
科学家揭示板块俯冲起始时代的全球性地域差别

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/21017.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

科学家揭示板块俯冲起始时代的全球性地域差别。 板块构造是地球区别于太阳系其他类地行星的主要构造特征。地球是人类和所有已知生命物种的共同家园，其宜居性的建立、改善和长期维持，包括生命活动所需营养物质的循环补给，适宜的大气温度、湿度、氧含量等等，都有赖于板块构造驱动的全球各圈层持续不断的物质-能量交换。板块构造的提出至今已逾半个世纪，尽管已得到了广泛验证和支持，但是仍存在着很多未解之谜。其中，板块构造的起始时间一直是争议最大的热点问题。

根据现今板块构造的地质地球化学研究和地球物理资料，科学家总结出一些板块构造公认的识别标志，包含地球化学特征、高压变质作用、洋壳残片/蛇绿岩、古地磁等方面。这些标志和指标，用来确定显生宙的板块构造是成功的，但是推展到地球早期的太古宙就存在很多不确定性，用来识别和确认板块构造的启动时代，则出现较大的偏差，不同方法给出的板块构造启动时代可以从晚于10亿年到早于40亿年不等(图1)。例如，通过研究金刚石的N含量及C-N同位素，科学家(Smart et al., 2016)认为南非Kaapvaal克拉通的金刚石中高的N含量及正的 $\delta^{15}\text{N}$ 同位素指示地表岩石的再循环，板块构造在35亿年已经开始。通过研究金刚石中包裹体组分，有学者发现32亿年前的金刚石中为单一的地幔岩石包裹体，而30亿年以来的金刚石中开始出现榴辉岩包裹体，从而提出板块构造可能发生在30亿年以后(Shirey et al., 2011)。通过研究金刚石中硫化物包裹体的S同位素，科学家(Smit et al., 2019)发现30亿年以来的硫化物包裹体具有太古宙地表环境的 33S 非质量分馏，板块构造应发生在30亿年以后。利用大陆地壳生长曲线在30亿年开始趋于平稳，学者认为30亿年开始出现陆壳的再循环，可能指示了板块构造的启动(Dhuime et al., 2012)。通过研究大陆地壳成分演化规律，有学者建立了大陆地壳成分与页岩和冰碛岩中Ni/Co和Cr/Zn的联系，认为在30亿年开始出现大量长英质地壳，全球性的板块构造应发生在30亿年(Tang et al., 2016)。通过总结全球变质作用的地温梯度，有学者认为在27亿年左右，开始出现地球早期的双变质带，指示了板块构造从此时开始(Brown, 2006)。同样是变质作用的角度，有学者(Stern et al., 2005)则认为蓝片岩(冷俯冲变质岩)的首次出现指示了板块构造的启动发生在10亿年以后。区别于地球最早期的滞壳构造以垂向构造为主，板块构造以水平方向的运动为主。在一些古老的克拉通记录了古老的水平构造。例如，在格陵兰岛的研究发现大约有37-38亿年的古老增生构造(Komiya et al., 1998)，在西澳Pilbara克拉通发现有32亿年的水平构造(van Kranendonk et al., 2007)，在加拿大苏必利尔克拉通发现有27亿年的水平构造(Lin et al., 2005)，都被解释为板块构造启动的证据。地球物理的资料对板块构造的启动也有贡献。科学家在加拿大Slave克拉通发现有残留的35亿年的切斜界面，在96-124 km深处的倾斜角度低于 20° ，被解释为板块俯冲的痕迹(Chen et al., 2009)。在西澳Pilbara克拉通东部，科学家利用古地磁发现32亿年的玄武岩记录了古纬度的偏转，可能反映了板块构造驱动的水平运动(Brenner et al., 2020)。基于华北克拉通的短周期密集观测剖面资料，结合全球其他克拉通地球物理资料，有学者(Wan et

al.,2020)指出全球联动的板块构造发生于20亿年。

上述研究给出的板块构造启动时代从晚于10亿年到早于40亿年。这样的差别源于各类标志和指标之间的差异，也由地球早期地质记录不完整导致的特定记录实质上的区域性所致。因此，选择一种普遍发育的地质记录，观察其中板块构造相关指标的变化规律，或许能够获得更明确的认识。

