

宁南山区雹块氖含量的分析

杨颂禧 马 伟

(兰州高原大气物理研究所)

陈玉山 牛生杰 王 涛

(宁夏气象科学研究所)

提 要

由10个大雹块(长轴47—64mm)切片中的43个氖样分析得知:雹块的平均 δD 值为 -93.8% ,其相应高度为海拔8071m(-14.7°C),干生长层的平均 δD 值为 -101.8% ,相应高度为8803m(-19.5°C),湿生长层的平均 δD 值为 -91.5% ,相应高度为7413m(-11.4°C)。氖含量与冰晶平均长度之间有较好的统计关系。

关键词:同位素氖;雹块生长。

一、引 言

分析雹块中的同位素氖—氖的含量,可以推测雹块的生长环境温度,国外这方面的工作已较多^[1-5],国内也已有些分析结果^[6]。本文从采自宁夏南部山区的10个大雹块的厚切片中,选取了43个冰样,分别测得氖的含量,由此得知雹块的生长高度(温度),又分析得到氖的含量与其所在层的冰晶体平均长度间有较好统计关系。

二、采样方法和分析原理

1. 氖采样方法

本文中的10个大雹块,其长轴在47—64mm之间,是1984年7月20日宁夏海原县郑旗乡的一次雹暴所下,六盘山雷达站跟踪观测了雹暴,接到防雹点电话告知后,立即驱车前往采集雹块,采集时间距下雹2小时余,雹块在沟壑中堆积,未被水浸泡,采得后用干冰冷冻,包裹二层塑料袋后运送至县城冷库保存。一周后专车运至兰州冰川冻土研究所的低温实验室中切片,用专用机床^[7]切得二张通过雹块中心的相邻切片,一张厚1.5mm,用医用手术刀刮薄至0.6mm后照相记录其冰晶微结构;另一张厚3mm,按需要部位割取约3mm见方的冰样,放入2ml的医用针剂玻瓶中,瓶口用酒精灯烧结密封后供测量氖含量。图1(见图版)中列出10个雹块中的6个的分层微结构照片和氖样所取位置。84006号雹块的6个氖样由新疆农业科学院中心实验室的Micromass 602E型质谱计测量;余9个雹块中的37个氖样由青海盐湖研究所地球化学实验室的Mat 251型质谱计测量。

1987年11月6日收到,1989年7月12日收到修改稿。

2. 分析原理

氘含量的表示法有二种, 一种是绝对性的, 表示成每百万个氢原子中的氘原子数, 单位是 ppm, $1 \text{ ppm} = 10^{-6}$; 另一种是相对性的, 将氘样的 ppm 值与国际原子能局规定的“标准平均太平洋水”^[8] 的 ppm 值 (155.776 ± 0.5) 相比, 用 δD 表示, 单位是千分比“‰”, δD 值与 ppm 值之间的关系式是 $\delta D = \left[\frac{\text{氘样 ppm 值}}{155.776 \pm 0.5 \times 10^{-6}} - 1 \right] \times 1000 \text{‰}$, 本文以下分析中都用 δD 值表示.

为求 δD 值的相应温度(高度), 我们用简单的氘铅直分布模式^[9], 它由下列方程所组成:

$$Q_o = Q_c + Q_v, \quad (1)$$

$$Q_o \delta D_o = Q_c \delta D_c + Q_v \delta D_v, \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\delta D_c + 1}{\delta D_v + 1}. \quad (3)$$

(1)式中的 Q_o 为云底的水汽混合比(单位 g/kg), Q_c 和 Q_v 分别为云中某高度的云水和水汽的混合比;(2)式中的 δD_c 和 δD_v 分别为云中某高度的云水中和水汽中的氘含量;(3)式中的 α 称分馏因子, 它是轻水 H_2O 分子的饱和蒸汽压力与重水 HDO 分子的饱和蒸汽压力之比, $\alpha > 1$ 表示云水微滴中的轻水分子比重水分子易于蒸发, 也即云微滴的重水中的氘原子易被浓缩. α 值由实验得出^[1], 它是随温度而变化的参数. (1)式设定云水和水汽的混合比之和是保守的, 它等于云底的水汽混合比并随高度不同而分配成不同的云水和水汽混合比;(2)式设定云中任一高度处云水中的氘量和水汽中的氘量两者之和与云底水汽中的氘量守恒;(3)式设定云中任一高度处云水中的氘量全由同高水汽中的氘浓缩而成.

