

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2021.0010

ZHOU Shangzhe. A study on the morphological features of glaciated stone and its differences from debris flow stone[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2021, 43(3):683-689. [周尚哲. 论冰碛石的形态特征及其与泥石流石的区别[J]. 冰川冻土, 2021, 43(3):683-689.]

论冰碛石的形态特征及其与泥石流石的区别

周尚哲

(华南师范大学地理科学学院, 广东广州 510631)

摘要: 长期以来流行的球度和圆度概念不足以刻画冰碛石及其他成因砾石的细微特征, 需要在其基础上进一步挖掘有判别价值的标志性特征。针对冰碛石与泥石流石辨识的疑难问题, 提出外接圆特征、粗糙度特征、圆度-体积特征以及混杂堆积砾石形态构成特征等几个概念。通过这些特征研究, 结合真实的冰川擦痕、颤痕等标志, 可更加准确地进行冰川沉积物与其他成因沉积物的判定。

关键词: 冰碛石; 泥石流石; 形态特征

中图分类号: P931 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2021)03-0683-07

0 引言

冰川沉积与泥石流沉积同属于混杂堆积, 最不易分辨。由此往往造成误判, 导致南辕北辙的成因认识及环境结论。这种情况在中国尤为严重。中国东部中低山地与丘陵地带处于湿润季风区, 降水丰沛, 风化强盛, 径流活跃, 泥石流是这些地区主要的地质地貌现象, 其堆积广泛。混杂堆积中, 砾石的形态与表面特征是判别其成因的关键证据, 李吉均先生曾就冰碛石的形态和表面特征发表文章^[1-2], 对纠正我国东部中低山地的“泛冰川论”的错误观点发挥了非常重要的作用。近若干年以来, 将泥石流堆积判定为冰碛物的文章仍有发表, 表明误解仍然存在。笔者长期留心冰碛石及疑似沉积中的砾石形态, 现结合国际上研究进展, 在球度特征和圆度特征的基础上, 做进一步探讨。

1 冰碛石三轴比例特征(球度 sphericity)

球度指三轴长度互相趋近的程度。冰碛石的三维尺度有一定的比例范围。这是因为无论是岩壁上寒冻风化作用产生的岩屑, 还是冰床上由冰川拔蚀作用产生的岩屑, 当其进入冰川经过冰床

或冰川剪切面(积极流路, active transport path)上的强力碾压和磨蚀作用, 薄块岩屑容易破碎^[3], 长条的岩屑容易折断, 最终成为三维尺度互相接近的块体。岩屑的长、宽、高三维尺度通常用 a 、 b 、 c 来表示, 可用三角图来表明岩屑的三维形态(图1)。

图1中顶端为正方体块体(球度最高), 左下角为片状体, 右下角为长条体(二者球度最低)。左边的数值 $c:a$ 为高长比值, 右边数值 $b:a$ 为宽长比值, 下面 $(a-b):(a-c)$ 称为盘条指数 DRI (disk-rod index)。野外研究一般在划定的范围随机取样 50 块进行测量统计。西方学者测量表明, 冰碛石参数值集中分布于三角图 0.4~0.8 范围内^[5-7](图2)。研究中, $c:a \leq 0.4$ 部分的百分数被称为 C_{40} 值, 是区别冰碛石和其他岩屑的标志。冰碛的 C_{40} 值很低, 而其他岩屑的 C_{40} 值很高。而且, 由于寒冻风化和冰床上产生的正方体形态岩屑较少而薄片和长条状的较多, 故而冰碛石形态又多分布于靠右边区域。说明, 冰碛石形态对岩屑初始形态有一定的继承, 其易受损失的部分打磨掉之后趋于一种力学稳态形体。岩屑初始形状与岩性也有一定关系, 块状结晶岩(如花岗岩、片麻岩、辉长岩等)容易形成三轴长度趋近的高球度。

