

# 海南省地下水水环境问题分析及污染防治研究

文 / 徐会芹 海南省地质环境监测总站

杨明明 海南省地质环境监测总站 (通讯作者)

**摘要:** 本研究旨在系统分析海南省地下水水环境面临的工业/农业污染、水质恶化及生态破坏等问题,并探索提出针对性污染防治策略。采用文献分析与案例研究相结合的方法,重点研究华北平原典型区域的地下水污染及恢复案例,以期利用成功经验解决海南地下水问题。研究表明,源头控制(如工业区防渗技术)、多层次监测体系构建及生物修复技术(如微生物降解)是有效防治手段。结论强调需加强立法监管、技术创新与公众参与,以保障地下水资源的可持续利用。

**关键词:** 地下水; 水环境; 问题分析; 污染防治

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.067

## 引言

地下水作为全球重要的淡水资源,维系着生态系统平衡与人类生存发展。然而,随着工业化与城市化进程加速,我国地下水环境正面临严峻挑战:华北平原超采引发的地面沉降年均达5-10厘米,长三角地区近30%监测井检出重金属超标,农业面源污染更导致硝酸盐超标率持续攀升<sup>[1]</sup>。海南省琼北盆地在20世纪90年代地下水主采层第2、3、4层承压水均出现不同程度的地下水降落漏斗,最深入中心区水位标高为-38.34m,洋浦新英湾地区也出现不同程度的海水入侵问题。这些问题的加剧不仅威胁饮用水安全,更可能引发连锁性生态灾难。本文通过系统分析地下水污染成因与传播机制,结合国内先进治理案例,从源头防控、监测预警、修复技术三个维度构建防治体系,旨在为海南省地下水资源的恢复和管理提供可供参考的科学依据。

## 一、地下水水环境主要问题分析

### (一) 地下水超采问题

地下水超采引发的地质环境问题已成为我国最严峻的生态挑战之一。以海南省为例:(1)海口地区承压水区域性开采降落漏斗。琼北自流盆地东部海口市是海南省主要地下水开采区,主采层为第2、3+4层承压水。开采之前,第2层承压水水位标高为5m,1965年海口市地下水降落漏斗面积为46km<sup>2</sup>(陆地面积,下同),水位降深2.83m;七十年代,地下水降落漏斗面积为198m<sup>2</sup>,海口市中心水位出现低于海平面;到1996年,地下水降落漏斗面积为944km<sup>2</sup>,中心区水位标高为-38.34m。1995年后,海口市地下水无序开采得到控制,1995-2000年,地下水水位大幅度上升,升幅接近20m,漏斗面积也随之减少;2001~2008年期间,地下水水位趋于基本稳定状态,漏斗面积也趋于稳定,大约在600~700km<sup>2</sup>之间,2009年至今,地下水降落漏斗中心水位呈现缓慢下降趋势。2020年海口市中心的琼北自流盆地第2层承压水水位标高为-23.05m,比2019年下降0.22m,地下水降落漏斗面积为786km<sup>2</sup>,比2019年增加5km<sup>2</sup>,地下水超采引发的降落漏斗依然存在。

### (二) 海水入侵问题

海南省是海洋大省,具有丰富的海滩资源和漫长的海岸线,沿海滨海平原区是海南省工农渔业和旅游业发展最快的地区。尤其是近年来沿海海水养殖业和滨海城镇、旅游景区的发展迅速,已成为省重要的经济和旅游区,是未来海南省社会发展规划的重要区域<sup>[2]</sup>。随着沿海滨海平原区人类经济工程活动的加剧,自然环境变化较大,海岸侵蚀、地下水咸化等一系列的环境地质问题伴随发生。目前在琼北自流盆地西部儋州市新英湾地区发现有海水入侵现象,近几年,儋州市新州镇新英中学监测站点第2层承压水中Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、溶解性总固体含量均检出较高异常,见表1。由于研究程度低,海水入侵规模及分布规律有待进一步工作。

