

# 大型铀矿床全寿命期虚拟仿真系统开发

沈玉众, 陈 勇, 杨江坤, 郝志华

(中核矿业科技集团有限公司, 河北 石家庄 050021)

**摘要:** 某大型铀矿床位于中国北方生态脆弱地区, 其资源量大、矿体缓薄, 矿床前期开发决策难度大。采用虚拟仿真技术, 构建矿山三维模型, 结合矿床开采时序, 实现对矿山开采过程全寿命期的动态仿真, 动态展示矿山生产环节和施工工序, 为矿床开发决策提供依据。通过开发全寿命期的虚拟仿真系统, 为该大型铀矿床开采工程规划和设计数据的综合与解释提供了独特的虚拟环境, 展现了矿床未来开发场景, 初步验证了矿床整体开采方案的合理性与可行性, 为矿床开发奠定了基础。

**关键词:** 铀矿床; 整体开采; 三维模型; 全寿命期; 虚拟仿真; 开发决策

**中图分类号:** TL212; TD868; P628 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2024)01-0001-11

**DOI:** 10.13426/j.cnki.yky.2023.09.08

随着计算机技术的发展, 虚拟仿真技术的应用越来越广。AutoCAD 软件在绘图功能和人机交互方面的便捷性均较好<sup>[1-3]</sup>, 但其主要用于二维图形设计, 对于满足用户的可视化需求方面相对欠缺。三维虚拟化仿真软件可较好地弥补二维图形设计的不足。羊劲松等依托 DIMINE 软件平台, 创建了三维实体模型, 从三维角度更好地划分生产矿量, 指导实际生产<sup>[4]</sup>; 马开川等利用 3DMine 三维矿业软件建立了曼家寨矿区的仿真模型, 对矿体进行了二次圈定, 细化了采剥区, 提高了矿石资源的利用效率<sup>[5]</sup>; 冯兴隆等基于三维模拟手段对矿岩可崩性进行了研究, 更好地指导矿产资源的合理开采<sup>[6]</sup>; 厉金龙等基于 Surpac 三维仿真软件建立了南京栖霞山铅锌矿的地质模型, 对铅锌元素的品位空间、内在属性进行分析<sup>[7]</sup>; 徐卫亚等采用 X3D 三维可视化技术对高边坡复杂岩质的情况进行模拟研究, 对边坡复杂几何体地质情况进行了可视化研究<sup>[8]</sup>; 贾建红等以凤凰山铜矿为例, 通过 DATAMINE 三维软件, 对复杂矿体进行了三维可视化建模<sup>[9]</sup>。

已有虚拟仿真软件主要侧重对某一工艺环节的研究<sup>[10]</sup>, 而对工业生产的全寿命期的关注相对

较少。某大型铀矿床资源量大、产状平缓、矿体平均厚度为 1.5 m, 总体属于缓薄层状矿体。矿体北部埋藏较浅、适宜露天开采; 南部埋藏较深、适宜地下开采。矿床开发面临的技术问题较多。

以该大型铀矿床为研究对象, 采用虚拟仿真技术构建矿山三维模型, 通过开发大型铀矿床全寿命期虚拟仿真系统, 结合矿床开采时序, 实现对矿山开采过程全寿命期的动态仿真, 展现矿床未来开发的场景, 为矿床开发决策提供依据。

## 1 矿床地理地质条件

某大型铀矿床位于内蒙古自治区锡林郭勒盟境内, 东西宽约 7 km, 南北长约 10 km, 面积约 70 km<sup>2</sup>。区内交通较为便利, 有草原便道可通二连浩特市, 并与“集二线”铁路、208 国道及 111 省道相衔接。矿区属风蚀平台地貌, 年平均降雨量 179.2 mm, 年平均蒸发量 2 588.5 mm, 年平均温度 3.2 °C, 最大冻结深度 2.53 m。区内气候干旱, 风大沙多, 地表生态较为脆弱。

根据勘查结果可知, 该矿场属砂岩型铀矿, 形态简单, 呈平整的板状, 微倾斜, 连续性好, 构造不

收稿日期: 2023-09-26

**第一作者简介:** 沈玉众(1985—), 男, 江苏滨海人, 硕士, 高级工程师, 主要从事铀矿山开采设计及岩土工程数值分析研究。

**通信作者简介:** 杨江坤(1997—), 男, 河北邢台人, 硕士, 助理工程师, 主要从事矿山开采设计及数值分析。

发育。矿床主矿体厚度变化较稳定,矿化分布均匀,矿体产在上白垩统二连组下段上亚层下部,矿体及围岩主要为泥岩、粉砂岩和泥质胶结砂岩,层间结合良好;地层产状平缓,矿体及顶、底板较完整;地质构造简单,无节理裂隙发育。岩石成岩度较低,抗压、抗剪强度低,稳定性较差,岩石遇水膨胀。同时,矿床所在地区气候干旱,矿床范围内无地表水体。

## 2 矿床整体开采规划方案

通过分析矿床赋存特点,提出了全露天开采、全地下开采、露天-地下联合开采 3 种开采方案,

通过综合比选,以露天-地下整体开采方案为最优。

### 2.1 露天境界优化及设计

通过露天开采境界优化结果与开采工艺特征相结合的方式确定了露天开采范围。建立矿床实体模型与矿床品位分布模型(图 1),该模型是露天境界优化、露天地下开采设计和生产计划编制的基础数据。矿床露天境界优化采用 L-G 图论法,通过输入矿石价格、最终边坡角、开采损失率及贫化率、矿石开采成本、岩石剥离成本等参数,启动境界优化器进行计算,各项参数见表 1。

