

我知道什么



在宇宙中 寻找生命

〔法〕 A.纳塔利·卡布罗尔 著
A.埃德蒙·格兰
邱举良 译

93-49

010



科学出版社

www.sciencep.com



我知道什么？

在宇宙中寻找生命

[法] A. 纳塔利·卡布罗尔 著
A. 埃德蒙·格兰

邱举良 译

科学出版社

北京

图字: 01-2003-0477 号

Que sais-je?

La Recherche de la Vie dans L'univers

Nathalie A. Cabrol et Edmond A. Grin

Presses Universitaires de France

©Presses Universitaires de France, 2000

108, boulevard Saint-Germain, 75006 Paris

图书在版编目 (CIP) 数据

在宇宙中寻找生命/〔法〕卡布罗尔, 格兰著; 邱举良译. 北京: 科学出版社, 2005
(我知道什么?)

ISBN 7-03-014219-5

I. 在… II. ①卡…②格…③邱… III. 地外生命-普及读物 IV. Q693-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 107337 号

责任编辑: 沈红芬/文案编辑: 彭克里 席慧
责任校对: 张怡君/责任印制: 钱玉芬/封面设计: 张放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

2005 年 1 月第一次印刷 印张: 4

印数: 1—5 000 字数: 68 000

定价: 9.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换(环伟))

序 言

在《我知道什么?》关于地球与月球(PUF, No 875)的第一部著作中,纳塔利·卡布罗尔和埃德蒙·格兰提到我们的星球曾经帮助过而且始终帮助保护着生命,无论在我们的星球表面还是内部,以它的各种形式提供生存所需要的和必不可少的条件。他们还指出,探索月球的壮举为人类提供了离开所在星球的科学技术手段。

他们都是寻找地外智慧研究所的主要探索者,在美国宇航局武器研究中心从事研究。他们在这本新书中专论寻找宇宙中的生命。他们表明了我们的知识由于最近几十年科学技术的进步而大大增加。

他们以警觉和精确的风格,触及到始终困扰人类的根本性问题:生命是什么?它来自哪里?在哪里找到它?有没有其他的地球?

他们考究了太阳系外发现的新行星,而且可能有朝一日将惟一物体盖亚与它的姐妹之一进行比较。

最后,作者告诉我们地外智慧生命的研究继续在弗兰克·德雷克的寻找地外智慧研究所进行。

总之,他们帮助我们更好地理解“我们是单独的吗?”这个问题的意思。

勒内·达尔院士

致 谢

作者要特别感谢所有在本书准备过程中通过交谈及提供信息而给予支持的人士和学术机构，以及所有同意借用图形、图片和摘译文章片段的人士。我们的谢忱谨致以：约翰·比林海姆（John Billingham），米歇尔·卡布罗尔（Michele Cabrol），勒内·达尔（Rene Dars），汉斯 J. 迪格（Hans J. Deeg，巴西卡纳里亚斯天体物理研究所），洛朗斯·多勒（Laurance Doyle，寻找地外智慧研究所 SETI / 美国宇航局 NASA 武器研究中心），卡尔文·哈密彤（Calvin Hamilton，太阳系的视野），戴维·麦凯（David McKay，美国宇航局约翰逊空间中心），法雷德·萨拉玛（Farid Salama，寻找地外智慧研究所/美国宇航局武器研究中心），戴维·威廉姆斯（David Williams，戈达德空间战斗中心），《自然》杂志，加利福尼亚维尤山寻找地外智慧研究所，美国宇航局武器研究中心，美国宇航局约翰逊空间中心，马林（Malin）空间科学系统和美国宇航局喷气推进实验室提供了火星全球勘测者上的火星气候轨道器（MOC）相机的图像。

