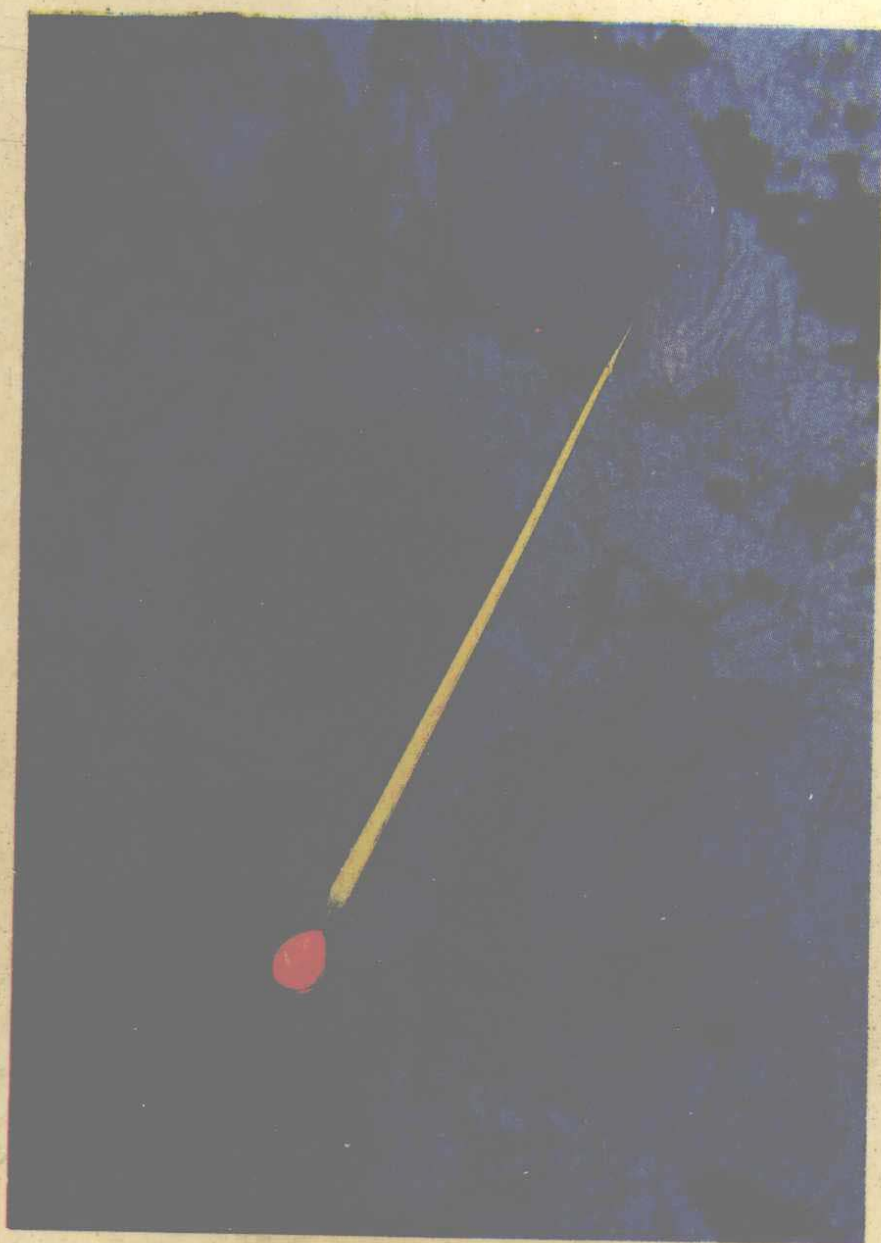


吉林陨石雨

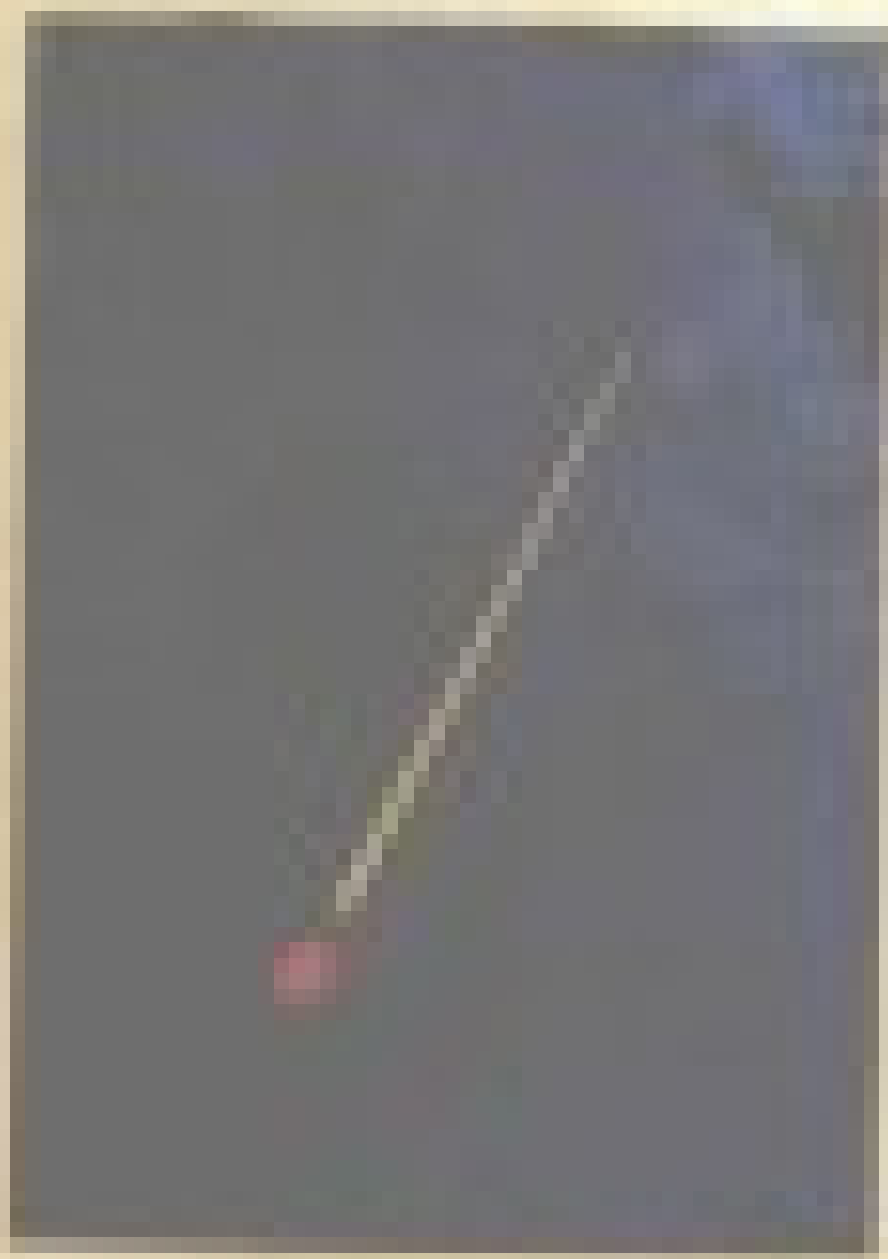
宗普和 周小霞 著



吉林科学技术出版社

吉林陨石雨

张树义 周永德 著



吉林人民出版社 出版

吉林陨石雨

宗普和 周小霞 著

吉林科学技术出版社

内 容 提 要

本书系统地总结了吉林陨石的陨落、飞行轨道、岩石学、矿物学、化学元素与稳定同位素组成、宇宙成因核素与宇宙线辐射效应、同位素年代学、形成与演化和陨石研究的科学主义等方面的重大研究成果，给读者描绘出一幅吉林陨石来龙去脉的生动图景，揭示了地球外物质的奥秘。

吉 林 陨 石 雨

宗普和 周小霞 著

责任编辑：王维义

封面设计：马腾骧

出版 吉林科学技术出版社 850×1168毫米32开本 7.5印张

插页 4 黑白图 20 189,000字

1990年3月第1版 1990年3月第1次印刷

发行 吉林省新华书店 印数：1—500册 定价：8.50元

印刷 长春科技印刷厂 ISBN 7-5384-0526-7/K·16

序 言

吉林陨石——世界最大的石陨石——自1976年3月8日降落后,中国科学院组织了系统的多学科综合性研究,相继世界各国的学者开展了各种专题性研究,取得了丰硕的成果。吉林陨石蕴藏着丰富的有关太阳系起源、太阳星云的分馏与凝聚、行星的形成过程、小行星的演化、行星际空间的辐照历史和陨石降落过程的物理化学环境等科学信息。吉林陨石雨的研究成果已被公认为地外物质研究的范例。系统汇集和整理吉林陨石已有的研究成果,综合论述吉林陨石研究所提供的科学论据,清晰阐明吉林陨石的特征和形成演化历史,将进一步推动天体化学学科的发展。