表1 历年儋州市新州镇新英中学监测站点地下水水质部分指标含量表

年度	水质指标 (mg/L)			备注
	溶解性总固体	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	
2018	14000	4380	7880	
2019	14423	4253	6787	
2020	13156	3925.00	6686.68	

另外,分布于沿海砂堤砂地的高位海水养殖池,部分地区已使当地的浅层地下水咸化和盐渍化,使当地居民出现生活用水困难。

### (三) 高氟水

海南岛还存在相当数量的地氟病,地氟病主要是由于地下水中氟含量过高而致,岛内地氟病常见于文昌、琼海、儋州、乐东、东方、万宁、陵水、三亚等沿海局部地区<sup>[3]</sup>。儋州市海头镇港口乡为重病区,文昌市东郊镇范南村和儋州市松林区文科村为中度区。另外在三亚南山岭-牙笼湾一带,F<sup>-</sup>含量1.6~2.75mg/L,超过饮用水标准。在三亚保港-莺歌海一带,承压水中F<sup>-</sup>≥3mg/L,超过饮用水标准。近年来,国家地下水监测工程监测站点地下水检出高氟情况,见表2。

表 2 海南省地下水监测点高氟分布一览表

序号	监测点位置	层位	氟化物含量 (mg/L)		
			2018 年	2019 年	2020 年
1	海口市云龙镇	第 3+4 层承压水	2.1	1.92	2.07
2	临高县东英镇	第 2 层承压水	1.2	1.32	1.31
3	文昌市锦山镇	潜水	1.0	2.20	1.64
4	文昌市昌洒镇	潜水	0.44	2.66	2.91
5	琼海市长坡镇	潜水	1.3	1.96	1.17
6	陵水县新坡镇	潜水	0.73	1.01	1.04
7	陵水县椰林镇	潜水	1.3	0.97	1.31
8	三亚市海棠湾镇	潜水	9.3	0.17	0.24
9	三亚市凤凰路	潜水	14	0.14	0.22
10	三亚市凤凰镇	潜水	0.55	1.32	0.18
11	三亚市南滨农场	潜水	0.35	8.66	9.83
12	乐东县利国镇	潜水	0.5	1.01	2.85
13	昌江县海尾镇	潜水	0.88	1.70	1.91
14	五指山市	潜水	2.8	2.18	2.06
15	澄迈县加乐镇	潜水	0.48	1.37	1.36
16	昌江县石碌镇	潜水	1.2	2.40	1.98

(四) 地下水污染

此外，地下水水质恶化问题呈现多源复合型污染特征，工业、农业及生活污染共同构成三大主要威胁。工业污染方面，化工园区防渗设施不完善导致有毒物质渗漏，部分企业通过渗井违规排放含重金属、有机溶剂的废水，这类污染物具有高毒性和难降解性，对含水层造成持久性破坏<sup>[4]</sup>。农业污染主要表现为过量施用化肥农药，其中氮肥经微生物作用转化为硝酸盐，随淋溶作用进入地下水层。

二、地下水污染防治方法

(一) 源头控制措施

地下水污染防治的源头控制是阻断污染扩散的关键环节，需针对工业、农业和生活三大污染源实施系统性治理。在工业领域，重点推广刚性+柔性复合防渗技术，如四川石化采用的 HDPE 膜与混凝土结合体系，通过垂直阻隔墙与水平防渗层的协同作用，有效阻断重金属和有机污染物渗透<sup>[5]</sup>。化工园区需严格执行一企一管明管输送标准，建设三级防控体系，2027 年前完成高风险区域风险管控工程。农业面源污染治理应以精准施肥和低毒农药为核心，通过测土配方技术将氮肥用量控制在 180 公斤/公顷以下，推广植保无人机作业（飞行高度 1.5-2 米，雾滴粒径 80-120 微米）实现农药减量。生活污染源管理需强化垃圾填埋场防渗体系，采用两布一膜结构（土工布+HDPE 膜+混凝土覆盖层），防渗系数需达 10<sup>-7</sup>cm/s 标准，同步建设渗滤液收集系统。三大领域防治措施需配套动态监测网络，通过在线监测 pH 值、电导率等指标实现污染早预警，形成源头阻断-过程拦截-末端监控的全链条防控体系。

