# 1、成果基本情况

1）成果名称：晋陕蒙接壤区煤炭基地引导型生态修复理论与关键技术

2）主要完成单位：中国矿业大学、神华神东煤炭集团有限责任公司、准格尔旗矿区环境恢复治理中心

3）主要完成人：卞正富、雷少刚、杨永均、贺安民、鞠金峰、郭洋楠、杨德军、熊集兵、程伟、刘英、黄继磊、刘峰、王维忠、张绍良、刘辉

# 2、推荐意见

当前，我国正在加快推进生态文明建设，坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针，实施国土空间整体保护、系统修复与综合治理。《国家中长期科技发展规划纲要》将生态脆弱区域生态系统功能的恢复重建列为优先主题。国土空间生态修复急需技术支撑，2018年出台的自然资源部《自然资源科技创新发展规划纲要》将国土生态修复技术体系作为2020-2025的中重大科技成果培育计划。

晋陕蒙接壤区煤炭基地是我国典型的生态脆弱区，同时也是自然资源部《全国土地整治规划》确定的生态建设活动损毁土地复垦重大工程区域。该区域生态脆弱、开采强度大，存在生态扰动机制不清、合理修复程度缺乏判别标准、人工与自然生态修复措施难协同等科技难题，生态修复理论和技术亟待突破。该成果依托国家科技支撑计划、973计划和国家自然科学基金重点等项目完成，创立了煤炭基地引导型生态修复理论与关键技术，相关成果编入了行业技术标准，成果在多个矿区得到了推广应用，产生了较大的社会和生态效益。该项目实用性好、创新性明显、科学价值高、推广应用潜力大，整体达到国际领先水平。因此，推荐该项目申报2020年国土资源科学技术奖一等奖。

# 3、成果简介

近年来，我国煤炭开发战略西移，建设的14个大型煤炭基地中9个在西部干旱半干旱地区。其中晋陕蒙区域生态脆弱、开采强度大，该区域的煤炭产量超过全国的70%，生态扰动机制不清、合理修复程度缺乏判别标准、人工与自然生态修复措施难协同等科技难题制约了当地的生态修复和生态文明建设。本项目依托国家科技支撑计划、973计划和国家自然科学基金重点等项目，历经15年科技攻关，创建了晋陕蒙接壤区煤炭基地引导型生态修复理论与关键技术。该项目取得的创新成果包括：

1）针对脆弱生态系统属性认知和调控难题，创立了矿山生态系统恢复力理论体系。揭示了采矿扰动下生态系统自修复特征和机理，创立了矿山生态系统恢复力理论模型，实现了半干旱矿山生态系统非线性动力学行为的高精度数学模拟，揭示了系统关键参数、恢复力性质和调控机理，为生态修复的问题诊断、目标识别和系统修复提供了科学依据。

2）构建了生态修复问题诊断技术体系，解决了煤炭基地生态扰动机制复杂和监测难题。研发了基于探地雷达的沉陷土体损伤探测、高精度定量遥感监测、沉陷变形时序DInSAR监测、沉陷区土壤参数模拟测试、基于叶绿素荧光的植物胁迫与损伤检测、基于CA-RF的矿区植被生态多情景模拟等技术，构建了面向扰动与恢复的多过程、多尺度、多要素监测技术体系，揭示了岩层移动-地表沉陷-生境扰动-植被损伤-生态影响5大关联过程。

3）研发了生态修复目标识别关键技术，解决了生态保护和修复合理程度缺乏判别难题。基于生态要素间相互作用关系的矿山生态系统阈值识别技术，探明了40组生态系统状态变量-参数变量间的定量关系，发现了地下潜水位、土壤含水量、植物生活型、植被覆盖度、根系损伤量、工作面采宽6个关键生态阈值。首次构建了半干旱矿山生态阈值体系，为引导型生态修复提供了判别标准。

4）开发了煤炭基地生态系统修复技术，解决了生态系统自然和人工修复协同难题。开发了研发了基于沉陷控制与开采参数优化的水土保持型开采技术、开发了化学软化促进采动裂隙自修复和地面钻孔引导水源蓄存技术，实现了源头减损。研发了地裂缝恢复能力测度、超高水材料地裂缝高效充填、沟-缝-槽微地形塑造、保水保肥缓释、基于生态草毯的地被层构建、全地形植物群落配置的采后引导型生态自修复系列技术。

通过理论与技术研究，该项目创立了引导型生态修复技术体系，该技术体系立足于生态系统固有的自修复能力，通过系统诊断，揭示采矿扰动与生态恢复机制，探明关键生态阈值，科学实施干预措施，促进受损生态系统恢复到自维持状态。应用结果表明，生态修复成本降低19%，修复后生态系统自维持能力综合评价结果优于盲目式人工修复25%、原地貌对照区10%。

本项目获授权发明专利12项，出版专著5本，培养博士/硕士25人，在SCIENCE等权威期刊发表SCI/EI论文60余篇，编制《山水林田湖草生态保护修复工程技术导则》等技术规范6部。在神东、准格尔旗、乌海3个大型煤炭集中开发区得到了应用，治理沉陷区2.87万亩，降低生态修复成本19%，产生直接和间接经济效益1.1亿元。技术成果支撑了神东矿区从“煤都”到“绿都”的转变、国家水土保持科技示范园区的建设，并被新华网等媒体报道。

