技术·方法

大比例尺三维矿产预测

丁建华,肖克炎,娄德波,李　楠
(中国地质科学院矿产资源研究所,北京　100037)

[摘　要]将三维可视化技术应用于大比例尺矿产资源评价是地学领域一项热点研究课题。通过建立各种模型,使地质工作者能够全视角地认知工作区的地形、地层、构造和岩体等地质体间相互关系,能够将各种地质体、地球化学异常、地球物理异常、蚀变带、反演出的地质体以及它们之间的相互关系形象直观地反映出来。通过对空间体单元进行赋值,利用地质统计技术对这些空间数据进行计算,可以较科学地实现定位预测及定量预测的目的。该三维预测方法的应用,为大比例尺矿产预测,尤其是矿区深部及外围预测,提供了一种新的工作思路和手段, 具有较高的推广与应用价值。

[关键词]矿产预测评价　三维预测　大比例尺
[中图分类号]P624　[文献标识码]A　[文章编号]0495-5331(2009)06-0729-06

Ding Jian-hua, Xiao Ke-yan, Lou De-bo, Li Nan. Large scale mineral assessment in three dimensions[J]. Geology and Exploration, 2009, 45(6): 729-734.

1　引言

大比例尺矿产预测一般是指比例尺大于 1/5 万的工作尺度的预测,预测的目的一般是在矿田中预测未知矿床、在矿床中预测未知矿体[1]。我国现行的矿产资源预测方法基本上是上世纪八十年代以来形成的,主要特点是应用二维信息(包括地质、矿产、物探、化探、遥感等),通过基础研究与数学地质相结合的方法圈定远景区和估算资源量。近年来,随着地理信息系统(GIS)的发展和应用,矿产资源评价的方法和手段也进入到一个全新的时期,表现为成矿理论与高新勘查技术的有机结合,对各种地质信息的应用也从信息的采集、存储、检索、平面分析发展到三维可视化、空间分析及动态模拟[2,3]。

目前常用的大比例尺矿产预测的方法主要有(1)矿床模型相似类比,通过查明各种地质找矿信息和建立成矿模式,进行模型对比预测;(2) 成矿信息相似类比,对于工作程度低的地区,如果模型难以建立,将参考相似地区相似类型矿床的间接找矿标志进行综合信息预测;(3) 上述两种方法的结合。

无论用哪种方法,预测的本质都是对矿床形成的可能的物质来源、有利的物质迁移条件及有利的矿体赋存空间进行评价。

2　三维与二维矿产资源评价对比

三维 GIS 是二维 GIS 的发展,不仅是空间实体的坐标多了一维,操作对象除了二维 GIS 中常见到的点、线、面外,还多了体、空间曲线、空间曲面等概念。如三维地质图中,不仅有平面的信息,还有三维地表信息、三维地质体(包括三维矿体)信息等,这将使三维 GIS 描述的现象比二维 GIS 复杂得多,用于矿产资源评价中,提供的信息也相应的比二维 GIS 要多很多。

三维矿产资源评价与二维矿产资源评价方法的相同之处表现为:

1. 目的相同,都是为了圈出并缩小找矿靶区,预测矿床(体),特别是对隐伏矿和深部矿的位置、埋深、矿化范围进行有效的预测,并估算出未发现的资源量[4],为进一步的找矿勘探工作部署提供依据。

2. 理论依据相同,均以相似-类比理论、求异理

[收稿日期]2009-07-18;[修订日期]2009-11-10;[责任编辑]孙　赫。
[基金项目]本文得到国家科技支撑项目(编号:2006BAB01A01)和公益性科研院所基金项目的资助。
[第一作者简介]丁建华(1969 年—),女,2007 年毕业于中国地质科学院矿产资源研究所,获博士学位,副研究员,矿产普查与勘探专业,现主要从事矿产资源评价工作。

论和组合控矿理论[5]为基础,或在此基础上的变身。

3. 数据源相同,大比例尺预测因为要更多的深部信息,所用的数据除了基本的地表地质信息,还包括钻探、井探等工程信息,物探信息主要为大比例尺电法和地磁信息,化探信息主要以原生晕和次生晕为主。

三维预测又有着二维预测所不能及的优势所在,表现为:

1. 操作对象更复杂。二维预测主要是在平面的基础上对各种数据进行点、线、面的叠加、对比、分析,三维预测则可以根据已知数据进行三维立体填图,操作的对象是点、线、面、体。

