地 质 学 报
1984 年 ACTA GEOLOGICA SINICA 第 2 期

波伏稜型（Povlentype）羟基纤蛇纹石的发现及意义

江绍英 刘 维
（国家建材工业局地质公司） （中国科学院物理研究所）

一、前 言

三年来，在对蛇纹石矿物学及矿床研究中，在四川石棉矿发现了波伏稜型（Povlentype）（即直径 >500 Å）羟基纤蛇纹石，进行了较系统的矿物学工作，并用高分辨电镜获得了清晰的晶格象[1)]。之后，随着研究工作的进一步深入，于四川石棉矿又发现一种波伏稜型纤蛇纹石。本文对两种波伏稜型矿物做了对比研究，尤其是深入研究了波伏稜型羟基纤蛇纹石晶格象的各种堆垛形式。纤维横切面晶格象显示其截面外形并非单一，既有圆形又有多边形，文内详细论述了两种形状形成的机理。

波伏稜型羟基纤蛇纹石的发现，对该石棉矿床的形成地质条件具有重要的标型意义，反映了该矿床是在富水环境较高温度和压力条件下形成的。

二、形态及化学成分

四川石棉矿有两种波伏稜型的纤蛇纹石，一种为橄榄绿色，板条状或似粗纤维状，仅在个别采区发现，但块体很厚（数十厘米），以川广 145 样为代表；另一种为黄绿色或草绿色，板条状，分布广泛，块体较薄（数厘米），以川宋 71 样为代表。两者都产在含棉蛇纹岩中，它们的电子显微象（图版 I-3 上、3 下）都具有管套管的波伏稜型特征。川广 145（图版 I-3 上）样中单纤维无芯，最大外径为 2200 Å，细的部分直径为 1400 Å。大部分单纤维的直径在 700—1500 Å 左右。川宋 71（图版 I-3 下）样中单纤维外径最大可达 1070 Å，共具同一内径（170 Å），一般纤维的直径为 600—700 Å。两者中个别纤维为普通纤蛇纹石，其直径约 500 Å。

它们的化学成分与纤蛇纹石相似，唯波伏稜型羟基纤蛇纹石（川广 145）富含 OH，各种类型纤蛇纹石的化学成分如表 1 所示，多次化学分析表明，川广 145 样的 H_2O^+ 为 15%（经热天秤检查 300℃ 后的失重值为 14.75%），比纤蛇纹石 H_2O^+ 的理论值高 2%，比川矿 11 个纤蛇纹石 H_2O^+ 的平均值（12.9%）高 2% 左右。这与仅在匈牙利帕库巴（Perkupa）由 Erdelyi 等[1]找到的羟基纤蛇纹石 $Mg_6[Si_4(O,OH)_{10}(OH)_8]$ 极相似。他们指出这种矿物

1）刘维、江绍英：《羟基 Povlentype 纤蛇纹石的发现及矿物学》，1983 年 2 月定稿，《矿物学报》刊印中。

的（OH）仅比纤蛇纹石多些。从结构式中可以看出，多余的（OH）可以代替 SiO_4 四面体中的氧。在层状硅酸盐中其它矿物的这种代替的可能性，已被结构分析所证实。

表 1　本区各种纤蛇纹石的化学成分分析值

成分（重量%）＼矿物	川广 145 波伏稜型羟基纤蛇纹石	川宋 71 波伏稜型纤蛇纹石	川宋 36 AJ 结晶好的丝状纤蛇纹石石棉
SiO_2	40.00	41.44	41.58
Al_2O_3	0.25	0.20	0.11
Fe_2O_3	1.62	1.40	1.42
FeO	0.13	0.22	0.04
MgO	39.97	41.64	42.15
CaO	0.05	0.29	0.15
Na_2O	0.00	0.00	0.00
K_2O	0.00	0.00	0.00
H_2O^+	15.00	13.23	13.38
H_2O^-	2.66	0.91	0.75
TiO_2	0.05	0.00	0.02
P_2O_5	0.01	0.00	0.00
MnO	0.03	0.03	0.00
CO_2	0.00	0.38	0.24
F	0.03	0.02	0.03
Cl	0.14	0.03	0.01
F,Cl = 0	0.04	0.02	0.01
NiO	0.10	0.19	0.16
总量	100.00	99.96	100.03

