

工业场地地下水污染防治及控制技术优化研究

邱 杰

中国石化海南炼化化工有限公司 海南 儋州 578001

摘 要：随着全球工业化进程的飞速发展，工业生产在为社会经济上升做出了巨大的贡献，同时也给生态环境带来了诸多严峻挑战，其中工业场地地下水污染问题尤为突出。工业生产活动种类繁多，涵盖化工、冶金等众多领域，这些生产过程中，大量含有重金属、有机污染物、酸碱物质等有害物质的废水、废气和废渣被排放出来。由于早期环保意识淡薄、环保标准宽松以及污染治理技术相对落后，许多工业企业在生产运营过程中未能对污染物进行有效处理和处置，使得这些有害物质通过各种途径渗入地下，从而导致了工业场地地下水的严重污染。因此，开展工业场地地下水污染控制研技术优化究具有极为重要的现实意义。

关键词：工业场地；地下水；污染控制技术优化

引言：从地域分布来看，无论是在发达国家还是发展中国家，工业场地地下水污染都广泛存在。在发达国家，如美国、德国等，早期工业化进程中遗留下来的大量污染场地，使得地下水污染问题长期困扰着当地政府和居民；在发展中国家，随着工业化的快速发展，一些新兴工业区域由于环保设施建设滞后，也出现了不同程度的地下水污染问题。在我国，随着城市化建设和工业化进程的加快，产生了大量的工业污染场地，这些场地不仅会阻碍城市的可持续发展，还会对人们的生存环境造成不可逆的破坏。基于此，论文针对工业场地地下水污染控制与修复进行了深入研究。

1 工业场地地下水污染的主要原因

1.1 工业废水违规排放

根据《中国生态环境统计年报》数据显示，近年来工业废水排放量虽总体呈下降趋势，但部分区域仍存在违规排放现象。部分工业企业为缩减运营成本，将未经达标处理甚至直接未处理的工业废水排入地表水体或渗井、渗坑。这些废水中重金属（如铅、汞、镉）、化学需氧量（COD）超标有机物以及酸碱物质含量极高^[1]。以2022年某地区监测数据为例，部分违规排放企业废水中铅含量超标达5-10倍，COD超标3-8倍。废水通过下渗进入含水层，对地下水造成直接污染。例如某些电镀厂周边地下水监测点数据显示，长期受违规排放废水影响，地下水重金属铅、镉含量超出《地下水质量标准》Ⅲ类标准限值数倍，严重威胁地下水生态安全。

1.2 固体废弃物不当堆存

工业生产产生的矿渣、炉渣、化工废渣等固体废弃物，若随意露天堆放，在雨水冲刷和淋溶作用下，有害物质随雨水下渗进入地下水。据统计，我国部分工业集

中区存在大量不规范固体废弃物堆场。以某煤矿集中区为例，煤矸石堆场周边地下水监测显示，部分监测点地下水pH值低至3-4，呈强酸性，且含有高浓度的硫酸盐、铁、锰等污染物，地下水酸化并携带多种污染物，导致周边生态环境恶化。

1.3 化学品储存与泄漏

工业场地储存大量化学品，储存设施老化、破损或管理不善易引发泄漏事故。据相关行业事故统计，过去五年间，因化学品储存问题导致的泄漏事故年均发生数十起^[2]。油库油罐泄漏会使石油类物质进入地下水，农药厂化学品储存罐破裂则造成农药成分随地下水迁移扩散。以某农药厂泄漏事故为例，事故发生后周边5平方公里范围内地下水受到污染，监测发现多种农药成分浓度超出安全限值10倍以上，污染范围广、危害大。这些泄漏的化学品毒性大、难降解，对地下水环境和人体健康构成严重威胁。

1.4 生产工艺落后与设备老化

部分老旧工业企业生产工艺落后，资源利用率低，污染物产生量大。同时，生产设备老化，密封性差，跑、冒、滴、漏现象严重。据调查，我国部分传统制造业企业设备平均使用年限超过15年，老化率达30%以上。以某小型化工企业为例，因设备老化，生产过程中每年泄漏的有机溶剂达数吨，导致周边地下水有机污染物浓度显著升高。