2. 三维预测的数据结构更复杂。三维 GIS 的数据结构除了二维中常用到的二维栅格结构、矢量数据结构之外,还有用于表示体的三维栅格结构、八叉树结构和不规则四面体结构等。数据的处理,相比二维增加了三维图形显示、三维拓扑建立与维护等功能,数据的计算相应的会复杂得多。

3. 三维预测对数据的处理结果更直观,可获得的信息也更多。不仅可以真实地再现地表影像,还可以模拟地表以下的三维地质体,同时也可以将遥感影像、地球物理、地球化学等多学科数据与地表、地下三维地质体叠加、融合[6-10],信息再现更加直观,同时各构造面及各地质体间复杂的组织结构、相互之间的制约关系、物化探异常及蚀变在三维方向上的分布特征及变化趋势、流体在三维方向上的运移方向及沉淀方式等信息,会被真实地展现在用户面前。

3 三维矿产资源评价

三维矿产资源评价主要是通过研究地质体在地表以下可能的分布及规律,推断地质体可能的赋存部位,从而达到定位预测和定量预测的目的。其工作流程如图 1。

3.1 资料收集及建库

资源评价的过程中,查明立体结构中成矿地质条件和控矿因素是最关键的一步,地质、矿产、物探、化探、遥感等二维信息向三维参数转换的支撑是成矿地质体,只有把成矿地质体的控矿条件搞清楚了,才能正确地认识各控矿要素在物探、化探、遥感等方面的反映,从而建立起正确的三维综合预测模型,才能更好地指导找矿预测,因此资料水平非常重要。

区域地质背景资料主要包括区域地质、地球物理、地球化学、遥感、矿产、科研等各方面的报告、数据、图件等,典型矿床资料包括矿床普查、勘探过程中形成的各种钻探资料、大比例尺地球物理测量、地球化学分析数据、岩矿分析数据等,要根据不同软件的格式要求分类、建库。

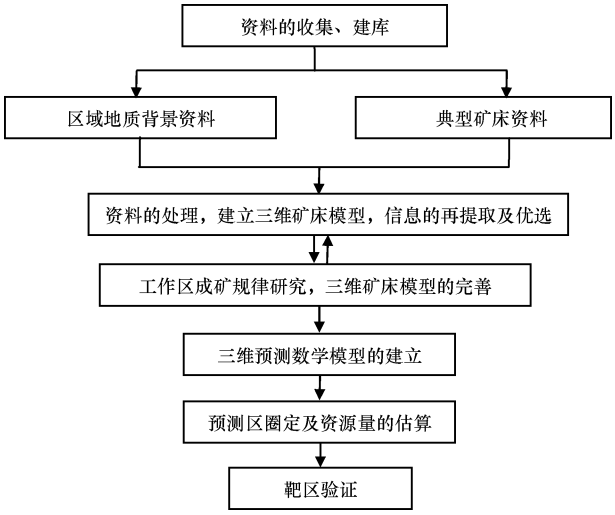


图 1 三维矿产资源评价流程

Fig. 1 The flow chart of mineral assessment in 3 dimension

3.2 三维矿床模型建立

一般而言,随着预测比例尺的增大,矿床的个性越显著,共性的提取越困难。且随着勘探网度的加密、勘探深度的增加,易发现的矿床(体)越来越少,预测目标将向外围及深部转移,与此同时,由于预测向外围及深部的发展,可利用的预测信息也越来越弱,新获得的数据受到的干扰越来越强,找矿难度加大。此时应该在基础地质研究方面多做工作,利用新的成矿理论和预测方法,拓展预测思路,从而求得预测新突破。基于三维 GIS 技术进行矿产资源评价[11-13],无疑为解决上述难题提供了一个解决问题的新思路。

三维矿床模型实际上是一个综合的模型,包含了不同的地质信息,包括:三维地表模型、三维地质体(钻孔)模型、三维地球物理模型、三维地球化学模型、三维成矿流体分析模型等。三维矿床模型的建立,使得矿床及其各类空间相关的信息得以直观地表达与综合处理,从而全面地提高矿产预测的效益率与准确度。

