



编者按

# 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

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”。

本文版图由任黎明 陈子佩 提供

## 知识链接

### 石化“老中医”妙手回春三步骤

#### 预诊

**问症状:**对现场环境状况实地踏勘，与相关人员深度访谈，详细了解目前土壤及地下水的“症状”。

**看病史:**系统收集地块地质水文资料及地块利用情况变迁等历史资料，对场地的历史及现状全面深入了解。

#### 诊疗

**做检查:**结合物探、遥感、地球化学分析等先进技术，利用污染指纹溯源技术对场地进行“西医诊断”，分析检测结果，凭借专业场地修复知识和丰富经验做出诊断。

**开药方:**通过检查判断“病情”严重程度（污染程度），结合“患者”自身诉求（企业的特殊需求）及规定的修复指标（相应的国家标准），为场地制订治疗计划，从治疗技术“百宝箱”中对症选取适当技术，对场地开展管控与修复。

#### 复查

**保康复:**在“诊疗”过程中持续开展过程监测，跟踪治疗效果。同时，持续开展环境修复状况评估，根据实施进展动态调整“治疗”方案，最终实现“康复”，使场地各项环境指标达到国家标准和企业要求。

**促预防:**结合本次“诊疗”经验，为企业梳理“临床指南”，详细记录企业的场地条件、分析监测及防控修复手段等，为企业记录“病史”、解释“病因”，分析“体质”，给出有针对性的预防建议和治疗指导，并帮助企业建立“药品”储备库，配置好私人“小药箱”。如此一来，石化企业日后再遇到“小病”时，可以参照指南自行诊断，并且自行对方抓药进行简单治疗，而不是无论大病小病都要去找“老中医”。

## 治疗思路

污染源的精准识别是土壤及地下水污染防治修复的第一步，这需要开展现场快速检测设备、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，可以对场地方进行“X光影像学检查”，初步摸查污染分布区域。同时，还可以通过钻孔等方式获取土壤及地下水样品进行“抽血化验”，通过一系列系统的检测结果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”，确定场地方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，正如定期体检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

## “未病先防”增强免疫力

### 【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】

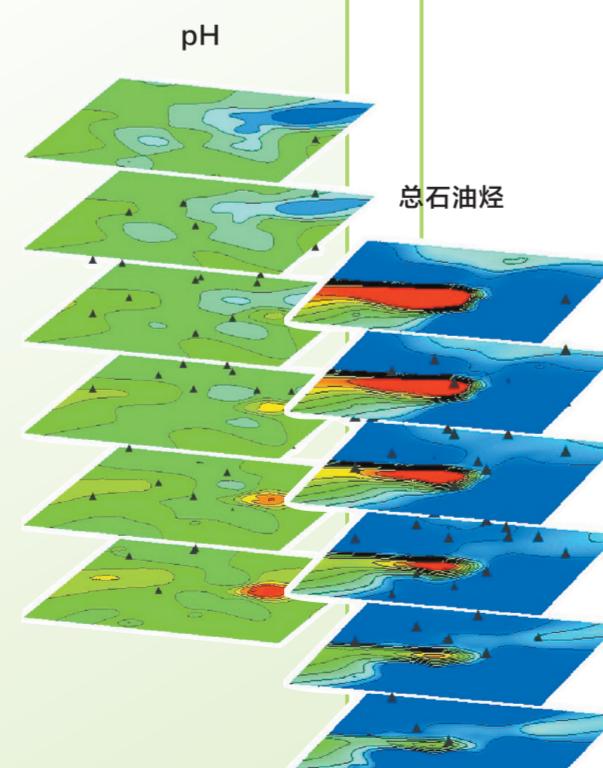
作为中科院自主研发的高灵敏、高选择性在线监测技术，这项技术与传统的“定期体检”监测技术相比，就像一个可以实时监测企业生产运行状况并及时反馈各项指标的“运动手环”。基于中科院自主研发的小型化、低成本实时在线监测设备，以集成了自动洗井、采样、分析等模块，科学家可以构建起一张石化企业的地下水污染监测网，对地下水水质实施全天候自动监测，并将监测数据实时、动态传递给在线监测系统平台汇总整理。通过实时、客观的第一手监测数据，科学家可对石化特征污染物浓度及排放情况进行准确判断，并对污染泄漏及污染羽的扩散态势给出有效预警，及时采取治疗措施，实现“早诊断、早治疗”。

