

格罗夫山陨石考察现状及其发展设想

缪秉魁

1. 广西隐伏金属矿产勘查重点实验室, 桂林 541004; 2. 桂林理工大学 地球科学学院, 桂林 541004

摘 要: 南极陨石不但是宝贵的科学研究资源, 而且对探索和研究冰盖演化历史具有重要的指示作用。自 1998 年第 15 次南极科学考察以来, 中国南极陨石搜集工作取得了重大突破, 发现了一个陨石富集区, 收集了 12 000 多块陨石样品, 成为拥有南极陨石最多的国家之一。然而, 相对于美国, 中国南极陨石考察和研究还存在明显差距。为了实现中国南极考察的长远目标和安排十三五期间的南极陨石考察工作, 基于中国的南极陨石工作总结和存在问题的分析, 本文对南极陨石的长远目标进行设想, 提出了十三五期间的工作规划。

关 键 词: 陨石; 南极; 格罗夫山; 陨石富集区; 南极考察

中图分类号: P185.83 文章编号: 1007-2802(2015)06-1081-09 doi: 10.3969/j.issn.1007-2802.2015.06.001

The Status of Antarctic Meteorite Research in China and the Prospect on Its Development

MIAO Bing-kui

1. Guangxi Key Laboratory of Hidden Ore Deposits Exploration, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China;
2. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China

Abstract: Antarctic meteorite not only is the precious resources for scientific researches, but also has the great significance of getting insight into the evolution history of the ice sheet. Since the 15th Chinese Antarctic Research Expedition in 1998, Antarctic meteorite survey in China has been gotten a great breakthrough, Grove Mountains are found as a new meteorite concentration with more than 12 000 meteorites collected, hence China has been one of the biggest countries with antarctic meteorites. However, Chinese work on antarctic meteorite survey has a certain disparity from the modern countries e.g. USA. In order to achieve the long-term targets of Chinese Antarctic Research Expedition and make arrangements of the thirteen-five-term planning on the antarctic meteorite research, on the basis of the review of our antarctic meteorite research and the analysis of the problems existed in it, the long-term target of antarctic meteorite research is imagined and the work plan of our antarctic meteorite research in the thirteen-five-term planning period are made in the article.

Key words: meteorite; Antarctica; Grove Mountains; meteorite concentration site; Antarctic expedition

陨石是天上掉下来的岩石或合金, 来自于太阳系地球之外的不同星体, 既有火星和月球等行星, 也有灶神星等小行星, 甚至古老小行星的碎片。它是探索太阳系起源和演化的重要窗口, 是科学研究样品中的珍宝(欧阳自远, 1988; 王道德等, 1993)。陨石降落事件非常罕见, 另外, 地球富含氧气和水, 富含金属的地外岩石非常容易风化难以保存, 所以, 陨石非常难得, 极其珍贵。南极是一个极其寒冷干燥的冰封大陆, 陨石降落在冰盖的冰层中很不容易风化, 可以保藏很长时间, 南极陨石的居地年

龄可高达 280 万年, 就是重要的例证(Harvey, 2003)。1969 年日本南极考察队在大和山区(Yamato Mountains)发现了 9 块不同类型陨石, 揭示了南极陨石富集机制。此后的几十年, 日本、美国、中国、欧洲联队、韩国等在东南极冰盖周边地区收集了近 5 万块陨石, 发现了 50 多个陨石富集区。因此, 南极是名副其实的陨石“宝库”。1998 年中国在南极内陆格罗夫山考察时, 首次发现了 4 块南极陨石, 从此揭开了中国南极陨石考察的序幕(陈晶等, 2001)。至今, 中国开展了 6 次格罗夫山综合考察,

收稿日期: 2015-10-18 收到, 2015-11-06 改回

基金项目: 国家自然科学基金基金项目(41173077, 40673055, 40473037); 极地标本资源共享平台(2005DKA21406-9)

第一作者简介: 缪秉魁(1966-), 男, 教授, 研究方向: 天体化学、行星科学。E-mail: miaobk@glut.edu.cn.

共收集陨石 12 037 块,已成为南极陨石大国(缪秉魁,2014)。南极陨石搜寻也成为中国南极考察的亮点项目之一(缪秉魁等,2012)。6 次格罗夫山陨石收集情况表明,近二次考察发现陨石的数量大幅度减少,陨石样品的块度也明显减小(缪秉魁,2014)。格罗夫山是南极富集程度最高的陨石富集区,虽然还具有良好的陨石潜力,但搜寻难度肯定越来越大。如果期望陨石收集进一步扩大成果,仅仅局限于格罗夫山地区是不够的,非常必要迈出格罗夫山,走向全南极。为了加强中国南极陨石库建设,充分发挥南极陨石作用,本文总结中国南极陨石发现和收集历史、陨石管理经验,分析中国南极陨石工作存在的问题,下一步南极陨石工作方向,提出发展设想,为南极陨石考察十三五规划提供依据。

1 南极陨石的科学意义

南极陨石的发现对天体化学和行星科学的发展产生了巨大推动作用,这不但为科学研究提供了丰富的样品,而且还发现了许多特殊类型陨石,如存在火星生命遗迹争议的 ALH84001 火星陨石(Harvey,2003)。40 多年来,日本和美国是南极陨石考察最成功的国家,分别收集了近 2 万块陨石样品。中国南极陨石工作起步晚,但非常成功,发展速度快,仅仅 6 次南极陨石考察,就收集了 12 000 多块陨石样品,数量上仅次于日本和美国,位列世界第三。此外,意大利和欧洲联队发现了 500 多块,韩国发现了 200 多块(缪秉魁等,2012)。日本发现的陨石富集区主要集中在东南极大和山区,而美国发现的陨石富集区主要分布在南极横贯山脉(Transantarctic Mountains),至今,南极陨石富集区共发现 50 多处。南极陨石富集区一般分布在东南极冰盖边缘地区,是冰流受到山脉阻拦的地区,这些地区都出现蓝冰或碎石带。南极陨石考察两个主要成就:一是 5 万块陨石样品,二发现了 50 多个陨石富集区及其富集规律。中国发现了一个陨石富集区——格罗夫山,并收集了 12 000 多块陨石。

