我国南极陨石研究与展望

缪秉魁^{1,2}, 林杨挺², 王道德³, 欧阳自远⁴

1. 桂林工学院 资源与环境工程系, 桂林 541004; 2. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029;
3. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640; 4. 中国科学院 地球化学研究所, 贵阳 550002

摘要:继 1998~2000 年我国第 15、16 次南极科考队在南极格罗夫山发现 32 块陨石之后, 2002~2003 年第 19 次科考队成立了以回收陨石为中心任务的格罗夫山综合考察分队, 在同一地区成功回收 4448 块陨石。我国的南极陨石回收工作不但实现了零的突破, 而且成为继日本和美国之后拥有南极陨石数量最多的国家之一。通过对第 15、16 次队回收的 32 块陨石以及第 19 次队 4448 块陨石中的 38 块代表性样品的化学-岩石类型划分工作, 除平衡型普通球粒陨石外, 发现了 2 块火星陨石、2 块橄辉无球粒陨石、6 块非平衡 L3 型陨石、4 块碳质球粒陨石和 1 块非平衡型顽辉石球粒陨石等特殊类型陨石。本文主要介绍了南极陨石的回收和研究进展, 以及我国在南极格罗夫山回收陨石的情况和已取得的初步研究成果。同时对我国今后的陨石回收与研究提出初步设想。

关键词:南极; 陨石; 格罗夫山; 火星陨石

中图分类号: P68 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2004)02-0149-06

陨石是来自行星际空间、穿过地球大气层烧蚀后而能残留下来降落到地面的地外固体物质^[1]。除阿波罗登月计划和月球号飞船取回的 382 kg 月岩和月壤样品外, 陨石是人类唯一获得的来自地球之外的岩石样品, 是人类可直接在实验室进行分析, 认识太阳系形成与演化的窗口。虽然每天降落到地球的地外物质约 $10^2 \sim 10^3$ t, 但是大约只有 1% 可降落到地面成为陨石, 绝大部分在穿过大气层时烧毁; 而能被发现并回收的陨石数量则更少, 因为地球表面近 3/4 面积被海洋覆盖, 还有大面积人烟稀少的沙漠、高山和森林^[2]。因此, 陨石是非常稀少而珍贵的科学资源。在南极发现并回收陨石之前, 人类历史上找到的陨石不过几千块。自从 1969 年日本在南极回收 9 块陨石以来, 在南极冰盖上回收的陨石总数已达 32 000 多块^[3], 充分证明在南极冰盖存在非常有效的陨石富集机制, 是富集陨石的特定小区域。由于大量南极陨石, 特别是其中一些特殊类型样品的发现, 近几十年国际上天体化学和陨石学得到了长足的发展。虽然我国在南极进行科学考察起步较晚, 但是发展速度非常快。在最近的三次东南极格罗夫山的考察中, 不仅使我国在南极陨石

回收上实现了零的突破, 数量达到 4480 块, 成为南极陨石拥有量仅次于日本和美国的第三大国。

南极格罗夫山陨石的大量发现, 是我国天体化学和陨石学界继 1976 年吉林陨石雨之后的又一大好机遇。为此, 通过对我国和国际上南极陨石回收和研究情况的综述, 为今后我国开展这方面的工作提出一些建议和设想。

1 南极陨石的回收历史与陨石富集机制

1969 年之前, 南极冰盖上只零星发现了 4 块陨石, 分别发现于 Adie Land (澳大利亚探险队, 1912 年)、Lazarev (前苏联探险队, 1961 年)、Thiel Mountains (美国野外队, 1961 年) 和 Neptune Mountains (美国野外队, 1964 年)。1969 年日本在 Yamato Mountains 地区发现 9 块陨石, 首次意识到南极冰盖可能存在一定的陨石富集机制并可能形成富集区。因此, 日本于 1974 年成立了陨石猎人队专门从事南极陨石搜寻工作, 并于 1974 年和 1975 年在 Yamato Mountains 地区分别回收到 663 块和 307 块陨石, 证实了南极陨石富集机制及富集区的存在。随后, 美国与日本于 1976~1978 年组成了陨石联合回收

