第44卷 第1期　　地 質 学 报　　Vol. 44, No. 1
1964 年 2 月　　ACTA GEOLOGICA SINICA　　Feb., 1964

鉄鱗石——蛇紋石族矿物新变种

賈炳文　　郑　轍

鉄鱗石产于北京延庆超基性岩体中，1961年暑期，在野外曾暂定名为“絹石”(Bastite)[20]，它是斜方輝石族矿物水热蝕变的产物。矿物呈暗棕綠色鱗片状集合体，化学結构式为：$(Mg_{4.6}Fe_{0.5})_{5.1}Fe_{0.6}(Si_4O_{10})(OH)_8$。根据它的物理性質和光学性質，在 A. N. 文契尔綠泥石-蛇紋石分类图表中[16]，不能确定它的分类位置。

1956年，E. J. W. 維塔格和 J. 茹斯曼[14,15]以及 G. W. 布雷得莱[17]曾經系統地研究过蛇紋石和“絹石”的粉晶衍射資料、电子衍射資料，根据他們的意見，蛇紋石族矿物应作如下的分类(表1)：

表1　蛇紋石矿物分类[14]

蛇紋石种类 \ 参数		晶胞参数			
		a(Å)	b(Å)	c(Å)	β
纖維蛇紋石	正纖維蛇紋石 (Orthochrysotile)	5.34	9.2	14.63	90°
	斜纖維蛇紋石 (Clinochrysotile)	5.34	9.2	14.65	93°16′
	副纖維蛇紋石 (Parachrysotile)	•纖維軸周期是 9.2Å			
鱗石[1)]		5.3	9.2	7.3	90°
叶蛇紋石		43.5	9.26	7.28	91°24′
六层正蛇紋石		5.32	9.42	43.6	90°

1) 鱗石英文名字是 Lizardite，国内尚无譯名。它为鱗片状晶体，为照顾“Li”字发音，今暂譯为鱗石。

延庆超基性岩中所产的“絹石”，其粉晶衍射資料和鱗石的粉晶衍射資料几近完全一致，因此将它归属鱗石；鱗石的化学結构式为 $(Mg_{5.7}Fe_{0.2}Al_{0.17})(Si_4O_{10})(OH)_8$，其鉄含量为0.48%，而延庆絹石之鉄含量高达14.21%，因此将它列为鱗石的富鉄变种，并命名为鉄鱗石(Ferrolizardite)。

作者对鉄鱗石的物理性質、光学性質、热学性質作了系統的研究，并且研究了它的 X-射綫粉晶衍射图、单晶迴轉衍射图以及电子显微鏡下的形态，所有这些研究，一方面証明它是蛇紋石族中鱗石，另一方面証明它有自己特有的物理、化学性質，根据这些性質，可以将它和鱗石、叶蛇紋石、鉄叶蛇紋石、纖維蛇紋石綠泥石区别开。

鉄鱗石的发現証明：鱗石和叶蛇紋石一样也存在富鉄的变种。这在矿物学上和岩石

学上都是十分有意义的事。

鱗石除了英、美、苏联一些学者近年来作了一些 X-射綫和电子衍射的研究之外，其它方面，諸如物理性質、光学性質、热学性質都很少研究。这篇論文就这方面来説，是初次工作，錯誤之处在所难免，請同志們批評指正。

一、产　状

鉄鱗石的母岩——超基性岩位于北京延庆之东北約五十公里，侵入于前震旦紀片麻岩系中，岩体呈不規則的卵圓形透鏡体，主要由紫苏岩和异剝岩构成。前者分布在岩体的中东部，是超基性岩的主体部分；后者分布在岩体的西側，面积較小，侵入时期略晚于紫苏岩。

紫苏岩为棕黑色，粗粒块状构造。未蝕变部分質地坚硬；风化后，岩石表面为鉄質所渲染，呈暗棕色。矿物成分主要的是紫苏輝石、普通角閃石，次要的是橄欖石和异剝石、金云母和磁鉄矿，紫苏岩的蝕变矿物几乎全是鉄鱗石，这是它的特点。

异剝岩为淡綠色，伟晶質块状或条带状构造。露头风化甚烈，質地松散。矿物成分主要的是异剝石，次有普通角閃石和紫苏輝石以及少許磁鉄矿，蝕变矿物主要有次閃石和鉄鱗石。

根据露头观察，鉄鱗石多呈細鱗片状集合体，其交代作用在紫苏岩中最发育。鉄鱗石多呈条带状和网脉状，被交代的輝石岩殘留的块体突出在网脉中央(图 1)。鉄鱗石条带（网脉）寬度从数厘米至一、二米。有的地段，整个紫苏岩均为鉄鱗石所交代。

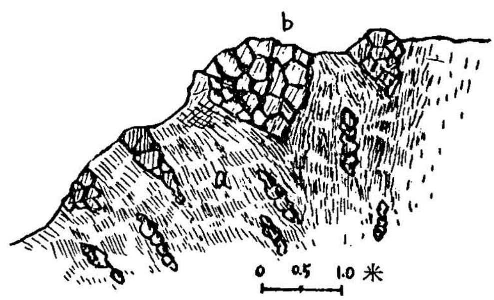


图 1　被鉄鱗石脉 (a) 交代的紫苏岩残体 (b) 素描图

二、物理性質和光学性質

如上所述，鉄鱗石常沿輝石岩节理裂隙交代輝石，形成条带状和网脉状，肉眼观察，鉄鱗石常保持輝石的假象。

鉄鱗石为暗棕綠色，細鱗片状，集合体有时保持輝石的假象。硬度 2［垂直于（001）面］，比重为 2.653(用流体靜力法測定)，为強电磁性矿物。平行于（001）解理极完全。解理薄片不具弹性。質地松軟，用手搓之即粉碎为更細小的鱗片。在 1N HCl 或 20% 的硫酸中，置于水浴里煮沸，1—2 分鈡后鉄鱗石分解，析出白色的硅胶，特别指出的是硅胶保留着鉄鱗石片状假象。

在双目鏡下，矿物为琥珀色，玻璃或珍珠光泽，单晶体为薄板状或鱗片状，有时有良好的假六边形晶体。晶体常变形，（001）面多为波状曲面。晶体大小，一般为 0.5—1 毫米。在双目鏡下发現晶体沿（010）面极易裂开。