多年来,作者从事地外物质研究,是我国陨石微量元素与宇宙成因核素研究的学术带头人。他们在大量研究成果的基础上,去粗取精,去伪存真,取材严谨,论证求实,精心编写。全书分9章42节,附图74幅,照片73张,是一本内容丰富、图文并茂、系统介绍陨石研究成就的专著。本书系统而简洁地介绍了吉林陨石的陨落、飞行轨道、岩石学、矿物学、化学成分与稳定同位素组成、宇宙成因核素与宇宙线辐射效应、同位素年代学、形成与演化和陨石研究的科学意义,揭示了神秘的吉林陨石的物质的特征,给读者描绘出一幅吉林陨石形成演化的生动景象,并展示了陨石研究的广阔前景。

我真诚地向广大读者推荐这本书,但愿你们能喜爱它,并汲取丰富的知识营养。

中国科学院地球化学研究所所长、研究员

欧阳自远

1988年9月12日于北京

目 录

第一章 陨落现象	1
1.1 吉林陨石雨的陨落现象.....	1
1.2 吉林陨石雨的分布范围与特征.....	4
1.3 吉林陨星的运行情况.....	7
1.4 吉林陨石的外形特征.....	9
1.5 小结.....	10
第二章 飞行轨道分析	11
2.1 吉林陨星在太阳系空间的轨道.....	11
2.2 大气层中吉林陨石雨的飞行轨道.....	16
第三章 岩石学	28
3.1 表现特征和物理、力学性质.....	28
3.2 吉林陨石的磁性.....	30
3.3 吉林陨石的熔壳.....	32
3.4 吉林陨石的结构构造.....	40
第四章 矿物学	55
4.1 吉林陨石雨的矿物组成.....	55
4.2 吉林陨石中透明矿物的主要特征.....	57
4.3 吉林陨石中不透明矿物的主要特征.....	65
4.4 吉林陨石中包裹体的研究.....	69
4.5 吉林陨石中矿物的形成阶段和环境.....	72
4.6 吉林陨石雨的模拟实验研究.....	73
4.7 吉林陨石穆斯鲍尔效应的研究.....	86
4.8 吉林陨石雨主要矿物的分选方法.....	93
第五章 化学元素和稳定同位素组成	103
5.1 吉林陨石雨的化学成分和类型划分.....	103
5.2 吉林陨石中的元素分布特征.....	104

5.3	吉林陨石中有机组分的研究·····	114
5.4	吉林陨石雨稳定同位素组成的研究·····	116
5.5	吉林陨石的化学全分析方法·····	124
第六章	吉林陨石中宇宙成因核素和	
	宇宙线辐射效应的研究·····	132
6.1	吉林陨石雨宇宙成因放射性核素的研究·····	132
6.2	吉林陨石中各种成因稀有气体的研究·····	154
6.3	吉林陨石两阶段宇宙线照射历史的进一步证实·····	164
6.4	吉林陨石的核径迹研究·····	171
6.5	吉林陨石的热释光研究·····	174
第七章	同位素年代学·····	179
7.1	吉林陨石雨 Pb-Pb 年龄的测定·····	179
7.2	吉林陨石雨 Rb-Sr 年龄的测定·····	182
7.3	吉林陨石雨 K-Ar 年龄的测定·····	186
7.4	吉林陨石雨的 Ar^{40} - Ar^{39} 年龄和受热历史·····	188
7.5	吉林陨石年代学的初步讨论·····	198
第八章	形成与演化·····	201
8.1	吉林陨石原始母体的形成和冷却·····	201
8.2	吉林陨石母体的热变质过程·····	203
8.3	吉林陨石母体受到冲击、破碎和 宇宙线照射的历史·····	207
8.4	吉林陨星的陨落和吉林陨石雨的形成·····	208
第九章	陨石研究的科学意义·····	211
9.1	太阳系的形成和演化·····	211
9.2	地球的形成与演化·····	218
9.3	陨石中的有机质与生命起源·····	221
9.4	陨石对研究宇宙线及探索超重元素的意义·····	223
	参考文献·····	225
	照片·····	235

