

一、项目简介

随着国家经济结构的调整,矿业行业所面临的“低增长、低效益、低价格和高压力”将成为未来一段时期的新常态,矿业行业发展面临新的挑战。只有在理念、商业模式、管理、技术等方面实现转型与创新,才能使矿山企业走出困局。如何加快矿山企业产业结构优化,转型升级成为当前矿山企业的一项重要任务。而矿产资源综合利用是在经济新常态下建设资源节约型、环境友好型产业和发展经济的最有效途径。我国有色金属矿产资源的显著特点是贫矿多、伴生矿多、利用率低。有色矿产资源综合利用价值大、潜力可观,通过对低品位、伴生矿等综合利用的技术攻关,大大提高矿山企业的经济效益和社会效益。

本项目通过三道庄露天矿多矿种一体化开采关键技术与境界优化研究,将原来对单一钼矿种的开采发展成为钼、钨多矿种共同开采利用,研讨了钼钨综合开采利用的工业指标和技术可行整体开采方案,研究内容主要有:(1)钼钨市场分析及预测和工业指标一体化;(2)多矿种一体化矿山地质与储量估算;(3)多矿种开采的边际品位优化;(4)多矿种一体化露天开采境界优化;(5)露天开采开拓优化;(6)破碎站及排岩运输系统优化;(7)排土场及低品位堆排优化;(8)多矿种一体化开采的技术经济分析。

该项目针对低品位、伴生矿开发利用,进行了三道庄露天矿多矿种一体化开采技术优化研究,提出了多矿种一体化关键技术与境界优化的理论和方法。该研究成果大大提高了钼钨资源的利用率,解决了目前多金属露天矿生产中的迫切需要解决的实际问题;增加了企业发展后劲,实现了矿山可持续开采,为洛钼集团创造了巨大的经济效益、环境效益及社会效益。经计算,按照该优化方案可盘活三道庄低品位钼钨矿 2.43 亿 t,可延长开采年限 24 年,实现新增产值 587.47 亿元,新增利润 353.74 亿元,新增税收 71.79 亿元,经济和资源效益突出;减少岩石排放和土地占用面积,缩短了场内外运输距离,降低运输成本,降低碳排放量,环境效益明显。该研究成果已取得发明专利 8 项、实用新型专利 5 项、软件著作权 9 项,申请受理的发明专利 5 项,在核心期刊以上发表高水平论文 20 余篇,这对推动我国矿山企业建设成为资源节约型、环境友好型和转变经济发展方式起到了非常积极的作用。

本项目成果可推广应用到国内钼钨、钼铜等多金属伴生的露天矿山生产企业,将对推动我国矿山企业调整产业结构、提质增效、转型升级起到非常积极的作用,其应用必将产生巨大的经济效益和社会效益。

二、主要科技创新

（一）立项背景

矿产资源是重要的非可再生自然资源，是国家经济建设的基础物质材料，其保证程度关系到国民经济长期稳定发展和国家安全。我国是世界上矿产资源种类齐全、储量丰富的少数国家之一。据统计，我国 90% 以上的能源、80% 以上的工业原料、70% 以上的农业生产原料都来自矿产资源。目前，我国已发现 171 种矿产，探明有储量的矿产 168 种，已探明矿产资源储量潜在价值约占世界矿产总价值的 14.6%，居世界第 3 位。然而，我国矿产资源人均占有量仅为世界人均占有量的 58%，列世界第 53 位。面对国民经济建设的巨大需求，我国矿产资源储量严重不足。

由于我国长期以来对矿业的粗放式经营，人们大多对我国的矿产资源情况缺乏正确的认识，综合利用意识淡薄，矿山企业盲目开采，对共（伴）生矿物及尾矿等不利用或利用率很低。据统计，我国矿产资源总回收率和共伴生矿产资源综合利用率平均分别仅为 30% 和 35% 左右，比国际先进水平低 20%；我国金属矿山尾矿的综合利用率仅为约 10%，远低于发达国家 60% 的利用率；我国工业“三废”综合利用率总体偏低，如粉煤灰的利用率为 48%，煤矸石为 38%。在品种上，我国综合利用的矿种只占可以开展综合利用矿种总数的 50% 左右。在数量上，我国铜铅锌矿产伴生金属冶炼回收率平均为 50% 左右，发达国家平均在 80% 以上，相差 30 个百分点左右。我国伴生金的选矿回收率只有 50%~60%，伴生银的选矿回收率只有 60%~70%，与国外先进水平相比均落后 10% 左右。

