



新闻动态

您现在的位置: 首页 > 新闻动态 > 学术前沿

- 图片新闻
- 头条新闻
- 通知公告
- 学术活动
- 综合新闻
- 科研动态
- 研究亮点
- 学术前沿

PNAS: 大型不整合面是否指示冰川活动

2020-07-05 | 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

地质历史时期的大型不整合面是指缺少生物化石的前寒武纪地层和富含生物化石的显生宙地层的分界面。对于查尔斯·达尔文来说,复杂宏观化石突然出现在寒武纪地层里,似乎无法解释生物渐变论,这需要从全球地层缺失角度来解释化石记录的不完整性。尽管有研究从生物绝灭和辐射的角度来解释了生物化石时间上的不连续,但这并不能完全排除是由于新元古代晚期至寒武纪全球不整合面所导致的(Peters et al., 2012; Keller et al., 2019; Sobolev et al., 2019)。这种大型不整合面也出现在北美地区,在那里寒武纪海侵层序常常覆盖在前寒武纪基底岩石之上,可以和其它大陆板块内新元古代-寒武纪不整合面相对比(Keller et al., 2019)。最近,地质学家推测大型不整合面内的侵蚀作用可能和地球系统的多种变化过程有关,包括新元古代的雪球地球事件、现代板块构造的启动、大气和海洋的氧化以及寒武纪生命大爆发(Flowers et al., 2020)。然而,这些大型不整合面的形成和持续时间、诱导因素以及全球同时/穿时性问题尚无定论。寒武纪沉积岩覆盖在老地层或者不整合地覆盖在基底岩石之上,标志着岩石记录的间断,受到了地质学家的广泛关注并开展了大量工作。但是根据目前保存的岩石记录地质学家还不能直接判断哪些侵蚀过程促使了它们的形成。

以往的研究对大型不整合面形成之前的大陆侵蚀时间和侵蚀幅度提出了四种假说(图1)。第一种假说认为大陆的侵蚀作用主要和850 Ma之前罗迪尼亚超大陆聚合和地幔上涌有关,而第二种假说认为可能主要和850-717 Ma罗迪尼亚超大陆裂解有关。第三种假说认为和717-635 Ma成冰纪冰川事件相关,而最后一种假说认为动物和现代生态系统的出现是由于陆地遭受侵蚀向海洋输送营养物质以及埃迪卡拉纪-寒武纪过渡时期大气氧含量上升所致(Flowers et al., 2020)。这些争论的核心是这些大型不整合面究竟是代表一期全球性冰川侵蚀事件(Peters et al., 2012; Keller et al., 2019),还是多期次构造作用的叠加(Karlstrom et al., 2012)。这些大型不整合面很可能在长达几亿年时间内经过多期次的区域构造作用形成。这些多期次、不均一的构造作用叠加到一起形成了长期的大型沉积间断面。地球化学和沉积学证据指示大型不整合面是全球现象,但没有对侵蚀面直接进行年龄测定。年龄上的不确定性也说明这些地球化学证据存在多解性。要对这些大型不整合面形成的各种假说进行验证,必须通过选取具体剖面来限定显生宙盖层形成之前的前寒武纪基底剥蚀历史,确定大型不整合面的形成时间。

