**一、成果基本情况**

1）成果名称：面向耕地保护的煤矿充填开采沉陷控制技术与应用

2）完成单位：中国矿业大学、青海大学、安徽理工大学、安徽大学

3）主要完成人：郭广礼、查剑锋、李怀展、刘元旭、王磊、朱晓峻、郭庆彪、魏涛、张鲜妮、元亚菲、霍文奇

**二、提名意见**

耕地是我国粮食安全的根基所在，耕地保护是我国的一项基本国策。但煤炭粗放式生产造成了严重了资源浪费和耕地破坏，故寻求既保证煤炭资源开采，又保护矿区耕地和环境的技术方法具有重要的理论和实用价值。煤矿充填开采解决矿区耕地保护和资源采出率突出矛盾的主要途径，且煤矿充填开采地表变形预测及控制方法是充填应用于耕地保护的理论基础和科学依据。主要完成人在原国土资源部行业专项、国家自然科学基金重点项目、“十二五”科技支撑计划课题以及一大批企业科技项目支撑下，提出了面向耕地保护的煤矿充填开采地表沉陷控制理论与方法，成果已编入国家现行行业规范中，成为煤矿充填开采地表沉陷预计于控制的推荐方法，广泛应用于面向耕地保护的煤矿充填开采地表沉陷控制方案设计，为矿区耕地保护和资源采出率提高奠定了坚实的理论支撑和设计依据，引领和推动了煤矿充填绿色开采技术在黄流流域煤炭生产基地耕地保护中推广应用。该项目成果创新性突出、科学价值高。应用前景广泛。因此，提名该项目申报2020年度国土资源科学技术一等或二等奖。

**三、成果简介**

耕地是我国粮食安全的根基所在，耕地保护是我国的一项基本国策。但煤炭粗放式生产造成了严重了资源浪费和耕地破坏，故寻求既保证煤炭资源开采，又保护矿区耕地和环境的技术方法具有重要的理论和实用价值，切实避免先破坏、后治理的盲羊补牢局面。煤矿充填开采是控制覆岩破裂与地表沉陷最有效方法，也是解决我国黄河流域煤炭生产基地耕地保护和资源采出率提高突出矛盾的主要技术途径。煤矿充填开采地表变形预测及控制方法是充填应用于耕地保护的理论基础和科学依据，对推动煤矿充填开采地表变形控制技术推广应用具有重要作用。在原国土资源部行业专项、国家自然科学基金重点项目、“十二五”科技支撑计划课题以及一大批企业科技项目支撑下，综合运用理论分析、现场实测、模拟研究以及工业性实验等研究手段，研究揭示了充填开采岩层运动及地表变形机理和规律，建立了面向耕地保护的充填开采地表变形预测和控制设计方法，提出了充填保护耕地、提高资源采出率能力评估、技术途径及设计方法，构建了充填量、耕地保护面积及资源采出率协同优化决策模型，解决了充填应用于耕地保护的基础理论和设计方法问题，有力提升了我国黄河流域煤炭基地耕地保护水平。项目取得的创新性成果主要有：

1）针对充填开采岩层与地表变形模拟研究中的技术难题，提出了充填体相似材料制备及相似材料自动化高精度实时监测方法，实现了相似材料模型连续自动化监测与数据处理，可将变形监测精度由目前0.2mm提高到0.01mm；建立了基于离散-连续介质耦合的充填开采岩层移动数值模型构建方法，解决了充填开采岩层及地表变形仿真及模拟难题。

2）设计、制造了松散矸石压和流变测试装置，研究揭示了充填开采上覆岩层变形较为平缓，没有明显的垮落带发育，覆岩结构主要呈现为整体层状结构弯曲变形；地表变形分布具有平缓、渐变特点，明确了充填体及覆岩协同变形机理及变形向地表的传递过程，为煤矿充填开采岩层及地表变形预测模型构建奠定了理论基础。

3）依据充填开采地表变形机理及演化特征，提出了充填开采工作面“等效采高”的概念和计算模式，建立了基于“等效采高”的充填开采岩层及地表变形动、静态预测实用模型，并给出了岩层及地表变形预测参数选取策略，可将充填开采地表变形预测精度由20%提高到5%以内，可满足面向耕地保护的充填开采地表变形控制的工程需求。

