

## 创新·严谨·团结·奋进

当前位置：首页 > 科学传播 > 力学园地 > 科普花园

### 科普花园

#### 【科普花园】《新世纪飞天梦》连载（21）航天员实现了人类飞出地球的夙愿（之四）

发布时间：2023-09-21

**编者按：**《新世纪飞天梦》是中国科学院力学研究所的王柏懿和林烈两位研究员撰写的一部科普小书。它图文并茂，以通俗的语言、严谨的分析和详实的史实，展示了人类不懈追求升空飞天的艰辛历程，说明了各类航天飞行器的基本原理和主要功能，还介绍了航天大师钱学森。承蒙作者的盛意，他们同意以网络书的形式在本网站上发表全书内容。该书主要是为小学高年级和初中的学生们编写的，有些较为专深的相关知识则采用“小贴士”“知识链接”和“你知道吗？”等框图形式在文中给出。

#### 航天员实现了人类飞出地球的夙愿（之四）

王柏懿

#### 5.4 你听说过“打气漂”吗

小朋友们也许玩过“打水漂”的游戏？是啊，只要捡来扁平的一块石头（或者薄薄的一片碎瓦），用力擦着水面抛出，就OK了。抛出的石头碰到了水面就会被弹起，继续向前飞出，再碰水面又会被弹起，再向前飞出……这样一碰一弹一飞，反复多次，直至石头落入水中。这种

游戏，既可以单人玩开心——休闲游戏，也可以好几个伙伴一起玩比赛——竞技体育。要知道，它可是人类最古老的游戏之一，据推测从石器时代就开始了。2014年，一名美国人创造了一次打了88下的打水漂世界纪录。这表明直到现在“打水漂”还受到不少人们的喜爱。



图 5-4-1 打水漂是人类最古老的游戏之一

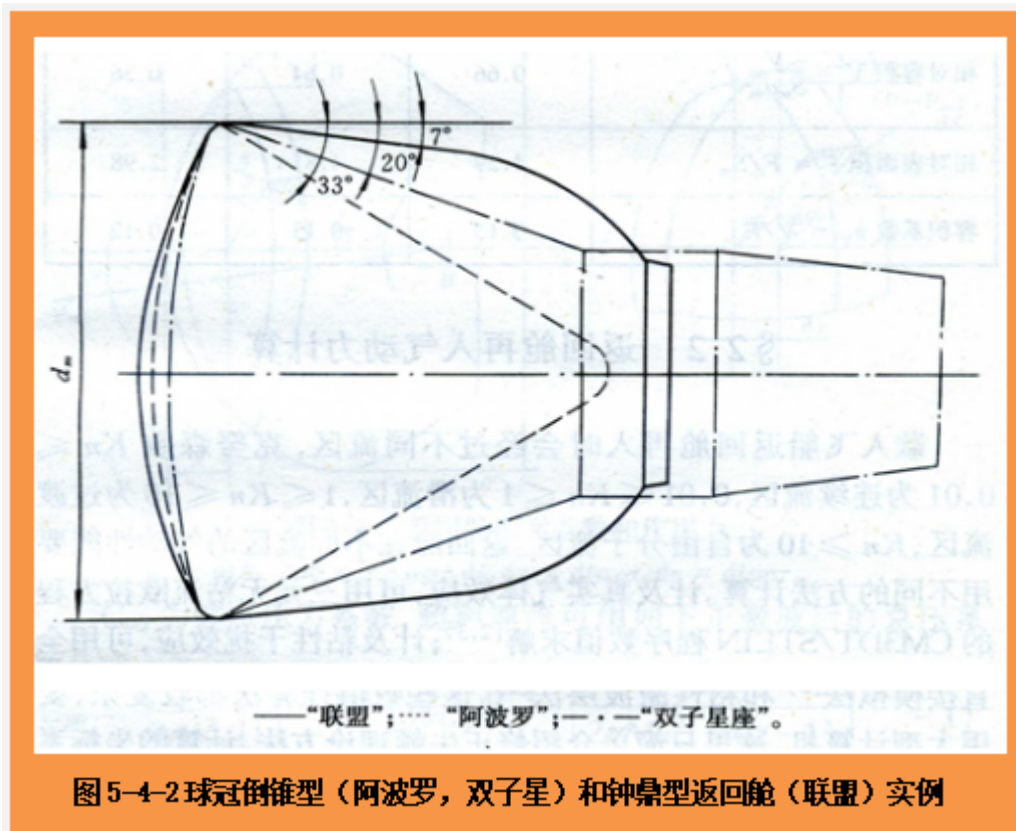
喜欢刨根问底的小朋友又会发问了：为啥石片会在水面上这样“一碰一弹一飞”地向前飘飞呢？哈哈，这里面涉及到许多力学知识，有空气动力学、流体力学、刚体力学等等；这里面涉及到许多物理现象，包括旋进、液体表面张力、动量守恒、万有引力、弹性、摩擦等等；这里面还涉及到许多性能参数，例如石头的大小、形态、表面构造以及水的粘性系数等等。这不是一两句话就能解释清楚的，许多科学家倾心研究过这个问题，甚至有位英国皇家学会的史密斯教授还提出了一个“可以实现最完美投石”的方程式。这里，只能告诉小朋友的是：对于“打水漂”来说，石头抛掷的平动速度和旋转速度、还有“触水角度”是决定性的条件，而触水角度又是其中最为重要的因素，科学家给出了一个20度左右的“梦幻角度”。

