

科学与科学史系列·之三

星际旅行漫谈

卢昌海

Copyright © 2023 by Changhai Lu

版权所有，侵权必究。

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form or by any means, electronic, mechanical, now known or hereafter invented, without written permission from the author, except in the case of brief quotations embodied in critical articles and reviews.

For information, please email
lu_changhai@yahoo.com.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Space, the final frontier!

— *Star Trek: The Next Generation*

目录

自序	I
因为星星在那里	1
火箭[休闲版]: 从摇篮到深空	6
火箭[动脑版]: 宇航时代的开拓者	21
开普勒定律与嫦娥之旅	52
太空中的“漂流瓶”	59
我们能成为火星星人吗?	75
生命传输机	89
虫洞[休闲版]: 旅行家的天堂还是探险者的地狱?	108
虫洞[动脑版]: 遥远的天梯	129
虫洞[烧脑版]: 虫洞物理学简介	160
时间旅行: 科学还是幻想?	264

自序

本书汇集了我撰写的跟星际旅行有关的所有文章。

这些文章的撰写可回溯至 2002 年，其中的“因为星星在那里”（2002 年）和“遥远的天梯”（2002 年）是我主页上最早的科学类文章；“生命传输机”（2003 年）则是我主页文章里最早在传统媒体上发表的¹。

这些文章虽都曾在传统媒体上发表过，或曾被（实体）图书收录过，但那些发表和收录都是零星或分散的，从未如本书这样汇集过。

由于这些文章带有一篇昔日引言（“因为星星在那

¹ 对“生命传输机”一文的发表经过感兴趣的读者，可参阅电子书《致编辑·报刊卷》（2022 年）。

II

里”），对题材已作过说明和规划，本文就不赘述了——只作几点补充：

1. 本书汇集的文章在范围和深度上都有超出昔日规划之处，但另一方面，也有一些昔日规划的题材迄今不曾撰述。因此，本书未来有可能会扩充（已购本书者可免费获取）。
2. 制作本书时，更换和增添了一些图片。
3. 制作本书时，对昔日文字添加了少许“整理注”。
4. 书中的“火箭”和“虫洞”这两个题材分别有多篇文字，是为不同目的而撰写的，彼此虽不无叠合之处，却亦有深度或广度上的互补，故未做取舍，一并收录了。

2023年5月7日

因为星星在那里²

试图挑战自然的人常会被问到为什么要用自己的生命去冒险。我有一位酷爱登山的朋友，一同在哥伦比亚大学（Columbia University）念研究生期间的某个夏天，他登上了北美洲的最高峰——海拔 6,194 米的麦金利峰（Mount McKinley）。我在系里遇见了刚从雪域高原回来的他。锐利的紫外线灼黑了他的皮肤，使我几乎认不出来，但一种敬意在我心中油然而生。我没有问他为什么要去登山，我知道登山家有一句震撼人心的名言：因为山在那里（Because it's there）。

小时候喜欢看星星，常可以看上几个小时不知倦怠。

² 本文是本书因之得名的系列文章“星际旅行漫谈”的引言，曾收录于以本文标题为主书名的《因为星星在那里：科学殿堂的砖与瓦》（清华大学出版社，2015年）一书。

我知道天空中几乎每一颗小小的星星都要比我们脚下这个看似巨大的蓝色星球大上数百万倍，“大”与“小”竟以如此瑰丽的方式相互嵌套，那是何等地深邃和奇异啊！

30年前的1972年，人类向外太阳系发射了名为“先驱者10号”（Pioneer 10）的行星探测器。一年后又发射了它的姊妹探测器“先驱者11号”（Pioneer 11）。它们已先后飞出了我们的太阳系（如果以冥王星轨道作为太阳系边界的话³）。目前“先驱者10号”大约在距地球120亿公里之外，正向着65光年外的金牛座（Taurus）的毕宿五（Aldebaran）星飞去，以目前的速度计算将在约200万年后抵达。“先驱者11号”则将在约400万年后掠过天鹰座（Aquila）的一颗恒星⁴。

³ 整理注：本文撰写之时，冥王星的“身份”仍是行星，其轨道则常被视为太阳系的边界。

⁴ 整理注：对“先驱者10号”和“先驱者11号”未来轨迹更精确的预期可参阅“太空中的‘漂流瓶’”一文（已收录于本书）。

200 万年对人类来说是一段过于漫长的时间：200 万年前人类还过着茹毛饮血的穴居生活；200 万年后当“先驱者 10 号”迎来自己孤独航程中第一缕耀眼的异星光芒时，人类也许早已在愚昧的战乱中成为了无言的化石。

登山家面对的是以人类微薄的体力去挑战大自然的伟岸，星际旅行家面对的则是以人类短暂的生命去跨越星际间几乎无限的距离。人类的平均寿命在过去几十年间虽然有所增长，但自然衰老依然是无可抗拒的规律。即使在基因图谱逐渐被揭开的今天，也没有迹象表明人类的寿命会在可预见的将来获得数量级上的延长。

