

文章编号: 1000-4734(2003)03-0205-06

遵义牛蹄塘组发现的多水硫磷铝石

罗泰义¹, 李晓彪^{1,2}, 姚林波¹, 朱丹^{1,2}

(1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:遵义牛蹄塘组黑色岩系发现的多水硫磷铝石主要产出在 Ni-Mo 多金属层的微裂隙中, 偶尔在多金属层下部的黑色粉砂岩中以脉体形式产出。该矿物结构不稳定, 结构中一部分水分子很容易失去, 在 X 射线衍射鉴定时其特征谱线变化较大; 在自然条件下存放一定时间后, 样品具有稳定的 X 射线衍射特征。此外, 对这些样品进行了红外光谱、热重和差热分析、TEM 观测、化学分析和晶胞参数计算, 与纤磷铝石进行了对比和讨论。

关键词:多水硫磷铝石; 牛蹄塘组黑色岩系; 遵义

中图分类号:P578.92 **文献标识码:**A

作者简介:罗泰义 男 1968 年生, 成因矿物学博士, 主要从事黑色岩系和暗色岩研究。

多水硫磷铝石(sasaite)最早是 1978 年 Martini 在南非的 West Dreifontein^[1]洞穴中发现, 其成因是洞穴土壤中粘土矿物与从蝙蝠粪便淋滤出来的酸性水相互作用所致, 化学式 $(Al, Fe)_{14}(PO_4)_{11}(SO_4)(OH)_7 \cdot 84H_2O$, 为片状磷酸盐矿物, 属斜方晶系。该矿物罕见, 国外仅有 Martini 的报道。我们在遵义下寒武统牛蹄塘组下部的 Ni-Mo 多金属层及黑色粉砂岩中均发现了多水硫磷铝石, 其地质产状及成因比较特殊, 这是首次在中国发现该矿物。

1 地质概况

黔北下寒武统牛蹄塘组最特征的出露地点主要集中在松林—岩孔背斜的两端, 在东北端的松林穹隆周边广泛出露, 该层位下部岩相组合和沉积厚度变化较大, 具有复杂的矿化元素组合(Ni-Mo-P-V-U-PGE 等), 是研究“寒武纪生命大爆发”的一个重要层位。

主要研究点是遵义市松林镇的中南 Ni-Mo 矿点和小竹流水 Ni-Mo 矿点, 李胜荣^[2]对该区的层位有大致的描述。我们首先在中南的 Ni-Mo 多金属层下部的黑色粉砂岩中发现一条垂直切层的白色泥状脉体, 长约 30 cm, 宽约 2~3 cm, 野外定为高岭石脉体, 经过大量的 X 射线衍射分析, 最终鉴定为多水硫磷铝石; 后来在中南和小竹流水的

Ni-Mo 多金属矿石的微裂隙中大量发现该矿物。

该矿物的基本特征为白色(局部有铁染或碳质污染), 白垩状, 硬度 2~3, 条痕色白色。光学特征不容易观测, 原因是制片很困难, 该矿物不易被环氧树脂胶结固定, 不能细磨, 只能制作较厚的薄片; 在制作 Ni-Mo 多金属矿石的光薄片时, 在其微裂隙中经常残留有该矿物, 主要特征是呈云雾状。Martini^[1]详细描述了该矿物的光学特征。

2 X 射线衍射分析

对新鲜样品 ZY-1(取自中南的脉体)和经过一定保存时间自然空气干燥的样品(ZY-2, 1 星期; ZY-3, 1 个月; ZY-4, 6 个月)进行了 X 射线衍射分析。实验条件如下: 理学 Dmax/2200 型 X 射线衍射仪, Cu 靶、K_α 辐射、管电压 40 kV、管电流 20 mA, Rint2000 广角测角仪, 五样品座, 自动单色器; 狭缝系统发散狭缝(DS) 1°, 防散射狭缝(SS) 1°, 吸收狭缝(RS) 0.3 mm, 连续扫描模式, 扫描速度 1 (°)/min、步长 0.4°, 扫描范围 5°~90°; 为进行晶胞参数计算, 样品 ZY-4 测定时扫描速度为 1 (°)/min, 步长 0.04°。