在偏光显微鏡下，发現鉄鱗石有二种形态，一为鱗片状，二为蠕虫状（照片 1)。在蝕变較弱的标本中，多半是鱗片状，沿輝石解理裂隙分布，形成典型的网格結构（照片 2)。

新生的鉄鱗石以(001)面平行于輝石(010)面进行生长，在輝石晶体边緣常析出一些磁鉄矿。

在单偏光鏡下，鱗片状的鉄鱗石为褐色至綠褐色，多色性不显著。干涉色較低，波状消光。{010}裂紋不很明显。蠕虫状的鉄鱗石为淡黄至褐綠色，在垂直于(001)底面方向，{001}解理呈扇形排列。多色性明显。下偏光振动方向平行{001}解理方向，吸收最強为褐色至褐綠色；垂直于{001}方向，吸收最弱为淡黄色至无色。干涉色达2級。消光位平行于{001}解理，扇状輪流消光，消光位相差約4°—6°。

經弗氏台詳細研究証明鱗片状的鉄鱗石系平行于矿物(001)方向的切面；而蠕虫状的系垂直于(001)方向的切面。N_p 垂直于(001)面，N_g 平行于{010}裂开方向。

多色性：$N_g = N_m$——褐色至褐綠色

N_p——淡黄色至无色

吸收公式：$N_p < N_m = N_g$

光性方位：$N_g = a$；$N_m = b$；$N_p = c$。这和H. A. 柯尔尼洛夫所测的結果是一致的[22]。

用油浸法；在鈉光下($\lambda = 580\text{m}\mu$)测了四个样品的折射率，列于表2。

表2 鉄鱗石的折光率($T = 13$℃)

样品号	II_{12}	II_{35}	II_{41}	II_{47}
N_g	1.5862	1.5864	1.5861	1.5865
N_m	1.5858	1.5860	1.5857	1.5860
N_p	1.5678	1.5681	1.5678	1.5681

表3 北京延庆地区鉄鱗石与国外某些地区蛇紋石的物理光性对比表

性质＼矿物	鉄鱗石	叶蛇紋石	叶蛇紋石	叶蛇紋石	纤維蛇紋石	鉄叶蛇紋石
N_g	1.5861—1.5865	1.569—1.579	1.546	1.5670	1.551—1.556	1.60—1.61
N_m	1.5856—1.5860			1.6660		
N_p	1.5678—1.5681	1.567—1.574	1.542	1.5615	1.538—1.552	
$N_g - N_p$	0.0184—0.0188	0.004—0.005	0.004	0.0055	0.004—0.013	0.009
2V	(−)0°	(−)33°—46°	一軸負	(−)47.5°	(+)50—55°	二軸負
光性方位	$N_p \perp (001)$，$N_g // (001)$			$N_p \perp (001)$，$N_g // (001)$	$N_g // [100]$，$N_p // (001)$	$N_p \perp (001)$，$N_g // (001)$
顏色	淡黄—綠褐	无色	无色—淡黄	淡綠	无色	黄綠
吸收公式	$N_p < N_m = N_g$					$N_p < N_m = N_g$.
形状	鱗片状，蠕虫状	叶片状	叶片状	叶片状	纤維状	叶片状
比重	2.653	2.635—2.701	2.4197	2.603		
硬度	2		2.0—2.5			
磁性	強电磁性					
产地	北京延庆区	苏联貝辰加区	苏联列斯尼-瓦拉克区	委内瑞拉加拉加斯区	苏联貝辰加区	美国奥伦区
鑑定者	作者	H. A. 柯尔尼洛夫[21]	Л. A. 别尔柯娃[19]	H. H. 赫斯[10]	Л. A. 柯尔尼洛夫[22]	C. 弗劳德[8]

