



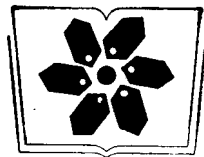
中國隕石導論

王道德 等著

科學出版社

P185.83

W10 D



中国科学院科学出版基金资助项目

中国陨石导论

王道德 等著

TW27/10



科学出版社

1993

108271

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书的特点是以我国球粒陨石和铁陨石的研究成果为窗口,全面而系统地论述我国陨石的收集和研究成果,其主要内容为:陨石的岩石学和矿物学研究;陨石的主量元素和微量元素丰度的研究;陨石分类的研究;陨石的稀有气体和宇宙射线暴露年龄的研究;陨石的熔融实验和冲击效应的实验研究及陨石的成因等。

全书分十七章:第一至三章主要介绍有关陨石研究的意义、现状、陨石降落现象及陨石分类的背景材料;第四、五章介绍陨石研究的基本方法和我国陨石的收集概况;第六至十四章较全面而系统地论述我国普通球粒陨石、吉林球粒陨石、清镇顽辉石球粒陨石、宁强碳质球粒陨石、球粒陨石稀有气体研究及我国某些球粒陨石宇宙成因核素、裂变径迹和热释光、波谱学以及辉石高分辨电镜的研究;第十五章系统总结我国铁陨石的研究成果;第十六章主要论述有关陨石的实验宇宙化学研究成果;第十七章对有关陨石研究的几个基本问题进行了较深入的讨论。

本书对从事地球科学、天文学、陨石学、天体化学研究和教学人员等有重要的参考价值。

中国陨石导论

王道德 等著

责任编辑 谢洪源

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

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

*

1993年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16
1993年10月第一次印刷 印张:32.1/2
平 1—310 插页:精 8 平 6
印数: 精 1—330 字数:748 000

ISBN 7-03-003329-9/P·649 (平)

ISBN 7-03-003328-0/P·648 (精)

定价: 压膜平装 30.00 元
全纸面精装 32.00 元

序

陨石,这些小小的天外来客,自史前时期以来一直引起人们广泛的注意。关于它们的陨落、收集、保藏和研究在颇长一段时间带有浓厚的神秘色彩。但 100 多年来,天文学、地学、数学、物理学理论的引入及多种手段的综合研究,已使陨石学成为一门重要的自然科学的分支学科。陨石学处于天文学、固体地球科学和空间科学的边缘,也是它们杂交的产物,但反过来陨石学也为它们作出了贡献。

研究陨石的重要性,无论怎样强调都不能说是过分的,因为它是太阳系早期演化的重要残留物质和见证者。陨石主要来自太阳系中的小行星及彗星,也有少量来自火星与月球,还有更少量太阳系外物质的加入。从人类赖以生存和活动的地球本身,很难推测太阳系早期的演化历史,因为地球自形成后所经历的各种变化既剧烈而又多期次,地球早期物质已被变质、改造、熔融、吞蚀、掩盖而很难发现其踪迹。多年来尽管岩石学 and 同位素工作者作了很大努力,所测定的地球表面最古老岩石的年龄不过 3.8Ga,而大量陨石的形成年龄却是 4.55 Ga,因而从陨石的组成和演化可以推测太阳系和地球的早期历史。

我国有着世界上最早的陨石降落记载,但历史上收集并保存下来的陨石数量不多,类型不全,加上解放前自然科学总体落后的局面,因而对陨石的研究真可谓寥若晨星。50年代后,特别是 1976 年大规模吉林陨石雨的降落,引起学者们的关注,并随之组织了多单位、跨学科的野外观察、样品采集和室内研究。对吉林球粒陨石进行了系统而又深入的研究,使中国陨石学的水平迅速推进到一个新的阶段。

10 多年来还先后开展了对国内其他陨石的研究,包括重量居世界第三位的新疆铁陨石和十分罕见的清镇顽辉石球粒陨石、宁强碳质球粒陨石等的多学科综合研究。对这些陨石的研究工作无论就其广度还是深度而言,均可与某些西方成果相伯仲、相媲美。恰好,本书的作者们较长期地从事新疆、吉林、清镇、宁强、南丹等陨石的研究,又有着对陨石学的广泛而扎实的背景知识与手段,由他们来撰写这本《中国陨石导论》当然是非常合适的了。

