



中国科学院生态环境研究中心
Research Center for Eco-Environmental
Sciences Chinese Academy of Sciences



应用科技成果汇编

资源化利用及生态修复技术

中国科学院生态环境研究中心

生态环境研究中心概况

中国科学院生态环境研究中心（简称“生态环境中心”）前身为1975年经国务院批准建立的中国科学院环境化学研究所，1986年与中国科学院生态学研究中心（筹）合并成立，是我国第一个生态环境科学（Eco-Environmental Sciences）综合研究机构。

生态环境中心遵循中国科学院新时期办院方针，面向世界科技前沿，面向国家重大需求，面向国民经济主战场，致力于环境科学、环境工程、生态学和环境生物学等方面科学与技术创新，为国家环境安全、社会经济可持续发展和生态文明建设做出基础性、战略性和前瞻性重大贡献。研究方向主要包括环境与健康、水污染、区域生态、大气污染、土壤环境、固废处置、环境生物技术和环境纳米技术等。

生态环境中心现有在职职工533人，其中中国科学院院士3名、中国工程院院士2名，研究员139人、副研究员和高级工程师173人。国家基金委杰出青年科学基金获得者23人，国家基金委创新研究群体5个。

生态环境中心现有12个实验室，其中3个国家重点实验室，1个国家工程研究中心，2个中国科学院重点实验室。具有先进的技术支撑系统，主办生态与环境领域11种期刊。

生态环境中心充分发挥在国家生态环境科技创新体系建设中的引领作用，以环保高新技术为依托，通过技术开发、转让、咨询服务等多种方式与地方政府、企事业单位开展密切合作，努力实施成果转化，取得了显著的社会效益和经济效益，为国家生态环境保护战略决策提供科学依据和有力支撑，为我国环保高新技术产业化提供重要技术源泉。

← C → 目 录 CONTENT

1. 资源化利用技术

建筑垃圾配合污泥生产多孔轻质建筑材料技术	03
厨余垃圾湿热催化液化小分子有机肥资源化利用	04
基于水热干化的污泥资源化利用技术	06
废弃线路板非酸化合成氯化亚铜技术	07
农产品加工废水和生物质废弃物资源化技术.....	08
基于水热碳化的废弃生物质转化炭基有机肥还田技术	09
废旧动力电池资源回收与循环利用	10
燃煤电厂协同处理城市污泥	11
油气资源的高效微生物开采技术.....	12



C → 目 录 CONTENT

2. 生态修复技术

土壤重金属污染的生物炭修复技术	14
基于废弃生物质循环利用的水热炭土壤修复技术	15
基于微量元素平衡的农田土壤重金属污染生物阻控技术....	16
原油污染土壤生物修复工艺	17
有机污染土壤热及耦合修复技术及装备	18
丛枝菌根真菌技术产品及其应用	23
基于生态系统服务供需的区域生态修复空间识别与划定 方法	25
适用于寒旱区露天煤矿排土场土壤-植被修复技术	27

3. 生态系统智慧化管理技术

生态产品总值（ GEP ）核算方法	28
城市生态智慧管理系统（ IUEMS ）	30
生态环境损害鉴定评估信息管理技术	33

建筑垃圾配合污泥生产多孔轻质建筑材料技术

项目成熟阶段

实验室研发 中试放大 成熟应用

概况及应用领域：我国于2018年1月1日开始正式实施《中华人民共和国环境保护税法》，固体废弃物按不同种税额征税标准为5-1000元/吨，例如，粉煤灰、冶炼渣25元/吨，尾矿15元/吨，危废1000元/吨。因此，对于以发展、盈利为主要经营理念的工业企业而言，工业固体废弃物的消纳、处理、处置已经迫在眉睫。多数工业固废中含有大量的硅酸盐、铝酸盐和钙镁氧化物，具有一定的活性，可以通过造孔制备轻质材料。这一方法操作简便，成本低廉，且对工业废弃物中含有的重金属等有害物质有固化作用，能够减少环境风险，是一项应用前景十分广泛的技术。本项目使用不同类型工业固体废弃物生产轻质多孔材料，具有显著的经济、环境和社会效益。生产的产品除了在建筑领域作为隔音、保温、防火环保建材使用外，还可以应用于交通、化工、污水处理、园艺栽培等领域。如，地铁修建中的隔声防震材料，高速公路的刹车带，污水处理厂生物膜载体，园林栽培中的透气、覆盖材料等。

技术特点：（1）成型造粒技术：将工业固废经特性处理加工后，配合同型剂，通过一定工艺成形造粒；（2）造孔技术：采用造孔剂实现产品的膨胀、均匀造孔；（3）温度管理制度：对升降温制度进行科学管理，确立参数操作范围，实现产品的均匀、高强度和低密度。

专利情况：获授权国家发明专利。

市场分析：工业固体废弃物的处理可以得到国家的经济补贴和优惠政策支持。生产的产品在建筑、交通、化工、园林等领域具有良好的应用前景。

实际应用案例：建成3万方/年轻质多空材料生产线，运行状况良好。

合作方式：技术转让。

产业化所需条件：交通便利，水、电配置齐全。



原材料制备粉碎装置



回转窑烧结装置

厨余垃圾湿热催化液化小分子有机肥资源化利用

项目成熟阶段

实验室研发

中试放大

成熟应用

概况及应用领域：厨余垃圾主体成分为易腐有机质，不正确或不及时的处理会滋生细菌，产生高浓度废水、臭味等污染土壤、地下水进而危害人体健康。目前，传统的厨余垃圾生物处理存在时间长、异味、沼液和沼渣难处理、堆肥产品品质低等问题。湿热催化液化技术是针对厨余垃圾的特性研发的快速、高效资源化处置的技术。

技术特点/设备参数/工艺流程：借助自主研发的固体复合催化剂并通过工艺控制，厨余垃圾在密闭高压热水介质中，高分子组分发生快速定向化学断链解聚或组分重构，液化产物主要含有葡萄糖、氨基酸、生物黄腐酸酸等有机小分子组分。

该技术具有以下优点：

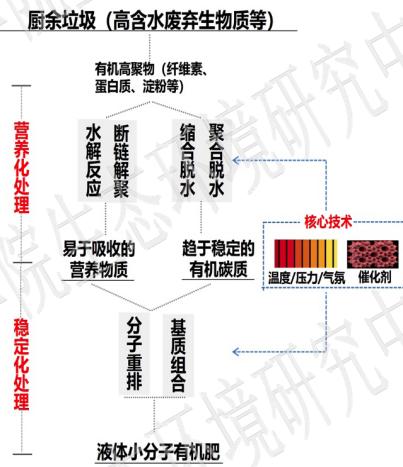
- 1) 快速、彻底无害化及完全资源化（处理时间 40-120 min, 可以彻底杀死病菌、病毒、有害微生物等，能够 100%回收厨余垃圾中的有机质、微量元素等）；
- 2) 处理过程绿色环保无污染。整个处理过程在密闭的反应器中进行，不产生废水、废气和废渣，处理过程不会产生二恶英等有机污染物；
- 3) 产物应用多样化。液体产物直接可以作为小分子有机肥进行利用或者复配专用有机肥用于生态农业。
- 4) 运行成本低，经济性好。厨余垃圾无需干燥预处理，处理成本约 180 元/吨；
- 5) 物料通量大、容差强。厨余垃圾可与其他生物源垃圾协同处理，垃圾中杂质如骨头等成分不影响处理效果。

