

石化“中医术”，专治“水土病”

中国石化自主研发系列技术呵护土壤及地下水健康

编者按

和人看病类似，土壤和地下水“生病”后，也要向“老中医”问诊，经过“预诊→诊疗→复查”的治疗步骤恢复健康。在这一过程中，“诊疗”环节无疑是实现“康复”的重中之重。为此，中国石化石油化工科学研究院自主研发出一系列先进技术，帮助石油石化企业的土壤及地下水保持健康。石化“中医术”都有哪些绝技？这些绝技的疗效如何？接下来让我们一起打开“老中医”的技术“百宝箱”，详细了解这些神奇的“中医术”。

本版文图由 任黎明 陈子佩 提供



TICR系列材料

【技术名称】

石化场地高效原位反应带/长效原位阻隔技术

【技术简介】

当污染发生后，当务之急是快速消除绝大部分污染物，之后再彻底消除剩余污染物，这就好比患者发高烧后，首先需要进行快速退烧缓解症状，防止病情加重，之后再慢慢拔除病根，实现标本兼治。为此，石科院自主研发HRT系列高反应传质传输纳米材料和TICR系列靶向识别可控缓释材料，这些材料可以在地下“主动出击”寻找污染物并将其快速捕集、分解或转化成无毒的物质。科学家将这些材料以原位注入方式在地下形成反应带，就好像为场地注入一剂“退烧针”，及时控制污染。

同时，科学家还可以在地下构筑原位阻隔带，提前设好围剿病根的“埋伏圈”。比如人们在服用汤药时，药片不会在胃中消化，只有到达肠道时才会溶化并释放药效，这个由靶向识别可控缓释材料构成的阻隔带也可以自动识别周遭环境，遇到污染物之前，这些包埋的微粒囊可以在地下潜伏待命，长久保持自身活性，当发生污染，“埋伏圈”识别到特征污染物后，这些包埋的微粒囊就会缓慢释放药物成分，让经过阻隔带的污染物被降解或去除。

【技术特点】

• 阻控效果好

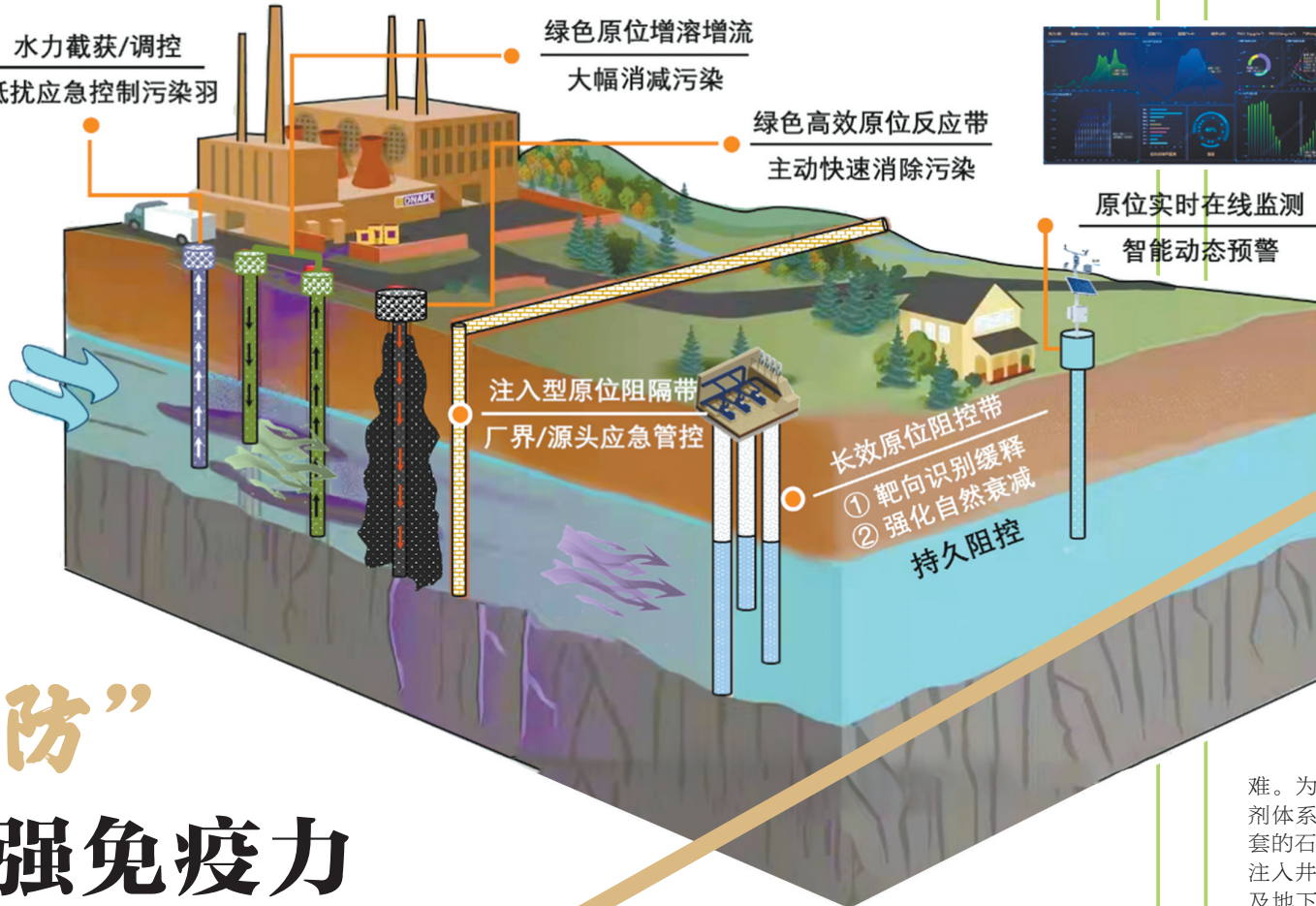
HRT系列材料单井注入后，影响半径可达现有技术的2倍以上，可以在8小时内消除99%以上的污染物。TICR系列材料对石油类、苯系物等石化特征污染物的捕集能力与现有技术相比可提升50%以上。

