

人类的实验室 ——地球

中卫 编著



目 录

地球的动态结合	1
超级温室效应	3
盖亚假说是真的吗	6
为古老的地球定年龄	9
开尔文勋爵的测年方法	11
放射性碳测年	14
氧气的起源	15
拯救臭氧层	16
火山气候和漂移的大陆	17
漂移	18
气候和生命的共同进化	22
水文循环与沉积循环	24
氮循环	25
硫循环	26
碳循环	28
大海洋	30
模拟的艺术	33
模拟恐龙时代的气候	37
倾斜的地球	40
远古的空气	41
空前的全球变化吗	44
盖亚假说还是共同进化	46
是什么引起气候变化	48
循环	50
内因还是外因	55
模拟人类引起的全球气候变化	61

温室效应	65
模型可以证实吗	68
冰川期的发生与消失.....	71
人类引起的气候变化已经发现了吗.....	75
奇异气候现象	81
生物多样性和鸟类的斗争	83
岛屿生物地理学：生物多样性的水晶球	89
资料导向的经济学家与理论导向的生态学家.....	94
是没头脑的思想吗	95
对人类的呼吁	102
对政策选择的综合评估	110
优化效率	110
你是一个理性的行动者吗	111
有效性与自由市场矛盾吗	111
方案	117
专家的推测	121
赢家和输家	125
主观的专家	127
看多还是亏空	130
谁含意见一致者	136
一个气候学的哥白尼吗.....	140
什么是应该考虑的行动.....	142
环境与（对）发展	144

地球的动态结合

如果有机会乘坐时间机器“作一次旅行，去对远古时代地球上自然发生的各种变化进行测年和测量，我想，大概没有一位活着的地球科学家会不马上抓住这一机会的。地球科学家可以超越数千年时间，观察地球表面大陆的漂移，这种移动不仅改变了大陆的位置及大气成分，而且使它们携带的生命也发生了变化。地球科学家还可以监视影响生命进化的空气、陆地和水的变化。只要适当注意，他们还能检测到生命反过来是如何改变了空气、陆地和水的性质的。有机物与无机物是互相联系的，具体表现在地球化学与生物学、地质学与气候学的关系上。在时间机器中，一切都在运动着，在不停地变化着，就如一张由生命和无生命单元的动态结合所构成的巨大、错综复杂并且变化着的网。如果没有非凡的想象力，一般的观察者是不会轻易理解这一图案的，除非他或她是一种怀着对地球的好奇的人群的一员，这一群体的人们使用一些精致的方法，来揭示远古以来曾出现过的大量的各种图案。这一群体以及他们所采用的方法，当然就是我们今天所称之地球系统科学的主要构成部分。

这种动态过程发生在地质时代。地质时代是一种几乎难以想象的时间跨度，在这里，1000年仅仅是一瞬间。威尔斯（HG. Wells）《时间机器》中的人物可以看到几个世纪以来文明的演变；在一个非常坚固、可以回溯至十分久远时代的装置里旅行的生物学家或地质学家或气

候学家，可以观察到有机体的进化过程，以及它们与地球之间的相互关系。

一段特别值得一游的时期将是生命的萌芽时期，那就是大约 35 亿年以前的所谓的太古代时期。在那里，我们或许会解决一个重要的科学谜案，这一谜案不仅包含了地球系统科学，而且处在围绕全球变暖和我们针对地球的一些无意识实验的危害这一现代科学论争的中心。我们会在那里看到什么？

我们将会看到太阳从天空云彩背后冉冉升起，看到高耸的、喷着烟雾的火山，看到海浪在轻轻拍打着既无树木，也无杂草的瘠薄的平地。海岸线上凸立的是一些古怪的、~米见方的、蘑菇状的石块。如果没有保护眼睛和皮肤的装置，我们不敢离开我们的时间机器，因为外面紫外线辐射强度极高，高到足以对陆地或空气中所有已知的生命的生存构成威胁。我们还必须佩戴氧气面罩，因为大气主要由二氧化碳气体组成，虽然存在一些氧气，但其含量大约只有今天的一亿分之一。大气温度高达 38C，但正午的太阳比起我们所熟悉的全新世间冰川期（我们生活的时代）的太阳似乎要暗淡一些，而且显得要小一些。我们的时间机器外部的太阳能接收面板显示接收的能量约为 600 瓦，这大概是我们今天所接收的太阳能的四分之一。35 亿年以前的太阳要比今天的太阳小。

