

文章编号: 1672- 9315( 2009) 06- 0746- 06

# SD 法在果洛龙洼金矿资源储量估算中的应用<sup>\*</sup>

燕 宁<sup>1</sup>, 窦洪伟<sup>1</sup>, 陶志华<sup>1</sup>, 马爱玲<sup>2</sup>, 王 飞<sup>1</sup>

(1 青海省有色地质矿产勘查局, 青海 西宁 810007; 2 北京恩地科技发展有限公司, 北京 100011)

**摘 要:** SD 法是一种全新的储量计算和审定方法, 是我国使用的三大储量计算方法 (传统法、克里格法和 SD 法) 之一。青海省有色地勘局八队和北京恩地科技发展有限公司共同对矿区 AuI 矿体资源储量运用 SD 法进行了全面估算, 有效地确定了金矿体的资源储量及其地质可靠程度。

**关键词:** 果洛龙洼; SD 法; 金矿床; 储量估算; 储量审定

**中图分类号:** P624 7 **文献标志码:** A

为了扩大矿山生产规模, 提高生产能力, 使矿山的长远发展具有可靠的资源保证, 采用地质学前沿科技成果 SD 法对果洛龙洼金矿资源储量进行估算。

果洛龙洼金矿床 18~ 37 线之间, 3 740 m 标高以上范围内的 AuI 矿体的金及其伴生银资源储量, 采用“SD 法矿产资源储量计算系统 2.0 版”的升级版本 2.06 软件系统进行估算。该系统对所提供的原始数据进行转换接收、检验、计算、审定、绘图。软件系统输出的计算结果和相应的图件符合 GB/T 17766-1999, GB/T 13908-2002 国家标准、行业标准, 并可与国际接轨<sup>[1~3]</sup>。资源储量工作由国内专门从事“SD”法研发的“恩地公司”承担, 我们参与了用 SD 法的全部估算过程<sup>[4]</sup>。

## 1 矿床资源地质及勘查概况

### 1.1 矿床地质条件概况

果洛龙洼金矿是近年来在东昆仑金多金属成矿带上新发现的具有与韧性剪切带有关的中型-大型规模的造山型金矿床<sup>[5]</sup>。金矿床位于东昆仑造山带东端, 主要分布在下石炭统哈拉郭勒群近东西向断裂带中。断裂带内千糜岩化、糜棱岩化及低温热液蚀变强烈, 石英脉发育。含金石英脉是目前发现的主要金矿石类型。矿石工业类型有石英脉型和构造蚀变岩型 2 类。组成矿石的金属矿物有银金矿、自然金、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、方铅矿、孔雀石、褐铁矿等; 脉石矿物以石英为主。矿石呈裂隙浸染状、晶洞状、斑杂状、块状、网脉状构造; 具半自形-他形晶、填隙、反应边、隐晶状、土状等结构; 矿床为受岩浆-断裂叠加改造的韧性剪切带型金矿。

矿区内目前所发现的 6 条矿(化)体均产于下石炭统千糜岩中, 矿体长 80~ 1 100 m, 宽 1~ 4 m, 单工程控制最宽为 11.20 m, 矿体平均金品位  $2.46 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}$ , 单样最高  $182 \times 10^{-6}$ 。金矿体多呈脉状、透镜状, 受近东西向断裂控制, 金矿体走向近东西向。主矿体 AuI 分布在矿区中部的 20~ 37 线之间, 长 1 100 m, 宽 0.5~ 4.0 m, 最宽处达 10.20 m, 产状为  $180^\circ \angle 65 \sim 85^\circ$ , 金品位一般为  $2.03 \times 10^{-6} \sim 18.75 \times 10^{-6}$ , 平均品位  $9.002 \times 10^{-6}$ , 单样最高  $182 \times 10^{-6}$ , 为含金石英脉型。

### 1.2 矿床勘查程度

目前矿区所发现的 6 条矿体, 只对 AuI 矿体地表 18~ 37 线和 12~ 25 线近地表浅部用 1~ 2 个中段进行了较详细的控制, 其余矿体仅在地表用探槽进行了稀疏揭露和控制。

\* 收稿日期: 2009-04-01

基金项目: 中国地质调查局项目 (20021020009)

