

DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.2018.05.20

# 区域地球化学评价中变异系数校正参数的意义

刘明义<sup>1,2</sup>, 张晶<sup>1</sup>, 孟广路<sup>1</sup>, 胡立<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069;  
3. 中化地质矿山总局 陕西地质勘查院, 陕西 西安 710075)

**摘要:** 通过对我国新疆西天山各地球化学区数据的归纳和研究, 计算西天山 12 种常见成矿元素在各地球化学区的富集系数, 提出校正系数公式, 并将变异系数进行合理的校正与排序。与实际矿床和矿点结合, 验证校正系数的正确性和适用性, 预测元素成矿有利顺序和规律, 总结出西天山富集系数与变异系数在成矿中的制约关系。该方法实现了不同成矿元素之间成矿条件的对比, 拓宽了地球化学参数的适用性, 提高了在勘探程度较低的地区地球化学评价方法的准确性, 为地球化学评价提供科学依据。

**关键词:** 校正参数; 变异系数; 地球化学方法; 地球化学区; 新疆西天山

**中图分类号:** P595 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8527(2018)05-1074-06

## Significance of the Correction Parameters of Variation Coefficient in Regional Geological Evaluation

LIU Mingyi<sup>1,2</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>, MENG Guanglu<sup>1</sup>, HU Li<sup>3</sup>

(1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. Department of Geology, Northwestern University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

3. Shaanxi Geological Exploration Institute of Geology and Mine Bureau, Xi'an, Shaanxi 710075, China)

**Abstract:** By summarizing and studying the data of geochemical divisions in the west Tianshan of Xinjiang, China, the enrichment coefficients of 12 common ore-forming elements are calculated; the correction coefficients formula is put forward, and variation coefficients are reasonably corrected and sorted. Combining with the case deposit and mineralized points, the validity and applicability of correction coefficients is confirmed and the restrictive relationship between enrichment coefficients and variation coefficients in ore-forming process is summarized. By this way, it is possible to compare the ore conditions among different ore-forming elements and the applicability of geochemical parameters is broadened. Besides, the study improves the accuracy of geochemical evaluation methods in low exploration degree areas and provides scientific basis for geochemical evaluation.

**Key words:** correction parameter; variation coefficient; geochemical method; geochemical division; west Tianshan mountain of Xinjiang

收稿日期: 2018-01-02; 改回日期: 2018-05-23; 责任编辑: 戚开静。

基金项目: 中国地质调查局基础性公益性地质矿产调查二级项目“乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦及邻区矿产资源潜力评价”(121201011000150010)。

作者简介: 刘明义, 男, 工程师, 1987 年出生, 矿产普查与勘探专业, 主要从事沉积地球化学等方面的研究。  
Email: liumingyi06206135@126.com。

引用格式: 刘明义, 张晶, 孟广路, 等. 区域地球化学评价中变异系数校正参数的意义 [J]. 现代地质, 2018, 32(5): 1074-1079.

LIU Mingyi, ZHANG Jing, MENG Guanglu, et al. Significance of the Correction Parameters of Variation Coefficient in Regional Geological Evaluation [J]. Geoscience, 2018, 32(5): 1074-1079.

0 引言

地球化学勘查数据中蕴藏着大量的地质信息，在圈定地质异常、预测成矿元素分布规律和选区评价中有显著的优势。因此，勘查地球化学是现今快速、极具活力的勘查方法之一，尤其在勘探程度较低的地区更为便捷、有效。目前，地球化学勘查评价在找矿和资源潜力评价方面向定量、半定量转变<sup>[1]</sup>，许多研究者相继提出了丰度、富集系数、变异系数、成矿有利度、矿物质量等系列地球化学评价参数<sup>[2-8]</sup>。其中，变异系数是评价元素分异程度的重要参数。在物质条件(背景值)相同的情况下，变异系数大的元素分异程度高，易于局部富集成矿。多年来变异系数虽然在分析单元素成矿规律方面得到了广泛应用并起到了较好的效果<sup>[2-9]</sup>；但在区域资源潜力评价中<sup>[8-11]</sup>，同一地区简单地依据单元素变异系数排序预测元素成矿有利顺序并不很好地符合地质规律。如在新疆西天山地区，Hg元素平均值约为 $40\times10^{-6}$ ，边界品位是0.04%，要富集4个数量级( $10^4$ )才能成矿，而 $Fe_2O_3$ 平均含量为4.5%，铁

