

doi:10.3799/dqkx.2010.031

数字矿山软件(QuantyMine)若干关键技术的研发和应用

张夏林, 吴冲龙, 翁正平, 李章林, 綦 广, 陈国旭, 田宜平

中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

摘要: 数字矿山软件系统的研发是实现数字矿山建设的关键。新近自主开发的国产数字矿山软件 QuantyMine 系统由 7 个子系统构成, 能基本满足数字矿山建设的要求。该系统在开发中重点研究解决了 3 个方面的关键技术, 包括矿山三维可视化建模技术、快速市场响应机制下的动态资源储量估算技术和支持矿山信息化全程计算机辅助的系统集成化技术。解决上述关键技术问题后, 该系统全面实现了矿区综合信息管理、矿山地质图件编绘、矿山三维可视化、多方法的储量估算、矿山开采方案辅助编制、矿山信息网络应用、冶炼厂生产管理等功能。系统开发完成后, 在紫金集团下属矿山得到了成功应用。

关键词: 数字矿山; 矿山信息化; 矿山建模; 三维可视化; 动态储量估算。

中图分类号: P628; TE19

文章编号: 1000-2383(2010)02-0302-09

收稿日期: 2009-09-26

Research and Application of the Digital Mine Software QuantyMine

ZHANG Xia-lin, WU Chong-long, WENG Zheng-ping, LI Zhang-lin, QI Guang, CHEN Guo-xu, TIAN Yi-ping

Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The digital mine software development is the key step for building the digital mine. A digital mine software named QuantyMine has been developed, which is composed of seven subsystems and can be employed to build the digital mine. There are many key technologies involved in the software, three of which are discussed in this paper. The first one is three-dimensional visualization mine modeling technology; the second one is dynamic reserve estimation technology responding to the changing market; and the third one is system integration technology for mine informationization. The following functions can be realized by employing the QuantyMine: (1) All kinds of mine data including survey data, geology data, geophysical data, geochemical data, assay data, environment data, remote sensing data can be stored in the central Oracle database, which acts as a shared data platform for the digital mine. (2) All kinds of mine map could be drawn automatically or semi-automatically by computer based on the central mine subject database. (3) 3D mine modeling and visualization, and three-dimension spatial analyses can be fulfilled. (4) It facilitates the mine reserve estimation using vertical section method, geological block method and kriging method estimate. (5) Mine design and planning can be performed. (6) Digital mine can be run on the internet. Based on this system, a basic digital mine of Zijin copper and gold mine has been constructed.

Key words: digital mine; mine informationization; mine modeling; three-dimensional visualization; dynamic reserve estimation.

上世纪末, 美国前副总统戈尔首次提出了“数字地球(Digital Earth)”概念。“数字矿山”是继“数字地球”后提出的又一个概念(陈述彭, 1999; 吴立新, 2000)。在矿业领域, 由于面向的生产对象是珍贵的不可再生的矿产资源, 因此利用信息技术和“数字矿山”软件来高效勘探、评估、监测和开发矿产资源显得尤为重要。“数字矿山”充分利用现代空间分析、数据采集、知识挖掘、虚拟现实、可视化、网络、多媒体

和科学计算技术, 为矿产资源评估、矿山规划、开拓设计、生产安全和决策管理进行模拟、仿真和过程分析(吴立新, 2000; 毕思文等, 2004)。美国、加拿大、澳大利亚等发达国家在矿山的储量估算、矿山生产的三维可视化技术和矿山信息管理方面开发了一系列应用软件系统, 如 Micromine(Samal and Sarangi, 2001)、Minesight3-D(Cai *et al.*, 2001)、Surpac、DataMine、AMSKAN 矿山信息系统和 ENDAKD

基金项目: 国家青年自然科学基金项目(No. 40802082/D0215); 紫金集团数字矿山项目。

作者简介: 张夏林(1975—), 男, 副教授, 主要从事地学信息技术和数字矿山方面的教学和科研工作。E-mail: zhangxialin@cug.edu.cn

铝矿信息系统等. 这些信息系统将矿山所需的绝大部分图纸与数据存储在磁盘上, 绝大多数地测、采掘计划、爆破设计等方面的图件以及储量管理、生产计划、生产统计、设备、库存、人事、工资、销售、财会等方面的报表, 均可由计算机辅助进行作业、管理、存储及输出, 使工程技术人员和管理人员摆脱了繁重的事务作业, 效率大为提高. 目前, 国外数字矿山的建设与建设已经逐渐发展到全矿山的数字化与自动化 (Scoble, 1995; Duskey, 2006; Trenczek and Wasilewski, 2008). 近年来, 随着现代信息技术的发展, 我国数字矿山也已经开始从理论研究阶段逐步走向实际应用 (李婧, 2007; 陈国旭等, 2009; 赖朝辉等, 2009; 向中林等, 2009). 从整体上看, 我国矿山勘察、规划、设计、生产、管理、监控等全面信息化仍处于起步阶段, 各种矿山信息系统的研发水平、集成化水平和应用水平与发达国家相比仍有较大差距. 目前, 国内“数字矿山”建设所采用矿业软件, 绝大多数来自国外. 这些软件具有较高的功能和可操作性, 但也存在着一些突出的问题, 例如: (1) 数据处理方式、图式图例和储量估算方法不符合我国的规范和标准; (2) 技术支持不足, 系统维护和服务滞后, 难以实现快速反应, 更不便根据实际需要进行补充再开发; (3) 操作界面汉化程度低, 难以用标准的中文输出分析处理成果; (4) 系统价格昂贵. 这些问题严重地制约了我国“数字矿山”建设的进度和水平. 鉴于此, 我们与紫金矿业集团合作, 开展有特色的数字矿山建设探索和具自主知识产权的矿业软件研发, 并在此基础上进行数字矿山建设.

