

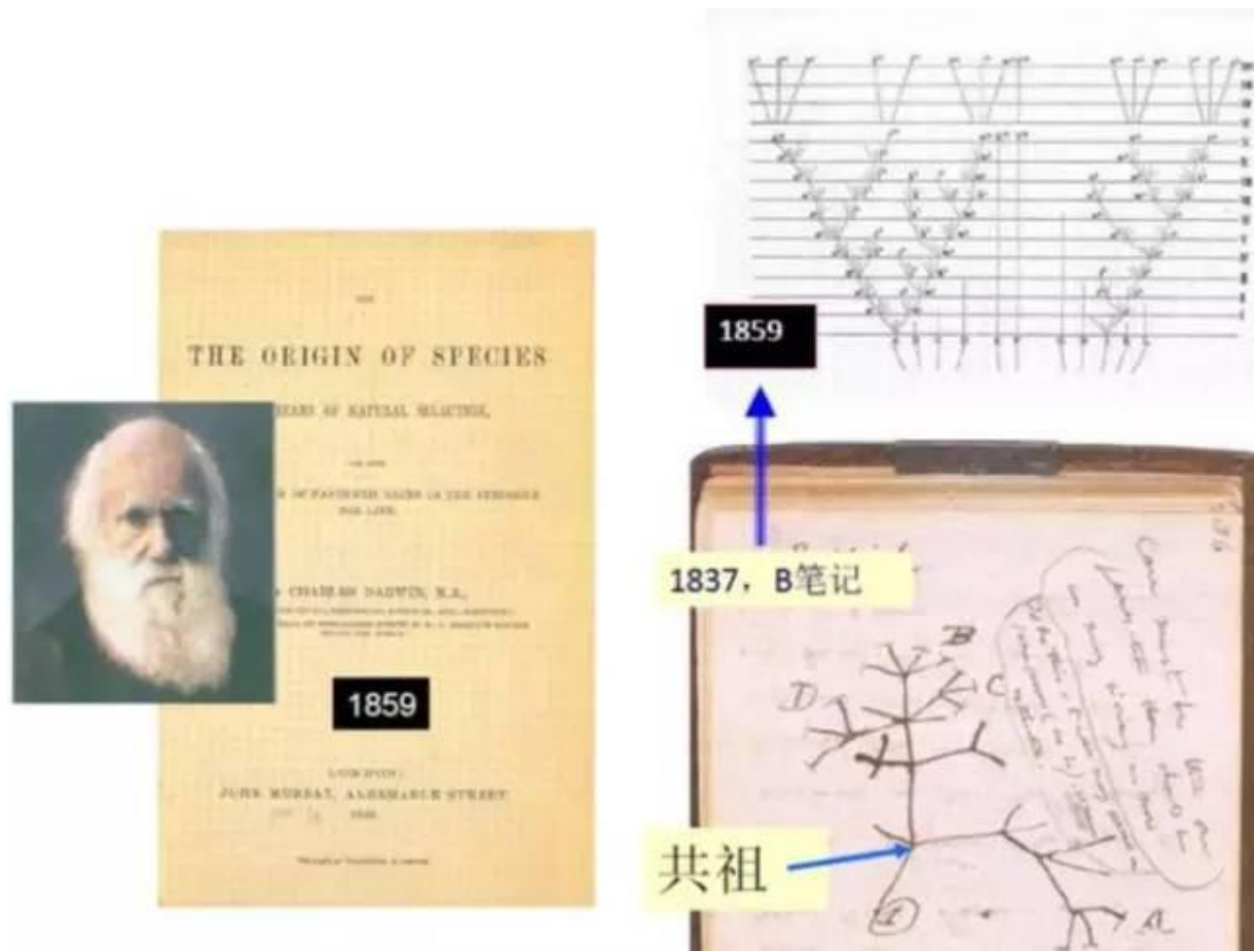
生命起源揭秘——漫长的征程

作者：冯伟民（中国科学院南京地质古生物研究所）

生命起源是一个亘古未解之谜，从古至今有很多说法来解释生命起源的问题。

科学未出现之前，中国有盘古开天辟地，女娲造人的神话；西方有上帝创造天地万物，并在第六日造人的传说。

到了十九世纪，达尔文《物种起源》一书的问世，给生命科学带来了前所未有的大变革，也给人类的自然认知带来了石破天惊的巨大震撼，更为科学家揭示生命起源这一千古之谜带来了曙光，这就是现代的化学进化论。