本书内容主要是作者们自身的研究成果,但也对其他学者的有关中国陨石研究工作作了概略介绍。这本专著涉及到陨石学的各个方面,如矿物、元素及同位素组成、陨石分类、年代学、后期变化、成因及演化历史等,在研究方法和手段上也是较完备的,它还讨论了当前国际陨石学界普遍关注的若干理论问题。它的出版无疑是我国陨石学和有关学科的一件喜事。

涂光炽

1991年10月11日

作者 (按姓氏笔画为序)

王道德 刘京发 李肇辉
陈永亨 易惟熙 林扬挺
胡瑞英 黄婉康 戴诚达

前 言

目前对陨石的研究仍是国际上非常活跃的前沿课题,只是重点逐渐转移到对非平衡球粒陨石、稀少的和独特的陨石类型研究,特别是对在南极地区发现和回收的 11 000 多块陨石中新和独特陨石类型的研究。例如,对 11 块来自月球的月球陨石、8 块来自火星的火星陨石及其他一些稀少的和新的陨石类型进行了较为系统的综合研究。这些研究成果大大丰富了陨石学的研究内容,并扩大了陨石来源区的范围,在陨石学研究领域取得了突破性的进展。近年来,积累了较大量的月球、水星、金星、火星及一些类木行星的观测资料,而陨石是太阳系最早期阶段的残余物和早期太阳系的标本,它们是在太阳诞生之后的较短时期内形成的,具有古老的形成年龄和准太阳的化学组成,而且自形成以来变化很小。因此,陨石研究的主要目的是探索 and 了解太阳系的形成和演化历史,并可提供太阳系行星形成和演化过程的重要信息,可见陨石的研究就显得更加重要。

陨石是各种各样的天体物质,从类似太阳成分的原始球粒陨石到来自破裂小行星核的岩浆型 Fe-Ni 物质。据目前现有的资料,陨石系来自 60 多个小行星、月球及火星。因此,陨石的研究可提供有关太阳星云的过程、小行星的碰撞历史、小行星体及行星体地球化学演化历史的线索。陨石研究的内容主要有:陨石分类学、陨石来源区、陨石的次生作用过程(早期太阳系内的火成活动、热变质作用、陨石的表土角砾岩化、水的蚀变作用及陨石的冲击效应等)、球粒及其成因、陨石中的辐射记录和效应,太阳系年代学、球粒陨石及早期太阳系化学、陨石中残存的前太阳物质、太阳星云的非均匀性、行星际宇宙尘、核合成及灭绝的放射性核素以及核宇宙年代学等。

我国陨石的研究起步较晚,解放前 20—30 年代,谢家荣等仅作过 3 块陨石的组成研究。解放后陨石研究始于 50 年代(涂光炽,1956;欧阳自远等,1964,1965;欧阳自远,1966;侯瑛等,1964),但自 1976 年 3 月 8 日吉林陨石雨降落以来,除对吉林球粒陨石进行多学科综合研究外,还对我国保存有样品的陨石及近年来新降落和发现的陨石进行了较系统的研究,特别是对世界上稀少的陨石类型及大型陨石进行了深入而系统的综合研究。在上述工作中由中国科学院地球化学研究所陨石及天体化学研究室牵头组织了全国各有关科研单位及高等院校对吉林球粒陨石和阿波罗-17 高钛月海玄武岩进行了合作研究,取得了丰硕成果。与此同时,分别与美国加利福尼亚大学洛杉矶分校地球物理和行星物理研究所、德国马普协会核物理研究所和化学研究所、瑞士伯尔尼大学物理研究所、日本东京大学矿物研究所、地质研究所及宇宙线研究所等单位密切合作,对我国陨石进行了较广泛而深入的研究,发表了一系列具有国际先进水平的论文,因此,我国的陨石学研究在国际上享有较高的声誉和一定的影响。

为了及时总结国内外陨石学及天体化学研究的成果,已先后出版了《月质学研究进展》(科学出版社,1977)、《吉林陨石雨论文集》(科学出版社,1979)、《宇宙地质学概论》(王道德等译,科学出版社,1983)、《天体化学》(欧阳自远著,科学出版社,1988)、《地质研究的

微矿物学技术》(赵景德和谢先德著,科学出版社,1989)、《地球与宇宙成因矿物学》(王奎仁编著,安徽教育出版社,1989)、《稀有气体同位素地球化学和宇宙化学》(王先彬编著,科学出版社,1989)及《随州陨石综合研究》(王人镜、李肇辉主编,中国地质大学出版社,1990)等专著。《中国陨石导论》一书主要是系统地总结我国普通球粒陨石、清镇顽辉石球粒陨石、宁强碳质球粒陨石及铁陨石多学科综合研究的成果,较全面而系统地介绍我国陨石样品的收集和研究概况。期望本书的出版对从事地球科学、天文学及空间科学研究的人员,特别是对从事陨石学和天体化学研究和教学人员有所裨益。

