

# 修复一方土地，守护绿色生态

## ——中国恩菲土壤修复业务发展回顾

云 种

但存方寸地，留与子孙耕。土地是山的命脉，是三农之本，更是社稷之本。

作为国内较早成立的科研设计单位，中国恩菲经过65年发展历程，始终将生态文明作为发展之路上的初衷和坚守，面对土壤污染的严峻形势，投身土壤修复行业，针对矿山、冶炼厂、化工厂等污染场地以及受到污染的农田、河道等各种用地开展修复工作，掌握了重金属和有机物污染场地土壤和地下水治理的核心技术，积累了丰富的工程经验，不仅为保护和恢复行业绿色发展发挥作用，着力打造优势品牌业务，更彰显了国家队投身绿色环保、建设生态文明的责任和担当。



合浦县石场采矿生态修复实施方格网项目

每一片荒芜都曾拥有绿色，每一块沙漠也曾相遇绿洲。在自然和人类活动的作用下，“地球的皮肤”——土壤受到了侵蚀或污染，我国水土流失面积为356万平方公里，沙化土地174万平方公里，每年流失的土壤总量达50亿吨，全国113108座矿山中，采空区面积约为134.9万公顷，采矿活动占用或破坏的土地面积238.3万公顷，植被破坏严重。2014年环保部和国土资源部联合发布《全国土壤污染状况调查公报》显示，全国土壤超标率超过16%，土壤修复迫在眉睫。

党的十九大报告指出，要“强化土壤污染管控和修复，加强农业面源污染防治，开展农

村人居环境整治行动。加强固体废弃物和垃圾处置。”这是党中央对生态文明建设和生态环境保护做出的重要安排。

中国恩菲是为恢复和发展国家有色金属工业而诞生的企业，金色的梦想一直闪耀在中国恩菲遍布世界各地的卓越业绩里。

中国恩菲是为推进行业技术进步和产业升级而发展的企业，蓝色的希望伴随着不断创新，铺就了一条高技术高质量发展的道路。

中国恩菲是为生态文明建设而不懈努力的企业，绿色的责任他们从未遗忘，他们修复的不仅仅是一方土地，而是生命共同体中的重要组成。



环江毛南族自治县才秀河道沉积泥沙治理二期工程

里)及河床两岸尾砂、废矿石及河道内淤积尾砂，总量约为2.5万立方米。实施生态修复工程，砌筑护岸2184立方米，河滩生态修复面积1.53万立方米。场地内的尾砂为Ⅱ类固废，经固化稳定化处理进行填埋处置。

2010年前，刁江南丹段有72家涉重金属冶炼企业，生产技术落后，污水直排刁江，废渣露天堆放，重金属污染严重。为治理刁江，中国恩菲通过南丹县龙泉矿冶总厂铅锌冶炼厂、锡冶炼厂旧址污染场地治理工程，解决了刁江流域铜江河的污染源问题。治理面积约15万平方米，对场地内的一般工业固体废物和污染土壤进行分类清挖收集和暂存，运用自主设计的固化稳定化处理工艺和装备系统，对Ⅱ类固废和重度污染土壤进行固化稳定化处理，养护达标后进行填埋处置，实现对重金属污染物的治理和风险管控。对山顶废弃烟囱、场内废弃厂房和废弃建筑物拆除后形成的建筑垃圾进行资源化再利用，最后对场地进行生态植被恢复，将场地重新改造为公园和休闲场所。

在宾阳县河流综合治理示范项目——宾阳县沙江重金属污染综合整治工程中，中国恩菲通过对7.9公里河段进行重金属污染底泥清挖、对底泥进行预处理后送至水泥窑协同处置，使土壤修复与废水处理、护岸工程、河漫滩植被恢复与生态建设有机结合，使沙江河流生态环境得到了极大的恢复。

