

·学科进展与展望·

卫星重力学基础研究前瞻

于 晟

(国家自然科学基金委员会地球科学部,北京 100085)

[摘 要] 重力卫星的发射将大大改善人们对地球重力场的认识,随着 CHAMP, GRACE, GOCE 卫星的发射将把现有静态中长波部分重力场的精度提高 1—2 个数量级,并提供长波部分重力场随时间变化的信息。这一进展为我国地球科学提供了新的机遇和挑战,本文对这一大地测量的新进展和相关的研究方向作了简单叙述。

[关键词] 重力卫星,地球重力场,CHAMP,GRACE,GOCE,基础研究

卫星重力学是继 GPS 之后大地测量学的又一重大进展,也是今后大地测量和地球物理的热点和前沿科学方向。1999 年 IUGG 大会以来,随着 CHAMP 卫星的成功发射,卫星重力研究成为国际大地测量学研究的焦点。这一学科的迅猛发展之势,对我国的科学家而言既是机遇又是挑战。从国家安全方面,卫星重力在一定程度上使得我国重力数据的保密受到威胁,应对此作出合理的评价并提出对策。从科学研究方面,如何利用国外已发射的重力卫星资料,为我国的重力卫星研究打好基础、建设队伍,提出自己的科学思想,取得有特色的成果已成为迫在眉捷的问题。

1 地球重力场研究现状

地球重力场是地球的基本物理场之一,重力场及其时变反映了地球表层及内部的密度分布和物质运动状态,同时决定着大地水准面的起伏和变化,因此,重力场的研究一直是大地测量学的热点之一。

目前静态的地球重力场的确定主要依靠地面重力观测 + 卫星测高 + 卫星跟踪资料这一经典模式。其中低阶重力场的信息主要依靠地面对空间多颗人造卫星的跟踪资料恢复提取,中短波长的重力场信息来自于地面重力观测 + 卫星测高资料。自 20 世纪 80 年代中期已可利用人造激光测距技术测定 6 阶以下的地球重力场带谐系数的时变量。近十年来有关地球重力场的研究表明,继续沿用经典的地球

重力场恢复模式,其静态部分无论是在空间分辨还是精度上都不会再有明显改善,其时变部分由于大气对低轨卫星定轨的影响也达到了极限,必须寻找更有效的方法^[1,2]。

2 卫星重力学原理

早在 20 世纪 70 年代初,利用卫星技术及星载重力仪研究重力场的概念就已提出,进入 20 世纪 80 年代后较多欧美学者开始针对不同的专用重力卫星观测方案进行了数值模拟计算,同时专门进行重力观测的卫星系统设计和卫星的试验也逐步开始,经过 20 年的论证和试验,最终卫-卫跟踪和卫星梯度观测模式为国际大地测量界普遍接受^[1]。

(1) 卫-卫跟踪技术

卫-卫跟踪技术是指空间的两颗卫星之间的精密测距测速跟踪,由于 GPS 技术的发展又演化为高低卫-卫跟踪和低低卫-卫跟踪。高低卫-卫跟踪利用低轨卫星(高度 500 km 左右)上的星载 GPS 接收机与 GPS 卫星构成对低轨卫星的空间跟踪网,同时低轨卫星上载有卫星加速计以补偿低轨卫星的非保守力摄动(主要是大气阻力),其跟踪精度达到毫米级,恢复低阶重力场精度可以提高一个数量级以上,对应的低阶大地水准面精度达到毫米级^[3]。低低卫-卫跟踪技术是指两颗低轨卫星,相距 200 km 左右,以微米级的测距测速精度相互跟踪,同时与 GPS 卫星构成空间跟踪网,恢复低阶重力场精度可以提高

本文于 2001 年 11 月 8 日收到。

2 个数量级以上,且中波长的地球重力场测定精度也相应提高一个数量级以上。另外由于卫-卫跟踪卫星的寿命设计达 5 年左右,因此可以精确测定中低阶地球重力场变化。

(2) 卫星重力梯度技术

卫星重力梯度技术是指在低轨卫星上载有高精度的超导重力梯度计,测定空间在轨卫星处的重力梯度张量。由于观测量为地球重力场的二阶导数,因此卫星重力梯度观测有能力恢复地球重力场的高阶部分(达 180 阶左右),其精度可提高一个数量级以上。但由于这类卫星的寿命只有 1 年左右,仅能用于地球重力场的静态研究。

3 重力卫星研究进展

尽管卫星重力学的概念及其预研开始较早,其可行性及前景也非常明确,但由于空间技术的复杂性,以及高精度的卫-卫跟踪和重力梯度计研制的困难,国际上重力专用卫星计划及其实施历程坎坷,至今已 30 年,直到近年才有重大转机。2000 年 7 月德国发射了高低卫-卫跟踪的重力卫星 CHAMP,迈出了卫星重力学研究的重要一步^[4]。随后由美国为主,美欧合作的低低卫-卫跟踪的重力卫星 GRACE 也将计划于 2001 年中发射升空^[5]。CHAMP 卫星作为卫星重力学研究的先导和试验,而 GRACE 卫星预计将能充分展现卫星重力学的主要功能和优越性。预计在 2005 年欧洲空间局将发射载有高精度重力梯度计的 GOCE 卫星^[6]。因此,从现在起的未来几年内,世界各国科学家呕心沥血孕育的卫星重力学将最终得以实现。在 1999 年的 IUGG 大会 Union 报告和决议中卫星重力学被各国科学家视为大地测量乃至地学研究的里程碑。然而由于卫星重力学最终的实践只是近几年的事情,其高精度的观测资料还没有(或只有极少的试验资料)获取,其科学应用潜力还有待验证和发掘。

