

某露天铀钼矿资源储量可视化动态管理研究

刘伟

(中核沽源铀业有限责任公司, 河北 张家口 076561)

摘要: 针对资源储量管理存在的问题, 结合某露天铀钼矿山实际情况, 采用矿业软件管理平台, 建立该矿山基础数据库和矿山空间模型, 估算资源储量动态管理基准数; 根据炮孔测量、取样、梯段平面、坡面地质编录等生产数据, 建立并更新工程多维度信息时空数据, 构建矿体或块段和全矿床不同时空关系, 以及其面积、形态、厚度、长度、资源储量等算法, 进而重构矿体或块段模型及估算资源储量, 实现资源储量可视化动态管理。资源储量可视化动态管理可通过快速探采对比及时指导矿山生产, 也可为未开采矿体或块段的生产探矿、开采设计和提高生产计划编制提供服务, 该管理方式在露天铀钼矿山生产过程中取得了较好效果。

关键词: 铀矿; 铀钼矿; 资源储量; 时空关系; 模型重构; 动态管理; 可视化

中图分类号: TL21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2024)04-0044-08

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2024.03.03

查清矿产资源储量, 充分利用资源, 是精细化管理的基本内容, 是高质量发展的必然要求。矿山资源储量动态管理, 能够及时掌握矿山资源储量的消耗、损失、保有情况, 为企业经营发展提供准确的基础数据, 促进矿山资源储量的有效保护和合理利用^[1-4]。

虽然资源储量动态管理工作在不断推进, 但仍存在资源储量家底不清、动用储量管理失控、矿产储量耗竭过快、矿山寿命大幅缩短等问题^[5-10]。某露天铀钼矿山前期利用几何学法估算资源储量, 在此基础上制作与矿体或块段信息相对应的电子表格, 实现对资源储量的管理; 该方法存在工作量大、资源储量估算和动态管理不及时、资源储量变化情况和统计不全面、矿山生产指导滞后等问题。

对矿体或块段资源储量进行动态管理, 掌握矿山资源储量家底, 更好地指导探矿和生产, 及时掌握矿体变动情况, 准确估算矿山开采的资源储量、损失量、保有资源储量、重算增减和勘探增减量, 对指导矿山生产具有重要意义。

1 矿山概况

该矿床属于火山岩型大型铀钼共生矿床, 位于华北地台北缘, 即冀北西部火山岩带沽源火山

断陷盆地中的西辛营坳陷破火山口中、后张麻井火山隆起与 F45 断裂带的交汇处, 主要含矿岩层为次流纹斑岩体和外接触带流纹岩层。断裂构造对本矿床的形成起到了重要作用, 但对矿体连续性无破坏显示, 矿体出露地表。矿床水文地质勘查类型属于第一型, 水文地质条件为简单型。矿床开采按绝对标高划分为三期: 一期开采标高为地表 (~1 444 m), 二期开采标高为 1 444~1 250 m, 三期开采标高为 1 250~1 150 m。一期、二期均为露天开采, 三期为地下开采。

前期露天矿山主要生产系统有开拓和运输系统、穿孔和采装系统、排土系统、防水和排水系统、供电系统等。从上而下分多个水平梯段开采, 梯段边坡角 60~70°, 水平梯段高度为 12 m。采用汽车运输开拓方式, 公路纵坡 8%, 双车道, 路面宽 11.5 m。梯段开挖采用中深孔爆破、挖掘机铲装、自卸汽车运输, 最终采用预裂爆破隔离边坡方式保护边坡。

目前已开采至 1 444 m 梯段, 形成 10 个台阶, 最大高差 120 m, 处于一期开采尾声阶段。动用了 1[#]、2[#]、3[#]、4[#] 铀矿体, 其中 1[#]、2[#] 铀矿体已全部开采完毕, 保有 3[#]、4[#] 铀矿体部分资源量; 钼矿体仅动用了 1[#] 矿体, 仍保有较多资源量。