应当指出,本书主要以反映我国陨石研究的成果为主,而且仅限于对收集到有陨石样品的研究,很少涉及国外陨石学的研究成果,有关陨石学的全面而系统的介绍,拟在近期内编写的《陨石学》及《南极陨石研究》的专著中详述。

全书共分十七章,第一、二、三章主要介绍有关陨石研究的背景材料,简明扼要地论述了陨石研究历史、意义、现状、陨石降落现象及陨石分类学研究等;第四、五章介绍陨石研究的基本方法和我国陨石的收集及研究概况;第六章至第十四章较全面和系统地论述我国普通球粒陨石、吉林球粒陨石、清镇顽辉石球粒陨石、宁强碳质球粒陨石、球粒陨石稀有气体等研究及我国某些球粒陨石宇宙成因核素、裂变径迹和热释光、波谱学等研究以及辉石高分辨电镜的观察;第十五章系统地论述我国铁陨石的研究成果;第十六章总结有关吉林陨石及其他球粒陨石热变质作用、熔融试验及冲击变质实验研究的成果;第十七章对有关陨石研究的几个基本问题进行了较深入的讨论。

本书作者分工如下:前言、第一、二、三、四、五、六、九、十、十七章由王道德撰写;第七、十三章由李肇辉撰写;第八章由陈永亨和林扬挺撰写;第十一章由易惟熙撰写;第十二章由胡瑞英和刘京发撰写;第十四章由黄婉康撰写;第十五章由陈永亨完成;第十六章由王道德、戴诚达和陈永亨完成。全书由王道德和陈永亨负责统稿和校定。

本书是在涂光炽教授的关怀、支持和帮助下写成,他审阅了全书和为本书作了序,这是对我们极大的鼓励和鞭策;欧阳自远教授在百忙之中对全书进行了审定,并提出了许多宝贵意见;谢先德教授一直关心和支持我国的陨石研究工作,在此作者谨向涂光炽教授、欧阳自远教授和谢先德教授表示深切的谢意!

中国科学院出版基金委员会给予本书科学出版基金的资助,为本书的出版提供了可靠保证,对此我们表示衷心的感谢。

在我国陨石研究工作中,中国科学院地质研究所陶克捷副研究员、中国科学院紫金山天文台王思潮副研究员、中国科学院云南天文台、北京天文馆、中国科技大学王奎仁教授、云南省地质矿产局地质研究所、新疆自然历史博物馆及武安、沈丘、随州、肇东等县科委以及其他有关单位和个人提供了陨石样品;中国科学院地球化学研究所林文祝副研究员和襁锐光副编审提供了新疆铁陨石研究样品,作者在此表示诚挚的感谢。

中国科学院地球化学研究所陨石学及天体化学研究室侯涓等同志以及有关科研单位和大专院校部分同志参加了我国陨石学的研究工作,本书引用和反映了他们的研究成果,对他们的辛勤劳动和对我国陨石学研究作出的贡献,我们表示由衷的敬意和感谢。

国家自然科学基金委员会给予了有关研究经费的资助;中国科学院高能物理研究所柴之芳研究员等、广东省测试分析研究所所长胡国辉研究员和钟红海副研究员、云南省测试分析研究所副所长李文钟副研究员及中国原子能科学研究院以及其他单位给予了我

们大力支持和帮助,作者谨向以上单位和个人表示深切的谢忱。

在与国外进行中国陨石的合作研究中,美国加利福尼亚大学洛杉矶分校 J. T. Wasson 教授、G. W. Kallemeyn 博士及 A. E. Rubin 博士;瑞士伯尔尼大学物理研究所所长 J. Geiss 教授及 O. Eugster 教授;德国马普协会核物理研究所 A. El Goresy 教授、E. Pernicka 教授及化学研究所 F. Begemann 教授和 H. Palme 教授、日本东京大学宇宙线研究所山越和雄 (K. Yamakoshi) 教授等提供了研究经费和工作条件,作者在此表示衷心的感谢。

中国科学院地球化学研究所耿建民同志磨制了陨石样品的光、薄片;陈文华、谢长生、方秀英和彭金莲等完成了陨石全岩的化学分析;陆宝林同志为本书绘制了全部图件;程应良同志复制了部分照片;谢洪源和曾饶明同志负责本书的审定和编辑加工,对他们付出的辛劳,我们表示诚挚的感谢。