收稿日期: 2004-01-29 收到, 02-11 改回

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40232026) 资助

第一作者简介: 缪秉魁 (1966—), 男, 博士, 主要从事天体化学和南极陨石研究。

队,在 Mountain Baldr 和 Allan Hills 地区共回收陨石 321 块。尔后,日本、美国以及欧洲联队分别在南极多次开展回收陨石活动。其中,日本于 1979 年、1998 年和 2000 年在 Yamato Mountains 回收陨石均取得重大突破,分别回收陨石 3697、4136 和 3554 块^[4,5]。

从回收的情况看,南极陨石主要分布在东南极冰盖东侧边缘(主要是 Queen Maud Land 地区)和横断山脉两大区域^[6]。横断山脉的几个陨石富集区是:McKay/David 冰川地区(Allan Hills 蓝冰区、Reckling Moraine/ Elephant Moraine 蓝冰区)、Frontier Mountain 地区、Beardmore Glacier/Law Glacier 地区、Thiel Mountains/Pecora Escarpment/ Patuxent Range 地区。Queen Maud Land 地区有两个陨石富集区:Sir Rondane Mountains 和 Yamato Mountains。我国新发现的陨石富集区位于东南极伊利莎白公主地格罗夫山地区(Grove Mountains)。

陨石之所以在南极富集,有如下几个原因:(1)南极极其寒冷和干燥的特殊气候条件,为陨石长期保存提供了甚为有利的条件。因此,南极陨石的居地年龄可达几十万年,甚至 2.3 Ma^[7];(2)南极的冰盖历史长(据估计可能达到 10 Ma),厚度大(平均厚度约 2300 m),面积辽阔(1400 万 km²),提供了丰富的陨石来源;(3)存在有效的陨石富集机制。据估计,陨石在地球表面的降落概率约 40~60 个/10⁶ km² a^[8],如果南极冰盖中的陨石没有被富集到很小的区域,人类在南极发现陨石的概率就非常低,不可能找到大量的陨石。一部分南极冰盖直接流向海洋,其中的陨石也随之沉入海底,而部分地区因受到潜伏地形障碍(如横断山脉),冰流受阻,蓝冰在下降风的作用下快速消融,从而使陨石“搁浅”而富集。另外,在南极回收陨石的另一有利条件是深色的陨石在蓝冰上易于识别。

2 南极陨石研究

大量陨石的发现大大地促进了陨石学和天体化学的发展,并形成了南极陨石的研究热潮,发现了一些特殊类型的火星陨石和月球陨石。对南极陨石的研究已取得了一系列的丰硕成果,尤其是火星陨石 ALH 84001 中古老生命痕迹的发现^[9]。

(1) 陨石分类研究:陨石化学-岩石类型的划分是研究的基础,是开展其他研究的必需前提。该项

工作的主要任务是研究陨石的岩石结构和矿物学特征,以确定陨石的化学群和岩石类型。

球粒陨石的分类工作主要是研究其球粒结构、基质结晶程度、橄榄石和低钙辉石的成分、Fe-Ni 金属和 FeS 含量、风化程度和冲击程度等特征,以确定其化学群和岩石类型。无球粒陨石的分类工作则主要依据岩石结构、矿物模式组成和矿物成分特征等。铁陨石主要根据 Ni 与铂族金属等微量元素的含量和相关性,以及结构构造特征来划分化学群和类型。

为了了解小行星的类型和组成,人们对陨石类型的分布一直很关注。南极陨石由于数量大、易于回收,因此,最能反映陨石降落的情况。根据美国已分类的南极陨石数据,南极陨石的类型分布特征是以普通球粒陨石为主(约占 91.7%),其它类型不到 10%^[3]。球粒陨石中 H 群、L 群和 LL 群分别为 36.3%、40.1%和 15.3%。

(2) 特殊类型陨石:除了一些常见的陨石外,南极陨石中还出现了一些特殊类型的陨石,如月球陨石、火星陨石、灶神星陨石(HED 族)、非平衡球粒陨石等。从这些特殊类型陨石可获得类地行星以及早期太阳星云形成与演化的重要信息。