针对地下水污染程度，可建立如下分类标准：轻度污染为污染物浓度超出《地下水质量标准》Ⅲ类标准限值1-2倍；中度污染为超出2-5倍；重度污染为超出5倍以上。通过明确污染原因及分类标准，可为后续污染治理提供科学依据，进一步推动工业场地地下水环境逐步改善。

为更直观、系统地呈现污染来源、污染物类型及其危害，现将主要污染原因梳理如下表所示：

工业场地地下水污染成因、污染物及危害分析表

污染原因	主要污染物类型	污染途径	典型危害及案例
工业废水违规排放	重金属（铅、汞、镉）、COD超标有机物、酸碱物质	废水直接排入地表水体或渗井、渗坑	某电镀厂周边地下水铅、镉含量超出《地下水质量标准》Ⅲ类标准限值数倍，威胁生态安全
固体废弃物不当堆存	酸性物质、硫酸盐、铁、锰等	雨水冲刷淋溶，有害物质渗入地下水	某煤矿区煤矸石堆场导致周边地下水pH值降3-4呈强酸性，恶化生态环境
化学品储存与泄漏	石油类物质、农药成分	储存设施老化破损，化学品泄漏扩散	某农药厂泄漏致周边5平方公里地下水农药成分超标10倍以上，污染范围广、毒性难降解
生产工艺落后与设备老化	有机溶剂等有机污染物	设备跑、冒、滴、漏，污染物持续泄漏	某小型化工企业因设备老化，每年泄漏数吨有机溶剂，提升周边地下水有机污染物浓度

从表格数据分布可见，工业废水违规排放因涉及污染物种类多、毒性强，成为最主要的污染源；固体废弃物堆存引发的酸性污染问题不容忽视，尤其在矿业集中区域；而化学品泄漏和设备老化则以突发性、持续性污染为特征，治理难度较大。

2 工业场地地下水污染控制技术

2.1 源头预防技术与措施

2.1.1 严格落实污染防治措施

项目建设阶段，严格执行环境影响评价制度和“三同时”制度，确保污染防治设施与主体工程同步设计、施工、投产。以某新建化工园区为例，在项目规划时，对每个入园化工项目全面评估其地下水环境影响，提出针对性防治措施，如要求企业设置多级废水收集池和防渗管网，确保生产废水全部收集^[3]。在日常监管中，建立健全环境监管机制，加大检查频次和力度。某地曾查处一家违规排放含镉废水的电镀厂，该厂为节省成本，私自停用废水处理设备，将废水直接排入渗井。环保部门发现后，依法对其处以高额罚款，并责令停产整顿，直至整改达标。

2.1.2 改进生产工艺和设备

鼓励企业采用先进生产工艺和设备，提高资源利用率，减少废弃物产生。在化工生产中，推广绿色化学合成工艺，采用无毒无害原材料和催化剂。如某农药企业引入新型催化合成技术，以生物基原料替代传统有毒原料，其结果降低了生产成本的同时，还使废水中的有机污染物排放量减少了80%，从源头上减轻了对地下水的污染压力。

2.1.3 加强工业废弃物管理

建立完善的工业废弃物分类收集、运输和处置体系，确保危险废物按规定收集、储存、运输和处置。危险废物应存放在专门储存设施中，具备防渗漏、防扬散、防流失等功能，并定期转运和处置。

2.2 过程控制技术

2.2.1 工业园区地下水溯源及预测预警技术

该技术利用模型反演计算、粒子示踪、指纹识别等方法，结合地质与水文地质数据、污染监测数据和关键受体暴露数据，准确识别污染源，评估污染风险并进行预警。通过建立数值模型模拟地下水流场和污染物迁移，预测污染物扩散路径和浓度变化。

2.2.2 地下水污染阻隔技术

地下水污染阻隔技术包括垂直阻隔墙和水平阻隔层。其中，垂直阻隔墙常用材料有钢板桩、混凝土桩、土工膜等，适用于不同深度和地质条件。而水平阻隔层采用土工合成材料、黏土、混凝土等，防止污染物向上或向下迁移。