4 卫星重力学应用

由于利用卫星重力观测资料恢复地球重力场将大大提高其时空分辨率及精度,同时重力场变化直接描述了地球动力学系统的物质变化,因此卫星重力学不仅对大地测量及全球环境变化等研究有重要的科学意义,而且对我国的基础测绘服务和国防建设有重要的实用价值。以下仅列出其主要部分:

- (1) 全球覆盖的统一的重力基准及高程;
- (2) 地幔热结构,大陆根深度,地幔柱;

(3) 活动地区的构造运动;

(4) 动力海面地形与大地水准面分离及其洋流研究;

(5) 地球卫星的精密定轨;

(6) 与卫星测高联合研究海洋的膨胀与非膨胀变化;

(7) 全球海洋质量变化和海底压力;

(8) 海平面长期变化的监测;

(9) 冰融,降雪和陆地水的变化;

(10) 冰后回升及地幔粘滞度;

(11) 地球各圈层的角动量变化和相互作用;

(12) 中国区域重力网、大地水准面和高程系统;

(13) 卫星及远程武器定位和测控;

5 卫星重力学基础研究展望^[2]

卫星重力学不仅有广泛而重要的地球科学应用,而且对国家的国防基础建设有重要意义。为了迎接这一机遇和挑战,促进我国卫星重力学研究及其在地学中的应用,国家自然科学基金委员会地球科学部于 2001 年 8 月 23 日在中国科学院测量与地球物理研究所召开了“卫星重力学”研讨会。与会代表就卫星重力学的有关科学问题及我国的研究对策展开了充分的讨论,认为:

卫星重力学是继 GPS 之后,大地测量学研究的又一重大科学进展。利用卫星重力资料将使确定地球重力场和大地水准面的精度提高一个数量级以上,并可测定高精度的时变重力场。因此,卫星重力学的科学应用将涉及许多地球科学领域,对研究:地球的形状及演化及其动力学机制;地球参考系及全球高程系统;地球的密度及地幔物性参数;洋流和海平面变化;冰融和陆地水变化;地球各圈层的变化及相互作用等,有其他地球物理方法不可替代的作用。作为地球物理场之一,高精度的时变重力场将是研究全球变化中物质运动的重要手段。高精度的地球重力场的确定还有重要的实用价值:精化和统一我国地球重力场和大地水准面是国家测绘发展的要求;卫星重力可大大改变我国西部重力稀疏和低精度的状况,以适应国家西部开发和军事需求;高精度的地球重力场信息能大大提高远程武器的命中率;独立自主的重力场研究可确保我国在航天领域需求,“九五”和“十五”期间全面发展卫星测高和卫星重力技术已列入有关计划中。

根据我国卫星重力学研究的现状和与先进国家水平的差距,应打好基础,确定有限目标和切入点,

全国同行协作,在以下几方面重点开展工作:

(1)CHAMP 高低卫-卫跟踪反演地球重力场的研究

(i)利用 CHAMP 卫星资料解算低阶重力场系数:研究资料处理中的算法、非适定性问题等,编制相应的模拟和实测资料分析软件;用实测资料解算低阶重力场系数(36阶)及其变化。

(ii)CHAMP 高低跟踪模式对重力场系数解算精度的影响。

(2)GRACE 低低卫-卫跟踪反演地球重力场的模拟解

(i)GRACE 低低卫-卫跟踪模型及对重力场系数解算精度的影响。

(ii)GRACE 解算中长波重力场的数值模拟解(100阶)。

(3)卫星反演重力场的地学应用

(i)海平面变化中海水质量变化和温盐度变化的分离。

(ii)大气、海洋和地表水分布的估计和对重力场变化的约束。

(iii)大地水准面位 W_0 的测定和高程统一,地心变化的确定。

参 考 文 献

- [1] 许厚泽. 卫星重力研究:21世纪大地测量研究的新进展. 测绘科学, 2001, 26(3):1-3.
- [2] 国家自然科学基金委员会地球科学部. 卫星重力学研讨会纪要. 2001.
- [3] 沈云中. 应用 CHAMP 卫星星历精化地球重力场模型的研究[D], 2000.
- [4] Reigber Ch, Scwintzer P. CHAMP, A Challenging Micro-satellite Payload for Geophysical Research and Application. Final Report[R]. GFZ, Potsdam, 1995.
- [5] GRACE-Gravity Recovery and Climate Experiment: Science and Mission Requirements Document, Revision A, JPLD-15928, 1998.
- [6] ESA: Gravity Field and Steady-state Ocean Circulation Mission (GOCE). In: Report for Mission Selection: The Four Candidate Earth Explorer Core Mission, ESA SP-1233/1, 1999.

BASIC RESEARCH AND SATELLITE GRAVITY MISSIONS

Yu Sheng

(Department of Earth Science, NSFC, Beijing 100085)

Abstract The Satellite gravity mission will greatly improve our knowledge of the gravity field of the earth. Launching of satellites CHAMP, GRACE and GOCE in recent few years can increase the accuracy of the static long and medium - wavelength parts of present gravity field up to 1 - 2 order of magnitude, and provide the time variation of long - wavelength part too. This paper gives a brief introduction on this new progress and describes the new challenges and opportunities on basic research in the field of Geodesy.

Key words satellite gravity mission, gravity field of the Earth, CHAMP, GRACE, GOCE, basic research