注：晶体化学式：

川广 145：$(Mg_{5.58}Fe^{3+}_{0.109}Fe^{2+}_{0.01}Ti_{0.0035}Ni_{0.007}Mn_{0.0024})_{5.71}[(Si_{3.743}Al_{0.027})_{3.77}(O_{8.65}OH_{1.35})_{10}][OH_{8.04}F_{0.0086}Cl_{0.0022}]_{8.0506}$

川宋 71：$(Mg_{5.858}Fe^{3+}_{0.10}Fe^{2+}_{0.017}Mn^{2+}_{0.028}Ni^{2+}_{0.017})_{6.02}[(Si_{3.881}Al_{0.022})_{3.903}O_{9.728}][OH_{8.261}F_{0.006}Cl_{0.005}]_{8.272}$

川宋 36AJ：$(Mg_{5.87}Fe^{3+}_{0.100}Fe^{2+}_{0.003}Ti^{4+}_{0.002}Ni^{2+}_{0.011})_{5.986}[(Si_{3.89}Al_{0.01})_{3.90}O_{9.659}][OH_{8.33}F_{0.009}Cl_{0.002}]_{8.341}$

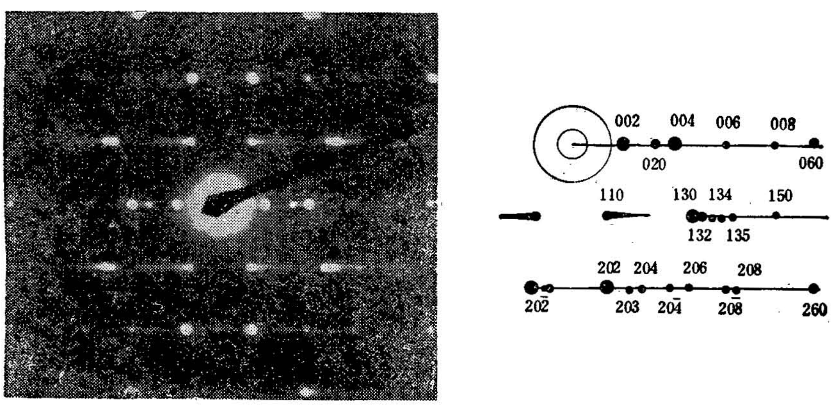


图 1　波伏稜型羟基纤蛇纹石的电子衍射(a)；衍射斑点指标化(b)

三、X 射线衍射、红外光谱和差热分析

川广 145(波伏稜型羟基纤蛇纹石)、川宋 71 (波伏稜型纤蛇纹石)和川宋 36AJ (结晶好的丝状纤蛇纹石石棉)的X射线衍射如图 2 和表 2 所示。川广 145 和川宋 71 的主要特征反射线的 d 值和相对强度，与川宋 36AJ 极相似，不同的是它们具有 $d_{(202)}$ 约为 2.45 Å 的锐强反射(尤以川广 145 明显)，$hkl(d_{131})$ 约等于 2.60 Å 反射和较多的弱反射线。川宋 71 的 $d_{(002)}$、$d_{(004)}$ 的反射相对较强，结晶度较好。但 $d_{(202)}$ 反射不如川广 145 强。本文所叙述的两种波伏稜型纤蛇纹石与 Krstanovic 等 (1964)[2]所报道的波伏稜型纤蛇纹石的粉末照相数据相比，其主要衍射线的 d 值和相对强度很相近。

