

吉林陨石雨 论文集



科学出版社



吉林陨石雨论文集

《吉林陨石雨论文集》编辑组

地质出版社

内 容 简 介

本论文集选编了吉林陨石雨研究论文 39 篇,其中大部分论文在 1977 年 8 月中国科学院主持召开的“吉林陨石雨学术讨论会”上宣读过。全书共分七个部分:一、年代学;二、同位素组成及宇宙成因放射性核素;三、组成和结构;四、有机化合物;五、物理与力学性质;六、陨落现象学和轨道;七、形成和演化史探讨。基本上反映了吉林陨石雨及其有关问题的多学科综合性研究成果。可作为天文学、天体物理学、天体化学、力学、地质学、地球化学、地球物理学、核物理学、化学和生物化学等科研人员、高等院校教师及有关人员参考。

吉林陨石雨论文集

《吉林陨石雨论文集》编辑组

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16
1979 年 1 月第一次印刷 印张:17 1/2 插页:精 18 平 17
印数: 精 1—2,400 字数:412,000
平 1—3,120

统一书号:13031·882

本社书号:1253·13—14

定 价: 精装本 4.90 元
平装本 3.55 元

前 言

1976年3月8日15时许(北京时间)在我国吉林省吉林市北部降落了一场世界历史上罕见的陨石雨。中国科学院组织了由中国科学院贵阳地球化学研究所、地质研究所、力学研究所、紫金山天文台,以及北京天文馆和北京大学等单位参加的联合考察组,与吉林省、吉林市陨石雨调查小组一起,从3月11日至5月8日,在降落陨石的现场进行了考察。科学考察工作得到了吉林省、市委的有力领导,以及吉林地区广大工农兵群众的积极支持和协助。考察组对吉林陨石雨的陨落现象、分布范围与特征,以及陨石的外形特征等方面进行了深入的、全面的考察,及时地对1号陨石进行了开挖,迅速地回收和整理了大量的陨石样品,进行了初步的分析鉴定工作。

吉林陨石雨分布在吉林地区的永吉县、蛟河县和吉林市郊区的七个公社十八个大队,十多万人口居住的几百平方公里的范围内(详见图1),是世界上分布面积最大的陨石雨。1号陨石落地时穿过了6.5米深的土层(斜距),产生的陨石坑如图2。复原后的1号陨石主体照片见封面。1号陨石主体重1,170公斤,体积为 $117 \times 93 \times 84$ 厘米³,其余碎块重600公斤,总重1,770公斤,是世界上最大的石陨石。主要陨石的陨落地点、陨落方向、重量分布和陨石坑的产状如表1。考察的详细情况见中国科学院吉林陨石雨联合考察组:《吉林陨石雨的初步考察》一文,中国科学,1977年第1期。

表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 (公斤)	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	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

1976年7月在吉林市,由中国科学院和吉林省科技局联合召开了吉林陨石雨科研工作会议,制定了研究工作规划。一年多来,各有关研究机构、高等院校相互协作,发挥各个学科的专长,采用国内先进的测试技术,对吉林陨石雨标本进行了系统的综合研究。

