——豆饼粉提前浸泡；复合肥提前加水，全部碎解后加入尿素溶化；

——待玉米芯预湿3d后，将豌豆渣、酒糟与之掺混，加入剩余石灰粉以及麦麸、豆饼粉、石灰粉、石膏粉、尿素建堆发酵，24h翻堆一次，发酵7d；发酵期间应视失水情况予以补水，遇雨天应予以遮盖，不使雨水进入基料；

——完成发酵后的检查调整：基料不黄、不黏、不酸、不臭，有一种淡淡的发酵草料气味，酒糟酸味基本消失；含水率60%左右；pH值8~10；无活的害虫或虫卵；

6.装袋播种常规操作。

（二）试验方法

1.试验设计：设计4个试验处理CK、T1、T2和T3，试验材料在栽培基料（以风干料计）中的比例依次为0%、2%、4%、8%；

2.发菌培养：培养室提前喷施消杀药物以防病虫害，各类药物必须单独喷洒。18~28℃条件下避光发菌；

3.菌丝后熟：菌袋完成基本发菌后，移入0~6℃恒温库中进行菌丝后熟培养，以30d为基准时间；

4.发菌考察：主要指标是发菌速度、菌丝态势、菌丝浓密度、出菇时间等状况；

5.出菇计划：出菇棚消杀使用百病傻和赛百09药物各喷一遍并采取“闷棚”处理，不再使用其它杀菌药物；每个配方的1000kg基料为一个处理，常规生产只留出与试验处理等量的菌袋作为ck即可，以方便观察、对照；

6.覆土材料处理：菇棚外挖取20cm地表土作为试验用覆土材料，使用30袋百病傻药物进行拌匀，覆膜7d待用；菌袋入畦前，将之分为三等份，分别将试验材料按2%、4%、8%体积比加入土中拌匀，即为处理T1、T2、T3用的覆土，CK与常规同；

7.菌袋入畦覆土后的浇水：试验组T1、T2、T3分别添加2 kg、4 kg、8 kg试验材料到大缸中加水100 kg浸泡1天，即为试验用水；待畦面有现白时，将该试验用水按处理号顺序依次慢洒于畦面；ck不添加试验材料；

8.出菇温度：要求安排自然气温在6~20℃的时间段内出菇，调控菇棚温度以15~18℃为最佳；

9.出菇考察：主要指标是出菇态势、子实体（鲜菇）香型及其浓度、菜品的香型及其浓度等；生物学效率主要考察第一、第二潮菇；

10.子实体（鲜菇）香型及其浓度指标的考察：对鲜菇的考察均安排上午进行。提前随机邀请5名相关人员，采取不记名盲嗅、盲品的办法，即在完全不知情的背景下，品评人员每人一张桌子，以纸箱为容器，由工作人员随机放入一组（一个处理、重约500g左右）待品评的鲜菇，品评人员根据自己的嗅觉和观察填写表格，香型类别（茉莉、玫瑰、桂花、薰衣草、花生油、芝麻油、其它）；3分钟后收集，随即再放入下一个处理的鲜菇，以此类推，直至完成全部品评；

11.菜品的香型及其浓度类指标的考察：品评人员每评完一个处理的鲜菇，随即装入塑袋，注明原编号。全部完成后，每人带一份试验鲜菇回家，使用玉米油炒制，拒绝动物肉类及其油脂以及花椒、八角、葱姜、味精类调料和芝麻香油等，全家人进行品评，并填写表格。考察结果全部收回后，连同其它考察指标一起，确认无误后进行综合统计和分析。

二、结果与分析

（一）试验结果

试验结果如下表所示。

试验结果综合统计分析表

处理	发菌阶段			出菇阶段			鲜菇 香型及其浓度	品评阶段		
	发菌 速度	菌丝态势	菌丝浓 密度	出菇时 间 d	出菇态势	生物学效 率 %		菜品的香型及 其浓度	综合评介	看法或建议
T1	80	80	80	39	80	63	花香10	花香10	花香10	香味小
T2	80	80	80	36	80	71	花香30	花香20	花香20	香味不足
T3	90	90	100	36	100	88	花香60	花香60	花香60	应继续增加花香浓度
CK	80	80	80	40	80	60	0	0	0	没有香味

注：除生物学效率外，指标品评采用百分制，梯度为10分，以100分为最优。

（二）结果分析

考察一律安排在上午进行，目的是尽量避免有的考察人员可能的“涉酒工作”，避免酒精刺激等外部因素对考察人员的非正常影响。结果：处理3的“花香”气味比较明显，采收时即有此感觉，采后的“手有余香”亦较明显，尤其不嗜烟酒及女性人员的感觉更为明显。试验材料以量大为好：三个处理的生物学效率指标均高于对照值；所有指标均以处理3最优。说明试验材料数量与生物学效率为正比关系，亦即试验材料使用的基本趋势是比例偏大为好；究其原因，应该是因为试验材料属于纯植物性物质，该种（类）有机材料比较符合鸡腿菇菌丝的分解及对营养的吸收。试验材料有机营养成分高：T3的生物学效率大大高于其它处理，T2的基本指标亦优于T1，究其原因，应该是试验材料含有的有机营养物质所致，豌豆渣丰富的氮含量为鸡腿菇生产提供了营养保障。需要说明的是：MH材料是我国南北中大部分地区都有一种植物，只是栽培面积有别，即使现代农业科技条件下，其单产亦处较低的水平，MH材料资之所以紧缺，该种植物的栽培面积及其总产量应为关键因素。试验认定T3为最佳配方，可以用于商品生产：试验可以基本确定以T3配方进行操作即可达到设计目标，此后的“增香鸡腿菇”栽培中可以将之用于批量商品生产，菇品进入超级市场，消费者以中高端群体为主，兼之以大中型酒店等创建招牌菜品，领导菌菜新潮流。生产成本核算：试验材料成本以T3为最高，约占该处理生产总成本的16%左右，如再配以其它技术措施等，生产成本包括人工管理等费用将会超过生产总成本的22%；预计菇品售价将是普通产品的2倍或以上，综合匡算，生产效益将会增加70%及其以上，将大大提高经济效益。

三、小结与讨论

（一）小结

试验材料最高用量为8%，此时效果最佳，尚待设计后续试验中考虑高于此用量时的效果，同时考虑成本增加因素以评估商品

化生产潜力。加入试验材料尤其加入MZ后，由于特殊气味等原因，将会加剧害虫对菌畦的侵袭和危害，故应特别注意防范。试验材料中的MZ资源相对有限，栽培面积小、单产水平亦低，尤其生产效益低下的制约，更是加剧了该种产品及其副产品的相对匮乏，据了解，现在以此为原料的生产企业多依赖进口；可以选择其它植物性的试验材料，而不应使用化学材料，以满足生产“高档增香鸡腿菇”的目标。其他可能带有芳香气味的废弃物原料也有可能在食用菌栽培中获得增香效果，后续课题组也将进一步寻找新的资源或新材料替代MH和MZ材料进行试验。该项研究及其思路对于我国食用菌产业的创新和发展应该会有有一定的助推作用，或许可以借此打开人们思路、甚至产业引领的效果。

（二）讨论

对添加物种类的选择要看考虑其化学成分，高挥发性的精油类物质可能更容易被菌丝吸收或子实体吸附，但也可能在漫长的发菌过程中大量散失。小分子、脂溶性物质通常更容易扩散通过细胞膜被菌丝吸收和运输。另外还需要考虑对菌丝的毒性，许多芳香植物精油具有抗菌、抗真菌特性，浓度是关键。过量添加会抑制甚至杀死菌丝，必须找到“既能影响风味又不抑制生长”的临界点。

物质添加的时机与方式可能也很重要，不同的方式可能有不同的效果。比如拌料时加入能让风味物质均匀分布并与菌丝充分接触，但可能面临发酵灭菌过程中的损失。覆土材料中加入对于需要覆土的菇类（如双孢菇），将香味物质混入覆土中，能更直接地影响子实体发育后期的风味形成。在出菇期喷洒低浓度的香味物质提取液，可能更高效地让子实体吸附，但可能只停留在表面。这需要进一步的实验研究。

试验初步揭示了通过添加特定物质提升鸡腿菇香味的可行性，要想进一步阐明其机理，需要通过精密测定分析子实体的挥发性风味化合物，并与对照组对比，可以明确鉴定出新增的、来源于添加物的特征香气成分，从而证实上述的吸收或转化机制。常见检测方法包括超临界萃取、固相微萃取等分离萃取技术，以及气相色谱-质谱和气相色谱-离子迁移谱鉴定技术等。

林业碳汇空间占用补偿机制实践分析 ——以元谋县试点为例

段映丞, 张伟*, 陈云刚

楚雄州森林和草原资源监测站(楚雄州碳汇研究院), 云南 楚雄 675000

DOI:10.61369/EAE.2026010009

摘 要 : 在全球气候变化应对与“双碳”目标推进的背景下,森林碳汇功能的保护与增强成为关键路径。然而,林地占用导致的碳汇能力损失,难以通过传统生态补偿机制弥补。本文以云南省元谋县林业碳汇空间占用补偿机制试点为研究对象,基于习近平生态文明思想和碳达峰碳中和战略要求,整合试点政策文件与第一批碳汇量核算实证数据,系统分析试点政策依据、技术路线与实践路径。研究表明,元谋县通过“政府引导+市场运作+主体参与”模式,构建“碳汇储备-空间占用-补偿核销”闭环机制,创新“抵消+购买”补偿方式与动态定价机制,首批321.7011hm²碳汇林3年碳汇量2471.275tCO₂e实现收储核算及交易,既保障了生态产品价值实现,又为同类生态脆弱地区开展类似实践提供了可复制的经验参考。

关 键 词 : 林业碳汇; 空间占用补偿机制; 生态产品价值; 碳汇核算

Practical Analysis of the Spatial Occupancy Compensation Mechanism for Forest Carbon Sinks —A Case Study of the Yuanmou County Pilot Program

Duan Yingcheng, Zhang Wei*, Chen Yungang

Chuxiong Forest and Grassland Resources Monitoring Station/Chuxiong Prefecture Carbon Sink Research Institute,
Chuxiong, Yunnan 675000

Abstract : Against the backdrop of global climate change mitigation and the advancement of the dual carbon goals, protecting and enhancing forest carbon sink functions has become a critical pathway. However, the loss of carbon sink capacity resulting from forest land occupation is difficult to compensate through traditional ecological compensation mechanisms. This paper examines the pilot forest carbon sink spatial occupancy compensation mechanism in Yuanmou County, Yunnan Province. Guided by Xi Jinping's Thought on Ecological Civilization and the strategic requirements for carbon peaking and carbon neutrality, it integrates pilot policy documents with empirical data from the first batch of carbon sink quantity calculations to systematically analyze the policy basis, technical approach, and implementation pathways of the pilot program. The study reveals that Yuanmou County has established a closed-loop mechanism—“carbon sink reserve-spatial occupancy-compensation cancellation”—through a “government guidance + market operation + stakeholder participation” model. It innovates “offset + purchase” compensation methods and dynamic pricing mechanisms. The first batch of 321.7011 hectares of carbon sink forests achieved storage accounting and trading for 2,471.275 tCO₂e of carbon sinks over three years. This approach not only ensures the realization of ecological product value but also provides replicable experience and reference for similar practices in other ecologically fragile regions.

Keywords : forest carbon sinks; spatial occupancy compensation mechanism; ecological product value; carbon sink accounting

全球气候变化下,碳达峰碳中和成为重要战略导向,中国明确“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”目标,要求建立体现碳汇价值的生态保护补偿机制,林业碳汇是破解生态保护与经济发展矛盾的关键路径。刘海燕等^[1]指出 CCER 备案暂停导致项目备案占比仅2%,市场“有价无市”凸显行政补偿与市场激励需并轨;秦国伟等^[2]强调产权、标准、金融分割是释放碳汇潜力最大瓶颈;金鑫等^[3]率先将“空间占用补偿”理念引入林业碳汇治理,提出以碳汇价值为基准、以指标交易为通道的“损失—补偿—核销—交易”闭环机

作者简介:段映丞(1996.12-),男,汉族,云南昆明人,本科,助理工程师,研究方向:林草湿资源监测、碳汇资源监测。

通讯作者:张伟(1991.03-),男,汉族,云南昆明人,本科,工程师,研究方向:林草湿资源监测、碳汇资源监测。

制，为缓解建设用地刚性需求与森林碳汇刚性损失之间的结构性矛盾提供了制度原型；然而，该机制仍停留在政府主导、行政配给的“单轨”层面，缺乏具体实践。元谋县作为金沙江干热河谷核心区域，经数十年生态治理，2025年森林覆盖率达1985年历史最低点5.2%提升至31.80%，碳储量达146.51万吨，且作为云南林业碳汇创新试点县，率先探索空间占用补偿机制，目前已完成3个乡镇13个地块（总面积321.7011hm²）3年期2471.275tCO₂e碳汇收储核算及交易。本文采用多学科研究方法，依托政策、标准及试点数据，按“理论梳理→政策解析→数据整合→效果分析→价值总结→优化建议”展开研究，旨在丰富生态产品价值实现理论体系，验证补偿机制实操性，为干热河谷生态保护及全国相关实践提供可复制的“元谋经验”。

一、林业碳汇空间占用补偿机制的技术路线

试点依据生态产品价值理论、利益相关者理论、生态补偿理论等，基于“谁开发、谁保护；谁破坏、谁恢复；谁受益、谁补偿”的原则，通过“抵消+购买”的经济手段，实现生态损害的足额补偿^[4]。遵循“碳汇储备核算→空间占用申请→碳损失测算→补偿方式选择→指标核销→占补平衡”的核心逻辑，具体流程如下：

（1）前期碳汇收储。碳汇开发公司对林权所有者提供的意向地块，依据《温室气体自愿减排项目方法学造林碳汇》（CCER—14—001—V01）（以下简称“CCER方法学”）进行开发可行性评估。对符合方法学要求的林地，签订合作意向书，通过联合开发或出资购买方式收储碳汇林中和期内总碳汇量。元谋县林业碳汇空间占用补偿机制试点第一批碳汇林面积321.7011hm²，造林树种为台湾相思、印度黄檀和余甘子，中和期3年产生碳汇量2471.275tCO₂e^[5]。

（2）碳损失测算及告知。建设项目使用林地申报时，县林业和草原局依据《建设项目使用林地可行性报告》及CCER方法学测算碳汇损失量，并告知林业碳汇空间占用者^[6]。

（3）补偿方式选择。根据碳损失测算结果，由林业碳汇空间占用者自愿选择补偿方式完成碳汇补充。

（4）交易与核销。碳汇开发公司开发交易小程序，实现碳汇项目信息公开、便捷交易、证书发放、电子发票等功能，动态展示储备碳汇量与交易情况，完成指标交易与核销，确保区域林业碳汇总量不减少^[7]。

（5）后续监测与风险管理。中和期满后对碳汇林进行监测测算，对未完成指标提出解决方案。

二、元谋县林业碳汇空间占用补偿机制试点实践路径

（一）试点政策核心定位

元谋县试点以提升森林生态系统碳汇能力和促进生态产品价值实现为主线，立足干热河谷生态屏障区位特点，核心定位体现在三个维度：

（1）区位适配性：针对干热河谷生态脆弱、造林成本高的特点，选择人工造林3年以上的台湾相思、印度黄檀、余甘子等耐旱

耐瘠树种进行收储，在实现林业碳汇空间占补平衡的同时，建立健全管护措施，形成长效激励机制，不断巩固生态治理成果^[8]。

（2）模式创新性：融合政府监管与市场交易，构建“碳汇储备—占用补偿—指标核销”的闭环体系，碳汇林通过“联合开发+出资购买”模式收储，验证了林业碳汇空间占用补偿机制的可行性^[9]。

（3）价值导向性：推动林业碳汇从“生态公共品”向“经济商品”转化，实现生态效益与经济效益双赢。

（二）碳汇储备体系构建

试点明确元谋县国有资产投资控股集团有限公司为碳汇储备主体，构建“多元供给+规范开发+市场化交易”的碳汇储备体系（表1）。

表1 碳汇储备体系构建操作流程			
环节	操作内容	责任主体	核心要求
地块选择	对林权所有者提供的造林地块进行符合性评价	县国有资产投资控股集团有限公司	选址3个乡镇13个村民小组，土壤为紫色土，属中山紫色土立地类型，符合金沙江水系生态保护要求
碳计量监测	委托第三方机构测算开发地块碳汇量	县国有资产投资控股集团有限公司	由云南省农业科学院国际农业研究所、楚雄州碳汇研究院联合出具“碳计量核算报告”，采用16项标准核算
协议签订	基于测算结果签订碳汇开发协议	县国有资产投资控股集团有限公司、林权所有者（集体）	明确权利义务，集体林权所有者参与利益分配
审核公示	项目合法性、合规性审核及公示	县生态环境局、县林业和草原局	公示覆盖乡镇、村委会、村民小组，公示无异议后入库
入库交易	项目上架至“碳惠元谋”小程序	县国有资产投资控股集团有限公司	公开地块的造林树种、面积、碳汇总量、交易价格等信息
后期监测	交易期满后开展碳汇量复核	县国有资产投资控股集团有限公司、林权所有者	按3年周期开展监测，对比实测值与核算值，确保指标达标

（三）空间占用补偿方式

补偿以“碳汇量”为核算单位，补偿方式采用“抵消+购买”的组合方式，林业碳汇空间占用者可根据条件自由选择补偿方式。

（1）抵消。林业碳汇空间占用者持元谋县境内合法有效的碳汇票证（如碳票、绿电绿证等），最高可抵消应补偿碳汇量的80%，剩余20%需通过购买补足。

（2）购买。抵消后的剩余碳汇量，占用者通过“碳’惠’元谋”小程序购买等额碳汇量。交易单价采用市场化动态定价，交易价格按全国碳排放权交易网前一日平均交易价格 $\times 30\%$ 为当天交易价格^[10]。

（四）空间占用补偿机制实施流程

元谋县林业碳汇空间占用补偿机制实施流程（图1），核心可分为“收储”+“交易”两部分，整个流程可分解为并行的“碳汇储备”与“占用补偿”两条主线，最终通过统一的数字化平台（“碳’惠’元谋”小程序）实现交汇与闭环管理。

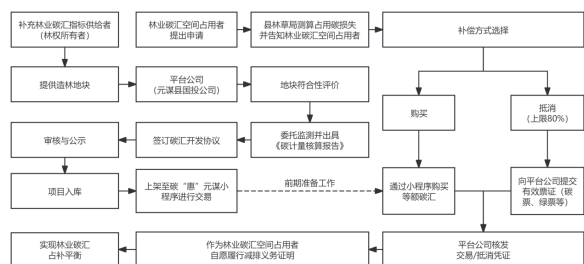


图1 元谋县林业碳汇空间占用补偿机制实施流程图

（五）保障措施

（1）组织保障。成立由县政府牵头，多部门组成试点工作领导小组，统筹协调碳汇储备、核算、交易全流程。

（2）技术保障。组建由云南省农业科学院国际农业研究所、楚雄州碳汇研究院组成的技术支撑团队，建立碳汇数据动态更新机制。

（3）监督保障。所有补偿活动通过“碳’惠’元谋”小程序公开进行，对收储碳汇林实行禁伐令，建立“遥感监测+地面巡查+公众举报”的多元监督网络。

三、元谋县试点的创新价值与实践启示

（一）创新价值

（1）模式创新。首次在县级层面将“碳汇空间”作为可占用、需补偿的稀缺资源进行制度化定价，使生态成本显性化。构建“政府引导+平台运作+集体参与”的市场化补偿模式，从“行政补偿”向“市场补偿”转型。碳汇林通过集体林权合作开发，破解了传统生态补偿“政府单一投入”的困境，使2471.275tCO₂e碳汇量实现生态产品价值量化。

（2）机制创新。首创林业碳汇空间占用补偿机制。该机制的

核心创新在于，将因占用林地而损失的碳汇能力，量化为可交易的碳汇指标，并倡导占用主体自愿通过“先补后占、占一补一”的方式进行等量置换。该实践为县域尺度上破解林业碳汇保护与经济发展用地矛盾提供了宝贵的“基层样本”。

（3）技术创新。开发“碳’惠’元谋”小程序，该程序不仅是交易工具，更是核心的治理界面，它将信息公开（项目地点、权属、碳汇量）、流程执行（在线交易、证书生成）、行政监管（数据留痕、资金透明）和公众参与（信息可查）等功能集成于一体，实现了治理过程的透明化、流程化和可追溯性，极大地降低了制度运行的成本，提升了公信力，实现碳汇核算、交易、核销全流程线上化。

（4）激励机制创新。机制通过“资源变资产、资产变资本”的逻辑激励林农参与。核心在于将林木的碳汇功能转化为可交易的碳汇指标，并通过平台公司实现变现，平台公司承担前期碳汇成本和部分开发风险，降低了林农的参与门槛。同时明确集体林权所有者在碳汇开发中的收益权，村民小组通过碳汇交易获得经济回报，实现“生态保护→碳汇增值→集体受益”的良性循环。

（二）实践启示

（1）政策衔接是前提。碳汇补偿机制需紧密衔接国家双碳政策、林地管理法规和碳汇计量标准，确保成果的合规性与权威性。

（2）技术适配是核心。针对区域特有树种和立地条件，优化碳汇量方法，元谋县对小众树种的模型适配经验，为同类地区提供了技术参考。

（3）市场驱动是关键。通过市场化定价和交易机制，激发各方参与积极性，第一批碳汇储备的潜在经济价值，验证了市场驱动的可行性。

（4）主体协同是保障：明确各方权责，构建协同共治的利益联结机制，确保机制长效运行。

四、结论与讨论

元谋县林业碳汇空间占用补偿机制是一次颇具前瞻性的政策创新，其核心价值在于在县域尺度上，设计并实践了一套“可测量、可报告、可交易、可补偿”的生态占补平衡机制。本研究立足于金沙江干热河谷生态屏障的区位特征，以习近平生态文明思想为指导，构建“碳汇储备-空间占用-补偿核销”的闭环机制，创新“抵消+购买”的补偿方式和市场化动态定价机制，并取得了显著成效。首批321.7011hm²碳汇林3年碳汇量2471.275tCO₂e实现收储核算入库交易的实践，验证了机制的实操性与科学性，实现了生态保护与经济发展的协同推进。研究表明，通过政府引导、市场运作、集体参与的创新模式，能够有效破解生态产品价值实现的难题，将抽象的生态服务转化为具象的

资产和交易载体，实现生态效益、经济效益和社会效益的协同增效，为同类生态脆弱地区的绿色发展提供了可复制的路径和模式参考。未来，随着技术标准的完善、交易市场的拓宽和利益联结机制的健全，林业碳汇空间占用补偿机制将成为推动双碳目标实现、促进生态产品价值变现的重要制度创新。

参考文献

[1] 刘海燕, 郑爽, 孙艺珈, 于胜民. 基于塞罕坝 CCER 项目视角的林业碳汇市场发展问题及对策 [J]. 气候变化研究进展, 2023, 19 (03): 381-388.