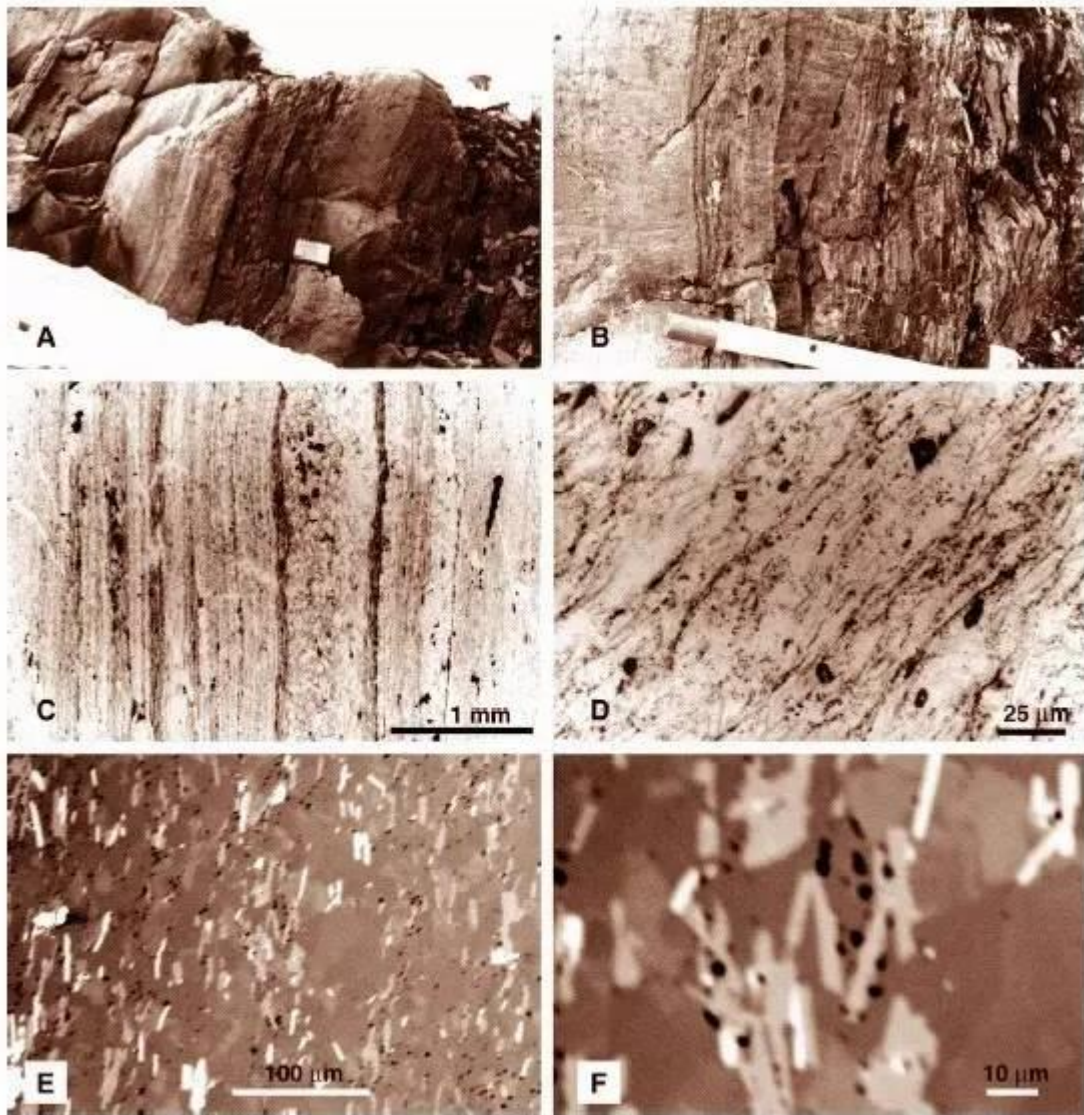
达尔文的进化树

探索生命起源 ——化石证据

生命起源涉及一系列未解之谜，如生命起源的时间、地点，当时的地球环境、生命有机分子来源及生命形成过程等等。

探索生命起源的时间，最好的证据是化石。化石是保存在岩石中的远古（一般指一万年以前）生物的遗体、遗迹和死亡后分解的有机物分子，它就像文字，书写着地球这本厚重的大书。