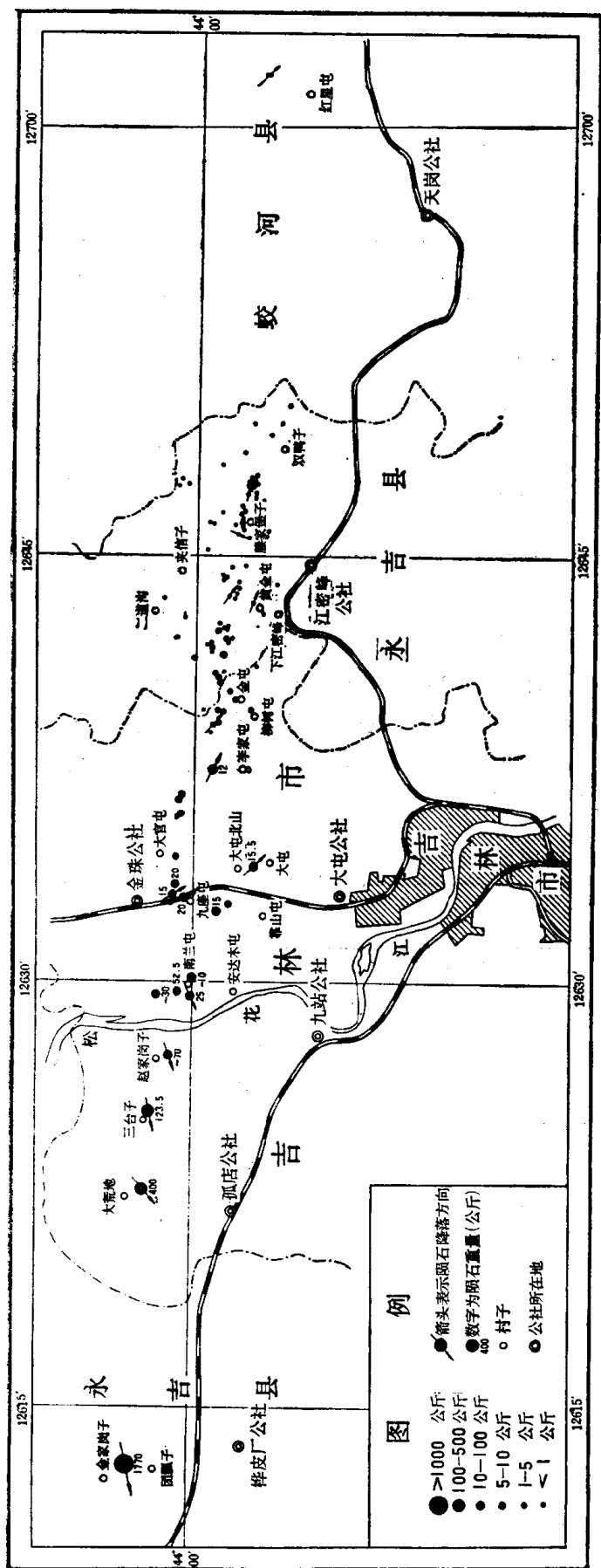


图 1 吉林陨石雨的分布示意图

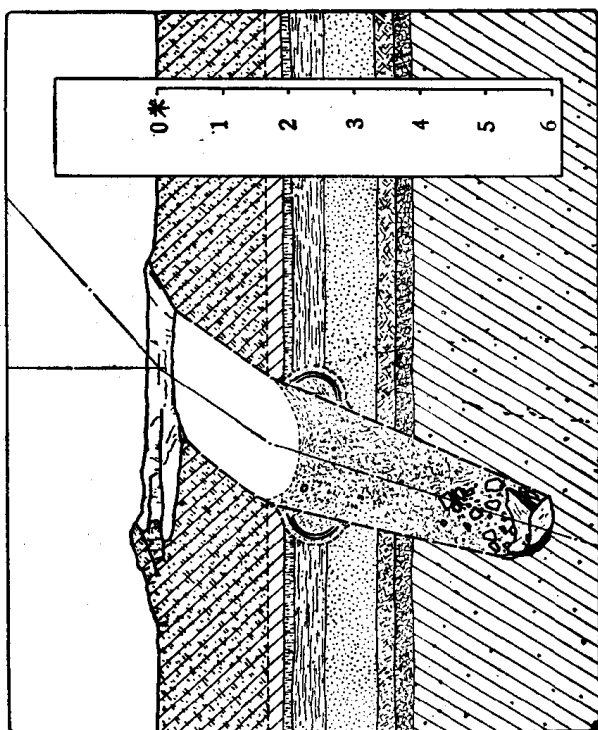


图 2 吉林 1 号陨石坑示意图

1. 表土层, 1.9 米; (其中 1.7 米为冻土层);
2. 黑色粘土层, 0.15 米;
3. 蓝灰色粘土层, 0.45 米;
4. 红色亚砂土层, 0.8 米;
5. 绿色粘土层, 0.3 米;
6. 夹有绿色粘土的砂层, 0.25 米;
7. 黑色粘土层。

在上述工作的基础上,中国科学院于1977年8月20日至29日在北京举行了“吉林陨石雨学术讨论会”,参加讨论会的有天文、地学、化学、核物理、力学和生物学等学科的科学工作者。我国著名的科学家张钰哲、侯德封、张文佑、傅承义、涂光炽、戴文赛、林同骥、钮经义等教授应邀参加了会议并作了指导。经过多学科的综合研究,对吉林陨石雨的来龙去脉,形成和演化模式有了一个初步的认识。研究结果对于探讨太阳系的物质来源、形成和演化,以及生命起源等研究具有重要的科学价值,对空间技术的研究也有所借鉴。

在这次学术讨论会上宣读的论文涉及的研究领域和主要成果包括如下几个方面:

对吉林陨石的形成和各演化阶段的年龄进行了系统的测定,其中包括Rb-Sr内部等时线和模式年龄、Pb-Pb等时线年龄和U-Pb年龄;U-Pu裂变径迹年龄和 Ar^{40} 的气体保留年龄,以及 Ar^{39} 的宇宙曝露年龄测定,初步提出了吉林陨石形成和演化过程的时间序列。

对陨石进行了氧、硫和锂同位素组成的研究,探讨了同位素组成变异的天体物理和天体化学意义。测定了陨石中的宇宙成因放射性核素及其在1号陨石体中的深度分布规律,用 Al^{26} 的测定结果估算了吉林陨石的远日距,这些研究为恢复陨石体的原形、认识宇宙线与陨石物质相互作用的特征和太阳系空间内宇宙辐射场的特征提供了有意义的科学论据。

对陨石全岩及主要矿物相的主要元素、次要元素和微量元素进行了系统的分析测试,研究了吉林陨石的稀土配分。在矿物学方面,系统分析鉴定了数十种矿物,研究了矿物的热变质和冲击变质特征,对陨石中的矿物包裹体进行了测温实验,讨论了太阳星云中矿物的凝聚顺序及成因联系。计算了吉林陨石的有关化学和矿物学参数,确定吉林陨石为平衡型高铁(H)群球粒陨石或橄榄石-古铜辉石球粒陨石。

