

# 骑着“蜘蛛”去旅行

## ——利用蜘蛛脉冲星实现星际航行

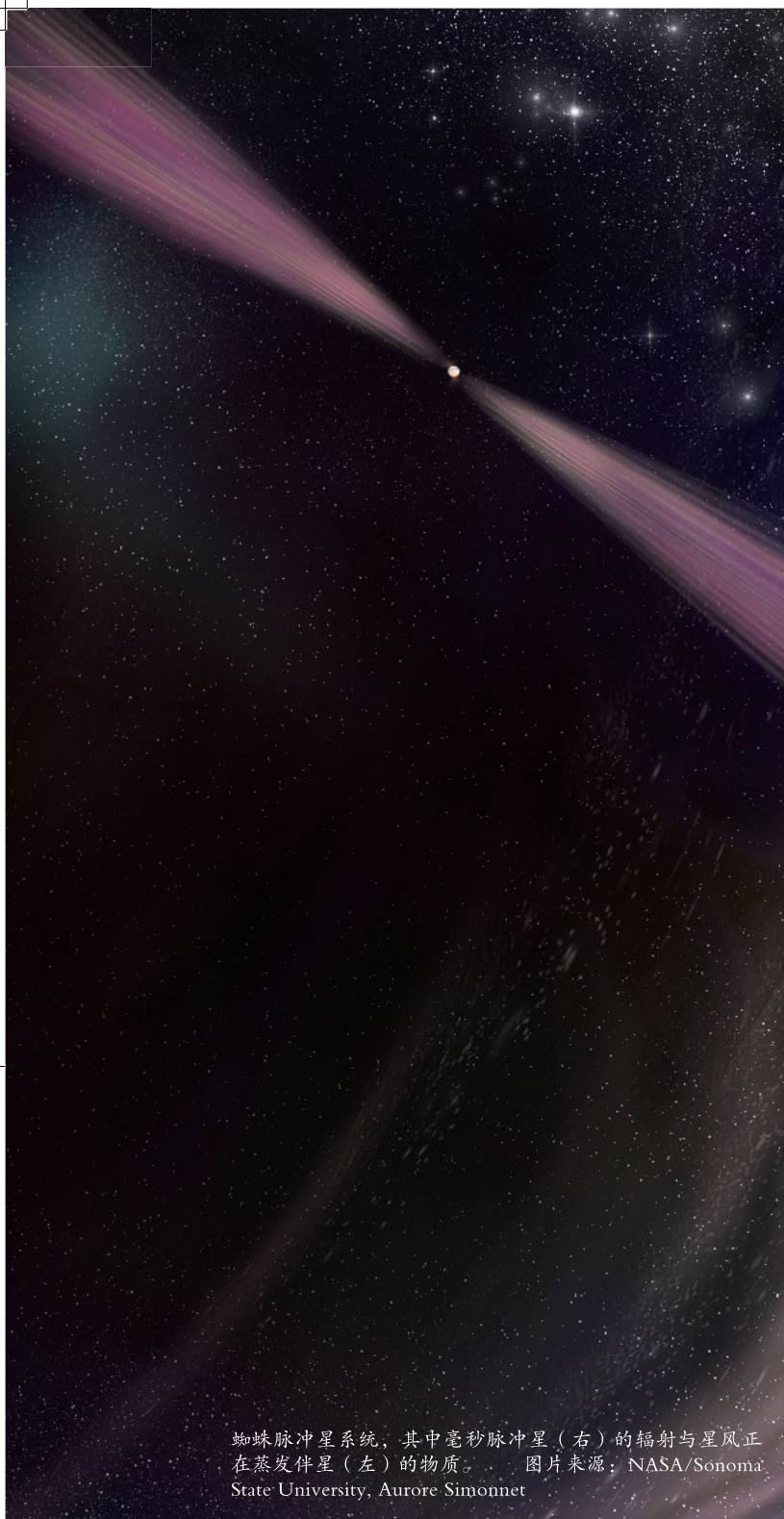
□ 周宇凡

面对浩瀚宇宙，星际航行是人类梦寐以求的目标。要实现这一梦想，我们首先要面对一个巨大的问题——如何制造出一个有着足够燃料且能搭载足够资源的飞船，从而带着人类跨越数光年甚至更远的距离？科学家们在寻找解决方案时，提出了一个非常科幻、但也有可能实现的想法——“恒星引擎”。其中，蜘蛛脉冲星作为一类特殊的双星系统，可能会成为我们实现星际航行的重要工具。今天，我们就来介绍一下这一神奇的想法，看看我们该如何骑着“蜘蛛”去旅行。

### ○ 什么是蜘蛛脉冲星？

要理解蜘蛛脉冲星，首先我们要了解什么是脉冲星。恒星演化到末期可能会发生超新星爆炸，爆炸之后的产物可能是中子星。中子星的质量大约是太阳的1.5倍到2倍，而直径仅有大约10千米，相当于一座城市的大小，也就是说它具有极高的密度——每立方厘米的质量可能达到几亿吨。脉冲星是一类特殊的中子星，由于自转速度非常快且磁场非常强，它会发出非常有规律的电磁波，像是灯塔的闪光一样。如果我们





蜘蛛脉冲星系统，其中毫秒脉冲星（右）的辐射与星风正在蒸发伴星（左）的物质。 图片来源：NASA/Sonoma State University, Aurore Simonnet

处在合适的位置，就能收到这种规律的信号，这便是我们称之为“脉冲”的原因。如果一颗脉冲星的自转周期在1到10毫秒之间，也就是说每秒能旋转上百圈，那么它就被称为毫秒脉冲星。

