

# 数学家让日本成为第三个绕月国家

蒋 迅

1991年，日本宇航局发射了第一颗飞向月球的卫星“飞天号”（Hiten<sup>1</sup>），它还携带了一个小一点的月球轨道环绕器“羽衣号”（Hagoromo）。日本人希望“飞天号”把“羽衣号”推送出去，让“羽衣号”落入月球引力场，日本就成为继美苏之后第三个环月的国家了。但好事多磨，“羽衣号”被推出去之后，日本宇航局就与它失去了联系。日本人希望改用母星“飞天号”去完成“羽衣号”的任务，但是“飞天号”根本不是为环月设计的，它所携带的燃料也不够。于是美国国家航空航天局喷气推进实验室（NASA Jet Propulsion Laboratory, JPL）的两位科学家为日本人设计了一条新的轨道。这使得日本实现了成为



图 1. 日本“飞天号”卫星（来源：Spaceflight Insider/Go Miyazaki）

<sup>1</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Hiten>.



图 2. 贝尔布鲁诺在一次天文学会上演讲  
(来源: 维基百科 / Edward Belbruno)

第三个完成绕月国家的梦想。这其中的关键人物就是美国数学家贝尔布鲁诺 (Edward Belbruno<sup>2</sup>)。

### 1. 加入 NASA 喷气推进实验室

贝尔布鲁诺 1951 年在德国海德堡出生。当时他的父亲是驻德国的美军军官。两岁的时候，他的父母返回美国后定居在康涅狄格州。他就在那里长大并在当地的社区学院学习两年。他从小就聪明，和小伙伴一起做科学实验，15 岁就得到了国家科学基金。社区学院的数学老师对他影响很大。两个小时的考试他可以在 15 分钟做完并全对。他后来因为在社区学院的优异成绩而获得了一个慈善组织的全额资助，从纽约大学获得数学的学士学位，接着从纽约大学库朗所获得数学博士学位 (1981 年)。他的导师是德裔美国数学家莫泽 (Jurgen Moser)。1960 年代，莫泽严格证明了后来称作“柯尔莫哥洛夫 - 阿诺尔德 - 莫泽理论” (KAM theorem) 的天体力学领域里的重要结果。这个结果解决了平面限制性三体问题的稳定性问题。毕业后，贝尔布鲁诺本来是要当一名大学教授，但当他真在波士顿大学当上教授以后，他才发现自己并不喜欢这个职业，答疑、批改考卷这些事情太繁琐。他是要做研究的人。他毫不犹豫地辞了

<sup>2</sup> <http://edbelbruno.com/>.

职。JPL 找到了他。他想，也许 NASA 那种研究机构更合适，于是他接受了 JPL 的邀请，当上了轨道分析设计师。从 1985 年到 1990 年，他参与了“伽利略号探测器”、“麦哲伦号金星探测器”、“卡西尼-惠更斯号”、“尤利西斯号”、“火星观察者号”等 NASA 航天器的轨道的设计。

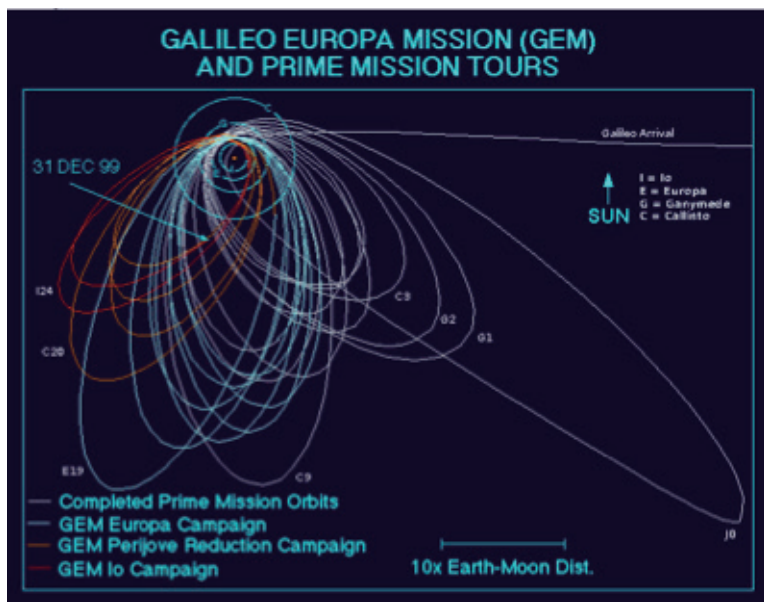


图 3. “伽利略号探测器”主要任务示意图（来源：JPL）

在 JPL 的第一年也不是那么顺心。“伽利略号探测器”飞向木星的轨道设计是他的第一项任务。设计出这样一条轨道后并不是任务的结束。因为当得到了一条轨道之后，人们自然会问：有没有一条更好的轨道呢？或者，当卫星没有严格按这条轨道飞行又会出现什么状况呢？所以科学家们必须计算成千上万的轨道，而它们之间都只有数秒之差。不要小瞧这几秒的差别。这个差别影响了很多设计上的结果：卫星的重量、体积、受热、燃料、引擎、结构、气动、受热等方面都需要重新计算。这在工程上叫做“多领域多目标限制分析优化”，属于系统工程的范畴。每一个领域都有自己专门的分析软件。大量的参数都是互相关联的。如果没有一个整合平台把它们联系起来，那么这项工作是非常浪费时间并相当复杂的。“伽利略号探测器”是一个花费纳税人 40 亿美元的项目，系统工程和优化是绝对需要的。但是对于贝尔布鲁诺来说，找到了第一条轨道后，乐趣就没有了。这样的系统工作有点无聊。他是一名做研究的数学家。他要做把自己的思想火花释放出来的那种工作。

## 2. 设计弹道月球捕获轨道

第二年，他被调离“伽利略号探测器”团队。JPL 要求他找到一条地月轨道并使得卫星环月飞行。当时 JPL 正在做一个概念性的研究，把电力驱动的卫星送往月球。JPL 的要求是：从航天飞机发射出去，用很小的引擎慢慢地将卫