合并(1)–(3)式得某高度处云水中的氘含量 δD_c 为

$$\delta D_c = \frac{\delta D_o + \frac{\alpha - 1}{\alpha} \frac{Q_c}{Q_o}}{1 - \frac{\alpha - 1}{\alpha} \frac{Q_c}{Q_o}}. \quad (4)$$

(4)式表明 δD_c 由云底的 δD_o , Q_o 以及同高处的 Q_c 和 α 所决定. 雹块中氘样的 δD 值, 假设是该生长层靠撞冻云水所致, 即 $\delta D = \delta D_c$.

云中的 Q_o , Q_c 和温度 T 等, 用当天平凉气象台 08:00 (北京时) 探空曲线经一维定常积云模式^[10] 算得, 作者认为, 用模式算得云中参数会比用环境探空曲线读得的要好些. 当然, 用云模式后也带来麻烦, 如模式中的“夹卷”作用会失去 Q_o 的保守性, 为弥补此, 将模式中的积云半径取成 5 km, 以减少夹卷影响, 另外, 模式中无云冰项, 使 α 值只用水相的. 国外实验^[11] 已证明冰相对 α 的影响较小.

求 δD_o 和 δD 随高度分布, 采用 Federer^[13] 的经验, 结合我们的资料, 将氘样中的 δD 最小值定成当天 18:24 雷达测得的铅直回波 10 dBZ 线顶高(海拔 11.5 km)处的 δD_c , 又由云模式算得的 Q_o , 相应高度处的 Q_c 和相应温度下的 α 值等代入(4)式后求得 δD_o 和 δD 随高度分布(见图 2). 为了与雹块中分层微结构相对照, 43 个氘样的 δD 值及其相应的高度(温度)、氘样所在层的冰晶体平均长度、生长方式等列于表 1. 冰

晶体平均长度是从薄切片的 20 倍显微照片上, 测量了 20—30 个晶体长轴后平均得出的; “干”和“湿”生长方式, 是参照相应层的 200 倍显微气泡浓度后得知的。

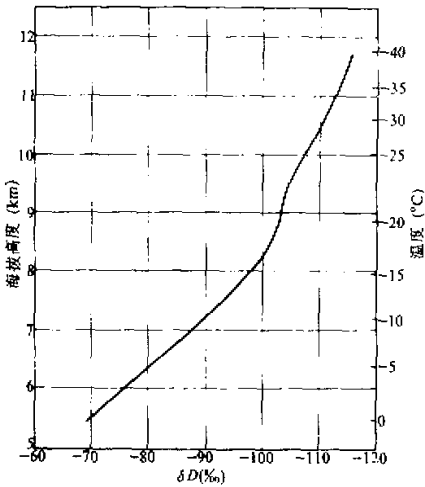


图 2 δD 随高度分布曲线
(1984 年 7 月 20 日宁夏海原雹暴)

