

公民科学素质丛书



科学文化工程

# 天外来客 陨 石

徐伟彪 著

-49



科学出版社

科学文

素质丛书

# 天外来客——陨石

徐伟彪 著

本书由中国科学院科学传播局原创性科普图书基金资助



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

陨石是地外天体的碎片陨落到地球的岩石样品,是人类直接认识太阳系珍贵稀有的实物标本。近年来,不断有重大的陨石降落事件发生,特别是2013年俄罗斯车里雅宾斯克州发生的陨石坠落事件,在世界范围内产生了巨大的影响,越来越多的民众开始关注陨石、喜爱陨石和收藏陨石,人们对陨石知识的渴望也与日俱增。本书详细阐述陨石的重要特征、种类和基本知识,汇集各类陨石的鉴定标准,阐述科学的陨石鉴定方法;本书还包含大量精美的陨石图片,并点评国内外的著名陨石,介绍如何识别真假陨石、怎样寻找陨石和陨石收藏的相关知识。

本书可作为陨石爱好者的科普读物,也可作为大专院校地质学和相关专业大学生和研究生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

天外来客——陨石/徐伟彪著. —北京:科学出版社,2015.11

(科学文化工程——公民科学素质丛书)

ISBN 978-7-03-046426-2

I. ①天… II. ①徐… III. ①陨石—普及读物 IV. ①P185.83-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第278983号

---

责任编辑:王腾飞 沈旭/责任校对:胡小洁

责任印制:赵博/责任设计:许瑞

封面摄影:沈文瀚/封底摄影:许军 武广维

**科学出版社出版**

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

**中国科学院印刷厂 印刷**

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年11月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015年11月第一次印刷 印张:9 1/4

字数:184 000

定价:50.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

“什么是陨石？”“我找到一块非常特殊的石头，表面发黑，手感很重，还有磁性，是陨石吗？”“我在河边捡到一块石头，和官方网站公布的月球陨石照片很相像，是不是月陨？”“我的样品中含有镍，为什么科研部门说它不是陨石？”“陨石比黄金还值钱吗？”，这些都是笔者在工作中时常遇到的提问。有些陨石爱好者甚至不远万里，背负沉重的石块，亲自赶赴南京，然而却屡屡失望而归。

陨石很珍稀，据 1985 年英国自然历史博物馆出版的《陨石目录》记载，至当时全世界 98 个国家仅发现或目击 2611 块陨石。到 2000 年，全世界各国家发现或目击的陨石实际上也只有 3165 块，仅比 1985 年的记录多了 554 块，平均每年新增 30 多块。由此可见，陨石样品是非常难得的。近年来，陨石数量在快速增加，主要得益于沙漠和南极地区的猎陨活动。沙漠地区由于气候干燥且无植被，陨石易于被保存和发现，但是在沙漠地区寻找陨石需要丰富的野外生存经验和充足的物质装备，初学者慎入。南极地区由于有冰川活动，陨石常富集在特定区域，各国科考队每年都能收集到大量的南极陨石，主要用于科研和科普工作。

陨石具有很多特征，与地球岩石有差别，通过学习和观测可以掌握初步判断陨石的技能。一般来说，陨石大多有磁性，密度比地球岩石要大些，有些陨石表面还残留熔壳和气印。近年来，国内陨石爱好者在新疆和青海戈壁沙漠地区发现了多块疑似陨石，经过检测确认其中大多数是球粒陨石和铁陨石，有些还获得了国际永久命名。本书特邀中国陨石网（[www.qqyunshi.com](http://www.qqyunshi.com)）发起人、罗布泊陨石发现者赵志强先生撰写了一篇沙漠猎陨的文章，详细介绍野外工作的经验和收获。

对于资深的陨石收藏者和陨石猎人来说，通过肉眼观察可以大致识别球粒陨石。无球粒陨石与地球岩石外观上很相似，很难鉴别。要最终确认陨石，并判定其类型，即便是球粒陨石，也必须通过仪器检测才能完成。陨石的仪器检测是一门专业性很强的学问，不仅要有专业对口的仪器设备，更关键的是检测人员必须具备扎实的陨石背景知识，再加上精湛的样品制备工序，三者缺一不可。目前国内从事陨石研究的科研部门主要集中在中国科学院的天文台和地质研究单位，他们长期开展国际陨石前沿领域的科学研究，参与了国际陨石的分类和鉴定工作，设备齐全，经验丰富，是最权威的陨石鉴定机构。