对陨石的结构构造和球粒类型作了细致的观察,并与人工铸石球粒作了对比,探讨了球粒的形成机制和陨石的形成环境。

对陨石中的有机化合物作了鉴定分析,初步鉴定出脂肪烃、芳香烃、类二戊异烯烃、色素、卟啉、蛋白氨基酸和非蛋白氨基酸、嘌呤、嘧啶碱等多种有机化合物,为我们认识生命前期的化学演化过程展示了可供探索的前景。

研究了吉林陨石的岩石力学性质和磁参数,通过热剩磁分析测出早期行星际空间可能存在异常高的磁场强度,为探索行星际空间物理场的演化提供了重要线索。

依据丰富的现场考察事实,用天体力学方法计算了陨石在太阳系空间的轨道要素,确定陨石是近于顺着地球公转方向从后面追上地球的,推测陨石可能来源于阿波罗型小行星;计算了陨石大气内轨道参数,对陨落现象作了初步的力学分析。研究了陨石表面的烧蚀图象,探讨了它的形成机理。研究了熔壳层的组成和结构特征,弄清了某些元素的烧蚀性质,探讨了熔壳层中温度随深度变化的规律及熔壳层形成的物理化学环境。

依据上述多方面的研究结果的综合分析和概括,提出了吉林陨石从太阳星云中凝聚、聚集、形成母体、热变质过程、冲击变质、母体分裂和陨落的形成演化模式。

在中国科学院的统一领导下,遵照伟大领袖和导师毛主席倡导的“百花齐放、百家争鸣”的方针,我们将吉林陨石雨的部分研究成果编辑成这本论文集。

论文集由七个部分组成:一、年代学;二、同位素组成及宇宙成因放射性核素;三、组成和结构;四、有机化合物;五、物理与力学性质;六、陨落现象学和轨道;七、形成和演

化史探讨。

本论文集的出版反映我国陨石学的研究水平有了新的提高,并将推动天体史、地球史、生命史和空间科学的研究,促进国内外的学术交流。

我们对陨石进行多学科的综合考察研究还是第一次,对一些研究工作,在样品的代表性及研究、测试方法方面彼此尚有差异,对资料和结果的解释方面可能还有不完善的地方,因此对吉林陨石雨带来的宇宙信息的认识还是初步的、不完全的。

收入文集的论文由所属单位审查、推荐,并经学术会议领导和各有关单位商议确定,最后由中国科学院贵阳地球化学研究所李肇辉、地质研究所张培善、力学研究所张德良、紫金山天文台王思潮、原子能研究所周熙钦和中国地质科学院地质矿产研究所郭宗山等同志组成的编辑组进行了编辑工作。由于我们编选工作水平有限,时间仓促,文集中一定会存在缺点和错误,请读者批评指正。

《吉林陨石雨论文集》编辑组

目 录

前言	1
一、年代学	5
吉林陨石 Rb-Sr 内部等时线年龄的测定	5
中国科学院贵阳地球化学研究所 Rb-Sr 年龄实验室	5
吉林陨石雨同位素年代学研究	12
湖北省地质科学研究所同位素地质研究室	12
吉林陨石的 Rb-Sr 年龄	18
吉林陨石裂变径迹年龄	22
刘顺生、张 峰、周书华、孙盛芬、孟 武、郝秀红、郭士伦	22
吉林陨石的形成时间与演化历史研究	28
中国科学院贵阳地球化学研究所同位素地质研究室	28
二、同位素组成及宇宙成因放射性核素	35
吉林陨石雨氧同位素丰度的研究	35
郑淑蕙、张淑媛	35
吉林陨石雨陨硫铁相硫同位素初步研究	39
中国地质科学院地质矿产研究所、吉林省冶金地质勘探公司研究所	39
吉林陨石宇宙成因放射性核素的初步研究	45
中国科学院原子能研究所、贵阳地球化学研究所协作组	45
吉林陨石锂同位素组成的初步研究	50
李肇辉	50
三、组成和结构	55
吉林陨石的透明和不透明矿物	55
中国科学院贵阳地球化学研究所吉林陨石雨物质成分研究小组	55
吉林陨石雨陨石的矿物岩石研究	68
张培善、陶克捷、闻传芬	68
吉林陨石雨岩石化学与透明矿物初步研究	81
中国地质科学院地质矿产研究所	81
吉林球粒陨石矿物学的研究	100
长春地质学院、吉林省地质研究所陨石研究小组	100
吉林陨石雨的金属矿物及其组构特征初步研究	109
中国地质科学院地质矿产研究所	109
吉林陨石的物质组份概况	122
王锡岳、张慧敏	122
吉林石陨石穆斯鲍尔效应的研究	128
中国科学院地质研究所矿物物理、高能物理研究所核技术应用组	128
吉林陨石中包裹体的初步研究	134
卢焕章、喻茨玖、施继锡	134
吉林陨石雨矿物中包裹体的研究	139
李兆麟、储同庆	139
双变法和吉林陨石斜方辉石的色散曲线	147
顾芷娟	147
吉林陨石雨样品主要矿物的分选方法	153
周 正	153
吉林陨石雨岩石结构特征与球粒形成的初步探讨	160
杨凤英	160
吉林陨石结构构造的初步研究	171
张淑媛	171
吉林陨石球粒与铸石的结晶作用	179
应育浦、金成伟	179