表 1 43 个气样的 δD 值和相应高度

雹块号和特征	气样号	δD (‰)	相应高度 (m, 海拔)	相应温度 (°C)	气样层的晶体 平均长度(mm)	生长方式
雹块号: 84004 形 状: 扁球形 体 积: 43 cm ³ 整体密度: 0.90 外形尺寸: 长轴×短轴×高 56.8×48.5×34.8 (以下雹块上述说明略)	0	-93.5	7540	-12.2	1.1	干
	1	-87.7	7000	-8.8	2.3	湿
	2	-91.4	7340	-11	1.5	湿
	3	-92.2	7400	-11.4	1.2	湿
	4	-93.5	7540	-12.2	1.8	湿
	5	-87.5	6980	-8.7	2.4	湿
	6	-85.8	6840	-7.8	2.0	湿
	7	-92.0	7400	-11.4	2.2	湿
84006 球形 73cm ³ 0.90 64×54×46.2	8	-92.4	7430	-11.5	2.2	湿
	0	-98.8	8100	-16	0.9	干
	1	-105.8	9800	-23.9	0.9	干
	2	-106.6	9880	-25.2	1.4	湿
	3	-108.6	10180	-26.9	0.9	干
	4	-108.7	10200	-27	1.0	干
84025 椭球形 39cm ³	5	-99.4	8170	-16.6	2	湿
	0	-96.1	7790	-13.9	1.4	湿
	1	-92.9	7480	-11.8	1.7	湿
	2	-99.1	8120	-16.2	0.8	干

续表1

雹块号和特征	氮样号	δD (‰)	相应高度 (m, 海拔)	相应温度 (°C)	氮样层的晶体 平均长度(mm)	生长方式
0.93 49 × 47.2 × 30	3	-98.0	8000	-15.4	1.1	干
	4	-91.1	7300	-10.7	1.8	湿
84029 扁球形 38cm ³	0	-85.0	6780	-7.4	2.5	湿
	1	-100.0	8240	-17.1	1	干
	2	-104.2	9520	-22	0.7	干
0.92 50.5 × 46.3 × 32.2	3	-95.0	7680	-13.2	1.3	湿
	4	-94.1	7600	-12.6	1.8	湿
84051 球形 38cm ³	0	-114.9	11500	-38.3	0.8	干
0.9	1	-94.1	7600	-12.6	1.7	湿
49 × 44 × 38	2	-80.0	6380	-5.1	4	湿
84052 椭球形 34cm ³	0	-98.6	8080	-15.9	1.0	干
0.92	1	-98.2	8040	-15.6	1.8	湿
51 × 50 × 33.8	2	-87.4	6970	-8.6	3.8	湿
84053 球形 32cm ³	0	-100.7	8300	-17.5	0.7	干
0.94	1	-84.8	6760	-7.4	2.4	湿
47 × 42 × 43	2	-107.2	9980	-25.2	0.6	干
84055 椭球形 48cm ³	0	-94.0	7580	-12.5	1.3	湿
0.92	1	-102.3	8480	-18.8	1.6	干
61.4 × 43.6 × 38.7	2	-94.3	7620	-12.8	1.9	湿
84064 扁球形 30cm ³	0	-97.0	7880	-14.4	0.8	干
0.90	1	-92.0	7400	-11.4	1.3	湿
50.6 × 45.6 × 25.7	2	-84.6	6750	-7.3	3.0	湿
84065 扁球形 27cm ³	0	-94.9	7670	-13.2	1.5	干
0.92	1	-98.5	8060	-15.8	1.2	干
49.5 × 45.7 × 26	2	-88.0	7030	-9	2.5	湿
平均		-93.8 ‰	8071m	-14.7 °C		

三、分析结果和讨论

从表 1 得出主要结果如下:

1. 氙含量 δD 的平均值和平均变差。43 个氙样的平均 δD 值是 -93.8% ，相应的平均高度为海拔 8071m (-14.7°C)，它表示当地氙块生长的平均情况。如按生长方式分干生长层 17 个氙样的平均 δD 为 -101.8% ，平均高度为海拔