矿的边界品位是25%，那么对于铁来说只要富集一个数量级就可以成矿。对此现象，本文以新疆西天山地区为例，提出的变异系数校正参数，消除不同元素之间排序的影响。

1 地球化学背景

西天山是天山—兴蒙成矿带的重要组成部分，与天山造山带具有相似的地质构造背景。在长期的地壳演化过程中，显生宙以来的离散—汇聚阶段的壳幔物质交换过程，造就了区内铜、金、铅、锌、铁、铬等多金属矿产<sup>[9-12]</sup>。依据新疆西天山近33个1:20万图幅化探数据，参考大地构造单元划分原理，将研究区划分为西伯利亚(哈萨克斯坦—准噶尔)和卡拉库姆—塔里木两大地球化学域。再根据域内地球化学背景差异，分出5个地球化学区(图1)。

西天山不同地球化学区中元素富集程度不同，形成的矿产资源<sup>[13-16]</sup>亦具有较强的规律性。其中，富集系数用来评价富集程度的标准，即：

$$K_i = X_i/X$$

(1)

式中： $K_i$ 为各个地球化学区的富集系数； $X_i$ 为各个

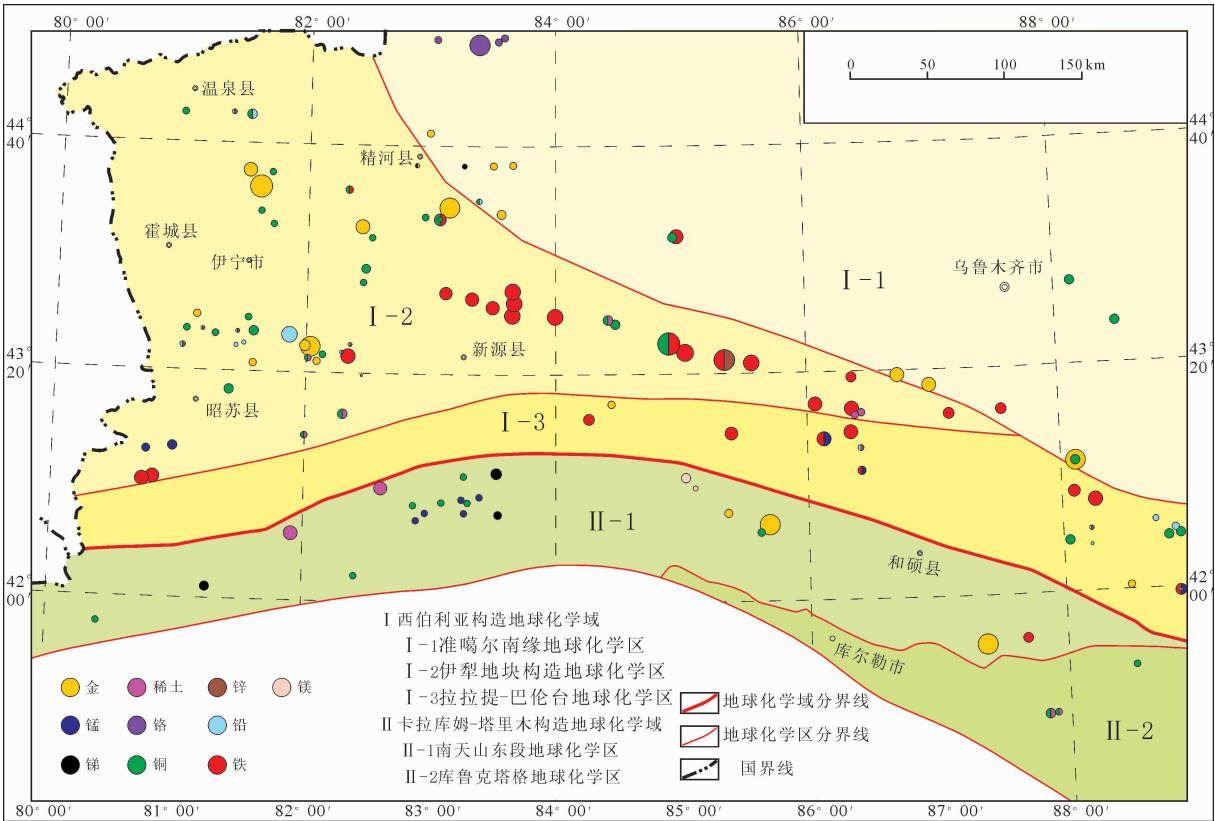


图1 新疆西天山地质矿产及地球化学分区图(据中国地质调查局西安地质调查中心)

Fig. 1 Geological mineral and geochemical divisions in the west Tianshan mountain of Xinjiang

表 1 西天山各地球化学分区元素富集系数排序

Table 1 Ranking variation coefficient of elements in each geochemical division in the west Tianshan mountain of Xinjiang

地球化学区	元素	Ag	Au	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	W	Zn	Fe
全区	均值	51.97	0.71	40.08	19.28	11.94	623.53	0.76	15.92	0.53	1.14	58.06	3.99
I-1	排序	7	10	8	1	5	4	2	9	12	11	6	3
	$K_1$	1.07	0.85	1.02	1.29	1.12	1.14	1.18	0.88	0.81	0.82	1.11	1.18
I-2	排序	3	7	11	10	12	5	6	9	2	1	4	8