吉林 1 号陨石的热变质特征	谢先德、王道德	184
石陨石的化学分析法	戴逢福、朱詠煌	192
化学组分离—堆中子活化分析法测定吉林陨石中的稀土元素		
..... 中国科学院原子能研究所吉林陨石中子活化分析组		200
吉林陨石的质子激发 X-射线分析		
..... 李民乾、陈志祥、盛康龙、秦俊法、金柏康、荣庭义、汪学朋、宗普和、易惟熙		207
吉林陨石的火花源质谱分析	王子树、徐世复、李菊生	214
四、有机化合物		219
吉林陨石的有机质	中国科学院贵阳地球化学研究所有机地球化学研究室	219
五、物理与力学性质		228
吉林陨石雨的磁性研究	程国良	228
吉林陨石的天然剩磁和早期行星际空间磁场强度的初步探讨	李华梅、王俊达	233
吉林陨石物理力学性质的初步研究	林文祝	239
六、陨落现象学和轨道		244
吉林陨石在太阳系空间的轨道	张家祥、王思潮、郑家庆、胡中为	244
大气层中“吉林陨石雨”飞行轨道计算和现象分析	张德良、刘育魁、赵成福	249
吉林陨石雨陨落轨迹分析	李素循	261
吉林陨石烧蚀图象分析	林同骧、陈仲英、王汝涌、阎明山、周正瑾	270
吉林陨石熔壳层的组成特征及其形成过程的探讨	闵育顺	280
吉林陨石熔壳的扫描电子显微镜初步观察	曲永新	289
七、形成和演化史探讨		295
吉林陨石形成演化过程的初步讨论	欧阳自远、王道德、谢先德	295
封面照片：复原后的 1 号陨石		

前 言

1976年3月8日15时许(北京时间)在我国吉林省吉林市北部降落了一场世界历史上罕见的陨石雨。中国科学院组织了由中国科学院贵阳地球化学研究所、地质研究所、力学研究所、紫金山天文台,以及北京天文馆和北京大学等单位参加的联合考察组,与吉林省、吉林市陨石雨调查小组一起,从3月11日至5月8日,在降落陨石的现场进行了考察。科学考察工作得到了吉林省、市委的有力领导,以及吉林地区广大工农兵群众的积极支持和协助。考察组对吉林陨石雨的陨落现象、分布范围与特征,以及陨石的外形特征等方面进行了深入的、全面的考察,及时地对1号陨石进行了开挖,迅速地回收和整理了大量的陨石样品,进行了初步的分析鉴定工作。

吉林陨石雨分布在吉林地区的永吉县、蛟河县和吉林市郊区的七个公社十八个大队,十多万人口居住的几百平方公里的范围内(详见图1),是世界上分布面积最大的陨石雨。1号陨石落地时穿过了6.5米深的土层(斜距),产生的陨石坑如图2。复原后的1号陨石主体照片见封面。1号陨石主体重1,170公斤,体积为 $117 \times 93 \times 84$ 厘米³,其余碎块重600公斤,总重1,770公斤,是世界上最大的石陨石。主要陨石的陨落地点、陨落方向、重量分布和陨石坑的产状如表1。考察的详细情况见中国科学院吉林陨石雨联合考察组:《吉林陨石雨的初步考察》一文,中国科学,1977年第1期。

表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 (公斤)	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	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

1976年7月在吉林市,由中国科学院和吉林省科技局联合召开了吉林陨石雨科研工作会议,制定了研究工作规划。一年多来,各有关研究机构、高等院校相互协作,发挥各个学科的专长,采用国内先进的测试技术,对吉林陨石雨标本进行了系统的综合研究。