#### 【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、预警不影响企业的正常生产。

**·投入成本低** 每年仅需少量维护及损耗费用仅为传统人工采样、离线分析成本的20%。



土壤“治疗”前

## 治疗思路

污染源的及时阻断是土壤及地下水污染防治修复的第二步，这需要开展场地方污染风险管控。

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

石油化企业的污染防治修复过程往往不能让装置停车和生产停滞。如何能够在不影响正常生产的情况下阻断污染源？这就对技术的联动提出了挑战，尽量不采用停机等对环境扰动大的生产影响大的判断方式。此外，污染一旦发生，扩散速度往往比较快，必须抓住病灶“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”等手段预防之外，增置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含量，这被称为“自然衰减”。石科院的科学家通过地下原位注入空气、营养体系配方等方式，可以显著增强地下土壤的排毒能力，大幅强化微生物、植物及其他生物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，好比通过让人多喝“绿豆汤”增强自身的排毒能力，缩短自愈时间。

#### 【技术特点】

**·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能源的干扰，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。

**·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，提升耐酸碱盐NAPL浸蚀性能50%以上，有效消除现有技术无法在强酸碱恶劣环境下应用的弊端。

## 【技术名称】

### 石化场地高效原位反应带/长效原位阻控带技术

#### 【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，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系列向气提控缓释材料，这些材料可以在地下“主动出击”寻找污染物并将其快速捕获、分解或转化为无毒的物质。科学家将这些材料以原位注入方式在地下形成反应带，就好似为场地注入一剂“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控带，提前设置围剿病魔的“埋伏圈”。比如人们在服用肠溶片时，药片不会在胃中溶化，只有到达肠道时才会溶化并释放药物，这个由靶向识别可缓释材料构成的阻控带也可以自动识别周遭环境，遇到污染物之前，这些包埋的微胶囊可以潜伏在地下潜伏待命，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，这些包埋的微胶囊就会缓释药物成分，让经过阻控带的污染物被降解或去除。

#### 【技术特点】

**·阻控效果好** HRT系列材料单剂注入后，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系列材料对石油烃、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** 对场地方环境扰动小，避免对环境进行大规模开挖，不受污染广度和深度的限制，特别适用于在产能轻、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、氯代烃等有机污染物，以及铅、铬、镁、砷等重金属污染物的治理，也可有效应对有机污染场地治疗过程中的一剂“退烧针”，及时控制污染。

**·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几个月，药效持久，是现有技术水平的2倍以上。同时，对活性组分的利用效率能够提升2倍以上，可以通过更少药量收到同等疗效，节省治理成本。

## 【技术名称】

### 绿色高效原位增溶增流修复技术

#### 【技术简介】

对场地方环境扰动小，避免对环境进行大规模开挖，不受污染广度和深度的限制，特别适用于在产能轻、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、氯代烃等有机污染物的治理，也可有效应对有机污染场地治疗过程中的一剂“退烧针”，及时控制污染。

#### 【技术特点】

**·大幅提升气动力** HRT系列材料单剂注入后，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系列材料对石油烃、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。

**·治疗思路**

#### 治疗思路

污染后的修复治理是土壤及地下水污防控修复的第三步，这需要开展场地方污染修复。

科学家先通过原位淋洗、原位增溶增流等技术大幅降低污染浓度，然后通过构建原位反应带快速消灭难降解污染物，最后通过营养元素、微生物修复等措施为土壤及地下水补充营养，强化自然衰减功能，促进其自行“疗伤”，将“病根”全面拔除，最终将有毒有害的污染物转化为无害物质或使其浓度降低到符合国家相关标准的可接受水平，恢复相应土壤及地下水的环境功能或使用功能。

