

## 宇宙碰撞提供了系外行星形成的线索

探究事物的来龙去脉，就很容易得出它们的发展趋势。行星也是如此，知晓它们是如何形成的是了解它们内部结构、地质和气候的关键。几十年来对陨石和月球岩石的分析使人类对地球的形成了解很多。研究认为地球成长的最后阶段涉及到巨大的碰撞，而最后一次碰撞旋出一个由蒸发岩石组成的圆盘，并最终合并成月球。

但对于人类在其他恒星周围发现的数千颗行星呢？它们像地球一样形成的吗？我们似乎难以回答这个问题，因为我们无法得到这些行星的岩石并进行分析。但还有另一种很重要的方式给了我们一个难得的机会，使我们能将我们行星的起源与那些系外行星进行比较。

在最近发表在《自然天文学》(Nature Astronomy)杂志上的一项研究中，研究者以 TRAPPIST-1 系统为例，展现了如何利用系外行星系统的轨道结构来探究行星的形成过程。这个系统是非常具有代表性的系外行星系统：它包含 7 颗已知的行星，每一颗都与地球的大小相近，其中的 3 颗从它们的小红矮星接收到的能量与地球从太阳接收到的能量相当。

在研究分析中，一个关键特征是 TRAPPIST-1 系统的轨道共振。也就是在特定数量的轨道之后，每一对相邻的行星会重新排列。例如，在被称为 g 和 h 的外层行星对中，轨道对齐每隔 3 个 g 行星轨道和 2 个 h 行星轨道重复一次，那这就是 3:2 的共振。每个相邻的对有相似的共振。所有七颗行星一起参与了这种“轨道舞蹈”，形成了一个共振链。

在彩弹射击游戏中，玩家每次被击中都会在身上留下一团颜料，所以一眼就能看出玩家被击中的频率。

同样，行星和卫星的表面保留着撞击的痕迹。当一个来自太空的物体坠落时，它会爆炸并留下一个陨石坑。你可以用肉眼看到月球上最大的环形山，第谷 (Tycho) 便是最引人注目的环形山之一。



研究者想弄清楚有多少太空垃圾（也就是其余的小行星和彗星）可以撞击 TRAPPIST-1 系统的行星。他们研究的一个关键部分是准确计算出这个行星系统的轨道共振有多脆弱。事实证明，共振非常容易被打破。当一颗小行星或彗星与一颗行星相撞，甚至仅仅是擦肩而过时，行星的轨道就会发生一点变化。如果把这些变化中的一些加起来，邻近行星的轨道就会分散到足以失去它们的共振的距离。从那一刻起，他们就再也无法重新调整。

通过轨道模拟，研究者确定了如果系统的共振丢失，每个 TRAPPIST-1

行星将会与多少太空垃圾相撞。当然，TRAPPIST-1 的共振并没有消失，自行形成以来它们已经存在了数十亿年，所以人们现在才能观测到它们。目前 TRAPPIST-1 中的行星就像穿着一身几乎干净衣服的彩弹射

击游戏玩家。而模拟向研究者展示了“最坏的情况”。并且数据表明，自 TRAPPIST-1 行星形成以来，能够影响任何一颗行星的物质的最大质量从宇宙的角度来看非常微不足道——不到地球质量的 1%。再多一点就会永远地扰乱我们今天看到的共振系统。

由于撞击很少，TRAPPIST-1 系统中行星的形成速度肯定比地球快得多。因为成长中的行星的轨道通过与气态行星形成盘的相互作用而慢慢缩小，所以像 TRAPPIST-1 这样的共振是通过轨道迁移形成的。一旦气态行星形成盘消失，共振便被打破，且不能重新形成。因此 TRAPPIST-1

系统一定是在其星盘短暂的几百万年的生命周期内完全形成的。并在随后的数十亿年里，最多只遭受过一次微小的撞击。

相反，对地球和月球岩石的分析表明，形成月球的行星级碰撞发生在太阳系开始形成的 1 亿年后。TRAPPIST-1 中的行星很可能经历过如此巨大的碰撞，但只是在它们历史的非常早期，即共振链形成之前。与地球相比，人们还没有完全了解这些不同的形成路径如何影响 TRAPPIST-1 行星的内部演化、地质和气候，但这是一个活跃的研究领域。例如，它们的快速形成可能会大大增加储存在行星内部岩石中的水量，但会减少作为地表海洋保留的水量。

这项研究与什么物体才能被称为“行星”的争议相关。根据国际天文学联合会 (International Astronomical Union) 的定义，冥王星之所以被降级为“矮行星”，是因为它没有清除其轨道周围的太空垃圾。冥王星在有很多富含冰的彗星状物体柯伊伯带 (Kuiper belt) 内运行。相关的模拟表明 TRAPPIST-1 系统中不会存在大量的太空垃圾。因此，这七个天体都应该被称为行星。

目前，研究人员只能将新技术应用于其他少数系统，也就是共振链与“近乎干净的彩弹球衣”的分析方法。但从轨道的角度来看，这些都是已知的最有趣的系统，因为有理论提出几乎所有的行星系统都花费时间形成一个共振链（虽然只有很少的共振链保留下来）。了解这些系统中行星的撞击历史是讲述其他世界起源故事的第一步。