作者

1991年9月于广州

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 陨石的研究历史.....	1
第二节 陨石的科学意义.....	2
第三节 陨石的研究现状.....	8
第二章 陨石的降落现象	10
第一节 陨石的降落.....	10
第二节 陨石的冲击成坑作用.....	12
第三章 陨石分类学研究	17
第一节 陨石的分类原则及分类.....	17
第二节 球粒陨石.....	19
第三节 分异的陨石.....	28
第四节 陨石群的元素丰度.....	32
第四章 陨石研究的基本方法	39
第一节 陨石降落后的现场考察.....	39
第二节 陨石样品的室内研究.....	39
第三节 如何识别陨石.....	42
第五章 中国陨石的收集和概况	43
第一节 中国古代陨石的记录.....	43
第二节 我国陨石的收集概况.....	49
第三节 我国陨石研究概况.....	58
第六章 我国普通球粒陨石的研究	61
第一节 引言.....	61
第二节 实验及流程.....	61
第三节 我国某些普通球粒陨石的岩石学、矿物学和化学组成特征.....	63
第四节 普通球粒陨石的分类、总体化学成分与岩石类型的关系.....	138
第七章 吉林球粒陨石综合研究	165
第一节 概述.....	165
第二节 组成和结构.....	165
第三节 热历史和宇宙线辐照历史.....	169
第四节 形成和演化轮廓.....	174
第八章 清镇顽辉石球粒陨石综合研究	177

第一节	顽辉石球粒陨石的一般特征	177
第二节	清镇顽辉石球粒陨石的特殊意义	181
第三节	实验方法	181
第四节	岩石学特征	184
第五节	化学组成和同位素组成特征	187
第六节	矿物化学的一般组成特征	189
第七节	不透明矿物的环带组成特征	200
第八节	硫化物矿物微量元素组成特征	209
第九节	形成和演化	223
第十节	主要结论	233
第九章	宁强碳质球粒陨石的研究	235
第一节	引言	235
第二节	分析流程	236
第三节	岩石学特征	236
第四节	化学组成及分类	257
第五节	稀有气体的研究	267
第六节	宁强陨石可溶有机质研究	269
第七节	讨论	274
第十章	我国球粒陨石稀有气体的研究	279
第一节	引言	279
第二节	实验方法	281
第三节	结果与讨论	286
第四节	主要结论	312
第十一章	我国某些球粒陨石宇宙成因核素研究	315
第一节	引言	315
第二节	吉林球粒陨石钻孔样品 ^{55}Mn 深度剖面	315
第三节	^{10}Be 测定和研究	321
第四节	由宇宙射线成因放射性核素确定 ^{21}Ne 核素产率	324
第十二章	我国某些球粒陨石的核径迹和热释光研究	327
第一节	核径迹研究	327
第二节	热释光研究	343
第十三章	我国某些球粒陨石光谱学研究	351
第一节	反射光谱 ($0.3\text{--}2.5\mu\text{m}$)	351
第二节	红外光谱 ($2.5\text{--}25\mu\text{m}$)	359
第三节	拉曼光谱	368
第十四章	我国某些球粒陨石辉石的高分辨电子显微镜观察	374
第一节	引言	374
第二节	低钙辉石(100) 无序堆垛	375
第三节	在应力作用下辉石的变形结构	379

第四节	辉石超微结构所反映的陨石热历史·····	381
第十五章	我国铁陨石的研究 ·····	384
第一节	铁陨石研究概况·····	384
第二节	新疆铁陨石 (IIE) 的综合研究·····	387
第三节	南丹铁陨石 (IICD) 的综合研究·····	406
第四节	我国其他铁陨石的研究·····	416
第五节	我国石-铁陨石 (渭源橄榄陨铁) 的研究·····	431
第十六章	实验宇宙化学研究 ·····	433
第一节	引言·····	433
第二节	吉林和肇东球粒陨石的熔融实验研究·····	434
第三节	吉林球粒陨石全岩的冲击实验研究·····	451
第四节	南丹铁陨石的冲击压缩实验研究·····	463
第五节	形成类地行星初始物质的探讨·····	464
第十七章	讨论和结语 ·····	473
第一节	关于陨石分类学的研究·····	473
第二节	我国稀少陨石和大型陨石的研究·····	475
第三节	球粒的结构问题·····	476
第四节	有关球粒陨石的热变质作用、热历史及冲击变质作用·····	479
第五节	关于球粒陨石稀有气体的研究·····	480
第六节	陨石成因的讨论·····	482
第七节	行星的陨石堆积模型及模式·····	484
参考文献	·····	486
中国陨石索引	·····	502
图版说明和图版	·····	503