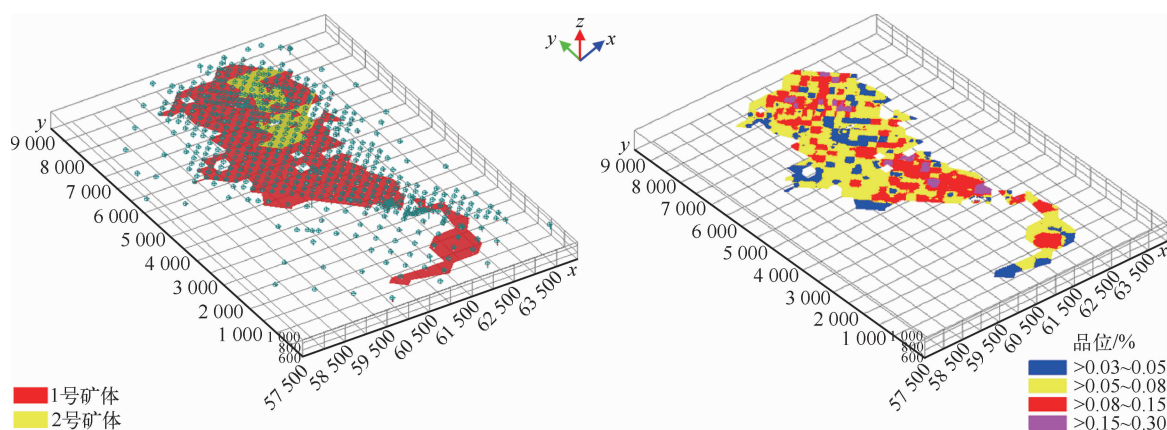


图 1 矿体实体模型及品位分布模型

Fig. 1 Ore body model and grade distribution model

表 1 露天开采境界优化参数

Table 1 Boundary optimization parameters of open pit mining

每个品位价格 <sup>①</sup> / (元/10 kg)	矿岩密度/ (t/m <sup>3</sup> )	矿石贫化率/ %	矿石回收率/ %	剥离成本/ (元/t)	开采成本/ (元/t)	复垦成本/ (元/t)	境界边坡角/ (°)
2 500	2.01	9	95	5	10.3	0.2	30

注:①每个品位价格为露天开采境界优化软件中设定的输入参数名称,指每 10 kg 的金属价格,此价格为矿石开采环节分配的价格。

根据不同价格的影响(价格因子),将表 1 的参数输入境界优化器,得到露天最优境界的嵌套坑,结果见图 2(a)。可以看出,矿床最有可能实现露天开采的部分为北部埋藏较浅且品位较高的部分。结合露天开采确定的轮斗—胶带剥离工艺的特征,得到了露天开采境界范围,见图 2(b)。

