

机床式冰雹切片机及其使用效果

杨 领 禧

(中国科学院兰州高原大气物理所)

马镇勋 张书发 马文树

(国营新兰仪表厂)

提 要

本文介绍了一台我国自行制造的机床式冰雹切片机的设计依据、结构和使用效果等。这台切片机的功能与 List (1961)^[1] 的相似,但有其特点: 1) 采用了约为 -6°C 的冷箱和约为 -20°C 的冷风作为环境冷冻,因而使切片操作可在通常的温度下进行; 2) 对雹块的固夹,用半导体致冷器直接冻住的方法代替了真空吸引。

一、引 言

我国冰雹分布很广,每年夏季全国有许多地方有机会取得自然雹块。雹块中蕴藏有它自身增长条件的信息,现代冰雹微物理研究中,通过对雹块切片中冰晶体构造、气泡含量和同位素氢含量等信息量的观测和实验,对冰雹增长的外界条件(如温度、含水量和上升气流等)增进了了解。在我国已有一些从事防雹研究的专业工作者对冰雹切片的观测分析引起了兴趣和重视。

冰雹切片机是开展冰雹微物理研究的一项重要设备。国外现今使用的冰雹切片机有圆盘锯和带锯两种机型^[1-2],综合它们的技术要点为: 1) 不论哪种机型,均需在专门冷冻室(温度 -15°C 左右)中操作; 2) 切片时,先将雹块切成厚 1—3 毫米的“厚切片”,而后使用锉刀、医用手术刀刮成或圆盘型锯铣成厚度为十分之几毫米的“薄切片”。国内现今只有热丝型的切片机^[3],用此能取得厚度为 1 毫米左右的厚切片,也需再辅以上述的手工方法减薄。热丝型切片工艺与机床式的相比,其主要缺点是切片剖面有融化层,它对晶体结构会产生不良影响^[4]。为了使切片符合一定的规格要求,我们设计和制造了一台机床式冰雹切片机。

这台切片机的主要功能参考了相似于 List (1961)^[1] 的机器,但有两个特点: 1) 采用了一个冷箱和一台负温冷风机作环境冷冻保证,因而使切片操作可在通常温度下进行,操作时只需双手伸进冷箱中; 2) 雹块的固夹采用了半导体致冷器直接冻住雹块的方法。这台切片机已于 1983 年 10 月通过国内冰雹研究同行们的鉴定。

1984 年 6 月 11 日收到修改稿。

二、设计的力学依据

1. 冰雹材料的机械特性: 决定机床主电机功率的重要参数是冰雹的抗拉强度 δ_b 。冰雹是脆性材料, 它的 δ_b 值比金属材料的小得多, 据查, 多孔和不纯冰的抗弯强度(近似于 δ_b 值)为 $21\text{kgf/cm}^{2[4]}$, 而东北杉松(弦向、横纹)的抗拉强度为 19kgf/cm^2 , 电极石墨的为 $20\text{—}45\text{kgf/cm}^{2[4]}$ 。因此可以认为冰雹的材料机械特性与普通木材或电极石墨等的相近似。在一般切削中, 主轴扭矩、主切削力等与加工材料的 δ_b 值成指数关系, 如钻床的主钻扭矩 $\propto (\delta_b)^{0.7[9]}$, 由此推知, 切削冰雹的机床主电机功率只需切削金属机床的百分之几, 设计切冰机械的力学参数几乎可完全参照木工机械的数据, 了解这一点是很重要的。

2. 冰雹切片时的受力: 被切冰雹主要受到三个分解力(见图 1): 1) 主切削力 P_x ——它的方向与主运动方向相同, 它使被切冰雹顺着锯刀旋转的方向受压, 因 P_x 和主运动方向一致, 故作功最多, 是计算主电机功率的主要数据; 2) 进给抗力 P_z ——它的方向与进给方向相反, 做功较少, 是设计回转进给力矩的主要数据; 3) 主轴反力 P_y ——它的方向既垂直于进给方向, 又垂直于主运动方向, 由于它作用在雹切片的刚度较弱方向上, 故会使切片向上弯曲乃至折断。它又是切片表面与锯刀面间产生摩擦力的根源, 为防止过多的摩擦热引起切片表面融化, 所以也是必需考虑的。