专利和获奖情况：该核心技术已申请2项国家发明专利和2项实用新型专利。

市场分析/应用前景：本技术可以实现厨余垃圾就地就近就快资源化利用。液化产物含有丰富的有机质，营养更加全面，更易于吸收，可直接作为小分子有机肥进行应用，也可根据土壤养分状况和作物养分的需求配制专用有机肥用于生态农业。随着农业集约化和产业化水平的日益提高以及“水肥一体化”机械化施肥条件的逐步改善，市场对液体有机肥料的需求量非常大。

示范与应用案例：北再生集团再生资源产业园区

合作对象及方式：技术转让



厨余垃圾技术流程、转化装备及资源化产品

基于水热干化的污泥资源化利用技术

项目成熟阶段

□实验室研发

□中试放大

■成熟应用

概况及应用领域：由于污水处理厂“重水轻泥”，大量的污泥被简单的堆置或简易填埋。污泥不及时或不正确处理应造成了严重的环境污染。高水分含量是污泥处理处置的瓶颈问题。污泥干化技术将污泥与添加剂在一定压力与温度下进行水热处理，可以高效破坏污泥中细胞结构和胶体结构，实现污泥中水分的快速析出，从而提高污泥的脱水性能；处理后的污泥作为生物燃料使用。

技术特点：（1）处理速度快（30-60min），无害化彻底（可彻底杀死污泥中含有的微生物、病原体等）；（2）与传统污泥干化技术相比能耗低，并且处理在封闭容器中进行，无二次污染；处理后的污泥水分含量低（< 50%），富碳多孔易于成型；（3）污泥与木质纤维素类生物质如秸秆等共处理效果更佳。

专利和获奖情况：该核心技术已申请1项国家发明专利。

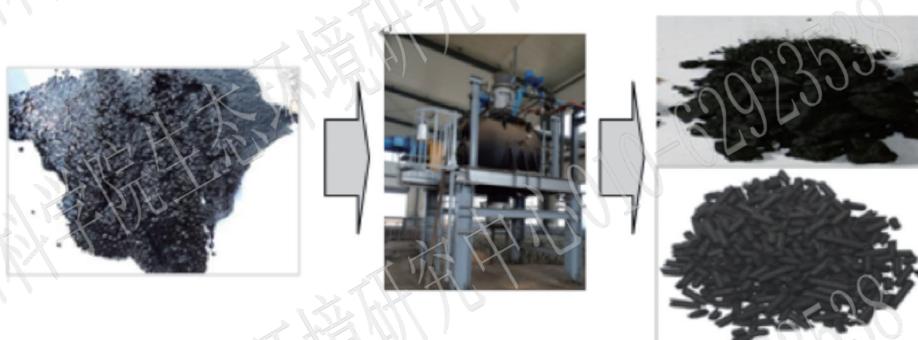
市场分析：“水十条”明确提出要加快推进污泥的处理处置，地级以及以上城市污泥无害化处理处置率应于2020年前底达到90%以上。该技术可以实现污泥的快速高效脱水，处理后的污泥可以作为固体燃料或者转化为碳材料进行应用。该技术在污泥处理处置上具有非常广阔的应用前景。

实际应用案例：

山东寿光领航生物工程有限公司，污泥水热-焚烧工程（15t/d）

山东高密康达污水处理有限公司，污泥水热-活化转化活性炭工程（中试）

合作方式：技术转让、技术服务。



水热干化设备及产品

废弃线路板非酸化合成氯化亚铜技术

项目成熟阶段

实验室研发中试放大成熟应用

概况及应用领域：废弃线路板是电子废弃物的重要组成部分，我国废弃线路板的年增长率接近15%；同时线路板在制造过程中会产生大量边角料和废品，边角废料的产生率一般在1% - 2%之间。铜是废弃线路板中含量最多的金属，其含量约占废弃线路板的20%，具有极高的回收价值。同时，随着石油化工，有机合成等工业日益发展，对氯化亚铜产品需求量有急剧增加的趋势。本项目提供一种利用废弃线路板制备氯化亚铜的工艺，具有反应时间短，操作简单，反应条件温和，原料易得，成本低，所得氯化亚铜品质好的特点，是一种经济高效的废弃线路板资源化回收工艺。制得的氯化亚铜可以作为催化剂、脱硫剂、脱色剂、脱硝剂、缩合剂、还原剂等使用。

技术特点/设备参数：1) 反应时间短，操作简单；2) 反应条件温和，全程未使用强酸和强氧化剂；3) 原料容易获得，成本低，生产的氯化亚铜品质高；4) 生产过程中钯的回收率高。

专利和获奖情况：该技术具有我国独立知识产权，已经获得国家发明专利。

市场分析：目前，国内每年产生大量的废弃线路板，现有的金属回收方法大多使用强酸和强氧化剂进行造液，产生大量的废水，对环境危害较大。目前线路板中铜和钯的绿色回收还没有比较成熟的技术。本工艺具有反应时间短，操作简单，反应条件温和，原料易得，全程未使用强酸和强氧化剂等众多优点，是一种绿色环保的线路板资源化方法，适合于废弃线路板及其他含钯、铜废料的环境友好型资源化利用，具有很强的应用性和市场前景。

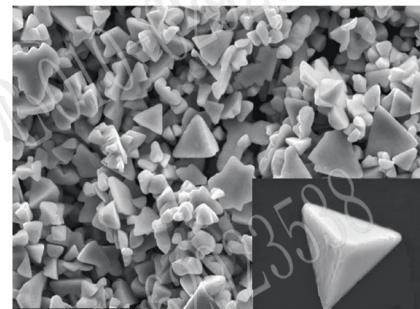
示范与应用：前期工程已经在福建省开展示范。

合作方式：技术转让、技术开发。

产业化所需条件：交通便利，厂区面积3000平方米，厂房1000平方米，水、电配置齐全。



分选设备



氯化亚铜的SEM照片

农产品加工废水和生物质废弃物资源化技术

项目成熟阶段

实验室研发

中试放大

成熟应用

概况及应用领域：农产品加工过程中往往伴随着大量高浓度废水和生物质废弃物的排放，如：甘薯和马铃薯加工过程中产生的高浓度废水COD超过10~30 g/L，水果蜜饯加工过程中产生的高浓度废水COD超过30 g/L，甚至能达到50 g/L以上，这些高浓度废水处理能源消耗大，费用高，而且也造成资源浪费。生态环境中心开发出高效利用农产品加工废水和生物质废弃物生产微生物农药、微生物肥料和环境污染修复菌剂的系列专利技术，低成本生产环境友好系列产品的同时，消纳了高浓度有机废水和生物质废弃物，节能减排。价格低廉的微生物农药和微生物肥料产品的推广应用，可以减少化学农药和化肥的使用量，提高农产品质量，直接减少农业面源污染；还可以间接地减少农用化学品生产过程的能源消耗和污染物排放。该技术的推广为我国发展生态农业、绿色农业和循环经济提供技术支撑。本技术适用于农产品加工企业的高浓度废水和生物质废弃物的资源化，为优质农产品生产企业提供微生物肥料和微生物农药，为环境污染治理提供修复菌剂。

技术特点：用于微生物农药、微生物肥料和环境修复菌剂的菌株具有高效利用农产品加工废弃物中有机物的能力；这些菌株在应用过程中对环境的适应性强，能够持久发挥活性，具有较高的生防效果、持久的肥效和高效降解或转化污染物的能力。

市场预测：目前我国农业产业化龙头企业6万多家，本项目的技术模式具有广阔的发展空间，预计我国每年市场规模上千亿元。

示范与应用：目前该技术处于应用推广阶段，已建成年产5000吨微生物肥料的中试生产线。



宜兴中试生产线操作平台

投资和运行费用：投资费用根据生产规模而定，如年产5000~50000吨微生物肥料的设备、厂房、水、电、汽等全部配套设施合计1300~6000万元。运行费用（环境友好产品的生产成本）约等于高浓度废水处理达标排放的运行费用。