众所周知，太古宙大陆地壳的最主要岩石单元，是英云闪长岩(tonalite)-奥长花岗岩(trondhjemite)-花岗闪长岩(granodiorite)组合(TTG岩套)，可占大陆地壳岩石构成的50%以上，并且在全球各个太古宙大陆/克拉通都有高比例分布。同时，TTG岩石是硅饱和岩浆结晶的岩石，大量发育可定年矿物锆石，可以准确定年，是研究早期地球动力学过程非常理想的研究对象。在TTG成因研究的50年历史中，学术界倾向于认为TTG是由含水玄武岩在角闪岩相(中-低亚相系)至榴辉岩相(高压相系)变质作用中经部分熔融形成。其中，中-低压相系可能代表了大洋高原下地壳环境，而高压相系则与俯冲作用相关。由于形成的压力不同，TTG的微量元素也呈现出不同的特点。然而，TTG的形成并不仅仅依靠部分熔融过程，岩浆从形成到侵位过程中要经历分离结晶和同化混染，这些过程会改造岩浆的微量元素含量，使得依靠微量元素判别形成压力失去效力。例如，在南非和加拿大发育的TTG中均发现有斜长石堆晶的现象。由于斜长石中含有较高的Sr，而缺乏Y和重稀土含量，造成中低压条件下形成的岩浆通过斜长石堆晶就能形成高压型TTG。相比较而言，Ba在斜长石和长英质熔体间的分配系数趋近于1，即斜长石的堆晶不会造成岩浆Ba含量的变化。在主要造岩矿物中，Ba仅在钾长石和黑云母当中相容。然而，这些矿物的加入也会造成岩浆K和Ni含量的升高，这与天然TTG的成分并不吻合。而对Ba不相容的矿物的分离结晶会造成岩浆Mg#的降低，这也与天然TTG成分不吻合。因此TTG中的Ba含量更可能代表岩浆形成时的组分。如果俯冲作用与大洋高原下地壳熔融形成的TTG岩浆在Ba含量有所不同，那么全球TTG中Ba含量随时间的长期变化就能判断俯冲作用的起始。

基于上述认识，中国科学院地质与地球物理研究所副研究员黄广宇、研究员Ross Mitchell和研究员郭敬辉联合国际作者，以太古宙平均玄武岩作为原岩进行了相平衡模拟。结果显示，只有在低温高压的环境下能够形成高Ba含量的TTG岩浆(图2)，即只有俯冲环境下才能形成高Ba的TTG岩浆。通过分析现有的全球不同克拉通的TTG数据库，发现全球的TTG中Ba含量随时间演化，曾出现过3次正向的改变，分别发生在37亿年、31亿年和28亿年左右。进一步检验发现不同克拉通TTG中Ba含量的正向变化时间并不相同。其中，Slave克拉通的俯冲作用可能在40亿年就开始了，北大西洋克拉通和Kaapvaal克拉通紧随其后，分别在37亿年和35亿年开始出现俯冲作用。在30亿年左右，俯冲作用已经涉及到了大多数的克拉通。而较为年轻的克拉通，如Superior克拉通，则在27亿年开始出现俯冲作用(图3)。这些与前人报道的区域地质记录(图1)是一致的。