表 4　鉄鱗石和其它蛇紋石粉晶衍射数据

鉄鱗石		鉄鱗石		鱗石		鱗石		鱗石		叶蛇紋石			叶蛇紋石		叶蛇紋石		正纖維蛇紋石			斜纖維蛇紋石		
hkl	$d_{计算}$	$I_{观察}$	$d_{观察}$	$I_{观察}$	$d_{观察}$	$I_{观察}$	$d_{观察}$	$I_{观察}$	$d_{观察}$	hkl	$I_{观察}$	$d_{观察}$	$I_{观察}$	$d_{观察}$	$I_{观察}$	$d_{观察}$	hkl	$I_{观察}$	$d_{观察}$	hkl	$I_{观察}$	$d_{观察}$
002	7.300	10(寬)	7.260	很強	7.35	很強	7.36	9	7.20	001	7—8	7.750	6	7.16	0.5	7.97	002	很強	7.37	002	很強	7.36
020	4.600	5	4.580	中等	4.61	中強	4.62	2	5.023	201		6.93			8	7.23	020	中等	4.58	020	中等	4.58
022	3.892	1	3.956	中弱	3.90	弱	3.89	6	4.557	810	4	4.663	0.5	4.66	1	4.62	004	很強	3.66	004	很強	3.66
004	3.650	10	3.626	很強	3.66	很強	3.64	3	3.992	910					1	4.27	130	中弱	2.66	130	中弱	2.66
024	2.860	1	2.860	弱	2.85			9	3.661	811	4	3.980	2	3.96	2	3.99	201*	中弱	2.604	210	中弱	2.594
130	2.656			中弱	2.66	中弱	2.65	4	2.753	102	9	3.677			10	3.612	20$\bar{2}$*	中弱	2.547	20$\bar{2}$	中等	2.549
202	2.503	9	2.500	強	2.499	強	2.495	10	2.506	302 202	—	3.589	7	3.588	0.5	2.554	202	中等	2.500	202	強	2.459
026	2.150	5	2.148	中強	2.150	中等	2.148	4	2.151	14.0.1	4	(2.798)	0.5	3.480	5	2.522	202*	強	2.455	203	弱	2.282
008	1.825			弱	1.826	弱	1.830	1	1.885				1	2.798	0.5	2.443	203	很弱	2.338	20$\bar{4}$	弱	2.215
206	1.797	3	1.797	中等	1.795	中弱	1.794			16.0.1	10	2.527	4	2.521	6	2.419	040	很弱	2.285	204	中等	2.095
310	1.738	1	1.739	弱	1.740	中弱	1.737			18.0.0	2	(2.407)	1	2.402	0.5	2.392	20$\bar{4}$*	很弱	2.211	008	弱	1.829
028	1.696			弱	1.699	很弱	1.695	4	1.698						0.5	2.286	204	中弱	2.152	206	中等	1.748
207	1.643			弱	1.640										0.5	2.239	204*	中弱	2.093	060	強	1.536
060	1.534	6	1.536	強	1.535	中強	1.534	9	1.539						0.3	2.199	205	很弱	1.972	0.0.10	弱	1.465
208	1.506	6	1.504	中強	1.503	中等	1.503	4	1.504	832	8	2.163	1(寬)	2.152	6	2.163	008	弱	1.828	40$\bar{2}$	中弱	1.317
0.0.10	1.460	1	1.461	弱	1.462	很弱	1.460	1	1.484	11.3.2	1(弥)	2.031	0.5	1.986	0.5	2.119	206	弱	1.798			
064	1.413	1	1.419	弱	1.415	弱	1.415			004 833	2(弥)	1.831	0.5	1.848	0.5	2.032	206*	中弱	1.747			
400	1.332			弱	1.328	弱	1.328			933	2	1.782	1	1.808	0.5	1.884	060	強	1.534			
402	1.311	3	1.309	很弱	1.308	中等	1.307	5(寬)	1.313	17.0.3	2	1.725	0.5	1.723	0.5	1.833	0.0.10	很弱	1.464			
2.0.10	1.280	1	1.281	中弱	1.282	弱	1.279			24.3.0	7	1.559	0.5	1.695	4	1.813	40$\bar{2}$*	中弱	1.321			
170	1.276	1	1.278							060			3	1.562	2	1.779	402	中弱	1.309			
404	1.252			很弱	1.250	很弱	1.252			24.3.1	2	1.531	2	1.538	2	1.733						
0.0.12	1.217	1	1.219			很弱	1.218			15.04 223	1	1.516	1	1.529	0.5	1.559						
406	1.169			很弱	1.168	很弱	1.167			061			1	1.509	0.5	1.532						
080	1.150	2	1.157										0.5	1.478	0.5	1.520						
2.0.12	1.107	1	1.109										4	1.454	0.5	1.497						
408	1.074	1	1.077	极弱	1.074	极其弱	1.073				5	1.318	1	1.442	0.5	1.477						
501	1.063	1	1.063			极其弱	1.056				1	1.279	0.5	1.417	2	1.451						
531(?)	0.998	2	0.997			弱	0.994				1	1.261	0.5	1.342	0.5	1.440						
290	0.954	2	0.955								2—3(寬)	1.008										
0.2.16	0.910	2	0.910								—	0.996										
		北京延庆		挪威 Suarum		英国柯瓦尔 Lizarde		苏联貝辰加		苏联貝辰加			意大利安琪山		委内瑞拉 Caracas		美国新泽西州 Hoboken			瑞士 Zermett		
作　者		作　者		E. J. W. 維塔格等[14]		H. G. 米德雷[18]		H. A. 柯尔尼洛夫[21]		H. A. 柯尔尼洛夫[21]			E. 阿茹加[1]		H. H. 赫斯[10] R. J. 西米斯		E. J. W. 維耆格[14] J. 茹斯曼			E. J. W. 維塔格[14] J. 茹斯曼		

有"*"号的譜綫为斜纖維蛇紋石譜綫。

重折射率 $N_g - N_p = 0.0184—0.0188$。

鉴于鉄鳞石在平行于(001)面上的干涉图极似一軸晶，作者用 Л. А. 瓦尔达良兹的立体錐光法精确测定，証明 $2V = 0$，負光性。

我們将鉄鱗石的比重、折光率和重折射率投在文契尔的綠泥石-蛇紋石光性、化学成分分类图上[16]，其投影点落在图外很远的地方。在这个图表上沒有鉄鱗石的分类位置。表 3 列有几种主要蛇紋石和鉄鱗石的物理性质和光学性质，从表中可見：

(1) 和纤維蛇紋石的区别是鉄鱗石有較高的折光率，負光性，不具典型的纤維結构。

(2) 和叶蛇紋石的区别是鉄鱗石有較高的折光率和重折射率。

(3) 和鉄叶蛇紋石的区别是鉄鱗石有較高的重折射率。

三、欒琴衍射資料

1956 年，維塔格和茹斯曼首先研究鱗石粉晶衍射图[14,15]。1961 年，柯尔尼洛夫在研究胶蛇紋石时，发現胶蛇紋石多半含有鱗石或全由鱗石构成。維塔格等也曾指出，一般所謂"絹石"就是鱗石。鱗石的迴轉图尚缺。作者研究了鉄鱗石的迴轉衍射图和粉晶衍射图，并利用迴轉图所确定的晶胞参数将粉晶图各对弧綫作了指标化。

(一) 单晶迴轉图

鉄鱗石有良好的片状单晶体，{001} 解理和 {010} 裂开是这次摄譜定向的依据。但是(001)面多为波状曲面，这給定向工作带来不少困难。为摄得較好的迴轉图，所选用的单晶体厚度約 0.05 毫米，长和寬各約 0.1—0.2 毫米。照片 3 系迴轉軸平行于 a、b、c 的三张迴轉图。在 a 图上，在中央层綫附近还有一条过图中心的单撓曲綫，这表示入射綫 S_0 未能严格地平行于 c，致使迴轉軸和 a 之間有一个交角 ρ，$\rho \simeq 2°30'$[1)]。这种現象对計算 a 值并无重要的影响。在 b 图上，离图中心較远的地方有一些較长的斑点和双斑点；在 c 图上，斑点都有拉长現象；这些現象均系晶体曲弯而造成的。根据比长仪测量的数值，計算得鉄鱗石的晶胞参数 $a = 5.35$ Å(± 0.05 Å)，$b = 9.2$ Å(± 0.05 Å)，$c = 7.2$ Å(± 0.1 Å)，$\beta \doteq 90°$。这套参数和用电子衍射方法所得到的鱗石晶胞参数十分接近(参閱表 1)。

(二) 粉　晶　图

用鈷靶摄得的粉晶衍射图示于照片 4，面网間距($d_{观察}$)和強度的观察值($I_{观察}$)以及面网間距的計算值($d_{計算}$)統統載于表 4。

鉄鱗石的粉晶数据和鱗石的粉晶数据十分接近，因此将它归属为鱗石中一个变种。

鉄鱗石衍射弧綫以$(00l)$ (l = 偶数)、$(0k0)$ (k = 偶数)、$(h0l)$ 和 $(0kl)$ 衍射为主，(hkl) 衍射綫少見。作为鉴定的譜綫是$(0kl)$綫和(060)(208)二条毗連的強譜綫。$(00l)$、$(0k0)$ 譜綫和叶蛇紋石、纤維蛇紋石譜綫相近。鉄鱗石和几种主要蛇紋石粉晶数据对比，如表 4 所示。