海上丝绸之路中的北海合浦县，曾经以风景优美、水产丰富、生长着中国面积最大的国家重点保护珍稀植物红树林而闻名。伴随周边采石场爆破、采挖造成的岩体裂缝、松动，原有地面海拔高程降至海平面以下，“天坑”一步步逼近海岸线，红树林也受到威胁。中国恩菲在合浦县石场采矿生态修复项目中因地制宜，以科学合理、环境友好、经济可行、技术先进为原则，使满目疮痍变满园新绿。此外，在大新铅锌矿矿区重金属污染土壤整治项目、扶绥县中东部铅锌矿矿区重金属污染土壤综合整治工程、金秀瑶族自治县冶炼厂重金属污染固体废物处置项目中，中国恩菲通过应用先进的技术和领先的理念，为美丽的广西增添了新的缤纷色彩和美丽风景。

### 江西

在“稀土之都”江西赣州，“搬山式”的稀土开发、无序开采和雨水冲刷，使诸多废弃矿山场地大面积裸露，尾矿堆体沟壑纵横，水土流失和植被破坏严重，尾矿中重金属离子随雨水迁移至山下河流和农田，造成了严重的重金属污染和环境危害。2012年，国家发布赣南环境报告称，稀土开采污染遍布赣州的18个县(市、区)，涉及废弃稀土矿山302个，被破坏的山林面积达97.34平方公里，稀土矿地表酸性污染面积达60平方公里。近年来，国家明确将赣南定位为“我国南方地区重要的生态屏障”，赣州市痛定思痛，决心拿出“刮骨疗伤”的勇气，治理废弃矿山。

赣县区大田乡废弃稀土矿区重金属综合治理工程是中国恩菲首个土壤修复设计采购施工EPC项目，项目场地面积约38万平方米，尾矿堆存体量达23万立方米。土壤重金属污染具有移动性差、滞留时间长、不易被微生物

降解等特点，其治理和修复难以一次到位。在项目中，中国恩菲采用尾矿原位封存阻隔+土壤改良+先锋植物富集技术，既减少了尾矿的异位搬运处置，又可控制尾矿中重金属的溶出和迁移，实现了对污染物的风险管控，达到污染防治的目的。选择乡土先锋灌草植物富集稀土矿中的镉、恢复废弃稀土矿山的生态植被。设计和构建出矿山景观，实现环境修复与景观艺术的完美结合。此外，经过长期试验研究，中国恩菲还在项目中应用了自主研发的针对稀土尾矿的改良药剂，能够有效调节土壤酸碱度、钝化重金属、调整营养结构、保水增墒，使改良后的稀土尾矿可以作为植被恢复的生长层，实现了固体废物的资源化再利用。本项目解决了国内废弃稀土矿山重金属和氨氮污染难治理、生态植被难恢复的问题，对废弃稀土矿山的修复取得了良好的环境效益、社会效益和经济效益，属于绿色修复的典范。

章贡经开区水西产业园D5-01地块污染场地治理项目位于赣州市章贡经开区水西产业园内，场地面积约4.3万平方米。针对项目由于历史遗留问题污染土壤分布范围广、深度大的现状，中国恩菲采用钻孔灌注桩的基坑支护形式，并配合基坑降水措施对污染土壤进行清挖收集。对污染土壤运用自主设计的装备系统进行固化稳定化处理，处理后经验合格的土壤用于绿化用土的非表层种植土、基坑回填以及园区道路路基建设。对于场地内的轻度污染土壤，以水平阻隔与垂直阻隔相结合的方式封存阻隔，实施风险防控。同时，在场地内建设临时废水处理站，对治理工程中抽提的污染地下水生产和生产过程中的污水，处理达标后循环利用或排放。

宁都县青塘镇废弃矿山土壤及区域次生污染防治工程位于宁都县青塘镇南堡村油麻坑，场地面积约为31.63万平方米，项目场地为宁都县国营煤矿退役后的废弃矿山，矿山内重金属超标，场地内流出的高铁酸性废水对下游环境危害巨大。采用分级削坡的方式，保证边坡的稳定性。采用原位封存阻隔的技术，将含有重金属污染物的废石封存于场地内部，修建完善的截排水系统，减少雨水下渗到废石堆体中。最后，选择能吸收和提取重金属的先锋植物进行矿区植被恢复，既打造出绿水青山，也对场地的重金属污染进行了防治。