为什么南极富集这么多陨石?这是因为东南极大陆有一个巨大的冰盖。南极冰盖有近千万年的历史,低温的冰层极易保持陨石,南极陨石最大的居地年龄达到 280 万年,也就是说,280 万年前掉在冰层里面的陨石保留到现在。因此,南极冰盖可以保存数百万年以来太空降落下来的陨石(缪秉魁等,2012)。另外,南极冰盖还存在陨石富集机制,这种机制是通过冰盖中冰川的运动使分布稀疏的

陨石在东南极四周和横贯南极山脉山前的蓝冰区或冰碛中富集起来。再者,在蓝冰上陨石非常容易被发现。

南极陨石是珍贵的科学资源,对于天体化学和行星科学研究具有重要的科学价值(王道德等,2005)。陨石来自于地外太空,是太阳系演化历史重要的见证者。在实验室通过陨石可以直接分析和研究太阳系的演化历史,比如太阳起源的早期星云的状态、太阳星云的热事件、小行星-行星的演化过程及其岩浆作用。另外,由于南极寒冷、干燥、洁净,南极陨石具有不同于其他地区陨石的特性(Harvey,2003):①南极保存陨石时间长,它能反映数百万年来降落到地球的陨石情况;②南极是一个洁净的大陆,陨石样品未受到污染,是研究太空生命演化的理想对象,比如火星陨石 ALH84001 生命遗迹的争议;③南极陨石类型齐全,而且能反映其母体的源区数量和比例;④南极是收集宇宙尘的理想地区;⑤南极陨石记录了南极冰盖演化历史。

在南极冰盖上发现大量陨石是非常突然的,不存在漫长过渡的过程。1969 年之前,南极仅发现 4 块陨石,这些陨石没有表现出南极存在陨石富集规律的迹象和信息。直到 1969 年,日本南极考察队在大和山区考察时,在同一蓝冰区域发现了 9 块不同类型陨石,它们不属于一场陨石雨,这说明是冰流作用把它们从不同地方汇集到一起,这就是陨石富集机制。此后,陨石收集成为日本、美国、欧洲等国南极考察的重要项目或亮点项目。

为什么国际上积极开展南极陨石考察?主要基于如下几方面原因:(1)南极陨石资源极其有限,随着各国在富集区的不断搜集,陨石资源显然是急剧下降,虽说南极陨石在富集区会不断产生富集,但这是一个漫长的时间过程,所以,南极陨石其实是不可再生的有限资源;(2)南极陨石具有更高的科学价值,在南极富集区发现的陨石是漫长的冰川作用形成,它们代表了很长时间陨石降落事件,另外,在蓝冰表面陨石容易识别和辨认,收集到的陨石样品比较全面和系统,小的可以在 1 g 以下,因此,南极陨石能很好地说明历史时期地球陨石降落通量,同时陨石类型齐全也能较全面反映太阳系的物质组成;(3)南极陨石样品新鲜无污染,是其他大陆陨石所无法比拟的;(4)南极陨石也是指示南极冰盖的运动和演化历史的“时钟”;(5)是深空探测的预先研究和对比研究的重要样品;(6)微陨石的收集,微陨石是小于 1 mm 的地外固体物质,一般有 2 种类型原始微陨石(陨石屑)和消融型宇宙尘,这

些对我们探索和研究太阳系成分 also 具有重要意义。综上所述, 南极陨石是珍贵的科学样品资源, 也是冰盖演化的重要指示。

南极陨石是中国南极考察的重要成果, 一方面中国收集一万多块陨石, 成为南极陨石大国, 另一方面, 发现了新的陨石富集区——格罗夫山。因此, 南极陨石开拓了中国南极考察的新领域, 成为中国特色南极考察项目之一(缪秉魁, 2014)。在国家自然科技资源平台项目的支持下, 中国极地研究中心建立了陨石库和网络共享平台, 这为充分发挥南极陨石科学价值和社会价值起到了关键作用。在上个世纪, 由于陨石样品的约束, 中国天体化学的发展缓慢, 这十多年来大量南极陨石样品极大地促进了中国天体化学的发展。此外, 南极陨石也对中国深空探测计划研究起到了促进作用, 尤其是为深空探测计划预研究提供了科研样品。

2 格罗夫山陨石考察

2.1 格罗夫山陨石考察历史

与国际南极考察发达国家相比, 中国 1984 年才开始南极考察, 南极考察起步非常晚, 但发展速度快, 在短短 30 年时间, 取得了辉煌成就, 其中建立 4 个考察站(长城站、中山站、昆仑站、泰山站)、发现了南极制高点冰穹 A(Dome A)、开展了普利兹湾冰架和中山站-冰穹 A 之间的断面考察、建立格罗夫山自然保护区。

1989 年, 中国在东南极边缘拉斯曼丘陵建立了中山站, 为开展内陆考察提供基地。经过充分的准备, 1997 年第 13 次南极考察队从中山站出发向南极内陆挺进了 300 km。1999 年第 15 次南极考察队开展了格罗夫山考察, 发现了 4 块南极陨石, 从此揭开了中国南极陨石考察的序幕(据宜太和刘小汉, 2000, 2002), 此后, 中国南极考察队开展了 5 次格罗夫山考察, 共收集陨石 12 037 块, 使中国成为拥有南极陨石最多的国家之一, 仅次于日本和美国。

