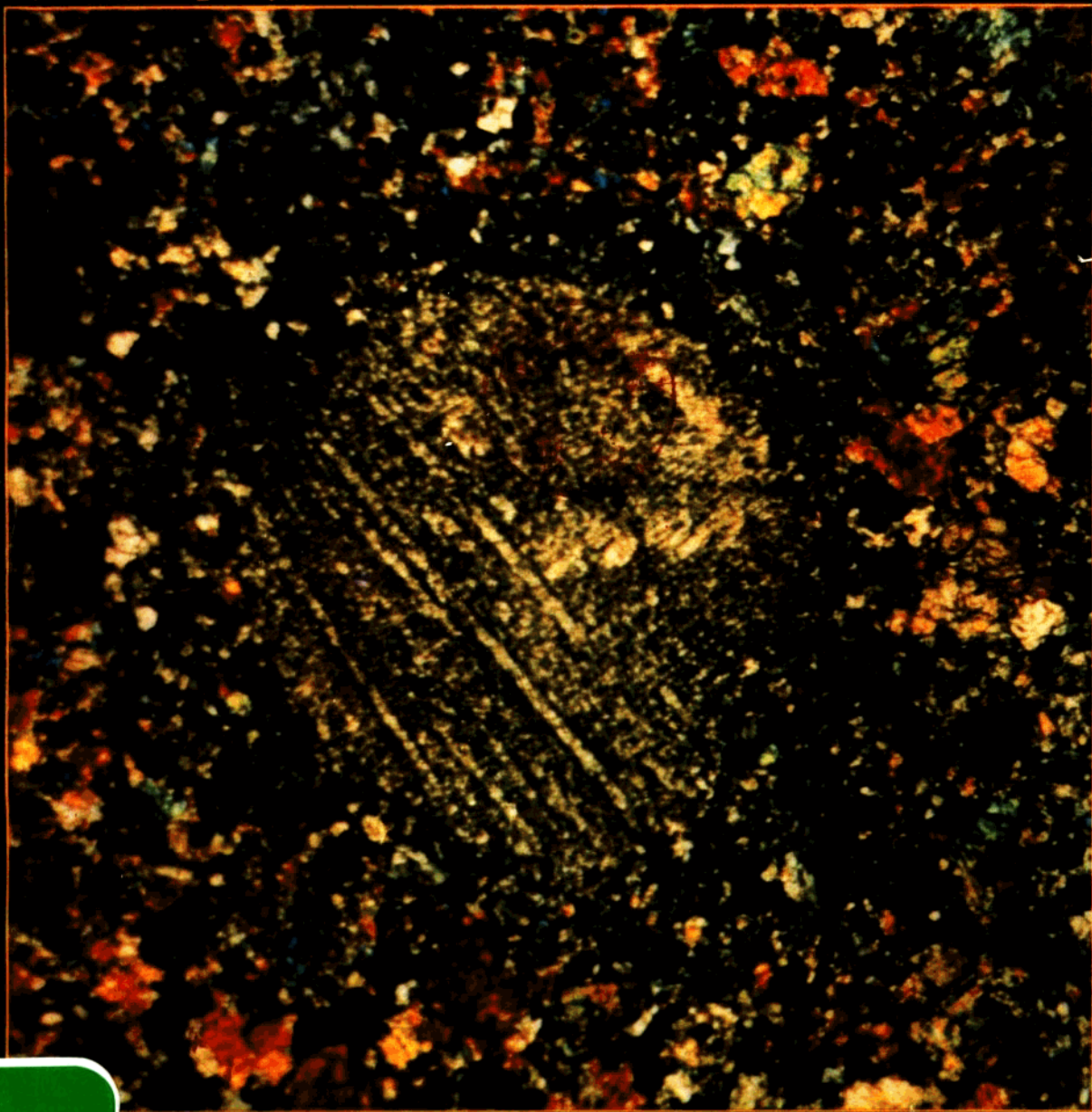


随州陨石综合研究

国家自然科学基金资助项目

王人镜 李肇辉 主编

中国地质大学出版社



随州陨石综合研究

国家自然科学基金资助项目

王人镜 李肇辉 主编

中国地质大学出版社

内 容 简 介

随州陨石雨是继我国吉林陨石雨之后陨落的第二大的陨石雨。作者用现代科研方法和测试手段对其进行了综合性研究,并在研究成果基础上写成本书。全书共分五章,从野外科学考察、成分和结构、谱学和磁学特征、同位素组成和年代学以及陨石的形成和演化等几个方面系统地阐述了随州陨石的科学内涵和价值。本专集是继“吉林陨石雨文集”之后我国又一本较系统和全面的陨石雨科研新成果。

本书对从事宇宙学、天体学、岩石学和矿物学等研究人员有重要参考价值。

随州陨石综合研究

国家自然科学基金资助项目

王人镜 李肇辉 主编

责任编辑:蒋良朴 贾晓青

责任校对:熊华珍

中国地质大学出版社出版

(武汉市喻家山 430074)

中国地质大学出版社印刷厂印刷 湖北省新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 9.5 图版3 字数 238千字

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

ISBN 7-5625-0448-2/P·145

印数1—500册 定价:7.50元

随州陨石综合研究

课题组负责人：王人镜(中国地质大学·武汉)

李肇辉(中国科学院地球化学研究所)

课题组成员：中国地质大学(武汉)

邱家骧 沈今川 沈上越 葛瑛雅 舒勤荣

陈敬中 颜慰萱 任迎新 曾广策 陈紫英

袁晏明 路元良 张保民 阎桂林 华欣

黄德贵 庄小丽

中国科学院地球化学研究所

侯渭 欧阳自远 王道德 张峰 刘京发

邓仁达 丁暄

前 言

1986年4月15日北京时间18点52分,在我国湖北省随州市东南方的浙河镇大堰坡乡一带降落了一场陨石雨。这是继12年前我国吉林降落的世界历史上罕见的陨石雨之后第二大的石陨石雨。

这场陨石雨引起了我国科学工作者的极大关注。为了及时地对这场陨石雨进行野外实地考察和搜集样品,原武汉地质学院(现改名中国地质大学·武汉)和中国科学院地球化学研究所、随州市科委^①都同时各自派出了科学考察队伍奔赴现场。科考人员深入实地,日夜辛劳,寻访目击者,搜集和掌握了丰富的陨石雨有关资料。所有这些工作,都得到了随州市委、随州市博物馆、当地乡政府以及老乡们的热情关怀和支持。前后多次的野外实地考察,为随州陨石雨的多学科综合研究提供了可靠的陨落现象资料和样品。