收稿日期: 2021-05-04; 修订日期: 2021-06-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771018; 41371028); 冰冻圈科学国家重点实验室开放基金项目(SKLCS-OP-2020-1)资助

作者简介: 周尚哲, 教授, 主要从事地貌与第四纪环境变化研究. E-mail: szzhou@scnu.edu.cn

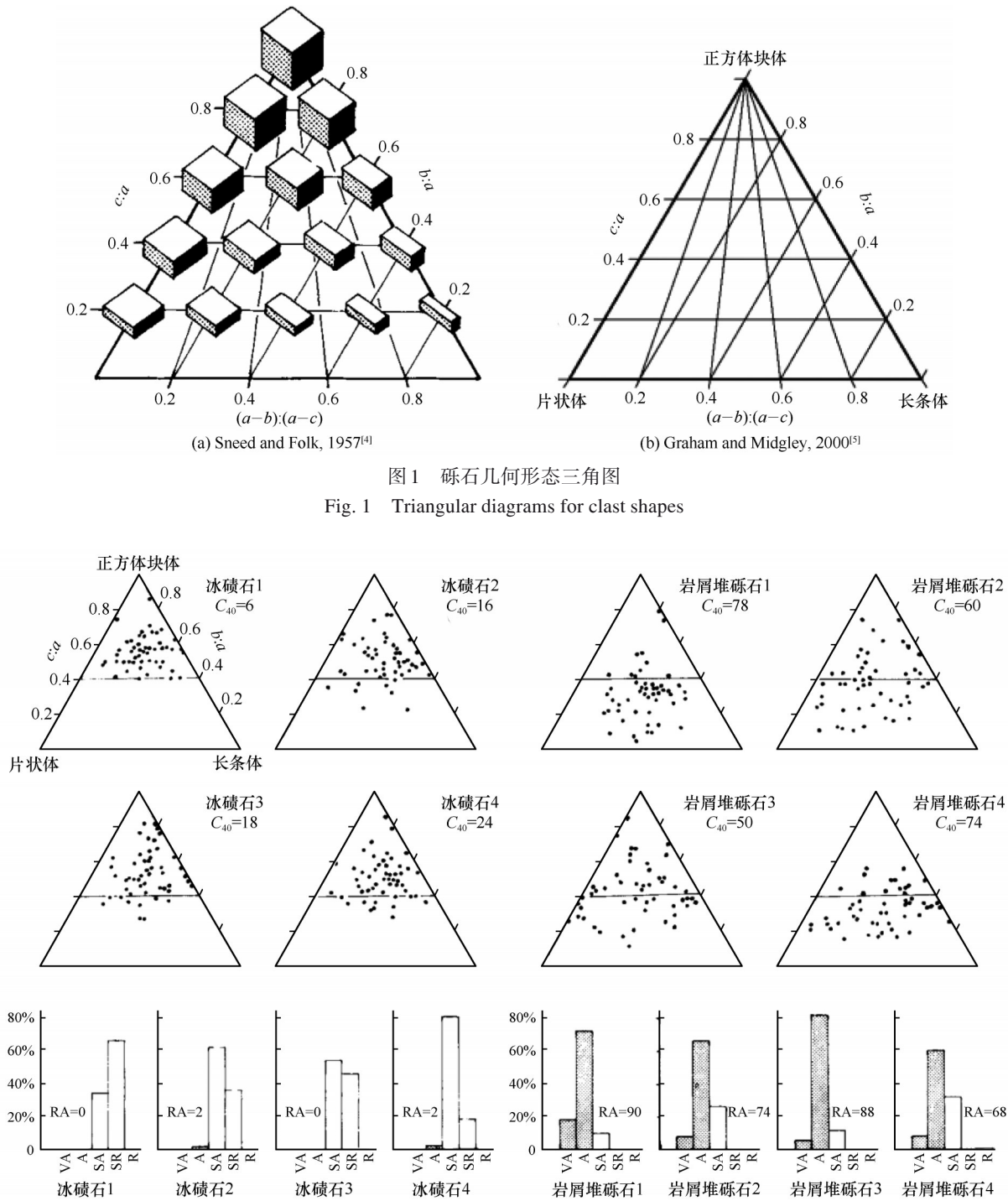


图 2 挪威 Jotunheimen 冰碛与岩屑堆沉积三角图和圆度数据直方图^[7]