### 2.2 地下开采开拓方案

露天开采范围以外的部分采用地下开采。从

图 2(a)可看出,地下开采范围相对不规则。在地下开采范围内主要采用综合机械化回采工艺,而在局部不规则地段采用进路条带回采工艺。

#### 2.2.1 地下开采开拓大巷布置方案

在地下开采开拓系统布置中,根据矿床开采生产布局,提出 3 种大巷布置方案(图 3)。

方案一的井筒布设在矿床北西矿界与水冶工业场地中间,主、副斜井沿东南方向掘进,回风大

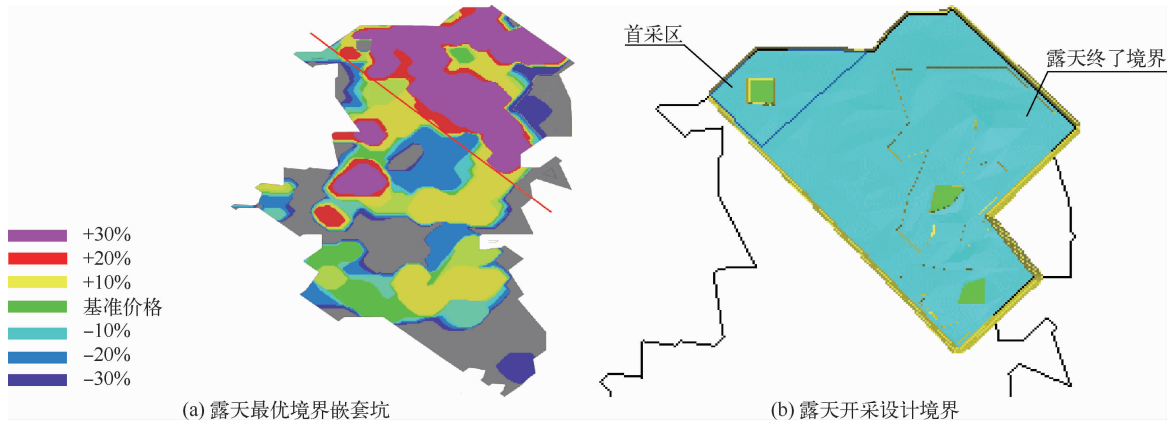


图 2 露天开采范围的确定

Fig. 2 Determination of open pit mining area

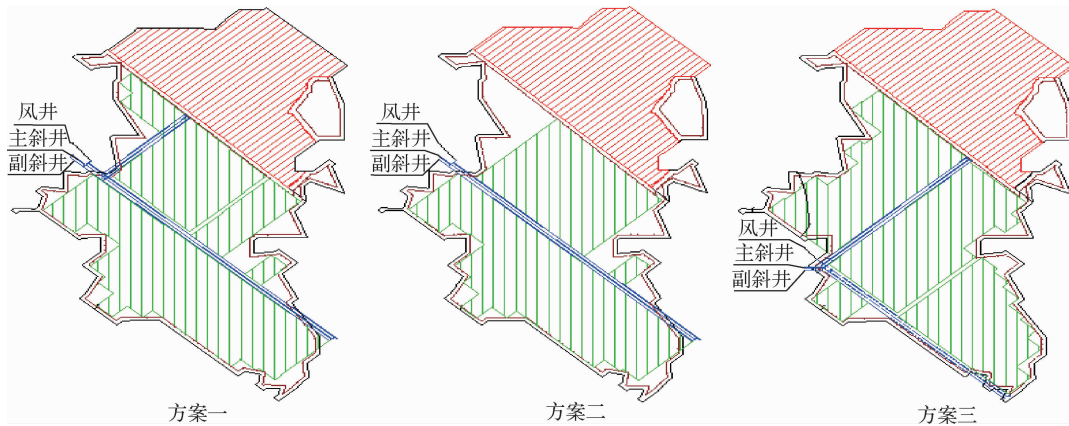


图 3 地下开拓大巷布置方案

Fig. 3 Roadway scheme of underground development

巷向西北方向延深,通过回风石门沟通风井,形成矿井通风系统;在井底车场处,自大巷沿东北方向向露天采坑布置 3 条上山,用于回采西北部的零星矿体。方案二的井筒布设与方案一基本一致,为提高开采效率及简化开拓系统,不再回收西北部的零星矿体,因此不需在井底车场处布置向露天采坑的 3 条上山。方案三井筒布设在矿床西矿界中间,主、副斜井沿东方向掘进,沿东北方向向露天采坑方向布设 3 条大巷,以回收北翼区段资源;沿矿床西南边界向东南方向布设 3 条大巷,服务于南翼区段工作面开采。

各方案主、副井筒为斜井,风井为立井。各方案均采用胶带输送机运输,人员、设备及材料采用

无轨胶轮车从副斜井直接运至工作地点。通过对比 3 种地下开采开拓方案,可以发现方案二的开拓系统为一段式布置,系统相对简单,但损失了部分矿石量;方案一和方案三的开拓系统均为两段式布置,系统相对复杂,但资源整体回收率较高;方案一与方案三的主要不同在于井筒布置位置不同,从开采布局上说两者的坑内外运输距离不同。

### 2.2.2 地下开采方案对比

为了进一步定量化对比分析 3 种方案的指标,从资源回收量、首采面资源量、地表矿石运输功、大巷总掘进量、平巷总掘进量等方面对各方案进行比较,结果见表 2。综合考虑资源回收率、地

面运输布置、矿山建设成本等因素,大巷布置方案 最终采用方案一。

表 2 地下开采方案对比

Table 2 Comparison of underground mining schemes

方案	资源回收量/%	首采面资源量/万 m <sup>3</sup>	地表矿石运输功/(10 <sup>6</sup> km · t)	大巷总掘进工程量/km	平巷总掘进工程量/km
方案一	78.63	16.8	80.2	15.29	76.44
方案二	72.88	16.8	75.0	11.39	71.67
方案三	81.33	37.8	341.9	15.75	79.08

### 3 全寿命期仿真系统总体架构设计

全寿命仿真系统需要紧密结合矿床开采方案

进行,依据该矿床整体开采方案,结合矿床开采的全寿命期动态生产过程进行仿真系统设计,具体方案技术路线见图 4。

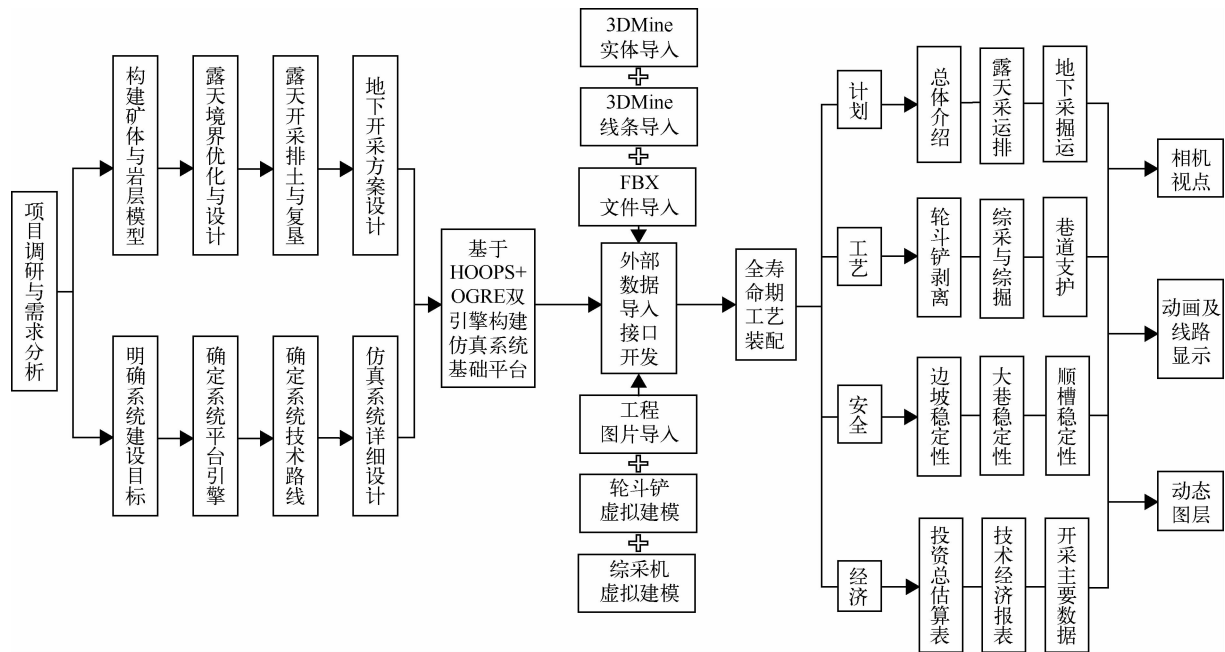


图 4 全寿命仿真系统构建技术路线

Fig. 4 Technical route of the whole life simulation system construction

以矿床资源数据、采矿设计、生产计划数据为基础,以 OGRE 引擎为技术开发平台,结合三维地质建模、3DS Max、数值模拟等软件工具,建立大型铀矿床开采全寿命期仿真系统,实现矿床开发条件分析、开采方案、生产计划及矿床技术经济评价的全寿命三维仿真。矿床全寿命仿真系统总体上分为数据层、平台层、业务层(图 5)。