基于水热碳化的废弃生物质转化炭基有机肥还田技术

项目成熟阶段

实验室研发

中试放大

成熟应用

概况及应用领域：实施有机肥替代是推动农业绿色发展、治理农业面源污染、提升农产品质量的必由之路。针对目前传统培肥技术费时费工等存在的问题发展出了水热强化的生物质快速培肥技术。该技术通过水热条件下的强化水解大大缩短生物质培肥时间，提高培肥效率。另外，水热碳化生物质的多孔结构可以实现有机肥有效成分的缓释以及改善土壤的理化性质。

技术特点/设备参数：（1）可实现畜禽粪便等快速培肥（30-60min），无害化彻底(可彻底降低抗生素，杀死微生物、病原体、虫卵等)；（2）该技术制备的有机肥最大限度的发挥了有效成分肥效和对于土壤的改良能力。（3）制备的有机肥可作为底肥或追肥按照一定的比例在农田中使用。

专利和获奖情况：该核心技术已申请1项国家发明专利。

市场分析：集约化养殖场大量畜禽粪便随意弃置，农作物秸秆大量焚烧。出现一方面地力较低，一方面大量的有机废弃物不能还田的不和谐问题。研发农业废弃生物质（如农作物秸秆、禽畜粪便等）回田技术，已成为培肥土壤、提高地力的重要突破口。该技术可实现废弃生物质的快速培肥，在有机肥替代以及废弃生物质资源化利用方面具有广阔的应用前景。

合作方式：技术转让、技术服务



废弃生物质制备的有机肥

废旧动力电池资源回收与循环利用

项目成熟阶段

实验室研发

中试放大

成熟应用

概况及应用领域：我国是世界上最大的锂离子电池生产、消费和出口国，锂离子电池广泛应用于电动汽车、便携式移动电子设备、储能设备等多个方面，这类电池的使用寿命一般为3-8年，报废数量近年来急剧增加。锂离子电池中含有氟、重金属等污染物，废弃后处理不当容易造成环境问题，危害人体健康。同时，锂离子电池中含有铝、铜、锂、钴、镍、锰等可回收资源，经济价值显著，市场前景广阔。

技术特点：1) 采用单体电池正负极整体解离技术，不需要进行破碎，通过拆解和浸离后，正极材料、负极材料、铝箔、铜箔、电解质隔膜整体分离，回收的石墨、铝箔、铜箔可以再生使用，经济价值显著提升。

2) 在单体锂电池整体解离的基本上，可以将电解质稳定于水相，然后回收；或者通过超临界CO₂萃取分离技术，实现六氟磷酸盐的回收。

3) 回收的正极材料可以制备成硫酸盐、氢氧化物等，进一步合成锂电池生产所需要的正极材料前驱体。

市场分析：利用绿色环保的工艺，整体回收锂离子动力电池的电极材料和集流体，有效降低了锂离子电池回收成本和环境安全风险，市场前景广阔。

合作方式：技术转让或根据实际需要共同开发实施。

产业化所需条件：交通便利，水电有保障，具有动力电池收运渠道。

燃煤电厂协同处理城市污泥

项目成熟阶段

实验室研发

中试放大

成熟应用

概况及应用领域：城市污泥的处理处置是城市健康发展的重要保障，随着我国经济的迅猛发展和城镇化水平的提高，城市生活污水的产生量日益增多，产生的污泥量大幅增加。据统计，我国每年待处置的市政污泥量超过3500万吨，预计2020年将突破6000万吨。焚烧是市政污泥处理的有效方法之一，目前国家政策鼓励在有条件的地区将污泥作为低质燃料在火力发电厂焚烧协同处理，污泥干化后在燃煤锅炉协同焚烧是一种因地制宜、节能减排的无害化处理方式，在土地资源缺乏的地区具有较好的适用性。

技术特点：1) 工艺系统简洁、运行稳定、维护和检修方便；2) 采用全封闭系统，车间内没有粉尘；3) 采用大容量反齿倾斜桨叶式干化机，换热效率高；4) 占地面积小，土建投资低；5) 余热回收利用，能耗低；6) 微负压运行，避免异味外溢，有效解决恶臭问题。

市场分析：《城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策》中指出：“在有条件的地区，鼓励污泥作为低质燃料在火力发电厂焚烧炉、水泥窑或砖窑中混合焚烧”。焚烧能够将污泥最大程度地减量化，杀灭病毒、病原菌等有害生物，同时可有效回收热能、硅酸盐矿物等废弃资源，减少污泥对环境的危害。在循环经济模式下，利用电厂燃烧设备焚烧污泥，不仅可以大幅降低污泥处理费用，而且对于消纳污泥的企业而言，收取的污泥处理费和享受的相关优惠政策也可以增加企业收益，促进企业的可持续发展。

实际应用案例：已经建成100吨/天湿污泥生产线，运行状况良好。

合作方式：技术转让。

产业化所需条件：交通便利，需要与发电厂、化工厂等燃煤锅炉企业配合。



油气资源的高效微生物开采技术

项目成熟阶段

实验室研发

中试放大

成熟应用

概况及应用领域：随着中国经济发展，油气资源的需求不断攀升。我国石油对外依存度已经超过70%，因此开发国内油气井的产能，降低开采成本已成为保证国家战略安全的重要环节。微生物强化驱油技术作为低渗透油田中后期强化采油技术的重要手段，因其具有价格低廉、工艺简单、适应性强、安全环保、对产层无伤害等优点，已得到广泛的重视。本技术体系已构建适应性强的核心功能菌库，针对油藏环境，定制功能菌群，设计和优化控制菌群扩培和发酵过程，根据油井特点形成灵活的注井工艺，跟踪采油实况同步调整菌剂和调理剂使用方案。本技术可应用于微生物驱油、微生物清防蜡、单井吞吐以及天然气增产等领域，能够满足不同油藏环境的技术需求。

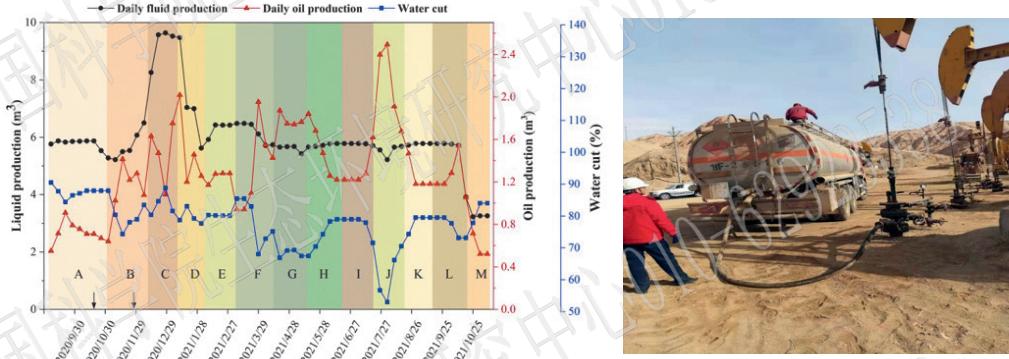
技术特点：本技术已构建的核心功能菌资源库其微生物来自于不同的油藏环境，具有生态安全性；复合菌群具有高鲁棒性、强抵抗力和高适应性，可用于高矿化度达20万、pH为6-10、温度20-90° C的环境；复合菌剂有液体和固体粉末两种形态，现场使用方便；与市场上化学驱成本相比，约是化学驱成本的40%，且具有长期驱油效果；有效结合油井现有设施施工，注井工艺成熟且灵活，生产操作简便。