“打水漂”的事情就讲到这里吧，因为咱们的主题是“打气漂”。它还有个说法是“太空打水漂”，所以和航天器返回地面有密切关联。这个问题也是在返回舱进入大气层后的再入段里发生的，而且也是关系到返回舱安全着陆的大事情。从理论上讲，航天器再入轨道有四种：弹道式，滑翔式，跳跃式和椭圆式。

最后那种“椭圆式”方式是返回舱在制动火箭作用下脱离原来的运行轨道后，进入一条新的、在大气层内的椭圆轨道，再利用大气阻力，使椭圆形运行轨道逐步衰减，经过若干圈的绕飞以后，最终落入地面。显然，这种再入轨道方式，周期十分长，落点难以估计，而且要多次穿越地球辐射带会损害航天员健康，所以一般返回舱都不会采用，但可以作为一种应急备份方案。

前面那种“弹道式”呢？这是一种没有任何控制的再入轨道。返回舱在制动火箭作用下脱离原来的运行轨道后，便在地球引力影响下沿着单调下降的“弹道”落下并直达地面，就像打出的炮弹达到最高点以后下落的路线一样。这也是这种再入轨道名称“弹道式”的来历。这种方式的过载很大，对航天员的健康不利，而且落点精度差，散布范围大。但是有着技术简单、容易实现的优点。

至于“滑翔式”再入，要求返回舱是一个滑翔体，在大气层中可以产生升力并能加以控制。这样，在再入过程中，可以使返回舱在纵向或侧向上做小范围的机动飞行，因此过载小、落点精度高。航天飞机就是采用这种再入方式，它有着像飞机一样的外形，完全可以产生升力并予以控制。