数字矿山是一个矿山范围内以三维坐标信息及其相互关系为基础而组成的信息框架, 并在该框架内嵌入所获得的信息的总称. 实现数字矿山需要一系列的软、硬件的支持, 需要研究解决诸多的关键技术. 本文着重就我国数字矿山软件 QuantyMine 系统在研发中使用的关键技术和该软件在我国矿山生产、管理中的实际应用进行探讨.

1 数字矿山软件(QuantyMine)的体系架构

QuantyMine 是由中国地质大学(武汉)和紫金集团矿业股份有限公司联合研制开发的数字矿山软件系统. 该系统遵循科学性、实用性、实时性、开放性和安全性相结合的设计原则, 使用数据库、GIS、

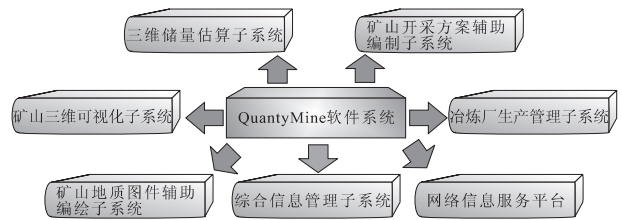


图 1 QuantyMine 软件的总体系统组成

Fig. 1 Architecture and subsystems of QuantyMine

GPS 三维可视化等现代信息技术, 采用模块化和面向对象设计与实现方法, 为一套专业化的数字矿山系统. 该系统运用“地学点源信息系统”的设计思路, 采用多“S”结合与集成技术, 建立了以主题式对象—关系数据库为核心、技术方法与应用软件层叠式复合的数字矿山系统 (吴冲龙, 1998; 吴冲龙等, 2005), 实现了矿山数据的动态采集和一体化综合管理、专业矿山图件的机助编绘、矿山三维可视化、储量估算、可视化开采设计和网络数字矿山等. QuantyMine 软件系统目前由 7 个子系统有机集成, 如图 1 所示.

2 数字矿山系统研发中的部分关键技术

“数字矿山”是真实矿山整体及其相关现象和生产过程的全面数字化、信息化, 是存储于计算机网络上的、能供多用户访问和应用的一种虚拟矿山. 通过“数字矿山”能使矿山自然地理、生态环境、矿床地质、矿山建设、掘采选冶、决策规划等实现数字化、信息化、网络化和可视化. 数字矿山系统开发涉及诸多关键技术 (吴立新等, 2003a, 2003b; 僧德文等, 2005).

2.1 矿山三维可视化建模关键技术

三维模型是数字矿山表达的基本方式, 也是实现数字矿山的关键. 矿山三维地质模型是在野外地质勘探和室内地质资料分析的基础上, 利用计算机量化描述地质对象的几何形态、拓扑关系和物性特征等信息. 通过对矿山地质对象的一维、二维和三维信息数据综合解释后重构而建立的复杂整体计算机三维模型即为矿山三维地质模型.

目前, 矿山地质体的三维建模主要面临以下困难 (熊祖强, 2007): (1) 原始地质数据获取的艰难性和不完备性. 由于经费、时间等的限制, “数字矿山”建设过程中通常难以采集足够的样本数据以建立精确模型, 只能获取一些不全面, 有时甚至是相互冲

突的信息。矿山地质建模的数据主要来源于钻孔数据、勘测数据以及矿山生产中的工程数据。这些数据大都是有限的、离散的且分布不规则,有些还缺失基本的属性描述,决定了地质体属性的未知性和不确定性,而矿山地质空间往往又是连续的、复杂多变的。如何充分利用这些有限的、离散的地质信息,进行客观地、全面地、合理地恢复矿床、构造地质形态,是矿山地质建模的难点问题。(2)地质体及其空间关系的极端复杂性。矿山的断层、岩脉等将地层切割成不连续的空间分布、岩体内复杂的岩性变化以及地质构造过程的动态性等使得地质信息三维建模的自然环境变得异常复杂。地质体中包含断层、岩脉侵入体、倒转褶皱等多值面的地质结构,增加了三维地质建模数据结构、拓扑关系及相应算法的复杂程度,目前仍缺乏成熟的解决方案,使得重建的三维模型信息存储量巨大,无法满足实际分析应用。因而,针对实际的应用目标,采用合适的三维数据结构模型,解决地质体复杂、模型数据量大与模型需满足实时分析要求的矛盾,是地质三维建模面临的一个难题。(3)三维地质分析能力的局限性。由于三维地质模型的建立和分析,目前还缺乏统一而完备的理论技术,导致现有的相关系统缺乏专业的三维地质分析能力。这也是数字矿山软件研究中要解决的另一个难题。

针对以上难题,本系统开发中研究了以下矿山地质建模解决方案和技术。考虑到矿山的三维显示以及储量估算、开采设计工作的需求,系统采用三维实体模型(图 2)以及块体模型(图 3)来表达矿山的三维可视化分析模型。三维实体模型包括岩性模型、构造模型、矿体模型、开采设计模型等,是数字矿山

模型的基础,为数字矿山的设计、开采、巷道分析等提供三维分析对象。块体模型与地质统计学紧密结合,是应用数学方法对品位分布进行建模,由于矿石品位分布在矿产资源中是受到地质因素控制的,从而形成一定约束条件下的品位模型。

