



新闻动态

- 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

NC：太古宙早期洋壳俯冲的钙同位素证据

2022-02-16 | 【大 中 小】【打印】【关闭】

陆壳形成时间和机制一直是地学界备受关注的关键科学问题，对于理解板块构造历史、大气和海洋化学演化以及生命演化等科学问题具有重要意义。TTG代表了太古宙陆壳的主要物质组成，但对于TTG是通过俯冲洋壳或加厚下地壳熔融还是通过中-下地壳玄武质岩浆的广泛分离结晶形成的，学术界仍存在争议。最近有研究通过重硅同位素特征提出，TTG源区需要有表壳物质的加入，并倾向于太古宙的水平构造模式。但现存问题是，通常用来推断TTG成因的微量元素比值，并不能得到很确切的结论。因此，对于表壳物质（如燧石）是否通过俯冲或其它过程进入了TTG源区仍值得质疑。

针对上述问题，来自巴黎大学的Michael A. Antonelli博士及其合作者提出通过稳定钙同位素来制约TTG岩浆形成的表面地热梯度，继而对古老陆壳形成的构造环境进行判断。相关成果发表于Nature Communications上（Antonelli et al., 2021）。

作者对已经有其它同位素数据（Si, Hf, 和 Nd）的现代埃达克岩、太古宙的TTG和拉斑质花岗岩类样品进行了钙同位素分析。首先，为了更好地说明温度和压力升高带来的相反同位素分馏效应，以及在逐步熔融过程中TTG源岩中矿物比例和成分的变化，他们将平衡钙同位素分馏和相平衡模拟研究相结合。研究结果显示， $\delta^{44}\text{Ca}$ 总体变化趋势受温度和压力之间的对抗制约，即温度升高，同位素分馏降低；压力增加，同位素分馏因残留的石榴石增加而增加(图1a)。另外，他们发现，多数TTG和现代埃达克岩都可以被500–750°C/GPa的地热梯度轨迹所解释（图1b）。这个地热梯度范围和现代热俯冲的地热梯度类似，但比直接使镁铁质地壳熔融需要的温度高。

尔后，作者利用湿玄武岩固相线作为温度下限进行计算（图1c），得到的结果与以前对TTG成因的预测一致（Palin et al., 2016），同时也与估计的现代埃达克岩的P-T结果一致，而现代埃达克岩通常形成于热/年轻洋壳的俯冲环境。相比之下，加厚下地壳底部熔融发生于更高的地热梯度下（>700° C/GPa）。因此，利用钙同位素数据并结合最近的地球物理模型，作者认为太古宙TTG很可能形成于热俯冲环境（图2）。