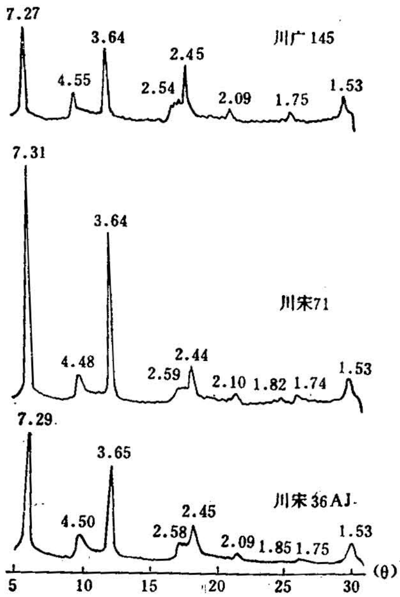


图 2 纤蛇纹石的X射线衍射图

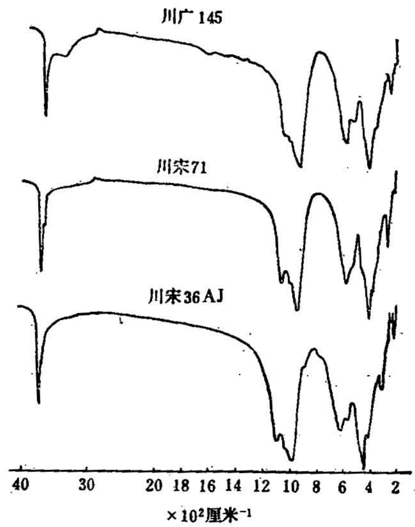


图 3 纤蛇纹石的红外光谱

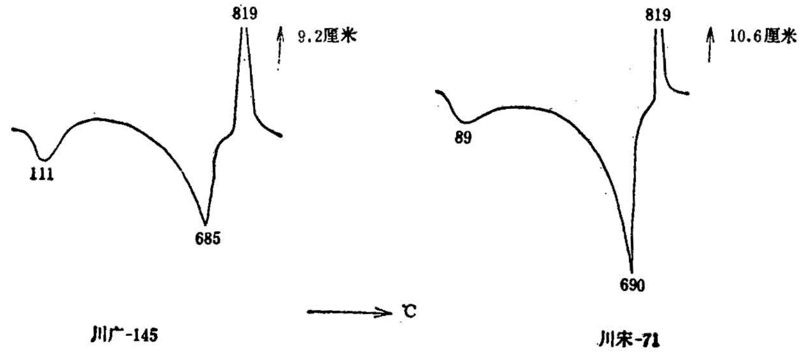


图 4 纤蛇纹石的差热曲线

表 2　本区各种纤蛇纹石的 X 光衍射数据

hkl	Krstanovic 等（1964）波伏稜型纤蛇纹石			川广 145		川宋 71		川宋 36AJ	
	$d_{计算}$	$d_{实测}$(Å)	I	$d_{实测}$(Å)	I	$d_{实测}$(Å)	I	$d_{实测}$(Å)	I
002	7.27	7.35	10	7.266	10	7.314	10	7.290	10
020	4.60	4.54	5	4.552	4	4.484	3	4.497	3
004	3.66	3.64	9	3.645	8	3.642	8	3.654	8
130	2.653	2.652	2	3.652	1			2.643	1
131	2.598	2.604	9	2.608	1	2.592	1.5		
201	2.584	2.592	3	2.585	1			2.580	2
$20\bar{2}$	2.532	2.533	2	2.543	1	2.536	0.5		
202	2.445	2.446	9	2.449	7	2.442	4	2.446	3
203	2.270	2.272	1					2.280	0.5
$20\bar{4}$	2.198	2.210	1						
204	2.085	2.088	4	2.090	2.5	2.099	1	2.094	1
205	1.906	1.902	1/2						
$20\bar{6}$	1.844	1.842	1/2						
008	1.817	1.824	1			1.824	1.5	1.828	1
206	1.742	1.746	3	1.745	2	1.743	1	1.747	1
060	1.534	1.532	8	1.538	4	1.533	3	1.530	2.5
062	1.500	1.503	1	1.503	0.2				
0010	1.454	1.456	1	1.462	0.4	1.461	1	1.463	1
064	1.410	1.414	1/2						
$40\bar{2}$	1.310	1.317	3	1.315	1				
2010	1.305	1.307	3	1.299	0.2				

因川广 145 样的 H_2O^+ 仅比纤蛇纹石多 2%，所以川广 145、川宋 71 和川宋 36AJ 三者在红外光谱图(图 3)上无明显的区别，仅川宋 71 样表现在 Si-O 伸缩振动带 1100—950 厘米$^{-1}$ 内三个强吸收带分裂比川广 145、川宋 36AJ 好，表明其结晶较好。在 DTA 曲线(图 4)上，川广 145 和川宋 71 的吸热谷放热峰的温度及形态极相似，与一般纤蛇纹石也无明显的差异。