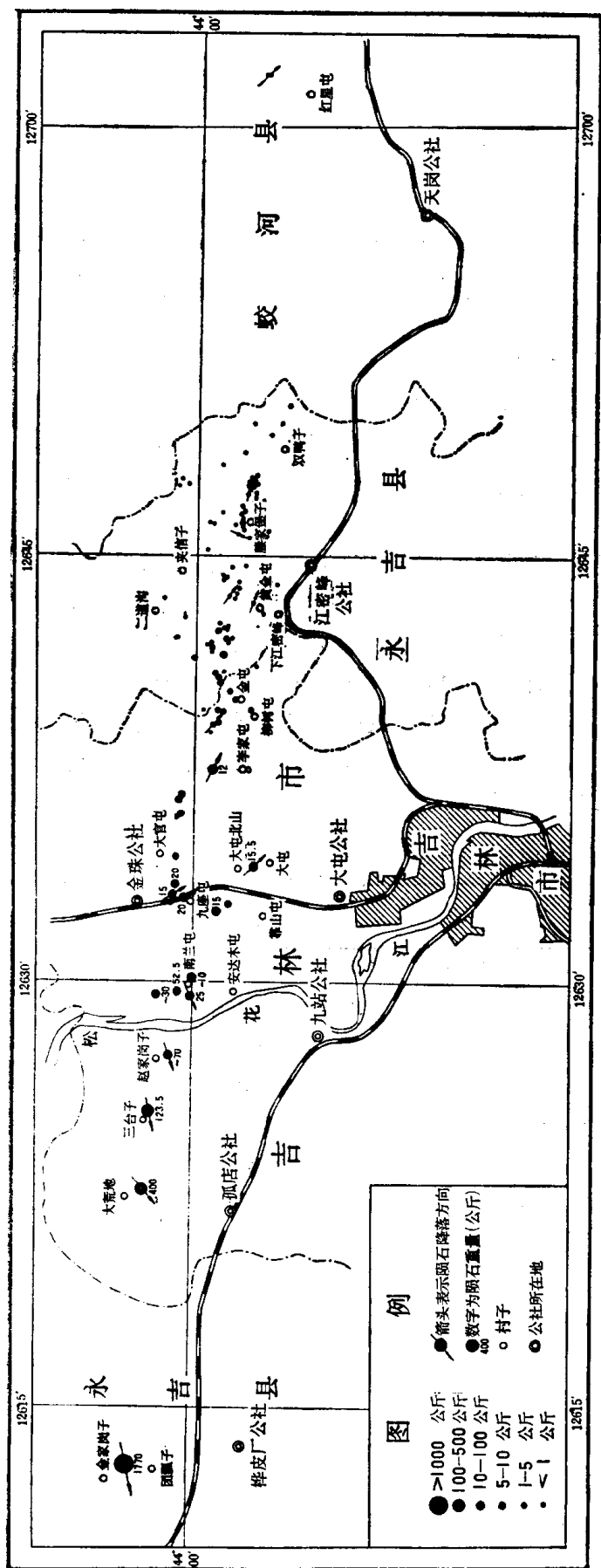


图 1 吉林陨石雨的分布示意图

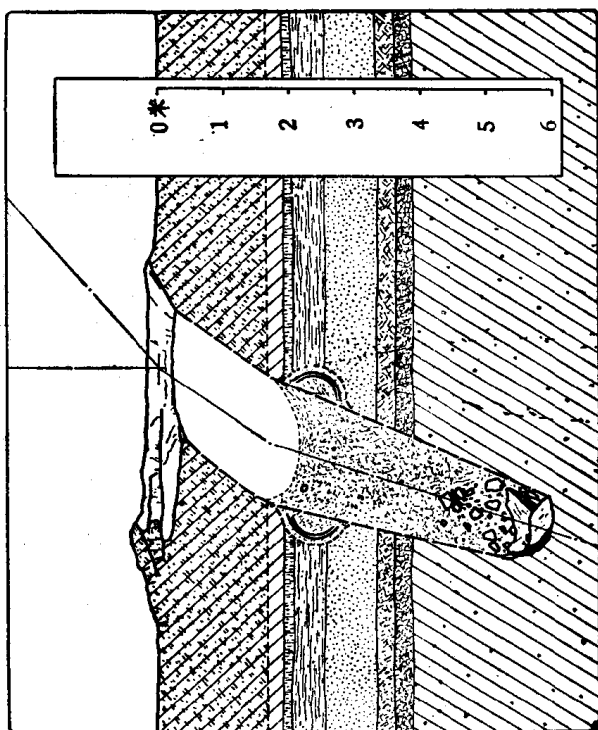


图 2 吉林 1 号陨石坑示意图

1. 表土层, 1.9 米; (其中 1.7 米为冻土层);
2. 黑色粘土层, 0.15 米;
3. 蓝灰色粘土层, 0.45 米;
4. 红色亚砂土层, 0.8 米;
5. 绿色粘土层, 0.3 米;
6. 夹有绿色粘土的砂层, 0.25 米;
7. 黑色粘土层。

在上述工作的基础上,中国科学院于1977年8月20日至29日在北京举行了“吉林陨石雨学术讨论会”,参加讨论会的有天文、地学、化学、核物理、力学和生物学等学科的科学工作者。我国著名的科学家张钰哲、侯德封、张文佑、傅承义、涂光炽、戴文赛、林同骥、钮经义等教授应邀参加了会议并作了指导。经过多学科的综合研究,对吉林陨石雨的来龙去脉,形成和演化模式有了一个初步的认识。研究结果对于探讨太阳系的物质来源、形成和演化,以及生命起源等研究具有重要的科学价值,对空间技术的研究也有所借鉴。

在这次学术讨论会上宣读的论文涉及的研究领域和主要成果包括如下几个方面:

对吉林陨石的形成和各演化阶段的年龄进行了系统的测定,其中包括Rb-Sr内部等时线和模式年龄、Pb-Pb等时线年龄和U-Pb年龄;U-Pu裂变径迹年龄和 Ar^{40} 的气体保留年龄,以及 Ar^{39} 的宇宙曝露年龄测定,初步提出了吉林陨石形成和演化过程的时间序列。

对陨石进行了氧、硫和锂同位素组成的研究,探讨了同位素组成变异的天体物理和天体化学意义。测定了陨石中的宇宙成因放射性核素及其在1号陨石体中的深度分布规律,用 Al^{26} 的测定结果估算了吉林陨石的远日距,这些研究为恢复陨石体的原形、认识宇宙线与陨石物质相互作用的特征和太阳系空间内宇宙辐射场的特征提供了有意义的科学论据。

