

天体力学的几个热点问题

刘 林¹ 季江徽² 王昌彬²

(1. 南京大学天文系 南京 210093)

(2. 中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

摘 要

阐述当今天体力学前沿课题中的几个热点问题: 近地小行星与地球的交会及其动力演化, 航天器定轨新手段中的星—星跟踪自主定轨方法以及星际探测中的轨道力学问题。

关键词 天体力学 — 小行星 — 航天器 — 定轨

分类号 P13

当今天体力学(理论和应用两个方面)的热点问题,涉及到太阳系动力学和宇航动力学的诸多方面,如:近地小行星的运动、起源与演化;航天测控的新手段,天基网与地基网对航天器的联合定轨;月球探测器与行星探测器的运动;……。下面将从轨道力学的角度分别介绍这三个方面的主要问题。

1 近地小行星的运动

近地小行星的主要特征是其轨道半长径与地球轨道半长径相近,或其近日点可接近地球轨道甚至穿越到地球轨道内部。因此,它们可与地球以及金星、火星十分接近,对地球的安全而言,是一类潜在的危险天体。正因为如此,特别引起人们的关注。除国际合作对近地天体进行搜寻和监测外,近年来对这类小天体运动的研究很自然地形成了一大热点。就轨道力学而言,主要有两大课题:

(1) 近地小行星与地球十分接近或发生碰撞的交会问题。精确预报这种交会状态至关重要,它关系到地球的安全。如果近地小行星和各大行星的轨道都是不变的椭圆,那么要预报交会时间和距离是容易的。但由于相互引力的作用和其它力学因素的影响,小行星和大行星的轨道都在不断地变化,而且无严格的解析公式可表达相应的变化规律,因此,确定交会的时间和距离就变得相当复杂,它必须采用精确的力学模型和相应的可靠算法。除此以外,还涉及到各大行星和月球等天体的精密星历,如果要完全独立地解决

这些问题,就涉及到一个求解包括各种快慢变量的高维的非线性常微分方程组。在积分方程组时,必须处理好小行星与几个大行星(包括月球)十分接近和各类快慢变量出现在同一方程组中的积分步长问题。在解决这些问题的前提下,我们预报的交会结果与国际小行星中心的结果基本相符^[1]。这一工作同时也推动了我们在大行星和月球精密星历计算方法的研究。

(2) 近地小行星的轨道演化问题。关于这类小天体的起源,目前虽不十分清楚,但已发现,有些近地小行星是由主带小行星演变而来,这是快变量引起的轨道共振与慢变量引起的长期共振两者叠加影响的结果,使其穿越火星轨道进入近地空间,对该问题的探讨,也丰富了天体力学中共振问题的研究内容。

2 天基网与地基网对航天器的联合定轨问题

随着卫星的应用愈来愈广泛,相应的测轨手段也在不断改进。对于测控网局部布站的情况,为了增加对中低轨卫星的观测弧段,从而达到提高定轨精度的目的,一个较理想的办法是用高轨卫星(GPS卫星、地球同步轨道中继卫星等)部分地代替地面站建立所谓的“天基网”。通常的中继卫星系统与GPS卫星系统类似,均由地面测站网来提供它们的精确轨道,使其成为相当于已知站坐标的空间观测站网,由这种测站网(下称测量星)对中低轨用户星进行观测和定轨,那么测量星的轨道误差(该误差还将随卫星的运动而增长)将给用户星定轨增加一个误差源。为此,可采用测量星和用户星联合定轨的方法来提高定轨精度,但这必须同时有地面站对测量星的采样资料,故是天基网与地基网联合定轨。一个中低轨星座中星—星相对测量与地面站对星座中一颗或几颗星(相当于测量星)的采样资料进行联合定轨亦是基于同一原理。但是,在特殊情况下,如果失去地面站的“支持”,又如何进行星—星跟踪的自主定轨?这也是航天测控手段发展中需要解决的一个新问题。该问题是一个实质性的不可观测问题(即亏秩问题),也就是几何上的“轨道漂移”。如果能采用有效的近似处理方法,实现这种自主定轨,并达到一定的精度要求,将具有很大的实用价值^[2]。

3 月球探测与行星探测中的轨道力学

这类探测器的运动与人造地球卫星的运动不同。一方面它们对应的力学模型不再是单一的受摄二体问题,将涉及一个限制性 $(n+1)$ 体问题^[3] $(n \geq 2)$,另一方面它又与变轨、制导以及优化等问题密不可分。既有无动力的引力加速(还有光压加速)机制,又涉及到飞行力学。这将导致传统的天体力学与飞行力学相联系而形成天体力学的一个新的生长点。随着我国航天事业的发展,这一问题将愈来愈引起重视。

除上述问题外,即使探测器接近目标天体经再一次变轨成为目标天体的卫星(亦称月球轨道器或行星轨道器),其绕目标天体的运动亦与人造地球卫星不尽相同。例如慢自转天体(月球和金星)卫星的运动,虽然同样对应于一个受摄二体问题,但无论是构造相

应的摄动分析解还是这类卫星的轨道变化规律都有其自身的特点，例如它们的极轨道卫星的轨道寿命一般都较短。

最后顺便提一句，若需要发射一些特殊的探测器，例如，将探测器发射到限制性三体问题的秤动点上，或仅靠引力或光压加速采用无动力的星际探测方式等，都将进一步推动限制性问题的研究。

参 考 文 献

- 1 Ji Jianghui, Liu Lin. *Science in China (series A)*, 2000, 43(10): 1114
- 2 刘迎春, 刘林, 王昌彬. *紫金山天文台台刊*, 2000, 19(2): 117
- 3 Szebehely V. *Theory of Orbits*, New York and London: Academic Press, 1967

Some Hotspots of Celestial Mechanics

Liu Lin¹ Ji Jianghui² Wang Changbin²

(*Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093*)

(*Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Abstract

This paper discussed some hotspots in the advanced field of celestial mechanics: asteroids encountering the earth and its dynamical evolvement, method of autonomy orbit determination with satellite-satellite tracking which is one of the latest methods and orbit dynamical problems in interplanetary probe.

Key words celestial mechanics—asteroids—space vehicles—Orbit determination