三维地表模型是指从地形图上提取的或者从雷达数据中提取的地表等高线信息,并建立数字地形模型(DTM),将地质图或遥感影像投影到三维 DTM

上,使工作区的地质信息、地表影像真实地得以再现(如图 2),通过分析研究,用以确定地形地貌、地层剥离、地表覆盖等与成矿的关系。

三维地质体(钻孔)模型是指根据钻孔数据,将地表以下的地层、岩体、构造面、矿体等信息以三维实体的形式显现出来,该模型通过三维动态显示效果将复杂的地质体、构造面、矿体之间包含、制约等关系逼真地呈现给用户,再辅以各种强大的交互式空间分析工具,无疑会增加可利用信息,增强地质分析的直观性和准确性。

三维地球物理模型和三维地球化学模型,要基于地球物理和地球化学找矿方法[14,16]而建立。三维地球物理模型有两种表现形式,一种是基于已有的地表及地质体模型,通过地球物理异常与矿体的空间分析,提取找矿信息;图 3 为西藏某矿区地表磁异常三维显示(图中上层),在图上,正负异常的分布范围、规模、分带特征及与矿体(图中下层)、构造的对应关系一目了然。另一种是根据重、电、磁、地震等的测量数据,利用反演技术对地下地质体进行追踪和模拟显示,从而为三维地质填图、成矿规律分析及矿体定位预测提供依据。

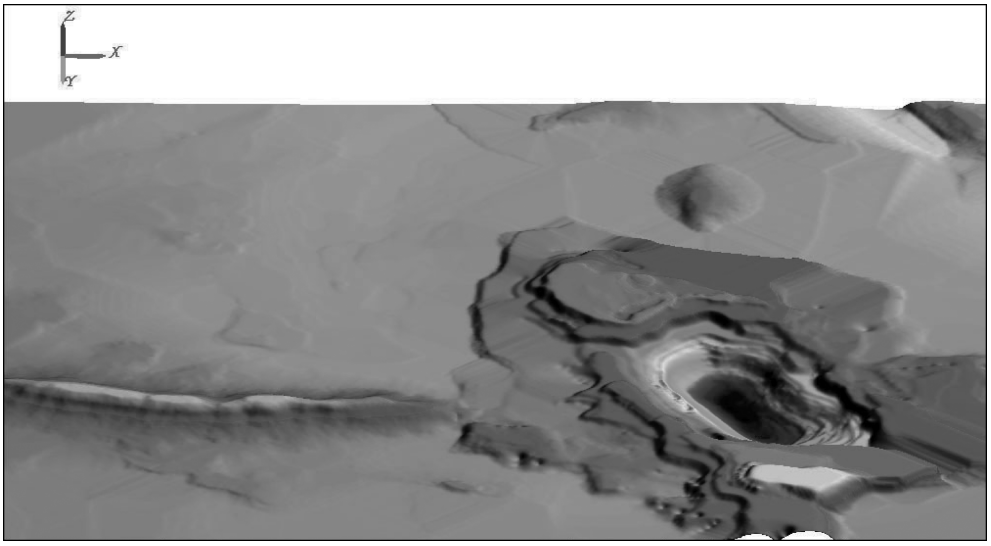


图 2　河北某露天开采铁矿区地表模型

Fig. 2　Land surface model of an open-pit iron mine, Hebei province

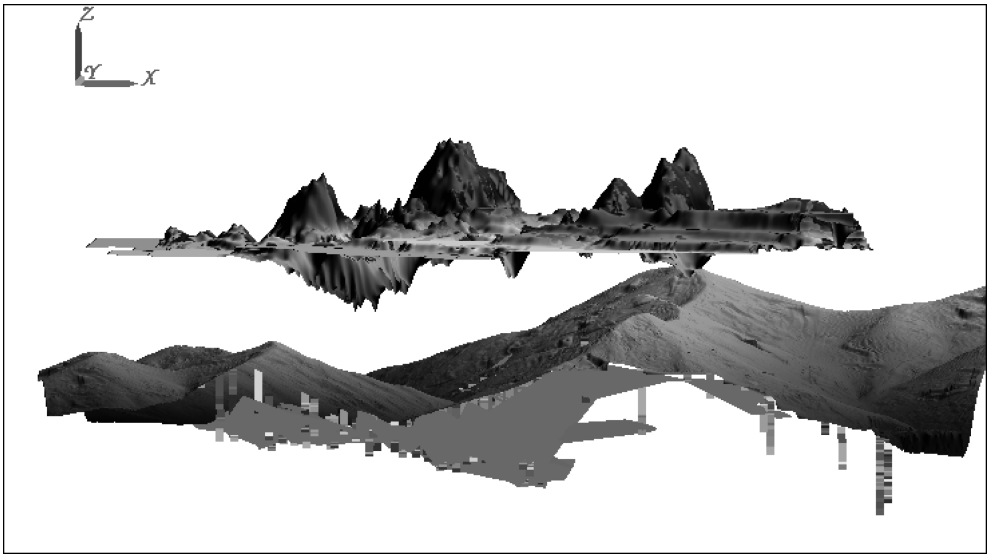


图 3　西藏某铜矿区磁异常三维图示

Fig. 3　The three-dimensional diagram of magnetic anomaly in a copper mine, Tibet province

