

# 寻找宇宙中的生命宜居星球

李 良

所谓“生命宜居星球”，指的是某颗行星处于距离该行星系的中心恒星远近合适的区域，在这一区域中，由于恒星传递给行星的热量适中，行星上既不太热也不太冷，且能够确保存在液态水，水是出现生命的关键因素。

## 发现首颗太阳系外宜居星球 ——格雷斯 581d

法国国家科学研究中心在 2011 年宣布发现了首颗太阳系外的宜居星球，它是围绕中心恒星运行的几颗行星之一，这颗系外行星名为格雷斯 581d (Gliese 581d, 图 1)。它拥有浓厚的二氧化碳大气层，温暖的程度足以形成海洋、云团和降雨。行星上布满岩石，经模拟研究表明，这是一颗满足维持生命重要条件的行星。

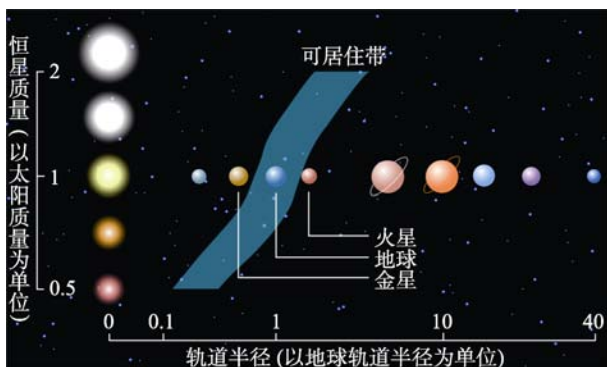


图 1 恒星周围的可居住带示意图

横坐标是行星离恒星的距离 (以地球轨道半径为单位)，纵坐标是恒星的大小 (以太阳质量为单位)。可见恒星越大，可居住带离它越远

格雷斯 581d 的轨道位于该恒星“宜居区”的边缘，气温既没有炎热到让水分蒸发的地步，也没有冷到让水长期冻结的地步。这里的温度恰好让水维持液态。经模拟显示，格雷斯 581d 的环境条件使它能够支持类地生物的生存，其表面可能存在充满液态水的海洋和降水现象。科学家们预计，这一发现将有助于在宇宙中找到更多适合生命生存的星球，其中也包括一些之前看似非常奇怪，甚至完全出乎



意料的星球。

格雷斯 581d 围绕一颗名为格雷斯 581 的恒星 (属于地球的近邻恒星之一) 运转，距离我们大约 20.5 光年，人们已在这颗恒星周围发现了 6 颗行星。格雷斯是格雷斯近邻恒星表的简称，它最早由德国天文学家威廉·格雷斯 (Wilhelm Gliese) 于 1957 年编录

出版，后来经他本人和其他天文学家不断修订，目前已包含距离太阳 25 秒差距 (约等于 81.5 光年) 内的 9000 多颗恒星的数据，成为广泛使用的星表。和其他各种各样的星表一样，格雷斯星表中的恒星也以“星表名称+数字编号”的方式命名，“格雷斯 581”就是其中编号为 581 的那颗恒星，它周围的行星则以英文字母按发现顺序命名。格雷斯 581d 是 2007 年发现的，当初科学家没有把它当作搜索宇宙生命的候补星。

几年前，有些科学家研究认为，格雷斯 581d 接受的恒星辐射量不到地球从太阳得到的辐射量的三分之一，而且可能被“潮汐锁定”，也就是说，该行星有一面永远面向恒星，所以有些地方是永久白天，有的地方是永久黑夜。虽说格雷斯 581d 早已被排除在宜居行星候选名单之外，但是，法国国家科学研究中心的气候科学家罗宾·伍兹沃斯 (Robin Wordsworth) 博士及其同事还是研究设计了一种新模型，结果显示这颗行星拥有令人惊讶的“生命宜居星球”的潜力。模拟研究显示其大气层由于二氧化碳浓度高，可以有效储存热量。恒星发出的红光也可以穿透大气层，暖化星球表面。根据对这颗系外行星的气候模式进行的计算机模拟结果发现，以前的评估是错误的，这颗行星确实存在适合生命生存的条件。