Fig. 2 Shape and roundness data for till and scree deposits in Jotunheimen, Norway^[7]

2 冰碛石的圆度特征(圆度 roundness)

圆度是指砾石表面局部磨圆的程度。冰川作用除了能使岩块的宏观三轴尺度互相趋近达到一定球度外,还能使其外形产生独有的圆度特征。圆度量化指数概念是用 Wentworth-Cailleux 圆度指

数 $2000r/a$ (r 为砾石最尖锐处的曲率半径, a 为砾石长轴)来表达的。Barrett^[8]曾用一副图示意 Wentworth-Cailleux 的圆度概念(图 3)。实践中,一块砾石上不同部位的 r 值测定既麻烦又困难,此方法很少被应用。

从图 3 可以看出,圆度(roundness)这个术语针

对的是一块砾石的局部形态。越是尖锐的部位,其圆度指数越小。这幅图将一块岩屑可能演变的三种状态叠合一处解释了圆度概念,由此形成一套目测方法。有学者研究规定了磨圆指数分级,即将圆度分为6个特征明显的等级(表1)。

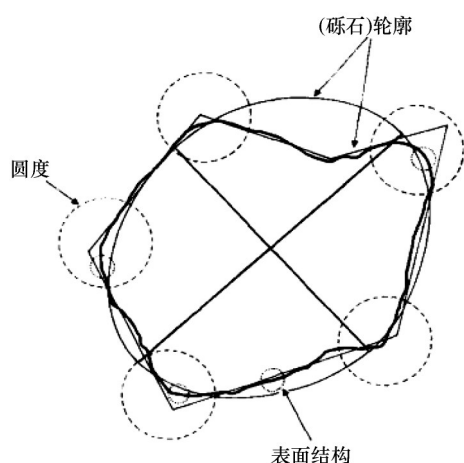


图3 砾石轮廓(重实线)及其形态要素(轻实线,两条接近线条)图。虚线圈为圆度,点圈为表面结构^[8]

Fig. 3 A particle outline (heavy solid line) with its component elements of form (light solid lines, two approximations shown), roundness (dashed circles) and texture (dotted circles) identified^[8]

表1 砾石圆度分级(据 Benn^[7]和 Powers^[9])

Table 1 Classes of Gravel roundness (modified from Benn^[7] and Powers^[9])

形状	描述	Powers 磨圆指数
极棱角 VA(very angular)	多边多面,带尖角利刃	0.12~0.17
棱角状 A(angular)	多边多面,无尖角利刃	0.17~0.25
次棱角状 SA(subangular)	边磨损,面未磨损	0.25~0.35
次圆 SR(subrounded)	边、面均磨损,但仍清晰可辨	0.35~0.49
圆 R(rounded)	边、面磨损,已不易辨别	0.49~0.70
极圆 WR(well rounded)	已不存在多边多面	0.70~1.00

圆度特征与其成因的关系非常密切。如寒冻风化产生的岩屑一般带有尖角利刃,属于角刃状;经过河流长途搬运的砾石则趋于圆化。这两种砾石的特征是一目了然的。经过冰川作用的砾石则棱角钝化乃至磨出擦面,属于次棱角状和次圆状。图2每个三角图又附以柱状图表示砾石圆度统计情况及其成因,前4个为冰碛石,后4个为岩屑堆砾石。表明冰碛样品中的砾石,尖利和棱角状几乎为零,100%为次棱角状和次圆状。而岩屑堆砾石形

态,则主要由棱角状和尖利状构成,次棱角状的很少,不存在次圆状。冰碛石与岩屑堆砾石可谓泾渭分明^[5-7]。岩屑如果不进入冰川内部,则会一直保持初始形态。但在冰舌表面,也会有一定比例的剪切面上出露的冰碛石混入。

