

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

锌叶绿泥石矿物学研究

张 荣 英

(湖北省地质局实验室)

绿泥石类矿物是含水的镁、铁、铝层状硅酸盐, 矿物结构由似云母层和似水镁石层交替沿 C 轴堆砌组成。按八面体空穴填充情况分为三八面体和二八面体两类, 根据八面体中的阳离子种类不同可形成多种绿泥石矿物, 由于四面体中硅被铝置换程度差异又可分为若干亚种。

1973 年我们研究鄂北杨家堡下寒武统黑色页岩中的钒矿床时, 发现一种绿色粘土矿物, 当时定为镍锌绿泥石, 后来发现其结构不同于普通绿泥石。进一步研究做了一些工作, 今将结果综合如下。错误之处, 请批评指正。

本文曾经郭承基先生审阅和指导, 化学定量分析是我室分析的, 红外吸收光谱图由本室陆镇英同志试测, 电子探针由武钢钢研所分析, 特此表示感谢。

一、试样分选

锌叶绿泥石常以细条带状集合体产于含钒碳质板岩中, 共生矿物有石英、含钒水云母和高岭石。在手标本上可见苹果绿色的锌叶绿泥石和蓝绿色含钒水云母相间成条带。为纯化富集试样, 在双目镜下挑出苹果绿色的部分, 并用蒸馏水浸泡扩散, 制成悬浮液, 移置 500 毫升量筒内, 静置两小时, 吸出上部 10 厘米的悬浮液, 量筒内再加水搅拌, 反复提汲。最后蒸干取出的悬浮液, 得到试样。经过偏光显微镜、x 射线衍射和红外光谱检查, 证实试样中仍有大约 2% 的石英、5% 左右的高岭石及微量炭质。

二、试验结果

由于样品粒度太细, 一般只有 2—3 微米, 不可能获得单晶体, 因而各项测试工作都采用多晶粉末样品。

(一) 物理性质

外形呈不规则细鳞片状, 苹果绿色, 在电子显微镜下, 放大 3500 倍可见其外形 (图 1)。在 ab 倒易格子的电子衍射图 (图 2) 上, 衍射点呈六方形, 但各衍射点的强度指示锌叶绿泥石为单斜对称。

用比重瓶法测得比重为 2.86。矿物在浸油中具弱多色性, N_p -淡黄绿色, N_m -淡绿色, 二轴晶, 负光性, $2V$ 约 20° , $N'_p = 1.584$, $N'_m = 1.593$ 和 $N'_g = 1.595$ 。

(二) 化学成分

试样经多种试验方法查明锌确实以类质同像取代方式存在于绿泥石中。扫描电镜分析, 锌的分布情况 (图 3) 与形貌图 (图 4) 一致, 这充分说明锌存在于绿泥石结构中, 同时未发现试样中有其他含锌矿物存在。化学分析结果列于表 1。

结晶化学式: $[(Mg_{2.03}Zn_{0.78}Ni_{0.12}Fe_{0.07}^{2+}Ca_{0.15}Cu_{0.03}^{2+})_{3.18}(OH)_6] \{ (Al_{1.29}Fe_{0.28}^{3+}Mg_{0.41}Ti_{0.02})_2 [Si_{3.01}Al_{0.84}P_{0.15}]_4 [O_{9.33}(OH)_{0.69}](OH)_2 \}$

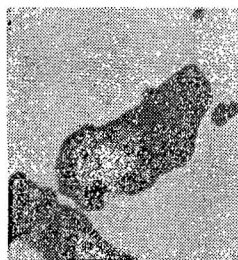


图 1 锌叶绿泥石的电镜照片 放大3500倍

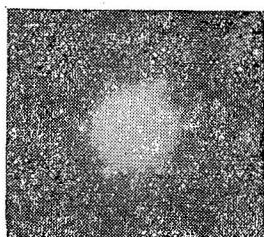


图 2 锌叶绿泥石的电子衍射图 (ab平面)