对陨石全岩及主要矿物相的主要元素、次要元素和微量元素进行了系统的分析测试,研究了吉林陨石的稀土配分。在矿物学方面,系统分析鉴定了数十种矿物,研究了矿物的热变质和冲击变质特征,对陨石中的矿物包裹体进行了测温实验,讨论了太阳星云中矿物的凝聚顺序及成因联系。计算了吉林陨石的有关化学和矿物学参数,确定吉林陨石为平衡型高铁(H)群球粒陨石或橄榄石-古铜辉石球粒陨石。

对陨石的结构构造和球粒类型作了细致的观察,并与人工铸石球粒作了对比,探讨了球粒的形成机制和陨石的形成环境。

对陨石中的有机化合物作了鉴定分析,初步鉴定出脂肪烃、芳香烃、类二戊异烯烃、色素、卟啉、蛋白氨基酸和非蛋白氨基酸、嘌呤、嘧啶碱等多种有机化合物,为我们认识生命前期的化学演化过程展示了可供探索的前景。

研究了吉林陨石的岩石力学性质和磁参数,通过热剩磁分析测出早期行星际空间可能存在异常高的磁场强度,为探索行星际空间物理场的演化提供了重要线索。

依据丰富的现场考察事实,用天体力学方法计算了陨石在太阳系空间的轨道要素,确定陨石是近于顺着地球公转方向从后面追上地球的,推测陨石可能来源于阿波罗型小行星;计算了陨石大气内轨道参数,对陨落现象作了初步的力学分析。研究了陨石表面的烧蚀图象,探讨了它的形成机理。研究了熔壳层的组成和结构特征,弄清了某些元素的烧蚀性质,探讨了熔壳层中温度随深度变化的规律及熔壳层形成的物理化学环境。

依据上述多方面的研究结果的综合分析和概括,提出了吉林陨石从太阳星云中凝聚、聚集、形成母体、热变质过程、冲击变质、母体分裂和陨落的形成演化模式。

在中国科学院的统一领导下,遵照伟大领袖和导师毛主席倡导的“百花齐放、百家争鸣”的方针,我们将吉林陨石雨的部分研究成果编辑成这本论文集。

论文集由七个部分组成:一、年代学;二、同位素组成及宇宙成因放射性核素;三、组成和结构;四、有机化合物;五、物理与力学性质;六、陨落现象学和轨道;七、形成和演

化史探讨。

本论文集的出版反映我国陨石学的研究水平有了新的提高,并将推动天体史、地球史、生命史和空间科学的研究,促进国内外的学术交流。

我们对陨石进行多学科的综合考察研究还是第一次,对一些研究工作,在样品的代表性及研究、测试方法方面彼此尚有差异,对资料和结果的解释方面可能还有不完善的地方,因此对吉林陨石雨带来的宇宙信息的认识还是初步的、不完全的。

收入文集的论文由所属单位审查、推荐,并经学术会议领导和各有关单位商议确定,最后由中国科学院贵阳地球化学研究所李肇辉、地质研究所张培善、力学研究所张德良、紫金山天文台王思潮、原子能研究所周熙钦和中国地质科学院地质矿产研究所郭宗山等同志组成的编辑组进行了编辑工作。由于我们编选工作水平有限,时间仓促,文集中一定会存在缺点和错误,请读者批评指正。

《吉林陨石雨论文集》编辑组

一、年 代 学

吉林陨石 Rb-Sr 内部等时线年龄的测定

中国科学院贵阳地球化学研究所 Rb-Sr 年龄实验室*

一、引 言

Rb-Sr 法测定陨石年龄的工作开始于五十年代^[1,2]。六十年代后期, Wasserburg G. J. 等人精确地测定了一组无球粒陨石的 Sr^{87}/Sr^{86} 的初始比值(0.698990 ± 0.000047), 即 BABI 值^[3,4], 取得了铷同位素年代学上的重大突破。如果以 BABI 值作为太阳系铷同位素演化的一个参考点, 那么通过陨石内部等时线测定单一陨石的 Sr^{87}/Sr^{86} 初始比值, 并研究它们之间的微小差异, 可以探讨陨石母体早期短暂历史时间内所发生的各种事件的演化顺序。

本文主要报道吉林球粒陨石(H群)^[5]的铷-铷年龄及铷同位素研究的初步结果。同时探讨了H群陨石母体由太阳星云中分异出来的时间及其在太阳系早期历史中铷同位素的演化过程。

二、实 验 方 法

(一) 样 品 分 选

从吉林陨石雨的4号(G4)陨石样品中取出新鲜样品400克, 在干净的不锈钢钵中将样品破碎, 分出一份全岩样, 在其余样品中挑选出球粒, 最后将去球的基质部分按粒度分为120—100、100—74、74—38和小于38微米等四个粒级, 再用二碘甲烷($D = 3.33$)和三溴甲烷($D = 2.89$)作重液分选, 最后在WCF1-63型自动磁力分离仪上作磁力分选。选出的样品用丙酮清洗干净, 装在聚乙烯瓶中备用。