第一章 陨落现象

1976年3月8日，在中国吉林省吉林市北部降落了一场世界历史上罕见的石陨石雨。

在吉林省、吉林市“陨石雨调查小组”初步调查的基础上，中国科学院组织了地球化学研究所、地质研究所、力学研究所、紫金山天文台、北京天文台和北京大学等单位参加的联合考察组，从3月11日至5月8日，在陨石降落的现场进行了科学考察，走访了近千名陨石陨落过程的目击者，开了40多次调查会，对陨落现场进行了测绘、分析与鉴定，获得了极其丰富而准确的资料，为吉林陨石雨的综合研究奠定了良好的基础。

1.1 吉林陨石雨的陨落现象

1.1.1 火球与爆炸声

1976年3月8日15时1分左右，中国黑龙江省巴彦县兴隆镇（东经 $127^{\circ}05'$ ，北纬 $46^{\circ}26'$ ），有几十人在东北部的高空观察到一个红色的火球，比满月还大，向西南方向飞行。这个火球所飞过的三、四百公里距离内，沿吉林省舒兰县天德公社、吉舒公社、缸窑镇、大口钦和吉林市北郊一带，成千人都观察到了这个光彩夺目的火球。当时吉林地区满天薄云，12km高空为密卷云，2~4km高空为高积云，总云量为10级，观察到的火球有两个视日面大，白色，微透红色，光芒四射，极其耀眼。在火球的周围有一圈淡蓝色的光环，火球后面拖着一束光带，夹杂着翻滚的浓烟。

火球在运行过程中，陨星体产生多次小的爆裂，形成许多小碎块，纷纷落下。陨星的主体运行到吉林市北郊金珠公社北部上空时，产生猛烈的爆裂现象，金珠公社附近的群众观察到爆裂时的闪光很亮。很多人都观察到一个黄色的大火球突然发出强烈的闪光，直径膨胀至2m多，接着冲出一个较小的黄色火球，并有一道较粗的黄色光束尾随其后，小火球继续向前飞行。有些观察者发现，大火球爆裂后，冲出三个小火球，大者似满月，小者如足球，鱼贯向西南飞行，这三个火球后来成为吉林陨石雨中的1，2，3号陨石。

方圆约200km的范围内，一百多万人清晰地听见陨星运行时由冲击波发出的霹雳般的巨响。陨星在高空的爆裂声、闷雷般的回荡声，混成一体，延续达4~5分钟之久。

冲击波产生的气浪冲击着各种地物，使附近的高压输电线产生摇晃，轻掩的房门和窗户被震开，吉林市百货商店的某些商品被摇晃或震倒。大部分陨石落地时，速度较低，一般小于300m/s。陨石落地时的温度一般为50~80℃。

1.1.2 1号陨石的陨落现象

1号陨石落在吉林省永吉县桦皮厂公社靠山十队村东，距最近住户65m，陨落点的地理坐标为：东经126°12'52"，北纬44°01'31"。陨落时，有三名社员和三名儿童在落地30m以外目睹了陨落实况。在远处观察到这一情景的人就更多了。人们当时突然听到类似超音速飞机飞过的轰鸣声，紧接着一声脆响，一个灰色的庞然大物象一口大缸自高空飞来，砸向地面，发出强烈的爆炸声，附近居民都感到明显震动，有伤痕的玻璃被震破，房屋顶棚的灰土震落，虚掩着的房门被气浪推开。

陨石撞击地面发出巨大轰鸣，溅起的冻土块按重量大小由近而远地主要散落在陨石落点的西侧，最远达150m，其间夹杂着陨石碎块。随着陨石穿入冻土层的巨响和震动，落点附近升起一

