

26-30, 64

矿床储量规模的统计划分

蒋志

(北京 1604 信箱 · 100012)

p 624.7



作者学术简历 蒋志, 1939 年生于吉林省扶余县, 1964 年毕业于中国科学技术大学地球化学系, 先从事铀矿勘查, 后从事金矿勘查。现任武警黄金指挥部总工程师, 兼任全国矿产资源委员会委员、李四光奖评委, 并在一些学术团体和科技期刊编委会中任职。主要学术方向是地球脉动学说, 统计地球化学和地质矿产经济, 对哲学和一般经济学也有一定的兴趣。主要著作有《地质体运动理论及其应用》(科学出版社, 1995)、《地质勘查效益理论》(冶金出版社, 1992)、《矿床效益估计的理论和方法》(地质出版社, 1995)、《统计认识论》(华夏出版社, 1996)、《中国地壳演化与矿产分布图集》(地质出版社, 1996)等。

摘要 根据统计地球化学, 矿床储量呈对数正态分布, 其对数的平均值和方差分别为 m 和 σ^2 。据此, 本文提出一种新的矿床储量规模划分公式: $\eta_n = \exp[m + (n - \frac{1}{2})\sigma]$, $n=0, 1, 2, 3, 4$ 。

关键词 矿床储量 统计分布 规模划分

统计

矿床储量规模的划分对矿床的工业利用具有一定的指导意义, 历来被地勘部门和矿业部门所重视。为此, 1987 年地质出版社出版了全国矿产储量委员会(现为全国矿产资源委员会)办公室主编的《矿产工业要求参考手册》的修订版, 其中的附录——即为矿床规模划分标准参考资料。这里的标准是我国矿产勘查和开发的工作经验总结, 与实际情况符合。

本文的工作主要考虑了如下两个问题:

第一, 上述方案中只划分了大型、中型和小型矿床的界限, 实际上只规定了中型矿床的上、下界限。从统计资料(表 1)看, 中型矿床的上、下限储量比值以 5 和 10 居多。而 5 倍和 10 倍有强烈的人为取整因素, 与矿床储量的实际分布可能会有某种偏离。

第二, 世界不同地区成矿背景不同, 矿床

的储量分布也不同, 矿床储量规模的划分也应不同。

因此, 我们应寻求一种既能够直接反映中国矿床储量分布特点的、又非常靠近前述经验标准的、也可用于世界其他地区的矿床储量规模划分方法。

初看起来, 做到这点并非易事。但根据矿床储量分布特点, 做到这一点却是可能的。以中国的金属矿床为例, 根据统计地球化学理论^[1,2], 可得到我国金属矿床储量 η 的分布(见图) $F(\eta)$ 遵从如下公式^[3]:

$$F(\eta) = \Phi\left(\frac{\ln \eta - m}{\sigma}\right) \quad (1)$$

式(1)中, $\Phi(x)$ 为如下概率积分(本文下同):

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2)$$

本文 1996 年 9 月收到, 王纯烈编辑。

表1 中型矿床储量上、下界限的比值^[1]

储量上、下界限的比值	矿种数
1	—
2	1
3	2
4	15
5	56
6	2
7	—
8	2
9	—
10	50
合计	128

式(1)的参数 m 和 σ 的数值如表2。

从式(1)看,矿床储量的几何平均值 η_n

和算术平均值 $\bar{\eta}$ 分别为

$$\left. \begin{aligned} \eta_n &= e^m \\ \bar{\eta} &= e^{m + \frac{\sigma^2}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

比较表1和表2,可看到如下相似处:

中型矿床储量上、下界限比值有两个集中区;2—6的集中区,以5居多;8—10的集中区,以10居多。

e^σ 值也有两个集中区;3—6的集中区,以5~6之间的数值居多;7—10的集中区,以9~10之间的数值居多。

这种比较表明,可用 e^σ 做为矿床储量同一规模区间上、下限储量的比值。问题是要选定储量区间的起点。选择的原则是,一要尽量靠近经验方案;二要尽量简洁明了。

考虑式(3)和表1、表2的比较结果,矿床储量规模的第 n 个界限值 η_n 的恰当表示应为下式:

$$\eta_n = e^{m + n\sigma - a} \quad (4)$$

式(4)中, m 表示 e^m 项,与矿床储量平均值有关,由式(3)得来; $n\sigma$ 表示 n 个 e^σ 的乘积,与相邻储量规模界限的比值有关; a 为待定参数,选择的原则是使所定的储量规模界