[2] 秦国伟, 田明华. “双碳”目标下林业碳汇的发展机遇及实施路径 [J]. 行政管理改革, 2022, (01): 45-54.

[3] 金鑫, 林涛, 赵雅曼, 邹朝晖. “双碳”目标下林业碳汇空间占用补偿机制研究 [J]. 中国国土资源经济, 2025, 38 (04): 31-40.

[4] 王金南, 蒋洪强. 生态补偿机制与政策设计 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2020.

[5] 云南省农业科学院热区生态农业研究所, 楚雄彝族自治州森林和草原资源监测站 (楚雄彝族自治州碳汇研究院). 元谋县林业碳汇空间占用补偿机制试点项目碳汇量核算报告 (第一批) [R]. 楚雄: 云南省农业科学院热区生态农业研究所, 楚雄彝族自治州森林和草原资源监测站 (楚雄彝族自治州碳汇研究院), 2025.

[6] 肖文发, 朱建华, 曾立雄, 简尊吉, 雷蕾. 森林碳汇助力碳中和的几点认识 [J]. 林业科学 2023, 59(3): 1-11.

[7] 徐晋涛, 易媛媛. “双碳”目标与基于自然的解决方案: 森林碳汇的潜力和政策需求 [J]. 农业经济问题 2022, 43(9): 11-23.

[8] 曹先磊, 任云鹤, 许骞骞, 吴伟光. “双碳”背景下林业碳汇项目经营不确定性对投资者投资门槛的影响——以 4 省份林业碳汇项目为例 [J]. 中国农业大学学报 2023, 28(12): 177-193.

[9] 盛春光, 朱琦琦, 齐雅萱, 闫琦, 王光玉. VCS 市场运营对中国国家温室气体自愿减排交易市场的启示 [J]. 林业科学 2022, 58(12): 141-154.

[10] 盛春光, 刘宗焯, 赵晓晴. 国际核证碳标准林业碳汇项目运行机理、开发现状及经验借鉴 [J]. 世界林业研究 2023, 36(1): 14-19.

修井作业中常见卡钻机理及多元化解卡技术综合研究与应用分析

杨帆

西部钻探工程有限公司试油公司, 新疆 克拉玛依 834000

DOI:10.61369/EAE.2026010010

摘 要 : 油田修井作业是维持油气井正常生产、恢复产能的关键技术手段, 而卡钻作为修井过程中最为常见且复杂的井下故障, 严重制约作业效率, 甚至可能导致井眼报废, 造成巨大的经济损失。本文系统阐述了油田修井作业中卡钻事故的成因、分类及危害。核心聚焦于卡点位置的精确计算方法与四种主流解卡技术的工作原理、适用条件、操作要点及技术局限性。通过结合现场典型实例分析, 深入探讨了不同卡钻类型下技术方案的优选策略与综合应用流程。

关 键 词 : 修井作业; 卡钻机理; 卡点计算; 解卡技术; 现场应用; 技术展望

Comprehensive Research and Application Analysis of Common Sticking Mechanisms and Diversified Sticking Solutions in Well Servicing Operations

Yang Fan

Oil Testing Company, Xibu Drilling Engineering Co., Ltd. Karamay, Xinjiang 834000

Abstract : Oilfield workover operations are key technical means to maintain normal production and restore productivity of oil and gas wells. However, sticking, as the most common and complex downhole failure during workover operations, severely restricts operational efficiency and may even lead to wellbore abandonment, causing huge economic losses. This article systematically expounds the causes, classification, and hazards of sticking accidents in oilfield workover operations. The core focuses on the precise calculation method of the sticking point location and the working principles, applicable conditions, operational points, and technical limitations of four mainstream sticking release technologies. Through analyzing typical field examples, this article deeply discusses the optimal selection strategy and comprehensive application process of technical solutions for different types of sticking.

Keywords : workover operation; mechanism of drill jamming; calculation of jamming points; unjamming technology; field application; technology outlook

引言

油田开发进入中后期, 井下状况日趋复杂, 修井作业的频率与重要性日益凸显。修井作业旨在通过一系列工程技术措施, 排除油气井故障, 修复损坏的井身结构或设备, 恢复或提高单井产量与采收率, 是油田稳产增产的生命线工程。然而, 修井作业本身具有高投入、高风险、高技术含量的特点, 其过程受到地质条件、井筒状况、流体性质、工具性能及人为操作等多重因素的交织影响, 充满了不确定性^[1-2]。

在诸多井下复杂情况与事故中, “卡钻”(Pipe Sticking)无疑是最令现场工程师棘手的问题之一。卡钻是指井下管柱(如油管、钻杆、封隔器、工具串等)在起下钻或静止过程中, 因机械、地质或化学原因, 被非正常地固定于井筒内, 无法自由上提、下放或转动的现象。卡钻事故不仅会导致昂贵的作业时间损失、设备损耗, 若处理不当, 极易引发如井漏、井涌、井塌甚至井眼报废等次生灾难, 造成数百万乃至上千万的经济损失, 并对油田的平稳生产构成严重威胁^[3-4]。因此, 深入研究卡钻的形成机理, 发展并完善高效、安全的解卡技术, 建立科学的决策与应对体系, 是提升修井作业成功率和经济效益的核心课题^[5]。

一、卡钻事故的成因、分类与分析

（一）卡钻的主要成因

卡钻成因复杂，主要可归纳为以下几类：地质因素：地层不稳定（如疏松砂岩、易塌页岩）、异常高压地层、盐膏层蠕变、地层孔隙压力与井筒液柱压力失衡等。井筒因素：套管变形、破损、腐蚀产生“狗腿”或缩径点；水泥环脱落或窜槽；固井质量差导致套管外封隔失效。工艺与流体因素：钻井液或完井液性能不佳（如失水量大、携砂能力差、润滑性差）；冲砂、磨铣等作业产生的碎屑沉降；压裂后支撑剂回流；注水井长期冲刷导致井壁失稳。工具与设备因素：封隔器、锚定器等井下工具故障或失效（如胶筒膨胀后无法收缩、卡瓦牙损坏）；管柱或工具本身存在质量问题（如壁厚不均、连接螺纹磨损）。人为操作因素：操作不当（如起下钻速度过快、猛提猛刹）、判断失误（如循环不充分即起钻）、设计不合理（如钻具组合刚性过大）、对井下情况认识不足^[6-7]。

（二）卡钻的常见类型

根据卡钻的直接原因和表现形式，可进行如下分类：砂卡：最常见类型。地层出砂、作业沉砂（如水泥碎块、岩屑、金属碎屑）在管柱与套管环空或工具内部堆积、压实，将管柱“埋住”。可分为“沉降砂卡”和“压差砂卡”（当井底压力低于地层压力时，地层砂在压差作用下快速流入井筒）^[8-9]。落物卡：井口工具、小件物品掉入井内，在管柱与套管环空间隙处楔入，造成卡阻。水泥（固化）卡：固井、挤水泥或注水泥塞作业时，水泥浆窜入环空并凝固，将管柱固结。

二、卡点位置的确定方法与技术

准确确定卡点（Free Point）深度是制定有效解卡方案的前提。卡点以上管柱可自由活动或受力变形，卡点以下则被固定^[10]。确定方法主要有两大类：

（一）理论计算法（基于胡克定律）

此法适用于管柱在弹性变形范围内的卡钻。根据胡克定律，在弹性限度内，杆件的伸长量（ ΔL ）与所受拉力（ F ）、原长（ L ）成正比，与横截面积（ A ）和杨氏模量（ E ）成反比。对于多级钻具组合，需分段计算。基本原理：在井口对卡钻井口施加一定上提力 F ，测量管柱伸长量 ΔL 。假设卡点就在第一个接箍处，则可根据公式估算卡点深度 L 。实际操作中，通常采用多次（如3次）不同拉力上提，测量对应伸长量，取平均值以减少摩擦等因素误差。计算公式： $L = K * \Delta L / F$ 其中， $K = E * A$ ，称为管柱的“拉伸系数”，与管材和尺寸有关，可查表获得。

（二）工程测量法为获得精确卡点，必须依靠井下测量工具。

1.测卡仪（Free Point Indicator, FPI）法：是目前最直接、最常用的方法。FPI工具串通常包括磁性定位器、张力/扭矩传感器等。将其下至预测卡点附近，在地面通过转盘对管柱施加扭矩

或通过大钩施加拉力。FPI传感器检测管柱的应力/应变突变点，通过电缆将信号实时传至地面面板，直接显示卡点深度。该方法直观、精度高（可达 ± 1 米）。

2.声幅测井（Cement Bond Log, CBL）法：在无法下入 FPI 或需要辅助验证时使用。通过对被卡管柱进行声幅测井，分析声波在管柱中的传播特征。在卡点以上，管柱自由，声波衰减较慢；在卡点以下，管柱被固结，声波能量衰减迅速。通过对比测井曲线，可以判断卡点位置。该方法对水泥固卡尤为有效。

3.其他辅助判断方法：包括井温测井（卡点上下循环温度可能存在差异）、放射性示踪测井等，可作为辅助手段。

三、多元化解卡技术原理与应用分析

解卡技术需根据卡钻类型、严重程度、井况和设备条件综合选择。以下对四种主要技术进行详细分析。

（一）活动解卡法

对卡钻井口施加周期性、方向交替的载荷（上提、下压、或配合少量转动），使卡点处产生交变应力，促使卡堵物（如砂子）松动、错动，或使粘附的滤饼破裂，从而解除卡阻。应用：适用于轻微砂卡、粘卡初期、封隔器卡及有少量活动余量的卡钻。

（二）憋压恢复循环解卡法

通过地面泵向管柱内或环空施加脉冲压力，利用液体的压力波动冲击卡点，疏通被堵的水眼或环空通道，恢复循环，利用循环液携带出卡堵物。应用：主要用于砂卡、水泥块堵塞等导致循环中断的情况。

（三）冲洗解卡法

原理：利用特种冲洗工具（如连续油管、小尺寸冲管或套铣筒）建立新的循环通道，直接对卡点处的沉砂或落物进行高压水射流冲刷，将其冲散并携带出井。分类：连续油管/冲管内冲洗：适用于油管或钻杆水眼被堵，但环空可能通畅的情况。下入小直径连续油管至鱼顶，建立通过连续油管-环空的循环。套铣筒外冲洗：适用于鱼顶被埋。下入外径小于套管内径、内径大于落鱼外径的套铣筒，套住落鱼顶部，在套铣筒与落鱼环空建立循环进行冲洗。

（四）震击解卡法

原理：在打捞工具组合中接入震击器（上击器或下击器）和加速器。通过地面大幅度活动管柱储能，然后瞬间释放，震击器将储存的势能转化为向下或向上的高强度机械冲击力（震击力），传递至卡点，使卡点产生瞬间松动。应用：适用范围最广的解卡方法之一，对砂卡、粘卡、封隔器卡、小落物卡等均有较好效果，常作为其他方法（如倒扣后）的后续措施。

四、典型案例分析

井况：某注水井，起原井管柱（带封隔器）遇卡。初步活动无效。诊断：测卡仪显示卡点在封隔器坐封位置。结合该井长期注水、出砂历史，判断为“砂卡+封隔器失效”复合卡钻。综合

处理流程：第一步（活动+震击）：在井口安装液压震击器，进行高强度上提下放活动，配合震击。施工2天，管柱有微量上行但未解卡。第二步（爆炸松扣）：决定取出卡点以上管柱。在封隔器以上约30米处（计算出的安全接头位置）进行爆炸松扣成功，起出上部全部油管。第三步（套铣冲洗）：下入套铣筒组合，对封隔器以上环空沉砂进行套铣和冲洗，建立清洁井眼至封隔器顶部。第四步（震击解卡）：下入打捞震击器组合，捞住封隔器中心管。经过数十次震击，封隔器解卡成功，连同下部少量尾管一起捞出。第五步（通井检测）：下通井规通井，确认井眼畅通，无套管损伤。

五、结论

卡钻是油田修井作业中无法完全避免的复杂井下事故。其成

功处理依赖于对卡钻成因的准确诊断、卡点位置的精确测定以及解卡技术的科学选择与综合应用。

（1）卡钻类型多样，成因复杂，需结合地质、工程、流体等多方面信息进行综合判断。精确测定卡点是有效解卡的基石，工程测量法（尤其是测卡仪）优于理论计算法。

（2）解卡技术已发展出从简单活动到复杂钻磨的多元化体系。各种技术各有其适用条件和局限性，不存在“万能”方法。现场实践中必须遵循“安全第一、诊断先行、循序渐进、组合应用”的原则。

（3）面对深井、复杂结构井等新挑战，未来的解卡技术将向智能化、精细化、高效化和低伤害化方向发展。大数据、人工智能、新材料和新工艺的融合应用，将推动井下事故处理技术进入一个全新的阶段。

参考文献

- [1] 孙中伟. 试述油田井下作业过程中的解卡技术 [J]. 化工设计通讯, 2017, 43(06): 123-124.
- [2] 王德承. 控制粘卡程度实现快速解卡 [J]. 钻采工艺, 1990, 13(02): 45-48.
- [3] 石油钻采工艺编辑部. 8126 解卡液现场试验获得成功 [J]. 石油钻采工艺, 1982, (05): 78-81.
- [4] 吴福源, 荀忠义, 李云松. 多功能液压解卡装置的现场应用 [J]. 内蒙古石油化工, 2020, 46(05): 95-97.
- [5] 刘伟, 张琪, 李明. 深井超深井卡钻事故处理技术进展 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(04): 1-8.
- [6] 王瑞和, 周卫东, 步玉环. 钻井工程事故预防与处理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2015.
- [7] 杨虎, 刘伟, 周英操. 水平井卡钻机理与解卡技术现状及展望 [J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(03): 289-295.
- [8] 张发展, 王在强, 胡超. 高效解卡液体系的研制与性能评价 [J]. 钻井液与完井液, 2018, 35(02): 70-74.
- [9] 陈毅, 李军, 柳贡慧. 基于振击与循环复合作用的解卡工具研究与试验 [J]. 石油机械, 2021, 49(07): 62-68.
- [10] 董平华, 石祥超, 孟英峰. 深水钻井中卡钻风险预警与解卡决策系统 [J]. 石油学报, 2014, 35(05): 969-975.

以生态文明理念推进美丽乡村建设的思考

张国才

突泉县生态环境综合行政执法大队，内蒙古 突泉 137500

DOI:10.61369/EAE.2026010011

摘 要： 我国自古以来就是农业大国，乡村地区广袤、乡村人口众多，美丽中国的建设过程中，美丽乡村必然是浓墨重彩的一笔。而且美丽乡村的建设也是社会主义新农村发展的核心，更是科学发展观、可持续发展理念的实践。生态文明理念将人与自然、人与社会、人与环境之间的关系进行了完美诠释，且生态文明也是我国传统文化的重要组成部分，借助生态文明理念推动美丽乡村建设是具有先决条件的，也是将乡村融入环境发展的“抓手”。文章概述了生态文明理念的内涵，归纳总结了生态文明理念与美丽乡村建设的关系，针对性探索了以生态文明理念推进美丽乡村建设的路径。

关 键 词： 生态文明理念；美丽乡村；乡村振兴战略；乡村建设

Reflections on Promoting the Construction of Beautiful Villages with the Concept of Ecological Civilization

Zhang Guocai

Tuquan County Ecological Environment Comprehensive Administrative Law Enforcement Brigade, Tuquan, Inner Mongolia 137500

Abstract： China has been a major agricultural country since ancient times, with vast rural areas and a large rural population. In the process of building a beautiful China, the construction of beautiful villages will inevitably be a significant highlight. Moreover, the construction of beautiful villages is the core of the development of new socialist countryside and a practice of the scientific development concept and sustainable development philosophy. The concept of ecological civilization perfectly interprets the relationships between humans and nature, humans and society, and humans and the environment. Furthermore, ecological civilization is an integral part of China's traditional culture. Leveraging the concept of ecological civilization to promote the construction of beautiful villages is a prerequisite and a "grip" for integrating rural areas into environmental development. This article outlines the connotations of the concept of ecological civilization, summarizes the relationship between the concept of ecological civilization and the construction of beautiful villages, and explores targeted paths for promoting the construction of beautiful villages with the concept of ecological civilization.

Keywords： concept of ecological civilization; beautiful villages; rural revitalization strategy; rural construction

引言

生态文明理念是关乎广大人民群众福祉和中华民族伟大复兴的重要理论，是实现生态文明建设目标的重要指导思想。而且，生态文明建设的任务一直都是功在当下、利在千秋的国家大计，更是保护生态、保护环境、保护未来的关键。中国乡村是立足中国特色的一种具有自然风光、社会形态和经济特征的特殊地域综合体，其具备了农业生产、乡村生活、自然生态以及农业文化的多重功能，乡村和城镇之间是相互促进、和谐共生的关系，乡村和城镇共同构成了人类活动的主要空间。乡村振兴战略实施的背景之下，乡村俨然成为城乡一体化发展的关键节点和生态系统的重要载体，乡村建设是否美丽、乡村生态是否良好，直接关系到生态安全与民生福祉。将生态文明理念作为推进美丽乡村建设的导向，既能修复乡村生态环境、改善人居条件，还能让乡村回归绿水青山的本底，从而推动特色生态产业发展，实现生态效益与经济效益、社会效益的统一，传承乡村生态文化，增强村民幸福感与归属感。因此，以生态文明理念推进美丽乡村建设是夯实乡村振兴生态根基、促进城乡生态协同发展的关键，更是构建人与自然和谐共生的现代化格局的必然选择。

一、生态文明理念的内涵

从社会发展的角度来说,生态文明是人类文明发展的一个全新阶段,是在工业文明之后所形成的一个全新文明形态,其遵循了人、社会与自然和谐发展的客观规律,并在此基础上所取得的物质和精神成果的总和。生态文明,是人类出于保护和建设美好生态环境所取得的一系列成果的总称,其贯穿于经济、政治、文化、社会等多方面的发展建设之中,是对一个社会文明进步状态的宏观反映。生态文明建设的一个核心要点,就是要确保人与自然的和谐相处,要加强对自然生态环境保护,实现人与自然和谐共生^[1]。具体来说,生态文明理念指的是人类社会的发展过程中找寻人与自然、人与社会、人与环境之间和谐的一种思想指导,是一种具有可持续发展、绿色发展、文明发展以及和谐发展的文明发展形式。

二、生态文明理念与美丽乡村建设的关系

(一) 生态文明理念与美丽乡村建设的理论关系

生态文明发展和建设涉及的内容较为广泛,和国民经济和社会发展的方方面面都有联系,且与国民经济和社会发展有着同样的重要性和必要性。而且,习近平总书记提出了生态文明的重要思想,在党的十八大和党的十九大中也明确提出“把生态文明建设放在突出地位,融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设的各方面和全过程”,“坚持人与自然和谐共生”,“建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计”等重要内容。美丽乡村建设作为乡村振兴战略实施背景之下乡村发展的重要方向,其主要建设涵盖了“乡村生态美”“乡村人居美”“乡村产业美”“乡村乡风美”“乡村治理美”等,旨在通过打造符合新时代农村居民需求与生态文明建设要求的乡村发展新形态^[2]。所以,以生态文明理念为导向推动美丽乡村建设是有着理论依据和现实依据支撑的,也是符合我国社会主义社会发展要求的。

(二) 生态文明理念与美丽乡村建设的实践关系

结合我国生态文明建设的实际情况来看,其核心是依托公共服务设施用地布局完善旧城配套服务,进而达到生态文明建设的效果。同时,依托大型交通设施发展,强化空间优化,实现空间集聚度和辐射能力提升。另一方面,生态文明建设实践的重要阵地包括和涉及城市公园工程建设、水域治理、绿道建设、生态环境治理等板块。美丽乡村建设过程要求统筹乡村生态、经济、文化、社会等各个部分,重点解决乡村人居环境、培育乡村特色产业、传承乡村文化、提高乡村治理成效,从而解决乡村发展过程中存在的产业发展滞后、生态破坏较大、基础设施落后、乡风弱化等问题,让乡村发展从传统粗放发展模式向生态宜居、绿色低碳、可持续发展转型,最终实现乡村生态美、产业兴、百姓富的有机统一^[3]。所以,虽然将乡村振兴战略作为总指引,但是建设过程充分凸显了生态文明理念的内涵,展示了人与自然、人与社会、人与环境的和谐共生。

三、以生态文明理念推进美丽乡村建设的路径

(一) 转变建设思想,落实生态文明理念

美丽乡村建设不是一朝一夕的,而是一个长久的过程甚至是一个可持续发展的过程。因此,美丽乡村建设过程中,基层组织以及环境保护部门应当加强思想转变,将生态文明理念作为基本导向,以乡村建设的可持续发展为目标,将生态文明理念的内涵落实到美丽乡村建设全过程^[4]。具体来说,基层组织以及环境保护部门在实际开展工作的过程中,应当立足乡村建设的宏观形势,积极组织生态文明建设、可持续发展等理念思想进行学习,对美丽乡村建设做好全面的安排部署,从而推动生态文明理念的落实工作。在此基础上,基层组织以及环境保护部门还需要健全管理责任机制,完善监督与考核评价体系,确保生态文明理念融入美丽乡村建设的各个环节,加强对乡村资源和人居环境的保护。