虽说在蓝冰上很容易识别陨石, 但是寻找和发现陨石的过程是非常曲折和艰难的。这是因为陨石的分布不均匀, 而且受冰流运动的影响严重。1999 年, 首次在格罗夫山发现的 4 块陨石是考察中偶然遇到的, 这 4 块陨石属于不同类型。次年, 第 2 次格罗夫山考察时, 考察队开展专门寻找陨石的“风暴行动”, 经过两个星期的努力, 仅发现了 28 块陨石, 其中一块火星陨石 GRV99027(据宜太和刘小汉, 2000, 2002)。2002 年中国南极陨石专家委员会研究讨论后指出, 格罗夫山是一个陨石富集区, 应

该能找到和发现更多的陨石样品, 同时建议, 2002 年第 19 次南极考察队再次考察格罗夫山, 陨石收集是这次考察的核心任务(据宜太和缪秉魁, 2005)。这次考察, 野外陨石考察共开展了 34 天, 陨石发现过程非常曲折, 大致可分为 3 个阶段: 第 1 阶段(2002 年 12 月 20~31 日, 摸索阶段)在阵风悬崖南段发现 41 块陨石, 由于缺乏经验, 野外考察非常艰难, 为了寻找陨石富集区域, 考察队冒着风险对不同冰流位置的蓝冰区进行踏勘, 因此, 个别队员还掉进冰缝; 第 2 阶段(2003 年 1 月 1~15 日, 突破阶段), 在阵风悬崖中段收集了 2684 块陨石, 这次突破性进展是由于“冰碛型”陨石的发现。这些陨石样品主要发现于碎石带, 陨石样品大部分缺乏熔壳; 第 3 阶段(2003 年 1 月 16~22 日, 丰收阶段), 在阵风悬崖北段收集 1723 块陨石, 发现了最富集陨石的区域, 找到了真正的“陨石窝”, 其中在 100 m 左右的范围内收集了 300 多块陨石。这次考察共收集到 4448 块陨石, 陨石考察取得了重大突破, 这主要归功于发现了缺乏熔壳的“冰碛型”陨石和发现了陨石分布规律。

2005 年, 第 22 次南极考察队对格罗夫山开展了第四次考察, 这次考察陨石搜寻工作主要在阵风悬崖中段和北段, 陨石搜寻再次获得丰收, 共收集到 5354 块陨石(Lin *et al.*, 2006)。2009 年和 2013 年, 第 26 次南极考察队和第 30 次南极考察队分别发行了 1618 块和 587 块陨石(缪秉魁等, 2012; 缪秉魁, 2014)。第 30 次考察队对格罗夫山西部、北部、和西北部的蓝冰区开展了陨石踏勘和搜寻, 但未发现陨石。

2000 年第 16 次南极考察队归国后, 中国极地研究中心安排专人负责保管陨石样品, 当时由中国南极陨石专家委员会组织中国科学院广州地球化学研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院地球化学研究所、中国科学院国家天文台等单位联合开展陨石分类工作。2003 年, 因收集陨石样品数量巨大, 中国极地研究中心建立了南极陨石库, 在中国陨石专家委员会的指导下, 制定了南极陨石库的相关管理制度和陨石样品分配的方法(缪秉魁等, 2008)。2006~2008 年, 在国家自然科技资源共享平台建设项目的支持下, 极地中心开展了极地标本南极陨石库及其共享平台的建设, 并向国内外科研单位和国内社会科普宣传提供样品。

2.2 格罗夫山陨石的考察成果

经过 15 年(1998~2014)6 次野外考察, 中国收集了 12 037 块陨石, 一举成为南极陨石大国, 南极

陨石也成为中国南极考察亮点项目。

考察收集的陨石:在格罗夫山开展6次野外考察,均为包含地质、矿产、测绘、冰川等任务的综合考察,除第一次是偶然发现陨石外,其他5次考察陨石搜寻均为主要考察任务(缪秉魁等,2012;缪秉魁,2014)。6次考察先后收集的陨石样品数量分别是4块、28块、4448块、5354块、1618块和587块,陨石总数达12 037块。这些陨石样品,最大4600 g,最小不足0.1 g,平均约10 g。

格罗夫山陨石除了月球陨石和少数特殊类型的陨石外,格罗夫山陨石几乎包含了绝大部分的陨石类型,比如火星陨石、灶神星陨石、各种碳质球粒陨石、铁陨石、橄榄陨石、中陨铁、其他无球粒陨石等,但是大部分为普通球粒陨石。

格罗夫山陨石总体比较新鲜,根据已分类的样品,大部分陨石的风化程度属于W1-W2,少数属于W3。根据野外收集产状,格罗夫山陨石可以分为蓝冰型和冰碛型。蓝冰型陨石样品非常新鲜,具有黑色熔壳,部分有风化造成的褐色斑点,而冰碛型陨石样品一般风化严重,大部分熔壳脱离,样品呈深褐色。

新陨石富集区的发现:在横贯南极山脉和东南极周边地区,目前已发现了50多个陨石富集区,这些陨石富集区大多出现在冰盖内部冰川流动受阻的山脉或隐伏山系的地区,那里常发育有大面积蓝冰。陨石富集区常出现数十块乃至数千块陨石样品。格罗夫山已发现了12 000多块陨石,属于南极发现陨石最多的陨石富集区之一,是南极内陆不多见的陨石富集区。格罗夫山是伊丽莎白公主地的岛峰群,发育有500多平方千米的蓝冰区。其地形是从东南向西北逐渐下降的阶梯状,冰流也是从东南冰原台地流向西北方向的兰伯特裂谷。其富集陨石模式不同于常见的山前阻挡模式,而是山后峡谷型模式(缪秉魁等,2012)。

2.3 南极陨石考察的经验

在开始南极考察之初,中国对南极陨石考察确实是缺乏了解的,这是因为南极考察时间短,缺乏经验。但经过南极陨石专家委员会的认真研究筹划和南极考察队的艰辛工作,南极陨石考察发展速度非常快,并取得了辉煌成绩。不但收获了大量的陨石样品,使中国成为南极陨石大国,而且发现了一个新陨石富集区。通过格罗夫山陨石考察,我们对南极陨石考察还掌握了一些重要经验:

第一,了解和掌握南极陨石的分布和富集特征,能分析潜在的陨石富集区。南极陨石的分布和

富集与冰川流动和地形特征密切相关,一般而言,蓝冰的分布是陨石富集和发现的前提和条件,但是,蓝冰出现不一定能找到陨石。蓝冰区的形成是因冰流受阻和因下降风产生的蓝冰的蒸发消融作用强烈所致。而陨石富集则要求该区域曾发生过长时间大量冰川消融。根据考察工作和研究分析,南极陨石考察的区域选择的要素主要有:(1)蓝冰和山系或隐伏山系的出现;(2)存在一定冰流域(Ice Streams)(图1);(3)分布有冰碛或碎石带;(4)冰流速度慢;(5)蓝冰区多为凹地。

第二,陨石野外考察的装备逐步完善,现在在中山站已有满足10人的考察装备,其中3辆雪地车、3个仓(生活舱、住宿仓、发电仓)、雪地摩托车2辆。

第三,建立了陨石野外考察和收集程序:①对未知蓝冰进行踏勘,对是否存在陨石或陨石富集程度进行初步评价;②根据地形和积雪的分布对待考察的蓝冰区进行区划,再逐一对不同区块的蓝冰进行拉网式搜寻。陨石的收集程序主要是GPS定位、拍照、记录、包装、标签等,包装过程要求使用镊子或戴实验用塑料手套,整个过程要求不能污染样品。

第四,掌握了野外陨石的识别技巧。新鲜陨石因典型黑色熔壳非常容易识别,但是南极陨石常常因风化变色或者熔壳脱落就不容易判断。一般而言,南极野外判断陨石的依据主要有颜色、形态、球粒、金属磁性、冲击熔脉等,但判断陨石的关键应该是陨石内在的质地和结构。

第五,人才队伍的培养。经过了多次南极考察,中国已经培养了一些陨石考察专业人员,他们对南极陨石考察具有一定的经验,能够组织、设计和执行陨石野外考察。

3 南极陨石管理

3.1 南极陨石的管理

为了充分发挥珍贵的南极陨石科学资源的作用,专业科学的陨石库建设是非常必要的。2003年第19次南极考察队带回了4448块陨石样品,经中国南极陨石专家委员会的倡议,中国极地考察办公室安排在中国极地研究中心建立专业的陨石库。南极陨石的管理实行多级管理,中国极地考察办公室对陨石拥有所属权,中国极地研究中心负责陨石的日常具体管理工作,中国陨石专家委员会组织开展陨石研究,南极陨石的申请和使用面向国内外。同时,陨石专家委员会制定了相关管理规定,如《中国南极陨石样品的管理、申请及使用条例》、《南极

陨石样品的回收、保存及制样规程》、《中国南极陨石分类规范》等。

2006~2008年,在国家自然资源平台建设项目支持下,中国极地研究中心开展了极地标本资源库的建设,其中包括陨石库。陨石库的建设还包含了陨石资源共享平台(<http://birds.chinare.org.cn/yunshiku>)。陨石库和共享平台建设由中国陨石专家委员会领导下的国内相关研究人员进行技术支持。每年开展了二次陨石样品申请工作,目前,网络共享平台已公布了2695块陨石,向国内外专家和单位提供样品服务。

3.2 陨石基础分类研究

基础分类工作是陨石深入研究的前提和条件,也是陨石库管理的基本工作内容。自首次发现4块格罗夫山陨石以来,中国一直不断开展南极陨石分类工作,逐步积累经验,现已基本形成陨石分类的程序和标准(缪秉魁和王道德,2008)。陨石分类历史大概可以分为4个阶段。第1阶段,1998年首次发现的4块格罗夫山陨石是个人完成分类的(陈晶,2001)。第2阶段分类程序建立阶段,2000年收集的28块陨石和51块2003年收集的代表性陨石分类则是在陨石专家委员会组织下由4家单位共同完成(秦为稼和王道德,2008)。这79块陨石每块样品分切4个切片,然后4家单位独自对这些陨石进行分类研究工作,然后,共同讨论确定陨石类型。这个阶段不但为后期陨石分类工作积累了经验,建立了有关标准,而且也为后期陨石研究培养人才。第3阶段极地标本资源共享平台建设阶段,2006~2008年,在国家自然资源平台建设项目支持下,中国极地研究中心组织国内中科院地质与地球物理研究所和桂林理工大学等8家单位开展陨石分类工作,三年分别开展了600块、800块和900块陨石分类研究工作(秦为稼和王道德,2008)。这次陨石分类工作程序是,各单位独立完成陨石的分类研究、类型划分和陨石命名,分类结果由陨石专家委员会分类工作组进行检查,再由陨石库统一向国际陨石学会申报命名。当陨石类型及其命名获得国际陨石协会的批准后,陨石的相关信息再上传到网络共享平台,向国内外科研人员和单位公开以便查询和申请。这次陨石分类工作速度快,成效高,为陨石库和网络共享平台建设起了重要作用。然而,由于多家单位的资质和研究实力的差异,这个阶段分类工作质量存在一些不平衡。第4阶段,目前是陨石库和共享平台已进入正常运转和日常维护状态,由于经费不足,从2011年至今只逐步开展