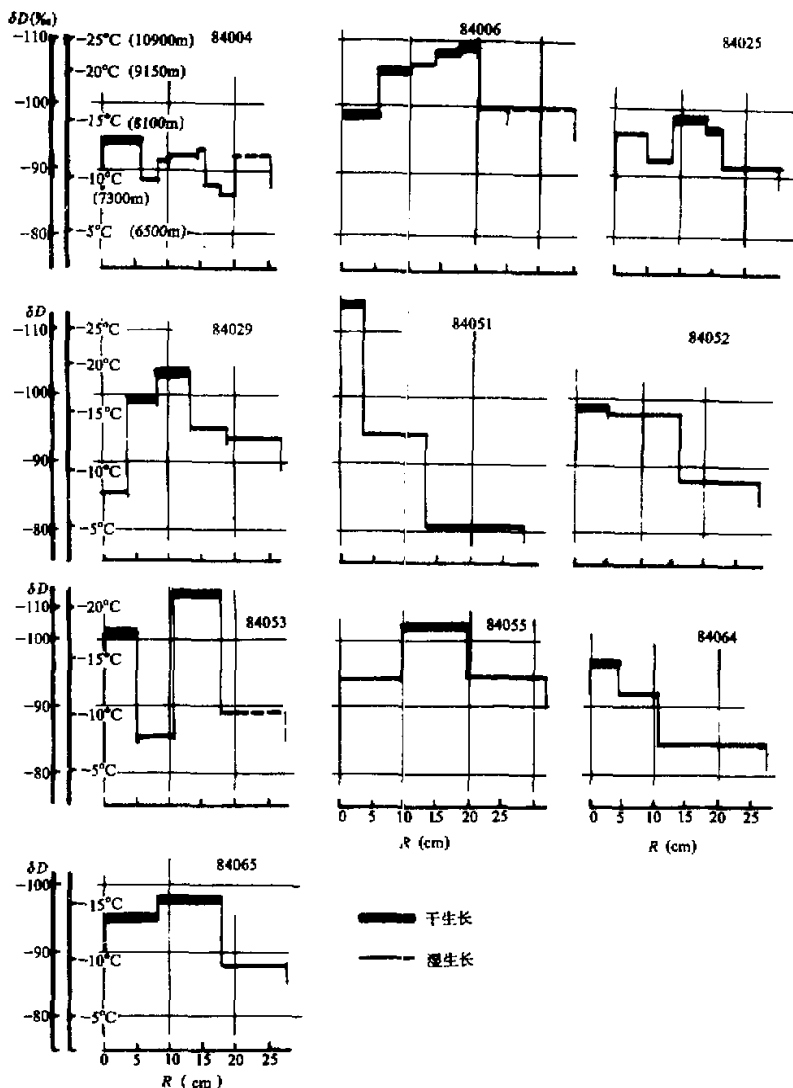


图 3 由 δD 得出的氙块生长高度(温度)与其半径的关系

8803 m (-19.5°C); 湿生长层 26 个氘样的平均 δD 为 -91.5‰ , 平均高度为海拔 7413m (-11.4°C), 干生长层的平均高度比湿生长的高 1400m, 10 个雹块生长半径和高度(温度)的关系见图 3。

这 10 个雹块中, 单个的 δD 变差(指最大值与最小值之差)平均为 14.5‰ , 除去 43 个氘值中的极大(-80‰)和极小(-114.9‰)后, 余下 41 个 δD 值的相应温度在 $-7.5 - -24.2^{\circ}\text{C}$ 间, 与有关文献的资料大体相同。Knight 等^[2] 分析的美国科罗拉多州的 6 个雹块 δD 变差平均为 22.9‰ , 相应温度是 $-13 - -18^{\circ}\text{C}$; Roos 等^[4] 分析的南非 34 个雹块 δD 变差平均为 18.4‰ , 相应温度是 $-20 - -25^{\circ}\text{C}$ 间; Federer 等^[11] 分析的欧洲 86 个雹块 δD 平均变差为 $10 - 15\text{‰}$, 多数的相应温度为 $-15 - -25^{\circ}\text{C}$; 赵仕雄^[6] 分析的青海高原 5 个雹块 δD 变差平均为 17.3‰ , 他的 24 个氘值中去掉极大和极小值后, 余 22 个的相应温度在 $-11.8 - -23^{\circ}\text{C}$ 间。

本文中的多数 δD 值在 $-90 - -105\text{‰}$ 间, 与国外文献中同等大小的雹块 δD 值在 $-60 - -80\text{‰}$ 间相比, 我们的 δD 值偏低。偏低原因可能与我们的风暴水汽源的 δD 本底值低有关, 高原风暴的水汽来自广大的内陆山地, 因海拔高和水源表面温度较低等缘故会导致云底水汽中之氘含量比国外海洋性风暴的低。我们未做过当地水源 δD 本底值的检验, 故只是一种推测。