股黄色烟尘。从1公里以外的远处观看，翻滚的烟尘逐渐形成小蘑菇云，高约50m，烟尘浓度很大，隔着烟尘看不清对景物。几分钟后，烟尘被风吹散，地面被陨石砸出一个大坑，坑口呈椭圆形，短径2m，长径2.1m，坑内堆积着很细的土尘。坑口东沿留有南北宽1.4m的擦痕，擦痕的产状是：方位 257.5° ，倾角为 42° 左右。坑壁陡直，近坑口处微向内弯，坑的轴线与地面呈 65° 倾角，围绕坑的四周，有一圈因陨石砸入冻土层时受力挤压及溅落物堆积而形成的坑唇，坑唇东侧和擦痕相接，西侧距坑口边1.4m。坑唇长径4.1m，短径为3.4m。坑唇内侧的地表冻土在陨石落地时被掀掉约0.2m，坑唇隆起部分最高点较坑唇内侧底面高0.65m（照片1.1）。

在对1号陨石开挖的过程中发现，1号陨石穿过了6.5m深的土层（斜距），依次为：（1）表土层1.9m（其中1.7m为冻土层）；（2）黑色粘土层0.15m；（3）灰蓝色粘土层0.45m；（4）

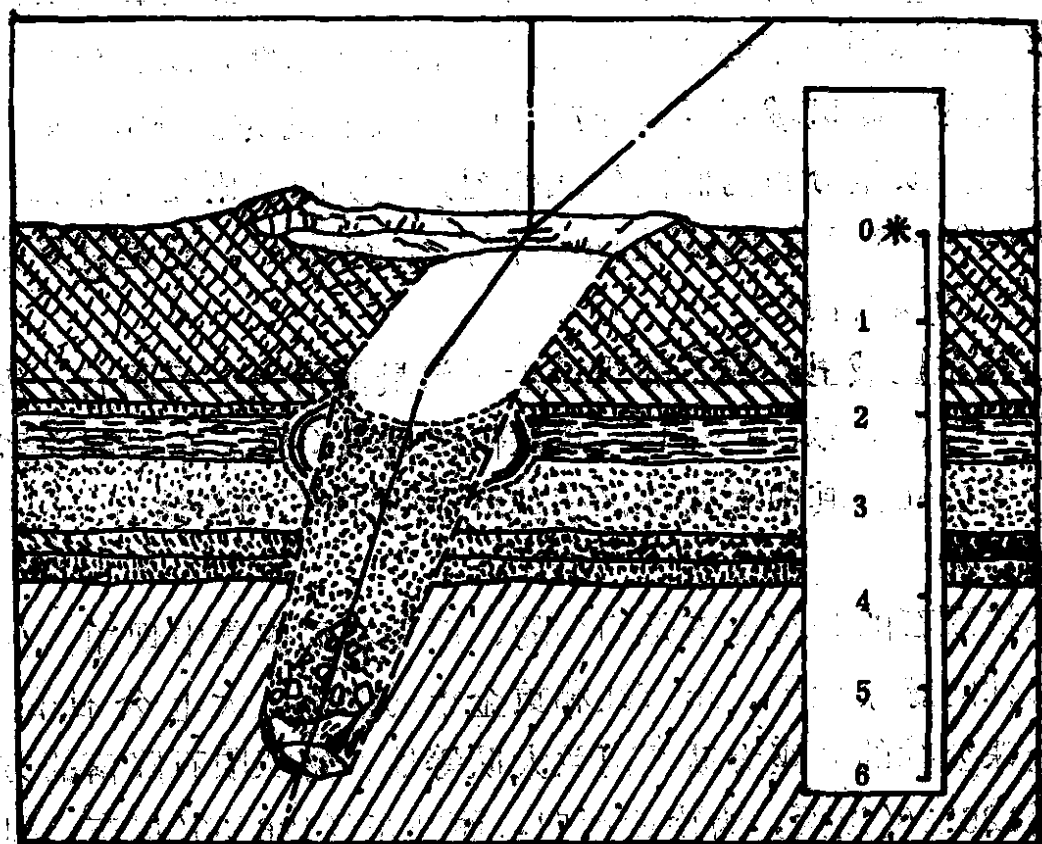


图1.1 吉林1号陨石坑剖面示意图

红色亚砂土层0.8m; (5) 绿色粘土层 0.3m; (6) 夹有绿色粘土的砂层0.25m; (7) 黑色粘土层直至陨石底部, 粘土层夹有少量石灰石的砾土 (照片1.2; 图1.1)。