作者简介: 燕 宁 (1967-), 男, 河北定州人, 工程师, 主要从事地球化学勘查项目管理及综合研究。

根据主矿体 AuI 的特征, 矿体规模中型; 形态、产状变化复杂程度中等; 矿体厚度变化系数 75.91%, 属稳定矿体; 金品位一般为  $0.98 \times 10^{-6} \sim 18.80 \times 10^{-6}$ ; 单样最高  $182 \times 10^{-6}$ , 金品位变化系数 109.41%, 属较均匀型。依据《岩金矿地质勘查规范 (DZ/T0205-2002)》的勘查类型划分原则, 该矿床(体)属第 II 勘查类型, 勘探线按 40m 的间距布设, 选用  $40\text{ m} \times 80\text{ m}$  的网度进行详查。基本了解了主矿体的形态、产状、规模、厚度和品位变化情况, 达到了探求 332+333 资源量的工程控制程度。

20~37 线之间地表以 27 个探槽, 40 m 的工程间距对 AuI 矿体进行了控制; 12~25 线之间利用坑道对 AuI 矿体延深情况进行了控制。坑道控制矿体延深 40~80 m。

## 2 SD 储量估算方法

计算机及其软件技术的发展, 很大程度上拓展了计算机的应用领域。尤其通过近几年的研究与开发, 将计算机及其软件技术应用到了地质矿产勘查与开发行业, 从而推进了地质矿产勘查与开发行业的发展。

### 2.1 估算方案的确定

估算方案的确定指四大因素的确定, 即计算类型、数据类型、形质方案和坐标选择的确定。本次对果洛龙洼金矿床 18~37 线之间、3 740 m 标高以上范围内的 AuI 号矿体的金及其伴生银资源储量估算。根据矿体产状和施工工程情况, 直接采用各工程单样化验分析数据, 充分利用原始测量成果。本次估算采用地理坐标, 用 SD 法的基本原理、理论和方法, 分析并确定了本矿区的计算方案为“标准型 B 型地理坐标框块(任意分块)”。

### 2.2 计算参数的取值

#### 2.2.1 品位和厚度的取值

本次各计算点品位和厚度的原始取值, 皆依据样品数据表的样线平均品位及矿体的真厚度, 也是与纵投影图上标注的数值相同。

#### 2.2.2 特高品位处理

所谓风暴值, 相当于习惯上称的特高品位<sup>[67]</sup>。通常特高品位的“特高”是对某一矿床的平均品位而言, 而风暴品位不仅对平均品位, 还要对邻近品位而言。在某些情况下, 特高品位不一定是风暴品位, 风暴品位也不一定是特高品位, 要根据计算单元内品位分布状况来具体确定。在同一个矿床、同一个矿区中, 不同的矿体, 不同的计算单元, 它们的复杂度并不一致, 有的计算单元品位很均匀, 但突然出现个别高于均值 3~4 倍的样品。对整个矿区而言, 虽然它不算特高品位, 但它的存在足以影响到该计算单元均值的正确计算, 此时就认为该样品为风暴品位。因而对整个矿床来说, 要根据不同的计算单元对风暴品位分别进行处理。

本次特高品位的识别与处理, 是用计算单元的平均品位与风暴品位倍数限之积, 作为风暴品位下限值, 对单样特高品位按下限值替代。

其中, 风暴品位倍数限的计算公式为

$$\sigma = \delta_1 + \delta_2 T$$

式中  $\sigma$  是高出计算单元平均品位的倍数;  $T$  是矿体地质变量的复杂度;  $\delta_1$  是截距常数 2.933;  $\delta_2$  是斜率常数 17.067。

AuI 号矿体风暴品位处理见表 1。

#### 2.2.3 工业指标

矿区经长春黄金设计院作了预可行性研究, 确定本次资源储量估算工业指标如下

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 0.8 m;  $\text{m} \cdot \text{g/t}$  值  $\geq 2.4 \times 10^{-6}$  m; 夹石剔除厚度  $\geq 2.0$  m。

#### 2.2.4 小体重

本次计算的矿石体重用 36 件小体重样品的算术平均求得, 本次计算的平均体重值为  $2.56 \text{ t/m}^3$ 。

表 1 果洛龙洼金矿风暴品位处理表  
Tab. 1 Storm grade processing of Guoluolongwa gold mine

| 矿体号 | 工程名程    | 样品序号 | 样品名称     | 原始品位 (10 <sup>-6</sup> ) | 替代品位 (10 <sup>-6</sup> ) | 备 注                                                           |
|-----|---------|------|----------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Aul | TC37- 1 | 2    | 04A- 268 | 182 000                  | 69 182                   | 风暴品位高于平均品位倍<br>数: 7. 234<br>风暴品位下限: 69. 182<br>矿段平均品位: 9. 564 |
|     | TC31- 1 | 1    | 04A- 238 | 77. 400                  | 69 182                   |                                                               |
|     | KD11- 1 | 19   | 04A- 022 | 146 000                  | 69 182                   |                                                               |
|     | KD9- 1  | 14   | 04A- 322 | 105 000                  | 69 182                   |                                                               |
|     | TC2- 1  | 18   | 02A- 148 | 74. 700                  | 69 182                   |                                                               |
|     | 其他无风暴品位 |      |          |                          |                          |                                                               |