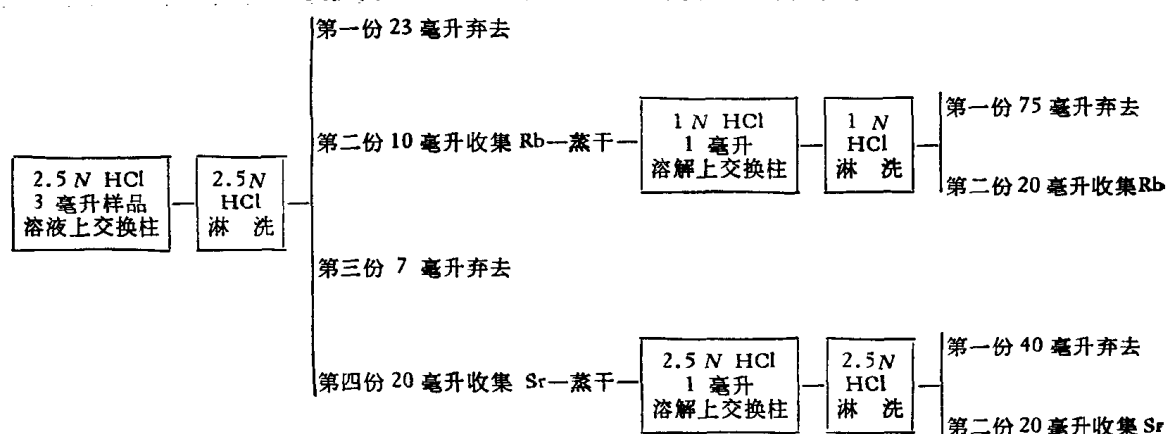
(二) Rb-Sr 分 离

称取0.2克样品于铂金皿中加3—4毫升HF和0.5毫升HClO₄, 盖上聚四氟乙烯盖, 放在80—90℃热水浴上分解约3小时, 然后在低温电热板上烤干。用3毫升2.5N HCl溶解, 离心去掉不溶残渣^[6,7], 取上层清液通过阳离子树脂交换柱, 先从大量的基体杂质元素中分别将Rb和Sr提取出来, 再使它们分别通过一次阳离子交换树脂, Rb和Sr获得进一步的提纯。详细的分离程序列于表1。阳离子交换树脂的型号是: Dowex-50×8, 100—200网目。

* 执笔人施泽恩。

表 1 Rb 和 Sr 在阳离子树脂(Dowex-50×8, 100-200 网目)

交换柱($d = 0.9$ 厘米, $h = 15$ 厘米)上的分离程序



分离出的 Rb 和 Sr 的样品先用 HNO_3 处理两次, 最后转变成氯化物 (RbCl 和 SrCl_2) 送质谱分析。

(三) 质谱同位素分析

Rb 和 Sr 的同位素分析是在 CH_5 型质谱计上完成的。使用热离子固体源和双灯丝。铯带的规格是: 长 ~ 10 毫米、宽 ~ 0.6 毫米、厚 ~ 0.025 毫米。测铯时蒸发带的加热电流为 $0.8-1.2$ 安培, 电离带的加热电流为 $1.8-2.2$ 安培。并使用增益系数为 10^6 的二次电子倍增器。静电计级的高阻为 10^7 欧姆。获得离子流强度为 $10^{-13}-10^{-14}$ 安培。放大后的信号由电位计带式记录仪记录 Rb 或 Sr 的同位素谱图。普通锶(SrCO_3)的测定结果(表 2)表明: 该仪器对 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 比值的测定可以精确到 $0.0020(2\sigma)$ 。

表 2 普通 Sr 中 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 的测定值

日 期	$\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ *
77. 6. 23	0.7097 ± 0.0011
25 下午	0.7076 ± 0.0013
25 晚	0.7127 ± 0.0012
7. 6	0.7143 ± 0.0011
7	0.7114 ± 0.0014
31	0.7106 ± 0.0014
平 均	0.7111 ± 0.0010

* 经过 $\text{Sr}^{86}/\text{Sr}^{88} = 0.1194$ 正常化校准

(四) 实验流程本底及误差

实验室备有局部防尘设备。整个分析过程中所使用的器皿均为石英、铂金、聚四氟乙烯和聚乙烯材料制成的。样品处理流程中所用全部试剂: HCl 、 HClO_4 、 HF 、 HNO_3 和丙酮以及水均经迺逊蒸馏器重新提纯。实验全流程本底水平是: Sr^{86} 为 $(1-2.5) \times 10^{-10}$ 克、 Rb^{87} 为 $(7-10) \times 10^{-10}$ 克。

Rb 和 Sr 的定量测定采用同位素稀释法。稀释剂 Rb^{87} 和 Sr^{84} 的浓度由光谱纯试剂

RbCl 和 SrCO_3 标定。将 RbCl 和 SrCO_3 在 105°C 烘烤 3—4 小时, 用重量法各配制两份不同浓度的普通 Rb 和普通 Sr 的标准溶液(表 3), 按不同的稀释度混合普通 Rb 和 Rb^{87} 及普通 Sr 和 Sr^{84} , 用质谱法准确地标定出稀释剂 Rb^{87} 和 Sr^{84} 的浓度, 结果列于表 4。