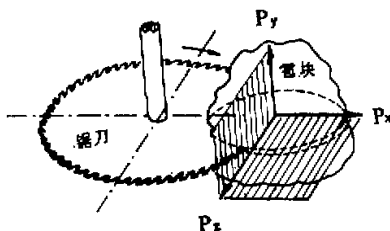


图 1 冰雹切片时受力示意

根据金属切削机床的一般规律, $P_x:P_z:P_y = 1:0.4:0.25^{[10]}$ 。经过比较, 冰雹切片时宜采用端面铣刀加工时的 P_x 公式^[11], 即 $P_x = C_p \cdot S_z^{0.8} B^{1.1} Z D^{-1.1}$ (公斤)。式中 C_p 是与被加工材料性质有关的常数, 取 $C_p = 1$; t 是切削深度, 看作是锯刀的厚度, 取 $t = 0.8$ 毫米; S_z 是锯刀每齿走刀量, 取 $S_z = 0.052$ 毫米/齿; B 是锯刀宽度, 看作是雹块的最大直径, 取 $B = 80$ 毫米; Z 是铣刀齿数, 取 $Z = 60$ 齿; D 是铣刀直径, 取 $D = 150$ 毫米。由此式算得 $P_x = 2.26$ 公斤, 相应的 $P_z = 0.9$ 公斤, $P_y = 0.57$ 公斤。

雹块切面与锯刀面间的摩擦力为 $F = P_y \cdot \mu^{[12]}$, 式中 μ 为摩擦系数, 钢与冰间的 $\mu = 0.027^{[13]}$ 。据查证^{[14][15]}, 在冰雹切片机的转速范围内, μ 值少变, 而且 μ 值的变化与冰面融化成负相关, 即干冰面的 μ 值比湿冰面的大, 及至冰面摩擦升温融化时, μ 值反而变小。由摩擦功率 $F \cdot V$ (V 是切割速度, $V = \frac{\pi D n}{1000}$ 米/分, n 为锯刀转速, D 为锯刀直径) 可算得对于直径 8 厘米和厚度 1 毫米的切片, 经 180 秒切割后, 摩擦生热使切片融化去原厚度的 2.8%。除 P_y 外, P_x 也产生摩擦热, 估计它比 P_y 引起的还大, 因此锯刀旋转和切割所生的摩擦热单凭冷箱的冷却作用尚不足以相抵销, 因而又加进了一项负温冷风机的附加设备的设计。

三、机床结构

1. 主机: 本机床的主机外形见图版 III(a), 主电机采用 DO-5624 微型单相电容异步电动机(90瓦), 主电机的转速为 1400 转/分, 经一级皮带减速和三级齿轮减速后得到 230、120 和 70 转/分三档速度, 采用拨叉机构在停转情况下进行变速, 这主要是考虑到如旋转中变速会引起应力突变而造成切片断裂, 另外, 停转下变速可省略啮合的“空档”位而使变速箱的体积缩小。主轴箱的升降采用丝杠传动机构, 转动主机上端的手柄, 就使主轴箱顺花键轴上下移动, 最大行程为 60 毫米。手柄圆周上有刻丝 100 格, 每格相当于锯刀垂直移动 0.02 毫米。

2. 迴转工作台和进给变速系统: 迴转工作台(见图版 III 中的⑤)起着固定雪块并供进给切割的作用, 其迴转半径为 12 厘米。迴转旋转在横向轴和纵向轴上的分解速度相接近, 因而使雪块上承受的横向或纵向应力较均匀(见图 2), 雪块切片快完成时, 应力集