罗宾·伍兹沃斯说：“这一发现意义重大，因为这是首次运用气候模拟方式证明一颗行星可能存在适合生命生存的环境条件，并且所有的科学家们都同意这样的观点。”“如果你回顾系外宜居行星的搜

寻历史，你就会发现至少有两个案例中，都是当事人宣布发现宜居行星目标之后，又出现了矛盾的证据，这样的证据要么来自气候专家，要么来自其他研究人员。格雷斯行星系统尤其让我们感到兴奋，因为它距离太阳系相对较近。因此，随着望远镜技术的持续进步，未来我们将有可能直接在其上面寻找生命的迹象。”他认为，在一颗环境和地球差异如此巨大的星球上发现可能适合生命存在的环境，对于未来搜寻外星生命的努力是一个好的兆头。

### 液态水与宇宙生命宜居带

谈到宇宙生命宜居环境人们首先想到的是水。水是地球上最宝贵的资源之一。我们的地球表面 70%以上是水，因而地球有水行星之称。地球上各种生命包括人类的祖先均来源于水，试管婴儿仍需要在母体羊水中成长；人体的 60%是液体，其中主要是水；水对人体健康至关重要，一旦失去体内水分 10%，生理功能即严重紊乱；如果失去水分 20%，人很快就会死去。总之，水是一切生命之源。既然生命离不开水，搜寻地外生命的实质就是搜寻液态水。

从地球到火星可认为是太阳系生命宜居带（有可能存在液态水的区域，见图 1）。宜居带应该是包围着中心恒星的一个具有一定厚度的球壳区域。因为太阳系里这些行星的轨道都大致在一个平面上，所以常常用环带表示。太阳系 8 颗行星中，表面有液态水存在的行星只有地球。位于最外侧的海王星的公转轨道到太阳的距离为地球到太阳距离大约 30 倍。在海王星的外侧还有冥王星等矮行星。科学家认为，是否适宜生命出现，还同各颗行星的状况有关。

生命存在的一个宏观因素是行星到中心恒星（例如太阳）的距离。这里所说的生命当然不仅局限于具有智能的高等生物，也包括细菌等微生物在内。我们的地球姊妹——金星，它距离太阳太近，其高温的表面不可能保存液态水，而在地球外侧的火星距离太阳又偏远，其表面的水常常冻结成冰。地球表面因覆盖着大量的液态水而属于“海洋型行星”，而金星和火星表面基本上覆盖着陆地故属于“陆地型行星”。所以说在太阳系内，能够存在液态水的区域便只局限于金星公转轨道和火星公转轨道之间的这个狭窄环形带，只有公转轨道位于这个环形带内的行星表面才可能有液态水存在。科学家们

把这个区域叫做“生命宜居带”，地球恰好就位于这个宜居带之内，在太阳系八颗行星中，惟独地球上存在着大量的液态水。

### 恒星寿命、亮度与宇宙生命宜居带

科学家们认为，银河系里存在着上千亿颗恒星，其中有一个容易形成适宜生命诞生的行星的“银河系的生命宜居带”。根据分析，这个宜居带距离银河系中心不能太近，也不能太远。我们的太阳系就正好位于这个银河系生命宜居带之内（图 2）。

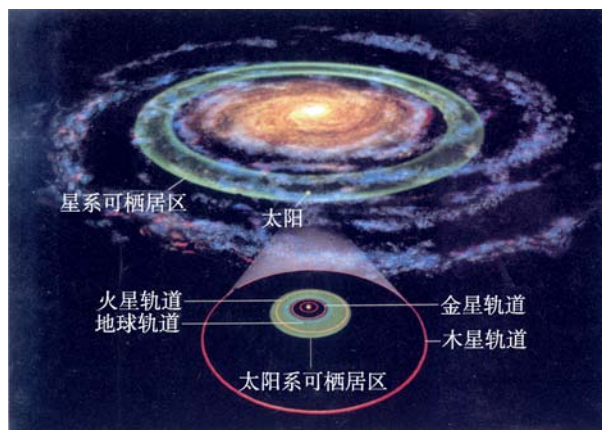


图 2 太阳系可栖居区在银河系可栖居区位置示意图  
银河系的生命宜居带（也称作星系可栖居区）不包括银河系危险的内侧区域以及缺乏金属的外侧区域。这种可栖居区与太阳系的宜居区相似，只是后者的规模要小得多。事实上，这两种可栖居区都没有非常清晰的边界