收稿日期: 2024-03-12

第一作者简介: 刘伟(1986—), 男, 辽宁绥中人, 学士, 高级工程师, 主要从事地质、矿业工程研究。

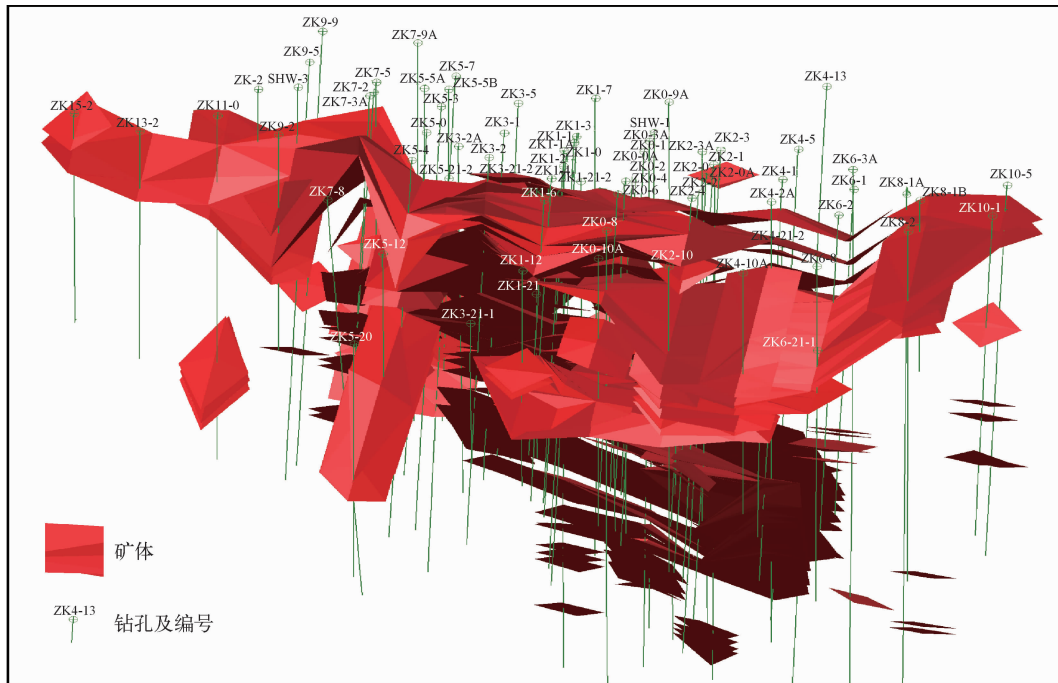


图 3 矿体三维实体模型

Fig. 3 3D solid model of ore body

镜状、脉状和镰刀状,矿体较小,厚度薄;因此在考虑矿体的控制程度、厚度及产状等信息基础上,确定块体模型尺寸为 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$,矿体或块段约束后共有 123.5 万个块体模型。

3.2 储量估算及校验

3.2.1 原始数据的处理和分析

根据钻孔数据库,统计分析原始样品,将特高品位按照平均品位 10 倍进行替换,通过对样品合理组合,生成 0.7 m 等距离样品点。

3.2.2 搜索椭球体相关参数的确定

根据矿体的走向、倾向、赋存位置、块体模型充填矿体或块段情况,采用不同的椭球体参数对矿体进行搜索,统计分析相关参数,确定椭球体参数见表 1。

表 1 矿体参数统计

Table 1 Statistics of ore body parameters

参数	长轴/m	短轴/m	次轴/m	走向/(°)	倾向/(°)	倾伏角/(°)
数值	640	360	540	125	35	-9

3.2.3 估值结果检验

三维软件中有距离幂次反比法和克里格法,

由于距离幂次反比法简单易用,适用性较强^[11],结合矿床的勘探程度及赋存条件,选用距离幂次反比法对每个矿体进行估值。通过交叉验证,本次估值幂次取 2,共完成了 101 个矿体的估值,并将估值结果与地质提交资源量对比。估值结果显示,距离幂次反比法与平行断面法矿石量、品位及金属量差异率分别为 -2.21% 、 0.53% 和 -3.24% ,均小于 5% 。估值结果合理,本次估值结果可作为储量动态管理的基准数。

4 构建时空关系模型与资源储量动态管理

4.1 构建时空关系及其算法

根据矿山开采过程中炮孔测量、平面及坡面编录等数据,不断重构矿体形态、产状及储量等,并与前一次开采对应矿体或块段信息进行对比,从而得到矿体或块段开采信息变化情况,管理资源储量动态变化。为了自动实现资源储量可视化动态管理,研究勘探方法、验证勘探工程间距及检查勘探效果,提高和指导后期生产探矿,提升对矿床地质特征与成矿规律的认识,更好地服务于矿山开采和企业生产经营,需要首先构建矿山包括矿体或块段名称、资源储量等在内的多信息数据