科学家研究发现，地球诞生于 46 亿年前，最初的 6-8 亿年仍处于天文时代，地球遭受了频繁而大量的小行星和陨石的撞击，即使有生命出现，也根本无法生存。由此可以推断，地球上生命起源的时间，应不早于 40 亿年。



38.5 亿年前生命痕迹——有机碳

此外，科学家在格陵兰的一块岩石（距今约 38.5 亿年）中发现了富含轻碳（C12）的碳颗粒，它通常被认为只有通过光合自养生物的分馏作用才能形成。由此推测，地球生命起源的时间可能在距今 40-38 亿年间。

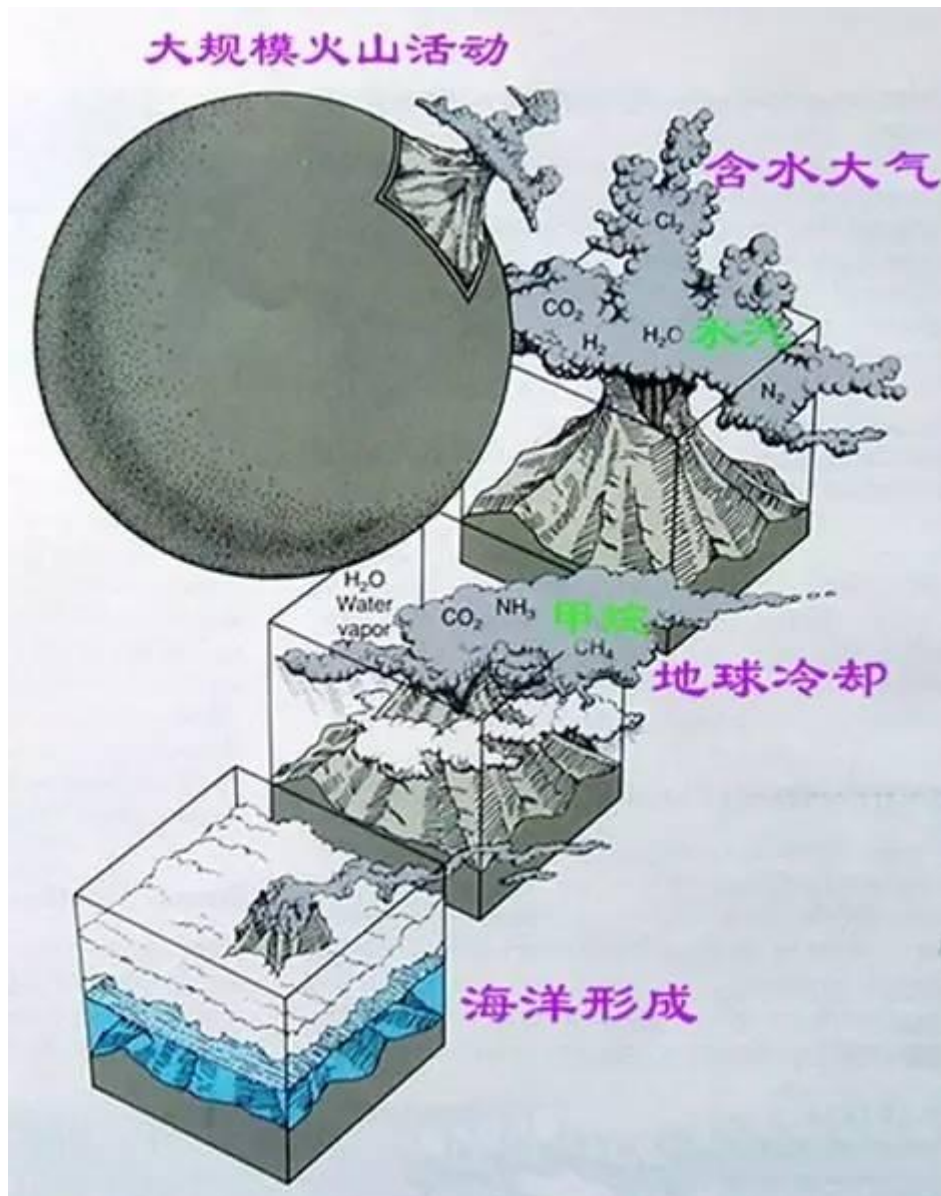
而迄今为止，已发现的最古老的生物化石来自澳大利亚西部，距今约 35 亿年。这些化石类似于现在的蓝藻，它们是一些原始的生命，只有几微米到几十微米大小，是肉眼看不见的。这一化石证据的存在，让我们可以有底气地说，生命起源不会晚于三十五亿年前。