3 冰碛石形态的形成

冰碛石的“原料”主要是寒冻风化和冰川拔蚀产生的岩屑。冰川改造岩屑是在冰床或剪切面上进行的,因为只有在这两种界面上才发生剪切运动,上下接触的岩块才会受到强力碾压和磨擦。结果,岩屑尖角利刃不复存在,成为由次棱角和次圆多擦面构成的形体。因此,次棱角与次圆状便成为冰碛石的主要形态特征。冰碛中偶尔能发现很圆的小卵石,如在岗日嘎布山的来古冰川、贡嘎山海螺沟冰川末端的冰碛物中均有发现,貌似经过长距离的河流搬运。但冰下河流一般出现在平衡线以下的消融区,距离较短。所以,这种卵石必定与冰下河道的漩涡流有关,小砾石冲入其中被冰水驱动快速旋转而成。偶尔也发现有带擦面的卵石,这必定是先磨圆,后被带到剪切面或冰床磨擦的结果。冰下河道沉积属于冰水沉积,冰退后保留于河床上,而大部分被搬运至终碛外围沉积,形成冰水平原、冰水扇。冰碛与冰水接触的部位会有冰碛石与流水作用改造的石头混杂一起。冰碛石,尤其是长度较长冰川形成的终碛中的冰碛石,以次棱角和次圆状为主,其中也会有大量带有擦面擦痕(细砂岩最易形成和保存)更具鉴别价值的冰碛石。构成冰碛物的物质,还包括散落冰面而未进入冰体的岩屑和进入冰体而未带入剪切面和冰床的岩屑,这两种岩屑均会保持尖角利刃的原始形态。

砾石圆度是在球度基础上进一步“加工”的结果。次棱角指的是“棱角磨损而面未磨损”,这种磨损即所谓的“钝化”,是将尖角利刃改造为角度大于90度的钝棱钝角。其作用是将岩屑相对薄弱的部分尽皆“削除”。次圆指的是“面和棱角俱已磨损,但仍清晰可辨”,即钝化后又有了初步的磨平。但是,这样形成的钝棱钝角还是显得比较粗糙(图4),这是冰碛石形态非常关键的特征,因此也是有鉴定价值的重要标志。冰碛石上得以保留的所谓的贝壳状断口、新形成的锋刃以及裂而不散等现象,应当主要形成于接近冰川末端的区域,之后已无机会被继续改造就脱离了冰体。总而言之,经过冰床和

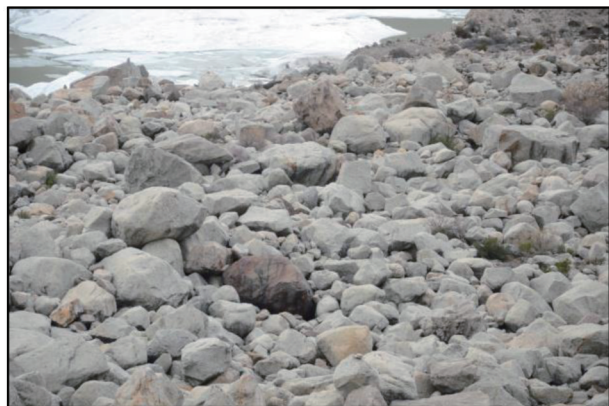


图4 来古冰川前端的花岗岩冰碛石(笔者拍摄)

Fig. 4 The glaciated granite stones from the Laigu Glacier (photographed by author)

剪切面造就的冰碛石,其表面形态构成要素为:磨损的棱角、磨擦的面、擦痕。那些虽经历冰面或冰内搬运但却毫发无损的岩屑,不能称作冰碛石,不具备鉴定价值。

4 冰碛石与泥石流石辨识

与冰碛石相比,泥石流石的“原材料”来源比较广泛,如物理风化、化学风化、生物风化、滑坡、崩塌

等地表过程产生的松散物质,在古冰川与现代冰川作用区的冰碛物也是其“原材料”。作为不同性质的搬运介质并具有悬殊的运动速度,冰川的受力过程是缓慢的,泥石流的受力过程是瞬间的。