从逻辑上讲，要让星际旅行家用短暂的生命去跨越近乎无限的时空，不外乎有两类方案：一类是从星际旅行家本身入手，设法在各种意义下延长其生命；另一类是从时空入手，设法利用或改变其结构，达到缩短空间距离或突破速度极限的目的。具体的讲，常见的设想有

以下几种：

- 从星际旅行家本身入手的方案：
 - ❖ 用极低温“冷冻”的方法延长生命。
 - ❖ 用巨型空间站代替飞船，以群体繁衍的生命取代个体的生命。
 - ❖ 建造飞行速度接近光速的飞船，利用相对论的时间延缓效应达到延长生命的目的。
 - ❖ 将星际旅行家分解为基本粒子流或信息流以光速或接近光速的速度传播，并在目的地复现乘员。
- 从时空入手的方案：
 - ❖ 通过“虫洞”（wormhole）实现时空间的“捷径”（short-cut）旅行。
 - ❖ 通过“曲速引擎”（warp drive）实现“超光速”旅行。

“星际旅行漫谈”这个系列的文章将以目前所知的物理学规律为依据，来讨论其中的若干种方案，无论它们是出自科学家、工程师还是科幻小说家之手。

这些方案是人类探索璀璨星空的梦想的延续。

自远古以来这种梦想就以这样那样的方式存在着，历经无数的磨难和挫折，却从来不曾消失过。

因为人类的好奇心不可磨灭，因为星星在那里。

2002年7月25日⁵

⁵ 纪念“先驱者10号”发射三十周年。

太空中的“漂流瓶”³¹

小时候有好些年，我着迷于所谓“外星人”，读了当时找得到的所有相关的书，其中有一本是卡尔·萨根的《外星球文明的探索》(*The Cosmic Connection*)。在那本书里，我第一次见到了两个“先驱者”(Pioneer)探测器所携带的致“外星人”的信息。带着那些信息飞向深空的探测器，如同太空中的“漂流瓶”，让我遐想。

如今，距离“先驱者”探测器的发射已近半个世纪，距离 NASA（美国国家航空航天局）斥资制造那两个探测器则正好半个世纪。这半个世纪以来，若以冥王星轨道这一早年的太阳系边界来衡量，先后已有五个探测器飞出了太阳系。值此纪念年份，我们来聊聊那几个太空中的“漂流瓶”。

³¹ 本文曾发表于《读库 2102》（新星出版社，2012 年）。

不过首先，我们要对“飞出太阳系”这一概念作个界定。如今的读者都知道，冥王星已在 2006 年被“贬”为了矮行星，太阳系边界也早已跟冥王星轨道“脱钩”。事实上，太阳系边界并没有泾渭分明的定义，更不像国境线那样立着界碑。如果考虑到太阳系是在太阳的引力控制下形成的，则太阳系边界的自然定义应该是太阳引力控制范围的边界，离太阳约两光年。但那样的话，人类迄今发射的任何探测器起码要上万年时间才能“飞出太阳系”，无疑是令人沮丧的。因此，人们往往用一个更“鼓舞人心”的概念——日球层顶（heliopause）——来定义太阳系边界。日球层顶是太阳风因星际介质的阻碍而停滞的地方，离太阳约 180 亿公里³²。

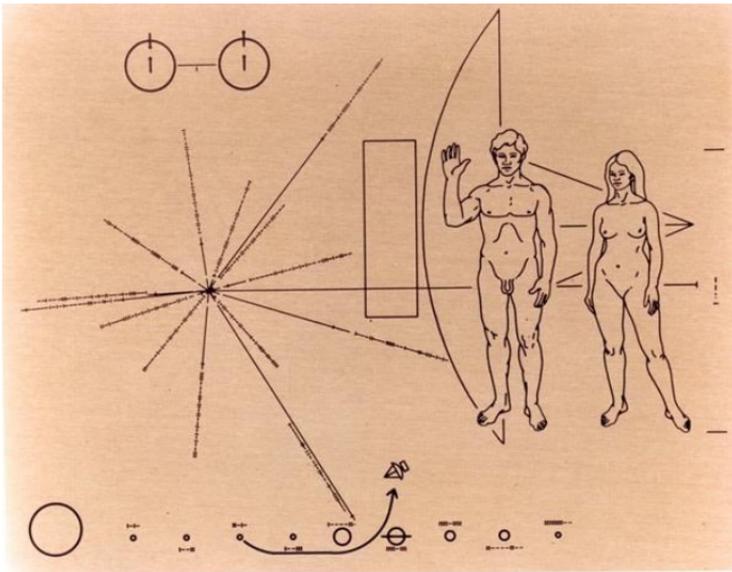
概念既已界定，便可聊聊“漂流瓶”了。那些“漂

³² 日球层顶有如太阳风吹出的一个巨大“气泡”的边缘，180 亿公里只是对它与太阳距离的笼统估计。那“气泡”其实既不是球形，也不是静态的，但本文就不在这方面较真了。