生命的“温床”

——早期地球环境

那么，在生命起源的时候，地球可能是怎样一个环境呢？这是一个至关重要的问题，因为生命起源与地球诞生及早期地球环境有着密切关联。

科学家研究发现，地球早期形成的大气层充满了还原性大气，主要由氨气、氢气，还有水、一氧化碳、二氧化碳和氮气组成，这使得原始地球初期形成的生物有机分子得以积累和保存；那时的大气层无游离氧，地球外层空间也未形成臭氧层，因此，强烈的太阳紫外线对早期大气中的化学反应起着重要作用；频繁的雷电、宇宙射线也是原始地球化学进化中的重要能源；更重要的是，原始海洋的形成成为生命诞生准备了必要条件。



地球水圈的形成

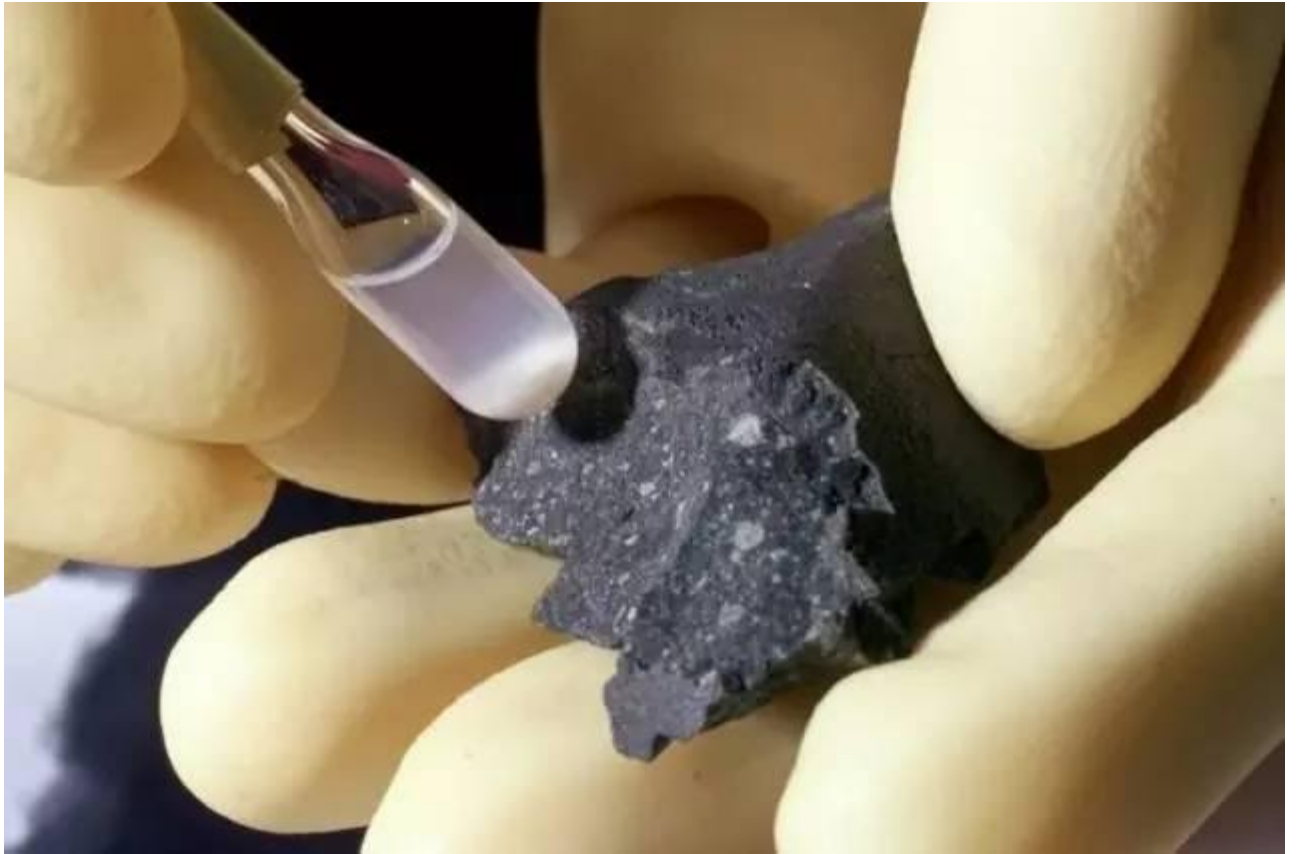
有机小分子

是天外来客吗？

蛋白质是生命的物质基础，它是由氨基酸有机小分子转化而来。而有机小分子又是从何而来呢？

现代天体物理学研究发现，陨石，彗星和星际尘埃中都存在有机分子，而且已经测出近百种有机分子，其中不仅含有固态的水，还有氨基酸，铁类，乙醇、嘌呤、嘧啶等有机化合物，它们有可能随陨石和彗星来到地球。这就为“宇宙胚种说”的提出奠定了基础。

