

第二编 地球早期史及 前寒武地史

小 引

近年天体化学和同位素地球化学研究已获得一批有关宇宙年代学 (Cosmochronology) 的数据: ①宇宙和银河系年龄 (宇宙年龄是指大爆炸至今所经历的时间, 它是宇宙无限时间中的一个有限的、相对的时间概念), 通过天文学实际观察、数学计算和现代宇宙学模型的探索, 一般认为银河系年龄为 110—180 亿年; ②太阳系元素年龄 (元素是由宇宙核合成和恒星中的核合成所致, 元素年龄即合成事件的年龄), 通过不同元素的同位素计算方法, 得出平均年龄为 62—77 亿年; ③太阳系内星球形成年龄, 太阳系内各类陨石是在相当接近的时间内相继从太阳星云中凝聚而成的, 目前已测得的大多数陨石年龄为 45—46 亿年, 月球上最古老月岩、月壤的年龄也测得 44—46 亿年, 地球上已测得最古老矿物 (西澳大利亚伊尔冈地块的碎屑锆石) 的年龄为 40—43 亿年, 但通过地壳中铅比率的计算也推论地球年龄达到 46 亿年, 据此, 一般认为包括地球在内的太阳系各类天体在 45—46 亿年前已经形成 (欧阳自远, 1993)。

地球上现知最古老的地质记录 (格陵兰西部、南极恩比地、南非林波波等地的变质岩原岩年龄) 形成于 38 亿年以前或稍早, 可以视作存在内外力地质作用的地质历史时期已经真正开始。地球上首次出现多门类带壳动物群的寒武纪开始于 5.7 亿年以前, 标志着显生宙 (Phanerozoic) 时期的来临。

上述 46 亿年、38 亿年和 5.7 亿年三种时间标尺将全部地球历史划分为两大阶段和三个时期: ①距今 46 亿年至 38 亿年左右 (延续近 8 亿年) 的天文演化阶段, 迄今了解程度最差, 是特殊的地球早期史时期, 从生物演化角度也称为冥古宙 (Hadean Eon); ②距今 38 亿年至 5.7 亿年 (延续 32 亿年左右) 的前寒武纪 (Precambrian, 简称前寒武) 时期, 占 38 亿年以来地质历史阶段的 82%, 以往曾称为隐生宙 (Cryptozoic Eon, 现已废弃); ③距今 5.7 亿年至现在的显生宙 (Phanerozoic Eon) 时期, 占地质历史阶段的 18% ±, 但研究最为详细, 包括古生代、中生代和新生代。

本篇在介绍前寒武地史特征之前, 首先对地球早期史及前寒武地质时代划分方案作必要说明。

一、地球早期史简介

现知地球上最古老的地质记录与地球形成年龄之间存在近 8 亿年的地球早期演化空白

史。这段历史目前在地球本身无法查明，只能借鉴太阳系内其它星球的宇宙地质学研究成果进行类比和推论。其中，同属地月体系，关系十分密切的月球早期演化史尤为重要。

1. 月球早期演化史的启示

70年代以来，由于人类登月的成功，使得对月球的研究与认识取得了突破性进展，就目前所知，月球内部和地球类似，具有圈层结构。月球表面有一层厚度只有4m到10m的细粒角砾岩及岩石碎屑，称为月壤。其下至65km之间为上、下月壳，由玄武岩及苏长岩组成。从65km至1388km为上、下月幔，由基性岩及超基性岩组成。月球的中心称为月核，在1388km至中心点1738km，为塑性态。为了测定月球上不同部位的岩石年龄，将阿波罗飞船宇航员数次带回的月岩进行了同位素年龄测定（表Ⅱ—1）。根据其年代数据判断，月球演化可分为两大阶段，第一阶段大致从3600—4650Ma，在这段将近10亿年的过程中是月球表壳逐步形成的时期，并形成由月陆及月海组成的月亮。第二阶段是陨石撞击期及玄武质熔岩喷溢期，大约在3500Ma左右，此时使月亮表面形成了占一定比例的陨击坑及熔岩流，这也是月球物质大规模圈层分化的最后阶段。