### 甘肃

在甘肃瓜州，白墩子历史遗留无主金矿尾矿区，在过去十几年间堆存了大量黄金冶炼废渣，且未采取规范环保措施。中国恩菲通过对项目区域进行污染详细调查，根据调查结果开展风险评估，确定尾矿本身及周边土壤的污染类型及污染等级，并提出采用异位治理和生态植被恢复的综合治理措施，编制相应的实施方案。在甘肃藏族自治州合作市卡加道乡达浪沟历史遗留无主金矿旧址重金属污染土壤综合治理项目，分布有4处渣堆污染区域，场地面积约为3.4万平方米，对场地内的废渣和重金属污染土壤进行清挖收集，然后采用原位阻隔填埋技术进行安全填埋处置，达到基本消除和控制环境风险的目的，最

后对封存场和场地区域进行生态植被恢复。本项目属于黄金矿渣原位封存和风险管控的典范。

### 河北

在河北省，邢台市广宗县重金属污染农田土壤治理项目是我国典型工业污水灌区重金属污染农田，受污染农田面积3600亩。中国恩菲因地制宜，构建修复技术体系，打造耕地土壤污染治理与修复示范工程，对重金属污染农田修复技术的推广应用具有重要的示范意义。在邢台市南和县重金属污染农田土壤治理项目中，中国恩菲根据场地污染调查，针对铅、镉及DDT等不同种类的污染物采用不同的修复技术方式实施修复工程，综合利用化学修复技术、植物修复、深翻稀释等技术方法，为其他复杂污染物污染农田修复提供借鉴和参考。

### 山东

在山东省，针对在平陆县炼油厂旧址土壤治理项目非法土小炼油点生产过程中产生的废液排入未做任何防渗处置措施的渗坑污染环境的现状，中国恩菲建设了典型的有机污染场地类项目。调查中，在已有踏勘的基础上，结合实际情况，采用判断布点和网格布点相结合的方法进行采样点布设，主要监测pH

值、挥发性有机物(VOC)、半挥发性有机物(SVOCs)(多环芳烃)、总石油烃等污染因子。可得土壤中的污染因子主要为多环芳烃、石油烃。污水中的主要污染因子为多环芳烃、石油烃。通过软件EVS-Pro对钻孔数据的地层建模、三维空间插值和三维可视化表达，确定场地污染物的程度及范围。依据《污染场地风险评估技术标准》(HJ25.4-2014)进行场地风险评估。确定本地场的修复目标值。

### 四川

在四川省，中国恩菲通过四川犍牛坪稀土矿矿区范围历史遗留废石整治项目，使四川江铜稀土公司矿权范围和其拟建排土场，完成整治范围内废石渣堆治理工作，使矿区环境得到改善，整治内容包括1#—7#废石渣堆治理、四道河改道工程。

### 河南

在河南省，中国恩菲针对安阳峨山有色冶炼厂的污染地块开展场地环境调查和采样分析，并根据重金属污染物的类型、污染程度选择适宜的治理技术和治理方案，完成安阳峨山有色冶炼厂污染地块治理项目，推动当地环境改善和污染治理。

## 创新：深耕市场技术为先

中国恩菲的土壤修复专家表示，中国恩菲已经依托丰富的工程经验，形成了诸多领先的土壤修复技术，但是将之融入全面、系统、切合实际的土壤修复方案，并体现“绿色可持续修复”的理念，则更能突显恩菲土壤修复业务的专长和优势。美国环保署(EPA)对“绿色可持续修复”的定义是：一种考虑到修复行为造成的所有环境影响而能够使环境效益最大化的修复行为。中国的土壤污染具有动态性的特点，在修复污染的同时，会有新的污染产生，这就会增加修复的难度。另外，污染物的不断迁移、积累，以及不同地域的显著差异，也给行业企业提出了新的要求。目前，依托丰富的工程实践，中国恩菲践行绿色可持续理念，持续完善、丰富自身土壤修复技术体系，开发自主品牌的土壤修复药剂，将技术创新与美丽生态有机融合，实现了以独占鳌头的技术占据土壤修复的行业制高点，为“美丽中国”增添色彩。