同时,中国科学院地球化学研究所和武汉地质学院分别向国家自然科学基金委员会提交了综合研究随州陨石雨的基金申请报告。1986年12月获得了国家自然科学基金委员会批准[(86)国科金地字004号]。在其通知中指出:“将中国科学院地化所李肇辉申请项目《随州陨石雨综合研究》与武汉地质学院王人镜申请项目《湖北随州陨石雨研究》合并为一项,王人镜为项目第一申请人”。在资助项目批准书上对双方分工还做了具体指示:“王人镜等(武汉地院)侧重于岩石矿物工作等方面的研究。李肇辉等(地化所)侧重于同位素、宇宙成因等方面的研究。资助期限从1987年1月至1989年12月”。经双方协商,研究课题改为“随州陨石综合研究”。中国科学院地球化学所参加本项目的人员有李肇辉、侯渭、欧阳自远、王道德、张峰、刘京发、邓仁达、丁暄。中国地质大学参加本项目的人员有王人镜、邱家骥、沈今川、颜慰萱、沈上越、陈紫英、葛瑛雅、舒勤荣、任迎新、陈敬中、路元良、曾广策、袁晏明、张保民、黄德贵、庄小丽、阎桂林和华欣(阎桂林和华欣于1988年夏参加本课题)。在近三年研究过程中,双方自始至终团结合作并充分发挥了各自的优势,于1989年10月提前完成了预期的研究任务。现将随州陨石雨的研究成果编辑成专著,以供陨石研究者和有关人员参考。

本专著包括下列五个部分:

- 一、随州陨星的陨落现象;
- 二、成分和结构;
- 三、谱学和磁学特征;
- 四、同位素组成和年代学;
- 五、随州陨石的形成与演化。

本次研究较突出的部分有:

(1)研究了随州、吉林、亳县普通球粒陨石和宁强碳质球粒陨石的激光喇曼光谱,首次获得了平衡型普通球粒陨石的碳质喇曼光谱,并与国外非平衡型球粒陨石碳质喇曼光谱比较研究后,发现陨石中存在两种类型的碳质。一种是碳质球粒陨石中的原生碳质,它的序参量通常随陨石热变质程度和岩石学类型的升高而减小;另一种是普通球粒陨石的次生碳质,它的

^①中国科学院地球化学研究所和随州市科委考察结果已在《科学通报》1987年第9期上作了报导。

序参量随陨石热变质程度和岩石学类型的升高而增大。据此提出原生碳质由星云碳氢等离子气体在低温的尘埃载体上沉积生成。普通球粒陨石的次生碳质是由原生碳质通过陨石母体内部的后期热变质作用生成。估算原生碳形成时尘埃载体的温度近30℃, 随州陨石的热变质温度小于或等于770℃。

(2) 穆斯鲍尔谱研究, 首次确定随州陨石中存在两种有序的铁镍合金。有序度较高的铁镍合金由母体缓慢冷却形成; 有序度较低的铁镍合金是在随州陨星由母体中分出时通过碰撞冲击作用形成的; 推断随州陨石经历了两次完全不同的热历史。

(3) 首次提供了平衡型普通球粒陨石(随州陨石)中橄榄石、紫苏辉石、透辉石和斜长石(更长石)的红外吸收谱带, 证明了随州陨石中这些矿物的谱带与地球上同名矿物的谱带不同。前者单矿物红外吸收谱带的分裂程度明显低于后者, 说明前者的对称程度明显高于后者。获得普通球粒陨石随热变质作用产生的反射光谱和红外光谱变化规律。

(4) 已鉴定出32种矿物, 并初步确定了两种具有锡钽锰矿结构的Nb-Ta新矿物。

(5) 由矿物、岩石和化学组成、微量元素丰度和捕获的稀有气体浓度研究, 确定了随州陨石属平衡型低铁群L₆型普通球粒陨石。

(6) 根据对主要难熔矿物(铬铁矿、钛铁矿)和主要低温矿物(陨硫铁)在球粒和基质中分布特征的研究, 丰富了陨石球粒先于基质形成的认识。这为太阳系星云的化学演化提供了重要依据。

(7) 熔壳研究证明, 熔壳中的橄榄石和斜方辉石成分与玄武岩中斑晶和微晶矿物相似, 比陨石内同名矿物富铁, 熔壳中的斜长石比陨石内的斜长石富K、Ca, 属富钾斜长石。熔壳的这些研究结果对认识地球的壳-幔演化有重要价值。

(8) 用透射电镜研究了炉条状橄榄石内无色透明具有均匀斜长石光性的“去玻化物”, 证实它是平行定向排列的更长石与富Si、Al玻璃质的混合物。

(9) 同位素研究获得随州陨石Pb同位素等时线年龄为 $4580 \pm 60 \text{ Ma}$; K— ^{40}Ar 气体保留年龄为 $4280 \pm 160 \text{ Ma}$; ^3He 、 ^{21}Ne 、 ^{36}Ar 、 ^{83}Kr 、 ^{126}Xe 和 ^{81}Kr -Kr法获得的平均宇宙线暴露年龄为 $30.8 \pm 3.3 \text{ Ma}$ 。O同位素变化小, 而S同位素变化范围较宽。

(10) 依据综合研究的成果, 提出了随州陨石的形成和演化模式, 丰富了陨石学和陨石热历史的研究内容, 深化了对星云化学演化的认识。

书稿写成后, 由谢先德、宋叔和、吴利仁、李兆麟、张培善和陈道汉等教授进行了全面审查, 并提出了许多宝贵意见。肖诗宇、黄莉和朱彩霞承担了本书图件的清绘工作。在此, 一并向他们致以衷心的感谢。

虽然我们对随州陨石进行了综合研究, 但由于资料和水平的局限, 书中不免有不完善或错误之处, 敬请读者批评指正。

王人镜 李肇辉

1990年4月

目 录

前言

第一章 随州陨星的陨落现象

- 随州陨石雨科学考察.....舒勤荣 袁晏明 (1)