因为珍稀，陨石近年来已成为国内外收藏界的新宠，越来越多的藏友开始关注陨石。为此，本书特意收录了两篇由国内陨石收藏爱好者撰写的有关陨石收藏知识的文章，供大家参考。在此，感谢文章的作者柯作楷博士和曹宇先生给予的

作品转发授权。

陨石来自地球以外的天体，是人类认识太阳系最直接的标本，它们的价值主要体现在科学研究上，希望广大陨石爱好者在实践中发现更多珍稀的陨石样品，为我国的科学研究工作提供宝贵的科学素材。本书结尾收录了一篇笔者近期在《天文学报》上发表的论文，其中所研究的陨石样品均为国内陨石爱好者发现和提供，在此，谨向捐赠者表示感谢。

希望本书的发行能让广大陨石爱好者正确识别陨石，了解陨石的重要特征和主要类别，熟悉科学的陨石鉴定标准和方法步骤，少走弯路，避免误入歧途。本书的撰写工作得到了中国科学院 2015 年科普项目基金和紫金山天文台小行星基金会的资助，在此谨表感谢。

（注：本书封面陨石为瑞典 Muonionalusta 铁陨石，重 15 千克；扉页陨石为纳米比亚 Gibeon 铁陨石，重 303 千克；封底陨石为阿根廷 Campo del Cielo 铁陨石）

徐伟彪

2015 年 8 月于南京

# 目 录

## 前言

第 1 章 陨石简介 .....	1
第 2 章 陨石的基本特征 .....	7
2.1 陨石中最常见的五种矿物 .....	7
2.1.1 橄榄石 .....	8
2.1.2 辉石 .....	8
2.1.3 长石 .....	9
2.1.4 铁纹石 .....	10
2.1.5 镍纹石 .....	10
2.2 陨石的类型和鉴定标准 .....	11
2.2.1 球粒陨石 .....	11
2.2.2 无球粒陨石 .....	24
2.2.3 石铁陨石 .....	32
2.2.4 铁陨石 .....	33
第 3 章 如何鉴定陨石 .....	36
3.1 陨石鉴定工作中常见的误区 .....	36
3.1.1 用 X 射线荧光光谱仪来鉴定陨石是不正确的鉴定方法 .....	37
3.1.2 样品中的“镍含量”不能用来鉴定陨石 .....	39
3.2 正确的陨石鉴定方法 .....	39
3.3 简单的陨石鉴定方法 .....	43
3.4 关于陨石鉴定的那些事 .....	45
第 4 章 中国陨石谱 .....	47
4.1 中国境内发现的球粒陨石 .....	47
4.2 中国境内发现的石铁陨石 .....	57
4.3 中国境内发现的铁陨石 .....	59
4.4 中国科学考察队在南极发现的火星陨石 .....	61
第 5 章 国外陨石精品选 .....	64
第 6 章 常见貌似陨石的地球样品 .....	76
第 7 章 罗布泊猎陨 .....	83
第 8 章 陨石的收藏 .....	92

---

8.1	陨石的基本分类与鉴定	94
8.2	陨石的收藏与投资	98
8.3	陨石在首饰行业中的应用	103
<b>第 9 章</b>	<b>陨石价格的形成机制</b>	<b>110</b>
9.1	影响陨石价格的各种因素	110
9.2	不合理的加价理由	119
<b>第 10 章</b>	<b>国内 18 块普通球粒陨石的岩石矿物学研究</b>	<b>122</b>
10.1	引言	122
10.2	实验方法	123
10.3	化学-岩石类型	125
10.4	冲击变质程度	131
10.5	风化程度	135
10.6	国内陨石富集区的确立	135
10.7	结论	136
	参考文献	137

## 第1章 陨石简介

在夏日晴朗的夜晚，天空中偶尔会划过一道光迹，瞬间就消逝在茫茫的夜色中，这就是我们熟知的流星现象。它是由于流星体飞入地球大气层，与大气摩擦产生了光和热，最终被燃尽而形成的一束光。流星体的质量很小，大多是彗星散落在星际空间的尘埃颗粒，进入地球大气层后都被气化殆尽。有时候，流星体的质量较大，穿越大气层后燃烧未尽而有剩余固体物质降落到地面，这就是陨石。

