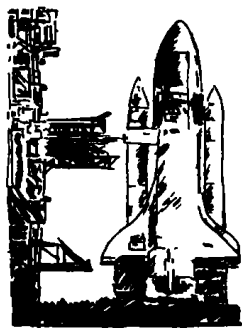


载人飞船的基本物理知识

张永梅

(南京航空航天大学应用物理系 南京 210016)



2003年10月15日、16日,中国首次载人航天飞行取得了圆满成功,中华民族探索太空的千年梦想终于实现了。

“神五”载人飞船的成功发射,是我国航天史上的一件具有里程碑意义的大事,它标志着我国在高科技发展上迈出了具有重大历史意义的一步。它不仅振奋民族精神,激励广大学生发奋学习,勇攀高峰,也是对青少年进行科普教育的良好契机。

飞船的发射和运行,涉及了许多基本的物理知识,而一般的物理课本中对此阐述不够,或内容比较分散。本文就相关知识点做整理和概括,并进行适当地阐述,以激发学生的学习兴趣。

火箭飞行原理——动量守恒定律

火箭是宇宙航行的运载工具。火箭飞行时,燃料在燃烧室中燃烧,向火箭飞行的相反方向不断喷

出速度很大的气体,使火箭获得很大的动量,从而获得巨大的前进速度。

为简单起见,设火箭在自由空间飞行,即它不受引力及空气阻力等任何外力的影响,则火箭系统是满足动量守恒的。因为火箭是变质量系统,不能仅从始末状态来考虑,而要从 t 到 $t+dt$ 时刻的元过程来分析。把某时刻 t 时的火箭(包括火箭体和尚存的燃料等)作为研究对象。设 t 时刻,火箭质量为 m ,速度为 v 。经过 dt 时间,火箭体的质量变为 $m+dm$ (dm 为负值),火箭体的速度变为 $v+dv$,喷出气体的质量为 $-dm$,其喷出时相对于火箭体的速度为 u ,根据动量守恒,有

$$mv = (m + dm)(v + dv) + (-dm)(v - u)$$

展开此等式,略去二阶小量,得: $dv = -u dm/m$

设火箭点火时质量为 M_0 ,初速度为 v_0 。燃料燃烧完后,火箭质量为 M_f ,速度为 v_f ,对上式积分,

20世纪地质学上“活动论”与“固定论”之争,揭开这场论战序幕的是德国地球物理学家魏格纳的大陆漂移说的提出。魏格纳在1915年出版的《海陆的起源》一书中对大陆漂移学说作了系统的论述,首次提出了大陆运动的思想,即在地球的全部演化史上,大陆并不是永恒地固定在现在所处的位置上,在历史上的某一个时期,它们曾聚集在地球的两极。但是,漂移理论一提出,立刻引起强烈的反响,许多地质学家、地球物理学家对这一学说都持否定态度。直到50年后,美国普林斯顿大学地质学家赫斯提出海底扩张说,有力地支持了大陆漂移说。同时,观测和探测技术迅速发展,如回声测深技术、深海钻探技术、人造地球卫星、精密地震测量以及古地磁学、海洋地质学、地震学的兴起和发展,对地球科学革命起了重大的推动作用,板块构造也就随着应运而生。

板块(构造理论)模型是在1968~1969年间由美国普林斯顿大学的摩根、拉蒙特地质研究所的法国地质学家勒比雄和英国剑桥大学的麦肯齐提出的。他们在前人研究的基础上,把整个地球岩石圈划分为六大板块(欧亚板块、非洲板块、美洲板块、澳

洲板块、南极板块和太平洋板块)和若干小块,板块是位于软流层上的刚体块体,它的运动方向与转换断层平行。板块的边界处是构造运动最活跃之处,板块之间的相对运动是全球构造运动的基本原因。板块的边界按应力状态可分为三种情况:拉开,两侧板块相背离去,如全球裂谷系;挤压,两侧板块相对运动,如海沟;剪切,两侧板块互相滑过,如转换断层。

在大陆漂移、海底扩张基础上建立起来的板块构造模型,是一个全新的地壳运动模型,解决了魏格纳生前一直未解决的漂移动力问题,使人们对地球构造运动机制有了更深刻的认识,是一场名副其实的地质学革命。

作者简介

胡祥发,男(1947—)湖南祁东县人,昆明陆军学院副教授,主要从事物理和物理实验教学及教学研究。

张发现,男(1973—)云南祥云县人,昆明陆军学院助教,主要从事物理和物理实验教学及教学管理。

有

$$\int_{v_0}^{v_f} dv = -u \int_{M_0}^{M_f} \frac{dm}{m}$$

由此可得火箭增加的速度： $v_f - v_0 = u \ln \frac{M_0}{M_f}$

可见火箭增加的速度和喷气速度成正比，也和火箭始末质量比的自然对数成正比。这个结论指出了提高火箭速度的方法。

在目前的技术条件下，喷气速度可达到 2500ms^{-1} 左右。如果要使火箭的速度达到 7900ms^{-1} ，根据上式计算所需的质量比为 24，这样的质量比单级火箭是无法实现的，必须采用多级火箭，一级的燃料用完后时，壳体自行脱落，同时二级火箭被点燃。以此下去，火箭最终获得很大的速度。当然，实际上由于空气阻力和地球引力的影响，最后达到的速度比理论计算值要低。