(马孔硕)

## 新型超弹性金属合金可用于更安全的植入物



科学家们在实验用于医疗植入物的金属合金构成时取得了重大突破，发明了一种具有高弹性和耐用性的生物材料。新型超弹性合金克服了一些关键的安全问题，提供了在人体中长期使用所需的应变恢复和耐久性。

这种新的金属合金是日本东北大学科学家们的研究成果，他们着手解决目前用于医疗植入物的生物材料的一些关键问题。这些材料可能被用作髋关节或膝关节置换的一部分，尽管目前使用的金属材料比骨质更硬，但可能导致骨质萎缩，或密度损失。同时，更灵活的材料往往会随着时间的推移失去其耐磨性。

现有的超弹性金属合金通常用于支架和正畸线，兼有耐用性和柔性的性能，但它们含有镍，有过敏反应的风险。科学家们一直无法生产出不含镍的版本，并具有同样的超弹性，因此新研究的作者开始以此为工作目标，以找到一个解决方

案。

这涉及对所谓的杨氏模量的关注，杨氏模量是衡量一种材料能多容易拉伸和变形的标准，这由其晶体结构决定。柔性材料的杨氏模量低，而刚性材料的杨氏模量高。该团队试图缩小小人骨和用于医疗植入物的金属之间的杨氏模量差距。

该研究的通讯作者 Xiao Xu 说：“由于杨氏模量取决于晶体取向，我们生长了具有特定晶体取向的单晶。”

这些实验导致了一种基于铬的柔性而坚韧的新型超弹性合金的诞生，它的应变恢复率是市售镍钛合金的两倍，达到 17%。同时，杨氏模量极低，该合金具有类似人体骨骼的耐糖性。

Xu 说：“我们知道铬有很强的抗腐蚀性，但是钴铬基材料的超弹性、柔性和显著的耐磨性让我们感到惊讶。”

科学家们现在正在努力地理解为什么他们的合金——被称为 Co-Cr-Al-Si (CCAS) 会表现出如此出色的性能，并希望进一步改进它们。然而，在目前的形势下，科学家们得出结论，这种新型生物材料是生物医学应用的一个有希望的候选者。

(航柯)

### | 王昱

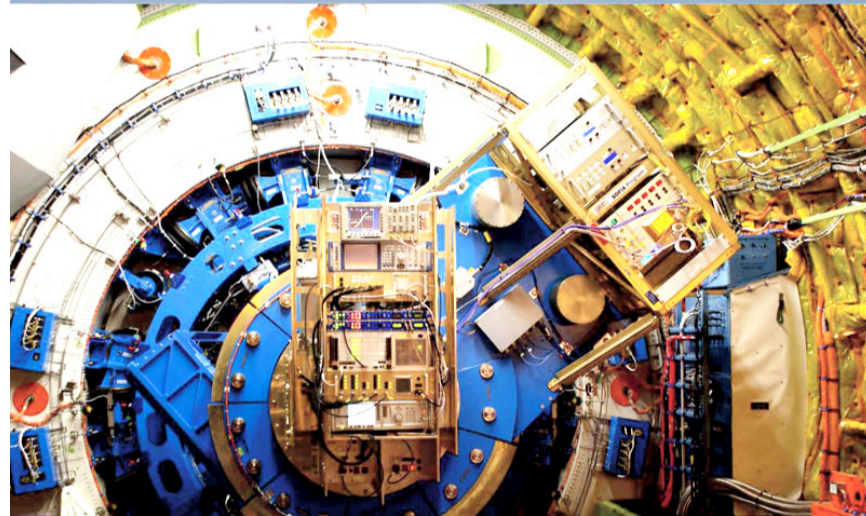
1995 年 12 月，一架波音 747SP 退役了，它从 1977 年开始为美国泛美航空公司工作，在 1986 年被转卖给美国联合航空公司，机龄 18 年。大型客机的使用寿命一般在 25 ~ 30 年之间，退役后一般会被改造成货机继续使用。但这架客机却并没有等来物流公司的订单，它的下一任雇主并不寻常——它被 NASA 买下了。1997 年，NASA 经过一系列手续买下了这架飞机，计划给它装上望远镜，将其改造成新一代机载红外天文台——索菲亚平流层红外天文台 (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy, SOFIA)。

为什么要大费周章把望远镜搬到飞机上？主要还是为了避开大气层的干扰。大气层保护着地面上的生命，但它也阻挡了星光。海拔越高，大气层厚度越薄，观测受到的干扰也就越少；海拔越高，大气中的含水量就越低，对天文观测（尤其是红外）就越有利。这两项指标正好和大多数生物的生存条件相反，可以说，优秀的天文台址一定是寸草不生的——去年公布的青海冷湖台址也是如此。天文学家一直想把望远镜送到尽可能高的地方，能高到太空里自然是最好，但成本太高、风险太大。而大气层内的气球、飞机自然成了折中的选择。