专利和获奖情况：该核心技术已申请2项国家发明专利并授权。

应用前景：我国目前是全球第一大原油进口国，进口依赖度可达70%以上，需要大力开发国内原油资源。特别是我国发现的低渗透油气田占到新发现油藏的一半以上，且在已探明的储量中，低渗透油藏储量约占全国储量的2/3以上，开发潜力巨大。本技术体系突破了微生物采油技术的壁垒，在油田开发中应用前景广阔。

示范与应用案例：本技术体系在西部某油田已应用600余井次，比较油田原有的驱油工艺，本技术支撑下原油采收率提高了21倍，微生物驱油效果能够持续12个月以上。通过控制油藏微生物群落可替代稳定状态，实现原油采收率提高50%以上，可持续有效地增强原油采收效果。

合作对象及方式：技术转让、技术服务



油气资源的高效微生物开采技术

土壤重金属污染的生物炭修复技术

项目成熟阶段

实验室研发中试放大成熟应用

概况：农田耕地土壤污染的修复技术要求原位地有效修复，同时不破坏土壤肥力和生态环境功能。发展绿色、安全、环境友好的土壤生物修复技术既能满足这些需求，又能适用于大面积污染农地土壤的治理，具有技术和经济上的双重优势。

利用农业废弃物（如植物秸秆、牲畜粪便等）生物质，在一定温度下通过厌氧/缺氧经热解炭化制备成生物炭，并将生物炭按照一定比例添加入Cd、Pb污染的重金属农田土壤中。生物炭具有多孔性和大比表面积的特点，同时生物炭中含有有机阴离子和碳酸盐等大量碱性物质，能够修复大量土壤中的重金属，实现重金属的固定，降低土壤中重金属的生物有效性和在农作物可食部分的浓度，从而降低食物重金属对人体的毒害作用。生物炭同时可以提高酸性土壤的pH，改善土壤酸化，提高保水率，进一步改良土壤，提高农作物的产量。

技术特点：本研究开发出了可有效阻控水稻可食部分（稻米）中镉积累的生物炭阻控技术，其主要特征是将水稻秸秆在高温、缺氧条件下加工成生物炭，在水稻种植前期按照一定比例施用在镉超标土壤中即可。

该技术目前正处于田间试验阶段，通过控制稻田水分管理模式，和施用生物炭为主的阻控技术，可使稻米镉含量约降低30-40%。该技术稻田超标镉阻控效率高，对于污染面积大，同时要求不破坏土壤肥力和生境的农田土壤修复比较适宜。该方法适用于中轻度镉超标的水稻田，特别是pH<6.0的酸性水稻田污染。但相对于镉超标5倍以上的重度污染土壤并不适用。



由不同农业废弃物制备的生物炭

基于废弃生物质循环利用的水热炭土壤修复技术

项目成熟阶段

实验室研发 中试放大 成熟应用

概况及应用领域：将废弃生物质（如农作物秸秆、禽畜粪便等）转化为水热炭并将水热炭按照一定比例添加到污染土壤中达到土壤修复目的的水热炭土壤修复技术具有技术与经济上的双重优势。水热炭中的营养元素可以直接被作物吸收，水热炭发达的孔结构以及丰富的表面官能团，可以有效提高土壤保水保肥效果；水热炭-土壤强的界面作用可以改变土壤中污染物的赋存形态，实现土壤中重金属的钝化以及有机污染物的限域释放，从而有限的阻断重金属以及有机污染物进入作物的路径；另外，水热炭芳香化程度低，可快速补充土壤中的有机质，提高土壤肥力。

技术特点/设备参数：（1）生产成本低；移动式生产设备便于就近对生物质进行转化利用；（2）可对水热炭的化学组成、表面官能团以及孔结构进行调控，适用不同污染土壤（重金属污染、有机物污染以及复合污染）的修复；（3）该技术可对多种不同来源生物质进行共处理转化水热炭修复剂。

专利和获奖情况：该核心技术已申请3项国家发明专利。

市场分析：由于农业生产的污水灌溉，化肥、农药、农膜等农业投入品和畜禽粪便的不合理使用造成农田土壤复合污染非常严重(重金属、有机污染物)，修复污染土壤实现农村可持续发展是我国面临的重要挑战。该技术以废弃生物质为原料制备的土壤原位修复剂可以高效原位钝化土壤中的重金属、有机污染物，提高土壤肥力，在实现提高土壤修复效率、降低修复剂生产成本的同时也为大量废弃生物质找到了一条行之有效的高附加值利用技术，具有非常广阔的应用前景。

合作方式：技术转让、技术服务。



废弃生物质制备的水热炭

基于微量元素平衡的农田土壤重金属污染生物阻控技术

项目成熟阶段

实验室研发 中试放大 成熟应用

概况及应用领域：在系统研究土壤—作物体系不同微量元素间竞争和拮抗关系的基础上，研发出基于微量元素平衡的农田土壤重金属污染生物阻控技术。该技术利用生物地球化学机制，依据土壤性质及作物类型，形成以微量元素为主要成分的复合调理，一方面通过元素拮抗降低作物重金属吸收，另一方面通过改变土壤重金属赋存形态，降低其生物可利用性，达到改善土壤环境质量和提升土壤重金属环境容量，进而保障农产品安全的目标。该技术已经成功应用于稻田镉污染治理、菜地重金属污染治理和冬小麦土壤重金属污染修复。

技术特点/设备参数：(1) 基于该技术形成的产品，针对性强，原材料易获取，价格低廉，修复效果良好且对作物生产有益。(2) 施用方式简单，可以作为基肥或追肥施用，不影响农业生产，每亩施用量小于100公斤，易操作易推广。

专利和获奖情况：该核心技术已申请1项国家发明专利并授权。

市场分析：我国农田重金属污染严重，未来10-20年甚至更长一段时间，农田重金属污染都将是困扰我国很多区域社会发展的一个重要问题之一，初步估算，我国有上亿亩的重金属污染农田需要修复或改良。相比传统的钝化修复技术、植物萃取技术等，本技术结合农业生产的特点可在低成本下实现中轻度重金属污染农田的生产，在农田重金属污染修复方面有广阔的应用前景。

实际应用案例：

- 湖南省攸县稻田镉污染修复示范工程（100亩）
- 韶关市翁源县铁龙林场重金属污染土壤修复示范EPC工程（969亩）
- 河南济源冬小麦重金属污染耕地修复示范工程



湖南省攸县大同桥镇稻田镉污染修复示范工程

原油污染土壤生物修复工艺

项目成熟阶段

实验室研发中试放大成熟应用

概况及应用领域：化学与物理处置法去除环境污染物存在成本高、二次污染等一系列问题，而生物处理技术则避免了上述问题。本技术研发的原油污染土壤生物修复工艺，依据不同油田原油污染土壤的情况提供合理的工艺方案，实现原油污染土壤的生态治理。本技术体系在处理效果、处理成本、前期投入、能耗、不引入二次污染等环节具有明显的优势。本技术体系可用于石油开采、石油炼制、石油产品下游生产和服务造成的环境污染修复治理领域。

技术特点和工艺流程：本技术体系涉及的生物修复工艺包括原位生物修复和异位生物修复，根据现场实际环境和治理需求，提供生物堆法、生物通风法、生物强化法、生物刺激法和生物反应器等多种技术。工艺流程包括：工艺设计、生产实施、维护验收三个主要阶段。污染土壤处理后可满足环保要求，总石油烃含量小于2‰，土壤微生物生物量恢复至周边未污染土壤指标相当。

专利和获奖情况：该核心技术已申请3项国家发明专利并授权。

市场分析/应用前景：目前我国每年产生的含油污泥总量达500余万吨，石油污染土壤面积超过3亿m²，且逐年呈上升趋势。各石油企业均面临含油污泥综合利用及处置的问题，技术需求迫切。生物修复对环境影响小、无二次污染；设备投资少，成本低；操作简单，应用前景广阔。

