第 51 卷 第 1 期　　天 文 学 报　　Vol.51 No.1
2010 年 1 月　　ACTA ASTRONOMICA SINICA　　Jan., 2010

卫星跟踪卫星模式中轨道参数需求分析*

郑 伟 [1,2†]　许厚泽 [1]　钟 敏 [1]　员美娟 [3]
周旭华 [1]　彭碧波 [1]

(1 中国科学院测量与地球物理研究所动力大地测量学重点实验室 武汉 430077)
(2 日本京都大学防灾研究所 京都 611-0011)
(3 武汉科技大学应用物理系 武汉 430081)

摘要　首次基于半解析法利用 GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) 双星 K 波段星间速度误差、GPS 接收机轨道误差和加速度计非保守力误差影响累计大地水准面精度的联合模型开展了卫星跟踪卫星模式中轨道参数的需求分析. 建议我国将来首颗重力卫星的平均轨道高度设计为 400 km 和平均星间距离设计为 220 km 较优. 此研究不仅为我国将来卫星重力测量计划中轨道参数的优化选取以及全球重力场精度的有效和快速估计提供了理论基础和计算保证, 同时对将来国际 GRACE Follow-On 地球重力测量计划和 GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory) 月球重力探测计划的发展方向具有一定的指导意义.

关键词　天体力学：人造卫星运动，方法：解析，地球：引力场
中图分类号：P 128;　　**文献标识码**：A

1 引言

21 世纪是人类利用卫星跟踪卫星 (SST) 和卫星重力梯度 (SGG) 技术提升对 “数字地球” 认知能力的新纪元. 地球重力场及其时变反映地球表层及内部物质的空间分布、运动和变化，同时决定着大地水准面的起伏和变化 [1−3]. 因此，确定地球重力场的精细结构及其时变不仅是大地测量学、天文学、海洋学、地震学、空间科学、国防建设等的需求，同时也将为全人类寻求资源、保护环境和预测灾害提供重要的信息资源 [4−5].

GRACE 双星由美国宇航局 (NASA) 和德国航天局 (DLR) 共同研制开发，已于 2002 年 3 月 17 日发射升空. GRACE 采用近圆 (轨道离心率 0.004) 、近极地 (轨道倾角 89°) 和低轨道 (轨道高度 500 km) 设计，卫星寿命为 5∼10 年 [6]. GRACE 利用 K 波段系统高精度测量星间速度，利用高轨 GPS 卫星对低轨双星精密跟踪定位，利用高精度

2008-08-24 收到原稿，2009-04-30 收到修改稿
* 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-143) 、国家高技术研究发展计划 (2009AA12Z138) 、国家自然科学基金 (40974045) 、中国科学院动力大地测量学重点实验室开放基金 (L09-14) 、湖北省自然科学基金 (2009CDB187) 和日本 JSPS 基盘研究项目 (B19340129) 资助
† wzheng@asch.whigg.ac.cn

SuperSTAR 加速度计测量作用于双星的非保守力. GRACE 双星系统既包含两组 SST-HL (Satellite-to-Satellite Tracking in the High-Low Mode), 同时以差分原理测定两个低轨卫星 (星间距离 220 km) 之间的相互运动. 因此, GRACE 不仅得到的静态和动态重力场的精度比 CHAMP[7−9] (Challenging Minisatellite Payload) 至少高 1 个数量级, 而且为 GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) 的高精度卫星重力梯度测量奠定了坚实的基础.