之间的时空关系,然后在矿体或块段时空关系基础上建立算法^[12]。

4.1.1 构建时空关系

该矿床1[#]、2[#]是主要铀矿体,1[#]矿体规模较大,更具代表性,主要以1[#]矿体为例开展时空关系构建、资源储量动态管理和应用。

4.1.2 构建不同时空参数关系

4.1.2.1 不同时空矿体面积关系

面积绝对误差(S_{δ})、面积误差率(S_r)、矿体面积重合率(D_r)存在以下关系。

$$S_{\delta} = S_u - S_c, \quad (1)$$

$$S_r = \frac{S_u - S_c}{S_u} \times 100\%, \quad (2)$$

$$D_r = \frac{S_d}{S_u} \times 100\%, \quad (3)$$

式中: S_u —开采揭露的矿体面积; S_c —勘查圈定的矿体面积; S_d —开采揭露的矿体面积与勘查圈定矿体面积二者在平面或剖面上重合部分的面积。

4.1.2.2 不同时空矿体形态关系

矿体形态歪曲误差可用形态歪曲绝对误差(W_{δ})、矿体形态歪曲率(W_r)表示^[13]。

$$W_{\delta} = \sum (S_n + S_p), \quad (4)$$

$$W_r = \frac{\sum (S_n + S_p)}{S_u} \times 100\%, \quad (5)$$

式中: S_n —勘查工程圈定面积大于开采揭露的面积; S_p —勘查工程圈定面积小于开采揭露的面积。

4.1.2.3 不同时空矿体厚度关系

矿体厚度误差可用矿体厚度绝对误差(M_{δ})、矿体厚度误差率(M_r)表示。

$$M_{\delta} = M_u - M_c, \quad (6)$$

$$M_r = \frac{M_u - M_c}{M_u} \times 100\%, \quad (7)$$

式中: M_c 、 M_u —勘查圈定的矿体厚度、开采揭露的矿体厚度。

4.1.2.4 不同时空矿体长度关系

矿体长度误差(L_{δ})、矿体长度误差率(L_r)可用式(8)~式(9)表示。

$$L_{\delta} = L_u - L_c, \quad (8)$$

$$L_r = \frac{L_u - L_c}{L_u} \times 100\%, \quad (9)$$

式中: L_u —开采矿体长度; L_c —勘查圈定矿体长度。

4.1.2.5 不同时空资源储量关系

资源储量误差可用矿石品位误差(C_{δ})、矿石品位误差率(C_r)、矿石资源量误差(Q_{δ})、矿石资源量误差率(Q_r)、金属资源量误差(P_{δ})、金属资源量误差率(P_r)表示。

$$C_{\delta} = C_u - C_c, \quad (10)$$

$$C_r = \frac{C_u - C_c}{C_u} \times 100\%, \quad (11)$$

$$Q_{\delta} = Q_u - Q_c, \quad (12)$$

$$Q_r = \frac{Q_u - Q_c}{Q_u} \times 100\%, \quad (13)$$

$$P_{\delta} = P_u - P_c, \quad (14)$$

$$P_r = \frac{P_u - P_c}{P_u} \times 100\%, \quad (15)$$

式中: C_u —矿体开采测定的平均品位; C_c —勘查阶段测定的平均品位; Q_u —开采统计的矿石资源量; Q_c —勘探计算的矿石资源量; P_u —开采资料计算的金属资源量; P_c —勘探资料计算的金属资源量。

在矿体或块段乃至全矿床信息数据之间构建时空关系和算法后,不断更新开采数据,重构模型,即可自动实现实际生产与前一次开采对应矿体或块段资源储量的动态管理。

4.2 模型重构与资源储量管理

4.2.1 生产数据库更新

4.2.1.1 炮孔数据更新

矿山开采过程管理是资源储量动态管理的关键环节,及时掌握矿体变动情况是资源储量管理的基础。结合矿山实际生产情况,为了及时全面掌握开采矿体情况,开展对炮孔测量、平面及坡面地质编录等信息数据的更新工作,包括:炮孔坐标、孔斜数据测量、物探测孔、取样、绘制取样解释图(图4)、炮孔样段、平面坡面地质编录。