示范与应用案例：针对西部某油田场地石油污染土壤，开展了生物修复中试实验，实验处置了100吨高含油污泥，通过强化微生物修复效果，处理后的土壤其含油率小于2‰，达到国家标准。

合作对象及方式：技术开发和转让、技术服务



石油污染土壤的生物修复技术

有机污染土壤热及耦合修复技术及装备

原位电阻加热及耦合土壤修复技术

项目成熟阶段

实验室研发 中试放大 成熟应用

概况及应用领域：热脱附技术利用热交换加热土壤，使有机污染物挥发或分离的土壤修复技术。该技术修复效率高，但面临能耗大、周期长、成本高的瓶颈。原位电阻加热通过高密度电法精准布点和运行参数的反馈调节，实现低碳高效土壤修复。原位电阻加热耦合化学氧化、微生物修复等技术可大幅降低修复能耗、缩短修复周期、降低修复成本，在农药厂、化工厂等有机污染场地修复中具有广泛应用前景。

技术特点/设备参数/工艺流程：

- 耦合技术节能40%以上，节约土壤修复成本15%以上
- 污染物去除率达97%以上，修复周期减少15%以上
- 结合高密度电法，实现精准布点加热和运行参数反馈调节

专利和获奖情况：

该核心技术已获得2项国家发明专利授权

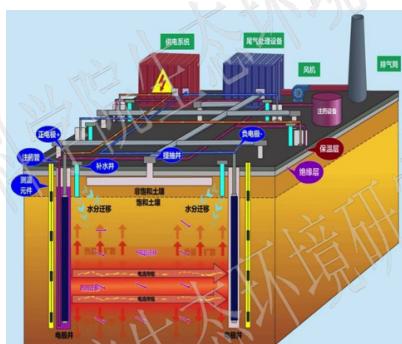
市场分析/应用前景：

该技术可广泛应用于石油化工、退役有机污污染场地修复技术的节能降耗。

示范与应用案例：原位电阻加热及耦合土壤修复技术在苏州市土地储备中心的苏州溶剂厂原址北区28万m³有机污染土壤原位电流加热修复工程中进行了中试运行，实现了有机污染土壤节能高效修复。

合作对象及方式：

技术转让、技术服务



电阻加热耦合化学氧化/微生物技术技术原理



苏州溶剂厂电阻加热土壤修复中试现场

有机污染土壤热及耦合修复技术及装备

异位燃气堆体加热土壤修复技术

项目成熟阶段

实验室研发 中试放大 成熟应用

概况及应用领域：异位燃气堆体加热技术是在污染土壤堆体中设置燃气加热棒提高土壤温度，使有机污染物从土壤中挥发后收集处理的土壤修复技术。针对热脱附土壤修复中能源利用率的瓶颈，该技术通过管路优化布设、热量二次回用大幅提升污染物的去除率，降低修复能耗，在有机污染场地修复中具有广泛应用前景。

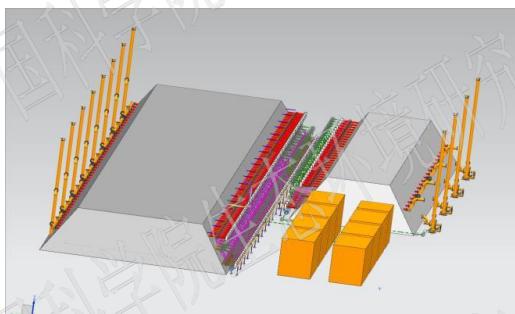
技术特点/设备参数/工艺流程：

- 适用于高粘、高含水率等不同质地土壤
- 污染物去除率高，修复周期短
- 修复过程可控，能耗相对较低

市场分析/应用前景：异位燃气堆体加热土壤修复技术大幅削减了修复成本，在退役农药厂、化工厂等有机污染场地修复中应用前景广泛。

示范与应用案例：异位燃气堆体加热土壤修复技术在山东省临沂市罗庄区石油烃污染土壤修复项目中应用，大幅缩短了修复周期，修复后土壤满足建设用地一类用地风险筛选值要求。

合作对象及方式：技术转让、技术服务



异位燃气堆式加热技术技术原理



山东省临沂市某化工厂有机污染土壤修复工程

有机污染土壤热及耦合修复技术及装备

撬装化异位直接/间接热脱附技术

项目成熟阶段

实验室研发 中试放大 成熟应用

概况及应用领域：热脱附技术通过加热污染土壤促使土壤中挥发、半挥发性有机污染物脱附去除，直接热脱附通过火焰加热、间接热脱附通过高温烟气加热。撬装化设备集成重要功能组件和智能化装备，增强了设备机动性，大幅缩减了安装周期。

技术特点/设备参数/工艺流程：

1. 撬装化直接热脱附装备处理能力 $\geq 20\text{t}/\text{h}$ ，结合自主研发的土壤预干燥或烟气余热利用技术，能耗 $\leq 2700\text{MJ}/\text{t}$
2. 撬装化间接热脱附装备处理能力 $\geq 8\text{t}/\text{h}$ ，结合自主研发的分段中心加热和烟气热回用技术，能耗 $\leq 1800\text{MJ}/\text{t}$
3. 装备集成化、撬装化、智能化、全国产化

专利和获奖情况：撬装化直接热脱附和间接热脱附技术分别获得两项国家发明专利授权。

市场分析/应用前景：撬装化异位直接/间接热脱附装备通过全国产化实现成本优化，通过集成化、撬装化、智能化提升了修复效率，广泛适用于退役化工厂等有机污染场地修复。

示范与应用案例：撬装化异位直接和间接热脱附技术分别在广东省广州市广船项目和柳州市造漆厂土壤修复项目工程应用，处理能力和能耗均达到设计要求。

合作对象及方式：技术转让、技术服务



广州市广船项目撬装化直接热脱附



柳州造漆厂间接热脱附装置工程应用

有机污染土壤热及耦合修复技术及装备

污染土壤与油泥阴燃处理技术

项目成熟阶段

实验室研发

中试放大

成熟应用

概况及应用领域：阴燃技术以重石油烃污染土壤、油泥为处理对象，反应启动后仅利用有机污染物或固废自身反应热量，而污染土壤多孔介质或固废提供充裕的反应比表面积，且能蓄热保温传递热量引燃下游区域，实现反应自维持。

技术特点/设备参数/工艺流程：

- 反应自维持，点火后无需外部燃料，处理成本低
- 可回收油类物质，实现资源化利用
- 适用范围广，处置效果好，二次污染可控

市场分析/应用前景：阴燃技术广泛适用于焦化、石化等重污染场地与污泥、油泥、粪便等有机高含水固废处置。

合作对象及方式：技术转让、技术服务



污染土壤与油泥阴燃处理技术
中试平台



20吨/批次阴燃
装置示意图

有机污染土壤热及耦合修复技术及装备

热修复过程数值仿真&工程计算平台

项目成熟阶段： 实验室研发 中试放大 成熟应用

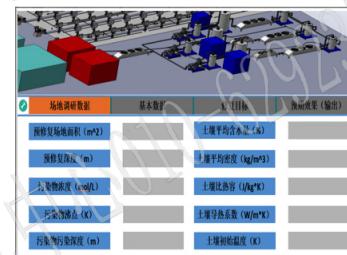
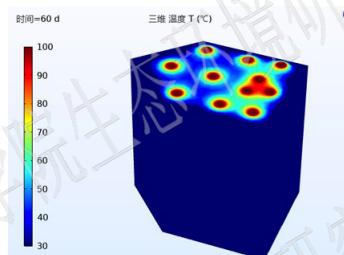
概况及应用领域：针对土壤热修复过程中能耗高、修复周期难预测、工程实施缺乏理论指导等现状，开发了三维数值仿真模型，高精度预测土壤内热量传递、物质迁移等过程；基于三维仿真模型，开发了工程计算平台，用于指导工程设计和优化。