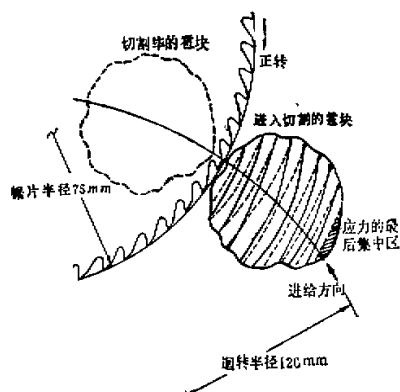


图 2 圆形进给的应力分布和齿尖轨迹。雪块内的实线表示齿尖轨迹, 虚线表示应力分布线

中在雪块第二象限的斜线区, 这里成了切片最后的断裂区, 直径 5 厘米的雪块切片, 最后断裂区大致可控制在 2×7 毫米² 的范围内。迴转工作台的转轴用锥形离合器与进给减速器相联结。减速器的电机采用 SYL-5 型直流力矩电机, 经一蜗轮付和一级齿轮减速后降成电机转速的 $1/300$, 通过可控硅整流电路对电机转子电压的调节实现进给的无级调速。

3. 雪块的冻结固定方法: 在 List 的切片机中, 冰雪用真空吸引法固定, 即真空吸引一玻片, 而被切雪块又靠冷冻室的致冷能力冻牢在玻片上。显然, 这是巧用金属切削机床中固夹特殊形状(如特薄或半球形)加工件的真空吸引方法解决了冰雪的固夹问题, 至今仍然不失为一个绝好的方法。但是, 当我们采用主机安装于冷箱中的局部冷冻条件后, 由于冷箱供冷的有限性和不稳定性使应用真空吸引法成为困难, 因此我们改用了半导体致冷器直接冻住冰雪的方法。该致冷器形体很小, 它装在迴转工作台的台面上(见图版 III 中

之 6), 是二级并联的碲化铋固溶体 N 型和 P 型的电偶堆, 第一级 20 堆, 第二级 10 堆。第二级的冷端贴有直径为 70 毫米的紫铜板, 电偶通电后帕尔帖效应使紫铜板表面温度可达 -12°C 以下。冰雹与紫铜面之间的冻结力来源于冰晶分子金属体分子间的胶结作用, 我们测得这种冻结力为 $0.5-0.7\text{kgf}/\text{cm}^2$, 又算得相应的切割力为 $0.358\text{kgf}/\text{cm}^2$, 证明冻结力能抗衡过切割力。该致冷器的热端用循环水冷却, 整个致冷器功耗为 50 瓦。

4. 电器控制: 机床的电气控制盘设置在冷箱正面的中部 (见图版 III), 它可操纵一系列的电路执行如下的功能: 1) 控制主机电动机的正、反转和点动、连续转动。为了保障安全, 当迴转工作台由切割完毕位置开始返回到待切位置的这段时间里, 主电机处于被锁断路状态。2) 控制和调节进给电机的进给速度和往复运动。电机转速由一电位器给定, 通过电位器改变单结晶体管振荡器的脉冲频率以触发桥式整流电路中的两个可控硅整流器, 起到改变进给电机的转子电压的作用。当切完时, 另一继电器使电位器短路, 减小了 RC 电路的时间常数, 增大了振荡频率和可控硅的导通角, 使电机返回的速度加快, 缩短了空程时间; 3) 控制半导体致冷器的启动和停止。致冷器冷堆的工作电流连续可调。冷堆通电之前, 冷却水回路中的水压继电器达到规定的水压时触点才闭合, 接通了冷堆工作电流, 若水泵故障使水回路中的水压不够时, 冷堆电流立即被切断。