陨石是地外天体的碎片穿过大气层陨落到地球的岩石样品，是人类直接认知太阳系天体珍贵稀有的实物标本（图 1.1）。绝大多数的陨石来自位于火星和木星之间的小行星带内的小行星，极少数来自月球和火星，有些微小陨石可能是来自彗星的尘埃颗粒（图 1.2）。据科学家估算，每天都有陨石降落地球，年累积量重达几十吨，但是它们中的绝大多数都陨落在海洋、山区、森林、沙漠等人烟稀少的地区，鲜为人知。每年观察到并收集到目击陨石平均只有 10 次左右，因此，目击陨石就显得更加珍贵。近一百多年来，全世界收集到的目击陨石有 1100 次左右，其中包括中国的 62 次。1976 年 3 月 8 日在吉林省吉林市近郊，降落了一场特大陨石雨，共收集到较大陨石 100 多块，总重量超过 4000 千克。国内较大规模的陨石雨还有 1986 年 4 月的随州陨石，1997 年 2 月的郟城陨石和 2012 年 2 月的西宁陨石。2013 年 2 月 15 日俄罗斯车里雅宾斯克州发生的陨石坠落事件在世界范围内产生了巨大的影响，越来越多的民众开始关注陨石、喜爱陨石和收藏陨石，人们对陨石知识的渴望也与日俱增。



图 1.1 带新鲜完整熔壳和气印的摩洛哥提森特（Tissint）火星陨石



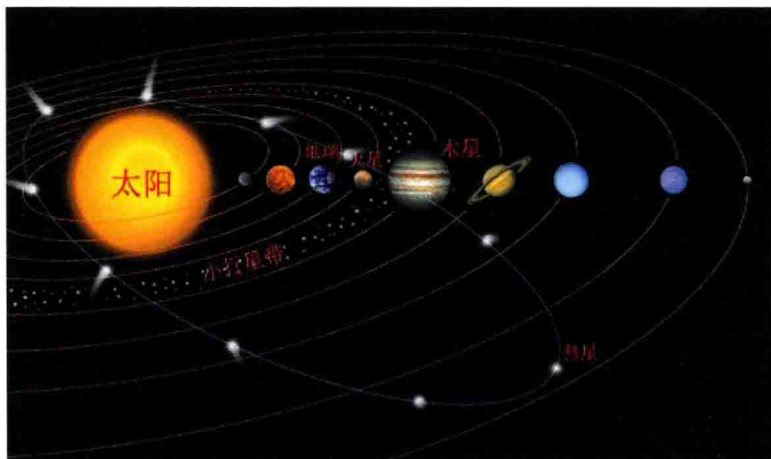


图 1.2 太阳系内的行星分布图

从里到外：水星、金星、地球、火星、小行星带、木星、土星、天王星、海王星、冥王星

陨石样品很珍稀，据 1985 年英国自然历史博物馆出版的《陨石目录》记载，全世界 98 个国家仅收集到 2611 块陨石（表 1.1）。近年来，陨石数量在逐年增加，主要来源于沙漠和南极地区。在热带沙漠地区，当地游牧民和国际专业猎陨者找到了上万块陨石，其中不乏许多稀有品种。沙漠陨石大多在国际陨石市场流通，一方面为科学研究提供了珍贵的样品，另一方面也为各国陨石收藏爱好者带来了更多的机遇（表 1.2）。另外，各国科学家在南极冰盖地区也发现了大量陨石，其中以中、日、美三国为主，总量超过 4 万块，南极陨石主要用于科学研究和科普教育工作，不会出现在国际陨石流通市场。

陨石总体上可分为三大类：石陨石（主要组分是硅酸盐矿物）、铁陨石（铁镍金属矿物）和石铁陨石（铁镍金属矿物和硅酸盐矿物的混合物）。石陨石又分为球粒陨石（chondrite）和无球粒陨石（achondrite）。石铁陨石也有两大类：中铁陨石和橄榄陨铁（图 1.3）。

