

三维空间平行断面法可视化动态储量估算

王李管^{1,2,3}, 朱利晴^{1,2,3}, 彭平安^{1,2,3}, 刘艳红³

1. 中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083
2. 中南大学数字矿山研究中心, 长沙 410083
3. 长沙迪迈数码科技股份有限公司, 长沙 410083

摘要 传统储量估算方法具有操作简单、易于地质人员掌握的优点,但其储量估算工作可视化程度低、缺乏立体感、估算精度较低;而地质统计学很难适应中国矿产种类较多、类型复杂、形态呈现多样化的矿床特征。因此提出一种新的思路:以平行断面法为切入点,借助三维软件,利用真实三维地质模型取代简单抽象的二维规则几何体,实现矿体在真三维环境下的体积获取模式,科学、精准地获取矿体资源储量。经实际矿山应用对比表明:三维空间平行断面法有效地改善了储量估算模式,一定程度上提高了可视化程度,可达到快速获取高精度矿体储量的目的。

关键词 传统储量估算方法;三维软件;三维地质模型

中图分类号 TD1

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.11.009

Parallel Section Method of 3D Geological Space Visualized Dynamic Estimation

WANG Liguan^{1,2,3}, ZHU Liqing^{1,2,3}, PENG Pingan^{1,2,3}, LIU Yanhong³

1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China
2. Research Center of Digital Mine, Central South University, Changsha 410083, China
3. Changsha Digital Mine Co., Ltd., Changsha 410083, China

Abstract The traditional mineral resource estimation method has the advantages of simple operation for the geological staff. But, it is weak in the mineral resource estimation, lacking a three-dimensional sense, and with a low estimation accuracy. However, the geostatistics is difficult to adapt to the ore deposit mineral with the characteristics of different kinds of mineral species, the complex type and a variety of forms in our country. This paper puts forward a new idea: based on the method of the parallel section, the real three-dimensional model instead of the simple and abstract two-dimensional ones is dealt with by using the 3D mining software, which achieves the mode of the ore volume acquisition in the real three-dimensional environment. The results of applications to some mines show that the parallel section method of 3D geological space effectively improves the reserve estimation model, which, to some extent, enhances the visibility and achieves the purpose of the high precision of ore body reserves.

Keywords traditional mineral resource estimation; 3D software; 3D geological model

矿产资源储量指经过矿产资源勘查和可行性评价工作所获得的矿产资源蕴藏量,是矿产在地下的埋藏量。矿产资源储量估算是矿产勘查工作中的一项重要任务,可为矿产资源、矿业工业意义的正确综合评价、确定矿山生产规模和服

务年限提供重要依据。因此正确估算矿产资源储量是十分必要的。

矿体的自然形态是复杂的,且深埋地下,各种地质因素对矿体形态的影响也是多种多样的,因此矿产资源储量估算

收稿日期:2013-11-15;修回日期:2014-02-17

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2011AA060407)

作者简介:王李管,教授,研究方向为数字矿山,电子邮箱:liguan_wang@163.com

引用格式:王李管,朱利晴,彭平安,等. 三维空间平行断面法可视化动态储量估算[J]. 科技导报, 2014, 32(11): 60-65.

工作是复杂、极具挑战的。目前,矿产资源储量估算方法主要分为两大类^[1]:一类是传统的以几何计算为基础的常用方法;一类是统计学为基础的数学地质方法。在不同条件下,传统方法具有不同的估算方法:多角形法、算术平均值法、地质块段法、等直线法、断面法、三角形法,以及基于传统方法改进之后的SD法^[2]等。西方国家矿山主要采用地质统计学法。地质统计学^[3,4]在1977年由美国福祿尔采矿金属有限公司Parker博士随美中贸易全国委员会矿业代表团来华访问时传入中国,继而得到进一步发展。

地质统计学虽然可以进行局部估计和整体估计,但是自地质统计学传入中国以来,它仍然存在以下问题:

1) 相关地质工作人员对地质统计学的认识还存在不足,掌握起来比较困难,需要具有较深的计算机知识和一定的非线性数学基础。因此地质工作者带有畏难情绪,从而导致地质统计学的优越性未能得到充分发挥;

2) 中国矿山地质情况比较复杂,与国外矿山分布特点相比有许多不同:中国矿产种类较多、类型复杂、形态呈现多样化,往往多种矿产伴生或共生。造成估算模型的多样化、多金属矿产储量估算难度大等问题,从而造成计算机辅助矿产储量估算的自动化程度降低。

3) 地质统计学方法对于勘探数据的质和量以及估算人员的专业知识要求相对较高,不太适合中国矿床特征;同时中国仍然缺少一套比较完整的地质统计学矿产资源储量估算方案,使得地质统计学的进一步使用受到阻碍。

考虑地质统计学存在的这些问题,它要作为一种被普遍接受的资源储量估算方法,仍然要经历一个漫长过程。

与此不同的是,传统储量估算方法^[5]特别适合中国中小型矿、贫矿多,大型矿床偏少的国情,它具有操作简单、方法容易掌握等特点,是矿山储量估算的潮流。其原理是把形状复杂矿体转化为与该体积大致相等的简单形状,并将矿化复杂的矿体变为均匀化状态,继而用来估算其体积、储量等。

但是,传统方法过程中存在着可视化程度低、估算精度有待提高等问题。基于传统方法在中国使用范围较广、较深的基础,本文以传统方法为出发点,借助三维环境可视化技术,将简单的二维平面图拓展到三维空间,快速地建立三维几何体,从而在真三维环境下获取较准确的资源储量。并将此理论运用到矿山实际储量计算过程中,缩短矿山实际估算工作的时间,增强储量估算的生命周期。

1 传统矿产储量估算

1.1 储量估算方法分类

传统方法是把形状复杂的矿体转化为与该体积大致相等的简单形体,从而估算其体积、储量等。它主要包含地质块段法和剖面法。

地质块段法^[6]是把矿体变为一定厚度的若干个理想板状矿体,并求出每个矿段的矿体面积、平均厚度、平均品位等计

算参数,从而便可估算出矿体的矿石量和金属量。

剖面法^[7]主要原理是利用勘探线剖面把矿体分为不同的块段,除矿体两端的边缘部分外,每一块段两侧各有一个勘探线剖面控制。按地质可靠程度、矿石质量、开采技术条件等的差异,还可以将其划分为若干小块段,估算出不同类型的资源量。

只要勘查程度大致是沿直线或者水平面有系统的布置,能编出一系列剖面图时,均可采用剖面法,剖面法几乎适用于各种形状、产状的矿体。

剖面法所用的剖面图可以保持矿体剖面的构造特点与真实形态,并能借助它展现矿体不同部位的产状、形态、构造以及不同研究程度的资源量分布情况,从而保证有足够的准确性。根据剖面所处的空间状态,可以将其分为垂直剖面法和水平断面法,本文着重介绍平行断面法的三维空间可视化系统实现思路及应用。以传统方法为基础,借助三维软件实现矿体真三维环境储量动态估算具有重要的现实意义,它将实现储量动态的快速估算、发挥矿产储量估算软件的充分优势,能解决传统储量估算工作可视性不强、缺乏立体感的缺点。

1.2 平行断面法储量估算原理

1.2.1 矿块体积计算

实际生产中,由于地质形状复杂性,矿块形状各异,例如梯形、楔形、锥形等,因此软件根据两断面矿体面积变化情况,设置了不同的体积计算方法。

1) 假设相邻两截面上矿体的面积分别为 S_1 和 S_2 ,断面间距为 L 。

(1) 当 S_1 与 S_2 形状相似,其面积相对差 $(S_1 - S_2)/S_1 < 40\%$ 时,或有一对应边相等时,均可用梯形公式计算矿块的体积 $V^{[8,9]}$,即

$$V = \frac{L}{2}(S_1 + S_2) \quad (1)$$

式中, V 为块段矿体体积, m^3 ; L 为两断面之间距, m ; S_1, S_2 为各断面上矿体的面积, m^2 。

(2) 当相邻两断面上矿体的相对面积差 $(S_1 - S_2)/S_1 > 40\%$ 时,用截锥体公式^[8,9],即

$$V = \frac{L(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})}{3} \quad (2)$$