表2 我国主要金属矿床统计参数^[2]

矿种	m	σ	e^σ
银	4.995	1.543	4.7
铍	9.064	1.693	5.4
汞	5.193	1.833	6.3
铜	9.229	2.214	9.2
铅	9.701	1.705	5.5
锌	10.025	1.987	7.3
钨	8.722	2.012	7.5
钼	8.417	2.297	9.9
锡	8.476	1.684	5.4
锰	6.287	2.167	8.7
钴	6.695	1.780	5.9
镍	9.695	2.256	9.5
铁	8.284	2.020	7.5
铝	8.000	1.535	4.6
铬	4.128	2.190	8.9
岩金	1.150	1.443	4.2
砂金	0.387	1.117	3.1

(储量单位见表3附注)

限公式尽量靠近经验方案。

试算表明,当取 $a = -\frac{\sigma}{2}$ 时,结果比较理想。因此,式(4)变为下式:

$$\eta_n = e^{m + (n - \frac{1}{2})\sigma} \quad (5)$$

对中型矿床来说,储量下限和上限分别相当 $n=1$ 和 $n=2$,计算与经验方案比较于表3。两者的相关系数是:下限为0.9732;上限为0.9787,相关性较好。

把上述讨论推广到大型矿床的储量上限或超大型矿床的储量下限,取 $n=3$,则我们有如下矿床规模系列:

$$\eta_{小} < \eta_1 \leq \eta_{中} < \eta_2 \leq \eta_{大} < \eta_3 \leq \eta_{超} \quad (6)$$

式(6)中, $\eta_{小}$ 、 $\eta_{中}$ 、 $\eta_{大}$ 、 $\eta_{超}$ 分别为小型、中型、大型和超大型矿床的储量。式(6)就是本文提出的矿床储量规模统计划分,在实际计算时,为了便于应用,对 η_n 的值只取两位有效,如 $\eta_1 = 74982$ 时,取 $\eta_1 \approx 75000$ 。

表 3 中型矿床储量上、下限的计算与经验比较^[3]

矿种	储量下限		储量上限	
	经验方案	n=1 的式(5)计算	经验方案	n=2 的式(5)计算
银	200	321	1000	1495
锑	10000	20030	100000	108554
汞	500	739	2000	4605
铜	100000	30792	500000	280688
铅	100000	39144	500000	225258
锌	100000	74982	500000	548531
钨	10000	16815	50000	126753
钼	10000	14328	100000	142914
锡	5000	10938	40000	58689
锰	2000	1596	20000	13975
钼	2000	1959	20000	11614
镍	20000	50514	100000	484077
铁	10000	10829	100000	81634
铝	5000	5245	20000	24222
铬	1000	186	5000	1661
岩金	5	6	20	27
砂金	2	3	8	8
相关系数	0.9732		0.9787	

锰、铁、铝、铬为矿石量(kt),其余为金属量(t)