原因何在？当我们将核物理学引入太阳系各种作用的研究中来时，我们发现与它的大多数同类星体一样，太阳也随着把氢转变为氮的热核反应而变得越来越大，其亮度也不断增加。大多数科学家相信，自地球诞生以来的大约 45 亿年间，太阳的发光度增加了约 30%，其中

有 5%是在过去到乙年间增加的。就是在这 6 亿年间，生命快速进化，在我们今天挖掘到的岩石中留下了无法洗去的化石印记。

超级温室效应

如果将进入地球的太阳能削减 25%左右，大多数气候学家会毫不迟疑地认为这将使我们陷入严寒之中。但是，在太古代，气候明显温热，而且没有冰冻天气——请记住，我们的时间机器的室外温度计所给出的读数是暖烘烘的 38C。这一疑难问题就是众所周知的“弱早期太阳佯谬 (earlyfaintsunParadox)”。在 1970 年，康奈尔大学的卡尔·萨根 (CarlSagan) 和乔治·马伦 (GeorgeMullen) 提出了一种解决这一疑难的观点：一种超级温室效应。他们认为，甲烷和氨这两种气体能够在地球大气层的下部非常有效地俘获红外辐射，而太古代可能有大量的甲烷和氨，它们俘获的红外辐射足以弥补太阳辐射的不足，从而保持一种温热的气候。批评者认为上述观点是怪诞的。他们指出甲烷和氨是异常活跃的气体，而且在大气圈中的寿命较短，因此要取得上述效应，就必须不断地向大气补充这两种气体（一般假定是生物对之进行补充）果真如此，太古代又如何能够聚集起足够数量的甲烷和氨以使地球保持足够的温热来维持生命的延续？我们对此一无所知，而这也是为什么时间机器对那些热衷于探究地球奥秘者来说，是如此奇妙的一种想象的原因之一。

虽然对太古代时期的甲烷 (CH₄) 和氨 (NH₃) 是由生物过程还是由与生物体无关的其他过程产生这一问

题，人们至今仍莫衷一是，但萨根和马伦的基本思想已被大多数学者接受。然而，当代研究表明主要的超级温室气体是 CO_2 ，而不是 CH_4 或 NH_3 。但上述理论的阴影在今天仍笼罩着我们。如果太古代确实出现过萨根他们所推测的那种现象，那么这种现象会否再现？

要回答这一重要问题，我们必须了解影响大气圈成分和结构的各种过程。

在科学上，了解的增多并不总是意味着肯定性的增加，至少在一个假说的早期是如此。对一个问题解决常常会产生另一个新的问题。这里的问题是：为使太古代保持温和的气温，如果当时的 CO_2 含量数百倍于现代，那么，在此后的 30 亿年间，随着太阳发光度增加了大约 25%，又是什么作用使得地球气候没有相应出现急剧过热的情形？

这一疑难问题的答案（事实上只是一些假说）通常有两种（有时是矛盾的）类型：一种理论认为是通过无机地球化学过程带走一定的 CO_2 来达到对温度和 CO_2 含量的控制；另一种观点认为 CO_2 的带走是由生物过程来控制的；也有人认为两种过程都起作用。木管是哪一种观点，它们都是以一种被称为负反馈的作用为基础的。

我们这些热血动物都具有起稳定作用的负反馈机制。我们拥有生理学家所称之为体内平衡系统。如果太热，我们通过出汗来达到一种负的或稳定的反馈。如果太冷，我们会颤抖，这是一种提高新陈代谢水平以产生热量的力学行为，它也是一种稳定的反馈。

在气候系统的众多反馈过程中，有些起着稳定作用，相当于一个恒温器，有些则起着降低稳定性的作用。例如，如果地球变热起来，雪和冰将会出现什么后果？某

些会融化，这种融化的结果将是以绿树或棕色沙漠或蓝色海洋取代原先明亮、洁白、高反射的冰雪告终。绿树或棕色沙漠或蓝色海洋的颜色要比雪原深，因此将吸收更多的阳光。如果我们能够以某种方式使地球变热并因此使一部分雪融化，地球将吸收更多的阳光，而这种反馈机制将会加速变热过程。这是一种正反馈。但是，如果加热引起更多的水发生蒸发并形成白云，这将会有更多的阳光被反射回太空，从而降低地球的热量，这就是一种负反馈。

