

基于 SD 法估算东安金矿床 5 号矿体资源储量

薛明轩^{1,2}, 孙丰月¹, 李碧乐¹, 魏连喜^{1,3}, 陈海明², 姜宝龙⁴, 田世良⁴

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061; 2. 黑龙江省有色金属地质勘查七〇七队, 黑龙江绥化 152054; 3. 黑龙江省有色金属地质勘查研究总院, 黑龙江哈尔滨 150046; 4. 黑龙江省有色金属地质勘查局, 黑龙江哈尔滨 150090)

[摘 要] 资源储量估算是矿产地质勘查工作中的一项重要任务, 是估算矿床经济价值和矿山设计的基本依据。SD 资源储量估算和审定方法(SD 法), 诞生于 20 世纪 80 年代, 它是一种以 SD 动态分维几何学为理论, 以最佳结构地质变量为基础的资源储量估算方法, 适于不同矿种及矿产勘查开采各个阶段, 它应用 SD 精度法, 成功量化矿产资源储量的地质可靠程度, 并可预测工程控制程度和施工工程数。本文通过 SD 法在东安金矿床 5 号矿体资源储量估算中的运用, 系统介绍了 SD 法原始资料和数据的准备、估算方案的确定、估算过程和结果, 并从估算结果、矿体圈定、估算参数的确定、风暴品位识别与处理、地质可靠程度和工程控制程度的确定等方面与传统地质块段法进行了对比。实践证明, SD 法立足于传统法, 适合我国矿产资源勘查和估算实情, 有一定的先进性和实用性, 用 SD 法还可提高勘查报告的质量和科技含量, 指导进一步的矿产勘查工作。

[关键词] 东安 金矿床 SD 法 资源储量估算 地质可靠程度

[中图分类号] P624.7 [文献标识码] A [文章编号] 0493-5331(2011)06-1177-8

Xue Ming-xuan, Sun Feng-yue, Li Bi-le, Wei Lian-xi, Chen Hai-ming, Jiang Bao-long, Tian Shi-liang. Estimation of mineral resource reserve based on the SD method for the No. 5 Au ore-body in the Dong'an gold deposit, Heilongjiang Province [J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47(6): 1177-1184.

SD 法是北京恩地科技发展有限公司研发的 SD 矿产资源储量估算和审定法的简称, 是我国现行的估算固体矿产资源储量的主要方法(几何图形法、地质统计学法和 SD 法)之一, 是以最佳结构地质变量为基础, 以断面构形替代空间构形为核心, 以 spline 函数及分维几何学为工具的估算方法, 立足于传统的断面法。它适用于不同矿床类型、矿体规模、产状、不同矿产勘查阶段, 还可对估算的成果作精度预测(唐义等, 2000; 邵厥年等, 2002; 李俊, 2005; 罗娟, 2009)。

东安金矿床位于黑龙江省逊克县, 由黑龙江省有色金属地质勘查七〇七队发现于 1998 年, 次年发现 5 号主矿体, 至 2002 年完成了 5 号矿体 19~44 线的勘探工作, 初步估算 5 号单个矿体资源储量已达大型以上。为适应新规范和矿业市场发展的需

要, 有效地确定金矿体的资源储量及其地质可靠程度, 提高勘探报告的质量和科技含量, 更好地为矿山开发服务。笔者多次参加北京恩地科技发展有限公司的培训, 取得了 SD 资源储量评估证, 由七〇七队购置 SD 软件, 采用“SD 法矿产资源储量计算系统 2.0 版”的升级版本 2.06 软件系统, 完成了东安金矿床 5 号矿体 19~44 线之间的金及其伴生组分银资源储量估算, 是地勘单位独立运用 SD 法估算资源储量, 并提交勘探报告的首例, 报告于 2003 年 8 月由国土资源部矿产资源储量评审中心评审通过。

1 矿床地质特征及勘查程度

1.1 矿床地质特征

东安金矿是黑龙江省近年来发现的大型金矿床, 为浅成低温热液低硫化型(薛明轩等, 2002; 郭

[收稿日期] 2010-08-30; [修订日期] 2011-03-11; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 黑龙江省矿产资源补偿费地质勘查项目(编号: SD2002-031)资助。

[第一作者] 薛明轩(1965 年—), 男, 1988 年毕业于桂林冶金地质学院, 在读博士生, 享受研究员级待遇高级工程师, 主要从事有色及贵金属矿产勘查工作。E-mail: xuexmx@163.com。

继海等,2004)。矿体严格受近 SN-NW 向断裂控制,主要赋存于中侏罗世中粗粒碱长花岗岩、细粒碱长花岗岩及晚白垩世流纹岩、流纹质角砾凝灰岩的强硅化、冰长石化、绿泥石化蚀变带中。其中以 5 号矿体规模最大,通过槽探、坑探、钻探工程控制,矿体总体上为大脉状,无分枝现象,仅在深部 10~12 线 CM10/185-CM12/185 穿脉及 36 线 ZK36-2 号钻孔中见夹石。5 号矿体走向 315°~0°,以 12 线为界,南段走向近 SN 向,北段走向为 NW 向,矿体产状陡,南段东倾,北段西倾,倾角 70°~90°。矿体最大延长 770m,平均水平厚 6.62m,最大垂深 358m。矿石构造以角砾状、浸染状、脉状-网脉状为主,梳状、晶簇、晶洞、条带状、叶片状次之。矿石金属矿物以黄铁矿为主,见少量毒砂、方铅矿、黄铜矿,微量银金矿、自然银、辉银矿。脉石矿物主要为各种颜色、粒度石英,次为冰长石、高岭石、少量绢云母、绿泥石。矿石平均品位: Au 9.07×10^{-6} 、Ag 76.7×10^{-6} ①。