CONTENTS

Preface	
Foreword	
Chapter 1 Introduction	1
§ 1.1 History of meteorite studies	1
§ 1.2 Scientific significance of meteorites	2
§ 1.3 Current situation of meteorite studies	8
Chapter 2 Fall Phenomena of Meteorites	10
§ 2.1 Meteorite fall	10
§ 2.2 Impact cratering	12
Chapter 3 The Taxonomy of Meteorites	17
§ 3.1 Taxonomic principles and taxonomy	17
§ 3.2 Chondrites	19
§ 3.3 Differentiated meteorites	28
§ 3.4 Element abundance patterns of meteorite groups	32
Chapter 4 General Methods of Meteorite Studies	39
§ 4.1 On-the-spot investigation	39
§ 4.2 Laboratory study	39
§ 4.3 How to recognize a meteorite	42
Chapter 5 Collection and Study Surveys of Chinese Meteorites	43
§ 5.1 Historical records of ancient Chinese meteorites	43
§ 5.2 A survey of the Chinese meteorite collection	49
§ 5.3 A survey of the Chinese meteorite study	58
Chapter 6 The Studies of Some Chinese Ordinary Chondrites	61
§ 6.1 Introduction	61
§ 6.2 Experiment and procedures	61
§ 6.3 Petrological, mineralogical and chemical characteristics	63
§ 6.4 Relationships among classification, bulk chemical composition and petrological type of ordinary chondrites	138
Chapter 7 Comprehensive Studies of the Jilin Chondrite	165
§ 7.1 Introduction	165
§ 7.2 Compositions and textures	165
§ 7.3 The thermal history and the cosmic ray irradiation history	169
§ 7.4 An outline of formation and evolution	174
Chapter 8 Comprehensive Studies of the Qingzhen Enstatite Chondrite	177
§ 8.1 General characteristics of enstatite chondrites	177
§ 8.2 The special significance of the Qingzhen enstatite chondrite	181

§ 8.3	Experimental methods	181
§ 8.4	Characteristics of petrology.....	184
§ 8.5	Characteristics of chemical and isotopic compositions.....	187
§ 8.6	General characteristics of mineral chemistry	189
§ 8.7	Chemical zoning features of opaque minerals	200
§ 8.8	Trace element characteristics of sulfide minerals	209
§ 8.9	Formation and evolution	223
§ 8.10	Main conclusions	233
Chapter 9	Studies of the Ningqiang Carbonaceous Chondrite	235
§ 9.1	Introduction.....	235
§ 9.2	Analyzing procedure.....	236
§ 9.3	Petrologic characteristics.....	236
§ 9.4	Chemical composition and classification	257
§ 9.5	Noble gases.....	267
§ 9.6	Soluble organic compounds.....	269
§ 9.7	Discussion.....	274
Chapter 10	Studies of Noble Gases in Some Chinese Chondrites.....	279
§ 10.1	Introduction	279
§ 10.2	Experimental methods.....	281
§ 10.3	Results and discussion.....	286
§ 10.4	Main conclusions	312
Chapter 11	Studies of Cosmogenic Nuclides in Some Chinese Chondrites.....	315
§ 11.1	Introduction	315
§ 11.2	⁵³ Mn depth profile of the Jilin chondrite drill samples.....	315
§ 11.3	Determination and study of the ¹⁰ Be	321
§ 11.4	The ²¹ Ne production rate determined by cosmogenic radionuclides.....	324
Chapter 12	Nuclear Track and Thermoluminescence Studies of Some Chinese Chondrites	327
§ 12.1	Nuclear track.....	327
§ 12.2	Thermoluminescence (TL)	343
Chapter 13	Spectroscopy Studies of Some Chinese Chondrites.....	351
§ 13.1	Reflectance spectroscopy (0.3—2.5μm).....	351
§ 13.2	Infrared spectroscopy (2.5—25μm).....	359
§ 13.3	Raman spectroscopy.....	368
Chapter 14	HREM Observations of Pyroxenes From Some Chinese Chondrites... ..	374
§ 14.1	Introduction	374
§ 14.2	The (100) disorder accumulation of low-Ca pyroxenes	375
§ 14.3	Deformation textures of pyroxenes under stress.....	379
§ 14.4	The thermal history of meteorites implied by pyroxene's super microtextures... ..	381
Chapter 15	Studies of Chinese Iron Meteorites	384
§ 15.1	A survey.....	384
§ 15.2	Xinjiang iron meteorite (IIIIE)	387