#### 治疗难点

想要被污染的土壤及地下水“一键复原”，难题是一是保障治疗效果。由于石化场地方污染种类多、情况杂、区别大，采用单一的治疗方法难以收到疗效，科学家必须联用物理修复、化学修复、生物修复等多种方法来进行“组合治疗”，克服传统修复方法的局限性，从而提升“疗效”。这就要求科学家必须合理“开方”，让不同种类的技术充分发挥各自的作用，实现各司其职、珠联璧合。难题之二是防止二次污染，所谓“药三分毒”，治疗土壤及地下水时，必须要保证技术手段不能对场地造成二次污染，这就对技术的生态友好性、绿色环保性提出了很高的要求。难题之三是压实压密修复时间。土壤及地下水“康复”的时间越久，对生态环境造成的负面影响就越大。但是“病来如山倒，病去如抽丝”，如何在尽可能短的时间内快速治愈“病情”？这就对治疗手段提出了较高的要求。

## 【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物来源。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，也就是向地下水水中通入气体来“吹泡”，让这些污染物挥发溶解到吹出的“泡池”中，然后可通过配套的气体抽取或吸收收集系统，将这些包含污染物的“泡池”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ASE系列气流迁移助剂，一方面可以增加气流的柔韧度和稳定性，使气流更大、更均匀，提升地下水中的气流速度和稳定性，能在地下水水中吹出更多吸附污染物的“泡池”，使土壤和地下水中的污染物更容易“气泡”接触；另一方面可以提升气流与污染物的传质效率，也就是说是污染物更容易溶解在“泡池”中，使“泡池”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、固废处理站等进行修复。

## 【技术名称】

### 绿色新型淋洗-生物耦合修复技术

#### 【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-油四相复杂系统不断迁移：有些会向下穿过土壤层，“漂浮”在地下水水中；有些会直接随着漂移路线遇油险境，治理困难。为此，石科院自主研发出SFE-I系列生物基增溶增流修复剂体系，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组装注-抽一体化设备，将药剂通过注入井注入地下，把残余相、自有相NAPL类污染物从土壤及地下水水中分离出来，大幅减少土壤及地下水中的污染物浓度。当污水中的油污充分溶解后，科学家再将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”出有害物质。

#### 【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源的场地修复，如石油烃、氯代烃等NAPL类污染物。

##### ·环保性能好

药剂采用糖蜜等天然原料，利用微生物代谢作用，不对地下水产生二次污染，更不会对地下水产生二次污染，更不会对地下水产生二次污染，也不会像传统焚烧处理一样产生大量二噁英和有毒有害气体，符合绿色低碳的理念。

#### 【技术特点】

##### ·淋洗效率高

RP-I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，更不会对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噁英和有毒有害气体，符合绿色低碳的理念。

##### ·环境兼容性好

RP-I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，更不会对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噁英和有毒有害气体，符合绿色低碳的理念。

##### ·适合恶劣环境

嗜盐菌可以在矿化度高达70000毫克/千克的盐碱地上使用，非常适合位于滩涂地区的油田企业应用。

##### ·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。



## “刮骨疗毒”妙手回春



## 【技术名称】

### 绿色原位增溶增流修复技术

#### 【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-油四相复杂系统不断迁移：有些会向下穿过土壤层，“漂浮”在地下水水中；有些会直接随着漂移路线遇油险境，治理困难。为此，石科院自主研发出SFE-I系列生物基增溶增流修复技术体系，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组装注-抽一体化设备，将药剂通过注入井注入地下，把残余相、自有相NAPL类污染物从土壤及地下水水中分离出来，大幅减少土壤及地下水中的污染物浓度。当污水中的油污充分溶解后，科学家再将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”出有害物质。

#### 【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源的场地修复，如石油烃、氯代烃等NAPL类污染物。

## &lt;h