火星陨石:最早被确定为火星陨石的是 SNC 族的陨石,即辉玻无球粒陨石(shergottite)、辉橄无球粒陨石(nakhlite)和纯橄无球粒陨石(chassignite)。此外,斜方辉岩(orthopyroxenite)也是重要的火星陨石类型^[10]。辉玻无球粒陨石又可划分为玄武岩质、二辉橄岩质与含橄橄榄石斑晶质三种类型。

上述类型无球粒陨石的火星成因主要证据是:1)陨石的结晶年龄很小(1.3 Ga),因而形成于类地行星^[11~13];2)N₂和稀有气体的同位素组成表现为火星和地球大气的混合^[14];3)CO₂气体相对丰度和¹³C/¹²C值与火星大气相一致^[15,16];4)海盗号宇宙飞船获得的火星土壤的X荧光光谱分析结果与Shergotty陨石的组成非常相近,尤其是FeO含量(分别为19.6%和19.7%)^[17]。到目前为止,已报道的火星陨石共有29块,其中南极火星陨石11块(包括我国的两块)。按岩石类型统计,各类火星陨石的个数分别为:玄武质15块,二辉橄岩质6块,单斜辉石岩质6块,斜方辉石岩质和纯橄岩质各1块。

当前有关火星陨石的科学问题主要集中在如下方面:1)是否存在生命化石^[1,18] 2)火星是否曾经

存在水?主要是对低温蚀变矿物和蒸发盐的研究^[19,20];3)火星的岩浆活动与演化;4)同位素年龄;5)冲击变质作用;6)暴露年龄和居地年龄。

月球陨石:月球陨石最早发现于南极,至今已回收29块,其中14块来自南极。月球陨石的类型可划分为玄武岩质、斜长岩质和混合岩质三种,分别对应于月球月海玄武岩、高地斜长岩和月海-高地混合岩。阿波罗号和月球号飞船采集的382 kg月球样品对月球科学具有非常重要的意义,但这些样品采集位置有限,主要是在月球正面9个着陆点附近。月球陨石中的斜长石质角砾的不相容元素和稀土元素的丰度明显偏低,即贫K、REE及P(KREEP组分),说明它们不是来自上述月球正面的采样区,很可能是来自月球边缘或月球背面。从另一个角度说,月球陨石是来自月球表面的随机样品,因此,对进一步了解月球全球平均化学成分、月壳化学组成的横向变化与初始月壳分异作用具有重要的意义。

除上述研究领域外,微陨石和宇宙尘、南极陨石与非南极陨石的对比研究、居地年龄、冲击变质作用等也是南极陨石的重要研究领域。

3 我国南极陨石回收与研究

格罗夫山位于东南极兰伯特裂谷(Lambert Rift)右岸,坐标为S72°20'~73°10'、E73°50'~75°40',北距中山站450 km,属于东南极冰盖内陆的冰原岛峰群^[21]。1998~1999年夏季,我国第15次南极科考队首次对该区进行了地质和测绘工作,并回收了4块陨石(GRV9801-GRV9804)(注:据国际惯例,字母为地名缩写,前两位数字为年号,后面数字为当年回收陨石的顺序号,如GRV9801为Grove Mountains,1998年回收,当年发现的第一块陨石),实现了我国南极陨石回收零的突破。1999~2000年,第16次考察队集中了一定的人力物力,用7个工作日对阵风悬崖一带进行了步行拉网式搜寻,共回收陨石28块(GRV99001~GRV99028),发现火星陨石和灶神星陨石各一块。根据对已回收的32块陨石的研究和分析,可以认为格罗夫山是新的南极陨石富集区^[22]。2002~2003年,第19次队对格罗夫山进行了第三次以陨石回收为中心任务的综合考察。这次考察仍以步行拉网方式为主,辅助以雪地摩托,搜寻了阵风悬崖南、中、北段下方的蓝冰区。在野外回收陨石工作中,因对风化严重且无熔壳的陨石有了认识,并在冰碛中发现陨石,从而使回收工