例如,我国大部分乡村地区存在大量的林木资源,且这些林木资源为生态建设、环境优化发挥了重要作用。但是,林木的生长具有周期性,且林木的生长周期较长,要从幼苗成长为大树,可能需要花费数年甚至数十年的时间。结合乡村地区林木资源保护以及美丽乡村建设的实际需求,乡村基层组织以及环境保护部门应当加强对林业资源的规划管理,将生态文明理念作为林业资源管理和建设的基本导向,重点消除过度砍伐的问题,从而避免乡村出现水土流失的情况,同时还能够维持乡村地区生态系统的完整,推动乡村生态系统的平衡。

(二) 发挥科技力量,提升乡村建设水平

在近些年,各种高新科技不断推陈出新,且出现了大量科学技术与产业融合的科技产物,尤其在乡村产业转型、农业现代化发展过程中,大量科技成果都能进行有效运用^[5]。所以,以生态文明理念推进美丽乡村建设的过程,需要积极发挥科技力量,引入高新科技,突破传统人力管理的局限,让生态发展和生态建设借助科技的加持实现发展,从而提升美丽乡村建设水平。

例如,乡村防火安全的工作中,可以通过无人机技术,搭载热感应摄像机,让无人机从高空对一定区域范围内的林区进行巡查,基于热感应检测是否存在火灾隐患;乡村病虫害防治的过程中,通过无人机搭载喷雾装置,进行药剂喷洒;互联网、智能加工、农业信息平台等现代技术融合到种植、加工、养殖等多个环节,提高其整体效率,减少人力投入、合理进行施肥,避免生态破坏;建立农业信息服务平台,确保农民能够对于农作物种植、施肥、销售、田间管理等相关信息进行充分的了解,避免出现施肥过量、农药喷洒过量、耕地污染等情况出现,保障农田生态环境。

(三) 加强建设监管,保护工程建设

美丽乡村建设的过程中,包括了“人居环境整治”“基础配套设施”“生态修复”以及“特色产业”四个方面的工程建设。其中,“人居环境整治”工程主要包括了垃圾处理设施、农村厕所、生活污水处理工程等;“基础配套设施”工程主要包括了乡村道路建设、乡村供水管网、乡村文化场地建设等;“生态修复”工

程主要有绿化造林工程、农田生态防护带建设、河湖清淤等；“特色产业”主要涵盖乡村旅游步道、乡村特色养殖产业配套等。这些工程建设是美丽乡村建设的硬件条件，也是美丽乡村建设过程融入生态文明理念的关键。基于此，基层组织以及环境保护部门应当加强对相关建设项目的监管，即可实施生态文明建设工程项目进行保护^[6]。

例如，水土流失问题一直以来都是美丽乡村建设和农业现代化发展过程中的重要影响因素，发生水土流失问题之后，土壤原本的生态结构将会遭到破坏，土壤原有的肥沃环境也发生了变化，从而造成农业生产效率低下的问题。而且，水土流失问题一旦发生，还会对农村居民的饮水安全产生影响。因此，以生态文明理念推进美丽乡村建设的过程，需要将可持续发展理念、绿色生态思想等作为农田水利灌溉工程建设的指导，基层组织、工程建设单位以及环境保护部门等需要加强对农田水利灌溉工程建设监督管理，保证农田水利灌溉工程完成之后能够发挥农业安全生产保障、农业用水供应稳定、水土流失预防、河道水流控制等功能，既保障农田水利灌溉工程的安全性和持久性，为美丽乡村建设奠定基础。

（四）创新产业模式，发展绿色经济

结合乡村振兴战略来看，美丽乡村发展过程必然需要对乡村产业经济结构进行优化和调整，让乡村产业立足特色化、融合化、科技化三大核心方向发展，朝着生产加工、全链条延伸、多业态融合等重点领域进行产业结构调整。当然，结合生态文明理念的内涵，农业经济的发展不单单需要赋能乡村生产发展和产业

转型，还需要实现绿色、环保和可持续。故而，以生态文明理念推进美丽乡村建设需要以生态文明理念为导向创新乡村产业模式，要立足现代社会需求，发展绿色经济。

例如，立足乡村林业资源发展林业种植经济，在林区适宜的范围内，栽种林下经济作物，让药材、花卉等成为乡村经济发展的新出口；发展乡村休闲旅游，规划专门的休闲旅游空间，开辟绿色生态旅游线路，依托旅游带动乡村经济效益提升，让自然生态系统发挥观赏休闲价值的同时得到保护；以电商经济新模式为模板，发展乡货出山特色电商业务，通过电商渠道可以针对性获取市场需求，这样也可以保障乡村产业生产以及农业种植的精准性，避免出现过度种植或者过度生产。

四、结束语

美丽乡村建设是美丽中国建设中的重要环节，是遵循尊重自然、顺应自然、保护自然等生态文明理念开展社会主义新农村建设的总体布局。尤其是乡村振兴战略和农业现代化发展的过程中，传统的乡村建设方式必然不能顺应时代需求，无法促进现代农业发展，也无法推动乡村振兴战略实施。因此，在美丽乡村建设的过程中，基层组织以及环境保护等相关部门需要做好统一的规划与布局，全面践行生态文明理念，满足我国脱贫攻坚、社会主义发展、农业现代化发展以及农业生产模式变革的本质需求。这样，借助生态文明理念，美丽乡村建设才能注入全新的活力，美丽中国建设才能真正得到推动。

参考文献

[1] 郑丹妮. 生态文明引领区域乡村转型与协同发展路径分析 [J]. 中国集体经济, 2025, (33): 5-8.

[2] 高力, 朱秋月, 米璐怡, 等. 我国生态治理与美丽乡村建设路径探析: 来自榆林市典型村落的经验证据 [J]. 山西农经, 2025, (19): 111-114+119.

[3] 查慧珠, 侯爱萍. 新质生产力赋能乡村生态文明建设: 内在逻辑、现实梗阻与推进路径 [J]. 重庆文理学院学报 (社会科学版), 2026, 45(01): 13-23.

[4] 朱阳光. 乡村数字生态文明建设的价值意蕴与实践进路 [J]. 农村科学实验, 2025, (18): 184-186.

[5] 乔浩然. 乡村振兴战略推进农村生态文明建设的实践路径探索 [J]. 棉花科学, 2025, 47(08): 12-14.

[6] 教立营, 王雪梅, 刘风华. 生态文明视域下乡村农文旅融合发展研究 [J]. 农业经济, 2025, (05): 73-75.

乡村振兴背景下农村生活污水治理模式选择与绩效评价

陈鑫

邯郸市生态环境局鸡泽县分局，河北 邯郸 057350

DOI:10.61369/EAE.2026010012

摘 要： 在乡村振兴战略深入实施及“绿水青山就是金山银山”理念的指引下，农村生活污水治理成为改善农村人居环境的关键环节。本文分析了我国农村生活污水排放分散、波动大及成分复杂等特征，梳理了集中式、分散式和生态式三种主要治理模式的优缺点及适用性，并指出当前治理中存在的模式适配性不足、资金短缺、技术薄弱及农户参与度低等问题。在此基础上，从自然地理、社会经济和技术环境三个维度深入剖析了影响治理模式选择的核心因素，构建了涵盖因素识别—模式匹配—可行性验证—优化调整的四阶段决策框架。同时依据科学性、系统性及实用性等原则，建立了包含生态效益、经济效益和社会效益三个维度的绩效评价指标体系，并结合层次分析法（AHP）与模糊综合评价法构建了绩效评价模型。本研究旨在为因地制宜地选择科学合理的农村生活污水治理模式及客观评价治理绩效提供理论依据与决策参考，助力美丽乡村建设。

关 键 词： 乡村振兴；农村生活污水；治理模式；影响因素

Selection and Performance Evaluation of Rural Domestic Sewage Treatment Models under the Background of Rural Revitalization

Chen Xin

Jize County Branch of Handan Ecological Environment Bureau, Handan, Hebei 057350

Abstract： Under the guidance of the rural revitalization strategy and the concept that "lucid waters and lush mountains are invaluable assets," the treatment of rural domestic sewage has become a critical aspect of improving rural living environments. This paper analyzes the characteristics of rural domestic sewage in China, including its dispersed discharge, significant fluctuations, and complex composition. It reviews the advantages, disadvantages, and applicability of three primary treatment models: centralized, decentralized, and ecological approaches. The paper also identifies current issues in sewage treatment, such as inadequate model adaptability, insufficient funding, weak technological capabilities, and low farmer participation. Building on this analysis, the paper delves into the core factors influencing the selection of treatment models from three dimensions: natural geography, socioeconomics, and technological environment. It constructs a four-stage decision-making framework encompassing factor identification, model matching, feasibility verification, and optimization adjustment. Additionally, based on principles of scientific rigor, systematization, and practicality, the paper establishes a performance evaluation index system covering ecological, economic, and social benefits. It further develops a performance evaluation model by integrating the Analytic Hierarchy Process (AHP) with fuzzy comprehensive evaluation methods. This study aims to provide theoretical foundations and decision-making references for selecting scientifically sound and regionally appropriate rural domestic sewage treatment models and objectively evaluating treatment performance, thereby contributing to the construction of beautiful rural areas.

Keywords： rural revitalization; rural domestic sewage; treatment model; influencing factors

引言

与城市污水治理相比，农村生活污水治理面临着更为复杂的挑战。我国农村地域广阔，各地区在自然地理条件、经济发展水平、人口分布密度及生活习惯等方面存在显著差异，这决定了农村污水治理不能简单照搬城市的集中式模式。近年来，虽然各地积极探索并形成了集中式、分散式及生态式等多种治理模式，但在实际推广过程中，部分地区仍存在脱离实际、一刀切盲目建设的问题，导致设施晒太阳、运维成本高昂、治理效果难以持续等尴尬局面。基于此，本文立足于乡村振兴的时代背景，深入分析我国农村生活污水的排放特

征及现行治理模式存在的问题，系统梳理自然地理、社会经济及技术环境等因素对治理模式选择的影响机制，构建科学的模式选择决策框架。同时从生态、经济和社会三个维度构建农村生活污水治理绩效评价指标体系，并引入层次分析法（AHP）与模糊综合评价法相结合的模型进行综合评价。研究旨在通过理论与方法体系的构建，为各地区因地制宜地优化农村生活污水治理模式提供科学依据，提升治理资金的使用效率和设施运行效果，从而推动农村生活污水治理走向规范化、长效化和可持续化发展道路。

一、乡村振兴背景下农村生活污水治理现状及问题分析

（一）农村生活污水排放特征

随着“绿水青山就是金山银山”理念的提出，人们逐渐开始重视农村生活污水治理，并认识到将农村生活污水变为“绿水”是建设美丽乡村至关重要的一部分^[1]。农村生活污水主要来源于农户日常的厨房、洗涤及卫生间用水，与城市污水相比，具有排放分散、收集难度大的特点^[2]。受居住布局限制及季节、人口流动等因素影响，污水排放量波动显著，且污染物成分复杂、浓度不稳定，常夹杂悬浮物或混有养殖废水。此外，由于缺乏完善的处理设施，多数地区排放方式粗放，污水多直接排入周边环境，对生态环境造成持续污染。

（二）我国农村生活污水治理主要模式及其适用性

近年来我国农村生活污水治理结合各地实际形成集中式、分散式、生态式三大模式，各具适用场景与特征^[3]。集中式通过铺设管网统一收集污水至处理厂（站）处理，效果稳定、便于运维，适用于人口密集、村庄集中、经济水平较高的平原区域，但其前期投资和管网铺设成本高，对偏远分散、地形复杂村庄适用性差。分散式采用小型化、模块化设施对单户或多户污水就地处理，投资小、建设周期短、适配性强，适用于人口分散、地形复杂、经济水平一般的区域，却存在处理规模小、效果受自然条件影响大、运维管理难度大的问题^[4]。生态式依托自然生态系统的净化能力处理污水，投资及运行成本低、生态效益显著且景观性好，适用于生态环境好、土地资源充足、污水排放量不大的区域（尤其乡村旅游重点区域），但受气候和土地资源限制较大，处理效果易随季节变化。

（三）现行治理模式存在的问题

尽管我国农村生活污水治理取得了一定成效，但现行模式仍存在诸多问题。模式适配性不足，部分地区脱离实际搞一刀切，盲目照搬导致治理模式与当地地理、经济状况不匹配，设施低效闲置；资金投入不足，过度依赖财政且缺口大，缺乏长效运维机制，导致设施建设滞后、老化失修，难以持续运行；技术支撑薄弱，处理工艺与实际需求脱节，盲目追求高指标导致操作复杂、运维成本高，不适应农村污水特点；农户参与度低，存在政府主导、农户被动参与的局面，主体责任不明且缺乏积极性，难以形成共治共享格局。

二、农村生活污水治理模式选择影响因素分析

（一）自然地理因素

自然地理因素是农村生活污水治理模式选择的基础，直接决定治理模式的可行性与适配性，主要涵盖地形地貌、气候条件、水资源状况、土地资源状况四大维度^[5]。平原地区村庄集中、地形平坦，便于管网铺设，适配集中式治理模式；山区丘陵地形复杂、村庄分散，管网建设难度和成本高，更适合分散式或生态式治理。高温多雨地区污水排放量波动大，且需兼顾设施防涝防腐，宜采用抗冲击能力强的生态式或一体化分散处理模式；寒冷地区需重视设施防冻，应选用地埋式一体化处理设备或低温适应性强的工艺^[6]。水资源丰富、水环境容量大的区域，可借助自然水体净化能力采用生态式治理；水资源短缺、地下水易受污染的区域，需优先选择处理效果佳、回用率高的模式，实现水资源循环利用。土地资源充足的地区，可采用人工湿地、氧化塘等生态式治理模式；土地资源紧张的地区，则优先选用占地面积小的分散式一体化处理模式或集中式治理模式。

（二）社会经济因素

社会经济因素是农村生活污水治理模式选择的核心支撑，决定其建设成本、运维能力与可持续性，主要包含经济发展水平、人口规模与分布、基础设施配套、农户认知水平四大维度^[7]。经济发达、人口规模大且居住集中、污水管网与供电等基建完善的农村，具备承担前期投资和后期运维的条件，适合采用处理效果好、自动化程度高的集中式治理模式；而经济欠发达、人口规模小且居住分散、基建薄弱的农村，宜选择投资和运行成本低、无需复杂管网的分散式或生态式治理模式。农户认知层面，环保意识强且配合度高的地区，可推广需农户参与日常维护的分散式或生态式治理模式；农户环保意识薄弱的地区，则应选用政府主导运维、管理相对简单的治理模式。

（三）技术环境因素

技术环境因素是农村生活污水治理模式选择的关键保障，直接影响治理设施的处理效果、运行稳定性与运维难度，主要涵盖技术成熟度、适配性、推广条件和专业运维能力四大维度^[8]。技术成熟度上，应选用经实践验证、运行稳定且处理达标的成熟技术，规避不成熟的高风险新技术；技术适配性要求所选技术契合农村污水排放分散、水质复杂等特点，同时匹配当地自然地理与社会经济条件，如山区适配操作维护简便的分散式技术，经济发达地区可采用高自动化、处理效果优的集中式技术；技术推广条件方面，优先选择易推广、操作简单、培训成本低的技术，确保

当地人员能掌握操作与日常维护技能；专业运维能力则需因地制宜，当地有专业运维团队的，可选用运维难度较大、自动化程度高的模式，缺乏专业运维能力的，宜采用生态式、小型分散式等运维简便、成本较低的模式。

（四）治理模式选择的决策逻辑

构建农村生活污水治理模式选择的因素识别－模式匹配－可行性验证－优化调整四阶段决策框架^[9]。在因素识别阶段全面梳理自然地理、社会经济及技术环境等核心因素并明确权重；在模式匹配阶段依据识别结果结合各类治理特征，初步筛选适配的1-2种候选模式；进而在可行性验证阶段从技术工艺适配、经济成本可控及社会接受度与战略符合度三个维度进行综合考评；在优化调整阶段依据验证结果完善方案，必要时采用集中+分散等复合模式，确保治理模式的科学性与可持续性。

三、农村生活污水治理绩效评价体系构建

（一）绩效评价指标体系构建原则

为确保绩效评价指标体系的科学性与合理性，构建应遵循五大原则。科学性原则，指标应基于客观规律，真实反映生态、经济和社会效益，定义清晰、计算科学。系统性原则，涵盖三大核心维度，全面反映综合绩效，避免片面性。实用性原则，结合农村实际，确保数据易获取、计算简便。可操作性原则，体系简洁明了、标准明确，便于对比分析。动态性原则，根据发展需求适时调整优化，确保体系的时效性与适应性。

（二）评价指标选取与筛选

基于上述构建原则，结合农村生活污水治理的核心目标和影响因素，从生态效益、经济效益、社会效益三个维度选取评价指标^[10]。生态效益作为核心指标，包含污水收集率（实际收集量/理论产生量×100%）、COD去除率、氨氮去除率及反映周边水质改善情况的水环境质量改善率；经济效益指标主要包括单位污水治理成本（含建设与运行）、污水回用产生的经济效益（节水及节约化肥）以及治理带动的产业经济效益；社会效益指标则涵盖农户满意度（满意农户占比）、综合人居环境改善程度及村民环保意识提升率（意识提升农户占比）。

（三）绩效评价模型构建

结合农村生活污水治理绩效评价指标体系特点，选取层次分析法（AHP）与模糊综合评价法相结合的模型，该模型可有效处理评价指标的模糊性和主观性，保障评价结果科学准确。构建目标层（农村生活污水治理综合绩效）－准则层（生态效益、经济效益、社会效益）－指标层（10项核心评价指标）三级层次结构模型，采用AHP确定各层次指标权重，通过邀请相关领域专家两两比较指标重要性构建判断矩阵，经一致性检验（未通过则调整矩阵）后计算权重；采用模糊综合评价法，确定评价等级及标准，由专家、村干部、农户代表组成的评价小组判定各指标隶属度并构建模糊评价矩阵；通过权重矩阵与模糊评价矩阵相乘运算，依次得出准则层和目标层综合评价结果；分析评价结果以确定绩效等级，梳理治理工作优势与不足，提出针对性优化措施，为后续治理工作推进提供决策依据。

四、结束语

农村生活污水治理是实施乡村振兴战略、改善农村人居环境的关键举措，也是建设美丽中国、实现农村生态文明建设的内在要求。本文在深入分析农村生活污水排放特征及现行治理模式存在问题的基础上，系统探讨了自然地理、社会经济及技术环境等多维因素对治理模式选择的影响机制，构建了科学的决策框架，并建立了涵盖生态、经济和社会效益的绩效评价体系。通过构建科学的绩效评价体系，能够对治理成效进行全方位的量化评估，这不仅有助于及时发现治理过程中存在的短板与不足，更为后续的政策制定、资金投入及技术优化提供了客观依据。随着乡村振兴战略的持续推进，农村生活污水治理应更加注重长效机制的建立，积极探索“建管并重”的运维模式，进一步引入市场化机制，激发农户参与共治的积极性。只有将科学的前端模式选择、后端的绩效评价与长效的管理运维有机结合，才能真正破解农村生活污水治理难题，持续改善农村人居环境，让乡村真正成为安居乐业的美丽家园，为全面推进乡村振兴提供坚实的生态保障。

参考文献

[1] 史浩. 新型农村生活污水治理模式 [J]. 生态与资源, 2023(9): 105-107.
[2] 揭维慧. 金寨县农村生活污水治理模式研究 [D]. 安徽: 合肥工业大学, 2022.
[3] 高帅, 李阿敏. 农村生活污水治理模式探讨 [J]. 清洗世界, 2022, 38(10): 118-120. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8909.2022.10.039.
[4] 陈东. 萧山区农村生活污水治理模式研究 [D]. 浙江农林大学, 2018.
[5] 严澄. 农村生活污水治理模式及体系研究 [D]. 内蒙古: 内蒙古工业大学, 2024.
[6] 赖丹. 农村生活污水治理模式及对策 [J]. 品牌研究, 2020(35): 179, 181. DOI: 10.3969/j.issn.1671-1009.2020.35.152.
[7] 蒋青. 农村生活污水治理模式及对策研究 [J]. 农村科学实验, 2022(15): 22-24.
[8] 唐虹. 农村生活污水治理模式现状研究分析 [J]. 工程建设与设计, 2024(21): 122-125. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2024.11.036.
[9] 陈秀丽. 高质量高标准建设背景下农村生活污水治理模式探讨 [J]. 给水排水, 2022, 48(12): 69-75. DOI: 10.13789/j.cnki.wwwe1964.2022.10.15.0001.
[10] 杨金璐. 乡村振兴战略下农村生活污水治理模式探索 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(14): 65-67. DOI: 10.20025/j.cnki.CN10-1679.2022-14-21.

基层环保执法队伍应对日常水污染投诉的处理流程与优化建议

郭海卿

邯郸市生态环境局鸡泽县分局，河北 邯郸 057350

DOI:10.61369/EAE.2026010013

摘 要： 随着生态文明建设步入深水区，社会公众对水环境质量的关注度显著提升，环境权益意识空前高涨，这使得涉水污染投诉举报已跃升为基层环保执法部门日常履职的核心内容与主要战场。面对海量且呈现出高频次、复杂化及隐蔽性特征的水污染诉求，基层执法力量往往显得捉襟见肘，在实际应对过程中普遍面临着应急响应迟滞、现场取证艰难、处置流程不规范以及反馈沟通不及时等现实痛点，难以精准契合群众对优美水环境日益增长的期待。基于上述背景，本文深入剖析了当前基层环保执法队伍在处理水污染投诉工作中的现状与瓶颈，系统性构建了一套涵盖“快速接诉、科学研判、精准处置、透明反馈、规范归档”的全流程闭环管理体系。

关 键 词： 基层环保执法；水污染投诉；处理流程；规范化；智慧环保

Processing Procedures and Optimization Suggestions for Grassroots Environmental Law Enforcement Teams in Handling Daily Water Pollution Complaints

Guo Haiqing

Jize County Branch of Handan Ecological Environment Bureau, Handan, Hebei 057350

Abstract : As the construction of ecological civilization enters a critical phase, the public's attention to water environmental quality has significantly increased, and their awareness of environmental rights and interests has surged. This has elevated water pollution complaints and reports to the core content and primary battleground of daily duties for grassroots environmental law enforcement departments. Faced with a vast number of water pollution complaints characterized by high frequency, complexity, and concealment, grassroots law enforcement resources often appear inadequate. In practical responses, they commonly encounter challenges such as delayed emergency responses, difficulties in on-site evidence collection, non-standardized disposal procedures, and untimely feedback and communication, making it difficult to precisely meet the public's growing expectations for a beautiful water environment. Against this backdrop, this paper delves into the current status and bottlenecks of grassroots environmental law enforcement teams in handling water pollution complaints and systematically constructs a comprehensive closed-loop management system covering the entire process of "rapid complaint reception, scientific research and judgment, precise disposal, transparent feedback, and standardized archiving."