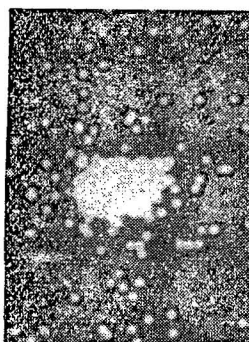


图 3 锌叶绿泥石的 ZnKα 分布图

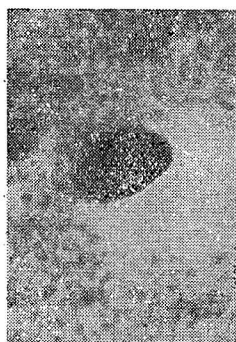


图 4 锌叶绿泥石的背散射电子像

(三) X 射线粉末衍射数据

衍射数据采用衍射仪法(图5)和纪尼叶照相法(图6)记录(表2,表3)。

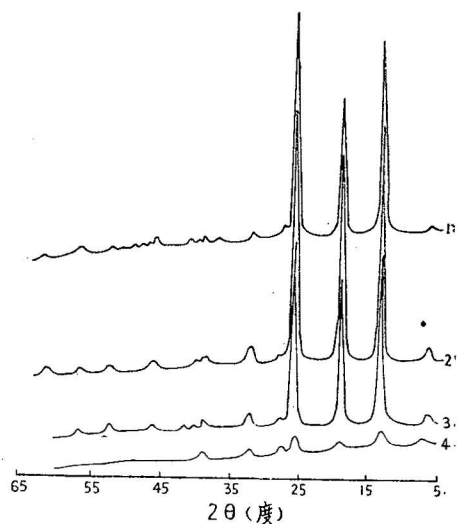


图 5 锌叶绿泥石 X 射线粉末衍射图

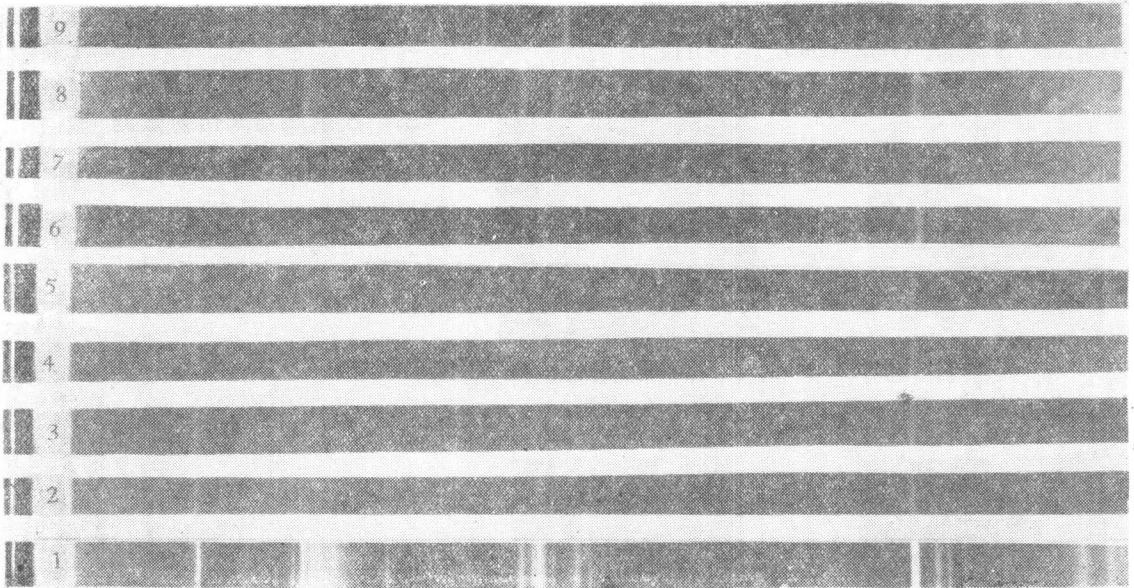
1. 未经处理的试样; 2. 用甘油处理过的试样;
3. 300°C 加热 2 小时后试样; 4. 600°C 加热 3 小时后的试样