### 机载天文学

对于将望远镜搬到飞机上进行天文观测这件事，NASA 其实有着丰富的经验。早在 1963 年，NASA 艾姆斯研究中心的一群科学家就展开了一项观测日食的冒险。他们登上一架道格拉斯 DC-8，追着日食的路径一路飞行，这大大延长了他们对日食的观测时间。同时，高空大气稀薄，散射较弱，日食时天空背景比地面上更暗，天文学家能在空中看到距离太阳更近的天体（在地面上它们被太阳的光亮遮挡住了）。总之，这是一次十分成功

## 飞行天文台



SOFIA 天文台及内部望远镜。

的观测，让 NASA 决定在这个技术路线上继续探索。

NASA 选中了康维尔 990 型客机，给它装上望远镜改造成了伽利略机载天文台 (Galileo Airborne Observatory)。这样的天文台制造了两架，分别名为伽利略 I 和伽利略 II。和之前的尝试相比，伽利略机载天文

台有了红外观测能力。但它的命运非常悲惨，1973 年 4 月 12 日，伽利略 I 在降落时和一架美国海军巡逻机相撞，两架飞机共 16 人遇难，只有军用飞机上的 1 人幸存。1985 年 7 月 17 日，伽利略 II 在起飞时爆胎，飞机停止起飞，但在随后起火，整架飞机葬身火海，所有设备和文档都被烧毁，



所幸无人遇难。

1975 年，柯伊伯机载天文台 (Kuiper Airborne Observatory) 投入运行，它由一架洛克希德 C-141 军用战略运输机改装而来，搭载了 91.5 厘米口径的望远镜，观测波段在 1 微米 ~ 500 微米之间。它可以观测太阳系、银河系乃至银河系外的天体，科学家甚至用它观测过航天飞机重返大气层时的隔热罩。

### SOFIA

1995 年，柯伊伯机载天文台退役，它显著的成果让 NASA 决定“再来一票大的”。于是，1997 年，NASA 买下了那架波音 747SP，拉上德国宇航中心 (DLR) 一起，按照 80% : 20% 的出资比例，修建 SOFIA。而那架被买下的波音 747SP，呼号从此也变成了 NASA 747。

建成后的 SOFIA 有效口径可达 2.5 米，观测波段在 0.3 微米 ~ 1600 微米之间，为了隔绝飞行期间的震动，望远镜被安装在飞机内的一个云台上。运行过程中，它会先飞到 11 千米 ~ 14 千米的高空，然后打开侧盖，将望远镜镜面直接接触高空的高速气流。这时，它位于大气层 99% 的水蒸气上方，足以获得理想的观测质量。

SOFIA 每次飞行将有 8 小时的观

测时间，每周可以飞行 3 次，预计有 20 年的寿命。它大部分时候部署在 NASA 阿姆斯特丹飞行研究中心，有时也会被部署在德国、智利和新西兰等地——后两个国家是为了观测只有能在南半球才能看到的天体。自 2014 年投入使用以来，它已经执行了 800 多次科学飞行任务。



由 C-141 军用运输机改装的柯伊伯机载天文台。

作为目前地球上唯一的大型机载天文台，SOFIA 的地位是独一无二的，它也获得了独一无二的成果。2020 年，它观测了月球克拉维斯环形山上被阳光照射的部分，在其中检测到了清晰的 6 微米红外信号，结合之前的研究，科学家确认，只有月球上的水分子能释放这样的信号，这也是人类首次确认月球上有水。

### 高昂的支出

但是 SOFIA 的开销也不容忽视。NASA 表示 SOFIA 每年的运营成本约为 8500 万美元，几乎和哈勃空间望远镜的运营费用相当。就算 SOFIA 能用机翼挣脱地球引力飞上天空，也难以逃脱现实的引力——NASA 开始怀疑 SOFIA 是否值得。2019 年，两项 NASA 委托的审查都强调，SOFIA 并没有产出足量的高被引用研究文章。在运行的前 6 年，科学家只用它发表了 178 篇论文，而哈勃空

和欧洲航天局的赫歇尔空间天文台 (Herschel Space Observatory) 相媲美——这同样是一个功勋卓著的红外望远镜，不过相比于 SOFIA，赫歇尔运行在太空中。

但最终，SOFIA 还是没能通过 2020 年美国天文学“十年调查”的评审。专家委员会认为 SOFIA 的科学产出不能和其运营成本相匹配，并且 SOFIA 和未来美国天文学界着重研究的方向重合不大。最终，NASA 表示，SOFIA 将在 2022 年 9 月 30 日之前停止运营。现实的引力太过沉重，设计寿命 20 年的 SOFIA 只能在 8 岁时匆匆着陆。

马上，这架 1977 年首飞的波音 747SP 就会退休了。它的科学数据将会逐步公开，红外天文学的使命也会由詹姆斯·韦伯空间望远镜接手。



伽利略 II。



1965 年伽利略 I 在研究日食时的照片，机身上放一排开孔为观测窗口。

1980 年，飞行中的柯伊伯机载天文台与其内部。