Keywords : grassroots environmental law enforcement; water pollution complaints; processing procedures; standardization; intelligent environmental protection

引言

水环境质量关乎生态安全与民生福祉。随着环保督察常态化及举报热线普及，涉水投诉呈井喷式增长，基层执法面临巨大压力。在力量薄弱的现实下，实现投诉“接诉即办”、高效公正处置，既是法定职责，更是检验治理能力、回应关切、维护公信力的关键。立足实际，梳理痛点、优化机制，对提升执法效能、切实解决群众身边环境问题具有重要现实意义。

一、基层环保执法队伍处理水污染投诉的现行流程

（一）受理与登记

通过统一平台（如12369系统）或线下渠道接收投诉信息。执法人员需详细记录投诉人信息、污染发生地（要求尽量精准到经纬度或具体点位）、污染现象描述（颜色、气味、漂浮物、死鱼等）、可能污染源线索、投诉时间及诉求等，并进行初步分类和编号立案。

（二）初步研判与任务分派

根据投诉内容、地点、紧急程度（如涉及饮用水源、大规模死鱼等敏感情况需启动快速响应）进行研判。随后，将任务分派至所属区域的环境监察中队或具体执法人员，明确办理时限（通常有内部规定，如一般投诉5-7个工作日初步回复）。

（三）现场调查与取证

执法人员赶赴现场进行核查。这是流程中最关键的环节，包括：勘察污染状况（拍照、录像），寻找排污口或污染源，检查周边企业环保设施运行及排污情况，必要时进行现场快速检测（pH、COD、氨氮等）。

（四）监测与鉴定支持

若现场快速检测无法确定或需要法定证据，则按规定程序采集水样，送至有资质的监测站进行分析，出具监测报告。涉及复杂污染源或损害评估时，可能需协调专家或第三方机构支持。

（五）情况核实与处理

根据调查和监测结果，判定污染事实是否成立、责任主体是谁。若成立，则依据《环境保护法》《水污染防治法》等法律法规，对责任单位或个人下达责令改正违法行为决定书，视情节采取罚款、限产停产、查封扣押等措施，并督促其整改。若投诉不属实或非环保部门职责（如市政管网问题），则需做好解释说明与案件移送。

（六）回复与反馈

在规定时间内，将调查处理结果通过电话、短信或书面形式反馈给投诉人，告知其处理情况、法律依据及后续监管安排。

（七）结案与归档

投诉事项处理完毕并反馈后，整理全部案卷材料（受理记录、现场笔录、监测报告、执法文书、反馈记录等），形成完整案卷，按规定归档保存，以备查询和统计分析。

（八）后督察与闭环管理

对需要整改的案件，在后续进行跟踪检查，确保整改措施落实到位，防止污染反弹，实现投诉处理的闭环管理。

二、基层水污染投诉处理现状及存在的问题

（一）流程不够规范，随意性较大

部分基层环保执法机构在制度建设层面仍存在明显短板，尚未构建起一套完善、严谨的标准化操作程序（SOP）。在执法过程中，分工不明确会导致各部门之间信息沟通不畅、相互推诿，增加协调难度，难以形成合力，可能造成执法盲区或者重复执法。^[1]在接收到水污染投诉转办单后，由于缺乏明确的操作指引与规范约束，现场处置工作往往陷入“经验主义”的窠臼，过度依赖执法人员个人的主观判断与过往经验开展工作。这种非标准化的作业模式不可避免地导致了执法行为的随意性与离散性：在面对性质相似的涉水环境违法案件时，不同执法人员在接诉响应的时效性、现场取证的规范性以及行政处罚尺度的把握上，往往存在显著差异，难以形成统一、公正的执法标尺。

（二）取证技术滞后，溯源困难

水体污染行为本质上呈现出极强的瞬时性、流动性及高度的隐蔽性特征，污染物往往随水流迅速扩散稀释，违法现场稍纵即逝，难以在原位长时间留存。更为严峻的是大量排污者为逃避监管打击，往往利用夜间、节假日或恶劣天气等非工作时间监管力量的薄弱时段，采取间歇式、脉冲式的偷排手段，行踪诡秘，给执法监管带来了巨大的盲区与挑战。当前基层环保执法的技术手段相对滞后，主要仍依赖执法人员的人工肉眼巡查以及基础的便携式快速检测设备，在面对日益隐蔽且复杂的排污行为时显得捉襟见肘。只靠业务骨干还不够还必须提高队伍的整体执法水平促进全面发展。加强业务学习则是有效途径。^[2]这种侦查手段的局限性，使得执法人员极易陷入“跑断腿、追不上”的被动局面，难以精准锁定并捕捉违法排污的现行现场，导致大量排污行为呈现“来无影、去无踪”的状态。由于基层执法人员对环保法律法规、生产工艺、产业政策不熟悉，执法时找不到问题、找不准问题，同时责任心不强，应掌握的第一手资料没掌握，该履行的程序不履行。^[3]由于关键现场证据极易灭失或缺失，无法构建起完整、闭环且具备强法律效力的证据链条，最终致使环境违法行为难以得到应有的法律制裁，严重制约了执法效能的提升。

（三）部门联动不畅，职能交叉

生态环境本身的复杂性、科学技术性的特定，决定了环境保护是一项综合性极强的事务。^[4]水环境治理是一项涉及面广、协同性强的系统工程，其监管职责横跨生态环境、水利、农业农村、住房和城乡建设等多个行政职能部门。在面对诸如生活污水管网溢流、农业面源污染等成因复杂、跨领域交叉的综合性环境投诉时，由于缺乏高效的统筹协调机制，部门间往往存在职能边界模糊、权责划分不清的问题，极易陷入职能交叉重叠与相互推诿扯皮的行政壁垒之中。

（四）公众参与与沟通有效性待提升

群众受限于专业认知与现场条件，提供的投诉描述往往较为笼统或存在主观偏差，缺乏准确的地理坐标与具体的污染特征信息，这直接导致执法人员在抵达现场后面临“大海捞针”式的定位困难，极大增加了排查时间成本。而在向投诉人反馈处理结果的环节，若回复内容充斥着晦涩难懂的专业术语或法律条文，缺乏通俗化、透明化的解释说明与充分的沟通，极易造成信息传递的错位与隔阂。

（五）考核与激励机制有待优化

部分基层环保部门的绩效考核机制存在“唯指标论”倾向，过分聚焦于“投诉办结率”与“按时回复率”等表面化的量化数据。这种单一的考核导向极易诱发执法过程中的形式主义弊病，导致一线执法人员在处理投诉时出现“重程序合规、轻实质实效”的偏差。在制定考核标准时，综合考量当地的发展情况和自然状况，制定科学的考核标准，对环保不作为、乱作为的干部在评优评选和升迁时给予一票否决。^[5]为了片面追求快速结案以满足考核要求，往往容易忽略对污染问题的根源治理，出现“为了结案而结案”的现象，导致环境隐患未能彻底根除，甚至陷入“反复投诉、反复治标”的恶性循环。

三、日常水污染投诉的标准化处理流程构建

（一）快速响应与精准研判

当调度中心通过多元化举报平台或便民热线接收到群众关于水污染的投诉信息后，应立即启动快速响应机制，严格遵循时效性原

则,在规定时限(例如1小时)内高效完成工单的录入、审核与登记工作,确保信息流转“零延误”。随后,调度人员需对投诉内容进行深度剖析,提取关键特征要素,如水体颜色、异味类型及地理位置等;充分借助GIS地理信息系统的空间分析功能,结合详实的污染源企业“一企一档”数据库,开展多维度的数据碰撞与关联分析,从而对可能的污染源类型、排污主体进行精准预判与定性。

(二) 现场核查与证据固定

执法人员在接收到调度中心下达的处置指令后,应立即启动应急响应机制,全程佩戴开启执法记录仪,并携带便携式水质快速检测仪器、专业采样容器等必要执法装备,以最快速度赶赴事发现场。抵达现场后,执法人员需依据投诉线索迅速展开细致排查,重点聚焦企业排污口、周边雨水管网管井以及污染治理设施的实时运行工况。

(三) 依法处置与立行立改

针对确凿的环境违法行为:环境保护部门应该定期对环保执法人员进行培训,切实提高环保执法人员的业务素质,以便能够更好地提升环保执法的工作效率与工作质量。^[6]必须保持高压执法态势,严格依照法定程序进行立案查处,依法下达责令整改通知书,追究相关责任主体的法律责任,绝不姑息,以彰显环境执法的严肃性与权威性。

针对因治理设施突发故障导致的非主观故意性意外排污:应责令涉事企业立即停止排污行为,迅速组织力量开展设施抢修,并同时采取拦截、围堵等必要的应急减排措施,以最大限度减轻对环境的危害,防止污染态势扩大。

针对超出环保法定职能范围的投诉:例如市政管网破裂导致的生活污水外溢、农业面源污染等综合性问题,应立即依托跨部门联动协作机制,将案件精准移交至水务、住建或农业农村等相关职能部门进行专业处置;

(四) 结果反馈与满意度回访

处置完成后,执法人员应将处理结果、整改情况及现场照片录入系统,回复投诉人,告知处理结果。同时,由专人进行满意度回访,对群众不满意的案件进行二次督办。

四、优化建议与对策

(一) 技术赋能:构建“智慧环保”监管体系

国家制定各项环境标准的目的是为了判断具体行业的排污行为是否构成污染以及污染程度有多大,这种技术理性的标准是科技进步的体现,也使环境执法实践更加科学和理性。^[7]建议在

重点涉水企业、敏感水域安装在线监控设备和视频探头,并与执法终端联网。利用无人机巡查、水质指纹溯源等高科技手段,弥补人工巡查的盲区。一旦水质数据异常,系统自动报警,实现从“被动投诉”向“主动发现”转变。

(二) 流程再造:推行“清单式”执法管理

学界普遍认为当前我国环保执法效能低下,主要原因是由于环境保护管理机构管理职能重叠不清。^[8]制定《常见水污染投诉处置指引手册》,针对工业废水、畜禽养殖、黑臭水体等不同类型的投诉,制定标准化的核查要点和法律适用依据,实现“照单执法”,减少人为干预,提升执法规范性。

(三) 部门协同:建立“环保+N”联动机制

打破部门壁垒,建立公安、检察院、法院、水利、城管等多部门参与的联席会议制度。“阳光执法”是将环境执法权关进制度笼子的重要手段,环保部门要及时、准确地公开环境执法信息,推进执法检查依据公开、流程公开、文书公开、执行信息公开。^[9]对于恶意偷排、阻碍执法的行为,联合公安机关严厉打击;对于管网混接等问题,联合住建部门共同整治,形成合力。

(四) 队伍建设:提升应急监测与执法能力

环保执法能力建设是环境行政执法工作的重要内容,是搞好环境行政执法工作的重要基础。^[10]加强基层执法装备配置,配备便携式重金属测定仪、暗管探测仪等设备。定期开展针对水污染典型案例的模拟演练和实战练兵,提升执法人员在水文环境下的应急取样和现场处置能力。

五、结束语

水污染投诉处理不仅是基层环保执法工作的核心内容,更是检验政府治理能力与为民服务水平的重要标尺。本文立足于基层环保执法的实际工作情境,深入剖析了当前涉水投诉处置中存在的流程不规范、取证技术滞后、部门联动不畅及沟通机制不完善等现实瓶颈。针对这些问题,通过构建涵盖“快速接诉、科学研判、精准处置、透明反馈”的全流程闭环管理体系,并辅以技术赋能数字化、机制创新长效化、能力建设专业化的优化策略,能够有效破解治理难题,推动执法工作从粗放式向精细化、规范化转型。未来,随着“智慧环保”监管体系的深入推进与跨部门协同机制的日益成熟,基层环保执法队伍必将实现从“被动应对”向“主动治理”的根本性转变。

参考文献

- [1] 岳婧雯.浅析基层生态环保综合行政执法队伍建设[J].环境经济,2024,(21):44-47.
- [2] 王义杰.加强执法队伍建设推动基层环保工作全面发展[J].山东环境,1998,(02):27.
- [3] 刘昆俊.环保垂改背景下地环执法问题研究[D].广西大学,2023.DOI:10.27034/d.cnki.ggxu.2023.001836.
- [4] 邢一.浅析基层环境执法存在的问题及对策[J].环境经济,2006,(11):43-46.
- [5] 李州.生态城市建设中的环执法困境分析[D].南昌大学,2017.
- [6] 陈莉芳.加强基层环保执法工作的措施[J].科技风,2019,(05):126.DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.201905110.
- [7] 熊义刚,周林刚.当前基层环执法渎职风险成因分析及化解路径——基于深圳市A区的案例及数据[J].广西大学学报(哲学社会科学版),2019,41(03):83-92.DOI:10.13624/j.cnki.jgupss.2019.03.014
- [8] 梁江涛,赵功成.基层环境执法如何应对重心下移?[J].中国环境监察,2017,(03):47-49.
- [9] 黄仕红.加强基层环保执法能力建设——以成都为例[J].成都行政学院学报,2017,(05):35-38.
- [10] 王裕根.基层环执法的运行逻辑[D].中南财经政法大学,2019.

环境工程执法 “双随机、一公开” 机制优化研究

李洁

运城市生态环境保护综合行政执法队，山西 运城 044000

DOI:10.61369/EAE.2026010014

摘 要：“双随机、一公开”是环境工程执法的重要监管制度，对规范执法行为、提升监管效能、优化营商环境具有重要意义。本文立足全国环境工程执法实践，梳理该机制在制度建设、监管覆盖、公开公示等方面的实施成效，聚焦“两库”建设、部门协同、技术应用、结果运用等环节存在的突出问题，结合各地典型经验，从制度完善、技术赋能、协同联动、考核督导四个维度提出优化措施。通过构建动态管理体系、强化智慧监管支撑、健全联合执法机制、完善闭环管理流程，推动机制运行更加规范高效，为生态环境治理提供有力保障。

关 键 词：环境工程执法；双随机、一公开；监管机制；优化完善；生态环境治理

Research on the Optimization of the "Double Random, One Public" Mechanism in Environmental Engineering Law Enforcement

Li Jie

Yuncheng Comprehensive Administrative Law Enforcement Team for Ecological Environment Protection,
Yuncheng, Shanxi 044000

Abstract： The "Double Random, One Public" mechanism is a crucial regulatory system in environmental engineering law enforcement, playing a significant role in standardizing law enforcement practices, enhancing regulatory efficiency, and optimizing the business environment. Based on the national practice of environmental engineering law enforcement, this paper reviews the implementation effectiveness of this mechanism in terms of institutional development, regulatory coverage, and public disclosure. It focuses on prominent issues in aspects such as the construction of the "two databases," departmental coordination, technological application, and result utilization. Drawing on typical experiences from various regions, the paper proposes optimization measures from four dimensions: institutional refinement, technological empowerment, collaborative linkage, and assessment supervision. By establishing a dynamic management system, strengthening intelligent regulatory support, improving joint law enforcement mechanisms, and refining closed-loop management processes, the mechanism can operate more standardly and efficiently, providing strong support for ecological environment governance.

Keywords： environmental engineering law enforcement; double random, one public; regulatory mechanism; optimization and improvement; ecological environment governance

引言

为深入贯彻落实党中央、国务院关于“放管服”改革和生态环境保护的决策部署，2015年原环境保护部启动“双随机、一公开”监管制度推广工作，逐步将其作为环境工程执法的基本方式。推行“双随机、一公开”机制，是规范环境执法行为、杜绝选择性执法的重要举措，也是减轻企业负担、激发市场活力的有效途径。开展机制优化研究，有助于完善生态环境监管制度体系，提升执法效率和水平；有助于防范环境风险隐患，推动企业履行环保主体责任；有助于构建公平公正、公开透明的监管环境，为经济社会高质量发展提供生态保障。

一、环境工程执法 “双随机、一公开” 机制核心内涵与实施现状

（一）核心内涵

“双随机、一公开”机制核心是通过“随机抽取检查对象、

随机选派执法人员、抽查结果及时公开”，打破传统监管模式的局限性。在环境工程领域，该机制主要涵盖三个方面：

一是监管范围全覆盖，构建起立体化监管网络。将工业企业、建设项目、污染治理设施等各类环境监管对象全部纳入，无论是高耗能的重工业企业，还是分布广泛的中小微企业，亦或是

处于建设期的环保项目，都在监管体系之内。通过动态更新监管对象名录库，确保监管无死角、无盲区，有效避免监管空白与重复检查现象^[1]。

二是监管方式差异化，实施精准化动态监管。依据企业生产工艺、污染物排放种类与数量、环境影响程度等因素，科学评定企业污染风险等级。结合企业信用评价结果，将企业划分为不同监管类别。对于高风险、信用差的企业，加大抽查频次与力度，实施重点监管^[2]；对低风险、信用良好的企业，适当减少抽查频率，以信任激发企业环保自律意识，实现监管资源的优化配置。

三是监管流程规范化，打造标准化操作体系。从抽查计划制定环节开始，明确年度、季度抽查任务与重点领域，确保计划科学合理、具有可操作性；在实施过程中，规范执法人员行为，严格执行执法程序与标准，利用执法记录仪等设备全程留痕；检查结束后，及时将抽查结果公示于政府官方网站、政务公开平台等渠道，接受社会公众监督，确保抽查结果公开透明、公平公正，提升监管公信力^[3]。

（二）实施现状

1. 制度框架基本建立

全国层面已形成以生态环境部政策文件为核心，地方实施细则为补充的制度体系，明确了抽查事项、比例、频次等核心要求。截至 2021 年，全国各省（区、市）均已建立污染源监管动态信息库和执法人员信息库，实现“两库”基础覆盖^[4]。

2. 监管实践有序推进

各地扎实开展“双随机”抽查工作，不断扩大监管覆盖面。山西省太原市、晋中市等地通过推行跨部门联合抽查、非现场监管等方式，聚焦煤炭开采、化工、焦化等重点行业，减少重复检查，提升监管效率；山西省大同市、运城市等地积极探索智能化监管手段，结合区域产业特点推动监管方式转型升级。

3. 公开公示逐步规范

依托国家企业信用信息公示系统、地方生态环境监管平台等渠道，各地全面公开抽查计划、检查结果等信息，接受社会监督，推动形成“企业自律、社会监督、政府监管”的共治格局。

二、机制运行存在的主要问题

（一）“两库”建设管理不规范

部分地区污染源信息库更新不及时，新增企业、变更企业未及时纳入监管，存在监管盲区；执法人员信息库专业化程度不足，缺乏固废处理、辐射污染等专业领域人才，难以满足复杂执法需求；“两库”动态调整机制不健全，分类分级标准不统一。

（二）跨部门协同监管不到位

生态环境、市场监管、应急管理等部门间缺乏常态化协同机制，存在各自为战、标准不一的问题；部门间数据共享不充分，信息壁垒未完全打破，导致重复检查、监管重叠等现象时有发生；

联合抽查组织协调难度大，部分地区联合执法占比偏低^[5]。

（三）技术支撑能力不足

基层执法部门智能化监管装备配备不足，移动执法终端、在线监控系统等应用不广泛；自动监控数据与“双随机”监管系统对接不顺畅，数据利用率低；非现场监管手段应用范围有限，难以适应新形势下监管工作需要。

（四）结果运用与闭环管理不完善

部分地区抽查结果公示不及时、不完整，信息公开质量不高；抽查发现问题整改跟踪督导不到位，整改闭环管理机制不健全；抽查结果与企业信用评价、评优评先等关联不够紧密，惩戒约束作用未充分发挥^[6]。

三、机制优化的主要措施

（一）规范“两库”建设与动态管理

1. 完善检查对象名录库

按照“应入尽入”原则，将所有排污单位、建设项目、污染治理设施等纳入名录库，明确行业类别、污染风险等级、信用等级等关键信息。建立季度更新机制，及时录入新增、变更、注销企业信息，确保名录库准确完整。

2. 强化执法人员库建设

整合生态环境系统执法人员、技术专家、第三方监测机构专业人员等力量，建立复合型执法人员库。按专业领域分类标注人员资质，定期开展业务培训，提升执法人员专业素养和实操能力。

3. 健全分类分级监管标准

依据企业污染排放强度、环境信用等级、违法违规记录等，将检查对象分为重点监管、一般监管、轻微监管三类，实施差异化抽查比例和频次。重点监管企业抽查比例不低于 30%，轻微监管企业抽查比例不高于 5%。

（二）提升技术赋能与智慧监管水平

1. 构建智慧监管平台

构建智慧监管平台是优化“双随机、一公开”机制的关键一环。通过整合在线监控、移动执法、信用评价等系统，打造一体化“双随机、一公开”监管平台，实现从抽查计划制定、随机抽取、结果录入到公示的全流程线上办理，显著提高监管效率。同时，积极推动平台与全国一体化政务服务平台、企业信用信息公示系统的数据共享，打破信息孤岛，形成跨部门、跨层级的协同监管合力。例如，当某企业在企业信用信息公示系统中出现不良记录时，监管平台可自动将其纳入重点监管对象，在随机抽查中提高被抽取的概率，实现精准监管^[7]。

2. 推广非现场监管手段

非现场监管手段的推广是提升监管效能的重要途径。扩大自动监控、卫星遥感、无人机巡查、走航监测等非现场监管技术的应用范围，能够对重点污染源实现 24 小时不间断在线监控，实时

掌握企业排污动态。以自动监控设备为例，其可对企业的废水、废气排放数据进行实时采集和分析，一旦发现排放数据超标，系统立即发出预警，执法人员可迅速采取行动。同时，开发功能强大的移动执法 APP，集成执法文书制作、证据采集、数据同步等功能，使执法人员能够随时随地开展执法工作，现场完成执法文书的制作和证据的固定，避免因时间和空间限制导致的执法延误，大幅提升执法效率。