(二) 监测预警体系

地下水污染防治的监测预警体系制定在保障水质安全方面发挥出重要作用，其构建需遵循多维度、智能化的技术路径。在硬件设施层面，应建立国家-省-市三级监测井网络，重点在饮用水源地、工业园区及农业密集区布设监测点，形成覆盖主要含水层的立体监测网络。监测设备需采用物联网技术实现实时数据传输，同时保留传统手工监测手段作为补充，确保异常数据可交叉验证<sup>[6]</sup>。水质检测指标应涵盖 pH 值、重金属（如铅、镉）、硝酸盐等常规参数，并针对区域特征增设有机污染物检测模块，例如化工区需重点监测苯系物含量。监测频次根据风险等级动态调整，高风险区实行每日采样，一般区域至少保持月度监测节奏。数据管理方面，需建立统一的信息平台，集成地理信息系统（GIS）与水文地质模型，实现污染扩散模拟与预警阈值自动触发。预警机制应设置黄、橙、红三级响应标准，当监测值超过标准限值的 50% 时启动黄色预警，同步通知环保、水务等部门开展联合核查。该体系通过监测-分析-预警-处置的闭环管理，可显著提升污染事件的早期识别能力，为地下水保护提供精准决策支持。

(三) 污染修复技术

地下水污染防治方法体系包含污染修复与工程控制两大技术路径。在污染修复技术层面，物理修复通过抽提技术将污染地下水抽出地表处理，适用于高浓度污染源的快速清除，而气提技术则利用真空抽取使挥发性污染物汽化分离，特别适合处理石油烃等有机污染物。化学修复中的原位化学氧化技术通过注入过硫酸钠等氧化剂降解氯代烃等顽固污染物，南京毓恒码头工程应用该

技术使石油烃降解率达 96.47%，但需注意药剂运输与施工过程产生的温室气体排放；化学还原技术则对重金属污染具有显著效果，如 HS-2 吸附剂对锰污染物的去除率可达 99.7%。生物修复技术采用微生物降解有机污染物或植物吸收重金属，具有环境友好性但周期较长，常与化学方法联用提升效率<sup>[7]</sup>。工程措施方面，渗透反应墙技术通过填充活性材料的反应带拦截污染羽迁移，某加油站案例显示该技术可有效阻隔苯系物扩散，兼具被动处理与长期稳定性优势。值得注意的是，单一技术往往难以应对复杂污染，实际工程中多采用抽提-化学氧化-反应墙组合工艺，如华北平原某项目通过分阶段实施使污染物浓度三年内下降 80% 以上。未来随着精准注射、缓释药剂等技术的发展，修复效率与可持续性将进一步提升。

### 三、华北平原地下水修复试点案例分析

华北平原地下水修复试点作为全球首个大规模含水层恢复工程，其系统性治理模式为同类地区提供了重要借鉴<sup>[8]</sup>。该工程自 2019 年启动以来，通过压采-补给-回灌三位一体治理策略，在超过 10 万平方公里范围内