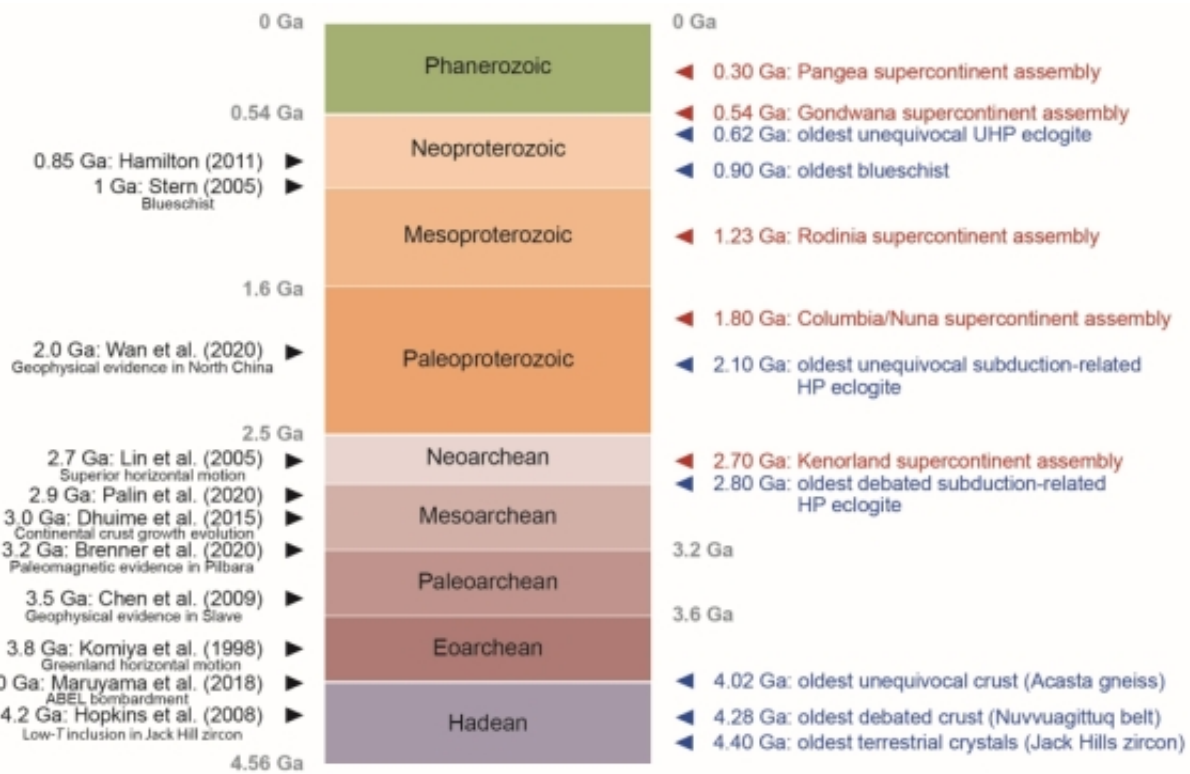


图1 不同作者提出的板块构造启动的时代

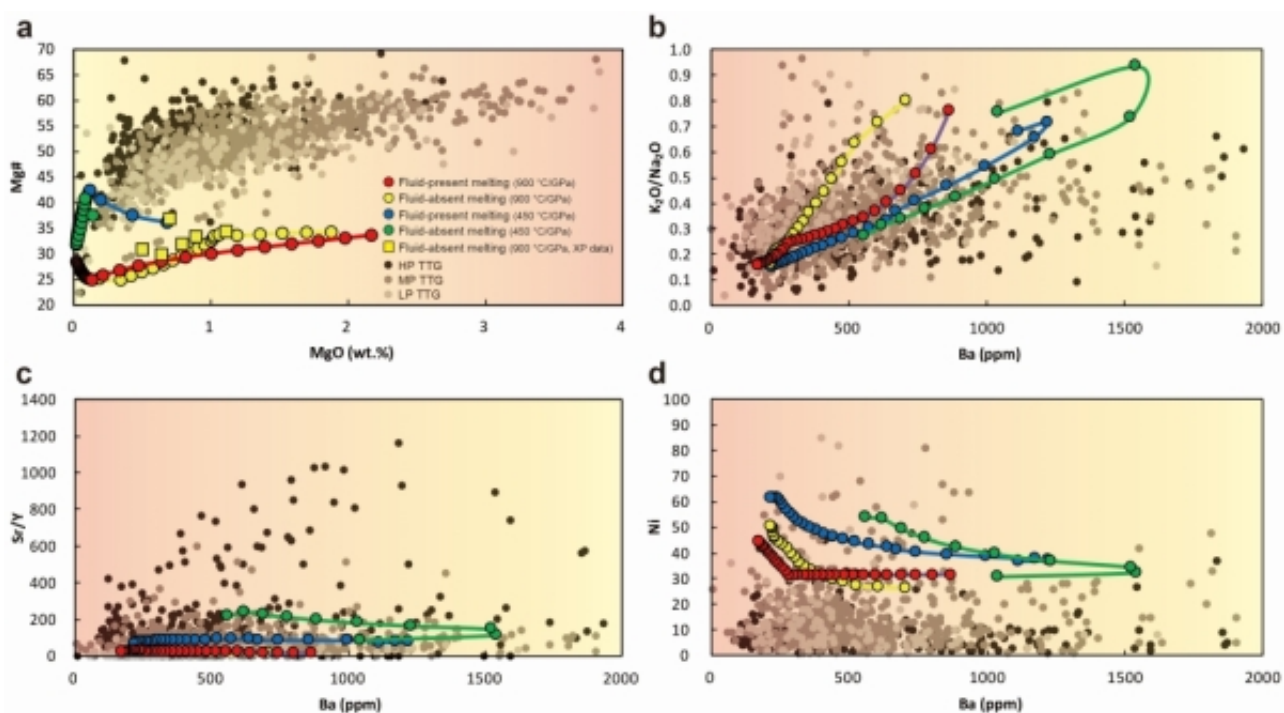


图2 天然TTG与相平衡模拟、实验岩石学结果对比(背景颜色黄色代表低温，桔色代表高温)

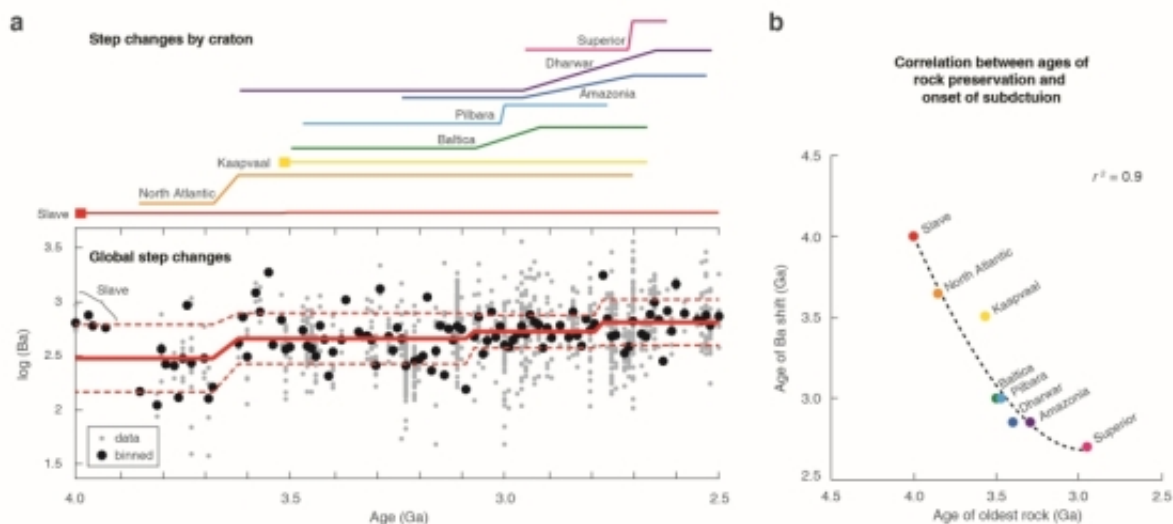


图3 全球不同克拉通TTG中Ba含量随时间的长期变化

板块俯冲作用起始时代的地域差异性，受控于很多因素，包括岩石圈的厚度、地幔的温度、岩石圈地幔和软流圈地幔的密度差、放射性生热元素含量等。在这些方面，地球并不是均匀的。因此俯冲作用的发生取决于各个因素的耦合，各方面条件均合适的地方会率先发生俯冲作用。任何一处的水平运动不会孤立存在，而是通过其他地区有相应的运动来平衡。因此俯冲作用会相继在全球各个位置相继发生，最终形成全球联动的板块构造，时间应该出现在27亿年之后。这与地球长期的热演化史是一致的(图4)。