针对矿山实体的数据特点和目前建模技术的局限性,系统采用了二体式三维地质建模技术构建三维实体模型,实现了矿山地表地下一体化三维可视化建模,能够对矿山矿体、矿床及其复杂地质结构和成分分布进行三维可视化表达和空间分析与查询。

二体式三维地质建模技术是一种基于 BREP 和体元表示法的建模方法,在三维可视化环境中通过对矿山数据,如(1)野外采集点的描述数据(野外地质点描述数据、构造点描述数据等);(2)断裂、裂隙等构造数据;(3)钻孔数据(工程勘察钻孔,水文勘察钻孔等);(4)山地工程数据(探槽、竖井、平硐数据等);(5)物化探数据;(6)样品的试验数据(品位测试数据、岩石力学测试数据等)等的处理和分析,使用线、面等作为空间实体的边界,以体元作为实体的语义逻辑基本单元,交互式地建立矿山复杂的三维可视化模型,它通过使用封闭的不规则三角网对实体的表面进行模拟,来构建矿山三维空间实体的可视化模型,这种方法较容易实现,并且建立的模型通常能符合实际情况。其中强可交互性有利于解决前述的“原始地质数据获取的艰难性和不完备性问题”。该建模技术的体系结构如图 4 所示。

二体式地质建模技术优点在于表示实体的点、线、面等几何元素是显式的,能比较快地绘制出来,并且其体元结构也有利于对形体进行多种操作和运算。空间对象被分解为四类基本元素的集合,即点、

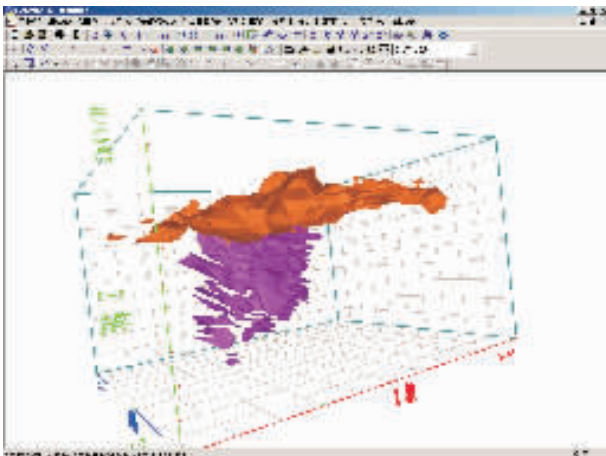


图 2 矿山三维实体模型(紫金金铜矿矿体模型)

Fig. 2 Three-dimensional ore body model

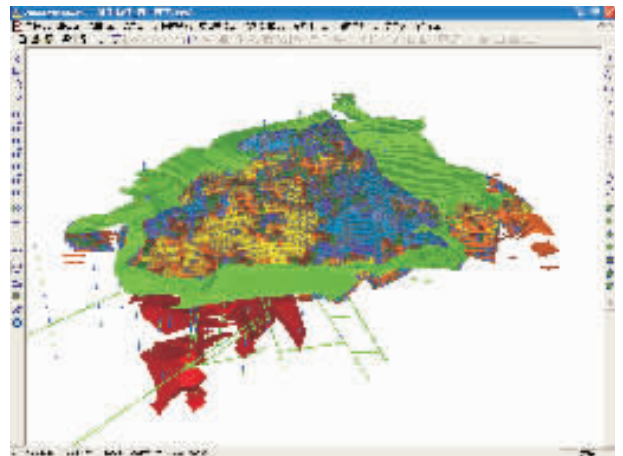


图 3 矿体三维块体模型(紫金金铜矿矿体)

