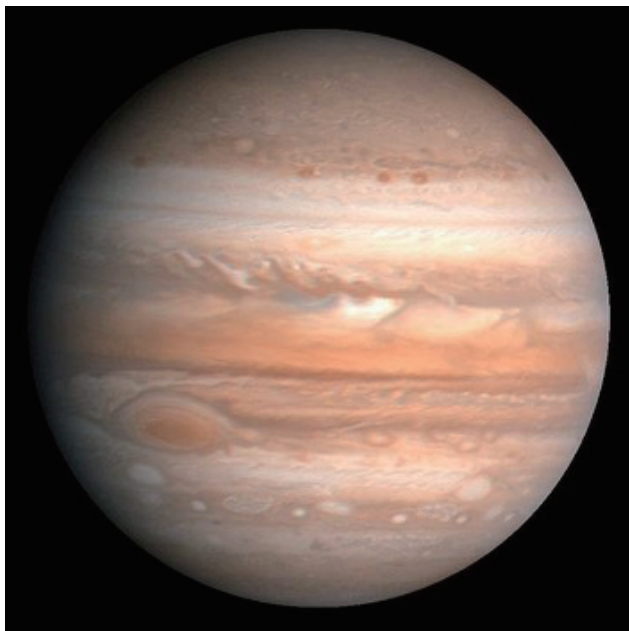


太阳系行星的老大哥——木星

卢昌海



一、并非气态的气态巨行星

无论从体积还是质量上讲，木星在太阳系行星里都是当之无愧的“老大哥”，它的体积约为地球体积的 1321 倍，质量约为地球质量的 318 倍，两者都比已知的太阳系所有其他行星的总和还大得多。与这一身份完全相称地，木星在罗马神话中被称为朱比特，是众神之王。

细心的读者也许会问：在罗马神话出现的年代里，难道人们就已经知道木星的巨大了吗？答案当然是否定的。那么，当时的木星为什么会被冠以“众神之王”的威名呢？是纯属巧合吗？答案是：不完全是巧合，但确实也有巧合的因素。

这巧合的因素在于木星的公转轨道周期很接近 12 年（确切地说是约为 11.86 年），因此每年木星在所谓黄道带上的角度移动约为圆周的 1/12。另一方面，包括古罗马在内的很多古文明都将黄道带分为 12 个

星座，每个星座的范围恰好约为圆周的 1/12。因此木星的运动几乎恰好是每年经过一个星座，在喜欢对一切都拟人化的古人眼里，这运动便仿佛是巡视天空的“君王”的步履。

当然，每年经过一个星座的未必一定得是君王，也完全可以只是跑腿递信的小角色。木星为什么偏偏被想象成了“君王”呢，是因为它很亮——无论以最大表观亮度还是平均表观亮度而论，都仅次于月亮和金星，是夜空中排名第三的最明亮天体。不仅如此，哪怕在最暗淡的时候，木星的表现亮度仍比夜空中最明亮的恒星——天狼星，更亮，因此木星无论经过哪个星座，都比那个星座里的任何星星都更亮。木星的明亮当然不是巧合，而是与它的巨大密不可分的。这个并非巧合的因素与前面那个纯属巧合的因素合在一起，便成就了木星“众神之王”的威名。

由前面提到的体积和质量不难推算出，木星的平均密度是相当低的，只有地球平均密度的 24% 左右，与水星、金星和火星相比也低得多，是一个平均结构比较松散的家伙。另一方面，木星的自转在太阳系行星里却是最快的，不到 10 小时就能转动一周，其赤道上的旋转线速度高达每秒 12.6 千米，比地球表面的逃逸速度还高。一个平均结构比较松散的庞然大物自转得这么快，一个可以预期的结果是它的形状会显著偏离球形。据测定，木星的赤道直径比两极直径长了 9000 多千米（相应的扁率约为 6.5%），能塞下大半个地球。

望远镜问世之后，人们开始对木星进行细致观测。这种观测首先展示的是木星的大气层。这当然是毫不意外的，像木星这样巨大的行星有巨大的引力，从而当然会有大气层。但大气层下面的“地面”是什么样子的呢？却有些扑朔迷离，很多人费了很大的努力试图探明，却全都失败了。在那些努力中，木星大气层

