

## 科技进步奖项目公示

项目名称：顺倾易风化复杂地质条件下超大型露天矿安全高效开采关键技术

一、提名单位：河钢集团有限公司

二、项目简介：

河北钢铁集团司家营铁矿年采剥矿岩总量超过 1 亿吨，是目前国内超大型露天铁矿之一。东帮边坡位于矿体下盘，为顺倾易风化边坡，在爆破振动、降雨及新河河水入渗影响下，地质条件较为破碎，开采过程中发生了多次规模不等的滑坡，其中司家营采场东帮由于征地难题导致矿体下盘无法靠帮道界，严重制约矿山生产；由于历史欠剥问题导致近年剥岩洪峰的到来，采场内共有 30 多家外委单位联合剥岩作业，造成区内设备数量及类型繁多，统一管理难度大，严重影响采剥作业安全。上述特点在国内外露天矿山具有典型意义，为此开展超大型露天矿安全高效开采关键技术研究。

本项目就超大型露天矿安全高效生成关键技术展开系统研究。沿着“顺倾易风化岩体精细化表征（工程地质调查）→顺倾岩层破坏机理研究与加固方案（滑坡机理、治理方案）→预裂-阶梯孔、CO<sub>2</sub> 爆破与高频破碎锤协同破岩（高效破岩、降低扰动）→顺倾边坡结构参数与采剥调度优化（安全高效生产）”的技术路线，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，最终针对约束条件下顺倾边坡结构参数与复杂条件下采剥调度进行优化。为缓解司家营铁矿的顺倾滑坡危害、保障超大型露天矿山安全高效开采提供系统的技术体系。

相关技术内容如下：

1、针对露天矿山工程特点，对于岩体内部使用深度学习手段从钻孔岩芯照片（岩体内部）中识别 RQD；使用地质统计学分析获得 RQD 的半变异函数，并选择合适的空间插值方法建立起 RQD 块体模型。对于岩体

表面使用无人机倾斜摄影测量获取三维地表模型，确定断层、裂缝和滑坡位置，同时可以对坡度坡向进行分析；同时进行大量点荷载实验，使用空间插值得到任意处的岩石单轴抗压强度。综合岩体内部和岩体表面的高效工程地质调查，实现对东帮岩体质量的精细化表征。

2、使用滑坡实例进行反分析获取不同滑移深度下风化岩体的抗剪强度指标，进行了现场爆破振动的实时监测，回归得到爆破振动传播规律的经验公式，为进一步的顺倾边坡稳定性分析和加固提供依据。结合锚固理论确定最优锚固参数（长度、入射角及间排距）；针对层理密集的顺层岩质边坡沿层理面滑移和滑移-剪出的破坏机理，提出了确定潜在边坡滑坡深度的理论方法；对铁矿东帮特厚第四系冲积层，提出了地连墙堵水加固、风化带和基岩边坡疏水降压和露天回采工艺优化相结合的边坡灾害综合防治与控制技术；根据整体边坡安全平台、清扫平台、运输平台的组合特点及工程重要性，提出了整体边坡的加固原则。

3、针对不同岩体质量分区，为了满足优化后的台阶组合参数得以实施，特对预裂爆破、阶梯孔爆破进行参数优化，使用高频锤破碎岩石，保证优化后的台阶坡面安全稳定，为东帮东扩顺利开展奠定安全基础；对不能正常爆破区域采用二氧化碳胀裂技术，解决了因外事问题不能正常爆破区域的岩石碎裂，加快了东帮东扩进度；对于极风化岩体，采用高频破碎锤进行削坡，保护采场边坡，同时降低了爆破作业成本。

4、基于 CMSV6 北斗视频调度平台，构建露天采场生产推进与工作的大数据管控平台，有针对性的解决了露天采场车辆矿岩运输组织难题，对 30 多家施工单位及 1000 辆运输车辆实现了可视化管理、远程调度、设备运行状态监控，单台运输车辆的作业效率提升了 12%。可视化管理提高了综合调度指挥能力，可以实现精准指挥，高效率调度安排，在确保安全的前提下有效提升了生产设备作业效率、运输作业效率。

该项目司家营采场实施过程中，优化了台阶组合参数采矿技术、掌握了预裂爆破、阶梯孔爆破、二氧化碳胀裂碎石及高频锤碎石削坡技术，实现了削坡角度大于岩石自然安息角角度，且保证采场边坡稳定，实现采场安全生产。本项目在国内外期刊上发表论文 6 篇，授权专利 4 项，获得河