流瓶”中最早的两个是 1972 年 3 月 2 日升空的“先驱者 10 号”（Pioneer 10）和 1973 年 4 月 6 日升空的“先驱者 11 号”（Pioneer 11）。这两个探测器的核心任务都是探测木星，但“先驱者 11 号”中途增加了探测土星的使命。这两个探测器还都利用所谓的“引力助推”（gravitational assist）效应，从探测目标——前者为木星，后者为木星和土星——的引力场中借了力，成为人类航天史上最早达到太阳系逃逸速度的航天器，从此踏上了“飞出太阳系”的“不归路”。

由于事先知道这两个探测器将会“飞出太阳系”，科学家们让它们各自带了一块“先驱者镀金铝板”（Pioneer plaque），上面刻着致“外星人”的信息（如下页图示）。著名天文学家卡尔·萨根（Carl Sagan）等人于“先驱者 10 号”升空前不久，在《科学》（*Science*）杂志上撰文对那些信息作过详细介绍，我小时候所读的那本《外星球文明的探索》则是萨根在“先驱者”探测器发射后不久

出版的。那时候，科学不如现在发达，科学新闻对公众的吸引力却似乎大过现在。有一位科学作家在读了萨根的文章后，称那是唯一让他激动落泪的论文。我这一代的很多读者对“先驱者镀金铝板”大约也多少有些印象，但年轻读者恐已不然，故值得略作介绍。



先驱者镀金铝板

简单地说，刻在“先驱者镀金铝板”上的信息既包含了直观部分——比如右侧的人类男女裸体，及下方的由地球（第三颗行星）出发，在木星（第五颗行星）附近绕行的探测器运动轨迹³³；也包含了抽象部分——比如左上角的波长 21 厘米的氢原子谱线示意图；左侧中部的太阳系附近 14 颗脉冲星的周期和距离示意图（其中周期为二进制数³⁴，以前述氢原子谱线的周期为单位，距离则正比于线段长度）。从这些抽象信息中，科学家们期待“外星人”能推测出太阳系的位置。

“先驱者镀金铝板”上的这些信息曾引起过媒体和公众的热烈讨论。当然，也不乏贬斥——尤其是，很多社会势力借着批评“蹭热度”。比如女权主义者对男女形象间的细节差异提出了诘难；卫道士们视裸体为有伤风

³³ 这轨迹对“先驱者 11 号”其实已并不正确，因后者中途改变了轨道，是从土星（第六颗行星）附近绕行的。

³⁴ 整理注：这些二进制数在上述图片中极难辨认，感兴趣的读者可到网上搜索大图细看。

化；宗教信徒则不满于上帝没有得到体现，建议将两个人换成一双祈祷的手……以至于萨根幽默地表示，这些信息尚未被“外星人”接获，却已被地球人彻底研究过了。

截至目前（2020年），“先驱者10号”和“先驱者11号”与太阳的距离分别约为190亿公里和157亿公里，且仍在以每秒约11公里的速度远离。按我们前面界定的太阳系边界，前者已“飞出太阳系”，后者也已游弋到了边界附近，再过几年也将“飞出太阳系”。

“先驱者”探测器发射数年后，另一对探测器——“旅行者1号”（Voyager 1）和“旅行者2号”（Voyager 2）——分别于1977年的9月5日和8月20日升空（我没写错，“旅行者1号”的发射日期比“旅行者2号”略晚）。这两个探测器的核心任务都是探测木星和土星，但“旅行者2号”中途增加了探测天王星和海王星的使命。

跟“先驱者”探测器一样，这两个“旅行者”探测器也从它们的探测目标——前者为木星和土星，后者为木星、土星、天王星和海王星——的引力场中借了力，达到太阳系逃逸速度，从而也踏上了“飞出太阳系”的“不归路”。

同样跟“先驱者”探测器一样，这两个“旅行者”探测器也携带了致“外星人”的信息。只不过“先驱者”探测器携带的是“视觉”信息，“旅行者”探测器所携带的信息则偏于“听觉”，是一张“旅行者金唱片”(Voyager Golden Records)。在这张“金唱片”里，包含了来自地球上 55 种语言的问候，及被称为“地球之声”(sounds of Earth)的各种自然界的聲音(风声、雷声、动物的声音等等)，还有总长约 90 分钟的各种音乐。除此之外，“金唱片”还包含了 115 幅图片(用的是模拟信号格式，而非“jpg”、“gif”、“png”那样的数字格式)。萨根与同事在“旅行者”探测器发射后不久也出版了一本书，名