一系列测试得到的特征谱线结果列于表 1, 典型的 X 射线衍射图谱(ZY-4 样品)示于图 1, ZY-4 样品采集了较强的 21 条谱线进行了指标化, 计算结果见表 2, 其中衍射数据的指标化工作采用了 Crysfire 程序包^[3]。空间群的确定应用 LMGP 程序包中的 Chekcell 程序进行优化^[4], 晶胞参数及空间群等数据见表 3。

收稿日期: 2003-02-28

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043208)

表1 遵义与南非的多水硫磷铝石的X射线衍射特征对比

Table 1. XRD characteristics of assaite from Zunyi in comparison with those of assaite from S. Africa

ZY-1		ZY-2		ZY-3		ZY-4		SA-1 ^[1]		SA-2 ^[1]	
新鲜		保存1周		保存1月		保存6月		自然保存		硅胶干燥	
d_{obs}/nm	I/I_0	d_{obs}/nm	I/I_0	d_{obs}/nm	I/I_0	d_{obs}/nm	I/I_0	d_{obs}/nm	I/I_0	d_{obs}/nm	I/I_0
1.0988	100	1.1210	100	1.1562	100	1.1562	100	1.152	100	1.067	10
								1.074	10	0.933	100
						0.8803		0.875			
0.7394	14	0.7394	24	0.7519	23	0.7519	22	0.751	22	0.739	43
		0.7087	13	0.7132	15	0.7155	10	0.713	18	0.674	10
						0.6997	9	0.699	23		
0.6180	16	0.6232	18	0.6303	19	0.6321	11	0.63	21	0.603	13
						0.5965	5	0.595	7		
						0.5764	6	0.578	7		
		0.5647	12	0.5440	12	0.5427	7	0.542	14	0.536	17
						Y		0.4881	5		
		0.5375	14	0.4818	9	0.4828	5	0.4822	12	0.4738	10
		0.4243	10	0.4211	11	0.4219	6	0.4214	18	0.4037	13
						0.3837	4	0.3846	5		
		0.3477	13	0.3693	9	0.3693	5	0.3695	10	0.3566	3
				0.3520	13	0.3509	8	0.3518	13	0.3469	13
						0.3353	9	0.3368	5		
		0.3334	20	0.3309	18	0.3314	10	0.3315	15		
0.3276	11	0.3281	18	0.3271	16	0.3266	10	0.3262	18	0.3091	18
		0.3189	15	0.3220	15	0.3216	9	0.3216	16		
						Y		0.3091	10		
		0.3119	13	0.3081	13	0.3064	8	0.3066	14		
				0.2984	9	0.3000	5	0.2985	3		
						Y		0.2926	12		
0.2886	18	0.2893	35	0.2904	41	0.2904	41	0.2901	42	0.2888	32
0.2829	8	0.2840	19			Y		0.2863	18	0.2859	27
						Y		0.2835	11		
						Y		0.281	7	0.2761	7
				0.2706	12	0.2706	7	0.2702	8	0.2674	12
						0.2545	5	0.2542	6	0.2513	6
						0.2373	4	0.2372	7	0.2379	7
						0.2187	4	0.2185	5		
						Y		0.2172	3		
						0.2142	4	0.2141	3		
						0.2104	4	0.2105	5		
						0.2023	3	0.2026	3		
						0.1981	5	0.1978	10		
						0.1919	3	0.1916	4		
						0.1872	4	0.1872	6		

注: Y代表宽峰或肩峰, 由于扫描精度问题, 没有采集数据.

从表1可见, 该矿物的X射线衍射特征谱线具有很大的不确定性, 其中ZY-3和ZY-4样品与Martini^[1]的结果很一致, 特别是ZY-3样品, 扫描比较细致, 大部分的谱线都能够和标准谱线对比.