(3) 当两断面矿体形态不同,又无一边相当,应采用拟柱体(辛浦生)公式^[8,9],即

$$V = \frac{L(S_1 + 4S_m + S_2)}{6} \quad (3)$$

式中, S_m 为 $L/2$ 处内插断面的矿体面积, m^2 。 S_m 的求法可分为3类:空间拟合法、平面投影直线拟合法和平面投影曲线拟合法,如图1所示。

2) 当仅有一个断面出现时(如矿体尖灭的两端),则根据矿体的形状选用公式。

(1) 当矿体作楔形尖灭时,则用楔形体公式^[8,9]:

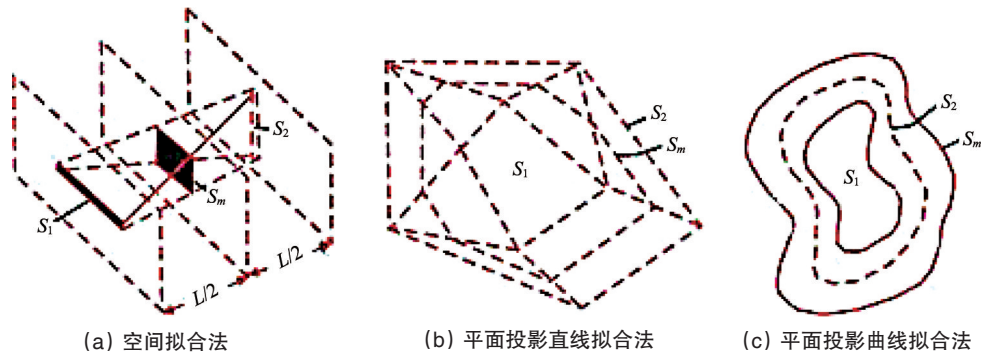


图1 断面间内插断面(S_m)的3种求法示意

Fig. 1 Three sketch map methods for the interpolation section (S_m) between sections

$$V = \frac{L \cdot S_1}{2} \quad (4)$$

(2) 当矿体作锥形尖灭时, 则用锥形体计算公式^[8,9]:

$$V = \frac{L \cdot S_1}{3} \quad (5)$$

1.2.2 矿块的矿石储量计算

矿块的矿石储量等于矿块体积乘以矿石平均体重, 即由式(6)计算。

$$Q = VD \quad (6)$$

式中, Q 为矿块的矿石储量, t ; V 为矿块的矿体体积, m^3 ; D 为矿块的矿石平均体重, t/m^3 , D 用两剖面体重之算术平均值代替。

2 三维空间平行断面法估算实现模式

2.1 方法实现

通常, 矿体资源储量由其体积、体重及品位决定。如何科学有效地获取矿的真实资源储量是围绕科学获取其体积、体重及品位进行。传统资源储量估算方法通常是把形状复杂的矿体转化为与该体积大致相等的简单形体从而估算其体积、储量等。而地质统计学是通过克里格估值估算矿体品位以及其他参数。但在取样点过多或者过少的情况下, 很难得到可靠的估计^[10]。

鉴于此, 本文提出了一种新的思路: 采用三维空间平行断面法通过简单的三维环境, 即在二维平面的基础上, 将矿体抽象为简单规则的几何体来获取矿体资源储量。这种模式借助三维可视化技术^[11,12]改进其体积获取模式, 很大程度上改善了传统储量估算的实现方式, 并且在一定程度上提高可视化分析程度。