技术特点/设备参数/工艺流程：

- 预测修复周期、能耗等，精准评估修复成本
- 理论指导施工，避免过度修复
- 直观、深入认识修复过程，优化工程实践

市场分析/应用前景：热修复过程数值仿真&工程计算平台广泛适用于各种类型的有机污染场地热修复参数设计和工程模拟。

合作对象及方式：技术转让、技术服务



丛枝菌根真菌技术产品及其应用

项目成熟阶段

□实验室研发 □中试放大 ■成熟应用

概况及应用领域：丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)是广泛存在于陆地生态系统中的植物共生真菌，能够和80%左右的陆地植物建立菌根共生体系。很多研究证明，丛枝菌根(AM)不仅能够改善植物矿质营养，同时在增强植物抗逆性，防治土传病害和稳定土壤结构等方面也具有重要作用。由于AMF的广谱适应性和功能多面性，近年来菌根技术在农林业和生态工程中的应用得以快速发展。

● 在可持续农业中的应用

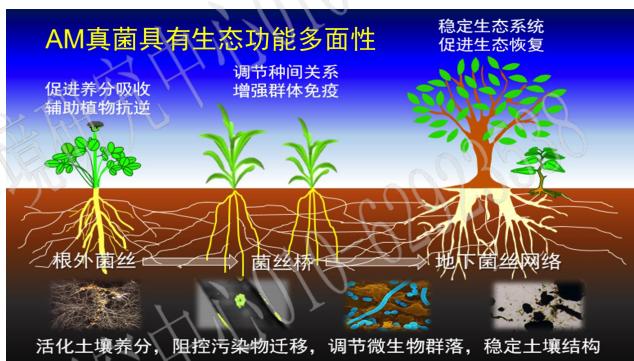
大多数农作物都对AMF表现出一定的菌根依赖性。AMF可以促进作物对土壤养分的吸收，在促进作物生长和提高产量的同时，提高养分利用效率，减少化肥用量，有利于维持农业可持续发展。

● 在园林绿化中的应用

大多数园艺作物都可以与AMF形成共生体系，如茄科、葱科、大多数果树、草本香料、中草药、观赏花卉等。园艺作物经济价值较高，且习惯于采用苗圃和容器育苗，这为植物苗期菌根化提供了便利条件。菌根接种后，可以缩短苗木的出圃期，提高移栽成活率、促进苗木生长、增强抗病性，最终提高产品产量和品质，增加园艺作物的经济附加值，以较小的投资获得较大的收益。

● 在生态恢复和环境治理中的应用

矿区采矿活动之后废弃的土地，通常土壤结构不良、有机质及矿质养分含量低，植物生长受到限制。菌根技术有可能成为克服矿区生态重建中障碍因素的有效途径。对于需要重建植被的矿区退化土壤，应用AMF可以快速建立具有物种多样性和平稳结构性的植被；对于轻度污染的农田，可以通过AM共生体系阻控重金属向作物地上部或是籽粒中的累积，维持农业生产并保障食品安全，也可以联合重金属超积累植物对污染农田进行生物修复。



技术特点/设备参数/工艺流程：研究团队分离获得优良AM真菌*Rhizophagus irregularis*

丛枝菌根真菌技术产品及其应用

BGC AH01，系列试验证明这个菌株在促进植物吸收养分和水分，减轻植物重金属毒害，增强植物抗逆性等方面表现突出，具有很高的商业应用价值。我们对这个菌株申请了专利保护，并研发了菌种连续扩繁装置，为菌剂规模化生产奠定了基础。

基于专利菌株研制了内生菌根菌剂，菌剂的技术安全性、有效性通过了中华人民共和国农业农村部肥料登记评审委员会认证。



专利和获奖情况：

获授权国家发明专利2项，实用新型专利1项。

获得国家自然科学二等奖1项；国家科技进步二等奖1项；省部级科技奖励3项。

示范与应用案例：在北京开展的田间实验表明，施用菌剂显著提高了玉米生物量和磷吸收量，增加了玉米籽粒产量和百粒重，可以达到和施用磷肥相同的效果；在干旱贫瘠的土壤上施用菌剂能够促进药用植物甘草的生长，提高了甘草根系中活性成分总黄酮及总皂苷含量积累，且田间作用效果能持续两年以上；2023年在山东退化土壤（过量施肥、连作障碍）上开展田间实验，应用菌根化育苗技术，玉米实收增产30%左右；2023年在新疆棉区（干旱、盐碱化）开展了上万亩的菌根真菌示范推广实验，取得了积极应用效果，通过菌根真菌菌剂拌种或二次包衣，平均每株棉花至少多结一个棉桃，亩增产10%以上，最高增产40%以上。

研发团队也积极推进了菌根技术在退化土壤生态修复方面的应用示范，包括在内蒙古自治区鄂尔多斯煤矿废弃地进行生态重建示范试验，以及应用 AM 真菌调控土壤微生态，控制药用植物的土传病害。

合作对象及方式：

和相关企业合作研发适应不同应用场景的菌根技术产品；

为相关用户提供技术服务或直接供应产品。

基于生态系统服务供需的区域生态修复空间识别与划定方法

项目成熟阶段

实验室研发 中试放大 成熟应用

概况/应用背景：生态保护修复是防治生态退化和恢复受损生态系统的重要措施。在生态保护修复工程规划与实施中，如何更加精准识别生态保护修复空间并明确保护修复目标，为人类提供更加可持续生态系统服务，是当前生态系统管理与国土空间生态修复中的关键技术需求。

在国家自然科学基金项目、国家重点研发计划项目、中国科学院先导计划项目等支持下，经过长期探索，研发团队探索了水源涵养、水质净化、洪水调蓄、土壤保持、生物多样性维持及固碳释氧等各种生态系统服务的供给和需求，及其与居民福祉关联的机制与定量分析方法，建立了生态系统服务流供给与需求匹配过程识别和评估方法，形成了一套生态系统服务供需赤字区、进而划定生态保护修复关键区域和保护修复目标确定的技术方法。该技术方法可以为科学开展生态保护修复规划和方案提供技术支撑，并已在多个案例区域得到成功应用。

技术特点：该技术将生态系统服务供需以及山水林田湖草生态关联性耦合到区域生态保护修复关键区域识别方法中，充分考虑区域自然-社会-经济系统及人类福祉的需求，突破传统方法仅从生态系统服务供给退化角度评估以及以往生态修复以小尺度、单一生态修复工程和单一目标为主的局限，以InVEST模型、遥感、GIS等技术手段，结合生态系统服务供需特征、流动过程与路径，设计服务供给-人类受益-系统修复的级联框架，构建流域生态系统保护修复关键区域识别方法模型，可准确辨识不同要素系统下影响人类福祉与生态健康稳定的关键区域。

应用对象及产出：该技术可应



基于生态系统服务供需的区域生态修复空间识别与划定方法

用于山水林田湖草一体化生态保护修复工作，为生态保护修复提供一套辅助决策的应用工具，提升生态保护修复工程的系统性和科学性，提升生态保护修复综合效益，在区域生态规划中作为一种评估方法也具有良好适用性。

