

SD法在西藏甲玛铜多金属矿床资源量估算中的应用

柳炳利^{1,2}, 郭 科², 唐菊兴³, 武 菊⁴, 马爱玲⁵, 李海峰^{1,6}

LIU Bing-li^{1,2}, GUO Ke², TANG Ju-xing³, WU Ju⁴, MA Ai-ling⁵, LI Hai-feng^{1,6}

1. 成都理工大学信息工程学院, 四川 成都 610059;

2. 数学地质四川省高校重点实验室, 四川 成都 610059;

3. 中国地质科学院, 北京 100037;

4. 内江师范学院数学与信息科学学院, 四川 内江 641112;

5. 北京恩地科技发展有限公司, 北京 100011;

6. 四川建筑职业技术学院测量工程研究所, 四川 德阳 618000

1. College of Information Engineering, Chengdu University of Technology Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Sichuan Province key laboratory of mathematics geology, Chengdu Sichuan 610059, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4. The College of Mathematics and Information Science, Neijiang Normal University, Neijiang 641112, Sichuan, China;

5. Beijing SD Science and Technology Development Co., Ltd., Beijing 100011, China;

6. Institute of Engineering Surveying, Sichuan College of Architectural Technology, Deyang 618000, Sichuan, China

摘要:SD(最佳结构曲线断面积分储量计算和储量审定计算)法诞生于 20 世纪 80 年代,是在对传统法和样条函数法改进并与距离幂次反比法等方法结合的基础上发展起来的新方法,在储量估算领域内具有一定的先进性。多金属矿多种元素共生的情况使资源量的计算变得复杂。对西藏甲玛铜多金属矿使用 SD 法和平行断面法进行资源量估算,结果对比证明 SD 方法能较好地适用于多金属矿的资源量计算。

关键词:资源量计算;SD 法;铜多金属矿;西藏

中图分类号:P624.7

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2012)05-0807-08

Liu B L, Guo K, Tang J X, Wu J, Ma A L, Li H F. The application of the SD method to the resource estimation of the Jia-ma copper-polymetallic deposit in Tibet. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(5): 807-814

Abstract: Established in the 1980's, the SD method has been widely used in reserve calculation because of its combination of dynamic fractal geometry and structural geological variable theory. Reserve calculation is complicated due to mineral intergrowth. Compared with traditional methods used in copper polymetallic mine reserve calculation, the SD method shows better performance.

Key words: reserve calculation; SD method; copper-polymetallic mine; Tibet

SD(最佳结构曲线断面积分储量计算和储量审定计算)法是一种以 SD 动态分维几何学为理论,以最佳结构地质变量为基础的储量计算方法^{①[1-3]}。该

方法在中国的应用已有 20 余年,曾在湖北大冶鸡冠嘴铜金矿、甘肃阳山金矿、青海果洛龙洼金矿、河南金渠金矿、内蒙古道伦达坝铜矿等矿区得到广泛应

收稿日期:2011-01-25;修订日期:2011-08-02

资助项目:中国地质调查局项目《化探成矿元素组合自动识别及应用示范研究》(编号:1212010916029),国土资源部公益性行业科研专项经费项目子课题《找矿科研基地化探信息盲源分离技术应用示范》(编号:201011002-08),数学地质四川省重点实验室开放基金项目《基于盲源分离的多尺度地球化学深部成矿预测》(编号:SCSXDX2011015),数学地质四川省重点实验室开放基金《基于 GIS 的复杂地貌区多尺度地球化学三维建模及成矿预测》(编号:SCSXDX2009002)

作者简介:柳炳利(1981-),男,在读博士,地球探测与信息技术专业。E-mail:liubingli-82@163.com

用^[6-10]。前人的研究成果证明,SD 法适于不同矿种和矿产勘查开采的各个阶段,能够实现资源量参数的多方案厘定,具有可实现成果规模化、标准化、质量好、工作效率高等优点。