四、机床与局部环境冷冻条件的组合

本切片机的局部环境冷冻由两方面来实现: 一方面是将主机和迴转工作台装置在一个冷箱中, 箱内温度可降至 -6°C 左右, 冷箱正面设有一有机玻璃窗, 其下方开二个盖以瓣状橡皮的伸手孔以备伸手操作; 另一方面是由一台负温冷风机连续供应 -20°C 左右的压缩空气去吹被切雹块。机床与冷箱、冷风机和空气压缩机等组合成一个机组 (见图版 III)。

冷风机结构中的主要部件是储气罐、氟里昂蒸发器、保温层和致冷压缩机等。储气罐由厚 5 毫米的 A₃ 钢板冷轧制成, 容积为 0.0463米^3 , 它上部有一椭圆形封头与罐身上的嵌入式法兰盘相连接, 大多数的管道和电器探头都通过封头接入罐体中。蒸发器由长 13 米的 $\phi 13$ 毫米紫铜管盘成, 致冷剂用氟里昂 12, 制冷压缩机用开启式 2F-4.8 型。储气罐中的压缩空气由空压机供给, 有压力控制器启动电磁阀作空气自动补充, 计算得蒸发器的供冷率为 $0.389\text{千卡}/\text{秒}$, 而每罐空气 (压力为 $6\text{kgf}/\text{cm}^2$) 从 $+30^{\circ}\text{C}$ 降为 -30°C 的需冷量为 4.89千卡 , 降温时间只需 12.6 秒, 如选择排气量为 $0.05\text{米}^3/\text{分}$ 的空压机, 则完全能满足连续和充分地供应 -20°C 左右的冷风。

五、切片程序和效果

该切片机的切片程序见图 3。图 3 中的第⑤程序中, 雹块表面冻结一玻片是出于防止切片卷曲或断裂的需要, 冻结是靠冷风实现的。该机床能直接切得厚度为 1 毫米的切片, 故需辅以手工刮薄的工序后才能获得厚 $500-200$ 微米的薄片。手工刮薄和显微观测照相相等均可在冷箱中伸手操作完成。

原考虑到为适应切割不同直径雹块而设计的拨叉式转速变换, 经实际使用表明似不

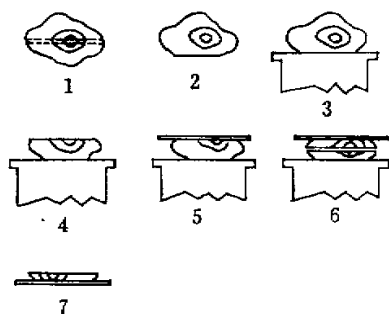


图3 制作切片的程序

- (1) 企图切割位置, (2) 削出一平面供冻结用,
- (3) 冻结在半导体致冷器上, (4) 第一次切割
- 和手工磨光, (5) 冻上一薄片, (6) 第二次切割,
- (7) 翻转并手工磨薄至所需厚度。

必要,因为通常用最低转速(70 转/分)已足够,加大转速会加剧切片的卷曲。国外也曾有人^[16]提过“旋转方向与铣刀锯齿尖的方向相反(即反转)会使切片较易”的说法,据我们比较后得知,正转已足够,反转对切片不带来任何好处。取决切片难易的关键却是锯刀的厚度和齿型,我们现在用的锯刀是由高速钢切断铣刀的成件经衍磨至厚度 0.8 毫米而成,可是它的齿数和齿型却未加改变,如果将锯刀磨得更薄,并增多齿数和改变齿型(增大齿型的前、后角),则可望切片效果更佳。

这里举一组切片照片为例(见图版 I 和 II),以说明该机床的切片效果。图 a 和 b 是同一雹块中相隔约 3 毫米的二张相邻切片,由图 a 中心切片分析得雹胚是冻滴(透明冰和晶体大),可是由图 b 相邻片可分析得雹胚是霰粒(不透明冰和晶体小),分析中遇到这类问题是不少的,由于这台切片机效率较高、厚度分隔严格和切片表面严格不经融化等优点,使我们的分析精度有了提高。图 c 是中心切片上沿白线标记半径方向的晶体显微照片(显微镜倍率 $\times 20$),图 d 是沿 c 线上各气泡层中气泡含量的显微照片(显微镜倍率为 $\times 200$)举例。图 a—d 的资料,显然能满足雹块中晶体和气泡含量等的有关定量分析要求。