# 4、客观评价

自2005年来，本项目技术成果的不断深度和应用支撑了神东矿区从“煤都”到“绿都”的转变，新华网于2018年3月28日以《从“煤都”到“绿都”——神东生态环境治理纪实》对相关成果进行报道了，表明神东矿区逐步形成了“采前防治、采中控治、采后修复”和“外围防护圈、周边常绿圈、中心美化圈”“三期三圈”的生态治理模式，给矿区环境带来了日新月异的改变。本项目技术成果应用的大柳塔、哈拉沟采煤沉陷生态修复区被评为国家水土保持科技示范园区、国家水土保持生态文明工程建设、陕西省省级矿山地质环境治理示范区，技术理念和应用成果得到了国家和省政府主管部门的认可。

本项目的引导型生态修复核心理论和技术纳入自然资源部《山水林田湖草生态保护修复工程技术导则》、《矿山生态修复工程技术标准》、《退化土地修复治理工程技术标准》、《西部煤矿区土地退化因素调查规程》、《西部煤矿区土地退化因素评估规程》、《西部煤矿区自然地理与环境本底调查规程》6项技术标准，得到了行业认可。

2007年12月，神华集团组织专家对科技创新项目“神东矿区采煤塌陷区生态恢复技术试验与示范研究”进行验收，综合评议认为项目揭示了采煤对生态系统的影响，提出了适合神东矿区的生态恢复技术，具有创新性。

2015年1月，神华集团组织中国工程院院士顾大钊、著名地理学家蔡运龙等专家对国家“十二五”科技支撑计划课题“晋陕蒙接壤区煤炭基地生态建设关键技术与示范”进行验收，认为项目积累了大量基础科学数据，创新了土壤和植物修复技术。

2019年12月，中国煤炭工业协会组织中国工程院武强院士、中国农业大学张凤荣教授等专家鉴定，该技术成果达到国际领先水平。

# 5、主要知识产权

1）代表性论文/著作

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文专著名称/刊名/作者 | 年卷页码 | 发表时间 | 作者 | 他引总次数 | 检索数据库 |
| 1 | The Challenges of Reusing Mining and Mineral-Processing Wastes. Science | 2012,337:702-703 | 2012.8.10 | 卞正富，雷少刚等 | 220 |  |
| 2 | Environmental issues from coal mining and their solutions | 2010,20(2):215-223 | 2010.2.15 | 卞正富， Hilary IINYANG，John LDANIELS等 | 180 |  |
| 3 | 矿区土地修复的几个基本问题. 煤炭学报 | 2018,43(01):190-197. | 2018.1.18 | 卞正富， 雷少刚， 金丹等 | 56 |  |
| 4 | 煤炭开采的生态效应及其地域分异. 中国土地科学 | 2015,29(1):55-62 | 2015.1.1 | 杨永均，张绍良，侯湖平等 | 38 |  |
| 5 | 缺水矿区关键环境要素的监测与采动影响规律研究. 中国矿业大学出版社 |  | 2012.4.1 | 雷少刚 |  |  |
| 6 | 矿山土地生态系统恢复力性质、测度与调控. 科学出版社 |  | 2020.3.1 | 杨永均 |  |  |
| 7 | 基于SAR影像的矿区大量级地表形变监测方法研究. 中国矿业大学出版社 |  | 2018.9.14 | 黄继磊，雷少刚，邓喀中 |  |  |
| 8 | 晋陕蒙接壤区大型煤炭基地地下水保护利用与生态修复.科学出版社 |  | 2015.6.1 | 顾大钊，卞正富，雷少刚等 |  |  |

2）发明专利

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **专利号** | **专利名称** | **发明人** | **专利权人** |
| 1 | ZL 2016 1 0303472.3 | 一种GNSS-DInSAR技术集成的角反射装置 | 刘振国；卞正富；雷少刚 | 中国矿业大学 |
| 2 | ZL 2015 1 0382551.3 | 一种潜水蒸发条件下地下水临界深度的计算方法 | 杨德军；卞正富；雷少刚；熊集兵 | 中国矿业大学 |
| 3 | ZL 2014 1 0719050.5 | 一种土壤含水率间接获取及快速评价方法 | 杨德军；卞正富；雷少刚；熊集兵 | 中国矿业大学 |
| 4 | ZL 2014 1 0018099.8 | 探地雷达测定扰动土壤水含量多功能实验装置 | 雷少刚；甄菲；王影；杨赛；马福建 | 中国矿业大学 |
| 5 | ZL 2015 1 0189794.5 | 沟谷地形下煤炭开采对地表径流影响的实验装置及方法 | 鞠金峰；张广磊；许家林 | 中国矿业大学 |
| 6 | ZL 2018 1 0444777.5 | 化学软化碳酸盐岩促进采动裂隙自修复的保水方法 | 鞠金峰；李全生；许家林；毛小松 | 中国矿业大学 |
| 7 | ZL 2014 1 0561497.4 | 一种煤矿区地面钻孔引导水源蓄存采空区的保水方法 | 鞠金峰；许家林 | 中国矿业大学 |
| 8 | ZL 2013 1 0249086.7 | 一种高水材料地裂缝充填系统及充填治理方法 | 刘辉；邓喀中；雷少刚；卞正富；陈东娅；于洋；王业显 | 中国矿业大学；山东大学；河北工程大学 |
| 9 | ZL 2012 1 0283380.5 | 一种北方碱性矿井水生态处理系统及方法 | 汪云甲；熊集兵；岳敏；林丽新；雷少刚；牟守国 | 中国矿业大学 |
| 10 | ZL 2011 1 0375512.2 | 用于黄土区的柳杆锚固护坡方法 | 王义；李强；郭洋楠 | 神华神东煤炭集团有限责任公司 |