新鲜样品(ZY-1)采集后用纸包裹, 由于太潮湿, 野外经过太阳暴晒, 估计失去了部分水分, 所以其X射线衍射谱线差异较大. 在室内存放时,

敞开包装纸, 样品重新吸收空气中的水; 一星期后样品(ZY-2)的特征谱线逐渐增大, 1个月后样品(ZY-3)的衍射谱线和标准谱线已经基本没有差异, 6个月后样品(ZY-4)的衍射谱线和标准谱线相当一致, 与Martini^[1]所采集的约40条谱线都能够对比.

上述特征反映了该矿物的部分水分子很容易

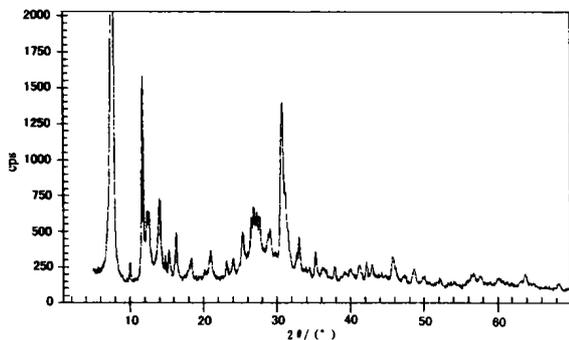


图 1 遵义多水硫磷铝石(ZY-4)的粉末 X 射线衍射图
Fig. 1. XRD patterns of sassaite (ZY-4) from Zunyi.

表 2 遵义和南非多水硫磷铝石^[5]的衍射数据及指标化计算结果对比

Table 2. XRD data and calculated indices for sassaite from Zunyi and that from S. Africa.

ZY-4					南非 ^[5]				
d_{obs}/nm	I	d_{calc}/nm	$h k l$	l	d_{obs}/nm	I	d_{calc}/nm	$h k l$	l
1.1562	100	1.1520	0 0 2		1.152	100	1.1510	0 0 4	
					1.074	10	1.0750	1 0 0	
0.8803	4	0.8791	1 1 0		0.875	4	0.8742	1 1 0	
0.7519	22	0.7531	0 2 0		0.751	22	0.7510	0 2 0	
0.7155	10	0.7158	0 2 1		0.713	18	0.7140	0 2 2	
0.6997	9	0.6989	1 1 2		0.699	23	0.6992	1 0 5	
0.6321	11	0.6304	0 2 2		0.630	21	0.6289	0 2 4	
0.5965	5	0.5971	1 2 1		0.595	7	0.5947	1 2 2	
0.5764	6	0.5760	0 0 4		0.578	7	0.5755	0 0 8	
0.5427	7	0.5413	2 0 0		0.542	14	0.5375	2 0 0	
0.4828	5	0.4818	1 1 4		0.4822	12	0.4807	1 1 8	
0.4401	3	0.4395	2 2 0		0.4381	2	0.4371	2 2 0	
0.4219	6	0.4214	1 2 4		0.4214	18	0.4220	1 3 4	
0.3837	4	0.3840	0 0 6		0.3846	5	0.3837	0 0 12	
0.3693	5	0.3695	1 2 5		0.3695	10	0.3706	0 4 2	
0.3509	8	0.3509	3 1 0		0.3518	13	0.3513	1 1 12	
0.3353	9	0.3357	3 1 2		0.3368	5	0.3373	0 4 6	
0.3314	10	0.3319	2 3 3		0.3315	15	0.3322	2 2 9	
0.3266	10	0.3266	3 0 3		0.3262	18	0.3261	0 4 7	
0.3216	9	0.3216	0 1 7		0.3216	16	0.3212	0 1 14	
0.3064	8	0.3064	2 4 1		0.3066	14	0.3071	2 4 1	
0.2904	41	0.2901	3 3 1		0.2901	42	0.2908	3 3 1	

表 3 遵义多水硫磷铝石晶胞参数计算结果及对比

Table 3. Calculated cell parameters for sassaite from Zunyi and other locations

地区来源	a/nm	b/nm	c/nm	V/nm^3	空间群	Z	d_{calc}/nm
遵义	1.083	1.506	2.304	3.7571	P	1.25	0.1770
Martini ^[1]	2.150	3.004	9.206	59.4579	P	10	0.1747
Johan 等 ^[5]	1.075	1.502	4.603	7.4322	P	6	0.1780
南非 ^[6]	1.081	1.503	2.306	3.7476	$P222/Pmm2/Pmmm$	1.25	0.178