表 1 叶叶绿泥石试样化学分析结果

分析项目	百分含量	扣除杂质*的百分含量	换算成100%	以氧原子为18计算阳离子数
SiO ₂	32.12	27.82	30.58	3.01
P ₂ O ₅	1.68	1.68	1.85	0.15
TiO ₂	0.25	0.25	0.27	0.02
Al ₂ O ₃	18.70	16.70	18.35	2.13
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	
Fe ₂ O ₃	3.57	3.57	3.92	0.28
MgO	15.15	15.15	16.65	2.44
ZnO	9.69	9.69	10.65	0.78
NiO	1.44	1.44	1.58	0.12
FeO	0.87	0.87	0.96	0.07
CaO	1.29	1.29	1.42	0.15
MnO	0.02	0.02	0.02	
CuO	0.36	0.36	0.40	0.03
H ₂ O ⁺	12.75	12.05	13.24	8.67
H ₂ O ⁻	0.69			
总量	98.60**	90.91	100.00	

* 扣除 2% 石英, 5% 高岭石, 和 H₂O⁻。

** 总量低乃因有少量炭质。

图 6 锌叶绿泥石的纪尼叶照片 (CuK α , 40KV, 10mA)

1. 原样; 2. 100°C加热 2 小时; 3. 200°C加热 2 小时; 4. 300°C加热 2 小时; 5. 400°C加热 2 小时; 6. 550°C加热 2 小时; 7. 650°C加热 2 小时; 8. 800°C加热 2 小时; 9. 1000°C加热 2 小时

表 2 锌叶绿泥石的X射线粉末数据 (衍射仪法)

原 样			用甘油处理		300°C加热 2 时		600°C加热 3 时	
hkl	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
001	14.4	100	14.28	125	14.3	30 B	13.2	50 B
002	7.20	720	7.15	2000	7.25	540	7.2	50
003	4.78	450	4.77	1200	4.76	400	4.8	8
004	3.58	615	3.58	1800	3.59	490		
	3.35Q	39	3.35Q	36	3.35Q	35	3.35Q	23
005	2.86	68	2.86	156	2.865	50	2.90	20
006	2.395	50	2.390	60	2.400	30		
	2.350K	20	2.350K	18	2.350K	40		
20 $\bar{4}$	2.300	15	2.286	12				
204	2.040	40	2.032	100	2.040	72		
008	1.790	12	1.790	20	1.790	36		
	1.666K	35	1.665K	35	1.670	40		
060	1.542	72	1.540	45	1.542	50		
00,10	1.429	6	1.425	49				

Q—石英, K—高岭石, B—宽线, I = 峰高乘峰半高宽。

用B. E. Brown和S. W. Bailey^[1]提出的方法, 观察(hol)型衍射线的相对强度值, 从表3的衍射强度可以看出: $I_{201} < I_{200}$, $I_{203} < I_{202}$, $I_{205} > I_{205}$, 这就清楚地证明锌叶绿泥石具有Ia型多型结构; 由于 I_{201} 稍大于 I_{203} , 故试样中存在少量Ib型绿泥石。自然界中Ia型是比较少见, 据统计在天然绿泥石中, Ib型占80%, Ib型占17%, Ia型仅有3%, Ia自然界未见到。

由粉末衍射数据计算出锌叶绿泥石的晶胞参数是: $a_0 = 5.33 \text{ \AA}$, $b_0 = 9.24 \text{ \AA}$, $c_0 = 14.4 \text{ \AA}$, $\beta = 96^\circ 55'$ 。用M. H. Hey^[2]的公式, 计算理论晶胞参数值, 与实测结果十分吻合, $a'_0 = 5.330 \text{ \AA}$,

表 3 锌叶绿泥石的射线X粉末衍射数据 (纪尼叶相机记录)