在砸入冻土层的过程中，陨石因受阻而破裂。从1号坑里取出的陨石净重为1 770kg，1号陨石的主体部分重1 170kg，其余碎块重600kg。主体标本上有数条平行的、处于不同发育阶段的熔沟。按1号陨石的外壳形态、熔沟和断裂情况分析，落入坑内的1号陨石，是吉林陨石雨中最大的陨石，也是目前全世界所保存的石陨石中最大的（照片1.3）。

1.2 吉林陨石雨的分布范围与特征

吉林陨石雨分布在吉林地区的永吉县、蛟河县和吉林市北部郊区的7个公社18个大队，十多万人口居住的几百平方公里的范围内，地理坐标约为：东经 $126^{\circ}10'$ ~ $127^{\circ}10'$ ，北纬 $43^{\circ}55.5'$ ~ $44^{\circ}32'$ 。吉林陨石雨的分布呈现出明显的规律性，陨石分布在一狭长区域内，此区域东西长约72km，南北宽约为8.5km。如果按陨石的主要质量分布为椭圆轴线作图，表明陨石雨是分布在一个方位为 94° ~ 274° 的狭长椭圆里，面积为 480km^2 ，这是世界分布面积最广的陨石雨。

在分布区域里，陨石的重量沿西部最前沿为1号陨石，依次向东为2号、3号、4号陨石，重量依次递减石分。布最陨为密集的江密峰公社，其中有些地区在 1km^2 面积内平均降落有十块陨石（图1.2）。

小块陨石的分布也不是均匀的，而是有局部集中现象，如江密峰公社的滕家堡子、东方红和黄金屯的北部，大屯公社的金屯，金珠公社的九座大队和南兰大队等地。每块陨石降落的方向在东经 $126^{\circ}30'$ 以西，为南西西向，而在东经 $126^{\circ}30'$ 以东，则为南东东向（表1.1）。