第二章 成分和结构

- 一、随州陨石样品的单矿物分选方法.....任迎新 葛英雅 (8)
- 二、随州陨石初步研究.....王人镜 邱家骧 沈今川 (12)
- 三、随州陨石熔壳的组成及其意义.....邱家骧 王人镜 潘道钧 (19)
- 四、新陨落的随州 (L群) 球粒陨石.....侯渭 欧阳自远 李肇辉等 (30)
- 五、随州陨石的常见透明矿物及其化学-岩石学类型.....曾广策 (32)
- 六、随州陨石不透明矿物及结构特征研究.....沈上越 庄小丽 (40)
- 七、随州陨石中发现的两种具有锡钽锰矿 (ixiolite) 结构的Nb-Ta新矿物.....
.....沈今川 (52)
- 八、单晶X射线衍射法鉴定随州陨石中微细矿物.....沈今川 任迎新 (55)
- 九、随州陨石电子显微镜研究.....陈敬中 (57)
- 十、随州陨石中包裹体的研究.....陈紫英 (62)
- 十一、随州陨石的球粒及其成因.....王人镜 邱家骧 沈上越 (65)
- 十二、随州陨石炉条状橄榄石球粒中去玻化物的透射电镜研究.....
.....刘祥文 王人镜 杨光明 (72)
- 十三、随州陨石微量元素的初步研究.....钟红海 李肇辉等 (74)
- 十四、随州球粒陨石微量元素丰度特征.....王道德 (77)
- 十五、随州陨石化学全分析.....黄德贵 肖鸿雁 (80)

第三章 谱学及磁学特征

- 一、随州陨石的反射和中红外透射光谱研究.....李肇辉 欧阳自远 王木森等 (85)
- 二、随州陨石的喇曼光谱研究.....李肇辉 王道德 欧阳自远等 (91)
- 三、随州陨石几种矿物的红外光谱特征.....袁晏明 张保民 任迎新 (96)
- 四、随州陨石穆斯堡尔效应研究.....葛英雅 任迎新 华欣等 (101)
- 五、随州陨石的磁性特征.....阎桂林等 (107)

第四章 同位素组成和年代学

- 一、随州陨石的铅、氧、硫同位素研究.....路元良 王人镜 (120)
- 二、随州陨石的稀有气体研究.....王道德 李肇辉 (125)
- 三、随州陨石的裂变径迹年龄.....张 峰 李肇辉 (128)

第五章 随州陨石的形成与演化.....李肇辉 王人镜 (131)

英文摘要..... (139)

照片说明

照片

第一章 随州陨星的陨落现象

——随州陨石雨科学考察

舒勤荣 袁晏明^①

(中国地质大学·武汉)

1986年4月15日北京时间18时52分,在湖北省随州市东南12.5km的大堰坡乡及其附近地区,突然降落一场规模较大的陨石雨。这是继1976年3月8日在我国吉林省降落的陨石雨之后降落的第二大的石陨石雨。自1986年4月19日到1987年7月21日,我们先后四次,历时30余天,对陨石雨分布的39km²面积上陨落的现场进行了详细调查。调查涉及三个乡所属的约60个自然村,被询访的知情人和目击者200人次以上;对陨落现场进行了认真地测量、摄影和录像,取得了一批数据;收集到一些供分析研究的宝贵陨石标本,为随州陨石雨的深入研究打下了良好基础。

(一) 陨落现象

1. 闪光、火球、爆炸声及带状“烟云”

1986年4月15日18时52分,位于随州市东郊气象站的几位工作人员,突然发现其南部天空猛然一闪亮,有一辉光耀眼的火球(约有满月的一半大小)出现在傍晚的天幕上。5~6秒钟后,听到一声闷雷般的巨响后,接连响声不断,持续30~50秒钟;在大堰坡乡,还有人在听到连续爆炸声后紧接着的一声如炮弹飞行时发出的呼啸声。此时红色火球的体积迅速膨胀,视直径达4~5m,且因陨星爆裂和烧蚀产生了带状烟雾云,从火球一端向西南方向拉长。这种带状烟云分成两层:上为红白色,下为灰色,处于其上的卷云和其下的高积云之间。据气象站的徐定乾的现场目测,当时的卷云高度为9000m以上,卷云总云量5~6成,其下的高积云云量有4成。气象站海拔高96.2m,气压为1007.7hPa,低空风向70°,风速4m/s;高空⁽¹⁾(12000m)风:平均风向261°,平均风速49m/s。此后,火球及其周围的烟雾不断往上翻腾,其情景与原子弹爆炸产生的蘑菇云顶相类似,后经风吹呈弥漫状滞留空中,20~30分钟后才逐渐消散。

与此同时,大堰坡乡政府的干部们亦在政府机关所在地的上空,观察到这一天空奇观。据工作人员叶全臻提供的情况表明,带状烟云是从火球的一端向SW218~220°方向拉长并飘散的(这个方位是根据叙述者所指的两个对应的地物连线方向用罗盘实测定向的)。

2. 几块陨石陨落情况

(1) 目击随州陨石雨中最大陨石(1号陨石)陨落的方顺祖、方银平,当时在田里抽水,

^①参与野外考察的人员还有叶瑞强、李家强、沈金田、沈上越、曾广策、包德清、袁伟、陈源、王人镜和华欣等。

他们被一束突如其来的孤光所惊呆，接着听到闷雷般的响声持续约30秒钟，朝天上看去，见有呈抛物线状的灰白色烟雾，且是火光在东北而烟雾在西南。这说明主爆裂发生在北偏东，而1号陨石及其烟尘是由北向南运行的。烟尘在空中滞留约30分钟后散去。随后，轰隆一声巨响，大地震动，在距他们抽水处约60~70m远的麦地里落下一块陨石，溅起的尘土约有10m高。他们赶到陨石落处，发现陨坑周围的麦穗向外侧伏，溅起的尘土在陨坑四周堆积起来。坑中充满了松散的黄褐色细砂质粘土，坑口深有10cm，用锄头挖去松土约18cm见到陨石。用手摸触陨石感到有些热，湿润润的。在扛回家的途中，陨石的温度越来越低，甚至感到有些冰手。挖出的陨石外形大体上呈三向相等的浑圆状，熔壳完好，质量为56kg，后因人为破坏，现仅存48kg。经测定，现保存尺寸为 $(32 \times 30 \times 23)\text{cm}^3$ （照片1）。残留的陨石熔壳呈深褐色，气印清晰，熔壳厚0.5~1mm，熔壳破坏处的新鲜面为浅灰色，金属矿物颗粒随处可见。陨坑口近圆形，坑口直径75cm，坑深50cm，陨坑北陡南缓（和此陨石体的外形有关）。