甲玛铜多金属矿成矿元素多,伴生组分丰富,铜、钼、铅、锌均可单独圈定矿体。这与简单的共生计算有本质的区别,例如铜、钼既可作为铜钼矿的主矿种,又可作为铅锌矿的伴生组分进行计算。这对矿体工业指标的确定、矿体划分、圈矿原则、计算方案、计算精度等方面提出了新的挑战,传统方法已经不能满足此种多金属矿的资源量计算的需求。在没有相应前人经验借鉴的前提下,项目组与北京恩地公司合作,就甲玛的特殊情况对 SD 算法做出相应改进,并应用于此种复杂情况下的多金属矿资源量计算。实践证明,应用 SD 法计算资源量的结果精度真实、可信。

1 SD 法资源量估算

1.1 工业指标的选取

结合矿区的实际情况,在甲玛矿区范围内分别

圈定出铜钼矿体和铅锌矿体 2 种。根据《铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘查规范》(DZ/T 0214-2002)^[4],并结合矿区矿体的矿石类型和矿石成矿元素组合特征,工业指标分别确定如下。

(1)铜钼矿体(混合指标)

①基本指标

边界品位:Cu≥0.3% 或 Mo≥0.03%;
最低工业品位:Cu≥0.5% 或 Mo≥0.06%;
最小可采厚度:2m;
夹石剔除厚度:4m。

②矿块中铜够矿而钼不够矿时,钼为伴生组分,伴生指标为 Mo≥0.01%;钼够矿而铜不够矿时,铜为伴生组分,伴生指标为 Cu≥0.1%。

③其它伴生组分要求指标:Pb≥0.2%,Zn≥0.4%,Au≥0.1g/t,Ag≥1g/t。

(2)铅锌矿体(混合指标)

①基本指标

边界品位:Pb≥0.3% 或 Zn≥0.5%;
最低工业品位:Pb≥0.7% 或 Zn≥1%;

表 1 甲玛铜多金属矿区 SD 法计算单元划分
Table 1 Calculation units of SD method

矿体号	矿体分块	计算单元代码	矿体类型	勘探线	外推距离	计算方案
1 号矿体	I -1-1	J011	铜钼矿	47~0、0~48	尾外推 100m	标准 C 型地理框块
	I -1-2	J012	铅锌矿	23~0、0~4		标准 B 型地理框块
	I -1-3	J013	铜钼矿	32~56		标准 A 型地理框块
	I -1-4	J014	铜钼矿	36~56		标准 C 型地理框块
2 号矿体	I -2-1	J021	铜钼矿	16~32		标准 C 型地理框块
	I -2-2	J022	铜钼矿	0~12		
3 号矿体	I -3	J031	铜钼矿	48~88		标准 C 型地理框块
4 号矿体	I -4	J041	铜钼矿	48~72		标准 C 型地理框块
		J042	铅锌矿	48~56、80~88		
5 号矿体	I -5	J051	铜钼矿	48~88		标准 C 型地理框块
		J052	铅锌矿	48~88		
6 号矿体	I -6	J061	铜钼矿	48~88		标准 C 型地理框块
		J062	铅锌矿	64~80		
7 号矿体	I -7	JM07	铜钼矿	56~88	首外推 100m	标准 C 型地理框块
8 号矿体	I -8	JM08	铜钼矿	72~88		
9 号矿体	I -9	JM09	铜钼矿	56~80		
10 号矿体	II -1	JM21	铜钼矿	7~0、16、32~36		
11 号矿体	II -2	JM22	铜钼矿	12~16、32~36		
12 号矿体	II -3	JM23	铜钼矿	12~16、32~36		
13 号矿体	II -4	JM24	铜钼矿	12~16、32~36		
14 号矿体	II -5	JM25	铜钼矿	12~16、32~36		

最小可采厚度:2m;
夹石剔除厚度:4m。
②矿块中铅够矿而锌不够矿时,锌作伴生组分,伴生指标为 $Zn \geq 0.2\%$; 锌够矿而铅不够矿时,铅作伴生组分,伴生指标为 $Pb \geq 0.4\%$ 。
③其它伴生组分要求指标: $Cu \geq 0.06\%$, $Mo \geq 0.02\%$, $Au \geq 0.1g/t$, $Ag \geq 2g/t$ 。
④圈定前提条件:铜钼矿体范围外才按以上指标圈定铅锌矿体。