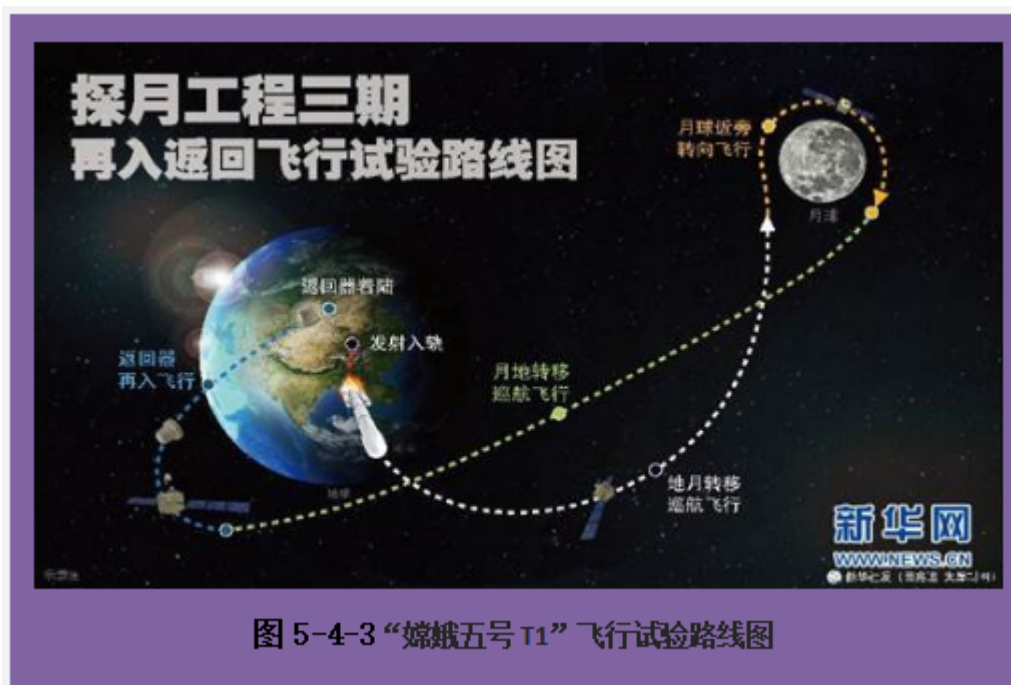


但是对于一般有着倒锥型或者钟鼎型外形的载人返回舱而言，怎么产生升力呢？这类返回舱的头部一般不是平直的而是球面的一部分，后身是倒锥形或钟鼎形的，所以航天科学家把这类外形叫做是“球冠”倒锥型或者钟鼎型。这个“球冠”保证它们的最高热流能够满足防热的要求。当它们的对称轴线和飞行方向一致时（这时是所谓的“零攻角”飞行），空气不会对返回舱产生升力。但是，在有攻角飞行时，空气就会对返回舱产生升力，尽管这个升力值不大。此外，这个升力随着攻角值的不同而变化，而且升力值可正可负。经过空气动力学的分析，当攻角为负值时升力为正，这样就可能使返回舱向上飞行。那么，怎样让返回舱以一定的负攻角飞进大气层呢？

航天工程师想了一个巧妙的办法：让返回舱的重心配置在距离对称轴线一定距离的地方，由于重心偏离，返回舱在气流中就会形成一个侧倾角，使这个侧倾角正好等于所需要的负攻角。于是，返回舱再入大气层时就“自动”地会有升力产生了，所以这个侧倾角也常常被叫做“配平攻角”。

由于这类具有“球冠”倒锥型或者钟鼎型外形的返回舱再入大气层时，可能产生升力，它们就可以考虑采用“跳跃式”再入轨道了。从原理上讲，它是“弹道式”和“滑翔式”的混合运用，也有人把它叫做“半弹道跳跃式”或者“弹道—升力式”。对于半弹道跳跃式再入轨道，返回舱配平攻角的形成是十分关键的。因为回地的再入速度非常高，根本不可能依靠地面遥控指挥，只能靠返回舱的自主控制能力。

这种半弹道跳跃式再入方式，对于从地外星球返回的航天器，特别重要。下面我们就专门花一点篇幅，通过“嫦娥”回娘家的故事，给小朋友们做一个简要介绍。



2014年10月24日，作为一个探路尖兵，再入返回飞行试验器“嫦娥五号T1”在西昌卫星发射中心乘坐“长征三号丙”运载火箭发射升空，并准确进入近地点高度为209公里、远地点高度41.3万公里的地月转移轨道。除了起飞入轨以外，它还要经历地月转移、月球近旁转向、月地转移、再入返回和着陆回收等五个阶段，方可完成自己的任务——重点考察从距地约38万公里的月球返回地球这一段“回家”路该怎么走？

有的小朋友可能要问：“嫦娥回家”路是真的有这么难吗？我们的“神舟”飞船不是多次成功地返回了地面，2003年还实现了载人飞行与返回呀！原来，“神舟”是围绕地球运行的飞船，它返回地球的初速度大约等于第一宇宙速度（7.9公里/秒）；而“嫦娥”在完成绕月飞行后再进入地球大气层时，它的初速度就接近第二宇宙速度（11.2公里/秒）了。对于再入速度接近第二宇宙速度的“嫦娥”而言，如果不采取更有效的减速措施，返回舱落地时速度会太大，可能造成舱体的损毁，不仅航天员受不了，就是无人采样带回的样品也可能遭到破坏。这样一来，探月的成果就将荡然无存啦！那么，要采取哪些减速措施才能避免这种舱毁人亡的可怕结果呢？



先来看看“嫦娥五号T1”的返回程序，它的返回舱在距地面约5000千米处，和推进舱分离，随后就开始了回娘家的过程：（1）返回舱以10.8千米/秒的高速进入大气层，凭借空气阻力，实现初次气动减速；（2）返回舱在距地面约120千米的大气层边缘处，凭借空气升力，向上跃起，跳出大气层；（3）返回舱在到达跳出以后的最高点时开始逐渐下降并再次进入大气层，实施二次气动减速；（4）在降至距地面大约10千米高度时，返回舱的降落伞打开，在预定区域顺利着陆。

航天专家把这种“半弹道跳跃式”再入过程，形象地比喻为“打水漂”，因为它在大气层中有着“一入一出—再入”的过程。可是这里根本没有水啊，还是把它叫做“打气漂”吧！。当然，人们在地面上打水漂的游戏可是没法和返回舱的“半弹道跳跃式”再入过程相比的：“嫦娥五号T1”打一个“气漂”就跳跃了大约2万公里！