有人将蛇紋石当作綠泥石鎂系端員，这种看法早在 1936 年賽尔弗雷吉[13]就指出是錯

1) 鉄鱗石在垂直于(001)切面上为扇状輪流消光，消光位相差 4°—6°，这表示一个晶体内 c 軸方向是有变动的，因此，欲使 S_0 严格地平行于 c 是較困难的。

誤的。从蛇紋石的粉晶衍射图和单晶衍射图看，它和綠泥石不同，而和高岭石相似。現在已經証明，蛇紋石晶体結构和高岭石晶体結构为同一类型。

柯尔尼洛夫認为蛇紋石晶胞参数 b 的大小随 FeO 含量的增加而增加[23]。这个論点在鉄鱗石内沒有得到特别的指示。鉄鱗石内 FeO 含量达 6.22%，据 (060) 衍射綫計算，$b = 9.216$ Å，这和常見的蛇紋石 b 軸长度相差不大，也就是說，b 軸长度和 FeO 含量的关系不十分显著。

四、矿物化学

鉄鱗石晶体內几乎沒有包裹物，与之共生的矿物最多的是磁鉄矿，次为比重大于 3 的橄欖石和輝石，因此，通过多次鉄磁选和二次重液分离(重液为三溴甲烷)之后，所得到的样品，經双目鏡和偏光显微鏡检查，为純淨的鉄鱗石。分析工作做了二次，每次平行做二个样品，所得結果大体相同(表 5)，分析結果經計算后(計算过程載于表 5)，求出鉄鱗石的化学結构式：

$$(K、Na、Ca)_{0.2}(Mg_{4.5}Fe^{2+}_{0.50})_{5.0}Fe^{3+}_{0.6}[(Si_{3.91}Al_{0.04})O_{10}](OH)_8$$

或略写为：

$$(Mg_{4.6}Fe_{0.5})_{5.1}Fe_{0.6}(Si_4O_{10})(OH)_8$$

表 5　鉄鱗石化学成份計算

氧化物	重量百分比	分子数	氧离子数	阳离子数	結构式中阳离子数	阳离子近似值
SiO_2	40.37	671.8	1343.6	671.8	3.91	3.91
TiO_2	0.02	0.3	0.5	0.3	0.0015	
Al_2O_3	0.32	3.1	9.4	6.2	0.037	0.04
Fe_2O_3	7.99	50.0	150.0	100.0	0.582	0.60
FeO	6.22	86.6	86.6	86.6	0.504	0.50
MgO	31.33	777.2	777.2	777.2	4.523	4.5
CaO	0.73	13.0	13.0	13.0	0.076	0.2
MnO	0.15	2.1	2.1	2.1	0.01	
K_2O	0.34	3.6	3.6	7.2	0.04	
Na_2O	0.15	2.4	2.4	4.8	0.028	
P_2O_5	0.03	0.2	1.0	0.4		
燒失量	12.70	705.1	705.1	1410.2	8.208	
			3092.9			
总和	100.42		公約数：3092.9÷18 =171.85			

鉄鱗石化学分析結果和其它各主要蛇紋石的化学分析結果对比列于表 6。它們对应的化学結构式也分别作了計算，結构式列于表 6 的下端。从分析資料中，我們指出下列四点結論：

(1) 蛇紋石化学成分比較稳定，主要混入元素是 Fe、Al、Ni、Mn 等，其中 Fe 的含量可以比較高。

(2) 蛇紋石内硅的含量特別稳定。SiO_2 含量在 42% 左右，在結构式中，硅原子数接

表 6　鉄鱗石和其他蛇紋石化学成份对比表

氧化物 \ 矿物	鱗　石	鉄鱗石	叶蛇紋石	鉄叶蛇紋石	纤維蛇紋石	鉄蛇紋石
SiO_2	44.49	40.37	43.60	37.84	41.33	42.29
TiO_2	0.03	0.02	0.01		0.02	0.08
Al_2O_3	2.26	0.32	1.03	0.48	0.80	1.46
Cr_2O_3			0.02			
Fe_2O_3	0.48	7.99	0.90		1.29	1.42
FeO		6.22	0.81	21.03	0.08	2.03
NiO			0.16			0.05
MgO	40.27	31.33	41.00	25.00	41.39	39.00
CaO	0.03	0.73	0.05	2.53	痕迹	0.00
MnO		0.15	0.04			0.05
K_2O		0.34	0.01			0.00
Na_2O		0.15	0.03			0.11
P_2O_5		0.03				
H_2O^+	12.80	12.70	12.18	13.29	13.66	12.69
H_2O^-			0.08		1.57	1.04
CO_2						0.24
总　和	100.36	100.42	99.92	100.17	100.18	100.49
产　地	Cornwall, Kennack Cove	北京延庆	委内瑞拉 Caracas	美国紐約 Orange	Transvaal	苏联貝辰加地区
分析者	L. J. Larner[14]	北京大学	H. H. Hess[10] R. J. Smith	C. Frondel[8]	W. A. Deer[16]	В. Г. Затинай-ченко [28]
化学結构式	$(Mg_{5.8}Fe_{0.2})(Si_4O_{10})(OH)_8$	$(Mg_{4.6}Fe_{0.5})Fe_{0.6}(Si_4O_{10})(OH)_8$	$(Mg_{5.7}Al_{0.2})(Si_4O_{10})(OH)_8$	$(Mg_{4.0}Fe_{1.7}Ca_{0.3})(Si_4O_{10})(OH)_8$	$(Mg_{5.7}Fe_{0.3})(Si_4O_{10})(OH)_8$	$(Mg_{5.8}Fe_{0.2})(Si_4O_{10})(OH)_8$

近 4。鋁的含量比較低，Al_2O_3 含量一般在 0.x—1% 左右，高的达 2% 以上。硅的含量变化幅度小，鋁的含量低，表明在蛇紋石中 Al 替換四面体层网里的 Si 的量小。这和层状硅酸盐中高岭石的情况类似，和綠泥石、云母的情况不同。

鉄鱗石內 SiO_2 含量为 40.37%，在結构式中硅原子数为 3.91，Al_2O_3 含量很低。将鉄鱗石化学成分投影在 Д. П. 賽尔鳩琴科綠泥石(包括蛇紋石)化学成分分类图上[25]，它是位于正常的蛇紋石区域(图 2)。表 6 所列其它几个蛇紋石也分别投影在图上。