蜘蛛脉冲星又是什么呢？它是一类双星系统，其中一颗是毫秒脉冲星，另一颗是质量较小的伴星。对双星系统而言，在引力的作用下，质量较大的恒星可能会不断地吸积伴星的物质；而在蜘蛛脉冲星中，由于脉冲星强烈的X射线、伽马射线辐射以及星风，伴星的物质更有可能被蒸发。以上过程有些类似于自然界



自然界中的红背蜘蛛。

图片来源：ArtStation/Nathan Jones

中雌性蜘蛛在交配后吃掉雄性蜘蛛的行为，因此得名“蜘蛛脉冲星”。当然这样的命名也不是完全恰当，因为蜘蛛脉冲星中更重要的是“蒸发”而不是“吃（吸积）”，所以相比于“蜘蛛”或许“吹风机”的比喻更恰当，但“蜘蛛”这一名称已得到广泛传播与应用。更具体地，如果蜘蛛脉冲星的伴星质量在太阳的0.1到0.7倍之间，那么这个系统被称为“红背蜘蛛”；如果伴星的质量小于太阳的0.1倍，那么就会被称为“黑寡妇”。中国天眼（FAST）和郭守敬望远镜（LAMOST）都在蜘蛛脉冲星的搜寻中发挥了重要作用，FAST更是在2023年发现了人类已知的第一个从“红背蜘蛛”向“黑寡妇”转变的系统。

## ○ 什么是恒星引擎？

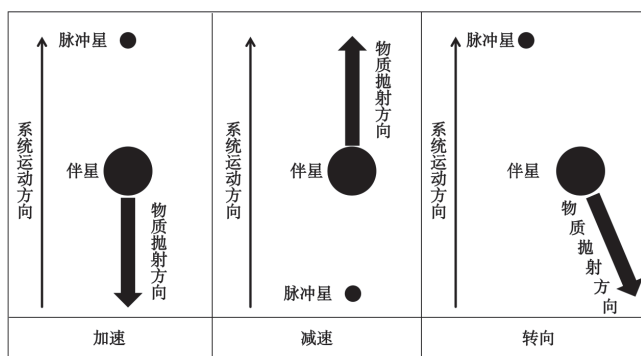
在设计星际飞船时，通常有两种思路：第一种是把飞船造得很轻，这样可以较容易地把它加速到很高的速度，甚至接近光速，从而能够较快到达目的地；另一种则是把飞船造得很大以携带足够的物资，这样虽然飞船很重，但我们在抵达目的地前的漫长旅途中不用担心无法生存。把第二种思路发挥到极致，便是驾驶整个恒星系统，这时就需要恒星引擎的帮助。

