

矿床工业指标优化时的 品位统计分析及方案法结果的预测

池顺都, 刘治国, 朱建东

(中国地质大学资源学院, 武汉 430074)

[摘要]在进行矿床工业指标优化研究中,品位的统计分析,可以了解品位值的统计分布特征,决定研究单元的划分。同时还可以预测用方案法得出的矿体平均品位、矿石储量的增长和金属储量增长的大致结果。从而提高方案法的预见性,减少进行方案试算的次数。

[关键词]品位 方案法 矿床工业指标 统计分析

[中图分类号]P624.6 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2003)02-0081-04

0 概述

矿床工业指标的优化,特别是品位指标的优化是矿床勘查学的重要研究课题。对该问题的研究不仅具有理论意义,更重要的对充分、有效地利用矿产资源这种不可再生的资源,具有实际的国民经济意义。确定品位指标的常用方法有:类比法、统计分析法、价格法、动态评价法和方案法等。其中在应用统计分析法时,一般的做法只是根据样品的统计分布曲线,选择一个较为“适当”的平均品位以及利用已知的最低工业品位确定边界品位^[1,2]。笔者认为,品位的统计分析,虽然不能作为独立的一种品位指标优化的方法,但是,我们还是应当作更加深入的研究,要从中挖掘出对确定品位指标有用的一切信息,并预测方案法的大致结果。这样做可以提高方案法的预见性,减少进行方案试算的次数。

笔者参加了某金矿的品位优化研究,对品位统计分析在品位指标优化中的作用有些体会。在此与大家共同讨论,敬请批评指正。

1 矿床概况

矿区地表基岩仅零星出露上三叠一下侏罗统龙王滩组和下志留统新滩组地层,广泛分布第四系中一上更新统和全新统地层。钻孔资料表明,矿区深部地层主要为寒武—奥陶系碳酸盐岩。

矿床具有规模大、埋藏浅、品位低、矿体形态相

对较简单、易采、矿石可选性能良好等特征。矿体赋存于风化壳中,赋存标高-6.86~72.60 m,走向近东西,倾向南,倾角5°~10°;矿体东西长1800 m,南北宽100~530 m,一般宽度约为200~300 m,具有东宽西窄的空间分布特征。整体来看,矿体形态比较简单,连续性和稳定性均较好。矿体埋藏浅,一般2~20 m,局部裸露地表。矿体埋深总体变化是北浅南深、东浅西深。金矿体与围岩之间无明显的界限,矿体的圈定完全借助于化学分析结果。矿体厚度1.3~55.30 m,一般在10~20 m之间;厚度变化系数为71.8%,属较稳定矿体。矿体中金品位变化于 0.50×10^{-6} ~ 7.12×10^{-6} (以 0.50×10^{-6} 为边界品位时),最高达 19.49×10^{-6} ,平均品位 1.63×10^{-6} 。由于矿床埋藏浅,所以开采十分方便,开采成本低。矿石采用堆浸工艺提取金,选冶综合回收率达78%。

该矿山的矿床勘查工作分两期进行:先在其东段(简称A区)作勘探,随后在西段(简称B区)进行详查。该矿已经经过多年的生产实践,矿山积累的矿山经营参数与设计时选择的参数有较大的差异。生产成本,主要是采矿成本和企业管理费比设计的成本要低,有可能降低金的边界品位和最低工业品位。

2 金品位统计分析

在对金矿床品位指标优化研究前,先对全区 Au

[收稿日期]2002-04-22; **[修订日期]**2002-09-06; **[责任编辑]**余大良。

[第一作者简介]池顺都(1941年-),男,1981年毕业于武汉地质学院北京研究生部,获硕士学位,教授,长期从事矿产勘查学和数学地质的教学和研究工作。

样品进行统计分析。除了分析值为 0 的, 全区共有 4427 个样, A 区和 B 区各有 1891 和 2536 个样。由于 Au 元素一般服从三参数对数正态分布, 故统计