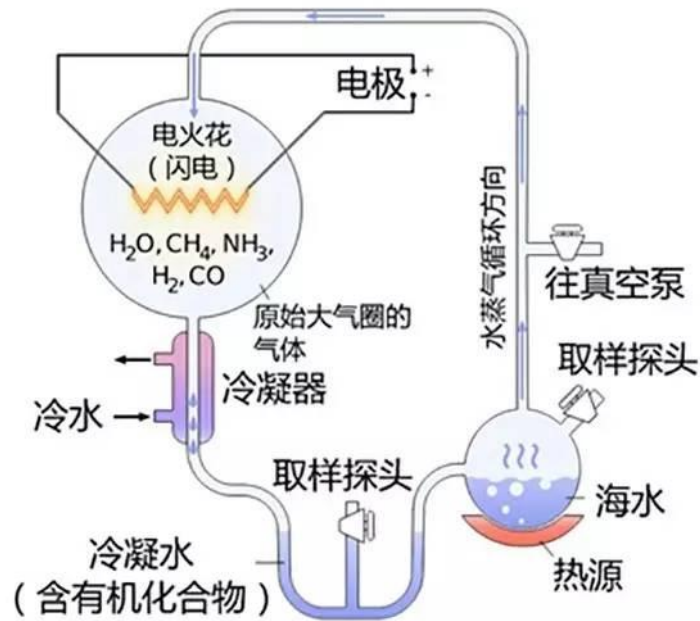
“宇宙胚种说”认为，地球生命之源可能来自 40 亿年前坠入海洋的一颗或数颗彗星，是彗星提供了地球生命诞生需要的原材料。例如，1969 年一颗默奇森陨石（MURCHISON METEORITE）坠落在西澳大利亚，该陨石来自于与地球同时形成的小行星，含有能够自我聚合成蜂窝状隔膜的类脂有机组分，它是形成最早活体细胞所需的组分。



默奇森陨石

米勒实验与化学进化论

1953 年，美国科学家米勒做了一项非常有意义的实验，他把氨气、氢气，还有水、一氧化碳放在一个密封的瓶子里，在瓶子两头插上金属棒，通上电源，通过这个类似于闪电作用的装置，一周之内产生了大量的氨基酸。这说明在地球表面，经闪电作用，即使在常温条件下，无机分子也能合成有机小分子。（关于米勒实验的另一种观点，详见大院另一篇文章：[生命起源：DNA 和蛋白质，which first?](#)）