成果在“瓯江源头区域山水林田湖草沙一体化保护和修复绩效评估”、“丽水市国土空间生态修复专项规划”、“首都西部生态屏障区山水林田湖草沙一体化保护和修复工程”、“海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程”等区域生态修复实践和香溪河流域、海河流域生态安全评估等研究实践中得到了成功应用；在多项国家和部门规范和标准制定中起到了重要的科技支撑作用。生态退化空间辨识方法为自然资源部《国土空间生态保护修复工程实施方案编制规程》（TD/T1068-2022）中的生态问题识别与诊断、修复措施时空布局提供了关键的方法支撑；要素关联空间分析方法为自然资源部《国土空间生态保护修复工程成效评估规范》（报批稿）中的生态成效-关联性评估部分提供了重要依据。未来技术成果将更广泛的应用于山水林田湖草沙一体化保护和修复区域以及国土空间修复实践应用中，将成为指导国土空间生态保护修复与格局优化的一套辅助决策的科学评估工具。

知识产权情况：

1. 发明专利1项；
一种结合生态系统服务供需的生态修复空间划定方法（202211174320.X）
2. 相关成果发表9篇中英文科技论文

适用于寒旱区露天煤矿排土场土壤-植被修复技术

项目成熟阶段

实验室研发 中试放大 成熟应用

概况/应用背景：我国因采煤特别是露天开采造成的土地资源破坏、生态环境退化已成为制约经济可持续发展的重大战略问题。内蒙古是世界最大的“露天煤矿”之乡，也是我国北方生态安全屏障的重点地区。在国家重点研发计划项目、内蒙古自治区重点研发和成果转化项目、国电投重点科技项目等支持下，经过长期基础研究和示范推广，研发团队通过应用生态学、土壤学、植物学、土壤微生物学、水土保持等多学科专业知识和技术方法，凝练出1套“适用于寒旱区露天煤矿排土场土壤-植被修复技术”。该技术采取物理-化学-生物措施相结合的土壤改良技术，以及植物物种筛选和群落构建技术，将露天煤矿排土场修复为稳定的，并向自然草原过渡的生态系统。该技术方法可以为高寒、干旱、沙化严重草原脆弱区科学开展露天煤矿生态保护修复提供技术支撑。

应用对象及产出：针对寒冷、干旱、风大矿区的露天煤矿排土场土壤贫瘠和植被恢复困难等问题，研制了适用于寒旱地区露天煤矿排土场的土壤-植被修复技术。

(1) 筛选出8种适合排土场修复的乡土植物，并进行植被群落构建模式的示范，面积达7800亩以上。

(2) 修复后的排土场示范区植被覆盖度分别达到85%和90%以上，演替成为近自然的状态。

(3) 排土场物理-化学-生物多种措施相结合的土壤改良技术，显著提高植被养分累积量，氮含量提高14-32%，磷含量提高21-30%。

知识产权情况：研究团队完成理论研究与技术示范，具有自主知识产权。已申请发明专利1项，发表9篇中英文学术论文。

示范与应用案例：

1. 内蒙古白音华煤电有限公司露天矿排土场植被恢复（3041亩）

2. 内蒙古白音华蒙东露天煤业公司排土场植被恢复（4800）



内蒙古白音华矿区示范区

生态产品总值（GEP）核算方法

项目成熟阶段

实验室研发

中试放大

成熟应用

概况/应用背景：生态产品总值（GEP, Gross Ecosystem Product），又称生态系统生产总值，是指在一定区域一定时间范围内（一般以一年为单位）生态系统为人类提供的最终产品和服务的价值之和。将GEP核算纳入城市生态管理，并建立常态化的GEP核算制度，实现了“计价”绿水青山，使公众对生态系统的认知从实物量升华至价值量；弥补了当前以实物量为主开展城市生态治理的不足，能够服务于城市规划决策和生态补偿分配等城市生态管理工作。2021年中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》，正式提出开展生态产品价值评估。本成果《生态产品总值核算规范》于2023年由国家发展改革委、国家统计局正式印发。

应用对象及产出：本方法已在北京、广东深圳、浙江丽水、江西南昌等30余地方政府的生态环境与自然资源管理部门获得应用。支撑深圳市建立我国第一个生态产品总值核算制度体系，支撑北京市开展基于生态产品总值的生态补偿，支撑浙江丽水市开展我国第一个生态产品价值国家试点。

知识产权情况：该技术已在Science, PNAS等国际期刊上发表多篇文章，并成为国家发展改革委、国家统计局、生态环境部等部门的技术规范，成为北京市、深圳市等地的地方标准。与技术所对应的软件成果已经取得3项软件著作权。获2020年度生态环境十大科技进展。

示范与应用案例：以深圳市为例，我们利用该方法，全面支撑了深圳市GEP核算“1+3”制度体系建设。该体系主要由3个支撑构成：（1）深圳市GEP核算技术规范，它规定了用于每种生态系统服务的核算方法，以及推荐的参数、可比定价的设定、可比气象条件的设定等。（2）深圳市GEP核算统计报表制度，它明确了每个数据的来源部门，数据格式和数据时间。（3）深圳市GEP核算平台，它部署于政务云，提供了包括统计数据在线报送、数据审查、自动核算、自动报表、结果地图化展示等功能。此外，该方法在北京市应用，帮助北京市相关部门完成了对8.8亿生态补偿资金的分配，并帮助北京市延庆区开展了基于GEP的生态文明考核。

生态产品总值(GEP)核算方法

项目成熟阶段

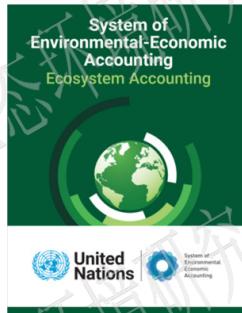
□实验室研发

□中试放大

■成熟应用



2020年在PNAS上发表研究成果



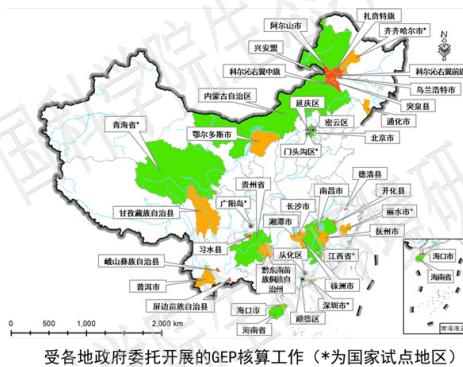
2021年被联合国采纳



作为国家技术规范出版



作为地方标准出版



取得多项软件著作权



取得多项软件著作权

城市生态智慧管理系统 (IUEMS)

项目成熟阶段

□实验室研发

□中试放大

■成熟应用

概况/应用背景：城市生态智慧管理系统 (IUEMS, Intelligent Urban Ecosystem Management System) 始建于2017年，为解决当时在国内外针对城市化地区生态系统评估工具不足的问题。项目首席科学家欧阳志云研究员在调研InVEST等国内外主流生态系统服务评估软件和数据结构差异，并统筹考虑工作进度要求后，决定自主开发适用于我国城市化地区的生态系统服务评估工具。并在北京、深圳等城市生态系统调查与评估项目中投入实战应用。

应用对象及产出：IUEMS目前形成了包括生态系统服务模块化评估、城市生态调查追踪，以及城市管理决策等三大类50余模块功能。截止2023年底，IUEMS各类用户超过1万人，地方政府和各类机构用户超过30家。

其中，生态系统服务模块化评估功能以云计算的形式免费向公众提供服务。用户将待分析数据上传至IUEMS云盘，进而使用各类分析模块对云盘数据进行分析存储，实现免编程在线计算、分析结果即时在线查看，并可下载至本机保存。



图 生态系统服务模块化评估功能

城市生态调查追踪功能旨在支撑各类生态系统服务评估的数据采集工作，提高数据采集的规范性，包括3个子系统：《数据可获得性调查系统》，实现了部门数据掌

城市生态智慧管理系统 (IUEMS)