叫《地球私语》(*Murmurs of Earth*), 对“旅行者金唱片”作了详细介绍。



旅行者金唱片

不过对我们这些地球人来说，比致“外星人”的信息更珍贵的，也许是“旅行者1号”给地球人的一份独特礼物。1990年2月14日，按照萨根的提议，当时距地球约60亿公里的“旅行者1号”向着内太阳系方向拍了相片。经过5个多小时的光速传播，相片传到了地球。在这相片上，地球呈现为一个小得不能再小的暗淡蓝点。

1994年，萨根以《暗淡蓝点》（*Pale Blue Dot*）为书名出版了一本书。在书里，他写了一段极其优美的话：

再看看那个点，那是此地，那是家园，那是我们。在它上面，每一个你爱的人，每一个你认识的人，每一个你听说过的人，每一个曾经存在过的人，度过了他们的人生。我们所有的快乐和不幸，数以千计自命不凡的宗教、意识形态和经济信条，每一位猎手和觅食者，每一位英雄和懦夫，每一个文明的创造者和毁灭者，每一个国王和农夫，每一对热恋的年轻情侣，每一位母亲和父亲，朝气蓬勃的孩子，发明家和探索者，每一位道德教师，每一位堕落政客，每一位“超级巨星”，每一位“最高领袖”，我们这个物种历史上的每一位圣人与罪人，都生活在那里——在一颗悬浮于太阳光束里的微尘上。

26年过去了，这段话依然意蕴悠远，对动荡的2020年，则尤其珍贵。

截至目前（2020年），“旅行者1号”和“旅行者2号”与太阳的距离分别约为227亿公里和188亿公里，不仅均已“飞出太阳系”，且前者已远远超越“先驱者”探测器所达到的距离，后者也即将超越——因为这两个探测器目前的飞行速度分别约为每秒17公里和15公里，都比“先驱者”探测器更快。

在这四个“元老”级探测器之外，2006年1月19日，NASA发射的“新视界”（New Horizon）探测器也加入了“飞出太阳系”的行列——虽然它目前还远在太阳系边界以内。“新视界”探测器的核心任务是探测当时唯一未被探测过的太阳系行星：冥王星。只不过，它启程7个月零5天之后，冥王星被戏剧性地“贬”为了矮行星。

“新视界”是迄今唯一一个发射时就达到太阳系逃逸速度——也称为“第三宇宙速度”(third cosmic velocity)——的探测器³⁵，在飞行途中，又进一步从木星引力场中借了力。2015年7月14日，“新视界”探测器从距冥王星表面仅12,500公里处掠过，拍下了非常清晰的相片。之后，又于2019年1月1日从相距仅3,500公里处掠过了编号为486958的柯伊伯带天体(Kuiper Belt Object)——该天体当时距地球约65亿公里，是人类航天器迄今掠过的最遥远天体。

截至目前(2020年)，“新视界”探测器与太阳的距离约为73亿公里，飞行速度约为每秒14公里，预计将在二三十年后“飞出太阳系”。

³⁵ 整理注：关于“第三宇宙速度”，可参阅“宇航时代的开拓者”一文（已收录于本书）。

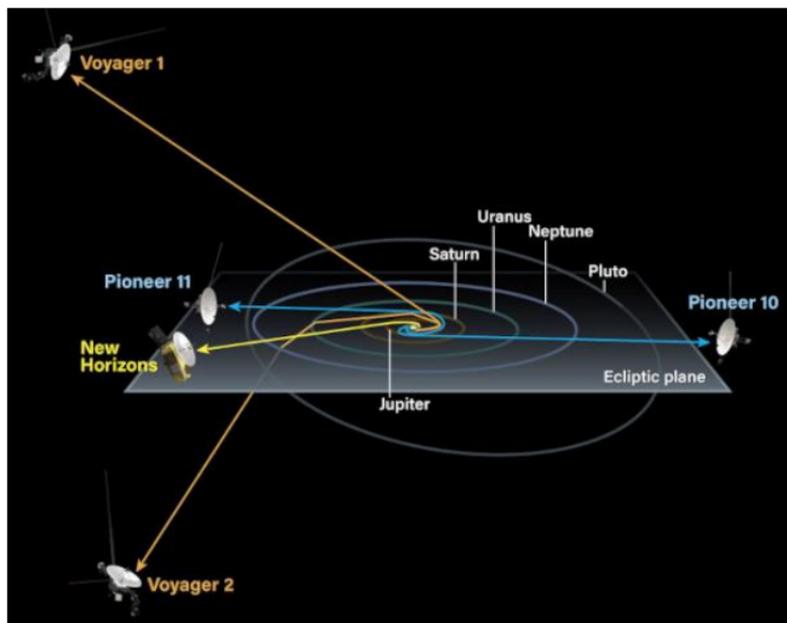
不过，尽管事先知道“新视界”探测器也会“飞出太阳系”，科学家们却并未让它也像“先驱者”和“旅行者”探测器那样，携带致“外星人”的信息。除对“外星人”的兴趣已大为降低外，或许也是对那样的信息被“外星人”解读的可能性越来越不乐观了。事实上，像“先驱者镀金铝板”上的氢原子谱线及脉冲星示意图那样的信息被“外星人”正确解读的可能性实在太渺茫了。至于“旅行者金唱片”，除非有合适的“电唱机”，否则哪怕对地球人也是天书。有一个例子或许能说明解读此类信息的难度：美国天文学家弗兰克·德雷克（Frank Drake）曾设计过一串由 551 个二进制数组成的简单信息。他设想，“外星人”会意识到 551 有唯一的素数分解： $551 = 19 \times 29$ ，因而会尝试将之排成 19×29 形式。一旦那样做了，那串二进制数里的“1”便会构成图像。跟“先驱者镀金铝板”上的抽象信息或“旅行者金唱片”相比，德雷克的设计在科学层面上可算是再简单不过了，但德雷克让一些志趣相近的同事去破译，却基本无人成