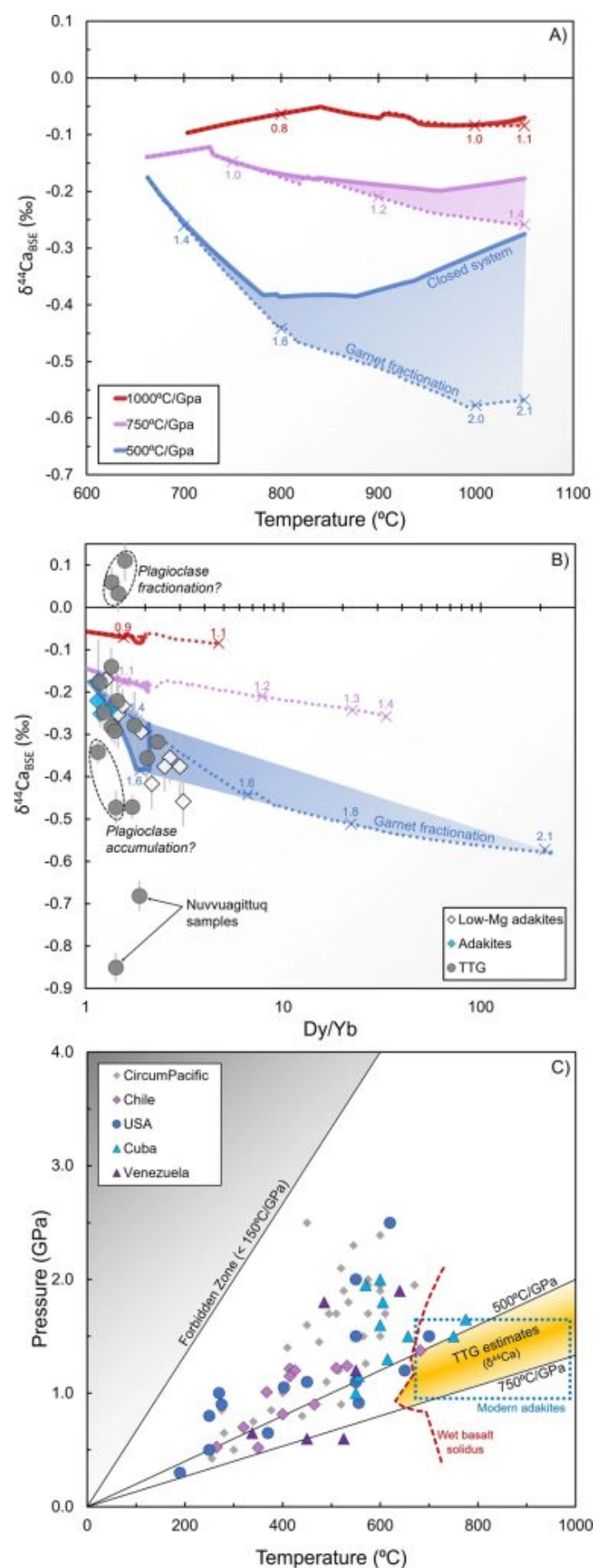


图1 对亏损的太古宙拉斑玄武岩（DAT）进行的相平衡模拟结果以及与 $\delta^{44}\text{Ca}$ 测量值和现代俯冲带 P-T 估计值之间的比较（Antonelli et al., 2021）。（A）地热梯度对 $\delta^{44}\text{Ca}$ 的影响；（B） $\delta^{44}\text{Ca}$ vs. Dy/Yb 模拟结果和数据（彩色数字代表压力，GPa）；（C）现代热俯冲带组合（榴辉岩和蓝片岩（Penniston-Dorland et al., 2015）），现代埃达克岩（Hastie et al., 2016）以及太古宙 TTG 样品的 P-T 估计