2 2 5 矿体圈定

SD 软件自动实现, 严格按照工业指标, 利用 SD 样条函数拟合, 并以预定步长插值后, 用金的边界品位、可采厚度、米克吨值同时搜索 (当矿体厚度小于可采厚度, 而平均品位大于工业品位者, 利用米克吨值去判别, 大于相应的米·克吨/值, 则搜索为矿域), 确定出矿域或非矿域, 从而划定曲线状封闭的矿域边界<sup>[8-10]</sup>。

2 2 6 计算过程

SD 法的标准型就是用单工程中的每个样品的厚度、品位, 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、矿区的储量 (矿石量、金属量、平均品位、平均厚度)。因此, 这里的平均品位、平均厚度与矿石量、金属量一样是计算的成果, 而不是作为计算储量的参数。

本次 SD 储量计算过程是以 SD 样条函数近似积分为主的计算。整个过程, 先计算, 后成图, 计算不依赖成图。成图正确与否可以大致检验提供的数据和计算过程是否正确。

3 SD 法审定计算应用

3 1 精度及地质可靠程度

本次 Aul 矿体的控制程度和资源储量的可靠程度依照列入国家规范的 SD 法地质可靠程度定量指标, 由 SD 法资源/储量审定系统自动计算确定。审定是通过 SD 精度  $\eta$  的计算值来实现的。通过 SD 精度的大小来定量确定相应的地质可靠程度。精度  $\eta$  是根据矿体规模、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计算出来的, 它既是资源/储量精确程度的度量, 又是工程控制程度的体现。

精度计算公式为  $\eta = \rho \cdot \eta_0$   
式中  $\eta$  为 SD 精度;  $\eta_0$  为原始精度;  $\rho$  为框架指数。

地质可靠程度由精度确定的区间范围为  
I  $\eta \geq 80\%$  属“探明的”; II  $45\% \leq \eta < 65\%$  属“控制的”;  
III  $15\% \leq \eta < 30\%$  属“推断的”; IV  $\eta < 10\%$  属“预测的”。

待定区间范围为  
 $65\% \leq \eta < 80\%$  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”。

当 SD 精度计算值尚未落于确定的地质可靠程度内, 而落在待定区间内, 则由专家系统按矿床复杂程度 (模糊度) 及勘查阶段等条件将其归属为某一地质可靠程度等级内。本次对待定区间的可靠程度归属的参数如下。

- 1) 勘查阶段: 详查;
- 2) 矿床复杂程度: 根据各种地质情况来确定, 复杂程度的模糊度分 5 级, 即复杂、较复杂、一般、较简单、简单。本次的选择是: 矿体形态——较复杂; 地质构造条件——较复杂; 水文地质条件——简单; 工程地质条件——较复杂; 环境地质条件——复杂。
- 3) 矿床类比条件: 矿床类比条件是指与此矿床同样勘查、开采的已知情况的可比性的模糊度, 也分为 5 类, 本矿列为“复杂”。

关于地质可靠程度归属问题, 本矿区除地质可靠程度确定区间外, 凡待定值  $65\% \leq \eta < 80\%$  和  $35\% \leq \eta < 45\%$  者, 可归属为“控制的”; 待定值  $30\% \leq \eta < 35\%$  和  $10\% \leq \eta < 15\%$  者, 可归属为“推断的”。

3 2 工程控制程度预测

一定的工程数反映出矿区的工程控制程度, 反映出对矿体的认识程度。因此, 可以经总精度计算, 由工程数来预测应达到的工程控制程度。通过审定计算, 各矿体的工程控制程度预测见表 2

表 2 地质可靠程度工程控制程度预测表

| Tab. 2 Forecast statement of engineering control extent on geological assurance |        |                          |        |                                 |          |                                 |         |                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------|--------|---------------------------------|----------|---------------------------------|---------|-----------------------|------------|
| 矿体号                                                                             | 计算单元代码 | 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      |
| AuI                                                                             | gIII   | 75                       | 34 017 | 19                              | 109. 313 | 6                               | 272 269 | 2                     | 1 022. 532 |

