

# 古代冰碛岩化学风化信号来源

李素, 周瑶琪

中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东青岛, 266580

冰碛岩是上地壳的重要组成物, 是冰碛物在地表或浅海沉积固结成岩过程中形成的岩石, 具有分布范围广, 化学风化作用弱, 分选差等特点。冰碛岩通常是由细粒的砂泥基质和砾石组成(Larson 和 Birkeland, 1982), 细粒基质中含有不同组分的角砾状和圆砾状碎屑, 发育冰溜面、冰川擦痕、坠石等构造(李秋根等, 2004; Gaschnig 等, 2014)。

由于冰碛岩具有分选差和化学风化弱的特点, Goldschmidt (1933) 提出冰川沉积物可以作为限定大陆地壳组成的有效岩石。Canil 和 Lacourse (2011) 进一步证明不列颠哥伦比亚山谷冰川沉积物可以限定大陆地壳组成。本文古冰碛岩中却发育大量化学风化作用信号, 因此, 对化学风化作用的深入研究, 是了解冰碛岩限定陆壳有效性的关键。

## 1 地质历史时期的冰川沉积事件及地理分布

除新生代冰川外, 地质历史时期主要发育四期冰川沉积, 分布在中太古代 (~2.9Ga)、古元古代 (2.4~2.2Ga)、新元古代 (750~550Ma) 和古生代 (包括奥陶、泥盆短暂冰期和石炭-二叠较长冰期)。

中太古代冰碛岩仅发育在南非和西澳大利亚 (Young 等, 1998)。古元古代冰碛岩在数大陆中都发育(Bekker 等, 2001; Young 等, 2001)。新元古代, 主要包括 Sturtian (司图特), Marinoan (马林诺) 和 Ediacaran (埃迪卡拉) 三个大冰期, 全球广泛发生多次冰期, 在全球现代大陆中都存在冰碛岩沉积 (Hoffman 和 Li, 2009)。古生代的冰盖以南极为中心, 奥陶纪和泥盆纪时, 冰盖扩张覆盖部分冈瓦纳大陆, 形成相对较短的几个冰期(Caputo 和 Crowell, 1985; Isaacson et al., 2008), 石炭纪和二叠纪时, 冰盖扩张延伸到南半球的中纬度, 形成较

长的几个冰期(Caputo 和 Crowell, 1985)。新生代冰川集中分布在高海拔及高纬度南极、北极地区, 面积大约为 15000000km<sup>2</sup>, 占地球陆地总面积的 10% (Larson 和 Birkeland, 1982)。

取自北美、南美、南非、华南、格陵兰等多个地区的冰碛岩涵盖了太古代、古元古代、新元古代、古生代、晚新生代五个地质时期(Gaschnig 等, 2014)。分别对新元古代 Nantuo 期、古元古代 Timeball Hill 和 Duitschland 期的 3 个沉积剖面进行了连续取样, 并观测对比剖面从上到下的化学风化程度强弱的变化(Gaschnig 等, 2014)。

## 2 化学风化作用的广泛发育

Nesbitt 和 Young(1996)提出冰碛岩剥蚀、搬运和沉积过程中均不存在或很少存在化学风化作用。但是, 通过对大量冰碛岩的研究发现了广泛存在的化学风化信号: 大部分冰碛岩的化学蚀变指数高于新鲜火成岩(Gaschnig 等, 2014), 化学蚀变指数  $CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO * + Na_2O + K_2O)$ , CaO 是碳酸盐和磷灰岩校正后的结果; 几乎所有的冰碛岩强烈亏损锶元素(Gaschnig 等, 2014), 锶元素极易溶于水, 在化学风化过程中易丢失。这些现象正是化学风化作用存在的直接证据。

## 3 化学风化信号的来源

冰碛岩中的化学风化信号可能来源于冰碛物沉积前、沉积过程中或沉积后。即, 可能①继承冰碛岩沉积形成之前的大陆地壳化学风化信号; ②记录冰碛岩搬运、沉积过程中产生的化学风化作用; ③代表冰碛岩沉积后发生的后期风化作用。

由于冰川剥蚀、搬运沉积过程时, 温度很低, 因此冰碛岩形成之前, 冰川在地表运移和沉积成岩

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号: 41272123)资助的成果。

收稿日期: 2015-02-20; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 作者李素, 女, 1987年生。博士研究生, 地球化学专业。Email: lisu117@126.com。