感谢:本文中的雹块样品由宁夏气象科学研究所的赫大德、胡兆权等同志收集和提供的,承蒙帮助,作者深表感谢。

参 考 文 献

- [1] List R., Physical methods and instruments for Characterizing hailstones, *Bull. Am. Met. Soc.*, 42, p. 452, 1961.
- [2] Browning, K. A. and Beimers, J. G. D., The oblateness of large hailstones, *J. Appl. Met.*, 6, p. 1076, 1967.
- [3] Roos, D. V. ds., Scholling, H. and Vogel J. C., Deuterium in hailstones collected on 29 Novem-

- ber 1972, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **103**, p. 751—767, 1977.
- [4] Macklin, W. C., Carras, J. N. and Rye, P. J., The interpretation of the crystalline and airbubble structure of hailstones, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **102**, p. 25—44, 1976.
- [5] Knight, C. A. Ashworth, T. and Knight, N. C., Cylindrical Ice accretions as simulation of hail growth II, The structure of fresh and annealed accretion, *J. Atmos. Sci.*, **35**, p. 1997—2009, 1978.
- [6] 赵仕雄, 杨颂禧, 王其善, 半导体致冷冰雹切片机, 气象, 1982 年第 3 期, p.33—34.
- [7] Kingery, W. D. and French, D. N., *Stress-Rupture behavior of sea ice*, Ice and Snow, p. 124—129, The M. I. T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.
- [8] 机械工程手册, 第 12—16 篇, 机械工业出版社, 1978 年 5 月版.
- [9] Z 3040×16 型摇臂钻床技术设计, 沈阳钻镗研究所出版.
- [10] 金属切削手册, 上海人民出版社出版.
- [11] 哥列洛夫著, 金属切削, 机械工业出版社, 1959 年版.
- [12] 黄锡恺编, 机械原理, 高等教育出版社出版.
- [13] 机械工程手册第 22 篇, 机械工业出版社, 1979 年版.
- [14] Mellor, M., *Polar Snow — A summary of Engineering Properties*, Ice and Snow, p. 528—557, The M. I. T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.
- [15] Shimbo, M., The mechanism of sliding on snow, international association of scientific hydrology publication, No. 54. Helsinki General Assembly, I. U. G. G., 1961.
- [16] Facy, L., Merlivat, L. Nief, G. and Roth, E., The study of the formation of hailstones by isotopic analysis, *J. Geophys. Res.*, **68**, p. 3841—3848, 1963.

A MACHINE TOOL FOR HAILSTONE SLICE CUTTING AND ITS EFFECT OF UTILIZATION

Yang Songxi

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Academia Sinica)

