

太阳系地外海洋与潜在居民

李桂丽^{1,2} 郑磊^{1,3} 魏勇^{1,4} 王誉棋^{1,4}

(1. 中国科学院大学 101408 ;2. 中国科学院深海科学与工程研究所 572000;
3. 中国科学院海洋研究所 266071;4. 中国科学院地质与地球物理研究所 100029)

太阳系是一个受太阳引力约束在一起的行星系统,包括太阳以及直接或间接围绕太阳运动的天体。在直接围绕太阳运动的天体中,最大的八颗行星由近而远依次为:水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星。太阳系还包括行星的卫星、矮行星、小行星、彗星和行星际物质。

通常认为,地外海洋是存在于地球以外的天体表面或固体表面以下的含水或甲烷等成分的液态海洋。目前包括美国NASA的探索海洋世界(Exploring Ocean Worlds)项目在内的地外海洋研究已确定六个主要的探索对象,以寻找地外生命。

1. 欧罗巴(Europa)

欧罗巴是木星的第二颗卫星,也是木星的第四大卫星。1979年旅行者二号穿过木星系统,提供了欧罗巴可能有液态水的照片,此推测随后被地面望远镜与伽利略号上的空间望远镜进一步证实。

欧罗巴的表面温度在赤道地区平均为 -163°C ,两极更是低至 -223°C ,所以其表面的水是永久冻结的,但潮汐力所提供的热能可能会使表面冰层以下的水保持液态。伽利略号轨道飞行器观测到,欧罗巴在通过木星巨大的磁场时自身会产生一个强度呈周期性变化的弱磁场。有猜测认为,该磁场是冰下咸水海洋中的极性离子造成的。有学者认为欧罗巴表面极富特色的混沌地形是下层海水渗出地表所造成的。低纬度区域的对流可有效地将欧罗巴内部热量输送到地表,从而影响冰壳的结构和状态,即海洋动力学可以调节地表和内部之间的热量与物质交换(如图1),如形成200 km高的羽状喷流。但也有支持“厚冰”模型理论的地质学家,他们

认为即便存在这样的海洋,也几乎不可能对欧罗巴表面造成直接的影响,其表面几个为数不多的大型撞击坑就是支持“厚冰”模型的最好证据。以此为基础再结合对潮汐力所生成的热能的估算,所推测出的冰壳厚度在15~25 km之间,冰下的海洋深达60~150 km,海洋体积为地球海洋体积的两倍。

2. 盖尼米得(Ganymede)

盖尼米得是木星的第三颗卫星,也是太阳系中最大的卫星。盖尼米得主要由硅酸盐岩石和冰体构成,星体分层明显,拥有一个富铁的、流动性的内核。人们推测在盖尼米得表面之下200 km处存在一个被夹在两层冰体之间的咸水海洋。

1995年,伽利略号进入环木星轨道,随后传回了大量的光谱图像,并在盖尼米得表面发现了数种化合物。在1996年至2000年间,它共6次近距离飞掠过盖尼米得。在最接近盖尼米得的一次飞掠中,伽利略号距离盖尼米得表面仅264 km。在1996年的第一次飞掠中,它发现了盖尼米得的磁场,后来又发现了盖尼米得的地下海洋,并于2001年对外公布。

根据探测,作为卫星的盖尼米得含有太阳系最多的液态水。哈勃望远镜通过分析盖尼米得的极光光谱,估算出其海洋深达400 km。还有科学家推测,这可能只是盖尼米得海洋的一小部分,盖尼米得可能拥有三个海洋,三个海洋层层叠加,每层都有400千米的深度,并由高压冰层分隔开,最下面的一层海洋可能直接接触到盖尼米得的岩石内核。所以盖尼米得的海洋深度可能超过1000千米,蕴含着超过150亿立方千米的巨大水体,含水量是地球水量的30倍以上。