黏性泥石流爆发后作层流运动,大石块悬浮于表层。稀性泥石流则呈紊流运动,大石块多为推移质。故后者在搬运过程中,砾石互相碰撞和接受磨擦的机会较前者更多。泥石流一般流程较短,在高频度翻滚的过程中不断改造岩屑的形态,提高其球度和磨圆度。剧烈的撞击同样会使片状体和长条体岩块破碎、折断而趋于球度更高。有学者选取34条泥石流沟进行圆度研究,采用了Powers提出的磨圆度法,得出低频山洪泥石流石主要由次圆和圆砾石组成,中、高频泥石流石主要由次棱角和棱角状砾石组成的结果^[10],此文献作者的解释是,低频山洪泥石流混杂有较多休眠期沟床流水磨圆的砾石。这样看来,泥石流堆积中砾石的形态较多样化。图5为山东蒙山峨峪口沟床砾石与较早混杂沉积砾石的球度三角图与圆度柱状图,显示其低球度砾石多于冰碛,沟床砾石中也存在少量磨圆成分,对多样化形态略有显示。但磨圆度仍以次棱角状和次圆状为主。

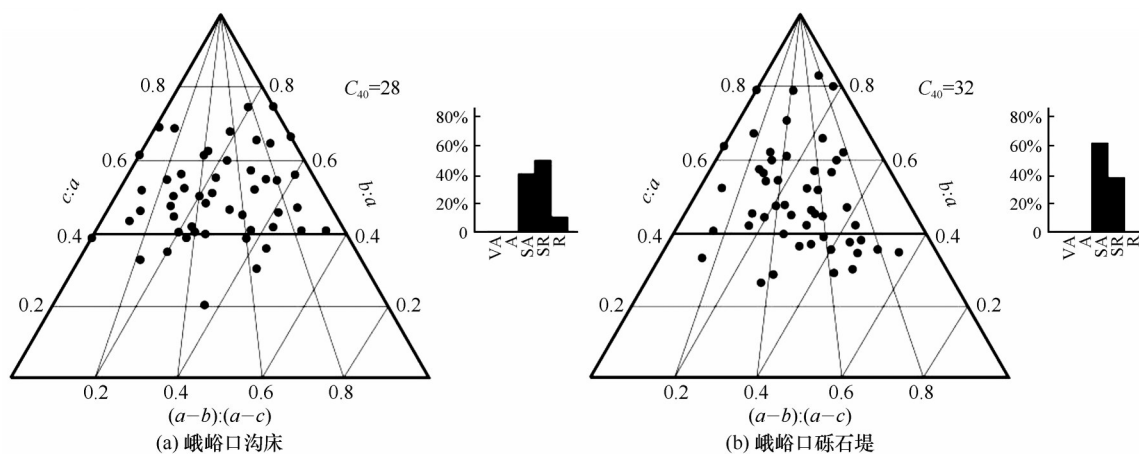


图5 山东蒙山沟谷砾石的球度与圆度

Fig. 5 Triangular diagram for sphericity and roundness of stones in Mengshan, Shandong Province, for valley bed stones at Eyukou (a) and for stone dike at Eyukou (b)

冰碛石和泥石流石的形成机制和过程不同,前者是固体介质界面碾压、磨蚀造就,后者为液态介质中滚动、撞击所成。野外观察,二者的区别显著。在球度与圆度的基础上,笔者在此就更加细微的特征与同行作进一步探讨。这些特征包括外接圆特征、粗糙度特征和形态-体积特征,这些特征应是磨圆度概念的应有之义,单独提出来强调一下,将有助