失去,但又能很快从空气中吸收回来。Martini^[1]描述了该矿物在一般的空气中很快失去约 12% 的水分,在硅胶干燥器中失去约 22% 的水分(表 1

的 SA-2),在潮湿的空气中经过两周的吸水后,又能恢复水饱和的自然状态(SA-1)^[1]。很显然,由于贵阳的潮湿空气,在野外经过太阳暴晒的样品在室内逐渐吸水,最终得到稳定(水饱和)的样品。

Martini^[1]根据该矿物的光学性质及 X 射线衍射模式,认为该矿物可能是斜方晶系,计算了它的 X 射线衍射指标化数据和晶胞参数, Johan 等^[5]认为 Martini 计算出的单位晶胞太大,进行了重新计算。我们利用新测定的数据和新的程序^[3,4]进行了计算,对比结果列于表 2 和表 3。由于 Martini 的指标化数据过于复杂,表 2 中只列出了 Johan 等的指标化数据,表 3 中除上述两人的计算结果外,还列出了网上矿物学数据库的最新资料^[6]。

3 热重和差热分析

对样品进行了相应的热重和差热分析,结果示于图 2。从图中可见,样品总失重 35.603%,主要的失水发生在 200 °C 以下,起始温度点为 97.54 °C,在 141.30 °C 和 170.29 °C 各有一个明显的吸热峰,和 Martini^[1]的结果(两个吸热峰分别为 120 °C 和 150 °C)有所不同,但和 Johan 等^[5]对 Chvalteice 纤磷铝石的测定结果非常接近(分别为 140 °C 和 170 °C),两个吸热峰之间的距离都在 30 °C 左右,这可能是该类型矿物在饱和吸附水条件下的一个特征。

4 红外光谱分析

对样品进行了红外光谱测试,图谱示于图 3,和纤磷铝石的谱峰对比^[5](表 4)可见,二者的红外吸收光谱基本没有太大的差异,因为在多水硫磷铝石中,SO₄²⁻的含量并不高,而且主要的特征谱线都被 PO₄³⁻的谱线所掩盖;但出现了 1439 cm⁻¹峰,可能暗示了遵义的多水硫磷铝石中含有微量的铵或者含有铵盐杂质。

表 4 遵义多水硫磷铝石和纤磷铝石的红外光谱比较

Table 4. IR spectra of sassaite and vashegyite from Zunyi

纤磷铝石(Chvallet) ^[5]	ZY-4	归属
3400	3426.46	水/OH 的伸缩振动
1635	1639.26	水的弯曲振动
	1439.54	NH ₄ ⁺ ?
1383	1378.09	OH:
1173,1115,1015	1163.02,1116.93,1004.27	PO ₄ : V3
905	886.49	PO ₄ : V1
725,650	727.74,	Al-OH
605,530,485,385	604.84,528.02,481.93	PO ₄ : V4

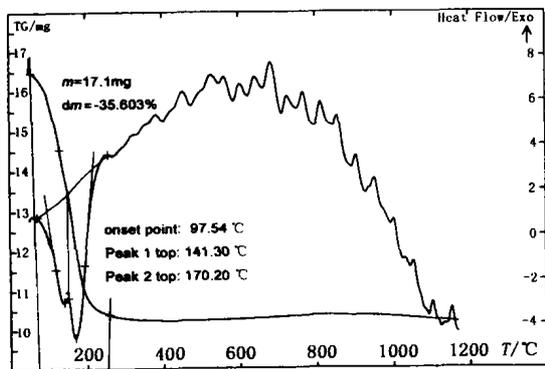


图2 遵义多水硫磷铝石的热重和差热分析谱图

Fig.2. TG-DTA data of sasaite from Zunyi.

