

20个矿山生态修复典型案例和15个创新技术

固废危废知库2024年08月08日00:00北京

矿山生态修复典型案例

1 东部草原区大型煤电基地生态修复与综合整治技术及示范



本项目是“十三五”生态领域首个央企牵头项目，由国家能源集团组织实施，联合中科院、中国环境科学研究院等 20 家单位，雁宝能源宝日希勒矿区作为研究示范基地，首次量化揭示了煤电基地开发生态影响累积效应，研发并创建了露天开采生态减损型采-排-复一体化与水-土-植被一体化修复技术体系，建成露天矿生态修复示范工程，面积 10394 亩，植被覆盖度提高了 37.96%，废迹地治理率达 100%，建成露天煤矿地下水库储水系统，储水容量 122 万立方米，地面水库储水容量 21 立方米，实现了矿坑水“冬储夏用”。经四位院士组成的鉴定委员会认为：“成果达到国际领先水平”，项目研究成果获 2021 年度中国煤炭工业协会科学技术一等奖。

2 河北省承德市鹰手营子矿区资源枯竭型城市 矿山地质环境治理工程

根据《国家发展改革委员会、国土资源部、财政部关于印发第二批资源枯竭城市名单的通知》(发改东北〔2009〕588 号)文件，河北省承德市鹰手营子矿区被批

准为第二批资源枯竭城市。2010年9月，国土部、财政部联合批准了该项目，资金2.8亿元，分为三期。

该项目结合鹰手营子矿区的实际需要，考虑城市的发展和人民生命财产安全，结合城市规划，为鹰手营子矿区的建设切实提供了基础条件。完成采空区治理面积50亩，矿山环境治理面积22030亩，建设完成2处地下水水源地，为鹰手营子矿区的经济发展提供了基础动力，改善了城市的投资环境和人居环境。

煤矿采空区场地的稳定性分析采用数值仿真技术，成功分析采空区的分布特征，并出版专著《煤矿老采空区勘查设计实践与稳定性评价方法》，该种方法适用于煤矿采空区的稳定性评价。



注浆治理照片

3 冀中能源峰峰集团有限公司滏水服务中心二矿矸石山一期治理工程



二矿矸石山已存有数十年，污染物严重破坏周边环境。本次矸石山治理采用的无土快速生态修复技术，已彻底改变污染环境，而非传统的覆土绿化。技术核心是通过降低煤矸石表面已经氧化形成的毒害物质，切断矸石中污染物的化学氧化与生物催化氧化途径，利用高等植物-微生物-次生代谢产物进行联合控制，通过地表先锋植物的光合作用，形成丰富的碳水化合物，以作为煤矸石浅表层及深层微生物的持续碳源，使得煤矸石污染的综合生态控制效果，可达到数年免维护。该技术的创新点主要为：无需覆土；可快速实现3个月见绿，6个月见林；山体绿化的同时，消除了污染物，将矸石山变废为宝；无需后期人工维护。

目前已获得的奖项荣誉有：河北省煤炭学会科学技术奖一等奖、冀中能源峰峰集团科技进步奖二等奖等。

4 南京牛首山文化旅游区一期工程（佛顶宫、塔、寺及入口配套）

南京牛首山文化旅游区一期工程是佛顶骨舍利永久供奉地，位于江苏省南京市牛首山风景区，地上四层，地下六层，总建筑面积 13.6 万 m²，利用历史形成的矿坑而建，以自然模拟山体形态的手法，形体上修复坍塌山峰，重现牛首山历史上恢弘格局。是一座古典与现代结合、当代建筑和佛教文化相融、弘扬和展现中国优秀文化的世界级佛教艺术殿堂。

项目授权专利 45 项（发明 18 项），获国家级工法 1 项，省部级工法 22 项，发表论文 18 篇，出版专著 2 部；关键技术经鉴定，整体达到国际领先水平。先后荣获中国土木工程“詹天佑奖”、中国建设工程“鲁班奖”、国家优质工程奖等，成功举办了佛顶骨舍利世界供奉大会等大型活动 68 场，累计接待游客达 800 余万人次，社会效益显著。



图南京牛首山文化旅游区一期工程（佛顶宫、塔、寺及入口配套）实景

5 天山区“树上山”燕南裸露荒山绿化项目



天山区“树上山”燕南裸露荒山绿化项目，位于丝绸之路经济带核心区新疆乌鲁木齐市天山区。

本工程先后荣获首届“共创杯”智能建造技术创新大赛二等奖、第九届“龙图杯”全国 BIM 大赛三等奖、第五届中建协 BIM 大赛综合三类成果、新疆维吾尔自治区“新技术应用示范工程”、新疆维吾尔自治区优质工程“天山奖”、疆维吾尔自治区市政金杯示范工程、中国风景园林学会科学技术设计规划二等奖等，并获得授权实用新型专利 8 项。

在智能化灌溉中探索研究的滴灌管道高压鞍座连接施工方法，被主要用于灌溉主管道的连接，该方法连接牢固，安装方便，抗压能力强，耐腐蚀，抗氧化，后期

维护成本低,配件寿命可达 10 年以上,同时替代了三通管件热熔连接的原始方法,大幅提升了智能化灌溉技术的推进应用。

6 延庆赛区 A 部分场馆配套基础设施景观生态修复工程

延庆赛区 A 部分场馆配套基础设施景观生态修复工程位于北京市延庆区张山营镇小海陀山地,建设总规模约为 15.6 万平米,作业区长度约 5 公里,实际施工面积约 11 万平米,山体地形条件复杂。该项目是对冬奥会延庆赛区基础设施建设过程中造成的山体及植被破坏的生态修复工程,业主及延庆区政府通过表扬信及感谢信的形式高度赞誉了我司在延庆冬奥项目山体生态修复中的卓越表现。我司秉持“山林场馆生态冬奥”的设计理念,通过松散土长坡面重力式护坡结合毯垫施工技术、高陡坡锚索框架格室填充生态袋挂网喷播技术等高水平,高创新的山体生态修复及管护技术,展现山体生态建设成果,匠心打造了延庆赛区这一方青山绿水,呈现了最好延庆赛区、最美冬奥城。