#### 3.1 数据层

数据层包括地质基础数据、方案设计数据、经济指标数据三方面,其中:系统可录入的地质基础

数据包括钻孔、地形、地层、岩性、取样、品位等信息;系统可导入的方案设计数据包括露天开采计划、年度开采现状、地下开采年度开拓和采矿现状、工业广场、办公区,及生活区布置等模型;系统可录入的经济指标数据包括开采技术参数,资源价值,利用水、电、人力、物资成本,投资回报等。

#### 3.2 平台层

采用 HOOPS+OGRE 的双平台设计。面向工程的 HOOPS 平台,可浏览真实三维状态下的地质数据,并进行交互查询、编辑,报告地质资源储

量,展现设计成果。面向虚拟现实的 OGRE 平台,支持复杂模型渲染,快速高效运算,是仿真模拟的有力工具。同时,通过开发多种数据转换接口,使仿真系统支持 3DS Max 格式、GIS 格式、DWG 格式等数据格式转换,支持读取工业自动化 OPC 协议。

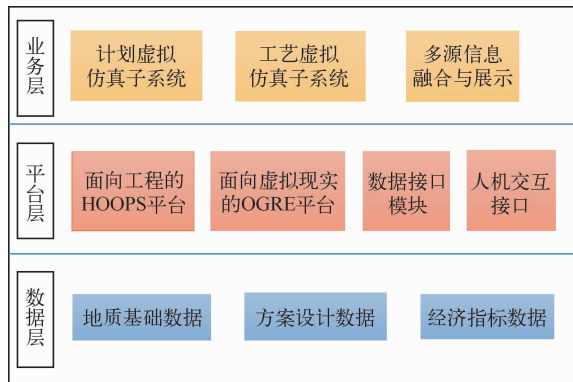


图 5 全寿命仿真系统总体架构

Fig. 5 Overall architecture of the whole life simulation system

### 3.3 业务层

全寿命期仿真模拟系统包括计划虚拟仿真子系统、工艺虚拟仿真子系统及多源信息融合与展示子系统等。计划虚拟仿真子系统主要包括设计方案展示、按计划生产年进行动态演示等功能;工艺虚拟仿真子系统是针对矿床整体开采过程中的关键工艺进行虚拟仿真模拟,包括对露天开采的轮斗—胶带剥离工艺,液压挖掘机—自卸卡车采矿工艺,地下开采的综采工艺、综掘工艺、地下采掘支护工艺进行仿真;多源信息融合展示子系统包括对地质信息、矿山开采安全分析信息及技术经济评价成果信息等的融合。

## 4 全寿命期仿真系统模型建立

全寿命期仿真系统模型主要分为:1)三维几何模型。包括矿体、岩层、地形、地表厂房、设备等各类不含材质信息的素模型。2)虚拟现实模型。经过渲染,显示效果更逼真,达到虚拟仿真的目的。虚拟现实模型的主要建立方法<sup>[11]</sup>包括地质模型转换方式和三维渲染软件建模转换导入方式。

### 4.1 三维几何模型建立

在全寿命期仿真系统中,几何模型的建立主要在三维地质建模软件中进行,包括矿体、岩层、

地形,露天采、剥、运、排线路,地下开拓巷道,地下采场设计等模型。其中,矿体模型在 2.1 节中已建立;岩层模型的建立较复杂,在仿真系统开发过程中采用隐式建模方法<sup>[12]</sup>建立该矿床的岩层模型。

在建模中进行了岩性合并。矿床原始岩性达 24 种,经过统计分析,结合现场施工的 1<sup>#</sup>~13<sup>#</sup> 钻孔柱状图与对应的地质剖面图资料,将铀矿床地质剖面中涉及的所有岩性归并为细砂岩、粉砂岩、泥岩、石膏岩等 4 类。

根据建模过程及模型的数学特征,地质建模可分为显式建模和隐式建模。显式建模通过人工交互进行线框连接,需要大量手工交互;该方法对于剖面多、形态复杂的矿体效率较低、局限性较大。隐式建模可以自动插值空间采样数据,不需要人工交互即可直接构建出符合采样数据的空间曲面,建模自动化程度较高<sup>[13]</sup>。因此,本研究采用岩层的隐式建模。

在仿真系统开发过程中,将径向基隐函数曲面引入到岩层三维隐式建模中,径向基隐函数是取值仅依赖相对于空间采样位置(距离)的实值函数。根据实际数据的特征,采用较为通用的距离三次方的全局支撑径向基函数进行建模,程序自动新建岩层模型。对于泥岩和细砂岩,由于其分布范围广,在地层中主要以泥岩和细砂岩岩性为主,通过进行顶底板插值可得到 2 种岩性的上下表面,经过合并便形成泥岩和细砂岩模型。将 4 种岩层模型叠合在一起,结果见图 6。

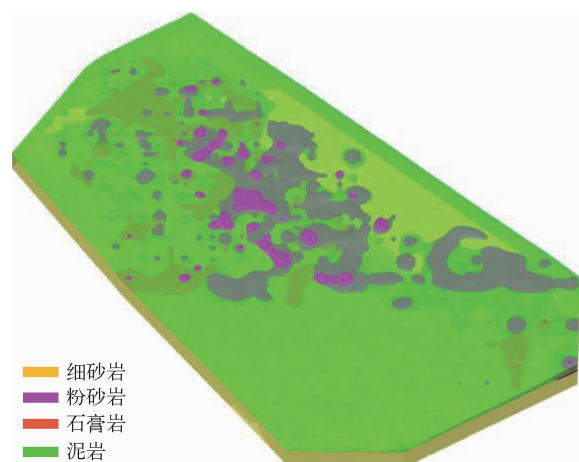


图 6 基于顶底板插值和隐式建模构建的综合岩层模型

Fig. 6 Comprehensive rock layer model based on roof and floor interpolation and implicit modeling