项目成熟阶段

□实验室研发 □中试放大 ■成熟应用

握能力的电子走访，极大的改善了部门数据调查效率；《生态文旅调查问卷系统》，通过空间、时间、熟悉度控制实现了对答卷人的质量控制，极大的提高了问卷的有效性；《野外采样拍照系统》，既为野外调查人员提供了辅助安全保障，同时，实现了定点作业、定点采样的线上监管，极大的提升了野外采样工作的可靠性。

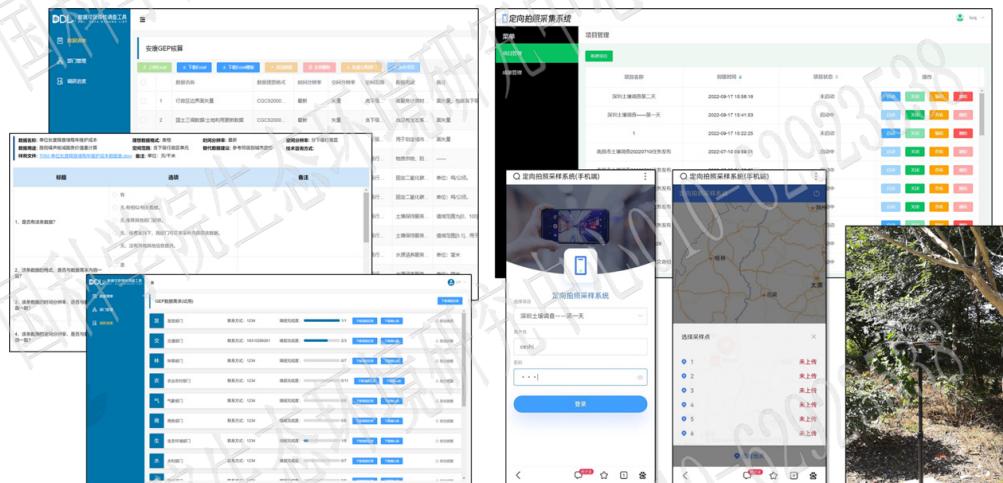


图 数据收集和野外调查功能

城市生态管理决策功能主要面向政府部门和规划决策人员等，旨在为其提供更便捷的生态系统服务评估与决策服务，主要包括：（1）《GEP（生态产品总值）一键核算系统》，繁琐的核算更直观和智能；（2）《生态服务影响快速预测系统》，实现针对典型土地利用类型，提供生态系统服务影响预测功能。

知识产权情况：该技术已经取得所对应的软件成果。

示范与应用案例：IUEMS用户遍及生态环境科研、城市规划、生态管理等多个领域，清华大学、北京城市规划设计研究院、上海交通大学、TNC香港等知名机构均是IUEMS用户，IUEMS每年定期组织2次用户培训，截止2023年底，IUEMS已经累计完成线上培训用户3000余人次，现场培训300余人次。

城市生态智慧管理系统（IUEMS）

项目成熟阶段

□实验室研发

□中试放大

■成熟应用

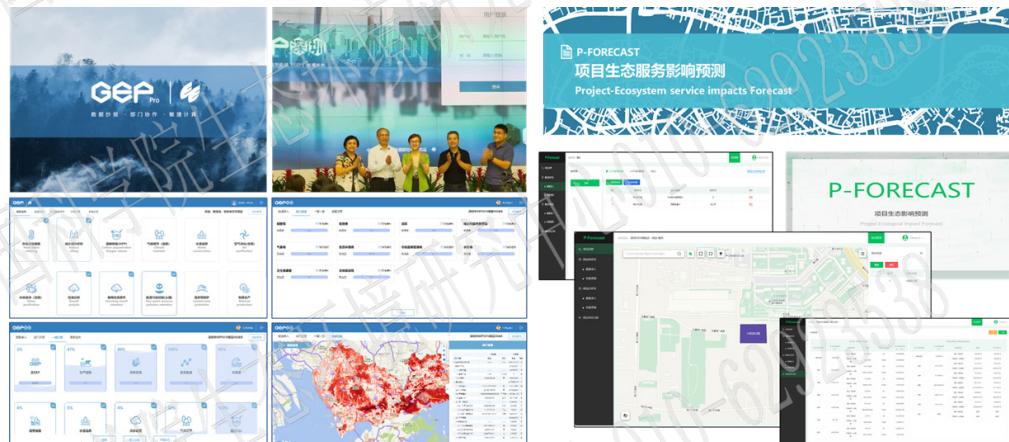


图 GEP—键核算与影响快速预测系统

生态环境损害鉴定评估信息管理技术

项目成熟阶段

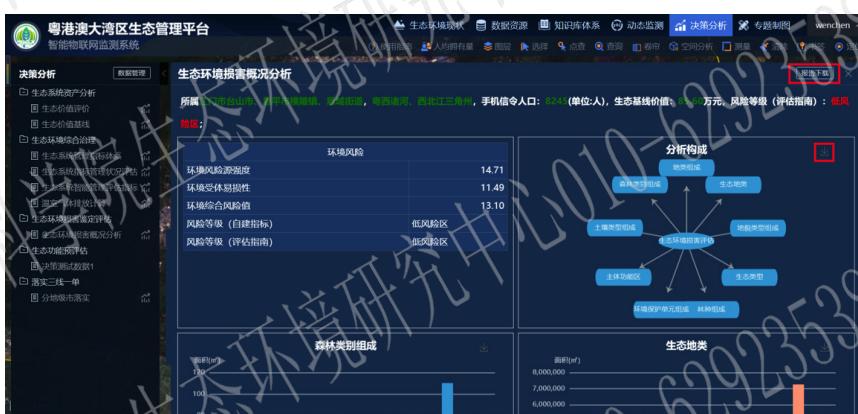
□实验室研发 □中试放大 ■成熟应用

概况/应用背景：生态环境损害鉴定评估是指按照规定的程序和方法，综合运用科学技术和专业知识，调查污染环境、破坏生态行为与生态环境损害情况，分析污染环境或破坏生态行为与生态环境损害间的因果关系，评估污染环境或破坏生态行为所致生态环境损害的范围和程度，确定生态环境恢复至基线并补偿期间损害的恢复措施，量化生态环境损害数额的过程。研发建立生态环境损害鉴定评估信息平台，积累充分的历史数据，结合环境物联网等环境监测手段，能够缩短损害调查的时间，提高鉴定评估的效率。

应用对象及产出：生态环境损害鉴定评估信息平台适合应用于进行生态环境损害鉴定评估的专业人员和相关部门。

知识产权情况：该技术已在《Ecotoxicology and Environmental Safety》等国际期刊上发表多篇文章，并取得相关软件著作权。

示范与应用案例：生态环境损害鉴定评估应用依托于“粤港澳大湾区城市群生态系统智能管理平台”实现，本应用能够对生态环境损害鉴定评估工作流程中的收集分析基础信息、确认环境基线、量化损害时空范围、基于环境价值评估方法计算生态环境损害价值几项关键环节完成自动化分析和分析报告的输出，集成了丰富的生态环境本底信息，能够有效提高生态环境损害调查工作效率、快速量化生态环境损害程度与范围、高效管理鉴定评估过程中的证据信息，为粤港澳大湾区的生态环境损害赔偿制度建设提供支撑。



粤港澳大湾区生态管理平台应用展示

中国科学院生态环境研究中心科技开发处

地址：北京市海淀区双清路18号

电话：86-10-62923538 62849178

邮箱：std@rcees.ac.cn

邮编：100085

传真：86-10-62923538

网址：<http://www.rcees.ac.cn>

应用科技成果汇编 资源化利用及生态修复技术