7 矿坑生态修复利用工程—冰雪世界项目

矿坑生态修复利用工程—冰雪世界项目位于长沙市坪塘镇，项目是以历经 50 年开采而形成的百米深废矿坑为依托进行建造，是目前世界唯一在废弃矿坑内建造的大型冰雪游乐项目，同时也是世界首个矿坑遗址重生为主题乐园的大胆构想和尝试，被美国 discovery 频道评为“世界九大不可能完成项目”之一。

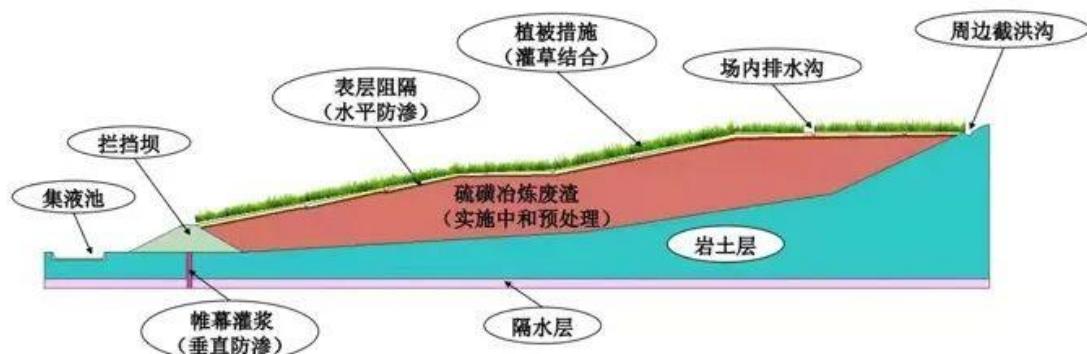
该工程采用地景式设计手法，将建筑隐藏于地平线以下与矿坑融为一体，建造过程攻克了喀斯特地质环境重载、大跨建筑的建造难题，研发了裸露岩壁绿色生态修复技术，完美修复遗留废弃矿坑这个巨大疤痕，带动周边产业的蓬勃发展。

项目获得了国家优质工程金奖、中国钢结构金奖杰出工程大奖、湖南省优秀工程勘察设计一等奖，中建集团科学技术一等奖等多项荣誉。



8 镇雄县坡头镇海塘历史遗留硫磺冶炼废渣综合处置及生态恢复工程

镇雄县坡头镇海塘历史遗留硫磺冶炼废渣综合处置及生态恢复工程



项目简介：

本项目采用“防渗风险管控+绿色生态恢复”方式对无序堆积 40 多年的 258 万 t 土法冶炼废渣进行原位封存后生态修复，是云南省打造“长江上游最美生态河流、践行‘两山’理念样板典范、流域绿色高质量发展先行示范区”具体行动——赤水河流域生态治理“九大攻坚行动”清单项目之一。

重大创新：

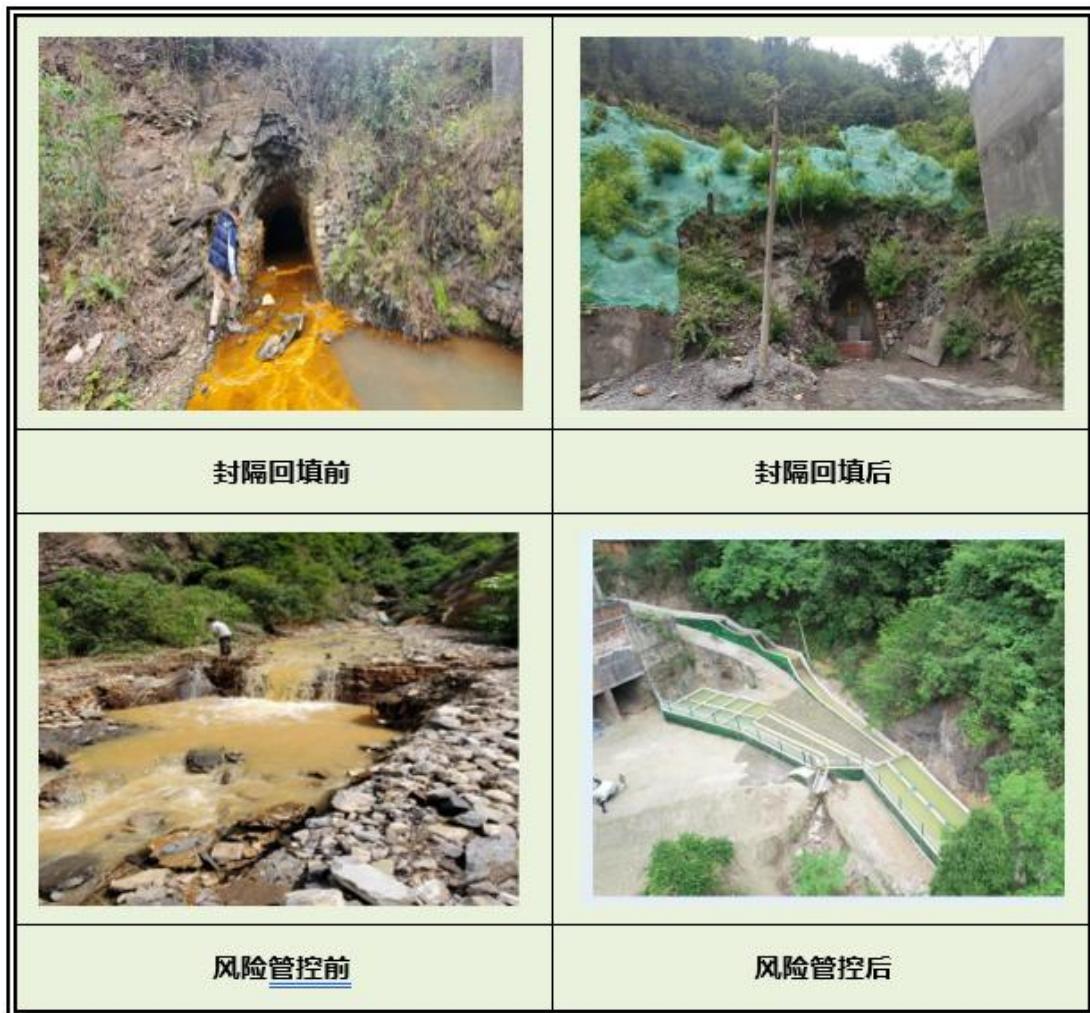
提出“防渗风险管控”的设计理念，采取“环境调查岩土勘察+风险评估+原位固化处置”的技术措施，最终实施绿色生态修复的模式。成果推广至附近三乡镇七个处置点，生态效益和社会效益突出。