作取得重大突破:(1)共回收陨石总数4448块,其中北段1722块,中段2683块,南段41块,哈丁山2块,使我国成为拥有南极陨石最多的国家之一;也证明了格罗夫山地区为南极最富集陨石地区之一。(2)这次陨石搜索工作表明阵风悬崖下方蓝冰区均为陨石富集区域,从南段最南端到北段最北端均找到了陨石,但富集程度受冰流、风向的影响而显示相当大的差异;此外,在远离阵风悬崖的蓝冰区(如哈丁山附近)也发现陨石;(3)据统计,这次回收的陨石中有冰碛型3840块(占86%),蓝冰型608块(占14%)。由此表明格罗夫山陨石的保存类型。

在格罗夫山发现陨石之前,我国学者已通过向国际上申请样品、交换样品,以及参与国际合作等方式积极开展南极陨石的研究工作。经过十多年的努力,在不同的研究领域取得了丰硕成果,包括新的和特殊陨石类型^[23,24]、富钙铝包体(CAI)与早期太阳系的演化^[25,26]、陨石中高压冲击相矿物^[27,28]、居地年龄和热释光研究^[29]等。这些工作为我国开展南极陨石回收和研究奠定了良好的基础。

1998~2000年间两次从格罗夫山回收的32块陨石,已由中国科学院地质与地球物理研究所、广州地球化学研究所、国家天文台、南京大学与北京大学等单位进行了分类研究。结果发现火星陨石和灶神星陨石各1块,铁陨石1块,非平衡型普通球粒陨石6块,平衡型普通球粒陨石23块与未分类的石陨石1块^[30~36]。详细的岩石结构特征和矿物化学组成对比研究表明,GRV99020~GRV99026(L3)、GRV99006~GRV99011(H4)、GRV99009~GRV99010(H6)、GRV99007~GRV99023(L6)和GRV99014~GRV99017(L6)等5对陨石可能为成对陨石^[37]。对6块非平衡型和7块4型普通球粒陨石进行了富Ca、Al的包体(CAI)和球粒(CA)的研究,共发现40颗CAI和CA,发现新的CAI类型——辉石-透辉石型^[38]。另外,上述科研单位已对2002~2003年回收的4448块陨石中具有代表性的51块样品进行分类研究。已完成研究的38陨石中发现火星陨石1块,橄辉无球粒陨石2块,碳质球粒陨石4块,非平衡顽辉石球粒陨石1块^[39,40]。

格罗夫山陨石研究的另一个重大成果是两块火星陨石的发现。GRV99027火星陨石由第16次考察队发现于阵风悬崖南段,重9.97 g,具有不完整的黑色熔壳,样品新鲜,是罕见的二辉橄辉岩质火星陨石^[30]。GRV020090火星陨石发现于阵风悬崖北

段。重 7.54 g,具有完整的黑色熔壳,类型同上^[39]。由于岩石结构的明显差异,它们显然不是成对陨石。在 NASA 的火星探测计划预期 2016 年取回火星样品之前,火星陨石是研究火星形成和演化以及火星生命等重大科学问题的唯一可直接在实验室分析的样品。鉴于这两块火星陨石对我国天体化学和行星科学具有重大的科学意义,在国家自然科学基金重点项目的支持下,正在开展的多学科综合研究。

4 我国南极陨石研究展望

南极冰盖是陨石的天然冷藏库^[41]。由于我国在南极开展科学考察较晚,因此,陨石回收和研究工作起步也晚。但是,格罗夫山给了我们机会,在短短的五六年时间,我国不但实现了南极陨石回收零的突破,而且成为拥有南极陨石最多的国家之一。在回收的 4480 块陨石中已发现一些特殊而具有重大科学价值的陨石,为我国南极陨石的研究开创了全新的局面,为参与国际南极陨石研究增添了一臂之力。