原 样			550℃加热 2 时		650℃加热 2 时		800℃加热 2 时		1000℃加热 2 时	
hkl	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
001	14.32	10	13.68	10 B	13.2	10 B				
002	7.168	90	7.161	20						
003	4.760	35							4.73	5
020	4.618	60	4.618	70	4.62	60	4.62	60		
	4.476K	20	4.470K	10						
	4.358K	20	4.341K	5						
	4.181K	20							4.089	5
022	3.852	10							3.898	10
004	3.574	50	3.571	20						
103	3.512	10	3.515	10	3.519	10				
	3.349 \emptyset	20	3.350 \emptyset	15	3.350 \emptyset	50	3.350 \emptyset	15	3.350 \emptyset	10
	2.986	20							3.180	40
	2.945	20							2.878	90
201	2.667	40	2.666	50	2.668	50	2.671	90		
200	2.644	60								
202	2.589	50								
201	2.564	60	2.563	45	2.559	20				
	2.553K	20							2.537	35
	2.496K	20	2.494K	15					2.457	100
203	2.440	30	2.449	20	2.447	30 B	2.447	40 B		
202	2.392	65	2.396	10						
	2.341K	20	2.343K	5						
204	2.294	30	2.295	10	2.274	10	2.274	15		
	2.260	15								
204	2.019	20							2.041	25
206	1.898	20								
205	1.837	10								
207	1.742	25	1.745	15	1.748	10	1.750	10	1.663	20
206	1.683	15							1.618	20
060	1.540	100	1.541	100	1.547	100	1.546	100	1.565	40
062	1.506	40	1.500	20					1.524	15
063	1.489	30	1.488	20					1.488	20
209	1.467	25								
00,10	1.429	25							1.436	60
208	1.393	5					1.363	5		
400	1.325	50	1.328	5	1.336	10	1.336	5		
404	1.295	35			1.310	10	1.312	5		
402	1.282	15								

\emptyset —石英, K—高岭石, B—宽线。

$$\alpha'_0 = 9.236 \text{ \AA}, d'_{(001)} = 14.293 \text{ \AA}.$$

锌叶绿泥石的 (00 l) 型衍射线的相对强度, 当 $l=2n$ 时, 强度大; 当 $l=2n+1$ 时, 强度弱。在奇数级中 I_{001} 和 I_{005} 特弱, 而 I_{003} 强。这就初步证明锌、镍等重原子在两类八面体中, 呈不对称分布, 而且在似水镁石层中占优势。我们用 Petruk^[3] 法和 Oinuma^[4] 三角图解法测定了重原子在锌叶绿泥石结构中的分布情况。从表 4 可看出用 Petruk 法计算的总重原子数比实测值高,

其主要原因是所用的工作曲线是以铁、锰为重原子计算的，而锌叶绿泥石中主要重原子是锌，锌比铁、锰重得多。然而两种方法测定的结果证明90%以上的重原子是位于似水镁石层内。与计算值都比较接近。

表 4 锌叶绿泥石重原子的含量及分布情况

测定方法	不对称度*	总重原子数	似水镁石层内 重原子数	似云母层内 重原子数	似水镁石层中重 原子百分数
Petruk 法	-1.50	1.80	1.65	0.15	92
Oinuma 三角图解法	-1.20	1.49	1.35	0.15	90
化学式计算	-0.85	1.45	1.15	0.30	87

* 不对称度为似云母层中的重原子数减似水镁石层中的重原子数。

热处理过程中试样的衍射数据表明，低于300℃结构没有变化；550—600℃之间， $d_{(001)}$ 面间距收缩，相对强度减弱，(00 l) 型衍射线逐步变弱，而(0 k 0)型衍射线，相对强度增强， d 值也略增大。随着似水镁石层的分解，晶体沿 c 轴方向的周期被破坏，结构逐渐变化，800℃时锌叶绿泥石的衍射线大部分消失，仅有(060)、(020)尚可见。这说明结构基本破坏，同时出现新相锌尖晶石、橄榄石的衍射线，到了1000℃，两个新相的衍射线更清楚了。用甘油处理后的衍射图，未见(00 l)衍射有增大现象，这表明锌叶绿泥石为非膨胀性矿物。