Fig. 3 Three-dimensional block model of ore body

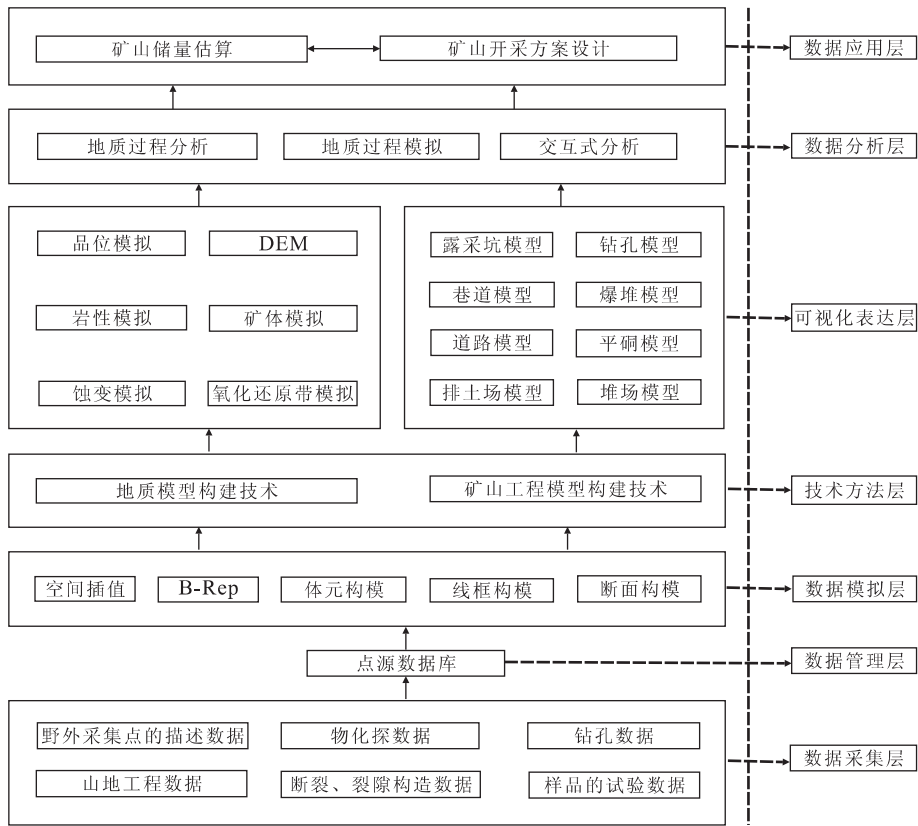


图 4 矿山建模技术的体系结构

Fig. 4 System architecture of mine modeling technology

线、面和体,每一类元素由几何数据类型标志及相互间的拓扑关系组成. 三维实体用它的边界来表示,并且通过空间拓扑结构关系来建立各边界的联系,既有利于三维矿山实体的各种空间位置和拓扑关系的保持,也有利于进一步对矿山实体进行矢量剪切、露采模型分析、开采模型分析等模拟分析,可以较好地解决目前矿山建模中的上述难题.

另外,采用二体式建模方法不仅能实现矿山地表与地下空间实体的一体化建模,同时能顾及矿山地表与地下空间实体的空间关系和语义属性,满足矿山高效的空间分析、实际生产、方案制定等的需要.

建模完成后,三维空间分析是数字矿山软件必须解决的问题. 矢量剪切分析是数字矿山空间分析中关键技术之一,是数字矿山空间分析的基础和核心. 它在建立三维地质体模型的基础上,根据设计需要,对三维地质体模型进行挖切分析、统计开挖量、计算矿石开采量等,为科学安排采矿计划提供设计分析工具. 本系统中采用空间分区二叉树(binary space partitions)(吴立新等, 2003a, 2003b)结构实现对模型的布尔运算以及矢量剪切运算. Fuchs *et*

al. (1980) 首先提出利用二叉树来对二维平面进行分区的方法. 同理,我们将这种思想推广到三维空间,建立适合三维的 BSP 树,在此基础上进行空间实体的矢量剪切运算.

通过对三维数字矿山实体的布尔运算及矢量剪切操作,并显示结果,地矿研究人员可以观察分析矿体内部的特征和属性,从而深入了解和掌握矿体的空间分布、组成等信息,为露采设计、地下开采设计、储量估算等的应用提供直观而方便的可视化分析工具,图 5 所示为数字矿山中的基于剪切完成的紫金山金铜矿中地质体的虚拟平硐分析.

以上三维可视化关键技术的研究实现了矿山动态交互式地上地下一体化三维建模,部分解决了不良结构化三维地质体建模问题,实现了矿山地质体和采矿工程的三维表达可视化、过程可视化、分析可视化、设计可视化和决策可视化.

2.2 快速市场响应机制下的动态资源储量估算技术

矿产资源储量估算是矿山矿产勘探各阶段极其重要的工作之一,资源储量估算的结果是安排矿产勘查计划、矿山开发、生产计划和管理的基础和依据. 其工作过程不仅仅限于矿石的资源储量估算,而

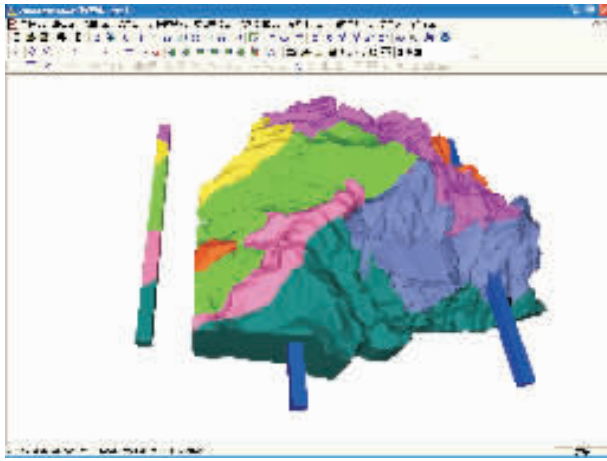


图 5 数字矿山中虚拟平硐分析(紫金山金铜矿)

Fig. 5 Virtual drift analysis in digital mine

且还涉及到矿石质量、矿体形态、规模、复杂程度、工程程度、开采条件及经济价值等问题(赵鹏大等, 2001). 因此, 资源储量估算一直被列为地质勘探开发各阶段极其重要的工作中. 并且现代矿山生产也迫切需求能适应大规模生产和市场动态变化, 对矿体的矿石量和品级做出快速应变和动态化、自动化管理的资源储量估算方法及软件系统.

以往计划经济体制下, 储量估算的一些主要工业指标由国家以规范的形式下达, 目前市场经济主导下的企业, 在储量估算过程中, 希望根据市场矿产品的价格, 灵活调整工业指标, 达到企业盈利的目标. 所以要求储量估算软件能够对储量估算中的工业指标进行估算, 并基于这些指标快速完成储量估算, 对资源储量进行动态评估, 保证企业对市场做出快速响应. 要实现这一目标, 传统方法面临如下的难题: (1) 多因素制约下经济评价困难、经济的边界品位确定困难; (2) 传统方法资源储量估算周期长, 难于实现快速估算; (3) 在新的储量估算成果上, 配套的开采方案的设计周期长.

在数字矿山软件研发过程中, 我们针对这些问题综合考虑, 采用了快速市场响应机制下的动态资源储量估算技术, 有效地解决了该问题(图 6).