1.2 矿床勘查程度

5 号主矿体规模属大型、形态属简单型、厚度属稳定范畴(厚度变化系数 76%)、有用组分分布属不均匀型(金品位变化系数 381%,银品位变化系数 207%)、后期断层和脉岩的错动、穿插现象少,基本属第 I 勘探类型(阎凤增等,2003)。地表用间距 25m 槽探,浅部用段高 40m,穿脉间距 25m 的二层坑道,探求探明的资源储量;深部用 75m~100m×75m~100m 网度钻探,探求控制的资源储量①。5 号矿体共布置勘探线 25 条,参加资源储量估算的钻孔、槽探和穿脉工程 76 个,样品数 2655 个,其原始资料和数据齐全。

2 SD 法资源储量估算

本次对东安金矿床 5 号矿体 19~44 线之间长 800m、宽 160m 的范围内,5 号主矿体及其上下盘附近的 5-1-5-4 号等 5 条矿体的金及其伴生银资源储量进行估算。

东安金矿是内生贵金属矿床,5 号矿体以平行的勘探线布置槽探、钻探和穿脉工程,工作阶段已达勘探,有相当数量的工程和样品,完全适合用 SD 法进行资源储量估算。

2.1 原始数据准备

2.1.1 勘探线选取

控制 5 号主矿体及其从属矿体的勘探线共有 25 条,按照 SD 法估算原则,5 号主矿体利用了 25 条勘探线,上下盘平行小矿体 5-1、5-2、5-3、5-4 号

矿体分别利用了 8、15、13、12 条勘探线。勘探线首尾均有地理坐标。

2.1.2 估算点确定

为了最大限度地利用各种地质信息,本次资源储量估算以有效勘探工程作为估算点,以控制点和外推点作为辅助估算点,参与资源储量估算和精度估算。有效勘探工程是指所有符合质量要求,能控制矿体的有矿、无矿和矿化的工程;控制点是指矿体内部的勘探线上只有一个实际工程时,充分利用该工程的信息,并根据相邻勘探线的揭露情况和成矿规律所选取的必要的有矿、无矿或矿化点;外推点是指当工程见矿较好而两端没有无矿工程控制时,此时根据地质认识寻求一定距离的外推,外推点的品位、厚度是按照 SD 外推点边值公式根据该剖面线上品位、厚度的自然变化规律自动求取①②(唐义等,1990)。本次资源储量估算共选用估算点 220 个,辅助估算点 24 个(外推点 15 个,控制点 9 个)。

2.1.3 估算单元划分

估算单元是 SD 法资源储量估算的基本单元。本次估算根据以上所选取的勘探线及所利用的估算点和辅助估算点,共划分了 12 个 SD 估算单元,每个估算单元均有一个由四个字符组成的估算单元代码。如 5 号主矿体的估算单元代码为 DAJ5、DAY5,其中“DA”代表“东安”,“J”代表“金”,“Y”代表“银”,“5”代表 5 号矿体名称(表 1)。

表 1 5 号矿体估算单元划分表
Table 1 Subdivision of estimation units
for No. 5 Au ore-body

单元代码	估算元素	估算范围	表示意义
DAJ5	Au	19~44 线	5 号矿体金
DAY5	Ag	19~44 线	5 号矿体银

2.1.4 原始数据导入方式

本次原始数据采用 SD 软件 Excel 二次转换接口方式导入,也就是将经校验无误的原始数据,直接拷贝到 SD 固定 Excel 格式中,由 SD 程序自动接收和转换,从而消除了数据再录入的错误机率。

2.2 估算方案的确定

估算方案是由计算类型、数据类型、坐标选择和形质方案等四个因素来确定的(唐义等,2000):(1)本次估算直接采用每个工程中的原始单个样品测试数据,计算类型为标准型;(2)东安 5 号矿体属薄层陡倾矿体(主矿体平均水平厚度为 6.62m,倾角 70°~90°);槽探、坑探工程均为水平取样,钻探工程沿

钻进方向取样,所采样品的原始样长通过计算求出每个单样的水平厚度后参与资源储量估算,数据类型属 B 型;(3) 为了绘制反映实际工程位置的工程分布图、品位品级图和地质可靠程度图,估算点选择地理坐标标绘;(4) 本次估算根据勘探线及工程间距划分出的矩形框块(走向上 17.261m,为勘探线平均间距的四分之一,垂向上 20m,为坑道 225m 与 185m 段高的二分之一)进行估算,形质方案为框块方案。本次各计算单元采用的估算方案为“标准型 B 型地理坐标框块”方案^①。