2.3 末端治理技术

2.3.1 抽出-处理技术优化

抽出-处理技术主要通过污染区域布置抽水井，将受污染地下水抽取到地面进行处理，处理后的水可回注或排放。该技术适用于多种污染类型，尤其在处理重度污染地下水方面具有优势，但对吸附性较强污染物和渗透性较差的含水层存在局限性^[4]。其优点是操作简单、技术成熟，能快速降低污染物浓度，但同时存在能耗高、运行成本高、可能影响生态环境等问题。

2.3.2 多相抽提技术优化

借助真空提取手段，同时抽取土壤气体、地下水和浮油层到地面，经相分离后分别处理。该技术适用于易挥发、易流动的非水相液体污染，修复效率高、影响面积大，但对渗透性差和地下水水位变动大的场地不适用。其优势是对环境扰动小，但设备投资和运行成本高，适用性受场地条件影响大^[5]。为扩大该技术的适用范围，可研发新型的真空提取设备和工艺，提高对不同地质条件的适应性。

2.3.3 空气注入技术优化

空气注入技术是将空气注入地下污染区域，增加地下水溶解氧含量，促进好氧微生物降解污染物，同时产

生气提作用使污染物挥发。该技术适用于处理挥发性和半挥发性有机污染物,对地质条件有一定要求。其优点是能原位修复、成本相对较低,但对污染物种类有选择性,修复效果受多种因素影响。为提高该技术的修复效果和适用范围,可优化空气注入的方式和参数,如采用脉冲式注入、分层注入等方法,提高空气的利用率和污染物的接触效果。

2.4 地下水污染监测与应急响应技术

第一,在监测方面,需打造多层次、多要素的动态监测网络,依据工业场地布局、地下水流向及污染源分布,合理设置长期监测井与临时监测点,监测水位、水质(含常规指标与特征污染物)、水温等要素;第二,在应急响应上,要制定完备预案,明确组织架构、职责与响应流程。

3 工业场地地下水污染修复技术

3.1 原位修复技术

3.1.1 原位化学氧化还原技术

向地下水注入氧化剂或还原剂,利用氧化还原反应降解污染物。如芬顿试剂可降解苯系物,零价铁能还原六价铬。但该技术受地质条件制约大,土壤成分会消耗药剂,低渗透性区域传输效率低,反应条件要求严苛,pH值等因素显著影响效果。

3.1.2 原位微生物修复技术

借助微生物代谢分解污染物,转化为无害物质,适用于石油污染场地^[6]。修复效果受微生物活性、环境条件及污染物特性影响,高浓度污染需预处理,低温环境可通过添加营养盐等方式强化修复。其成本低、二次污染少,但修复周期长。

3.2 异位修复技术

3.2.1 异位化学淋洗技术

挖掘污染土壤后,用淋洗剂将污染物转移至液相分离去除,对重金属及半挥发性有机污染物有效,处理周期短,可回收污染物,但需注意淋洗剂对土壤影响及二次污染防治。

3.2.2 热脱附技术

通过加热使污染物挥发或分解,分低温、高温处理不同污染物,去除率高,但能耗与成本大,需配套尾气处理。常结合真空抽提技术,提升污染物回收效率。

结语:工业场地地下水污染问题严峻,对生态环境和人类健康构成长期威胁。本文从污染源头、过程及末端等多维度剖析了污染成因,构建了基于污染物浓度超标倍数的污染分类标准,并系统阐述了源头预防、过程控制与末端治理等多样化控制技术,以及原位、异位修复等修复技术。实际应用中,需依据场地特性与污染状况,科学选择适宜技术组合。

参考文献

- [1]刘晓伟.水污染防治中的问题及控制技术优化探讨[J].清洗世界,2022,38(05):73-75.
- [2]周爽.水污染防治中的问题及控制技术优化探讨[J].科技资讯,2020,18(12):63-64.
- [3]乔妮.关于水污染防治中的问题及控制技术优化分析[J].模型世界,2022(9):25-27.
- [4]戈平静.工业场地地下水污染控制与修复探究[J].资源节约与环保,2022,37(5):57-60.
- [5]谭人伟.关于水污染防治中的问题及控制技术优化[J].低碳世界,2019,9(09):26-27.
- [6]吴强.水污染防治中的问题及控制技术优化探讨[J].电脑爱好者(电子刊),2020(3):2455-2456.