

## 科技进步奖项目公示

**项目名称：**特大型金属露天矿层状岩体边坡浸水破坏机理及安全高效开采技术

**一、提名单位：**河北钢铁集团矿业有限公司

### 二、项目简介：

“特大型金属露天矿层状岩体边坡浸水破坏机理及安全高效开采技术”计划项目主要依托十三五重点研发计划项目子课题《露天矿超高边坡滑坡灾变机理与防控技术》（2016年~2021年）（No.2016YFC0801602）及河钢东大产学研平台校企合作项目。项目主要应用于采矿工程领域，主要技术原理涉及深度学习、点云特征提取、地质统计学、监测数据与多物理场耦合模拟结合的预警方法等多学科交叉。

项目旨在通过研究露大矿超高边坡岩体结构特征和滑坡灾变机理，建立基于应力、变形、微震等多元信息的边坡安全监测预警标准，提出超高边坡灾害孕育演化过程的时空预测-监测预警-动态反馈分析-调控方法，建立露天矿超高边坡全生命周期的稳定性控制技术，为超高边坡的安全稳定提供理论支撑。计划主要性能指标包括：边坡岩体结构识别准备率不低于90%、揭示多场耦合作用下边坡致灾机理和滑坡预报准确率不低于80%。

项目创造性成果及实现性能指标包含：（1）应用先进的深度学习及点云特征提取算法从钻孔岩芯与岩体表面中识别出岩体结构信息，从而大幅提高处理效率；将点云识别和图像识别技术有机结合，提高岩体表面结构信息识别的准确率；将地质统计学与随机场理论相结合，从“确定性”和“不确定性”两个角度，实现岩体力学参数的两种表征方法。揭示了坡表和坡体内部结构面信息空间相关性，识别准确率高达95%，较传统的人工统计技术效率大大提高。（2）针对东帮基岩边坡受临近滦河长期入渗诱发的岩体质量劣化及边坡滑坡问题，通过自主研发的围岩控制下渗流实验系统实验及现场原位测试，建立基于微震数据驱动的边坡岩体损伤本构模型，揭示了顺倾层状边坡受长期水的

作用下渐进式多层错动的滑坡机理，提出了放水孔疏水降压、锚索参数优化和台阶参数优化相结合的滑坡灾害综合防治技术，建立了适合矿山典型渗流条件下顺层边坡实验测试设备研发—理论分析模型—边坡失稳判据—工程防护综合集成一体化技术方法，现场实施后取得成功（涌水量由治理前  $4.32 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$  降至治理后每天  $0.75 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ），堵水率达到 85%。（3）基于对滑坡充分必要条件及预警三要素的归纳总结，提出了边坡表-里协同监测、力学反演分析及滑坡案例库智能匹配搜索相结合的“三位一体”预警方法并将其嵌入的露天矿安全高效生产云平台，解决了超大型露天矿开采过程中高陡边坡滑坡预警与应急响应的难题。通过建立科学、合理的滑坡预警指标体系构建方法实现了滑坡预警智能化水平、自动化程度及准确率的大幅提升，提升滑坡预警准确率至 80% 以上，并通过监测预警信息与生产调度信息的时空融合实现了滑坡高风险区域内生产设备及人员的应急调度。

### 三、主要完成单位及创新推广贡献

#### 1、河北钢铁集团矿业有限公司

以深度学习与数据挖掘等新技术进行高效准确地工程地质调查与岩体质量评价，在此基础上对顺倾易风化岩体的滑坡机理进行分析并提出相应的边坡加固方案，根据岩体质量分区评价结果给出对应的靠帮破岩方案，最终针对复杂条件下采剥调度构建了生产管控平台。

#### 2、东北大学

开展了地质勘查、岩石力学实验、稳定性研究、采矿设计、边坡加固、边坡监测等科研工作，完成了司家营研山铁矿露天采场东帮顺倾、西帮反倾方案优化研究、露天采场边坡稳定性研究及治理方案等多个科研课题，掌握了边坡变形破坏的基本规律，并在建立预警体系的基础上构建了监测预警与平台，为本项目实施奠定了坚实的基础。

#### 3、河北钢铁集团司家营研山铁矿有限公司

实施并改进了现场放水孔疏水降压、台阶参数优化相结合的滑坡灾害综合防治技术，实践并协助总结出一套适合矿山典型渗流条件下

顺层边坡实验、分析、防护一体化技术方法，现场实施后取得成功。

#### 四、应用情况及效益情况

项目研究成果在河钢矿业集团司家营铁矿和研山铁矿两个采场充分应用，近三年创造直接及简介经济效益累计 13.55 亿元，提供不少于 2000 个就业岗位，为促进十四五期间滦州市经济发展作出贡献。其中岩体智能化表征技术及监测预警方法平台技术已经推广应用至新疆紫金乌拉根铅锌矿、内蒙古中金乌山露天矿、包钢白云鄂博铁矿等多座国内大型露天矿，研究成果具应用推广价值。