里的一些颜色较暗的区域曾被当成是从云层空隙里透出来的木星“地面”，可惜关于这种“地面”的观测却从未得到过一致而可信的结果。现在我们知道，木星是一种跟水星、金星、地球及火星很不相同的行星，虽然我们也谈论木星的“大气层”，但像木星这种行星的“大气”其实并非只是一个薄薄的“层”，而是以一种不存在截然界限的连续方式与内部物质融为一体的。套用一句网络流行语来说的话，在木星的整个外层区域里，“一切都是浮云”。

人们将这种行星称为气态巨行星。

木星是气态巨行星这一特点从它超低的平均密度上也不难看出端倪来，因为木星的平均密度跟太阳的相近（两者分别约为 1.3 克/厘米³ 和 1.4 克/厘米³），而太阳在很大程度上是一个巨大的“氢气球”。进一步的研究表明，在木星的元素组成中，两种最轻的元素：氢和氦，分别占了总质量的 71% 和 24% 左右，总比例约为 95%，在外层大气中，这一总比例更是高达 99% 左右。

不过，气态巨行星这一名称并不表示木星是一个纯粹的气态星球。像任何其他巨大天体一样，在自身引力的压缩下，木星的密度和温度都是外层低、核心高：外部是货真价实的气态，内部物质的状态则相当复杂。基于模型所作的研究显示，在木星“表面”以下约 1000 千米处，巨大的压强将使氢渐渐由气态转为液态。在深度约 10000 千米处，木星物质的温度达到了接近太阳表面温度的 6000 摄氏度左右，压强则高达约 100 万个大气压。在那样的高温、高压条件下，构成木星物质主体的氢将变成所谓的液态金属氢。液态金属氢是一种导电流体，巨大的电流可在其中回旋。一般认为，木星那强度比地球大一个数量级、位列太阳系行星之冠的巨大磁场便是源自那样的电流。而在木星的最核心区域，压强更是高达数千万乃至上亿个大气压，温度也高达 20000 摄氏度左右，那里的元素组成包含了占木星总质量的比例虽不大，但绝对质量仍比整个地球的质量还高一个数量级的重元素。这种重元素的大致数量可以从对木星引力的细致探测中粗略地估计出来，同时它的存在也是行星演化理论所预期的，因为一般认为，正是重元素组成的核心区域的

巨大引力源源不断地将附近的气体吸积过来，才最终喧宾夺主地形成了作为气态巨行星的木星。

木星核心的高温还有一个体现，那就是木星向外辐射的能量比它从太阳吸收的能量更多，而且多出的部分相当显著。那额外能量是从哪里来的呢？一个显而易见的来源就是从核心的高温区域逃逸出来的内部热量。这种类型的热量逃逸在各个行星中多多少少都存在着，但用来解释木星的额外能量却似乎不够，因为木星向外辐射的能量实在太多，哪怕多出的部分也比来自太阳的总能量更多，这使人们怀疑除内部热量的逃逸外，还需寻找其他的能量来源。这其中被认为较有希望的一个来源是木星的缓慢收缩。星体的收缩会使星体物质的引力势能转变为热能，这种是人们早就知道的机制，并且在 19 世纪时还一度曾被苏格兰物理学家沃特斯顿（J. Waterston）、德国物理学家亥姆霍斯（H. Helmholtz），及英国物理学家汤姆孙（J. Thomson）等人视为太阳的能量来源。可惜太阳发射的能量实在太巨大了，绝非引力势能所能长期支撑，因此这种机制很快就被淘汰了。但木星的情况不同，它辐射出的额外能量以行星标准来衡量虽然可观，跟太阳却全然不可同日而语，而且也并无观测证据显示这种辐射像太阳辐射那样持续了数十亿年。因此木星的缓慢收缩作为额外能量的来源或来源之一是不无可能的。计算表明，木星的直径只要每年收缩几厘米，释放出的引力势能就足以提供全部的额外能量，而这样的收缩是与任何观测都并不矛盾的，因此算得上是一种有希望的假设，当然，也只是假设而已。