让我们再回到有关 CO_2 含量降低机制的争论。针对地球化学过程控制大气 CO_2 含量这一模型，1980年，詹姆斯·沃克 (James Walker)、保罗·海斯 (Paul Hays) 及詹姆斯·卡斯廷 (James Kasting) 这几位当时都在密执安大学工作的学者，提出了一个风化—气候稳定反馈系统，这一系统被他们的同事们称为 WHAK 系统 (他们几位名字的首字母之组合)。这几位学者指出，伴随气温的变暖，有更多的水蒸发，降雨以及水土流失的增加使水文循环更具活力。

WHAK 机制运作的时间尺度是数千万年至数亿年。它本身并没有试图来描述短周期的 CO_2 变化，这种变化可以解释恐龙时代的极热，以及 2 万年前本次冰川期的极冷 (后面将要对此予以评述)。

如果大气中有高的 CO_2 含量， CO_2 与雨水的结合产生碳酸，降雨的增加将使地表的矿物遭受大量碳酸的风化作用。在 WHAK 系统所提出的风化作用中，钙镁硅酸盐将与大气中的碳结合，降低大气的 CO_2 含量，并将碳固定在碳酸钙 (石灰岩) 和碳酸镁 (白云石) 等沉积岩中。大气 CO_2 含量的减低意味着温室作用的减弱，因此，通

过这种无机负反馈过程，使地质历史时期由太阳发光度增加所引起的温度升高得到抵消。

盖亚假说是真的吗

太古代随着太阳发光度的增加，大气具有高的 CO_2 含量，第二种假说认为 CO_2 的降低与生物学过程有关。英国科学家兼作家詹姆斯·洛夫洛克 (James Lovelock) 曾提出了一种生物负反馈机制的设想。他试图解释生命如何在全球规模上作为一个自动负反馈系统发挥其作用。在他的邻居、作家威廉·戈尔丁 (William Golding) 的建议下，洛夫洛克借用希腊神话中大地女神盖亚 (Gaia) 的名字将自己的假说命名为“盖亚假说”。科学家们起初并没有认真对待这一假说，而且至今仍有一些人对它持批评态度。这一假说认为地球的大气圈是生物自身的一个不可缺少的、有规律的、必然的组成部分，千百万年以来，生物控制了大气圈的温度、化学成分、氧化能力以及酸度。“盖亚假说”的拥护者认为生物对地球的环境起着积极的控制作用。洛夫洛克的机制基于下述这样一种假定：即发生光合作用的微生物（如浮游植物），易于在 CO_2 含量高的环境里繁殖，因此这些微生物将会迅速地（指在地质时间框架内）从空气和海洋中带走 $\text{C}(\text{O}_2)$ ，转变成碳酸钙。当它们死亡之后，这些碳酸钙沉积物会下沉至海底。

洛夫洛克和微生物学家林恩·马古利斯 (Lynn Margulis) 多年来一直坚持认为，如果不是生物在起作用，地球的大气圈将是 CO_2 占绝对主导地位，地球与其姐妹行星火星和金星将没有两样。他们指出，这种以

C()。为主的大气圈产生一种强大的温室效应，使地球的温度比现今要高出 60C 左右，足以烧焦各种生物。

上述假说的反对者的反驳意见是，在地球上出现生物后的大部分时间里，并没有进化出浮游植物，既然如此，这一 CO₂ 消耗机制又怎能被用来解释“晚近”（即过去几亿年）之前的“弱早期太阳作谬”？“盖亚假说”支持者对此的一种回答是，推测自生命开始以来即存在于海水之中的藻类可以分泌能固定一些碳的固体物质。确实，我们在太古代海滨所见的蘑菇状岩石就是一些叠层石，它们是生活在自身分泌的含碳的坚硬物质中的有光合作用的蓝绿藻的堆积物。今天人们仍能找到这些游绿藻的后代，它最常见于澳大利亚西部的沙克湾。

叠层石的进化历史较末代恐龙的长 50 倍。然而，人们并没有定量地证明，地质历史时期曾经存在足够多的这类生物体的结构，它们消耗了大量的 CO₂。因此，叠层石的作用仍是一个尚待解决的问题。