功。地球人——而且是志趣相近的同事——尚且如此，更遑论跟地球人有可能天差地别的“外星人”了³⁶。其实真要传递信息的话，那几个探测器本身才是最清晰的信息，不仅可以从它们的制作中推出人类科技水准的很多方面，而且从它们的运动轨迹反推太阳系的位置，也恐怕要远比利用“先驱者镀金铝板”上的抽象信息更有可能。

在人类迄今发射的所有航天器中，以上五个便是已经或将要“飞出太阳系”的完整阵容——可以说是小得可怜。其他数以千计的航天器全都没有达到太阳系逃逸速度，从而无法挣脱太阳的强大引力。不过，跟地球上的海洋相比，宇宙实在浩瀚得太多，哪怕其中有许多“外星人”，甚至哪怕在太阳系附近的恒星周围就有“外星人”，

³⁶ 尽管如此，德雷克仍于 1974 年将这一设计付诸实施，通过阿雷西博天文台（Arecibo Observatory）的直径 1,000 英尺（约合 305 米）的射电天文望远镜，向武仙座球状星团（Hercules Globular Cluster）方向发射了一串由 $1679 = 73 \times 23$ 个二进制数组成的信息。

这些“漂流瓶”被发现的概率也是微乎其微的。



五个“漂流瓶”的飞行方向³⁷

这些“漂流瓶”将会漂向何方？科学家们 2019 年的一项新近研究给出了这样的结果：“先驱者 10 号”将在

³⁷ 这幅图给出的五个航天器离太阳的距离并不正确。

约 9 万年之后与一颗编号为 HIP 117795 的恒星接近到约 0.75 光年的距离³⁸；“旅行者 1 号”将在约 30 万年之后与一颗编号为 TYC 3135-52-1 的恒星接近到约 0.96 光年的距离；“先驱者 11 号”将在约 93 万年之后与一颗编号为 TYC 992-192-1 的恒星接近到约 0.8 光年的距离³⁹；“旅行者 2 号”则在未来 500 万年内都无法与任何恒星接近到少于 1 光年的距离⁴⁰。至于“新视界”探测器，由于还远在太阳系边界以内，仍有可能近距离遭遇柯伊伯带天体，并受到引力扰动，故还无法对未来轨迹作出可靠计算。

这些结果是从涵盖未来 500 万年的计算中挑出的最

³⁸ 这是将恒星运动考虑在内的计算结果。早年的估计通常忽略恒星运动，在那种估计里，“先驱者 10 号”被认为将在约 200 万年后抵达金牛座 α 星（Alpha Taurus）——也称为毕宿五（Aldebaran）——附近。前面的“因为星星在那里”一文提到的就是那种早年的结果。

³⁹ 同样，这也是将恒星运动考虑在内的计算结果。在早年的忽略恒星运动的估计里，“先驱者 11 号”被认为将在约 400 万年后抵达天鹰座 λ 星（Lambda Aquila）附近。“因为星星在那里”一文也提到了这一结果。

⁴⁰ 若将距离放宽到 1 光年以上，则“旅行者 2 号”将在约 4 万年之后与仙女座 HH 星（HH Andromedae）接近到约 1.7 光年的距离。

近距离的“掠过”（这恐怕是对“掠过”一词最夸张的用法）。由于那最近距离起码也有 0.75 光年，哪怕那些恒星周围真有“外星人”，隔着那样的距离发现一个线度只有几米的“漂流瓶”也是基本不可能的——更何况那些“掠过”中最早的一次也将在 9 万年之后，对人类实在太遥远了。

因此，这些太空中的“漂流瓶”最有可能的命运是在孤寂的恒星际空间永远漂流下去。但即便如此，它们依然是人类探索精神的美丽象征。如果哪天人类因自身原因不幸灭绝了，在近乎真空的环境里漂流着的它们更将成为人类文明最永久的墓碑。