事实证明,格罗夫山是一个新的、陨石非常富集的地区。这里蓝冰区面积约 560 km²^[42],然而,三次考察仅对其东部阵风悬崖下方约 100 km² 的蓝冰区进行过搜寻,且所到之地均有陨石发现,表明其中部和西北部的 400 多 km² 蓝冰区将是潜在的陨石富集区。为了保持我国在该地区陨石回收的优先地位与综合考察的优势,不但要尽快、连续多次对阵风悬崖蓝冰区进行全面而彻底的搜寻,而且有必要对其他蓝冰区进行探索性的陨石回收工作。此外,开展冰川、气候、地质以及测绘等工作是揭示该区独特的陨石富集机制的必要条件,为今后陨石回收工作提供科学依据和指导。为了保证野外工作的顺利开展,应该组建一支长期稳定的陨石回收野外队伍。

研究表明,格罗夫山不但陨石多,而且相对特殊的和稀少的陨石类型频率也较高。在已研究的 80 多块陨石中,已发现有火星陨石、灶神星陨石、橄辉无球粒陨石、石铁陨石、顽辉石球粒陨石、碳质球粒陨石、铁陨石、非平衡型普通球粒陨石等 19 块特殊类型陨石。这些陨石的深入研究和今后可能得到的陨石都蕴藏着取得创新性成果的机遇。

由于有近 4500 多块陨石需要工作,我们将面临艰巨的实验分析和研究任务,同时也为了充分利用这大好契机提高我国天体化学和比较行星学领域的研究水平,迫切需要建立南极陨石的开放实验室或

研究中心。

参考文献(Reference):

- [1] 王道德,刘京发,李肇辉,陈永亨,易惟熙,林杨挺,胡瑞英,黄婉康,戴诚达. 中国陨石学导论[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 1 - 505.
Wang Dao de, Liu Jingfa, Li Zhaohui, Chen Yongheng, Yi Weixi, Lin Yangting, Hu Ruiying, Huang Wankang, Dai Chengda. Introduction of meteorites in China[M]. Beijing: China Science Press, 1993. 1 - 505. (in Chinese)
- [2] 欧阳自远. 天体化学[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 1 - 386. Ouyang Ziyuan. Cosmochemistry[M]. Beijing: China Science Press, 1988. 1 - 386. (in Chinese)
- [3] 王道德,林杨挺. 我国回收的南极陨石分类研究综述[J]. 极地研究, 2002, 14(4): 252 - 265.
Wang Dao de, Lin Yangting. Overview of classification of Antarctic meteorites, collected by 15th and 16th Chinese Antarctic Research Expedition in Grove Mountains[J]. Chinese Journal of Polar Research, 2002, 14(4): 252 - 265. (in Chinese with English abstract)
- [4] Kojima H, Kaiden H, Yada T. Meteorite search by JARE-39 in 1998 - 99 season[J]. Antarctic Meteorite Research, 2000, 13: 1 - 8.
- [5] Imae N, Iwata N, Shimoda Y. Search for Antarctic meteorites in the bare ice field around the Yamato Mountains by JARE-41[J]. Antarctic Meteorite Research. 2002, 15: 1 - 24.
- [6] Cassidy W, Harvey R, Schutt J, Delisle G, Yanai K. The meteorite collection sites of Antarctica[J]. Meteoritics, 1992, 27: 490 - 525.
- [7] Welten K C, Alderliesten C, Van der Borg K, Lindner L, Loeken T, Schultz L. Lewis Cliff 86360, an Antarctic L-chondrite with a terrestrial age of 2.35 million years[J]. Meteoritics and Planetary Science, 1997, 32: 775 - 780.
- [8] Jull A J T, Cloud T S, Cielaszyk E. ¹⁴C terrestrial ages of meteorites from Victoria Land, Antarctica, and the infall rates of meteorites[A]. Grad M M Y, Hutchison R, McCall G J H, Rotherby D A, ed. Meteorites: Flux with time and impact effects [C]. London: Geological Society Special Publication, 1998, 140. 75 - 91.
- [9] McKay D S, Gibson E K, Thomas-Keptra K L, Vali H, Romanek C S, Clemett S J, Chiller X D F, Maechling C R, Zare R N. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH84001[J]. Science, 1996, 273: 924 - 930.
- [10] Mittlefehldt D W. ALH84001, a cumulate orthopyroxenite member of the Martian meteorite clan[J]. Meteoritics, 1994, 29: 214 - 221.
- [11] Nyquist L E, Wooden J, Bansal B, Wiesmann H, McKay G, Bogard D D. Rb-Sr age of the Shergotty achondrite and implications for metamorphic resetting of isochron ages[J]. Geochimica et