(2) 一块陨落杨家庄村张明才家的陨石，其质量为2.35kg。陨落时击破屋瓦并损坏木椽。据测定，陨石以NW290°方向，80°倾角穿击屋顶砸向屋内水泥地面，造成一个 $(19 \times 13 \times 5)\text{cm}^3$ 的椭圆形坑穴。

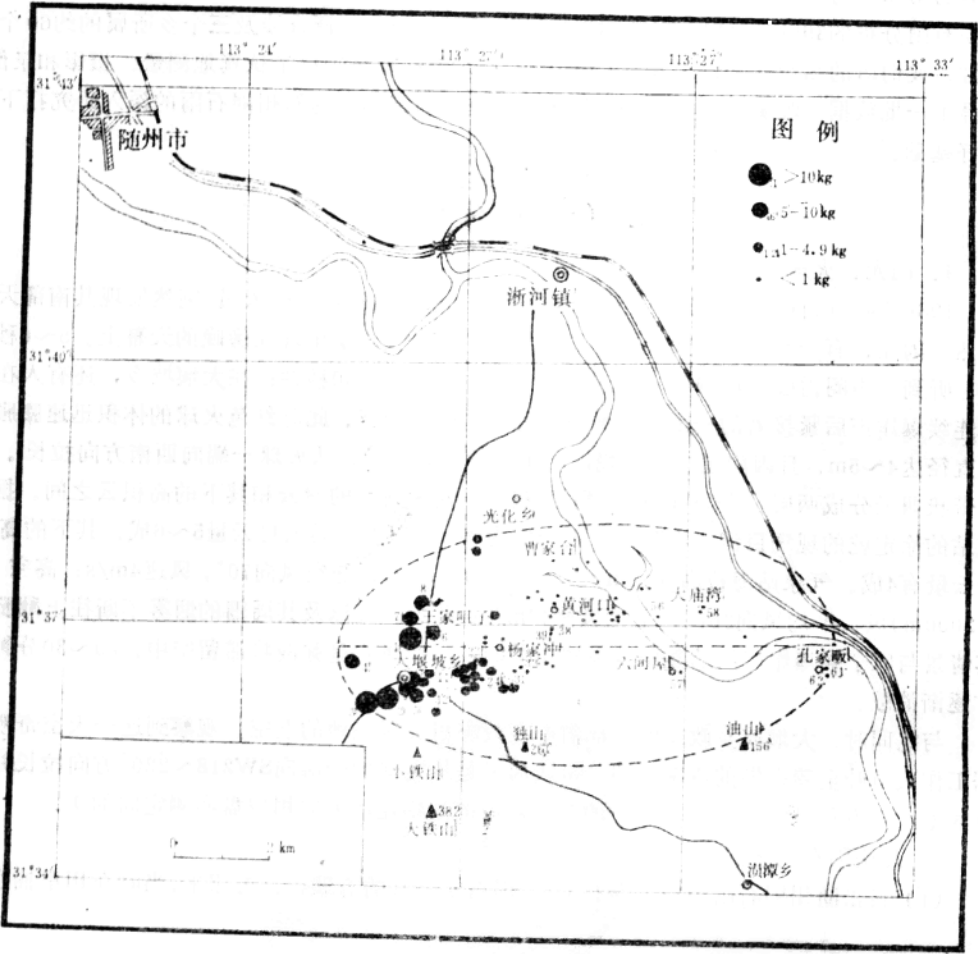


图1.1 随州陨石雨分布图

(3) 一块约 5kg 的陨石落在大堰坡粮站的混凝土预制板上, 砸穿一个面积为 $(25.5 \times 20 \text{ cm}^2)$ 的坑洞。从坑洞边的崩断面测量, 陨落方向为 NW310°, 倾角 82°。

(4) 一块约 20g 的陨石砸向东部与 1 号陨石相距约 9km 远的孔家畈村叶玉平家的屋顶上, 将一大块机制瓦打碎成 4 块, 陨石也破碎成黄豆至米粒大小。

(二) 陨石雨的分布范围与特征

随州陨石雨分布在随州市淅河镇—大堰坡乡以及光华乡和浪潭乡一带。地理坐标: 东经 113°25'~113°32', 北纬 31°36'~31°38' 以内。已发现陨落点 72 处, 总质量估计超过 270kg (照片 2)。陨石雨分布在东西长约 10km, 南北宽约 5km 的区域内。如按陨石雨的主要质量分布区为椭圆轴线作图, 陨石雨所在的椭圆面积约为 39 km², 分布方位为 NEE-SWW (图 1.1)。

陨石雨的质量分布具有以下特点:

(1) 陨石总量的 97% 分布在椭圆面积西部 (东经 113°28' 以西地区) 1/3 的面积上, 其余占总量 3% 的则分布在其余 2/3 的面积上。

(2) 在西部 1/3 面积上的陨石共发现 34 块, 约 250kg。陨石质量最大的, 如 1、2、3 号陨石都是大于 30kg 的 (表 1.1), 第 4 号陨石 7.4kg。其它 20 块陨石分布在稍偏东一些的地方。杨家冲为陨石分布密集区。

(3) 在椭圆面积的东部 (东经 113°28' 以东地区) 2/3 面积上共发现 38 块陨石, 总质量仅约 9kg, 占陨石雨总质量的 3%。黄河口一带为陨石分布较密集区域 (图 1.1)。这里需要指出的是, 陨落在闻家岩的 3 号陨石, 据目击者提供的情况表明, 是比 1 号陨石更大的陨石。该陨石落地时被震裂成 6 块, 但未破开, 外形尺寸约为 $(45 \times 36 \times 36) \text{ cm}^3$, 估计达 70~75kg。陨石落地后就被当地农民破坏瓜分了。这块陨石分布在椭圆分布区的最西端。以上事实说明