按 Au 品位值的对数值等距分组^[3,4]。统计结果见表 1 和图 1。在图 1 中横坐标只给出分组号, 相应的分析值上限请从表 1 查对。

表 1 某金矿区 Au 品位统计结果表

组号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
对数值上限	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5
分析值上限	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.13	0.16	0.20	0.25	0.32
A 区频率	2.12	3.28	2.17	0.90	2.01	5.24	2.38	2.27	2.54	2.49
B 区频率	0.67	2.88	0.99	0.79	1.81	5.76	2.48	3.94	5.36	4.73
全区频率	1.29	3.05	1.49	0.84	1.90	5.53	2.44	3.23	4.16	3.77
组号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
对数值上限	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
分析值上限	0.40	0.50	0.63	0.79	1.00	1.26	1.58	2.00	2.51	3.16
A 区频率	4.18	5.39	6.29	5.98	5.92	8.09	9.84	10.42	9.57	4.44
B 区频率	6.98	8.56	8.60	8.83	7.49	7.77	7.41	5.88	4.22	3.04
全区频率	5.78	7.21	7.61	7.61	6.82	7.91	8.45	7.82	6.51	3.64
组号	21	22	23	24	25	26	27	28	合计	
对数值上限	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3		
分析值上限	3.98	5.01	6.31	7.94	10.00	12.59	15.85	19.95		
A 区频率	2.38	0.85	0.48	0.26	0.16	0.16	0.05	0.16	100.00	
B 区频率	1.06	0.51	0.25	0.04	0.08				100.00	
全区频率	1.65	0.66	0.35	0.14	0.12	0.07	0.02	0.07	100.00	

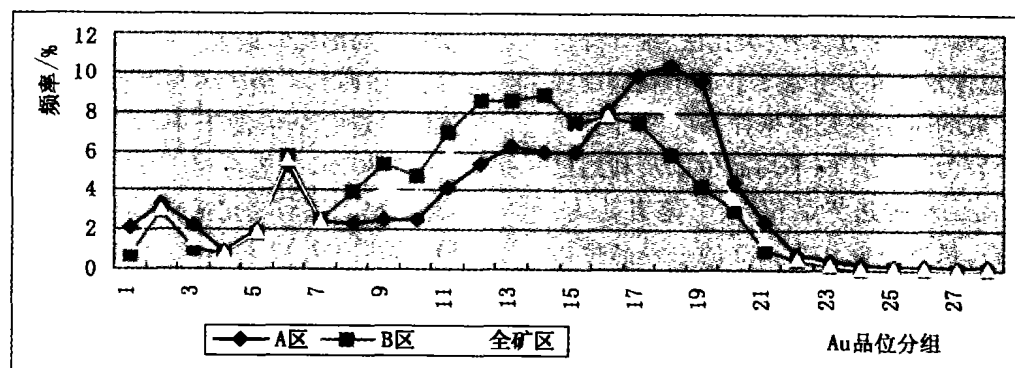


图 1 某金矿区 Au 品位分布图

分析表 1 和图 1, 可以得出如下结论:

1) A 区 Au 品位分布的主体部分, 即分析值大于 0.2×10^{-6} 的部分, 明显地反映出是两个对数正态分布总体的混合分布。高品位总体的峰值在 2×10^{-6} 处 (图上第 18 组, 查表该组上限为 2×10^{-6} , 确定方法下同), 是本区较富矿体在品位分布图上的显示。另外一个对数正态分布总体是区域较贫矿化的显示, 其峰值出现在 0.63×10^{-6} 处。

2) B 区的 Au 品位分布的主体部分两个对数正态分布总体的混合分布表现不明显。较微弱的高品位总体峰值在 1.6×10^{-6} 处, 另外一个较贫矿化的对数正态分布总体, 其峰值出现在 0.7×10^{-6} 处。

3) 这样的品位分布是与 A 区的矿化较强, 矿体连续性较好, 而 B 区矿化较弱, 矿化连续性相对较差的事实是一致的。根据以上分析可以得出, 对该矿区的品位优化研究应当将 A 区和 B 区作为两个独立的研究对象进行。在作统计分析时, 应将 A 区和 B 区作为两个统计分析总体。

3 方案法结果的预测

3.1 矿床平均品位的预测

可以通过统计计算不同样品下限值时的 Au 平均品位来预测方案法矿床平均品位。根据统计分组的界限值, 选取从 0.50 到 1.00 的 6 个值, 作为品位

下限,即相当于边界品位值。将大于界限值的所有样本组成统计总体,计算出不同方案组合的样本的均值作为矿床平均品位的估值。计算结果见表2。为了考察样品长度对均值大小的影响,表2中还给