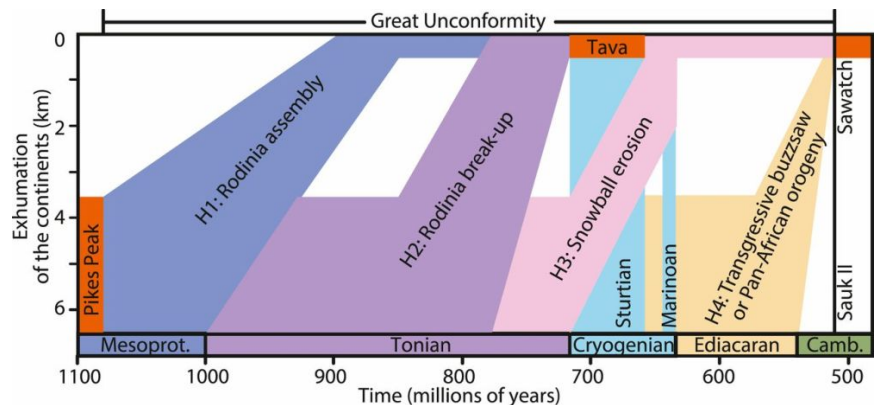


图1 大型不整合面之下的侵蚀历史。橙色条数据来自美国科罗拉多州。假说1认为大陆的侵蚀主要和罗迪尼亚超大陆聚合和地幔上涌有关,假说2认为可能主要和罗迪尼亚超大陆裂解有关,假说3认为和717-635 Ma成冰纪冰川事件相关,假说4认为和寒武纪海侵及随后的沉积物埋藏、劳亚大陆边缘裂解或者泛非造山作用和环大西洋造山作用以及潘诺西亚大陆的组建有关。另外一种假说认为存在多个大型不整合面,代表穿时的区域构造现象,主要出现在劳亚大陆和裂谷边缘(Flowers et al., 2020)

最近热年代学工作被应用在限定美国中西部地区大型不整合面形成之前的冷却事件,推测大规模冷却和侵蚀作用和罗迪尼亚超大陆裂解有关(Orme et al., 2016; DeLucia et al., 2017)。这些地区大型不整合面之上的寒武纪沉积序列限定了不整合面形成于寒武纪之前,说明热年代学数

据可以用来推测新元古代晚期的大型侵蚀作用。把新元古代和寒武纪地质学证据和热年代学数据相结合对于解决冷却和侵蚀历史、区分大型不整合面形成的各种模型假说至关重要。

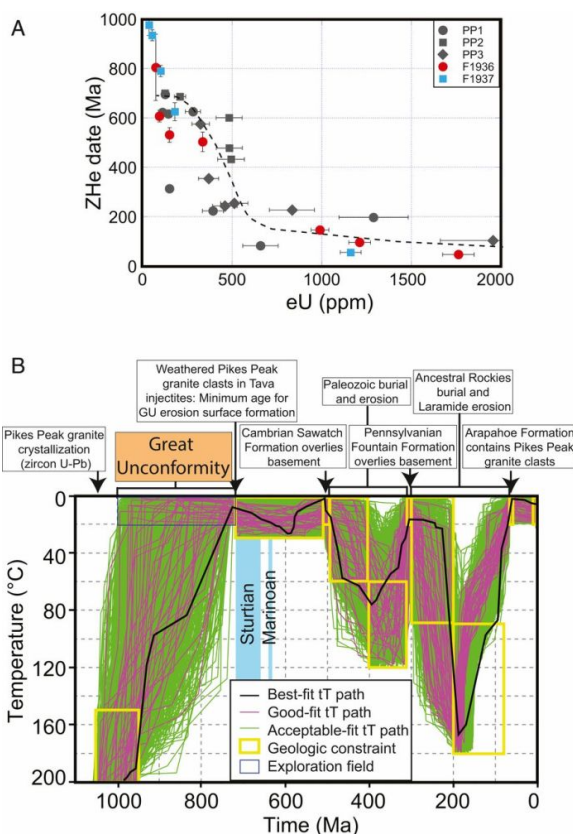


图2 派克峰花岗岩锆石 (U-Th)/He数据和热演化历史模拟结果。A. 锆石He年龄vs eU图解，虚线指示图B中最佳拟合路径预测的He年龄-eU分布。B. 温度-时间图解显示派克峰花岗岩ZHe数据倒转热演化历史模型结果。模型的初始条件是假定在 1066 ± 10 Ma时派克峰花岗岩的温度为 600°C ，随后经历了快速冷却。图中只显示了 $<200^\circ\text{C}$ 的温度范围，但最佳拟合路径可以重现图A中的eU数据 (Flowers et al., 2020)

