

文章编号: 1000-4734(2020)02-0176-07

云南西双版纳曼桂陨石雨调查

李世杰^{1,2}, 罗维均³, 李博方⁴, 李阳^{2,5}

(1. 桂林理工大学 广西隐伏金属矿产勘查重点实验室, 广西 桂林 541004; 2. 中国科学院 地球化学研究所 月球与行星科学研究中心, 贵州 贵阳 550081; 3. 中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081; 4. 北京市西城区德外大街教场口街9号院丙9号, 北京 100120; 5. 中国科学院 地质与地球物理研究所 地球与行星物理重点实验室, 北京 100029)

摘要: 北京时间2018年6月1日21:43左右, 在云南西双版纳景洪市的西南有火流星划过夜空, 通过目击者拍摄的视频初步判断又是一次陨石降落, 这是继2017年10月4日(农历中秋节)后又一次目击到流星光顾云南省上空。6月2日有消息称在西双版纳勐海县勐遮镇的曼伦村发现了降落的陨石。随后的几天, 陆续有很多媒体记者、陨石爱好者和陨石猎人赶往陨石降落地, 随即, 一场陨石雨呈现出来。截止目前, 已经收集到的数据表明这次陨石雨的已知范围约3 km×12 km, 从南东向北西方向以 $55.3^\circ \pm 2.5^\circ$ 的入射角度降落至地面, 先后在曼南、曼光、曼央囡、曼潘、曼么代、曼楷龙、曼庄、曼垒、曼伦、曼迈回、曼朗、曼赛、曼燕和曼桂村等10余个自然村发现陨石, 据不完全统计, 陨石数量超过1000个, 质量由0.04 g至1280 g, 总质量超过50 kg。该陨石雨陨石类型为L6, 冲击程度为S4。

关键词: 西双版纳; 陨石雨; 散落区; 普通球粒陨石; 曼桂

中图分类号: P68

文献标识码: A

doi: 10.16461/j.cnki.1000-4734.2019.39.106

第一作者: 李世杰, 男, 1978年生, 研究员, 天体化学专业. E-mail: ldshijie@126.com

The survey of Mangui meteorite shower in the Xishuangbanna area, Yunnan Province, China

LI Shi-jie^{1,2}, LUO Wei-jun³, LI Bo-fang⁴, LI Yang^{2,5}

(1. Guangxi Hidden Mineral Exploration Center, College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Center for Lunar and Planetary Sciences, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China; 3. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China; 4. Bing 9, Jiaochangkou Street 9, Dewai Street, Xicheng District, Beijing 100120, China; 5. Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: On June 1st, 2018, at 21:43 Beijing Time (UT+8), a meteor bolide lightened sky and fell across the southwestern Jinghong City, Xishuangbanna Prefecture in Yunnan Province. On the basis of videos taken by several witnesses in Jinghong City, we believe that it should be a meteorite landing event. It is another witnessed meteor bolide appeared in Yunnan province since the mid-autumn festival fireball incident in the Shangri-la area on 4th of October 2017. On June 2nd, it is said that a piece of fresh meteorite was found by some residents in the Manlun village, Mengzhe town, Menghai county, Xishuangbanna region. The news spreaded on the internet rapidly, and numerous meteorite collectors, dealers and news reporters flooded there. Many meteorites, found in following days, revealed that there was a big meteorite shower in the area. So far, the currently collected data indicate that this meteorite shower covers an area of about 3 km by 12 km. According to our calculation, the meteorite fireball had falled at an angle of $(55.3 \pm 2.5)^\circ$ with respect to the horizon, in the direction from SE to NW. So far, the identified strewn field is 3 km×12 km. Over 1000 individuals or fragments of meteorite, with weighted mass varying from 0.04 g to 1280 g, and total mass of over 50 kg, had been found.

收稿日期: 2019-03-14

基金项目: 桂林理工大学广西隐伏金属矿产勘查重点实验室开放基金(编号:桂科隐2018-K06); 贵州省科学技术基金(编号:2010GZ4439); 西部之光项目A(中国沙漠陨石居地年龄的测定)

in over 10 villages. The classification result shows that meteorites of the shower belong to the L6 type, with the shock intensity of S4.