本矿区各矿体 SD 总精度及所利用工程数见表 3

从以上 2 表可以看出, AuI 号矿体总精度为 57. 048%, 控制该矿体的有效工程 51 个, 处于“控制的”工程控制程度, 若要使整个计算单元达到“探明的”, 尚需再施工 24 个有效工程, 施工网度约为 34 m, 工程控制程度及工程数的预测为进一步探矿提供依据。

3 3 SD 资源储量预测靶区

通过 SD 总精度计算, 可度量真实客观储量值的所在区间。知道精度就可减少探采的盲目性和风险性。知道每一个小的块段的精度值, 在矿山施工管理和储量动态管理中, 能做到心中有数。

3 4 探采对比

本次消耗的资源 储量主要是 2004 年在 1~ 2 线之间、3 842 m 标高以上开采消耗的量, 即: 矿石量 5 748 16 t 金属量 76 136 kg 平均品位  $13\ 245 \times 10^{-6}$ 。矿山实际采出矿石量 5 673 t 金属量 82 51 kg 平均品位  $14\ 35 \times 10^{-6}$  (表 4), 矿石量相对误差 1. 325%, 金金属量相对误差 - 7. 725%, 平均品位相对误差 - 7. 698%。实际开采储量落在了 SD 储量预测靶区内, 进一步证实了 SD 储量计算和 SD 精度对资源 / 储量计算的可靠性和预测的科学性。

表 4 果洛龙洼金矿 I - 1 矿体 2004 采空区探采对比表

| Tab. 4 Exprolation correlation on 2004 goaf of I - 1 ore body of Guoluongwa gold mine |           |         |                  |         |          |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|------------------|---------|----------|----------|
| 探采对比项                                                                                 | 矿石量 /t    | 金属量 /kg | 品位 ( $10^{-6}$ ) | 相对误差 /% |          |          |
|                                                                                       |           |         |                  | 矿石量     | 金属量      | 品位       |
| 消耗的资源 /储量                                                                             | 5 748 161 | 76 136  | 13 245           | 1. 325  | - 7. 725 | - 7. 698 |
| 采出矿量                                                                                  | 5 673 000 | 82 510  | 14 350           |         |          |          |

注: 相对误差的公式为 (消耗的资源 储量 - 采出矿量) / (采出矿量) × 100

4 结 论

SD 储量算法运用以分维几何学为基础建立的 SD 动态分维几何学理论, 遵循 SD 降维变形、权尺稳健、搜索求解、递进逼近原理, 应用先进的计算机技术, 很大程度上降低了地勘技术人员的劳动强度。SD 储量算法可根据市场需求动态地计算不同工业指标圈定的矿产资源储量, 也可计算同一矿体的不同部位或任意部位的矿产资源储量, 还可用于地质矿产勘查与开发的各个阶段。并将勘查与开发有机地衔接起来, 实现了矿产资源储量的动态管理。既有利于实行矿产资源的规范化管理, 又有利于降低人、财、物资源的消耗。

