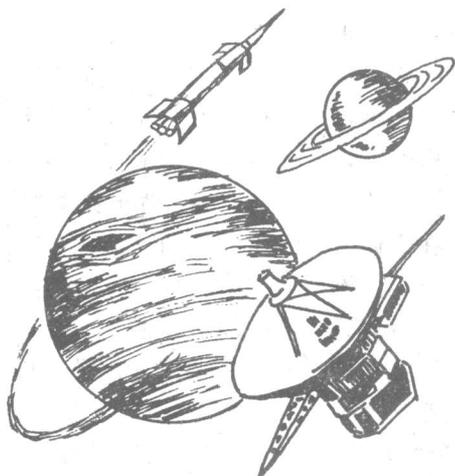


利用行星引力加速发射第三宇宙火箭

邓小玫

(合肥工业大学物理系 安徽 230009)

利用行星引力加速在航天技术中有着重要的应用。美国1977年发射的宇宙飞船旅行者1号和2号就是利用途经行星的引力加速,实现了人类到遥远的外行星的航行。旅行者1号首先考察了木星,并利用木星的散射加速后又考察了土星,而



后飞出太阳系,旅行者2号以同样方式考察了木星和土星,并再次利用土星加速后,飞向天王星和海王星,完成了对它们的考察,历时仅12年,而直接向海王星发射宇宙飞船需要30年。

一、途经行星的引力加速

火箭在进入以行星引力为主,而被行星短时俘获期间,行星可看作匀速直线运动,火箭相对行星的运动是一双曲线轨道的散射。火箭经行星散射后,相对太阳系的出射速度 v_f 的大小为

$$v_f = |v_0 + u_f| = \sqrt{v_0^2 + u_i^2 + 2v_0 u_i \cos \alpha} \quad (1)$$

其中 v_0 为行星的运行速度, u_f 表示火箭离开行星引力场时相对行星的速度,其大小 u_f 与火箭进入行星引力场时相对行星的速度 u_i 的大小 u_i 是相等的, α 表示火箭出射方向 u_f 和行星运行方向的夹角。显然当 $\alpha = 0$ 时,即火箭的出射速度 u_f 和行星的运行方向一致时,火箭得到最大

加速。然而条件 $\alpha = 0$ 并不都能满足。由引力散射理论可以计算

$$\alpha = \psi - \theta_s \quad (2)$$

其中 ψ 为火箭相对行星的入射速度 u_i 和行星运行速度 v_0 之间的夹角。

$$\theta_s = 2\sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2E}{m} \left(\frac{h}{k^2}\right)^2}} \quad (3)$$

为火箭绕行星散射时的偏转角,即火箭相对行星的入射速度 u_i 和出射速度 u_f 之间的夹角。其中

$$E = \frac{1}{2} m u_i^2, \quad k = GM, \quad h = r^2 \dot{\theta} \text{ 由于}$$

$$h = r_{\min} \cdot \sqrt{u_i^2 + \frac{2GM}{r_{\min}}} \quad (4)$$

其中 r_{\min} 为火箭离行星的最近距离。当 $r_{\min} = R$ 时 (R 为行星的半径), $h = h_{\min}$ 取最小值, $\theta_s = \theta_{s \max}$ 取最大值。则有

$$\theta_{s \max} = 2\sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 4\left(\frac{u_i}{v_2}\right)^2 + 4\left(\frac{u_i}{v_2}\right)^4}} \quad (5)$$

其中 v_2 为行星的第二宇宙速度。显然,当 $\theta_{s \max} > \psi$ 时,可以通过控制火箭相对行星的入射条件(通常可通过控制瞄准距离)使 $\theta_s = \psi$,从而使飞船达到最大加速。当 $\theta_{s \max} < \psi$ 时, $\alpha_{\min} = \psi - \theta_{s \max}$, 则火箭经行星散射后相对太阳系的最

声,使人听到这些声音时从心理上不觉得烦躁。如刹车的刺耳声、盘子碰撞声,便可用风扇之类较柔和的噪声来掩蔽。有时,甚至通风和空调噪声、公路上连续不断的交通车辆的噪声以及

喷水池声音等都可以作为良好的掩蔽噪声源。一般来说,如果待掩蔽的噪声声压级低于掩蔽声的声压级,利用一种噪声来掩蔽另一种噪声通常可取得满意的效果。

大出射速度为

$$v_{f\max} = \sqrt{v_0^2 + u_i^2 + 2v_0u_i \cos \alpha_{\min}} \quad (6)$$

二、发射中途行星加速火箭的第三宇宙速度 v_3

众所周知的第三宇宙速度 $v_3 = 16.7\text{km/s}$, 指的是在地球最佳方向上直接发射逃逸太阳系的宇宙火箭的最小速度. 然而, 若通过精确的轨道计算, 使火箭途经太阳系的行星进行加速, 可使这个速度有一定的减小.

