

试用数理统计方法予测

超基性岩体的含矿(铬)性

西北地质科学研究所 夏林圻

长期以来,如何利用岩石化学分析资料,予测超基性岩体的含矿(铬)性,始终是一个悬而未决的问题。国内外文献中所发表的一些超基性岩岩石化学计算方法,往往只侧重于“恢复原岩”和岩石化学成分特征的研究,很少与岩体的含矿规模大小相联系。一段时期内也曾有过这么一种说法,即超基性岩体若镁铁比值高,有利于铬铁矿生成。多年来的大量实际工作证明,镁铁比值的高低,只影响岩体中所含铬铁矿质量的优劣,而对于铬铁矿的生成与否及其规模大小并无实质性的影响。实践表明,利用现有各种岩石化学计算的数值特征,并不能够有效的判别超基性岩体的含矿(铬)性。因此,积极探索一种有效的新方法,来统计、分析、归纳大量的岩石化学分析数据,并使其为铬铁矿予测和评价工作服务,就成为当前大多数铬铁矿地质工作者所共同关心的问题之一。近十年来,概率论和数理统计学等随机体系数学在地质学中的广泛引进,为解决这一问题开辟了一条新的途径。

目前,我国有关超基性岩石化学分析资料已有较多积累,不少岩体均已进行了一定程度的含矿(铬)性地质评价工作,而且某些岩体的含矿规模业已初步探明,这就给初次探索利用数理统计方法予测岩体的含矿性带来了很大的方便。

本着从已知到未知这样一个认识论的法则,笔者首先选择我国西北地区陕西、甘肃、青海三省八个地质研究程度较高的超基性岩体,利用数理统计方法对岩体岩石中 Cr_2C_3 含量(共318个岩石化学分析数据)的概率分布参数进行计算。然后将各种参数与已知的岩体含矿性进行对比。发现某些参数值与含矿性之间存在着比较密切的规律性联系。

几种概率分布参数

概率论和数理统计学是对自然界中一些大量出现初看起来似乎是偶然的现象,运用数理统计分析的方法,找出其中规律性内在联系的一门学科。当我们利用此法研究每一岩体岩石中 Cr_2O_3 的概率分布特征时, Cr_2O_3 的化学分析数据愈多愈好,数据愈多,样品采集面愈广,分布愈均匀,愈有代表性,效果也愈佳。超基性岩体中 Cr_2O_3 的概率分布参数应当计算如下几种:

1、算术平均含量 (\bar{X})。

2、均方差 (σ_x)：表示岩体中 Cr_2O_3 分析数据的分散程度。均方差值愈大，数据愈分散，均方差值愈小，数据愈集中于平均值附近。

3、变化系数 (V)：均方差与平均含量之比称为变化系数，通常以百分数表示：

$$V = \frac{\sigma_x}{\bar{X}} \times 100\%$$

变化系数是一个相对数。由于各个岩体 Cr_2O_3 的平均含量往往很不一致， Cr_2O_3 含量较高时（即 \bar{X} 值较大时），其均方差值也较大，因此用均方差不能很好的对比各岩体中 Cr_2O_3 分布的分散程度，这时用变化系数就便于比较平均含量不同的岩体的 Cr_2O_3 数据的分散性。

4、三阶中心矩 (μ_3) 和偏倚系数 (Cs)：三阶中心矩 (μ_3) 和偏倚系数 (Cs) 用来表示 Cr_2O_3 分析数据概率分布的偏倚特征。所谓偏倚特征即是指概率分布的对称程度。当 Cr_2O_3 分析数据的概率分布曲线对称时，称为正态分布，此时 μ_3 等于零。当概率分布曲线呈现明显的歪斜现象时，则称为非正态分布或偏倚分布， $\mu_3 < 0$ 为“负偏”， $\mu_3 > 0$ 为“正偏”。除 μ_3 外，数理统计学中也还常用偏倚系数 ($Cs = \mu_3 / \sigma_x^3$) 来衡量分布的偏倚程度，Cs 值没有一定的界限，也不及 μ_3 值来的精确。偏倚程度一般是表示岩体中 Cr_2O_3 分布的均匀程度，愈不均匀，偏倚程度愈大。