二、狂暴的木星大气

木星是气态巨行星这一特点对我们的行星故事有一个很大的便利，那就是没有了“表面”，从而也就不必介绍“地貌”了。但另一方面，气态巨行星顾名思义，使“气”（大气）的地位大为提升，因此在这方面需多费些笔墨。不过，迄今人们所能探测的木星大气还只是最表层的部分，无论望远镜还是行星探测器都尚不能让我们窥视木星大气深处的奥秘。在人类探测外太阳系的历程中，早期的四大行星探测器：“先驱者 10 号”、“先驱者 11 号”、“旅行者 1 号”、“旅

行者2号”，都曾先后掠过木星，拍摄了大量相片。它们也没白干这差事，而是都从木星的巨大引力场中获得了所谓的“引力助推”，达到了更高的速度，并先后飞越了曾被视为太阳系边界的冥王星轨道。除这些“过路”的行星探测器外，人类还在1989年发射过一个旨在与木星“亲密接触”的“伽利略”探测器，它于1995年抵达木星附近，并向木星投放了一个大气层探测器。

那个大气层探测器以每秒约50千米的巨大初速度进入木星大气，在将近58分钟的生存期内，经历了摩擦产生的约15000摄氏度的高温及相当于地球表面重力加速度230倍的巨大减速，最终在压强约23个大气压、深度约156千米的木星大气中层中“失联”。别以为气态巨行星是个软绵绵的东西，它在某些方面简直要比坚硬的大地更严酷，那个大气层探测器的最终命运有可能是在更深层的木星大气中被气化，可谓是“尸骨无存”。而“伽利略”探测器本身在环绕木星飞行近8年，拍摄了约14000张相片之后，也于2003年一头栽进木星大气层，以同样悲壮的方式结束了自己的使命。

在针对木星大气（确切地说是高层大气）的观测中，后者显现出的最鲜明的特征之一就是大范围的带状结构。那些结构基本上与赤道平行，颜色则大体上深浅交错。为便利起见，人们把颜色较深的区域称为“带”，把颜色较浅的区域称为“区”。进一步的研究表明，“带”是木星大气的低压区，气体在那里下沉，“区”则木星大气的高压区，气体在那里上升。木星大气的这种大范围带状结构是比较稳定的，以至于天文学家们可以对它们作出比较固定的标注。一般认为，这样的稳定性并非偶然，而是与木星自转平面与公转平面的夹角特别小不无关系。木星自转平面与公转平面的夹角只有 3° 左右，是已知的太阳系气态巨行星中最小的，这使得木星上几乎没有季节之分，从而也就没有季节之分带来的大范围大气运动，这对维持大范围带状结构的稳定不无帮助。

除稳定性外，大范围带状结构的起源也是一个问题。木星大气为什么会形成这种“带”和“区”交错分布的大范围结构呢？一般认为，两个因素有可能起着主要作用：一个是木星深处热量造成的大气对流，另一个则是木星的快速自转。这种设想具备一定的实

验依据，因为人们在实验室里已能定性地再现这种旋转流体中的对流形成带状结构的现象。不过就算大体上能够解释，细节上的复杂性却仍然不是当前理论所能覆盖的。事实上，只要将观测尺度稍稍缩小一点，木星大气立刻就会展现出近乎无穷无尽的额外复杂性，比如“带”和“区”的颜色、宽窄等均非一成不变，两者之间充斥着被称为“喷流”的风速达每小时数百公里的狂暴飓风，等等。木星云层的放大相片所显示出的层次之繁复，有时简直能让人联想起诸如曼德罗布罗集那样的分形图案。

不过，对这些额外复杂性作出定量分析虽极为困难，但它们也跟木星深处热量造成的大气对流及木星的快速自转密切相关，这几乎是不言而喻的。这其中木星的快速自转尤其值得一提。我们知道，行星自转会在行星上产生所谓的科里奥利效应，它是大气中的大型漩涡运动的重要起因。对于像木星那样快速自转的行星来说，这一效应要比地球上的强劲得多，由此产生剧烈的乃至狂暴的大气运动起码在定性上是不足为奇的。此外，木星自转还有一个重要特点，那就是不同纬度上的自转快慢不尽相同。这种被称为“较差自转”的现象并非木星独有，而是非固态天体（比如外层同为气态的太阳）或天体系统（比如星系）中的常见现象。观测表明，木星高纬度区域的自转周期比赤道附近区域慢了5分钟左右。别小看这区区5分钟的差别，对于木星那样的庞然大物来说，它所对应的大气相对运动速度高达每小时近400千米，比地球上最厉害的飓风的风速还高得多。正是这些因素的共同作用，塑造了千变万化的木星大气。