出了样品长度加权平均值。当样品数量较多时,厚度加权平均值与差异甚小,完全可以采用算术平均值作为矿床平均品位的估值。

表2 某金矿区 Au 品位不同数值下限的统计结果表

统计矿段	方案号	品位下限 $\omega(\text{Au})/10^{-6}$	见矿样本 总个数 个	见矿样品 总长度 m	与方案1对比						
					Au 平均品位/ $\omega(\text{Au})/10^{-6}$		样本增加 相对值/%	长度增加 相对值/%	黄金储量 增加相对 值/%	平均品位降低	
					算术 平均	厚度加 权平均				绝对值 $\omega(\text{Au})/10^{-6}$	相对值/%
A 区	1	1.00	1007	1098.2	2.12	2.14					
	2	0.90	1082	1176.0	2.03	2.06	7.5	7.1	2.9	0.09	4.2
	3	0.80	1150	1249.5	1.96	1.99	14.2	13.8	5.6	0.16	7.5
	4	0.70	1223	1327.2	1.89	1.92	21.4	20.9	8.2	0.23	10.8
	5	0.60	1309	1416.1	1.81	1.84	30.0	29.0	11.0	0.31	14.6
	6	0.50	1425	1534.3	1.71	1.74	41.5	39.7	14.1	0.41	19.3
B 区	1	1.00	769	863.1	1.82	1.83					
	2	0.90	865	967.9	1.72	1.73	12.5	12.1	6.3	0.10	5.5
	3	0.80	960	1074.1	1.63	1.64	24.8	24.5	11.8	0.19	10.4
	4	0.70	1092	1222.2	1.53	1.53	42.0	41.6	19.3	0.29	15.9
	5	0.60	1252	1403.4	1.41	1.42	62.8	62.6	26.3	0.41	22.5
	6	0.50	1431	1606.4	1.30	1.31	86.1	86.1	32.9	0.52	28.6

3.2 矿石储量的预测

矿石储量是矿体体积与矿石体重的乘积。而矿体体积则取决于剖面面积。在进行方案对比时,矿石体重、剖面间距等参数都是常量。这时,矿石储量大小实质上完全取决于剖面面积的大小。当勘探工程均匀分布时,即图2中的L基本相等时,见矿工程的矿体厚度大小决定了矿体面积的大小。在表2中列出了样本数增加相对值和长度增加相对值。这两个数值相差不大,说明在样本数量足够大或样长基本相等的情况下,可以用样本数增加的相对值来粗略地估计矿石储量增加的相对值。

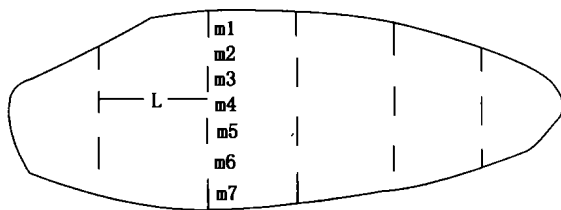


图2 样本数与剖面面积关系示意图

3.3 金属储量的预测

根据估算的矿床平均品位和矿石储量增加相对值可以估算出金属储量增加的相对值。设方案1的矿床平均品位为 C_1 , 矿石储量为 Q_1 , 金属储量为 P_1 。方案2矿床平均品位为 C_2 , 矿石储量相对于方案1的增加值为 ΔQ 。方案2的金属储量相对增加值 δP 可以用下式计算:

$$P_1 = Q_1 C_1$$

$$P_2 = Q_2 \cdot C_2 = (Q_1 + \Delta Q) \cdot C_2$$

$$\delta P = \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} = \frac{P_2}{P_1} - 1 = \frac{Q_1 + \Delta Q \cdot C_2}{Q_1 \cdot C_1} - 1$$

$$= \frac{(1 + \delta Q) \cdot C_2}{C_1} - 1 \quad \text{式中: } \delta Q \text{ 为储量相对增加值。}$$

$$\delta Q = \Delta Q / Q_1$$

如在A区方案2(表2)黄金储量增加的相对值计算如下:

$$\delta P = \frac{1.98 \times (1 + 13\%)}{2.12} - 1 = 1.057 - 1 = 5.7\%$$

根据预测的结果,可大致判断各方案的合理性。由于B区采用5方案,已有约62.8%的低品位样品圈入矿体中,使矿床的平均品位降至 1.41×10^{-6} , 这时有可能出现连续样段的平均品位低于最低工业品位 0.97×10^{-6} 的情况,已难以达到经济合理。A区采用6方案,增加14.1%的黄金储量,仍能使矿床平均品位保持在 1.71×10^{-6} , 连续样段的平均品位低于最低工业品位 0.97×10^{-6} 的概率极低,取得较好的效果。该矿段究竟是采用方案3好还是方案4好,要做进一步的方案对比研究才能确定。