表 1.1 随州陨石雨的质量分布

序号	编号	陨 落 地 点	质 量 (kg)	陨方 落向	倾 角	序号	编号	陨 落 地 点	质 量 (kg)	陨方 落向	倾 角
1	3 (S-2)	闻家岩村山坡松树林中	70~75*	SE— NW(?)	75°	11	12	大肖家凹东约 40m 水沟边	3.2	NE— SW	75°
2	2	小铁山 NW346° 约 1.2km 山坡上	>35(?)	130— 310°		12	22	邓家垅和杨家冲中间山坡上	1±		
3	1 (S-1)	大堰坡乡西约 200m 麦地里	56	110— 290°	41° 88°	13	31	碾子湾 SE 后山脊上	0.2146		
4	4	大堰坡中学 SW285° 约 550m 处	7.4	NE— SW		14	32	碾子湾东后山冲中	0.3	270~ 90°	
5	5 (S-3)	肖家凹东 50m 处	6.5	SE— NW		15	34	园墙湾 SE144° 小山坡上	0.75	222~ 42°	
6	6	刘家湾 SW195° 约 400m 处	6.5	SE— NW		16	38	光华乡竹林湾小路上	0.0288	SW— NE	
7	7	前王家咀子北约 100m 处麦地	5±	SE— NW		17	56	光华乡上头湾 NE 20°, 360m 河滩上	0.5(?)	275~ 95°	
8	8	魏家湾 SE136° 约 100m 处水田中	5.25			18	57	大堰坡乡六间屋东边小山上	0.1		
9	9	大堰坡粮站水泥预制板上	5±	130— 310°	82°	19	61	浪潭乡孔家畈叶家屋顶	0.02±		
10	11	杨家咀子村张明才家	2.35	110— 290°	80°	20	62	浪潭乡孔家畈童家菜地里	0.02±	270~ 90°	

注: 此表所列 72 个陨石碎片中的部分有代表性的陨石资料; () 内代号为陨石标本原编号。

*根据目击者提供的体积大小估计的质量。

陨石雨在地面上的分布自西向东其质量是逐渐减小的。

(4) 陨石的陨落方向总体看来也有一些规律性,即在整个陨石雨所在的椭圆分布区西部1/3面积的西区,主要陨落方向是NW或SW;1/3面积的东区可能是近垂直降落(方向、倾角不明显);而其余2/3面积上的陨石,主要陨落方向是NEE或NE(表1.1)。陨石雨的地面分布特征,大致反映了陨石在空中运行的走向。

(三) 陨星①运行情况讨论

根据中国科学院紫金山天文台编撰的《中国天文年历》中的太阳出没时刻,1986年4月15日北纬30°平均日没时间为18.51'30" (武汉地区日没时间为18点51分),这与随州陨石雨发生的时间18时52分很接近。

随州陨星以顺行轨道,在地球上的日落一侧赶上地球。随州陨星正是具顺行轨道的特征,即陨星在空间是由地球公转方向的后面追上地球的(图1.2)。1986年4月15日18时,太阳的黄经为15°,距春分点15°。

陨星体进入大气层以后,由于空气的阻力,使其初始速度降低很多。随州陨星体为质量小于1t的小型陨星体,由于大气层的阻力使其急剧减速,致使其宇宙速度在

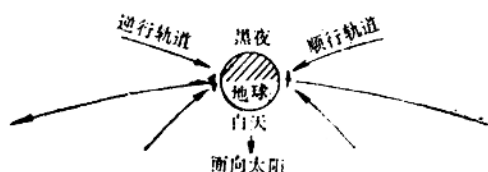


图1.2 陨石轨道与一天内陨星陨落时间关系的示意图

(B.P.Glass, 1982)

陨星以顺行轨道趋于在傍晚一侧击中地球,
而逆行陨星趋于在清晨一侧击中地球

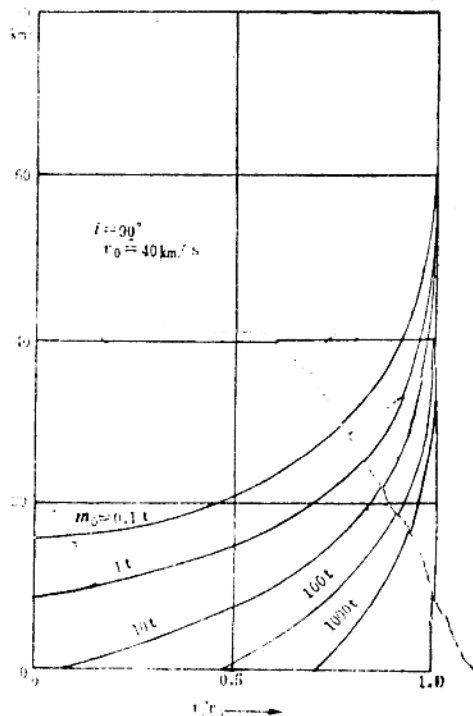


图1.3 陨石着陆速度图

(Heide, 1957)

假定一个初始速度为40km/s,且垂直陨落,当不同质量的陨石飞行穿过大气层的时候,其速度是递减的

地表上空的一定高度完全消失(图1.3)。据此,估计随州陨星在20km高空的速度约为18km/s,而在15km左右的高空,其宇宙速度完全消失。此时陨星的飞驰速度是完全受地球的引力支配的⁽²⁾。如陨星飞驰冲击地面速度小于100m/s,将会在松软的地面上造成小的洞穴,其直径通常与陨石大小相当,当以类似速度落在硬地面或岩石上时,陨石与地面皆会发生破碎(Krinov, 1963)⁽³⁾。因此,随州陨石的降落速度都应小于100m/s。

通过对吉林陨石雨大气层内轨道的计算表明,决定陨星发生爆裂的主要因素是作用于飞行中的陨星头部的热流和动压值,吉林陨星的爆裂高度约为19km左右,在这个范围内,陨星

①将随州陨石雨形成以前的陨石体称为陨星。

所受到的热应力和空气动力都足以使陨星裂开。从这个意义上说,陨星在某一高度爆裂也正是它的爆裂主要因素所决定的。随州陨星的爆裂高度据目测约在9000~10000m高空。这样的高度也决定了随州陨石雨地面分布特点。