早在 20 世纪 60 年代, Baker[10] 首次提出了利用 SST 技术恢复地球重力场的重要思想. 自此以后, 国际大地测量学界的众多学者都积极投身于恢复地球重力场的方法与算法的理论研究 [11−12] 和模拟计算之中. 在利用卫星重力测量数据恢复地球重力场的众多方法中, 按照引力位系数解算方式的差异可分为空域法和时域法, 时域法主要包括 4 种类型: 轨道摄动法 [13−14] 、动力学法 [15−16] 、卫星加速度法 [17−18] 和能量守恒法 [19−27]; 按照卫星观测方程的建立和求解的不同可分为解析法和模拟法. 解析法是指通过分析地球重力场和卫星观测数据的关系建立卫星观测方程模型, 进而恢复地球重力场. 解析法的优点是卫星观测方程物理含义明确, 易于误差分析且可快速求解高阶地球重力场; 缺点是由于在建立卫星观测方程模型时作了不同程度的近似, 因此求解精度较低. 模拟法是指通过分析地球引力位系数和卫星观测数据的关系建立卫星观测方程, 并通过最小二乘法拟合出地球引力位系数. 模拟法的优点是地球重力场求解精度较高; 缺点是求解速度较慢且对计算机要求较高. 为了有效地综合解析法和模拟法的优点, 国际大地测量学界提出了基于半解析模拟法恢复地球重力场的思想. 目前, Jekeli 、Sneeuw 、Kim 、Loomis 等人在基于半解析法确定地球重力场方面作出了杰出的贡献 [28−31]. 本文首次基于半解析法利用 GRACE 各核心载荷误差影响累计大地水准面的联合误差模型, 快速和有效估计了 120 阶全球重力场的精度, 论证了我国将来首颗重力卫星的平均轨道高度和平均星间距离的最优设计, 展望了将来国际 GRACE Follow-On 地球重力测量计划和 GRAIL 月球重力双星探测计划.

2 方法

GRACE 双星 K 波段星间速度误差、 GPS 接收机轨道误差和加速度计非保守力误差联合影响累计大地水准面的误差模型如下 [32]

$$\delta N = R_{\rm e}\sqrt{\sum_{l=2}^{L}\frac{1}{2[1-P_l(\cos\theta)]}\frac{R_{\rm e}}{GM}\left(\frac{r}{R_{\rm e}}\right)^{2l+1}\sigma_l^2(\delta\eta)}. \tag{1}$$

其中, $R_{\rm e}$ 表示地球的平均半径; $P_l(\cos\theta)$ 表示 Legendre 函数, l 表示阶数, θ 表示地心角; GM 表示地球质量 M 和万有引力常数 G 之积; r 表示由卫星质心到地心之间的距离; $\sigma_l^2(\delta\eta)=\sigma_l^2(\delta\dot\rho_{12})+\sigma_l^2(\sqrt{\frac{4GM\tan^2(\theta/2)}{r^3}}\delta r)+\sigma_l^2(\sqrt{\int(\delta f)^2{\rm d}t})$, $\sigma_l^2(\delta\dot\rho_{12})$ 表示 K 波段星间速度方差, $\sigma_l^2(\sqrt{\frac{4GM\tan^2(\theta/2)}{r^3}}\delta r)$ 表示 GPS 接收机轨道方差, $\sigma_l^2(\sqrt{\int(\delta f)^2{\rm d}t})$ 表示加速度计非保守力方差.

基于半解析法，利用 $\delta\dot{\rho}_{12}$ 、 δr 和 δf 估计累计大地水准面误差的过程如下：

第一，基于 $\delta\dot{\rho}_{12}$ 、 δr 和 δf (如表 1 所示), 产生时间长度为 30 d 和采样间隔为 10 s 的正态分布的随机噪声.

表 1　GRACE 核心载荷精度指标匹配关系

Table 1　Matching relationship of accuracy indexes from GRACE key payloads

Observation	Accuracy index
Intersatellite range-rate	1×10^{-6} m/s
Orbital position	3×10^{-2} m
Nonconservative force	3×10^{-10} m/s^2

第二，利用 9 阶 Runge-Kutta 线性单步法结合 12 阶 Adams-Cowell 线性多步法数值积分公式模拟 GRACE 双星的星历．轨道数值模拟的参数如表 2 所示，模拟轨道如图 1 所示，模拟过程耗时约 2 h.

