

化工园区地下水污染技术的要点及应用分析

梁 信

江苏众川生态环境有限公司 江苏 南京 210019

摘 要：本文分析化工园区地下水污染技术要点及应用。阐述地下水污染基础认知，包括概念、特征和危害；介绍污染源头防控、迁移阻隔、治理修复技术要点；探讨不同污染类型、程度下的技术应用及协同配合，提及技术集成化与智能化发展趋势，为化工园区地下水污染治理提供技术参考。

关键词：化工园区；地下水污染；污染治理技术；技术应用；修复技术

引言：随着化工产业的快速发展，化工园区数量与规模持续扩大，地下水污染问题日益凸显。化工园区地下水污染具有污染物种类复杂、污染源头集中、迁移非均质、累积性强等特征，对人体健康、农业生产、生态环境及水资源利用等多方面造成严重危害。有效防控与治理化工园区地下水污染，成为保障生态环境安全与可持续发展的关键。本文将深入探讨化工园区地下水污染的技术要点及应用方向，并分析其未来发展趋势。

1 化工园区地下水污染基础认知

1.1 地下水污染概念界定

地下水污染指地下水体因外界物质侵入而改变原有化学、物理或生物性质的过程。这些物质可能来自地表渗透、地下管线泄漏或人为排放，通过土壤孔隙、岩石裂隙等通道进入地下水系统^[1]。当此类物质的浓度超过地下水环境本底值，导致水体无法维持原有生态功能或使用价值时，污染即已形成。污染过程往往具有隐蔽性，污染物在地下的迁移路径受地质结构、水文条件影响，不易被直接观察。不同区域的地下水本底值存在差异，判断污染需结合特定环境背景，并非所有外来物质介入都构成污染。

1.2 化工园区地下水污染的特征

化工园区地下水污染涉及的污染物种类繁多，包括各类有机溶剂、重金属、农药中间体等。这些物质多具有强毒性和难降解性，在地下环境中可长期留存。污染源头呈现集中性，主要来自生产装置泄漏、储罐区渗液、污水处理设施故障等环节，形成多个污染释放点。污染物在地下的迁移呈现非均质性，受含水层岩性变化、地下水流速差异影响，污染羽形态不规则，可能沿优势通道快速扩散，也可能在局部区域聚集。污染过程具有累积性，短时间内泄漏的污染物可能在土壤和地下水中不断积累，经过数年甚至数十年才显现出明显的污染效应。污染与园区生产活动关联紧密，生产工艺调

整、产品更换可能导致污染物种类和排放量发生变化，使污染特征随之改变。

1.3 化工园区地下水污染的危害

污染后的地下水若进入饮用供水系统，会对人体健康构成威胁，污染物通过食物链传递，在生物体内富集。农业灌溉使用受污染的地下水，可能导致农作物生长异常，品质下降，影响食用安全性。地下水污染会破坏土壤与地下水之间的物质交换平衡，导致土壤微生物群落结构改变，降低土壤肥力，阻碍植物根系发育。污染物质在地下迁移过程中，可能腐蚀地下构筑物 and 金属管线，缩短其使用寿命，增加维护成本。受污染的地下水若渗入河流、湖泊等地表水体，会改变水体的化学组成，影响水生生物的生存环境，破坏水生态系统的稳定性。污染还可能导致地下水硬度、酸碱度等指标异常，使原本可利用的地下水资源失去使用价值，加剧水资源紧张状况。某些污染物可与地下水中的矿物质发生化学反应，生成新的有害物质，进一步扩大污染影响范围，对地下生态系统的完整性造成破坏。

2 化工园区地下水污染技术要点

2.1 污染源头防控技术要点

污染源头防控需从生产环节入手，减少污染物进入地下环境的可能。生产装置的密封处理是关键，采用耐腐蚀材料制作的阀门和管道接口，这类材料具有抗酸碱腐蚀特性，可降低因设备老化导致的泄漏风险^[2]。储罐区需设置防渗层，选用高密度聚乙烯或黏土等防渗材料，高密度聚乙烯具有良好的抗渗性和柔韧性，黏土则能通过颗粒紧密结合形成连续完整的隔离屏障，阻止储罐内物质渗入土壤。原料和成品的堆放区域应铺设硬化地面，坡度设计需引导渗漏液流向收集池，避免液体直接渗透至地下。废水处理设施需强化防渗设计，处理池底部和侧壁采用复合防渗结构，防止处理过程中产生的污染物外渗。生产过程中产生的废渣需存放在封闭容器

中,放置区域设置防渗围堰,防止雨水冲刷携带污染物进入地下水体。定期对生产设备和储存设施进行检修,及时更换老化部件,可减少突发泄漏的概率。在生产区域安装渗漏监测装置,通过土壤气体采样或液体传感器,实时捕捉可能的泄漏信号,便于及时采取应对措施。