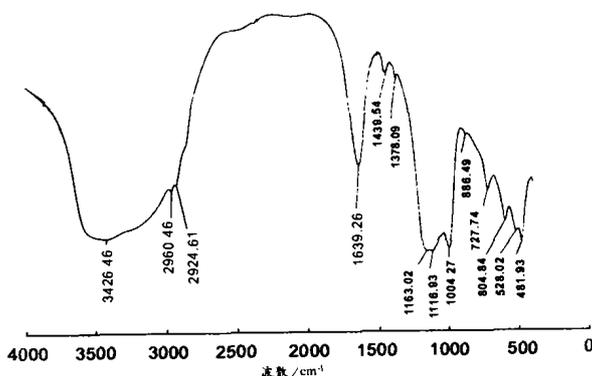


图3 遵义多水硫磷铝石的红外光谱图

Fig.3. Infrared spectra of sasaite from Zunyi.

5 透射电镜观察结果

实验采用带能谱仪的日本电子 JEM-2000FX 射线 II 型高分辨分析电镜。图 4 的照片显示,多水硫磷铝石单晶形态为菱形,照片中的菱形颗粒为一完好的单晶颗粒, {001} 解理完全,其对角线长度分别为 4.86 μm 和 3.16 μm。电子能谱分析结果显示其主要化学成分组成为 Al、P、O、S、Fe。

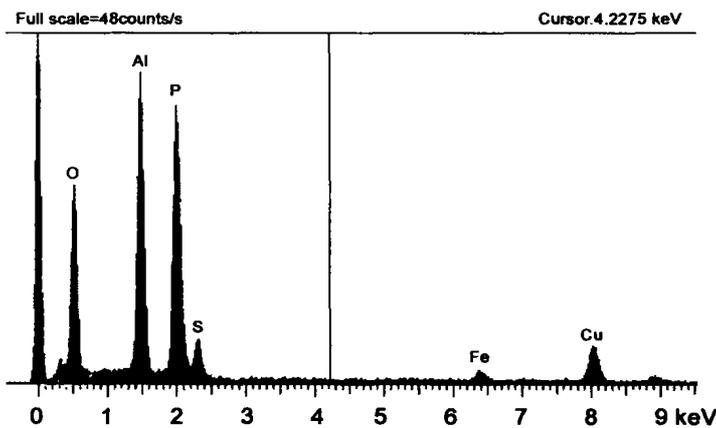
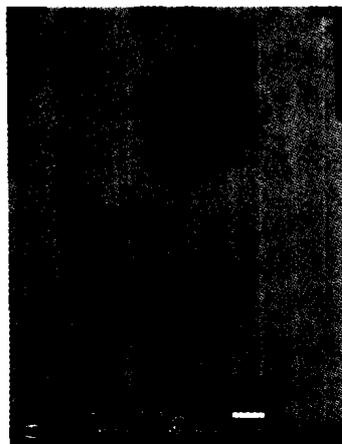


图4 遵义多水硫磷铝石的 TEM 像(标尺: 1μm)和能谱分析结果

Fig. 4. TEM image and energy spectra of sasaite from Zunyi.

此外,TEM 观察还发现有微量的共生矿物,包括石英、石膏、白云石、长石、铅锌的矾类矿物等。

6 化学分析

遵义发现的多水硫磷铝石的化学分析结果如表 5 所示。根据 TEM 的结果,样品中存在微量的石英、石膏及长石等;我们假设这三种矿物是遵义多水硫磷铝石中的主要杂质,根据这三种矿物的

表 5 遵义多水硫磷铝石(Sasaite)的化学分析结果及比较

Table 5. Chemical composition of sasaite from Zunyi

w_B/%

产地	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	H ₂ O	总量
遵义 Sasaite	4.93	0.01	25.44	25.33	2.70	0.01	0.01	0.31	0.07	0.06	4.07	38.91	101.85
校正	-	-	25.26	25.33	2.70	-	-	-	-	-	3.62	38.71	95.62
归一化			26.42	26.49	2.82						3.79	40.48	100.00
参考数据	酸不溶物		Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	SrO	F	SO ₃	H ₂ O	
南非 Sasaite ^[1]	0.07		21.65	24.16	1.05	0.01	0.07	0.12	0.02	0.03	2.77	49.50	99.44
纤磷铝石 ^[5]	0.50		27.09	31.83	0.12							40.01	99.55