2020 年 11 月 19 日

我们能成为火星星人吗？

收录注：本文节选自拙作《经典行星的故事》（科学出版社，2017年）第4章第3节。

迄今为止，我们尚未在火星上探寻到生命存在的任何确实证据。那么将来会如何呢？一种可能性是：在不太遥远的将来，火星上就会出现生命，而且是高等生命。当然，读者们想必猜到了，我指的是人类自己——在不太遥远的将来，人类有可能登陆火星、建立基地；更长期地讲，则有可能向火星移民甚至将火星“地球化”。因为哪怕火星上连最原始的生命都不存在甚至无法存在，它也依然是除地球以外太阳系行星中环境条件最接近地球的，从而将是人类向其它行星移民的首选之地。

事实上，很多科学家早就在研究载人登陆火星的可能性了。1989年7月，这种热情延伸到了国家领导人的层面上，美国总统老布什（George H. W. Bush）在阿波罗登月20周年的纪念讲话上提出了包括载人重返月球及载人登陆火星在内的所谓“太空探索倡议”（Space Exploration Initiative）。2004年1月，美国总统小布什（George W. Bush）重申了父亲的倡议，取名为“太空探索新图景”（New Vision for Space Exploration）。2010年，又一位美国总统奥巴马（Barack Obama）也发表了热情洋溢的讲话，展望了于21世纪中期完成载人登陆火星计划的前景。而最近热映的影片《火星救援》（*The Martian*）则把载人登陆火星的时间定为了21世纪30年代，并且将公众的热情推上了高潮。

当然，影片是不能当真的，而政治层面的倡议则既不能不当真，也不能太当真——因为载人登陆火星那样的计划若要实施，离不开政治层面，但另一方面，那样

的计划并非单纯取决于总统，而且计划的长度将大大超出单个总统的任期，从时间上讲也绝非单个总统的倡议所能决定。昔日的超级超导对撞机（Superconducting Super Collider，简称 SSC）的下马就是例子。

虽然载人登陆火星计划能否启动，何时启动，都还是未知数，但很多人在憧憬着那一天，很多机构也在进行着可行性研究，其中包括美国国家航空航天局。1998年，美国航天工程师祖宾（Robert Zubrin）等人甚至组建了一个称为“火星学会”（Mars Society）的组织，专门研究诸如建立火星基地的可行性那样的课题，该组织的成员和支持者分布在几十个国家，其中包括了有专业学历或经历的科学家、工程师及宇航员等。当然，这方面所有的研究或设想都还或多或少停留在“纸上谈兵”的阶段，并且限于领域的特殊性，在同行评议等方面还难以达到如主流学科那样的严谨性。因此，对我们下面将要介绍的这方面的信息需多存怀疑之心，莫要当成定见一

——哪怕只是目前意义上的定见。如果有一天载人登陆火星乃至建立火星基地等计划真的进入实施阶段，显然会有更正式也更高水平的研究和实验。但在目前，我们只能用下面这些信息来解解馋了。

载人登陆火星的第一步当然是飞往火星，跟飞往月球的区区三天左右的单程飞行不同，火星虽是地球在行星世界里的邻居，串个门可不容易。飞往火星的轨道有若干选择，其中最节省燃料的是 1925 年由德国科学家霍曼（Walter Hohmann）提出的所谓霍曼转移轨道（Hohmann transfer orbit）。这个轨道的主体部分是近日点与地球公转轨道相切，远日点与火星公转轨道相切的椭圆轨道的一段。简单的计算表明，沿霍曼转移轨道飞往火星的单程飞行时间约为 8 个半月，这样的飞行时间对无人探测器来说这不算什么，一旦考虑载人可就成为大问题了，因为这段时间内宇航员所需的食物、氧气等都不是小数目，对于每公斤载荷都极其昂贵的行星际飞

船来说实在是不可承受之重。除此之外，沿霍曼转移轨道前往火星要求飞船抵达轨道远端时恰好能与火星相逢，这样的条件平均每两年多才会满足一次，从而意味着一旦发生什么事，比如像影片《火星救援》中那样需要向火星上的宇航员提供额外补给时，后续飞船不是随时能够出发的。当然，若不惜多花费燃料，则条件可以放宽，但前提是要有更大推力的火箭。

一旦飞往火星的问题被解决，下一步就轮到建立基地了。这方面需要考虑的因素也不少，首先是能源。在影片《火星救援》中，能源主要是由太阳能板提供的，这与普通航天器的能源机制相同，也是相对来说比较现实的。但缺点也是有的，比如由于离太阳更远，火星表面的光照逊于地球⁴¹，一旦遭遇沙尘暴，光照还会剧降。