随州陨石雨中质量大的(>35kg)和较大的(5~10kg)陨石分布在椭圆分布面积的西端和其邻近地区,其陨落方向皆偏西(NW或SW);而杨家冲一带的陨石质量为1~4kg,分布比较密集而质量大小也较均匀,陨落的方向性不显著。据目击者反映,在该地段陨落的陨石似乎是从头顶上落下来的。除少数几块落在松软的田地里仅留下一个很小的浅坑外,其它在地面没留下明显的痕迹。由此可推测,这一区域陨落的陨石几乎是垂直落下的。这一现象说明,爆裂中心的投影点在杨家冲一带。杨家冲以东直至椭圆最东端的孔家畈村,陨石除在黄河口一带分布较密集以外,其它处均较分散,质量都在1kg以下。据竹林湾的陨石标本(表1-1中39号)收集者反映,他们看到有的陨石是从西部大堰坡方向飞来的。表1.1中所列小于1kg的标本记述的陨落方向,都是目击者所提供的。这反映了这一区域的陨石多数可能由于陨星在大气圈运行过程中不断的小爆裂以及受当天高空风的影响。当时10000m高空^[1]平均风向为SW269°,平均风速33m/s,在这样的风速和风向影响下,对小块陨石的飞行方向是起了很大作用的。

综上所述,随州陨石雨主要的质量分布集中在椭圆西部1/3的面积上,小部分质量分布在其东2/3面积上。造成这一分布特点的主要原因是由于随州陨星主爆裂高度较低,进入大气层的角度较陡,陨星在大气层运行过程中持续的小爆裂以及当时高空风向影响所致。以上所述的陨石分布特点与加拿大的Bruderheim陨石雨^[2]的分布特点相似。

(四) 陨石的外形特征和烧蚀图像

1. 陨石的外形特征

随州陨石雨陨落点分布至少在72处以上。在图1.1上的72个陨落点有64处是已经采集到标本的;有8处因各种原因,标本下落不明。在野外调查时,这几处陨落点均系有关人(有的是多人)亲自目睹的。从所收集的材料看,已保存的标本其大小相差悬殊,最大的1号陨石有56kg,而最小的61号仅约20g。随州陨石大小数十块标本,其外形一般多为不相等的长六面体,少数为不甚规则的多面体。呈长六面体状的标本在三向中有两向的最大值很相近。决定陨石外形的因素主要是:在外太空陨星的受侵蚀与碰撞以及在穿过地球大气层过程中的熔融与破碎等。陨星体在进入地球大气层之前,在外太空的碰撞是造成其破碎与初始形状的主要原因,其证据表现在陨石的结构与其矿物组成上的变化方面。随州陨石中“矿物的冲击效应明显,橄榄石普遍发生碎裂,有的呈波状消光。铬铁矿和陨硫铁也有明显的碎裂现象”^[5]。“陨星体表面在太空中的侵蚀,是受星际气体、尘埃与太阳风的影响所致的”^[3]。而“陨石在穿过大气圈时形状的改变,可能是决定陨石最终形状的最重要因素”^[2]。由于陨石飞行穿过大气圈时的烧蚀可导致质量的巨大损失。经测算表明,“一个较小的陨石,比其进入大气圈前的质量要损失掉60%,而一个相当大的陨石而言,其质量亦要损失掉27%”^[2]。随州陨石中除2号、3号两块较大的陨石由于落地撞击作用而破碎外,其它一般为中小型陨石,落地的速度较小,对其外形一般没有多少影响。许多陨石都有完整的熔壳就证明了这一点。

2. 烧蚀图像

随州陨石在大气层中主要烧蚀高度为9000m以上,在其表面普遍造成形态多样的烧蚀图像。陨石表面发育有0.1~1.5mm厚的黑褐色或棕色熔壳。由于随州陨石在大气层中发生多

次爆裂，因而多次形成熔壳。据初步观察，随州陨石至少有三次形成的熔壳。初始熔壳为黑色、黑褐色，厚 $0.5\sim 1.5\text{mm}$ ，壳层光滑。二次熔壳厚度要薄，表面的光滑程度较差，颜色也浅一些。大堰坡道班收集的一块陨石，就具有两种类型的烧蚀熔壳。藏于随州市博物馆的陨石标本（从大堰坡挑水河收集的）也具有两次熔壳，早期的厚达 0.4mm ，晚期形成的仅厚 0.1mm ，前者颜色较深呈黑色，而后者呈褐色。最晚形成的熔壳表面极不均匀，稀稀疏疏地覆盖在粗糙不平的新生成的浅灰色断面上。常见有疣状小突起及微细放射束状的、由熔融物质组成的细沟纹和厚且光滑的楔状条带熔融物。22号标本明显地显示出二次熔壳发育的事实：其早期熔壳为黑色，是带有楔状条带的，质地比较均一的，并且熔壳表面又因气流的作用形成微细放射束状细沟纹。最晚一次爆裂露出的断裂面为浅灰色新生面，表面砂粒状小突起已被烧蚀而变黑，其上程度不同地发育着一层稀疏的、厚 $0.1\sim 0.5\text{mm}$ 的熔壳，它在突兀处的背风面凝结的熔壳层要厚一些，这种三角状的烧蚀图像，实际上代表气印发育的雏形，它保存了熔壳形成初始阶段的图像（图1.4）。它与细沟纹所代表的陨石在大气层中的运动方向可能是相同的。

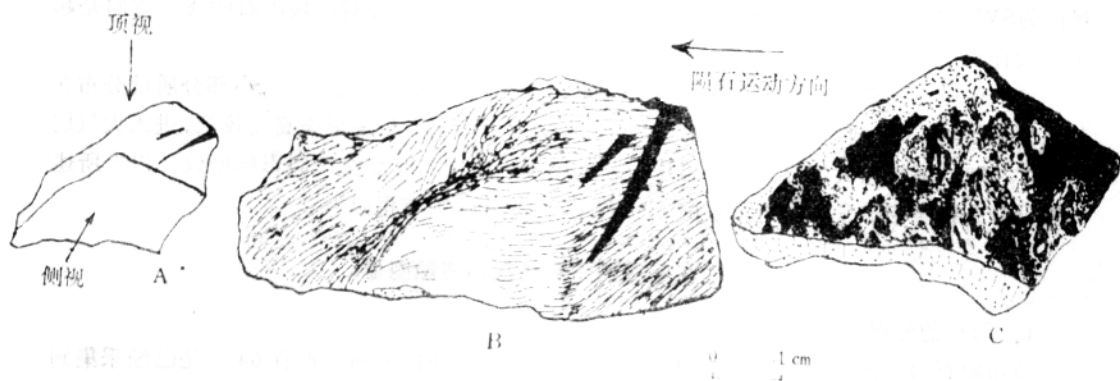


图1.4 22号标本素描图

A—透视图示意图；B—顶视图，熔壳表面的微细放射束状的由熔融物质组成的细沟纹，它由气流作用形成；C—侧视图，在浅灰色新生断面上，程度不同地覆盖着一层稀疏的厚 $0.1\sim 0.5\text{mm}$ 的熔壳，在突兀的背风面熔壳层稍厚一些，这些鱼鳞片状的三角形熔融块，是气印发育的雏形