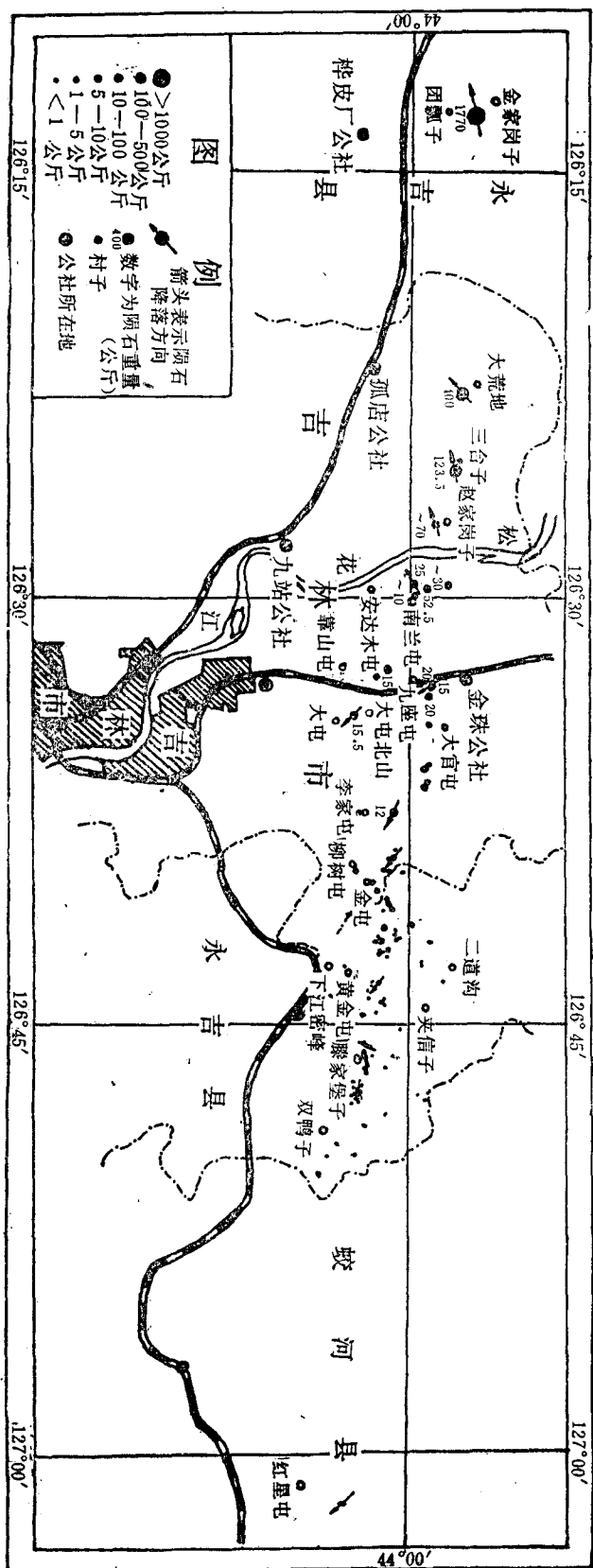


图1.2 吉林陨石雨的分布示意图

表1.1 吉林陨石雨的陨落地点、重量分布和陨石坑的产状

陨 落 地 点	陨石重量(kg)	陨 石 坑 的 产 状 (倾向, 倾角)	
永吉县桦皮公社靠山大队十队	净重 1 770 (原重 > 2 000)	257.5°	∠42°(地面擦痕测量)
吉林市郊孤店子公社大荒地大队八队	约250(约400)*	227.5°	∠55°
吉林市郊九站公社三台子大队二队	123.5	257.5°	∠55°
吉林市郊九站公社赵家岗子	70	250°	∠60°
吉林市郊金珠公社南兰大队	25~52.5	245°	∠65°
吉林市郊金珠公社九座大队一队	20	150°	∠77°
吉林市郊金珠公社九座东山坡	15~20	150°	∠87°
吉林市郊大屯公社李家大队二队、五队	5~12	115°~130°	∠55~60°
永吉县江密峰公社黄金大队	1~5	110°~125°	
永吉县江密峰公社东方红二队	0.5~1	160°~205°	
蛟河县天岗公社	0.5	倾向东南	

* 这块陨石已损坏, 400千克的数据是根据当地群众反应粗估的。

1.3 吉林陨星的运行情况

1.3.1 陨星爆裂的位置、高度和时间

1976年3月8日15时, 地球位置的日心黄经为 168° , 太阳的黄经 348° , 距春分点 12° , 当时吉林地区的地理经圈已绕到地球前进方向的斜后方。考虑到陨星落点的地平夹角较小, 陨星在空间是由地球公转方向的后面追上地球。相对于地球的运行速度约为每秒几十公里。

陨星飞行到 20km 高空时, 它的飞行速度估计仍有 $5 \sim 10\text{km/s}$ 。陨星表面的温度可达几千度到一万度, 超压可达 $\sim 10\text{Mpa}$ 。由于陨星飞行时受到强烈的冲击波压缩和热应力的作用, 可能使陨星在大气层中发生猛烈的爆裂。根据陨石雨分布的特点和陨落时的方位与倾角, 关于爆裂的位置、高度和时间可以从以

下几方面加以分析。

金珠公社南兰大队以西的全部陨石，重量都大于50kg，大致是由北东东向南西西方向陨落；而金珠公社九座大队以东的陨石，均小于20kg，大致是由北向南东方向陨落。而九座大队附近的陨石，陨落的倾角极为陡直， $>75^\circ$ ，考虑到陨星坠落时的特点，因而爆裂的投影点可能在金珠公社的东部而略偏北。

金珠公社原革委会所在地的干部和社员，普遍观察到爆裂的闪光和声音是从南部传来的，而大屯公社李家大队的人们观察到爆炸的闪光和声音是从北边传来的，这两个大队直线相距9km，表明陨星爆裂点的位置可能在金珠公社的东北部上空。在金珠公社九座大队东坡亲眼观察到爆裂的群众反映，爆裂声就在他们头顶上，并同时看到三块陨石向三个方向散落。根据1，2，3，4号陨石坑的产状以及南兰、九座、大屯等地陨石陨落的方位与倾角，推算在金珠公社东北部距地面约17km左右的上空，这时动压达到最大值，阻力最大，陨星可能发生爆裂。陨星爆裂后，几块大的陨石继续向西南飞行，而较小的碎块由于质量小，受空气阻力影响大，很快达到极限速度，会使陨落方向发生反向，江密峰一带的陨石，可能是以这种方式陨落下来的。