### 固化稳定技术、装备及药剂

针对固体废物、污染土壤，中国恩菲研发形成了固化稳定化一体化集成装备，通过将污染土壤与固化剂、稳定剂进行混合，使污染土壤固化为结构完整且具有低渗透系数的固化体或化学性质不活泼形态，从而降低污染物在环境中的毒性、溶解性和迁移性。对一些含有大粒径的固体废物和污染土壤工段，还通过核心装备，实现固化稳定化处理时的“四合一”，即筛分、破碎、配料、搅拌联动配合。该装备智能配料、智能管控搅拌均匀程度，集成化和智能化程度高，达到国内领先技术的水平。

应用固化稳定技术，修复药剂是关键。固化/稳定化技术是指向土壤中添加固化/稳定剂，通过吸附、沉淀或共沉淀、离子交换等作用改变重金属在土壤中的存在形态，降低重金属在土壤环境中的溶解迁移性、浸出毒性和生物有效性，减少由于雨水淋溶或渗透对动植物造成危害。固定稳定化技术是一种成本低、见效快、适用于多种污染物的修复技术。固定稳定化技术也是国内较为常用的修复技术。

结合有色行业污染特点，中国恩菲已开发一系列以非金属矿物、磷酸盐、零价铁和亚铁离子、生物炭等药剂为主要成分的稳定剂。对一种或多种重金属均有较好的稳定/钝化剂。以非金属矿物(矿物蒙脱石)为例，该材料具有来源广、价格低廉、吸附容量高等特点，在不破坏原有层状结构和改变表面电荷的前提下，利用酸碱盐对其改性，拓宽了晶体结构中的层间空隙，使阳离子吸附容量增加了约23%，显著提高了对污染土壤中重金属的稳定能力。再如正在开发的基于硫酸自由基和铁锰氧化物复配的稳定剂，既能显著降低土壤中砷的毒性，又有较强的吸附(稳定)效果，即使在高含水率情况下对As的稳定效果也能达到80%以上，较传统材料的稳定效果提高了约一倍。另外，公司还开发了纳米铁、高分子聚合物等系列的高效稳定剂，用于一些高浓度、难处理的污染土壤。

### 污染土壤淋洗工艺及设备

土壤淋洗修复技术是采用物理分离或化学浸提等手段，通过添加水或合适的增液剂，分离重污染土壤组分或使污染物从土壤相转移到液相的技术。土壤淋洗修复技术可以有效地减少污染物的处理量，实现减量化；同时可快速将重金属污染物从土壤相中移除，短时间内完成高浓度污染土壤的治理，成本相对较低，修复后土壤可再利用，成为重金属污染土壤修复技术研究的热点发展方向之一。

在技术装备方面，国际市场发展较成熟的异位淋洗工艺及设备供应商多分布于欧洲沿海国家，但是由于这些国家海河流

湖泊众多，土壤中砂土含量占比较高，不适用于我国地域广阔、土壤类型多样的情况，先进的工艺设备在国内直接引进，可能会存在国情和土质等方面带来的“水土不服”的现象，其工艺和设备的有效性、经济性有待考察。中国恩菲经过小试、中试实验，正在开发一种淋洗修复污染土壤的工程化设备。该设备采用药剂湿筛+微波加热强化淋洗的工艺对土壤颗粒按粒径分离。在强化淋洗阶段，再把需要进一步处理的土壤颗粒输送至反应器，在药剂、微波或加热等辅助方法强化淋洗下，将土壤颗粒中的重金属浸出，实现土壤的净化。目前，小试实验显示，不同条件下该方法对土壤中铅、镉、锌的去除率可以达到86%、82%、66%。同时，该套装置还包括一套淋洗废水处理系统，实现淋洗废水的净化与回用。该工艺装备正处于设计制造阶段，随着工艺技术的完善，该装备有望提升我国土壤淋洗领域的技术实力。

### 稀土矿污染土壤处理技术及药剂

稀土污染土壤重金属浓度高、有机质和营养元素含量低，矿区污染土壤裸露，生态环境恶化，对周边环境造成安全隐患。稀土矿的生态修复，除了重金属浸出浓度符合国家要求，修复后植物的成活率也十分重要。找到能满足以上要求的药剂是修复的关键。