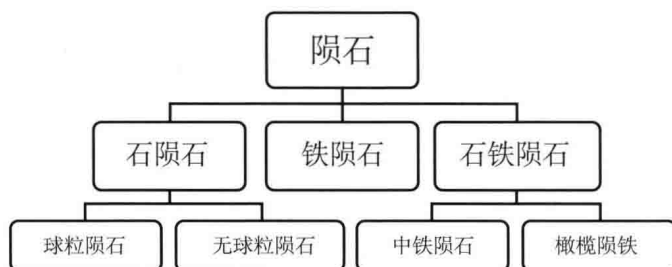


图 1.3 陨石分类图

表 1.1 1985 年全世界 98 个国家收集到的陨石数目和类型统计数据

陨石类型			发现陨石		目击陨石	
			数目	频率	数目	频率
石陨石	球粒陨石	普通球粒陨石	785	30%	661	25.3%
		碳质球粒陨石	32	1.2%	35	1.3%
		顽辉球粒陨石	11	0.4%	13	0.15%
		未分类球粒陨石	4	0.15%	3	0.11%
	无球粒陨石	顽辉无球粒陨石	2	0.08%	9	0.34%
		橄辉无球粒陨石	13	0.5%	4	0.15%
		HED 无球粒陨石	42	1.6%	52	2%
		未分类无球粒陨石	72	2.76%	77	2.95%
石铁陨石	橄辉陨铁	36	1.38%	3	0.11%	
	中铁陨石	26	1%	6	0.23%	
铁陨石			683	26.2%	42	1.6%
总计			1706	65%	905	35%

表 1.2 南极地区以外收集到的陨石数目和类型统计数据（截至 2015 年 7 月）

陨石类型			发现陨石		目击陨石	
			数目	频率	数目	频率
石陨石	球粒陨石	普通球粒陨石	12442	71.8%	882	5.1%
		碳质球粒陨石	751	4.3%	44	0.25%
		顽辉球粒陨石	161	0.9%	17	0.1%
		R 型球粒陨石	115	0.7%	1	—
		K 型球粒陨石	2	—	1	—
	无球粒陨石	顽辉无球粒陨石	19	0.1%	9	0.05%
		橄辉无球粒陨石	275	1.5%	6	0.04%
		HED 无球粒陨石	861	5.0%	62	0.36%
		钛辉无球粒陨石	19	0.1%	1	—
		橄辉古铜无球粒陨石	80	0.46%	2	—
		橄辉石无球粒陨石	34	0.2%	0	—
		辉石无球粒陨石	17	0.1%	1	—
		月球陨石	189	1.1%	0	—
		火星陨石	120	0.7%	5	0.03%
石铁陨石	橄辉陨铁	67	0.39%	4	0.02%	
	中铁陨石	154	0.89%	7	0.04%	
铁陨石			922	5.3%	49	0.3%
总计			16228	93.7%	1091	6.3%

绝大多数的陨石都是球粒陨石，其特点是内部含有大量毫米大小的硅酸盐球体（图 1.4）。球粒陨石是太阳系内最原始的物质，是从太阳系胚胎星云中直接凝聚出来的产物，它们的平均化学成分代表了太阳系的化学成分。球粒陨石又被细分为几个亚类：普通球粒陨石（ordinary chondrite, OC）、碳质球粒陨石（carbonaceous chondrite, CC）、顽辉球粒陨石（enstatite chondrite, EC）等（图 1.5）。普通球粒陨石是最常见的陨石类型，超过总量的 85%（表 1.3），也就是说在找到的每 100 块陨石中，至少有 85 块是普通球粒陨石。