实现了地下水位显著回升。治理核心措施包括：一是严格实施农业用水定额管理，压减高耗水作物种植面积，将地下水年开采量从 270 亿立方米（2002 年峰值）降至 2022 年的 8.3 亿立方米；二是依托南水北调中线工程实施生态补水，2020-2024 年间浅层地下水位以年均 0.7 米速度回升，山前平原区回升速率达 1.5 米/年；三是建设 4 处深层水回补试验场，采用刚性+柔性防渗技术控制污染扩散，其中衡水地区深层地下水头回升幅度达 3-5 米。治理成效显著，华北平原地下水修复前后对比结果如表 3 所示，从表 1 中的数据可以看出，与修复前相比，2024 年浅层水和深层水平均埋深分别回升 3 米、8.46 米，超采量减少 85.8%，泉眼复涌数量达到全部复涌状态。该案例创新性地将行政手段（《华北地区地下水超采综合治理行动方案》）与技术创新（卫星遥感监测、回补试验场建设）相结合，通过构建覆盖 2000 眼监测井的立体监测网络，实现了含水层系统由亏转盈的突破。其成功经验表明，在严格压采基础上，通过跨流域调水补给和科学回灌，可有效逆转地下水系统恶化趋势，为全球地下水超采治理提供了中国方案。

表 3 华北平原地下水修复前后对比结果

指标	修复前（2019 年）	修复后（2024 年）	变化幅度
浅层水平均埋深	14 米	11 米	回升 3 米（21.4%）
深层水平均埋深	50 米（漏斗区）	41.54 米	回升 8.46 米
超采量	2015 年基准值	减少 85.8%	年减 0.7 米速率
泉眼复涌数量	81 处干涸	全部复涌	水质达历史水平
超采区面积	2015 年基准值	减少 32.8%	严重区减 98.9%

### 结语

地下水作为维系生态系统和人类生存的重要淡水资源，其污染问题已成为全球性环境挑战。海南省地下水环境正面临地下水超采、海水入侵、高氟水及地下水污染等多重威胁。本文通过系统分析华北案例发现，地下水污染成因复杂，既有监管体系不完善、防治技术滞后等客观因素，也存在公众环保意识薄弱等主观问题。研究表明，构建源头控制-过程阻断-末端治理的全链条防治体系至关重要，其中工业区防渗改造、生态农业推广和智能化监测网络建设是三大核心举措。建议海南省地下水未来需强化《地下水管理条例》执法力度，研发纳米材料等新型吸附剂，并建立跨部门协同治理机制，通过政策-技术-公众参与的多维联动，实现地下水资源的可持续利用。

### 参考文献

- [1] 侯圣琦. 嫩江县地下水水环境问题分析及污染防治措施 [D]. 哈尔滨商业大学, 2021.
- [2] 钱金泽, 王海粟, 张长波. 某化工厂地下水污染阻隔防治的三维数值模拟研究 [J]. 广东化工, 2025, (5): 96-99.
- [3] 杨康, 华兴国, 田雨, 等. 工业园区地下水污

染防治现状及对策建议 [J]. 山西化工, 2025, (7): 276-278.

[4] 段有福, 刘文虎, 贾金锋. 油气储运管道泄漏对地下水环境造成的污染研究 [J]. 环境科学与管理, 2025, (4): 41-45.

[5] 贺斐, 周丽漫. 我国地下水污染防治现状与对策分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5 (14): 103-105.

[6] 沈潇君. 某生活垃圾填埋场地下水环境污染状况调查研究 [J]. 广东化工, 2025, (9): 132-134.

[7] 胡艳珍. 水文地质调查在土壤和地下水污染防治中的应用探究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5 (7): 103-105.

[8] 王燕. 城市垃圾填埋场地下水污染的风险评价与防治 [J]. 黑龙江环境通报, 2025, (2): 44-46.

作者简介：徐会芹，女，1986 年出生，汉族，云南省大理州人，大学本科学历，水文地质工程地质环境地质工程师，多年来从事地下水调查、地质勘察、矿山地质环境动态监测、地质灾害预警等工作。

通讯作者：杨明明，男，1985 年出生，汉族，湖北省襄阳人，硕士研究生学历，水文地质工程地质环境地质高级工程师，多年来从事地下水调查、监测、地质灾害调查、评估、治理、矿山地质环境调查等工作。