3. 强化数据分析应用

强化数据分析应用能够为随机抽查提供有力的数据支撑，提升监管的精准性。运用大数据、人工智能等先进技术，对企业排污数据、违法记录、投诉举报等海量信息进行深入分析研判。通过建立科学的数据分析模型，识别出存在高污染风险的企业和区域，将这些高风险对象作为随机抽查的重点目标。例如，通过对企业历史排污数据的分析，预测企业未来的排污趋势，提前对可能出现违法排污行为的企业进行抽查，将环境违法行为扼杀在萌芽状态。同时，利用数据分析结果，还可以总结出环境违法的规律和特点，为制定更有针对性的监管政策提供参考依据^[9]。

（三）健全跨部门协同监管机制

1. 建立联合执法协调机制

成立跨部门联合抽查工作小组，由生态环境部门牵头，统筹市场监管、应急管理、住建等相关部门执法力量。每年制定联合抽查计划，明确抽查事项、范围、时间节点和责任分工。

2. 统一监管标准与流程

制定跨部门联合抽查操作规范，统一检查标准、执法程序和文书格式。推行“综合查一次”模式，对同一企业涉及多部门的检查事项，一次性完成检查，避免重复入户、多头执法^[9]。

3. 推进数据共享互认

打通部门间数据壁垒，建立统一的监管数据共享平台，实现检查对象信息、执法人员信息、抽查结果等数据互联互通。推动跨部门检查结果互认，减少重复检测、重复取证。

（四）完善结果运用与闭环管理

1. 规范结果公开公示

抽查结束后，在 20 个工作日内通过监管平台、企业信用信息公示系统等渠道，公开抽查对象、检查时间、执法人员、检查结果、处理意见等信息，接受社会监督。

2. 强化问题整改督导

对抽查发现的违法违规问题，依法责令限期整改，明确整改要求和时限。建立整改跟踪台账，通过现场核查、线上核验等方式，确保问题整改到位。对逾期未整改或整改不合格的，依法从重处罚。

3. 健全信用联动机制

将抽查结果纳入企业环境信用评价体系，对违法失信企业实施联合惩戒，在政府采购、信贷融资、评优评先等方面予以限

制。建立信用修复机制，企业完成整改后可申请信用修复，按程序解除惩戒措施。

（五）强化考核督导与责任落实

1. 完善考核评价体系

构建多维度、动态化考核评价体系，将“双随机、一公开”工作全面纳入生态环境执法年度考核核心内容。具体细化考核指标：

计划执行维度：以抽查计划完成率为基础，结合季度执行进度偏差率，精准衡量地方执法计划落实情况

信息公开维度：除结果公开率外，增设公开时效性、公开平台规范性、公众查询便捷度等二级指标

执法效能维度：通过问题发现率、重大隐患占比评估执法深度，以整改完成率、整改复核合格率验证闭环管理效果

协同创新维度：将跨部门联合抽查占比、跨区域协作次数纳入考核，推动执法资源整合优化

建立考核结果与地方生态环境保护成效评价的强关联机制，考核结果直接影响地方污染防治攻坚战成效评估、环保专项资金分配及生态文明建设示范创建资格。

2. 加强监督检查

建立常态化、差异化督导检查机制：

定期检查：每季度开展省级交叉互查，每半年组织国家级专项督查，采用“四不两直”方式实地核验

重点核查：运用大数据平台对“两库”建设质量进行动态监测，重点核查检查对象名录库完整性、执法人员库资质合规性；通过执法记录仪数据回溯、检查文书电子化存档，确保抽查程序规范；利用政府网站监测工具，实时追踪结果公示情况

问题处置：对工作推进不力、存在形式主义问题的地区，实施挂牌督办，限期提交整改方案；建立典型案例通报制度，每季度发布正反两方面典型案例，强化警示效应

3. 健全责任追究机制

构建权责清晰、追责到位的责任体系：

行为追责：针对滥用职权干预抽查结果、徇私舞弊包庇违法企业、失职渎职导致重大环境风险等行为，联合纪检监察部门启动专项调查，依法依规给予党纪政务处分；情节严重构成犯罪的，移送司法机关处理。

程序追责：对未按法定程序开展抽查、未落实抽查比例要求、应公开未公开或虚假公开等程序性问题，采取约谈主要负责人、扣减年度考核分值等措施；建立执法责任倒查机制，对已公开的抽查结果开展“回头看”，确保执法公信力。^[10]

整改追责：实行问题整改“红黄牌”预警制度，对逾期未完成整改、整改敷衍应付的，启动二次追责程序，将责任追究范围扩大至分管领导及相关监管部门。

四、结束语

环境工程执法“双随机、一公开”机制是生态环境监管体系的重要组成部分，其规范高效运行对提升生态环境治理能力至关重要。通过规范“两库”建设、强化技术赋能、健全协同机制、完善闭环管理，能够有效解决机制运行中的突出问题，推动监管

效能持续提升。下一步，各地生态环境部门要进一步提高政治站位，强化责任落实，扎实推进机制优化完善各项工作。要结合本地实际，细化落实措施，加强部门协同配合，不断提升环境执法监管水平。要持续强化技术支撑，推广先进经验做法，推动“双随机、一公开”机制常态化、规范化运行，为守护生态环境安全、推动高质量发展提供坚实保障。

参考文献

[1] 田蕴, 杨雾晨, 隆重, 等. 环境执法障碍的成因分析与对策措施 [J]. 资源节约与环保, 2019, 10: 095.

[2] 赵卫卫, 李光灿. 环境监测更好为环境执法和环境管理服务探析 [J]. 环境保护与循环经济, 2020, (7).

[3] 徐敏云, 杨雾晨, 竹怀林, 等. 生态环境保护综合行政执法的突出问题及对策建议 [J]. 环境影响评价, 2021, 43(03): 31–34.

[4] 欧阳文婷. 低碳经济背景下环境监测对生态环境保护影响 [J]. 资源节约与环保, 2022, 07: 013.

[5] 张渊琴. 环境监测在生态环境保护中的应用价值和方法 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(11): 21.

[6] 郭衡煥. 试论生态环境保护中的环境监测与环境执法联动 [J]. 低碳世界, 2023, 13(5): 008.

[7] 伍红亮. 简述环境工程中的大气污染危害与防治措施 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(04): 74–76.

[8] 覃晓芳. 环境工程中工业污水治理存在的问题及解决方法探讨 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(19): 8–9+12.

[9] 郑熠雯, 杨震. 政府环境规制对企业绿色创新的影响研究 [J]. 财会通讯, 2024, (3).

[10] 刘振, 刘博, 尚智沛. 环境保护税法影响企业绿色创新的机制研究 [J]. 科研管理, 2025, 46(6).

碱性过硫酸钾氧化紫外分光光度法分析

周健能

佛山市南海生态环境监测站, 广东 佛山 528200

DOI:10.61369/EAE.2026010015

摘 要 : 碱性过硫酸钾氧化 – 紫外分光光度法是水和废水中总氮测定的主流方法, 具有操作简便、试剂毒性小、设备普及率高、检测成本低等优势。为进一步提升该方法的适用性和测定准确性, 本文围绕其原理、实验设计、操作流程及应用效果展开系统分析, 通过优化实验条件、引入甲醛试剂解决高铵浓度水样测定的技术瓶颈, 并验证方法的线性关系、精密度和准确度。实验结果说明, 该方法采用氨氮或硝酸盐氮作为标准配制校准曲线, 相关系数都到了0.9999, 对国家带有证书的总氮标样测定结果都达标, 就高铵浓度的废水而言, 添加甲醛可有效防止铵盐挥发造成的测定偏差, 相对偏差降低至 1.3% 到 1.8% 这个范围, 加标所实现的回收率为93.2%, 本文借助系统分析该方法的实验体系及应用效果, 为其在各类水质总氮测定的规范流程提供技术参考。

关 键 词 : 碱性过硫酸钾氧化; 紫外分光光度法; 总氮测定

Analysis Using Alkaline Potassium Persulfate Oxidation-Ultraviolet Spectrophotometry

Zhou Jianneng

Nanhai Ecological Environment Monitoring Station, Foshan, Guangdong 528200

Abstract : Alkaline potassium persulfate oxidation-ultraviolet spectrophotometry is the mainstream method for determining total nitrogen in water and wastewater, offering advantages such as simple operation, low reagent toxicity, high equipment availability, and low detection costs. To further enhance the applicability and accuracy of this method, this paper systematically analyzes its principles, experimental design, operational procedures, and application effects. By optimizing experimental conditions and introducing formaldehyde reagent, the technical bottleneck in measuring water samples with high ammonium concentrations is addressed. The linearity, precision, and accuracy of the method are validated. Experimental results indicate that when ammonia nitrogen or nitrate nitrogen is used as the standard for preparing calibration curves, the correlation coefficients reach 0.9999, and the measurement results for certified total nitrogen reference materials meet the standards. For wastewater with high ammonium concentrations, the addition of formaldehyde effectively prevents measurement deviations caused by ammonium salt volatilization, reducing relative deviations to the range of 1.3% to 1.8%, with a recovery rate of 93.2% achieved through spiking. This paper provides a technical reference for standardizing the procedure of this method in determining total nitrogen in various water qualities through a systematic analysis of its experimental system and application effects.

Keywords : alkaline potassium persulfate oxidation; ultraviolet spectrophotometry; total nitrogen determination

引言

总氮作为衡量水体营养盐水平及富营养化风险的指标十分关键, 其精确测定对水环境监测、污染源头追溯和治理评估意义非凡, 碱性过硫酸钾氧化 – 紫外分光光度法鉴于操作顺手、试剂安全、仪器普及、成本不高, 在各类水体总氮常规分析中普遍采用, 该方法核心是于高温高压碱性状况下把各类氮氧化为硝酸盐, 然后采用紫外分光光度法开展定量。但该方法在处理高铵浓度等特殊水样的时候, 测定结果很容易出现异常, 约束了其适用范围, 本文对该方法展开系统分析, 优化实验跟操作的整体流程, 检验应用成效, 搞清技术要点及适用边界, 为水质监测事宜提供标准化参照, 增加总氮监测数据的可靠与可比特性。

作者简介: 周健能 (1971.07-), 男, 广西融安人, 学历: 硕士研究生, 职称: 工程师, 单位: 佛山市南海生态环境监测站, 研究方向: 有机合成。

一、方法原理

碱性过硫酸钾氧化 紫外分光光度法的核心内容有氧化转化及分光光度测定,碱性、高温高压状态下,过硫酸钾分解生成硫酸根自由基,把水样里有机氮、氨氮等各种氮化合物都氧化成硝酸盐氮,做到全形态氮的定量转化。

针对高浓度铵离子的水样,当在高温碱性条件,铵离子易转化为氨气逸出,造成测定数值偏低,为此把甲醛引入作为改良试剂,其跟铵离子定量反应,生成了热稳定的六次甲基四胺,防止氮元素挥发损失掉,保证氮充分投入氧化反应。

220nm 这一波长,硝酸盐表现出特征吸收,而有机物在 275nm 波长处产生干扰,利用校正吸光度公式 $A = A_{220} - 2A_{275}$ 去除干扰,随后利用校准曲线把校正吸光度换算成总氮浓度,实现精准定量分析。

二、实验准备

(一) 实验仪器

本实验选取高灵敏度与高稳定性的仪器保证结果无误,采用的紫外分光光度计为热电 Evolution 201 型,波长精度维持在 $\pm 0.2\text{nm}$ 以内,搭配有 1cm 石英比色皿,可精准获取硝酸盐的紫外吸收信号,高温高压氧化实验采用上海中安 DSX—24L 型压力锅,压力从 0.14 到 0.16MPa,温度从 124 到 126℃,压力波动大小 $\leq \pm 0.01\text{MPa}$,保障氧化到位,辅助器具涉及 25mL 硬质玻璃具塞比色管、A 级移液管与容量瓶等,所有玻璃器皿先在 10% 硝酸中浸泡 24 小时,再用纯水冲洗 3 次以上,然后 105℃ 烘干,去掉杂质防止沾染。

(二) 实验材料

实验用到的水是二级反渗透和电渗析联合处理过的超纯水,电阻经检测为 $10.2\text{M}\Omega$,总氮含量少于 0.02mg/L ,合乎纯度要求,试剂皆选用高纯度级别:采用广州化学试剂厂生产的 1 + 9 GR 级盐酸,采用四川西陇化工厂出品的 GR 级氢氧化钠,两者均需借助空白实验进行验证;过硫酸钾采用德国默克生产的产品,国产优耐德试剂得实施热水溶解、趁热过滤、冷却结晶、过滤干燥的重结晶纯化处理。紧要试剂的配制:①碱性过硫酸钾调配液:40.40g 过硫酸钾与 15g 氢氧化钠分别溶解后加以混合,把溶液体积定到 1000mL,保存时长不超 24 小时;②甲醛实用溶液:把 5mL 35% - 40% 的分析纯甲醛加水稀释至 100mL,有效期限共计 7 天,所用标准物质皆为国家有证标准物质:把氨氮、硝酸盐氮的 500mg/L 标准物质稀释配制为 10mg/L 使用液;以总氮标样 ($0.794 \pm 0.066\text{mg/L}$ 、 $6.09 \pm 0.40\text{mg/L}$) 验证方法的准确性。

三、实验步骤

(一) 校准曲线的配置

校准曲线是总氮定量分析的核心支撑,本实验采用氨氮、硝酸盐氮作为标准物质验证方法通用性,采用 6 支 25mL 干净的比色

管,各自加入 0.00 7.00mL 10.00mg/L 标准使用液,添加纯水让溶液定容到 10mL,与之对应的氮含量为 0.00 70.0 μg 。

各个管都添加 0.5mL 甲醛使用液,摇匀以后静置 5 分钟,再随后加入 4mL 碱性过硫酸钾溶液,摇匀后用棉绳、棉布把比色管给固定上,防止高压加热中塞子被顶出开,把比色管放入已预热到 120℃ 的压力锅,当压力在 0.14 0.16MPa 时恒温加热 30 分钟,等自然冷却完毕后取出。

冷却结束后,添加 1.0mL 1 + 9 盐酸以中和,把 pH 值调到 2 3,用纯水把体积定容至 25mL,静放 10 分钟,把紫外分光光度计打开预热 30 分钟,把纯水作为参照,采用 10mm 石英比色皿分别检测 220nm、275nm 的吸光度,求出校正吸光度,把校正吸光度作为纵坐标,而氮质量作为横坐标,绘制校准曲线并形成回归方程。

(二) 样品测定

为全方位分析该方法的测定成效,样品测定分成基础验证实验、干扰条件下的测定实验以及加标回收实验三部分,详细流程如下所示:

基础验证实验:选取国家具备证书的总氮标样 (203297、203295) 作为验证试样,精确量取 10mL 标样溶液,放入 25mL 带塞比色管里,添加 0.5mL 的甲醛使用液,还有 4mL 碱性过硫酸钾溶液,依照校准曲线配制的后续流程 (高压加热、冷却、用盐酸中和、定容) 开展操作,测定吸光度然后算出总氮浓度,验证此方法对标准样品测定的准确性。

干扰条件下测定实验:选定经纳氏试剂比色法测定,氨氮含量为 105mg/L 的工业废水样品,实施两组平行的实验:①不添加甲醛的实验组:取 10mL 原生态的废水样品及 10mL 稀释 20 倍的废水样,各自置于 25mL 有塞比色管里,只添加进 4mL 碱性过硫酸钾溶液,其余步骤跟校准曲线配置一致;②添加了甲醛的平行实验:量取相同体积的原废水试样和稀释 20 倍的试样,先加 0.5mL 甲醛使用液,再加碱性过硫酸钾溶液,后续的各步骤相同,要是测定过程里发现吸光度超过了校准曲线最高点,那么利用同步分析的空白溶液对样品进行相应倍数的稀释,经过稀释后重新实施测定,将最终结果乘上稀释倍数。

加标回收实验:为验证方法的准确度,准确量取 5mL 废水稀释 20 倍的样品和 5mL 10mg/L 的氨氮标准使用液,置于 25mL 具塞比色管中,加入 0.5mL 甲醛使用液和 4mL 碱性过硫酸钾溶液,按照上述实验步骤完成氧化、中和、定容后,测定吸光度并计算总氮浓度,根据加标前后的浓度变化计算加标回收率 (回收率 = (加标后测定浓度 - 样品本底浓度) / 加标浓度 $\times 100\%$)。

四、实验结果

(一) 校准曲线结果

以氨氮为标准物质的校准曲线测定数据见表 1,从数据可以看出,随着氮质量从 0.00 μg 增至 70.0 μg ,校正吸光度从 0.024 线性增长至 0.734,所有数据点均呈现良好的线性分布,经线性回归分析得到回归方程为 $Y \text{ 吸光度} = 0.010X \text{ 质量} + 0.027$,相关系

数 $r=0.9999$ ，表明在 $0\sim 70\mu\text{g}$ 氮含量范围内，校正吸光度与氮质量的线性关系极佳，能够满足定量分析的要求。

表 1: 氨氮为标准的曲线

氮含量 (μg)	0.00	5.00	10.0	30.0	50.0	70.0
A λ 220 吸光度	0.024	0.078	0.129	0.332	0.536	0.734
A λ 275 吸光度	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A λ 220—2A λ 275	0.024	0.078	0.129	0.332	0.536	0.734
校正曲线	Y 吸光度 = 0.010X 质量 + 0.027	Y 吸光度 = 0.010X 质量 + 0.027	Y 吸光度 = 0.010X 质量 + 0.027	Y 吸光度 = 0.010X 质量 + 0.027	$r=0.9999$	$r=0.9999$

校准曲线采用硝酸盐氮作为标准物质，测定数据见表 2，A λ 275 吸光度一直处在 0.000~0.002 的区间里，对校正吸光度的影响小到可忽略，校正吸光度的取值范围为 0.025~0.746，回归方程为 Y 吸光度取值为 0.010X 质量 + 0.028，其相关系数 r 为

表 2: 硝酸盐为标准的曲线

氮含量 (μg)	0.00	5.00	10.0	30.0	50.0	70.0
A λ 220 吸光度	0.027	0.081	0.133	0.341	0.546	0.748
A λ 275 吸光度	0.001	0.001	0.000	0.002	0.002	0.001
A λ 220—2A λ 275	0.025	0.079	0.133	0.337	0.542	0.746
校正曲线	Y 吸光度 = 0.010X 质量 + 0.028	Y 吸光度 = 0.010X 质量 + 0.028	Y 吸光度 = 0.010X 质量 + 0.028	Y 吸光度 = 0.010X 质量 + 0.028	$r=0.9999$	$r=0.9999$

(二) 基础验证实验结果

从表 3 能看到总氮标样的测定结果，就低浓度标样 203297（浓度值为 $0.794\pm 0.066\text{mg/L}$ ）而言，凭借氨氮标准曲线计算得出的平均值为 0.782mg/L ，按照硝酸盐氮标准曲线计算得出的平均值是 0.762mg/L ，二者皆在标样所允许的误差范围内；就中浓度标样 203295（ $6.09\pm 0.40\text{mg/L}$ ）而言，两组曲线做计算得出的平均值分别是 6.00mg/L 和 5.88mg/L ，同样符合标样不确定度的范围要求，判断结果均为合格，这说明碱性过硫酸钾氧化紫外分光光度法在测定不同浓度层面的标准样品时准确性不错，方法核心体系呈现可靠性。

表 3: 样品分析结果

编号	203297 (mg/L)	203297 (mg/L)	203295 (mg/L)	203295 (mg/L)
A λ 220 吸光度	0.107	0.105	0.638	0.632
A λ 275 吸光度	0.000	0.000	0.000	0.000
A λ 220—2A λ 275	0.107	0.105	0.638	0.632
氨氮曲线结果	0.792	0.772	6.03	5.97
平均值	0.782	0.782	6.00	6.00
结果判定	合格	合格	合格	合格
硝酸盐氮曲线结果	0.771	0.752	5.94	5.88
平均值	0.762	0.762	5.88	5.88
结果判定	合格	合格	合格	合格

(三) 干扰条件下测定实验结果

高铵浓度废水不加甲醛的测定结果见续表 3（未加甲醛分析结果），空白稀释 20 倍样品的测定结果为 86.0mg/L 和 75.8mg/L ，相对偏差达 6.3%，超出环境监测平行样相对偏差 $\leq 5\%$ 的技术要求；直接稀释 20 倍样品的测定结果为 94.1mg/L 和 99.5mg/L ，相对偏差为 2.7%，但两组样品的测定值均低于实际氨氮浓度（ 105mg/L ），出现明显的“倒挂”现象，表明高铵浓度对该方法的测定干扰显著。

续表 3: 氨氮 105mg/L 样品未加甲醛分析结果

编号	氨氮 105mg/L 样品（空白稀释 20 倍）	氨氮 105mg/L 样品（空白稀释 20 倍）	氨氮 105mg/L 稀释 20 倍样品	氨氮 105mg/L 稀释 20 倍样品
A λ 220 吸光度	0.463	0.419	0.516	0.545
A λ 275 吸光度	0.008	0.004	0.006	0.007
A λ 220—2A λ 275	0.447	0.411	0.504	0.531
氨氮曲线结果	86.0	75.8	94.1	99.5
相对偏差	6.3%	6.3%	2.7%	2.7%

加入甲醛以后的测定结果在续表 3（加甲醛分析结果）里，对空白稀释 20 倍的样品进行测定，结果分别为 111mg/L 和 107mg/L ，相对偏差下探到了 1.8%；直接把样品做 20 倍稀释，测定的结果为 115mg/L 和 112mg/L ，相对偏差仅维持在 1.3%，均达到精密度的相关要求，而且测定值与实际的氨氮浓度近似，“倒挂”现象彻底销声匿迹，加标回收试验里，校正得到的吸光度为 0.552，经计算得出回收率为 93.2%，在 85% 至 115% 这一合格范围里，这表明借助简单的试剂优化，该方法能有效抵御高铵浓度的干扰，切实提高测定的精准程度。