银河系内侧和外侧区域都不可能为生命宜居带。银河系或者其他星系的内侧区的恒星多数是大质量的恒星（质量大于 8 倍太阳质量），且距离星系中心比较近，这意味着它们会在较早阶段寿终正寝，发生超新星爆发。从另一方面说，这些大质量恒星在它们发生超新星爆发以前，内部进行的核聚变反应会通过轻原子彼此聚合制造出比较重的原子，并随着核聚变反应进行，最后积累越来越多的重原子。在发生超新星爆发时，这些重原子便会被抛撒到宇宙空间。所以说，在星系中心附近除了氢和氦之外，还有许多重原子。重原子较多，形成行星的固体成分（尘埃）自然也比较多。最初形成原始行星系盘的物质非常丰富，而且其中固体成分所占比例比较高，这意味着行星胚的成长比较快，那么，在这个区域形成的行星系统便容易有 3 个或 3 个以上的巨型气体行星（类似木星）。有过多的巨型气体行星的结果是，它们强大的引力会扰乱行星

系统的行星轨道。这种环境不会诞生出满足生命生存条件的那种行星。此外，我们再来看看在星系外侧的情况，客观环境同中心附近是相反的，这里形成恒星和行星的材料物质数量非常少，因此很难形成行星。所以说，在星系里的“星系生命宜居带”既不能距离星系中心太近，也不能太远，而应该是位于适当距离的一个球壳区域，例如太阳系在银河系的位置。当然以上说的只是条件的一个总体倾向，不是绝对条件。涉及生命宜居的实际问题还有很多也很复杂。

星系外侧区域缺乏金属，不可能成为生命宜居带。天文学家所说的金属丰度指的是金属元素在整个恒星里占的比例。对正当“壮年”的恒星（主序星），其核反应产物是很难到达恒星表面的（恒星大气），所以人们所测的金属丰度（即恒星大气的非氢氦元素成分）不反映恒星整体当前状态，但却很好地反映了产生恒星的星云的丰度。比氢、氦更重的化学元素形成于恒星演化过程中，早期宇宙中金属物质很罕见，因此古老恒星一般缺少金属物质。年轻的恒星从被年老死亡的恒星残骸“污染”了的星云中诞生，这些残骸含有大量的核反应产物，因此丰度较高。而那些从大爆炸中诞生的第一代恒星仅由氢和氦构成，所以它们的金属丰度异常的低。

大质量恒星核聚变所产生的元素只能到铁元素为止，所有比铁元素更重的重元素，都是在大质量恒星死亡时的超新星爆发（即聚变到铁元素后恒星发生急速地引力坍缩，在几十亿度高温下再次核聚变而产生各种重元素，并发生星系数级能量的大爆炸），而将所产生的重元素抛撒到广大的宇宙空间。银河系中的古老恒星拥有较少的金属物质，其金属物质成分比率比太阳低 10 万倍，太阳属于第二代恒星，在 50 亿年前，太阳系是在多次超新星爆炸所抛洒出的重元素丰度较高的原始恒星云中，由于引力扰动而凝聚产生的。

太阳是一颗典型的年轻、富含金属的恒星。金属对于类地行星和生命是必不可少的。它们不但使我们呼吸到宇宙中最丰富的氧气，并且依然有大量的氧气储藏在我们脚下的硅酸盐岩层中。在大多数大型星系中，氧与其他金属富集于中心区域，并朝着星系的边缘逐渐衰减。这是缘于大多数金属是由恒星核反应“锻造”的，而后者多聚集在星系的中心。例如，人类所处的银河系盘便具有很明显的金