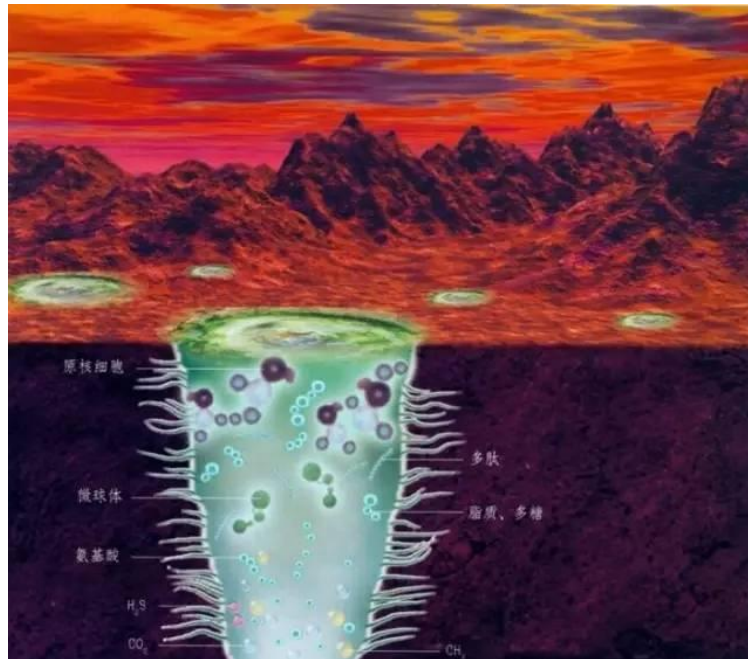
米勒实验示意图

科学家后来又实验合成了许多其他的生物有机分子，甚至人工合成了形成生命最重要的胰岛素和酵母丙氨酸转移核糖核酸。这也正好印证了化学进化论（即主张从物质的运动变化规律来研究生命的起源）的观点：在地球表面自然环境中，非生命物质通过化学作用可以产生出多种有机物和生物分子。

因此，可以设想，地球上最初的有机物是以大气中的一氧化碳、二氧化碳、氮化氢、碳化氢、水和地球内部溢出的碳化物等为材料，在闪电、宇宙射线等的作用下，形成了氨基酸、核苷酸、单糖及含磷、硫有机化合物等多种较简单的有机分子。此外，还可能从彗星、陨石得到一些有机分子。

这些有机小分子汇集到海洋之中，经过亿万年的积累，使原始海洋成为含有丰富有机物小分子的“营养汤”。当这些原始营养汤达到一定浓度时，氨基酸之间便相互结合为蛋白质，核苷酸之间就相互结合为核酸。

蛋白质、核酸等生物大分子形成后，又经过一系列的化学变化。如按苏联科学家奥巴林所提出的团聚体学说，蛋白质和核苷酸聚合成团聚体，形成具有类似膜的结构，并能在酶的作用下产生淀粉，或聚合核苷酸等反应，终于聚合为多分子体系形态的最初生命细胞。



原始生命形成过程示意图

原始生命的形成：热泉=“营养汤”？

有意思的是，科学家已经在地球两个特殊的地方发现了所谓的“营养汤”。

第一个地方是陆上热泉。1967 年美国学者布莱克在黄石公园的热泉中发现了大量嗜热生物，如蓝藻，光合细菌，硫细菌，特别是古细菌。这与人们所熟知的“蛋白质在超过六十度的环境中就会凝固”“生物不能在六十度以上的环境里存活”的常识很不一样。

第二个地方是海底热泉。1977 年美国“阿尔文”号深潜器观察到，在太平洋底的热泉中，也就是黑烟囱上，存在着大量的嗜热微生物，而周围的海水温度更高，可能达到 200℃~300℃，压力也有 200~300 个大气压。

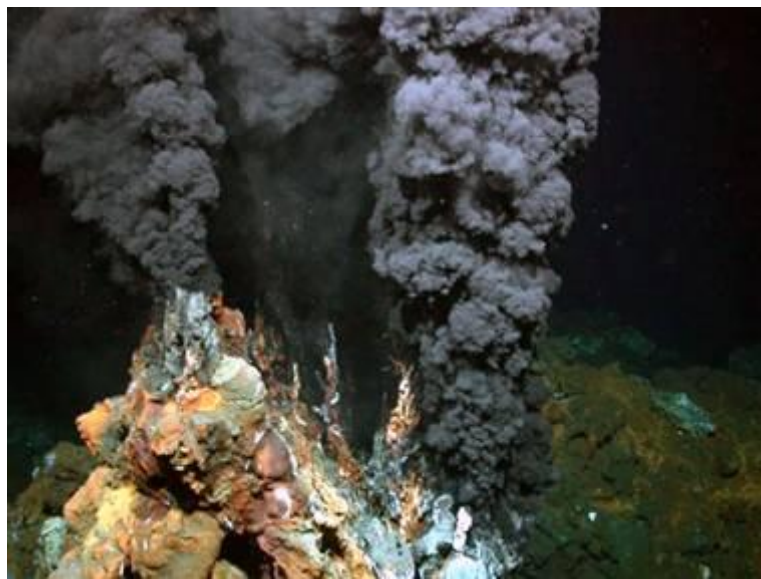
海水中存在大量的还原气体，比如硫化氢、甲烷、氢气、以及一氧化碳，这种环境非常类似于四十亿年前早期地球的环境。另外，热泉口到外层海水之间存在一个温度递减的梯度和化学浓度变化的梯度，这个梯度有利于各种化学的连续反应和有机化合物的合成。