其计算结果和相应的图件符合 GB/T17766- 1999 GB/T13908- 2002 等规范和标准要求, 因此得到

了评估专家的认定。

SD储量计算方法适用于各类型固体矿产的储量估算,且计算方法简单、易操作,应大力推广应用。

## 参考文献 References

- [1] 唐义,蓝运蓉. SD法储量算法[M]. 北京:地质出版社, 1990  
TANG Yijian LAN Yunrong Reserves calculation of SD method[M]. Beijing Geology Press, 1990
- [2] 地矿部资源局. SD法储量算法辅导[Z]. 北京:地矿部培训教材, 1997.  
Resource Bureau of Geology and Mineral Industry Guidance on reserves calculation of SD method[Z]. Beijing Geology and Mineral Industry Training Manual 1997
- [3] 国土资源部储量司. 矿产资源储量算法汇编[M]. 北京:地质出版社, 2000.  
Department of Reserves, Ministry of Land and Resources Collection of reserve calculation of mineral resources[M]. Beijing Geology Press, 2000
- [4] 邹定喜,郭林,周金喜,等. 青海省都兰县果洛龙洼金矿I-1号矿体37-18线3740 m标高以上详查报告[R]. 西宁:青海省有色地勘局八队, 2005.  
ZOU Dingxi GUO Lin ZHOU Jinxi et al Detailed survey report on I-1 ore body with line 37-38 and elevation above 3740 m of Guoluongwa gold mine, doulan county, Qinghai province[R]. Xining Eighth Team of Qinghai Nonferrous Minerals Geology Survey Bureau, 2005.
- [5] 杨小斌,刘洪川. 东昆仑造山带都兰县沟里地区金矿成矿特征及找矿潜力分析[J]. 青海国土经略, 2005, (4): 32-35.  
YANG Xiaobin LIU Hongchuan Potential analysis on ore exploration and metallogenic features of gold mine in Gouli region of Doulan county along eastern Kunlun orogenic belt[J]. Land Resources Management Strategy of Qinghai Province, 2005 (4): 32-35
- [6] 陈国华,龚羽飞. 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, 2003, 39(1): 66-69.  
CHEN Guohua GONG Yufei Advanced SD method of reserve calculation adopted by Jinqiu gold mine of Henan[J]. Journal of Geology and Exploration, 2003, 39(1): 66-69.
- [7] 朱志祥,晏玖德. 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, 2004, 40(4): 82-84.  
ZHU Zhixiang YAN Jiude Application of SD method in the resources reserve verification of Jiguanzi gold and copper ore deposit in daye of Hubei[J]. Journal of Geology and Exploration, 2004, 40(1): 82-84.
- [8] 阎凤增,周圣华,苗建华,等. 岩金矿地质勘查规范[Z]. 北京:中华人民共和国国土资源部, 2003, 12-13.  
YAN Fengzeng ZHOU Shenghua MAO Jianhua et al Geology survey specifications of rocky gold mine[Z]. Beijing Ministry of Land and Resources, P. R. C, 2003, 12-13.
- [9] 钱大都,严铁雄,李书乐,等. 固体矿产资源/储量分类[Z]. 北京:中华人民共和国国土资源部, 1996, 3-5.  
QIAN Dada YAN Tiesong LI Shule et al Solid mineral resources/reserves classification[Z]. Beijing Ministry of Land and Resources, P. R. C, 1996, 3-5.
- [10] 邵厥年,严铁雄,宾德智,等. 固体矿产地质勘查规范总则[Z]. 北京:中华人民共和国国土资源部, 2002, 13-14.  
SHAO Jue-nian, YAN Tiesong BIN Derzhi et al General rules on geology survey specifications of solid minerals[Z]. Beijing Ministry of Land and Resources, P. R. C, 2002, 13-14.

## Application of SD method in mineral resources reserves calculation in Guoluongwa gold deposit<sup>\*</sup>

YAN Ning<sup>1</sup>, DOU Hongwei<sup>1</sup>, TAO Zhirhua<sup>1</sup>, MA Ailing<sup>2</sup>, WANG Fei<sup>1</sup>

\* Biography: YAN Ning Engineer Xining 810007, P. R. China Tel: 0086-971-8138653, E-mail: xnyanning@sina.com

(1. Qinghai Bureau of Nonferrous Metals Exploration, Xining 810007, China; 2 Beijing SD Science and Technology Development Co., Ltd., Beijing 100011, China)

**Abstract** SD method, one of three reserves calculation methods like geometry, Ktge and SD methods in China, is a new mineral resources reserves calculation and examination method. The 8th team of Qinghai Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals and Beijing SD Science & Technology Development Co., Ltd. use SD method to calculate mineral resources reserves of Au six. Finally, gold ore resources reserves and geologic credibility are confirmed.

**Key words** Guoluolongwa; SD method; gold deposit; reserves calculation; reserves examination

(上接第 730 页)

## Strength features of testing samples with prefabricated discontinuous joints<sup>\*</sup>

LIU Aihua, LUO Rong-wu, LI Hong, ZHANG Yijin

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract** A large number of substantial discontinuous joints exist in rock mass which the mechanical strength will be controlled dramatically by the geometric dimension, the distribution in space and the connectivity rate of joints. In the paper, the strength features and failure mechanism of materials with discontinuous joints was discussed. A number of cement-sand samples with prefabricated joints had been originally designed and made, and a lot of mechanical tests had been completed in laboratory. Firstly, the relation between the shearing strength parameters  $C$ ,  $\varphi$  and the joint's connectivity rate was obtained. Secondly, based on the test results and the fracture theories, the initial conditions to make joints to start to open and the joints peak strength under different connectivity rates and normal stresses had been deduced. The theoretical analysis accords well with the test results.

**Key words** prefabricated joints; strength feature; connectivity rate; failure mechanism

\* **Biography** LIU Aihua, Professor, Changsha 410083, P. R. China. Tel: 0086-15874076263, E-mail: lyh1237@163.com