三维地球化学模型是利用地表及钻孔的三维模型,将地表和钻孔中样品的地球化学分析数据对空间地质体进行赋值,通过空间插值等空间分析,我们不仅可以获得地球化学异常的空间展布特征、强度、规模等信息,还可以提取地球化学异常与矿体产出位置、构造等的对应关系,从而预测未知矿体的位置。

三维成矿流体分析模型,是在地表及钻孔三维模型的基础上,根据地表及地下样品中蚀变矿物的种类及含量,将蚀变矿物的分带特征表现出来,总结出找矿标志,用来指导预测工作。还可以根据流体包裹体样品分析的结果,推测成矿流体来源及运移方向,模拟成矿环境变迁,从而指示可能的找矿方向。

3.3 成矿规律的再研究

三维模型的建立,是基于前期成矿规律研究的基础上进行的,而三维模型建立过程中发现的新问题、新现象、新趋势又会促进对成矿规律的进一步研究,这个过程往往要经过多次反复,才有可能更接近客观实际,在此过程中要强调新的成矿理论指导作用,思路的转变往往会有预想不到的结果。在充分研究成矿规律的基础上圈定的预测区,有着较扎实的地质依据,预测结果才会更可靠。为此,预测过程中往往还会针对新发现的问题再补做一些工作,获得新的数据,添加到已建成的数据库中,解决新问题的同时,参与各种空间计算。

3.4 建立三维预测模型

三维预测模型包括定位模型及定量模型两个部分。

三维定位预测模型是在上一步成矿规律再研究的基础上再综合形成的一个综合性的模型,用于指导深部以及外围预测。要素包括:含矿(赋矿)地层、岩体的影响范围、构造有利部位(包括地球化学、地球物理推断的断裂信息)、物探反演成矿地质体的三维展布范围、地球化学异常三维分布范围、围岩蚀变指示的可能的成矿范围等等。可以将二维预测中划分预测单元的概念拓展到划分三维预测体单元,通过对空间体单元进行赋值,完成预测变量赋值,此时再通过选择特征分析法、证据权法、数量化理论等方法进行成矿有利度计算,从而实现定位预测的功能。

定量预测模型是用来资源量估算数学模型,目前常用的数学模型有克里格法(图 4)、距离幂反比法。其中克里格法要求有足够的已知样品数量,当已知样品数较少,统计规律不明显时,距离幂反比法估算资源量的效果较好。