样品中 Sr 和 Rb 的定量误差分别小于 1% 和 2%, $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 的随机误差小于 2.5%。

表 3 标准普通 Rb 和 Sr 的含量

	普通 Rb(微克/克)	普通 Sr(微克/克)
标 I	39.0915	17.0105
标 II	27.6163	13.5079

本文使用的衰变常数 $\lambda_{\text{Rb}} = 1.39 \times 10^{-11} \text{年}^{-1}$ 。等时线斜率和截距是用 D. York^[8] 方程计算的。

表 4 稀释 Rb^{87} 和 Sr^{84} 浓度的标定结果

	Rb^{87} (微克/克)	Sr^{84} (微克/克)
标 I	1.811	1.969
	1.785	
标 II	1.802	1.983
	1.799	1.954
平 均	1.798 ± 0.012	1.969 ± 0.015
	0.67%	0.76%

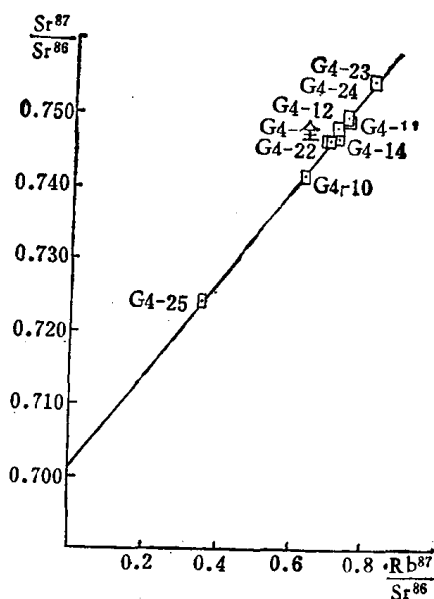


图 1 吉林球粒陨石 Rb-Sr 内部等时线

三、结果和讨论

吉林 4 号陨石的全岩样以及从中分选出来的八个分离相样品的类型和 Rb、Sr 同位素的测定结果列于表 5。这九个样品所组成的等时线(图 1)的斜率为 0.0645 ± 0.0012 , 相应的年龄是 $4.50 \pm 0.08 \times 10^9$ 年; 初始值 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86} = 0.7011 \pm 0.0008$ 。这个年龄值和 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 初始值代表了吉林球粒陨石母体最后固结形成 Rb-Sr 封闭体系的时间和它的铷同位素组成。

当我们进一步处理各分类相的数据点时, 发现按其类型可以划出两条等时线(图 2)。等时线 I 主要以高温矿物构成的辉石和橄榄石球粒以及长石和全岩等六点组成, 其斜率为 0.0652 ± 0.0004 , 相应的年龄是 $4.54 \pm 0.03 \times 10^9$ 年; 初始值 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86} = 0.7010 \pm 0.0002$ 。等时线 II 由样品 G4—10、G4—11 和 G4—14 三点组成, 它们主要由基质中的橄

表 5 不同相的陨石样品及 Rb、Sr 同位素的测定值

样品 编号	样品 类型	粒 度 (微米)	比 重 (克/厘米 ³)	磁 性 (奥斯特)	样品用量 (克)	Rb ⁸⁷ (微克/克)	Sr ⁸⁶ (微克/克)	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ (原子数比)	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ * (原子数比)
G 4-25	长 石	120—74	<2.89		0.05800	3.1914 ± 0.0638	8.8609 ± 0.0832	0.3561 ± 0.0078	0.7242 ± 0.0008
G 4-10	橄榄石与铁磁性矿物连生体	100—74	>3.33	1000	0.15680	0.7085 ± 0.0135	1.1081 ± 0.0101	0.6320 ± 0.0132	0.7414 ± 0.0008
G 4-22	全 样	<38			0.18915	0.7333 ± 0.0139	1.0500 ± 0.0096	0.6904 ± 0.0145	0.7463 ± 0.0008
G 4-全	全 岩 样				0.24500	0.6980 ± 0.0133	0.9893 ± 0.0100	0.6974 ± 0.0146	0.7464 ± 0.0006
G 4-14	辉石及其黑色矿物连生体	100—74	2.89 < D < 3.15		0.17955	1.0727 ± 0.0204	1.4731 ± 0.0135	0.7198 ± 0.0151	0.7470 ± 0.0011
G 4-12	橄 榄 石	100—74	>3.33	5800	0.19800	0.5515 ± 0.0099	0.7550 ± 0.0119	0.7221 ± 0.0173	0.7481 ± 0.0008
G 4-11	橄榄石与铁磁性矿物连生体	100—74	>3.33	2900	0.16045	0.7580 ± 0.0136	0.9941 ± 0.0114	0.7537 ± 0.0158	0.7490 ± 0.0007
G 4-24	橄榄石球粒				0.26365	0.6854 ± 0.0130	0.9067 ± 0.0083	0.7473 ± 0.0157	0.7497 ± 0.0010
G 4-23	辉 石 球 粒				0.21160	0.7982 ± 0.0152	0.9593 ± 0.0095	0.8225 ± 0.0173	0.7545 ± 0.0009

* 均经过 $Sr^{86}/Sr^{88} = 0.1194$ 正常化校正