行星运动定律

早在 1609 年，开普勒就提出了行星运动定律，指出行星的运动轨迹是椭圆，行星在近日点和远日点的速度不同，并给出了“调和关系”，即行星运动周期的平方和轨道半长轴的三次方成正比： $T^2 = kr^3$ 。

“神五”被送入轨道以后，相当于一个人造地球卫星绕地球运动，类似行星绕太阳的运动，因此“神五”的运动也符合行星运动定律。下面我们来验证“调和关系”。行星运动的椭圆轨道的偏心率很低，接近正圆，为了简化，我们把轨道当作正圆来处理。飞船做圆周运动的向心力由地球施加的万有引力来提供： $mv^2/r = GMm/r^2$ 。

解此方程可得飞船运转速率： $v = \sqrt{GM/r}$ 。

即轨道半径 r 越大，运转速率越低。而运转周期： $T = 2\pi r/v$ 。

整理后可得： $T^2 = 4\pi^2 r^3/GM$ 。

这就是开普勒第三定律。常数 k 由万有引力常数 G 和地球质量 M 代入后求得 $k = 0.9887 \times 10^{-13} \text{s}^2/\text{m}^3$ 。

“神五”号周期 $T = 91 \text{分} = 5460 \text{秒}$ ，轨道半径 $r = ?$ 。由上式求得轨道半径： $r = 6.705 \times 10^6 \text{m}$ 。

轨道半径减去地球平均半径 $R = 6.36 \times 10^6 \text{m}$ ，即得飞船离地面的高度： $h = 345 \text{km}$ ，与报道当中的飞行高度非常接近。

超重和失重

谈到太空飞行，大家自然联想到失重，物体在飞船舱内会飘浮起来，飞行员在舱内站着睡觉同躺

着睡觉一样舒服。航天员杨利伟后来接受记者采访也谈到在飞船中进餐的乐趣：用手轻轻一碰，食物就到嘴边了。那么，飞船中的失重到底是怎么回事呢？

当飞船在空间自由飞行时，飞船只受到地球对它的万有引力作用，所做的运动是匀速圆周运动，万有引力充当向心力。设飞船质量为 m_1 ，则有：

$$GMm_1/r^2 = m_1v^2/r$$

这时坐在舱内的宇航员，当然做同样的匀速圆周运动。假设宇航员质量为 m_2 ，宇航员受到作用力有万有引力和座椅对他的支持力，则有：

$$GMm_2/r^2 - N = m_2v^2/r$$

把上两方程联立求解则得到 $N = 0$ 。这说明座椅对宇航员的支持力为 0，反过来宇航员对座椅的压力为 0。也就是说，宇航员和座椅之间没有任何作用力。如果把座椅换成磅秤，则磅秤的读数为 0。这就是失重，即宇航员处于完全失重的状态。飞船中的任何物体都和宇航员一样处于完全失重，完全自由的状态。所以飞船内的物体会自由飘浮。

然而，人体在长时间的失重状态下会损坏健康，并难以恢复。这是因为人体是在“正常”重力下经过几百万年的进化而成的。人体的机能在很大程度上依赖于这种一直存在的重力。工程师们想出一种办法，那就是利用转动效应，在宇宙空间中产生模拟重力。

两个宇宙舱一起被送入轨道，然后每个宇宙舱的控向小火箭使它们旋转，同时两者间的连接缆绳松开，直至两者相距几百米。两个舱绕着它们的公共质心 C 以一定角速度 ω 转动。宇航员“站在”舱内的地板上，从地板上获得他转动所需的向心力。如果舱的角速度适当，这个向心力可以等于重力 mg ，即： $m\omega^2 r' = mg$

其中 r' 是宇航员到他们公共质心的距离。如果 $r' = 100 \text{米}$ ， $g = 9.8 \text{米/秒}^2$ ，可算得： $\omega = \sqrt{9.8/100} = 0.31 \text{rad/s}$ 。

这个数值就相当于每 20 秒左右两个宇宙舱绕公共质心转一圈。一个质量为 m 的人站在地面上，地面给他的支持力是 mg ；而在旋转的宇宙舱内的宇航员，舱的地板供给他的向心力也是 mg 。他会感觉有什么不同吗？生理上不会有异常感觉。如果他想拿起一样东西，也必须像在地球上一样用同样的力气。这就是宇宙飞船上的假摸重量。