表Ⅱ—1 地球岩石圈形成的早期阶段与月球表面年龄数值对比表

取 样 地 点		测 试 年 龄 (Ga)			资 料 来 源
		4.6—4.1	4.0—3.9	<3.8	
地 球	西澳伊尔岗地块碎屑锆石	4.30			Compston and Pidgeon, 1986
	西澳伊尔岗地块碎屑锆石		4.00		Froude et al., 1983
	加拿大大努 Acasta 片麻岩		3.96		Browning et al., 1989、1990
	美国拉布拉多北部超镁铁质岩			3.80	Collerson et al., 1991
	西格陵兰南部英闪片麻岩			3.82	Kinney, 1986
	南极恩比地 Sone 山正片麻岩			3.87	Black et al., 1986
	南非林波波带 Sane 河片麻岩			3.80	Black et al., 1986
	西格陵兰石英岩中碎屑锆石颗粒			3.88	Kinney et al., 1988
	加拿大拉布拉多北部 Uivak 片麻岩			3.86	Schiotte, et al., 1989
	中国鞍山花岗岩质糜棱岩			3.80	伍家善等, 1991
月 球	月球高地细粒月壤	4.65			阿波罗 11 号宇航员
	阿波罗着陆地的月岩	4.40			阿波罗 11 号宇航员
	阿波罗着陆地的月岩		4.00		阿波罗 12 号宇航员
	阿波罗着陆地的月岩		3.90		阿波罗 14 号宇航员
	阿波罗着陆地的月岩			3.60	阿波罗 15 号宇航员
	阿波罗着陆地的月岩			3.30	阿波罗 16 号宇航员
	陨击坑内的熔岩			3.50	

由于月球表面缺失气体及水的作用，加之后期圈层再分化作用极其微弱、缓慢，以致月球表面不存在侵蚀作用，最后形成月表很薄的月壤。此外，月亮保留了30亿年前的地质记录，大体相当地球的冥古宙及太古宙早期，该记录恰为地球所不易保存的部分。因此，月球为原始地球圈层的演化提供了一个重要的参考模型及实例。

2. 地球的早期演化史

前已述及，地球岩石圈的早期大致从4600—3800Ma，历时约8亿年。对这8亿年内的地质纪录知之甚少，然而从80年代中期，在地球最古老的物质研究方面取得了明显的进展，特别是对各类岩石年龄测定的成果，如表Ⅱ—1。

根据表 II—1 所列的地球、月球以及陨石的年龄资料可知：地球上例举的 9 个样品除碎屑锆石颗粒外，均为岩石标本，它们大部分曾经遭受过后来的变质作用，仅有很小部分是未受过改造的老锆石核，利用老锆石核运用高分辨率离子探针进行 U-Pb 测定，得出锆石的原始形成年龄在 40 亿年以上，这一年龄值基本可与月岩、月壤及大部分镁铁陨石的年龄相当。地球、月球及陨石年龄的类比说明，地球在 46 亿年前后已成为固态，在结构上可能处于近均质状态，嗣后产生圈层的分化，并分化为地核、地幔及地壳，这是地球早期演化的第一阶段，大约时限为 40 亿到 46 亿年间。

地球早期演化的第二阶段是地壳的形成及圈层的进一步演化。从表 II—1 中可以看出，大致从 38 亿年到 40 亿年之间，正变质岩中的年龄数值颇多，推测当时存在大规模的地表熔岩喷溢及深部岩浆侵位，它们不断固结而导致地壳逐步增厚，并形成以硅镁层为主的地壳圈层。几乎与熔岩喷溢的同时，地-月系发生大规模的陨击现象，古老月岩表面的密集陨击坑大部分是在月球形成后的 10 亿年中（46—36 亿年）形成的，36 亿年以后陨击的速率急剧下降。当时在地球上的陨击坑，由于受到后期的剥蚀及改造，往往不易保存。目前根据卫片与航照研究的结果，有论文报导，在这一时期可能形成了 200 多个直径超过 1km 的陨击盆地。并认为由于陨击到地球表面的能量，可能成为地质、大气和生物变化的重要驱动力。