以此纪念让·海德曼

目 录

序 言

致 谢

第一章	在什么地方、如何寻找生命	1
一	可居住区域的概念	2
二	可居住区域外的适应	7
三	新兴学科的研究	11
第二章	寻找生命的起源	17
一	生命的起源	17
二	地球模型的重要性	22
三	我们认识生命的局限性	27
第三章	生命的界限在哪里	48
一	极端环境和极端形态	48
二	生命进化的局限性	54
第四章	太阳系的其他候选者	61
一	火星	62
二	木卫二	79
三	泰坦	81
四	漂泊的物体：彗星和陨石	82
五	太阳系的其他星球	83



第五章 太阳系以外	85
一 探测太阳系以外可居住的星球	85
二 发现新的行星系	87
三 探测方法	88
四 我们是孤立的吗	94
五 用其他方式交流	101
结论：目前的研究潜力	108
附录：关于地外智慧探测行动的原则声明	113
参考文献	117

第一章

在什么地方、如何寻找生命

在探索我们周围的广袤宇宙，寻找其他生命表达形式之前，我们探索的第一步在太阳系近邻进行。我们把眼光投向地球，生命存在于地球的任何地方。尽管对于地球来说，所有物种的“基础砖”都是相同的，但进化有各种条件，它赋予了生命无限的多样性。出现生命的原有的环境限制由于新的发现而每天被往后推移。一些生物出生、生活、死亡，在它们所处的环境，如酸性温泉、海沟或岩石内部寻找食物和繁衍。在这样的条件下生活，使研究人员不得不创造新的名字来定性它们：极端形态。所有生命都需要太阳发射的能量的概念已经过时。1995年，在华盛顿州哥伦比亚河地区发现了在玄武岩1公里深处生活的细菌。初步分析表明，这些细菌以玄武岩与水反应产生的氢为食物，它们的其他食物来源是溶解在水中的二氧化碳。另外，在海洋数公里深水中生活的其他生物只是从深海热泉中吸取能量。

一 可居住区域的概念

在下面几段，我们谈论太阳系中的居住区。不同星系居住区的变化将在第五章论述，该章涉及寻找太阳系外星球。

无论在地球表面，还是在海洋中，甚至在地底下，生命在我们的星球上都可以蓬勃发展。既然生命能够如此适应环境，我们发送到太阳系其他地方的探测器为何没有（还没有）带回积极的结果？迄今，我们在地球以外的生命探索仍然没有成果。不同性质的原因有许多，既有物理和生物学原因，也有技术和科学，甚至概念上的原因。尽管我们前面提到的极端形态，可以使生命的界限大大往后推移，但生命的界限终归是存在的。天文学家提到的太阳系中的物理壁垒，叫做**居住极限或居住区**（Huang, 1959）或**生物圈**（Dole, 1964；Shklovski 和 Sagan, 1966）。在这种居住区的概念基础上，天文学家寻找类似地球、可能存在生命的星球，而且探测它们与太阳的最大和最小的距离。既然地球上的生命与液态水的存在有必然的联系，而且这一概念与距离紧密关联，在该距离水能够以液态形式在星球表面存在。1964 年，多尔（Dole）估计太阳系的可居住区范围在 0.725（接近

金星轨道) $\sim 1.24\text{UA}^{\text{①}}$ (地球与火星距离中间)。这一距离概念是一个大概范围, 我们知道太阳能量每增加 0.1% , 我们地球的平均温度就要增加 0.24°C 。这个模型是以气候模型为基础的, 气候模型除了其他因素外, 主要考虑大气气温以及云层的反射系数。如果地球离太阳再远 $1\% \sim 2\%$, 地球就要全部发生冰冻。