属丰度梯度：从银河系中心向外 1 万光年，铁的丰度平均下降 35%。

2010 年美国夏威夷大学的天文学小组有一项研究报告指出，星系碰撞似乎能够使富集氧、铁甚至金的星系区域与缺乏这些元素的区域相互混合，从而使富者变穷，穷者变富。他们测量了与银河系类似的 8 个大型旋涡星系——然而一个关键差别在于它们正在与其他大型旋涡星系发生碰撞——中的恒星形成区域的氧丰度。研究人员发现，与银河系相比，在全部的 8 个星系中，氧梯度要弱得多，换句话说，在距离星系中心很远处的氧的下降要少得多。

在理论上，通常认为金属匮乏的恒星系统不太可能有行星形成。自从 1995 年第一颗系外行星被发现以来，科学家们已知这些行星偏好富含铁元素的恒星，拥有行星的恒星比没有行星的恒星金属含量高两倍左右。

天体演化理论研究一般认为，不同质量和体积的恒星寿命是不一样的，恒星质量越大，寿命就越短。反之，恒星质量越小，寿命越长。例如我们的太阳在宇宙里是一颗很普通的恒星，它的寿命是 100 亿年左右。有研究者认为，超过太阳质量 120 倍的恒星在强烈的核聚变下，寿命只有 270 万年左右。质量是太阳 0.5 倍的恒星寿命就有 500 亿年左右。究其原因在于：恒星质量越大，它的万有引力越强，其中心部分因受到压缩温度上升越快，因而为恒星发光提供能量的“热核聚变反应”会进行得十分激烈。科学家认为，质量小于太阳 2 倍的恒星寿命对于生命最合适；中心恒星的寿命至少要有 10 亿年，而且到其星系中心的距离要适当。也就是说，在河外星系里也有生命宜居带。这是更为复杂的问题，目前研究得还不多。

科学家研究认为，生命宜居带的位置取决于中心恒星的真实亮度。生命宜居带随恒星的亮度而变化，如果恒星较暗时，生命宜居带偏向行星系内侧，范围较窄；如果恒星较明亮时，生命宜居带偏向行星系外侧，范围较宽。这是因为中心恒星的亮度取决于它释放能量的多少。中心恒星如果较暗，向外释放的能量较小，它的宜居带就会距它比较近；中心恒星如果较亮，向外释放的能量较大，它的宜居带就会比较远。如果恒星的真实亮度只有太阳亮度的 1/4，它的宜居带的距离大致只有太阳宜居带距离的 1/2。真实亮度

为太阳亮度 2 倍的恒星，它的宜居带的距离则是太阳宜居带距离的 1.4 倍。

关于“生命宜居带”，还有一个因素也必须考虑进来，这就是在恒星演化的不同年龄段的亮度变化也会影响行星。据研究认为，大约 46 亿年前的早期太阳要比现在的太阳暗大约 30%，那么早期地球相当长的一个时期是处于冰冻状态。后来冰冻开化，地球陆地能够自动调节行星的气温，地球表面的水长期循环保持，因此构成了生机勃勃的生物大世界。

### 巨型气态行星的作用

现代太阳系以外的行星（称为系外行星）搜索的一些结果表明，许多系外行星由于生存环境过于严酷而不可能诞生出生命，这些行星有些是距离中心恒星太近，表面不可能有液态水存在；有些是中心恒星的质量太大，寿命太短，不可能有足够多的时间诞生出生命。科学家告诉我们，一颗行星上如果有生命存在，它必须要满足到中心恒星的距离、行星本身的类型和大小这三个条件之外，它周围的环境对其上是否能够演化出生命也起到决定性作用。例如，一个行星系所具有的巨型气态行星的数目就是一个重要条件。

根据科学家推测，当有多颗行星围绕着一颗恒星公转的话，如果它们多半是“巨型行星”（例如像木星），它们的轨道在不久的将来就会变得毫无规律。最理想的情况是，行星系中只有一个或两个巨型气体行星，如果有三个或三个以上，这些巨型气体行星之间会互相施加引力影响，导致轨道混乱，使它们的公转轨道变成极其扁长的椭圆轨道。如果发展到行星距离恒星过近，它们的表面会融化为岩浆的海洋，这种岩浆型行星显然无法孕育生命。其他那些相对于巨型气体行星而言比较小的行星的运行规律也会乱套，在巨型气体行星的引力影响下无法确保轨道的稳定性，有的会与中心恒星或者巨型气体行星发生碰撞事件，有的甚至会脱离中心恒星向远处飞去。