2. 氘值与冰晶体平均长度的关系。43 个 δD 值和所在层冰晶平均长度 $\bar{L}$ 之间的统计拟合式为 $\delta D = -100.4 \bar{L}^{-0.136}$, 图 3 是拟合曲线, δD 和 $\bar{L}$ 之间的相关系数为 0.81。由此得知, δD 值在雹块中的分布与冰结构分层之间有着较好的相关性, δD 值与 $\bar{L}$ 值之间虽是互为独立的二种信息量, 但它们对雹块生长环境温度方面的解释结果^[12] 是相容的。

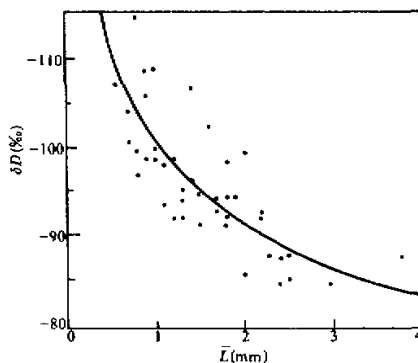


图 4 δD 值与其所在层冰晶平均长度 ($\bar{L}$) 之间的关系

参 考 文 献

- [1] Facy, L., L. Merlivat, G. Nief and E. Roth, 1963, The study of the formation of a hailstone by means of isotopic analysis, *J. Geophys.*, **68**, 3841 — 3848.
- [2] Knight, C.A., D.H. Ehhalt, N. Roper and N.C. Knight, 1975, Radial and tangential variation of deuterium in hailstones, *J. Atmos. Sci.*, **32**, 1990 — 2000.

- [3] Macklin, W.C., C.A.Knight, H.E.More, N.C. Knight, W. Pollock, J.N.Carras and S. Thwaites, 1977, Isotopic, Crystal and air bubble structures of hailstones, *J. Atmos. Sci.*, **34**, 961 — 967.
- [4] Roos, D.V.D.S., H.Schooling and J.C.Vogel, 1977, Deuterium in hailstones collected on 29 November 1972, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **103**, 751 — 767.
- [5] Federer, B., J. Jouzel and A. Waldvogel, 1978, Hailstone trajectories determined from Crystallography, deuterium content and radar backscattering, *Pure and Appl. Geophys.*, **116**, 112 — 129.
- [6] 赵仕雄, 1987, 高原五个雹块的同位素分析, *气象学报*, **45**, 169 — 178.
- [7] 杨颂禧、马镇勋等, 1985, 机床式冰雹切片机及其使用效果, *大气科学*, **9**, 308 — 313.
- [8] Hagemann, R., G.Nief and E.Roth, 1970, Absolute isotopic scale for deuterium analysis of natural water, *Tellus*, **17**(6), 712 — 715.
- [9] Merlivat, L., G. Nief and E.Roth, 1965, Formation de la grele et fractionnement isotopique du deuterium, *Abh. Dcut. Akad. Wiss. Berlin*, **7**, 839 — 853.
- [10] 胡志晋等, 1979, 积云暖雨过程及其盐粉催化的参数化数值模拟, *大气科学*, **3**, 334 — 342.
- [11] Federer, B., B. Thalmann and J.Jouzed, 1982, Stable isotopes in hailstones, Part II: Embryo and hailstone growth in different storms, *J. Atmos. Sci.*, **39**, 1336 — 1355.
- [12] 杨颂禧、陈玉山等, 1985, 由晶体大小和气泡含量分析雹块生长的垂直轨迹, *高原气象*, **4**, 157 — 166.