	$K_2$	1.17	1.11	0.96	1.08	0.86	1.14	1.12	1.09	1.19	1.20	1.15	1.11
I-3	排序	10	4	2	8	6	5	11	3	12	1	9	7
	$K_3$	0.81	0.95	1.05	0.84	0.86	0.87	0.76	1.03	0.75	1.10	0.84	0.85
II-1	排序	11	3	4	7	1	9	12	5	2	6	8	10
	$K_4$	0.85	1.16	1.07	0.92	1.53	0.89	0.81	0.99	1.45	0.97	0.89	0.87
II-2	排序	7	4	2	8	10	9	1	5	12	11	6	3
	$K_5$	0.90	0.93	1.04	0.85	0.65	0.82	1.07	0.93	0.50	0.54	0.90	0.99

注： $K \geq 1.5$  为强富集， $1.5 > K \geq 1.3$  为富集， $1.3 > K \geq 1.1$  为弱富集， $1.1 > K > 0.9$  为背景， $0.9 \geq K > 0.7$  弱贫乏， $0.7 \geq K > 0.5$  贫乏；全区平均值 Au、Ag 元素的单位为  $10^{-9}$ ，其他元素为  $10^{-6}$ 。

地球化学区的元素平均值， $i$  为地球化学区代号； $X$  为西天山研究区的元素平均值。

准噶尔南缘构造地球化学区（I-1）中 Cu、Mo、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Mn、Hg、Zn 等元素相对富集（表 1），目前发现有小型的金矿和铜矿，大型的铬矿体（图 1）；伊犁地块构造地球化学区（I-2）物质条件较好，大部分元素有富集，目前发现有金矿床及矿点，铅矿床、铅锌矿点，铁、铜矿点；拉拉提—巴伦台构造地球化学区（I-3）物质条件相对较差，只有 W 元素略有富集，该区发现有铜、铅矿点，局部有砂金矿和铁、铁锰矿床；南天山构造地球化学区（II-1）Au、Hg、Sb 等元素相对富集，区内发现有金矿，锑矿和锑矿点，铜、锰、铁矿点；库鲁克塔格构造地球化学区（II-2）元素均呈背景值甚至相对匮乏，发现有铜镍矿、铜矿及部分金矿点。元素富集程度与矿床、矿化点比较，富集较好的地球化学区成矿地质背景有利，但并不一定成矿，且元素贫乏区也有成矿可能性，需要进一步考虑元素分异程度。