续表 3: 氨氮 105mg/L 样品加甲醛分析结果

编号	氨氮 105mg/L 样品（空白稀释 20 倍）	氨氮 105mg/L 样品（空白稀释 20 倍）	氨氮 105mg/L 稀释 20 倍样品	氨氮 105mg/L 稀释 20 倍样品
A λ 220 吸光度	0.593	0.572	0.612	0.596
A λ 275 吸光度	0.002	0.001	0.001	0.001
A λ 220—2A λ 275	0.589	0.570	0.610	0.594
氨氮曲线结果	111	107	115	112

编号	氨氮 105mg/L 样品（空白稀释 20 倍）	氨氮 105mg/L 样品（空白稀释 20 倍）	氨氮 105mg/L 稀释 20 倍 样品	氨氮 105mg/L 稀释 20 倍 样品
相对偏差	1.8%	1.8%	1.3%	1.3%
加标回收	A λ 220— 2A λ 275: 0.552	A λ 220— 2A λ 275: 0.552	回收率: 93.2%	回收率: 93.2%

五、结果讨论

碱性过硫酸钾氧化 紫外分光光度法的主要优点为其氧化体系有通用性，检测流程十分简单，过硫酸钾于高温高压碱性环境下生成的硫酸根自由基氧化能力超强，可以把水样里多数氮化合物转化为硝酸盐，所以可对各类常规水质进行总氮测定，按照校准曲线结果可以晓得，两种标准物质构建出来的曲线，相关系数皆达到了0.9999，这显示出该方法定量线性范围宽绰、拟合精度甚佳，可满足不同浓度层次总氮的测定要求；国家有证标准试样的测定结果都契合要求，进一步体现了该方法的准确与可靠，是进行总氮常规监测的理想途径。

在真实的应用环境里，该方法的主要干扰源是高浓度氨氮，其根本缘由是铵盐在高温碱性情形下会挥发损耗，铵离子与氢氧根离子结合后生成的一水合氨不稳定，在124° C的反应温度下容易分解成氨气，氨气存在挥发性这一特性，会从液相体系里脱离，无法与硫酸根自由基接触以发生氧化反应，引起总氮测定结果呈现偏低状态，而且氨氮的实际浓度越高，挥发损失越剧烈，“倒挂”态势较明显，平行样偏差也会跟着一起增大，这一干扰问题在金属表面处理、化肥生产等工业废水监测的实际操作中尤为显著，限制了此方法的应用范围。

该分析借助引入甲醛试剂对方法加以优化，有效处理了上述干扰问题，甲醛跟铵离子的反应特异性突出、反应迅速、产物稳定，生成的六次甲基四胺带有稳定的环状格局，在高温碱性环境时不会分解、挥发，实现了氮元素完全留存，为后续氧化反应的充分实施提供了支撑。实验结果说明，完成甲醛加入操作后，对于高铵浓度废水测定，相对偏差从6.3%降到了1.8%以下，加标回

收率达到了百分之九十三点二，干扰问题得到彻底解决，而且优化后的办法只增添了一步添加试剂的操作，原方法的核心流程与仪器设备均未作改变，拥有良好的实际应用价值与可操作性。

针对高浓度样品吸光度超出合理量程的问题，本分析采用同步进行空白溶液稀释的方法，规避了样品在稀释过程中引入的误差，还能精准测量高浓度样品的总氮含量，进一步扩大了此方法的浓度适用范畴，值得注意的是，试剂纯度、配制工艺以及加热条件稳定性等因素，都会对测定结果产生影响，要严格约束试剂质量，以保证分析结果的可靠性。

六、结束语

本文对碱性过硫酸钾氧化 紫外分光光度法的原理、实验体系、操作流程及应用效果进行了全面系统的分析，明晰了该方法的技术优势、适用范畴以及关键控制环节，该方法呈现出操作容易、成本经济、线性关系不错、测定精确等明显特点，可针对地表水、地下水、生活污水和多数工业废水进行总氮测定，作为水环境监测领域的经典方法。针对高铵浓度废水引起的测定干扰，采用引入甲醛试剂的简单优化方式，就能有效防止铵盐挥发造成的损失，大幅提升方法的抗干扰能力，增大其适用界限，该方法若要规范应用，需重点留意以下几点：需保障实验用水和试剂的纯度，杜绝引入氮杂质形成干扰；二是精准把控校准曲线的配制流程，维持线性拟合的高精度；三是按照样品氨氮的浓度情形，合理抉择是否加入甲醛试剂；四是让高压加热与吸光度测定操作合乎规范，减小系统误差，未来可进一步对该方法在高盐、高有机物等复杂基质水样中的应用效果做研究，探寻更多干扰因素的去除办法，一直对实验条件进行改良，为该方法大范围应用提供技术方面的支持。

碱性过硫酸钾氧化 紫外分光光度法是一种性能不错、应用范围广的总氮测定方法，采用科学的实验设计加必要的方法调整，能适应不同水质样本的监测要求，为水环境质量衡量和污染治理提供可靠的数据依托。

参考文献

[1]朱平辉,刘波.碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定水中总氮控制条件探讨[J].工程管理与技术探讨,2025(14).

[2]郭嘉,吕高原.碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定水质总氮的不确定度评定研究[J].环境与发展,2024,36(3):63-67.

[3]李祺炜.碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定总氮的影响因素分析[J].生物化工,2023,9(2):144-147.

[4]李斐斐.基于紫外分光光度法的水质总氮测定中的影响因素研究[J].科技视界,2020(26):2.DOI:CNKI:SUN:KJSJ.0.2020-26-007.

[5]杨宏娟,赵羽,穆旭东.基于紫外分光光度法的水质总氮测定中的影响因素研究[J].北方环境,2020,032(011):91-92.

水样中大肠菌群滤膜法检测条件优化研究

王璞玉

北京市地质环境监测所，城市地下水安全防控技术创新基地，北京 100195

DOI:10.61369/EAE.2026010016

摘 要： 大肠菌群系水体微生物污染程度的核心指示菌，滤膜法凭借检测精度优良、操作流程简便的特质，在水样大肠菌群检测实践中占据广泛应用地位。传统滤膜法检测条件却存在参数设定欠缺精准度的弊端，极易造成检测结果重现性欠佳、精准度有所缺失。针对水样预处理手段、滤膜抽滤压力、培养温湿度及时长等核心检测要素开展系统性优化试验，筛选适配各类水样的最优检测参数搭配。优化后的滤膜法切实增强检测结果的稳定性与可信用度，为水质微生物安全监测筑牢科学高效的技术根基，赋予水质评价工作重要的实践指导价值。

关 键 词： 大肠菌群；滤膜法；水样检测；条件优化；水质监测

Optimization of Detection Cconditions of Coliform Bacteria in Water Samples by Filter Membrane Method

Wang Puyu

Beijing Geological Environment Monitoring Institute Urban Groundwater Safety Prevention and Control Technology
Innovation Base, Beijing 100195

Abstract： Coliform group is the core indicator of microbial pollution in water. With the characteristics of excellent detection accuracy and simple operation process, membrane filtration method has been widely used in the detection of coliform group in water samples. However, the traditional filter membrane method has the disadvantage of lack of accuracy in parameter setting, which easily leads to poor reproducibility and lack of accuracy of detection results. Systematic optimization tests were carried out for the core detection elements such as water sample pretreatment means, filtration pressure of filter membrane, temperature and humidity of culture and time, so as to screen the optimal detection parameters for various water samples. The optimized filter membrane method effectively enhances the stability and credibility of the test results, lays a scientific and efficient technical foundation for microbial safety monitoring of water quality, and gives important practical guiding value to water quality evaluation.

Keywords： coliform bacteria; filter membrane method; water sample testing; conditional optimization; water quality monitoring

引言

水质安全与公众健康存在紧密关联。粪大肠菌群除了一些正常的、有益的菌群外，在一些胃肠道感染患者的粪便中也会存在大量的对人体有毒有害的大肠杆菌病原菌，例如沙门氏菌、伤寒杆菌、霍乱弧菌等，通过粪口传播引起肠胃炎、痢疾等肠道疾病。水体病原微生物污染的核心指示指标检测精准度直接关联水质评价的严谨性。滤膜法依托操作简捷、分离效能优异的特性成为主流检测手段。水样基质、抽滤参数等因素的干扰易致使检测数据可比性偏弱。现有研究尚未形成体系化优化路径，滤膜法检测条件的系统优化与标准化流程构建，对提升水质监测效能、筑牢水质安全防线具备关键价值。

一、检测条件现存问题与影响因素分析

（一）水样预处理方式对检测结果的干扰

水样浊度、悬浮物含量等基质特性直接关联滤膜法大肠菌群检测精准度^[1]。未预处理高浊度水样内悬浮物易堵塞滤膜孔隙，

阻碍大肠菌群有效截留，致使目标菌群难以充分附着滤膜表面，干扰后续培养计数流程。水样中部分杂质还会与大肠菌群产生竞争性吸附，抑制菌群生长繁殖，造成最终检测数值偏低，无法客观呈现水样实际污染状态。各类水样基质差异显著，生活污水、工业废水、地表水等成分复杂程度各不相同，预处理要求也存在

作者简介：王璞玉（1993.09-），女，汉族，山西大同人，职称：中级，学历：硕士，研究方向：水质检测分析，单位：北京市地质环境监测所。

明显区别，统一预处理方式难以适配各类水样检测需求，这也是造成检测结果重复性欠佳的关键因素。

（二）滤膜抽滤压力的不合理设置

抽滤压力是滤膜法检测环节的核心操作参数，压力区间把控失当会对检测结果形成显著负面影响。压力过高会加快水流穿行速率，大肠菌群尚未充分吸附于滤膜表面便被冲刷流失，直接削弱滤膜对目标菌群的截留效能。过高压力还会引发滤膜形变，其孔隙结构遭受不可逆破坏，菌群附着效果因此进一步劣化。压力过低则会让水样过滤速率大幅放缓，检测效能跌至无法满足大批量水样检测需求的水平。低压环境下水样中的悬浮物极易在滤膜表面堆积凝结，形成致密紧实的滤饼层，这一结构会阻碍氧气与营养物质的有效传递，大肠菌群正常生长繁殖进程随之受到抑制，最终培养所得菌落数量远低于实际值，检测结果精准度大大降低。实际检测工作里抽滤压力的设定大多依托操作人员的过往实践经验，统一规范的行业标准始终处于缺位状态，这正是不同批次检测数据出现大幅波动的核心诱因。

（三）培养环境参数的适配性不足

培养温度与时长作为调控大肠菌群增殖发育的核心环境条件，直接关联菌落的萌生成型与计数结论。大肠菌群适配的增殖温度区间集中在36℃左右，温度超出适宜范围会加快菌群代谢进程，致使部分耐热性较弱的菌株凋亡，造成菌落数量缩减。温度低于适宜区间则会延缓菌群增殖速率，拉长培养周期，让菌落呈现非典型形态，给精准计数带来阻碍。培养时长把控同样关键，时长不足会导致菌落未完全发育，极易出现计数疏漏；时长超出标准则会引发部分菌落交融，形成片状群落结构，无法清晰甄别独立菌落，造成计数结果虚高。不同水源水样中的大肠菌群菌株存在固有差异，对培养环境的适应能力也各有不同，采用单一固定的培养温度与时长，难以满足各类菌株的生长需求，进而对检测结果的精准性与可信度产生不良影响。

二、检测条件优化方案的设计与实施

（一）差异化水样预处理流程的构建

粪大肠菌群是总大肠菌群中的一部分，属于革兰氏阴性无芽孢杆菌，具有需氧和兼性厌氧特性，可以在44.5℃温度之下生长并发酵乳糖产酸产气的耐热菌群，其主要来源于粪便中。立足不同类型水样的基质特性差异，关联其对滤膜法检测的干扰强度，搭建靶向性的差异化预处理流程^[2]。高浊度、高悬浮物含量的工业废水和生活污水基质繁杂易堵塞滤膜、干扰菌群截留，采用静置沉淀结合梯度稀释的预处理方式，先将水样放入无菌容器静置恰当时长，让大部分悬浮颗粒物充分沉降，再精准抽取上清液开展梯度稀释，切实降低水样基质浓度，减轻悬浮物对滤膜孔隙的堵塞效应。低浊度的地表水和地下水杂质含量少、目标菌群浓度偏低，采用直接过滤结合无菌水冲洗的方式，既能清除水样中的微小杂质，又可规避过度稀释造成目标菌群浓度过低而干扰计数精准性。整个预处理过程中严控稀释倍数精准度与各步骤操作时长，保障不同处理组的试验条件高度统一，最大限度消减人为操

作误差对后续检测结果的干扰。系统对比不同预处理方式下的菌落计数结果，筛选适配各类水样的最优预处理方案，为后续抽滤、培养等检测条件的优化夯实稳固根基。

（二）抽滤压力参数的精准调控

抽滤压力作为滤膜法检测大肠菌群过程中的关键操作参数，其设置直接影响目标菌的截留效果与检测结果的可靠性。为克服传统经验式调压带来的不确定性，研究通过构建覆盖低、中、高范围的压力梯度体系，系统考察不同压力条件下滤膜对大肠菌群的捕获能力。整个试验严格遵循单一变量原则，确保水样性质、预处理方式及后续培养条件完全一致，仅将抽滤压力作为唯一变量进行调控，从而准确识别其与菌落计数之间的内在关联。在操作过程中，不仅关注过滤效率，更注重压力对滤膜结构完整性及菌体附着状态的潜在影响。通过初步筛选获得截留效率较高的压力区间后，进一步缩小梯度间隔，实施多轮重复验证，以锁定最优压力点。同时，兼顾实际检测场景中对通量和时效的需求，在保证截留效能达标的基础上，优化抽滤流程的节奏与操作顺序，提升整体检测效率。此外，考虑到常用滤膜孔径存在差异，研究同步开展了不同滤膜类型与抽滤压力的匹配性测试，明确各类滤膜在特定压力下的性能表现，最终形成一套具有普适性且可操作性强的标准化抽滤压力规范，从根本上减少因压力不当造成的菌体流失或滤膜损伤，显著增强检测结果的稳定性与重现性。

（三）培养温度与时间的协同优化

在滤膜法检测大肠菌群过程中，培养环节的温度与时间并非孤立参数，而是相互耦合、共同作用于菌群生长的关键因子^[3]。为突破传统固定温时条件带来的局限性，研究采用正交试验设计，系统构建多组温度与时间的组合方案，重点考察二者协同作用对菌落发育的影响机制。试验严格控制其他变量一致，聚焦观察菌落在不同培养条件下的形态清晰度、边缘完整性及分布独立性等表征指标，以此判断其是否利于准确计数。基于大肠菌群的生理特性，首先锁定其适宜增殖的温度范围，在此区间内进一步精细调节培养时长，避免因时间不足导致菌落未显影或因过度培养引发菌落融合。同时，考虑到不同水源中大肠菌群可能存在菌株多样性，研究还引入特异性培养思路，针对地表水、地下水及污水等典型水样，分别验证最优温时组合的适配性，确保各类样本中的目标菌均能充分表达其生长潜能，形成典型、可辨、可计数的菌落特征。该协同优化策略有效提升了检测结果的一致性与判读可靠性，为滤膜法在复杂水质场景下的精准应用提供了关键支撑。

三、优化方案的验证与应用效果评估

（一）不同类型水样的检测结果对比验证

为全面检验检测条件优化的实际成效，需在多样化的水样基质中开展系统性对比验证。不同来源的水样因其物理化学特性及微生物组成存在显著差异，对检测方法的适应性提出不同要求。生活污水和工业废水通常含有较高浓度的悬浮物与有机杂质，易干扰滤膜截留效果；而地表水和地下水虽浊度较低，但目标菌浓

度可能偏低，对检测灵敏度构成挑战。通过在统一规范下对各类水样分别采用优化前后的方法进行平行检测，可直观反映方法改进在真实复杂环境中的表现。验证过程中，注重设置充分的平行样本以控制随机误差，并严格保持操作一致性，确保结果可比。实践表明，经条件优化后的检测流程在各类水样中均展现出更稳定的响应性能，尤其在高浊度或成分复杂的样品中，有效缓解了因滤膜堵塞或菌体损失导致的低估问题。同时，平行样之间的结果一致性明显增强，说明方法重复性得到实质性改善。这种跨类型水样的稳健表现，不仅印证了优化策略的普适性，也体现出其在真实监测场景中对水质污染状况更真实、可靠的反映能力，为水质安全评估提供了更具代表性的技术支撑^[4]。

（二）检测效率与操作便捷性的评估

检测效率与操作便捷性是衡量水质微生物检测方法实用价值的重要维度。在实际应用中，传统滤膜法常因流程繁琐、参数模糊而延长检测周期，且高度依赖操作人员的个体经验，易引入人为偏差。优化后的检测体系通过整合关键环节，显著提升了整体运行效能。一方面，对水样预处理和抽滤步骤进行合理简化，去除不必要的重复操作，在确保目标菌有效截留的前提下加快样品通量；另一方面，基于对培养条件的科学调控，避免了因温时设置不当导致的重复培养或结果误判，从而有效压缩了从采样到出结果的全过程时间。在操作层面，标准化的操作规程替代了以往凭经验判断的做法，使各步骤更具可复制性和可控性。即使是经验较少的人员，也能在简短培训后准确执行全流程，大幅降低因操作不规范引发的误差风险。这种以流程精炼、参数明确、指引清晰为特征的改进，不仅提高了实验室日常检测的响应速

度，也增强了方法在基层或高负荷检测场景中的适应能力，体现出良好的推广潜力和现实应用优势^[5]。

（三）优化方案的应用前景与推广价值分析

结合水质监测工作的实际诉求，分析优化方案的应用前景与推广价值。优化后滤膜法检测条件更具靶向性与适配效能，能够契合不同类型水样的检测诉求，为水质微生物安全监测提供科学高效的技术支撑。该方案可广泛应用于环境监测站、水质检测实验室、污水处理厂等机构的水样检测工作，增强水质评价的科学性与精准性。优化后标准化操作流程便于在不同实验室之间推广落地，提升实验室间检测数据的可比属性，为水质监测数据的共享与统一筑牢根基。伴随水质监测技术的持续发展，该优化方案还可与自动化检测设备深度融合，进一步提升检测效率与智能化层级，推动水质微生物监测工作迈向规范化、标准化发展轨道。

四、结语

水样大肠菌群滤膜法检测条件优化，聚焦传统手段重现性欠佳、精准度不足等弊端，从水样预处理、抽滤压力、培养环境等核心环节切入，搭建体系化改良方案。依托差异化预处理、精细化抽滤管控及协同化培养改良，强化检测结果稳定性与可信度，兼顾检测效能与操作简便性，适配各类水样检测需求，为水质微生物安全监测筑牢技术支撑。后续可结合不同地域水样特质深化优化，完善标准化体系，推动与自动化技术深度融合，实现检测智能化高效化发展，夯实水质安全保障基础。

参考文献

- [1] 刘招椿. 滤膜快速法检测粪大肠菌群的检测研究 [J]. 化学工程与装备, 2024, (12): 122-124.
- [2] 逯南南, 石近森, 褚福敏, 等. 水中耐热大肠菌群滤膜检测法优化 [J]. 中国给水排水, 2021, 37(12): 164-168.
- [3] 张琦, 曹新垠, 尹宝国, 等. 水中总大肠菌群滤膜检测法影响因素 [J]. 城镇供水, 2024, (03): 43-48.
- [4] 王静, 刘溪南, 郭林水. 生活饮用水及其水源水中总大肠菌群的测定: 滤膜法与光度法的比较 [J]. 中外食品工业, 2024, (05): 41-44.
- [5] 王璞玉. 温度、时间对不同方法检测地下水中总大肠菌群的影响 [J]. 城市地质, 2023, 18(04): 113-118.

沉积盆地构造演化对油气矿产成藏规律的控制作用分析

李玉航^{1,2}

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 150000

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 150000

DOI:10.61369/EAE.2026010002

摘 要 : 沉积盆地构造演化是控制油气成藏的核心因素, 其通过调控成藏关键要素与动态过程主导油气富集规律。本文从静态与动态两个维度展开分析, 静态上, 构造沉降控制烃源岩的富集、保存与成熟, 构造活动影响储集层物性与分布, 构造环境决定盖层封盖有效性, 构造变形主导圈闭形成与类型; 动态上, 构造应力场驱动油气运移方向与速率, 断裂活动控制输导体系有效性, 多期构造运动造就油气多期次聚集特征, 盆地改造强度影响油气藏保存与调整格局。结合松辽伸展盆地、四川压缩盆地的典型实例对比, 揭示了伸展与挤压背景下“构造演化—成藏要素匹配—油气分布”的差异化规律。

关 键 词 : 沉积盆地; 构造演化; 油气成藏; 成藏控制

Analysis of the Controlling Effect of Structural Evolution in Sedimentary Basins on the Patterns of Hydrocarbon Accumulation

Li Yuhang^{1,2}

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 : The structural evolution of sedimentary basins is a core factor controlling hydrocarbon accumulation, as it governs the enrichment patterns of hydrocarbons by regulating key elements and dynamic processes involved in hydrocarbon formation. This paper analyzes the issue from both static and dynamic perspectives. In the static dimension, tectonic subsidence controls the enrichment, preservation, and maturity of hydrocarbon source rocks; tectonic activities influence the physical properties and distribution of reservoirs; the tectonic environment determines the effectiveness of cap rock sealing; and tectonic deformation dictates the formation and types of traps. In the dynamic dimension, the tectonic stress field drives the direction and rate of hydrocarbon migration; faulting activities control the effectiveness of the transport system; multiple phases of tectonic movements result in the characteristics of multi-phase hydrocarbon accumulation; and the intensity of basin modification affects the preservation and adjustment patterns of hydrocarbon reservoirs. By comparing typical examples from the Songliao extensional basin and the Sichuan compressional basin, this study reveals the differentiated patterns of "structural evolution—matching of accumulation elements—hydrocarbon distribution" under extensional and compressional settings.