上述各种参数的计算公式在表 1 内已经列举，而且在许多专门数理统计学书籍中均有详细介绍，在此不再赘述。

各种概率分布参数 与岩体含矿（铬）性之间的关系

铬铁矿是与超基性岩有关的岩浆矿床，这一点目前已为世界绝大多数地质工作者所公认。尽管在矿床成因方面还有岩浆早期分异、岩浆晚期分异、岩浆晚期贯入以及熔离等等成因分类之论，但是总的说来，不外乎就地分异和深部分异二个大类。基于这样的成因分析，可以认为整个超基性岩浆体中 Cr_2O_3 分布的愈不均匀，其富集成矿的可能性也就愈大。换言之，若用数理统计学的语言加以说明，也就是岩体中当 Cr_2O_3 概率分布的偏倚程度愈大时，愈易于富集成矿。

1. 利用分布参数判断岩体含矿与否

不含矿的甘肃 E 岩体中， Cr_2O_3 的概率分布参数比较接近于正态分布律，三阶中心矩 (μ_3) 数值很小，为小数点后面 4 位数，且为负值（表 1），偏倚系数 (Cs) 等于 -0.591，分布曲线偏倚程度不大，近于对称，稍有“负偏”（下图）。均方差 (σ_x) 与变化系数 (V) 较小。这些特点均表明 Cr_2O_3 分析数据的分散程度较小，大部分数据集中于平均含量 0.32% 附近。同时也表明岩体中 Cr_2O_3 的分布比较均匀，而且低含量者较多，造成 $\mu_3 < 0$ ，出现负偏，因此本岩体中不利于 Cr_2O_3 富集成矿。

研究七个含矿岩体 Cr_2O_3 的概率分布特点，可以看出，含矿岩体 Cr_2O_3 的含量平均数 (\bar{X})、均方差 (σ_x)、变化系数 (V) 等参数值均较之不含矿岩体为高，偏倚系数 (Cs) 均大于 0.5， $\mu_3 > 0$ 、分布曲线明显“正偏”。这些特点表明含矿岩体中 Cr_2O_3 分析数值分

陕西、甘肃、青海某些超基性岩体中三氧化二铬的概率分布参数

表 1

岩体名称	铬矿规模	样品数	Cr ₂ O ₃ 含量变化区间(重量%)	含量平均数(重量%) \bar{X}	均方差 σ_x	变化系数 V	三阶中心矩 μ_3	偏倚系数 Cs	成矿系数 pcr
甘E	无矿	40	0.16—0.45	0.32	0.07	22.03	-0.000204	-0.591	-0.204
A	矿化	60	0.20—0.77	0.37	0.109	29.47	0.000899	0.69	0.899
H	矿化	36	0.25—0.76	0.41	0.103	24.91	0.001618	1.46	1.618
L	小型	25	0.20—1.00	0.49	0.246	50.04	0.013105	0.88	13.105
Ln	小型	20	0.06—1.28	0.47	0.296	62.45	0.037977	1.427	37.997
青E	小型	62	0.08—1.85	0.54	0.312	57.80	0.063865	2.09	63.865
S	中型	46	0.04—1.72	0.57	0.291	51.16	0.048292	1.95	48.292
D	大型	37	0.15—1.99	0.64	0.376	58.75	0.063549	1.19	63.549

注：铬矿规模系指目前已经查明的含矿规模；

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot x_i}{N} ; \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i \cdot (X_i - \bar{X})^2} ;$$

$$\mu_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 f_i ; \quad pcr = \mu_3 \times 1000$$