## 4.2 虚拟现实模型建立

在三维虚拟场景中,简单的模型可利用三维地质建模软件;较为复杂的模型如地表建筑、设备、骨骼动画、复杂贴图对象,可以用 3DS Max 等软件建立<sup>[14]</sup>,再通过开发的三角网模型,转换到虚拟模型插件,实现对模型虚拟转换,节省建模时间,为仿真系统的开发和维护提供方便。

### 4.2.1 露天采坑虚拟仿真建模

露天采坑虚拟模型采用三角网模型与遥感影像贴图相结合的方式表达。以钻孔孔口标高作为基准高程,进行数据融合,对 DEM 高程进行系统校准,剔除 DEM 高程异常部分,最后重构矿区地表三角网模型;利用遥感卫星 TIF 图片导入功能,将矿区数字影像(DOM)作为地表三角网模型的贴图。将建好后的露天采坑虚拟模型与地表地形虚拟模型叠合到一起,形成某一年度的虚拟采坑模型(图 7)。不同开采年度形成的多阶段露天采坑三角网模型,通过转化可实现动态更新。

### 4.2.2 露天采剥设备虚拟模型

露天剥离工艺最重要的设备为轮斗铲,其结构形态复杂,与轮斗工艺相配套的设备有转载机、

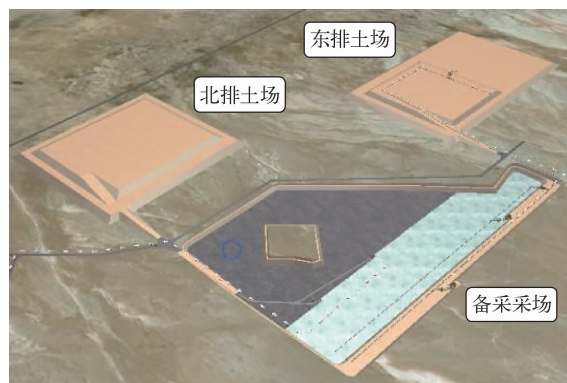


图 7 露天采坑与地表地形虚拟仿真模型

Fig. 7 Virtual simulation model of open pit and surface topography

胶带、皮带桥及排土机等。在 3DS Max 中建立各设备的三维模型,并进行渲染,再通过转换接口将所有模型导入仿真系统中。露天采矿工艺为单斗一卡车工艺,设备配套为液压挖掘机及自卸式运矿卡车,在 3DS Max 中建立 2 种设备的三维模型并进行材质贴图,再通过导入接口将所有模型导入仿真系统中,部分模型展示见图 8。



图 8 轮斗铲及液压挖掘机模型结构

Fig. 8 Model structure of wheel bucket shovel and hydraulic excavator

### 4.2.3 地下采场虚拟仿真建模

在地下开采范围内进行地下采矿设计,建立开拓系统及采场设计的三维几何模型,通过转换工具将开发的实体、巷道、线文件转化为虚拟仿真模型,并在仿真系统中完成组装,形成某一年度的地下采场虚拟仿真模型。根据全寿命仿真系统建设需求,地下采场采坑需按计划设计年份在三维地质建模软件中多次建模,将形成从基建期、达产期到闭坑最终界面等多阶段的地下采场三角网模型,通过上述转化,实现动态更新(图 9)。

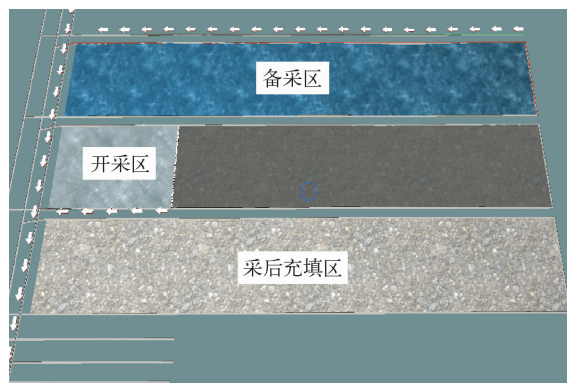


图 9 地下采场虚拟仿真模型

Fig. 9 Virtual simulation model of underground stope

#### 4.2.4 地下采掘设备虚拟模型

地下开采部分的主矿体采用与煤炭相似的综采工艺,配套设备为采煤机、液压支架、刮板输送机、转载机、乳化液压泵站、移动式变压器等。采煤机型号为 MG200/446-WD(采高为 0.9~1.8 m),

刮板输送机型号为 SGZ630/220,液压支架型号为 ZY2800-08/19,转载机型号为 SZZ630/75,乳化液压泵站型号为 WRB200/31.5。在 3DS Max 中建立上述设备的三维模型并进行材质贴图,最后通过导入接口将所有模型导入仿真系统中(图 10)。