四、电子衍射和晶格象

将电子束垂直纤维轴方向入射，拍摄到波伏稜型羟基纤蛇纹石(川广 145)的电子衍射谱(图 1a)呈层线分布的衍射斑，它与 Middleton 和 Whittaker (1976)[3] 给出的波伏稜型纤蛇纹石的电子衍射完全相同。图 16 是根据 X 射线数据给出的指标化来指标电子衍射斑点的。它与纤蛇纹石的电子衍射谱也相近，其 $d_{(002)}$ 和 $d_{(020)}$ 衍射斑对应的 d 值为 7.3 Å 和 4.5 Å，相当于 1/2 c 和 b，层线间距为 5.32 Å，相当于 a。不同的是它还出现了附加的 *hkl* (131、132、135 等) 衍射点。在川广 145 样中也拍摄到波伏稜型羟基正纤蛇纹石的电子衍射谱。

晶格象的观察是在电子束垂直和平行纤维轴的方向观察的。图版 I-4 是川广 145 样中单纤维直径为 1600 Å 横切面的晶格象，它是由 30 边构成的三十边形横切面，中心有一

直径约 50 Å 的空芯，在低倍电子显微象中显现出圆形截面，而在高放大倍数下，中心部分约 250 Å 范围内卷层基本是圆形，当直径 >250 Å 时，其横截面就逐渐显现出多边形特征。多边形截面可分成 30 个扇形区，在每个扇形区内晶面彼此是平行的，这种堆垛方式属于利蛇纹石一层型的平整层堆垛方式。这根纤维的横切面可以看成中心部分由纤蛇纹石组成和外面由利蛇纹石构成的多边形带。清晰的晶格象证实了 Middleton 用 X 射线和电子衍射推断的模式。图版 I-4 中显示了纤蛇纹石和利蛇纹石在 c 方向堆垛的面网间距都是 7.3 Å，局部地方可见到 (020) 面的 4.5 Å 条纹。

图版 I-1 是川广 145 样品中一根单纤维直径为 800 Å 的晶格象，也清晰显示了 7.3 Å 和 4.5 Å 条纹。这个纤维的堆垛方式是中心和外面皆由纤蛇纹石组成的近似圆形切面。

图版 II-1 是川广 145 样品中一根单纤维直径为 1500 Å 横切面的晶格象，由于受到其它纤维的干扰表现出一个不太完整的横切面晶格象。清晰显示了 $d_{(002)} = 7.3$ Å 和 $d_{(020)} = 4.5$ Å 的二维晶格象，其中心部分是一根 500 Å 的纤蛇纹石，有趣的是它的外部是由 1、2、3、4 四条宽约 150 Å 的多边形外带构成的。其中 1、2、3 条宽度相同，4 带稍窄些。它们组成 31 个扇形区。

图版 II-2 是图版 II-1 中 5 区附近的放大象，图中清楚显示了扇形区内 (002) 面的曲率逐渐减小，而(002)面的堆垛由纤蛇纹石渐变为利蛇纹石的堆垛方式，在利蛇纹石的堆垛中除平整层的一层型堆垛外，还有二层 (14.6 Å)、三层 (21.9 Å) 和六层 (43.8 Å) 多重晶胞堆垛的多型，可参见图版 II-2 中所标示的。在两个扇形区的交界处，还可见到晶面有一定夹角和位错。

图版 I-2 是川广 145 样品中一个单纤维直径为 500 Å 横切面的晶格象，也清晰显示了 $d_{(002)} = 7.3$ Å 和 $d_{(020)} = 4.5$ Å 二维晶格象。这个纤维的堆垛属普通纤蛇纹石的二层堆垛 ($2Mc_1$)。

五、形成机理及意义

我们对四川石棉矿蛇纹石矿物的研究中，发现波伏稜型羟基纤蛇纹石和波伏稜型纤蛇纹石两种矿物。关于大直径波伏稜型纤蛇纹石形成的机理，是由于纤蛇纹石结晶过程中，为了使较小的四面体层与较大的八面体层相吻合，晶面将发生弯曲，这就形成了圆形结构的纤蛇纹石，这是在卷层少时发生的情况 (200—500 Å)，当物理化学条件稳定，溶液充分，有结晶的空间，卷层将继续增加，由于纤维直径变粗，晶面的曲率减小，就不能完全继续稳定生长，这时卷层的生长将出现层错或改变一定角度以便增加曲率来满足两层间相吻合。因此形成了具有多边形切面的波伏稜型。另一种可能是有一定空间，但溶液不是连续供给，造成结晶间断后又再次结晶，继续在原来卷层上生长形成大直径的波伏稜型纤蛇纹石。本文所拍摄的晶格象最多的卷层数为 100—110 层 (1500—1600 Å) 比矢田慶治 (Yada, 1967, 1981) 报道纤蛇纹石横切面晶格象多 70—80 层。如果在生长过程中，某一方位受到空间的限制或受其它纤维的干扰，使切面不完整，有时在末端出现螺旋卷层 (图版 II-1) 的生长形式。