- Cosmochimica Acta, 1979, 43: 1057 - 1074.
- [12] Shih C Y, Wooden J L, Bansal B, Wiesmann H, McKay G, Bogard D D. Chronology and petrogenesis of young achondrites, Shergotty, Zagami, and ALHA77005—Late magmatism on a geologically active planet [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1982, 46: 2323 - 2344.
- [13] Chen J H, Wasserburg G J. Formation ages and evolution of Shergotty and its parent planet from U-Th-Pb systematics [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1986, 50: 955 - 968.
- [14] Becker R H, Pepin R O. The case for a Martian origin of the shergottites—Nitrogen and noble gases in EETA 79001 [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1984, 69: 225 - 242.
- [15] Carr R H, Grady M M, Wright I P, Phillinger C T. Martian atmospheric carbon dioxide and weathering products in SNC meteorites [J]. *Nature*, 1985, 314: 248 - 250.
- [16] Wright I P, Carr R H, Phillinger C T. Carbon abundance and isotopic studies of Shergotty and other shergottite meteorites [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1986, 50: 983 - 991.
- [17] Laul J C, Smith M R, Wanke H, Jagoutz E, Dreibus G, Palme H, Spettel B, Burghel A, Lipschutz M E, Verkoeteren R M. Chemical systematics of the Shergotty meteorite and the composition of its parent body (Mars) [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1986, 50: 909 - 926.
- [18] Jull A J T, Courtney C, Jeffrey D A. Isotopic evidence for a terrestrial source of organic compounds found in martian meteorites Allan Hills 84001 and Elephant Moraine 79001 [J]. *Science*, 1998, 279: 366 - 269.
- [19] Bridges J C, Grady M M. A halite-siderite-anhydrite-chlorapatite assemblage in Nakhla: Mineralogical evidence for evaporites on Mars [J]. *Meteoritics and Planetary Science*, 1999, 34: 407 - 415.
- [20] Gooding J L, Zolensky M E, Wentworth S J. Aqueous alteration of the Nakhla meteorite [J]. *Meteoritics*, 1991, 26: 135 - 143.
- [21] 琚宜太, 刘小汉. 格罗夫山地区陨石回收概况及展望 [J]. *极地研究*, 2002, 14(4): 248 - 251.
Ju Yitai, Liu Xiaohan. Meteorites collection in the Grove Mountains: retrospect and prospect [J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2002, 14(4): 248 - 251. (in Chinese with English abstract)
- [22] 刘小汉, 琚宜太. 格罗夫山: 我国新发现的一个陨石富集区 [J]. *极地研究*, 2002, 14(4): 243 - 247.
Liu Xiaohan, Ju Yitai. Grove Mountains: A new found meteorites concentration area [J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2002, 14(4): 243 - 247. (in Chinese with English abstract)
- [23] Lin Y, Kimura M. Thermal histories and parent body(ies) of EH chondrites—Evidences from new highly equilibrated EHs (Y793225, 82189, 8404, 8414 and 86004) [R]. *Lunar and Planetary Institute Conference Abstracts [C]*, 1997. 28: 817.
- [24] Lin Y, Kimura M. Petrographic and mineralogical study of new EH melt rocks and a new enstatite chondrite grouplet [J]. *Meteoritics and Planetary Science*, 1998, 33: 501 - 511.
- [25] Lin Y, Kimura M. Anorthite-spinel-rich inclusions in the Ningqiang carbonaceous chondrite: Genetic links with Type A and C inclusions [J]. *Meteoritics & Planetary Science*, 1998, 33: 435 - 446.
- [26] Lin Y, Kimura M. Ca-Al-rich inclusions from the Ningqiang meteorite: Continuous assemblages of nebular condensates and genetic link to type B inclusions [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, 67: 2251 - 2267.
- [27] Chen M, Xie X, Goresy A El. Nonequilibrium solidification and microstructures of metal phases in the shock-induced melt of the Yanzhuang (H6) chondrite [J]. *Meteoritics*, 1995, 30: 28 - 32.
- [28] Chen M, Goresy A El. The nature of maskelynite in shocked meteorites: not diaplectic glass but a glass quenched from shock-induced dense melt at high pressures [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, 179: 489 - 502.
- [29] 王道德, 林杨挺, 缪秉魁. 南极陨石的研究启示 X: 南极陨石的居地年龄 [J]. *极地研究*, 2002, 14(3): 174 - 185.
Wang Daode, Lin Yangting, Liao Bingkui. Inspiration from Study of Antarctic Meteorites X: The terrestrial ages of Antarctic Meteorites [J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2002, 14(3): 174 - 185. (in Chinese with English abstract)
- [30] Lin Yangting, Wang Daode, Miao Bingkui, Ouyang Ziyuan, Liu Xiaohan, Ju Yitai. “ Grove Mountains (GRV) 99027: A new Martian meteorite ” [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(16): 1771 - 1774.
- [31] 缪秉魁, 林杨挺, 欧阳自远, 周新华. 南极格罗夫山陨石岩石学特征 I: 非平衡 L3 型普通球粒陨石 [J]. *极地研究*, 2002, 14(4): 276 - 287.
Miao Bingkui, Lin Yangting, Ouyang Ziyuan, Zhou Xinhua. Petrology of Grove Mountains meteorites I: L3 ordinary chondrites [J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2002, 14(4): 276 - 287. (in Chinese with English abstract)
- [32] 缪秉魁, 林杨挺, 欧阳自远, 周新华. 南极格罗夫山陨石岩石学特征 II: 平衡型普通球粒陨石 [J]. *极地研究*, 2002, 14(4): 288 - 299.
Miao Bingkui, Lin Yangting, Ouyang Ziyuan, Zhou Xinhua. Petrology of Grove Mountains meteorites II: Equilibrated ordinary chondrites [J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2002, 14(4): 288 - 299. (in Chinese with English abstract)
- [33] 刘建忠, 邹永廖, 李春来, 徐琳, 欧阳自远. 南极格罗夫山陨石的岩石³矿物学特征及初步分类 [J]. *极地研究*, 2002, 14(4): 330 - 337.
Liu Jianzhong, Zou Yongliao, Li Chunlai, Xu Lin, Ouyang Ziyuan. Meteorite characteristics of petrology³ mineralogy and classification in Grove Mountains, Antarctica [J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2002, 14(4): 330 - 337. (in Chinese with English abstract)