§ 15.3	Nandan iron meteorite (HICD).....	406
§ 15.4	Other Chinese iron meteorites.....	416
§ 15.5	The stony-iron meteorite (Weiyuan).....	431
Chapter 16	Experiment in Cosmochemistry.....	433
§ 16.1	Introduction	433
§ 16.2	Melting experimental studies of Jilin and Zhaodong chondrites.....	434
§ 16.3	Shock experimental studies of Jilin chondrite.....	451
§ 16.4	Shock compression experimental studies of Nandan iron meteorite	463
§ 16.5	An approach to primitive material forming terrestrial planets.....	464
Chapter 17	Discussion and conclusions.....	473
§ 17.1	Problems related to the meteorite taxonomy.....	473
§ 17.2	Studies of rare and large meteorites.....	475
§ 17.3	Problems related to textures of chondrites.....	476
§ 17.4	Thermal metamorphism, thermal history and shock metamorphism of chondrites... ..	479
§ 17.5	Studies of noble gases in chondrites	480
§ 17.6	Meteorite geneses	482
§ 17.7	The meteorite accumulation model and pattern of planets.....	484
References	486
Index of Chinese Meteorites	502
Explanation of Plates and Plates	503

第一章 绪 论

第一节 陨石的研究历史

陨石学是空间科学和天体化学的基本组成部分。陨石学是研究各类陨石岩石学、矿物学、结构构造、化学组成、同位素年代学和同位素组成、热变质和冲击变质作用、太阳和银河系效应、陨石分类学、各类陨石母体形成和演化及其成因联系的一门新兴学科。陨石学研究的主要目的是建立太阳系的起源及其早期的演化历史。

陨石在科学上具有独特的意义,因而引起不同学科科学家的兴趣。

陨石学的研究历史大致可划分为三个阶段(Gomes *et al.*, 1980):①陨石的古典时期(1794—1900),着重于对陨石岩石学、矿物学、化学组成等特征及陨石结构的描述和解释,但人类知道陨石已有上千年的历史,国外最早观察到降落的陨石是 1492 年 11 月 16 日在法国 Alsace 境内降落的 Ensisheim 陨石,约 300 年之后,当 Chladni (1794) 提出陨石是从宇宙空间降落到地球的证据时,人们还未认识到陨石的真实性和重要性,因此, E.F.F. Chladni 是陨石的奠基者,但他的思想不仅未立即被人们所接受,反而遭到严厉的批评,直到 1803 年对在法国降落的 L'Aigle 陨石进行研究并提出有力的证据后才消除了这种偏见和批评,从那时起,陨石才被视为来自宇宙的珍贵样品,并进行较广泛的科学研究。②在两次世界大战之间,科学工作者对陨石研究的兴趣有所减弱,一般都限于对新降落和发现的陨石进行常规的记录和描述,仅有少数学者继续对陨石进行较深入的科学研究,如美国的 Merrill、Farrington、Nininger 和法国的 Heider 等(King, 1976; Wasson, 1985)。③1950 年以后为陨石学研究的兴旺时期。化学、物理和实验方面的进展,新的精密分析仪器的问世,地球化学研究的新进展以及认识到陨石含有太阳系早期的历史信息,大大促进了陨石学的发展,开拓了许多新的研究领域,并获得了许多新的资料,这些都为了解陨石母体的起源和演化以及太阳系早期历史打下了良好的基础。自 1969 年首次载人宇宙飞船在月球上着陆以来,发现在无大气条件下月球表面曾受到广泛的冲击作用,类似的特征,如冲击角砾岩、压碎作用、部分熔融和完全熔融、混合作用和蒸气分馏作用等,在陨石中也观察到了。因此,近年来,月球和陨石样品的比较研究已成为引人注目的课题。

应当指出,南极是目前地球上回收陨石最多的地区,自 1969 年以来,在这个地区已发现和回收了约 11 000 多块陨石样品,代表了许多次不同陨石或陨石雨的降落。南极的特殊气候和环境条件可回收更多的陨石样品,由于冰的消融和运移,因而导致在一些蓝色冰区内陨石明显的富集。大多数陨石是来自直径小于 200km 的小行星体,在南极发现有来自月球和火星的月球陨石和火星陨石,提供了除陨石来源于小行星带外,还有其他来源的可能性。南极的表面区为 $14 \times 10^6 \text{ km}^2$, 在这样大的地区,提供了陨石降落的场所,并起到陨石的收集、富集和保存的作用,运移的冰盖将陨石从其降落处搬运到陨石富集带,冷的气候抑制了陨石样品的风化作用。1969 年以前,由于人类活动受到限制,在这块大陆上仅回收了 4 块陨石。第一块陨石,即 Adélie Land 陨石,是 1912 年 12 月 5 日于澳大利亚南