• 适用场景广

对场地环境扰动小，避免对环境进行大规模开挖，不受污染广度和深度的限制，特别适用于在产企业轻、中度污染的地下水长期风险管控，广泛适用于石油烃、苯系物、氯化烃等有机污染物，以及铅、镉、铬、砷等重金属污染物的治理，也可有效应对有机污染场地修复过程中的“拖尾反弹”。

• 持续时间长

TICR系列材料对活性组分的缓释速率小，注入后可以稳定缓释至少8个月，药效持久，呈现现有技术水平的2倍以上。同时，对活性组分的利用率能够提升2倍以上，可以通过更少药量收到同等疗效，节省治理成本。



“刮骨疗毒” 妙手回春

【技术名称】

绿色原位溶灌增流修复技术

【技术简介】

石油烃、氯代烃等NAPL类污染物是土壤和地下水治理的难题，它们会在地下形成水-土-气-油四相复杂系统且不断迁移；有些会向下穿过土壤层，“漂浮”在地下水中；有些会直接穿过含水层，滞留在底板附近；有些则随着渗流路线滞留油团，行踪诡秘、治理困难。为此，石科院自主研发出SPB系列生物基增溶增流药剂体系，让这些难溶的污染物变得易于溶解流动。通过配套的石科院自主研发注-抽一体化设备，科学家可将药剂通过注入井注入地下，把被束缚、自相和NAPL类污染物从土壤及地下水中“赶”出来并溶解于药剂中，大幅减少土壤及地下水中的污染物残留。当污染物充分溶解后，科学家再将溶解这些污染物的药剂从地下抽出，在地面进行分离净化，将注入的药剂进行回收再利用，就好比对地下水进行了一次“洗胃”，让受污染的地下水快速“吐”出有毒物质。

【技术特点】

• 适用范围广

广泛适用于化工厂、油田、垃圾填埋场和其他潜在有机污染物的场地修复，如石油烃、氯代烃等NAPL类污染物。

• 清除效果佳

生物基增溶增流材料SFE-1配合助活性组分体系对硝基苯溶解度高达200克/升，与清水的溶解能力相比提升100倍以上；生物基增溶增流材料SFE-2配合助活性组分体系对四氯乙烯溶解度高达60克/升，与清水的溶解能力相比提升400倍以上；驱替试验中，增流效果占比40%左右，增流效果占比60%左右。