DEUTERIUM ANALYSIS OF GIANT HAILSTONES IN SOUTH MOUNTAINOUS REGION OF NING XIA

Yang Songxi and Ma Wei

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences)

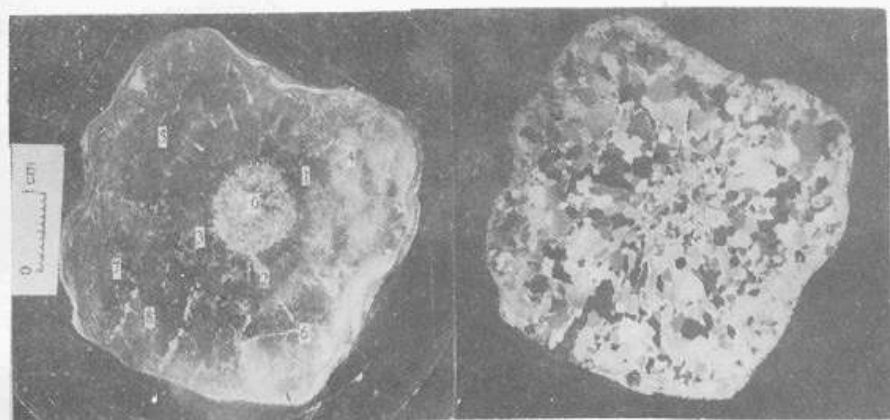
Chen Yushan, Niu Shengjie and Wang Tao

(Institute of Meteorological Science, Ning Xia Autonomous Region)

Abstract

The analysis of deuterium concentration on 10 giant Hailstone slices (major axis are 47 — 64mm) shows the average deuterium concentration is -93.8‰ ; and its corresponding height is 8071 m. a. s. l. (-14.7°C). The average value of dry growth layers is -101.8‰ , and its corresponding height is 8803m. a. s. l. (-19.5°C); the average value of moist growth layers is -91.5‰ , and the corresponding height is 7431m. a. s. l. (-11.4°C). There is a well statistical relationship between the deuterium concentration of growth layers and the average length of ice crystals.

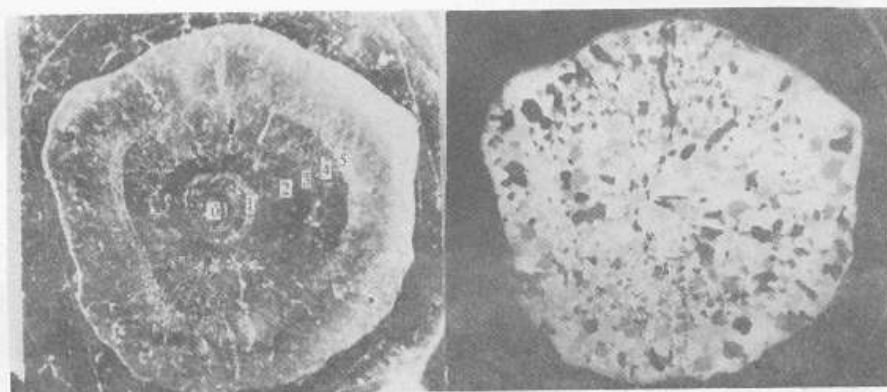
Key words: Isotope hydrogen; Hailstone growth.