随着时间的推移, 可居住区概念逐步精细化。在多尔看来 (1964), 可居住星球是一个至少有 10% 的表面平均温度介于 $0 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 、极限温度不超过 -10°C 或 40°C 的星球。这是对人类有利的条件。其他研究人员如拉苏尔和德伯格 (Rasool, DeBergh, 1970)、哈特 (Hart, 1978)、卡斯廷 (Kasting, 1988) 等人和惠特米尔 (Whitmire, 1991) 等人建议可居住区概念与表面存在液态水关联。福格 (Fogg, 1992) 将两个定义糅合成一个概念, 即星球上的水是液态时, 被看作是生物相容的星球。可居住一词被解释为可能被人类占据的星球。可居住区也受太阳变化的影响。约在 46 亿年前, 太阳的亮度要比现在弱 30% 左右。再过 50 亿年, 它的亮度是现在的 3 倍。1979 年, 哈特首先考虑到这个变化, 并发展了持续可居住区的概念。依照这个模型, 哈特提出如果地球在 0.95UA 的距离形成, 海洋就会被蒸发, 地球就会变成干燥的沙

^① 天文单位。一个天文单位 (UA) 相当于 1.5 亿公里 (地球到太阳的距离。根据定义, 地球与太阳的距离为一个天文单位)。



漠。在 1.01UA，它就会出现全面的冰川。在 1UA，地球处于持续可居住区范围。

在最新的一项研究中（1993），卡斯廷和其他人重新审查了哈特的结果并展开了讨论。他们引用气候因素和在历史过程中可能控制地球气候的负反馈反应，将可居住区的范围扩展到 0.95~1.37UA 之间。可居住区的表面从内部限制来说取决于水的流失，从外部限制来说取决于引起冰川的二氧化碳的浓度。因此，46 亿年以来，持续可居住区的范围至少应在 0.95~1.15UA 之间（它的范围有可能更加广泛）。卡斯廷和其他人扩展了这些界限，他们使用地质尺度在岩石中确定大气二氧化碳的概念。二氧化碳被岩石中钙和镁的硅化物通过交互作用从大气中吸取，然后是碳酸盐岩石的沉淀和埋藏。假如这个过程是单向的，只要 4 亿年的时间就将用尽大气和海洋中的碳。实际上岩石的代谢作用保持着平衡，下转区域的碳酸盐岩石由于压力和温度再次形成钙的硅酸盐和气态的二氧化碳，通过火山活动释放到大气中。交互过程的反应在有液态水的情况下才能快速进行。假如地球寒冷到海洋结冰的程度，硅酸盐的交互作用就会完全停止，导致大气中二氧化碳的不断积聚，随着时间的推移，这种积聚将造成温室效应并使温度升高，最终导致冰雪融化，释放出液态的水。历史之初，地球气候相对稳定，那时太阳的亮度只有现在的 75%，可以通过这种现象来解释。同样的反馈过程被波拉克



(Pollack) 和其他人 (1987) 用来解释火星历史之初气候比较温和的原因。因此从理论上讲, 太阳系的持续可居住区可扩展至火星, 只是在离木星太近的区域由于受重力影响难于形成星球而受到制约。然而, 火星较低的温度引起二氧化碳的凝聚似乎与火星历史前期可能出现二氧化碳/水温室效应的说法相抵触, 除非火星在它存在的最初亿万年中被海洋所覆盖。

这一假设由贝克 (Baker) 于 20 世纪 90 年代初提出, 然后得到其他研究人员的认同。经过对“海盗” (Viking) 探测器图像的分析, 帕克 (Parker) 还提出了存在边际线的假设, 该边际线由台地 (1 号和 2 号) 构成, 覆盖着火星北半球大部分地区。帕克还提出火星存在大的湖泊, 尤其是伊利西昂湖, 有可能像地中海那么大。如果说克里斯地区的灾难性径流能够解释为暂时形成的湖泊的话, 伊利西昂海洋或大湖的水供应仍然是个大问题, 甚至对那些认为其存在的人来说也是个问题。解决这个问题的重要性在于建立火星的古气候模型, 同时, 了解火星上哪些是有利于生命的环境也是关键问题。目前, “火星全球勘测者” 摄像机正在定期地拍摄这些地区高清晰度的图像。有趣的是, 由帕克提出的该地区的新图像似乎没有给辩论带来决定性的东西, 第一批关于火星存在古代海洋的有利的观察资料来自流动月球实验室 (MOLA), 它是“火星全球勘测者” 上的激光高度仪。流动月球实验室的目标是提供分辨率为几米的火星总体的拓扑