基于利润最大化原理的经济评价模型, 开发了动态的工业指标评价功能模块, 可以根据当前的市场金属价格, 分别计算 3 种不同类型的可选圈矿品位(最低经济品位、最低边际品位、边界品位). 软件可以根据边界品位与矿产品位价格、回收率、贫化率及各项成本等参数的关系, 动态确定最佳的边界品位. 计算中可定制矿山企业生产成本及相关过程参

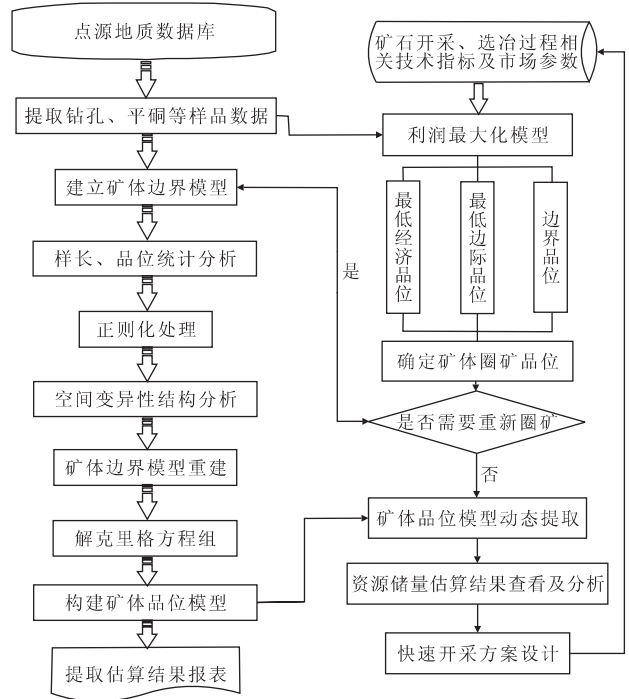


图 6 动态资源储量估算支持下的快速市场响应技术框架图
Fig. 6 Work flow of changing market response based on the dynamic reserve estimation technology

数, 各经济评价参数之间相互影响关系采用动态的图形显示, 以便直观对比(图 7a, 7b).

在软件中开发实现的动态储量估算的功能包括地质统计学法、传统的垂直断面法和地质块段法, 特别是在地质统计学方法中解决了多模型的矿体块体模型构建方法, 实现了灵活的空间变异性分析工具, 开发了多种克里格估值方法. 保证在新的工业指标体系下, 借助软件可以快速完成储量估算, 并可在真三维的环境中对不同的圈矿品位、矿体的结构及成份进行实时三维可视化表达. 如图 8 所示为紫金山金矿边界品位 0.40 g/t 下的矿体三维块体模型. 开发中还很好地解决了采空区资源储量的实时估算, 为资源储量动态监测提供了工具.

最后, 在软件中开发了方便快捷的开采模型设计模块及工具. 在相同的软件环境中, 无需转换, 直接基于储量估算结果即可进行新一轮的矿山开采设计和快速编制开采方案.

2.3 支持矿山信息化全程计算机辅助的系统集成化技术

对于矿山, 由于问题域的复杂性导致信息化中往往是在勘探、开采设计、矿山生产等环节采用多个不同的软、硬系统, 多种技术综合应用, 如何整体实

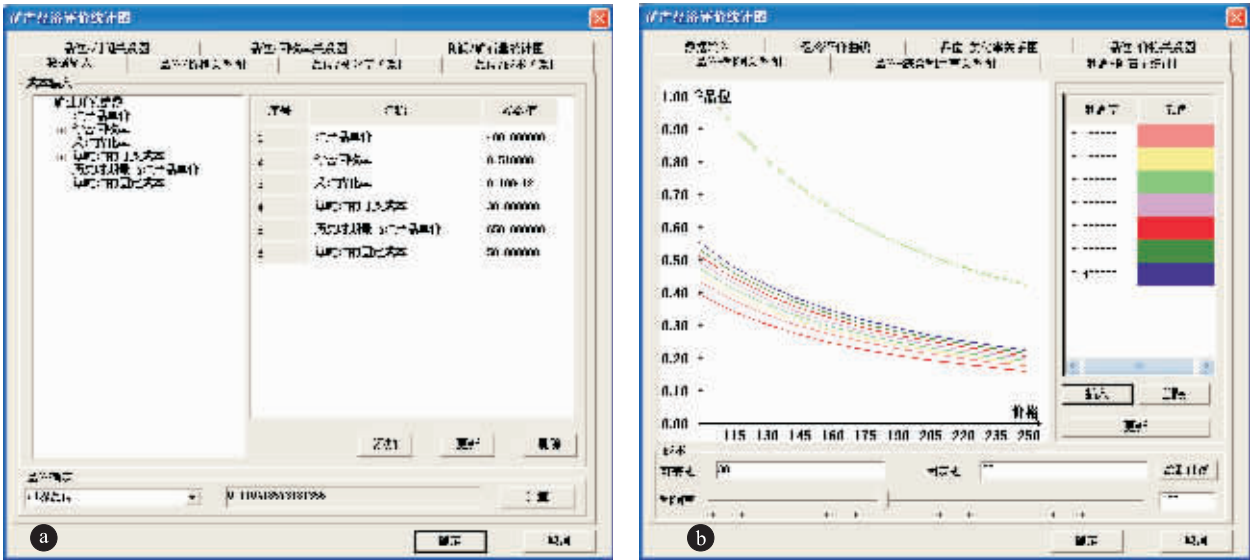


图 7 根据市场价格及成本动态计算边界品位(a)和品位与利润间关系图示例(b)