表 2　GRACE 双星轨道模拟参数

Table 2　Simulated orbital parameters from GRACE satellites

Parameter	Index
Earth's gravity field model	EGM96
Orbital altitude	500 km
Intersatellite range	220 km
Orbital inclination	89°
Orbital eccentricity	0.004
Duration	30 d
Sample interval	10 s

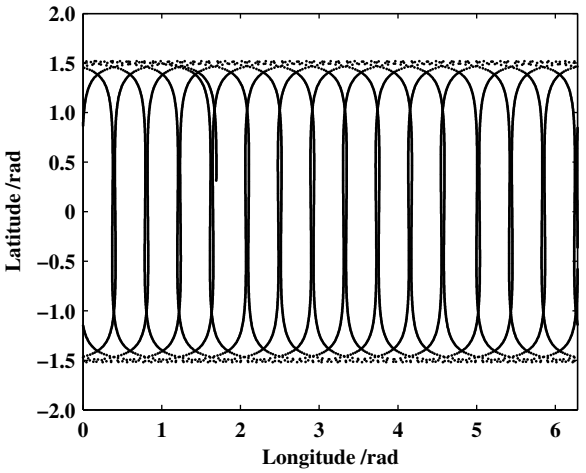

图 1　GRACE-A 卫星轨道模拟图

Fig. 1　Simulated orbit of GRACE-A satellite

第三, 首先以 $1^\circ \times 1^\circ$ 为网格分辨率, 在地球表面的经度 ($0^\circ \sim 360^\circ$) 和纬度 ($-90^\circ \sim 90^\circ$) 范围内绘制网格; 其次, 按照 GRACE 卫星轨道 (如图 1 所示) 在地球表面的轨迹点位置依次加入 $\delta\eta$; 最后, 将分布于地球表面的 $\delta\eta$ 平均归算于划分的网格点处 $\delta\eta(\phi,\lambda)$.

第四, 将 $\delta\eta(\phi,\lambda)$ 球谐函数展开为

$$\delta\eta(\phi,\lambda)=\sum_{l=0}^{L}\sum_{m=0}^{l}[(C_{\delta\eta}{}_{lm}\cos m\lambda+S_{\delta\eta}{}_{lm}\sin m\lambda)\overline{P}_{lm}(\sin\phi)]. \tag{2}$$

其中, ϕ 表示地心纬度, λ 表示地心经度; $\overline{P}_{lm}(\sin\phi)$ 表示规格化的 Legendre 函数, m 表示次数; $(C_{\delta\eta}{}_{lm}, S_{\delta\eta}{}_{lm})$ 表示 $\delta\eta(\phi,\lambda)$ 按球谐函数展开的系数

$$(C_{\delta\eta}{}_{lm}, S_{\delta\eta}{}_{lm})=\frac{1}{4\pi}\int\int\delta\eta(\phi,\lambda)\overline{Y}_{lm}(\phi,\lambda)\cos\phi\mathrm{d}\phi\mathrm{d}\lambda. \tag{3}$$

其中, $\overline{Y}_{lm}(\phi,\lambda)=\overline{P}_{l|m|}(\sin\phi)Q_m(\lambda)$, $Qm(\lambda)=(\cos m\lambda, m\geq 0; \sin|m|\lambda, m<0)$. $\delta\eta$ 在各阶处的方差表示为

$$\sigma_l^2(\delta\eta)=\sum_{m=0}^{l}(C^2_{\delta\eta}{}_{lm}+S^2_{\delta\eta}{}_{lm}), \tag{4}$$

将 (4) 式代入 (1) 式, 可有效和快速地估计全球重力场的精度.

3 结果

如图 2 所示, 实线、虚线和叉号线分别表示单独引入 K 波段星间速度误差、GPS 接收机轨道误差和加速度计非保守力误差估计累计大地水准面的精度. 从 3 条曲线在各阶处的符合性可验证表 1 中 GRACE 各核心载荷精度指标是匹配的, 因此基于半解析法可为研制的重力卫星提出各核心载荷精度指标的匹配关系.