过程中的化学风化作用可能很小,这与现代格陵兰冰川沉积物的化学风化作用弱(较低的 CIA 值,47)是吻合的。

沉积之后的后期风化作用对冰碛岩中的化学风化信号贡献不大,是基于三个原因①是冰碛岩快速沉积,迅速掩埋,远离地表风化环境;②冰碛岩中缺乏后期化学风化的古土壤证据;③冰碛岩沉积剖面中易溶元素(例如,锶元素)含量和化学蚀变指数没有系统性变化,指示化学风化程度在剖面上无系统性的强弱变化,与典型的后期风化剖面中从上到下风化作用减弱的特征不符。

因此,推断冰碛岩中的化学风化信号,继承了冰川运移路径之上的大陆地壳沉积岩(物)的化学风化信号。

#### 4 冰碛岩:古代大陆地壳组成有效的指示性岩石

目前,用于评估上地壳平均地壳组成的沉积岩石主要有两大类:①页岩、泥岩等细粒沉积岩和②黄土、冰碛岩等沉积物。

页岩和泥岩形成过程复杂,经历了较多的化学风化作用,可以有效评估稀土元素和其他难溶元素含量,不能准确评估地壳中易溶元素的含量。黄土仅能应用于限定新生代的地壳组成。

与上述几类指标相比,冰碛岩评估上地壳成分组成更有优势:①冰碛岩物理分选差;②冰碛岩化学风化作用弱,前文已证明,即使存在化学风化作用,也是记录的冰碛岩沉积前的风化信号;③冰川沉积可以追溯到 2.9Ga 前 (Young et al., 1998),利于评估地球上地壳组成时间演化。因此,冰碛岩是用于研究大陆地壳组成演化历史的有效的指示性岩石。笔者作为项目组成员,目前正在马里兰大学 Rudnick 教授课题组展开利用冰碛岩追溯上地壳演化的研究工作,对 Rudnick 教授、Gaschnig 博士后两年来给予的指导和帮助在此表示一并感谢。

#### 参 考 文 献 / References

李秋根,刘树文,韩宝福,郭召杰,张志诚,郑海飞,杨斌.2004.新疆库鲁克塔格震旦系冰碛岩的地球化学特征及其对物源区的指示.自然科学进

展,14(9),999~1005.

- Bekker A, Kaufman A J, Karhu J A, Beukes N J, Swart Q D, Coetzee L L, Eriksson K A. 2001. Chemostratigraphy of the Paleoproterozoic Duitschland formation, South Africa: implications for coupled climate change and carbon cycling. *American Journal of Science* 301, 261~285.
- Canil D, Lacourse T. 2011. An estimate for the bulk composition of juvenile upper continental crust derived from glacial till in the North American Cordillera. *Chemical Geology* 284(3-4), 229~239.
- Caputo M V, Crowell J C. 1985. Migration of glacial centers across Gondwana during Paleozoic era. *Geological Society of America Bulletin* 96, 1020~1036.
- Gaschnig R M, Rudnick R L, McDonough W F, Kaufman A J, Hu Z C, Gao S. 2014. Onset of oxidative weathering of continents recorded in the geochemistry of ancient glacial diamictites. *Earth and Planetary Science Letters*. 408, 87~99.
- Goldschmidt V M. 1933. Grundlagen der quantitativen geochemie. *Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie* 17, 112~156.
- Hoffman P F, Li Z X. 2009. A palaeogeographic context for Neoproterozoic glaciation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 277, 158~172.
- Isaacson P E, Diaz-Martinez E, Grader G W, Kalvoda J, Babek O, Devuyt F X. 2008. Late Devonian-Earliest Mississippian glaciation in Gondwanaland and its biogeographic consequences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 268, 126~142.
- Larson Edwin E, Birkeland Peter W. 1982. Putnam's geology-4<sup>th</sup> edition. Oxford University Press.
- Nesbitt H W, Young G M. 1996. Petrogenesis of sediments in the absence of chemical weathering: effects of abrasion and sorting on bulk composition and mineralogy. *Sedimentology* 43(2), 341~358.
- Young G M, Von Brunn V, Gold D J C, Minter W E L. 1998. Earth's oldest reported glaciation: Physical and chemical evidence from the Archean Mozaan Group (similar to 2.9 Ga) of South Africa. *Journal of Geology* 106, 523~538.
- Young G M, Long D G F, Fedo C M, Nesbitt H W. 2001. Paleoproterozoic Huronian basin: product of a Wilson cycle punctuated by glaciations and a meteorite impact. *Sedimentary Geology* 141-142, 233~254.