

网站地图 (<http://www.imech.cas.cn/serv/wzdt/>) |

联系我们 (http://www.imech.cas.cn/serv/lxfs/201212/t20121205_3698646.html) |

所内网 (<http://www.imech.cas.cn/serv/szxx/>) | 所内网 (<https://ioa.imech.ac.cn>) |



<https://mail.imech.cas.cn/> | [English \(<http://english.imech.cas.cn/>\)](http://english.imech.cas.cn/)

Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences

中国科学院 (<http://www.cas.cn/>)
(<http://www.imech.cas.cn/>)

Search



当前位置：首页 (../..../..../) >> 科学传播 (../..../..../) >> 力学园地 (../..../) >> 科普花园 (../..../)

【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）

2023-06-21 16:22

【放大 缩小】

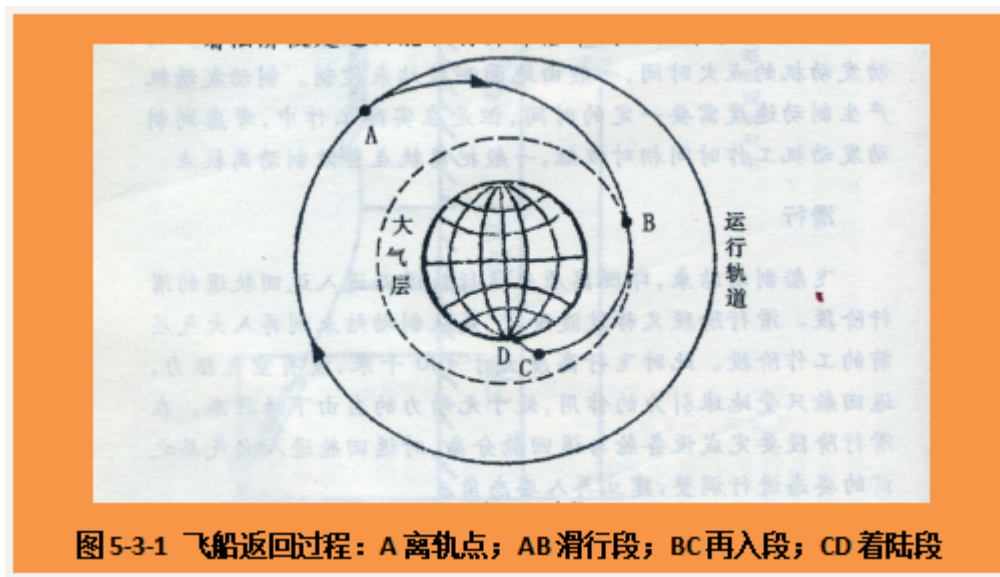
编者按：《新世纪飞天梦》是中国科学院力学研究所的王柏懿和林烈两位研究员撰写的一部科普小书。它图文并茂，以通俗的语言、严谨的分析和详实的史实，展示了人类不懈追求升空飞天的艰辛历程，说明了各类航天飞行器的基本原理和主要功能，还介绍了航天大师钱学森。承蒙作者的盛意，他们同意以网络书的形式在本网站上发表全书内容。该书主要是为小学高年级和初中的学生们编写的，有些较为专深的相关知识则采用“小贴士”“知识链接”和“你知道吗？”等框图形式在文中给出。