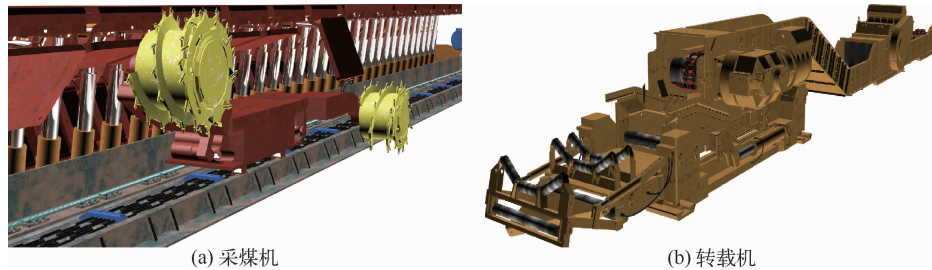


图 10 采煤机及转载机实体模型结构

Fig. 10 Model structure of coal cutter and loader conveyer

#### 4.2.5 地表建筑仿真建模

矿区地表建筑物包括开采方案设计的工业广场、破碎站、尾矿库、水冶厂、办公楼,及宿舍和厂区内内部道路等虚拟模型。在仿真系统开发中,采用了 3DS Max 建模工具对地表建筑物及相应附属设施建模,在 3DS Max 中导入 DWG 或者 3DS 格式的开采设计总图,然后按照总图标准进行逐个分项建模,最后通过插件转换导入仿真系统中(图 11)。



图 11 地表建筑物虚拟仿真模型

Fig. 11 Virtual simulation model of surface building

## 5 矿床开采全寿命期仿真模拟实现

在建立虚拟仿真模型后,通过开发的插件

导入到仿真系统中,在仿真系统中根据系统设计需求进行装配,最后完成各子系统的虚拟仿真。

### 5.1 全寿命期开采过程动态仿真

根据矿区总体开发利用方案和开采计划,设计了 21 个计划年度周期。

#### 5.1.1 露天开采仿真模拟

矿床基建期和生产期开采动态变化结果见图 12。露天开采基建期为 3 年,生产期为 18 年,其中,从露天开采生产期的第 16 年开始进行地下开采的基建工作,展示内容包括采场、排土场、尾矿库、工业场地等。本系统考虑了开采—剥离—复垦一体化工艺,随着开采的推进,同步开展地表复垦工作。

#### 5.1.2 地下开采基建及生产期仿真模拟

地下开采基建期为 3 年,基建期与露天开采生产期第 16~18 年重合;生产期为 27 年,其中采用综采工艺开采的有 19 年,采用进路条带开采工艺的有 8 年。矿床地下开采生产期开采动态变化见图 13,展示内容包括采场、排土场、尾矿库和工业场地等。