散，Cr₂O₃的分布不均匀，而且高含量者较多，所以利于Cr₂O₃富集成矿。

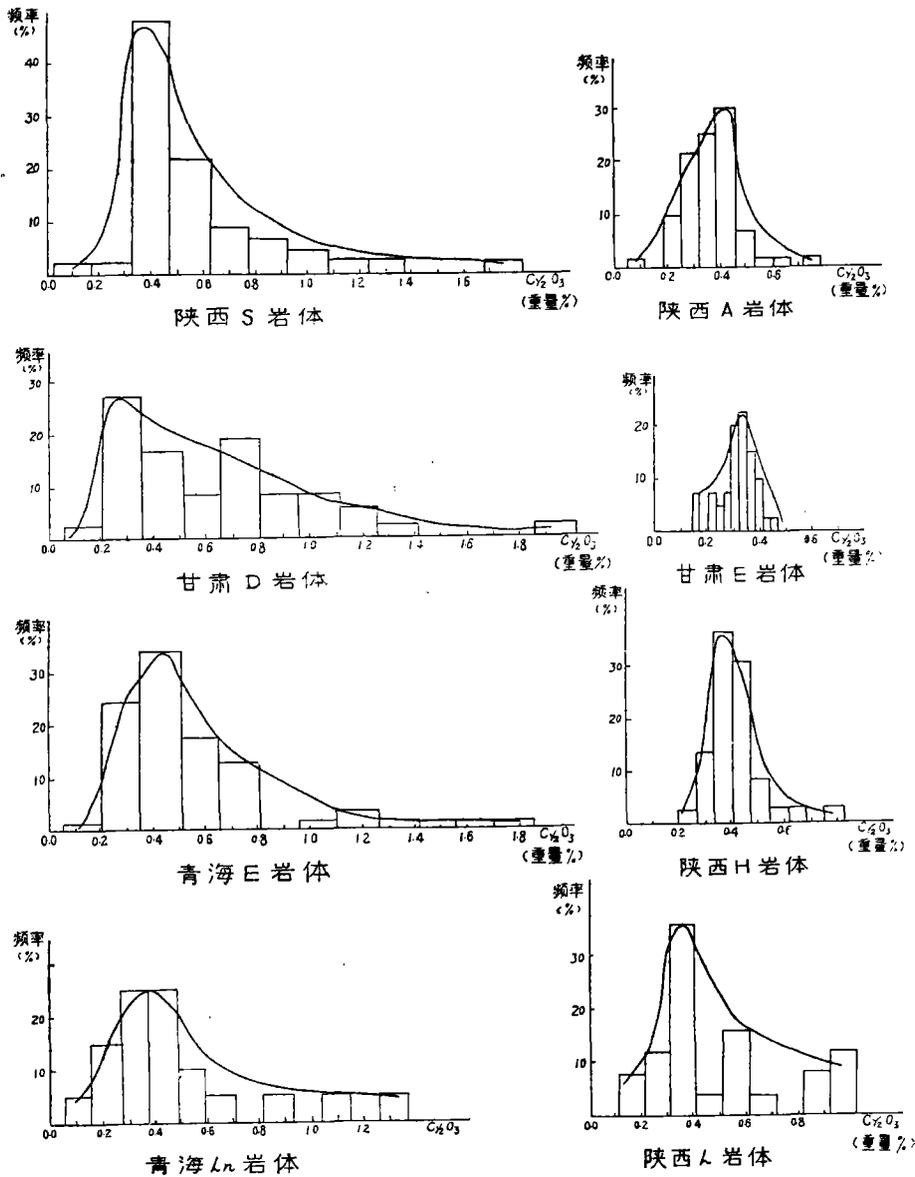
2. 利用 μ_3 值和pcr值预测含矿岩体的含矿规模

上述这些较为粗略而笼统的特点，1968年 II·A·马拉霍夫在运用数理统计方法研究苏联乌拉尔超基性岩体的含矿(铬)性时，亦曾有过同样类似的发现。但是，当我们把这些参数值与已探明的岩体含矿规模相对比时，发现这些参数值的大小与含矿规模之间的正比线性消长关系不十分显著，因此，这些参数只能用来大致的判断一下岩体的含矿程度，并不能用来较为准确的预测岩体的含矿规模。马拉霍夫在1968年他的那篇文章中并未解决这个问题，他对含矿规模的预测问题甚至根本就没有涉及。

为了探索解决这个问题，笔者绘制了Cr₂O₃概率分布曲线图，计算了三阶中心矩，结果发现，岩体的含矿规模与分布曲线的非正态(即偏倚)程度之间存在着比较明显的规律性关系。含矿规模愈小，分布曲线愈近于对称—正态分布；含矿规模愈大，分布曲线的正偏倚程度愈强。而且 μ_3 的数值大小还可以近似定量的反映出这一规律性变化：矿化岩体的 μ_3 值小于0.01；含小型矿床岩体的 μ_3 值介于0.01—0.03之间；含中型矿床岩体的 μ_3 值介于0.03—0.05之间；含大型矿床岩体的 μ_3 值大于0.05。为了更清楚的反映这一规律，笔者将 μ_3 值乘上1000，并以“成矿系数”(pcr)表示。矿化岩体的pcr值介于0.5—10之间；含矿

