

矿物晶体形态统计方法探讨

刘冲昊^{1,2}, 王建平^{1,2}, 刘家军^{1,2},
曹瑞荣³, 高 创³, 张国刚³, 王 罗³

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083;

3. 陕西太白黄金矿业有限责任公司, 陕西 太白 716000)

摘要: 矿物晶体形态标型研究广泛应用于矿床成因研究和成矿预测工作, 是成因矿物学研究中一个很重要的方面。文章以黄铁矿晶体形态统计为例, 介绍了适用于简单晶体形态统计的形态统计法、适用于复杂晶体形态统计的习性统计法, 以及根据实际观测实践提出的权重统计法。通过对这 3 种方法的比较, 指出了不同方法的利弊, 给出了根据不同研究目的及样品实际情况选择不同方法的建议。

关键词: 矿物晶体形态; 形态统计法; 习性统计法; 权重统计法

中图分类号: P572; P579 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2012)04-0399-05

0 引言

矿物晶体形态标型广泛应用于矿床成因研究和成矿预测工作中, 是成因矿物学研究中一个很重要的方面。利用晶形标型特征及其填图法来判别矿床成因、成矿阶段、矿体剥蚀深度、矿床规模和进行远景评价等都已取得令人瞩目的成果^[1]。而在以往文献中, 涉及矿物晶体形态统计方法的内容较少。本文以黄铁矿晶体形态统计为例, 介绍 2 种常用的方法, 并推荐一种改进的方法——权重统计法。

1 形态统计法

形态统计法是将矿物的所有晶体形态分别统计, 然后计算比例, 以进行形态分析和矿物学形态填图的一种方法。形态统计法的结果, 包含了观测到

的所有晶形, 可以准确描述矿物样品的形态特征。

陈光远等(1993)对胶东灵山沟金矿黄铁矿晶体进行了统计, 主要由{100}, {111}和{210}等 3 种单形和{100}+{111}, {210}+{100}及{100}+{111}+{210}等 3 种聚形组成(表 1)。黄铁矿样品中仅有 6 种主要晶体形态。采用形态统计法观察到的所有晶体形态在最后的的结果中均有体现, 对黄铁矿的晶体形态特征描述准确。

形态统计法是最简单也是最准确的方法, 适用于晶体形态比较简单的黄铁矿样品; 对于晶体形态比较复杂的样品, 采用此方法获得结果后, 矿物学填图的工作将会很复杂。

2 习性统计法

习性统计法是将矿物晶体中的聚形计算在其占优势的单形习性中, 然后计算各种单形习性比例, 以进行形态分析和矿物学填图的一种方法。即:

收稿日期: 2011-08-14; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号:41030423)、中国黄金集团公司科技项目“陕西省太白县双王金矿床地质特征、成矿规律及找矿靶区再研究”联合资助。

作者简介: 刘冲昊(1989-), 男, 硕士研究生, 2011年毕业于中国地质大学(北京), 获学士学位, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事矿床地球化学研究。通信地址:北京市海淀区学院路 29 号中国地质大学(北京), E-mail: hawking. 2@163. com。

$$N_{\{hkl\} \text{ 习性}} = N_{\{hkl\} \text{ 单形}} + N_{\{hkl\} \text{ 占优势的聚形}}。$$

表 1 灵山沟金矿区黄铁矿晶体形态特征

Table 1 Pyrite crystal morphological characteristics of Lingshangou gold deposits

矿化阶段		I	II	III	IV
{100}	粒数	74	46	10	7
	%	50.27	13.9	7.3	28
{111}	粒数	18	105	36	16
	%	14.17	31.72	26.28	64
{210}	粒数	—	6	38	—
	%	—	1.82	27.74	—
{111}+{100}	粒数	35	144	18	2
	%	27.56	43.5	13.14	8
{100}+{210}	粒数	—	30	23	—
	%	—	9.06	16.79	—
{100}+{111}+{210}	粒数	—	—	12	—
	%	—	—	8.76	—