### 5.2 矿床开采生产工艺仿真模拟

矿床露天及地下开采工艺(图 14),主要包括单斗—卡车开采工艺、轮斗—胶带剥离、排土机排土工艺、综采工艺、掘进工艺及巷道支护等。

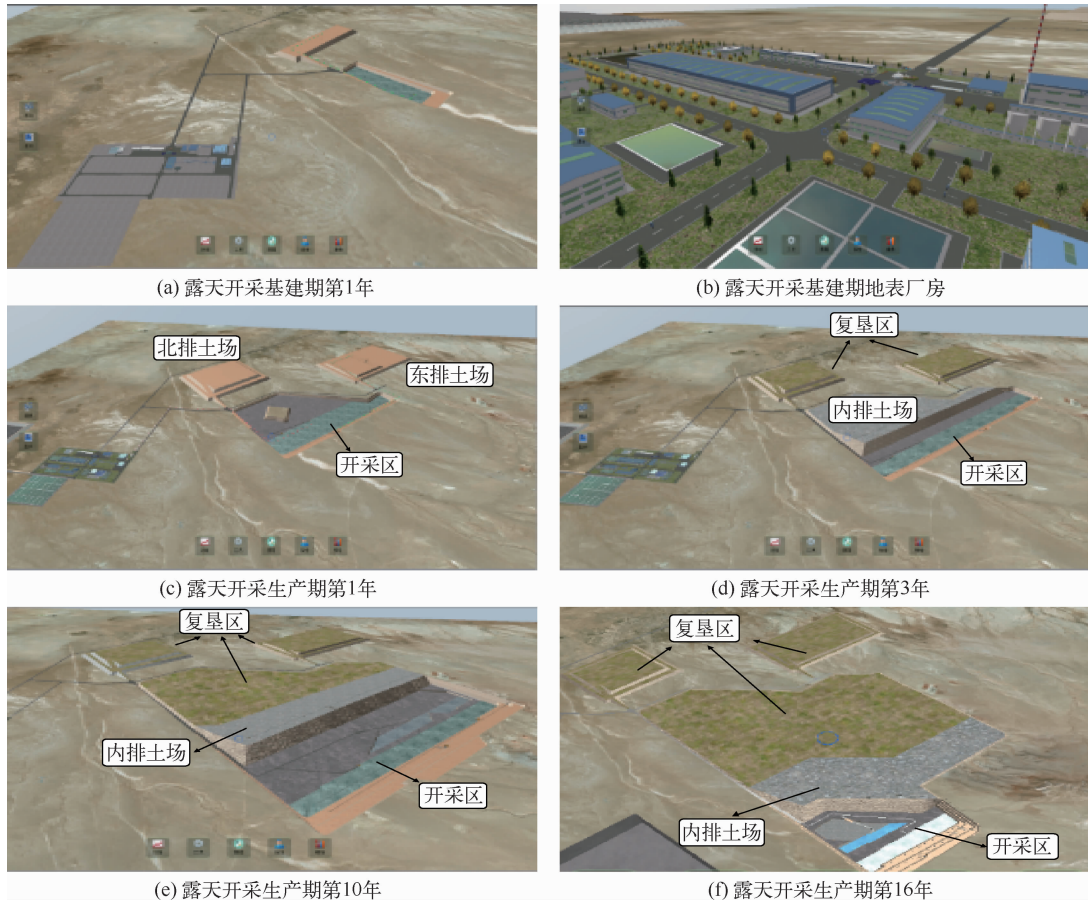


图 12 露天开采生产动态仿真效果图

Fig. 12 Dynamic simulation effect of open pit mining production

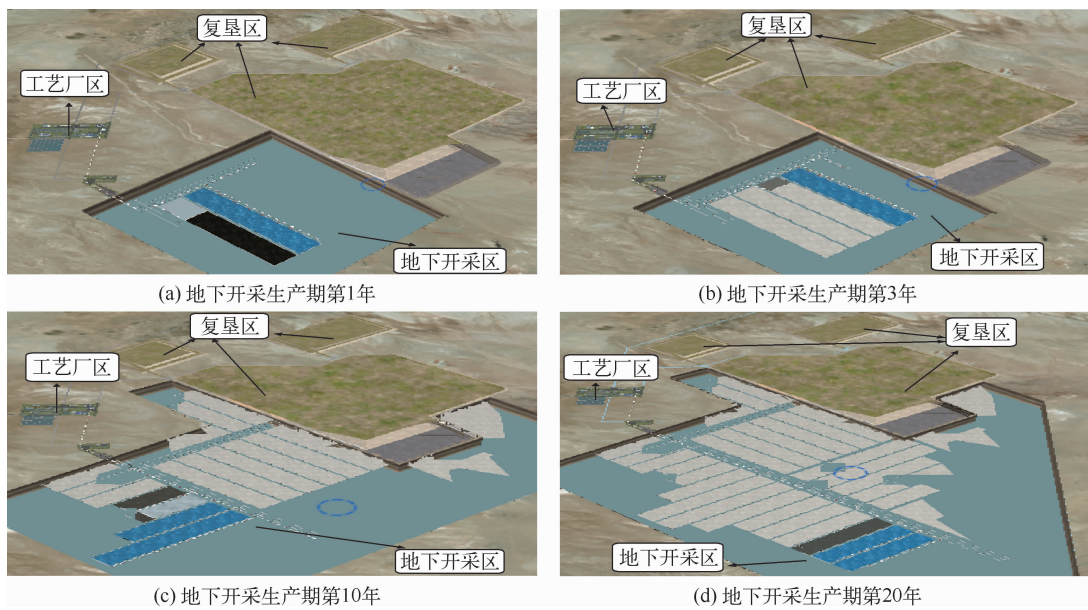


图 13 地下开采生产动态仿真效果图

Fig. 13 Dynamic simulation effect of underground mining production

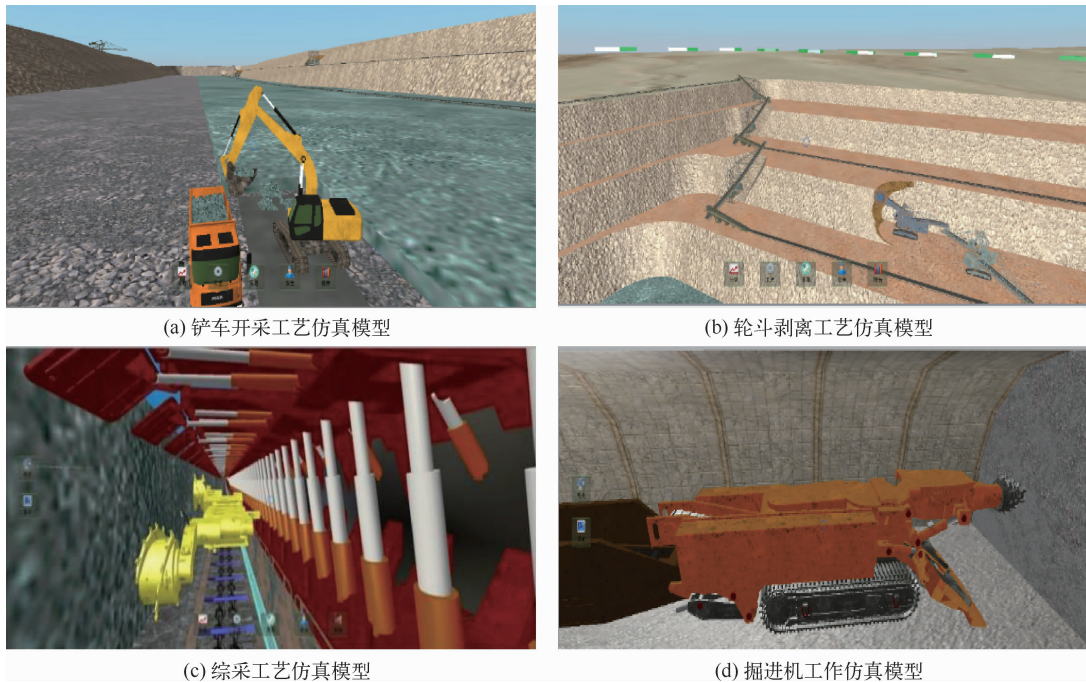


图 14 部分露天开采工艺仿真效果图

Fig. 14 Simulation effect of open pit mining process

### 5.3 多源信息融合展示

地质信息融合可展示矿床矿区交通地理、钻孔岩性、矿体模型、地质剖面图、现场钻孔取样岩芯柱状图等信息,其中地质剖面与各岩层叠合效果见图 15。矿山开采安全与技术经济信息融合展示边坡稳定性和开采技术指标等,矿床露天开采边坡稳定性分析、矿床开采剥采比见图 16~图 17。