尤其重要的是，现在热泉中的生物是生物演化最根部的类型，即它们的基因是最古老的类型。

古老化石研究也表明，热泉对于生命形成有重要意义，在澳大利亚距今约 32 亿年的火山沉积里，科学家们发现了大量保存完好的丝状体，这就说明在 32 亿年前，生命在热泉的附近就已经大量生存了。



美国黄石公园热泉



深海黑烟囱

铁硫世界假说

正是基于上述这样的研究背景，20 世纪 80 年代末，科学家提出了海底热液环境生命起源学说，即“铁硫世界假说”，认为生命在热液口的黑烟囱壁里产生，先是发生“Fe-S 世界”里的化学变化，后来才有生命的变化。热液的温度、电位、pH 梯度，喷出物中的 CO、NH₃、H₂、FeS、NiS 起到了催化作用。

此学说得到了很多证据支持，例如，“进化树”的根部大多是嗜超高温微生物，其演化速度较慢。高温热水环境有利于小分子的有机化合物脱水聚合形成有机高分子，特别是热液口附近形成的 FeS，在它的表面有利于有机高分子的合成。

现代微生物研究表明，微生物的最适生长温度往往与其最高生长温度相近，而在一些低温环境中的细菌和古菌，其最低生长温度与环境温度接近。这一生理结果也暗示着生命起源于较高温环境。如果真是这样的话，那么生物演化的过程可能是逐步适应低温环境的过程。