(3) 蛇紋石的 Mg 的含量比較高，常見的蛇紋石 MgO 含量在 37% 以上，有的高达 43%[15]。但是，鉄鱗石和鉄叶蛇紋石中鎂的含量都比較低。前者 MgO 含量等于 31.33%，在結构式中鎂原子数有 4.5 个；后者 MgO 含量等于 25.00%，在結构式中鎂原子数有 4 个。大量分析資料証明 (文献 [25] 及其它)，鎂的含量和鉄的含量成反比。鎂的含量越高，鉄的含量就越低；反之，鉄的含量越高，鎂的含量就越低。并且鎂、鉄含量之和接近于 41—45%。

鉄鱗石中鎂的含量較鱗石中鎂的含量低許多，而鉄的含量比起鱗石的則高近 30 倍，鉄鱗石中鉄含量 ($FeO + Fe_2O_3$) 为 14.21%，鱗石的鉄含量为 0.48%。在結构式中，鉄鱗石里有 1.1 个鉄原子，在鱗石中有 0.2 个鉄原子。在鉄鱗石里，鉄主要是替換八面体层网里的 Mg，替換式：

$$Mg^{2+} \longleftarrow Fe^{2+} \quad (1)$$

$$3Mg^{2+} \longleftarrow 2Fe^{3+} \quad (2)$$

在鉄鳞石中，二价鉄和三价鉄含量都很高，因此，(1)式和(2)式替换都十分发育。

在鉄叶蛇紋石中，(1)式替换极发育，(2)式替换不发育（FeO含量达21.03%，Fe_2O_3含量几近于零）。

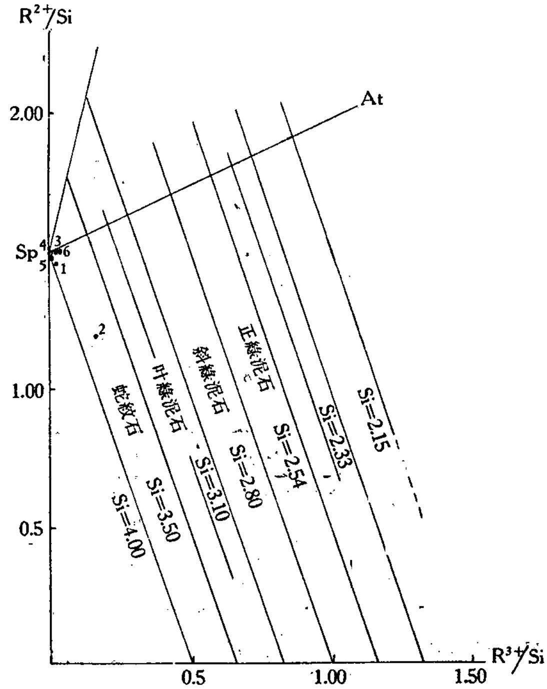


图 2 鉄鳞石的化学成分分类位置

Sp 蛇紋石 At 鎂綠泥石 1. 鳞石； 2：鉄鳞石； 3. 叶蛇紋石； 4. 鉄叶蛇紋石； 5. 鉄蛇紋石； 6. 纤維蛇紋石。

苏联貝辰加銅-鎳矿区的鉄蛇紋石，其中鉄的含量一般为4%左右（FeO＋Fe_2O_3）[27]。有的鉄蛇紋石FeO含量高达9.44%，Fe_2O_3含量为2.66%。[7]对于这些含鉄高的蛇紋石在著作中并沒有全分析資料和粉晶衍射資料，这是十分可惜的事。

(4) 許多研究者認为[2,5]蛇紋石的多形現象和化学成分有关系。有的蛇紋石呈片状晶体，有的則呈管状晶体。发育成管状晶体，是由于Si–O四面体层网上O—O間平移周期和Mg—O(OH)八面体层网上O(OH)—O(OH)間平移周期不等引起晶层弯曲而造成的。在Si—O四面体层网內，氧面上$a = 5.14$ Å，$b = 8.93$ Å；在Mg—O(OH)八面体层网內，氧(氫氧)面上$a = 5.29$ Å，$b = 9.36$ Å。由于四面体层网和八面体层网上b长差别較大（$\Delta b = 0.43$ Å），因而在堆垒时，氧面上氧和氧（氫氧）面上氧（氫氧）不能一一对应。若在b軸方向上弯曲，則上下原子可以一一对应。T. F. 貝特西曾就多水高岭石分析过管状晶体的成因[2]。他指出，四面体层网和八面体层网上b軸长度不等（多水高岭石內$\Delta b = 0.31$ Å）是致使它形成管状晶体的原因。

在鳞石中，当Fe^{3+}部分地替换Mg^{2+}时，可以阻止晶层弯曲。这是因为Fe^{3+}半径比

Mg^{2+} 半径小，且电荷高，替换后，八面体层网內 b 軸长度縮短，Δb 也就減小。在鉄鱗石中，有近于 1/10 的 Mg 被 Fe^{3+} 替換，这可能是鉄鱗石能发育成良好片状晶体的原因。