适量的陨石分类工作。

4 南极陨石的富集区分布及陨石潜力分析

4.1 南极冰盖冰川流动规律

在地理上,南极沿横贯南极山脉分成东南极大陆和南极半岛二部分。整个南极东西两部分都被厚厚的冰层所覆盖。南极陨石的富集与冰盖中的冰流密切相关。根据冰流的运动,东南极大陆可以划分为11个冰流域(Ice streams)(图1)。在不同冰流域之间都存在一个分水岭。每个冰流域的冰流或冰川汇聚流向南极大陆四周,最后流向海洋。根据冰流域出口大小与冰流面积关系,冰流域可以分为汇聚型和开放型,前者为冰流面积大出口小的冰流域,后者为冰流面积相对小出口大的冰流域。I号、II号和XI号冰流域流向横贯南极山脉,它们的出口,由于山脉或隐伏山系的阻挡,出现一些非常缓慢的区域,而且出现蓝冰区。其他冰流域主要在东南极东侧边缘地区。

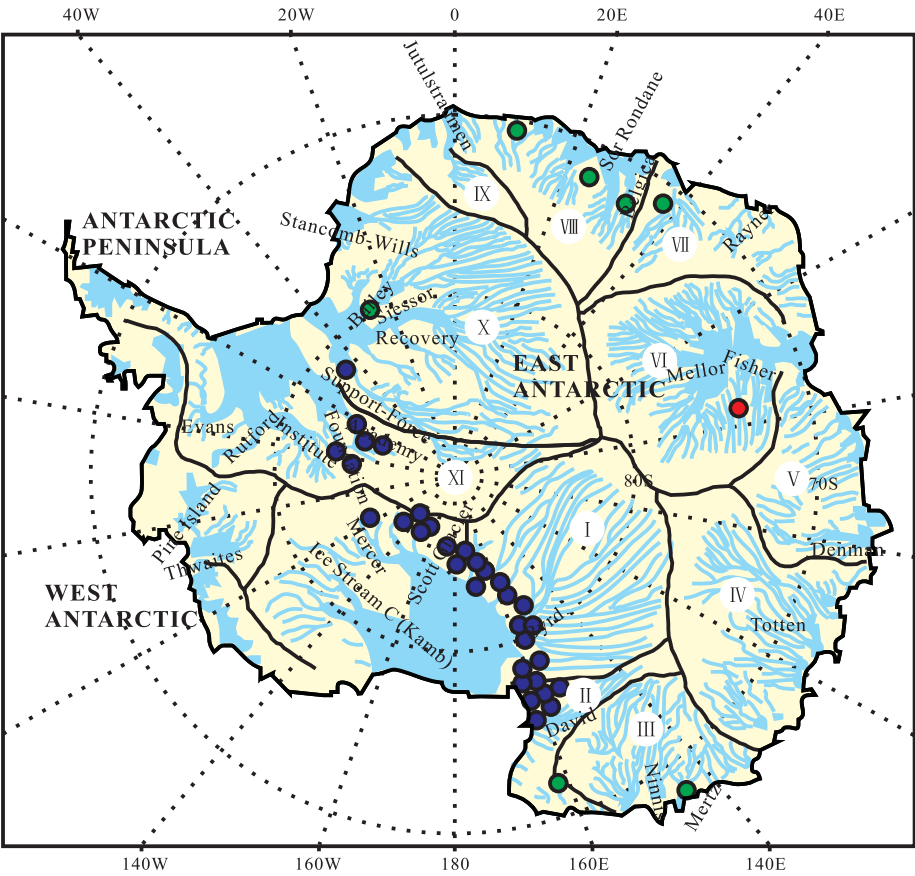
所有的陨石富集区都分布在这些蓝冰区,显然,这是因为冰流域的出口的山脉阻挡,大量的冰流汇聚产生消融,而冰流中的陨石则被搁浅在冰层表面。因此,寻找南极陨石或陨石考察必须根据这些冰川流动规律在冰流域出口附近地区进行。

4.2 南极陨石富集区的分布

经过几十年的陨石搜寻,国际上在南极共发现了50多个陨石富集区。这些陨石富集区分布在2个主要区域:横贯南极山脉地区和东南极东侧边缘地区。陨石富集区大部分分布在横贯南极山脉,这个区域陨石富集区多达四十几个。而其他东南极大陆边缘地区陨石富集区则数量少得多,不到十个。在十一个冰流域中,I号、II号、III号、VI号、VIII号、X号、XI号等七个冰流域分布有陨石富集区。其中I号、II号、VIII号和VI号四个冰流域的陨石富集区多于4个,它们陨石富集区数量超过南极总数90%以上。而III号、VI号、X号3个冰流域分别仅有1个陨石富集区。根据陨石收集数量,横贯南极地区(即I号、II号、XI号冰流域)的陨石富集区发现陨石数量近20 000块,VIII号冰流域陨石发现总数17 000多块,VI号冰流域发现陨石数量12 000多块。根据陨石富集区分布特征分析,发现陨石富集区与冰流域之间存在如下关系:

(1)每个冰流域陨石富集区数量大体上与冰流域的大小有关,如I号冰流域。

(2)一个陨石富集区的陨石富集程度与后方冰



东南极有 11 个冰流域(编号为 I ~ XI),蓝色圆点、红色圆点、绿色圆点分别代表美国发现的陨石富集区、中国发现的陨石富集区和日本及其他国家发现的陨石富集区

图 1 南极冰川流动和陨石富集区的分布图(冰川流动据 www.antarcticglaciers.org 的冰流图修改)

Fig.1 Map of ice streams of Antarctica and meteorite concentration sites(The ice streams pattern from www.antarcticglaciers.org)

流域汇聚面积相关,冰流域汇聚面积越大陨石富集程度就越高,数量就越多。

(3)陨石富集区分布与冰流域的类型也存在一定相关关系,汇聚型的冰流域有利于陨石的富集,而开放性冰流域则不利于陨石的富集。

4.3 南极陨石的潜力区

根据南极陨石富集特征,每个冰流域受到山脉阻挡,都有可能产生陨石的富集,但根据冰川消融的时间,陨石富集程度应该存在很大差异。目前,大部分横贯南极山脉地区和部分东南极周边地区都开展了陨石搜寻工作,并发现了如前节所述的陨石富集区。根据冰流运动和相关山脉岛峰的分布特征分析,东南极大陆重要的陨石潜力区如下:

- (1)查尔斯王子山(Charles Prince Mountains)。位于VI号冰流域,该地区岛峰林立,蓝冰区发育,而且大量冰流从岛峰间流过,具备陨石富集区的基本特征。另外,该流域已经发现了格罗夫山陨石富集区。因此,查尔斯王子山是最有希望的陨石潜力区。
- (2)维多利亚地(Victoria Land)。位于横贯南

极山脉的西北端,该地区山脉岛峰非常发育,岛峰间的蓝冰和冰碛也很广泛,其中已发现一些陨石富集区,但该区域还有大面积的蓝冰未开展陨石搜寻。因此,该地区也是理想的陨石潜力区。

(3)科茨地(Coats Land)。位于威德尔海东侧,临近菲尔希纳冰架。该区域有不少的岛峰,其间伴有蓝冰区,目前尚未有该区寻找陨石的记录。该区域值得去探索和搜寻。

(4)恩德比地(Enderby Land)。位于东南极大陆东侧边缘地区,该区域岛峰非常发育,蓝冰区也发育,也是理想的陨石潜力区。

5 中国南极陨石发展规划

5.1 现状与问题

十多年来,中国在格罗夫山地区完成了 6 次综合考察,其中陨石搜寻项目取得了重大突破,取得的成绩归纳起来有如下几点:(1)发现 12 000 多块陨石样品,成为南极陨石陨石大国,在数量上仅次于美国和日本;(2)发现了新的陨石富集区;(3)掌

握了南极陨石考察的经验;(4)建立了南极陨石库。然而,从发展眼光看,中国南极陨石考察还存在如下问题:

(1)中国南极陨石库正在逐步建设和完善,然而,陨石样品的数据和质量还有一定的不足和缺陷,与美国和日本的南极陨石收藏相比,中国南极陨石中特殊类型陨石和质量大的陨石数量明显不足,对天体化学行星科学以及相关科学研究发展会有不利的影响。

(2)格罗夫山陨石数量大,随着陨石搜寻次数的增加,近两次考察发现的陨石数量和质量急速下降,陨石考察效率也明显降低。因此,今后仅在格罗夫山搜集陨石不利于南极陨石事业的发展。

(3)中国南极陨石考察一直仅作为格罗夫山考察的一项工作内容,尚未独立组队或设立一个考察专项。每次格罗夫山考察仅派遣一名陨石队员参与考察,野外陨石搜寻任务一个队员难以独立完成,只有在其他队员配合下完成。然而,这种工作方式存在一些弊端,一方面,非陨石专业队员都有各自的野外考察执行任务,由于陨石工作影响了他们自己的任务,为此,他们对陨石考察的积极性不高。另一方面,由于非专业的原因,陨石考察中完成任务的质量不是十分理想。

(4)南极陨石考察的重要意义不仅仅是收集陨石样品,从长远看,陨石富集区的分布能指示南极冰盖的运动演化历史。因此,陨石富集规律及其冰流机制研究是南极陨石考察工作的重要内容。然而,由于陨石考察的人力不足,这些年陨石考察基本是搜寻陨石为主,而对陨石富集规律及其冰流机制研究明显不足,仅限于陨石分布规律分析。

(5)南极是一个特殊的研究工作环境,野外考察必须要有经验带领下才能完成,因此,陨石考察工作必须要有‘传-帮-带’机制培养出一批陨石考察专业人员。然而,每次格罗夫山考察仅有一名陨石队员,这样,难以培养南极陨石考察的后备人才,另外,野外考察经验也难以积累和继承。

(6)南极微陨石的收集开展了尝试性的工作,但未列入南极陨石考察的常规任务目录。

5.2 十三五规划和未来发展设想

为了实现中国南极考察的长远规划和布局,成为南极考察大国,必须加大科学考察和研究的力度。一方面要扩大我们的科考范围,另一方面要凝练重大科学问题或者寻求南极科学考察与研究的创新领域。毫无疑问,南极陨石是一个重要的科学领域,美国 30 多年持续开展陨石考察和取得的成果

就是充分说明了这一点。基于中国南极陨石考察和研究现状,伴随着中国综合国力的提升,为了进一步争取在南极的利益,更为了更好地促进空间科学研究和南极科学研究的发展,迫切需要加大我们南极陨石考察和研究的投入,进一步激励广大的青年研究者投入陨石研究的队伍。立足于中国南极考察长远的发展目标,结合上述南极陨石考察的经验和问题分析,中国南极陨石考察的发展目标和十三五规划的初步设想如下:

(1)设立南极陨石专项,加大南极陨石搜寻力度,开展南极陨石与南极冰盖演化历史研究。

在仅半个世纪里,日本和美国在南极持续开展南极陨石考察工作,它们发现了 50 多个陨石富集区,收集了 4 万块左右的陨石样品。虽然南极可发现大量陨石,但作为自然资源,南极陨石毕竟是有限的,也是不可再生的。目前东南极周边大部分有利于陨石富集的地区,日本和美国已经开展了详细的野外搜寻工作。显然,有利于找到陨石的富集区剩下的越来越少,因此,中国亟待加快陨石考察工作步伐,以免错失良机。另外,陨石对南极冰盖演化历史具有重要指示意义,南极陨石考察与冰川地理信息研究相结合是研究南极冰盖演化历史的重要切入点,为此,南极陨石考察对促进南极科学研究具有重要意义。由于陨石考察机动性大考察范围广,陨石考察有利于扩大中国南极考察活动范围,有利于提高南极科学成果,这完全符合中国南极发展战略。此外,设立南极陨石专项,继续开展陨石考察,发现和收集更多的南极陨石,将有效地充实南极陨石样品库的陨石样品,对充分发挥陨石库的科学研究价值和社会科普价值起到关键作用。