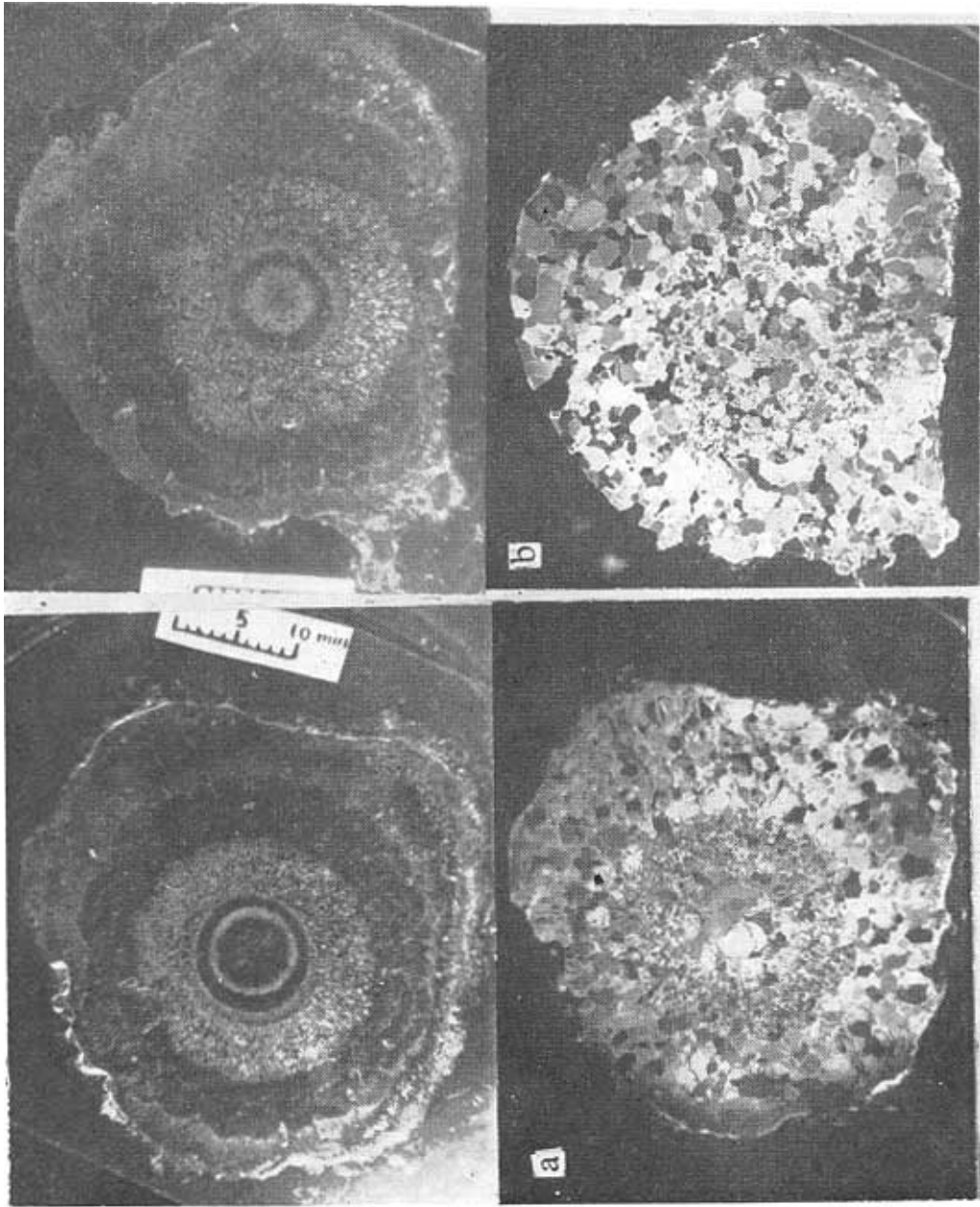
Ma Zhengxun Zhang Shufa Ma Wenshu

(State-operated Xinlan instrument Factory)