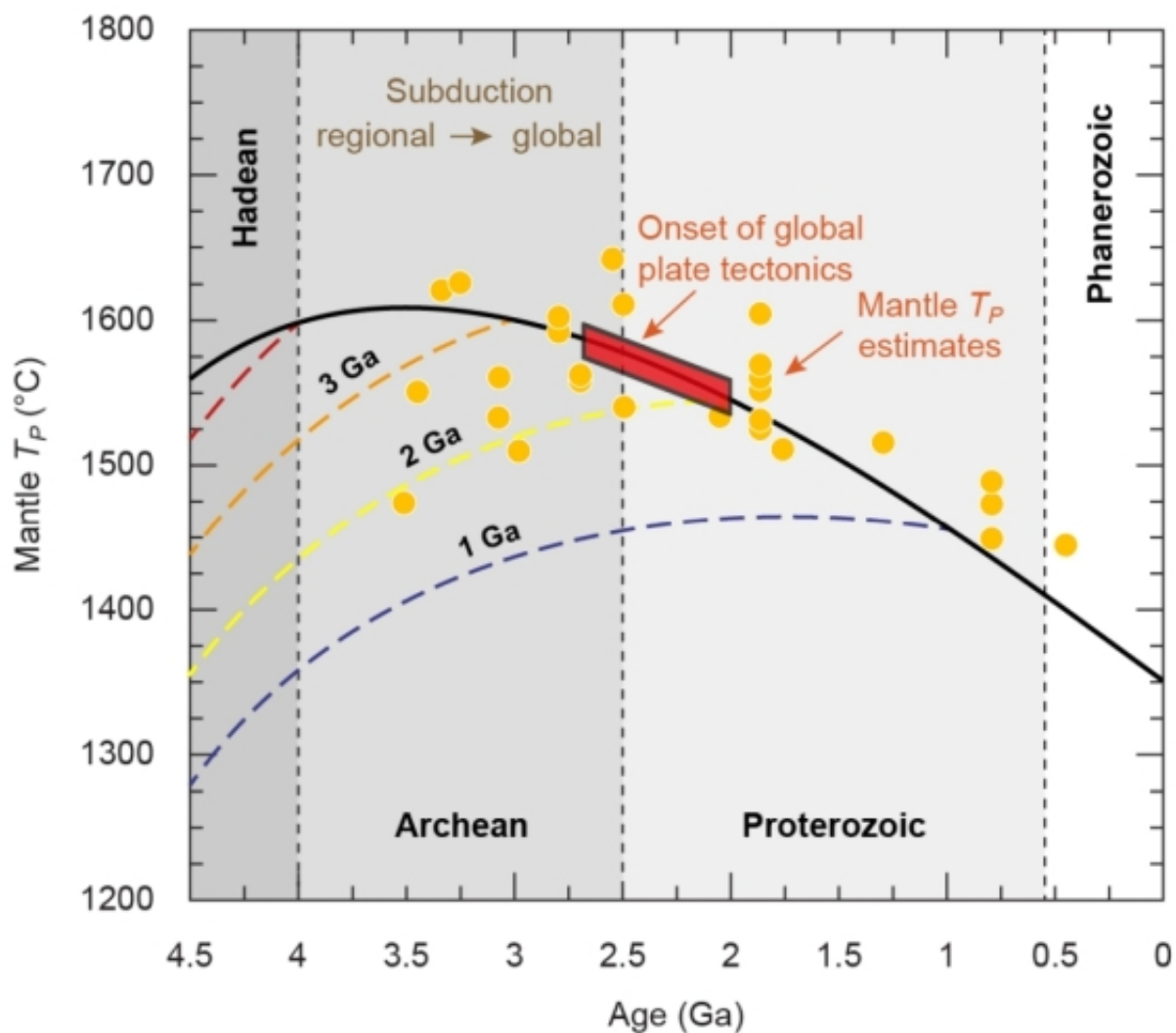


图4 地球热演化历史模型

相关研究成果发表于Nature Communications。(来源：中国科学院地质与地球物理研究所)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41467-022-34343-0>

作者：黄广宇等 来源：《自然—通讯》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发