4）揭示了煤柱、充填体及结构关键层协同变形机理，提出了基于充实率控制和多工作面带状充填区域岩层协同控制的建（构）筑物下充填开采地表变形控制设计方法，形成了充填保护耕地、提高资源采出率能力评估、技术途径及设计方法，构建了充填量、耕地保护面积及资源采出率协同优化决策模型，开发了基于GIS的充填开采耕地保护适宜性区域划分系统，保证了地表变形在耕地允许变形范围下尽可能提高资源采出率，实现充填开采经济社会效益得到最优化。

项目成果获得授权国家发明专利4项、受理发明专利1项、软件著作权4项；发表国内外学术论文50篇，其中包括《Transactions of Nonferrous Metals Society of China》 等期刊的SCI收录论文12篇，《中国矿业大学学报》等EI收录论文9篇，单篇引用率最高为63，11篇论文引用率超过30，1篇论文获2013-2016中国有色金属学报英文版优秀论文特等奖；出版专著2部；培养博硕士研究生15人。

项目研究成果“煤矿充填开采地表沉陷预计方法”已经编入国家现行行业规范同步发行的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南》中，成为我国充填采煤地表沉陷预计推荐方法，广泛应用于主要煤炭科研院所充填开采方案设计和地表变形预测与评估，为我国河北、山东、安徽、河南、山西、内蒙古等煤炭大省的十多个矿业集团二十多个煤矿企业煤矿充填开采岩层移动和地表沉陷控制、耕地下压煤开采方案设计提供了理论支撑，推动了煤矿绿色开采技术的进步和推广，产生了巨大经济效益、社会效益和环境效益。2019年12月由中国煤炭工业协会组织相关领域知名专家专对本成果进行技术鉴定认为，本成果总体达到了国际领先水平。

**四、客观评价**

充填开采是解决我国黄河流域煤炭生产基地耕地保护和耕地采出率提高突出矛盾的主要技术途径，从源头保护矿区耕地，切实避免先破坏、后治理的盲羊补牢局面。目前我国在充填关键设备和工艺方面取得了丰硕的成果，煤矿充填采煤技术处于世界领先水平，充填采煤地表变形预测与控制是其应用于耕地保护的关键基础问题。项目依托我国大量的充填采煤工程实践，率先开展了充填采煤技术应用于耕地保护的相关研究，在充填采煤地表变形预测、充填保护耕地及提高资源采出率设计方法等方面取得了原创性成果。具体而言：

1）核心成果之一的“煤矿充填开采地表沉陷预计方法”已经编入与国家安全监管总局、国家煤矿安监局、及国家能源局等颁布的国家现行行业规范《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》同步发行的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南》中，成为我国充填采煤岩层移动与地表沉陷预计的指导性方法，广泛应用于主要煤炭科研院所充填开采方案设计和地表变形预测与评估，为我国河北、山东、安徽、河南、山西、内蒙古等煤炭大省的十多个矿业集团二十多个煤矿企业煤矿充填开采岩层移动和地表沉陷控制、耕地下压煤开采方案设计提供了理论支撑，推动了煤矿绿色开采技术的进步和推广。

2）2019 年 12 月 30 日，中国煤炭工业协会组织有关专家在北京对中国矿业大学完成的“煤矿充填开采岩层运动机理和地表变形预测及控制”科研成果进行了鉴定。鉴定委员会专家听取了项目组汇报，审阅了鉴定材料。鉴定委员会经质询和讨论一致认为，项目资料齐全完成、内容详实，研究成果总体达到国际领先水平。

3）研究成果主要代表性论文之一获 2013-2016 中国有色金属学报英文版优秀论文特等奖，发表论文中单篇引用率最高为63，11 篇“三类”高质量论文引用率超过30，研究成果获得同行广泛认可。

**五、主要知识产权目录**

**1）专利**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **专利名称** | **类型** | **授权/申报时间** | **授权/申请号** |
| 1 | 一种面向耕地保护的固体充填采煤充实率设计方法 | 发明专利 | 2019.12/授权 | ZL201910053940.X |
| 2 | 相似材料模型强度监控设备 | 发明专利 | 2016.01/授权 | ZL201310309587.X |
| 3 | 一种煤矸石山生态修复方法 | 发明专利 | 2013.07/授权 | ZL201010580086.1 |
| 4 | 一种煤矸石井下充填污染物释放模拟装置及方法 | 发明专利 | 2018.01/授权 | ZL201610398438.9 |
| 5 | 一种相似材料模型变形的光学图像监测装置 | 实用新型专利 | 2013.09/授权 | ZL201320155141.1 |
| 6 | 面向地表沉陷动态预计的数值模型岩体力学参数加权反演方法 | 发明专利 | 2018.06/申请 | 201810570435.8 |