我国复杂多元素共生矿、低品位矿、难选冶矿所占比例较大，对这些矿的开发利用是我国矿产资源开发利用的重要任务，但我国适用于这些矿的综合利用技术较为欠缺。其问题主要表现在：传统矿产加工生产工艺复杂、流程长、成本高；采矿工艺技术水平落后、选冶过程的自动控制水平低、选冶流程不科学，使很多伴生、共生组分损失遗弃；相对缺少对尾矿、废渣等固体废弃物进行综合回收利用的先进装备。这些因素都制约了矿产资源综合利用的效益和对贫、杂、微细复合矿石的综合利用。

综上，充分利用有限的矿产资源，合理开发低品位和伴生矿产资源，走可持续发展之路，是矿业集团发展的长期战略。近年来随着钨钼等有色金属价格的持续走高，原有的工业指标和矿山开采境界已不适应当前的技术经济条件，为提高

矿产资源利用水平和效率，增加企业发展后劲，实现矿山可持续开采，洛阳栾川钼业集团股份有限公司提出进行多矿种一体化开采关键技术与境界优化研究。因此，洛钼集团与西安建筑科技大学共同进行了“三道庄露天矿多矿种一体化开采关键技术与境界优化”项目的研究工作，进行露天矿钼钨综合开采技术优化。

（二）主要技术创新点

1、基于时间序列的钼钨价格预测模型构建及钼钨指标一体化【旁证材料：软件著作权：2014SR174895 和2014SR174899；鉴定成果；论文：1-3-1、1-3-5、1-3-16、1-3-19、1-3-21、1-3-24】

在时间序列下，基于钼精矿、钨精矿的长期销售价格和钼、钨的平均生产成本为基础，利用高阶非线性回归分析与历史数据拟合，建立预测模型，分析预测了今后钼、钨的价格趋势，然后根据市场的价格预测，综合考虑精矿价格和回收率等主要影响因素，计算出钨、钼当量折算系数，利用此系数实现了钼钨的工业指标一体化。

2、基于实物期权法和多阶段随机规划法的边际品位优化【旁证材料：发明专利：ZL201310675099.0 和 ZL201210075984.0；软件著作权：2011SR088934 和 2011SR088942；鉴定成果；论文：1-3-3、1-3-4、1-3-9、1-3-12、1-3-23】

对影响钼、钨矿种边际品位的矿体内外部条件因素、工业指标及数据取样等主要因素进行了系统分析，利用实物期权法和随机规划法分别构建了蒙特卡洛边际品位优化模型和多阶段随机规划边际品位优化模型，系统对单钼、单钨及钼钨当量边际品位进行了优化。

3、基于多矿种一体化露天开采境界优化【旁证材料：发明专利：ZL201110286775.6、ZL201010501450.0；实用新型专利：ZL201520887708.3、ZL201020554848.6 和 ZL201020554868.3；软件著作权：2011SR022866、2011SR023081；鉴定成果；论文：1-3-6、1-3-11、1-3-13、1-3-14、1-3-15、1-3-25】

基于多矿种当量一体化指标对三道庄露天矿开采境界利用 L-G 图论法进行了钼钨综合开采境界优化，提出了八种指标组合方案，并在八种方案中进行了优选，然后借助图论、计算机技术进行了露天矿钼钨一体化开采境界的优化研究；

4、基于遗传算法的露天矿开采境界开拓布线优化【旁证材料：发明专利：ZL2010 10501469.5；软件著作权：2011SR023080 和 2011SR023078；鉴定成果；论文：1-3-2、1-3-7、1-3-8】

根据露天矿开采境界内开拓布线的原则，基于遗传算法构建了开拓布线优化

模型，采用遗传操作产生各种开拓方案，筛选可行的开拓系统，最后通过技术经济计算得出各开拓系统的适应度，并采用 MATLAB 6.2 进行了仿真运算，最终得到采场内设置两条开拓运输路线

5、基于钼钨块体模型及参数化函数法的破碎站最优选址方法【旁证材料：发明专利：ZL201110034475.9；实用新型专利：ZL201020554835.9 和 ZL201220069342.5；鉴定成果；论文：1-3-10、1-3-17、1-3-22】

利用已建立的三道庄钼钨矿区三维地质块体模型，针对采场内所有矿石，按 5m 步距，采用参数化函数法，在露天境界内分台阶全面搜索计算矿石运输功，最终求得采场内 $X=5790.00$, $Y=5060.00$, $Z=1282.00$ 处总运输功最小，为破碎站选取最佳位置。

6、排岩运输系统与排土场堆排优化技术【旁证材料：发明专利：ZL201010501439.4、ZL201010501416.3；软件著作权：2015SR201674；鉴定成果；论文：1-3-18、1-3-20】

针对排岩系统的破碎设备及胶带运输进行了详细的技术经济分析及论证，分别制定了方案一破碎-胶带-汽车联合运输方案、方案二全汽车运输方案、方案三破碎-胶带-平硐运输方案、方案四全汽车-平硐运输方案（外委）进行了运输方案比较，对排岩运输系统和排土场规划等进行了系统优化，确定了最优的排岩隧道方案。在排土场现状的基础上，利用不规则形体计算方法，对排土工作进行了优化和低品位矿石堆排规划。