三维空间可视化平行断面法研究的根本目的是基于传统方法提高可视化分析程度及储量估算精度。其创新思维主要体现在以下两个方面^[13]: 1) 借助三维可视化技术, 以三维图形信息的形式, 真实、直观地表现数据的成分变化、空间分布以及分布计算流程, 以实现矿山勘探数据和储量计算过程的可视化表达; 2) 运用三维空间可视化技术改进传统估算方法, 即借助真实的三维地质几何模型简单直观

获取高精度的体积, 从而获取高精度的矿石资源储量。两者相互联系, 相互依存, 其一体实现模式不仅保留传统方法的优势, 合理指导勘探工程的布置, 减少勘探风险, 还有效提高了传统估算的可视化程度, 具有较高的实际应用价值。

2.2 资源储量计算流程

三维空间平行断面法估算步骤及实现流程, 如图2所示。

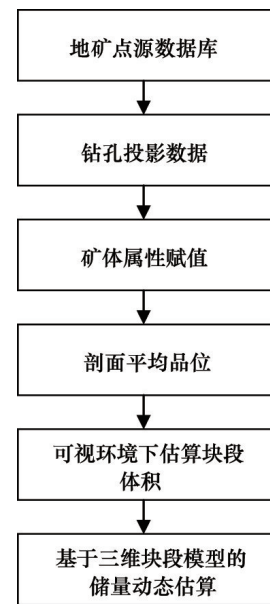


图2 三维空间平行断面法资源储量估算流程

Fig. 2 Flow chart of parallel section method of 3D geological space visualized dynamic estimation

1) 创建勘探线剖面, 并把钻孔数据库的数据投影到勘探线剖面上;

2) 在投影数据的基础上, 圈定工程样段和矿体剖面, 绘制勘探线剖面图;

3) 添加边界线计算所需字段, 计算剖面平均品位; 建立矿体块段, 并根据矿体块段对应的两相邻勘探线上矿体剖面面积, 估算矿体块段体积;

- 4) 估算相邻两剖面间矿体块段的矿石量、金属量;
- 5) 估算整个矿体的体积、矿石量及金属量,进行储量汇总。

目前国际先进的矿业软件如 Micromine、Datamine、Surpac、Quantummine 等均具有多种资源储量估算功能,三维地质软件的引入,可以更快速、详尽地获取矿床的三维空间形态,能够实现矿床地质数据库建立、矿体三维模型、储量估算的一体化^[14]。Dimine 软件在平行断面法矿产资源储量估算上提供了更便捷、快速的计算体系,在一定程度上推动了中国资源储量评价工作的发展。

3 实例分析

通过一个某钨矿山实例,介绍三维空间平行断面法矿产资源储量估算在 Dimine 软件中实现的过程。

实例矿山为湖南某铜钨矿。该区内主要有钨矿体,同时还包含少部分铜矿体,矿体倾角约 25°,矿体厚度为 6~10 m,矿体品位为 10%~15.5%。

3.1 地质数据库的创建

地质数据是矿山资源评估和采矿设计的基础,是矿山生产管理的重点。地质数据的完善性和可靠性,直接影响一个矿山生产经营和决策。地质数据库就是将不同的地质数据信息按照一定的关系有机组合在一起,共同表示钻孔完整信息的数据集合。建立地质数据库就是建立探矿工程信息数据库,主要包含的信息有:开口信息、测斜表信息和样品信息(有时还有岩性信息)。建立地质数据库时所获取地质资料的完整性、代表性和准确性直接关系到矿区模型研究效果,如图 3 所示。