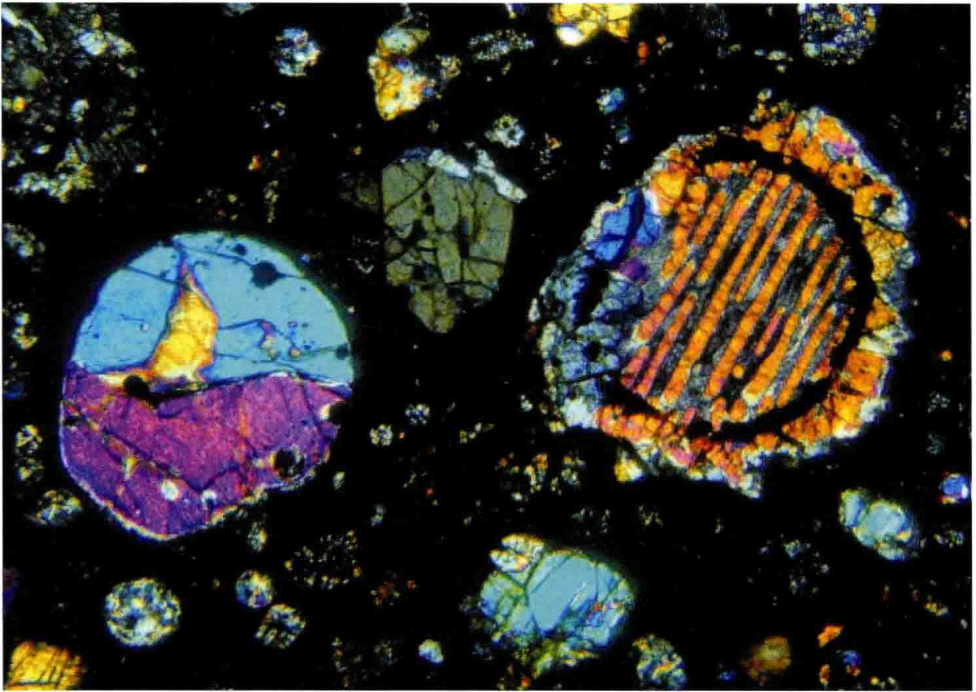


图 1.4 光学显微镜下球粒陨石中的球粒  
一般为圆形，大小约毫米级别

无球粒陨石（图 1.6）、石铁陨石和铁陨石（图 1.7）统称为分异陨石，它们是球粒陨石经高温熔融分异和结晶的产物，代表了小行星内部不同层次的样品。这些小行星的内部结构与地球相似，分三层：中心为铁核（铁陨石），中间为石铁混合幔层（石铁陨石），外部是石质为主的壳层（无球粒陨石）。世界上最大的铁陨石是非洲纳米比亚的戈巴（Hoba）铁陨石，重 60 吨。我国新疆阿勒泰地区青河县境内银牛沟发现的铁陨石重约 28 吨，是世界第四大铁陨石。

表 1.3 总陨石数目和类型统计数据（截至 2015 年 7 月）

陨石类型			发现陨石		目击陨石	
			数目	频率	数目	频率
石 陨 石	球 粒 陨 石	普通球粒陨石	44342	85.3%	882	1.7%
		碳质球粒陨石	1842	3.5%	44	0.1%
		顽辉球粒陨石	554	1.1%	17	0.03%
		R 型球粒陨石	158	0.3%	1	—
		K 型球粒陨石	3	—	1	—
	无球粒陨石	顽辉无球粒陨石	62	0.12%	9	0.02%
		橄辉无球粒陨石	396	0.76%	6	0.01%
		HED 无球粒陨石	1565	3.0%	62	0.12%
		钛辉无球粒陨石	22	0.04%	1	—
		橄榄古铜无球粒陨石	133	0.26%	2	—
		橄榄石无球粒陨石	38	0.07%	0	—
		辉石无球粒陨石	27	0.05%	1	—
		月球陨石	223	0.42%	0	—
	石 铁 陨 石	火星陨石	150	0.29%	5	0.01%
橄榄陨铁		99	0.2%	4	0.01%	
		中铁陨石	211	0.4%	7	0.01%
铁 陨 石			1073	2.1%	49	0.1%
总 计			50898	98%	1091	2%

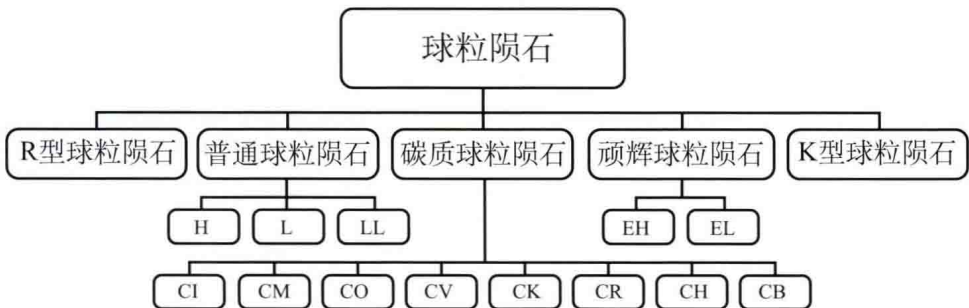


图 1.5 球粒陨石的分类图

详见第 2 章 2.2 陨石的类型和鉴定标准

最珍贵的是月球陨石和火星陨石，它们是小行星撞击月球和火星表面时飞溅出来的岩石碎片。全世界目前已收集到 223 块月球陨石（约 120 千克）和 155 块

火星陨石（约 125 千克），其中大多数是在沙漠和南极地区找到的。至今还没有目击月球陨石，但有 5 块目击火星陨石，最近一次是 2011 年 7 月 18 日陨落在摩洛哥的提森特（Tissint）火星陨石（图 1.1），约 12 千克。我国南极科考队在南极地区也找到了两块火星陨石，GRV99027（10 克）和 GRV020090（7.5 克），但还没有发现月球陨石。