奖项荣誉：

该项目获有色金属建设行业工程咨询成果 2021 年度“一等奖”，其中“原位固化封存”技术获 2020 年度咨询成果“二等奖”。

9 广元市朝天区关口煤矿矿井涌水治理试点项目

关口煤矿矿井涌水治理试点项目为全国首批地下水污染防治试点项目。如何实现对酸性矿井涌水进行经济、有效、可持续的治理是世界性难题。本项目遵循系统控制、经济有效、循序渐进的治理三原则，采取清污分流、减少补给，矿井封隔、抑制氧化，风险管控、降低影响，跟踪监测、产研结合四项治理措施，提出了关口酸性矿井涌水封隔回填、风险管控治理模式，实现了矿井封隔回填后，污染源得到控制，治理的运营成本大幅度降低。项目作为全国地下水污染防治试点项目当批次经验交流会及现场推进会唯一现场调研点，接受了来自 31 个省与会代表的现场调研，成果汇编入全国地下水污染防治项目示范案例专章，为推动长江经济带发展做出重大贡献，是“绿水青山就是金山银山”的探索与实践。



10 杭州九峰垃圾焚烧发电项目边坡综合治理工程设计

九峰高边坡高 130m、长约 1000m、坡率陡，占地 14 ha。矿坑“C”型环绕区域内布置了日处理生活垃圾≥300 吨城市生活垃圾焚烧发电厂一座，建筑面积 9.35 万方，是中国目前单体建设规模最大，环保工艺水平最高，环保排放标准最严的垃圾焚烧发电项目。是浙江省目前开挖高度最高、规模最大且地质复杂、颇具技术难度的永久性建筑边坡。

本项目是垃圾焚烧发电与矿坑高边坡的完美组合，是城市生态保护、垃圾焚烧发电与废弃矿山再利用、地质灾害科学处置等多方面融合的工程典范，充分体现了

资源集约、经济适用、安全耐久、环境优美的工程理念，是杭州市一幅靓丽的工程作品。

奖项：杭州市“西湖杯”二等奖、浙江“钱江杯”优秀勘察设计奖、鲁班奖



11 淮北市中湖矿山地质环境治理 PPP 项目

治理项目位于城市主城区，结合市政、水利、园林等建设工程，采用“超前治理”施工技术对非稳沉区进行治理，消除采煤塌陷地质灾害隐患，将毁损的土地得到重新利用，通过开展矿山地质环境治理和景观园林及配套设施建设，将原采煤塌陷区建设为集生态修复、科学研究、文化创意、旅游休闲为一体的城市中央公园，同时为淮水北调提供蓄水库容。治理区总面积约 1454 公顷，总投资约 22 亿元。项目荣获中国建设工程“鲁班奖”（国家优质工程）、安徽省优质工程奖“黄山杯”、安徽省优秀工程勘察设计奖，获得省级工法 3 项、发明和实用新型专利各 3 项、

省级 QC 成果 3 项，入选自然资源部发布的“18 个生态修复典型案例”和“10 个社会资本参与国土空间生态修复的典型案例”。



12 江苏省第十一届园艺博览会工程

江苏省第十一届园艺博览会工程，位于南京市汤山度假区，总占地面积 345 公顷，原场地内孔山、泥潭、太明湖三大露天矿场，2018 年被列入南京市 260 个关闭露采矿山名单，是国土空间综合整治与生态修复相结合的首个试点工程。

工程以举办江苏省第十一届园艺博览会为契机，创新采用矿坑生态修复、江苏精品园林创新表达、工业遗存活化利用技术，打造集园林园艺展示、休闲体验、度假康养和会展等功能于一体的文化旅游目的地，实现了矿山治理的绿色、可持续发展。

工程形成专利 34 项（发明 13 项），获省级工法 11 项，发表论文 16 篇；经鉴定，整体达到国际先进水平。成功举办了江苏名园传承与发展高峰论坛等大型活动十余次，累计接待超百万人次，经济和社会效益显著。



图 江苏省（南京）第十一届园艺博览会工程实景

13 山西省采煤沉陷区官地矿矿山生态环境恢复治理试点示范工程



本项目位于西山煤电官地矿片区，涉及高家河 200 码矸石堆场（A 区、B 区、C 区、D 区）以及连通 4 座矸石堆场的排矸路，整个项目区堆矸量约 1800 万吨，总治理面积约 50 万 m²，项目涉及灭火防火、山体整形、拦挡支护、排水导流、供水灌溉、道路工程、生态修复以及景观再造 8 大分项工程。总投资 11185.51 万元。

该项目在矸石山火情诊断、动态灭火、生态修复工艺及理念上均有重大创新，通过项目的实施，已累计授权矸石山综合治理专利技术 10 项，为同类项目的实施积累了丰富的治理经验。

该项目获得以下奖励及荣誉：**2019 第九届艾景国际园林景观规划设计大赛年度十佳景观设计奖；2020 年度绿色发展典型案例企业；2020 年度环保突出贡献企业**

14 乌拉山南北麓矿山环境治理与生态修复项目

乌梁素海流域山水林田湖草沙生态保护修复试点工程，以建设我国北方重要生态屏障为中心，统筹山水林田湖草沙一体化保护修复。矿山环境治理与生态修复项目作为其中最为重要的组成部分，于 2021 年 12 月底全面完工，治理面积 70.65km²，有效遏制水土流失，助力流域生态功能提升，每年可减少 100 万立方黄沙流入黄河。工程入选 2020 年《社会资本参与国土空间生态修复案例》，2021 年《基于自然的解决方案中国实践典型案例》，对我国乃至全球生态修复本地化应用具有广泛示范和借鉴作用。

项目团队创新适用于大面域、工程化的“三重治理”废弃矿山生态修复模式，有效恢复地形地貌景观 60%以上；从工程措施和植物措施相辅相成的角度出发，创新研发“矿山生态修复综合管理平台”，服务于矿山修复各环节的方案选择；主编《矿山生态修复效果评价技术规范》，弥补了相关领域的标准空白。