极探险队的西部雪橇队收集的。直到1961年原苏联探险队在洪堡山(Humboldt Mountains)南部边缘的冰原岛峰边部才回收到 Lazarev 陨石。继之,于1962年及1964年美国野外队在蒂尔山(Thiel Mountains)及内普丘恩山(Neptune Mountains)也发现了陨石。这些发现似乎是偶然的和随机的,但在那时并未认为在南极有可能回收到更多的陨石。1969年,当日本南极研究考察队的冰川野外队在大和山(Yamato Mountains)区回收到9块陨石时,才第一次指出,在南极有可能发现和回收更多的陨石。这9块陨石是在距冰碛石和岩石露头不远的蓝色冰表面上发现的,它们的位置彼此靠近并属于5种不同类型的陨石。很明显,这些陨石不是单次降落的碎块,而是意味着有某种富集陨石的机制在运行着。于1973年日本又在同一地区找到12块陨石,这就表明,对陨石的回收而论,这一地区比其他的地区更为有利,1974年日本组织了专门收集陨石的野外队并收集到663块陨石样品,其中有200块是在1969年回收到陨石的同一地区发现的。1975年日本在靠近大和山的冰区内又回收了308块陨石样品,之后,日美联合考察队在维多利亚地区(Victoria Land)的阿伦高地(Allan Hills)发现和回收到581块陨石样品,1976—1977年在野外发现一个重407 kg的陨石样品,它是在南极发现的最大陨石。1987—1989年日本第29次南极研究考察队在南龙达讷山(Sør Rondane Mountains)附近(71°—73°S, 21°—29°E)的三个主要裸冰表面又发现和回收了2000多块陨石样品(Yanai, 1989)。南极陨石的发现和开展多学科的综合研究是陨石学和天体化学研究领域的重大突破,从而大大丰富了陨石学和天体化学的研究对象和内容。

我国历史上有据可查的陨石记录有365处(禔锐光等,1982),最早是《竹书记年》中记载了公元前1809年在我国山西省降落的一场铁陨石雨,而世界上公认的最早、最可靠的陨石记录是《春秋左传》中记载的公元前645年12月24日在河南商丘县境内从天而降的5块陨石。虽然在我国历史上有关陨石从天而降的记载最早、最全,但我国陨石学的研究起步较晚,我国陨石的研究始于50年代,之后才逐渐为大地学和天文科学工作者所重视,特别是自1976年3月8日吉林陨石雨降落以来,重点对吉林、清镇、宁强、南丹及新疆陨石进行了较系统而深入的研究,对近年来降落的其他陨石也进行了较深入的研究,对一些陨石开展了国际间的合作研究,取得了丰硕的成果,发表了一系列水平较高的学术论文。本书就是近10多年来我国陨石研究的总结。

第二节 陨石的科学意义

陨石是从行星际空间到达地球的固体物质,它通过大气层时,大到足以保存下来并能收集到陨石碎块,因此,陨石是来自宇宙的珍贵样品。对陨石的研究可提供许多有关太阳系早期历史的资料和假说,陨石具有以下的一些科学意义。

1) 除月球样品外,陨石是唯一的地外物质,陨石可提供太阳系内某些部位和行星(如小行星带及火星)的地外物质样品,目前我们还不可能直接采集到这些样品。此外,到目前为止,已在南极陨石中发现11块陨石样品是来自月球的月球陨石,它们是富长石的角砾岩(斜长岩质角砾岩),这些月球陨石的化学组成表明,它不仅是来自月球高地,而且是来自从地球表面不可能看见的月球远边或月球背面,阿波罗宇宙飞船登月仅在月球的近边或正面采集了380 kg月球样品。在南极陨石中还发现2块来自火星的火星陨石。