爆破作业是硬岩矿山开采必不可少的环节,该矿山爆破炮孔间距约为4 m×5 m,炮孔深度为6~8 m。该矿山铀勘探工程间距为40 m×40 m,生产探矿间距为20 m×20 m;钼勘探工程间距为80 m×80 m,局部达到40 m×40 m。开展单体设计、布设炮孔、适时实测(表2、图5),可提高勘探工程间距,进一步提高对矿体的控制程度,提升开采动用资源的准确性,提升矿山资源储量管理水平。

工作流程为:布设炮孔→回收炮孔测量数据→测量炮孔放射性→绘制炮孔解释图→建立炮

孔样段数据库→模型重构→估算资源储量。炮孔资料回收由地质、测量、物探和采矿 4 个专业技术人员共同完成。采矿人员负责炮孔的布设;测量人员负责实测炮孔坐标、孔斜等数据;地质、物探人员负责炮孔放射性测量、取样、资料整理。放射性测量在含矿段每 20 cm 测量 1 组数据,在无矿段每 1 m 测量 1 组数据。

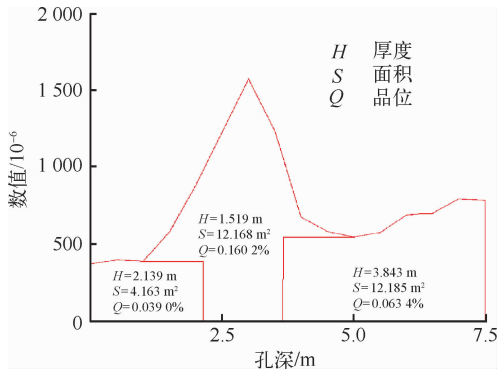


图 4 19-24-32 炮孔解释

Fig. 4 Explanation of 19-24-32 blast holes

表 2 19-24-32 炮孔样段信息

Table 2 Sample section information of 19-24-32 blast holes

工程号	见矿深度/m		厚度/m	品位/%	米百分值/(m·%)
	起	止			
	0	2.139	2.139	0.039	0.083 4
19-24-32	2.139	3.658	1.519	0.160	0.243 0
	3.658	7.501	3.843	0.063	0.242 1

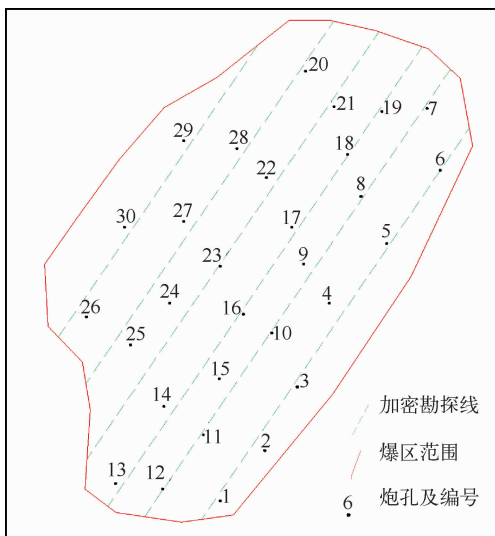


图 5 炮孔测量回收平面

Fig. 5 Recovery plane of blast holes measurement

4.2.1.2 平面编录数据更新

以梯段标高为地质编录水平面(图 6),开展采场平面地质编录工作。根据生产作业面安排,合理调整编录作业面与采剥作业面,避免地质编录工作与凿岩、铲装等作业冲突。

以基线 AA'为基准线,每 5 m 设置加密勘探线,方位角为 33°(与原勘探线方位一致)。编录前测量人员进行导线测量,确保加密勘探线位置准确;地质人员对岩性、构造、矿体等特征进行编录;物探人员对加密勘探线及原勘探线进行放射性测量,在含矿区每 20 cm 测量 1 组数据,在无矿地段每 1 m 测量 1 组数据。完成现场资料收集后,进行物探解释图绘制、样段信息编制、导入矿业软件三维模型更新样段信息库。