Keywords: Xishuangbanna; meteorite shower; strewn field; ordinary chondrite; Mangui

陨石落到地球不同区域的概率基本相似, 辽阔的国土面积使得在我国目击降落陨石的次数相对较多。从 1952 年至今我国已有 55 次(包括本次的西双版纳陨石)降落的陨石获得了国际命名。北京时间 2018 年 6 月 1 日 21:43 左右, 在云南西双版纳景洪市的西南有流星滑过夜空, 通过目击者拍摄的视频初步判断又是一次陨石降落, 这是继 2017 年 10 月 4 日(阴历中秋节)后又一次目击到流星光顾云南省上空, 6 月 2 日有消息称在西双版纳勐海县勐遮镇的曼伦村发现了降落的陨石。随后的几天, 陆续有多家媒体记者、陨石爱好者、陨石猎人和陨石研究者赶往陨石降落地, 随即, 一场陨石雨呈现出来。目前该陨石的国际命名为者曼桂, 已获国际陨石学会批准。本文将对本次陨石雨的考察和初步分析结果进行报道, 便于读者了解更为全面的信息。

1 降落区的地理位置

曼桂陨石雨降落区域位于我国西南边陲的云南省西双版纳勐海县勐遮镇的曼孩、曼南、曼根、曼岛、曼光、曼央因、曼潘、曼么代、曼楷龙、曼庄、曼垒、曼伦、曼迈回、曼朗、曼赛、曼燕和曼桂村等 10 余个自然村。行政区划隶属云南省西双版纳傣族自治州勐海县(图 1) 该区域主要以山区为主, 零星有小面积的河谷平地出现, 海拔约 1200~1500 m, 地处北回归线以内, 常年温度较高, 降雨量充沛。陨石雨降落区正好为西双版纳自治州最大的山谷平地, 恰好国道 G214 从该区域穿过。



图 1 曼桂陨石雨降落区的地理位置

Fig. 1. Geographic location of the Mangui meteorite shower.

2 陨石降落及回收情况

2.1 流星的入射角度

确定流星体进入大气层的入射角度是一个较为复杂的过程, 但是通过陨石降落过程的一些影像等资料可以估算其降落轨迹与地平线的夹角。曼桂陨石的降落过程被位于景洪市的个别行车记录仪与手机视频记录下来, 幸运的是位于景洪市的视角和本次陨石降落的流星轨迹近似垂直(图 1)(流星方向为南东—北西向), 这为较可靠的估算流星的入射角度提供了可能。从景洪市某大桥处的影像估算, 流星体的入射角度约为 58° (图 2a), 位于景洪市某音乐喷泉处的手机影像表明, 流星体的入射角度则约为 53° (图 2b), 位于景洪市某路段一行车记录仪的影像测算的入射角约 55° (图 2c) 这些拍摄点的准确位置目前并不清楚, 但是这些点之间的距离与它们与流星行进路线之间的距离相比非常小, 因此, 这些不同的入射角度的差别可能主要来源于地平线的确定误差。同时, 通过互联网上的 2 段视频的 2 张截图(图 2d, e), 对车里雅宾斯克陨石的入射角度也进行了分析。2 张截图中流星体的入射角度分别为 17° (图 2d)和 18.5° (图 2e) 这一分析结果与文献报道的车里雅宾斯克陨石的入射角度值($18.3^\circ \pm 0.2^\circ$)相当吻合^[1]。因此, 曼桂陨石的入射角介于 53° 至 58° (平均值为 $55.3 \pm 2.5^\circ$)是较为可靠的。