为简单起见, 本文只讨论火箭途中经行星一次加速的情况. 当火箭经行星散射加速后的出射速度 $v_{f\max}$ 满足条件 $v_{f\max} \geq \sqrt{2}v_0$ 时, 并能够

飞离太阳系. 由公式(6)可进一步得

$$u_i^2 + 2v_0u_i \cos \alpha_{\min} \geq v_0^2 \quad (7)$$

上式的求解一般很复杂. 我们假设从地球(近日点)向行星发射的火箭在远日点和行星相会. 由机械能守恒得

$$v_p = \sqrt{2}v_e \sqrt{\frac{a_0}{a_0 + a_e}} \quad (8)$$

v_p 为火箭和行星相遇的近日点的最小速度. 其中 v_e 为地球绕太阳的公转速度, a_e 为地球的公转轨道半径, a_0 为行星的公转轨道半径. 在这种情

表1

| 行星 | 行星轨道半径 a_0 (天文单位) | v_0 (km/s) | v_2 (km/s) | v_p (km/s) | u_i (km/s) | α_{\min} | $v_{f\max}$ (km/s) |
|-----|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| 火星 | 1.5 | 24.1 | 5.0 | 32.9 | 2.2 | 88° | 24.3 |
| 木星 | 5.2 | 13.1 | 59.5 | 38.9 | 5.6 | 21° | 18.5 |
| 土星 | 9.5 | 9.6 | 35.6 | 40.4 | 5.3 | 34° | 14.3 |
| 天王星 | 19.2 | 6.8 | 21.2 | 41.4 | 4.6 | 48° | 10.5 |
| 海王星 | 30.1 | 5.4 | 23.6 | 41.7 | 4.0 | 38° | 8.9 |

况下, $v_i = \frac{a_e v_p}{a_0}$, $u_i = v_0 - v_p$, $\psi = \pi$, $\alpha_{\min} =$

$\pi - \theta_{\max}$. 火箭经行星散射时的有关数据见表1.

由表1可知, 除火星外, 上述情况下火箭经行星一次散射加速后都能逃离太阳系进入星际空间. 考虑到发射宇宙火箭还要克服地球引力, 由公式

$$v_3 = \sqrt{(v_p - v_e)^2 + v_2^2} \quad (9)$$

可以计算由地面发射经行星引力加速的宇宙火箭的第三宇宙速度, 见表2

表2

| 加速行星 | 木星 | 土星 | 天王星 | 海王星 |
|--------------|------|------|------|------|
| v_3 (km/s) | 14.3 | 15.2 | 16.0 | 16.2 |

由表2可知, 火箭经行星引力加速的情况下, 其第三宇宙速度和直接发射宇宙火箭的第三宇宙速度 $v_3 = 16.7\text{km/s}$ 相比都有一定量的减小. 由此可见, 利用行星引力加速发射太空火箭, 不仅能节省能量, 还能大大缩短航行时间, 这在未来的星际航行中是具有重大意义的.

科苑快讯

日本开发出毫米波多普勒雷达

据《科技日报》报道 今年6月23日, 京都大学和三菱电机公司宣布, 他们已联合开发出日本首台毫米波多普勒雷达.

毫米波多普勒雷达最早是由美国大气海洋局研制成功, 目前世界上只有几台在工作. 多普勒效应表明动态物体因其行动速度不同, 所发出的电波、声波的频率也不相同. 这种雷达就是利用从目标物传来的反射波与原发送波的

频率差来测定目标物的位置和移动速度.

本次新开发的雷达, 天线直径为2m, 发出的电波为8—9mm波长的毫米波. 当电波照射到雾上, 利用发送电波和接受反射波的频率差, 即多普勒效应, 不仅能确定雾的存在而且可确定雾的移动方向和速度. 这台雷达已设置在位于日本滋贺县信乐町的京大超高层电波研究中心信乐MU观测所. (卞吉 秦宝 编)