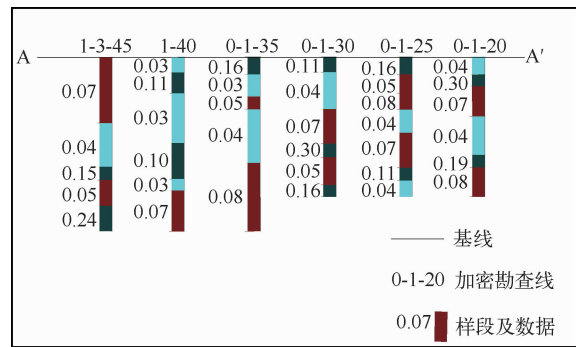


图 6 采场平面地质编录

Fig. 6 Geological logging of mining site plan

4.2.1.3 坡面编录数据更新

该露天矿山计划分为三期开采,随着开采深度的逐步加大,会陆续产生挂壁矿,为准确掌握资源储量保有、变化情况和变化原因等信息,开展采场坡面编录工作。坡面编录在原勘探线的基础上,每 5 m 设置加密勘探线,对坡面进行纵向编录,将编录数据整理后,形成样段信息,更新矿业软件样段数据库。

4.2.2 模型重构

现场采集的开采钻孔、平面、坡面编录资料、物探解释、样段等信息数据导入矿业软件,更新基础数据库,重构矿体或块段模型^[14]。

4.2.3 资源储量管理

根据采剥作业实际情况,通过炮孔编录、平面编录、坡面编录工作,对矿体情况进行全面掌握。通过对样段信息的不断采集与更新,逐步细化开采矿体,根据构建的矿体或块段时空关系与算法,

建立重构的矿体或块段模型,在资源储量重新估算的基础上,快速实现资源储量保有、变化情况管理,全面掌握矿山资源储量。

5 可视化资源储量动态管理应用

5.1 快速开展可视化探采对比

1[#] 铀矿体勘查阶段矿体模型与生产探矿重

构模型^[15]见图7,按照该矿体构建的时空关系,结合建立矿体或块段面积、形态、厚度、长度和资源储量等之间的算法,选定的参数及方法开展1[#] 铀矿体形态、厚度、长度等产状和资源储量变动情况的探采对比分析(表3)。1[#] 矿体资源储量变动情况:矿石量误差率为4.35%,品位误差率为-1.79%,金属量误差率为2.92%。

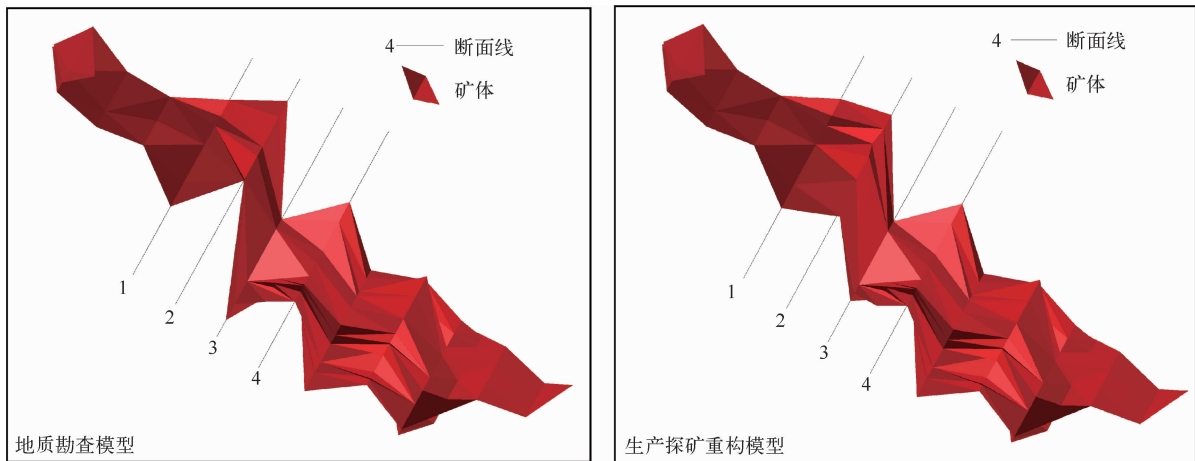


图7 1[#] 矿体地质勘查模型与生产探矿重构模型对比

Fig. 7 Comparison between geological exploration model and production exploration reconstruction model of 1[#] ore body