太阳系行星有 3 种不同类型，即岩石型行星、巨型气体行星和巨型冰行星。（1）岩石型行星，其外侧为岩石，内侧有一个金属核。太阳系里的水星、金星、地球和火星都属于这种类型的行星。如果条件合适，液态水可以稳定存在。（2）巨型气体行星。大部分都是由氢构成的巨大行星。外侧是一层主要成分为氢气的大气。内侧是在高压下处在金属状态

的氢，中心则有一个由岩石和冰所构成的内核。据推测，这种类型行星的内核部分的质量就达到了地球质量的 10 倍以上。（3）巨型冰行星，即大部分都是由冰构成的巨大行星。外侧是一层主要成分为氢气的大气，内侧是主要由冰构成的“冰层”，中心有一个由岩石和冰所构成的内核。位于太阳系外侧的天体，距离太阳越远，冰冻物质所占的比例越高。

木星和土星均属于巨型气态行星，它们具有很大的质量，木星和土星实际上充当着地球的“保镖”。2009 年美国华盛顿大学天文学家内森·凯伯（Nathan Kaib）等人的一项研究显示。数亿年前，来自太阳系边缘各个方向的较大彗星有许多朝向地球运行，但是它们均被木星和土星这两颗巨大气态行星所阻挡着，使得地球上的生命保存至今。许多研究人员认为，6500 万年前一次灾难性的小行星碰撞导致恐龙从地球上灭绝消失。凯伯他们的研究表明，导致物种灭绝最强大的彗星雨对于地球而言并不频繁，并且彗星雨很可能并不是导致地球上物种大规模灭绝的主要原因。木星和土星就如同“棒球手套”一样抵挡了彗星对地球的侵袭，能够偏离或者吸引可能碰撞地球的彗星。凯伯等人还发现，木星和土星并不是完美无缺，许多来自奥尔特星云内部的彗星在抵达这两颗气态行星之前已被分解，但多数却未被分解，最终撞到行星的表面。这项研究发表在 2009 年 8 月 3 日出版的《科学》杂志上。

迄今的所有研究探索表明，木星没有生命的迹象。那么是什么因素决定了由原始星云收缩形成的巨型气体行星的数目呢？据科学家研究认为，这是由最初聚集在原始行星系盘内的物质的数量决定的。原始行星系盘的物质数量越多，最后形成巨型气体行星的个数就越多，而在圆盘的物质数量很少时，形成的甚至会是没有任何巨型气体行星的行星系统。太阳系形成的情况正好在上述两种情况之间。客观事实说明，如果一个行星系统根本就没有巨型气态行星也是不适合生命存在的，因为行星系统内的巨型气态行星具有强大的引力，能够防止那些数量众多的外缘天体（例如小行星、彗星）侵入行星系统的内部，减少或避免同行星地球相撞，客观上保护了栖息在它上面的生命。