航天员实现了人类飞出地球的夙愿（之三）

王柏懿

5.3 有不让“火球”烧坏的办法吗

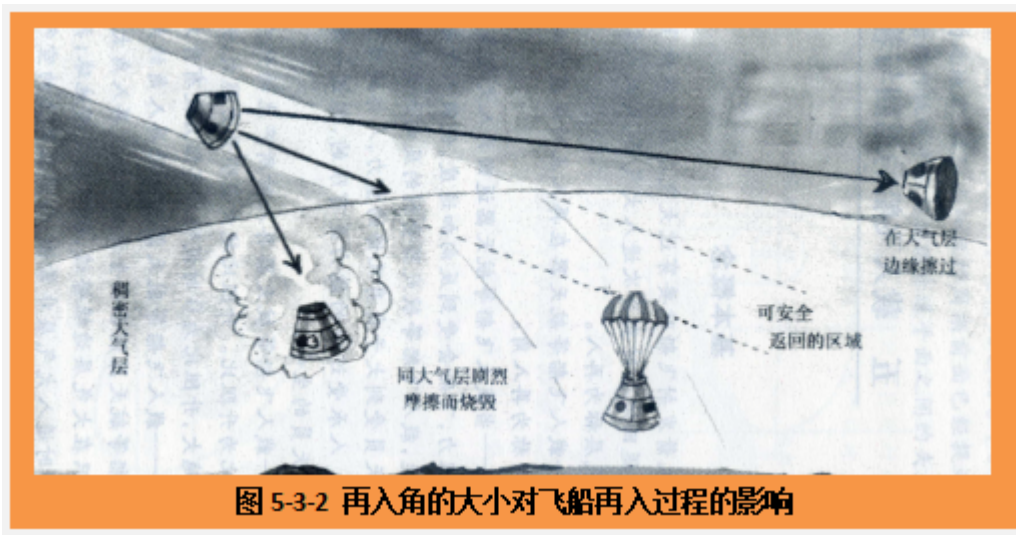
飞船在完成轨道飞行任务后，究竟要经过哪几个步骤才能回到地面呢？答案是：大体要包括离轨、滑行、再入和着陆等四个阶段。载人飞船安全回地过程中，在再入大气层阶段，有一个大大的难关是“热障”。这是怎么回事儿呢？不过，咱们还是先看一看整个返回地过程的图解吧！



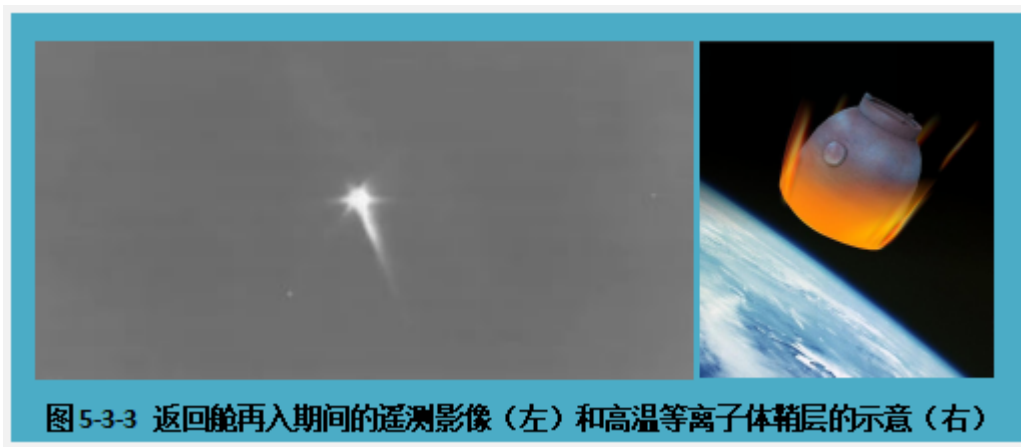
为了使飞船脱离原来绕地球飞的运行轨道,先要把飞船的姿态调整过来,使它指向地面,接着要使轨道舱和返回舱分离,然后再启动制动小火箭改变返回舱速度的大小和方向,使返回舱脱离运行轨道进入返回轨道。这里,由于飞船在运行轨道上的速度很高,为了确保离轨点的位置,制动火箭的点火时间要控制得十分精确。如果点火时间相差1秒,离轨点位置就会相差8千米左右了。除了离轨点的位置,返回舱在离轨点的速度也需要准确控制,因为飞船的再入角主要是由离轨点的位置和速度来决定的。而再入角的大小是影响飞船安全返回的一个重要因素。如果再入角太小,返回舱可能在大气层边缘擦过,不会回到地面;如果再入角太大,返回舱没有足够的减速就进入大气层,可能被烧毁。再入角只有在一定的范围内,返回舱才会安全落到地面。这个可安全返回的区域,也叫做“再入走廊”。是啊,它就像一条窄窄的廊道,通过这条走廊飞行的返回舱才是安全的。