随州陨石除上述的图像外，还普遍具有形态多样，大小不等的气印（烧蚀坑）以及平滑的钝头这两类不同的图像。24号陨石具有这两种图像（照片3），除其较尖处有分布密度小而发育很好的气印外，绝大部分表面为烧蚀得比较光滑的钝头。随州陨石从已保存的 56kg 的1号陨石到仅 28g 的完整陨石，都发育有比较完好且其大小、深浅、密度均有差异的气印。一般而言，外形比较尖棱、不规则的陨石，气印较发育。就气印的发育情况而言，是由于“陨石表面气流的流动状态不同所造成的。光滑的表面一般是层流边界层烧蚀的结果，气印是湍流边界层烧蚀的结果”〔6〕。

（五）陨石的矿物成分、结构和化学成分（从略）

随州陨石的矿物成分、结构和化学成分将有专门章节进行介绍。根据主要化学参数和矿物成分特征，随州陨石为低铁群（L）球粒陨石。按矿物成分定名为橄榄石-紫苏辉石球粒陨石〔7〕。

(六) 结 论

(1) 1986年4月15日北京时间18时52分, 随州陨星是沿着地球绕太阳运行的顺行轨道, 由地球公转方向的后面, 于日没之际追上地球进入大气圈的; 以较陡的角度由东偏北方向飞行进入杨家冲一带的上空。其后由于陨星在高速飞行中受空气动力作用与陨星体头部高温所产生的热应力的双重作用, 在9 000~10 000m的高空发生较强烈的主爆裂以及陨星在飞行过程中发生的多次小爆裂, 致使陨星破碎, 散落在39km²的椭圆面积区内。陨石基本上循质量递减顺序自西而东分布。地面分布特征大致反映了陨星在空中运行的方向, 即近NEE-SWW走向。已发现陨落点72处, 总质量估计不小于260kg。

(2) 随州陨石采集到的标本有64处以上, 大的达56kg, 最小的仅20g左右。除少数个体为不规则多面体形以外, 大多数个体皆为长六面体型。其烧蚀图像主要有两种类型, 一为较光滑的层流烧蚀表面, 另一为气印发育的湍流烧蚀表面。

(3) 随州陨石属于低铁群(L)普通球粒陨石。

参 考 文 献

- (1) 湖北省气象局, 1986, 中国高空气象记录月报, 气象出版社。
- (2) Mason, B., 1962, *Meteorites*, by John Wiley & Sons, Inc., Printed in the U.S.A., 12-41.
- (3) Glass, B.P., 1982, 行星地质学导论, 科学出版社。
- (4) 张德良等, 1979, 吉林陨石雨论文集, 科学出版社。
- (5) 侯渭等, 1987, 新陨落的随州(L群)球粒陨石, 科学通报, 第1期。
- (6) 林同骥等, 1979, 吉林陨石雨论文集, 科学出版社。
- (7) 武汉地质学院随州陨石科研组, 1986, 地球科学, 第5期。

第二章 成分和结构

一、随州陨石样品的单矿物分选方法

任迎新 葛瑛雅

(中国地质大学·武汉)

为了配合随州陨石雨样品的物质组成研究,在查明陨石样品矿物组成的同时,还需要对其中若干重要矿物分选提纯出单矿物,以便进行各种测试。笔者运用人工重砂方法经过试验,对随州陨石样品中几种单矿物的分选提纯均取得满意结果。

(一) 随州陨石样品的矿物组合

随州陨石雨样品其主要矿物成分比较简单。金属不透明矿物以铁纹石、镍纹石和陨硫铁为主,其次是铬铁矿;透明矿物主要是橄榄石、紫苏辉石和斜长石,其次是透辉石。微量矿物有自然金、自然铜、毒砂、磁铁矿、钛铁矿、白磷钙矿、磷灰石、刚玉和锆石等。

(二) 矿物分选方法的选择及防止污染的措施

随州陨石样品的基本特征是:表面暗黑色,凹凸不平,熔壳厚度约1mm;新鲜断面为浅灰白色,金属铁镍矿物易氧化成褐色,呈斑点状;矿物粒度细小。根据陨石样品这些特征以及其组成矿物的可选性质,主要采用磁选、电磁选和淘洗法,并综合应用化学溶解、选择性磨矿和重离等方法。

为了严格防止地球矿物混入陨石样品,在整个矿物分选过程中采取了如下几项措施:

(1) 先将陨石样品放在无水乙醇中用毛刷反复清洗,把粘在陨石表面的地球上的泥土杂质清洗干净,然后用电风扇迅速将其吹干,待用。

(2) 陨石样品的破碎一律采用手工操作,不使用颚式碎样机和对辊机等破碎设备。

(3) 样品筛分使用一套新铜筛。

(4) 分选中使用的液体介质视需要均选用新的三溴甲烷、二碘甲烷、克列里奇液和无水乙醇。

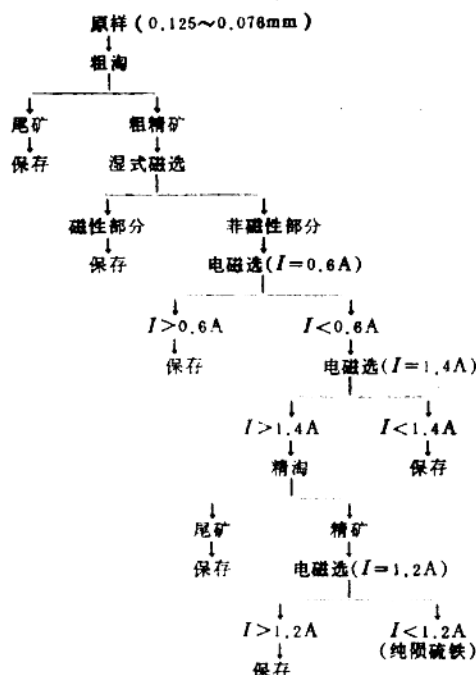
(三) 几种单矿物分选方法

1. 陨硫铁的分选

原样经破碎、筛分后取0.125~0.076mm粒级,用无水乙醇粗淘;粗精矿用马蹄形磁铁在无水乙醇中磁选,非磁性部分用WCF-72型自动磁力分选仪分选:使 $I=0.6A$ 、 $\alpha=28^\circ$ 、 $\beta=10^\circ$,选出辉石、橄榄石与铁镍矿物的连体;然后提高激磁电流,使 $I=1.4A$,选出的电