四川石棉矿属于含水镁石-纤蛇纹石石棉的超基性岩矿床，是我国产石棉的第二大矿

山，本区由于多次构造运动，剪切作用频繁，剪切裂隙发育，提供了纤蛇纹石纤维结晶的空间条件。据矿床成因研究水源来自大气降水的裂隙水，由于水充足，物理化学条件合适，形成一套富水的矿物共生组合（水镁石、水纤菱镁矿和水滑石等）。就该矿的丝状纤蛇纹石而言，其 H_2O^+ 平均含量比其它矿山略高，特别是波伏稜型羟基纤蛇纹石的发现，表明多余的 OH 要代替 SiO_4 四面体中的氧，需要在比较高温和高压下才有可能。所以在成因上，它的出现不仅指示了该矿区石棉矿床是在富水条件下形成的，而且是在较高的温度和压力下形成的。

参　考　文　献

[1] Van der marel, H. W. and Beutelspacher, H., 1976, Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and their Admixtures. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, pp. 67.

[2] Krstanovic and Pavlovic, S., 1964, X-Ray Study of Chrysotile, Amer. Min., Vol. 49, pp. 1769—1771.

[3] Middleton, A. P. and Whittaker, E. J. W., 1976, The Structure of Povlentype-Chrysotile. Can. Mineral., Vol. 14, pp. 301—306.

[4] Yada, K., 1967, Study of Chrysotile Asbestos by a High Resolution Electron Microscope. Acta Cryst, Vol. 23, pp. 704—707.

图　版　说　明

图　版　I

1. Povlentype 羟基蛇纹石晶格象。直径 800 Å。a、b 处条纹间距 7.3 Å，c 处为 4.5 Å。
2. 普通纤蛇纹石晶格象。
3. （上）Povlentype 羟基纤蛇纹石的电子显微象。川广145。
   （下）Povlentype 羟基纤蛇纹石的电子显微象。川宋 71。
4. Povlentype 羟基纤蛇纹石晶格象。直径 1600 Å。

图　版　II

1. Povlentype 羟基纤蛇纹石晶格象（$d = 1500$ Å）。
2. 上图 5 区的放大象。

DISCOVERY AND ITS SIGNIFICANCE OF POVLENTYPE HYDROCHRYSOTILE

Jiang Shaoying
(*Geological Company of State Bureau of Building Materials Industry*)

Liu Wei
(*Institute of Physics, Academia Sinica*)

Abstract

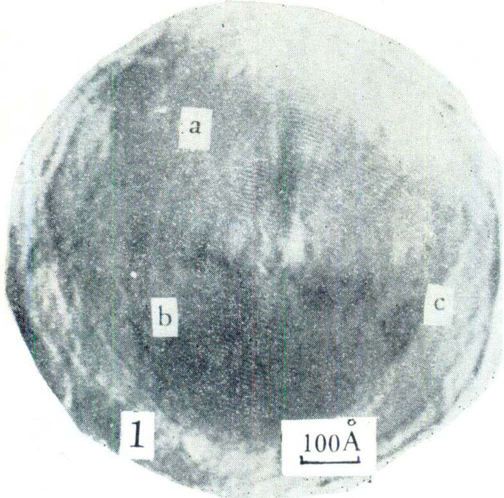
The authors discovered a kind of chrysotile which has a lath form with dark green colour in Shimian County, Sichuan province. It occurs in asbestos-bearing serpentinite. Through wet chemical analyses, XRD and electron microscopic analyses it was identified as povlentype hydrochrysotile. It takes the shape of tuble-in-tuble in the electron micrographs. In general their outer diameters are 700—1500 Å, some can be up to 2000 Å. The structure formula is $(Mg_{5.58}Fe^{3+}_{0.109}Fe^{2+}_{0.01}Ti_{0.0035}Ni_{0.007}Mn_{0.0024})_{5.71}[(Si_{3.744}Al_{0.027})_{3.77}(O_{8.65}OH_{1.35})_{10}][OH_{8.04}F_{0.0086}Cl_{0.002}]_{8.0506}$.