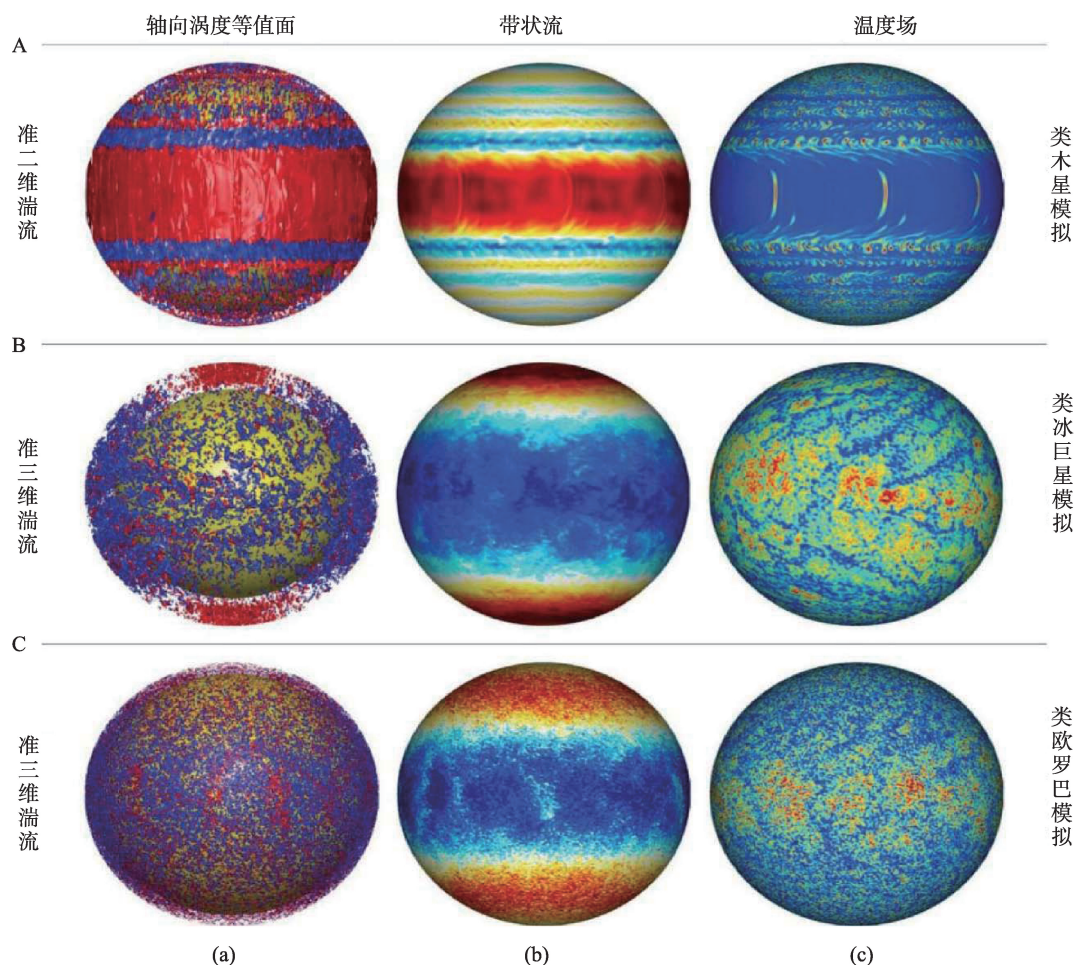


图1 欧罗巴对流结构、带状流和温度场模型 (a)轴向涡度的瞬时等面流体,红色(蓝色)表示气旋(反气旋)涡度;黄色球体代表地幔;(b)沿外边界的瞬时带状流,红色(蓝色)表示顺行(逆行)流;(c) $r=0.99r_0$ 处的瞬时超绝热温度场,红色(蓝色)表示热(冷)流体

3. 卡里斯托(Callisto)

卡里斯托是木星第四颗卫星,也是太阳系第三大卫星,由几乎等量的岩石与水所构成。天文学家通过光谱测定得知卡里斯托表面物质包括冰、二氧化碳、硅酸盐和各种有机物。

科学家们发现置于木星多变的磁场中的木卫四就像个理想的导电球体,即磁场无法穿透到达该卫星的内核,这意味着在该星体中存在着一层厚度至少达到10千米的高电导率液体。该海洋中可能还含有少量的氨或其他防冻物质,比重达到了5%,从而阻止了海洋的冰冻。在这种情况下,海洋的厚度将达到250~300千米。

4. 恩克拉多斯(Enceladus)

恩克拉多斯是土星第二颗卫星。在旅行者号于19世纪80年代探测土星之前,人们只知道恩克拉多斯是一个被冰覆盖的卫星。之后,旅行者号发现恩克拉多斯表面几乎能反射百分之百的阳光。在旅行者号观测结果的基础上,2008年至2010年卡西尼号先后7次近距离飞掠恩克拉多斯,其中2008年下半年的两次飞掠距离近达50 km。