15 木里矿区生态整治项目（标段一）聚乎更七号井



聚乎更七号井地处黄河重要支流大通河的发源地，是祁连山区域水源涵养地和生态安全屏障的重要组成部分，生态地位极为重要。同时矿区所处位置是青藏高原典型的生态脆弱区，区内多分布大片冻土和高寒草甸等湿地植被，区域生态敏感脆弱，易遭破坏，且难于恢复。

治理后使得治理区与周围地形地貌相协调。项目是国内外唯一高原高海拔地区（海拔4200米、冻土地区）大规模种草复绿工程；通过水系连通，对采坑西侧的三个采煤形成的深坑进行降坡复绿，坑内蓄水成湖，坑间导通联系最终汇入湿地形成了远山近湖山水相映与自然相协调的美好景色。通过煤炭资源保护，对高原、高寒地区煤炭资源进行保护，重塑人造冻土层，有效的保护煤炭资源，防止进一步氧化、自燃。

重大创新

- 1.高原种草七步法；
- 2.高原冻土区域出露煤层封填防治自燃技术；

3.高原种草播种后的处理方法。

奖项荣誉

参与的《高原高寒地区煤炭生态地质勘查与矿山环境修复关键技术》获得中国地质学会 2021 年度十大地质科技进展地会字【2022】19 号

16 昆明市滇池东岸关停矿区地质环境恢复治理示范工程（生态绿地）



“万亩千疮不复还，百花万树立东岸”

滇池东岸的昆明经济技术开发区，示范工程上青山葱茏。

2007 年前，这里是昆明市主要的砂石料基地，野蛮无序开采持续数十年。2012 年，“昆明市滇池东岸关停矿区矿山地质环境治理示范工程项目”经财政部及国土资源部联合发文立项，治理面积 10.53km²，获批中央资金 3 亿元。

示范工程治理地质灾害 300 余处，恢复绿地 9200 多亩，整理建设用地 6594 亩，栽种植物 800 余万株，实际总投入 20.4 亿元。

项目多次承接各省自然资源部门和专家的考察；荣获“绿色矿山科学技术重大工程奖”、“优秀质量管理小组奖”等。

项目将土地资源整合与植被恢复科学结合，消除地质灾害隐患、盘活土地资源；土地出让后，有效回笼资金；招商引资带动地区产业发展，生态、经济、社会的综合效益显著。

17 中广核湖南益阳邱家仑风电场环保绿化生态修复工程



该项目针对南方高山风电场普遍存在的高陡溜渣边坡和基岩边坡造成原生生态植被损毁、水土流失加剧等问题，芷兰生态环境建设有限公司按照分区治理、因害设防的原则，利用自主研发的柔土土壤活化剂、柔土生物水肥仓、柔土固结纤维等材料，创新性的提出了“藤先锋”、柔性生态水肥仓、耐瘠低耗水植物预陪、自稳定多维生态位植配等技术，系统性解决了高山风电场高陡溜渣坡植被恢复难题。修复 6 个月后植被覆盖率达 80%。一年后，在无养护情况下覆盖率达 95%。

本项目共申请专利 7 项，获“中国风景园林学会”科技进步奖三等奖 1 项，“藤先锋”技术通过院士专家组鉴定，并荣获 2020 年度湖南省优质工程项目号。

18 汾西矿业两渡河东矿自燃煤矸石山综合治理项目

山西省汾西矿冶集团投资 4000 余万元的灵石两渡河东矿综合治理项目是高数十米的陈旧性矸石山，三座堆积体自燃状况、稳定状况也存在较大的差异，灭火需要差别化分而治之。由于建国初期自建井工煤矿生产技术水平较低，排放的矸石中碳硫等可燃物质残余量较大，一号矸石山采用了结合山体施工道路建设修整山形、完善截排水系统，然后重建表土、恢复植被景观的技术方案。而对处于自燃发生、发展期的二号、三号矸石山，结合地貌调整以埋压、挖除、注浆、喷射注浆多种矸石灭火技术实施整体灭火降温、防火除隐患的综合作业，为后续植被恢复工程奠定基础。经过彻底‘整容’的矸石山，治理率达 99%，水土流失治理达 98%，植被恢复系数达 98%，水土流失控制率达 98%。



图 1、综合治理前后对比

19 金沙县新化乡化竹煤矿矿山地质环境保护与恢复治理工程



1、项目简介

2013 年 9 月 28 日启动治理工程，治理工程所需资金全部为企业自筹。截止 2020 年 4 月末，累计投资达 6.7 亿元人民币。

2、重大创新

废弃矿区变园区、废弃资源变资产。结合高标准农田建设、乡村振兴培育新产业进行地貌重塑

3、奖项荣誉

2018 年 6 月 30 日，毕节市市级农业产业产业园区。

2018 年 8 月 31 日，在化竹煤矿召开贵州省矿山地质环境综合治理现场会。

2019 年 10 月，被评为贵州省省级现代高效农业产业示范园区。是全省唯一一个在工矿废弃地上建设起来的省级示范园区。

20 自贡市大安区盐卤矿山地质环境恢复治理示范

该项目是国内首次对盐卤矿山废弃井进行治理工程，通过自贡市大安区盐卤矿山地质环境恢复治理示范工程的治理整治，采用石油系统中的通井、钻磨通井、射孔、固井等技术使污染井源得到有效治理，加上土地整理、种植经济林地等措施进行土地恢复治理，矿山生态环境逐渐恢复，整理土地面积 1.062 公顷，矿区内林地、耕地、建设用地面积有了不同程度的增加，有效根治了大安区大山铺镇废弃盐卤矿井卤水（气）渗漏或者外溢，大大削减了二氧化硫、硫化氢气体排放量，使周边地区的大气、土壤、地下水污染情况得到有效改善，过去又臭又脏的矿山，正在变成清新绿色的公园。