2 变异系数及校正

2.1 变异系数特征

分异程度可以用变异系数（ $C_{vi}$ ）评价，变异系数为一个数据集均方差与其平均值的比值，亦是无量纲参数，可以用于对比。公式为：

$$C_{vi} = S_i / X_i \tag{2}$$

式中： $S_i$  为元素在地球化学区内标准差， $X_i$  为地球化学元素平均值， $i$  为地球化学区代号。

据变异系数公式计算西天山各个地球化学区

12 种常见成矿元素变异系数（表 2）可知，各分区 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Zn 等元素基本位于后 5 名，除 II-2 地球化学区外，Hg、Sb、Cr 等元素排序异常靠前。除此之外，在中国农业生态地球化学评价体系研究与成果集成、西北矿产资源潜力评价综合研究、吉尔吉斯斯坦库姆托尔金矿邻区找矿潜力预测中的应用等研究过程当中，元素排序问题尤为明显，需要建立元素彼此之间可对比的参数组带，对此提出了变异系数校正参数。

2.2 校正系数

经对比分析，变异系数排序与成矿规律不符主要是由于元素成矿的自身丰度和边界品位存在明显差异，成矿要求的富集倍数明显不同，为了消除这种差异对评价元素富集程度的影响，本文以研究区近 33 个 1:20 万图幅地球化学数据为基础，对 39 个元素的原始数据不取对数，不做对数变换，而进行普通聚类分析，得到其 R 型聚类分析元素关系谱系图（图 2）。从谱系中选择新疆西天山成矿作用较强、与各种内生作用都有关、没有明显专属性及性质稳定的 Au 元素为标准，元素富集形成矿床的边界品位与元素在测区的平均值的比值取对数倒数的 3 倍。作为变异系数校正参数，即： $\beta = 3 [1/\lg(\text{边界品位}/\text{研究区平均值})]$ ，校正后的变异系数为  $C_{vi}' = C_{vi} \times \beta$ 。

对于成矿时需要富集倍率高的元素，评价成矿可能性时其变异系数要调低（表 3），Hg、Sb 等元素的变异系数要调至原值的 70%~75%，相反成矿时需要富集倍率小的元素要调高，如 Cu 元素的变异系数要调至原值的 1.49 倍，Fe 元素的变异

表 2 新疆西天山各地球化学分区元素变异校正前后排序系数

Table 2 Ranking variation coefficient of elements in each geochemical division in the west Tianshan mountain of Xinjiang

区		元素	Ag	Au	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	W	Zn	Fe
校正前	I -1	排序	8	3	1	7	2	11	4	6	5	10	9	12
		$C_{v1}$	0.43	1.09	2.16	0.43	1.20	0.34	0.94	0.49	0.53	0.40	0.42	0.33
	I -2	排序	7	1	9	8	2	11	6	3	5	4	10	12
		$C_{v2}$	1.18	4.95	0.66	0.76	2.60	0.62	1.24	1.84	1.34	1.36	0.63	0.38
	I -3	排序	7	8	9	1	4	11	6	3	5	2	10	12
		$C_{v3}$	1.77	1.70	1.59	2.42	2.12	0.53	1.82	2.27	2.05	2.30	0.67	0.48
	II -1	排序	8	1	5	9	2	7	6	12	4	3	11	10
		$C_{v4}$	0.76	3.41	1.31	0.69	2.18	0.96	0.99	0.57	1.39	2.12	0.57	0.60
	II -2	排序	11	2	3	6	12	9	4	7	5	1	10	8
		$C_{v5}$	0.35	1.09	0.95	0.73	0.35	0.45	0.92	0.60	0.77	1.15	0.44	0.46
校正后	I -1	排序	10	2	1	6	5	9	4	7	12	11	8	3
		$C'_{v1}$	0.44	1.52	1.71	0.64	0.83	0.46	1.09	0.59	0.39	0.41	0.56	1.24
	I -2	排序	7	1	12	8	3	10	4	2	9	6	11	5
		$C'_{v2}$	1.20	6.88	0.52	1.13	1.79	0.84	1.44	2.21	0.99	1.39	0.84	1.43
	I -3	排序	6	3	10	1	9	12	5	2	8	4	11	7
		$C'_{v3}$	1.81	2.36	1.26	3.61	1.46	0.72	2.11	2.72	1.52	2.35	0.90	1.80
	II -1	排序	10	1	8	9	4	5	6	12	7	3	11	2
		$C'_{v4}$	0.78	4.74	1.03	1.03	1.50	1.31	1.15	0.68	1.03	2.16	0.76	2.26
	II -2	排序	11	2	6	4	12	8	5	7	10	3	9	1
		$C'_{v5}$	0.36	1.52	0.75	1.09	0.24	0.61	1.07	0.72	0.57	1.17	0.59	1.73