2.3 估算过程及主要估算参数的取值

2.3.1 估算过程

用普通 SD 法进行估算,即以“标准型 B 型地理坐标框块”方案,严格按工业指标,用参与估算的估算点空间坐标和坐标点的取值(样品的长度、品位,样线的产状以及样品的体重),以 SD 样条函数进行空间积分而求得面资源储量、体资源储量,包括框块、矿体、矿床的矿石量、金属量、平均品位、平均厚度^②(唐义等,1990;燕宁等,2009)。

2.3.2 主要估算参数的取值

(1) 工业指标

经长春黄金设计院可行性研究,本次资源储量估算的工业指标为:边界品位 $\geq 1\times 10^{-6}$;最低工业品位 $\geq 3\times 10^{-6}$;矿床平均品位 $\geq 5\times 10^{-6}$;最小可采厚度 0.8m;夹石剔除厚度 $\geq 2.0\text{m}$; $\text{m}\cdot\text{g/t}$ 值 $\geq 2.4\times 10^{-6}$ m;伴生元素银,有多少计算多少。

(2) 品位

估算点平均品位由各样品的品位与其计算厚度加权求得;框块平均品位是以断面面平均品位沿断面垂直方向以一定的步长积分后,除以有矿部分总长度求得;计算单元的平均品位以计算单元的金属量除以计算单元的矿石量求得;矿体的平均品位以矿体的金属量除以矿体的矿石量求得;矿床的平均品位以矿床的金属量除以矿床的矿石量求得^②(唐义等,1990)。

(3) 风暴品位识别与处理

5 号主矿体及其 4 个从属矿体形态简单,连续性好且富集地段集中,故本次资源储量估算过程中对风暴品位的识别与处理,是将其各作为一个计算单元进行的。具体方法是用计算单元的平均品位与风暴品位倍数之积,作为风暴品位下限值,对单样风暴品位按下限值替代(表 2),是 SD 法自动化计算的中间过程。其中,风暴品位倍数限的计算公式为:

$$\sigma=\delta_1+\delta_2T^{①②}$$

(唐义等,1990;燕宁等,2009)。

式中: σ 是高出计算单元平均品位的倍数限; T

是矿体地质变量的复杂度; δ_1 是截距常数(2.933); δ_2 是斜率常数(17.067)。

经估算,5 号矿体金风暴品位高于平均品位倍数为 8.121368,金风暴品位下限为 89.854×10^{-6} 。

表 2 5 号矿体金风暴品位处理表

Table 2 Storm grade processing of No. 5 Au ore-body

工程号	样品序号	取样起/m	取样止/m	原始品位/ 10^{-6}	替代品位/ 10^{-6}
KD120	8	15.5	16	158.55	89.854
KD124	8	12	13	95.55	89.854
KD126	5	10.4	11.4	200.87	89.854
KD128	10	13.1	14.1	163.92	89.854
ZK283	30	155.9	156.9	1015	89.854
ZK283	31	156.9	158.4	286.8	89.854
ZK283	33	159.9	160.9	110.73	89.854

注:风暴品位高于平均品位倍数限为 8.121368 倍;风暴品位下限值为 89.854×10^{-6}

(4) 厚度

估算点矿体的厚度严格按照工业指标,逐个样品同时进行判别。根据每个样品的长度,利用工程揭穿矿体处的天顶角、方位角与矿体倾角、方位角及勘探线方位角的关系,换算出各个样品的计算厚度(水平厚度、真厚度),圈出够矿的样品。然后将工程内圈出的矿体中各个样品的计算厚度相加,即为该估算点矿体的平均计算厚度;框块矿体平均厚度由断面面平均厚度沿着勘探线间以一定的步长搜索积分后,除以有矿部分积分总长度求得;矿体或矿床的平均厚度由所有框块的平均厚度与框块的平均投影面积 ST 加权并经过关系推导求得^②(唐义等,1990)。

(5) 面积

根据各工程在断面上的相对位置以及各工程的厚度和平均品位,经过齐底拓朴变形后,利用 SD 样条函数拟合,分别得到断面上的厚度变化曲线和品位变化曲线,并以一定的步长插值,严格按边界品位、可采厚度、米克吨值同时去搜索,确定出矿域或非矿域,将矿域部分积分,即为此断面上的矿域面积^②(唐义等,1990)。