作为全国首个井盐矿山恢复治理示范工程，该工程为同类型矿山提供了经验，为后续治理工作起到了良好的示范作用，是一项功在当代、利在千秋的惠民工程。

	
治理前天然气出露	治理前 H2S 监测
	
治理后封井	治理后管汇

矿山生态修复创新技术

01 采煤沉陷积水区人居环境改造与生态一体化重构关键技术

针对我国东部高潜水位采煤沉陷区生态修复技术难题，安徽大学与安徽省交通商务工程公司等联合攻关，研发了沉陷积水动态预测和地形分区改造模型；形成了超前治理规划、“边采边复”施工和生态重构关键技术体系；以淮北绿金湖沉陷区为示范基地，重构土地 2.45 万亩，构建了集建筑区、绿地广场、水域、道路四大系统于一体的全国最大地市级城市中央湿地公园系统；经济、生态、社会效益显著。

该技术创新了集“超前规划-动态修复-长期运营”于一体的沉陷区可持续发展范式，广泛适用于我国中东部煤炭资源型城市转型发展中的人居环境与生态一体化重构，为践行煤炭资源“金山银山”和生态环境“绿水青山”和谐发展的理念提供了理论依据和技术支持。



城中沉陷区人居环境与生态一体化规划理念
采煤沉陷积水区人居环境改造与生态一体化规划

02 二_o氧化碳致裂及机械化排除地质灾害技术

二_o氧化碳致裂技术原理是二_o氧化碳液态转为气态瞬间膨胀，压强骤变引起爆炸。钻孔内部放置二_o氧化碳致裂器，发生爆炸使危岩体受外力裂开破碎，通过反复试验总结出钻孔间距、深度等数据，精准性强。该技术除致裂器主体以外不发生明火，没有二次化学反应，安全、环保、扰动性小，解决了爆破安全隐患大，环保不达标等问题。

独创机械化排险技术，针对不同矿山排险要求研制了“一体式加长钎杆”、“插入式加长钎杆”和“排险清危杆”。通过加长杆与挖掘机的车丝和焊接双重连接，取代传统人工倒挂排险方式，安全、灵活、高效、成本低廉。

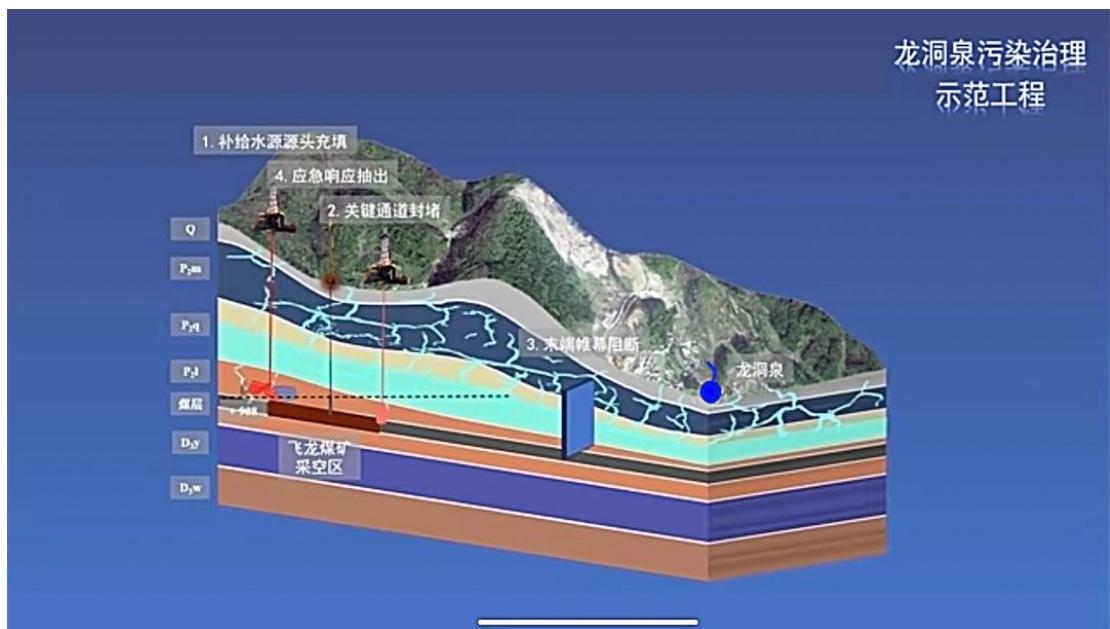
以上技术能够广泛应用于消除矿山崩塌、滑坡等地质灾害，尤其能够满足对扰动性、环保等要求较高的区域，推广价值极大。



03 关闭煤矿酸性废水污染治理技术

该技术广泛适用于喀斯特地区复杂的关闭煤矿酸性废水污染的综合治理，其工艺流程为首先采用空地深综合手段进行精细化勘查，查明治理区水文地质条件和污染机理，精细刻画采空空间、污染源头和通道，然后实施源头减量+关键通道控制+末端阻断+应急抽出处理保障的四位一体治理，最终以不少于1个水文年的治

理后评估，检验治理效果，形成了“勘查+治理+评估”的特色成套技术。该技术以水文地质理论为基础，首次将煤矿防治水先进技术应用于关闭煤矿酸性废水治理工作，开启了酸性废水治理从末端处理向针对“污染源头和通道”进行根本性治理的重大转变，属国内首创，在我国酸性矿井水治理领域，尤其是南方岩溶煤矿区具有广泛的推广应用前景。



04 废弃矿坑百米级超高陡边坡治理及生态恢复关键技术

本技术适用于废弃矿坑灾害治理、边坡加固、地貌重塑、生态恢复等类工程。针对既有废弃矿坑开发利用中，边坡长期稳定性与变形控制、超高边坡治理、地形地貌生态恢复、滑坡预警等难点，建立了废弃矿坑边坡-基础-建筑结构共同作用设计理论与方法，研发了废弃矿坑超高边坡治理与覆绿施工方法，开发了基于“蠕变时效”原理的高边坡滑坡预测预报技术，发明了生态灾害监测预报系统，实现了废弃矿坑资源开发利用及生态修复。

本技术授权专利 27 项（发明 19 项），获国家级工法 1 项，省部级工法 11 项，出版专著 1 部，发表论文 16 篇；获省部级科技进步一等奖 3 项；成果在南京牛首山佛顶宫、上海世茂深坑酒店、江苏省园博园等工程成功应用，经济和社会效益显著。