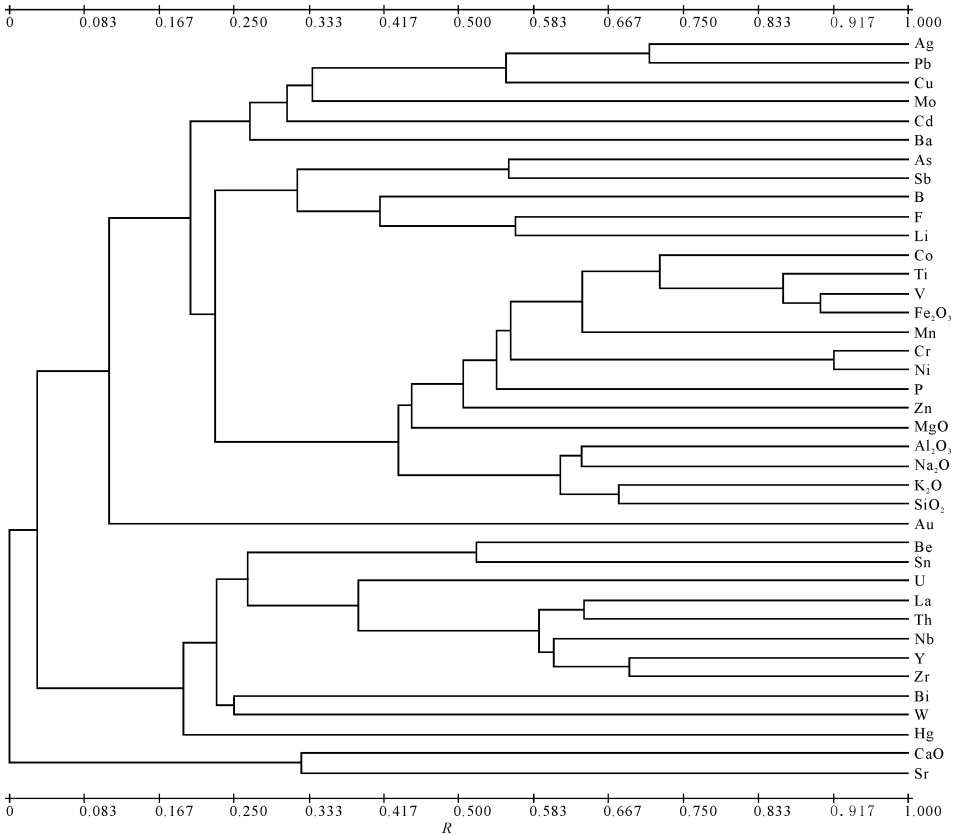


图 2 新疆西天山成矿元素 R 型聚类分析

Fig. 2 R cluster analysis of ore-forming elements in the west Tianshan mountain of Xinjiang



当元素富集系数小于 0.9 的弱贫乏时，若变异系数大于 1，则可以成矿；目前研究区有小型矿点、矿化点存在；当元素富集系数大于 1.1 的弱富集或者富集时，虽然富集程度高，但只有变异系数不低于 0.6 才能成矿。从已发现的矿床和矿点与交会图对比，富集系数和变异系数对成矿影响权重中，变异系数大于富集系数。