2) 陨石是最古老的岩石,天体化学的主要任务之一是要确定太阳系内固体物质的演化时标和年代,虽然陨石的年龄变化取决于它们形成后的热历史和测定年龄的方法,但有许多陨石的结晶年龄大致为 4.55 ± 0.05 Ga,这不仅是对球粒陨石而言,而且对某些无球粒陨石也是如此(如巴西的 Angra dos Reis, Rio de Janeiro 无球粒陨石的年龄亦为 4.55 ± 0.05 Ga),表明陨石母体至少是在 4.55 ± 0.05 Ga 以前形成的,非常接近于太阳系行星形成的年龄,尽管有某些斜长石残余的年龄为 4.5Ga 及纯橄榄岩碎屑的年龄为 4.6 ± 0.09 Ga,而地球上最古老的岩石大约为 3.8Ga,月球上最老的月岩大多数 ≤ 4.2 Ga。

3) 陨石可提供太阳系内从核合成到形成固体之间的时间间隔,即形成元素与它们凝聚形成陨石母体之间的时间间隔,这些资料可以确定不同类型陨石的时间间隔,核合成与形成固体之间的时间间隔不超过 100 Ma,形成不同球粒陨石、无球粒陨石及铁陨石中硅酸盐包体之间的时间间隔仅约为 14 Ma。这些年龄值是根据测定陨石中已灭绝的短寿命放射性核素的稳定衰变产物获得的,例如,在某些陨石中含有过剩的 ^{129}Xe ,而 ^{129}Xe 的过剩是由于已灭绝的 ^{129}I ($T_{1/2} = 14\text{Ma}$) 衰变的,在一些铁陨石中还发现有过剩的 ^{107}Ag ,认为它是由已灭绝的 ^{107}Pd ($T_{1/2} = 6.5\text{Ma}$) 衰变的产物。

4) 陨石中含有太阳系以外的物质,据已有的资料,陨石系来源于太阳系。然而,Clayton 等(1973)在碳质球粒陨石中的浅色难熔包体(太阳星云早期高温凝聚产物)内发现氧同位素异常,这种异常除核合成外,不可能用任何化学和物理的过程来解释,既然在太阳系内大规模的同位素非均匀性不可能发生,那么,可以推测在其聚积过程中有太阳系以外的物质加入于这些浅色难熔包体内,有可能在形成太阳系附近有超新星的爆炸,其爆炸的部分物质并入于太阳系内;另一种可能是来自红巨星抛出的尘粒。此外,近年来在陨石中还发现 Mg、Ne、Si、Ca、Sr、Ba、Nd 和 Sm 等核素的同位素异常,因此,陨石提供了太阳系以外物质同位素组成的重要信息。

5) 陨石近似地代表原始太阳系的物质,虽然不同陨石类型之间的成分变化很大,从超镁铁质球粒陨石到岩石学上演化为超镁铁质、镁铁质及玄武岩质无球粒陨石、石-铁陨石和铁陨石,但类型 I 的碳质球粒陨石的元素丰度,除挥发性元素丰度外,非常接近于太阳的元素丰度(图 1.1)。一般来说,未分异的和原始的球粒陨石具有准太阳的元素丰度,表明陨石母体形成后未发生过明显的化学分馏作用,也未发生过部分熔融和分离结晶作用;分异的陨石则发生过熔融和分离结晶作用,分异的陨石提供了行星物质早期演化的线索,铁陨石的化学成分特征表明,行星或陨石母体核是

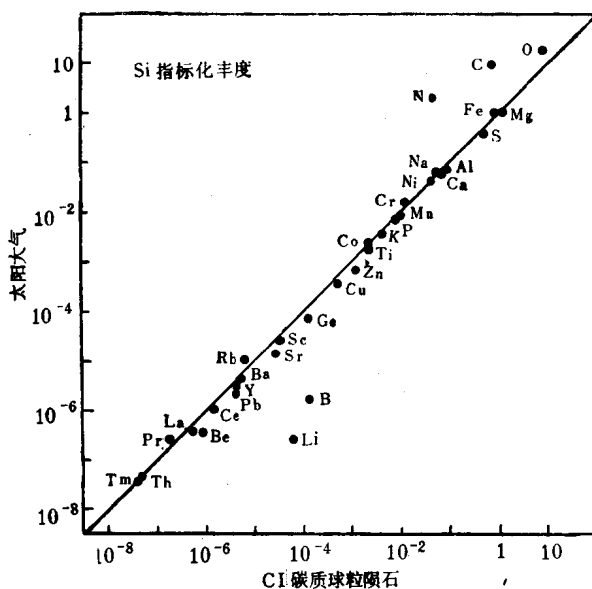


图 1.1 类型 I 碳质球粒陨石的元素丰度与太阳丰度比较 (Ringwood, 1977)