

第9章

航天器行星际轨道设计

一、实验目的

- (1) 了解大行星的星历计算方法。
- (2) 掌握航天器经大行星引力加速的过程。
- (3) 能够应用兰伯特问题解决实际问题。

二、实验原理

为了设计切实可行的行星际太空任务，我们必须确定给定时刻的行星状态矢量。本设计采用表 3.12 所列的行星轨道根数及其世纪变化率，该表涵盖的时间为 1800—2050 年，且精度足够符合本次设计使用需求。已知轨道根数，就可以推算出行星的状态矢量。步骤如下：

第 1 步，计算 2023—2033 年的大行星的星历。将 2023—2033 年按照等间隔离散，如以 30 为间隔离散化。将飞行时间（0~2 年）离散化，利用兰伯特问题求解航天器飞出地球影响球时的日心速度，进而计算该处的特征能量函数。利用此部分数据，可以画出 Pork-Chop 发射能量等高线图。选取发射能量最小的轨道。

第 2 步，利用行星飞越知识计算引力辅助后的速度。

第 3 步，利用火星和金星的位置矢量求解规定时间内从金星到达火星的兰伯特问题，得到一个所需的航天器离开金星的日心速度，然后比较该理想的航天器日心速度与第 2 步的借力后的速度是否匹配，若不匹配则重新寻找匹配的轨道。

三、实验内容

以二体问题为模型，从地球发射航天器探索火星，途中需经过一次无动力金星借力，寻找最优（总速度增量最小）的发射时间窗口和飞行时间，并绘制地球到金星的 Pork-Chop 发射能量等高线图。发射时间窗口为 2023—2033 年，总飞行时间不得大于 2 年。

四、扩展思考

- (1) 在整个轨道设计过程中，我们能控制的变量有哪些？哪些变量是我们无法控制，而由探测目标直接决定的？
- (2) 为什么选择金星进行引力辅助？这种方法有什么优缺点？

表 3.12 行星的轨道根数及其世纪变化率

行星	a/AU	e	$i/(\circ)$	$\Omega/(\circ)$	$\varpi/(\circ)$	$L/(\circ)$
	$\dot{a}/(\text{AU} \cdot C_y^{-1})$	$\dot{e}/(1 \cdot C_y^{-1})$	$\dot{i}/[(\circ) \cdot C_y^{-1}]$	$\dot{\Omega}/[(\circ) \cdot C_y^{-1}]$	$\dot{\varpi}/[(\circ) \cdot C_y^{-1}]$	$\dot{L}/[(\circ) \cdot C_y^{-1}]$
水星	0.38709893	0.20563069	7.00487	48.33167	77.45645	252.25084
	0.00000066	0.00002527	-23.51	-446.3	573.57	538101628.3
金星	0.72333199	0.00677323	3.39471	76.68069	131.53298	181.97973
	0.00000092	-0.00004938	-2.86	-996.89	-108.8	210664136.1
地球	1.00000011	0.01671022	0.00005	-11.26064	102.94719	100.46435
	-0.00000005	-0.00003804	-46.94	-18228.25	1198.28	129597740.6
火星	1.52366231	0.09341233	1.85061	49.57854	336.04684	355.45332
	-0.00007221	0.00011902	-25.47	-1020.19	1560.78	68905103.78
木星	5.20336301	0.04839266	1.3053	100.55615	14.75385	34.40438
	0.00060737	-0.0001288	-4.15	1217.17	839.93	10925078.35
土星	9.53707032	0.0541506	2.48446	113.71504	92.43194	49.94432
	-0.0030153	-0.00036732	6.11	-1591.05	-1948.89	4401052.95
天王星	19.19126393	0.04716771	0.76986	74.22988	170.96424	313.23218
	0.00152025	-0.0001915	-2.09	-1681.4	1312.56	1542547.79
海王星	30.06896348	0.00858587	1.76917	131.72169	44.97135	304.88003
	0.00125196	0.00002514	-3.64	-151.25	-844.43	786449.21

【算法描述】

确定行星在给定日期和时刻处的状态矢量。所涉及的角度计算均应调整在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间。太阳的引力常数为 $\mu = 1.327 \times 10^{11} \text{ km}^3/\text{s}^2$ 。

第1步，根据式

$$JD = J_0 + \frac{UT}{24} J_0 = 367y - \text{INT} \left\{ \frac{7 \left[y + \text{INT} \left(\frac{m+9}{12} \right) \right]}{4} \right\} + \text{INT} \left(\frac{275m}{9} \right) + d + 1721013.5$$

计算出儒略日 JD。

第2步，计算 T_0 ，即从 J2000 至题设所给出的日期之间的儒略世纪。

$$T_0 = \frac{JD - 2451545}{36525}$$

第3步，设 Q 为表 3.12 所列 6 个轨道参数中的任意一个，通过下述方程计算其在 JD 处