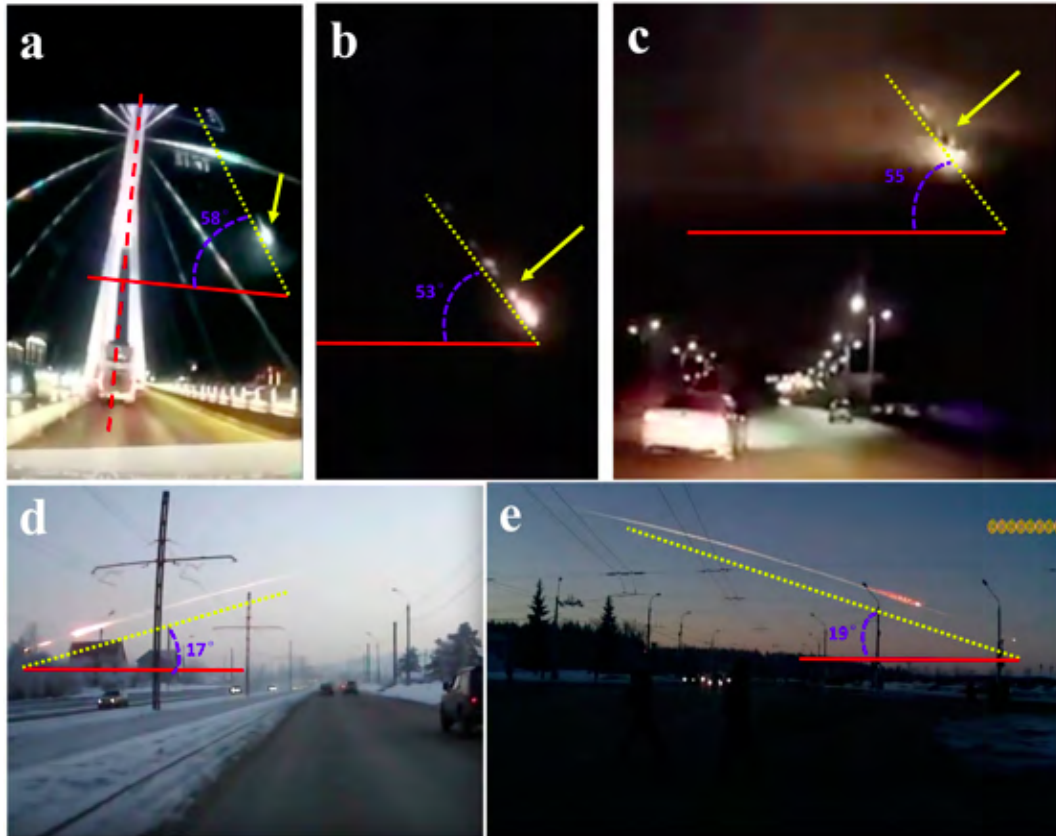


图2 曼桂陨石与车里雅宾斯基陨石的降落视频截图：.a-景洪市某大桥上的行车记录仪影像截图；b-景洪市某音乐喷泉处的手机视频影像；c-景洪市某路处行车记录仪影像截图；d-车里雅宾斯基陨石降落时其前进方向左侧的某影像截图；e-车里雅宾斯基陨石降落时其前进方向右侧侧的某影像截图

Fig. 2. The screenshots from videos for the landing of both the Xishuangbanna and Chelyabinsk meteorites: (a) The image from a video of a driving recorder on a bridge in Jinghong City; (b) The image from a mobile phone video taken near a music fountain in Jinghong City; (c) Another image from a video of a Driving Recorder in Jinghong City; (d) A screenshot from a video taken on the left side of the Chelyabinsk meteorite when it was landing; (e) A screenshot from a video taken on the right side of the Chelyabinsk meteorite when it was landing.

2.2 陨石收集

2018年6月1日晚9:43分左右,西双版纳勐海县曼楷龙村村民岩香金在自家的彩钢瓦屋棚(图3a)下喝酒。突然,该村民听到如同飞机低空飞过的隆隆声,天空瞬间亮如白昼,随后一声巨大的爆炸声,地面和房屋门窗都在抖动。接着,岩金香听到头顶的彩钢瓦屋顶上有物体掉落的声音,随即该物体滚落至彩钢瓦屋檐的水槽里。岩金香搭上梯子爬上屋顶后在水槽中发现了1块鸡蛋大小的黑色石头,部分表面蹭有彩钢瓦的蓝色油漆,并带有一定的温度。该陨石是本次陨石雨样品中第1个被收集的陨石,质量59 g。曼伦村村民岩开香家的房屋(图3b)也被1块质量84 g的陨石击穿,次日打扫阁楼时发现了陨石。本次陨石雨降落中,还有一些建筑物被击中,比如曼么代村村民玉儿央家车棚和厨房分别被1块27 g和1块8 g的陨石击中;该村一家村民的猪圈顶上的石棉瓦被1块3.5 g的陨石击中。在曼央囤村,一家村民家的彩钢瓦棚被1块13.8 g的陨石击中。曼庄村村民岩应叫家彩钢瓦棚被1颗约10.3 g的陨石击中,同村村民岩温罕家牛棚瓦棚被1块质量约16 g的陨石击中。曼垒村一养牛场的牛棚被1块约60 g的陨石击中。除上述击中建筑物的陨石被收集之外,大量陨石是在村间道路与农作物较为稀疏的农田或茶园中找到的。自从6月2日被确认有陨石降落以来,有大量当地村民和陨石爱好者涌入陨石降落区域寻找陨石(图3c, d)。当时当地正值雨季,持续的降雨导致陨石的搜索工作较为困难,而且导致除了少数掉进可以遮雨的建筑物内的陨石外,其它陨石都出现了不同程度的风化。至6月22日,