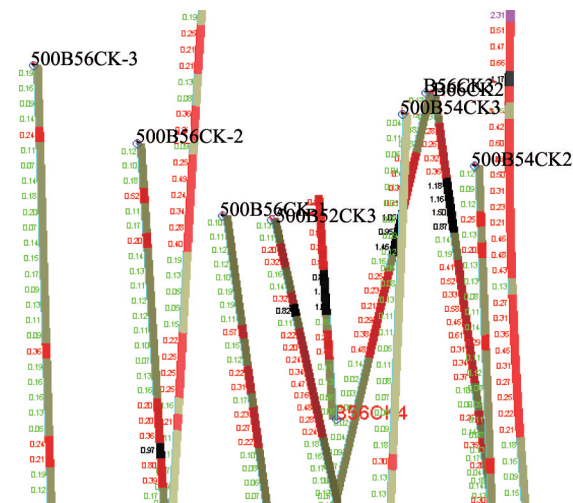


图3 钻孔数据库图

Fig. 3 Drilling data map

3.2 定义勘探线剖面并对钻孔剖面进行投影

根据勘探线所在的位置,应用 Dimine 软件提供的“勘探线剖面”命令,定义一组过勘探线的竖直剖面为工作面,

即为勘探线剖面。调入钻孔数据库,把钻孔投影到相应的剖面,为后续的钻孔投影做准备。

3.3 地质剖面—矿体解译

矿体边界线的确定是根据确定的工业指标,结合矿床(体)地质特征、勘探工程分布及见矿情况,全面考虑进行的。

3.4 矿体属性赋值

为更全面了解每个矿体的属性,需对圈定好的矿体进行添加字段,添加的字段有“勘探线号”、“矿体编号”、“两端尖灭”、“矿体倾向”、“矿体倾角”和“体重”。根据每个矿体的性质,分别为这些字段赋上属性,如图 4 所示。

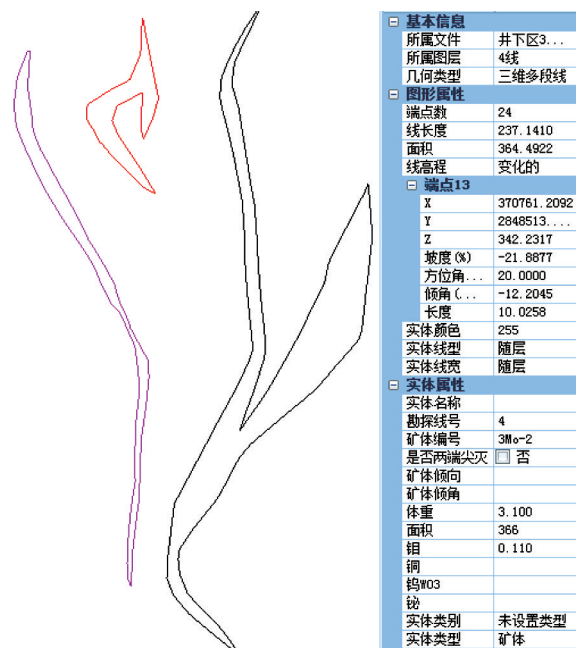


图4 矿体轮廓线添加字段图

Fig. 4 Map of adding the field on ore deposit contour line

3.5 计算剖面平均品位

根据投影后的钻孔文件,圈定好的矿体轮廓线(包括夹石边界线),Dimine 软件可以自动计算添加字段后矿体轮廓线线框的面积和平均品位,若有体重字段,则计算平均体重。打开投影后的钻孔文件,添加字段后并填入相应参数的矿体轮廓线(包括夹石轮廓线),运行该命令。

三维空间平行断面法中剖面平均品位计算是采用加权平均法。块段内的矿石平均品位为 C ,由该两剖面的平均品位再平均而得^[8,9]:

$$C = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (7)$$

式中, C_1, C_2 分别为相邻两剖面的矿石平均品位,%; Q_1, Q_2 分别为相邻两剖面的矿石质量,t。

3.6 创建块段

选择上下对应的矿体轮廓线,设置好轮廓线之间的间距和块段级别后就可以创建一个块段,如果矿体轮廓线没有与之相对应的,或者矿体轮廓线为最外围轮廓线,创建块段时还需设置尖灭方式和外推距离;若矿体包含夹石则需设置夹石的尖灭方式和外推距离^[15]。三维块段模型的表现形式如图5所示。