于区分冰碛石与泥石流石。

4.1 外接圆(或外包圆)特征

次棱角和次圆状的冰碛石,虽然局部被改造成钝棱钝角,但各部分的曲率及其曲率半径与砾石的三轴长短不存在关系。然而,次棱角和次圆状的泥石流石,其棱角磨圆显示大致趋同的曲率,若将它们连接起来,就可能形成一个具有同一曲率的圆

球,且其曲率半径必然在三轴半径尺度上。这表征泥石流石(尤其稀性泥石流)作为推移质在输移过程中的翻滚机制。由于翻滚随机调整方向,最终形成以 $a-c$ 半轴为半径的曲率。同一块砾石不可能存在各磨蚀棱角曲率半径小于半 c 轴的情形。泥石流石的这个特征不可能存在于冰碛石上。将很圆的砾石判定为冰碛石[图6(g)、(h)、(i)],属于明显的错误。但值得注意的是,在泥石流堆积中,大砾石局部磨圆的情况也普遍存在,不一定符合外接圆特征。这是其在搬运过程中被临时性阻滞于沟床,

局部接受被动磨圆所致。因为一定规模的泥石流,必定有其动力上限,质量超过动力上限的巨石,便不能被一次性搬运,但它们最终也会加入到终端堆积中去。另外,泥石流堆积中,带有破裂面的砾石更加普遍,表明其运动过程中撞击的猛烈程度。这些现象都是容易被识别的。所以,砾石棱角的外接圆特征无疑是冰碛石与泥石流石的重要区分标志之一。

4.2 粗糙度特征

同为受过磨擦的面,泥石流石的光滑度显然要



图6 典型冰碛石与泥石流石(沟床石)外接圆特征

Fig. 6 The external circular feature for typical glaciated stones and stones in debris flow

Glaciated stones: from Milashan pass, Tibet (a), from terminal of No.1 glacier of headwater of Urumqi River (b), from Elashan Pass, Qinghai (c), from Iceland^[3] (d); Debris flow stones: from Fengxi valley of Conghua, Guangdong (e, f), a false glaciated stone in Lushan Quaternary Glaciation Exhibition Hall (g), false glaciated stones^[11] (h, i)

比冰碛石的高,由此应引入粗糙度(即光滑度)的概念。材料学关于粗糙度的定义有三个参数,分别为 R_a 、 R_z 、 R_y ,分别用以表示表面一定长度内5个峰之间的轮廓偏距绝对值的算术平均值、5个峰与5个谷的平均振幅、最高峰和最低谷之间的幅度,单位通常为 μm 。粗糙度 $200\mu\text{m}$ 以下的肉眼难以分辨。冰碛石表面粗糙度都在肉眼能分辨的范围内,而水动力磨圆的砾石,完全可达到肉眼不能分辨的光度。故而泥石流流石与冰碛石的粗糙度既可用肉眼进行区别,亦可用手触摸加以区分。图6中的泥石流流石表面的光滑程度,非冰碛石所能比拟。砾石表面光滑程度是泥石流粘稠度与搬运距离的函数,越是稀性且搬运越远的泥石流,其砾石表面粗糙度会越低(光滑度越高)。所以表面粗糙度也应是砾石成因鉴别的重要标志之一。

4.3 圆度-体积特征

野外观察一般可以得出:泥石流流石的圆度与其体积呈反比,有越小越圆的趋势,是因为搬运同样的距离,小砾石滚动的频次更高。受冰体裹挟的砾石,无论大小,翻滚的频次都很低,故其圆度与体积不存在上述关系。此外,泥石流爆发会将沟床中经过磨蚀的石块卷入其中,故泥石流堆积中的砾石形态往往具有多样化,各种球度和磨圆度的砾石可同时存在。这些多形态组合特征要比冰碛石的丰富。