应用项目：牛首山佛顶宫

05 基于“类壤土”基质的矿山生态环境综合治理技术

秉持“以自然的方式恢复自然”的理念，在裸露岩石表面重塑土层结构，为植物生长提供了有利的立地条件，克服了岩质边坡固土难、植被覆盖率低、治理效果难以持久的难题。植物种子在表层发芽生长，初期根系伸入底基层，后期根系伸入岩体裂隙或凸凹处，植物持续生长，实现种子在岩石上长成大树，且无需人工管理，与周边自然山貌相似度 90% 以上。实现新增碳汇，增强水土保持能力、改善气候、提高生物多样性。在“山水林田湖草沙”生态恢复领域内广泛实施并取得了

示范性效果，尤其适用于岩质或土质等边坡及高陡边坡，包括露天金属矿山、露天非金属矿山等。已列入国家发展改革委、科技部、工业和信息化部、自然资源部组织编制的《绿色技术推广目录（2020年）》。



06 矿山岩质高陡边坡治理技术体系

河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队

(河北省矿山环境修复治理技术中心)

独创的矿山岩质高陡边坡治理技术体系包括“喷砼飘台”、“飞挂土槽”、“钢化玻璃锚固结构”、“混凝土预制片拼装”、“钻孔复绿”等多项专利技术。能够在高陡边坡上构建植物生长平台，筛选出适用于矿山生态修复的植物，以“乔灌草藤”结合栽植的形式，形成自给自足微型生态系统，打造全方位立体绿化效果，即使在冬季也能生长常绿乔木，视觉景观效果极佳。“钻孔复绿”技术，利用钻孔技术工艺为植物生长营造有利的生长环境，将钻孔技术工艺与园林种植有机结合。

以上技术解决了北方地区高陡边坡治理传统难题，先后应用于多个县市，被人民网、新华网等多家媒体报道，荣获了省部级奖项，推广价值极大。



07 扰动区植被混凝土/植生水泥土生态修复技术



江西省瑞昌市黄金乡江联矿区生态修复项目

技术原理

以水泥基作为生境基材的骨架和胶结材料，添加具有八大功能的生境基材改良剂，实现边坡防护与生态修复的有机结合。

工艺流程

坡面预处理---> 截排水系统 ---> 加筋系统->基材配制--->基材喷植 覆盖
--->养护管理

适用范围

适用于矿山、水电、交通、市政等项目建设产生的 84°以内的各类土质、岩质、土石混合、人工硬化边坡的防护及生态修复。

技术优势

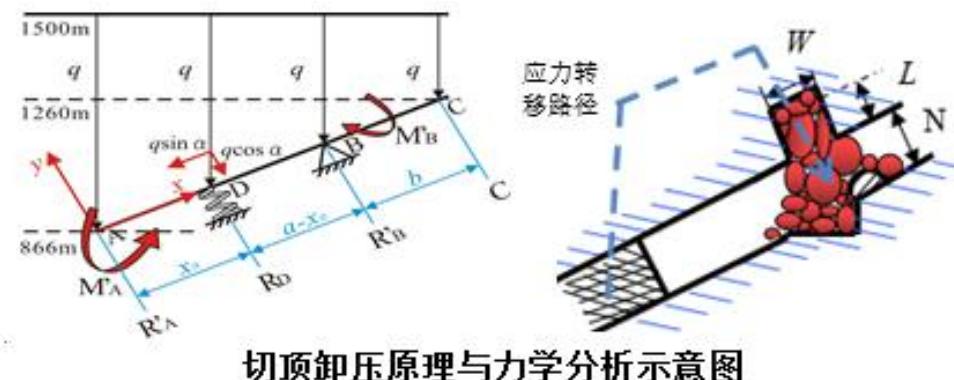
自 97 年研发以来，已形成了一个完整的技术体系，核心技术获国家授权发明专利 60 余项、实用新型专利 90 余项，获省部级奖励 10 余项，形成国家能源行业标准 2 部，最新技术成果被国家权威机构鉴定为国际领先水平。

推广前景

技术成果已在全国 24 省市自治区成功推广应用，总面积逾 2500 万 m^2 。2020 年成立了三峡大学润智生态科技产学研联盟，目前联盟合作单位 32 家，分布全国，形成了较好的推广网络。

08 切顶卸压理论及矿山生态环境修复与绿色开采创新技术

李俊平，张幼振，王海泉，刘非



采空区处理和深部开采动力灾害防控是我国长期存在的采矿技术难题，处理不当地表开裂下沉，深部易发生岩爆或大变形，无法实现绿色开采与生态环境修复。项目原创性提出切顶卸压理论，据此发明水平至急倾斜采空区处理与卸压开采方法及其技术体系，克服了无定量设计、不能卸压、施工昂贵等缺陷；不仅释放切槽口附近地压，也引导应力向底板转移，且堆石坝似弹簧结构可有效减缓沉降。已成功处理国内 10 余省 30 多家矿山企业的开采难题，实现了绿色卸压开采和矿柱全采，仅 10 家企业就带来超 18.9 亿效益。发表论文 42 篇，出版该领域第 2~4 部专著，授权发明专利 12 项，获陕西省科技进步二等奖和高校科技一等奖，促进了绿色安全开采与生态修复技术进步。