总之地球的早期演化阶段是地球内部物质自身通过物理及化学效应逐步调整及分化的结果，并以物质分化的形式，在大约距今 38 亿到至少 46 亿年间形成了圈层构造。

3. 地球气圈和水圈的形成

地球的原始大气圈是同原始地球层圈在同一发展过程中形成和发展的。随着固体层圈的分化，一部分气体和其它挥发性物质，由火山活动带到地表。据推断，地球原始大气的主要成分为一氧化碳（CO）、甲烷（CH₄）、氨（NH₃）及其它惰性气体。这与现今火星大气圈相近似。关于地球早期至现代大气成分的对比如表 II—2。

表 II—2 地球气圈成分的演化

	第一阶段 (地球形成—距今约 40 亿年)	第二阶段 (距今约 40—20 亿年)	第三阶段 (距今约 20 亿年—现代)
主要成分	CH ₄ H ₂	N ₂ CO ₂	N ₂ O ₂
少量成分	H ₂ O N ₂ H ₂ S NH ₃ Ar	SO ₂ H ₂ O Ar	Ar H ₂ O CO ₂
微量成分		Ne He CH ₄ NH ₃	Ne He CH ₄ Kr

(据 R. H. Dott 和 J. R. Batten, 1981, 修改)

现在的水圈中，海水约占总水量的 97%，因此水圈的形成主要是指海水的形成。根据推断，水圈中的水基本上都应来自地球的内部，它可能是通过火山活动而形成的，火山作用从地球内部带出大量水气，水气先逸散在大气圈中，然后经冷却至地表汇成水体，如此日积月累，形成原始海洋。有报导说，原始海洋的海水大约为现代海水量的 1/10—1/5。

岩石圈、水圈、气圈的形成过程是一个统一的整体，它们统一在地球的重力场之中，它们之间由于密度的差别而造成由岩石圈—水圈—大气圈的重力配置。

二、前寒武地质时代的划分

前寒武纪是寒武纪以前地质时期的总称，该术语不属于正式地质年代单位，通常简称为前寒武。相应的前寒武系也泛指前寒武时期形成的地层。

前寒武内部地质时代和年代地层单位的命名，最早出现于 19 世纪末叶，如太古代术语由 J.D. 丹纳于 1872 年命名，元古代名词由 S.F. 埃蒙斯于 1887 年提出。至 1930 年，G.H. 查德威克提出了隐生宙和显生宙术语。但长期以来国际上无论在前寒武地质时代和相应年代地层单位的划分原则、界线时限、宙和代的级别掌握和名词术语使用等方面存在矛盾和混乱。经过 20 世纪 70 至 80 年代内国际地层委员会前寒武纪地层分会八次会议反复讨论，已经逐步趋近统一。现将 1989 年国际地层委员会通过和其它公开出版的综合划分方案以及国内目前习用的划分方案介绍如下（表 II—3）。

表 II—3 前显生宙划分方案简表

国际习用方案 (据 J.W.Cowie, 1989; W.B.Harland, 1989 等综合) (Ma)		中国习用方案 (据王鸿祯, 1993; 程裕琪, 1993 综合) (Ma)	
显生宙 Phanerozoic Eon		显生宙	
元古宙	新元古代 Neoproterozoic Era 570—1000	元古宙	新元古代 600—1000
	中元古代 Mesoproterozoic Era 1000—1600		中元古代 1000—1800
	古元古代 Paleoproterozoic Era 1600—2500		古元古代 1800—2500±
太古代	晚太古代 Ar ₃ 2500—2900—3000	太古代	晚太古代 2500±—2900—3000
	中太古代 Ar ₂ 2900—3000—3400—3500		早、中太古代 2900—3000—3500—
	早太古代 Ar ₁ 3400—3500		3500—
远太古代 Katarchean 或 原太古代 Protoarchean 或 冥古代 Hadean 3800—4600		冥古宙	3850—4500—4600