(6) 体积

将参与计算的各断面面积沿矿体走向方向积分,按一定的步长插值,用边界品位搜索、积分,得矿体的体积^②(唐义等,1990)。

(7) 小体重

本次估算的矿石体重值为 2.60t/m^3 ,由 81 个小体重样品的算术平均求得。通过 225m 中段和 185m 中段 2 个大体重样品测试结果(平均

2.595t/m³)验证,小体重计算的算术平均值和大体重测试结果一致^①。

(8) 矿石量

框块矿石量由框块体积与体重之积求得,矿体矿石量由所有框块矿石量相加求得。

(9) 金属量

框块金属量由矿石量与框块品位之积求得,矿体金属量由矿体矿石量与矿体品位之积求得。

2.4 资源储量估算结果

本次5号矿体勘探报告资源储量估算,以地质可靠程度、经济意义和可行性评价阶段作为资源储量分类的三维轴,确定各类资源储量估算结果(钱大都等,1999)。

2.4.1 地质可靠程度

地质可靠程度由“SD法矿产资源储量计算系统2.0版”的升级版本2.06软件系统,根据矿体规模、矿体复杂程度和工程控制程度等因素,在一定工程控制条件下自动计算得出的SD精度(η)定量确定($\eta=\rho\cdot\eta_0$, η_0 为原始精度, ρ 为框架指数),其中 $\eta\geq80\%$ 属“探明的”; $45\%\leq\eta<65\%$ 属“控制的”; $15\%\leq\eta<30\%$ 属“推断的”; $\eta<10\%$ 属“预测的”; $65\%\leq\eta<80\%$ 属“探明-控制待定的”; $30\%\leq\eta<45\%$ 属“控制-推断待定的”; $10\%\leq\eta<15\%$ 属“推断-预测待定的”^②(唐义等,2000;邵厥年等,2002)。对于SD精度计算值落入待定区间的地质可靠程度由专家系统按矿床勘查阶段和复杂程度进一步归属到某一确定的地质可靠程度等级内^②(唐义等2000;燕宁等,2009),具体的归属参数:① 勘查阶段:勘探;② 矿床复杂程度:由5号矿体的矿体形态、地质构造、水文地质、工程地质、环境地质条件确定为“较简单”;③ 矿床类比:将本矿床与已知同样勘查、开采的矿床进行类比确定为“较复杂”。据此,5号矿体 $\eta\geq70\%$ 者,归属为“探明的”, $30\%\leq\eta<70\%$ 者,归

属为“控制的”, $10\%\leq\eta<30\%$ 者,归属为“推断的”^①。

2.4.2 可性性评价

可行性评价是在一定的地质工作基础上进行的,按地质勘查工作阶段,5号矿体勘查工作已进入勘探阶段,由长春黄金设计院完成了可行性研究。

2.4.3 经济意义评价

根据可行性评价的结果,本次估算的资源储量均为查明的,并以金品位分为两个级别, $\geq3\times10^{-6}$ 者划为经济的, $<3\times10^{-6}$ 而 $\geq1\times10^{-6}$ 者划为次边际经济的^①(高兆奎,2005;宋士刚等,2008)。

2.4.4 资源储量估算结果

由地质可靠程度、可行性评价和经济意义,5号矿体资源储量分为探明的(可研)经济基础储量(111b)、控制的经济基础储量(122b)、探明的(可研)次边际经济基础储量(2S11)、控制的次边际经济基础储量(2S22)、推断的内蕴经济资源量(333)等五种类型。伴生组分银集中分布于金矿体中,二者具共消长关系,目前尚未发现金矿体的围岩和夹石中赋存银。因此,在圈定矿体时以主元素金进行圈定,银有多少计算多少。由于伴生银用基本分析样品数据估算资源储量,其资源储量类别与金相同。5号矿体111b+122b+333资源储量金已达大型(表3)。

3 SD法与传统法对比分析

3.1 估算结果

SD法与传统地质块段法资源储量估算结果对比,显示出二者品位和厚度差别不大,但矿石量和金属量相差较大,且均是SD法增多(表4)。地质块段法对矿体外推按一定的网度进行人为的推定,而SD法利用SD样条函数自动搜索确定的矿域面积较地质块段法大(图1),引起SD法矿石量和金属量增多。

表3 5号矿体资源储量估算结果表
Table 3 Estimation result of resource reserve of No. 5 Au ore-body

资源储量分类	代码	矿石量/t	金金属量/kg	金品位/ 10^{-6}	银金属量/kg	银品位/ 10^{-6}	水平厚度/m
探明的(可研)经济基础储量	111b	419448	5168	12.32	30669	73.1	5.79
控制的经济基础储量	122b	1841123	14972	8.13	141100	76.6	6.23
探明的(可研)次边际经济基础储量	2S11	7070	15	2.12	604	85.4	2.75
控制的次边际经济基础储量	2S22	111443	269	2.41	4687	42.1	2.01
推断的内蕴经济资源量	333	387193	3880	10.02	31401	81.1	8.33
111b+122b+333		2647764	24020	9.07	203170	76.7	6.39

表 4 SD 法与地质块段法估算结果对比

Table 4 Comparison of estimation results by the SD method and geological block method

估算方法	矿石量/t	金金属量/kg	金品位/ 10^{-6}	厚度/m	金金属量绝对误差/kg	金金属量相对误差/%
SD 法	2647764	24020	9.07	6.62	+1445	+6.02
地质块段法	2504824	22575	9.01	6.39	-1445	-6.02

3.2 资源储量估算图上矿体的圈定

SD 法在资源储量估算图上圈定的矿体(矿域),是由计算机根据各计算点在断面上的相对位置及平均品位和水平厚度,充分考虑相邻工程矿体的品位、厚度变化规律,利用 SD 样条函数拟合,并以一定步长插值后,严格遵循工业指标进行联合指标的搜索而确定,从而划定出曲线状封闭的矿域边界^①(陈国华等,2003;朱志祥等,2004;李石桥等,2009;燕宁等,2009)。传统地质块段法在垂直纵投影图圈定的矿体是严格按勘探线和工程间距进行等值外推确定的折线状(图 1),由图可见 5 号矿体的 SD 法矿域面积比地质块段大,形态更能客观地反映矿体在空间上的分布。