恒星引擎技术通过利用或控制恒星来产生推动力，从而使恒星级航天器在星际空间中行驶。目前，科学家已经提出了多种恒星引擎理论，比如布置巨大的抛物面镜来反射恒星在特定方向上的光，或者使恒星受控地向某个方向抛射物质，从而推动整个恒星系。这些想法虽然听起来非常疯狂，但在未来或许可以通过某些高科技手段实现。

早期的恒星引擎构想大多针对单颗恒星，毕竟目前来看我们的太阳就是一颗单恒星。但实际上，宇宙中的相当一部分恒星都处在双星系统中，双星系统也会为恒星引擎的设计带来更多可能。

## ○ 如何驾驶蜘蛛脉冲星？

蜘蛛脉冲星作为一类特殊的双星系统，为我们提供了一个非常有前景的恒星引擎模型。它不仅具有巨大的能量，人类还可以利用其双星的独特性质来进行驾驶。接下来，我们就详细了解一下蜘蛛脉冲星如何成为一个可行的恒星引擎。



蜘蛛脉冲星系统的加速、减速与转向机制示意图。脉冲星由于非常致密，所以显得体积比伴星还小。图片来源：转绘自Vidal, C. The Spider Stellar Engine: a Fully Steerable Extraterrestrial Design?

### ● 加速

脉冲星的辐射和星风射向伴星后，会蒸发伴星的物质。如果这种蒸发受控地指向整个系统的某个特定方向，那么就如同飞船向特定的方向排气一般，导致系统获得与排气方向相反的加速度。在蜘蛛脉冲星系统中，脉冲星与伴星相互绕转，只要在两者处于符合我们需要的位置时控制脉冲星向伴星发出辐射使伴星排出物质，那么便可实现特定方向的加速。

当蜘蛛脉冲星系统向某个方向前进时，在脉冲星旋转至系统前部、伴星旋转至系统后部的时刻，令脉冲星向伴星发出辐射与星风，则伴星会向系统后方抛射物质，使得系统向前加速。

那么这样的加速真的能实现吗？加速效果又如何呢？首先，伴星抛射出的物质速度必须要超过蜘蛛脉冲星系统的逃逸速度，否则这些物质会落回系统内导致加速失败。毫秒脉冲星的平均质量是1.78倍的太阳质量，伴星的平均质量是0.36倍的太阳质量，两者的间距大约是100万千米，近似把它们看做一个整体，用万有引力公式可以计算出系统的最小逃逸速度是753千米每秒。

而伴星抛射物质的速度可以达到甚至能够远大于上述最小逃逸速度，所以这样的恒星引擎机制是可行的。

由于双星轨道的一个周期内只有脉冲星旋转至系统前端的时候才能实行加速，所以实际启动辐射与物质抛射的时间有限，但这样的加速在每个周期都可以进行，所以最终的加速效果依然相当可观。不妨考虑最终伴星几乎全部被蒸发（质量仅剩0.01倍太阳质量）的情形。初态与末态系统质量分别为2.14倍和1.79倍太阳质量，假设物质抛射速度为753千米每秒，根据“火箭方程”可以计算出系统的速度能够增加134千米每秒。并且系统速度的增量与物质抛射速度成正比，如果抛射速度更高，则加速效果更好。

### ● 减速

为了进行减速，我们可以对前面的加速操作进行微调：当蜘蛛脉冲星系统向某个方向前进时，在脉冲星旋转至系统后部、伴星旋转至系统前部的时刻，令脉冲星向伴星发出辐射与星风，则伴星会向系统前方抛射物质，使得系统减速。有关加速的计算在此处依然适用，所以在753千米每秒的物质抛射速度下，减速值可达134千米每秒。