Keywords : sedimentary basin; structural evolution; hydrocarbon accumulation; accumulation control

引言

油气资源作为全球能源体系的核心组成部分, 其勘探开发对保障能源安全具有战略意义。沉积盆地是油气生成、运移、聚集与保存的天然载体, 而构造演化作为盆地发展的核心驱动力, 贯穿于油气成藏的全过程, 深刻控制着成藏关键要素的时空配置与动态演化。已有研究证实, 构造活动通过调控烃源岩发育、储集层改造、圈闭形成及盖层完整性等静态条件, 同时主导油气运移动力、输导体系有效性、聚集期次及藏后调整等动态过程, 直接决定油气富集程度与分布规律。然而不同构造背景(伸展、挤压)盆地的构造演化样式存在显著差异, 导致成藏要素匹配关系与油气成藏模式呈现复杂性与多样性, 给精准勘探带来挑战。基于此, 本文以沉积盆地构造演化为主线, 系统分析其对油气成藏静态要素和动态过程的控制作用, 结合松辽盆地、四川盆地等典型实例进行对比验证, 旨在揭示构造演化主导下的油气成藏核心规律, 为我国沉积盆地油气资源的高效勘探与开发提供理论参考。

一、构造演化对油气成藏静态要素的控制作用

（一）构造沉降与烃源岩发育

据有机地球化学研究，东南亚地区的烃源岩质量受控于沉积环境 (Todd et al., 1997)。一般地，海陆过渡相泥岩生烃潜力好，而海相泥岩差^[1]。构造沉降是控制烃源岩发育的关键，通过调控可容纳空间、沉积环境和地热场，全面主导了有机质的“富集-保存-成熟”过程^[2]。一方面，快速构造沉降能形成广阔的深水缺氧环境，不仅利于水生生物繁衍，其快速沉积的细粒物质还能及时埋藏并保护有机质，从而发育出优质烃源岩。另一方面，构造沉降的阶段性与周期性导致沉降中心不断迁移，使不同时期的烃源岩在不同构造单元发育，形成了“多套叠置、分布不均”的格局^[3]。此外，构造沉降带来的地层加厚和埋深增加，为有机质热演化提供了必要的热能，其沉降速率直接决定了烃源岩的成熟进程，快速沉降加速生烃，而缓慢或抬升则可能导致成熟度不足。

（二）构造活动与储集层形成

构造活动通过“先天沉积”和“后天改造”两个维度控制储集层性能，在伸展背景下，断裂活动控制物源，导致近源区沉积物分选差、储层物性偏低，而远源区物性优越，呈现“近源差、远源好”的特征^[4]。在挤压背景下，构造应力通过产生大量裂缝和引发地层抬升淋滤，能有效改善储层物性，显著提升渗透率并形成次生孔隙。此外，构造活动的稳定性也决定了储集层的分布形态：稳定期利于形成大面积连续分布的储层，而活动强烈期则导致储层呈“条带状”或“透镜状”零散分布。

（三）构造环境与盖层发育

盖层作为阻止油气逸散的关键屏障，其封盖能力与有效性直接受构造环境控制。稳定的构造环境是形成优质盖层的前提，有利于发育大面积、厚层且连续的细粒沉积岩，如膏盐岩和泥岩，这类岩石致密、渗透率极低，能有效封盖油气，形成如塔里木盆地克拉苏气田等大型油气藏^[5]。相反，强烈的构造活动（如断裂、褶皱、抬升剥蚀）会严重破坏盖层的完整性，产生油气逸散的通道，导致封盖失效和油气藏破坏，准噶尔盆地西北缘的实例便证明了这一点。此外，构造演化的继承性也至关重要，长期稳定的沉降环境能形成可靠性更高的多层封盖体系，而构造频繁变化的区域则难以发育有效盖层。

（四）构造变形与圈闭形成

圈闭作为油气聚集的“容器”，其形成与类型完全受构造变形过程控制^[6]。在盆地伸展阶段，断裂活动主导形成断鼻、断块和断背斜等断层相关圈闭，多分布于盆地边缘断裂带，如渤海湾盆地的兴隆台油田。而在盆地挤压阶段，褶皱作用则主导形成背斜、穹窿等褶皱相关圈闭，常集中在构造挤压带，例如四川盆地的卧龙河气田。此外，构造演化的多期性还会导致圈闭叠加改造，形成封闭性更强的复合圈闭，或与岩性、地层因素结合形成更多类型。圈闭的有效性取决于构造变形的强度与持续性，适度且稳定的变形利于油气长期聚集与保存，而过强的变形则会破坏圈闭的完整性。

二、构造演化对油气成藏动态过程的控制作用

（一）构造应力场与油气运移

构造应力场是驱动油气运移的核心动力，其类型和演化直接决定了油气的运移方向、速率和聚集区。在挤压应力场中，地层受压形成高压，将油气“定向驱动”至背斜顶部、断裂带等应力释放的低压区，同时岩石致密化也迫使油气沿优势通道高效运移^[7]。而在伸展应力场下，地壳拉张产生大量裂隙和正断层，为油气提供垂向运移的“通道”，促进跨层位运移，使其总体向裂隙密集的低压区聚集。当区域构造应力场发生演化，例如由挤压转为伸展，油气运移方向也会随之改变，从沿构造高点的水平运移转为沿新生裂隙的垂向运移，从而引发油气再分配，增加成藏的复杂性。

（二）断裂活动与油气输导体系

断裂作为油气输导体系的核心，其有效性取决于活动期次、启闭性及发育特征的共同作用。其中，断裂活动期与烃源岩生排烃高峰期的匹配至关重要，只有同期活动的“同生断裂”才能成为高效的运移通道。断裂的启闭性则控制着输导的稳定性，活动时开启利于运移，静止时因胶结而封闭，又可转为保存油气的边界。此外，断裂的分布样式决定了输导效率，多条断裂交汇形成的枢纽带是油气富集的关键区域，而孤立断裂的影响则相对有限。

（三）构造运动与油气聚集期次

沉积盆地的多期构造运动决定了油气“多期次、分阶段”的聚集特征。在构造稳定期，盆地缓慢沉降，烃源岩持续生烃，油气沿通畅的输导体系运移并填充稳定的圈闭，形成规模性的原生油气藏，其分布与烃源岩和输导体系高度一致，如松辽盆地白垩纪的主要油田^[8]。而后期的强烈构造运动则会破坏原生油气藏，驱使油气沿断裂等新通道再次运移，在新的圈闭中重新聚集，形成分布与后期构造变形带密切相关的次生油气藏，如塔里木盆地的塔河油田。因此，构造运动的期次和频率直接决定了油气聚集的期次与成藏复杂性，像准噶尔盆地就因经历了多期构造运动，而形成了类型多样的复杂油气藏组合。

（四）盆地改造与油气藏的保存与调整

轻微改造的盆地中，油气藏保存条件优越，基本维持原生成藏面貌。这类盆地后期构造运动微弱，仅发生轻微的沉降或小幅度抬升，未形成大规模的断裂和褶皱，盖层完整性好，未遭受明显剥蚀^[9]。油气藏所处的温压环境稳定，油气未发生大规模运移，原生油气藏的储量、分布范围基本保持不变。轻微改造盆地的油气勘探重点在于寻找原生圈闭与烃源岩、输导体系的匹配区域。强烈改造的盆地中，油气藏经历显著的调整与再分配，部分甚至完全破坏。构造抬升剥蚀是最常见的改造方式，若抬升幅度大，油气藏所在地层可能暴露于地表，油气因盖层剥蚀或风化作用逸散；即使未暴露地表，抬升导致的地层压力降低也会使油气发生运移调整。断裂再活动是另一重要改造方式，后期构造运动使已封闭的断裂重新开启，成为油气逸散的通道，导致原生油气藏破坏，油气沿新断裂运移至浅部地层形成次生油气藏^[10]。盆地

改造的差异性还导致油气藏分布的“分区性”，同一盆地内，构造稳定的凹陷中心区域油气藏保存完好，而盆地边缘构造活动强烈的断裂带区域，油气藏多被改造或破坏，形成“中心保藏、边缘调整”的分布格局。这种格局为油气勘探提供了重要指引，即优先勘探盆地内部构造稳定区，同时关注边缘改造区的次生油气藏潜力。

三、典型盆地实例分析

（一）伸展盆地实例分析

松辽盆地作为典型的中生代伸展盆地，其油气成藏遵循“断陷控源、坳陷聚油”的核心规律。在断陷期，区域伸展作用形成多个独立洼槽，其中沉积了优质的深湖相烃源岩，并沿边缘发育与之紧邻的扇三角洲储集层，为“近源成藏”奠定基础。进入坳陷期，盆地整体稳定沉降，形成广覆式沉积体系，发育了盆地最优质的主力烃源岩（青山口组），其生排烃高峰与大型背斜圈闭（如大庆长垣）的形成时空匹配，同时高孔渗的三角洲砂体与区域性泥岩盖层构成优越的“源－储－盖”组合，最终促成了大庆油田等大规模油气藏的形成。在此过程中，断裂既是早期控沉积要素，也是后期油气运移的通道，而坳陷期稳定的广覆式储盖组合则是大规模成藏的关键保障。

（二）压缩盆地实例分析

四川盆地作为典型的多期挤压改造盆地，其油气成藏经历了“构造控圈、断裂输导、多期调整”的复杂过程。早期克拉通稳定阶段为筇竹寺组、龙马溪组等多套烃源岩的发育奠定了物质基础，但油气呈分散状态。自晚三叠世起，持续的挤压作用形成了一系列背斜圈闭，天然气沿断裂运移聚集形成原生气藏。新生代喜马拉雅期的强烈改造是气藏调整的关键，不仅使原有圈闭形态变得更复杂、高陡，促使天然气向更高部位富集，也因断裂重新开启而沟通了深部烃源岩，形成了如普光气田这样的超大型气藏。因此尽管后期构造改造破坏了部分原生油气藏，但也极大地促进了天然气的再富集，而膏盐岩、厚层页岩等优质盖层的存在，则是这些气藏得以最终保存的核心保障。

（三）实例对比与启示

松辽伸展盆地与四川压缩盆地的成藏差异，本质是构造演化方式与强度的差异导致的成藏要素与过程的分异，通过对比可提炼出两类盆地的核心成藏规律与勘探方向启示，构造演化阶段决定成藏要素匹配关系。伸展盆地的“断陷－坳陷”演化序列，形成了“早期控源、晚期聚藏”的匹配模式，勘探重点应聚焦断陷洼槽与坳陷期大型圈闭的叠合区域；压缩盆地的“稳定－挤压－改造”序列，则需关注挤压期圈闭与烃源岩生排烃期的匹配，以及后期改造中盖层的保存完整性。断裂作用的功能存在本质差异，伸展盆地的正断层以“控沉积、控储集”为主，同时作为油气垂向输导通道，断裂带与沉积中心的叠合区是优质勘探目标；压缩盆地的逆冲断层以“控圈闭、控调整”为主，断裂的启闭性是关键，需优先选择静止期封闭的断裂所控制的圈闭。油气藏类型与分布规律不同。伸展盆地以原生油气藏为主，分布范围广，多层位含油，易形成大规模油田；压缩盆地受多期改造影响，次生气藏占比高，天然气藏为主，分布集中于构造高部位，勘探需注重构造精细解释以识别改造后的有效圈闭。两类盆地的实例共同印证，无论构造背景如何，“构造演化控制成藏要素时空匹配”是核心规律，油气勘探需以构造演化史为纲，结合烃源岩、储集层、盖层及圈闭的发育特征，实现精准勘探。

四、结束语

本文以沉积盆地构造演化为主线，系统剖析了其对于油气成藏静态要素与动态过程的全方位控制作用，结合典型盆地实例验证了核心成藏规律。本研究的核心价值在于厘清了构造演化与油气成藏的内在关联，为油气勘探提供了“以构造演化史为纲，匹配成藏要素与过程”的精准勘探思路。实践中，可通过追溯盆地构造演化序列，明确成藏关键期与优势区带，提高勘探成功率。未来研究可进一步聚焦深层－超深层盆地、多期叠加改造盆地的构造演化细节，结合高精度地球物理探测与数值模拟技术，深化复杂条件下油气成藏机制的认知，为油气资源的可持续勘探开发提供更坚实的理论支撑。

参考文献

- [1] 杨明慧, 张厚和, 廖宗宝, 等. 南海南沙海域沉积盆地构造演化与油气成藏规律 [J]. 大地构造与成矿学, 2017, 41(4): 710–720. DOI: 10.16539/j.ddgzycx.2017.04.007.
- [2] 李荣西, 张锡云, 金奎励. 用镜质体反射率重建沉积盆地构造演化特征 [J]. 矿物学报, 2001, 21(4): 708–712. DOI: 10.3321/j.issn: 1000–4734.2001.04.023.
- [3] 黄学光. 燕山中、新元古代沉积盆地构造演化 [J]. 地质调查与研究, 2006, 29(4): 263–270. DOI: 10.3969/j.issn.1672–4135.2006.04.005.
- [4] 姚伯初, 万玲, 刘振湖. 南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源 [J]. 地球科学 (中国地质大学学报), 2004, 29(5): 543–549. DOI: 10.3321/j.issn: 1000–2383.2004.05.007.
- [5] 姚永坚, 夏斌, 徐行. 南海南部海域主要沉积盆地构造演化特征 [J]. 南海地质研究, 2005, (0): 1–11.
- [6] Yu. K. Burlin Yu. V. Shipel’ kevich 李学杰, 杨丽娟. 西楚科奇陆架沉积盆地构造演化特征及其油气资源潜力 [J]. 海洋地质, 2011, (1): 20–33.
- [7] 余心起. 浙闽赣粤地区中生代沉积盆地构造演化特征 [D]. 江苏: 南京大学, 2004.
- [8] 阳怀忠, 刘新颖, 黄健良. 西非陆缘中段含盐盆地盐下构造与沉积演化特征 [J]. 石化技术, 2025, 32(3): 278–280. DOI: 10.3969/j.issn.1006–0235.2025.03.095.
- [9] 张敏, 李海龙, 唐灵, 等. 粤东河源盆地的深部构造、沉积序列与盆地演化 [J]. 地球学报, 2024, 45(3): 291–308. DOI: 10.3975/cagsb.2023.110601.
- [10] 吴浩武, 黄峰. 珠江口盆地 AD15 洼槽构造沉积演化控制下的油气运聚模式 [J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(5): 72–79. DOI: 10.16028/j.1009–2722.2023.146.

环境监测数据全流程质控体系设计与实践

——基于《生态环境监测条例》要求

钱森, 刘赛

南大盐城环境检测科技有限公司, 江苏 盐城 224001

DOI:10.61369/EAE.2026010018

摘 要 : 《生态环境监测条例》实施后, 环境监测数据质量被纳入法定监管范畴, 数据真实、准确、完整、可追溯成为刚性要求。当前监测工作在采样、传输、分析、溯源、机构管理及责任落实等环节仍存在质控缺失, 流程不统一、操作不规范、责任边界不清、数据失真风险依然突出。本文依据条例及相关技术规范, 构建环境监测数据全流程质控体系, 明确各环节控制要点、管理要求与监管机制, 为监测机构规范化运行、提升数据质量提供实践参考。

关 键 词 : 环境监测; 全流程质控; 数据质量; 数据溯源; 《生态环境监测条例》

Design and Practice of the Whole Process Quality Control System for Environmental Monitoring Data — Based on the Requirements of the "Regulations on Ecological Environment Monitoring"

Qian Shen, Liu Sai

Nanjing Yancheng Environmental Testing Technology Co., Ltd. Yancheng, Jiangsu 224001

Abstract : After the implementation of the "Regulations on Environmental Monitoring", the quality of environmental monitoring data has been included in the legal regulatory scope, and the requirements for data to be true, accurate, complete, and traceable have become rigid. Currently, in the sampling, transmission, analysis, traceability, institution management, and responsibility implementation processes of monitoring work, there are still deficiencies in quality control, inconsistent processes, unstandardized operations, unclear responsibility boundaries, and the risk of data distortion remains prominent. Based on the regulations and relevant technical specifications, this paper constructs a full-process quality control system for environmental monitoring data, clarifies the control points, management requirements, and regulatory mechanisms for each link, providing practical references for the standardized operation of monitoring institutions and the improvement of data quality.

Keywords : environmental monitoring; full-process quality control; data quality; data traceability; "Regulations on Environmental Ecology Monitoring"

引言

环境监测数据是环境管理、执法监管与决策评估的核心依据, 数据质量直接决定治理成效。随着监测网络不断扩大, 第三方机构广泛参与, 采样不规范、记录不完整、量值溯源缺失、异常数据处理随意等问题普遍存在。《生态环境监测条例》以法规形式明确了数据质量责任与全过程质控要求, 现有质控模式多局限于单一环节, 难以形成全链条闭环管控。本文基于条例与技术规范, 构建全流程质控体系, 补齐环节短板, 降低数据失真风险, 提升监测工作规范化水平。

一、《生态环境监测条例》对质控工作的核心要求

条例明确实行“谁出数据谁负责、谁签字谁负责”原则, 监测机构及负责人对数据真实性、准确性终身负责, 要求数据全过程留痕、可追溯, 严禁篡改、伪造监测数据^[1]。监测机构须满足

人员、设备、场所与管理体系要求, 按标准规范开展监测, 建立内部质量控制制度并定期开展内审与能力验证^{[2][6]}。监测人员应经培训考核上岗, 仪器设备按期检定校准, 保证量值溯源有效^{[6][7]}。生态环境主管部门通过“双随机、一公开”等方式强化监管, 排污单位自行监测数据须真实完整并接受核查^{[1][8]}。

二、全流程质控体系构建思路

质控体系以全程可控、溯源可查、责任可究、规范可依为目标，覆盖采样、样品保存与运输、实验室分析、数据记录、数据审核、数据传输、数据归档、内部质控、外部监督全环节^{[3][4]}。体系以法规要求为底线，以技术规范为支撑，以机构管理为保障，以监督问责为约束，形成闭环管理^{[4][9]}。体系运行强调过程控制与结果控制相结合，技术要求与管理要求相统一，内部管控与外部监督相衔接，实现从“结果管控”向“全过程管控”转变，从“被动整改”向“主动预防”转变。

体系分为五个核心部分：采样现场质控、实验室分析质控、数据溯源与异常处理、机构与人员管理、责任划分与监督机制。各环节之间相互衔接，前一环节质控结果作为后一环节准入依据，关键节点设置复核、审核、批准权限，确保问题早发现、可纠正、可追溯^{[4][7]}。采样环节不合格不得进入实验室分析，数据审核不通过不得上报与公开，设备未溯源不得投入使用，人员未授权不得独立操作，样品超时限不得分析，形成刚性约束机制。体系运行过程中定期开展内部核查、能力验证、比对监测，及时发现偏差并采取纠正措施，保障体系持续有效、稳定运行。

三、全流程质控关键环节控制要点

（一）采样环节质控

采样是环境监测数据质量的源头环节，也是最易出现偏差与失控的环节，点位代表性、操作规范性、样品完整性直接决定后续数据是否具备有效性。现场点位布设必须严格遵循国家技术规范，结合监测对象类型、环境功能区划、污染源分布、地形地貌与水文气象条件综合确定，地表水断面、空气站点、土壤与地下水点位均不得随意变更、移动或省略，确需调整必须履行技术论证与备案程序，确保监测结果能够真实反映区域环境质量整体水平^{[6][10]}。采样前需全面检查采样设备、容器、试剂与辅助工具，容器材质需匹配监测项目，避免吸附、挥发与污染，采样器具按要求完成清洗、润洗，杜绝交叉干扰。采样过程严格执行标准操作流程，同步记录采样时间、人员、设备编号、工况负荷、气象条件、水位流量、周边污染源状况等关键信息，记录内容真实完整、字迹清晰，不得漏记、补记、事后重写，确需修改须签名并标注日期。样品采集数量需满足平行样、现场空白、现场质控样的要求，按规范添加固定剂与保存剂，严格控制保存温度、避光条件与运输时限，运输过程采取防震、防漏、防高温措施，防止样品变质、损失与污染。样品送达实验室后须履行双人交接、签字确认程序，记录交接时间、外观状态、数量与温度，实现从采样现场到实验室分析的全链条可追溯，从源头降低数据失真风险^[6]。

（二）样品管理与实验室质控

样品接收是实验室质控的第一道关口，接收人员需逐项核对样品编号、容器类型、保存条件、运输时限、外观状态与采样记录一致性，发现泄漏、变质、超期、标识不清等问题须立即标记异常，按规定程序拒收或隔离处置，并形成书面记录^{[4][10]}。合格样品按项目类型分区存放，低温、避光、密封等条件严格执行标准要求，避免交叉污染与失效。实验分析前须完成仪器性能核查、波长校准、流量校准、空白试验、检出限验证与标准曲线绘

制，确保仪器处于稳定合格状态。分析过程必须按批次插入实验室空白、平行双样、标准物质或加标回收样，通过精密度与准确度控制保证数据可靠性，质控结果超出允许范围时，整批数据判定无效，必须重新分析并排查原因。实验操作不得擅自更改标准方法、参数与步骤，原始记录实时填写，包含仪器条件、测定值、计算公式、质控数据、异常情况等信息，修改需签字注明原因，严禁重新誊写、隐匿与伪造记录。实验废液、废渣、废弃试剂按危废管理要求分类收集、规范处置，建立处置台账，保障实验室运行安全合规，降低环境风险。

（三）数据记录、审核与异常数据处理

测数据从采集到上报必须实行全过程记录与分级审核制度，执行分析人员初审、技术负责人复核、质量负责人批准的三级审核机制，涉及执法、考核、排名的关键数据须实行双人复核与签字确认，确保数据计算、修约、换算、统计完全符合规范要求，不得人为取舍、调整、篡改数据^{[4][9]}。异常数据是质控监管的重点内容，出现偏高、偏低、波动异常、偏离历史趋势、与周边点位不一致等情况时，必须开展系统性原因核查，覆盖仪器故障、操作失误、样品污染、工况突变、气象影响、点位干扰、计量失效等可能因素，逐项排查并形成完整核查记录、佐证材料与处理意见，不得直接剔除、默认合格或隐瞒不报^{[7][11]}。经核查确认为设备、操作、样品等因素导致的异常数据，应判定为无效并按规定重新监测；确属环境真实变化的，须保留数据并附详细说明。所有数据处理、审核、修改、异常处置均留痕可查，形成完整数据溯源链条，保障数据合法性、真实性与可追溯性。