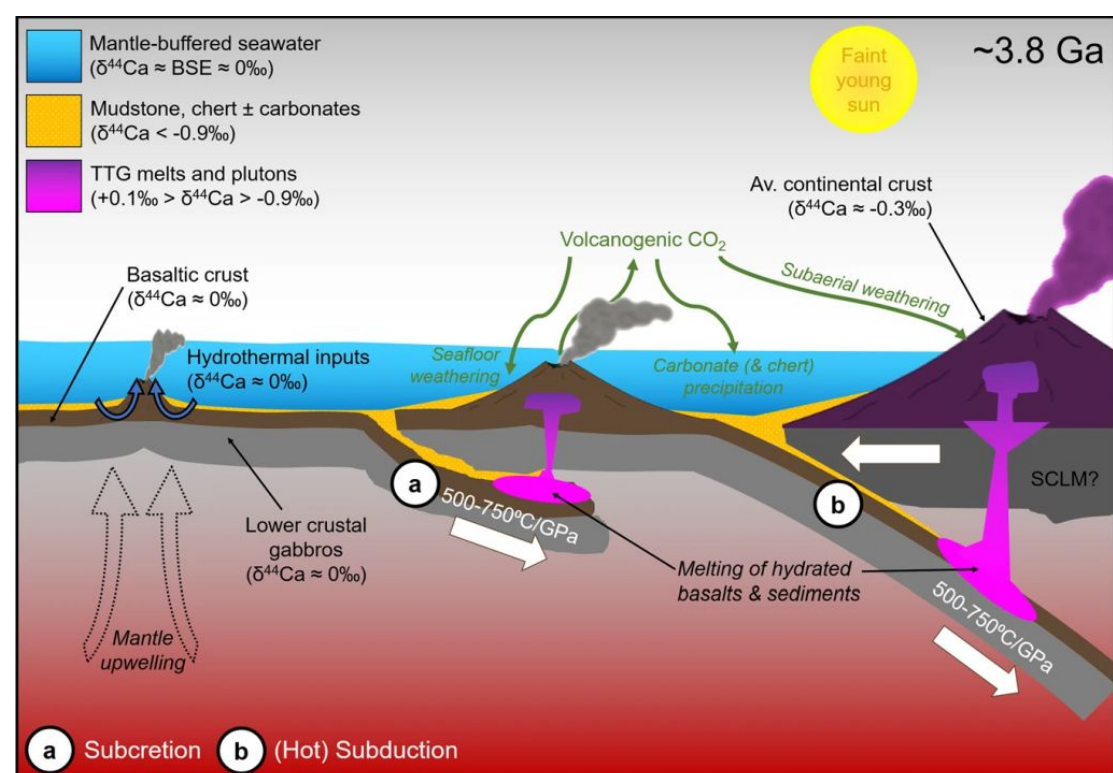


图2 由本文数据支持的动力学模型（Antonelli et al., 2021）

此外，作者发现，在他们500℃/GPa这一模型预测之下，有两个花岗岩类样品有异常低的 $\delta^{44}\text{Ca}$ ，这无法用平衡岩浆过程来解释，而很可能是由碳酸盐沉积物所致（图2）。因此，本文数据为始太古代早期洋底存在碳酸盐沉积物提供了独立证据，将保存的最老的碳酸盐单元时间提前了。这暗示了硅酸盐-碳酸盐循环在3.8 Ga之前就已经存在，并为大量的火山CO₂脱气作用提供了储蓄地。以上结果对大陆的出现/风化随时间的演化具有重要启示意义。

最后，作者指出，虽然本文数据不一定证明板块边界彼此连接的全球格架（有些板块构造是如此定义的）的存在，但他们证明了俯冲事件在太古宙重复出现，与越来越多的证据指示的板块构造于3.5 Ga之前启动的结论（Arndt, 2013; Keller et al., 2020; Ptáček et al., 2020）一致。

致谢：感谢岩石圈室前寒武纪课题组各位同事的宝贵修改建议。

主要参考文献

Antonelli M A, Kendrick J, Yakymchuk C, et al. Calcium isotope evidence for early Archaean carbonates and subduction of oceanic crust[J]. Nature Communications, 2021, 12: 2534. ([原文链接](#))

Arndt N T. Formation and evolution of the continental crust, Geochem[J]. Perspectives, 2013, 2: 405-533.

Hastie A R, Fitton J G, Bromiley G D, et al. The origin of Earth's first continents and the onset of plate tectonics[J]. Geology, 2016, 44(10): 855-858.

Keller C B, Harrison T M. Constraining crustal silica on ancient Earth[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2020, 117(35): 21101-21107.

Palin R M, White R W, Green E C R. Partial melting of metabasic rocks and the generation of tonalitic-trondhjemitic-granodioritic (TTG) crust in the Archaean: Constraints from phase equilibrium modelling[J]. Precambrian Research, 2016, 287: 73-90.

Penniston-Dorland S C, Kohn M J, Manning C E. The global range of subduction zone thermal structures from exhumed blueschists and eclogites: Rocks are hotter than models[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2015, 428: 243-254.

Ptáček M P, Dauphas N, Greber N D. Chemical evolution of the continental crust from a data-driven inversion of terrigenous sediment compositions[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2020, 539: 116090.

（撰稿：单厚香/中国地震局地质研究所，周艳艳/岩石圈室）