⁴¹ 当然，表面光照并非完全取决于距离。火星虽然离太阳更远，却也有一个比地球有利的条件，那就是大气更稀薄，因此在晴好的天气下，被火星大气阻挡掉的阳光比例比地球的少得多。不过这一因素抵不过距离因素，因此哪怕在晴好的天气下，火星表面的光照也只相当于地球上多云天或傍晚时的表面光照。

更糟糕的是，火星由于引力较弱，且没有植被和液态水，大气中的浮尘远不像地球上那样容易“尘埃落定”，沙尘暴持续数周乃至数月都是不鲜见的，这对于太阳能发电来说意味着很大的不稳定性。

除去太阳能发电还有别的选项吗？人们设想过一些，但也各有各的缺陷。比如核能发电不受环境影响，但除非能显著小型化，否则起码在建立早期基地时是完全不现实的。利用火星地热也是一种可能性，火星因质量较小，核心不会像地球核心那么热，但毕竟是一个行星级的天体，核心毫无疑问仍是相当热的。但这种“热”是否能抵达地表附近被利用却是很大的未知数，而且是不太乐观的未知数，因为从目前的了解来看，显示浅层地热的诸如活火山那样的东西在火星上可能已绝迹数百万年了。虽然这不足以严格排除利用地热的可能性，但除非事先得得到探明，否则是不能依靠的。总体来说，可以确定的是：无论哪种能源，起码在一开始都会是紧缺的，

像影片《火星救援》那样在无人外出时还开着基地外的探照灯是很奢侈的。

建立基地需要解决的另一个问题是密闭。由于火星表面的气压只有地球表面气压的 0.6% 左右，且主要成分是二氧化碳（约占 95%），无论压强还是成分对人类都是致命的，因此火星基地必须密闭且充有适合人类的空气。在影片《火星救援》中，火星基地内的气压被显示为 12.46 PSI⁴²，约相当于地球表面气压的 85%，或相当于地球上海拔 1,300 米处的气压，无疑是相当舒适的⁴³。但在这种气压下，基地发生爆炸事故后主人公沃特尼（Mark Watney）用塑料布封闭基地就有点不对劲了，除非那貌似塑料布的东西每平方米能承受相当于地球上 8.5 吨物体的重量！实际上，考虑到在火星上维持空气的不易，

⁴² “PSI”是压强的常用单位之一，含义为“磅每平方英寸”（pound per square inch），1 PSI 约合 6895 帕斯卡（Pa）。在这一单位下，地球的表面气压约为 14.70 PSI。

⁴³ 作为比较，我国著名的“春城”昆明的市区海拔高度约为 1,900 米。火星基地内的气压介于海平面和昆明之间，自然是相当舒适的。

保持如此高的气压实在是舒适得太过奢侈了。在“火星学会”的设想中，火星基地内的气压大约有 5 PSI 就够了，这相当于地球上海拔 8,200 米处的大气压。这当然是不够舒适的——在高度上几乎赶上珠穆朗玛峰了（不过除气压相近外，其他方面——比如温度——要舒适得多，更不会有冰雪），但行星探索——起码在早期——本就是一种挑战极限的行为，就像火箭发射时宇航员需要承受很大的加速度一样，在居住上也很难把舒适当成追求。

说到火星大气，还有一点可以补充，那就是它虽不能供我们呼吸，有一个作用却不容小觑，那就是对来自太阳风乃至太阳耀斑的带电粒子流产生一定的阻隔作用。因为火星大气对这种粒子流的阻隔作用相当于厚度 21 厘米以上的水，虽不能跟地球大气相提并论，却也并非无足轻重⁴⁴。不过另一方面，由于火星表面的大气密度只

⁴⁴ 当然，来自太阳风或太阳耀斑的带电粒子流并不是有可能危害人类的唯

有地球表面大气密度的 1.6%，因此成为气流时蕴含的能量要小得多。具体地说，火星上的风速要达到地球上风速的 8 倍，才能在破坏力上赶上地球上的风，因此火星上的风或沙尘暴的破坏力比地球上的飓风差远了。比如每小时 100 公里在火星上算是比较高的风速了，破坏力却仅相当于地球上介于“轻风”和“微风”之间的每小时 12 公里的风，哪怕考虑到火星表面的引力较弱，从而由物体自重产生的抗风能力较弱，像《火星救援》片首那种恐怖的大风也是基本不可能的。

建立火星基地还有一个要素是水。经过这么多年“跟着水流走”的探测⁴⁵，这方面的情况可以说是比较明朗了：火星上的水基本处于冰冻状态，但总量是巨大的，若全部融化的话，足可覆盖整个火星十几米甚至几十米。从

一辐射来源，很常见的太阳紫外线等，以及更厉害的高能宇宙射线等是无法被火星大气有效阻隔的，但这跟太空站等地的宇航员所受的威胁是同等的，几乎可以算是宇航员这一职业的题中之意。