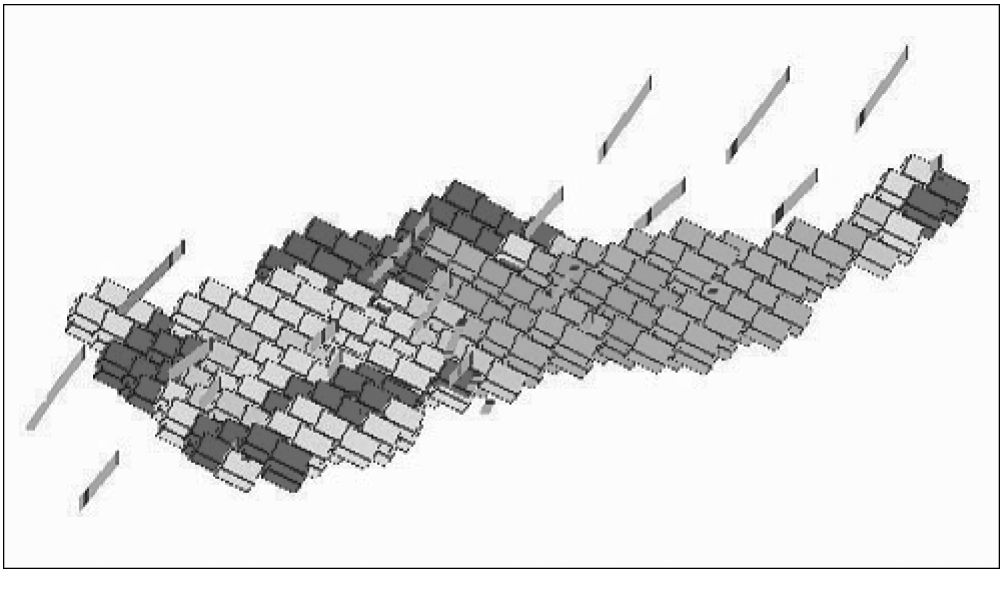


图 4 克里格法进行储量估算时的矿块划分图

Fig. 4 Chart of divided lumps of ore, for evaluating reserves by kriging

4 结论

通过对矿区的三维地学建模,使地质工作者全方位、全视角地认知矿区的地形、地层、构造和岩体等地质体间相互关系,方法还能够形象直观地反映出各种地质体、地球化学异常、地球物理异常、反演

地质体及蚀变带之间的相互关系。另外,通过对空间体单元进行赋值,利用地质统计技术对这些空间数据进行科学的计算,如果将成矿时代也考虑进来,将实现四维预测[17]。如此,可以更好地避免矿体的遗漏,可以更科学地实现定位、定量预测的目的。

利用三维可视化和三维建模技术进行矿产资源三维定位、定量预测,为大比例尺矿产预测,尤其矿区深部及外围预测,提供了一种新的思路和新的手段,较之传统的方法具有高效、高精度等优点,有较高的推广与应用价值。

[参考文献]

[1] 肖克炎,赵鹏大. 试论大比例尺成矿预测的基本问题及研究途径[J]. 有色金属矿产与勘查,1994,3(1):49-55.
Xiao Ke-yan, Zhao Peng-da. A preliminary discussion on basic problems and researching programming of the large scale metallogenetic progenosis[J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 1994,3(1):49-55.

[2] 肖克炎. 矿产资源 GIS 调查评价现状[J]. 资源评价理论与方法技术, 2001, (4):159-167.
Xiao Ke-yan, Present situation of mineral resources assessment by GIS[J]. Theory and Method of Resources Assessment, 2001, (4):159-167.

[3] Mao Xian-cheng, Chen Guo-guang. 3-dimentional mathematical models of xianghualing tin deposit and prognosis of blind ore bodies occurring in margins and depths[J]. Cent-south Inst. Min. Metall., 1991,22(4):351-360.

[4] 高章红,大比例尺找矿预测及 GIS 应用[J]. 安徽地质,2006,16(3):197-203.
Gao Zhang-hong. Large scale ore-prospectiong prognosis and GIS application[J]. Geology of Anhui, 2006,16(3):197-203.

[5] 赵鹏大,池顺都,陈永清. 查明地质异常:成矿预测的基础[J]. 高校地质学报,1996,2(4):361-372.
Zhao Peng-da, Chi Shun-du, Chen Yong-qing. Geological anomalies: the basement of mineralgenitic assessment[J]. Geological Journ-al of China Universities, 1996,2(4): 361-372.

[6] 陈建平, 陈勇, 曾敏. 基于数字矿床模型的新疆可可托海3号脉三维定位定量研究[J]. 地质通报,27(4):552-559.
Chen Jian-ping, Chen Yong, Zeng Min. 3D positioning and quantitative prediction of the Koktokay No. 3 pegmatite dike, Xinjiang, China, based on the digital miner al deposit model[J]. Geological Bulletin of China, 27(4):552-559.

[7] 杨晓坤,秦德先,冯美丽. 广西大厂矿田三维地球化学模型的研究及应用[J]. 金属矿山,2007,(1):58-59.
Yang Xiao-kun, Qin De-xian, Feng Mei-li. Research and application of 3-D geochemical model for Guangxi Dachang ore field[J]. Metal Mine, 2007, (1): 58-59.

[8] 李紫金. 安徽月山地区大比例尺三维立体矿床统计预测的途径和方法[J]. 地球科学-中国地质大学学报,1991,16(13):311-317.
Li Zi-jin. An approach to the large-scale and three-dimensional stereo statistical prediction of mineral deposit in Yueshan region, Anhui province[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences,1991, 16(13):311-317.