反射光

84004

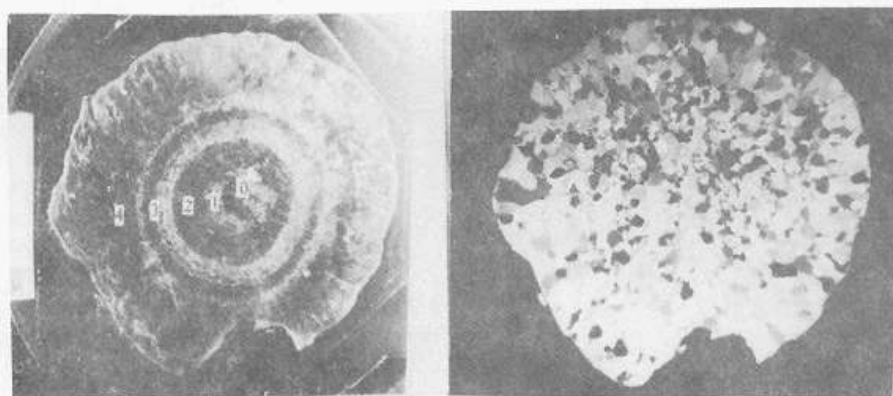
正交偏振光



反射光

84006

正交偏振光

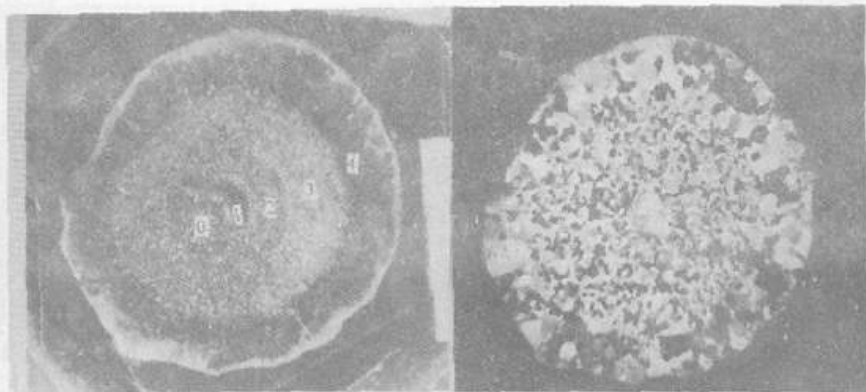


反射光

84025

正交偏振光

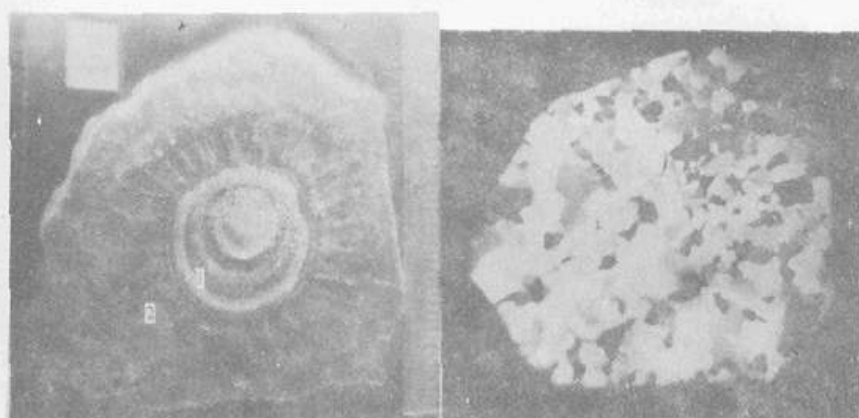
图 1 雹块切片中的采样位置和分层晶体结构



反射光

84029

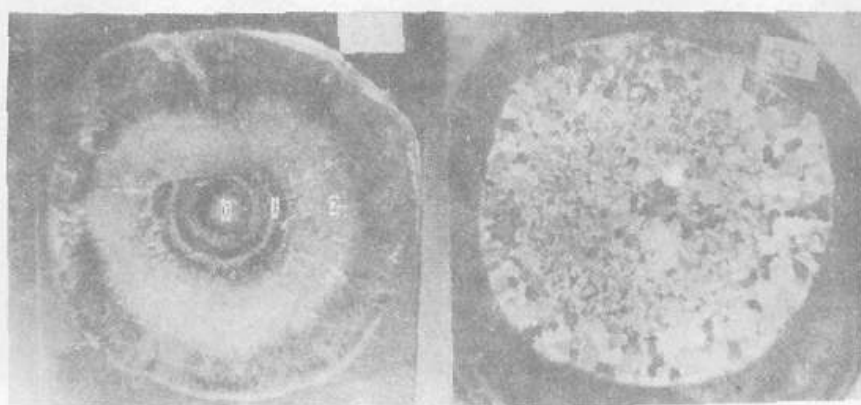
正交偏振光



反射光

84051

正交偏振光



反射光

84053

正交偏振光

图 1 续