（四）量值溯源与设备管理

量值溯源是保证监测数据准确可比的核心技术基础，所有监测仪器、采样设备、计量器具均须按期开展检定、校准或实验室比对，确保测量结果可追溯至国家计量基准，无有效溯源证明的设备一律不得投入使用^{[7][12]}。强制检定设备由法定计量技术机构实施检定，非强检设备制定内部校准计划与规程，留存校准记录、证书与确认结果，超期、不合格、故障设备立即停用、隔离标识。监测设备实行“一机一档、全生命周期管理”，档案完整包含购置合同、验收报告、使用记录、维护保养、维修记录、检定/校准证书、期间核查、故障处置等资料，保存期限满足法规要求。设备状态实行明显标识管理，合格、准用、停用、报废分类清晰，关键设备执行使用前核查、使用中监控、使用后维护的流程，做好使用登记。定期开展设备期间核查与性能维护，及时更换老化配件、消耗品，避免漂移、失灵与精度下降影响数据质量，实现设备稳定、可控、可追溯运行，为全流程质控提供可靠技术保障。

四、监测机构管理与人员能力要求

机构应建立覆盖全流程的质量管理体系，编制程序文件、作业指导书、记录表单、质量手册，保证各项工作有章可循、有据可查^{[2][6]}。体系文件应贴合实际工作，具备可操作性，覆盖采样、分析、质控、记录、审核、设备、试剂、标准物质、安全、保密、投诉处理等全部活动，定期评审更新，确保适用性与有效性。定期开展内部质控、能力验证、实验室间比对、盲样考核，持续改进体系运行效果^{[2][9]}，通过内部审核与管理评审识别问题，

制定纠正与预防措施，形成闭环改进机制。

人员配置满足项目开展需求，技术负责人、质量负责人、授权签字人、采样人员、分析人员、质控人员具备相应资历与能力^{[2][5]}。机构应明确岗位职责，建立责任清单与权限清单，避免职责交叉或缺位^[8]，关键岗位实行专人专岗、持证上岗、授权操作，严禁越权操作与无证上岗。

五、责任划分与监督管理机制

生态环境主管部门承担监管责任，制定质控要求、技术规范与监督细则，组织监督检查、专项督查、数据核查、飞行检查，依法查处违法行为^{[1][8]}。监管部门建立监测数据质量抽查与交叉核验机制，开展盲样考核、现场比对与远程监控，强化事中事后监管，对问题机构采取约谈、整改、通报、处罚、信用惩戒等措施。监测机构承担主体责任，对监测行为规范性、数据真实性、体系有效性全面负责^{[1][4]}，机构主要负责人为数据质量第一责任人，相关岗位人员承担直接责任，实行责任倒查与终身追责。排污单位对自行监测的真实性、规范性负责，保障监测设备正常运行、运维到位，不干预、不阻挠、不操控监测过程^[1]，按规定开展记录、保存、上报与信息公开。

监督方式以日常检查、“双随机、一公开”、数据交叉核验、远程监控、现场核查、飞行检查为主，强化全过程非现场监管与智能化监管^{[1][8]}。利用信息化平台实现数据实时上传、自动质控、异常预警、全程留痕、可查可核，提升监管效率与精准度。信息公开接受社会监督，监测数据、质控信息、检查结果、处罚信息按规定公开，形成多方约束^{[1][8]}，保障公众知情权、参与权与监督权，鼓励社会举报数据造假与违规监测行为。

对质控缺失、数据异常、记录不全、溯源失效、违规操作、虚假监测的机构，依法采取限期整改、暂停监测业务、撤销资质、行政处罚等措施；涉嫌数据造假、伪造记录、出具虚假报告的，严肃追责并纳入信用记录，实施联合惩戒^{[1][8]}。对相关责任人依法给予处分，涉嫌犯罪的移送司法机关，强化法律震慑与责任约束，推动监测行业规范健康、有序发展。

六、实践应用与案例参考

在流域水质监测实践中，通过实施全流程质控，统一采样规

范、固定点位标识、强化样品保存运输、落实实验室平行样与标准物质控制、建立数据三级审核、完善设备溯源与人员管理、规范记录与归档流程，数据合格率明显提升，无效数据比例显著下降，数据一致性与可比性显著改善^[13]。统一采样容器、保存方法与运输时限，规范现场记录与样品交接流程，实验室严格执行质控频次与判定标准，数据异常及时核查、复测与说明，有效保障数据代表性、准确性与完整性。监管部门通过定期比对监测、盲样考核、现场飞行检查、数据交叉核验，有效约束机构行为，推动质控体系落地运行，提升流域监测整体质量水平^[13]。

国外流域监测经验显示，全过程质控、标准化操作、强制溯源、信息公开、联合监管、第三方核查是保障数据质量的关键举措，其多主体协同、技术与制度并重、过程与结果共管的模式，可在实际工作中借鉴应用^[13]。标准化操作手册、全链条信息化追溯、实时质量控制、定期能力验证、公众监督与行政监管相结合，能够有效降低管理成本、提升数据公信力，为流域治理、生态保护、水环境管理与决策提供可靠数据支撑。

七、结论

《生态环境监测条例》实施后，环境监测数据质量由行业要求上升为法律义务，构建全流程质控体系是落实条例要求、保障数据质量、防范数据风险的核心举措^[1]。体系以采样、样品管理、实验分析、数据审核、量值溯源、机构管理、责任监督为核心，实现环节全覆盖、过程可追溯、责任可明确、问题可处置、偏差可纠正^{[3][4]}。通过规范操作流程、强化内部质控、落实机构责任、完善外部监督、健全制度机制，可有效降低数据失真风险，提升监测数据公信力与可用性，为环境管理、生态保护、执法监管、决策评估提供可靠支撑^{[3][4][9]}。

全流程质控体系的落地运行，需要监测机构严格执行技术规范、健全内部管理、强化人员能力、落实质控措施，也需要监管部门完善制度、严格执法、多元监督、强化惩戒。未来应进一步推进质控信息化、智能化、自动化建设，实现自动记录、实时质控、远程核查、全程留痕，推动全流程质控更加高效、规范、严格、精准^{[7][12]}，持续提升环境监测数据质量，为生态环境质量改善、精准治理与高质量发展提供坚实数据保障与技术支持。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 生态环境监测条例 [Z]. 2025.
- [2] 生态环境部. 生态环境监测数据质量管理规定 [Z]. 2025.
- [3] 生态环境部. 生态环境监测机构资质认定补充要求 [Z]. 2025.
- [4] HJ 630-2021, 环境监测质量保证与质量控制技术规范 [S]. 北京：中国环境科学出版社，2021.
- [5] RB/T 214-2023, 检验检测机构资质认定能力评价 检验检测机构通用要求 [S]. 北京：中国标准出版社，2023.
- [6] HJ/T 91-2002, 地表水和污水监测技术规范 [S]. 北京：中国环境科学出版社，2002.
- [7] 李娟. 环境监测仪器量值溯源管理实践 [J]. 环境监测管理与技术，2024，36(2)：68-71.
- [8] 生态环境部. 生态环境保护工作责任清单 [Z]. 2025.
- [9] 李梦琦. 环境监测全流程质量控制体系构建 [J]. 资源节约与环保，2023(11)：89-92.
- [10] 中国环境监测总站. 环境监测现场采样质量控制技术指南 [M]. 北京：中国环境科学出版社，2023.
- [11] 李海涛. 环境监测异常数据识别与处理方法研究 [J]. 环境科学与管理，2024，49(3)：123-127.
- [12] 张敏. 环境监测数据可追溯体系建设研究 [J]. 环境科学与技术，2023，46(S2)：297-301.
- [13] 王浩. 流域水质监测全过程质量控制实践 [J]. 人民黄河，2024，46(4)：86-90.

森林·草原·湿地一体化保护行政执法机制研究

王鹏飞

巴彦淖尔市临河区林业和草原局, 内蒙古 巴彦淖尔 015000

DOI:10.61369/EAE.2026010019

摘 要 : 森林、草原和湿地是重要的生态系统资源, 一并加以保护面临着不少困难。行政执法体制不健全, 尤其是部门之间的协调难度及执法力度等问题上, 制约了生态修复的效果。对当前的保护机制进行剖析, 在此基础上, 从实际出发, 根据具体案例以及统计数据, 提出加强和完善行政执法体制的方法思路, 例如健全完善相关法律条例、设立联席会议制度、强化执法能力和运用高科技等。这些方法对于提高生态保护水平, 推动生态文明建设有着重要作用。

关 键 词 : 森林保护; 草原保护; 湿地保护; 行政执法; 一体化保护

Research on the Administrative Law Enforcement Mechanism for Integrated Protection of Forests, Grasslands, and Wetlands

Wang Pengfei

Forestry and Grassland Bureau of Linhe District, Bayannao'er City, Bayannao'er, Inner Mongolia 015000

Abstract : Forests, grasslands, and wetlands are vital ecosystem resources, and their integrated protection faces numerous challenges. The inadequacy of the administrative law enforcement system, particularly issues related to inter-departmental coordination and enforcement effectiveness, hinders the outcomes of ecological restoration. This paper analyzes the current protection mechanisms and, based on practical cases and statistical data, proposes methods and ideas to strengthen and improve the administrative law enforcement system. These include enhancing relevant laws and regulations, establishing a joint conference system, strengthening enforcement capabilities, and employing advanced technologies. These approaches play a crucial role in elevating the level of ecological protection and promoting the construction of ecological civilization.

Keywords : forest protection; grassland protection; wetland protection; administrative law enforcement; integrated protection

引言

生态环境保护形势愈发紧迫, 森林、草原、湿地是重要的生态系统, 它们互相制约又互相依存, 共同维系着这个世界的生态平衡。但是我国目前的行政执法力度不足, 跨区域联合不够紧密, 执法效果也不甚理想, 急需改善。本文的研究重点是对三大生态系统进行分析, 找出相应的执法漏洞并提出相应的对策建议。借助文献调查法、案例分析法和数据分析法对提高执法水平、强化法律保障、推进联防联控等方面的具体措施进行探究, 从而更好地服务于生态环境保护工作。本文内容主要有现状描述、机制评价、实践途径以及对策探讨这几个方面。

一、森林、草原与湿地保护的现状分析

(一) 森林保护现状

森林资源在我国生态体系中处于极其重要的位置, 在经济快速发展以及人们日益增多的各种活动的影响下, 森林保护形势越来越严峻。我国森林保护的法律规定有《森林法》《野生动物保护法》等法律法规, 这些法律对森林保护起到了一定的支撑作用。但是, 虽然有一些相关法律法规的存在, 但是依然有破坏森林资源、滥伐树木的现象出现。乱砍乱伐森林资源、乱采乱收, 不仅

破坏了生态环境也造成了生物多样性的锐减。特别是由于一些经济利益而进行的一些违法行为比较突出, 执法不严、监管不到位, 使得一些地方森林保护工作进展缓慢。

(二) 草原保护现状

草原是我国宝贵的自然资源, 具有维系生物多样性和调节气候的作用, 然而目前草原保护的情况仍然不容乐观。近年来草原退化趋势加快, 非法侵占草原问题也十分严重。一些地方因过度放牧、乱占耕地等致使草原生态环境受到破坏, 有的地方出现了严重的沙化、荒漠化等问题。草原保护法制工作已经开展起来,

相关的法律法规如《草原法》等都对草原保护作出了相关规定，在实际推行的过程中还存在很多不足之处。一是地方政府对草原保护意识淡薄，投入的资金力度、政策扶持都不够到位；二是因为草原面积太大，执法力量以及监督力量不足，造成许多违规行为很难被发现并处理。

（三）湿地保护现状

湿地是世界上最为活跃的一个生态系统，在生态系统当中具有重要的作用，湿地保护面临着严重的形势，对湿地进行破坏的原因主要有土地的开发、城市化的进程加快，还有就是水的过度利用等等这些因素。湿地非法性的被填埋，被污染，被破坏，湿地面积不断的减少，这样对水资源的循环产生了直接的影响，也使得生态服务的功能大大地下降。在对湿地保护中行政执法的情况也不容乐观，我国关于湿地保护的法律法规有相关的规定，《湿地保护法》草案以及其他的地方性法规，但是实施起来比较难，执法机构以及相关人员的不到位，使违法的现象得不到控制，在一些湿地丰富的地区因为管理工作复杂、执法费用高等原因，湿地保护的效果也就比较差。

二、现有行政执法机制的分析

（一）行政执法的法律框架与实施机构

我国在对森林、草原以及湿地等方面的保护工作已经形成了一套相对完善的法律法规体系，并且相关的制度规定也是为行政执法提供了相应的法律支撑。中央有《森林法》《草原法》《湿地保护法草案》等相关法律法规，规定了保护生态环境的目标任务、保障措施以及责任部门；国家也出台了一些针对环境保护的相关政策文件，《生态文明建设实施方案》《国家生态安全战略规划》等等，推进了整个环境保护系统化的工程。地方各级政府结合本地实际制定了各地的地方管理条例等，形成了行政执法法律环境。行政执法的执行单位主要是环境保护管理部门、农业林业管理、农垦局、水利局等不同的相关部门，各自的具体权限、职能也是根据法律法规来确定的。比如国家林业局和省级、市级林业局都是负责森林资源的管理保护，草原的管理保护则是农垦局的责任分工，湿地的管理保护一般是由生态环境部牵头，每个部门都有一定的责任范围，便于集中资源进行专项治理。

（二）行政执法的执行效果与问题

虽然我国已形成较为完善的行政执法制度，目前行政执法体制中存在的诸多问题还是存在于执法效率及执行力方面。其一，环境执法涉及范围较广，执法对象繁杂，执法人员人数较少，在很多地方执法速度慢，不能很好地查处、制止违法行为；尤其在偏远山区乡镇一级的执法主体更是严重不足，执法力量薄弱，执法资源匮乏等现象使执法活动往往流于形式。其二，执法工作中普遍存在监管不到位的现象。法律法规健全，但由于执法不到位致使很多行为得不到应有的处罚，违法成本低，保护成效不明显。其三，人力资源配置不合理。很多行政执法单位资源分配不平衡，缺乏必要的经费、装备、技术保障等资源，部分执法工作人员的知识水平和技术能力不符合要求，面对复杂违法行为时缺乏灵活机动的能力。

（三）跨领域执法的挑战与机遇

森林、草原、湿地三大生态系统的保护涵盖面广，目前行政执法体制也面临着跨领域执法的种种难题。一方面，各个保护领域的执法间衔接难。由于中央对此已有较完善的法律法规，但是在具体实施上却因为牵涉到的土地局、林业局、环保局等众多管理职能而使得相关执法权责界限模糊不清，容易出现互相推诿扯皮的情况，造成执法断层现象。比如一些地方的湿地遭到破坏，涉及到了土地部门、水利部门以及环保部门三个不同部门，这些部门之间的联系不密切，相互间沟通不到位就容易出现无人执法的现象。另一方面，资源统筹及联动机制欠缺。虽然各个部门在各自的领域中具有一定的执法力量，在跨领域合作上并没有很好的统筹安排。没有一个强有力的统合平台，导致各职能部门之间难以实现资源共享，出现低效重复劳动。另外，跨领域执法面临的又一个严峻的问题是信息化水平较低，缺少信息化、数字化手段等技术支撑，难以做到对整个生态环境的有效监测。

三、三大生态系统一体化保护的理论与模式

（一）一体化保护的理论基础

一体化保护理论依据主要是基于生态学的基本原理以及对生态系统所提供的服务的认识。生态学基本原理认为生态系统中各种物种和环境之间相互依赖、彼此联系，其中一个环节出现问题都会波及整个生态系统，所以单独的某一生态保护方式很难获得满意的结果，必须进行统筹、统一管理。生态系统提供的服务就是生态系统给人们提供的有益的服务作用，例如净化水源、固定二氧化碳、保持土壤等等。一体化保护方式可以使森林、草地和湿地之间实现共同支持相互协作达到最优的生态效率。一体化保护理论模型包含全面性、跨行业的协调模式，涵盖生态保护、资源管理、经济社会等多方面的考量。

（二）成功案例分析

国内外都有成功的生态系统一体化保护实例可以作为我国建立一体化环境保护机制有益参考。例如美国的大黄石生态保护区，它涉及美国黄石国家公园及附近草原、森林等区域，通过政府、研究机构和社会组织开展以生态系统整体保护为目的的一体化管理模式，在实践中成功的对森林、草原、湿地等各种生态要素进行协调保护，防止了过度放牧、乱砍滥伐等一系列问题的发生，同时也加强了湿地的净水作用。国内长江流域生态保护与修复工程也是一个很好的例子。它是对长江流域森林、湿地、草地等多种生态系统的综合治理，在一定程度上修复了局部生态环境，减轻了水土流失和生态破坏的程度，政府、企业、社会团体共同作用，避免了各自为政的现象出现，使得整个生态环境得到了有效的保护。另外梅花湖湿地保护工程，也是利用湿地、草原、森林一体化的形式达到一体化保护的效果，从而达到减少湿地破坏的目的。从以上几点可以看出，通过协调一致的合作、资源互换来达到保护生态环境的目的。图1显示的就是森林、草原、湿地三者之间的相互关系以及采用立法保障、部门间合作、资源共享等措施所形成的一体化保护体系，强调的是各个生态系统的配合。



图1 三大生态系统一体化保护机制框架

（三）一体化保护机制的实践路径

一体化保护的实践举措主要包括项目规划、政策联动以及部门间协作等内容。一方面，在项目建设时要统筹各类生态系统特征及其相互影响因素，尤其对草原、森林和湿地三者交汇地带进行重点规划，不能只注重某一类型的保护而忽略与之相关的其他类型之间的关联。另一方面，要加强部门间沟通协作，明确各部门任务分工，建立健全跨部门沟通协调机制，构建政府主体、公众支持、技术保障的一体化保护格局。再一方面，政策层面也需要做好衔接，政府部门要制定相关政策促进跨界融合，比如加大环境保护资金补助力度和共建共享平台增进信息互通及资源互补等等；最后还要在法律法规的基础上细化相关规定，完善统一的技术指南及责任体系，定期组织联合检查行动并及时共享情况进展，增强落实力度及监督水平。

四、优化森林、草原、湿地一体化保护行政执法机制的对策

（一）完善法律法规与政策支持

第一，要建立完整的法律法规体系以及相应的技术指标，明确规定森林、草原以及湿地三大生态系统保护的目标及手段，防止目前相关法规间互相矛盾交叉的情况发生；对于涉及多个部门的保护任务而言，立法还应该对具体执行的标准以及处罚程序作出详细的规定，使各个部门之间有法可依，便于具体的贯彻落实。强化部门间的协调合作及执行力度尤为重要，政府应当统一提出指导方针，推动林业、草原、湿地保护各相关部门间的联动与资源共享，

保证有关政策措施的有效落实，提高综合保护水平。

（二）建立跨部门合作机制

针对生态环境保护过程中的一些疑难杂症，要加强各部门之间的协作配合，各生态环境保护相关执法机关间要建立起高效的信息交流渠道，彼此互通有无，互通情报，通力合作，形成一股合力，同时，相关部门之间也要做到通力合作，相互配合，做到齐抓共管，形成合力。这样不仅有助于提升执法效果，也有利于增强所有参与人员保护生态环境的责任感。

（三）提升执法能力与水平

提高行政执法能力和水平的前提就是要加强执法队伍建设，首先就是强化执法人员的专业素质和执行力，这就要求我们加强执法人员的专业学习，提升他们对环境法律法规以及执法技术以及生态系统的认识与应对能力，同时还要加大地方政府的责任和问责力度非常关键，各地方政府要严格贯彻执行环保责任，建立健全完善的责任、绩效考评机制，保障各项环保政策的有效落实并对其实施效果进行严格评价考核，以鼓励各单位提高自己的执法水平。

（四）利用科技手段增强执法效果

面对科技日新月异的发展以及环境监测和执法方式也要跟上时代步伐的要求。应用大数据及人工智能等信息化技术，对环境进行实时监督并对其数据进行分析判断从而做到有的放矢的执法，比如利用人工智能技术自动识别违法情况并报警，使执法人员能快速做出反应来；遥感技术的应用能够在大面积范围内快速高效地对整个环境状态做一个全面了解，特别是非法破坏森林资源和滥占滥用湿地行为的查处，大大提高了日常环保工作的监督力度保证了环境保护效果的持久性和稳定性。

五、结语

在对森林、草场及湿地保护实际情况考察的基础上以及对于行政执法体制的研究中认识到目前存在的主要问题是缺乏法律强制力、跨领域联动差和执法力量薄弱等问题。改善行政执法体制就要从健全相关法律制度、强化跨部门联合执法力度、增强执法人员素质水平以及借助高科技等几个方面入手。采取以上措施可以有效地加强保护力度，并推动生态文明建设进程，实现三大生态系统永续利用，从而为我国环境资源保育提供稳固保障。

参考文献

- [1]王萌.人与自然生命共同体理念下的环境治理法律机制研究[D].上海财经大学,2021.DOI:10.27296/d.cnki.gshcu.2021.002298.
- [2]呼伦贝尔市人民政府办公室关于印发《呼伦贝尔市“十四五”林业和草原发展规划》的通知[J].呼伦贝尔市人民政府公报,2023,(06):5-33.
- [3]石淞.国土空间生态保护修复视角下东北森林带生态安全格局构建与关键区域识别[D].东北林业大学,2024.
- [4]崔双波.森林曲塘和生态屏障建设成效及“十四五”发展对策[J].绿色科技,2024,26(01):104-108+114.
- [5]张彬.内蒙古启动森林草原湿地荒漠化普查工作将于2025年6月底前全面完成[J].林业科技通讯,2024,(09):111.
- [6]邢志宏.在全省森林草地湿地普查工作启动会上的讲话摘要[J].浙江国土资源,2024,(06):4-6.DOI:10.16724/j.cnki.cn33-1290/p.2024.06.001.
- [7]王志斌,沈珍瑶.中国生态保护制度及其特征[J].生态学报,2025,45(09):4131-4140.
- [8]程彦军.张家口市草原天路全域旅游综合行政执法问题研究[D].内蒙古师范大学,2025.
- [9]谭世林,向国萍,熊西,等.若尔盖草原湿地生态修复分区及修复单元划分研究[J].广西科学院学报,2025,41(02):222-231.
- [10]坚决扛牢山水林田湖草沙一体化保护和系统治理重要职责[J].秘书工作,2025,(07):8-11.