公司在现有土壤修复药剂的基础上，针对污染土壤特点对药剂进行优化升级。升级后的土壤修复药剂可调整土壤pH近中性，重金属的浸出浓度符合地表水三类标准，土壤团粒结构、营养结构、保水能力显著改善，植物成活率显著提高。对稀土尾矿的修复取得良好效果。稀土矿的生态修复中，选择合适植物复绿是修复元素扩散的一环。目前，我国有很多护坡、景观用植物品种，但是在重金属污染、有机质含量低的稀土尾矿上，不同植物的耐受能力、生理状态、维护费用、水土保持效果还没有人进行全系统比较。公司针对此问题进行了相关研究，筛选了一系列针对不同条件下的优势植物，配合适当的水肥管理，能够低成本、高效率的进行稀土矿修复。

### 其他重金属污染土壤的修复技术

针对铬污染土壤，开发了以硫酸亚铁、纳米铁、氧化镁为主要成分的修复药剂。该药剂能有效还原污染土壤中的六价铬，并将还原后的铬元素包裹，抑制其转化。修复后的土壤增容比小，符合国家相关标准，且药剂成本低、使用方便。针对重金属铅污染的道路底泥对生态环境造成危害，公司开发了一种底泥固定稳定技术。核心的技术是一种含有磷酸盐、氧化镁、石灰石为主要成分的药剂。底泥中添加了这种药剂后，Pb的固定率能达到90%。该技术处理费用低、效果明显。

此外，公司还开发了一种环境友好的淋洗剂。该淋洗剂基于易生物降解的小分子有机酸，配合环境友好的铁基药剂，通过提升土壤修复元素扩散速度、活性位点激活、离子强化等作用，可以去除土壤中的铅、镉、铜等多种重金属。处理后的土壤无二次污染，淋洗产生的废水对环境的影响较小、易于处置。恩菲将这一方洁净的土地搭载于自身环保的发展理念，使之于新能源、环保产业共同成为恩菲人的绿色名片，打通山水林田湖的关节和经脉，让资源循环，开发无害，让天更蓝、水更清、树更绿、花更香，让中国更美丽。

## 召唤：土壤修复势在必行

土壤质量问题，事关民生，事关发展。

2014年，环保部与国土部首次发布《全国土壤污染状况调查公报》，历时8年完成了首次全国土壤状况普查，《公报》显示，全国土壤环境状况总体不容乐观，耕地土壤环境质量堪忧，工矿业废弃地土壤环境问题突出。全国土壤总超标率为16.1%，其中无机污染物占比83%，工业发达地区污染相对严重。耕地土壤点位超标率为19.4%，在各类土地利用类型中污染程度最高，主要污染物为镉、镍、铜、砷、汞、铅等重金属，这反映出当前农业生产方式对土壤质量的破坏。近年来备受关注的“镉大米”“儿童血铅”等污染事件，已经敲响了警钟——“一旦土壤受污染，‘菜篮子’‘米袋子’就会受到威胁。”此外，重污染企业用地点位超标率为36%，固废集中处置场地点位超标率为21%，采矿区点位超标率为33%。重污染企业及工业废弃地土壤点位超标率最高，分别为36.3%和34.9%。采矿区、工业园区、固体废物集中处理处置场地、采油区、污水灌溉区、干线公路两侧土壤点位超标率均超过20%。伴随经济进入新时期，转型升级进程加快，传统污染企业或搬迁或关停，污染场地问题日益凸显；昔日的老工业区，如今却因为废水、废气、废渣的排放，成为了环境治理中的桎梏。

相对水体和大气污染而言，土壤污染更具隐蔽性、滞后性和难可逆性，因此，伴随生态文明建设脚步的加快，防治土壤污染、加快土壤修复，成为大势所趋。

土壤修复是指利用物理、化学和生物的方法转移、吸收、降解和转化土壤中的污染物，彻底清除污染物或使其浓度降低到可接受水平。早在“十二五”规划纲要中，国家就将节能环保产业列入七大战略性新兴产业之首，并把土壤修复作为环保产业发展的重点。《全国土壤环境保护“十三五”规划》强调，“要将受污染耕地安全利用率从2015年的70.6%提高到90%左右，将污染地块安全利用率提高到90%以上”。2016年，国务院发布《土壤污染防治行动