[9] 杨晓坤,秦德先,冯美丽. 基于 Surpac 的矿山三维地学模型及综合信息成矿预测研究[J]. 地质与勘探,2008,17(1):61-64.
Yang Xiao-kun, Qin De-xian, Feng Mei-li. The surpac-based 3-D geologic model for mine and metallogenic prognosis by comprehensive information[J]. Geology and Resources, 2008,17 (1):61-64.

[10] 汪德文,曾庆田,李德. 矿业软件在矿山资源评价与管理中的应用[J]. 有色金属(矿山部分),2008,60(5):6-9.
Wang De-wen, Zeng Qing-tian, LI De. App-lacatin of mining software in mineral resources evaluation and management[J]. Non-ferrous Metal (Mine), 2008,60(5):6-9.

[11] 王功文,郭远生,杜杨松. 基于 GIS 的云南普朗斑岩铜矿床三维成矿预测[J]. 矿床地质,2007,26(6):652-658.
Wang Gong-wen, Guo Yuan-sheng, Du Yang-song. Three-dimensional metallogenic prediction of Pulang porphyry copper deposit in Yunnan province by using GIS technoloty[J]. Mineral Deposits, 2007,26(6):652-658.

[12] 朱大明, 蒲荣昆 ,李伟. 基于 GIS 的三维矿体形态模拟与矿产资源评价[J]. 昆明理工大学学报(理工版),2005,30(3):1-5.
Zhu Da-ming, Pu Rong-kun, Li Wei. 3D ore deposit simulation and mineral resources assessment baesd on GIS[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology (Science and Technology),2005, 30(3):1-5.

[13] 朱大明,薄荣昆,李伟,刘妙龙,程效军,秦德先. 基于 GIS 的三维矿体形态模拟与矿产资源评价[J]. 昆明理式大学学报(理工版),2005,30(3):1-5.
Zhu Da-ming, Pu Rong-kun, Li Wei, Liu Miao-long, Chen Xiao-jun, Qin De-xian. 3D ore deposit simulation and mineral resources assessment based on GIS[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology(Science and Technoloty), 2005, 30(3):1-5.

[14] 孙文珂. 矿产预测中物探、化探的任务、作用和方法[J]. 物探与化探,1993,17(1):1-6.
Sun Wen-ke. Tusks, functions and methods of geophysical and geochemical prospecting in prognosis of ore resources[J]. Geophysical and Geochemical Exploration,1993, 17(1):1-6.

[15] 廖震文. 地物化综合找矿方法的一次成功尝试——贵州银厂坡银铅锌矿床深部矿体综合找矿预测及验证[J]. 地质与勘探,2006,42(1):59-63.
Liao Zhen-wen. A successful exploration attempt by synthetic geological-geophysical-geochami-cal method[J]. 2006,42(1):59-63.

[16] 熊靓辉,毛先成,孔德秀,郭雷. 金厂峪金矿矿床成矿模式及深部找矿方向的预测[J]. 矿业研究与开发,2006,.26(2):11-17.
Xiong Liang-hui, Mao Xian-cheng, Kong De-xiu, Guo Lei. The mineralization model and prediction of deep-deposit prospecting of Jinchangyu gold deposit[J]. Mine R & D, 2006,26(2):11-17.

[17] 王功文,陈建平. 矿床四维时空评价的新认识-以西藏玉龙斑岩铜矿床为例[J]. 现代地质,2004,18(4):537-542.
Wang Gong-wen , Chen Jian-ping. New insights of quantitative assessment to four-dimen-sional space-time of deposits—A case study of porphyry Cu deposit in the Yulong area of Tibet[J]. Geoscience, 2004,18(4):537-542.

Large Scale Mineral Assessment in Three Dimensions

DING Jian-hua, XIAO Ke-yan, LOU De-bo, LI Nan
(*Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geology Science, Beijing* 100037)

Abstract: It´s a hot research project that puts three-dimensional visualization Technology into geologic area to do large scale mineral assessment. The various established modes can give geologists a panoramic view of the relations among terrains, formations, constructions, ore rocks and other geological entities. They can also vividly and directly reflect the relationships between geologic bodies, geochemical anomalies, geophysical anomalies, inversed geologic bodies and altered geologic bodies . Through value assignment to the space body units, geologists can scientifically calculate these space data and make location prognosis and quantitative assessment. This method provide a new way and a new idea for large-scale mineral assessment and is worth popularizing and applying.

Key words: mineral resource assessment, three-dimension, large scale