3.3 估算过程

3.3.1 估算参数的确定

传统法是将复杂的矿体描绘成简单的几何体,以简便的数学公式求得品位、厚度等参数,然后在投影图上量取或用 Mapgis 等软件直接获取面积数据,再用块段的厚度、体重、品位等参数获得体积、矿石量、金属量等数值。本次估算采用的 SD 法的标准型估算方案,是用单工程中的每个样品的厚度、品位、产状、体重,以及它们所处的空间位置进行空间积分而求得面储量、体储量(包括框块、矿体、矿床的矿石量、金属量、平均品位、平均厚度)。因此,SD 法有效地降低了传统法中块段划分对资源量估算结果的影响,估算过程较为科学稳健,估算结果较为稳健可靠。

3.3.2 风暴品位识别与处理

所谓风暴品位值,即相当于传统地质块段法中的特高品位,其识别与处理是资源储量估算中的关键因素之一^②(唐义等,2000)。

传统法中特高品位的“特高”是对矿床的平均品位而言,特高品位值一般取矿体平均品位的 6~8 倍来衡量。当矿体品位变化系数大时采用上限值,变化系数小时采用下限值。其处理方法是用特高品位所影响块段的平均品位或单工程平均品位(厚度较大时)代替(邓善德,2000;邵厥年等,2002)。5 号

矿体金品位变化系数大(381%),故取矿体平均品位(包括持高品位在内)值的 8 倍作为特高品位的下限值,其值为 90.42×10^{-6} ,共对 7 件样品用单工程和块段平均品位进行了处理,处理后替代品位 $26.95\times10^{-6}\sim43.86\times10^{-6}$ 。

SD 法中风暴品位识别不仅要考虑平均品位,还要考虑对邻近品位的影响,对整个矿床来说,是根据不同的计算单元对风暴品位分别进行处理。计算单元内凡样品品位值高于下限值的品位都认为是风暴品位,用该下限值代替风暴品位位于原始数据中参与估算(李石桥等,2006)。5 号主矿体及其 4 个从属矿体形态简单,连续性好且富集地段集中,故将其各作为一个计算单元对风暴品位进行识别与处理,5 号矿体金风暴品位下限为平均品位的 8.121368 倍,其值为 89.854×10^{-6} ,并以此值替代原始风暴品位(表 2)。

3.4 地质可靠程度和工程控制程度的确定

地质可靠程度反映了矿产勘查阶段工作成果的不同精度,分为探明的、控制的、推断的和预测的四种(钱大都等,1999)。主要由勘查工程的控制程度,即勘查工程的密度,也就是工程间距的稀疏(网度)来决定。工程间距是根据反映矿床地质条件复杂程度的勘查类型来确定(邵厥年等,2002)。

传统地质块段法按照工程密度将矿体分割成若干块体,并在此基础上计算体积和平均品位(孙玉建等,2006)。5 号矿体属第 I 勘查类型,以如下工程间距,并根据其控制程度来确定地质可靠程度。在垂直纵投影图上将地表 25m 间距槽探,浅部 25m 间距穿脉、40m 段高的二层坑道所控制的块段,圈定为探明的资源储量;将深部 75m~100m $\times$ 75m~100m 网度钻探所控制的块段,圈定为控制的资源储量,将地表无工程控制、钻探网度超出上述网度及控制的资源储量外推的块段,圈定为推断的资源量。

表 5 5 号矿体 SD 总精度及所利用工程数

Table 5 Total SD accuracy of No. 5 Au ore-body and its engineering amount used

估算单元代码	工程数/个	SD 精度/%
DAJ5	76	77.426

SD 法在资源储量地质可靠程度图上根据矿体规模、矿体复杂程度和工程控制程度等因素,在一定工程控制条件下自动计算得出的 SD 精度(η)定量确定地质可靠程度,5 号矿体 $\eta\geq70\%$ 者,为“探明的”, $30\%\leq\eta<70\%$ 者,为“控制的”, $10\%\leq\eta<30\%$ 者,为“推断的”。利用 SD 精度不仅可以定量确定