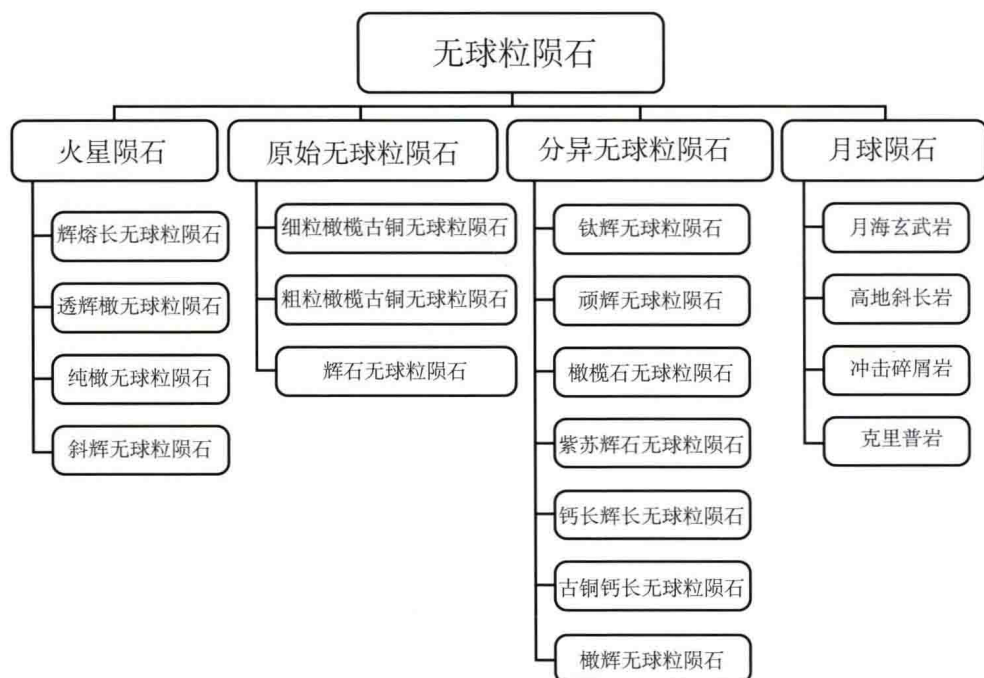


图 1.6 无球粒陨石的分类图（详细分类标准见第 2 章第 2 节）

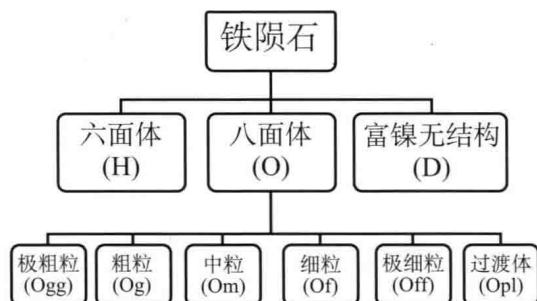


图 1.7 铁陨石的分类图

## 第 2 章 陨石的基本特征

### 2.1 陨石中最常见的五种矿物

太阳系内的水星、金星、地球、火星都有坚硬的岩石圈表层，被称作类地行星。地球表层由各种各样的岩石组成，大体上可分为三大类：火成岩、沉积岩和变质岩。火成岩是由高温熔融的岩浆在地表或地下冷凝所形成的岩石；沉积岩是在地表条件下由风化作用、生物作用和火山作用的产物经水、空气和冰川等外力的搬运、沉积和成岩固结作用而形成的岩石；变质岩是先形成的火成岩、沉积岩或变质岩由于其所处地质环境的改变经变质作用而形成的岩石。地球上的火成岩大约有 150 种，沉积岩有 50 多种，变质岩的种类要更多一些。岩石不仅是地球的主要组成部分，太阳系内其他天体的固体部分也都是由岩石组成。最新的探测资料表明，位于太阳系外围的冥王星的表层也是由岩石圈组成。