表3 1[#] 矿体产状参数对比

Table 3 Comparison of 1[#] ore body occurrence parameters

断面	面积误差率/%	面积重合率/%	形态歪曲率/%	厚度误差率/%	长度误差率/%
1	1.77	65.06	-1.77	5.36	-8.88
2	-17.57	99.91	17.57	-1.48	25.80
3	4.15	91.70	-4.15	-2.08	-1.18
4	4.04	78.32	-4.04	-8.73	-0.03

通过地质勘查与矿山开采阶段对比分析,证实了在地质勘查铀工程间距(40 m×40 m)的基础上,开展20 m×20 m工程间距的生产探矿工作、4 m×5 m工程间距炮孔测量工作是合理有效的。从资源储量对比分析得出,地质勘查效果较好,资源储量可靠程度高,在计划编制和生产过程中可以不考虑资源储量勘探减少而设置的富裕量,进而节省富裕量所需的流动资金。

5.2 用于生产探矿和年度采场设计

2[#] 铀矿体生产探矿前后对比模型见图8。可以看出,2[#] 铀矿体在生产探矿前矿体在东部断开明显,如果该矿体不连续,东部小块资源可能难以开采。因此,在其间布置探矿工程,经生产探矿证实矿体在4[#]—6[#]未断开,连续性较好。

根据年度采剥技术计划建议书,利用矿业软件建立的三维立体模型,开展年度采矿设计,确定计划开采边界、范围、动用矿体资源储量等信息数据。

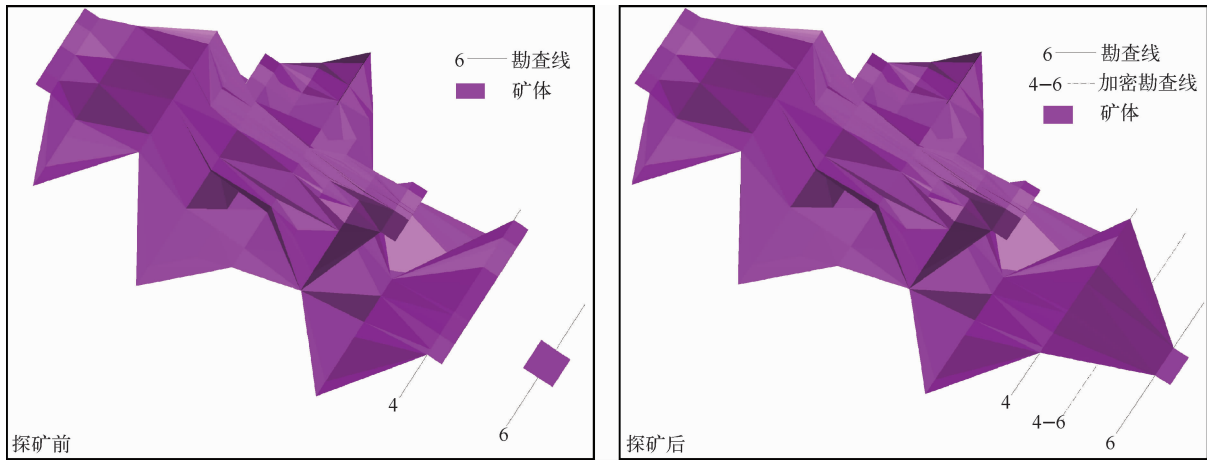


图 8 2# 铀矿体生产探矿前后对比模型

Fig. 8 Comparison model of 2# uranium ore body production before and after exploration

6 结论与建议

6.1 结论

通过收集整理钻孔资料,建立钻孔数据库,圈定矿体,建立实体模型;利用地质统计学法通过估值及校验等工作构建三维地质模型,能够准确掌握矿体及其资源储量信息,进而搭建资源储量动态管理的基础数据和应用平台。结合矿山开采实际,适时更新开采梯段平面、剖面、炮孔多维度编录信息,能够及时掌握矿体情况及变化,准确掌握开采、损失、勘查和重算增减变化和保有资源储量,基本实现了储量可视化动态管理。

该露天矿山初步实施资源储量可视化动态管理取得较好的效果,准确掌握了该矿山资源储量保有和变化情况,铀资源储量增加 5.71%,钼资源储量增加 21.1%,对回收率低的单钼资源储量暂时堆存,提升回收率后再利用该部分资源储量,充分利用和有效保护了该矿的资源储量。