学地图。在最初两年的轨道运行中，流动月球实验室的资料似乎表明火星北半球存在拓扑学的变化，与帕克从形态学角度定义的第2号台地相符。在火星气候轨道器和流动月球实验室收集信息的使命结束之前，辩论将继续。侵蚀有可能起着很大的作用，因此即使火星在数十亿年以前存在海洋，也有可能今天很难找到它的痕迹。所以，需要等待不同性质（形态学、高度测量和矿物学）的观察结果，来回答我们关于火星海洋（或历史过程中一系列海洋）的问题，而它不是一个无可辩驳的证据。但谁知道呢？

因此，对可居住区和持续可居住区的定义是复杂的。与地球大小几乎相同的金星地表的环境使它成为不可居住区，但其实它处在 0.72UA 的距离。火星，其大小大约是地球的一半，其质量只能保留很薄的大气，与太阳的距离为 1.5UA 。与地球和太阳的距离相比不是差太远。像火星这样距离、大小与地球相同的星球还是能够有条件让生命在它的整个表面生存的，尤其是假如它的大气包含像二氧化碳那样的温室效应气体时。反过来说，如果地球没有含有温室效应气体的大气，以它目前与太阳的距离，它的平均温度将是 -29°C 。水在 0°C 结冰，于是，我们明白即使是在 1UA 的距离，大气的组分也起着关键作用。因此，可居住区的概念不单纯由距离决定，星球的大小和类型支配星球的系统，星球的大小、存在或不存在大气、大气的组分和温度与其他决定性因素同样重要，

它们决定某个星球的表面能否居住。

二 可居住区域外的适应

一个星球的表面温度是很难预见的，但人们已经能够考虑既然地球与太阳的距离与金星一样（近约 4100 万公里），它的表面变得不可居住。如果人们将地球推向火星轨道，表面温度会变得太低，致使水不能保持液态，至少不能长期保持液态。尽管目前保持干旱，哈伯利（Haberle, 2000）和其他人的气候模型似乎可以表明目前的火星仍然存在一些地方，那里的水在一天的数小时里或一年的数天里保持液态。假如是这种情况，人们可以认为火星的水文与地球的极地十分相似（Cabrol 等，2000）^①。

如果我们把前文提到的所有因素都考虑进去，地球对生命来说在距太阳 1.28 亿公里的这边和 3 亿公里的那边的区域将变得不可居住。在被我们的整个太阳系直至冥王星覆盖的表面，可居住区只占总表面的 0.25%。但是，星球的演化使可居住概念能够扩大它的界线。自从形成之时起，行星一直在演变，它们当中的许多在大气方面和表面条件（如地质和气候）方面都在变，轨道参数也在变化（包括在确定演化的领

① 这个模型找到了确认的开端，2000 年 6 月宣布在火星上观察到新近的（或现在的）水源。

域)。火星就是具有这些变化的例子。尽管对火星过去的争论仍然很激烈，一些人认为火星是“热的和潮湿的”，另一些人认为火星已经冷却但更加“潮湿”，“水手探测器”、“海盗探测器”和“火星全球勘测者”的观察试图证明这些条件足于使水不仅在表面流动，而且形成数百公里的河流，其中一些蜿蜒曲折和陡壁夹道，是长远的河流活动的结果。因而，即使火星现在是可居住区域的外部界线，但其历史之初存在的条件有可能是最接近地球的条件，因此有利于生命的出现，而现在它的条件变了。关键是要知道这些条件是否能持续足够长的时间使生命出现，而且一旦出现，这种生命能否找到足够的资源来避免在表面形成的极端生存条件下生存下去。这些概念大大扩展了我们的研究视野，不再局限于持续可居住区域严格范围的界限。可居住区域也包括地质（环境）和生物（物种和它们的适应能力，也包括时间概念）两方面。