### 迷人的木卫二

生命也有可能出现在巨型气态行星的卫星上，例如空间探测表明，木卫二、土卫六和土卫二上有



可能存在着生命，特别是木卫二希望最大，它是除地球之外太阳系中唯一一个有大量的液态水存在的地方（图3）。

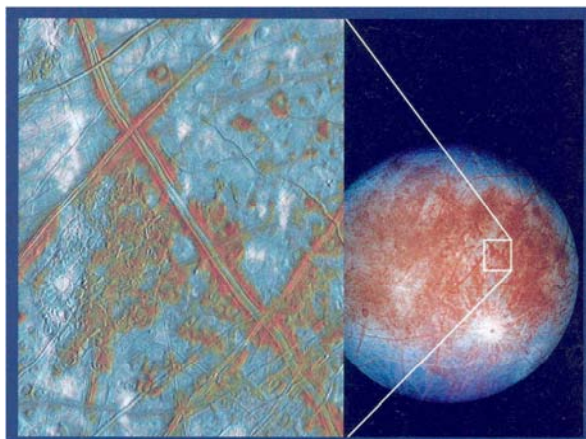


图3 木卫二冰层下面隐藏着一个被木星的潮汐力将冰融化后形成的液态水层，此照片特别展示了木卫二冰层的若干条裂隙

木卫二直径为 2920 千米，只有地球直径的约四分之一，体积比地球的卫星——月球稍微小一点。早在 2002 年 5 月，美国公布的木星研究成果认为，木卫二上所具有的各种元素，应该可以满足生命存在的最低要求。美国行星科学学会的伊丽莎白·皮耶拉佐和“搜索地外文明计划”（SETI）研究所的克里斯多弗·奇巴的研究课题是，木卫二上是否有足够的资源支持生命存在，生命的原始成分需要碳、氮、硫磺和磷。目前科学家并不清楚木卫二海洋和表面冰层的确切组成成分。一些人认为，木卫二在形成时已经耗尽了碳和其他重要化学元素。但皮耶拉佐和奇巴两位科学家认为，彗星可能为木卫二带来这些原始生命所需的物质。他们模拟太阳系历史中有代表性的彗星碰撞木卫二，以确定会有多少物质留在木卫二表面。

据美国宇航局（NASA）2009 年解密的文件称，十几年前，美国的“伽利略”号木星探测器在木卫二海拔 400 千米的上空掠过时，敏感的无线电探测器上感应到，木卫二厚厚的冰层下方传出一种吱吱的叫声。经过近年来的电脑分析，科学家们发现，这种吱吱声竟然与海豚发出的声音十分相似，误差率仅为 0.001%。科学家们一直在努力研究动物的语言，他们相信，倘若我们能破译地球上高级生物的

语言，那么人类离破解外星信号的梦想就更进一步了。比如海豚就是一种性格复杂、情感细腻的群居动物，它们以独特的语言进行沟通。虽然说不清在木卫二海洋中“讲话”的到底是什么生物，但科学家大胆猜测，如果木卫二上真的存在某种形式的生命，它们最有可能与地球上的海豚相似。这个假设是肯尼迪航天中心工作人员西蒙·克拉克提出来的。根据他的说法，海豚是木卫二上的老住户。克拉克在新闻记者招待会上曾说：“别再提那些‘蓝色小精灵’，除了人类，太阳系就数海豚最聪明。”在美国佛罗里达的秘密海洋实验室里，生物学家进行了一项最复杂的试验。他们让海豚们听用磁带从木卫二录下来的那些神秘的声音，试图让它们能听懂这些地外生物的语言。等到下一次再赴木星考察，还打算将海豚的“谈话”录音带去，用无线电发射机将信号发射到木卫二。

据来自美国亚利桑那州研究员理查德·格林伯格（Richard Greenberg）说，木卫二上拥有大量的富氧水，根据木卫二表面冰层的更新速度可以判断，木卫二的地下海洋能提供充足的氧，满足大型动物的生存需求。以地球上鱼类所需氧气量为基础，格林伯格计算出了木卫二的地下海洋提供的氧的量，能满足 66 亿磅（约合 300 万吨）的大型生物的生存需要。但是，木卫二中地下海洋中所含有的氧不全是气态，有相当一部分无法用于呼吸，所以目前还不能确定木卫二的地下海洋是否存在生命。格林伯格表示，木卫二地下海洋被厚厚的冰层覆盖，其中的氧很可能来自太阳高能粒子的辐射。木卫二的表面比较平滑，火山活动较为频繁，这些都说明木卫二地下海洋的表面冰层并不古老，其历史可能只有 5000 万年左右。

科学家推测木卫二的表面温度在赤道地区平均约为  $-163^{\circ}\text{C}$ ，两极更低，只有  $-223^{\circ}\text{C}$ ，所以表面的水是永久冻结的。但是潮汐力所提供的热能可能会使冰层下的水保持液态，另外木卫二上长达 60 小时的白昼，也使得表面冰层的裂口有可能接受到充足的阳光。即便这样，假如有一天人类能登陆木卫二，也恐难以长久居住。

（北京天文馆 100044）