注:本文数据由中国科学院地球化学研究所李荪荣测定。

标准分子式,减去一定的铝、硫和水,扣除所有的钛、锰、镁,校正的数据也列于表中。校正的数据归一化后,以 14 个阳离子为标准^[1],则遵义多水硫磷铝石的化学式为 $(Al_{13.11}Fe_{0.89})_{14}(PO_4)_{9.44}(OH)_{11.28}(SO_4)_{1.20} \cdot 51.25H_2O$; 根据 Johan 等^[5]按 $n(Al + P + Fe) = 11$ 计算得到的化学式为 $(Al_{6.15}Fe_{0.42})_{6.57}(PO_4)_{4.43}(OH)_{5.30}(SO_4)_{0.56} \cdot 24.06H_2O$ 。

7 讨论与结论

含水的铝磷酸盐矿物是一类氧化次生矿物,

目前发现有 5 个矿物: Vantasselite(万达斯石)、Sanjuanite(水磷铝矾)、Vashegyite(水羟磷铝石、纤磷铝石)、Sasaite(多水硫磷铝石)和 Kribergite(硫磷铝石),其中 Sasaite 是国际矿物学会 1978 年核定的新矿物。

毫无疑问,该类矿物的化学组成有很大的变化,但每种矿物的 Al/P 原子比或 Al/P/S 原子比都有一定的范围,水(包括 OH^-)的含量变化也很重要,其中的 OH^- (或和 SO_4^{2-} 共同)置换晶格中的 PO_4^{3-} 。表 6 中综合对比了该类 5 种矿物的一些鉴定特征。

表 6 含水铝磷酸盐矿物的主要特征

Table 6. Main characteristics of hydrous aluminum phosphate minerals

矿物	化学式	原子比	X 射线衍射特征谱线
遵义 Sasaite	$(Al_{13.11}Fe_{0.89})_{14}(PO_4)_{9.44}(OH)_{11.28}(SO_4)_{1.20} \cdot 51.25H_2O$	$n(Al):n(P):n(S) = 13.1:9.4:1.2$	1.152 _{1.00} , 0.290 _{0.21} , 0.752 _{0.22} , 0.700 _{0.09}
Vantasselite ^[6]	$Al_4(PO_4)_3(OH)_3 \cdot 9H_2O$	$n(Al):n(P) = 4:3$	1.022 _{1.00} , 0.289 _{0.30} , 0.340 _{0.40}
Vashegyite ^[6]	$Al_6(PO_4)_5(OH)_3 \cdot 23H_2O$	$n(Al):n(P) = 6:5$	1.030 _{1.00} , 0.291 _{0.30} , 0.750 _{0.30}
Sanjuanite ^[6]	$Al_2(PO_4)(SO_4)(OH) \cdot 9H_2O$	$n(Al):n(P):n(S) = 2:1:1$	1.077 _{1.00} , 0.413 _{0.35} , 0.528 _{0.38}
Kribergite ^[6]	$Al_5(PO_4)_3(SO_4)(OH)_4 \cdot 4H_2O$	$n(Al):n(P):n(S) = 5:3:1$	1.160 _{1.00} , 0.662 _{0.30} , 0.502 _{0.30}
Sasaite ^[6]	$Al_{12}Fe_2(PO_4)_{11}(SO_4)(OH)_7 \cdot 84H_2O$	$n(Al):n(P):n(S) = 12:11:1$	1.152 _{1.00} , 0.290 _{0.21} , 0.699 _{0.23}

Sasaite 的典型特征是粒度细小,光学性质不易准确鉴定;含水较多而且特别不稳定,导致其 X 射线衍射特征谱线变化较大。但我们的工作和 Martini^[1]的研究都肯定了稳定的矿物(饱和吸附水)具有比较一致的特征谱线。特别需要注意的是,扫描速度和步长对特征谱线的影响较大。因此该类矿物的 X 射线衍射鉴定必须特别小心,样品的保存和制样、扫描精度都对其特征谱线有很大影响。