据不完全统计, 本次降落的陨石最小的完整个体为 0.04 g, 最大的个体为 1280 g, 陨石个体数量超过 1000 余块, 总质量可能达到了 50 kg。



图 3 曼桂陨石击中的建筑物:(a) 曼楷竜村村民岩香金家的彩钢瓦棚;(b) 曼伦村村民岩开香家被陨石击中的房子(箭头指向被陨石击穿的位置)

Fig. 3. The buildings hit by the Xishuangbanna meteorite individuals: (a) The blue colored steel shed at Yan Jinxiang's home yard in Mankailong village; (b) the house of Yan Kaixiang in Manlun village was crashed through by an 84 g weighted meteorite (the arrow points the location where the roof was hit).

2.3 降落范围

将西双版纳勐海县勐遮镇区域收集到的陨石的地理坐标投在谷歌卫星地图上(图 4), 这些陨石的分布范围呈现南东—北西向的长椭圆状, 长轴约 12 km, 短轴约 3 km 分布, 样品质量从南东至北西方向逐渐变大, 具有陨石雨样品的质量分布特征^[2-3]。截止目前回收到最大的陨石个体质量 1280 g。另外 1 块较大陨石发现于曼燕村, 收集到的碎块总质量 1000 g 左右, 这块陨石的质量可能与 1280 g 的陨石

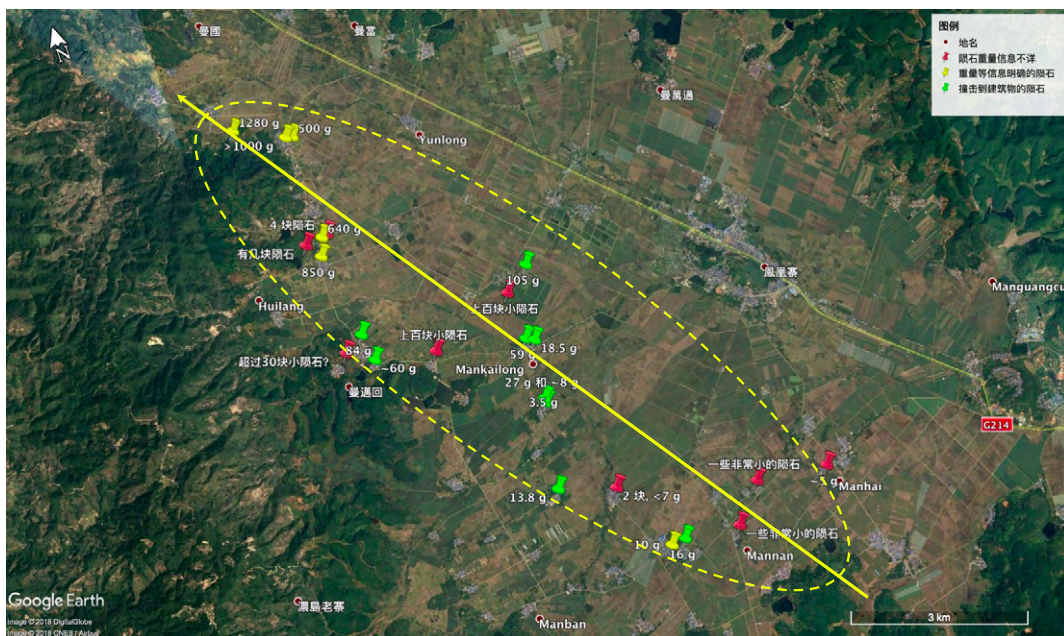


图 4 曼桂陨石雨散落区分布图(底图为 Google Earth 提供的卫星图像): 虚线椭圆内的椭圆区域是目前确定的样品散落区, 陨石的质量从南东向北西方向逐渐增大, 推测陨石的降落过程是由南东向北西方向降落(箭头所指方向)