资料来源:陈光远,1993。

形态统计法的结果,包含了矿物晶体中主要的单形习性,可以突出矿物晶体的主要习性。

笔者根据太白金矿矿区的开采状况和采样条件,选取了 8 号矿体 3 个中段的 18 个黄铁矿样品进行形态统计分析,结果见表 2。

由于未进行晶体测量工作,故将五角十二面体单形记为{hk0}。黄铁矿样品共有 12 种晶体形态,如果采用形态统计法,则需要讨论 12 组晶体形态数

据与金矿化的关系,难度极大。所以在此采用习性统计法(表 3),以{100}习性为例, $N_{\{100\} \text{ 习性}} = N_{\{100\} \text{ 单形}} + N_{\{100\} \text{ 占优势的聚形}}$ 。可以看到,复杂的 12 种晶体形态简化为 3 种主要习性,在进行相关性分析和矿物学填图时,操作简便,重点突出。在实际统计中发现此法在整体上对晶体形态的表现能力不足;例如 2 号样品,发育有{111}+{100},{hk0}+{100}等聚形,说明{100}习性也有一定发育,只是相对占劣势;习性统计法结果中没有体现出{100}习性也有发育。在聚形数量较多的情况下,如果将劣势单形忽略,将会影响矿物学填图的准确性。

3 权重统计法

权重统计法是将单个矿物晶体中的单形按是否占优势赋予不同的权重值,然后将所有晶体中各单形的权重值分别相加计算比例,以进行形态分析和矿物学填图的一种方法。结合双王金矿黄铁矿晶体形态特点,采用“53231”权重赋值(表 4):

①单形晶中单形权重为 5(a);②2 种单形组成的聚形中,占优势的单形权重为 3(b),劣势单形权重为 2(c);③3 种单形组成的聚形中,占优势的单形权重为 3(d),劣势单形权重为 1(e)。

表 2 陕西省太白县双王金矿黄铁矿晶体形态特征(以单形比例排序)

Table 2 Pyrite crystal morphological characteristics of Shuangwang gold deposits (in proportion of simple forms for order)

序号	1	2	3	4	5	6	7	13	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18
中段	4	4	3	3	3	4	4	3	4	3	2	2	2	2	3	3	2	4
勘探线	34	44	44	32	34	38	32	36	40	40	32	34	38	36	42	43	42	42
{100}单形				2							11		13	19	7	16	10	3
{100}占优势的聚形	{100}+{111}	28	1	5	2	1	11	2	8	2	15	13	18	13	5	4	5	3
	{100}+{hk0}						1			1	3			6		2		
	{100}+{111}+{hk0}				1					1	2			1				
{111}单形	1	5	3	4	3	8	1	8	5	1	1	13				7	11	24
{111}占优势的聚形	{111}+{100}	17	3	26	6	11	4	2	24	13	5	8	17	9	2	8	5	14
	{111}+{hk0}			14	5	3	31		14	4	1	1	1			5	6	4
	{111}+{100}+{hk0}			2		1				1	2			2				
{hk0}单形	2		2		3		7		4	11	2	1	2	1	15	1	4	
{hk0}占优势的聚形	{hk0}+{100}		2	1	4	18		16		9	16	3	2	2	8	2	4	2
	{hk0}+{111}	2	40		18		6	5	2	6	6	4		4		13	4	7
	{hk0}+{100}+{111}			1	6	8		7		0	4		3			2		
合计	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
单形比例(%)	6	10	10	12	12	16	16	16	18	24	28	28	30	40	44	48	50	54

注:中段 2 标高为 1 200 m,中段 3 标高为 1 150 m,中段 4 标高为 1 100 m。

测试单位:中国地质大学(北京)资源勘查实验室,2011。

表 3 双王金矿黄铁矿晶体习性统计表
Table 3 Statistical table of pyrite crystal forms
based on Habit Statistical Method

序号	样号	{100} 习性		{111} 习性		{hk0} 习性	
		粒数	%	粒数	%	粒数	%
1	4-34	28	56.00	18	36.00	4	8.00
2	4-44	0	0.00	8	16.00	42	84.00
3	3-44	1	2.00	45	90.00	4	8.00
4	3-32	7	14.00	15	30.00	28	56.00
5	3-34	3	6.00	18	36.00	29	58.00
6	4-38	1	2.00	43	86.00	6	12.00
7	4-32	12	24.00	3	6.00	35	70.00
8	3-36	2	4.00	46	92.00	2	4.00
9	4-40	8	16.00	23	46.00	19	38.00
10	3-40	4	8.00	9	18.00	37	74.00
11	2-32	31	62.00	10	20.00	9	18.00
12	2-34	13	26.00	31	62.00	6	12.00
13	2-38	31	62.00	11	22.00	8	16.00
14	2-36	39	78.00	2	4.00	9	18.00
15	3-42	12	24.00	8	16.00	30	60.00
16	3-43	22	44.00	17	34.00	11	22.00
17	2-42	15	30.00	22	44.00	13	26.00
18	4-42	6	12.00	42	84.00	2	4.00

