

板块构造是生命起源的前提吗？

(浙江大学地球科学学院 林秀斌 编译自 James Dacey. *Physics World*, 2023, (10): 33)

古老锆石中记录的磁信息显示，板块构造的启动晚于生命起源。James Dacey 认为，这将颠覆“板块构造是生命起源的前提”这一传统观念。

我们的地球看似坚固而稳定，但在地球的历史上，地球表面的板块在不停地运动(图1)。这种板块构造力量，可以移动大陆、形成山脉，也可以引发地震和火山。这种板块构造的力量，在局部层面上看可以摧毁生命；但从更广的尺度来说，板块构造对地球的碳循环、保持地球大气层稳定起到了关键作用，可以帮助地球保持地表的宜居环境。如果看看其他没有板块构造的行星，比如金星充满着高浓度的二氧化碳和硫酸云的有害大气，我们就知道板块构造对于生命起源和维持有多重要了。于是，一些地球科学家认为，在地球形成最初的十亿年，板块构造先于生命起源，板块构造是生命起源的一个关键前提条件。

但是，新的研究表明，生命起源可能先于板块构造。我们的地球可能经历过在相当长的一段时间里没有板块运动，而是处于一种不成熟板块构造的状态，即“停滞盖层(stagnant lid)”状态(图1)。这项研究可能将改变我们对生命起源和维持的认知，未来也可能帮助我们在地球之外寻找生命。

板块构造学说争论的历史

板块构造的观念现已深入人心，但曾经却饱受争议。板块构造学说起始于1912年，当时德国科学家魏格纳(Alfred Wegener)提出了“大陆漂移”说。他认为，现今的大陆曾同属于一个更大的超大陆，之

后漂移到了现今位置上。在他的《大陆与大洋的起源》一书中，魏格纳敏锐地观察到南美和非洲的海岸线彼此对应，不同地区的化石极其相似。但由于“是什么驱动板块运动”这一问题没有得到解决，魏格纳的学说从一开始就受到质疑。1953年，美国地质学家和制图师 Marie Tharp 绘制出了穿越整个大西洋、平行于两侧海岸线的洋中脊，且存在一个巨大的中央谷地，她认为这是海底扩张的结果(图2)。1962年，美国地质学家 Harry Hess 提出了完整的海底扩张理论。他提出，洋中脊是地球内部的熔融物质涌出到达地表从而形成新的洋壳的场所，新生洋壳随后又被上涌的岩浆向两侧水平推移。同时，老的洋壳俯冲到密度更小的陆壳之下，从而形成海沟，这种机制可以使老的洋壳重新旋回到地球内部。实际上，大洋板块俯冲也拖着洋壳运动，从而促进海底扩张。

1963年，英国地质学家 Frederick

Vine 和 Drummond Matthews 分析了印度洋的地磁调查结果，为海底扩张提供了关键证据。他们观察到整个海底的磁异常在洋中脊两侧呈条带状、平行于洋中脊对称分布，他们提出新生洋壳形成时，其中的磁性矿物记录了当时的地球磁场方向，而地球的磁场反复反转(即地球磁场的北极会突然变成南极，这在地球的历史上发生过很多次)，因此海底磁异常呈条带状平行于洋中脊对称分布。至此，板块构造学说被普遍接受。

然而，地球的板块构造何时开始，却鲜有共识，从40多亿年前到7亿年前，众说纷纭。一方面是因为老于2亿年的洋壳都已俯冲至地球内部，另一方面是因为大陆上保留下来的、地球形成初期10亿年的岩石经受了强烈的改造。而关于生命诞生的时间，最早的化石记录为35—34亿年前，沉积岩的生命物质记录甚至可达39.5亿年前。生命起源是否早于板块构造的启动呢？

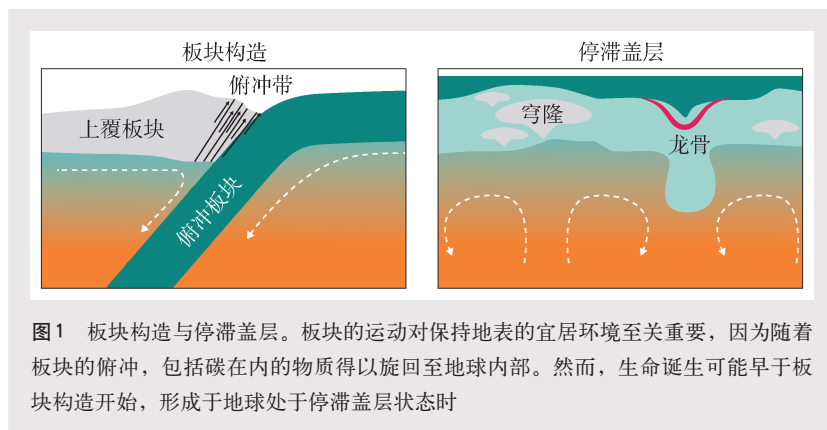


图1 板块构造与停滞盖层。板块的运动对保持地表的宜居环境至关重要，因为随着板块的俯冲，包括碳在内的物质得以旋回至地球内部。然而，生命诞生可能早于板块构造开始，形成于地球处于停滞盖层状态时