2014年美国国家航空航天局宣布,卡西尼号发现了恩克拉多斯南极地底存在液态水海洋的证据,存在于30~40 km厚的冰下海洋深约10 km。南极附近的冰火山向太空喷出大量水汽和其他挥发物,

夹杂钠盐晶体、水冰等固态粒子以及分子质量超过200的大分子有机物,喷射速度约为每秒200 kg。喷出的水有一部分以“雪”的形态落回恩克拉多斯表面,一部分融入土星环中,另一部分甚至可到达土星。2015年9月16日,美国国家航空航天局确认,根据卡西尼号的探测数据,其表面冰层下面拥有全球性海洋,而且海洋的底部有水热活动,即存在海底热。徐亨(HsuHsiang)等通过分析富含硅的水冰纳米颗粒的形成与喷射过程,表明恩克拉多斯上有着高于90℃的地热反应(如图2)。

5. 泰坦(Titan)

泰坦是土星的第六颗卫星,也是太阳系第二大的卫星。旅行者1号和旅行者2号曾经检视过泰坦,但其上的云层成为探测的一大障碍。卡西尼—惠更斯号于2004年7月1日到达土星后用雷达测量泰坦表面地形;卡西尼探测器在2004年11月26日飞跃到泰坦上方并拍摄很多高分辨率的泰坦表面图像,展现了人眼从来没有见过的明暗斑块,人们推测那里可能是液态的甲烷或乙烷海洋,但卡西尼号观测的数据发现可能是其他物质。

泰坦因有浓厚的大气层而被猜测有生命存在,

大气中的甲烷可能是形成生命体的基础。2012年7月2日消息,据美国宇航局网站报道,来自卡西尼探测器的最新数据显示土星最大的卫星土卫六冰封的地下可能存在一个液态水层,有关这一发现的论文已经被发表在2012年7月出版的*Science*杂志上。这可能为某些生命提供一个栖息地。

6. 崔顿(Triton)

崔顿是环绕海王星运行的第一颗卫星,也是太阳系中最冷的天体之一,具有复杂的地质历史和相对年轻的表面。20世纪末旅行者飞越海王星时人类对崔顿才有了更加细致的了解,如2705千米的直径大小,在最早的旅行者号拍摄的照片中呈粉红色。

崔顿的稀薄大气由氮和甲烷组成。在地球上,氮气是大气主要组成成分,甲烷主要是通过生物活动产生的。崔顿表面极其寒冷,但地质活动和可能的内部热量使其可能存在液态的水层。

根据有限的宇宙飞船观测到的数据猜测,冥王星(Pluto)、天卫一艾瑞尔(Ariel)、天卫五米兰达(Miranda)、谷神星(Ceres)和坤神星(106 Dione)也可能存在海洋,但目前仍需要更多的证据进行验证。