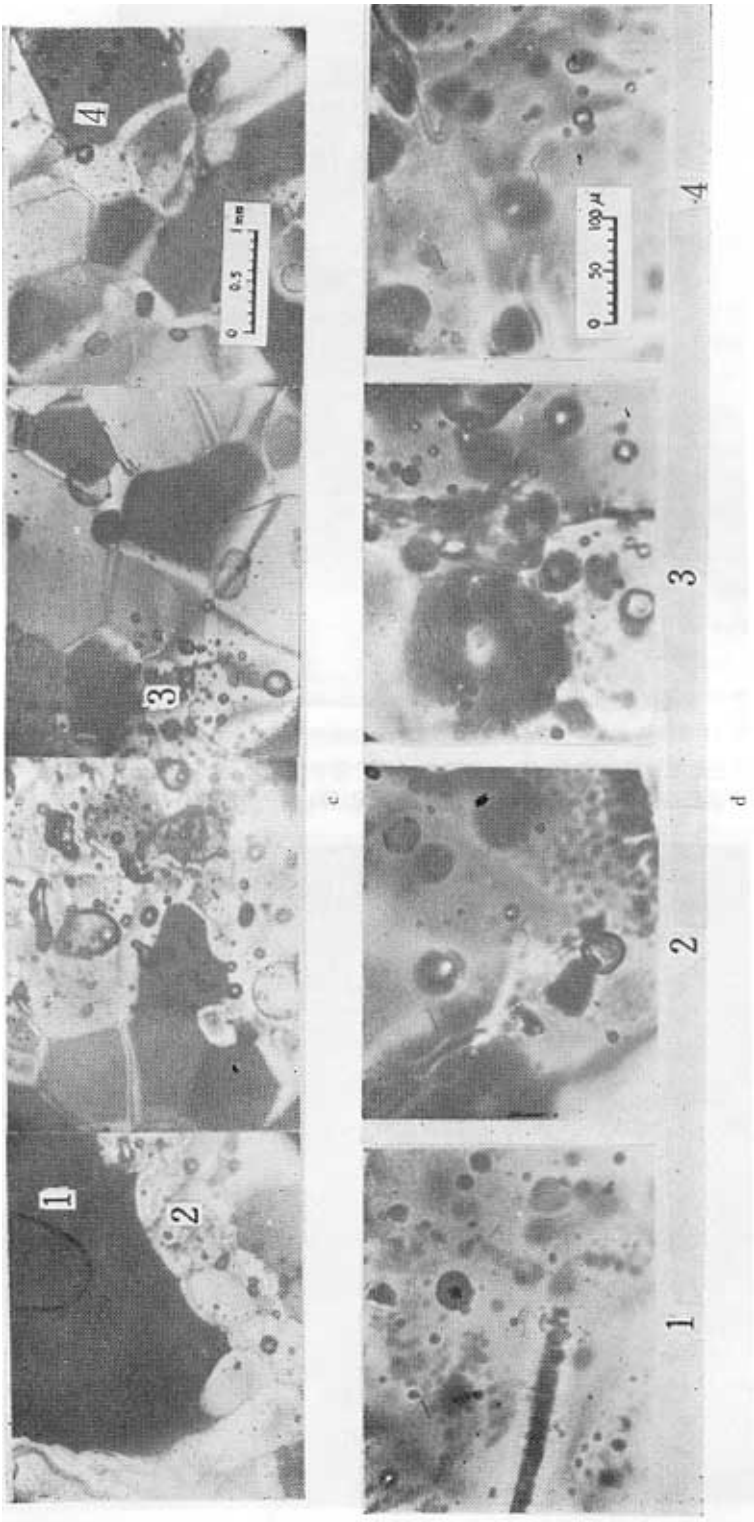
Abstract

The equipment for hailstone slice cutting has been designed and made by our Institute. The design basis, structure and utility of the machine are described in the paper. The function of the machine is similar to that used by R. List (1961)^[1], but there are two improvements in it: 1) A refrigerator (about -6°C) and a cooling flow (about -20°C) are adopted for cold environment, so the cutting operation can carry out at room temperatures; 2) For the fixture of hailstone the direct freezing by a semiconductor refrigerator is used instead of the vacuum attraction.