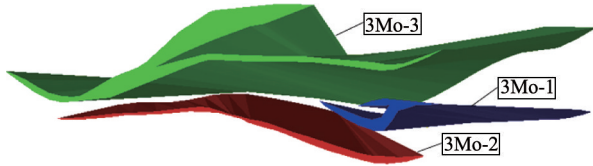


图5 矿体三维块段模型的表现形式

Fig. 5 Form of 3D block model expression

3.7 储量计算对比分析

根据块段文件和矿体轮廓线文件,Dimine软件会自动计算整个矿山的储量,考虑数据较多,此处只选取相邻两条勘探线上3号钼矿的数据做实例对比分析。传统储量估算方法与三维空间平行断面法计算结果如表1所示,从两类估算方法结果对比显示(表2):三维空间平行断面法与传统方法最大相差结果为4.75%,在矿产储量允许误差计算内,可以进行储量计算。从而证明本文提出的三维空间平

行断面法有效可行,提高了储量估算工作的精度,并且在一定程度上提高了储量估算工作的可视化分析程度。

4 结论

1) 通过 Dimine 数字矿山软件实例应用,实现了三维空间平行断面法动态储量估算,其结果表明,该方法提高了传统资源储量的科学性、估算精度以及可视化程度,为日常生产勘探工作带来了便利。

2) 提出的新思路具有较好的兼容性和继承性,更新原始数据的速度快,避免了大量的重复工作。它利用钻孔数据库和矿体勘探线剖面图,快速的建立三维矿体块段模型。矿产储量计算的自动化代替了大量复杂的手工劳动,提高了工作效率。

3) 依据三维空间平行断面法动态估算方法,实现了矿产资源勘查与开发软 Dimine 的三维空间矿产资源储量动态估算与分析功能。它不仅可以进行局部估值和品位估值,还可以对矿体整体进行估值。解决了较小块段无法进行储量估值的问题,实现两剖面间任意块段大小的储量计算,满足矿山生产、矿山设计的需要。

4) 真三维环境下的储量估算借助三维可视化技术,借助真实的三维地质实体取代传统的抽象规则几何体,真实反映矿体三维空间形态、矿石品位空间分布等信息,给数字矿山与地矿工作信息化注入了新的生机。

表1 矿体储量计算

Table 1 Ore reserve calculation table

	块段名	级别	间距/m	块段体积/m ³	矿石体重/ (t·m ⁻³)	矿石储量 /t
传统储量 估算方法	3Mo-1	2M22	100	38900.0	3.1	120590.00
	3Mo-2	2M22	100	43000.0	3.1	133300.00
	3Mo-3	2M22	100	157700.0	3.1	488870.00
三维空间 平行断面法	3Mo-1	2M22	100	37308.8	3.1	115657.28
	3Mo-2	2M22	100	40956.3	3.1	126964.53
	3Mo-3	2M22	100	155173.2	3.1	481036.92

表2 矿体储量计算对比分析

Table 2 Ore reserve calculation comparative table

块段名	块段体积/m ³		对比结果
	传统储量 估算方法	三维空间 平行断面法	
3Mo-1_4_3Mo-5_6	120590.00	115657.28	4.09%
3Mo-2_4_3Mo-4_6	133300.00	126964.53	4.75%
3Mo-3_4_3Mo-6_6	488870.00	481036.92	1.60%

参考文献 (References)