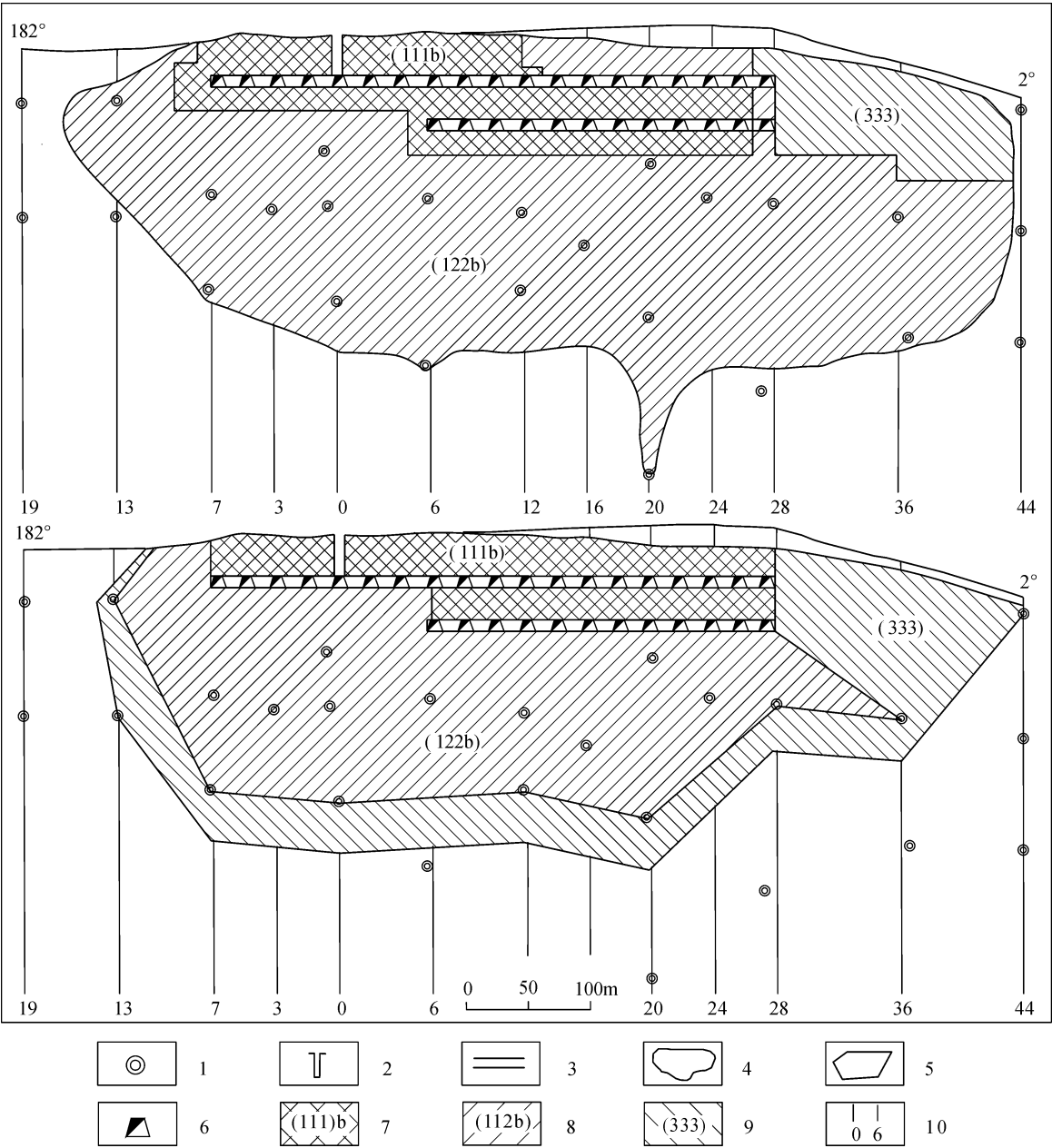


图 1 SD 法与地质块段法估算 5 号矿体资源储量对比图(上为 SD 法矿域图,下为纵投影图)

Fig.1 Comparison of mineral resource reserves of No. 5 Au ore-body by the SD and geological block method(Upper figure is ore body domain from the SD method and lower is longitudinal projection)

1—钻孔;2—竖井;3—沿脉;4—SD 法矿域界线;5—地质块段法矿域界线;6—穿脉;7—探明的资源储量范围;8—控制的资源储量范围;9—推断的资源量范围;10—勘探线

1—drill hole measuring;2—vertical shaft;3—ore drift;4—ore body boundary of SD method;5—ore body boundary of geological block method;6—transverse drift;7—measured mineral resources;8—indicated mineral resources;9—inferred mineral resources;10—exploratory line

表 6 5 号矿体地质可靠程度工程控制程度预测表

Table 6 Forecast of engineering control extent on geological assurance of No. 5 Au ore-body

估算单元代码	探明的/ $\eta \geq 80\%$		控制的/ $45\% \leq \eta < 65\%$		推断的/ $15\% \leq \eta < 30\%$		预测的/ $\eta < 10\%$	
	工程数	网度/m	工程数	网度/m	工程数	网度/m	工程数	网度/m
DAJ5	82	38.567	16	94.942	5	223.596	2	447.193

资源储量的可靠程度,同时还可以确定和预测工程控制程度,因为一定的工程数反映出矿区的工程控制程度及对矿体的认识程度(邵厥年等,2002;皮清明,2006)。东安5号主矿体经审定计算,总精度为77.426%(表5),控制该矿体的有效工程76个,处于“探明-控制待定的”工程控制程度,若要使整个计算单元达到探明的程度,应该以38.567m间距的网度施工82个有效工程(表6)。表明原勘探工作中采用的25m间距的槽探和穿脉工程网度过密,今后探求探明的资源储量应采用约为38.5m的工程间距。工程控制程度及工程数的预测可以有效地确定工程间距,指导下一步勘查开发工作。

4 结论

资源储量估算是矿产地质勘查工作中的一项重要任务,是估算矿床经济价值和矿山设计的基本依据。SD资源储量计算和审定方法(SD法),诞生于20世纪80年代。其针对矿体空间某一点的地质变量(如厚度、品位、产状、体重等)都具有规律性和随机性的双重特征,通过引出结构地质变量,用数据稳健处理方法(权尺化)将原始数据处理成有规律数据,将离散型变量转换成连续变量,以建立权尺化处理后的数据模型;它立足于传统断面法,在矿体圈定时一般不考虑是否有达到最低工业品位的样品,而笼统地只用边界品位、夹石剔除厚度和最低可采厚度在断面上圈定矿体;SD法的资源储量估算是对结构变量及结构变量曲线进行空间积分而求得面储量、体储量。该方法应用搜索递进算法和极限精度法—SD精度法,成功地将矿产资源储量的地质可靠程度定量化,并可预测地质可靠程度及工程控制程度,使其在资源储量估算领域具有一定的先进性。