总上所述，延庆所产的鱗石，其鉄含量較鱗石高很多，因此，将它命名为鉄鱗石（Ferro-lizardite）。

五、热学性质

（一）差热分析

实驗条件：升温速度 22—25℃/分，最高温度 1050℃，热电偶为鉑銠-鉑絲；中性体为三氧化二鋁。

鉄鱗石的差热曲綫示于图 3。

580℃—800℃ 为吸热区間，內中有二个分叉的吸热谷，分别在 670℃ 和 760℃ 的地方。

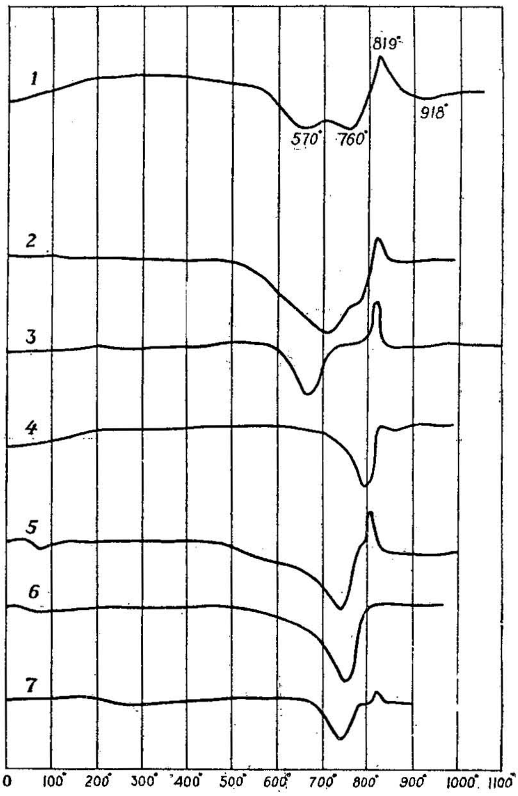


图 3　鉄鱗石与其他地区各种主要蛇紋石的差热曲綫

1. 鉄鱗石（北京延庆，姜泽春，1963）。2. Lizardite（鱗石）（苏联貝辰加区，H. A. 柯尔尼洛夫，1961）[21]　3. 合成纖維蛇紋石（鮑文、土特尔，1949）[5]　4. 叶蛇紋石（意大利安提果尔河流域、納吉、福斯特，1956）[12]　5. 叶蛇紋石(?)（苏联列斯尼-瓦拉克区、别尔柯娃，1959）[19]　6. 叶蛇紋石（加拉加斯地区、H. H. 赫斯，1952）[10]　7. 叶蛇紋石（河北高寺台区；姜泽春，1963）

819°C 有一个显著的放热峯。

913°C 有一个微弱的吸热谷。

对于这条曲綫，有下列几点看法：

(1) 总的看来它和苏联貝辰加地区鳞石差热曲綫相近似(图 3)。 鉄鳞石的吸热谷分叉現象較显著，这乃系样品粒度較大且不均匀所引起的。关于这一点，埃瓦尔德、馬丁內斯在专門的文章內已有詳細的論述[7]。

(2) 913°C 的微弱的吸热效应系形成橄欖石相以后的变化。

(3) 580°—800°C 的吸热效应系鉄鳞石中氫氧鎂石层的瓦解。 伴随橄欖石的物相生成，出現了 819°C 的放热峯，我們曾对加热后的样品作过物相鉴定，証明它是橄欖石。鉄鳞石轉变为橄欖石的理想化学反应式[6]：

$$4Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8 \longrightarrow 3[4Mg_2SiO_4] + 4SiO_2 + 16H_2O$$

(4) 与 N. L. 鮑文、O. F. 士特尔[3]所合成的纤維蛇紋石差热曲綫比較，鉄鳞石的吸热效应温度区間較寬闊且結束吸热效应的温度較高(参看图 3)。

(5) 和意大利安提果尔河流域[5,6]、苏联列斯尼-瓦拉克区[19]、委內瑞拉加拉加斯区、河北高寺台区所产的叶蛇紋石比較，鉄鳞石的吸热效应温度区間也較寬闊，而开始出現吸热效应的温度較低(参看图 3)。

(二) 脫 水 分 析

純样品 1 克，加热至 980°C，共失重 126.1 毫克，加热后的样品呈金黃色，經物相鉴定証明主要是橄欖石。

脫水曲綫如图 4 所示。

0°—100°C 之間失重 1.4%，此乃吸附水脫出。

100°—600°C 曲綫較平稳，共失重为 3.6%。

600°—830°C 曲綫較陡，共失重为 6.2%，此乃結构水脫出。

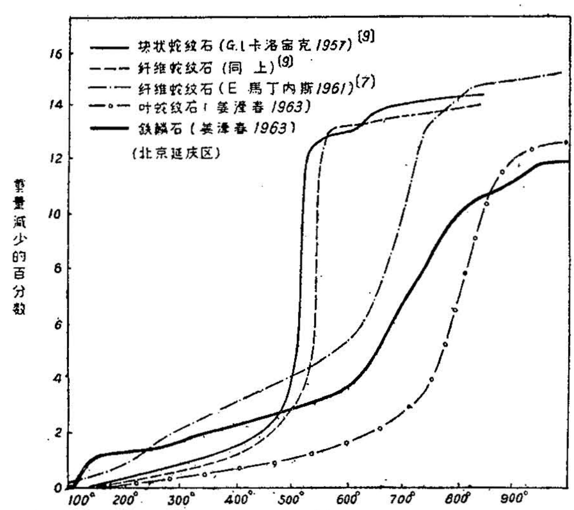
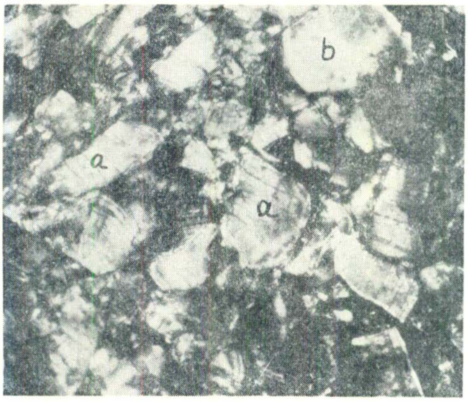
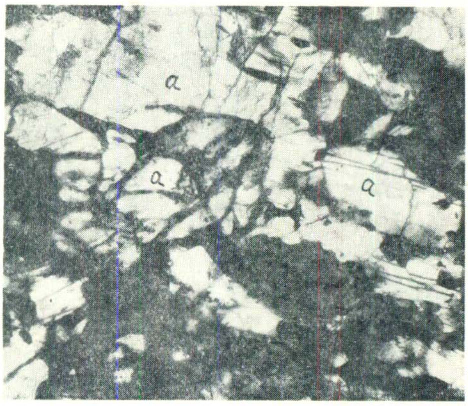