小贴士

“再入角”是返回舱开始进入大气层的速度方向和当地水平面的夹角。



返回轨道分为滑行段、再入段和着陆段三个阶段。“滑行段”是从制动结束到再入大气层之前的工作阶段，此时飞行高度大于100千米，没有空气阻力，只有地球引力，飞船以无动力飞行状态自由下降。当高度降到距离地面100千米左右时，推进舱和返回舱分离，推进舱在穿越大气层时烧毁，返回舱继续下降。而此时返回舱还要再进行一次姿态调整，来建立正确的再入姿态。“再入段”是指飞行高度从100千米到15-10千米之间的工作阶段。此时飞船在大气层中高速飞行，由于它对于前方空气的压缩以及和周围空气的摩擦，产生了巨大的热量，表面附近的空气温度大大增加，端头部的温度甚至可以升高到6000°C-10000°C。由于温度这么高，空气就会发生电离，这样在飞船周围就形成了一个高温等离子体鞘层。所以，返回舱在再入大气层过程中，就像一个大“火球”从天而降。



由于有这样一个高温的鞘层包裹着，返回舱的表面材料要承受十分严酷的加热（即所谓的“气动加热”），这就是航天工程师所说的“热障”难关。而且和“热障”同时存在的“黑障”又使得防热问题更加火上加油了。因为这个鞘层中的空气是电离的，处于等离子体状态，无线电波无法通过，飞船和地面之间的通讯联系就全部中断了，这就是航天工程师所说的“黑障”难关（即所谓的“通讯中断”），它发生在高度为80-40千米的区间。到距离地球约40千米处，返回舱的速度降低了许多，与大气的摩擦也就减轻了许多，鞘层的温度下降，等离子体不复存在，于是黑障就消失了，地面测控部门又重新可以捕获到返回舱的信息并加以控制。

“着陆段”是指返回舱的降落伞打开直到安全降落地面的阶段。当返回舱距离地球约15-10千米时，伞舱盖打开，并连续完成拉开引导伞、减速伞、主伞等动作，使飞船的速度从200米/秒左右降到10米/秒以下。在距离地面2米左右时，反推火箭点火，使飞船以1-2米/秒的速度的“软着陆”方式安然无损地落到地面。

你知道吗

目前对于“软着陆”有两种理解。一种是广义的，是指返回舱经过减速装置（如降落伞）减速后以一定的安全着陆速度（一般是6—8米/秒）着陆。另一种是狭义的，是指返回舱在经降落伞减速后临近地面时再采取附加的减速措施（如反推火箭）以更符合航天医学要求的着陆速度（一般是0—2米/秒）着陆。而“硬着陆”就是没有任何减速措施而直接撞击到地面的着陆方



图 5-3-4 返回舱返回全过程图示

小朋友们在了解了返回全过程之后，一定十分关心这样的问题：像一个“火球”那样的返回舱在再入过程中会不会烧坏？因为没有一种金属可以耐得住几千度的高温啊！是的，航天工程师想了各种防热措施，不然的话，返回舱在穿越大气层过程中，就会像陨石一样被烧为灰烬。

一般说来，再入防热有三种方式：一是“吸热式防热”，利用导热性能好、熔点高和热容量大的金属材料（如钛合金）做成返回舱的蒙皮，它会吸收大部分的气动热，使得进入内部的热量减小，不过这种方式的防热能力有限。二是“辐射式防热”，采用辐射散热的方式把气动热驱散离开返回舱表面，用作蒙皮的材料有耐高温合