#### 五、主要知识产权目录

序号	类型	名称	授权号/发表刊物/ 标准号
1	发明专利	一种含水易风化岩质顺层边坡的综合防护治理方法	CN108755716B
2	发明专利	一种矿山用传感器布设系统及其控制方法	ZL202110882842.4
3	发明专利	一种岩土工程边坡边坡位移检测装置	ZL202111441011.X
4	发明专利	破碎易塌孔岩体中安装和回收微震传感器的装置及方法	ZL201910033928.2
5	软件著作权	露天矿三维现状模型自动更新软件	2017SR381444
6	代表性论文	Establishment of landslide early-warning indicator using the combination of numerical simulations and case matching method in wushan open-pit mine	Frontiers in Earth Science, 2022
7	代表性论文	露天矿边坡稳定性智能评价研究现状、存在问题及对策	煤炭学报, 2020
8	代表性论文	基于岩芯图像深度学习的矿山岩体质量精细化评价	岩土工程学报, 2021
9	代表性论文	研山铁矿薄层状岩体露头裂隙几何参数空间变异特征研究	金属矿山, 2021
10	代表性论文	露天矿薄层状岩质边坡顺层滑坡特征和形成机制	中国矿业, 2023

## 六、主要完成人情况

排名	姓名	完成单位
1	田欣	河北钢铁集团矿业有限公司
2	杨天鸿	东北大学
3	李华	河北钢铁集团矿业有限公司
4	郭斌	河北钢铁集团司家营研山铁矿有限公司
5	邓文学	东北大学
6	来有邦	河北钢铁集团司家营研山铁矿有限公司
7	张子祥	河北钢铁集团司家营研山铁矿有限公司
8	赵永	东北大学
9	赵凯	河北钢铁集团司家营研山铁矿有限公司
10	张鹏海	东北大学

## 七、完成人合作关系说明及完成人合作关系情况汇总表

### 完成人合作关系说明

“特大型金属露天矿层状岩体边坡浸水破坏机理及安全高效开采技术”计划项目主要依托十三五重点研发计划项目子课题《露天矿超高边坡滑坡灾变机理与防控技术》(2016年~2021年)(No.2016 YFC0801602)及河钢东大产学研平台校企合作项目,项目是河北钢铁集团矿业有限公司、东北大学、河北钢铁集团司家营研山铁矿有限公司联合开展科研项目所取得的研究成果,由田欣、杨天鸿、李华、郭斌、邓文学、来有邦、张子祥、赵永、赵凯、张鹏海协同合作研发完成了总体技术方案的制定、工艺设计及工程组织建设、项目各创新点和关键技术的研发及现场实施。项目旨在通过研究露天矿超高边坡岩体结构特征和滑坡灾变机理,建立基于应力、变形、微震等多元信息的边坡安全监测预警标准,提出超高边坡灾害孕育演化过程的时空预测-监测预

警-动态反馈分析-调控方法，建立露天矿超高边坡全生命周期的稳定性控制技术，为超高边坡的安全稳定提供理论支撑。先后完成了河钢东大产学研平台校企合作项目《司家营铁矿露天采矿场边坡稳定性研究及边坡治理工程方案》（2013年~2016年）、《研山铁矿露天采场边坡稳定性研究及治理方案》（2014年~2016年）、《司家营露天铁矿降低爆破振动综合技术措施研究报告》（2018年~2019年）、《司家营露天采场边坡治理方案优化及监控预警平台建设》（2018年~2019年）、《研山铁矿采场矿体下盘顺倾边坡滑坡防治及安全开采技术研究》（2020年~2021年）、《河北钢铁集团司家营研山铁矿有限公司采场边坡角优化方案及西帮加陡技术研究》（2020年~2022年）、《河北钢铁集团滦县司家营铁矿有限公司采场边坡角优化方案及西帮加陡技术研究》（2020年~2022年）等共计7项校企合作课题的立项及结题验收，合作申请并授权专利20余项，合作软件著作权10余项，合作发表论文40余篇。

项目各完成人合作关系、合作主要代表性成果（授权专利4项，软件著作权1项，论文5篇）及证明材料汇总见下表。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果
1	合作发明专利	杨天鸿、张子祥	2018	一种含水易风化岩质顺层边坡的综合防护治理方法
2	合作发明专利	邓文学、杨天鸿、赵永	2021	一种矿山用传感器布设系统及其控制方法
3	合作发明专利	赵永	2021	一种岩土工程边坡边坡位移检测装置
4	合作发明专利	张鹏海、杨天鸿	2021	破碎易塌孔岩体中安装和回收微震传感器的装置及方法

5	合作软件 著作	田欣、李 华、郭斌、 来有邦、张 子祥、赵凯	2017	露天矿三维现状模型自动更新软件
6	合作论文	杨天鸿、邓 文学	2020	露天矿边坡稳定性智能评价研究现状、存在问题及对策
7	合作论文	邓文学、杨 天鸿、李华	2021	研山铁矿薄层状岩体露头裂隙几何参数空间变异特征研究
8	合作论文	杨天鸿、邓 文学	2021	基于岩芯图像深度学习的矿山岩体质量精细化评价
9	合作论文	张鹏海、邓 文学	2022	Establishment of landslide early-warning indicator using the combination of numerical simulations and case matching method in wushan open-pit mine
10	合作论文	来有邦、郭 斌、张子祥	2023	露天矿薄层状岩质边坡顺层滑坡特征和形成机制