2.2 污染迁移阻隔技术要点

污染迁移阻隔通过构建物理或化学屏障,阻止污染物在地下水中扩散。垂直防渗墙适用于污染区域周边,采用高压喷射注浆或地下连续墙工艺,高压喷射注浆能使浆液与地层充分混合,地下连续墙则可形成整体性强的墙体,形成深度直达隔水层的墙体,阻断污染物横向迁移路径。水平防渗层可铺设在污染区域下方,选用渗透系数极低的土工膜,配合膨润土垫增强防渗效果,膨润土遇水膨胀后能填充微小缝隙,限制污染物向下渗透。帷幕灌浆技术通过向岩层裂隙注入水泥或化学浆液,填充空隙形成不透水带,阻止污染物沿裂隙扩散。电动阻隔利用电场作用,使带电污染物向特定方向移动并被收集,适用于低渗透性土壤中的污染物控制。渗透反应墙内填充吸附材料,如活性炭或沸石,当污染地下水流经时,污染物被材料吸附或转化,降低迁移能力。阻隔设施需与周边地质条件适配,避免因结构失效导致阻隔效果下降。定期对阻隔设施进行完整性检测,通过压力测试或同位素追踪,判断是否存在缝隙或破损,及时进行修补加固。

2.3 污染治理修复技术要点

污染治理修复需根据污染物性质选择适宜技术。化学氧化技术向污染区域注入氧化剂,如过氧化氢或高锰酸钾,与污染物发生反应使其分解为无害物质,适用于处理有机污染物。还原修复技术则利用还原剂,如铁粉,与重金属离子发生反应,降低其毒性和迁移性。生物修复通过调节地下环境条件,如添加营养物质或调整pH值,促进微生物活性,使微生物分解污染物,适用于可生物降解的有机污染。抽出处理技术将受污染地下水抽取至地面,通过活性炭吸附或膜过滤去除污染物后回灌,适用于污染浓度较高的区域。热修复技术通过加热土壤和地下水,使挥发性污染物蒸发后被收集处理,适用于易挥发的有机溶剂污染。修复过程中需根据地下水流向和污染物分布,调整技术实施范围和强度,确保处理效果覆盖整个污染区域。不同修复技术可结合使用,形成协同作用,提升治理效率。在修复区域周边设置监测井,定期采集水样分析污染物浓度变化,为技术参数调整提供依据。对于复杂污染场景,可先通过预处理降低污染物浓度,再采用深度修复技术完成净化。

3 化工园区地下水污染技术应用方向

3.1 不同污染类型下的技术应用

有机污染以溶剂类和石油烃类为主,处理可采用化学氧化技术,注入氧化剂分解污染物分子结构。生物修复技术通过调控地下环境氧气含量和营养比例,促进微生物降解有机物质。某些难生物降解的有机污染物,可先经预处理改变化学性质,再引入微生物降解^[3]。重金属污染需针对性技术,还原修复技术将重金属离子转化为稳定形态,降低活性。渗透反应墙填充的吸附材料通过离子交换或沉淀作用截留重金属,移动性较强的重金属可在迁移路径设多级反应墙逐级降浓。复合型污染需结合多种技术,先以化学氧化去除易分解有机物,再用吸附材料处理残留重金属,形成阶梯式流程。处理中需关注污染物相互作用,避免产生新有害物质。放射性物质污染采用特殊阻隔技术,以高密度防渗材料限制迁移,配合抽出处理技术转移受污染水体至地面处理。地下水循环井技术在有机污染治理中表现突出,通过井内特殊结构形成循环流场,促使污染物在井周富集。循环中可投加氧化剂或生物营养剂,强化降解效果。对含苯系物、氯代烃等的污染水体,能提升药剂与污染物接触效率,加速反应。在重金属污染场景,循环井结合可渗透反应材料,使循环水流经材料层时,重金属被吸附或沉淀,实现原位处理。

3.2 不同污染程度下的技术应用

轻度污染区域污染物浓度低且范围有限,可采用生物修复技术,投放微生物制剂增强自然净化能力。设监测井跟踪变化,无需大规模干预,定期补充营养维持微生物活性。中度污染需结合阻隔与修复技术,在周边建防渗墙控扩散,用抽出处理技术降浓。处理中调整抽水量和频率适应扩散速度,后期逐步减强度过渡到自然恢复。重度污染区域污染物分布广且浓度高,需启动高强度方案,用热修复加速挥发性污染物挥发,配合化学氧化分解顽固污染物。在核心区设多层阻隔设施防迁移,监测地下水温避免影响地质。极重度污染可能伴随土壤与地下水复合污染,需先清表层受污染土壤,再对地下水体综合修复,多轮处理逐步降浓,每轮后检测指标确定后续方案。地下水循环井技术在中度污染区域可调节循环强度控范围,避免过度扰动环境。重度污染时,可与抽出处理技术结合,先经循环提浓再集中抽取,提高效率。污染程度下降后,逐步降低循环频率,直至指标稳定达标。