美国科罗拉多州南部弗兰特山脉内，新元古代-寒武纪沉积岩覆盖在中元古代晚期派克峰岩基之上。为了限定派克峰岩基初始暴露于地表的时间、验证与大型不整合面相关的各种侵蚀作用假说，Jensen et al. (2018) 对这些新元古代-寒武纪沉积岩进行了热年代学研究，试图通过研究派克峰岩基之上的塔瓦凯夫砂岩岩墙/岩床来限定花岗岩的最小初始暴露年龄。塔瓦凯夫砂岩岩墙/岩床内9颗大粒径热液成因赤铁矿得出了一个 676 ± 26 Ma (U-Th)/He 平均年龄，限定了派克峰岩基最小侵位年龄 (Jensen et al., 2018)。应用赤铁矿He扩散动力学数据进行热演化历史模拟揭示了赤铁矿在随后埋藏作用过程中经历了He丢失，所以只有最老的4个赤铁矿年龄可代表派克峰岩基的侵位时间，其余年轻的年龄均指示He丢失 (Jensen et al., 2018)。

Flowers et al. (2020) 对派克峰花岗岩内30颗锆石进行了(U-Th)/He热年代学分析，旨在进一步精确限定岩基的初始暴露时间。原理很简单：岩体侵位、剥蚀、暴露到地表时会冷却，因此锆石ZHe数据能够记录这段关键时期的冷却历史。锆石数据展示了ZHe和U含量 (eU) 之间呈现负相关关系 (图2A)。年龄分布在 975 ± 41 Ma~ 46 ± 1 Ma之间，eU分布在37-1955 ppm之间。这种分布型式指示放射损伤剂量越高，He保留的就越少。Flowers et al. (2020) 应用HeFTy程序和锆石放射损伤积累和愈合模型 (ZRDAAM) 对派克峰花岗岩锆石的ZHe数据进行了时间-温度模拟，以此来检验锆石ZHe数据是否和717 Ma之前基底剥蚀的地质证据相吻合 (图2B)。拟合最佳的时间-温度轨迹再现了所观测到的ZHe-eU分布规律。更重要的是，这套可行的时间-温度路径允许浅部花岗岩岩基在1000-717 Ma之间侵位、冷却和剥蚀暴露到地表。该研究说明这些大型不整合面之下的侵蚀作用发生在成冰纪冰川之前，和冰川作用无关，更可能是由于区域上多期、穿时的构造侵蚀作用形成的。

【致谢：感谢岩石圈室王非研究员的宝贵意见。】

主要参考文献

DeLucia M S, Guenther W R, Marshak S, et al. Thermochronology links denudation of the Great Unconformity surface to the supercontinent cycle and snowball Earth[J]. *Geology*, 2018, 46(2): 167-170. (链接)

Flowers R M, Macdonald F A, Siddoway C S, et al. Diachronous development of Great Unconformities before Neoproterozoic Snowball Earth[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, 117(19): 10172-10180. (链接)

Jensen J L, Siddoway C S, Reiners P W, et al. Single-crystal hematite (U-Th)/He dates and fluid inclusions document widespread Cryogenian sand injection in crystalline basement[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2018, 500: 145-155. (链接)

Karlstrom K E, Timmons J M. Many unconformities make one 'Great Unconformity' [J]. *Geological Society of America, McLean, VA*, 2012, 489: 73-79.

Keller C B, Husson J M, Mitchell R N, et al. Neoproterozoic glacial origin of the Great Unconformity[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, 116(4): 1136-1145. (链接)

Orme D A, Guenther W R, Laskowski A K, et al. Long-term tectonothermal history of Laramide basement from zircon-He age-eU correlations[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2016, 453: 119-130. (链接)

Peters S E, Gaines R R. Formation of the 'Great Unconformity' as a trigger for the Cambrian explosion[J]. *Nature*, 2012, 484(7394): 363-366. (链接)

Sobolev S V, Brown M. Surface erosion events controlled the evolution of plate tectonics on Earth[J]. *Nature*, 2019, 570(7759): 52-57. (链接)

(撰稿: 兰中伍/岩石圈室)



地址: 北京市朝阳区北土城西路19号 邮编:100029 电话: 010-82998001 传真: 010-62010846
版权所有© 2009-2021 中国科学院地质与地球物理研究所 京ICP备05029136号 京公网安备110402500032号