致谢 东安5号矿体19-44线资源储量估算得到北京恩地科技发展有限公司SD评估师马爱玲及唐长钟等的大力帮助和指导,本文承蒙编审专家提出宝贵的修改意见,在此一并表示衷心感谢。

[注释]

- ① 黑龙江省有色金属地质勘查七〇七队. 2003. 黑龙江省逊克县东安岩金矿床5号矿体19~44线勘探报告[R].
- ② 北京恩地科技发展有限公司. 2002. 全国矿产资源储量计算MRRCP培训系列教材之五——SD法100问[R].

[References]

Chen Guo-hua, Gong Yu-fei. 2003. Advanced SD method of reserve calculation adopted by Jinqiu gold mine of Henan[J]. Geology and Exploration, 39(1): 66-69 (in Chinese with English abstract)

- Deng Shan-de. 2000. Reserve calculation of metallic and non-metallic mineral resources [A]. In: Collection of reserve calculation of mineral resources [M]. Beijing: Geological Publishing House; 364-391 (in Chinese)
- Guo Ji-hai, Wang Chang-sheng, Shi Yao-jun. 2004. Geological and geochemical features of the Dong'an gold deposit in Heilongjiang [J]. Geology and Exploration, 40(4): 39-41 (in Chinese with English abstract)
- Gao Zhao-kui. 2005. Main problems and solving methods of present national solid mineral exploration standards [J]. Geology and Exploration, 41(5): 86-89 (in Chinese with English abstract)
- Luo-Juan. 2009. The application of SD method to reserve calculation in the Tongzi coalfield [J]. Acta Geologica Sichuan, 29(4): 488-491 (in Chinese with English abstract)
- Li-jun. 2005. Evaluation situation of study and main method of estimation method for solid mineral resources reserves [J]. China Non-metallic Mining Industry Herald, 46(2): 53-55 (in Chinese)
- Li Shi-qiao Guo Jun-hua, Xu Li-wen. 2006. Application of SD reserves calculation system in gold exploration areas taking example of Yangshan gold deposit, Gansu [J]. Geology and Exploration, 42(1): 77-80 (in Chinese with English abstract)
- Li Shi-qiao Guo Jun-hua, Sun-bin. 2009. Application of SD method accounting reserves in Yangshan gold deposit, Gansu province [J]. Gold Science and Technology, 17(5): 53-57 (in Chinese with English abstract)
- Pi Qing-ming. 2006. A preliminary discussion on the use of SD method for determining exploration engineering interval [J]. Acta Geologica Sichuan, 26(3): 191-192 (in Chinese with English abstract)
- Qian Da-du, Yan Tie-xiong, Li Shu-le, Zhou Shen-hua, Bai Hong-sheng, Li Xue-ren, Yang Jian-guo. 1999. Classification for resources/reserves of solid fuels and mineral commodities [S]. Beijing: Standards Publishing House of China; 1-10 (in Chinese)
- Shao Jue-nian, Yan Tie-xiong, Bin De-zhi, Zhang Wen-hai, Deng San-de, Tian Shao-dong, Wang Bing-quan, Gan Xian-ping. 2002. General requirements for solid mineral exploration [S]. Beijing: Standards Publishing House of China; 11-15 (in Chinese)
- Song Shi-gang, Gao Zao-kui. 2008. Discussion on principles of economic classification by solid mineral resources reserves [J]. Mineral Resources and Geology, 22(2): 185-187 (in Chinese with English abstract)
- Sun Yu-jian, Men-wei, Wan-hui. 2006. A new method for classifying degree of engineering controlling in resources and reserves estimation [J]. Geology and Exploration, 42(6): 81-84 (in Chinese with English abstract)
- Tang Yi, Lan Yun-rong. 1990. Reserves calculation of SD method [M]. Beijing: Geological Publishing House; 12-99 (in Chinese)
- Tang Yi, Lan Yun-rong, Tang Chang-zhong, Tang Chang-hong. 2000. SD method and software series [A]. In: Collection of reserve calculation of mineral resources [M]. Beijing: Geological Publishing House; 364-391 (in Chinese)
- Xue Ming-xuan, Ye Song-qing, Liu Zhi-ming, Yang Zeng-wu, Guo Ji-hai, Su Ren-kui, Chen Hai-ming. 2002. The geology and geochemistry of the Dong'an gold deposit in Heilongjiang [J]. Gold, 23(7): 1-3 (in Chinese with English abstract)

Yan Feng-zeng,Zhou Shen-hua,Miao Jian-hua,Wan Xin-hu,Ju Yu-fu,Zhang hong-xi. 2003. Specifications for hard-rock gold expolration[S]. Beijing:Geological Publishing House;17-18(in Chinese)

Yan Ning,Dou Hong-wei,Tao Zhi-hua, Ma Ai-ling,Wang Fei. 2009. Application of SD method in mineral resources reserves calculation in Guolulongwa gold deposit[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology,29(6):746-751(in Chinese with English abstract)