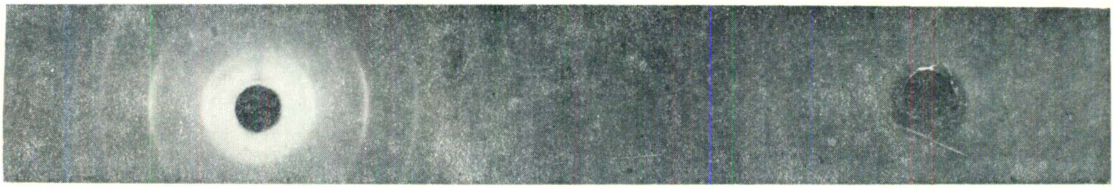
图 4　鉄鳞石和某些其他蛇紋石的脫水曲綫



照片 1　蠕虫状（a）和鳞片状（b）形态
（正交偏光，5.2×10）

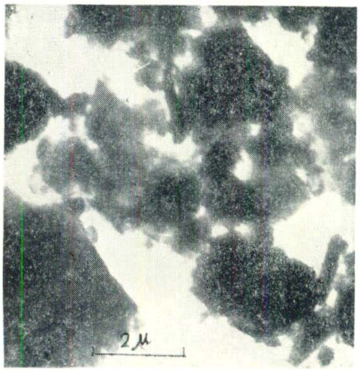


照片 2　紫苏輝石（a）被鉄鳞石(黑色)
交代。网状結构。

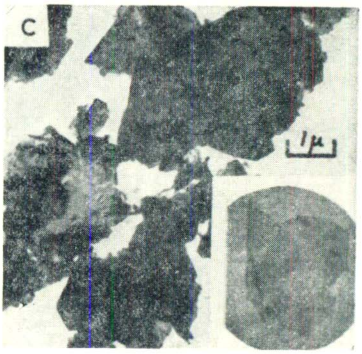


照片 4　鉄鳞石粉晶衍射图

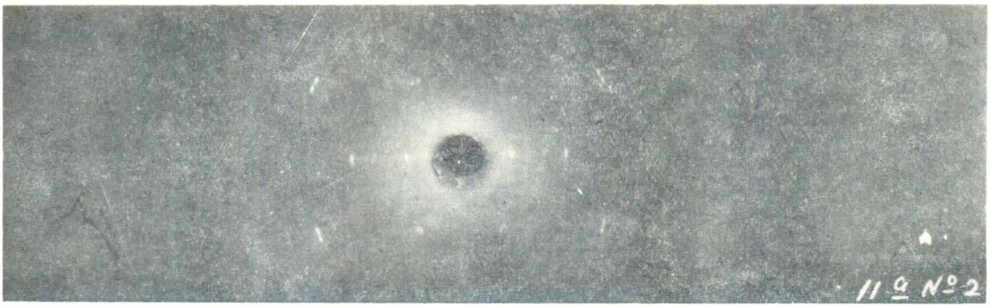
$\left(\text{Co 射綫，27Kv，}12mA\text{，曝光 8 小时，加滤波片，}R=\frac{57.3}{2}\,mm\right)$



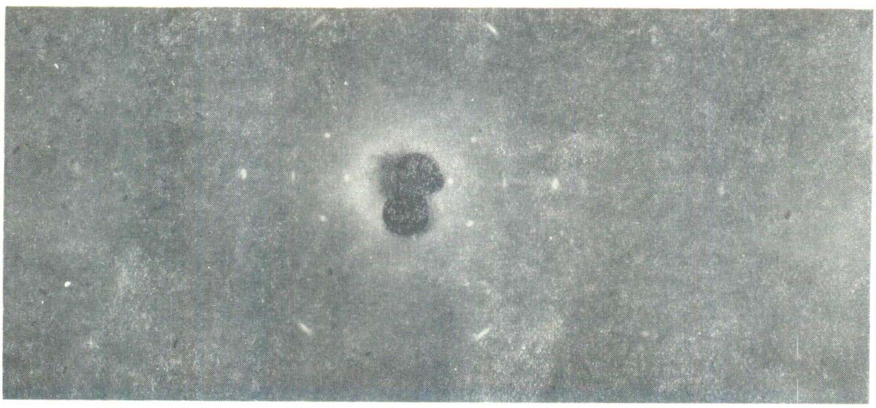
照片 5　鉄鳞石电子显微鏡图象



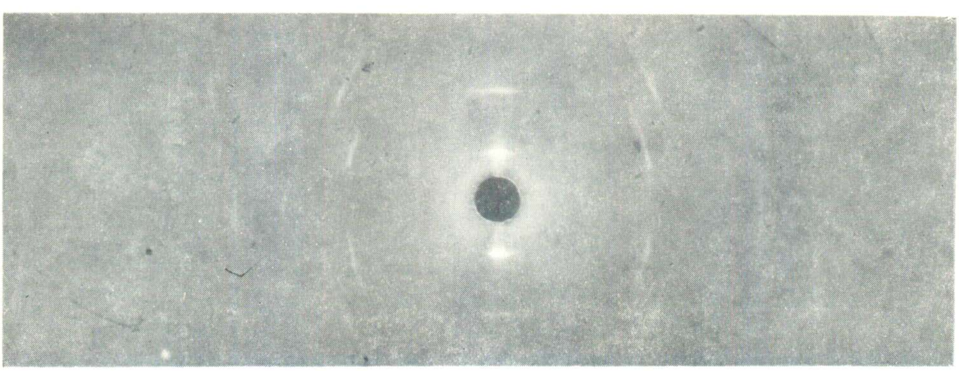
照片 6　鳞石电子显微鏡图象
（据 J. 茹斯曼和 G. W. 布雷得莱）



(1)



(2)



(3)

照片3　鉄鳞石迴轉衍射图（Co 射綫，27Kv，12mA，曝光 4.5 小时）

（1）迴轉軸平行于 a；（2）迴轉軸平行于 b；（3）迴轉軸平行于 c。

830℃ 以后，曲綫逐趋平緩。950℃ 以后，曲綫接近水平。

鉄鱗石脫水曲綫和纖維蛇紋石[9]、叶蛇紋石[7]的比較(参看图 3)，鉄鱗石內有較多的吸附水，結构水析出的速度較慢，整个脫水曲綫較平緩，总的失水量較少。

六、电子显微鏡下的形态

将鉄鱗石研成細粉，分散在水中，制成悬浮液。在电子显微鏡下，鉄鱗石为寬板状晶体，边緣不規則，表面具有波状結构(照片 5)。纖維蛇紋石为管状晶体[2,12]，叶蛇紋石为較規則的板状或片状晶体[1,17]。均与鉄鱗石不同。茹斯曼和布雷得萊所研究的鱗石形态和鉄鱗石形态是一样的(参看照片 6)。

七、結　　論

鉄鱗石系鱗石的富鉄变种，近似化学結构式为 $(Mg_{4.6}Fe^{2+}_{0.5})_{5.1}Fe^{3+}_{0.6}(Si_4O_{10})(OH)_8$，鉄的含量达 14.21%，其中 Fe_2O_3 的含量为 7.99%，高于 FeO 的含量。晶胞参数 $a = 5.35$ Å，$b = 9.2$ Å，$c = 7.2$ Å，$\beta \doteq 90°$。它的粉晶衍射图和鱗石近似相同，和一般的蛇紋石相似，但是根据(0 kl) 衍射綫和(060)(208)二条毗連的強衍射綫，可以将它們区别开。鉄鱗石为鱗片状晶体，具有斜方輝石假象，折光率、重折射率比一般蛇紋石高，根据这些，就能区别它們。