（三）国内外技术对比

在指标一体化方面，本项目首次在露天矿的多矿种综合指标体系下，采用当量折算法进行指标一体化。项目在时间序列下，基于钼精矿、钨精矿的长期销售价格和钼、钨的平均生产成本为基础，利用高阶非线性回归分析与历史数据拟合，建立预测模型，分析预测了今后钼、钨的价格趋势，然后根据市场的价格预测，综合考虑精矿价格和回收率等主要影响因素，计算出钨、钼当量折算系数，利用此系数实现了钼钨的工业指标一体化。目前，该当量折算法在钼钨多金属领域应用较为少见。

在边际品位优化方面，基于实物期权法和多阶段随机规划法构建边际品位优化模型，对影响钼、钨矿种边际品位的矿体内外部条件因素、工业指标及数据取样等主要因素进行了系统分析，利用实物期权法和随机规划法分别构建了蒙特卡洛边际品位优化模型和多阶段随机规划边际品位优化模型，系统对单钼、单钨及

钼钨当量边际品位进行了优化。

在露天矿境界一体化优化方面，基于钼钨当量一体化指标对三道庄露天矿开采境界利用 L-G 图论法进行了钼钨综合开采境界优化，提出了八种指标组合方案，并在八种方案中进行了优选，然后借助图论、计算机技术进行了露天矿钼钨一体化开采境界的优化研究。

在开拓布线优化方面，根据露天矿开采境界内开拓布线的原则，基于遗传算法构建了开拓布线优化模型，采用遗传操作产生各种开拓方案，筛选可行的开拓系统，最后通过技术经济计算得出各开拓系统的适应度，并采用 MATLAB 6.2 进行了仿真运算，最终得到采场内设置两条开拓运输路线。

在破碎站选址优化方面，项目开创性的利用空间块体模型及参数化函数法进行位置优化，建立三道庄钼钨矿区三维地质块体模型，针对采场内所有矿石，采用参数化函数法，在露天境界内分台阶全面搜索计算矿石运输功，最终求得破碎站最佳位置。

此次优化与长沙设计院单钼条件下的优化对比，优化设计境界比长沙院设计境界表内矿增加 2.432 亿吨，表外矿增加 0.302 亿吨，岩石减少 1.452 亿吨，矿岩总量增加 0.922 亿吨；可延长开采年限 24 年，实现新增产值 587.47 亿元，新增利润 353.74 亿元，新增税收 71.79 亿元。以上采用的技术和方法与同类技术相比，在钼钨露天矿应用领域均处于先进或领先水平。

三、第三方评价

(一) 科技成果鉴定意见

2015年11月12日，以河南省有色金属行业协会名誉会长、河南省有色金属学会理事长张森为主任委员的鉴定委员会一致同意本项目通过鉴定，并认定该项目在钼钨矿床工业指标一体化、露天开采边际品位确定、露天开采境界优化等方面的研究具有创新性，整体技术达到国际先进水平。

该项目主要技术要点有：

(1) 根据钼钨长期市场价格分析预测，提出了钼钨一体化当量折算系数，并利用实物期权法和多阶段随机规划对钼钨当量边际品位进行了优化；

(2) 基于钼钨当量一体化指标和 L-G 图论法对露天矿开采境界进行优化，利用遗传算法进行了开拓布线研究；

(3) 结合三道庄露天矿采矿实际，利用块体质心模拟运输功搜索算法，确定了 1#碎矿站的最佳位置，优化了排岩运输系统和排土场规划。

该项目研究成果已成功应用于三道庄露天矿，可多利用低品位钼钨矿石 2.4 亿吨，延长矿山开采年限 24 年，提高了矿产资源利用水平和效率，具有显著的经济和社会效益。

建议：进一步加强推广应用力度。

(二) 科技成果查新报告结论

本项目针对三道庄露天矿多矿种一体化开采关键技术与境界优化进行了研究，开创性地完成了：

1、利用钼钨长期市场价格分析预测钼钨的长期价格趋势，提出了钼、钨一体化当量折算系数，并利用实物期权法和多阶段随机规划对钼钨当量边际品位进行了研究；

2、基于钼钨当量一体化指标对三道庄露天矿开采境界利用 L-G 图论法进行了钼钨综合开采境界优化，提出了八种指标的组合方案，并在八种方案中进行了优选，然后在优选境界内借助图论和计算机技术，利用遗传算法进行了开拓布线研究；

3、根据三道庄露天矿采矿实际，利用块体质心模拟运输功搜索算法，搜索到了 1#破碎站的最佳位置，并对排岩运输系统和排土场的规划等进行了系统优化。

教育部科技查新工作站（Z08）