在使用中应注意以下几点:①占优势的单形权重值比劣势的大($a>b>c,d>e;b\geq d,c\geq e$);②不同晶体中所有单形的权重值之和相等($a=b+c=d+e\times$ 劣势单形数)。

例如: $N_{\{100\}} = N_{\{100\} \text{ 单形}} \times a + (N_{\{100\} + \{111\}} + N_{\{100\} + \{hk0\}}) \times b + N_{\{100\} + \{111\} + \{hk0\}} \times d + (N_{\{111\} + \{100\}} + N_{\{hk0\} + \{100\}}) \times c + (N_{\{111\} + \{100\} + \{hk0\}} + N_{\{hk0\} + \{100\} + \{111\}}) \times e$ 。

本例中最多只有 3 种单形组成 1 种聚形,其劣势单形数为 2;当出现 4 种单形组成 1 种聚形时,应该赋予新的权重(f,g),同时劣势单形数目为 3;依此类推。

从表 4 中可以看出,即使在样品中发育占劣势的形态在最后结果中也有体现;表达出的信息更全面也更准确;虽然计算略显繁琐,但是在计算机中很容易实现。那么在晶体形态比较复杂的情况下,2 种方法的结果相差有多大呢? 下面将 2 组数据作比较。

首先引入一个参考系数 α , $\alpha = \text{单形种类数} / \text{形态种类总数}$;单形比例小于 α , 则说明单形发育比聚形差;单形比例大于 α , 则单形发育比聚形好;单形比例等于 α , 则两者发育相当。此处 $\alpha = 3/12 = 0.25$ 。将样品数据按单形比例大于或小于 α 分为 2 组, 分别绘制折线图(图 1, 图 2)。

表 4 双王金矿黄铁矿晶体权重统计表
Table 4 Statistical table of pyrite crystal forms
based on Weight Statistical Method

序号	样号	{100}		{111}		{hk0}	
		权重值	%	权重值	%	权重值	%
1	4-34	118	47.2	116	46.4	16	6.4
2	4-44	10	4	114	45.6	126	50.4
3	3-44	60	24	144	57.6	46	18.4
4	3-32	51	20.4	105	42	94	37.6
5	3-34	76	30.4	73	29.2	101	40.4
6	4-38	11	4.4	159	63.6	80	32
7	4-32	79	31.6	50	20	121	48.4
8	3-36	54	21.6	162	64.8	34	13.6
9	4-40	69	27.6	107	42.8	74	29.6
10	3-40	60	24	50	20	140	56
11	2-32	137	54.8	72	28.8	41	16.4
12	2-34	80	32	148	59.2	22	8.8
13	2-38	143	57.2	77	30.8	30	12
14	2-36	175	70	33	13.2	42	16.8
15	3-42	70	28	60	24	120	48
16	3-43	118	47.2	83	33.2	49	19.6
17	2-42	79	31.6	112	44.8	59	23.6
18	4-42	52	20.8	184	73.6	14	5.6

借鉴数学统计中的“标准差”的计算方法来衡量 2 种方法所得结果的差异大小;计算每个样品中 2 种方法所得结果的差的平方, 求出平均值后开平方;计算公式为:

$$\delta_{\{hk0\}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{\{hk0\} \text{ 权重统计法 } i} - X_{\{hk0\} \text{ 习性统计法 } i})^2}$$

式中, n 为该组数据中样品的个数。 δ 值越大, 说明 2 种方法差别越大。从图 1 和图 2 中可以看出, 聚形发育较好时, δ 值分别为 14.06, 19.17 和 18.00; 单形发育较好时 δ 值分别为 5.93, 7.25 和 4.85; 说

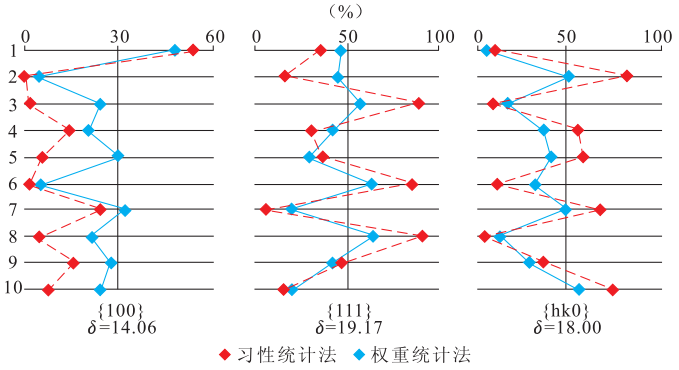


图 1 聚形占优势黄铁矿样品习性统计法与权重统计法结果比较
(单形比例 $<\alpha$)