1.2 SD 法圈矿原则

在按照一般工业指标进行单工程圈矿和断面搜索的情况下,当主矿种或伴生组分小于边界品位时,其量是不予统计的。显然,这种简单的共生计算或伴生计算不能满足甲玛矿区铜、钼、铅、锌矿既作为主矿种出现又作为伴生组分出现的特殊情况,这就要求在考虑相应工业品位限制的同时还要面对生产利用的问题。
鉴于此,经项目组与恩地公司员工的共同努力,对 SD 算法的圈矿原则做出了相应的修正,将块段中共生、伴生部分分别统计,并确定了如下圈矿原则以更加合理地统计其资源量^[1-5]。

- (1)铜钼矿体
①块段中 $Cu < 0.3\%$ 者,用伴生铜评价指标 0.1% 进一步衡量, $\geq 0.1\%$ 作为伴生铜参与统计, $< 0.1\%$ 者不予利用、不计其量(金属量、品位均赋为 0);
②块段中 $Mo < 0.03\%$ 者,用伴生钼评价指标 0.01% 进一步衡量, $\geq 0.01\%$ 作为伴生钼参与统计, $< 0.01\%$ 者不予利用、不计其量(金属量、品位均赋为 0)。
(2)铅锌矿体
①块段中 $Pb < 0.3\%$ 者,用伴生铅评价指标 0.2% 进一步衡量, $\geq 0.2\%$ 作为伴生铅参与统计, $< 0.2\%$ 者不予利用、不计其量(金属量、品位均赋为 0);
②块段中 $Zn < 0.7\%$ 者,用伴生锌评价指标 0.4% 进一步衡量, $\geq 0.4\%$ 作为伴生锌参与统计, $< 0.4\%$ 者不予利用、不计其量(金属量、品位均赋为 0);
③其它伴生组分:块段中达到相应伴生组分指标要求者统计其量,否则不计其量。

1.3 SD 法计算方案的确定

SD 估算方案的确定指四大因素的确定,即计算类型、数据类型、形质方案和坐标系统的确定。在矿体划分的基础上,根据工业指标和矿石分布情况最终指定计算方案。如表 1 所示。

1.4 SD 法风暴品位处理

所谓风暴品位,相当于习惯上称的特高品位^[6],但更强调邻域品位。它的存在足以影响到该计算单元均值的正确计算。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稳健处理。
处理方法是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,对单样风暴品位按削减值(下限值)替代。其中,风暴品位倍数限 σ 的计算公式为:

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

式中, σ 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, δ_1 是截距常数 2.933, δ_2 是斜率常数 17.067。
经计算,本次出现风暴品位值的矿体为 I 号矿体。其中 I 号矿体中的 I-1-1、I-1-3、I-1-4、I-3-1、I-5-1 出现风暴值。I-1-1 小矿体的风暴品位倍数限为 8.326,风暴品位下限值为 7.003%; I-1-3 小矿体的风暴品位倍数限为 8.838,风暴品位下限值为 6.004%; I-1-4 小矿体的风暴品位倍数

表 2 矿体变化复杂程度
Table 2 Changes in complexity of ore body

矿体号	计算单元	品位变化度	厚度变化度	矿体复杂度
I-1-1	J011	0.191	0.078	0.316
I-1-2	J012	0.149	0.252	0.502
I-1-3	J013	0.398	0.224	0.346
I-1-4	J014	0.421	0.358	0.393
I-2-1	J021	0.157	0.34	0.482
I-2-2	J022	0.313	0.341	0.424
I-3-1	J031	0.401	0.272	0.332
I-4-1	J041	0.156	0.168	0.353
I-4-2	J042	0.292	0.339	0.312
I-5-1	J051	0.328	0.217	0.253
I-5-2	J052	0.289	0.396	0.264
I-6-1	J061	0.253	0.261	0.403
I-6-2	J062	0.303	0.404	0.092
I-7	JM07	0.37	0.332	0.301
I-8	JM08	0.381	0.507	0.247
I-9	JM09	0.273	0.3	0.436
II-1	JM21	0.285	0.235	0.176
II-2	JM22	0.325	0.282	0.319
II-3	JM23	0.49	0.505	0.325
II-4	JM24	0.31	0.301	0.152
II-5	JM25	0.256	0.467	0.457