如图 3 所示, 星号线表示德国地学研究中心 (GFZ) 公布的 120 阶 EIGEN-GRACE02S 地球重力场模型的实测精度 (平均轨道高度 H_0=500 km), 在 120 阶处累计大地水准面精度为 18.938 cm ; 实细线、虚细线、圆圈线、叉号线、三角线、实粗线和虚粗线分别表示基于卫星平均轨道高度 H_1=500km 、H_2=450km 、H_3=400km 、H_4=350km 、H_5=300km 、H_6=250km 和 H_7=200km 估计 GRACE 累计大地水准面的模拟精度. 在各阶处基于不同的卫星平均轨道高度估计 GRACE 累计大地水准面精度的统计结果如表 3 所示. 模拟结果表明: (1) 在 120 阶处, 当卫星平均轨道高度选择为 500 km 时, 累计大地水准面的误差为 18.549 cm. 通过模拟和实测累计大地水准面精度曲线在各阶处的符合性可知, 半解析法是恢复高精度和高空间解析度地球重力场的有效方法之一; (2) 当卫星平均轨道高度分别选择为 450 km 、 400 km 、 350 km 、 300 km 、 250 km 和 200 km 时, 累计大地水准面的误差分别提高了 2.284 倍、 5.206 倍、 11.807 倍、 26.575 倍、 58.514 倍和 122.841 倍.

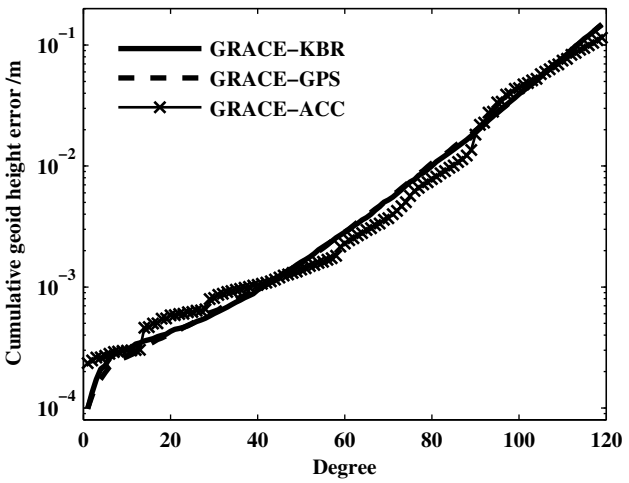

图 2　基于 GRACE 各核心载荷精度指标估计累计大地水准面精度对比

Fig. 2　A comparison of estimating cumulative geoid height errors based on the accuracy indexes of GRACE key payloads

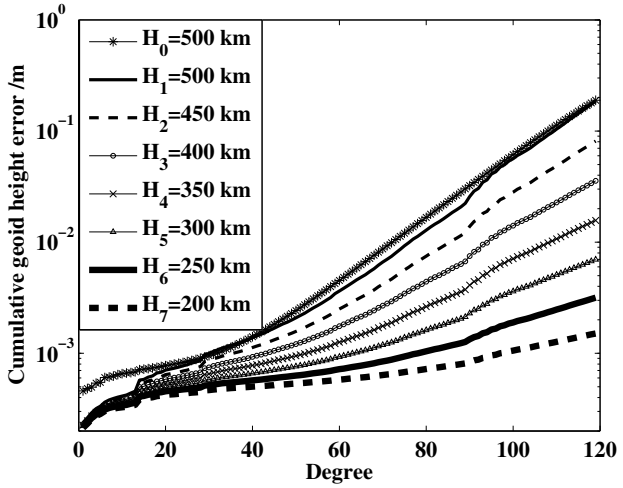

图 3　基于相同的平均星间距离 220 km 和不同的平均轨道高度估计 GRACE 累计大地水准面精度对比

Fig. 3　A comparison of estimating GRACE cumulative geoid height errors based on the same average intersatellite range 220 km and different average orbital altitudes

表 3 在各阶处基于不同的平均轨道高度累计大地水准面精度统计结果

Table 3 The statistics of cumulative geoid height errors using different average orbital altitudes at different degrees