SFE-1增溶增流材料

【技术名称】

石化场地可注入型原位阻隔带技术

【技术简介】

当人生病时，可以通过“戴口罩”的方式防止病菌传播，避免传染他人。基于石科院自主研发的胶体生物炭-膨润土阻隔材料(CB系列)，科学家可以通过原位注浆方式将阻隔材料布置到地下形成原位阻隔带，相当于在地下为污染源戴上了一个“口罩”，阻止污染物透过阻隔带继续污染下游，从而将污染物阻隔在可控范围内，实现对有机污染物的快速阻断及长效管控。

【技术特点】

• 见效速度快

可以在厂区边界或污染源区对污染地下水的迁移进行快速阻断，对酸、碱、盐、有机类污染物(NAPL)负电荷冲击耐受性强，特别适合处理突发污染泄漏事件。

• 生产影响小

通过原位注浆的方式构筑阻隔墙，不需要在厂区内进行开挖等操作，不影响企业正常生产。

• 阻隔效果强

对石油类、苯系物等石化特征污染物可以达到100%阻控，提升耐酸耐碱NAPL侵蚀能力50%以上，有效消除现有技术无法在强酸强碱恶劣环境下应用的弊端。

【技术名称】

石化场地强化自然衰减技术

【技术简介】

除采取“戴口罩”“穿衣服”等手段预防生病外，增强自身免疫力也是实现“康复”的关键。正如人体可以通过自身免疫力抵抗病毒一样，生态系统也具有一定的消除污染并自我恢复的能力。生态系统可以依靠自然界的生物、化学和物理过程消除或减少污染物在土壤及水体中的浓度，这被称为“自然衰减”。石科院的科学家通过向地下原位注入空气、营养体系等方式，可以显著增强地下土著菌的排毒能力，大幅强化微生物、植物及其他生物体在特定物理和化学条件下发生的生物降解、氧化还原、吸附、挥发和迁移等能力，加速有害污染物自然降解、稀释、转化或迁移，快速恢复受污染环境的自然平衡，好比通过让病人多喝“绿豆汤”强化自身的排毒能力，缩短自愈时间。

• 经济性突出

相较传统的污染治理方法，强化自然衰减技术因为减少了对昂贵设备和化学药剂的依赖，可以大幅降低治理成本。

• 生态安全友好

依赖自然过程，最大限度地减少了外部资源的干扰，杜绝了部分传统治理方法可能引发的二次污染，有助于维持生态平衡和生物多样性。

治疗思路

污染源的精准识别是土壤及地下水污染防控修复的第一步，这需要开展场地污染风险调查与评估。科学家通过使用现场快速检测设备、物探设备、无人机等，依托地质勘探、地球化学分析、遥感及污染指纹溯源等先进技术，可以对场地进行“X光影像学检查”，初步探查污染分布区域。同时，还可以通过钻孔方式获取土壤及地下水样品进行“抽血化验”，通过一系列系统性的检查进一步明确污染的程度和范围，得出检查结果。科学家通过检查结果来判断“病情”，确定场地土壤及地下水是否被污染，以及污染物的类型、浓度和分布范围，进而整体评估环境污染风险和危害水平。

治疗难点

按《中华人民共和国土壤污染防治法》和《工矿用地土壤环境管理办法(试行)》的要求，石化企业需要定期自行开展土壤及地下水监测，及时发现和消除潜在的环境风险。但是，正如定期检查无法全面反映一个人的健康状况一样，即使体检结果一切正常，也不代表身体在未进行体检的时段内完全健康。同样，一两年开展一次的自行监测很可能无法及时检测到环境污染的早期迹象，一些环境问题可能会在两次监测的时间间隔快速发展，等到下一次监测发现时“病情”早已恶化，错过了早期管控修复的最佳机会。

“悬丝诊脉” 查明病因

【技术名称】

石化场地典型污染物原位实时在线监测技术

【技术简介】

作为石科院自主研发的高灵敏、高选择性在线监测技术，这项技术与传统的“定期体检”监测技术相比，就像一个可以实时监测企业生产运行状况并及时反馈各项指标的“运动手环”。基于石科院自主研发的小型化、低成本实时在线监测设备，以及集成的自动洗井、采样、分析等模块，科学家可以构建起一张石化企业的地下水污染监测网，对地下水水质实施全天候自动监测，并将监测数据实时、动态传递给在线监测系统平台汇总整理。通过实时、客观的第一手监测数据，科学家可对石化特征污染物浓度及排放情况进行准确判断，并对污染泄漏及污染羽的扩散态势给出有效预警，及时采取治疗措施，实现“早诊断、早治疗”。