设立南极陨石专项是可行的。中国南极陨石已在格罗夫山取得成功和突破,同时还派出专业人员参加了美国陨石考察队,因此,南极陨石考察专项具备人员条件并积累了一定的经验。经过了 6 次格罗夫山综合考察,在南极内陆开展陨石野外考察上技术方法和手段也是成熟的。在装备上,南极陨石专项考察要求相对较低,野外考察的主要装备是雪地摩托车、帐篷等生活用具、GPS 卫星定位记录仪和样品保管箱等,而且这些装备在质量上都比较轻,采用小型飞机就可以完成运输。在支撑成本上,雪地摩托车由考察站配备和提供,其他装备则由专项自行购置,总体经费支持难度不大。

中国开展南极考察已经 30 多年,建立了‘4 站一船一中心’的后勤保障体系。在十三五期间,中国南极考察还将增设维多利亚考察站和建立考察

航空运输体系。因此,随着中国考察站的分布规划和未来航空运输网等后勤保障的完成,中国南极考察范围将会扩大到大部分南极地区,这能保障南极陨石专项的顺利完成。

南极陨石考察的主要目标是收集陨石,同时发现陨石富集区及研究陨石富集规律。近年来,微陨石也成为南极陨石考察的重要内容。不同时间降落的南极陨石往往是经过冰川运动产生富集的,它往往反映了冰川演化历史。因此,中国南极陨石考察的目标是寻找和收集陨石和微陨石,发现新的陨石富集区,同时进一步研究南极冰盖演化历史。

(2) 成立南极陨石考察队,提高考察成效。

没有专业队伍就难以获得理想的工作效果。有了专业队伍,就可以充分开展野外考察前的靶区研究,这样,就可以有的放矢,野外考察工作就有可能取得理想成效。虽然经过这些年考察,已经掌握了寻找陨石的经验。但是,国内参加过南极考察的陨石专业人员仅有3~4人,如果不及时培养后备人员,中国南极陨石考察队伍可能出现后继无人的状况。因此,要尽快组织和培养陨石考察专业队伍。

为了顺利执行南极陨石专项的任务并取得优异的成绩,成立南极陨石考察的专业队伍是非常必要的。一方面,南极陨石专项需要开展前期预研究,研究南极冰盖中冰流域冰川的流动方向,发现可能的陨石富集区;另一方面,南极陨石野外考察活动范围大,探索性很强,需要具有一定南极野外经验的队员,同时,也需要队员具备一定南极陨石的鉴定能力。

为了顺利完成陨石专项任务,稳定的专业队伍是重要的工作基础。南极陨石考察中专业人员的培养不但需要传帮带,也需要稳定的核心人员。南极陨石考察队设立一名队长,成员一般为6~8人,在十三五期间考察队成员可以压缩至4~5人。南极陨石专项负责人负责南极陨石考察前期预研究、野外陨石考察计划制定、和考察队组队和队员挑选等工作。陨石专项负责人和队长人选应是陨石研究的专业人员,具备专业的陨石鉴定技术,具有丰富的南极野外考察经验和良好的野外考察组织能力。考察队员人选基本要求是陨石专业人员或相关专业人员,其他要求由极地办相关队员的文件确定。每次野外考察一般要求2~3人为具有南极陨石考察经验的老队员。

(3) 南极陨石十三五规划的设想

目标与任务:(1)设立南极陨石专项或成立南极陨石专业考察队;(2)利用高分辨卫星影像图开

展冰川和碎石带的分布特征分析,圈定陨石富集的有利区域;(3)利用直升飞机,对陨石富集的有利区域进行现场踏勘和验证;(4)对踏勘中发现陨石的区域,开展详细的陨石搜寻和冰川地理观察;(5)分析和总结陨石富集规律和冰川流动机制之间的关系;(6)微陨石的收集。陨石考察项目的关键:新的陨石富集区的发现和冰盖演化的初步规律研究。

考察区域:十三五规划期间,计划南极陨石考察的区域包括:①格罗夫山-拉斯曼丘陵及普利兹湾沿岸地区。格罗夫山地区仍需要开展陨石考察和陨石富集机制研究;经过现场考察分析,南极拉斯曼丘陵(中山站附近)存在陨石富集的基本条件,例如蓝冰碎石带和格罗夫山地区相似;②查尔斯王子山地区,该地区岛峰林立,冰流受阻严重,蓝冰区域发育,是一个理想的陨石富集区;③维多利亚地地区,该区山脉绵延,南极冰川被完全阻挡,形成大量的蓝冰区,冰川在山谷间消失,留下了大量的冰碛,美国等考察队在该区域已发现若干个陨石富集区,由于该区域面积大,仍存在大量未搜寻区域,依然是一个良好的陨石潜在区。

考察进程:第一步,对查尔斯王子山地区、普利兹湾沿岸地区开展航空踏勘或探索性考察,确定进一步开展陨石搜寻的重点区域;第二步,对确定的陨石富集预测区开展陨石野外考察;第三步,对维多利亚地山区与冰川交汇的地区开展踏勘,圈定陨石远景预测区;第四步,重点对远景预测区的冰碛或碎石带开展陨石搜寻;第五步,在搜寻陨石的同时,开始南极冰川地理和冰盖演化历史考察;第六步,在陨石考察区域、泰山站和昆仑站等位置开展微陨石搜寻工作。

致谢:南极陨石考察工作和南极陨石库的建设是在国家极地考察办公室和中国极地研究中心的领导和组织下完成的。本文工作也得到了刘小汉研究员、林杨挺研究员、李院生研究员、张洁等的大力支持。另外,论文得到了匿名专家的评审和建议。在此一并致谢。

参考文献 (References):