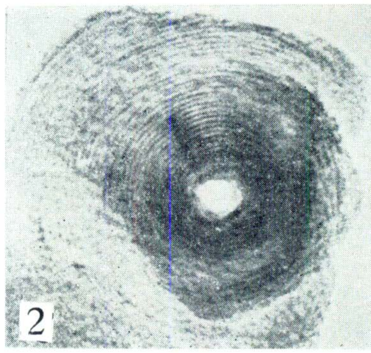
Repeated chemical analyses show that the mineral is rich in OH. Its H_2O^+ value is 2% higher than ideal value (13%) of chrysotile. Excess OH may replace O in the tetrahedra.

XRD and E. D. are somewhat similar to those of chrysotile. But they are different from them in sharp-strong reflection of $d_{(202)} = 2.45$ Å and d_{131} reflection in XRD patterns and obvious $d_{131}, d_{132}, d_{135}$ reflections in E. D. patterns. Their crystal structures identified by electron diffraction method are both clino and ortho.

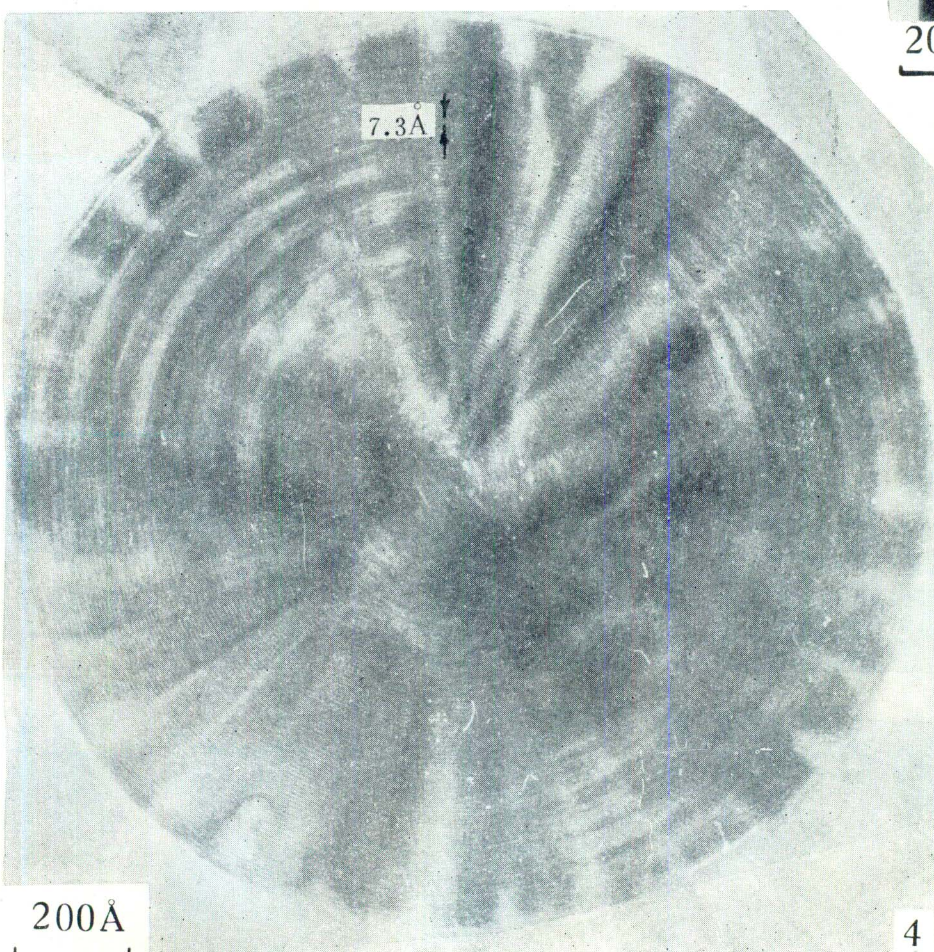
Their lattice images were photographed directly by high resolution microscopy. Lattice images of the cross section are polygon. The diameters are 800 Å and 1500 Å, in which fringe spacing of $d_{(002)} = 7.3$ Å and $d_{(020)} = 4.5$ Å can be clearly observed. The numbers of up-rolled layers are 70—80 layers more than Yada's report (1967, 1981) of lattice images of chrysotile. From the microstructures its various modes of growth have been observed. The mineral and systematic mineralogical data, such as composition, IR, particularly the lattice images of cross sections so far have not been reported.