有时候会出现一些新的理论来调和一些互相对立的假说[这些假说即为哲学家托马斯·库恩(Thomas Kuhn)所指之对立的范例(paradigms)]。在我看来，虽然现在肯定“盖亚假说”的真实性尚为时过早，但这一假说的支持者确实提出了一些新的明智的见解，从气候变化中的生物调节作用寻找弱早期太阳作谬的答案。例如，霍华德大学的戴维·施瓦茨曼(David Schwartzman)及纽约大学的泰勒·沃尔克(Tyler Volk)不留常规，另辟蹊径，认为太古代时期的气温既不是很热也不是很冷。相反，这两位学者指出，只是当无机因素使地表温度降低到一定程度(如低至 60 ~ 70C)后，才使原始细菌得以生存，此时，“盖亚假说”才发挥作用。随后几十

亿年的生物进化在几亿年前达到高潮，出现了树木和花卉，生命的不断发展降低了 CO_2 含量，从而结束了超级温室效应。随着地质时代温度的降低，更多形式的生命得以生存下来，它们反过来又通过消耗 CO_2 参与了“盖亚假说”的负反馈过程。

沃尔克和施瓦茨曼提出了一种消耗 CO_2 的特殊机制——“风化的生物加强作用”的假设，该机制认为土壤中的生物群使矿物和风化化学物质之间的接触面积增加，从而大大提高了风化作用的速度。提出这一大胆设想的两位学者注意到了下面这一重要的、相矛盾的地质事实：自 20 亿年前以来，多次出现岩石表面被磨损和铲到的明显证据，它们与现代冰川所造成的印痕同属一类。因此，传统的地质学思维方法认定在地球历史的大部分时期存在多期冰川作用。如果这种结论成立的话，那么自太古代到进化出现复杂有机体的 6 亿年前这段时间内，地球的温度就不会像“盖亚假说”所要求的那样炎热。然而，“盖亚假说”的支持者们如同训练有素的律师一般，试图为这些与他们的假说相悖的证据作出另一种解释。比如，针对上述证据，沃尔克和施瓦茨曼指出岩石表面的擦痕是由诸如流星和小行星等外来物与地球的碰撞造成的碎屑流引起。这一问题的解决将成为地学研究者在探究地球系统科学的尝试中的收获之一。

尽管围绕 CO_2 的消耗及温度问题仍存在争议，但没有人会怀疑生物在形成氧气这一空气中最主要的成分过程中所起的不可缺少的作用。光合作用利用太阳能将 CO_2 和水转变成碳水化合物和氧分子。这一反应的逆过程就是生物的氧化作用和腐烂作用，即碳水化合物与氧结合，释放出热量，产生 CO_2 和水蒸气。将无权的 CO_2 。

分子分解并合成有机的碳水化合物和氧需要利用太阳能来进行。同样，生物的氧化作用和腐烂作用则要利用氧气并释放出碳水化合物的化合键所储存的化合能。这种“生物能”可使热血动物产生自身的内部热量，这也解释了树木为什么可以作为一种燃料来燃烧。矿物燃料之所以能够燃烧是因为它们都是有机物质的残余，这些以碳为主的有机分子蕴藏着曾用来将 CO_2 转变成植物体的古代太阳能。大多数生物最后都要经历腐烂过程，但这些有机物残余则不然，它们所含的碳分子以化石这种形式被保存下来。

这种情形的出现一般要经历一段缺氧的埋藏环境。如有机物先在内陆浅海底部沉积下来，然后遭受密闭、压实作用，并且随着时间的推移，有机物质经过化学变化转化为煤、石油以及甲烷（天然气）。我们今天点燃一块煤，实际上是在还原有机物残余中恐龙时代的 CO_2 和太阳热量。一座煤矿的形成需要数百万年的时间，但人类释放煤中的 CO_2 和其他化学元素则只需数十年的时间。这一人为加速的过程产生了我们今天最大的全球问题，并使气候学家和生态学家均为之忧心忡忡。为了明智地讨论上述问题，科学家们需要掌握确定时间的方法。他们不仅要确定岩石的形成时代（绝对时代），而且要确定一层岩石相对于其上下岩层而言的对比年代（相对年代）。