从目前资料来看，W、Mo 等元素没有对应的矿点，随着进一步的勘探，可能会发现未知的矿床，与理论相互校正，进一步验证地球化学预测方法的正确性并使其得到补充和完善。

4 结 论

(1)西天山各地球化学区元素富集程度各异，其中 I-2 地球化学区富集程度最高，物质条件最好；其次为 I-3 地球化学区；II-2 地球化学区富集程度最低；而 II-1 和 I-1 地球化学区各元素富集程度差异较大，I-1 地球化学区整体略偏高，II-1 地球化学区整体略偏低。

(2)I-3 地球化学区元素变异系数是各个区最高；I-2 和 II-1 地球化学区元素变异系数较高，Au 元素较为突出；II-2 和 I-1 地球化学区变异系数整体偏低。

(3)综合考虑，I-2 地球化学区是最有利的成矿区；I-3 和 II-1 地球化学区成矿条件较好；I-1 地球化学区和 II-2 地球化学区成矿条件较差(不考虑能源、钾盐矿产)。

(4)西天山地区元素富集系数小于 0.9 的弱贫乏时，若变异系数大于 1，可以成矿；当元素富集系数大于 1.1 的弱富集或者富集时，只有变异系数不低于 0.6 才能成矿。

致谢：论文的完成得到了中国地质调查局西安地质调查中心原中亚中心主任李宝强及团队的帮助，在此表示感谢。

参考文献：

[1] 郝广成,常和平. 成矿有利度分析方法在山东平邑铜石南部

地区金矿综合信息成矿预测中的应用 [J]. 山东地质, 18 (2): 16-23.

[2] 周永峰. 关于区域化探中变异系数的讨论 [J]. 广西地质, 1990, 2(3): 79-83.

[3] 宋刚. 阿克居里地区地球化学特征及元素的分布特征 [J]. 新疆有色金属, 2008(6): 41-43.

[4] ЖЫКОВА А. М. 变质建造中有利于铀的放射性地球化学特征 [J]. 吴永兴, 译. 国外铀矿地质, 1985(3): 69-73.

[5] 薛水根. 金矿的地质地球化学找矿标志 [J]. 江苏地质, 2007, 31(1): 7-9.

[6] 郑国胜. 克米西铜矿的地质地球化学特征 [J]. 物探与化探, 2008, 32(5): 556-558.

[7] 汤玉平, 丁相玉, 吴向华, 等. 中国主要含油气盆地区域地球化学场参数特征及其成因研究 [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(3): 1-4.

[8] 李宝强, 张晶, 孟广路, 等. 西北矿产资源潜力评价综合研究: 化探篇 [R]. 西安: 中国地质调查局西安地调中心, 2013.

[9] 张晶, 李宝强, 李慧英. 区域地球化学方法在西天山地区成矿潜力评价中的应用 [J]. 西北地质, 2007, 50(3): 162-172.

[10] 杨万志, 姜云辉, 周军, 等. 新疆区域地球化学参数特征及其研究意义 [J]. 新疆地质, 2008, 26(3): 236-239.

[11] 李宝强, 张晶, 孟广路, 等. 中国农业生态地球化学评价体系研究与成果集成(西天山成矿带资源潜力地球化学评价) [R]. 西安: 中国地质调查局西安地调中心, 2013: 30-47.

[12] 李宝强, 孙泽坤. 区域地球化学异常信息提取方法研讨 [J]. 西北地质, 2004, 37(1): 102-108.

[13] 杨万志, 周军, 庄道泽, 等. 新疆矿产资源潜力评价化探资料应用 [R]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区地质调查院, 2013.

[14] 西安地质矿产研究所. 西北地区矿产资源找矿潜力 [M]. 北京: 地质出版社, 2006: 16-267.

[15] 郑少华, 顾雪祥, 章永梅, 等. 新疆西天山加曼特金矿床赋矿围岩年代学、地球化学及地质意义 [J]. 现代地质, 2017, 31(2): 209-224.

[16] 葛松胜, 杜杨松, 王树星, 等. 新疆西天山敦德铁矿区矽卡岩成因: 矿物学和稀土元素地球化学约束 [J]. 现代地质, 2014, 28(1): 61-72.