从表中可看出太古和元古由于延续时间很长,已经一致同意由代提升为宙,两者的界限年龄大都置于 2500Ma 以前。原有的隐生宙术语因此已不再使用。3800 至 4600Ma 期间的地球早期历史命名尚未统一,有的划分出独立的冥古宙(代),有的归入太古宙。另外中国和国际上宙和代的界限年龄并不完全一致,尚待继续研究解决。

三、地球上生命起源及前寒武生物演化

1. 生命起源问题

地球早期历史中有关生命起源问题,目前仍处于不断探讨和逐步深入阶段。在长期的探索中人们形成两种倾向性认识,一种认为生命起源于地球自身的演化过程,由无机物 C、H、O、N、S 等元素逐步演变而形成;另一种认为生命起源于其它星体,后来才被带到地球上来。

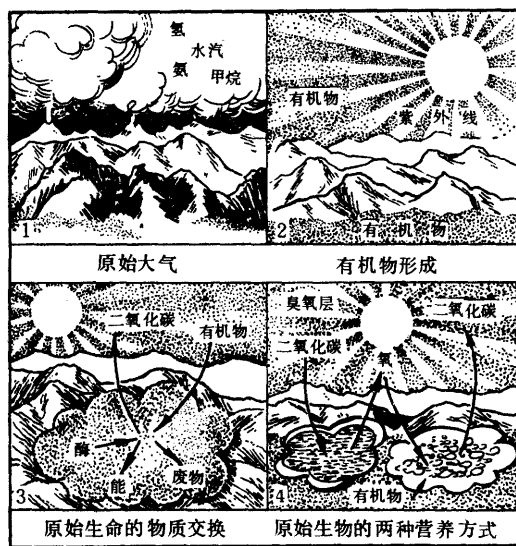


图 II—1 地球上生命起源示意图

(据《化石》, 1977 第一期)

第一种意见历来为多数地质学家所支持。50 年代初米勒 (S.L. Miller, 1953) 做了一次有意义的实验, 他将模拟的原始大气成分 H_2 、 NH_3 、 CH_4 和水蒸气在容器中加温到 $100^{\circ}C$, 然后进行放电, 经过一周的连续试验, 人工合成了组成蛋白质基本单位的氨基酸。显然, 这些条件在地球早期历史是完全存在的 (图 II—1)。原始的海洋中汇聚了这些有机物, 有人比喻为“生命培养汤 (broth of life)”, 经过更复杂的过程由氨基酸联合为蛋白质。再进一步使蛋白质形成外膜, 开始了新陈代谢作用。最后一步的突破是发展成为具有繁殖性能, 就成为原始的生命。

另一种意见认为生命可能在宇宙空间中形成, 因为宇宙空间内也具有 N、H、C、O 元素和放电条件, 陨石颗粒中碳质球粒的发现也作为支持该假说的证据之一。但对陨石

中有机化合物的成因仍有不同认识, 至少目前尚无证明陨石中已经存在生命的可靠证据。

2. 最早的化石记录

关于地球早期历史中生命出现的最早时间, 随着分子古生物学的发展和对化学化石 (chemical fossil) 研究的深入而逐步确定。现知在格陵兰 38 亿年前的太古宙沉积岩中曾发现了碳氢化合物, 认为当时地球可能已存在生命 (Cloud, 1983)。在西澳大利亚 34—35 亿年前的沉积岩中找到丝状至链状细胞, 可能代表了最早的菌、藻类生物体。也有人从地球化学角度依据碳同位素比率认为生物过程始于 38 亿年前 (Shidlowksi 等, 1979)。

3. 前寒武植物界的演化

属原核生物的丝状细菌, 发现于南非特兰斯瓦 (Transvaal) 超群 (2300Ma) 的黑色页岩中, 加拿大的甘弗林 (Gunflint) 组 (1950—2000Ma) 中见有大量的微古植物 (疑源

类)和叠层石,经巴格杭(E.S. Barghoorn)等研究,定出蓝绿藻16个属,均属原核生物,后来艾德杭认为其中5个属应为真核生物。肯定的真核生物发现于美国的贝克泉(Back Springs)组(1300—1400Ma)白云岩中。