限为 9.640, 风暴品位下限值为 5.895%; I-3-1 小矿体的风暴品位倍数限为 8.599, 风暴品位下限值为 6.849%。其它 14 个矿体均未出现风暴品位值。

1.5 SD 精度和地质可靠程度

1.5.1 SD 精度

SD 精度从定量角度探索矿产勘查预测, 评价工程控制程度和储量精度。它的大小取决于矿体的性质、矿体的复杂程度、勘查手段和工程控制程度。它的作用有: 确定矿产资源储量的准确程度、定量确定地质可靠程度、确定工程间距、预测工程数、度量矿产资源探采风险。

根据 SD 精度与地质可靠程度的内在相依关系, SD 精度(η)为地质可靠程度提出 4 级定量标准。精度计算公式为

$$\eta=\rho\cdot\eta_0$$

式中, η 为 SD 精度(%); η_0 为原始精度(%); ρ 为框架指数。

1.5.2 地质可靠程度的确定

(1)确定原则

①资源储量的地质可靠程度等级用 SD 法精度定量确定。

②在地质可靠程度的定量划分标准中, 凡精度落入地质可靠程度等级标准中的, 可直接确定其控制程度为探明的、控制的、推断的、预测的 4 个等级中之一。对于精度处于待定区间的, 地质可靠程度也处于待定区间, SD 法专家系统主要根据工程控制程度、矿体结构构造、矿体变化规律、变量复杂度和水、工、环等综合因素进一步定量确定专家系数, 以专家系数将处于地质可靠程度待定区间的进行归属处理。

③此外, 局部框块资源储量地质可靠程度还考虑矿体区域性控制程度对其进行合理判定。

(2)主要的确定依据

①既定区间的定量判别依据

表 3 甲玛矿区地质可靠程度和工程控制程度预测
Table 3 Degree of geological reliability and engineering control

计算 单元	预 测 值								当 前 值		
	探 明 的 ($\eta\geq80\%$)		控 制 的 ($45\%\leq\eta<65\%$)		推 断 的 ($15\%\leq\eta<30\%$)		预 测 的 ($\eta<10\%$)		实际工 程数/个	框棱 /m	计算 精度/%
	工程数	框棱/m	工程数	框棱/m	工程数	框棱/m	工程数	框棱/m			
J011	201	54.102	60	224.988	/	/	/	/	127	142.349	63.91
J012	32	41.793	12	183.884	/	/	/	/	18	142.515	55.27
J013	25	70.711	7	298.476	/	/	/	/	20	141.833	69.85
J014	18	30.222	11	110.427	/	/	/	/	9	131.693	39.11
J021	20	27.956	9	99.855	/	/	/	/	11	85.474	50.88
J022	17	26.886	8	94.03	/	/	/	/	9	83.827	48.91
J031	31	31.247	18	124.745	/	/	/	/	15	158.368	37.78
J041	34	27.799	20	111.792	/	/	/	/	16	158.636	33.3
J042	22	30.141	13	129.505	/	/	/	/	10	200.479	30.69
J051	19	28.75	11	118.985	/	/	/	/	9	173.951	32.7
J052	30	27.119	17	106.647	/	/	/	/	14	155.091	32.48
J061	29	28.917	16	120.249	6	320.72	/	/	13	192.365	29.7
J062	13	27.241	8	107.57	/	/	/	/	6	144.292	35.73
JM07	21	31.245	11	125.209	/	/	/	/	11	120.845	46.37
JM08	13	38.753	8	181.504	/	/	/	/	6	254.855	35.78
JM09	19	27.173	11	107.056	/	/	/	/	9	147.561	34.65
JM21	32	45.728	19	227.697	/	/	/	/	16	259.307	41.11
JM22	22	35.811	12	152.696	/	/	/	/	10	223.895	32.5
JM23	22	31.125	13	136.948	5	384.408	/	/	10	223.985	28.77
JM24	22	31.551	13	140.168	4	399.961	/	/	10	223.585	29.97
JM25	22	34.871	13	152.148	/	/	/	/	10	223.586	32