Fig. 1 Comparison between habit statistics and weight statistics of the polycrystalline pyrite (proportion of simple crystalline pyrite $<\alpha$)

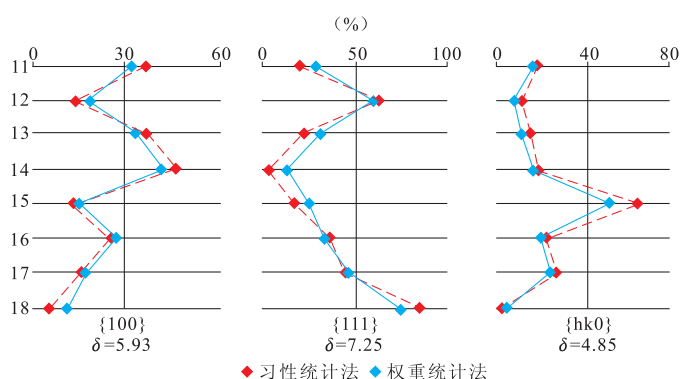


图2 单形发育较好的黄铁矿样品习性统计法与权重统计法结果比较
(单形比例 $>\alpha$)

Fig. 2 Comparison between habit statistics and weight statistics of single crystalline pyrite (proportion of simple forms $>\alpha$)

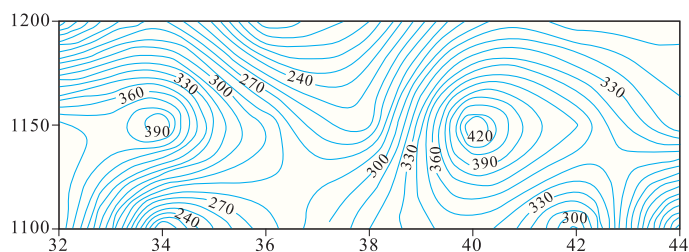


图3 习性统计法黄铁矿形态分值等值线图

Fig. 3 Score-contour of the Habit Statistics of pyrite

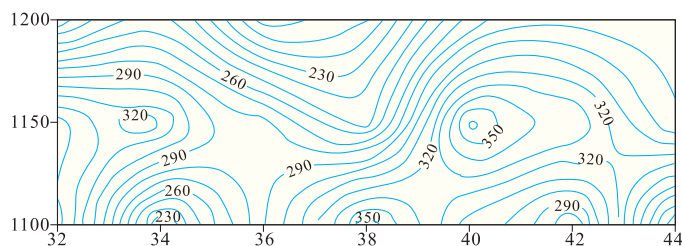


图4 权重统计法黄铁矿形态分值等值线图

Fig. 4 Score-contour of Weight Statistics of pyrite

明当单形较发育时,2种方法差别较小,而聚形较发育时,2种方法差别较大。从折线图中也可以看出以上异同。

根据李胜荣(1992)关于胶东金青顶矿区对各测点的黄铁矿形态得分计算,并综合本区 $\{100\}$, $\{111\}$, $\{hk0\}$ 等3种习性黄铁矿晶体的时空演化特点,按照其形态分值进行了得分评价。黄铁矿形态分值采用 $X = C_{\{100\}} \times 1 + C_{\{111\}} \times 3 + C_{\{hk0\}} \times 5$ 计算($C_{\{hk0\}}$ 为 $\{hk0\}$ 的比例),得到形态分值图(图3,图4);数值较高的地区指示含金的可能性较高。

图3和图4的等值线梯度是相同的,从等值线数值及密度可以看出,权重统计法高值区峰值比习性统计法要低;同时在图4中1100中段38勘探线处出现图3中没有的高值区。可见,权重统计法与习性统计法相比,弱化了较强的矿化,但是可以指示出较弱的矿化,使成矿预测更加准确全面。所以在晶体形态复杂时,特别是聚形较发育时,权重统计法准确性更高,也可以提高形态分析及矿物学填图的准确性。当然,权重的赋值方法并不局限于笔者使用的“53231”;在实际操作中,应当根据研究目的及样品的实际情况选择合适的赋值。

4 方法选择

不同的方法有着不同的适用情况及优缺点(表5)。在方法选择方面,根据实践经验(图5),笔者给出以下建议:

(1)不论选择哪种方法,应将所有的晶体形态均分别统计,以便于发现选用方法不合理时改用其他方法。

(2)当样品中晶体形态比较简单时,形态统计法是最准确的统计分析方法(形态简单与复杂需要由观测者根据黄铁矿样品情况兼顾自身工作能力来评定)。

表5 不同统计方法的比较

Table 5 The comparison of different statistical method

统计方法	形态统计法	习性统计法	权重统计法
适用情况	晶体形态简单	晶体形态复杂;单形发育较好	晶体形态复杂
优点	对黄铁矿样品的晶体形态表达准确	突出较强矿化,便于操作	可以指示出较弱矿化
缺点	晶体形态较多时,不便于分析和填图	聚形占优势时,准确性较差	操作较复杂

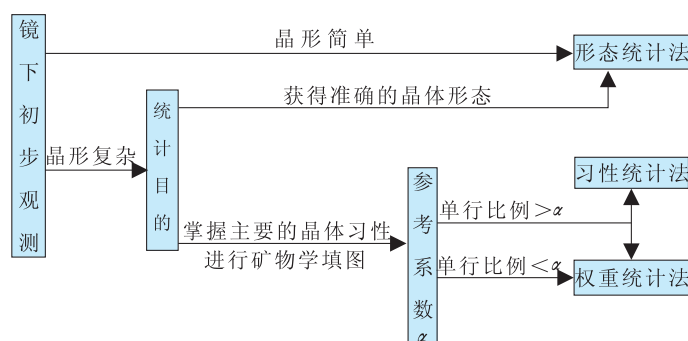


图 5 统计方法选择流程图

Fig. 5 Statistical methods selection flow chart

(3)当晶体形态较复杂时,如果需要获得准确的晶体形态,可以选择形态统计法;如果需要掌握主要的晶体习性,进行矿物学填图,则需要考虑参考系数 α 来选择;如果单形比例大于 α ,可选择习性统计法;如果单形比例小于 α ,应当选择权重统计法。

以上介绍了不同方法在黄铁矿晶体形态研究中的应用。在其他矿物的研究中,也可以根据研究目的及矿物样品特征,选择不同的方法。矿物晶体形态统计没有绝对的“好方法”;针对不同的矿物,只要

能达到研究目的并兼顾一定的准确性,都可以选用。在研究过程中应根据实际情况不断改进方法,使其更加完善。

参考文献:

- [1] 蔡元吉,周茂. 金矿床黄铁矿晶形标型特征实验研究[J]. 中国科学:B辑,1993,23(9):972-978.
- [2] 陈光远,孙岱生,黄绍峰,等. 胶东灵山沟金矿成因矿物学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1995:75-81.
- [3] 陈光远,孙岱生,殷辉安. 成因矿物学与找矿矿物学[M]. 重庆:重庆出版社,1987:198-220.
- [4] 李胜荣,陈光远,邵伟,等. 胶东乳山金矿田成因矿物学[M]. 北京:地质出版社,1996:78-82.
- [5] 陈光远,孙岱生,张立,等. 黄铁矿成因形态学[J]. 现代地质,1987,1(1):60-73.
- [6] 侯满堂,金玉铭,胡继民. 太白庙金矿床黄铁矿晶体形态学研究及其找矿意义[J]. 陕西地质,1999,17(1):26-32.
- [7] 王燕,谭凯旋,刘顺生,等. 红土型金矿的成矿机理与成矿模式[J]. 地质与勘探,2002,38(4):12-16.

A discussion on the statistical methods of mineral crystal forms

LIU Chong-hao^{1,2}, WANG Jian-ping^{1,2}, LIU Jia-jun^{1,2},
CAO Rui-rong³, GAO Chuang³, ZHANG Guo-gang³, WANG Luo³

(1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources,
China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2 Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobe Technology,
China University of Geosciences, Ministry of Education, Beijing 100083, China;

3 Shannxi Taibai Gold Mining Company Limited, Taibai 716000, Shannxi, China

Abstract: Typomorphic characteristics of mineral crystal form are widely used in the genetic study of mineral deposits and metallogenic prognosis. It is a very important research direction of genetic mineralogy. Taking the pyrite crystal as an example in this paper, the authors introduce three statistical methods of mineral crystal forms. The first one is for simple crystal forms called Form Statistical Method. The second is for complex crystal forms called Habit Statistical Method. And the last is an improved one called Weight Statistical Method. Comparing the three methods, the authors point out the advantages, disadvantages and put forward some suggestions that selection of the methods should be based on different research purposes and the situations of samples.

Key Words: mineral crystal form; Form Statistical Method; Habit Statistical Method; Weight Statistical Method