我国元古宇中亦见有丰富的叠层石及微古植物。叠层石是指由菌藻类生物集合体与沉积物在一定环境下形成的石质构造,属广义的遗迹化石范畴,其形态变化与菌、藻类生存环境有密切关系。同时,在赤铁矿层、黄铁矿及方铅矿中均可见叠层石,这些类型的叠层石可能和菌类的存在有关。叠层石出现的最早地层是古元古代晚期的溱沱群。微古植物则主要见于中、新元古代(1700—1600Ma),以个体较小(直径小于10 μ m的属种约近1/4)、膜壳较薄、纹饰简单为特征,已知至少见有19属、40余种,如*Leiominuscula*(光面小球藻)。在1600—1050Ma的中元古代阶段,以膜壳较厚、个体较大、纹饰复杂且形状多样为特征,已见有26属、59个种,如*Favosphaeridium*(巢面球形藻)及*Qadratimorpha*(方形藻)等。至新元古代,则多出现丝状藻、球藻,同时还出现褐藻甚至各种大型宏体(宏观)藻类。

宏体藻类主要包括*Chuarina*(乔尔藻)、*Longfengshania*(龙凤山藻)及*Pumilibaxa*(小履藻)等大型肉眼可见的藻类。

4. 前寒武末期裸露动物群的出现

前寒武阶段最早的实体动物化石记录出现在元古宙末的震旦纪晚期(630Ma前)。有趣的是全部化石种类虽较丰富,组织结构也相当高级,但都呈印痕状态保存,都属于无硬体骨骼或外壳的动物,一般称为裸露动物群;由于该动物群最早发现于澳大利亚伊迪卡拉(Ediacara,或译埃迪卡拉)地区的庞德石英岩中,故也称伊(埃)迪卡拉动物群。

鉴于伊迪卡拉动物群已经呈现相当高级的动物界分类水平,但现有资料指示仅出现于晚震旦世(600—700Ma)层位,近年在湖北宜昌灯影组、黑龙江麻山群中均有发现。伊迪卡拉动物群的古生物学分类位置历来引起广泛关注,早期的研究者(M.F. Glaessner, 1966)根据与显生宙形态相似生物门类的比较研究,将这个裸露动物群中的重要代表分别命名为海绵类的*Mawsonites*(毛森海绵,图II—2, 16)、海鳃纲的*Rangia*(伦吉虫,图II—2, 12)、环节动物的*Dickinsonia*(狄氏虫,图II—2, 13)、蠕虫类的*Sabellidites*(皱节虫,图II—2, 17)和水母类的*Cyclomedus*(环轮水母)等。后来的研究者(A. Seilacher, 1984等)则指出这些裸露动物不存在摄食和消化器官,是一种营自养生活的特殊生物门类,根本上不能与显生宙后的动物类型对比。并由此提出元古宙最晚期该动物群爆发式突然出现,然后又在元古宙末灾变式突然灭绝的生物演化模式。伊迪卡拉动物群的出现和灭绝,涉及生物界自身演化趋势(内因)及其和生存环境条件(外因)之间的错综复杂关系,已成为当今地球科学基础理论研究的热点之一,引起广大地质学家的重视和兴趣。

伊迪卡拉动物群的存在也启示地球上动物界的演化存在更为悠久的历史,但目前只能通过动物生前活动痕迹所保存的遗迹化石来证明其存在。我国已经在天津市蓟县地区的中元古代大红峪组(1500Ma前)内发现了古老的蠕虫遗迹,更古老的遗迹化石正在等待人们进一步发现和研究。由于我国具备得天独厚的元古宙地层完整记录,有可能在探索前寒武动、植物界早期演化史领域作出突出的贡献。