计划》，即“土十条”，正式吹响了土壤污染防治的号角。2017年，国家印发《全国土地整治规划(2016—2020年)》，将土壤生态整治列为主要目标之一。2019年6月，国家启动《土壤污染防治法》立法工作。2018年，第二次全国污染源普查启动。同时，《污染地块土壤环境管理办法(试行)》《土壤污染防治专项资金管理办法》《农用地土壤环境质量标准》《建设用地土壤污染风险筛选指导值》《土壤环境质量评价技术规范》等制度法规相继发布，为土壤污染治理工程的大规模开展奠定了政策基础和标准依据。随着国家对生态环境修复的日益重视，相关法律法规和标准体系正逐步完善，土壤修复也愈加精细化。党中央、国务院于2018年6月发布的《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》指出，要扎实推进“净土保卫战”，到2020年使受污染耕地安全利用率达到90%左右，污染地块安全利用率达到90%以上。

作为伴随共和国发展壮大成长起来的有色金属设计企业，作为国家工业与信息部批准的工业节能与绿色发展评价中心，中国恩菲始终将“绿色发展”“生态文明”作为工程服务和科学研究的重要原则：一方面，聚焦有色矿山、冶炼工业，发挥技术优势，同时形成矿产治理生产过程中废弃物无害处置及循环利用的可持续发展技术；另一方面，投身到诸多绿色领域，针对化工环保、新能源、可再生能源焚烧发电城市矿山、水处理等绿色环保领域，发挥自身项目规划、咨询、设计、投融资、建造、运营等“一揽子”服务能力。2015年，中国恩菲正式进军土壤修复市场，掌握了工业、矿山污染场地治理修复的核心技术，包括固化/稳定化、水泥窑协同处置、土壤淋洗、封存阻隔、安全填埋、植物修复和监控自然衰减等技术，并在河北、山东、甘肃、四川、广西、江西、湖南等省份完成了近30个项目，还绿水以新碧，让青山重叠翠，引领绿色发展。

## 重塑：为祖国生态屏障添绿

江西、广西、甘肃、湖南，这些过去的有色金属大省，经历了高速发展的“大干快上”，经历了“郁郁葱葱”到“寸草不生”，面对过度开发造成的水土流失、生态恶化的“累累伤痕”，在落实使我们的国家天更蓝、山更绿、水更清、环境更优美，让绿水青山就是金山银山的五大发展理念大背景下，都将土壤修复作为生态环境修复的重要途径。

### 广西

2001年，广西河池环江县遭受特大暴雨，大环江上游3家选矿企业尾矿库被洪水冲淘，30家选矿企业沉积的大量富含砷、铅、锌、镉等重金属的矿渣被冲到了下游沿岸上万亩耕地上，土壤受到严重污染。洪水过后几年，被污染的农田长不出庄稼，土地几乎寸草不生。当地农民组织群众受淹的地里撒石

灰，但收效甚微。这次土壤污染，引起了科技部、中科院和国家自然科学基金委等部门的关注，并相继启动了治理工程。中国恩菲承担的环江毛南族自治县才秀河道沉积泥沙清理二期工程就是其中的重要组成。该场地占地修复总面积约为7.5万平方米，拆除废弃建(构)筑物约1675.87立方米，处置废渣及污染土壤1.07万立方米。通过对场地进行尾砂和污染土壤清挖收集和集中封存阻隔处理，有效控制了重金属污染物的迁移，最终对场地进行生态植被恢复，打造出一片绿水青山。

恩菲人在广西省的治污修复工作还远不止此，南丹县境内刁江的治理便是缩影。刁江全长219.6公里，是沿岸百姓的生命河。中国恩菲在刁江茶山支流德马—拉建治理工程中，清挖、运输刁江茶山支流德马—拉建(河道总长约6公