北冶金科学技术奖三等奖, 获得河北钢铁集团矿业有限公司科学技术奖一等奖, 得到了同行专家的高度评价, 具有广泛的学术影响, 对其他同类露天矿山推广应用有较高的借鉴意义。

### 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, 最终针对约束条件下顺倾边坡结构参数与复杂条件下采剥调度进行优化。

#### 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, 完成了司家营铁矿露天采场顺倾边坡锚固方案优化研究、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, 为本项目实施奠定了坚实的基础。

### 四、应用情况及效益情况

本项目对司家营矿区顺倾岩层边坡进行了岩石力学分析, 形成了行业认可的理论研究结论, 在司家营采场边坡东扩及治理工程中, 有效指导了矿山生产管理工作。研究成果在河北钢铁集团滦县司家营铁矿有限公司矿山企业应用, 在推动了东扩工程开展、降低了剥岩成本、提高了露天采场出矿能力、实现了降低边坡治理费用, 有效抓住了近几年来铁矿石行业的高盈利窗口期, 累计创效 20403.05 万元。

### 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	实用新型专利	一种矿山边坡预裂爆破炮孔结构	ZL201620771384.1
3	发明专利	一种贯通裂隙岩体注浆浆液扩散试验方法	ZL201810285600.5
4	发明专利	基于三角面积比法度量岩体结构面三维	ZL201410040875.4

		粗糙度的方法	
5	实用新型专利	治理露天矿土质边坡渗水的排水装置	ZL202021472202.3
6	代表性论文	Geostatistics-block-based characterization of heterogeneous rock mass and its application on ultimate pit limit optimization: a case study	Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2020
7	代表性论文	Applicability of Anisotropic Failure Criteria and Associated Application with Layered Rocks	Advances in Civil Engineering, 2021
8	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
9	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
10	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

## 六、主要完成人情况

排名	姓名	完成单位
1	张国胜	河北钢铁集团矿业有限公司
2	杨天鸿	东北大学
3	张子祥	河北钢铁集团矿业有限公司
4	邓文学	东北大学
5	李华	河北钢铁集团矿业有限公司
6	陈彦亭	河北钢铁集团矿业有限公司
7	朱万成	东北大学
8	李连崇	东北大学
9	李万涛	河北钢铁集团矿业有限公司
10	王述红	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

1、合作单位合作关系：“顺倾易风化复杂地质条件下超大型露天矿安全高效开采关键技术”项目是河北钢铁集团矿业有限公司、东北大学联合开展科研项目所取得的研究成果。

2、完成人合作关系：项目由 张国胜、杨天鸿、张子祥、邓文学、李

华、陈彦亭、朱万成、李连崇、李万涛、王述红协同合作研发完成。研发过程中，共同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。

3、合作方式：所有完成人合作完成发表论文 4 篇（见附件），依据研究方向共同合作取得 4 项授权专利（见附件）。

4、合作者排名：合作者排名完成人和完成单位按照实际贡献大小依次排名，各完成人和完成单位一致同意其排名。

**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	证明材料
1	论文	杨天鸿、 邓文学	2020	Geostatistics-block-based characterization of heterogeneous rock mass and its application on ultimate pit limit optimization: a cases tudy	论文 2
2	论文	邓文学、 杨天鸿、	2021	Applicability of Anisotropic Failure Criteria and Associated Application with Layered Rocks	论文 3
3	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	论文 4
4	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	论文 7
5	实用新 型专利	张国胜、 李华、 陈彦亭	2020	治理露天矿土质边坡渗水的排水 装置	实用新 型专利
6	发明专	杨天鸿、	2018	一种含水易风化岩质顺层边坡的	发明专 利 1

	利	张子祥		综合防护治理方法	
7	发 明 专 利	李连崇、 杨天鸿、 朱万成	2019	一种贯通裂隙岩体注浆浆液扩散 试验方法	发 明 专 利 5
8	发 明 专 利	王述红、 朱万成、 杨天鸿	2014	基于三角面积比法度量岩体结构 面三维粗糙度的方法	发 明 专 利 8

八、公示的形式：

公告栏粘贴。

任何单位或个人对上述项目有异议请于 2022 年 7 月 13 日前向河北钢铁集团矿业有限公司技术中心提出。

联系人：荣辉      电话： 0315-7467717

公示单位（盖章）

2022 年 7 月 6 日