09 水土流失控制技术

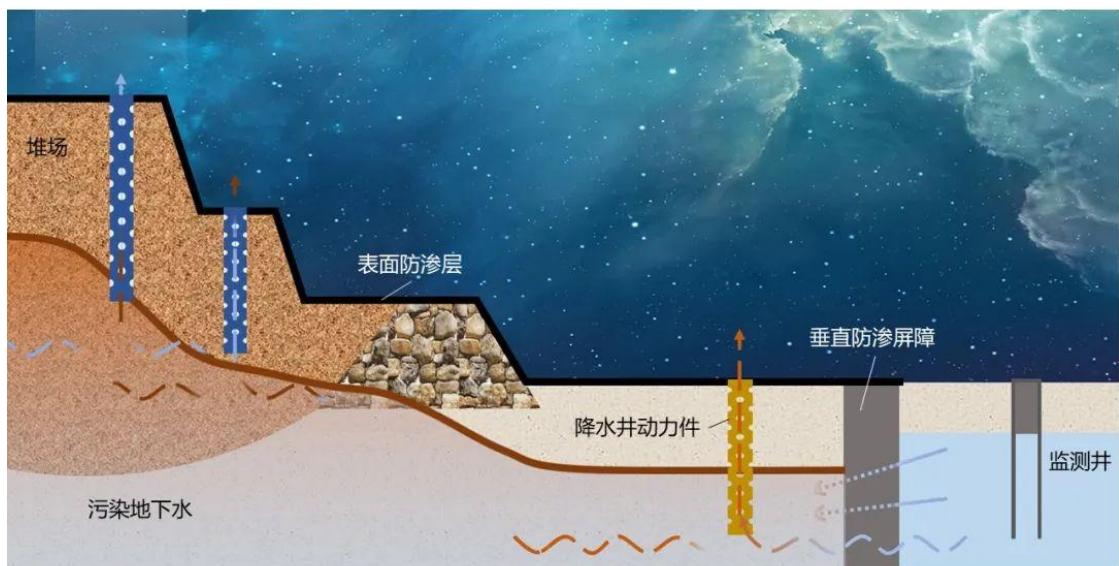
在安宁亚热带高原季风气候区磷矿山排土场示范区采用乔灌草结合的方式，针对矿山景观修复模式选择乔木树种云南红豆杉、北美红栎、欧洲莢蒾、滇润楠、滇青冈，灌木树种云南含笑、云南黃素馨、小叶女贞、滇牡丹等，草本黑麦草、早熟禾、波斯菊等；针对矿山生态修复技术模式，选择油橄榄、紫玉兰、北美红枫、欧洲莢蒾、牛筋条，灌木树种红花檵木、迷迭香、云南含笑、栒子、火棘，草本高羊茅、狗牙根、绿肥等，形成生物层层拦截降雨；边坡采取沿等高线栽植乔木和灌木，乔木之间每隔 50cm 栽植 1-2 株灌木，形成坡面径流的拦截，同时，在乔、灌木栽植带之间，沿等高线开挖浅沟，撒播草种，形成草袋拦截坡面径流；在坡面底部、平台内侧的排水沟，设置微型谷坊，拦截沿排水沟流淌的泥沙，形成水土流失的层层有效拦截。





010 微渗透负压防渗净化技术

微渗透负压防渗净化技术是一种适用于地下水污染治理、防洪堤坝、水库坝体、尾矿库、堆场等众多领域的矿山生态修复技术。通过弧形垂直防渗屏障与降水井群配合设置，气驱式竖向排渗动力件负压吸水，通过水压差改变地下污水渗流方向，从而带动污染羽流向改变，实现地下污水始终沿同一路径流向降水井群，通过动力件对降水井群内的地下污水抽出至集液池内并通过污水处理装置集中处理，使得地下污水环境从源头上净化修复，实现了负压抽水诱导主动净化模式。本技术采用负压抽水诱导主动净化，从源头上治理了污染，实现了污染的本质净化与环境安全，解决现有单一使用垂直防渗屏障技术存在的未对污染物治理清除和系统失效引发环境污染的问题。



云南金鼎锌业有限公司一冶炼厂渣库环保治理项目

一冶炼厂渣库为 80 年代建设的老旧渣场，由于“三防”措施不到位，渣场四周边缘外扩大约一公里范围内有铅、锌、镉污染。该项目水文地质条件极其复杂，将高海拔地区地下水污染原位管控的施工深度提高至 95 米，创国内施工之最。同时也是国内首例成功在粉质黏土覆盖层实现地下水污染原位管控的案例，整体透水率小于 1.0Lu。通过多手段耦合，特别是中铝生态自主研发的微渗透负压防渗净化技术的使用，实现了帷幕外侧地下水水质各主要指标大幅降低并稳定达到地下水三类标准，并可在帷幕屏障因老化或外部震动产生裂缝造成系统失效等极端情况，阻止污染外溢，维持渣库长久安全。2021 年 12 月 22 日，云南省生态环境厅组织专家组对本项目进行了验收，一致同意通过验收。



011 尾矿库闭库、光伏发电与生态修复耦合技术



我国存在大量尾矿库、排土场、采空区等废弃地，综合利用难度大、牵涉面广、经济性差。本技术先利用专利技术对尾矿库沉积滩面进行尾矿改良，然后根据项目所在地气候条件优选植物进行生态修复，安装光伏面板发电造能，同时引入快速通讯技术、智慧管控平台，实现整个尾矿库、光伏、植被、电力、环境、安全等各方面的智能化监控和管理。本技术将尾矿库闭库和光伏与生态修复有机结合，可推广至排土场、采空区，或与市政园林配合构建休闲观光综合体，具有多种开

发展模式，解决了大面积废弃地难利用、经济性差等问题，可助力传统矿山企业转型升级，实现绿色化、智慧化发展。

012 无灌溉植树技术

(乌海市隆昌工贸西排渣场南坡无灌溉植物技术绿化工程)

在干旱地区使用传统灌溉方式耗用水量大，而且使部分植物根系表层化，一定条件下反而植物死亡率，后期换栽甚至换土产生巨大的资源浪费。

无灌溉植树技术是通过特定的植树方法和装置，利用自然降水和空气中水分，使植物自然生长、无需人工灌溉的技术。该技术已在西藏、青海、内蒙古、甘肃进行了大量试验和推广，成效显著。该技术获得 21 项专利授权，通过科技成果鉴定，并获 2021 年梁希林业科技奖二等奖。

该技术常用装置包括知水盘™、知水堡™，可适应我国不同地区、不同种类的干旱气候和土壤条件，两种装置均可由无害、降解材质制成。通过正确装配，发挥装置的收集水分、控制蒸发、平衡温差等科学特性，即可无灌溉植树，提高植物成活率，保护水土资源。

乌海项目运用了该技术，获得了媒体及业主的高度赞誉。



(图为在内蒙古阿拉善应用无灌溉植树技术栽植青海云杉)

013 煤矸石山生态环境综合治理方法

在北京矿业大学胡振琪教授前期研究实践基础上，融合中国林业科学院荒漠化研究所、林业机械研究所及北京矿冶研究院植物胶研究中心的专项技术成果，逐步形成了由一项创新技术概念专利与多项设备、资材、工法专利集群及工程技术标准构成，集自燃煤矸石灭火、防火减灾技术与工业固废堆积体植被重建技术于一体，实现了一套机械装备、两类泥浆配方、多种施工工艺的机械化快速作业模式，专项治理技术在矸石山灭火抢险工程和砾石坡生态修复工程中得到验证，并取得了综合治理工程当年施工见效、可持续回归自然的治理修复效果验证、目前已得到普及应用。