只有对我们的太阳系进行密集的探测，拓展对行星，包括地球和它们的环境的认识，才能使我们设想扩展生物的潜在领域。我们在地球上始终处在一个阶段，每天都能发现新的生境和新的物种，有些与我们的过去即使是最大胆的有时甚至是最新的假设完全不符合，这很令人困惑。因此，我们在太阳系的最初试验仍然没有成果，这并不奇怪。本质上，我们的探索是建立在单一的模型即我们地球的模型之上的。这个模型至今还不完善，这就引导我们着手在太阳系寻找

新的生命，并扩展到宇宙的其他地方。

我们寻找与我们在地球上认识的生命相似的生命，因为这是我们拥有的惟一模型。我们在寻找过程中转移我们所知道的惟一的概念，因为无法设计其他的构想，这无疑是我们的探索中不可避免的一个阶段。它在决定我们的寻找地点和可能忽略的地点方面是有局限的。它也决定我们用来探测相应的环境的技术。在一个理想的世界，我们提到的这些局限本应该是我们的惟一挑战，可惜还应当加上经济上的限制，所以不能够使地球或行星领域的科学探测总是像它希望的，取得像理论上那样的快速进展。因此，这项探索的关键之一是我们对有利于生命环境的认识。在太阳系其他行星寻找生命的工作需要从地球上获得的进展中吸取经验和教训。然而，我们周围的其他行星是特殊的世界，需要发现它们目前隐藏的规律，这能否成功取决于我们解读它们过去的历史和现在的行为的态度。这个密集探索的阶段始于 20 世纪 60 年代，因此从进化的角度来说它是非常新的事件。

46 亿年之后，地球上生命的最高级表达形式（人）开始去寻找它的起源。生命对自己提出疑问，围绕对直接出现生命的星球的世界提出疑问，并探索答案：我们的地球是不是惟一存在生命的星球？如果是的话，哪些原因使得地球如此与众不同？如果不是的话，哪些是生命的其他表达形式？它们位于太阳系的什么地方？它们对我们了解自己能够提供什么启

示？混合岩，人们认为是地球上找到的生物活动最古老的痕迹，可以上溯到 39 亿年前，正好是陨石大爆发的末期。我们不知道过了多长时间生命出现在这个时期，因为我们撞上不可逾越的墙。地球的动力学变化，特别是板块运动，很久以来使地球最古老的岩石再循环，并磨灭了我们过去的痕迹。像加拿大和澳大利亚这样最老的台基也不能使我们的历史上溯得更远。我们想像（还无法证实）地球上的一切生命来自一个共同的祖先，我们既不知道它的年龄也不知道它的居住地，因为无法进入到这些在岩石循环中消失的石头档案。于是，我们的希望是在太阳系的某一个地方，一个或多个星球上没有板块运动，保留着 42 亿年甚至更早的最古老岩石，这样还能够找到答案，最低限度是一部分答案。人们对自然和生物出现前的元素的演化，以及从这些元素中产生生物和生命的最初阶段的原因提出了许多问题。如果要在太阳系的其他地方找到生命，需要获取另外一些关键的信息：地外生命的基础元素是否与我们的类似？如果回答是肯定的，需要努力确认整个太阳系只有发生惟一一次（生命在那里找到了有利于演变的条件），可能从一个行星到另一个行星发生物质交换，而且在同一机会，交换了前期生物物质甚至可能已经是生物的物质。那么，在这样的行星上的环境变化是如何影响这种生命的演变和多样化的呢？太阳系是否经历过多次发生而促使类似的生物分化？为什么？假如我们发现的生命