5 结论

冰碛石的钝棱钝角不具有趋同的曲率,也不具有同一的曲率半径。相反,泥石流流石的钝棱钝角表面具备趋同的曲率特征且其曲率半径必然在三轴半径尺度上;冰碛石的钝棱钝角仍具有较高的粗糙度,即使擦面也不会像卵石表面那样光滑。而泥石流沉积中会存在较多带有光滑表面的砾石;冰碛和泥石流沉积中都会存在原始岩屑,有时甚至占很大的比例,但它们本身不具备鉴别冰碛物与泥石流沉积的价值;同一套泥石流堆积中,其砾石磨圆度有越小越圆的趋势,砾石形态构成具有多样化,冰碛

物中的砾石不具备这些特征;如果在一套混杂堆积中找不到一块具有典型形态和表面特征的冰碛石,且存在高比例水动力磨光的砾石,则该混杂沉积就不能判定为冰川沉积。这些形态特征与冰川擦痕、颤痕应当是冰川与非冰川沉积物识别的重要标志,与其他沉积学特征综合考虑,或许能更大程度地避免误判。

谨以此文,纪念李吉均先生!

致谢:感谢王乃昂教授、李卓伦教授及谢金明博士给予的支持和帮助。

参考文献(References):

- [1] Li Jijun. On glacial striation [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1982, 4(1): 29-34. [李吉均. 论冰川擦痕[J]. 冰川冻土, 1982, 4(1): 29-34.]
- [2] Li Jijun, Zhou Shangzhe. The shapes and surface features of glaciated stones [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1984, 6(3): 27-30. [李吉均, 周尚哲. 冰碛石的形态和表面特征[J]. 冰川冻土, 1984, 6(3): 27-30.]
- [3] Boulton G S. Boulder shapes and grain-size distributions of debris as indicators of transport paths through a glacier and till genesis [J]. Sedimentary, 1978, 25: 773-799.
- [4] Sneed E D, Folk R L. Pebbles in the lower Colorado River, Texas a study in particle morphogenesis [J]. The Journal of Geology, 1958, 66: 114-150.
- [5] Graham D J, Midgley N G. Graphical representation of particle shape using triangular diagrams: an excel spreadsheet method [J]. Earth Surfaces Processes and Landforms, 2000, 25: 1473-1477.
- [6] Benn D I, Ballantyne C K. The description and presentation of particle shape [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1993, 18: 665-672.
- [7] Benn D I. Clast form analysis [M]. Encyclopedia of Quaternary Science, Elsevier, 2007: 904-909.
- [8] Barrett P J. The shape of rock particles, a critical review [J]. Sedimentology, 1980, 27: 291-303.
- [9] Powers M C. A new roundness scale for sedimentary particles [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1953, 23: 117-119.
- [10] Gao Yunjian, Chen Ningsheng, Tian Shufeng, et al. Frequency identification of debris flow outbreak based on roundness of debris flow cumulative stones [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(4): 370-374. [高云建, 陈宁生, 田树峰, 等. 基于堆积物石块磨圆度的泥石流暴发频率判识 [J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 370-374.]
- [11] Han Tonglin. Moulin discovered [M]. Beijing: Huaxia Publishing House, 2004. [韩同林. 发现冰臼 [M]. 北京: 华夏出版社, 2004.]

A study on the morphological features of glaciated stone and its differences from debris flow stone

ZHOU Shangzhe

(School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: The sphericity and roundness of clasts have been used to distinguish glacial stones and other diamictic deposits for a long time, however, it is not enough to describe the subtle features among them. Therefore, it is necessary to further excavate the more discriminative indicator. Aiming to identify the glaciated stones and debris flow stones, several concepts are presented in this paper, including external circular feature, roughness feature, roundness-volume feature and their multimodal mixing characteristics in the diamictic deposits. These features, combining with other micro-morphological features, such as the glacial striations, glacial chatter marks, can be used to determine the origin of contentious deposition, especially in the eastern China. Meanwhile, the author hope that these suggestions will be corrected and improved in practice.

Key words: glaciated stone; debris flow stone; morphological feature

(责任编辑：赵井东；编辑：周成林)