**2）学术论文**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **论文题目** | **期刊** | **发表年卷期** | **检索情况** |
| 1 | Subsidence control and farmland conservation by solid backfilling mining technology | Transactions of Nonferrous Metals Society of China | 2011, 21:665-669 | SCI |
| 2 | Subsidence prediction method based on equivalent mining height theory for solid backfilling mining | Transactions of Nonferrous Metals Society of China | 2014,24(10) | SCI |
| 3 | An approach to protect cultivated land from subsidence and mitigate contamination from colliery gangue heaps | Process Safety and Environmental Protection | 2019, 124: 336-344 | SCI |
| 4 | Surface dynamic subsidence prediction model of solid backfill mining | Environmental Earth Sciences | 2016 | SCI |
| 5 | Coupled discrete element–finite difference method for analyzing subsidence control in fully mechanized solid backfilling mining | Environmental Earth Sciences | 2016 | SCI |
| 6 | Mining scheme design for super-high water backfill stripmining under buildings : a Chinese case study | Environmental Earth Sciences | 2016 | SCI |
| 7 | Strata movement and surface subsidence prediction model of dense solid backfilling mining | Environmental Earth Sciences | 2016 | SCI |
| 8 | Study on time-varying characteristics of similar material model strength and the regulation measures | Environmental Earth Sciences | 2017, 76(15): 518 | SCI |
| 9 | Surface subsidence control mechanism and effect evaluation of gangue-backfilling mining: a case study in China | Geofluids | 2018 | SCI |
| 10 | Surface subsidence prediction method of backfill-strip mining in coal mining | Bulletin of Engineering Geology and the Environment | 2019: 1-14 | SCI |
| 11 | Influence of temperature and humidity on similar material and its control measures | Environmental earth sciences | 2017, 76(21): 740 | SCI |
| 12 | Experimental research on strata movement characteristics of backfill–strip mining using similar material modeling | Bulletin of Engineering Geology and the Environment | 2018 | SCI |
| 13 | Analysis of strata and ground subsidence in fullymechanized solid backfilling mining: a case study of Huayuan coal mine | Transactions of the Institution of Mining & Metallurgy | 2016 | EI |
| 14 | Final fill ratio inversion of backfilling materials in solid backfilling mining using surface subsidence data | Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem | 2013 | EI |
| 15 | 基于遗传算法的概率积分法预计参数反演 | 采矿与安全工程学报 | 2011,28(04):655-659 | EI |
| 16 | 矸石变形非线性及其对岩层移动的影响 | 煤炭学报 | 2009,34(08):1071-1075 | EI |
| 17 | 相似材料模型监测的光学图像法研究 | 中国矿业大学学报 | 2015, 44(1) | EI |
| 18 | 基于连续-离散介质耦合的密实充填开采地表沉陷预测模型 | 中南大学学报: 自然科学版 | 2017, 48(9): 2491-2497 | EI |
| 19 | 固体密实充填开采地表沉陷预计模型研究 | 岩土力学 | 2014, 35(7): 1973-1978 | EI |
| 20 | 综合机械化固体充填质量控制的体系框架 | 煤炭学报 | 2013, 38(9): 1568-1575 | EI |
| 21 | 点柱式膏体充填采煤新方法探讨 | 采矿与安全工程学报 | 2009，(04)：490-493. | EI |

**3）软件著作权**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **软著名称** | **类型** | **开发完成日** | **登记号** |
| 1 | 相似材料模型光学图像变形监测及处理系统 | 软件著作权 | 2014.11 | 2015SR008724 |
| 2 | 基于离散-连续耦合模型的固体充填开采数值模拟软件 | 软件著作权 | 2014.11 | 2015SR008728 |
| 3 | 开采沉陷预测及参数选定一体化系统V1.0 | 软件著作权 | 2013.03 | 2013SR081700 |
| 4 | 充填采煤地表陈现预计分析系统V1.0 | 软件著作权 | 2013.06 | 2013SR082064 |