为古老的地球定年龄

地球并不是一直被认为有几十亿年的年龄的。早在 18 世纪，在法国和英格兰，人们就对地球的年龄争论不

休。这场争论起先发生在神学家和科学家之间，后来科学家内部也出现了分歧。最早赋予地球绝对年龄的是一些神学家，对他们的结论提出疑问会被认为是离经叛道。1645年，爱尔兰阿尔马大主教詹姆斯·厄舍（James Ussher）引用圣经里列举的资料（实际上他是根据圣经人物的世代关系回溯创世历史），宣称上帝创世事件发生在公元前4004年10月26日上午9点整。到了19世纪早期，大多数地质学家明显地感到大主教的推测不大可能正确，甚至与真实情况相去甚远。

18世纪，苏格兰地质学家詹姆斯·赫顿（James Hutton）以及他的一些同代人相信，塑造地球表面的物理和化学过程清楚地证明地球至少有几千万年的历史。他们的这一估计是根据一种被称为均变论（与突变论相对立）的地质学原理得出来的。均变论认为过去的地质作用实质上与今天正在进行的地质作用相同（这一概念在接下来的几页里将要多次提及）。例如，赫顿提出粘土和粉砂在现代河口的沉积方式是可以被视察到的。通过研究这些新的沉积层如何固结为页岩和粉砂岩，人们就可以推断老沉积层堆积所需的时间。如果假定在过去数百万年间发生相同的地质作用，我们就能够估计类似地层的年代，并得出地球的大致年龄。然而，这种采用岩层作为年代标志的方法所依靠的许多变量过于复杂，以致难以进行准确测量。比如，气候的变化以及陆地升高的差异可以改变剥蚀和沉积的速率。

是根据现代测年技术而建立的一张地质年表序列。应当指出，虽然19世纪的地质学家们并不清楚他们当时研究的岩石的绝对年代，但他们多少知晓某一地层的相对年代。年轻岩石发育在年老地层之上，这一假定在大

多数情形下是正确的，但也不尽然。这一假定就是所谓的地层层序律。

地质学家们针对不同岩石地层的成分和年龄设计了一套命名体系。这一体系由一系列时间段以及在这些时间段内沉积的岩石的名称所组成。这些时间段仅仅是地质时间的次级单元。过去 6 亿年的“晚近”时期由古生代（5.7~2.25 亿年以前）、中生代（2.25~0.65 亿年以前）以及新生代（0.65 亿年以前至今）组成。大多数生命是在这一地质时代进化而成的。这些生物的化石残余被广泛地用来确定地层的相对年代，并将地质年代进一步细分为纪（Period）和世（ePoch）。我们已经掌握了生物进化的许多阶段，知道哪些动物和植物在进化过程中先出现，我们也就因此能够根据岩石所携带的化石的类别来确定岩层的相对年代。（化石的价值还体现在：通过在不同地区地层之间进行化石的对比，有可能追踪地球表面大陆漂移的轨迹。我们在下文还将看到，化石也是有用的古气候标志。）19 世纪的地质学家们建立起来的地质时间序列主要解决了相对年龄问题，但绝对测年技术在当时仍是一个悬而未决的问题。寻找一种可靠的时钟来重建绝对地质年表，已成为学者们此后致力研究的一个主要目标。

开尔文勋爵的测年方法

在詹姆斯·厄舍宣布地球年龄 200 年之后，开尔文（Kelvin）勋爵试图利用科学的手段和推理来求出地球的年龄。

作为维多利亚时代格拉斯哥大学的自然哲学教授，

开尔文是当时最具影响的理论物理学家。他采用当时已知的热力学原理来计算地球的年龄。根据对来自地球内部的熔岩流的观察以及以往对深部矿床的开采经验，开尔文知道地球的内部比地表要热得多。因此，他期望通过观察地表和地内的温度差别（即所谓地温梯度）来推测地球的形成年龄。他假定地球的初始状态是一个温度约为 3850 °C 的熔融体。因此，他的计算结论是约需 1 亿年的时间才能使地球达到现在的地温梯度值。这一时间即被他视为地球的年龄。