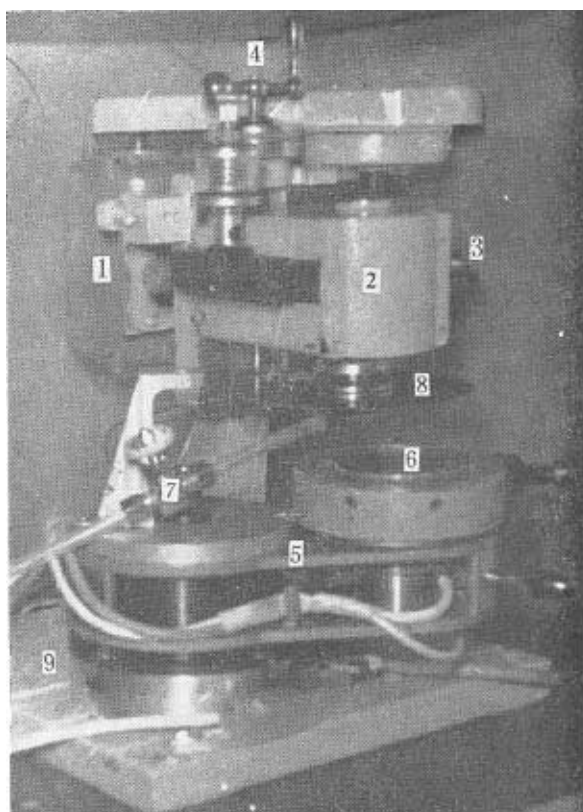
}}o



使用冰雹切片机机床处理的材料举例
(a) 中心切片 (厚 500μ)，上：反射光 下：偏振光 (b) 相邻切片，距中心切片约 3mm (厚 500μ)

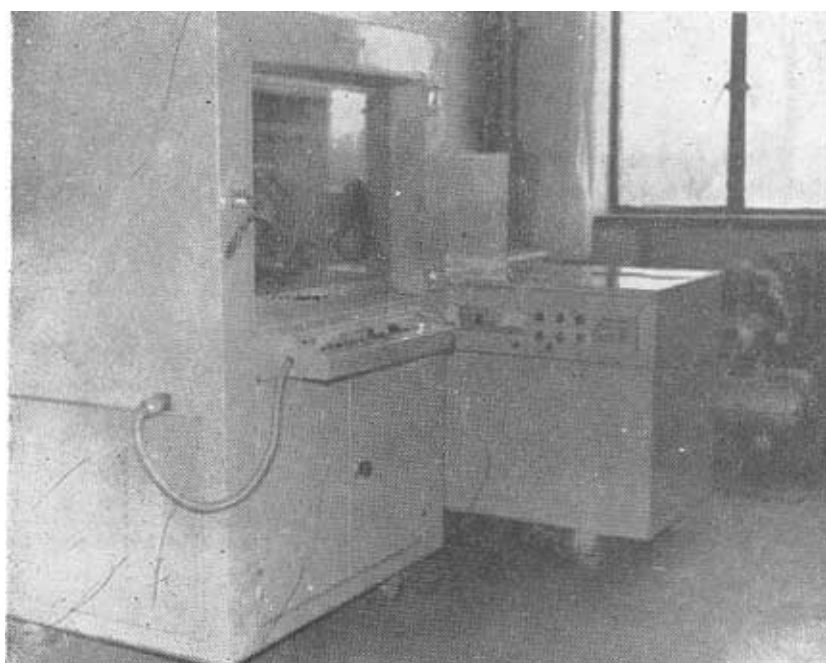


使用冰雹切片机床处理的资料举例
(c) 沿 a 中所标白线径向的晶体显微照片(切片厚 500μ, 显微倍率 ×20)
(d) 接 c 中所标位置的气泡含量显微照片(切片厚 200μ, 显微倍率 ×200)



(a) 冰雹切片机床的外形

(1) 主电机 (2) 变速箱 (3) 变速拨叉 (4) 升降手柄 (5) 迴转进给台 (6) 半导体致冷器 (7) 负温冷风直角阀 (8) 锯刀 (9) 机床参考面 (一级精度)



(b) 机床与冷箱,冷风机和空压机等的组合

左: 冷箱 中: 负温冷风机 右: 空压机