组成岩石的基本单元是矿物，绝大多数的岩石由多种矿物组成，单矿物组成的岩石很少见。地球上发现的矿物有 5000 多种，但是各种岩石中的常见矿物也就二三十种，这些矿物被称作造岩矿物，其中最重要的只有七种：正长石、斜长石、石英、角闪石、辉石、橄榄石、方解石。甚至可以说，整个地壳几乎就是由上述七种矿物构成的，其他矿物所占的比例微乎其微。矿物是自然产出且内部质点（原子、离子）排列有序均匀固体。组成矿物的基本单元是化学元素（原子或离子）。矿物必须具备两个要素：特定的化学成分和特定的晶体结构。化学成分相同，但晶体结构不同，就是不同的矿物。比如，石英的化学成分是二氧化硅，由于内部晶体结构的不同，有鳞石英、方石英、柯石英、斯石英、塞石英等多种石英矿物。

陨石也是岩石，是来自地球以外天体的岩石碎片。陨石中发现的矿物只有 200 多种，其中绝大多数和地球矿物相同，只有少数陨石矿物是地球上没有的。对于普通陨石爱好者来说，不需要把这么多的矿物都记下来，只要了解其中五种最常见的矿物就可以了。组成陨石的主要矿物是三种硅酸盐矿物（橄榄石、辉石、长石）和两种金属矿物（铁纹石、镍纹石），其他矿物在陨石中的含量非常少。陨石的鉴定和分类的主要依据就是这些主要矿物的化学成分，不同类型的陨石，其矿物的化学成分是不同的。除了铁陨石以外，一般以橄榄石和辉石为准，有时还会用到长石。通过测试橄榄石、辉石和长石的化学成分，就能鉴定陨石并确定其类型。橄榄石、辉石和长石也是地球岩石中的常见矿物，但是它们的化学成分和

相互组合关系与陨石不同。地球岩石中还常有含水矿物，如角闪石、云母等，这些矿物是不会出现在陨石中的。除了无球粒陨石，大多数陨石都含有铁纹石和镍纹石，这两种矿物不会出现在地球岩石中，只出现在陨石中，是确定陨石的标志性矿物。

### 2.1.1 橄榄石

橄榄石是一种镁铁硅酸盐 ( $[\text{Mg,Fe}]_2\text{SiO}_4$ )，是组成地球上地幔的主要矿物，也是陨石和月岩中的主要矿物。宝石级橄榄石显淡绿黄、黄绿（橄榄绿）、绿褐色、褐色，颜色和多色性随铁的含量变化而变化（图 2.1）。橄榄石是镁橄榄石 ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ , forsterite, Fo) 和铁橄榄石 ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ , fayalite, Fa) 的混合固熔体，它的成分可用  $\text{Fa}_x\text{Fo}_{100-x}$  表示，表示橄榄石中镁橄榄石和铁橄榄石各占的百分比含量。根据其中铁的含量，橄榄石分别称为：镁橄榄石 ( $\text{Fa}_{0-10}\text{Fo}_{100-90}$ )、贵橄榄石 ( $\text{Fa}_{10-30}\text{Fo}_{90-70}$ )、透铁橄榄石 ( $\text{Fa}_{30-50}\text{Fo}_{70-50}$ )、镁铁橄榄石 ( $\text{Fa}_{50-70}\text{Fo}_{50-30}$ )、铁镁橄榄石 ( $\text{Fa}_{70-90}\text{Fo}_{30-10}$ ) 和铁橄榄石 ( $\text{Fa}_{90-100}\text{Fo}_{10-0}$ )。



图 2.1 橄榄石原石（左）和宝石（右）

### 2.1.2 辉石

辉石则是镁铁钙硅酸盐 ( $[\text{Mg,Fe,Ca}]_2\text{Si}_2\text{O}_6$ )，是顽火辉石 ( $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , enstatite, En)、铁辉石 ( $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , ferrosilite, Fs) 和硅灰石 ( $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , wollastonite, Wo) 的混合固熔体（图 2.2），可用  $\text{En}_x\text{Fs}_y\text{Wo}_{100-x-y}$  表示。Fs 含量在 10% 以下者称为顽火辉石，Fs 含量在 10%~30% 的为古铜辉石，Fs 含量在 30%~50% 的为紫苏辉石，Fs 含量在 50% 以上为正铁辉石。