Fig. 4. Distribution of meteorites from the Mangui meteorite shower in the Xishuangbanna strewn field. The masses of meteorites are increased from the southeastern to northwestern parts, indicating that they fall following the direction from SE to NW.

具有相近的质量。在曼朗村内发现了 850 g 和 640 g 的两块,在村周边的茶地里发现了数据较小的陨石。在曼伦村收集到的陨石,质量基本在 100 g 之内。在曼庄、曼楷龙与曼么代村及其周边发现了大量的质量在数十 g 以内的陨石。在散落区的东南部的曼孩、曼南和曼根等村也发现了数量不多的 10 g 以内的小陨石。在位于曼南村东南分别约 1 km 和 3 km 的曼派纳和曼冷村至投稿时未有陨石发现的消息。至此,我们基本可以确定本次陨石雨散落区的尾部应该在曼南村与曼孩村一带。在散落带的前段,目前除了在蔓桂村南边有 1280 g 的 1 块陨石的发现之外,并没有发现其它陨石,蔓桂村北侧 1 km 处的曼国村和曼贵村西北侧 0.5 km 处的曼纳迈村及周边均无陨石发现。但是,这 2 个村子的西边和北边均是植被覆盖非常茂密的山区,在那里找到陨石的几率是非常小的。所以,目前很难判断蔓桂村茶园中发现的陨石位置是否为本次陨石雨散落区的最前端。

3 样品及分析方法

将蔓桂陨石制作成标准厚度的光薄片和光片各 1 枚。陨石的岩石结构观察和 BSE 照片的获得均是在中国科学院地球化学研究所月球与行星科学研究中心完成,使用的仪器为 Scios-FIB 型双束扫描电子显微镜。陨石中橄榄石和低钙辉石的电子探针分析在桂林理工大学完成,所用的仪器为 JXA 8230 型电子探针,分析电压为 15 kV,束流为 20 nA,束斑直径为 1 μm 。分析结果用 ZAF 方法校正。

4 岩石学特征

在蔓桂陨石雨降落区已收集到了数量巨大的样品,多数陨石表面熔壳完整。本次陨石雨样品中第一块收集的样品表面熔壳完整,有 1 面隐约可见气印,并有 1 处铁镍金属熔体溢出熔壳之外凝固成疤痕状(图 5a, b)。击穿蔓伦村村民岩开香家屋顶的陨石为 1 块定向降落的陨石(图 5c),陨石锥体侧