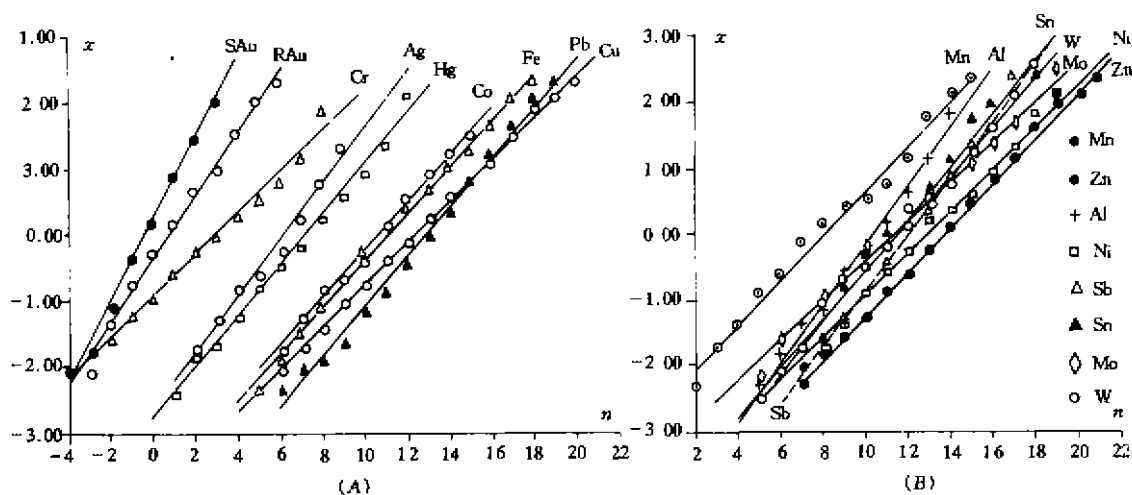
按照这样的划分,把中国的主要金属矿床储量规模界限与经验方案比较于表 4。从表 4 看,这样的划分不但有理论意义、实际意义,而且有国际通用的意义。对中国以外的世界其他地区,对同一矿种来说,不同的可能只是参数 m 和 σ 。

当然,考虑中国乡镇发展矿业的需要,还可以从小型矿床中区分出微型矿床。用 $\eta_{微}$ 表示其储量时, $\eta_{微} < \eta_0$, 则小型矿床的储量被局限在 $\eta_0 \leq \eta_{小} < \eta_1$ 的范围内;考虑世界上存在着规模更大的矿床,还可以进一步从超大型矿床中区分出巨型矿床。用 $\eta_{巨}$ 表示巨型矿床储量时,可取 $\eta_{巨} \geq \eta_4$, 则超大型矿床的含量被局限在 $\eta_3 \leq \eta_{巨} < \eta_4$ 的范围内。为此,在表 4 列出了 η_0 和 η_4 的值,并以(微)和(巨)分别表示小型矿床中的微型矿床范围和超大型矿床的巨型矿床范围。这样,式(6)可被扩充为:

$$\eta_{微} < \eta_0 \leq \eta_{小} < \eta_1 \leq \eta_{中} < \eta_2 \leq \eta_{大} < \eta_3 \leq \eta_{巨} < \eta_4$$

把式(5)代入式(1)可得

$$F(\eta_0) = \Phi\left(n - \frac{1}{2}\right) \quad (8)$$



矿床储量分布图(2)

x—标准正态变量;n—矿床储量 η 的指数,即 $\eta = 2^n t$;SAu—砂金矿;RAu—岩金矿

表 4 矿床储量规模的统计划分与经验划分¹⁾

矿床规模		(微)	小型	中型	大型	超大型	(巨)
式(5)的 n 值		0	1	2	3*	4	
银	计算	69	320	1500	7000	33000	
	经验		200	1000	5000		
锑	计算	3700	20000	110000	590000	3200000	
	经验		10000	100000	500000		
汞	计算	120	740	4600	29000	180000	
	经验		500	2000	10000		
铜	计算	3400	31000	280000	2600000	23000000	
	经验		100000	500000	2500000		
铅	计算	6800	39000	230000	1300000	7500000	
	经验		100000	500000	2500000		
铋	计算	10000	75000	550000	4000000	29000000	
	经验		100000	500000	2500000		
钨	计算	2200	17000	130000	960000	7200000	
	经验		10000	50000	250000		
钼	计算	1400	14000	140000	1400000	14000000	
	经验		10000	100000	500000		
锡	计算	2000	11000	59000	310000	1700000	
	经验		5000	40000	200000		
铌	计算	180	1600	14000	120000	1000000	
	经验		2000	20000	100000		
钴	计算	330	2000	12000	69000	410000	
	经验		2000	20000	100000		
镍	计算	5300	51000	480000	4600000	44000000	
	经验		20000	100000	500000		
铈	计算	1400	11000	82000	620000	4600000	
	经验		10000	100000	500000		
铝	计算	1100	5200	24000	110000	520000	
	经验		5000	20000	100000		
铈	计算	21	190	1700	15000	130000	
	经验		1000	5000	25000		
岩金	计算	2	6	27	120	490	
	经验		5	20	100		
砂金	计算	1	3	8	24	74	
	经验		2	8	40		