Fig. 7 Cut-off calculating according to the metal price and mine cost (a) and visualizing the relation between grade and profit (b)

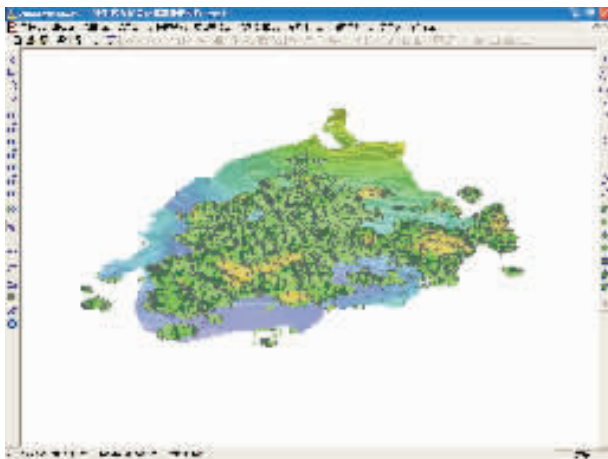


图 8 边界品位为 0.40 g/t 时的矿体品位模型

Fig. 8 Ore body block model under cut-off 0.40 g/t

现信息化是一个难题.进行“多 S”的集成,使各部分有机结合、相互衔接,数据在系统中流转顺畅、充分共享.这既是矿山工作信息化的基本内容之一,也是矿山工作信息化的基本标志之一(吴冲龙等,2005).

本系统研发中,充分应用以“多 S”集成技术为核心的系统集成技术(吴冲龙等,2005),分别采用数据集成、技术集成、网络集成和应用集成的方式,将 7 个子系统及硬件平台、网络通信平台、数据库平台、工具平台、应用软件平台及各类资源有机、高效地集成到一起,形成一个完整的矿山信息工作平台.其中基于同一数据库平台,有效解决了数据的无缝集成问题.基于同一平台开发其中的 6 个子系统,避

免了多平台的问题,然后从技术上成功地实现了数据库、空间分析、计算机辅助设计、三维可视化、人工智能、虚拟现实、决策支持、网络等“多 S”结合与集成化,建立了矿山信息化的技术体系框架.

通过系统集成,不仅能实现单个矿山的勘查、储量估算、开采设计、矿山开采、日常生产管理、选矿冶炼的全程计算机辅助化,而且能实现企业多个矿山连为一体、集成管理、协同工作,为矿山信息化提供了实用方案.

3 数字矿山系统(QuantyMine)功能实现和应用效果

QuantyMine 软件系统实现了较完整的支持数字矿山建设的功能,这些功能简述如下:

(1)矿区点源数据库功能.以主题式点源数据库为核心(吴冲龙,1998),软件支持建立统一的矿山公共数据平台,可实现矿区地上地下多源、多维、多尺度、多主题空间与属性数据的一体化管理.内容涵盖地、物、化、遥、矿产、成果等全部地质数据,包括矿山勘探、设计、开采过程中获取到的原始以及中间成果属性数据、矢量图形数据和栅格图像数据的采集、录入和管理.数据管理采用了对象—关系型数据库技术,实现对地上、地下矢量数据、栅格数据和属性数据的统一存储、管理和查询、检索,可实现数字矿山海量数据的快速调度与应用.

(2) 实现了大量矿山图件计算机自动或辅助编绘功能。软件实现了专业的常用矿山图件的自动及辅助编绘。与面向矿山勘探、生产中的数据采集部分紧密集成,从主题式点源数据库提取有关数据,实现各类专题图(如钻孔柱状图、地质剖面图、巷道素描图、矿体投影图等储量估算图)的计算机自动或辅助编绘。

(3) 实现了矿山地表与地下一体化三维可视化建模功能和三维空间分析功能。在解决了前述的三维建模关键技术基础上,QuantyMine 软件实现了建立矿体、矿床和复杂地质结构的三维空间模型的功能,实现了完整的真三维可视化矿山系统环境;提供实时展示数字矿山的三维可视化平台,实现了各种通用的三维环境显示功能以及某些特色的显示效果功能,如:多种视图显示、投影显示、缩放显示(放大、缩小、开窗显示、坐标轴缩放、比例缩放)、全屏显示、旋转视图、平移视图、锁定/解锁坐标轴显示、类别显示、条件显示、光源材质渲染控制、分层设色、飞行漫游等。系统还提供了矿山地上和地下一体化的多种矿山模型的地质建模功能;具备匹配遥感影像、分层设色、纹理贴图等三维显示效果手段以及根据用户指定的路线进行数字矿山的各种飞行漫游功能,如:地表景观漫游、露采模型漫游、矿山整体景观漫游、地下景观漫游、巷道漫游等。支持各种复杂而专业的矿山空间查询、量算以及空间分析功能,如矿山模型的取岩芯分析、断面分析、巷道分析、(巷道开采时)开挖分析、虚拟钻孔平硐分析、露采并采模型分析、带断层的岩性分析、剪切分析等空间分析功能。

(4) 开发了功能完善的储量估算子系统,符合国内规范又与国际接轨。系统中重点实现了国内外流行的地质统计学三维储量估算法,同时还实现了国内业界认可的垂直断面法(平行剖面法)和地质块段法两种传统的储量估算法,以及普通克里格法、泛克里格法、对数正态克里格法、指示克里格法等,可满足不同矿山和不同矿种的储量估算要求。系统实现了切合中国实际情况的储量分级分类方案,即按勘探工程密度的方式对储量分级,还实现了国际通用地质统计学方法的分级。并且系统提供了符合规范的储量估算结果表达方式,其中包括储量估算结果报表、原始计算数据报表、变差函数拟合图、结构套合图、品位—吨位图、任意位置的品位剖面图、任意标高的品位中段图等。传统储量估算模块对传统储量估算方法实现了全程的计算机辅助化,可实现储