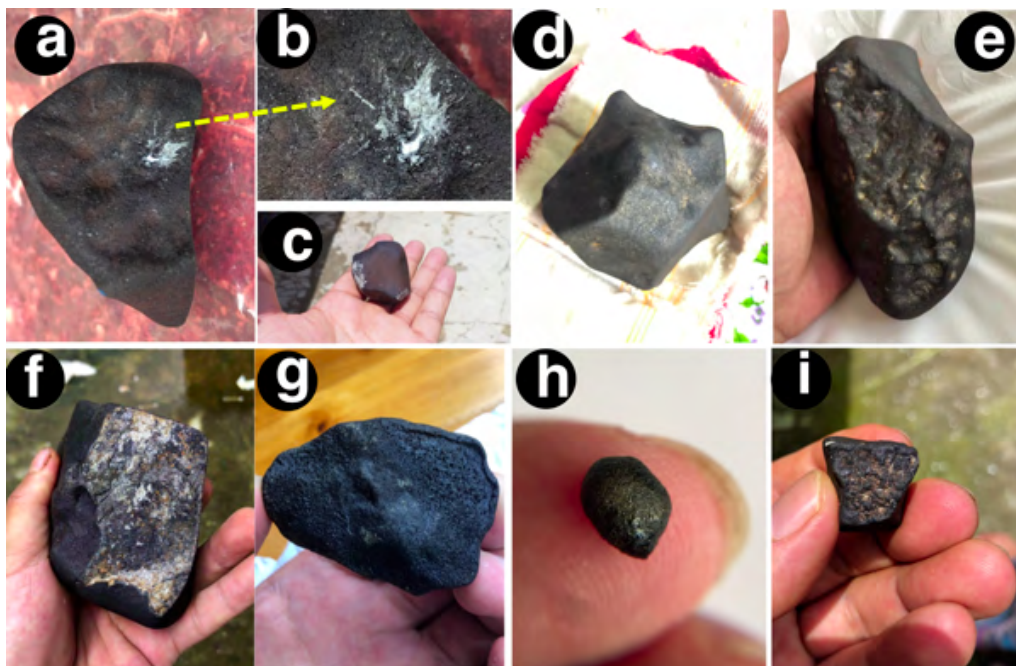


图 5 部分蔓桂陨石的手标本照片: a. 刚降落被村民岩开香家收集的陨石,表面熔壳覆盖完整,出现一颗较大的金属颗粒(b); c. 击穿村民岩开香家屋顶的定向降落陨石,破裂面处可见冲击脉; d. 目前收集到最大的完整个体(质量 1290 g); e-i. 回收的陨石具有多种特征,包括气印(e)、熔壳(f-h)和次生熔壳(i)

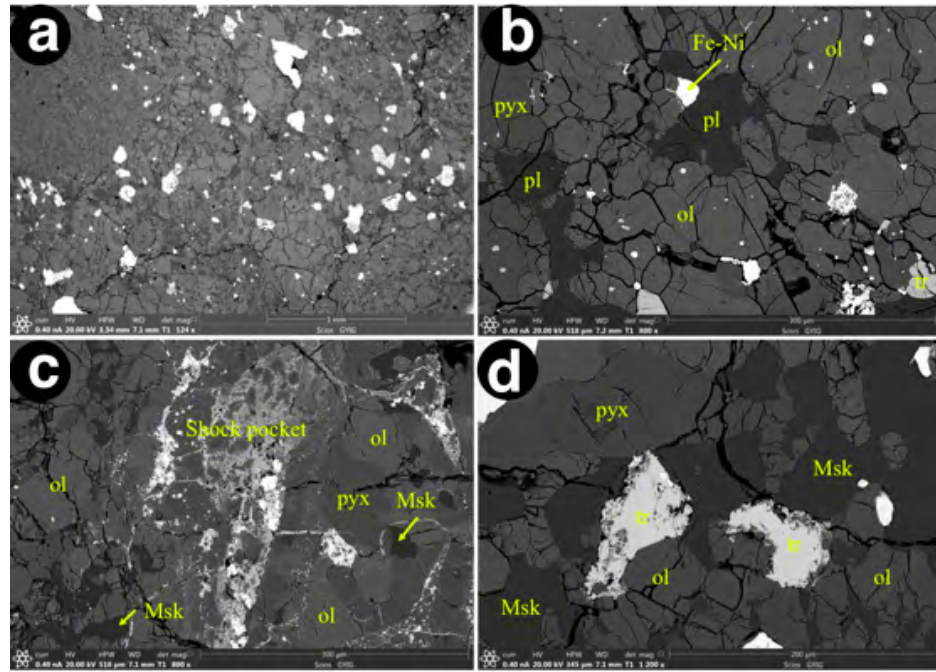
Fig. 5. Images for the Xishuangbanna meteorite individuals and fragments. a) The meteorite fragment with intact fusion crust, containing a large metal grain (b). c) The shock veins can be noticed from the broken surface; d) The known largest individual with weight of 1280 g; e-i) The meteorites appearing in a variety of features, including regmaglypts (e) broken surface, roll over lips and bubble fusion crust (f-h), and secondary fusion crust (i).