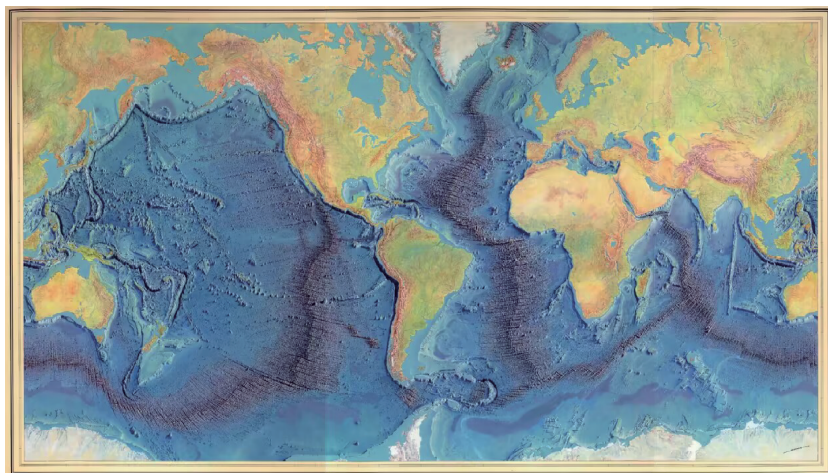


图2 洋中脊和中央谷地。Marie Tharp和Bruce Heezen绘制的世界海底地图

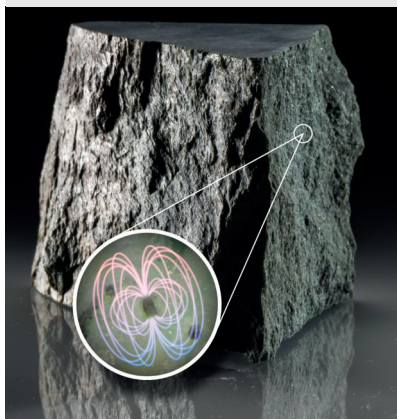


图3 定年矿物——锆石。美国罗彻斯特大学的研究人员选择澳大利亚和南非39—34亿年前形成的锆石，分析了这些锆石中磁铁矿包裹体的磁化强度，发现它们的磁化强度几乎保持不变。由于地球的磁场强度随纬度发生变化，如果这些锆石的磁化强度不变，那意味着39—34亿年前的5亿年时间中，澳大利亚和南非一直处于不变的纬度。这可能表明，当时地球的板块构造运动尚未开始。这意味着地球上的生命诞生早于板块构造，这颠覆了“板块构造是生命起源的前提”这一传统观念

锆石：地球炽热开端的时间胶囊

锆石($ZrSiO_4$)，一种在各种地质条件下都能保持化学稳定性的矿物，为探寻早期地球的状态提供了途径(图3)。由于锆石在漫长的地球

历史中基本不发生改变，所以它就像是地球演化历史的时间胶囊。澳大利亚杰克山(Jack Hills)发现的44亿年前的锆石是目前地球上已知的、最老的矿物。

美国罗彻斯特大学的 John Tarduno 领导了这项新研究。他们选择了分别来自于澳大利亚杰克山和南非巴伯顿(Barberton)绿岩带的39—33亿年前的锆石，分析了这些锆石中磁铁矿包裹体所记录的剩磁强度。由于地球磁场是一个偶极子，其磁场强度随纬度变化，因此，测量这些锆石中磁铁矿的剩磁强度可以揭示它们形成时的古纬度。同时，他们利用选择性高分辨率离子微探针(SHRIMP)测量锆石中铀与铅的比值，通过铀衰变为铅的半衰期，计算了这些锆石的形成年龄。他们的研究假设是，如果地球上的板块构造在39—36亿年前就已经开始，由于板块不停地运动，那么这些锆石应该处于不同的古纬度，因此将呈现出不同的磁化强度。

与这个研究假设相反，他们发现，澳大利亚和南非的39—34亿年前的锆石保留了几乎不变的磁化强

度，这表明这些锆石形成于相同的纬度。换句话说，此时板块构造运动尚未开始，地球表层可能处于一种被称为“停滞盖层”的状态。在34—33亿年前，这些锆石的磁化强度增大。Tarduno认为这可能揭示了板块构造的启动，因为板块构造启动之后，巨量的地壳板片在俯冲带沉入地球内部，致使地幔快速冷却，增强地球外核的对流效能，从而使地磁场增强。

Tarduno的团队现在正计划通过进一步分析来自不同地区的同年龄的锆石，以扩大数据点的分布。

寻找外星生物

如果生命诞生早于板块构造开始约5亿年，那意味着停滞盖层状态也可以产生生命。而停滞盖层状态普遍存在于太阳系中，如金星、水星、火星。澳大利亚莫纳什大学的地球科学家 Peter Cawood 说：“火星、月球、陨石提供了它们早期历史的更广泛的记录。这些星体的样品，特别是2027年火星样品返回计划实施之后，可能会提供可以揭示早期地球历史的新机遇”。

Cawood认为，关于生命诞生的一个更重要的问题可能是地球上什么时候有了水，因为水是产生生命的前提。他说：“之前对澳大利亚杰克山的锆石氧同位素的研究表明，44亿年前就有水了”。

对Cawood来说，该研究可能会帮助在太阳系及其之外寻找生命，甚至让我们进一步思考究竟什么是生命。他说：“如果地球在停滞盖层阶段就出现生命了，那生命可能也存在于火星。如果地球保持着停滞盖层状态，而生命进一步演化，那生命肯定看起来跟我们今天看到的生物界很不一样。”