规模小型岩体的 ρ_{Cr} 值介于10—30之间，含矿规模中型岩体的 ρ_{Cr} 值介于30—50之间，含矿规模大型岩体的 ρ_{Cr} 值大于50。

这里需要指出，青海Ln岩体和青海E岩体的 ρ_{Cr} 值很高，与该二岩体已查明的铬铁矿规模不太相称，而分别与含矿规模中等的陕西S岩体及含矿规模大型的甘肃D岩体的 ρ_{Cr} 值大致相似。据此，并结合对青海Ln、E二岩体地质情况的分析，笔者初步预测在该二岩体中如果通过进一步的工作，有可能发现相当于S和D岩体中那样规模的矿床。



超基性岩体 Cr_2O_3 含量频率分布图 (直方图及分布曲线)

3、利用分布参数判断含矿岩相

我们选择岩石化学分析数据较多的陕西H、S岩体，青海E岩体和甘肃D岩体，分别对纯橄岩和辉橄岩（包括橄榄岩和辉石岩）的各种分布参数进行计算（表2）。发现H、S、D三岩体中纯橄岩的 μ_3 和 ρ_{cr} 值明显地高于辉橄岩的 ρ_{cr} 值。也就是说，纯橄岩中 Cr_2O_3 的概率分布呈现清楚的非正态和“正偏”特征。而辉橄岩中 Cr_2O_3 的概率分布则与正态分布律比较接近。此外，纯橄岩的 \bar{X} 、 σ_x 值也较高。这些特点均表明H、S、D三个岩体的纯橄岩相中， Cr_2O_3 的分布不均匀，高含量者较高，利于 Cr_2O_3 富集成矿，纯橄岩相应为含矿岩相。这一推断与地质观察研究结果完全一致。

某些岩体中各岩类三氧化二铬的概率分参数

表 2

岩体	岩石	含量变化区间 (重量%)	样品数	含量平均数 (重量%) \bar{X}	均方差 σ_x	变化系数 V	三阶中心矩 μ_3	偏倚系数 Cs	成矿系数 ρ_{cr}
H	纯橄岩	0.25—0.76	22	0.41	0.113	27.54	0.002288	1.59	2.288
	辉橄岩	0.28—0.67	14	0.43	0.08	18.68	0.000874	1.68	0.874
S	纯橄岩	0.04—1.24	28	0.59	0.217	36.78	0.014644	1.44	14.644
	辉橄岩— 辉石岩	0.32—0.65	17	0.46	0.115	24.99	0.001349	0.89	1.349
D	纯橄岩	0.38—1.99	16	0.92	0.3538	38.46	0.057677	1.30	57.677
	辉橄岩— 辉石岩	0.15—1.09	21	0.43	0.217	50.46	0.015409	1.51	15.409
E	纯橄岩	0.26—1.58	23	0.64	0.306	47.74	0.042829	1.50	42.829
	辉橄岩	0.07—1.85	39	0.49	0.306	62.49	0.076227	2.65	76.227

甘肃E岩体中纯橄岩岩相带和辉橄岩岩相带的 μ_3 、 ρ_{cr} 值均较高，说明该二岩相带中均有可能成矿，应同为含矿岩相，这一点与地质观察研究结果亦相吻合。

综上所述，运用概率论和数理统计方法，研究超基性岩体中 Cr_2O_3 的概率分布特点（正态和偏倚程度），可以成为超基性岩体成矿（Cr）远景预测工作中一个值得参考利用的方法。该方法不仅可以在铅铁矿成矿预测中加以运用，而且亦有不少文献报导，其对于火成侵入体中其它矿产的成矿性预测也有一定效果。A·B·维斯捷利乌斯甚至认为，元素在侵入体中的概率分布若为偏倚，则表明该元素可能形成富集这一特征规律，可以做为地球化学作用的一个基本规律来看待。

鉴于笔者数理统计知识贫乏，所搜集的岩石化学分析数据也太少，因此本文所报导的一些情况，是否可以成为一种普遍性的规律，还有待今后进一步在实践中加以检验、修改、补充和完善。