【技术特点】

• 反应速度快

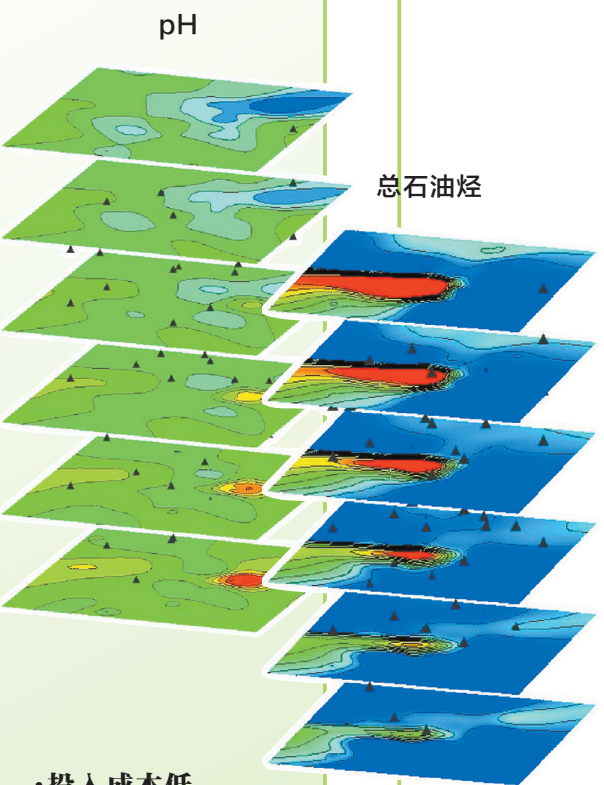
单次分析时间不超过10分钟，可实现对石化企业地下水水质的高频次检测。

• 生产扰动小

监测、预警不会影响企业的正常生产。

• 投入成本低

每年仅需少量维护工作，仪器的维护及损耗费用仅为传统人工采样、离线分析成本的20%。



治疗思路

污染源的及时阻断是土壤及地下水污染防控修复的第二步，这需要开展场地污染风险管控。发现“病情”后，当务之急是防止“病情”进一步恶化，科学家通过采用在地下水流动路径上建立原位阻隔带、阻截带及改变地下水流动方向等方式，快速阻断污染、梯次减弱污染或减缓污染物的传输途径，遏制污染进一步扩散。

治疗难点

石油石化企业的污染防控修复过程往往是不能让装置停车和生产停滞。如何在尽量不影响正常生产的情况下阻断污染源？这就对技术的扰动性提出了挑战，尽量不采取停产、挖掘等对环境扰动大、生产影响大的阻断方式。此外，污染一旦发生，扩散速度往往比较快，必须抓住疾病“早期”这一极短的时间，避免“病情”快速恶化，这就对技术快速起效、实时见效提出了很高的要求。

【技术名称】

石化场地可注入型原位阻隔带技术

【技术简介】

当人生病时，可以通过“戴口罩”的方式防止病菌传播，避免传染他人。基于石科院自主研发的胶体生物炭-膨润土阻隔材料(CB系列)，科学家可以通过原位注浆方式将阻隔材料布置到地下形成原位阻隔带，相当于在地下为污染源戴上了一个“口罩”，阻止污染物透过阻隔带继续污染下游，从而将污染物阻隔在可控范围内，实现对有机污染物的快速阻断及长效管控。