鉄鱗石的发现进一步証明鉄系蛇紋石的存在，这对于研究超基性岩蝕变及其相关矿产有十分重要的意义。

承蒙王嘉蔭教授，北京大学无綫电系、科学院地質研究所同志們协助进行电子显微照相、差热分析和脫水分析，作者謹此致謝。

(收稿日期：1963 年 4 月 29 日；定稿日期：1963 年 11 月)

参　考　文　献

[1] Aruja, E. 1945 An X-ray study of the crystal structure of antigorite. Min. Mag. Vol. 27, No. 188.
[2] Bates. T. F, Hildebrand. F. A, Swineford. A. 1950 Morphology and structure of endellite and halloysite. Amer. Mineralogist, Vol. 35.
[3] Bowen, N. L, Tuttle, O. F. 1949 The System MgO—SiO$_2$—H$_2$O. Amer. Geol. Soc. Bull. 60.
[4] Bragg, W. L. and Bragg, W. H. 1937 Atomic structure of minerals. London. (有中文譯本)
[5] Brindley, G. W. and others 1953 Crystalstructure of clay minerals. (有中文譯本)
[6] Brindley. G. W. and Zussman. J. 1957 A structural study of the thermal transformation of serpentine minerals to forsterite. Amer. Mineralogist, Vol. 42, No. 7—8.
[7] Egward Martinez 1961 The effect of particle size on the thermal proparties serpentine minerals. Amer. Mineralogist, Vol. 46, No. 7—8.
[8] Frondel, C. 1962 Ferroan antigorite. Amer. Mineralogist, Vol. 47, No. 5—6.
[9] George, L., Kalonse, K. and Lawarence, E. Muttart 1957 Studies on the Chrysotile and antigorite Componentes of serpentine. Amer. Mineralogist, Vol. 42, No. 1—2.
[10] Hess, H. H., Smith, R. J. and Dengo. G. 1952 Antigorite from the vicinity of Caracas, Venezuela Ame. Mineralogist, Vol. 37, No. 1—2.
[11] Nagy, B. 1953 The textural patten of the serpentine. Economic Geol. Vol. 48.
[12] Nagy, B. and Faust, G. T. 1956 Serpentines: Natural mixtures of chrysotile and antigorite. Amer. Mineralogist, Vol. 41, No. 11—12.
[13] Selfridge. G. C. 1936 An X-ray and optical investigetion of the serpentine minerals. Amer. Mineralogist, Vol. 21, No. 8.

[14] Whittaker, E. J. W, Zussman, J. 1956 The characterization of serpentine minerals by X-ray diffraction. Min. Mag., Vol. 31, No. 233.
[15] Whittaker, E. J. W., Zussman, J. 1958 Characterization of serpentine minerals. Amer. Mineralogist, Vol. 43, No. 9—10.
[16] Winchell, A. N, Winchell, H. 1951 Elements of optical mineralogy. New York.
[17] Zussman, J., Brindley, G. W. and Comer, J. J. 1957 Electron diffraction studies of serpentine minerals. Amer. minralogist, Vol. 42, No. 3—4.
[18] Midgley, H. G. 1954 Min. Mag., Vol. 30, p. 526—530.
[19] Белькова, Л. Н. 1959 Антигорит Лесной Вараки к минералогии постимагматических процессов. Изд. Леьвов. университета.
[20] Бетехтин, А. Г. 1950 Минералотия. Москва.
[21] Корнилов, Н. А. 1961 К минералотии серпентинов. Зап. ВМО, ч. 90, вып. 5.
[22] Корнилов, Н. А. 1961 Об аномальных оптических свойствах некоторых асбестовидных гидросиликатов. Зап. ВМО, ч. 90, вып. 5.
[23] Корнилов, Н. А. 1960 Железистые серпентины печенгских сульфидных медно-никелевых месторождений. Докл. АН СССР, том 130, № 6.
[24] Михеев, В. И. 1957 Рентгенографические определение минералов. Москва.
[25] Сердюченко, Д. П. 1953 Хлориты, их химическая конституция и классификация. ТИГН, вып. 140.
[26] Сердюченко, Д. П. 1953 О некоторых вопросах силикатых минералогии. Изв. АН СССР, Сер. геол., № 3.
[27] Ультраосновные и основные интрузии Печенги. 1961 Лаборатория гео. докембрия АН СССР, Изд. АН СССР, Москва-Ленинград.

ФЕРРО-ЛИЗАРДИТ—НОВАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ СЕРПЕНТИНА

Цзя Бинь-вэнь Цень Цэ

(Резюме)

Ферро-лизардит принадлежит разновидности лизардита группы серпентина, богатой железом. Химическая формула ферро-лизардита—$(Mg_{4.6}\ Fe_{0.5})_{5.1}\ Fe_{0.6}\ (Si_4 \cdot O_{10})(OH)_8$. В ней содержание $FeO + Fe_2O_3$ достигает 14,21 %, а содержание Fe_2O_3 больше FeO и равно 8,0 %. Дебаграмма ферро-лизардита и лизардита аналогична. По методу вращения кристаллов получились параметры ячеёйки: $a \doteq 5{,}35$ Å, $b = 9{,}2$ Å, $c \doteq 7{,}3$ Å, $\beta \doteq 90°$.

Ферро-лизардит образуется в результате интенсивного гидротермального изменения пироксенита. Цвет темнокоричнo-зелёный. Обычно он имеет псевдоморфозмы по пироксену. Его кристаллы чешуйчатые или пластинчатые. Спайность по (001) совершенна. Отдельность по (010) хорошо наблюдается. Твердость 2. Уд. вес 2,653. Ферро-лизардит оптически одноосный, отрицательный. $Ng = Nm = 1{,}586$ $Np = 1{,}568$, $Ng - Np = 0{,}018 - 0{,}019$.

Электронные микрофотограммы ферро-лизардита имеют пластиночную форму. Но её край неправильный. Температурный интервал эндотермического эффекта ферро-лизардита на дифференциальных кривых нагревания более широкий, чем серпентин, и имеет два эндотермического ущелья и одно видимый экзотермический пик.