6.2 建议

国外矿山资源储量动态管理主要管理保有资源储量,实现可视化较容易;而中国矿山资源储量动态管理不仅管理保有资源储量,还要管理资源储量变化情况和变化原因,实现可视化难度较大。该露天铀钼矿资源储量初步实现了可视化动态管

理,但仍有许多不足,如钼资源勘查程度控制不足,圈入较多无矿化段,探矿后证实矿体连续,一定程度上影响了钼资源的补充勘探、生产探矿计划和工程布置,使钼资源储量探矿滞后,今后在矿体圈定、矿业软件自动管理矿山资源储量动态变化方面仍有探索空间。

参考文献:

- [1] 国土资源部. 国土资源部关于印发《矿山储量动态管理要求》的通知[J]. 国土资源通讯, 2008(18): 6-17.
- [2] 王素萍. 我国矿山储量动态管理实践与建议[J]. 矿产保护与利用, 2017(3): 8-12.
- [3] 曲俊利, 孟刚, 苗琦, 等. 我国省市矿山储量动态管理的工作实践与思考[J]. 矿业管理与经济, 2020, 29(8): 14-18.
- [4] 王莉, 刘修国. 矿产资源储量动态管理系统的研究[J]. 煤炭技术, 2012, 31(6): 165-166.
- [5] 李志国. 简要分析矿产资源储量管理中的问题及解决措施[J]. 建筑工程技术与设计, 2015(29): 56-60.
- [6] 许大纯. 储量动态监管对资源管理的作用[J]. 中国国土资源经济, 2007(12): 6-7.
- [7] 王素萍, 鹿爱莉. 完善我国矿山储量动态监管制度的若干思考——以辽宁省为例[J]. 国土资源科技管理, 2014(3): 100-106.
- [8] 王素萍. 矿山储量年报在我国矿政管理中的作用[J]. 现代矿业, 2015(8): 178-181.
- [9] 中国国土资源经济研究院. 矿产储量监督管理研究

- 及规范编制[R].北京:中国国土资源经济研究院,2015.
- [10] 史冲,郑丽珍,刘娟.矿产资源储量动态管理的实践与思考[J].矿产保护与利用,2011(4):1-4.
- [11] 张丽丽.某地浸铀矿床资源储量三维动态管理方法研究[J].铀矿冶,2015,34(2):97-102.
- [12] 沈阳,张作伦,高帮飞,等.Micromine软件在某铅锌矿床三维建模及资源量估算中的应用[J].中国矿业,2012(2):111-114.
- [13] 马其忠.马坑铁矿生产勘探网度研究[J].福建冶金,2023,5(6):14-19.
- [14] 张丽丽,霍晨琛.地浸矿山四维资源储量动态管理方法研究[J].铀矿冶,2021,40(3):179-185.
- [15] 霍晨琛,肖诗伟,张丽丽,等.地浸开采资源储量四维动态评价系统在某铀矿山的应用研究[J].铀矿冶,2021,40(2):1-11.

Research on Visual Dynamic Management of Resource Reserves of a Open-pit Uranium Molybdenum Mine

LIU Wei

(Guyuan Uranium Industry Co., Ltd., CNNC, Zhangjiakou 076561, China)

Abstract: In response to the problems in resource reserve management, combined with the actual situation of a certain open-pit uranium molybdenum mine, a mining software management platform is adopted to establish the basic database and spatial model of the mine, and estimate the benchmark number of dynamic resource reserve management. Based on production data such as borehole measurement, sampling, ladder plane, and slope geological logging, establish and update multi-dimensional engineering information spatiotemporal data, construct different spatiotemporal relationships between ore bodies or blocks and the entire deposit, as well as algorithms for their area, shape, thickness, length, resource reserves, etc., and then reconstruct ore body or block models and estimate resource reserves, automatically realizing visualized dynamic management of resource reserves. The visualization and dynamic management of resource reserves can guide mining production in a timely manner through the rapid exploration and mining comparison, and can also provide services for the production exploration, mining design, and improvement of production planning of unexplored ore bodies or blocks. This management method has achieved good results in the production process of open-pit uranium molybdenum mines.

Key words: uranium mine; uranium molybdenum mine; resource reserves; spatiotemporal relationship; model reconstruction; dynamic management; visualization