量估算和编图的一体化作业,实现剖面图底图自动绘制、岩性花纹自动填充、样品自动组合与标注、矿体边界交互圈定、面积及组合样平均品位自动计算、储量自动汇总输出等功能。储量估算相关图件及报表交互编制输出功能,系统提供储量估算的成果报表以及勘探线地质剖面图、矿体垂直纵投影图的快速编制与输出功能。对不同时段的数据有很好的兼容和继承性,前一轮储量估算建立的资料可以持续供后续计算使用,只需添加新获取的数据后,可很快更新相关中间成果数据,避免重复工作,节约了储量估算成本和计算时间。储量估算子系统还能在三维可视化环境中进行有市场行情的动态分析、最低可采品位的动态决策、矿体形态及其空间分布的动态显示,以及矿石量、金属量、平均品位等的动态计算,从而可以快速应对国际市场的变化,支持矿产资源实时管理,也可以有效支持动态储量监测。

(5) 实现了矿山开采方案辅助编制功能,提供了贴合矿山生产实际的日常开采方案设计及生产计划制定功能。QuantyMine 立足于矿山企业开采生产需要,提供各种符合生产实际的开采方案设计和方案计划制定的工具,包括露采模型设计、井采模型设计、露采平台设计、排土场/堆场设计、最短运输路线设计、最佳开采模型设计等的方案设计制定。它可依据矿石价格的市场变化和开采成本确定当前可采品位值,进行对应的矿体圈定,在三维模型显示新的可开采矿体,快速形成新的矿山、矿体模型,进而在三维分析模型上由生产制定管理人员圈出本月或本年计划开采部分,由系统生成采剥推进图,计算各平台、各品位段的采剥计划量,辅助生成采剥作业计划等一系列的开采方案制定。

(6) 实现数字矿山网络信息服务功能,提供可远程访问的三维可视化矿山。为了适应当前 Internet 迅速普及的形势,满足矿业集团公司专业人员、各级领导和广大公众通过 Internet 获取或查询矿山信息的需要,采用“胖客户端,瘦服务器”的 B/S 结构和 C/S 结构的混合模式,实现了方便快捷的矿山信息网络发布功能。对于决策层的领导,还提供浏览器/服务器模式查询的勘探资料、矿山开发现状、矿山中长期开采设计、三维矿山模型等成果的查询和分析功能,支持移动办公和远程管理。

(7) 实现了冶炼厂生产管理功能。采用 B/S 网络模式,访问共享的矿山点源数据库,获取矿山开采及生产信息,补充建立冶炼厂生产数据库,并提供专用于冶炼厂生产过程的管理功能实现对冶炼厂生产

的原料、废料、半成品、成品的物流控制、质量管理、计划编制、决策分析等,将数字矿山延伸到矿产品生产及销售环节。

该软件开发完成后,分别在紫金集团的多个主要矿山得到了实际应用,取得了良好效果。系统的应用过程如下:首先进入矿区综合信息管理子系统,建立全局矿山地质数据库,存储和管理各项基础数据;接着进入矿山地质图件编绘子系统,完成二维矿山地质图件的计算机辅助编绘;在编图的基础上即可以使用垂直剖面法和地质块段法两种传统方法进行资源储量的估算;然后进入矿山三维可视化子系统,基于前面两个子系统的成果数据,完成三维数字矿山的构建,建立包括矿山三维地层格架、三维构造模型、三维矿体模型、三维勘探工程模型、三维地上建筑物模型等,实现矿山三维可视化;再进入三维可视化储量估算子系统,完成矿山的资源量估算及经济评价,建立起三维动态矿体模型;基于这些数据和模型,即可进入矿山开采方案辅助编制子系统,完成矿山开采设计和生产计划的编制工作;再把冶炼厂生产管理子系统直接与矿山系统连接,跟踪矿石的流向并实现对矿产品冶炼过程的信息化管理。上述处理成果最后进入矿山内部的信息网络应用子系统,形成一个关于矿山的完整数字平台和信息框架,在全矿山范围指导生产,网络范围内提供信息服务。

4 结论

“数字矿山”建设能使矿山勘探、规划、设计的效率提高、表现手法丰富、信息量增多,可以提高矿山建设、安全监控和企业管理的实时性和有效性,促进可持续发展。利用数字矿山软件系统对矿山生产主流程进行充分改造,可实现从野外数据采集到室内综合整理和编图,再从成果保存、管理、使用,到资源评价、预测、设计、开采、管理的全程计算机辅助化。QuantyMine 数字矿山软件系统采用地矿点源信息理论、研究解决了数项关键技术,实现了完整的地质图件编绘功能、真正的三维可视化环境、科学的储量估算方法、为矿业生产信息化量身打造的系统功能,适合我国矿山的日常生产管理、开采进度计划、开采方案制定等工作,是矿山企业数字化、信息化进程中可靠的综合性技术系统。系统的应用有利于推进我国矿山数字化进程,支持矿山企业信息化工作,服务于政府部门和矿山企业的决策。