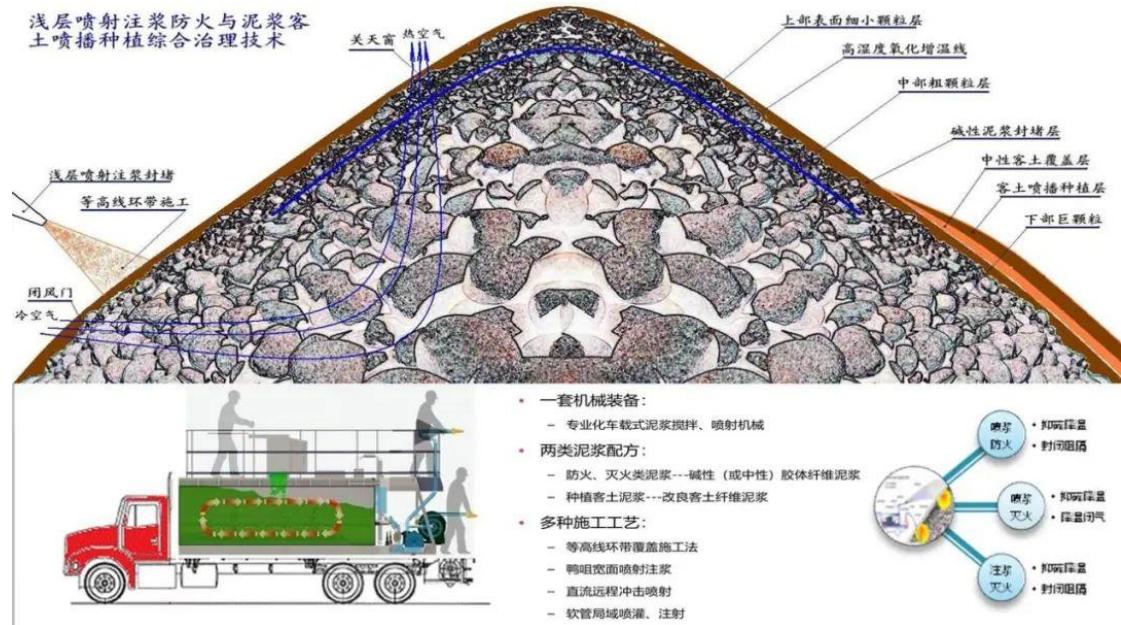


图 1、专利技术集群图例

014 采煤沉陷区建设用地综合治理成套技术

工艺流程：

针对在采煤沉陷区建设缺乏系统理论和方法的问题，在研究和实践的基础上创立了地基稳定性的评价理论和方法，提出了治理检测方法和标准，形成了包括老采空区勘察技术、地基稳定性评价技术、注浆治理技术和建筑物抗采动影响影响技术的综合治理成套技术。工艺流程见图 1，工程建设图见图 2。



图 1 工艺流程图



图 2 工程建设图

第一步：采空区岩土工程勘察。钻探+物探+钻孔电视的综合方法进行勘察，查清采空区的平面分布、采空区及其上覆岩层的垮落、裂缝、充填现状。

第二步：采空区场地稳定性评价。通过对勘探结果和地质采矿资料的分析，从空间稳定性、时间稳定性、残余移动变形及特殊地质条件的影响，对采空区的稳定性进行综合评价。

第三步：采空区治理设计。根据稳定性评价，如需治理，设计治理方案，包括钻孔位置及数量，注浆方式，注浆材料等。

第四步：采空区治理工程施工。按照治理方案设计进行采空区治理施工，在施工过程中进行监测与检测，控制治理工程的质量。

第五步：采空区治理效果综合检测与评价。由于采空区治理工程的隐蔽性和复杂性，需对采空区注浆效果是否达到设计要求进行检测及评价。

适用范围：

受煤矿开采影响的沉陷区建设工程用地的综合恢复治理利用领域

技术优势：

(1) 揭示老采空区覆岩及地表变形随时间衰减规律，建立了老采空区空隙分布率及残留空间计算式，奠定了老采空区残余沉降预测、稳定性评价的理论基础；

(2) 提出了地基稳定性评价分析方法，并构建了老采空区稳定性的模糊综合评价和模糊可拓评价模型，为采煤沉陷区建设工程设计与保障工程安全性提供了支撑；

(3) 提出了“物探+钻探+彩色钻孔电视+钻孔冲洗液漏失量观测+岩石力学试验”的注浆效果综合检测方法，构建了注浆检测标准。为建设工程用地的安全适用提供了技术依据与保障。

推广前景：

成套技术已在高层建筑、电厂、大型社区、港口码头等大型工程得到成功应用。

由于我国煤炭城市数量多，采煤沉陷区建设用地需求量大，该技术应用前景广泛。

015 多石少土矿治废弃地污染原位治理与修复技术



本技术已形成由生物质热解加速风化成土、拦挡-渗透反应坝墙一体、原位防氧化覆盖阻隔、酸化尾矿/固废连续原位中和、采选场地及周边土壤重金属及产酸物质脱除、采选废弃地“土壤培肥改良+乔灌草组合+微生物”联合修复、基于资源昆虫寄主植物种植的干热河谷采选冶废弃地生态修复等 7 类单项技术构成的技术体系。

可低成本解决历史遗留金属矿治废弃地突出的地石多土少，覆土缺乏等难题；协同实现废弃地重金属污染治理、水土流失和地质灾害防治、生态修复、造林固碳等多重目标。申请国内外专利 55 项，获授权 20 项；获环境保护科学技术二等奖

1项；国际发明展览会金奖、银奖各1项；中国发明协会发明创业项目奖银奖1项，编制团体标准和地方标准2部。

来源：InnoMining 创新矿业

免责声明：本号转载来源于网络，所有内容和观点不代表本号立场。目的仅在于为大家的思考和研究提供资料，转载内容版权归原作者所有，若有侵权，请联系我们修改或删除。