⁴⁵ “‘跟着水流走’的探测”是美国国家航空航天局的火星探测的基本思路，可参阅《经典行星的故事》的第 4 章第 2 节。

分布上讲，除极地有巨大冰帽外，火星土壤里也很可能含有质量比例为百分之几的水，使基地的选址几乎不受水资源约束。火星堪称丰富的水资源，以及可阻隔部分辐射的大气，使它被很多人视为了比月球更适合移民的星球，而这方面的兴趣，也正是火星探测“跟着水流走”的另一个重要动机。

那么氧气呢——或者更一般地——如何维持包括氧气在内的生命必需物质的循环呢？这方面人们也作了考虑，主要的设想有两类。一类是所谓的生物系统（biological system），即通过植物产生氧气，以人或动物的排泄物为肥料或用微生物分解排泄物，等等。这实际上是地球生态系统的微缩，它的最大问题是可靠性不高，一旦生物循环失调，比如某个物种死亡，就可能造成严重后果。事实上，上世纪末科学家们在地球上尝试过的所谓“生物圈二号”（Biosphere 2）计划，就是设图建立一个这样的生物系统，结果失败了。从规模上讲，“生物

圈二号”显然要比初期的火星基地大得多，从而回旋余地也大得多，它的失败表明在火星上采用同类系统的风险是很大的。另一类则是所谓的物理化学系统（physical-chemical system），它包括诸如以电解的方式从二氧化碳或水中获取氧气等手段。这种系统的好处是可控性及可预测性都很高——毕竟我们对物理化学的了解要比对生物的了解深入得多，从而起码在初期应该是更可靠的。

虽然生物系统作为生命必需物质的循环缺乏可靠性，但若是长期逗留的话，作为一种辅助恐怕仍是需要的，起码适当地种点庄稼可能是必不可少的，因为从地球往火星运东西毕竟太困难、成本也太高，宇航员必须学会点“自力更生”。这种“自力更生”从荣誉感的角度讲也是有一定吸引力的，就像影片《火星救援》的主人公沃特尼所说的：“如果你能在一个星球上种庄稼，你就算正式完成了对它的殖民。”

那么，火星上能种庄稼吗？按“火星学会”的估计，答案是乐观的。比如庄稼所需的矿物质在火星土壤里大都也有（虽然具体比例与地点有关），通过适当的选址，再以肥料的形式补充某些含量偏低的元素，在火星土壤里种庄稼从理论上讲是不成问题的。而且庄稼对气压的要求比人类低得多，只需 0.7 PSI（约相当于地球表面气压的 5%）就能存活。当然，你的“庄稼棚”若真的维持如此低的气压，则虽对棚子的强度要求可大大降低（因为内外气压差比较小），你自己每次进入却必须穿上宇航服，是很不方便的。因此也不排除像影片《火星救援》中那样采用与基地相同的气压，以方便进出。当然，理论无法代替实验，这方面今后需要尝试的工作之一，也许就是用无人探测器在火星土壤里真的种点东西，或将火星土壤带回地球来做实验。初次用火星土壤种出任何东西——哪怕在地球实验室里——都将是一个激动人心的成果。



火星基地想象图

一旦初步的火星基地取得成功，下一步也许就是“扩容”，相应地，开采矿产、冶炼金属等等也将被提上议事日程，使火星基地越来越自给自足。再往后，则也许就轮到向火星移民了，而最终则不排除把火星“地球化”，包括改造它的大气，通过适当的温室效应提高它的表面温度，等等。如此，则渐渐地火星将成为人类的星球，人类将成为火星星人。不过也别太乐观了，这种前景除了

要面对技术和资金上的诸多困难外，在政治上也绝非没有反对意见。比如有些人就主张要保持火星的原生态，不能用地球生物来“污染”火星。跟持这种主张的人辩论当然不会有结果的——就像很多其他政治辩论不会有结果一样。不过换个角度思考也许会不无助益：载人登陆火星、向火星移民乃至将火星“地球化”若成为事实，乃是宇宙中一个星球上的高等生命向另一个星球自发扩散的现象。若联系到“稀有地球假设”⁴⁶，认为高等生命在宇宙中也许是稀有的，或即便不像“稀有地球假设”所认为的那样稀有，起码要比低等生命稀有得多，则那样的扩散也可视为是宇宙演化过程中的一个奇迹，远比你像火星那样的行星珍稀得多，我们难道不该对这种更珍稀的奇迹给予更多的支持吗？

2015年11月26日

⁴⁶ 关于“稀有地球假设”，可参阅《经典行星的故事》第3章。

卢昌海电子书·之十七

■■■ 作者的其他电子书 ■■■

11. 《我的“疫年纪事”》
12. 《漫话科学哲学》
13. 《微言录》（三集）
14. 《致编辑·报刊卷》
15. 《乱世学人》
16. 《致编辑·图书卷》

□□□ 更多电子书可查阅 □□□

<https://www.changhai.org/articles/introduction/ebooks.php>