“旅行者1号”拍摄的木星“大红斑”

与大范围带状结构可以相提并论的，是木星大气中的另一个引人注目的结构：“大红斑”。这是位于木星南半球的一个边缘风速达每小时数百千米的巨型反气旋。“大红斑”虽然应算局部结构，但块头却异乎寻常的大，以面积而论足可容纳好几个地球。此外，“大红斑”的存在时间也异乎寻常的久，绝非地球上的任何气旋可比。翻“历史旧账”可以发现，人类很可能自17世纪后期开始就对“大红斑”有了陆陆续续的观测记录，即便考虑到早期记录的不尽可靠，可靠的记录也起码有一个半世纪以上。在这么长的时间里，“大红斑”的位置虽有所漂移，块头虽有所变化，却始终是一个巨无霸。这种令人惊讶的稳定性是什么原因造成的呢？一般认为，首先可能是因为在气态巨行星上，“大红斑”不会像地球上的飓风那样因为受到固态地面的阻尼而快速衰减。其次，大红斑上方和下方的云层中分别有往西和往东的巨大气流，运动方向与大红斑边缘气流的方向相一致，使得大红斑仿佛是夹在两个运动平板之间的球，可以自然而然地维持滚动。

除结构外，木星大气的另一个有待理解的特点是颜色。事实上，我们之所以能识别木星大气中这么多的结构，一个很便利的原因就是那些结构可以通过颜色来识别，比如“带”的颜色较深，“区”的颜色较浅，“大红斑”偏于红色，等等。这些颜色各异的结构究竟是由什么物质构成的，才会显现出那样的颜色呢？这在目前还没有完整答案。但有一点是明显的，那不会是像地球上的云层那样以水汽为主打，因为木星离太阳比地球远得多，虽有内部热源的帮助，云层高处，也就是外部观测者所看到的云层的温度依然在零下100摄氏度以下，那里若有水汽的话将会处于永久冰冻状态，不仅无法形成激烈变动的结构，而且还会沉陷下去。更何况从颜色上讲，水汽跟木星云层中的那些结构也对不上号。

如果不是水汽，那会是什么呢？通过光谱学等手段所进行的研究显示，东西还真不少，比如有氨、氢硫化氨、甲烷、乙烷、磷，等等的成分。这些成分处于动荡的对流之中，再加上厚薄、高低等的各不相同，在阳光照耀下会反射出各种不同的颜色。当然，这只

是定性解释，很多细节，比如某种特定颜色为何集中出现在某类特定结构中等等，则需要更细致的分析。另一方面，水汽在木星大气中也并非彻底缺席，而只是倾向于沉到温度比较接近地球云层的地方而已。水汽在木星大气中不仅存在，所扮演的角色也并非如“路人甲”、“路人乙”那样无足轻重，比如木星云层中的闪电就被认为是像地球上的闪电那样是由水汽云团产生的。由于木星大气的运动远比地球大气更剧烈，有些闪电也远比地球上的闪电更厉害，威力能达到后者1000倍左右。

木星作为巨行星，不仅自身的质量和体积都拿得出手，而且还有一个庞大的卫星系统，一扫内太阳系四大行星总共只有三颗卫星（而且其中两颗，即火星的两颗卫星简直就是两块石头）的“寒酸”局面。截至2013年，已发现的木星卫星多达67颗，是太阳系里最庞大的卫星系统。在这些卫星中包括了除月球外最早被发现的四颗卫星：木卫一、木卫二、木卫三和木卫四，它们都是由著名科学家伽利略发现的，故称为“伽利略卫星”。这四颗卫星都很巨大，其中木卫三是太阳系里已知最大的卫星，体积甚至比水星还大！这些卫星中的木卫二，也称为“欧罗巴”，也是一颗重要卫星，被认为有可能存在由液态水组成的地下海，其中甚至有可能存在初等生命。