Johan 等^[5]认为 Sasaite 和 Vashegyite(纤磷铝石)在 0.9 nm 以下的谱线的精细对比很相似,质疑是否应该将之作为一个单独的矿物。从表 5 可见,和 Vashegyite 对比, Sasaite 的主要特征是有一定的铁置换铝, OH^- 和 SO_4^{2-} 共同置换晶格中的 PO_4^{3-} , 而且 X 射线衍射的最强谱线为 1.152 nm。

遵义产出的和南非产出的 Sasaite 具有非常相似的 X 射线衍射特征(表 2),差别在于成分中的铁和磷相对较少,置换磷的 OH^- 和 SO_4^{2-} 量有所增加,而且晶格中的吸附水含量也较低。Johan^[5]对 Sasaite 的高含水特征表示怀疑,我们认为,由

于 Sasaite 的快速失水及再吸附特征,样品保存的空气条件对其中的水含量有很大的影响,如遵义 Sasaite 样品的化学分析和热重分析时间有一定的间隔,所得到的水含量都有一定的变化(热重估计:35.60%,化学分析:38.91%),因此我们认为该矿物的水含量应该有一个较大的变化范围。

综上所述,遵义产出的铝磷酸盐矿物应为 Sasaite,和南非洞穴沉积中产出的 Sasaite 相比,具有如下特征:

(1) 产出状态:大量分散于镍钼矿石的微细裂隙中,局部淋滤富集在下部的黑色粉砂岩中成为脉体。

(2) 谱学特征: X 射线衍射特征谱线随样品的含水量变化,饱和吸附水条件下具有稳定的特征谱线,热重和差热分析、红外光谱特征则和 Vashegyite 相似。

(3) 成分特征:铁和磷相对较少,置换磷的 OH^- 和 SO_4^{2-} 量有所增加;晶格中的吸附水含量也较低,和样品保存、处理时的空气条件密切相关。

参 考 文 献:

- [1] Martini J. Sasaite, a new phosphate minerals from West Driefontein Cave, Transvaal, South Africa[J]. *Mineralogical Magazine*, 1978, 42: 401~404.
- [2] 李胜荣. 湘黔地区下寒武统黑色岩系金银铂族元素地球化学研究[R]. 贵阳:中国科学院地球化学研究所博士后科研论文.
- [3] Shirley R. *The Cryfire System for Automatic Powder Indexing: User's Manual*[M]. England: The Lattice Press, 1999.
- [4] Laugier J, Bochu B, *Chekccll*[CP/OL]. <http://www.ccp14.ac.uk/ccp/web-mirrors/lmgp-laugier-bochu/Chekccll.zip>.
- [5] Johan Z, et al. Vashegyite, a sheet aluminum phosphate: new data[J]. *Canadian Mineralogist*, 1983, 21: 489~498.
- [6] Excalibur Mineral Corp. Mineral Data [DB/OL]. <http://webmineral.com/data/Vantasselite.shtml>; [Sanjuanite.shtml](http://webmineral.com/data/Sanjuanite.shtml); [Vashegyite.shtml](http://webmineral.com/data/Vashegyite.shtml); [Sasaite.shtml](http://webmineral.com/data/Sasaite.shtml); [Kribergite.shtml](http://webmineral.com/data/Kribergite.shtml).

SASAITE FROM NIUTITANG BLACK SHALES, ZUNYI

LUO Tai-yi¹, LI Xiao-biao^{1,2}, YAO Lin-bo¹, ZHU Dan^{1,2}

(1. Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract: Sasaite from Niutitang black shales at Zunyi occurs mainly as micro-fissures in Ni-Mo multi-metal mineralization strata, and also as small sasaite veins in black shales beneath the Ni-Mo multi-metal mineralization strata. Part of structure water in sasaite is easy to lose, leading to a variety of XRD spectra, and steady XRD spectra can be kept after the samples have been preserved for long under natural conditions. IR spectra, DG-TGA, TEM and chemical composition of the sasaite have been determined, and relative crystal cell parameters have been calculated from the XRD data; the difference between sasaite and vashegyite has been discussed.

Key words: sasaite; Niutitang black shale; Zunyi