(四) 红外光谱分析

锌叶绿泥石的红外吸收谱类似于叶绿泥石和铁叶绿泥石，但亦有所差异。锌叶绿泥石的主要吸收带有：3668, 3618, 3540, 3340, 1160, 1080, 1025, 998, 940, 750, 650, 535, 490, 460 cm^{-1} 。在羟基区有4个吸收带(图7)。3668 cm^{-1} 带为Al—O—H伸缩振动；3618 cm^{-1} 带为Mg—O—H伸缩振动。与其它三八面体类绿泥石比较，这两个内羟基(似云母层)吸收带频率变化不大，都很相近。当试样加热到620℃时，这两个吸收带仍然保持不变。从图7可见，另两个属于似水镁石层的外羟基伸缩振动带，3540 cm^{-1} (Mg—O—H)和3340 cm^{-1} (Zn—O—H)，随着热处理温度增高，吸收带的相对强度减弱，到620℃则完全消失。这表明似水镁石层被分解。与铁叶绿泥石相比较，锌叶绿泥石的外羟基吸收带频率偏低，3540 cm^{-1} 带低20 cm^{-1} ；3340 cm^{-1} 带低60 cm^{-1} 。这说明，锌、镍原子存在于似水镁石层内。

热处理过程中的红外谱(图8)表明，300℃以前结构没有变；在400—500℃之间，只有外羟基吸收带强减弱；个别吸收带如530 cm^{-1} 漂移到520 cm^{-1} ，强度也降低，这表明此带与似水镁石层有关，应为Si—O—MgZn振动。620℃以后红外谱变化较大，似水镁石层分解；3540, 3340, 520 cm^{-1} 带消失；Si—O骨架吸收带由原来的1080, 1025, 460 cm^{-1} 漂移到1050, 1004, 446 cm^{-1} 。频率降低意味着Si—O距离增大，硅氧四面体有偏转。810℃—1000℃的红外谱表明结构被破坏，出现大量无定形SiO₂(460, 1060 cm^{-1})，镁铁杆栏石(490, 830, 870, 950 cm^{-1})和锌尖晶石(505, 552, 670 cm^{-1})。

H. Hayachi 和 K. Oinuma^{[5][6]}指出，各类绿泥石红外谱的变化主要取决于八面体的阳离子种类。在450—1000 cm^{-1} 的范围内，各主要吸收带的波数变化规律，随八面体中阳离子铝的增多而增高；随镁，尤其是铁离子的增加而波数降低。我们将锌叶绿泥石的八面体中的阳离子，分为Mg、Al和Zn等三组，投入三角图中(图9、10)。完全合符其变化规律，位置介于镁铝绿泥石和铁镁绿泥石之间，更偏近铁镁绿泥石。

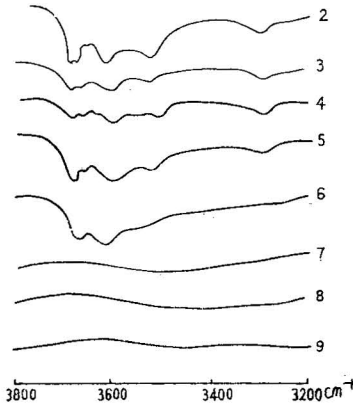


图 7 锌叶绿泥石 OH 区红外吸收光谱

1. 未经处理的试样；2. 200℃热处理 1 小时；3. 300℃ 热处理 1 小时；4. 400℃热处理 1 小时；5. 500℃ 热处理 1 小时；6. 620℃热处理 1 小时；7. 810℃热处理 1 小时；8. 910℃ 热处理 1 小时；9. 1000℃热处理 1 小时；（3 为 0.5mg；4 为 0.8mg；其它为 1.5mg 左右）

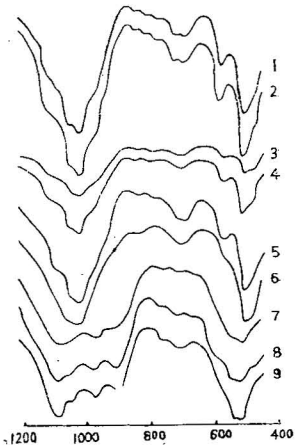


图 8 锌叶绿泥石 1200—400 区的
红外吸收谱
(说明同图 7)