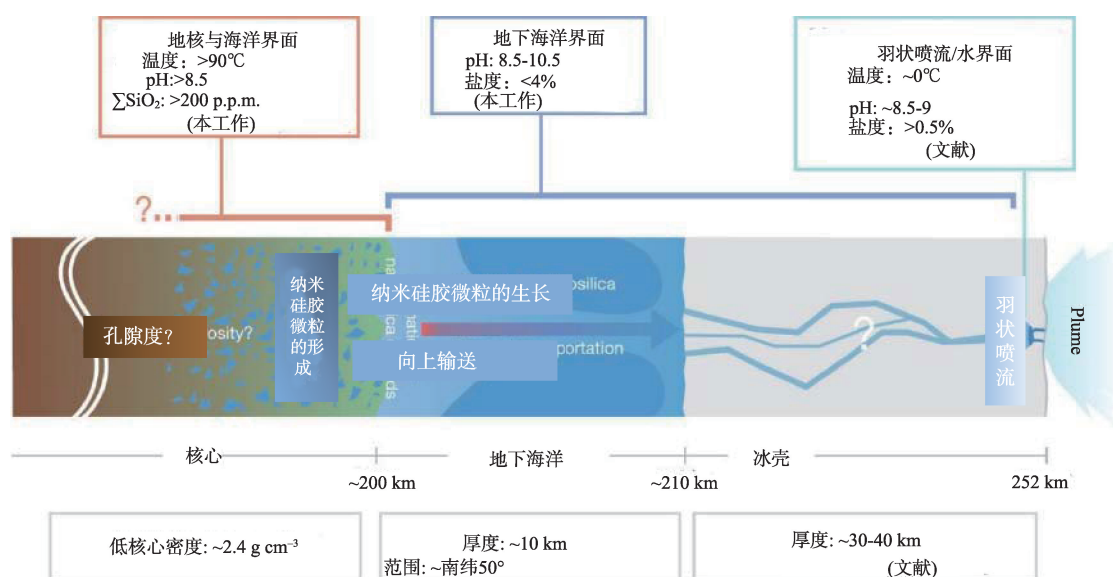


图2 恩克拉多斯内部结构示意图

7. 地外海洋的潜在生命

人们对地外生命的研究有多种定名——天体生物学、系外生物学、宇宙生物学和生物天文学,目前普遍采用天体生物学与系外生物学。生命的定义不仅是科学家们追寻的科学问题,也是人类一直在思考的哲学问题。但目前来说,人们对生命仍没有普遍认可的完整的定义。基于生物科学对生命的理解,地外潜在居民的生命形式与人们对地球上生命的普遍认知具有共性。

地球上的生命生存需要液态水,地外海洋中的液态水是天体生物学寻找地外生命与地外可居住环境的出发点。地外海洋环境苛刻且恶劣,远远超出我们所认知的生命生存环境范围。地球上的某些极端环境与地外海洋环境在一定程度上相似,但这些区域仍有生命存活,如有些嗜热菌生存环境温度可达113℃,有些可以在厌氧条件下生长,嗜冷菌生存温度可低至-2℃。

生命的起源可以追溯到RNA世界的起源,地外海洋中若有核苷酸生成的条件,则很可能形成RNA,依次可推测其曾经形成过地外生命,或在未来的长久时间尺度下有孕育生命的可能。科学家在实验室条件下研究了水冻融循环、紫外线辐射和盐对 NH_4CN 聚合的影响,并检测鉴定到了不同的氨基酸、羧酸和含氮杂环以及在特殊条件下的乙酸。表面辐射可能是冰卫星物质氧化主要来源,而冰水界面可能是碳水化合物发展复杂有机化学的理想场所,因此追溯RNA起源是天体生物学发展的途径之一。

形成生物前的化学反应可以指导地外海洋潜在类地球生境与地外生命的研究。地外海洋高达几千米的喷射物中含有机物,通过检测该喷射物中生物有机物并结合天体环境,研究潜在的地外生命。最有可能存在地外生命的有海洋的天体是欧罗巴、恩克拉多斯和泰坦。虽然这些太阳系地外天体与人类可生存条件相差甚远,但综上所述,其仍有存在生命的可能。

科苑快讯

理解鱼的“第六感”可以让它在鱼缸里更快乐

鱼类通过侧线系统感知周围环境,侧线由极其敏感的皮肤细胞和蛇形神经组成,对鱼的视听感觉不可或缺。虽然了解侧线系统的感觉超越了人类认知范围,但是理解这些感觉却可以让我们在圈养环境中更好地照顾它们。

鱼类通过侧线系统,甚至可以感知几分钟前经过的个体踪迹,一些鱼类还会掀起波浪以警告觊觎其后代的捕食者。如何想象侧线的感觉呢?你可以把皮肤想象成三维的,不需要直接接触就能感觉到附近的物体,还可以试试戴着消音耳机把手放在低音扬声器上去体验一下。

鱼类看起来表情呆滞,人类甚至很长时间以来还认为它们不会感到疼痛,自然也不会太在意它们的心理健康。但如今我们有了更多了解:水族箱壁反射回来的波浪会产生回音室效应,使鱼感受到无休止的回响,就像持续不断的巨大噪音。因此,主人应添加植物和石

头等各种结构,以破坏这些流动,使噪音消失在背景中。

如果箱壁反射真是一个问题,鱼的侧线感觉就可能因此退化,就像持续噪音致人耳聋一样。而寄生虫、水质差、营养缺乏引起的侧线侵蚀可能因圈养压力而加剧恶化,严重时会导致侧线腐烂。这种影响虽然不会立即造成身体上的疼痛,但是当完整的感觉被剥夺时,鱼类是否会产生长期的心理痛苦?

2019年的一项研究表明,斑马鱼非常喜欢有流动水域的栖息地,就像我们喜欢住在风景优美的地方,而不是光线昏暗的房里。当然,斑马鱼的喜好不代表所有鱼,但每种鱼的侧线系统都与它们的进化环境相适应。

鱼是如何感知环境的,以及喜欢什么环境,需要更多的研究了解,这也有助于让圈养鱼生活得更健康、更快乐。

(高凌云编译自2022年8月18日Popular Science网站)