说到生命，我们在第三篇中介绍稀有地球假设时曾经提到过，稀有地球假设的支持者们把木星的存在列为了地球上出现高等生命的条件之一，原因是木星有助于扫清太阳系空间里的陨石。这一点所起的作用正如我们在第三篇中提到过的：是有争议的。不过木星对陨石的清扫能力倒并不是吹牛，而是在过去短短几十年间就展现了不止一次，其中最著名的是所谓的“苏梅克-列维9号彗星”撞击木星事件。

“苏梅克-列维9号彗星”是1993年由美国天文学家苏梅克夫妇及“老搭档”加拿大天文学家列维共同发现的。被发现时这颗彗星位于木星附近，并且已裂成了很多碎片，其中大碎片的线度约为1~2千米。

“苏梅克-列维9号彗星”被发现之后，天文学家们照例计算了它的轨道，结果发现它正走在了一条“死亡之路”上——其各大碎片将于1994年7月，在

为期约一周的时间里，先后与木星相撞。可惜的是，撞击点位于木星相对于地球的背面，无法从地球上直接观看撞击过程。但木星的快速自转使撞击点在撞击后不到一小时就能转到木星正面，向我们展示撞击遗迹。在巨大的木星引力作用下，“苏梅克-列维9号彗星”撞击木星的威力是很惊人的，与木星大气摩擦产生的温度高达约24000摄氏度，大碎片的撞击能量相当于引爆数百万个百万吨级氢弹，爆炸产生的“火球”可窜升至木星云顶以上约3000千米处。这样的碰撞若发生在地球上，即便会因地球的引力较弱而威力稍逊，仍足以对整个生物圈造成毁灭性打击。木星作为气态巨行星，虽早已不是外星生命的热门候选地，但仍有人设想在木星大气中温度适宜的区域里存在浮游生物。这类设想大都忽略了木星直到今天仍会每隔几千年这种从天文及生物演化角度讲非常短的时间间隔，就遭受一颗像“苏梅克-列维9号彗星”那样规模的陨石撞击，这对于任何生物的存在都是极具摧毁性的。从

某种意义上讲，木星对太阳系空间的清扫作用对任何有可能栖居在木星上的生物本身也是一种清扫。

关于木星我们就介绍到这里，接下来将要拜访的是太阳系最外侧的“经典行星”——她同时也是太阳系最美丽的行星，虽然她不仅不像金星那样顶着“阿佛罗狄忒”或“维纳斯”的美名，而且还有一个特“土”的中文名字叫做土星。

作者简介

卢昌海，本科就读于上海复旦大学物理系，毕业后赴纽约哥伦比亚大学从事理论物理学习及研究，并获物理学博士学位。现旅居纽约。著有《那颗星星不在星图上》、《上下百亿年》、《黎曼猜想漫谈》（获第七届吴大猷科学普及著作原创类金签奖）、《从奇点到虫洞》、《小楼与大师》（入选“2014中国好书”）、《因为星星在那里》、《霍金的派对》等，个人主页：<http://www.changhai.org/>。

科苑快讯

古老星系发现宇宙间最早的氧

根据最新的研究，一个已知最古老的星系中存在最早的氧。这个命名为SXDF-NB1006-2的巨大星团位于距地球131亿光年处，2012年被发现时曾荣膺当时已知最古老星系（这一记录后来已被刷新数次）。在发现之初，天文学家就观测到一个电离氧形成的环，来自星系恒星的辐射能量足以将该处空间原子的电子剥离。现在，来自该星系的特殊红外波长表明这里存在失去两个电子的氧原子，研究者在《科学》（*Science*）网络版上做了报告。

因为重于氢、氦和锂的元素，都是在恒星核聚变反应中产生，然后通过超新星爆发散布到宇宙空间中的。这一发现说明，我们观测到的该年龄星系历史已经足够长久，至少曾历经一代恒星的诞生、存续和死亡。研究者指出，大范围的红外光波段缺乏说明，这里灰尘非常少，不能将星系的辐射吸收后再辐射出来。

研究组认为，很可能其他同龄星系也存在这样的氧原子环，对其进行观测和分析有助于阐明早期宇宙的恒星和星系是如何形成的。

（高凌云编译自2016年6月16日 www.sciencemag.org）