- [34] 王鹤年, 王汝成, 林承毅, 张富生, 周丽娅, 陈小明. 南极格罗夫山 23 个普通球粒陨石的化学群及岩石类型[J]. 极地研究, 2002, 14(4): 308 - 319.
Wang Henian, Wang Rucheng, Lin Chengyi, Zhang Fusheng, Zhou Liya, Chen Xiaoming. Chemical groups and petrologic types of 23 ordinary chondrites from Grove Mountains, Antarctica[J]. Chinese Journal of Polar Research, 2002, 14(4): 308 - 319. (in Chinese with English abstract)
- [35] 陶克捷, 琚宜太, 刘小汉. 28 块南极陨石的类型研究[J]. 极地研究, 2002, 14(4): 320 - 329.
Tao Kejie, Ju Yitai, Liu Xiaohan. Studies on the types of 28 Antarctic meteorites [J]. Chinese Journal of Polar Research, 2002, 14(4): 320 - 329. (in Chinese with English abstract)
- [36] 陈晶, 刘小汉, 琚宜太, 徐军, 阎允杰. 我国首批回收的四块南极陨石类型的确定[J]. 岩石学报, 2001, 17: 314 - 320.
Chen Jing, Liu Xiaohan, Ju Yitai, Xu Jun, Yan Yunjie. Classification of four Antarctic meteorites from Grove Mountains, Antarctica[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17: 314 - 320. (in Chinese with English abstract)
- [37] Miao Bingkui, Lin Yangting, Zhou Xinhua. Type distribution pattern and pairing of ordinary chondrites from Grove Mountains, Antarctica[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48: 908 - 913.
- [38] 缪秉魁. 南极格罗夫山普通球粒陨石中富 Ca、Al 包体(CAI): 与其它陨石的对比研究[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2003. 1 - 124.
Miao Bingkui. The Ca-Al-rich inclusions of ordinary chondrites from Grove Mountains, Antarctica: The comparative study with other meteorites [D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics CAS, 2003. 1 - 124. (in Chinese with English abstract)
- [39] 缪秉魁, 欧阳自远, 王道德, 林杨挺, 琚宜太, 王桂琴. Grove Mountains (GRV) 020090 —— 南极格罗夫山发现的又一块火星陨石[A]. 第七届全国空间化学与陨石学学术研讨会(摘要)[C], 2003. 28 - 29.
Miao Bingkui, Ouyang Ziyuan, Wang Daode, Lin Yangting, Ju Yitai, Wang Guiqin. Grove Mountains (GRV) 020090 - Another martian meteorite from Grove Mountains, Antarctica [R]. The 7th national cosmochemistry and astrolithology Conference (abstract), 2003: 28 - 29. (in Chinese)
- [40] 缪秉魁, 王桂琴, 王道德, 欧阳自远, 林杨挺, 卢仁, 戴德求. GRV 021512 和 GRV 022931: 南极格罗夫山新发现的二块橄辉无球粒陨石(Ureilites)[A]. 第七届全国空间化学与陨石学学术研讨会(摘要)[C], 2003. 25 - 27.
Miao Bingkui, Wang Guiqing, Wang Daode, Ouyang Ziyuan, Lin Yangting, Lu Ren, Dai Deqiu. GRV021512 and GRV 022931: Two new found Ureilites from Grove Mountains, Antarctica [R]. The 7th national cosmochemistry and astrolithology Conference (abstract) [C], 2003. 25 - 27. (in Chinese)
- [41] Cassidy W A, Olsen E, Yanai K. Antarctica — A deep-freeze storehouse for meteorites[J]. Science, 1977, 198: 727 - 731.
- [42] 孙家柄, 霍东民, 周军其, 孙朝辉. 格罗夫山地无地面控制卫星影像数字制图和地貌、蓝冰及陨石分布分析[J]. 极地研究, 2001, 13(1): 21 - 31.
Sun Jiabing, Huo Dongming, Zhou Junqi, Sun Chao-hui. The digital mapping of satellite images by free of ground control and the analysis of landform: Blue ice and meteorites distribution in the Grove Mountains [J]. Chinese Journal of Polar Research, 2001, 13(1): 21 - 31. (in Chinese with English abstract)