金、陶瓷或复合材料，这种方式也不能用于热流十分大的情况。三是“烧蚀式防热”，有意识地让一部分蒙皮材料烧掉（热解、熔化、蒸发或升华等），从而把热量带走，以此来保存主要结构不受损伤，常用的烧蚀材料有石棉-酚醛、玻璃-酚醛、高硅氧-酚醛等无机复合材料。

当然，最终解决航天器回地防热问题，要依靠各方面的知识。例如，小朋友们知道在空中的飞行器都有着流线型的外形，但是返回舱大都是倒锥体或者钟形体，为什么呢？原来是空气动力学家证明了“钝头体”是减少气动加热的理想外形，所以返回舱回地时都是底面朝前的，真是个大笨钟啊！又如，材料科学家发明了各类新型的防热隔热材料，为航天工程师的防热设计提供了物质基础。刚开始的时候，烧蚀材料不够先进，所以返回舱的防热设计只得采用“混合式”：温度最高的前体采用烧蚀式，温度较低的后体采用“辐射式”或“吸热式”。近年来，随着烧蚀材料的不断发展，特别是实现了低密度化，全烧蚀防热结构成为一次性返回舱最常用的防热方式。

当然，真正做好防热设计，是一个让航天工程师绞尽脑汁的事情。因为就像前面提到的那样，它涉及了气动力学、传热学、材料科学、结构学等方方面面的问题。即使用理论分析的方法计算出了结果，也必须通过大量的地面试验来验证才具备可信性。

就以烧蚀防热来说吧。搞清楚了返回舱再入时遇到的热环境之后，就要在地面上创造出类似的高温环境来，然后在这种模拟的环境中来试验烧蚀材料的防热隔热特性，这样才能决定：为了保证返回舱不被烧坏，到底要选择哪种材料？到底烧蚀层应当是多厚？地面试验常常使用的一类设备是电弧加热器，它利用电弧来加热气体，产生高温气流，像一股亮亮的火焰喷射出来。科学家就利用这股喷焰来模拟再入热环境。只要把由不同烧蚀材料制成的模型放到试验气流中，测量出单位时间烧掉多少材料（即所谓的材料“烧蚀率”），就可以评定出不同材料的烧蚀特性。把这些数据交给航天工程师，他们就可以选定最佳烧蚀材料，还可以确定烧蚀层的厚度等设计参数。



图 5-3-5 可用于材料烧蚀实验的直流电弧加热器

知识链接

“电弧加热器”是指利用电弧对气体加热产生温度高达几千度甚至上万度气流的实验装置，用以模拟高速飞行器前方受压缩的高温气体对飞行器的加热过程。

“电弧”是一种气体放电现象。当电流通过某些绝缘介质（例如空气）时，介质被电击穿而产生的火花，被称为电弧，

烧蚀地面试验还会使用的另一类设备是火箭发动机，它是利用燃料燃烧产生的高温高速气流来模拟再入热环境。与电弧加热器相比，火箭发动机产生的气流温度较低一些，但速度可以更高一些，而且由发动机喷管出口尺寸比较大，可以做更大模型（甚至是全尺寸模型）的烧蚀实验。所以，不同的试验设备有不同的特点，航天科学家根据不同的目的和要求，来选择最适合的设备做实验。



图 5-3-6 火箭发动机的喷焰可以用于进行大尺寸烧蚀模型的地面试验

小朋友们，在返回舱防热设计中，烧蚀防热的这种“以烧对付烧，以火攻克火”的想法很有点新奇吧？摒弃传统、另辟蹊径，是一种创新思维，这对于我们实现新世纪的飞天梦是很重要的啊！

（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)



中国科学院 (http://www.cas.cn)
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

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

地址: 北京市北四环西路15号 邮编: 100190

(http://bszs.conac.cn/siteName?method=show&id=081D2D6355AD574EE053022819ACCBA7)