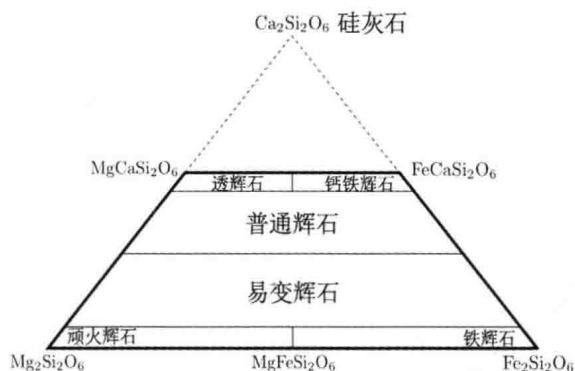


图 2.2 辉石的种类

### 2.1.3 长石

长石是钙钠钾铝硅酸盐，是钙长石 ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , anorthite, An)、钠长石 ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , albite, Ab) 和钾长石 ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , orthoclase, Or) 的混合固熔体，可用  $\text{Ab}_x\text{Or}_y\text{An}_{100-x-y}$  表示。地球岩石和陨石中常见的长石是由钙长石 (An) 和钠长石 (Ab) 组成的，称为斜长石 (图 2.3)。



图 2.3 斜长石晶体



根据其中钙长石的含量，斜长石分为：钠长石（ $An_{0-10}Ab_{100-90}$ ）、奥长石（ $An_{10-30}Ab_{90-70}$ ）、中长石（ $An_{30-50}Ab_{70-50}$ ）、拉长石（ $An_{50-70}Ab_{50-30}$ ）、培长石（ $An_{70-90}Ab_{20-10}$ ）和钙长石（ $An_{90-100}Ab_{10-0}$ ）。

#### 2.1.4 铁纹石

铁纹石是由铁和镍组成的金属矿物（图 2.4），其中镍约占 5%~7%（图 2.5），含少量钴（< 1%）。比重为 8，莫氏硬度为 4。主要出现在陨石中，地球岩石中没有铁纹石。

#### 2.1.5 镍纹石

镍纹石也是由铁和镍组成的金属矿物（图 2.4），其中镍约占 20%~65%（图 2.5），含少量钴（< 1%）。比重为 8，莫氏硬度为 5~5.5。镍纹石主要出现在陨石中，地球岩石中没有。

球粒陨石、无球粒陨石和石铁陨石的鉴定和分类主要通过测定其中的橄榄石和辉石的主要化学元素成分来完成，而无球粒陨石还需要测定长石矿物成分以及橄榄石、辉石和长石中的微量元素成分才能确定。

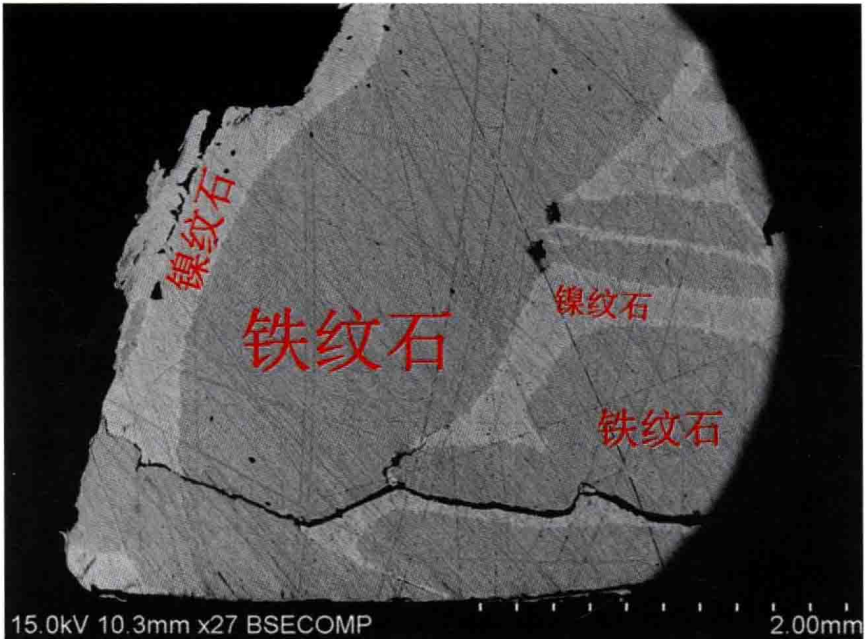


图 2.4 电子显微镜下铁陨石中的铁纹石（深灰色）和镍纹石（浅灰色）