Zhu Zhi-xiang, Yan Jiu-de. 2004. Application of SD method in the resources reserve verification of Jiguanzui gold and copper ore deposit in Daye of Hubei[J]. Geology and Exploration,40(4):82-84(in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

陈国华,龚羽飞. 2003. 河南金渠金矿区采用先进的 SD 法储量计算审定方法效果显著[J]. 地质与勘探,39(1):66-69

邓善德. 2000. 金属、非金属矿产储量计算方法[A]. 见:矿产资源储量计算法汇编[M]. 北京:地质出版社:364-391

郭继海,汪长生,石耀军. 2004. 黑龙江东安金矿地质及地球化学特征[J]. 地质与勘探,40(4):39-41

高兆奎. 2005. 我国现行固体矿产勘查规范体系中存在的主要问题及其解决途径探讨[J]. 地质与勘探,41(5):86-89

罗娟. 2009. 浅谈 SD 法在桐梓煤矿资源储量估算中的应用[J]. 四川地质学报,29(4):488-491

李俊. 2005. 固体矿产资源/储量估算方法研究现状及主要方法评价[J]. 中国非金属矿工业导刊,46(2):53-55

李石桥,郭俊华,许利文. 2006. SD 法储量计算系统在金矿勘查区中的应用——以甘肃阳山金矿为例[J]. 地质与勘探,42(1):77-80

李石桥,郭俊华,孙彬. 2009. SD 方法在甘肃阳山矿区矿体储量核算中的应用[J]. 黄金科学技术,17(5):53-57

皮清明. 2006. SD 法确定矿产勘查工程间距的初步探讨[J]. 四川地质学报,26(3):191-192

钱大都,严铁雄,李书乐,周圣华,白洪生,李学仁,杨建功. 1999. 固体矿产资源/储量分类[S]. 北京:中国标准出版社:1-10

邵厥年,严铁雄,宾德智,张文海,邓善德,田邵东,王炳铨,甘先平. 2002. 固体矿产地质勘查规范总则[S]. 北京:中国标准出版社:11-15

宋士刚,高兆奎. 2008. 试论固体矿产资源/储量经济分类原理[J]. 矿产与地质,22(2):185-187

孙玉建,孟伟,万会. 2006. 矿产资源储量估算中工程控制程度划分的探索[J]. 地质与勘探,42(6):81-84

唐义,蓝运蓉. 1990. SD 法储量计算法[M]. 北京:地质出版社:12-99

唐义,蓝运蓉,唐长钟,唐长虹. 2000. SD 法及软件系统[A]. 见:矿产资源储量计算法汇编[M]. 北京:地质出版社:364-391

薛明轩,叶松青,刘智明,杨增武,郭继海,苏仁奎,陈海明. 2002. 黑龙江东安金矿床地质地球化学特征初探[J]. 黄金,23(7):1-3

阎凤增,周圣华,苗建华,王信虎,鞠毓斌,张鸿禧. 2003. 岩金矿地质勘查规范[S]. 北京:地质出版社:17-18

燕宁,窦洪伟,陶志华,马爱玲,王飞. 2009. SD 法在果洛龙洼金矿资源储量估算中的应用[J]. 西安科技大学学报,29(6):746-751

朱志祥,晏玖德. 2004. SD 法在湖北大冶鸡冠嘴铜金矿床资源储量核实中的应用[J]. 地质与勘探,40(4):82-84

Estimation of Mineral Resource Reserve Based on the SD Method for the No. 5 Au Ore-body in the Dong'an Gold Deposit, Heilongjiang Province

XUE Ming-xuan^{1,2}, SUN Feng-yue¹, LI Bi-le¹, WEI Lian-xi^{1,3},
CHENG Hai-ming², JIANG Bao-long⁴, TIAN Shi-liang⁴

(1. College of earth sciences, Jinlin university, Changchun, Jinlin 130061; 2. NO. 707 geology exploration team for nonferrous metal, Heilongjiang Province, Suihua, Heilongjiang 152054; 3. Geologica exploration and research institute for nonferrous metall, Heilongjiang Province, Haerbin, Heilongjiang 150046; 4. Geologica exploration burearu for nonferrous metall, Heilongjiang Province, Haerbin, Heilongjiang 150090)

Abstract: Estimation of resource reserve is an important task in mineral geological exploration as well as the fundamental basis to evaluate the economic significance of a deposit and design a mine. The SD estimation and examination methods for solid mineral resource reserve (SD method) was born in the 1980s, which is based on dynamic fractal geometry and structural geologic variable theory. This method can be applied to different types of deposits and every stage from ore survey to exploration. The SD precision approach can quantify the geological assurance of mineral resource reserve, forecast engineering control extent and number of engineering implementation. This paper deals with the application of the SD method to estimation of mineral resource reserve of No. 5 Au ore-body in the Dong'an gold deposit of Helongjiang Province, including data preparation, data processing, and data output. By comparing the SD method and the traditional geological block method in results of reserve estimation, orebody determination, estimation parameters, storm grade processing, geological assurance, and degree of engineering controlling. It is proved that the SD method is based on the traditional method, suitable for geological exploration and estimation of mineral resources in China, and has advancement and practicality. The SD method can also improve the quality and technology level of exploration reports, and guide further mineral resource exploration.

Key words: Dong'an, gold deposit, SD method, estimation of mineral resource reserve, geological assurance