地质可靠程度按照探明的、控制的、推断的 3 级进行划分。以 SD 精度为依据: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”。

②待定区间的定量判别依据和归属结果

SD 法精度对地质可靠程度的定量划分标准中,对于处于待定区间的地质可靠程度需通过 SD 地质可靠程度待定区间归属专家系统进一步定量确定。该专家系统充分考虑了工程控制程度、矿体变化规律和水文、工程、环境、构造等综合因素。具体归属参数包括:勘查阶段、矿体形态、构造、水工环、类比条件、矿体变量复杂程度。根据《SD 法地质可靠程度待定区间归属参数标准》,该矿区各参数确定如下。

勘查阶段:勘探,系数取值为 1。

矿床复杂程度:根据各种地质情况来确定,其复杂程度的模糊度分 5 级,即复杂、较复杂、一般、较简单、简单。各参数具体选择如下。

矿体形态:本矿区的矿体形态总体呈板体,矿体总体连续性较好,确定为“较简单”。

矿体构造和内部结构:后期构造对矿体形态影响很小,矿体内基本无断层破坏,矿体内夹石较少,

属“较简单”。

水文、工程、环境地质条件:矿区主要矿体位于当地侵蚀基准面以上,地形有利于自然排水,沟谷内有第四系覆盖,矿床主要充水含水层为岩溶-裂隙水,对矿山生产不会造成大的危害,矿床水文地质复杂程度属“一般”。主矿体的顶板为角岩、板岩及岩脉,底板为碳酸盐岩。矿体顶、底板岩层节理、裂隙的发育程度随深度增加而迅速降低,完整程度渐增。地下风化带之下岩石完整性较好,节理、裂隙不发育,矿区工程地质复杂程度为“较简单”。矿区内无大的地质灾害、无重大的污染源、无热害,自然环境中地下水、地表水水质较差(超过Ⅲ类标准),矿坑排水对附近水体有一定污染,采矿可能造成山体局部开裂失稳,矿石、废石化学成分基本稳定,矿区地质环境质量属“一般”。

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,因本矿与驱龙铜矿毗邻,所以属于“简单”。

矿体变量复杂程度:矿体品位、厚度变化情况可以用矿体复杂度衡量。矿体复杂度主要是矿体内计算点的观察值(品位、厚度)的空间结构变化的复杂

表 4 甲玛矿区铜多金属矿铜钼矿体工业资源量靶区评定结果
Table 4 Target area assessment of economic copper-molybdenum ore resources

计算 单元	矿石量	铜金属量	铜品位	精度	矿石量靶区		评定 结果
	/t	/t	/%	/%	上限	下限	
J011	274631938.7	1706240.344	0.721	46.11	595588772	126635533.2	靶区内
J013	34641126.5	151237.072	0.639	49.31	70253151.56	17081193.07	靶区内
J014	3175367.667	10701.845	0.436	23.03	13789758.4	731191.91	靶区内
J021	1086717.843	3852.867	0.495	28.4	3825932.41	308671.34	靶区内
J022	1466201.863	10810.296	0.737	32.83	4465498.76	481412.72	靶区内
J031	5894429.996	31904.129	0.583	18.43	31975859.8	1086579.23	靶区内
J041	2011971.633	10910.003	0.603	13.21	15229518.08	265801.57	靶区内
J051	61691.27	0	0	20.46	301462.42	12624.5	靶区内
J061	323740.106	2370.283	0.732	13.35	2425019.52	43219.3	靶区内
JM07	1743076.212	14917.299	0.892	23.25	7496779.54	405282.65	靶区内
JM08	872083.154	605.568	0.349	5.87	14861676.11	51173.84	靶区外
JM09	216761.566	1460.299	0.674	33.92	638981.12	73532.03	靶区内
JM21	96562573.75	46055.572	0.346	21.28	453792818	20547550.07	靶区内
JM22	15399309.96	3120.101	0.308	3.61	426928471.3	555453.11	靶区外
JM23	1808876.505	886.351	0.323	4.06	44531671.71	73476.56	靶区外
JM24	801139.547	1098.902	0.312	9.31	8606999.86	74570.07	靶区外
JM25	3075284.649	10296.71	0.335	7.03	43763834.48	216100.25	靶区外