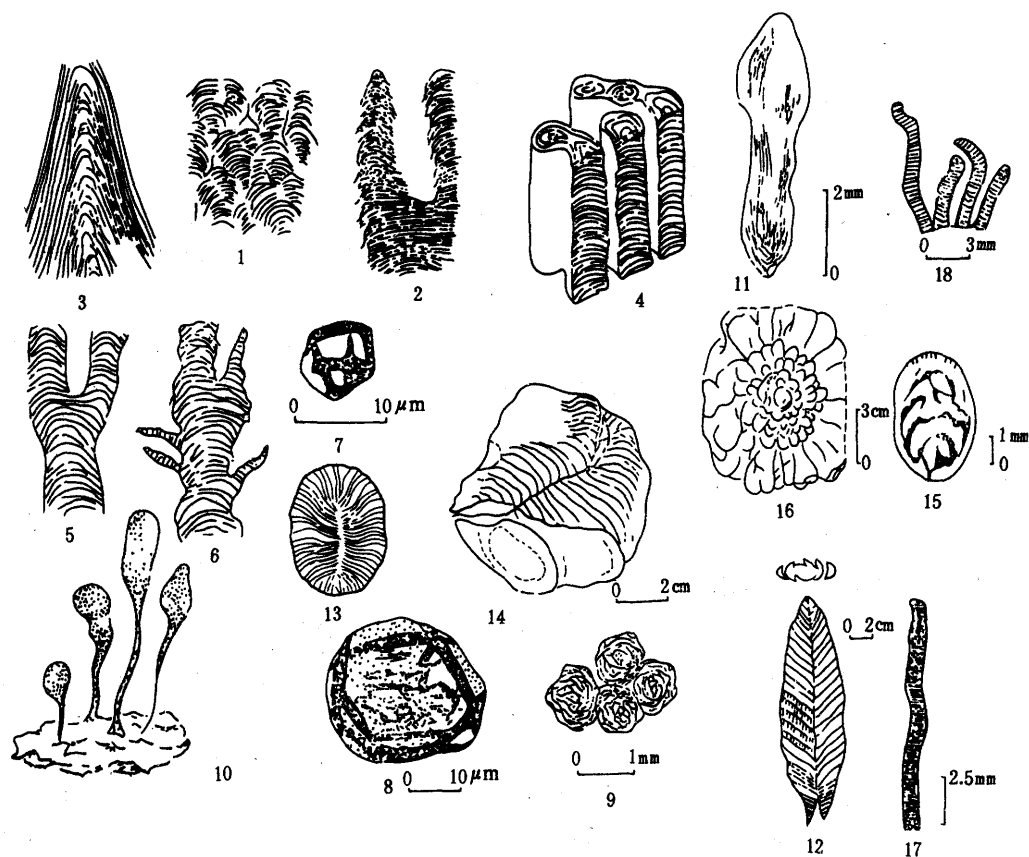


图 II-2 元古宙化石

- | | |
|--|---|
| 1. <i>Gruneria</i> (格鲁纳叠层石) Pt_1 | 10. <i>Longfengshania</i> (龙凤山藻) Pt_2 |
| 2. <i>Kussiella</i> (喀什叠层石) Pt_{1-2} | 11. <i>Pumilibaxa</i> (小履藻) Pt_3 |
| 3. <i>Conophyton garganicus</i> (加尔加锥叠层石) Pt_2 | 12. <i>Rangea longa</i> (长伦吉虫) Z |
| 4. <i>Chih sienella</i> (蓟县叠层石) Pt_2 | 13. <i>Dickinsonia minima</i> (小狄氏虫) Z |
| 5. <i>Minjaria</i> (米亚尔叠层石) Pt_3 常见 | 14. <i>Pteridinium</i> (肋叶虫) Z |
| 6. <i>Linella</i> (林奈叠层石) Pt_3 | 15. <i>Praecambridium sigillum</i> (图像前寒武虫) Z |
| 7. <i>Leiominuscula</i> (光面小球藻) Pt_{2-3} | 16. <i>Mawsonites spriggi</i> (毛森海绵) Z |
| 8. <i>Trachysphaeridium</i> (粗面球形藻) Pt_3 为主 | 17. <i>Sabellidites</i> (皱节虫) Z |
| 9. <i>Chuaria</i> (乔尔藻) Pt_3 | 18. <i>Paleolina</i> (古线虫) Z |