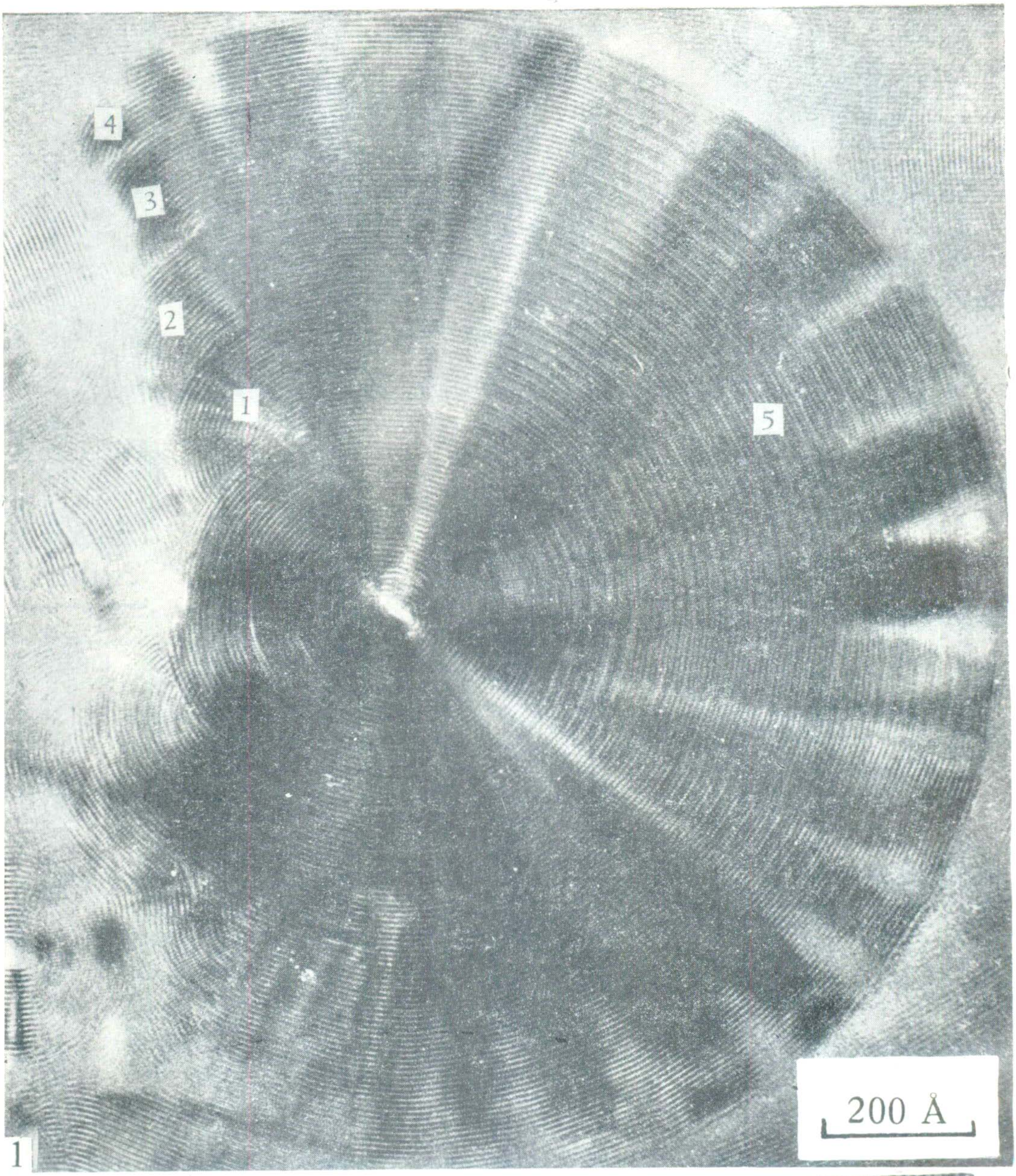
Discovery of this mineral shows that the chrysotile asbestos deposit of this mine might be formed in an extra rich water condition.


a
b
c
1
100Å


2


2000Å
3


7.3Å
200Å
4



1

2