- Harvey R. 2003. The origin and significance of Antarctic meteorites. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 63(2): 93-147
- Lin Y T, Ju Y T, Xu X X, Pan M R, Huang F X, Fang A M, Li J Y, Liu X B, Pen W J, Hu J M, Chen X. 2006. Recovery of 5354 meteorites in grove mountains, Antarctica, by the 22nd Chinese Antarctic research expedition. *Meteoritics & Planetary Science*, 41(Suppl): 5102

陈鼎, 刘小汉, 琚宜太, 徐军, 阎允杰. 2001. 我国首批回收的四块南极陨石类型的确定. 岩石学报, 17(2): 314-320

琚宜太, 刘小汉. 2000. 格罗夫山地区陨石回收. 极地研究, 12(2): 137-142

琚宜太, 刘小汉. 2002. 格罗夫山地区陨石回收概况及展望. 极地研究, 14(4): 248-251

琚宜太, 缪秉魁. 2005. 南极格罗夫山于 2002~2003 年搜集 4448 块陨石: 新陨石富集区的证实. 极地研究, 17(3): 215-223

缪秉魁, 王道德. 2008. 南极格罗夫山陨石的分类及其研究意义. 极地研究, 20(2): 95-104

缪秉魁, 欧阳自远, 林杨挺, 肖龙, 黄定华, 何琦. 2008. 我国南极陨石研究的新进展. 地质科技情报, 27(1): 13-19, 30

缪秉魁, 林杨挺, 王道德, 欧阳自远. 2012. 我国南极陨石收集进展

(2000-2010). 矿物岩石地球化学通报, 31(6): 565-574

缪秉魁. 2014. 南极陨石考察现状及其发展战略设想. 中国极地年会论文摘要集, 2014: 224-226

欧阳自远. 1988. 天体化学. 北京: 科学出版社

秦为稼, 王道德. 2008. 南极陨石目录与图集-格罗夫山·第一辑. 北京: 海洋出版社

王道德, 陈永亨, 刘京发, 李肇辉, 易惟熙, 林杨挺, 胡瑞英, 黄婉康, 戴诚达. 1993. 中国陨石导论. 北京: 科学出版社: 505

王道德, 缪秉魁, 林杨挺. 2005. 陨石的矿物-岩石学特征及其分类. 极地研究, 17(1): 45-74

(本文责任编辑: 龚超颖)

· 博文荟萃 ·

世界大米镉含量和超标情况

□ 朱炳泉

从有关报道看,广东地区大米抽检出现达 10%到 44%镉超标,引起了人们对食品安全的关注与不安。其实湘南-粤北地区大米镉含量高已是多年存在的事实。湘南-粤北地区土壤镉背景高,有色金属矿也多。矿山开发中不注重环境保护,使土壤重金属背景进一步增高,因此该地区大米镉含量明显高于中国其他地区。由于过去 FAO/WHO 和中国的大米镉标准在1 mg/kg, 因此镉超标现象不是很突出。但 2006 年后 FAO/WHO 食品安全标准大会通过大米镉标准为 0.4 mg/kg,而欧盟和中国的标准定在0.2 mg/kg。这使得湘南-粤北地区大米镉超标成了严重问题。

大米镉超标现象在许多国家和地区都存在。从表 1 可见大米镉含量平均水平很高的国家有日本、印度、斯里

兰卡、孟加拉等国,标超比例也相当高。从文献资料可查,日本土壤平均镉含量是中国土壤的 3~4 倍,超标大米镉含量为 310~910 μg/kg。镉在人体中的积累主要在肾脏内,日本人平均肾脏中镉含量比其他国家高两倍。从平均水平看,亚洲中国、韩国、泰国、印尼、菲律宾,以及欧美地区大米镉含量明显较低,但仍然也有局部地超标的地区,如泰国大米(表 1)。中国地域大,大米镉含量有北低、南高趋向,华南局部地区存在超标,但占全国的比例是很低的,因此中国大米镉标准定得比 FAO/WHO 和许多国家严。解决镉超标问题,日本采用特定试剂淋洗土壤的方法,可使大米镉含量降低 3 倍。但淋洗土壤的方法成本高,同时它的负面影响也难于评估。因此最好还是不要在土

壤镉含量高的地段种大米。中国耕地面积按人口平均虽不多,但当前仍然有许多土壤镉含量很低的良田,由于劳动力成本高而没有种大米,而在种树、种草和作房地产开发。因此我国完全可以通过调整土地利用来解决这一问题。

食品的安全标准是人订的,注意合理的饮食结构也可以防止人体内镉超标。WHO 确定人体摄食镉量的限值为 7 μg/每周每公斤体重,对 60 kg 平均体重的人来说,每天吃 6 两镉含量为 200 μg/kg 的大米是不超标的。然而如果一次吃了一斤壕等贝类食品,作为贝类食品虽可能镉含量不超标(< 2000 μg/kg),但已超过了人体摄食镉量的限值。

表 1 世界主要产米国家大米中镉含量平均值和超标大米范围

地区	镉含量/(μg/kg)	样品数	地区	镉含量/(μg/kg)	样品数	地区	镉含量/(μg/kg)	样品数
中国大陆	15.54	218	孟加拉	99	260	意大利	33.92	15
中国台海	39.55	104	伊朗	350~540	60	法国	17.41	5
印尼	21.77	24	印度	78	58	芬兰	25.8	2
日本	55.70	788	斯里兰卡	81	75	加拿大	29.02	4
日本	75.9	111	印尼	6	14	哥伦比亚	133.20	22
日本超标大米	310~910		尼泊尔	50	15	美国	7.43	20
韩国	15.7	181	菲律宾	20.14	26	澳大利亚	2.67	8
泰国	15.04	13	马来西亚	27.74	97	南非	15.82	6
泰国超标大米	270~589	11	西班牙	0.85	3			

□作者系中国科学院广州地球化学研究所研究员