【技术特点】

• 见效速度快

可以在厂区边界或污染源区对污染地下水的迁移进行快速阻断，对酸、碱、盐、有机类污染物(NAPL)负电荷冲击耐受性强，特别适合处理突发污染泄漏事件。

• 生产影响小

通过原位注浆的方式构筑阻隔墙，不需要在厂区内进行开挖等操作，不影响企业正常生产。

• 阻隔效果强

对石油类、苯系物等石化特征污染物可以达到100%阻控，提升耐酸耐碱NAPL侵蚀能力50%以上，有效消除现有技术无法在强酸强碱恶劣环境下应用的弊端。

【技术名称】

基于气流迁移助剂的强化气动力修复技术

【技术简介】

石油烃、苯系物、硝基苯等挥发性和半挥发性有机污染物是石化行业主要的污染源。由于这些污染物比较容易挥发到气体中，因此可通过曝气的方式进行去除，也就是向地下水中通入气体来“吹泡泡”，让这些污染物挥发溶解到吹出的“泡泡”中，然后再通过配套的气体抽取或吸附收集系统，将这些包含污染物的“泡泡”抽提到地面开展后续处理，去除其中的污染物。石科院的科学家通过向气体中添加自主研发的ASB系列气流迁移助剂，一方面可以增加气泡的柔韧度和稳定性，使气流更大、更均匀，提升地下水中的气流速度和度，能在地下水中吹出更多吸附污染物的“泡泡”，使土壤和地下水中的污染物更容易与“泡泡”接触；另一方面可以提升气流与污染物的传质效率，也就是让污染物更容易溶解在“泡泡”中，使“泡泡”能带出更多的污染物，提升气动力修复效率。

【技术特点】

• 修复效果好

自主研发的气流迁移助剂使地下水气流饱和度>30%，修复效率较现有技术提升2倍以上，复杂地层及面积扩大30%。

• 经济性好

修复成本较传统气动力修复技术降低10%以上，特别适合对大面积污染的化工厂、加油站、围堰处理站等进行修复。

“康复”的土壤



【技术名称】

绿色新型淋洗-生物耦合修复技术

【技术简介】

针对油污污染或化学物质渗透所造成的土壤污染，石科院自主研发绿色新型淋洗-生物耦合修复技术。利用专门清洗土壤油污的特殊“洗洁精”——RP-1土壤淋洗剂，科学家可以像用洗洁精清洗碗碟上的油污一样，通过用淋洗剂给油污土壤“药浴”的方式洗走土壤中的大部分油污。之后，科学家通过“微生物-植物”联用工艺，利用自主研发的BA系列高效修复菌剂中的细菌“吃掉”土壤中剩余的油污，再利用植物对于重建土壤生态的积极作用，通过种植槐、栎、甜高粱等耐盐碱植物，与修复菌剂紧密耦合根除病根。

通过“清洗剂+菌剂+植物”的“组合疗法”，石科院的科学家可将土壤中的油含量从20%以上大幅降至0.45%以下，修复后的土壤符合国家二类建设用地土壤的质量标准，可用于城市建设、绿地、道路建设等。经业界专家鉴定，该技术整体达到国际先进水平。

【技术特点】

• 淋洗效率高

在RP-1土壤淋洗剂使用浓度≤3%的极少用量下，可以将土壤中的油含量从20%大幅降至2%以下，淋洗效率高达90%以上。淋洗剂成本与市场销售的同类产品相比低二至六成，而去除石油污染的效果可达美国、捷克等同类产品的十倍以上，吨处理成本较现有技术降低63%。

• 适合恶劣环境

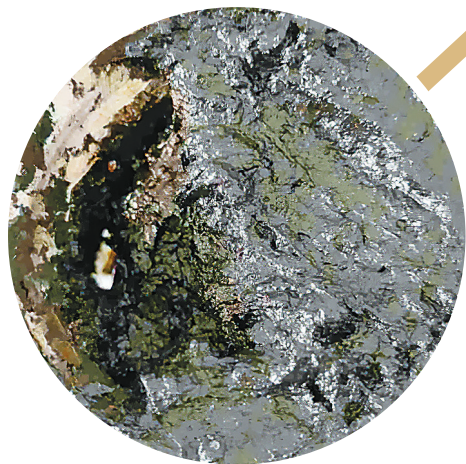
嗜盐菌可以在矿化度高达7000毫克/千克的盐碱地上使用，非常适合位于滩涂地区的油气田企业应用。

• 环境兼容性好

RP-1淋洗剂利用豆粕、玉米浆等天然原料生产，不会对土壤产生二次污染，更不会给土壤中的微生物造成伤害，也不会像传统焚烧处理一样产生大量二氧化碳和有毒有害气体，符合绿色低碳的理念。

• 修复周期短

规模化应用数据表明，修复周期可大幅缩短至6个月内，与现有技术相比缩短40%以上。



土壤“治疗”前