开尔文的上述估算结果在其支持者——理论物理学家和反对者——地貌学家（研究地表形态的地质学家）之间掀起了一场大争吵。地貌学家们在应用均变论原理计算某些地质特征的形成时间时，发现地球表面的某些特征所反映的地球年龄远远不止 1 亿年。但是，这些地貌学家在当时又无法令人信服地证实他们所观察到的地质现象代表了更老的地球年龄，其观点也当然地遭到了许多物理学家的反对。在地球年龄这一问题上，物理学家们在当时提出的新认识实际上增加了科学家们对地球绝对年龄认识的不确定性。但这种局面只持续了数十年。

有时候，一些新的科学见解或发现会导致一种修正的范例以及一些看起来是矛盾的理论 and 观察结果之间的调和。地球年龄之争就是这样一种情形：在 19 世纪与 20 世纪之交，放射性的发现使得地球年龄这一问题再一次成为讨论热点。开尔文勋爵当初是不知道地核放射性作用所产生的那部分热量的，如果在他的计算中考虑到放射性产生的这部分热量，那么计算结果就会与地质学家们的最佳估计更为接近。后者是将均变论原理应用到地表形态的演化研究并进而推测地球的年龄的。放射性

也为地质学家们进行地球绝对年龄的测定提供了一种独立的基准。放射性测年

一个放射性原子会随时间发生衰变。放射性原子的衰变速率被认为是一个常量（除非原子是以接近光速的速度发生运动），它实际上不受压力、温度等的影响，也不会因为由放射性原子构成的化合物（如岩石、水或空气）发生物理变化而发生改变。一个放射性元素的衰变速率是以其半衰期来表示的，即初始原子数的一半通过自然放射出质量和能量而衰变成其他（子）元素和粒子所需要的时间。如果我们知道子元素形成的恒定速率，那么，求得原始元素与子元素的比值，我们就能推算一块岩石的年龄。这一知识使得科学家们能够计算包含原始放射性元素的矿物的形成年龄。以岩石中的放射性衰变为向导，地质学家和地球化学家们能够确定岩石的绝对年龄，因而也能确定地球各种地层的绝对年龄。有了这一放射性测年技术，人们也就找到了一种用于计算地球年龄的可靠时钟。

用于岩石测年的有几种元素，其中包括衰变成铅（Ph）同位素的铀（U）同位素（半衰期在7~45亿年之间）、衰变成锶（Sr）的铷（Rb）同位素（半衰期为500亿年）以及衰变成氩（Ar）的钾（K）同位素（半衰期为13亿年）。

在同位素测年的早期阶段（1900~1939年），简陋的分析方法和有关原子核作用认识上的局限阻碍了科学家的实验工作。尽管如此，通过测量含铀矿物中的U/Ph比值以及多种岩石和矿物中He（氦）/U比值，科学家们还是能够进行粗略的年龄估计。

由于Rb和K有较长的半衰期，Rb/Sr和K/Ar测年

技术分别是最可靠的测年技术之一，其测定的年龄范围几乎包括了整个地球的约 45 亿年的历史。但是，如果要测定比较新的地质事件的年龄（比如过去几千年前某一事件的年龄），则需要采用一些半衰期短得多的放射性元素。

放射性碳测年

1947 年，美国化学家威利亚德·利比 (Williard Libby) 发现了一种重要的测年手段，它使得气候学家、海洋学家、地质学家以及考古学家能够准确地重建气候变化、地质事件、动物进化以及文明演化的历史。利比及其同事们找到了一种估算在过去 4 万年以内死亡的植物和动物遗骸的年龄的方法，这些遗骸包括树木及其他残留体（如泥炭层）、海洋及淡水贝壳，以及溶解有碳的海水和地下水。

碳元素在大气圈—水圈—生物圈中极为丰富，它有三种天然同位素，“C 是其中的一种。与 “C 和 ‘ ’ C 这两种碳的稳定同位素不同，“C 是不稳定的，但相当连续的宇宙射线的照射会将大气圈中氮分子转化为 “C，从而使 “C 不断得到补充。（太阳活动的变化会引起 “C 产量的变化，但这些不会对碳测年方法构成大的阻碍。）大气中的碳（包括 “C）通过光合作用转化为有机碳化合物。

当植物活着时，其组织中的 ‘ ’ C 会保持着一种相对的平衡，这是因为它们不断通过光合作用从大气中补充 “C 供给量。动物总是吃活着的或刚死不久的植物（或食草动物），它们也保持着一种与大气圈密切平衡的 “C 水平。但是，当动物或植物死亡之后，由于没有新的 “C