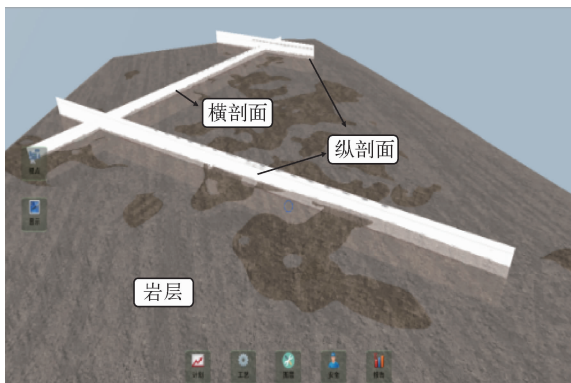


图 15 地质剖面与各岩层叠合效果图

Fig. 15 Geological section and each rock layer superimposed effect

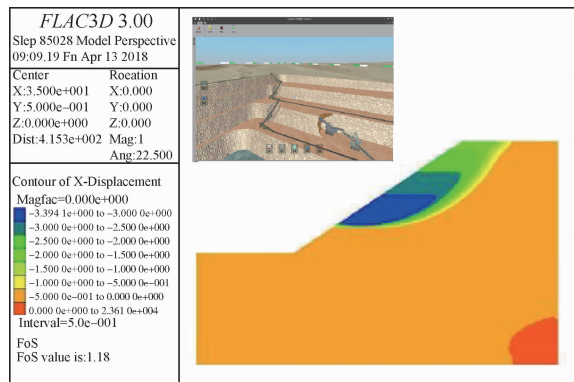


图 16 露天开采边坡稳定性分析

Fig. 16 Slope stability analysis of open pit mining

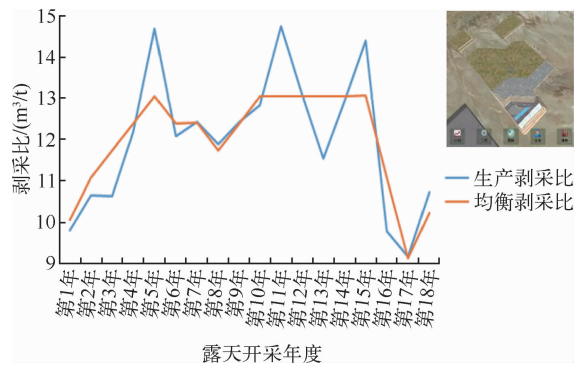


图 17 露天开采剥采比

Fig. 17 Stripping ratio of open pit mining

## 6 结论

某大型铀矿床全寿命期仿真系统开发基于 HOOPS+OGRE 双引擎技术开发平台,实现了矿床开发从基建、采矿、排土及复垦的全寿命期的过程仿真。

1)在矿床整体开发方案的基础上,在三维地质建模软件中建立了露天与地下开采三维几何模型,在 3DS Max 中建立地表厂房模型、露天与地下设备模型,开发了多款转换插件,实现了上述模型向虚拟模型的转换。同时,通过插件可将矿山地质基础信息、矿山开采安全分析结果、技术经济评价成果信息等自动导入,实现了矿床开发多源信息的融合与集成。

2)通过采用复杂岩层隐式建模技术、地下开采巷道快速建模技术等关键技术实现了各项工艺系统在真三维环境下的虚拟仿真。按照矿山生产计划,进行了全寿命期的虚拟仿真,直观呈现了矿床开采全寿命期关键工艺及年度生产状况,实现了矿床数据信息化、综合化和可视化表达与矿床开发的虚拟开采验证。

### 参考文献:

- [1] 马江平. 露天矿地质 CAD 软件系统的开发[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2005.
- [2] LUO H Z. Exploration of several difficult problems in compiling drawing used AutoCAD[J]. Advanced Materials Research,2011,1290(271/273):904-910.
- [3] 张瑞雪,贾慧献. AutoCAD 在建筑绘图中的教学研

- 究与应用[J]. 煤炭技术,2012,31(2):266-268.
- [4] 羊劲松,吴维虎,冯兴隆,等. DIMINE 矿业软件在普朗铜矿生产矿量管理中的应用[J]. 四川冶金,2018,40(6):49-52.
- [5] 马开川,李闯,张毕书,等. 基于 3DMine 的矿山精细化采剥工艺优化实践[J]. 化工矿物与加工,2017,46(9):40-44.
- [6] 冯兴隆. 自然崩落法矿岩工程质量数字化评价及模拟技术研究[D]. 长沙:中南大学,2010.
- [7] 厉金龙. 基于 Surpac 的三维地质建模及可视化研究[D]. 重庆:重庆大学,2011.
- [8] 徐卫亚,孟永东,田斌,等. 复杂岩质高边坡三维地质建模及虚拟现实可视化[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29(12):2385-2397.
- [9] 贾建红,周传波,蒋楠,等. 基于地质数据库的复杂矿体三维建模关键技术研究[J]. 矿业研究与开发,2016,36(8):96-100.
- [10] 王元昊,高振记,宋越. 三维地质模型质量评估方法研究进展综述[J]. 华北地质,2023,46(1):80-86.
- [11] 许妙忠. 虚拟现实三维地形建模和可视化技术及算法研究[D]. 武汉:武汉大学,2004.
- [12] 郭甲腾,吴立新,周文辉. 基于径向基函数曲面的矿体隐式自动三维建模方法[J]. 煤炭学报,2016,41(8):2130-2135.
- [13] 黄蕾蕾. 内蒙古乌努格吐山矿山高精度三维地质建模与评价[D]. 北京:中国地质大学(北京),2021.
- [14] 王辛龙. 基于 3DMax 的三维城市建模与可视化的研究[D]. 抚州:东华理工大学,2016.

## Development of Virtual Simulation System for the Whole Life of Large Uranium Deposit

SHEN Yuzhong, CHEN Yong, YANG Jiangkun, HAO Zhihua

(China Nuclear Mining Science and Technology Corporation, CNNC, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** A large uranium deposit has large resources and thin ore bodies, it faces many technical problems in mining and is located in the ecologically fragile area of northern China. The emergence of virtual simulation technology provides a new means for the verification of mineral deposit mining technology. By constructing a three-dimensional spatio-temporal model of the mineral deposit, and combining with the mining time series of the deposit, the dynamic simulation of the whole life period of the mining process can be realized, and the dynamic display of the mine production links and construction procedures can provide a basis for the decision-making of mineral deposit development. Through the development of the virtual simulation system of the whole life cycle, a unique virtual environment is provided for the data synthesis and interpretation encountered in the planning and design of the large-