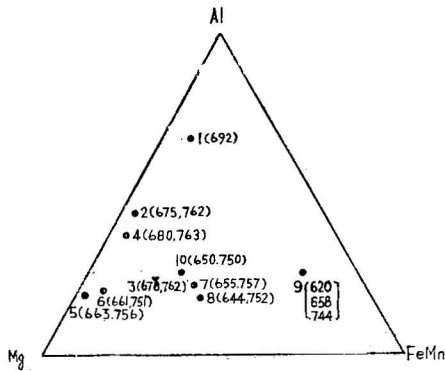


图 9 绿泥石中八面体成分与红外吸收谱 620—780 cm^{-1} 区吸收带的关系

1. 铝绿泥石；2、3、4. 镁铝绿泥石；5、6. 镁绿泥石；7、8. 铁镁绿泥石；9. 铁绿泥石；10. 锌叶绿泥石（把 Zn 作为 Fe 处理）

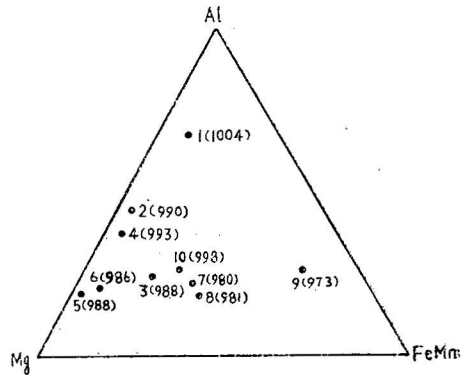


图 10 绿泥石中八面体成分与 Si-O-Si 吸收带的关系

(说明同图 9)

(五) 热分析

锌叶绿泥石的差热曲线 (图 11)，可用 x 射线衍射和红外光谱的结果来解释，低温吸热谷是脱去吸附水和少量层间水，600℃是脱(OH)，780℃为结构分解，840℃是新相生成。锌叶绿泥石的分解温度比斜绿泥石、叶绿泥石、铬绿泥石低 100℃左右，但比铁绿泥石高 200℃，接近铁镁绿泥石；放热温度与铁镁绿泥石、叶绿泥石都很接近。锌叶绿泥石的失重曲线 (图 12)，可分为三个阶段：25—500℃，失重 5%；500—700℃失重 6.8%，700—1,000℃失重 2.2%，总失重为 14%。

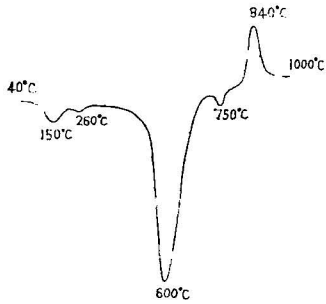


图 11 锌叶绿泥石的差热曲线

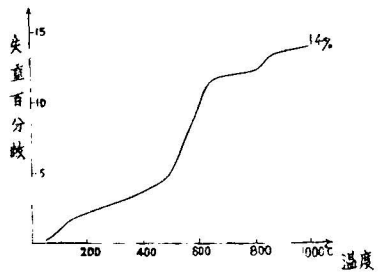


图 12 锌叶绿泥石的脱水曲线

三、讨 论

(一) 种属名称的确定

由于结构知识的积累，目前绿泥石矿物都采用结晶化学分类。根据有关文献^{[7][8][9]}，将绿泥石的结晶化学分类综合列于表 5 中。

表 5 绿泥石的结晶化学分类

类	亚 类	种	亚种 (括弧中数字为四面体内Al离子数)
正 绿 泥 石 (14Å 型)	三八面体	镁绿泥石 (Mg/Fe>1)	叶绿泥石 (0.5-9.0), 斜绿泥石 (0.9-1.2), 透铁绿泥石 (1.2-1.5), 蠕绿泥石 (1.2-1.5), 隐绿泥石 (1.5-2.0), 镁绿泥石 (2.0-2.2),
		铁绿泥石 (Fe/Mg>1)	铁叶绿泥石 (0.5-0.9), 铁斜绿泥石 (0.9-1.2), 铁蠕绿泥石 (1.2-1.5), 铁隐绿泥石 (1.5-2.0),
		高铁绿泥石 (含有较多高价铁)	高铁叶绿泥石 (0.5-0.9), 蠕绿泥石 (0.9-1.2), 磷绿泥石 (1.2-1.5), 锰绿泥石,
		铬绿泥石	铬叶绿泥石 (0.5-0.9), 铬斜绿泥石 (0.9-1.2), 铬蠕绿泥石 (1.2-1.5), 铬隐绿泥石 (1.5-2.0),
		镍绿泥石	按四面体Al离子可分若干种
	锌绿泥石		
	二八面体	锂绿泥石	
铝绿泥石			
副 绿 泥 石 (7Å 型)	三八面体	镁绿泥石	
		蠕绿泥石	
		铁蛇纹石	
		叶蛇纹石	