注:J051 为钼矿体

程度,有品位变化度、厚度变化度和综合性复杂度,它们归属于[0~1]区间。复杂度、变化度在[0~0.0625)之间属简单的,在[0.0625~0.25)之间属较简单的,在[0.25~0.38)之间属一般,在[0.38~0.56)之间属较复杂的,≥0.56 者属复杂的。不同矿体,其复杂度不同(表 2)。

各矿体地质可靠程度和计算精度详见表 3。

1.6 资源量可靠性

SD 精度不仅反映地质可靠程度,还体现了资源储量的精确程度,通过 SD 精度可确定真实储量存在的范围。精度越高,范围越小,对矿体的认识程度越高;精度越低,范围越大,说明对矿体的认识程度越低。SD 精度法的目的在于确定地质可靠程度,在于寻求一个合理的精度“范围”——储量值客观存在的范围,即 SD 精度靶区。因此,各勘查阶段资源储量的准确度主要通过 SD 靶区来定量评价。本次经 SD 精度法计算,各矿体资源储量靶区结果如表 4 所

示。通过靶区可以预先有效地控制勘查和开采风险,由表 4 可看出 J042 JM08 JM22 JM23 JM24 JM25 的精度均小于 10%,这是由于这几个计算单元为破碎的透镜状矿体,工程控制程度很差,地质可靠程度低,属于预测的资源量,评定结果为“靶区外”(表 4、表 5)。

1.7 SD 法与平行断面法对比分析

在使用 SD 法计算出资源量结果并验证资源量可靠性的同时,本文还采用平行断面法进行比较分析,2 种方法计算的结果和结果对比如下(表 6)。

(1)2 种估算方法的 I-1 矽卡岩型矿体中铜金属量误差 7.8%,钼金属量误差 4.7%,铅金属量误差 10.3%,锌金属量误差 35.9%,金金属量误差 19.4%,银金属量误差 10.6%,当量铜金属量误差 2.4%。除锌金属量误差较大外,其余误差在 10%以下,尤其是主元素的误差很小。由此可见,对于矿体连续性好和矿体品位、厚度变化比较简单(品位变化度 0.191,厚度

表 5 甲玛铜多金属矿铅锌矿体工业资源量靶区评定结果
Table 5 Target area assessment of economic lead-zinc ore resources

计算 单元	矿石量 /t	铅金属量 /t	铅品位 /%	精度 /%	矿 石 量 靶 区		评定 结果
					上限	下限	
J012	9507274.567	225176.787	2.368	45.43	20926844.15	4319249.91	靶区内
J042	177887.425	9968.018	5.604	6.7	2656225.55	11913.12	靶区外
J052	814919.898	6795.019	0.834	15.94	5111458.93	129922.68	靶区内
J062	200614.656	1338.508	0.667	12.33	1626781.19	24739.8	靶区内

表 6 SD 法与平行断面法估算结果对比
Table 6 Comparative analysis between SD and parallel section method

矿 种	SD 法复核 结果	平行断面法 估算结果	两种方法平均 值相对误差
	金属量/10 ⁴ t	金属量/10 ⁴ t	金属量/%
矽卡岩 I-1 矿体			
铜(331+332+333)	201.7	217.4	7.8
钼(331+332+333)	18.5	17.6	4.7
铅(331+332+333)	52.9	47.5	10.3
锌(331+332+333)	15.6	10	35.9
当量铜(331+332+333)	487.0	498.5	2.4
金(331+332+333)	74.1t	88.5t	19.4
银(331+332+333)	4361.7t	4825t	10.6
矽卡岩 I-2~9 号矿体			
铜: 333	8.2	4.73	42.4
钼: 333	0.3	0.22	21.4

变化度 0.078)时,2 种方法估算结果相近,说明使用 SD 法计算的资源量结果可靠程度很高,更重要的是 SD 法结果的精确程度范围可以用精度定量度量。

(2) I-2~9 小矽卡岩型矿体铜金属量误差 42.4%,钼金属量误差 21.4%。误差均较大(表 6)。这是 I-2~9 矽卡岩型矿体受构造影响较大、工程控制程度不高、矿体连续性较差的缘故,平行断面法仅能够对达到工业指标的成矿元素进行计算,而 SD 法充分考虑了各成矿元素的共生、伴生情况,尽最大可