人类在地球以外

有兄弟吗？

从上世纪中叶开始，人类探索生命起源的视角已经拓展到外太空，企图从“是否有活的生命”“是否有液态水”“是否有与生命有关的化合物”三个方面，追溯生命起源。

半个多世纪以来，月球、火星、木二卫等星球先后被探测和研究，取得了一批重要的成果。

月球



月球是地球的卫星伴侣，在中国的古代神话中有嫦娥奔月的说法，但是，上世纪六十年代到七十年代，随着前苏联和美国宇航员登陆月球的成功，这个神话彻底破灭了。

月球其实是一个没有氧气，没有水，不适合生命生存的荒漠的星体。

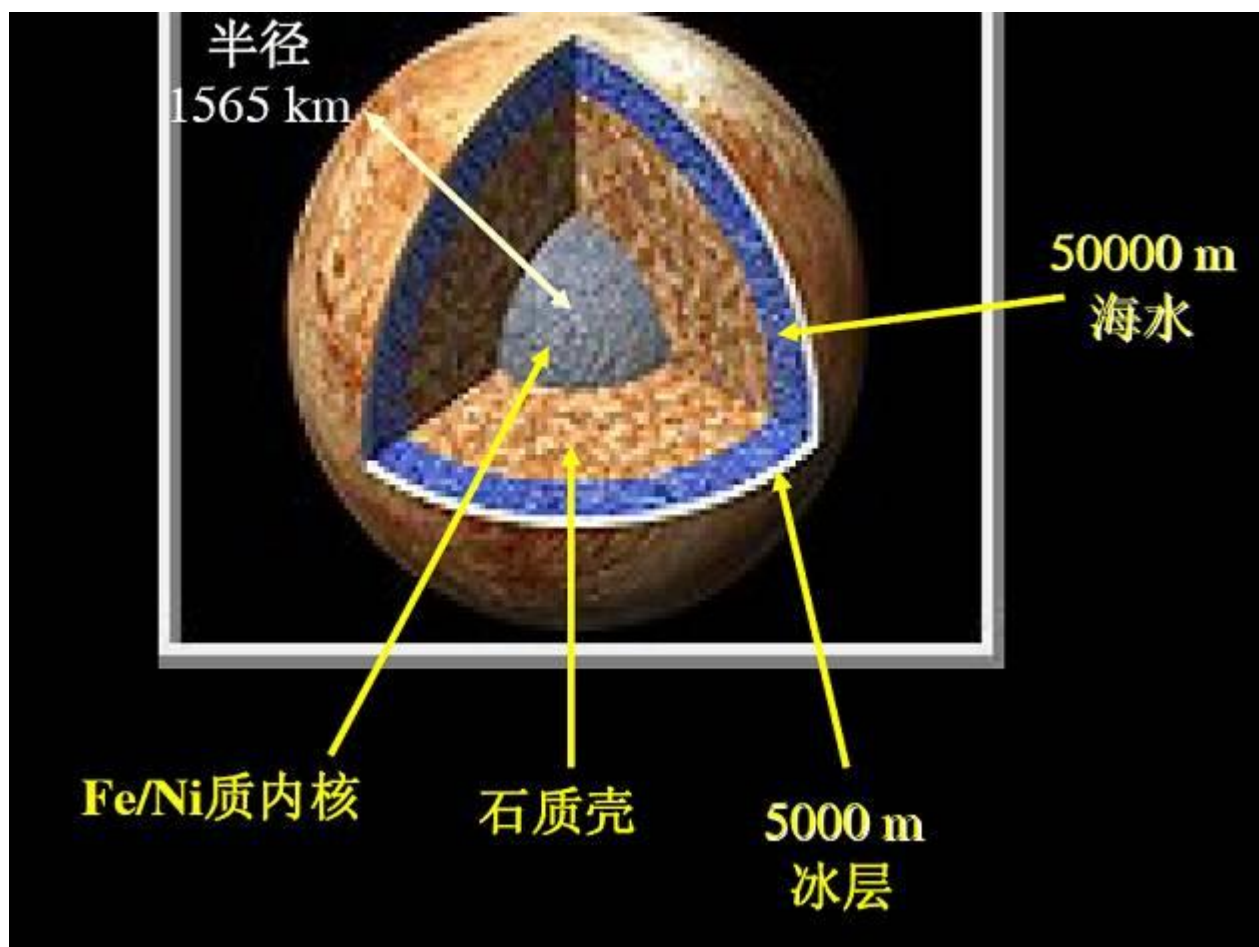
火星



在 40 亿年前，火星或许有过与地球类似的经历，因为火星的物质成分跟地球非常相似，它的轨道也与地球非常相似。

美国海盗号、火星探测器号、火星拓荒者号航天器和哈勃望远镜曾经先后探测火星，其中一些航天图片显示，火星上有水侵蚀岩石的痕迹，有像地球发生大洪水后山前形成的冲积扇的构造，还有像地球上干涸河床的河道。另外，在火星的两极，发现了类似于地球上冻土解冻的情况。因此，火星上过去很可能有过液态水的存在。

木卫二



木卫二结构剖面

木卫二是木星的卫星，它的大小跟地球直径非常类似，美国的伽利略号航天器在 1997 年对木卫二进行了观察，结果发现在木卫二表面有大量的裂痕存在。通过天体物理学的方法研究，这个星球其实全是由水组成的，确切的说，是由水变成的固态冰组成的。这表明，木卫二曾经有液态水的存在。

总之，随着航天科技和其他相关技术的进一步发展，地外生命的探索为我们研究生命的起源开辟了一个崭新的途径，并不断丰富和深化人类对于生命起源的认识。

然而，我们应该清醒地意识到，人类追溯地球生命起源的研究固然已经取得了一定成果，但距离揭开生命起源这一亘古之谜，还有一个漫长的征程，任重而道远。

从无机物到有机物，再到有机化合物直至有机生命体的演化，实际上充满了很多的偶然性和挑战，因为即使有这种环境和条件，生命起源也是极端艰难的。因此，我们不能奢望地球再来一次生命的起源，而是要倍加珍惜地球——人类和所有生命的家园，让生命的乐章在地球上继续演奏下去。