此外，还有另一种手段可以实现减速——磁帆。想象一下，如果在一辆跑车上张开一展帆，那么跑车行驶时这展帆显然会带来巨大的空气阻力。虽然在恒星的尺度上建造一展巨大的实体帆难度较大，但考虑到星际空间中的部分物质能够与磁场发生作用，我们可以建造一展“虚拟”磁帆。在正常行驶时，磁帆收起；需要减速时，磁帆展开。

### ● 转向

脉冲星与伴星互相绕转的平面被称为轨道平面，系统的转向包含两种：一种是在轨道平面内的转向，另一种则是改变轨道平面的转向。轨道平面内转向的原理其实与加速、减速相同，需要在脉冲星-伴星连线方向与系统前进方向不在一条直线上时，令脉冲星向伴星发出辐射与星风，这样系统的加速度方向与速度方向不同，转向即可实现。对于改变轨道平面的转向，则需要通过非对称的方式辐射和蒸发伴星，使其物质抛射方向不在原轨道平面内，这样即可改变系统的轨道平面。

### ● 双星间距调制

在加速、减速、转向过程中，伴星的物质抛射不仅会给整个系统的运动带来影响，还会对系统内部脉冲星和伴星之间的距离产生影响。如果两者距离太





星际旅行概念图。

图片来源：Getty Images

远，那么脉冲星的辐射与星风对伴星的影响将变弱，伴星产生推动力的能力也自然被削弱；如果两者距离太近，伴星可能会被中子星吞噬，双星系统将不复存在。因此，对蜘蛛脉冲星系统进行调制从而使两颗恒星的间距合适尤为重要。具体可以通过控制脉冲星的吸积或增加脉冲星的磁场来推动、拉动伴星，抑或改变洛希瓣的几何形状。

## ○ 蜘蛛脉冲星与外星人搜寻

既然蜘蛛脉冲星作为恒星引擎是可行的，会不会现在已经有某些高等文明成功驾驶了一些蜘蛛脉冲星系统呢？

首先，我们希望从伴星的物质损失速率入手。物质损失速率越高，蜘蛛脉冲星系统就能在更短时间内抛出更多物质，从而在短时间内加速或减速到目标速度。所以如果我们在宇宙中观测到了物质损失率很高的蜘蛛脉冲星系统，它很有可能就栖息着高等文明！然而，目前大多数观测到的系统每年损失的质量还不到太阳质量的百亿分之一。根据计算，这样的损失率在100万年尺度上产生的加速效果有限，所以它们还没有显示出加速、减速行驶的迹象。但也不用灰心，毕竟在星际航行中，加速、减速可能只在旅程的开头与结尾短暂出现，

绝大部分的路途都不需要对速度进行过多调整，因此我们自然很难看到那些高物质损失速率的系统。

我们还可以直接关注蜘蛛脉冲星的速度变化。如果一个系统在短时间内速度增加或减少了很多，那么很有可能是其中的外星人在执行加速或减速指令。人类已经观测到一些蜘蛛脉冲星（比如J1641+8049）的切向速度在短短几年间发生了巨大变化，如果这些变化是真实的而不是因为测量误差，那么它们将成为搜寻地外文明的重点目标。并且星际航行的一个目的就是在恒星耗尽前更换新的恒星，所以我们还可以关注那些速度相近的目标：如果一个蜘蛛脉冲星系统与附近另一颗恒星的速度相近，那可能是其中的文明在为更换恒星进行最终的接近。

最后，我们也可以关注蜘蛛脉冲星的非对称加热特征与轨道周期变化情况，这些可能是驾驶过程中转向与双星间距调制的证据。

**蜘蛛脉冲星作为恒星引擎的想法为我们点亮了星际旅行的希望。虽然如今的人类还没有能力建造这样的恒星引擎，但是随着科技的进步，也许有一天，人类真的能够骑着“蜘蛛”去旅行，跨越星际，踏上新的征途。我们的后代将在宇宙中自由航行，见证那些曾经只是幻想的科技变为现实！** ■

(责任编辑 冯 翀)