* 按照徐光炘先生意见,即为大型矿床下界 5 倍推定的经验值。储量单位见表 3 附注。

式(8)是矿床储量 $\eta \leq \eta_n$ 的矿床个数比率。因此,由式(6)和式(8)可得到不同储量规模的矿床个数比率分别为:

$$F(\eta_n < \eta_1) = \Phi\left(\frac{1}{2}\right) \approx 38.30\% \quad (\text{小型矿床})$$

$$F(\eta_1 \leq \eta_n < \eta_2) = \Phi\left(1\frac{1}{2}\right) - \Phi\left(\frac{1}{2}\right) \approx 24.17\% \quad (\text{中型矿床})$$

$$F(\eta_2 \leq \eta_n < \eta_3) = \Phi\left(2\frac{1}{2}\right) - \Phi\left(1\frac{1}{2}\right) \approx 6.06\% \quad (\text{大型矿床})$$

$$F(\eta_n \geq \eta_3) = 1 - \Phi\left(2\frac{1}{2}\right) \approx 0.60\% \quad (\text{超大型矿床})$$

这些计算表明,小型矿床个数比率最多;从小型矿床到超大型矿床,矿床个数比率递减。当然也可以根据式(7)和式(8)估计出小

型矿床中微型矿床的比率和超大型矿床中的巨型矿床比率。

由以上的讨论可见,在矿床储量规模的统计划分中,不同矿种同一储量规模矿床个数比率是一定的。但不同矿种同一储量规模的矿床储量比率却不是一定的,因为从式(1)可知,矿床储量 η 的比率 $F_1(\eta)$ 为下式:

$$F_1(\eta) = \frac{\int_0^{\eta} \eta dF(\eta)}{\int_0^{\infty} \eta dF(\eta)} \\ = \Phi\left(n - \frac{1}{2} - \sigma\right) \quad (9)$$

式(9)表明,矿床储量比率 $F_1(\eta)$ 与储量对数的均方根差 σ 有关,而不同矿种的 σ 值不同。

根据式(9),不同矿床规模的储量比率分别为下式:

$$F_1(\eta_1 < \eta_2) = \Phi\left(\frac{1}{2} - \sigma\right) \quad (\text{小型矿床})$$

$$F_1(\eta_1 \leq \eta_2 < \eta_3) = \Phi\left(1 - \frac{1}{2} - \sigma\right) - \Phi\left(\frac{1}{2} - \sigma\right) \quad (\text{中型矿床})$$

$$F_1(\eta_2 \leq \eta_3 < \eta_4) = \Phi\left(2 - \frac{1}{2} - \sigma\right) - \Phi\left(1 - \frac{1}{2} - \sigma\right) \quad (\text{大型矿床})$$

$$F_1(\eta_4 \geq \eta_1) = 1 - \Phi\left(2 - \frac{1}{2} - \sigma\right) \quad (\text{超大型矿床})$$

从表 2 看, σ 值在 1.1~2.3 之间,则上式中中型矿床或大型矿床的储量比率较大;小型和超大型矿床的储量比率较小。

此外,根据统计划分结果,目前我国已探明的矿床中,有 35 个矿床属超大型矿床,按矿床储量与相应的超大型矿床下限储量的比值 η/η_1 从大到小排序,它们是:

1. 内蒙包头市白云鄂博稀土矿;
2. 辽宁鞍山市大孤山—东西鞍山—红旗铁矿;
3. 江西德兴县德兴铜矿;
4. 辽宁辽阳市弓长岭铁矿;
5. 云南兰坪县金顶铅锌矿;
6. 四川攀枝花市红格铁矿;