能降低了缺算、漏算的情况。同时,从方法本身分析,对于矿体品位、厚度变化较大时,传统方法没有很好地考虑品位、厚度的有效扩展性(影响范围),必然会导致结果较大的偏差。

2 结 论

本文针对西藏自治区墨竹工卡县甲玛铜多金属矿区的特殊情况,对 SD 的算法改进做了大量工作,并得到了以下成果。

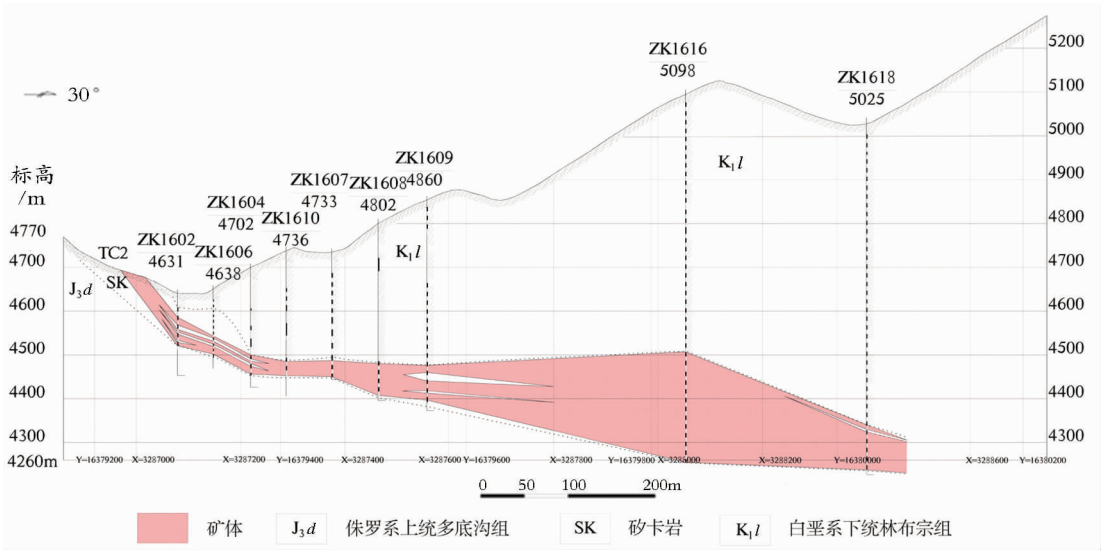


图 1 I-1 矿体资源量估算剖面(16 勘探线,平行断面法)
Fig. 1 Cross section of resource estimation in ore body I-1 (section line 16, parallel section method)