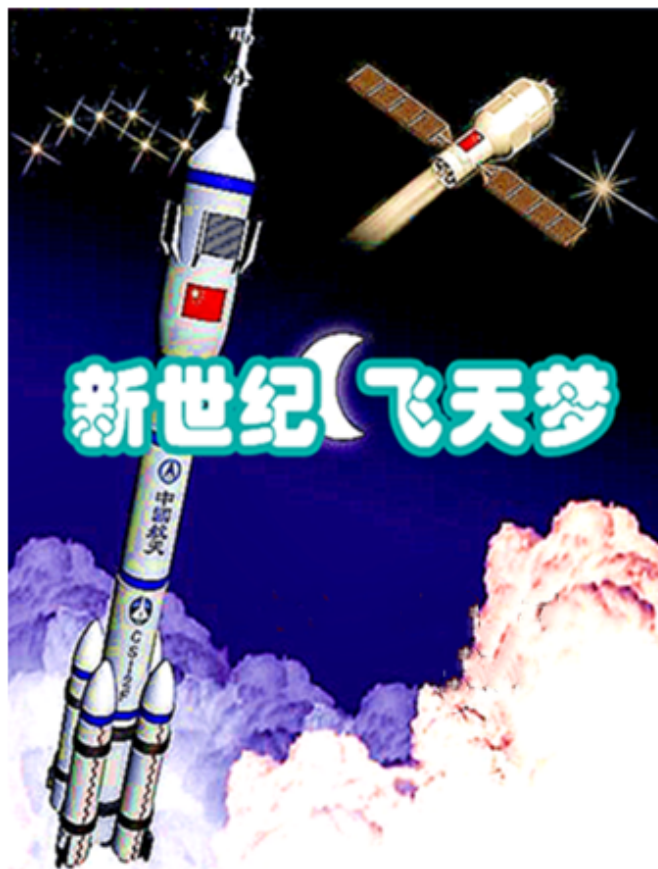


不难理解，“嫦娥”再入过程中的那一个“跳跃”动作（即所谓的“打水漂”）是生死攸关的一跳！如果跳不起来，“嫦娥”就会一头栽下摔个粉身碎骨；如果跳过了头，“嫦娥”就会逃离大气层，无法二次再入而在太空里游荡，既回不了娘家也去不了夫家。小朋友们已经知道了，返回舱进入大气层后能够跳起来的关键就是，它在负攻角的配平姿态下具有一定的升力，可以让返回舱“上跳”起来离开大气层。这里，选定返回舱再入姿态非常关键，气体动力学家对于“嫦娥”返回舱这类钟鼎型外形的研究表明，配平攻角选为 $20^\circ$ 左右较为适合。这个数值和“打水漂”的 $20^\circ$ 梦幻角度如此相似，不知是不是为巧合呢？

尽管为了“嫦娥”的安全回家，我们的科学家已经进行了系统的地面实验、周密的计算机仿真推演，但是由于目前人们对地球大气特性的认识还不充分，对返回器高速返回条件下的气动、热防护、导航制导与控制系统的物理模型和数学模型的掌握还不完全，为确保“嫦娥五号”任务成功，必须把实验室从地面搬到天上，通过真实飞行，获取必要的试验数据。这次“嫦娥五号T1”飞行任务就是航天研究中的一种飞行试验，是对理论分析模型、数值计算结果和地面模拟实验的最终验证。

小朋友们，实现新世纪的飞天梦，一定是漫长而又艰辛的征程啊！

（未完待续）



## 目录

- 1、悠悠飞天梦  
(作者: 林烈)
- 2、升空飞天是人类不断的追求  
(作者: 王柏懿)
- 3、火箭是实现飞天梦的推手  
(作者: 王柏懿)
- 4、为什么要建造空间站  
(作者: 王柏懿)
- 5、航天员实现了人类飞出地球的夙愿  
(作者: 王柏懿)
- 6、飞天征程上的第一站——飞往月球  
(作者: 王柏懿, 林烈)
- 7、飞天征程上的第二站——飞往火星  
(作者: 林烈)
- 8、放飞梦想, 奔向深空  
(作者: 林烈)
- 9、爱掷纸飞机的男孩怎样变成了航天大师  
(作者: 王柏懿)

上一篇: 【科普花园】《新世纪飞天梦》连载(22) 飞天征程上的第一站——飞往月球(之一)

下一篇: 【科普花园】《新世纪飞天梦》连载(20) 航天员实现了人类飞出地球的夙愿(之三)

版权所有 © 2023 中国科学院力学研究所 京ICP备05002803号-1 京公网安备110402500049

地址: 北京市北四环西路15号 邮政编码: 100190