x 射线衍射数据 $d_{(001)}=14.3 \text{ \AA}$ ，确定了本区的绿泥石是正绿泥石类。 $d_{(060)}=1.54 \text{ \AA}$ 应属三八面体亚类。八面体层的阳离子除 Al^{3+} ， Mg^{2+} 之外，有较多的 Zn^{2+} ，可确定为锌绿泥石。化学式计算，四面体中有 0.84 个铝离子，应属叶绿泥石亚种。另外红外吸收光谱和热分析数据都与叶绿泥石类相近，综合各项试验结果，将本区产出的绿泥石矿物定名为锌叶绿泥石是恰当的。

(二) 锌在结构中的特性

从锌叶绿泥石的结构模型(图13)可看出, 锌离子位于似水镁石层八面体空穴内, 呈六重配位, 每个锌离子被6个(OH)包围, Zn^{2+} 与 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 成类质同像取代, 在锌叶绿泥石中 Fe^{2+} 含量很低, Zn^{2+} 在结构中的作用和 Fe^{2+} 相同, x射线衍射、红外谱和热分析数据都证实这一情况。 Zn^{2+} 与 $(OH)^-$ 之间呈离子型结合。在硅酸盐矿物中, 锌与氧往往成共价键结合, 呈四重配位; Zn^{2+} 取代 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} , 形成离子键是罕见的。在锌叶绿泥石结构中, Zn^{2+} 的特殊结晶化学性质, 是由于粘土矿物的层状结构具有较大的开放性, 允许有更广泛的类质同像取代。另外与形成时的地质环境也有关。

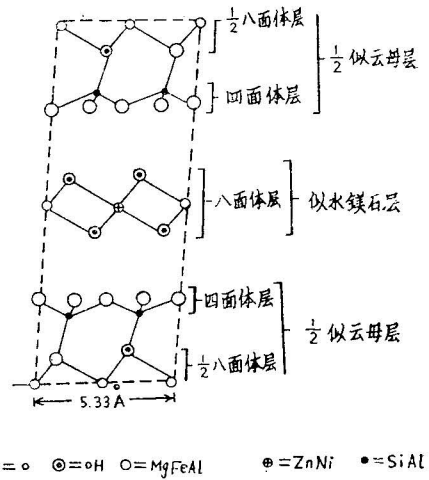


图 13 锌叶绿泥石结构模型

(三) 地质环境

从矿物的生成条件来说, 只有在特定的地质环境, 才有可能形成 Ia 型的锌叶绿泥石。从晶体结构稳定性分析, Ib 型绿泥石是最稳定, 一般中温、高温变质成因的绿泥石, 几乎全是 Ib 型。在 Ia 型结构中, 由于似水镁石层阳离子与四面体层阳离子距离较近, 斥力相对要大一点, 因而 Ia 型结构稳定性比 Ib 型差。故 Ia 型结构只能在低温环境下, 处于亚稳定态。还有可能向 Ib 型变化。本地区的锌叶绿泥石赋存于下寒武统黑色页岩, 岩层富含炭质, 在成岩之前, 锌、镍等重金属, 可能以有机络合物形式存在。在成岩过程中, 有机物逐步分解, 锌、镍等迁移到粘土晶格中, 形成各种粘土矿物。当时的地质环境处在低温偏碱性的还原条件, 十分有利于形成 Ia 型的锌叶绿泥石。本区出现少量 Ib 型结构, 说明 Ia 型有部分向 Ib 型转变。