磁产品中为陨硫铁、橄榄石、辉石（少数）；该产品用无水乙醇精淘，所获得的重部分再进行电磁选，取 $I=1.2A$ ，剔除铬铁矿等杂质，小于 $1.2A$ 部分为纯陨硫铁（见流程表2.1）。

表2.1 陨硫铁的分选流程

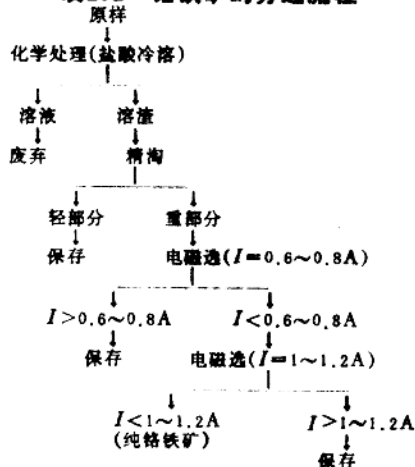


2. 铬铁矿的分选

随州陨石样品中的铬铁矿含量较少，性较脆，一般粒径在 $0.076\sim0.02mm$ 之间，个别可达 $0.2mm$ ，呈微细包体嵌布在橄榄石、辉石中间。

为使铬铁矿最大限度富集，取原样进行分选。将样品置烧杯中，用盐酸冷溶，并不断搅拌，每隔两小时更换一次溶液。如此处理四次可溶掉铁纹石、镍纹石、陨硫铁等。同时橄榄石溶于盐酸后表面形成白色硅胶，使相对密度降低，用无水乙醇精淘将其剔除。重矿物部分用WCF-72型自动磁力分选仪分选，条件为 $I=0.6\sim0.8A$ 、 $\alpha=30^\circ$ 、 $\beta=8^\circ$ ，选出熔壳等杂质；再增大激磁电流，使 $I=1\sim1.2A$ ，电磁性产品为纯铬铁矿（见流程表2.2）。

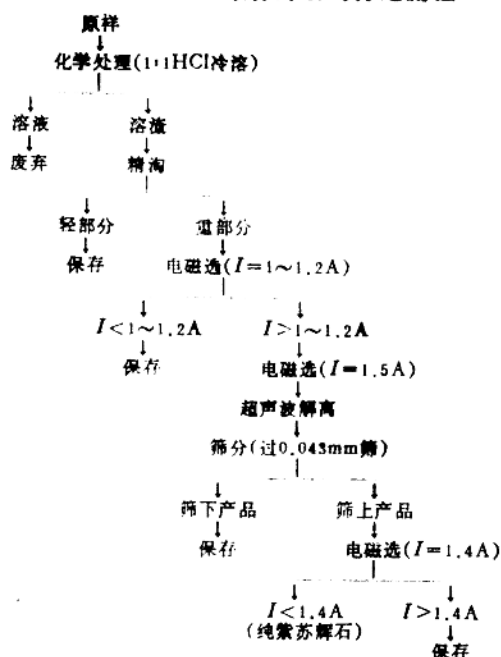
表2.2 铬铁矿的分选流程



3. 紫苏辉石的分选

随州陨石样品中的辉石类矿物以紫苏辉石为主, 其次是透辉石, 易变辉石仅有个别颗粒。双目镜下紫苏辉石为白色, 透辉石为淡绿色, 易变辉石为淡灰褐色。紫苏辉石与橄榄石嵌布紧密不易解离。在分选过程中为使紫苏辉石与橄榄石最大限度解离, 须将原样碎至 $0.076\sim 0.05\text{mm}$ 粒级。试样用 $1:1$ 盐酸冷溶两小时, 并不断搅拌, 如此处理两次。取不溶物精淘后的重部分用WCF-72型自动磁力分选仪分选, 先使 $I=1\sim 1.2\text{A}$ 、 $\alpha=30^\circ$ 、 $\beta=9^\circ$, 选出铬铁矿等杂质。再提高激磁电流, 使 $I=1.5\text{A}$, 选出的电磁产品为紫苏辉石和少量橄榄石以及紫苏辉石与橄榄石的连体。将此部分置超声波清洗机中清洗1小时, 使紫苏辉石与橄榄石连体解离, 然后通过 0.043mm 筛, 取筛上产品再用WCF-72型自动磁力分选仪分选, 取 $I=1.4\text{A}$, 选出的电磁产品为纯紫苏辉石(见流程表2.3)。

表2.3 紫苏辉石的分选流程



4. 透辉石的分选

随州陨石样品中的透辉石含量低, 粒度极细($0.06\sim 0.02\text{mm}$), 通常呈微细包体嵌布在橄榄石、辉石中, 个别呈陨石球粒。为了分选出纯度较高的透辉石, 必须充分利用透辉石的可选性质。透辉石的化学性质较稳定, 比磁化系数为 $(12.93\sim 10.11)\times 10^{-8}\text{CGSMcm}^3/\text{g}$ 、相对密度为 $3.2\sim 3.38$ 。根据透辉石这些性质选择下述有效的分选流程: 原样破碎后进行磁选, 非磁性部分在玛瑙乳钵中研磨至 0.076mm ; 用浓盐酸冷溶1小时, 烘干后再在玛瑙乳钵中研磨, 再用浓盐酸冷溶1小时, 如此处理三次; 然后通过 0.038mm 筛, 取筛上产品, 用WCF-72型自动磁力分选仪分选两次, 第一次使 $I=1.5\text{A}$ 、 $\alpha=35^\circ$ 、 $\beta=7^\circ$, 第二次使 $I=3.2\text{A}$, 选出的电磁产品为透辉石精矿, 取此精矿以三溴甲烷为介质在离心机上重离, 取重部分用克列里奇液重离($d=3.4$), 上浮产品为纯透辉石(见流程表2.4)。

5. 橄榄石的分选

原样破碎后筛分, 取 $0.076\sim 0.043\text{mm}$ 部分, 在无水乙醇中湿式磁选, 非磁性部分用WCF