4 预测结果讨论

将方案法的结果与上述的统计分析结果相比较,可以对预测结果作出评价。

表3 方案法的结果与统计分析结果对比表

统计矿段	方案号	尾部概率0.25的品位 下限/ $\omega(\text{Au})/10^{-6}$	统计结果与方案法结果对比								
			Au 平均品位/ $\omega(\text{Au})/10^{-6}$			矿石储量增加/%			金属储量增加/%		
			算术平均	厚度加权平均	方案法	据样本数统计	据长度统计	方案法	据样本数统计	据长度统计	方案法
A 区	1	1.20	2.12	2.14	2.02		0.0			0.0	
	4	1.13	1.89	1.92	1.87	21.4	20.9	39.08	8.2	8.5	27.79
	6	1.02	1.71	1.74	1.79	41.5	39.7	46.60	14.1	13.6	28.02
B 区	1	1.09	1.82	1.83	1.78			0.0			0.0
	4	0.92	1.53	1.53	1.60	42.0	41.6	29.68	19.4	18.4	14.26
	6	0.78	1.30	1.31	1.46	86.1	86.1	47.19	32.9	33.2	17.96

从表3可以看出:

1) 用“纯统计”的方法,即不考虑样品长度的方法和考虑样品长度的统计方法所得出的结果相差不大,因此在预测时可以用“纯统计”的方法。

2) 预测的矿体平均品位值相当准确,可以将预测的结果作为方案法确定的矿体平均品位的预测值。

3) 金属储量及矿石储量的增加出现较大的误差。预测值偏离“真值”的原因有二:其一是由于在圈定矿体时有一些低于边界品位,但连续长度小于夹石剔除厚度的样品圈在矿体内,其结果是使预测值小于计算出的储量增加值,同时使预测的平均品位大于“真值”。这一影响随着边界品位的提高而增加。其二是由于边界品位降低而使连续样段的平均品位低于最低工业品位的要求,从而成为边际经济的,储量因此而降低。这一影响随着边界品位的降低而增加。这两种影响的综合结果如图3所示。

4) 本矿区 Au 品位变化系数为 65%, 计算在尾部概率为 0.25 时的品位下限 x_b 。

$$x_b = \bar{x} - 0.33 \cdot \sigma = \bar{x} \cdot (1 - 0.67 \cdot V)$$

式中: $\bar{x}$ 为平均值, V 为变化系数。

计算结果列于表3中。最低工业品位为 0.97×10^{-6} , 品位下限 x_b 大于最低工业品位时,其估值大于“真值”;反之,若品位下限 x_b 小于最低工业品位时,

则估值小于“真值”。

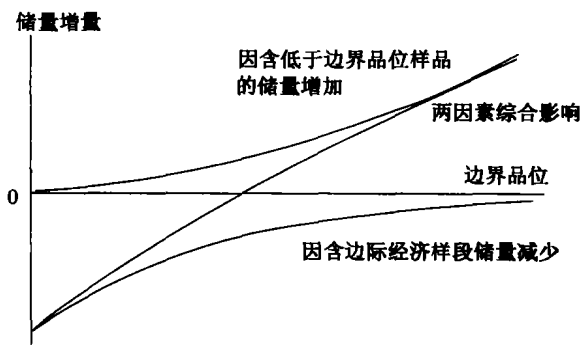


图3 影响储量因素示意图

5) 品位下限 x_b 接近于最低工业品位的方案,是可以最大限度地利用矿产资源,而又不致使品位降低到不可接受的方案。从这个角度讲,是较优方案。选择若干个上述方案进行方案试算可从中选出最优方案。

[参考文献]

- [1] 侯德义. 找矿勘探地质学[M]. 北京:地质出版社,1984.
- [2] 赵鹏大,李万亨. 矿床勘查与评价[M]. 北京:地质出版社,1988.
- [3] 赵鹏大,胡旺亮,李紫金. 矿床统计预测(第二版)[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [4] 池顺都. 矿体标志值的统计特征和空间特征[J]. 地质与勘探, 1983, 21(9): 30~36.

APPLICATION OF GRADE STATISTICAL ANALYSIS AND THE PREDICTION RESULTS OBTAINED BY SCHEME METHOD TO OPTIMIZATION OF DEPOSIT INDUSTRIAL INDEX

CHI Shun - du, LIU Zhi - guo, ZHU Jian - dong

(College of earth resources, China university of geosciences, Wuhan 430074)

Abstract: During the study of optimization of deposit industrial index, the results of grade statistical analysis can provide information on the statistical distribution characteristics of grade, and help decide how to plot study unit. These results are also useful in predicting the approximate results of average grade, the increasing of ore reserves and the increasing of metal reserves obtained from the scheme method. Thus, the predictability of the scheme method is enhanced, and the times of scheme test can be decreased.

Key words: grade, scheme method, deposit industrial index, statistical analysis