7. 云南个旧锡矿;
8. 河北滦县司家营铁矿;
9. 广西南丹县大厂铜坑锡矿;
10. 云南个旧砂锡矿;
11. 西藏江达县玉龙铜矿;
12. 辽宁鞍山市齐大山—眼前山铁矿;
13. 甘肃金昌市金川钴矿(铜镍矿中);
14. 辽宁本溪市南芬铁矿;
15. 河南灵宝—陕西潼关文峪—东沟金矿;
16. 山东莱州市新城—焦家金矿;
17. 云南澜沧县惠民铁矿;
18. 贵州清镇县猫厂铝矿;
19. 四川攀枝花市攀枝花铁矿;
20. 江苏南京市栖霞山铅锌矿;
21. 山西岚县袁家村铁矿;
22. 河北迁安县水厂铁矿;
23. 黑龙江呼玛县达拉罕—韩家园子—吉龙沟沙金矿;
24. 四川西昌县太和铁矿;
25. 山东招远市玲珑—台上岩金矿;
26. 山西代县山羊坪铁矿;
27. 甘肃金昌市金川(白家咀子)铜镍矿;
28. 贵州万山汞矿;
29. 广西平果县那豆铝矿;
30. 广东仁化县凡口铅锌矿;
31. 广西大新县下雷锰矿;
32. 黑龙江桦南砂金矿;
33. 山西垣曲县铜矿峪铜矿;
34. 黑龙江呼玛县瓦西里—兴隆沟砂金矿;
35. 内蒙古乌拉特后旗东升庙硫铅锌矿。

其中,白云鄂博稀土矿可能是世界级的巨型矿床,其铁矿储量也具超大型规模,位于第 11 和第 12 位之间。

本文的一些统计资料是白万成、董建乐
(下转第 64 页)

附表 污染前锋地下水六价铬含量变化表

(mg/l)

项 目		最高值	平均值	最高值	平均值	最高值	平均值
1981 年		0.141	0.077	0.14	0.106	0.111	0.046
竣	1982 年	0.090	0.021	0.16	0.061	0.056	0.022
工	1983 年	0.032	0.010	0.056	0.026	0.040	0.0064
后	1984 年	0.016	0.0063	0.032	0.015	0.016	0.0037

注:饮用水六价铬含量不得超过 0.05mg/l。

实践说明,本防渗墙已达到了原设计所预期的效果。防渗墙工程的总投资(决算)为 421 万元,相当于过去 18 年铬污染治理费用(1100 万元)的 1/3 左右,从资金回收年限来看,防渗墙建成后 3~4 年,就能抵偿全部投资。

6 结语

(1)采用地下防渗墙把铬渣场封闭起来,

制止污染源继续进入地下水,对于其他工业废渣造成的地下水污染也是可行的。在目前条件下,无论从技术上,还是从经济上看,都是一种切实可行的办法。

(2)位于污染环境中的抗渗墙,与普通的防渗墙有许多不同之处,它的设计和施工方面都必须解决一些特殊问题。

GROUNDWATER POLLUTION CONTROL BY UNDERGROUND CONTINUOUS WALL

Cong Aisen

A controlling method of seriously polluted groundwater is introduced in this paper. That is a underground wall is built, its bottom end goes down to the impermeable rock strata, and a "underground basin" is formed, so that the pollutant can be enclosed in it, then controlling the pollutant in the closed trap so as to bring groundwater pollution under permanent control.

Key words impervious wall, pollution, control, Cr⁶⁺

(上接第 30 页)

等做出的,文内方法已用于《中国地壳演化与矿产分布图集》的编制^[3],特此说明并表示感谢。

参考文献

- 1 蒋志.统计地球化学若干理论问题.地质与勘探,1987(2):55~68.
- 2 蒋志.地质体运动理论及其应用.北京:地质出版社,1995.237~249.
- 3 蒋志等.中国地壳演化与矿产分布图集.北京:地质出版社,1996.98~102.

STATISTICAL DIVISION ON THE SCALE OF ORE DEPOSITS

Jiang Zhi

Abstract On the basis of statistical geochemistry, reserves distribution of ore deposits is lognormal, the mean of the reserves logarithm and the variance are respectively m and σ^2 . Accordingly, a new formula, $\eta_n = \exp[m + (n - \frac{1}{2})\sigma]$, $n = 0, 1, 2, 3, 4$, of division on scale for ore deposits was advanced in this paper.

Key words reserves of ore deposits, statistical distribution, division of scale