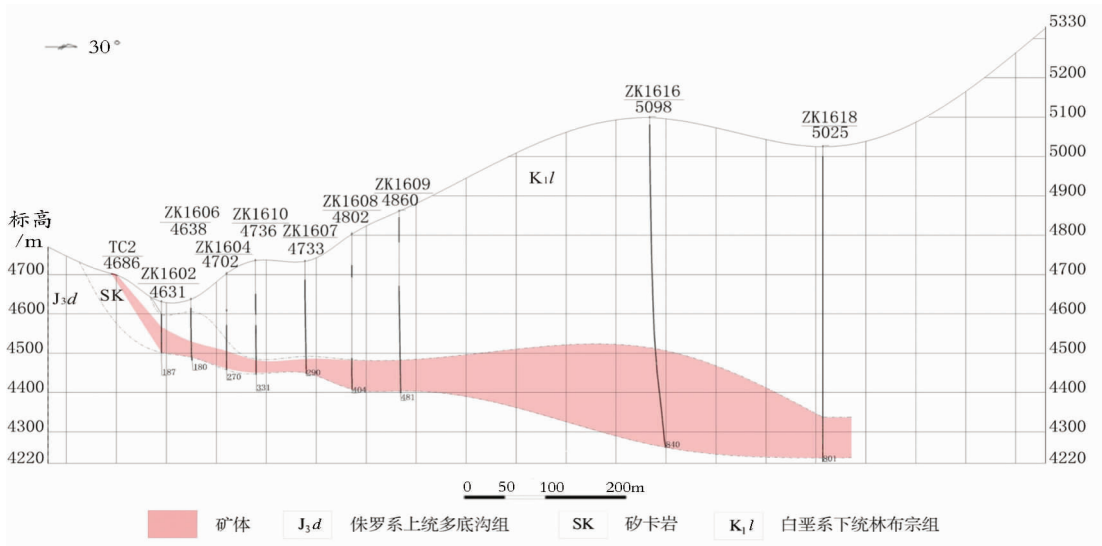


图 2 I-1 矿体资源量估算剖面(16 勘探线,SD 法)
Fig. 2 Cross section of resource estimation in ore body I-1 (section line 16, SD method)

(1)根据甲玛矿区矿体的产出形态、产状、规模等实际情况,科学地划分出矽卡岩型矿体 9 个,角岩型矿体 5 个,在这 14 个矿体中又划分出 21 个计算单元。

(2)根据 21 个计算单元的不同特点,为每一个计算单元选定合适的 SD 法计算方案,并对其进行估算。

(3)为确保计算结果的科学性、准确性,在应用 SD 精度法验证资源量可靠性的同时,选择平行断面法对矿体资源量再次估算,最终的结果比较再次验证了 SD 法在固体矿产资源资源量估算中的优势。其优势主要体现在以下 2 个方面:①平行断面法对矿体圈连接一定原则进行人为的连接,认识的矿体形态有多解性,依据多解的矿体形态计算必然会有多解性;而 SD 法不依据认识的多解矿体形态,采取“齐底拓扑形变”后利用样条函数自动搜索圈定,实现了估算结果的唯一性和客观准确性。显然,不存在人为误差的 SD 法更可靠。I-1 矽卡岩型矿体中铜钼矿体受构造影响小、连续性好、工程控制程度高。虽然用平行断面法和 SD 法在圈定出矿体的形态上基本一致(图 1、图 2),但 SD 法的估算剖面只是计算过程的一种反映,而不是计算依据。②平行断面法根据地质勘查规范要求划分块段,受其影响,不同的块段划分其平均品位、厚度有时相差很大,而 SD 法考虑了地质变量(数据)的空间结构性,不受块段划分的影响,结果稳健可靠。③平行断面法无法定量确定资源量的可靠程度,而 SD 法可以提出量化的精确程度,并对控制程度低的矿体提出了下步加密施工的科学预测,为下步勘查开采工作提出实质性的

指导方案。

综上所述,SD 法成功地解决了甲玛铜多金属矿的资源量估算难题,在甲玛矿区的勘探、开发工作中起到了重大作用,其结果科学、可靠,不存在人为误差,并且在大大减少地质人员工作量的同时,提高了计算效率和计算精度。SD 法能较好地适用于多金属矿的资源量计算。

致谢:本次甲玛铜多金属矿资源量估算工作得到北京恩地公司的大力支持,谨表谢意。

参考文献

- [1]唐义,蓝运蓉.SD 法储量计算法[M].北京:地质出版社,1990.
- [2]国土资源部储量司.矿产资源储量计算法汇编[M].北京:地质出版社,2000.
- [3]邵厥年,严铁雄,宾德智,等.中华人民共和国国家标准:固体矿产地质勘查规范总则[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [4]潘龙驹,杨建功,甘先平,等.中华人民共和国国家标准:铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘查规范[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [5]阎凤增,周圣华,苗建华,等.中华人民共和国地质矿产行业标准:岩金矿地质勘查规范[S].北京:地质出版社,2003.
- [6]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.
- [7]李石桥,郭俊华,许利文.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,2006,42(1):77-80.
- [8]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.
- [9]燕宁,窦洪伟,陶志华,等.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,2009,29(2):746-751.
- [10]王玉山,王启.SD 精度在道伦达坝铜矿区的应用[J].西部资源,2005,6:53-54.
- ①地矿部资源局.SD 储量计算法辅导.地矿部培训教材,1997.