面的熔壳呈深褐色, 锥底侧面有 2 处破损, 破损面上的冲击脉清晰可见。在曼朗村发现的重 672 g 的陨石 (图 5e), 熔壳完整, 有 1 面出现气印, 表面凹坑处红色泥土残留显著。其中有 1 块陨石在降落至地面时发生了破裂, 破裂面正好沿着冲击脉的面 (图 5f)。其中 1 个定向降落的陨石底部出现了沸腾熔壳 (图 5g), 这是由于表面高温熔体被气流迁移至底部, 而熔体中含有大量气体, 从而形成沸腾熔壳。

在本次陨石雨降落区收集到的最小的陨石的质量为 0.04 g (图 5h), 也有一些陨石的表面出现次生熔壳 (图 5i), 这很可能是爆炸后其飞行速度较低, 并在很短的时间内已经无法与大气摩擦产生烧蚀。

曼桂陨石的光薄片上仅能见到少许球粒, 且球粒的边界与周边矿物之间的界限模糊 (图 6a), 次生长石的颗粒普遍大于 50 μm (图 6b), 因此该球粒陨石的岩石类型为 6^[4]。曼桂陨石内部裂隙非常发育、硅酸盐矿物破碎非常严重 (图 6a, b), 冲击脉与冲击囊较为发育 (图 6c), 局部出现了熔长石 (图 6d) 此外, 在薄片上观察到了大量橄榄石颗粒出现马赛克状消光。因此, 曼桂陨石的冲击程度为 S4^[5]。

曼桂陨石主要由橄榄石、辉石、长石、铁镍金属与硫化物组成, 铬铁矿和磷灰石为副矿物。对曼桂陨石光片 (XSBN-1) 的电子探针分析显示 (表 1), 该陨石中橄榄石的 Fa 值为 (24.7±0.2) (1 SD,



Ol = olivine; Pyx = low-Ca pyroxene; Pl = plagioclase; Fe-Ni = kamacite or taenite; Msk = maskelynite

图 6 曼桂陨石的 BSE 图像, 该陨石的结构特征包括: 球粒较少且难以区分 (a), 斜长石颗粒大于 50 μm (b), 含有冲击熔融囊和冲击脉 (c) 以及出现熔长石颗粒 (d)
Fig. 6. BSE images for the Mangui meteorite from the Xishuangbanna area. This meteorite contains rare chondrules with poorly defined boundaries (a), large (>50 μm) plagioclase grains (b), shock pockets and veinlets (c), and the maskelynite grains (d).

表 1 曼桂陨石中的橄榄石与低钙辉石化学组成的电子探针分析 (w_B/%)

Table 1. EPMA composition analyses of olivines and low-Ca pyroxenes from the Mangui meteorite

矿物	w _B /%							
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO
橄榄石	38.4±0.3	0.01 ± 0.01	0.02±0.05	0.01±0.01	22.5±0.2	0.47±0.03	38.5±0.3	0.02±0.01
低钙辉石	55.5±0.3	0.17±0.04	0.16±0.04	0.13±0.07	13.8±0.2	0.47±0.02	28.4±0.2	0.89±0.11
矿物	w _B /%				[x(Fa)/x(Fs)]/%	x(Wo)/%		
	Na ₂ O	K ₂ O	NiO	Total				
橄榄石	0.02±0.01	b.d.	0.01±0.20	100.1±0.6	24.7±0.2			
低钙辉石	0.02±0.01	b.d.	0.02±0.04	99.6±0.6	21.0±0.2	1.7±0.2		

注: 数据误差均为 1 SD, b.d.=含量低于检出限。

$n = 16$), 低钙辉石的 F_s 值和 W_o 值分别为 (21.0 ± 0.2) ($1 \text{ SD}, n = 16$) 和 (1.7 ± 0.2) ($1 \text{ SD}, n = 16$)。颗粒之间的化学成分非常均匀, 结合该陨石的结构特征, 表明其为平衡型 L 群陨石 (图 7)。

5 总 结

曼桂陨石雨 2018 年 6 月 1 日 21 时 43 分降落至云南省西双版纳傣族自治州勐海县勐遮镇, 流星体从南东方向以与地面约 55° 的角度进入地球大气层, 在天空中形成了典型的流星现象, 陨石散落带的分布呈现南东 - 北西向分布, 长度约 12 km, 宽度约 3 km, 样品从南东至北西方向逐渐变大, 在 10 余个自然村均有降落。陨石雨样品个体的大小由 0.04 g 至 1280 g 均有发现, 据不完全统计陨石数量超过 2000 个, 总重已经超过 50 kg。