An Overview on Antarctic Meteorite Collection and Studies in China

MIAO Bing-kui^{1,2}, LIN Yang-ting², WANG Dao-de³, OU YANG Zi-yuan⁴

1. Department of Resource and Environment Engineering, Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, China;

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510640, China;

4. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

Abstract: Following the discovery of 32 meteorites in Grove Mountains, Antarctica, by the 15th and 16th Chinese Antarctic Research Expeditions (CHINARE) during 1998 - 2000, the 19th CHINARE has successfully collected 4448 meteorites in the same region during 2002 - 2003. This updates the Antarctic meteorite collection of China to the 3rd in the world in regard to number after Japan and USA. The first 32 meteorites and 38 out of 51 representatives selected from the new 4448 meteorites have been classified. Except for equilibrated ordinary chondrites, there are 2 martian meteorites, 2 ureilites, 6 unequilibrated L3 chondrites, 4 carbonaceous chondrites, and 1 unequilibrated enstatite chondrite. In this paper, we summarize recent progresses in searching for and studying Antarctic meteorites, including those found in Grove Mountains by CHINARE, in order to direct both future meteorite searching in Grove Mountains and Antarctic meteorite study in China.

Key words: meteorites; Antarctic meteorites; meteorite hunting; meteorite concentration; Martian meteorites; Mars meteorites