几块大的陨石高速飞行过程中，头部发生强烈的冲击波，当冲击波掠过地面时，人们听到强烈的类似爆炸的声音，以及由于回响而产生的轰鸣声。这个冲击波也被吉林地震台和丰满地震台分别记录到了。

陨星在金珠公社上空爆裂后，1号陨石继续向前飞行，坠入地下6.5m，发出巨大的响声，并引起强烈的地运动。吉林、丰满地震台分别记录下地运动传来的讯号。吉林台记录为15时02分50秒，丰满台为15时02分46秒。根据当地地层的结构和震波传播速度的有关数据，取地震波速为4000m/s，计算出1号陨石的触地时间为15时02分36秒左右。

1.3.2 陨星在大气层中的飞行方向

陨星爆裂时，以每秒几公里的速度飞行，而爆裂本身只会产生小的附加速度，因此主要飞行方向不会受明显影响。总的看来，1，2，3，4号陨石的飞行方向仍然表征着爆裂前陨星飞行的方向。即从东稍偏北，飞向西稍偏南方向。

蛟河县天岗公社和永吉县江密峰公社的小块陨石，绝大多数可能是由于陨星在大气层运行过程中持续的小爆裂而散落的。当时在10km的高空是西略偏北的风向，风速约30~50m/s，这样大的风速对小块陨石的飞行方向起了很大的作用。

1.4 吉林陨石的外形特征

吉林陨石雨所降落的陨石大小不一，形态多样（照片5）。

1，2，3号陨石为多面体。1号陨石主体重1170kg，体积为 $117 \times 93 \times 84 \text{cm}^3$ （最大尺寸），平均为 $100 \times 85 \times 55 \text{cm}^3$ 。2号陨石重约400kg。3号陨石重123.5kg，体积约 $30 \times 40 \times 50 \text{cm}^3$ 。几十公斤重的陨石多呈不甚规则的多面体，5kg以下的陨石，一般为长六面体及近等轴的多面体形。

陨石表面普遍具有形态多样、大小不等的气印（烧蚀坑）。大陨石表面的气印显现近定向排列，多呈指印状、舌状、树叶状、花瓣状等，大小约 $(3 \sim 5) \times (4 \sim 7) \text{cm}^2$ 及 $1 \times 1 \text{cm}^2$ 。气印一般深5mm，个别可深达20mm。气印分布的密度一般为 $1.86 \sim 2.27/10 \text{cm}^2$ ，个别部位为 $0.4 \sim 0.5/10 \text{cm}^2$ （照片1.6）。

陨石表面均有0.5~1mm厚的黑色或棕色熔壳。陨星体在大气层中运行，曾有多次炸裂，多次形成熔壳。一般初始熔壳与二次、三次、四次壳层相比，气印的大小逐渐减小，熔壳表面的光滑程度也减低。最晚形成的熔壳表面极其粗糙，气印个体小，发育也不完整。熔壳常见有迅速冷却形成的龟裂纹，也常见有疣状

小突起及微细放射束状的由熔融的物质组成的细沟纹。

1号陨石表面发育着10~100cm长、1~20cm宽的平行状熔沟。熔沟的延伸方向与陨星飞行的方向平行。熔沟的发育程度对陨石体的碎裂起重要作用。

1.5 小 结

1976年3月8日15时，吉林陨星几乎沿着地球运行的轨道，以每秒十几公里的相对速度追上地球。陨星在大气层中高速飞行，与空气分子碰撞摩擦，使陨星燃烧发光，在陨星的头部形成一个很强的冲击波，产生巨大的爆炸声响。陨星运行到金珠公社北部17km左右的高空时，产生了一次较大的爆裂。约有4吨重的陨石碎块散落，分布面积近500km²，形成了世界上规模最大的石陨石雨——吉林陨石雨。吉林陨星中的主要部分——吉林1号陨石于1976年3月8日15时02分36秒左右触地，重为1770kg，是世界上最大的石陨石。而1号陨石的主体重1170kg，也是目前全世界保存的石陨石标本中最大的。