曼桂陨石雨样品主要由橄榄石、辉石、长石、铁镍金属和陨硫铁组成。橄榄石 F_a 值为 24.7 ± 0.2 , 低钙辉石的 F_s 值与 W_o 值分别为 21.0 ± 0.2 , 为普通球粒陨石 L6, 冲击程度为 S4。由于曼桂陨石降落与回收过程中不断出现降雨, 又加之陨石内部的裂隙极为发育, 因此, 绝大多数陨石中的金属出现风化现象。曼桂陨石中冲击囊与不同宽度的冲击脉体广泛发育, 是研究高压矿物较为理想的样品。

致 谢: 感谢陨石爱好者嘎·图乐格捐献了曼桂陨石样品。感谢陨石爱好者马荣慰、梁飞、王子尧、冯德昭和张勃等在陨石收集过程中给予的帮助。感谢桂林理工大学的谢兰芳工程师在实验过程的帮助。在本次陨石雨考察过程得到了中国科学院地质与地球物理研究所的林扬挺教授的宝贵建议, 也得到了中国科学院西双版纳热带植物园陈亚军博士的诸多帮助, 在此一并致谢。

参 考 文 献:

- [1] Popova O P, Jenniskens P, Emel'yanenko V, et al. Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery, and characterization [J]. *Science*, 2013, 342(6162): 1069-1073.
- [2] 李世杰, 王世杰, Leya I, 等. 新疆罗布泊东部发现球粒陨石雨[J]. *科学通报*, 2017, 62(21): 2407-2415.
- [3] Zeng X J, Li S J, Leya I, et al. The Kumtag 015 L5 strewn field, Xinjiang of China [J]. *Meteoritics & Planetary Science*, 2018, 53(6): 1113-1130.
- [4] Brearley A J, Jones R H. Chondritic meteorites [M]/Papike J J. *Planetary materials. Reviews in Mineralogy*. Washington, D.C.: Mineralogical Society of America, 1998, 36, Chapter 3: 1-398.
- [5] StÖefler D, Keil K, Scott E R D. Shock metamorphism of ordinary chondrites [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55(12): 3845-3867.

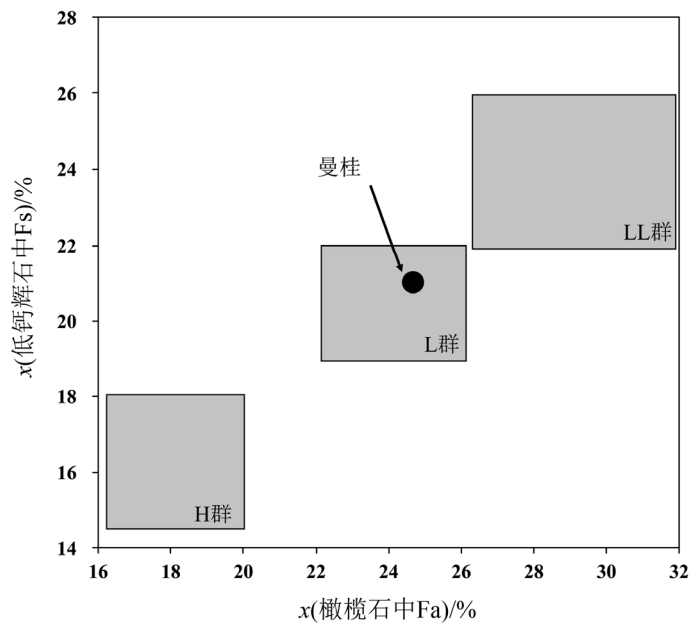


图 7 曼桂陨石中橄榄石和低钙辉石的 F_a 和 F_s 投图 (三个化学群范围数据源自参考文献[4])

Fig. 7. Fayalite (F_a) contents in olivines versus ferrosilite (F_s) contents in low-Ca pyroxenes (modified from Brearley and Jones, 1998) for the Mangui meteorites from the Xishuangbanna area.