References

- Bi, S. W., Yin, Z. R., He, X. Q., et al., 2004. Conception, frame, connotation and demonstrating applications of digital mine. *Science & Technology Review*, 6: 39—41, 63 (in Chinese).
- Cai, W. L., Gao, X., Ren, J. G., 2001. Computerized mine modeling and planning at Jiangxi Copper Company Limited Mines. *Computer Applications in the Minerals Industries*, 29: 179—182.
- Chen, G. X., Wu, C. L., Zhang, X. L., et al., 2009. Study on realization of mineral resources and reserves estimation system supporting polymetal. *China Mining Magazine*, 18(4): 99—101 (in Chinese with English abstract).
- Chen, S. P., 1999. A hundred questions about digital earth. Science Press, Beijing, 179 (in Chinese).
- Duskey, M. R., 2006. Digital-control updates let old shovels give new models a run for their money. *Engineering and Mining Journal*, 207(5): 66—69.
- Fuchs, H., Kedem, Z. M., Naylor, B. F., 1980. On visible surface generation by a priori tree structures. *Computer Graphics*, 14(3): 124—133.
- Lai, Z. H., Liu, X. G., Hua, W. H., et al., 2009. Application of 3D data field visualization technology in digital mines. *Metal. Mine.*, 12: 131—134, 138 (in Chinese with English abstract).
- Li, J., 2007. Design of management information system in rare-earth mine. *Geospatial Information*, 5(1): 55—57 (in Chinese with English abstract).
- Samal, A. R., Sarangi, P., 2001. Micromine in the world of mineral exploration and mining. Indian Conference on Computer Applications in Mineral Industry, 123—134.
- Scoble, M., 1995. Canadian mining automation evolution: the digital mine en route to minewide automation. *CIM Bulletin*, 88(990): 30—37.
- Seng, D. W., Li, Z. X., Zhang, S. T., et al., 2005. Framework and key techniques for digital mine operation system. *Metal. Mine.*, 12: 47—50 (in Chinese with English abstract).
- Trenczek, S., Wasilewski, S., 2008. Innovativeness of power supply systems, computer technologies and automation involved in technological processes of coal mining. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi—Mineral Resources Management*, 24(1): 89—102.
- Wu, C. L., 1998. Development and applications of geological and mineral resources point-source information system (GMPIS). *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 23(2): 193—198 (in Chinese with English abstract).

- Wu, C. L., Liu, G., Tian, Y. P., et al., 2005. Discussion on geological information science. *Geological Science and Technology Information*, 24(3): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Wu, L. X., 2000. The digital earth, digital China and digital mine. *Mine Surveying*, 1: 6-9 (in Chinese with English abstract).
- Wu, L. X., Shi, W. Z., Gold, C., 2003a. Spatial modeling technologies for 3D GIS and 3D GMS. *Geography and Territorial Research*, 19(1): 5-11 (in Chinese with English abstract).
- Wu, L. X., Yin, Z. R., Zhong, Y. P., 2003b. Restudy on digital mine: characteristics, framework and key technologies. *Journal of China Coal Society*, 28(1): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- Xiang, Z. L., Wang, Y., Wang, R. H., et al., 2009. 3D geological modeling and visualization process of mines based on borehole data. *Geology and Exploration*, 45(1): 75-81 (in Chinese with English abstract).
- Xiong, Z. Q., 2007. Study on the technology of 3D engineering geological modeling and visualization (Dissertation). Institute of Rock & Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 16-17 (in Chinese).
- Zhao, P. D., Chi, S. D., Li, Z. D., et al., 2001. Theories and methods for mineral exploration. China University of Geosciences Press, Wuhan, 245 (in Chinese).
- ### 附中文参考文献
- 毕思文, 殷作如, 何晓群, 等, 2004. 数字矿山的概念、框架、内涵及应用示范. *科技导报*, 6: 39-41, 63.
- 陈国旭, 吴冲龙, 张夏林, 等, 2009. 支持多金属的矿产资源储量估算方法研究. *中国矿业*, 18(4): 99-101.
- 陈述彭, 1999. 数字地球百问. 北京: 科学出版社, 179.
- 赖朝辉, 刘修国, 花卫华, 等, 2009. 三维数据场可视化技术在数字矿山中的应用. *金属矿山*, 12: 131-134, 138.
- 李婧, 2007. 稀土矿山管理信息系统设计与研究. *地理空间信息*, 5(1): 55-57.
- 僧德文, 李仲学, 张顺堂, 等, 2005. 数字矿山系统框架与关键技术研究. *金属矿山*, 12: 47-50.
- 吴冲龙, 刘刚, 田宜平, 等, 2005. 论地质信息科学. *地质科技情报*, 24(3): 1-8.
- 吴冲龙, 1998. 地质矿产点源信息系统的开发与应用. *地球科学——中国地质大学学报*, 23(2): 193-198.
- 吴立新, 史文中, Gold, C., 2003a. 3D GIS 与 3D GMS 中的空间构模技术. *地理与地理信息科学*, 19(1): 5-11.
- 吴立新, 殷作如, 钟亚平, 2003b. 再论数字矿山: 特征、框架与关键技术. *煤炭学报*, 28(1): 1-7.
- 吴立新, 2000. 数字地球、数字中国与数字矿区. *矿山测量*, 1: 6-9.
- 向中林, 王妍, 王润怀, 等, 2009. 基于钻孔数据的矿山三维地质建模及可视化过程研究. *地质与勘探*, 45(1): 75-81.
- 熊祖强, 2007. 工程地质三维建模及可视化技术研究(学位论文). 武汉: 中国科学院岩土力学研究所, 16-17.
- 赵鹏大, 池顺都, 李志德, 等, 2001. 矿产勘查理论与方法. 武汉: 中国地质大学出版社, 245.