参 考 文 献

- [1] Brown, B. E. and Bailey, S. W., 1962, Chlorite polytypism; I. Regular and semi-random One-layer Structure. *Am. Minerals*, Vol. 47, 819—850.
- [2] Hey, M. H. et al., 1954, A New Review of the Chlorites, *Mineral. Mag.*, Vol. 30, 277—293.
- [3] Petruk, W., 1964, Determination of Heavy Atom Content in Chlorite by Means of the X-ray Diffractometer, *Am. Mineral.* Vol. 49, 61—71.
- [4] Oinuma, K. S. and Sudo, T., 1973, Triangular Diagrams in Use of a Survey of Crystal Chemistry of Chlorite in J. M. Serratos Ed. *Proc. Int. Clay. 1972, Modriol. Spain*, p123—130.
- [5] Hayachi, H. and Oinuma, K., 1967, Si-O Absorption Band Near $1000cm^{-1}$ and OH Absorption Bands of Chlorite, *Am. Mineral.*, Vol. 52, 1206—1210.
- [6] Hayachi, H. and Oinuma, K., 1965, Relationship Between Infrared Absorption Spectra in the Region of $450-900cm^{-1}$ and Chemical Composition of Chlorite, *Am. Mineral.*, Vol. 50, 476—483.
- [7] Orel, M. J., Callere, S. and Henin, S., 1951 *Nouvel Essai de Classification des Chlorites*. *Mineral. Mag.* Vol. 29, 329—340.
- [8] Nelson, B. W. and Roy, R., 1953, New Data on the Composition and Identification of Chlorites, 2nd National Conference on Clays and Clay minerals, *Nat'l. Acad. Sci. Pub.* *327, 335—348.
- [9] Strunz, H., 1970, *Mineralogische Tabellen*. Akademie Verlagsgesellsch, Geest and porting leipzig, 5th, edn. 621pp.

ON THE MINERALOGY OF ZINC-PENNINITE

Zhang Rongying

(Hubei Geological Laboratory)

Abstract

Zinc-Penninite occurs in the early Cambrian black shales in northwestern Hubei. It was formed under Low-temperature and alkaline reducing conditions. It is of apple-green colour and thin scale in form. The specific gravity is 2.86. The mineral is optically biaxial negative with $2V=20^\circ \pm$, $N_p=1.584$, $N_m=1.593$, $N_g=1.595$. The chemical formula is $[(Mg_{2.03}Zn_{0.78}Ni_{0.12}Fe_{0.07}^{2+}Ca_{0.15}Cu_{0.03}^{2+})_{3.18}(OH)_6]\{(Al_{1.29}Fe_{0.23}^{2+}Ti_{0.02}Mg_{0.41})_2[Si_{3.01}Al_{0.84}P_{0.15}]_4[O_{9.33}(OH)_{0.69}](OH)_2\}$. The cell dimensions are $a_0=5.33 \text{ \AA}$, $b_0=9.24 \text{ \AA}$, $c_0=14.4 \text{ \AA}$, $\beta=96^\circ 55'$. The X-ray powder diffraction data show that the heavy atoms zinc and nickel occupy the cavities of the octahedra of the brucitoid layers. The mineral exhibits a Ia structure. The X-ray diffraction pattern of a heated sample shows that the structure does not change below 300°C ; the interplanar spacing of $d(00l)$ decreases, the $(00l)$ diffraction lines weaken and the $(0k0)$ diffraction lines strengthen from 550 to 600°C ; the structure is destroyed and new phases gahnite and olivine appear above 800°C .

The infrared spectrum of zinc-penninite is similar to that of delessite. Their inner (OH) absorption bands ($3668, 3618\text{cm}^{-1}$) show no much difference; while for the outer (OH) absorption bands ($3540, 3340\text{cm}^{-1}$), the wave number for zinc-penninite is lower than that of delessite. This indicates that zinc and nickel atoms are situated in the brucitoid layer. Heating infrared spectra show that the structure does not change much below 550°C , while at 620°C the brucite layer decomposes with an infrared spectrum resembling that of trioctahedral mica and that a large amount of amorphous SiO_2 , gahnite and hortonolite appear from 800 — 1000°C . There are four endothermic valleys ($150, 260, 600, 780^\circ\text{C}$) and an exothermic peak (840°C) on the differential thermal curve. The weight-loss curve shows a three-stage weight loss; 5% from 25 to 500°C , 6.8% from 500 to 700°C and 2.2% from 700 to 1000°C .