3.3 技术应用中的协同配合

源头防控与迁移阻隔需同步实施,生产环节防渗处

理减少污染物产生,可能泄漏区域外围设防渗墙形成双重防护。防渗材料选择需匹配生产物料性质,提高针对性。迁移阻隔与治理修复需衔接,防渗墙控范围后,修复技术集中作用于封闭区域污染物,提高效率。根据降解速度调整修复参数,保持效果稳定。不同修复技术协同可提升效果,生物修复前期用化学氧化打破污染物复杂结构,为微生物降解创造条件,两种技术作用时间需衔接避免干扰。抽出处理技术可与渗透反应墙配合,将污染地下水抽至反应墙区域,借材料吸附强化效果。抽水速率需与反应墙处理能力协调,确保污染物充分截留。监测技术贯穿全程,实时反馈污染变化,为技术调整提供依据。前期防控减负荷,中期阻隔限范围,后期修复消污染物,各环节形成连续链条覆盖全过程。技术配合需考虑地下水流向和地质结构,确保作用区域衔接紧密,避免处理盲区。地下水循环井可与渗透反应墙协同,循环流场引导污染水流向反应墙,提升材料吸附效率。生物修复中,循环井均匀分布营养,促进微生物繁殖避免局部失衡。与监测系统联动时,可作为采样点实时反映效果,为技术调整提供支持。

4 化工园区地下水污染技术发展趋势

4.1 技术集成化发展

技术集成化表现为不同功能的技术模块有机融合,形成高效处理体系。源头防控技术将防渗材料与监测装置结合,在阻隔污染物渗透的同时,实时捕捉泄漏信号^[4]。这种组合可快速响应初期污染,减少后续处理压力。迁移阻隔与修复技术的集成更为紧密,防渗墙构建时预留修复通道,便于后期向污染区域注入修复药剂,缩短技术转换时间。多种修复技术的集成形成阶梯式处理流程,先通过物理分离去除悬浮污染物,再利用化学氧化分解有机成分,最后依靠生物修复完成深度净化。集成系统可根据污染成分自动切换技术组合,适应复杂污染场景。技术集成还体现在设备小型化与多功能化,同一套设备可实现抽水、处理、回灌等多种操作,减少现场设备数量,降低施工难度。不同技术模块的接口标准化设计,使新增技术可快速接入现有系统,提升集成灵活性。集成过程中注重能量循环利用,将修复过程中产生的能量转化为设备运行动力,提高资源利用效率。集成技术需与园区地质条件适配,避免因环境差异影响协同

效果。

4.2 技术智能化发展

技术智能化依赖传感器网络与数据分析技术的应用,在污染区域布设的多参数传感器可实时采集水质、流速、污染物浓度等信息,数据通过无线传输至处理中心。智能算法对数据进行分析,识别污染扩散趋势,提前预警潜在风险。修复设备的智能化控制可自动调节运行参数,根据污染物浓度变化调整药剂投放量或处理强度,保持最佳处理效果。智能监测系统能自主选择监测点,优先采集污染边界和浓度突变区域的数据,提高监测针对性。地下机器人可深入复杂地质结构区域,替代人工完成采样和设备维护,减少对地下环境的干扰。智能化技术还能模拟不同修复方案的效果,通过虚拟场景推演优化技术组合,降低实际应用中的试错成本。智能系统的自我诊断功能可及时发现设备故障,自动启动备用方案,保障处理过程连续稳定。智能平台可整合历史污染数据,通过对比分析识别污染规律,为技术升级提供方向。远程操控功能使操作人员在中控室即可完成设备启停和参数调整,减少现场作业时间。不同智能系统间可实现数据共享,提升整体响应速度。

结束语

化工园区地下水污染治理是长期且复杂的系统工程,需综合运用多种技术手段。从源头防控到迁移阻隔,再到治理修复,各环节技术紧密配合,形成完整治理链条。技术集成化与智能化发展为治理带来新契机,提升了治理效率与精准度。未来,应紧跟技术发展趋势,不断创新完善治理技术,强化技术应用的科学性与有效性,守护好地下水这一宝贵资源。

参考文献

- [1]宗茹,万芝会,刘存臣.地下水污染修复技术的要点及应用分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(8):87-88,91.
- [2]褚可成,陈锲.土壤与地下水污染修复技术的应用研究[J].黑龙江科学,2022,13(16):31-33.
- [3]汤超,马宝强,王潇.地下水污染防治分区划分关键技术[J].黑龙江环境通报,2021,34(03):32-33.
- [4]张让.城市地下水污染治理与防治对策分析[J].当代化工研究,2021(23):92-94.