- [1] 张新宇. 地学空间三维可视化储量计算辅助分析系统关键技术的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
Zhang Xinyu. The research on the computer-aided system of mineral reserve visualized computation in three dimensional geosciences space [D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [2] 唐义, 蓝运蓉. SD储量计算方法[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
Tang Yi, Lan Yunrong. SD reserve calculation method[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1990.
- [3] 侯景润, 黄竞先. 地质统计学的理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
Hou Jingrun, Huang Jingxian. Theories and methods of geostatistics[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1990.
- [4] 侯景润, 郭光裕. 矿床统计预测与地质统计学的理论及应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992.
Hou Jingrun, Guo Guangyu. Theory and application of statistical forecasting and deposit geostatistics[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1992.
- [5] 李守义, 叶松青. 矿产勘查学[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
Li Shouyi, Ye Songqing. Mineral exploration science[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 2003.
- [6] 朱晓岚, 何新义, 陈于恒. 矿体几何学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1987.
Zhu Xiaolan, He Xinyi, Chen Yuheng. Orebody geometry[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1987.
- [7] 中华人民共和国国土资源部. GB/T 17766-1999 固体矿产资源/储量分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. GB/T 17766-1999. Classification for resources/resources of solid fuels and mineral commodities[S]. Beijing: China Standards Press, 1999.
- [8] 侯德义, 刘鹏鄂, 李守义, 等. 矿产勘查学[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
Hou Deyi, Liu Penge, Li Shouyi, et al. Mineral exploration science[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1997.
- [9] 赵鹏大. 矿产资源勘查理论与方法[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2006.
Zhao Pengda. Theories and methods of mineral exploration[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2006.
- [10] Krige D G. A study of gold and uranium distribution patterns in the Klerksdorp gold field[J]. Geoprospection, 1966, 4(1): 43-53.
- [11] Wu Q, Xu H, Zou X K. An effective method for 3D geological modeling with multi-source data integration[J]. Computers & Geosciences, 2005, 31(1): 35-43.
- [12] 吴建生. 地质体三维可视化及空间数据探索[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2001.
Wu Jiasheng. Three-dimensional visualization and spatial data exploration[D]. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, 2001.
- [13] 陈国旭, 张夏林, 田宜平, 等. 三维空间传统方法资源储量可视化动态估算及应用[J]. 重庆大学学报, 2012, 35(7): 4-5.
Chen Guoxu, Zhang Xialin, Tian Yiping, et al. Traditional mineral resource visualized dynamic estimation and its application in 3D geological space[J]. Journal of Chongqing University, 2012, 35(7): 4-5.
- [14] 张明明, 李晓辉, 周涛发, 等. 基于三维矿化域模型泥河铁矿床的动态储量估算[J]. 地质论评, 2013, 59(1): 122-127.
Zhang Mingming, Li Xiaohui, Zhou Taofa, et al. Reserves dynamic estimation of the Nihe deposit based on three-dimensional mineralized domain model[J]. Geological Review, 2013, 59(1): 122-127.
- [15] 黄应才, 冯兴隆. 平行断面法矿产资源储量估算的计算机实现与应用[J]. 中国铝业, 2012, 36(1): 3-4.
Huang Yingcai, Feng Xinglong. Computer implementation and application of mineral reserves estimation by parallel section method [J]. China Molybdenum Industry, 2012, 36(1): 3-4.

(责任编辑 吴晓丽)

·学术动态·



中国科学技术协会

中国科协积极围绕公众关注社会问题背后的科学问题释疑解惑

2013年,中国科协举办“科学家与媒体面对面”活动15期,邀请专家、学者,为新闻媒体记者科学解读转基因技术、雾霾、洪涝、食品安全、核能、航空、气象灾害、园博会等社会热点问题,促进科普报道和宣传。

大力开展转基因科普宣传,与农业部协定形成“走近转基因”重点科普传播活动方案,举办以转基因技术为主题的科学家与媒体面对面活动、在线访谈、专家座谈,在中国数字科技馆网站开通转基因专栏。

继续开展食品安全科普宣传,组织开展“食品安全宣传周”中国科协主题活动日活动,支持中国食品学会开展“全国食品科普教育基地”认定,鼓励食品企业参与科普宣传。

启动合理用药科普宣传,与国家卫生和计划生育委员会、食品药品监管总局联合发文启动和部署合理用药科普宣传工作。

四川雅安地震发生后,第一时间组织中国科技新闻学会、中国地震学会、中国心理学会、中华医学会,联系有关专家,通过中央人民广播电台、百度百科、腾讯网、人民日报、中国广播网等,及时开展地震知识、医疗抢险、灾后心理干预等方面的科普宣传,在中国数字科技馆开通“四川雅安地震专题资源下载”专栏,提供应急科普服务。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35533/n38605/15353848.html>。