Orbital altitude	Errors (10^{-2} m)				
	Degree 20	Degree 50	Degree 80	Degree 100	Degree 120
H_0=500km	0.076	0.228	1.566	5.756	18.938
H_1=500km	0.067	0.199	1.202	5.367	18.549
H_2=450km	0.062	0.152	0.707	2.695	8.123
H_3=400km	0.057	0.117	0.419	1.355	3.563
H_4=350km	0.052	0.093	0.253	0.685	1.571
H_5=300km	0.048	0.075	0.157	0.351	0.698
H_6=250km	0.045	0.062	0.102	0.185	0.317
H_7=200km	0.041	0.053	0.071	0.104	0.151

如图 4 所示, 圆圈线、实线和虚线分别表示基于平均星间距离 P_1=110km 、P_2=220km 和 P_3=330km 估计 GRACE 累计大地水准面的模拟精度. 在各阶处基于不同的平均星间距离估计 GRACE 累计大地水准面精度的统计结果如表 4 所示. 模拟结果表明: (1) 当估计长波 ($L \leq$80 阶) 地球重力场精度时, 随着平均星间距离逐渐增大 (110~330 km), 累计大地水准面的精度依次提高. 在 80 阶处, 基于 110 km 平均星间距离估计累计大地水准面的精度为 0.725 cm, 分别基于 220 km 和 330 km 平均星间距离估计精度提高了 1.730 倍和 1.997 倍; (2) 当估计中长波 ($80 < L \leq 120$ 阶) 地球重力场精度时, 基于 220 km 平均星间距离估计累计大地水准面的精度均高于 110 km 和 330 km 平均星间距离. 在 120 阶处, 基于 220 km 平均星间距离估计累计大地水准面精度为 3.563 cm, 分别基于 110 km 和 330 km 平均星间距离估计精度降低了 1.377 倍和 1.246 倍.

表 4 在各阶处基于不同的平均星间距离累计大地水准面精度统计结果

Table 4 The statistics of cumulative geoid height errors using different average intersatellite ranges at different degrees

Intersatellite range	Errors (10^{-2} m)				
	Degree 20	Degree 50	Degree 80	Degree 100	Degree 120
P_1=110km	0.113	0.226	0.725	2.098	4.908
P_2=220km	0.056	0.117	0.419	1.355	3.563
P_3=330km	0.038	0.083	0.363	1.425	4.439

4 结论与讨论

国际大地测量学界众多科研工作者经过 40 多年孜孜不倦的探索终将 SST 和 SGG 计划推向实际操作阶段. 国外卫星重力测量计划的成功实施对我国大地测量学界既存在机遇又不乏挑战. 我国应尽快汲取国外长期积累的成功经验, 积极推动我国卫星重力测量

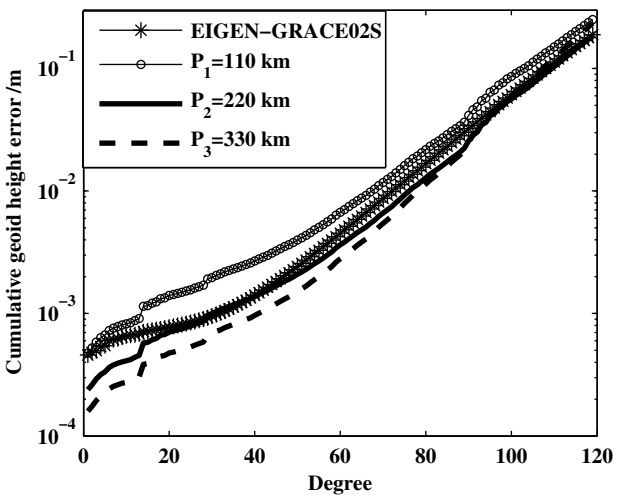

图 4　基于相同的平均轨道高度 400 km 和不同的平均星间距离估计 GRACE 累计大地水准面精度对比

Fig. 4　A comparison of estimating GRACE cumulative geoid height errors based on the same average orbital altitude 400 km and different average intersatellite ranges

计划的实施，加快我国研制重力卫星的步伐，通过卫星重力测量计划的实现带动相关领域 (天文、地学、航天、电子、通信、材料等) 的发展，进而达到推动国民经济的目的．由于卫星轨道高度是影响地球重力场恢复精度的最主要因素，因此本文基于数值模拟并通过综合考虑和分析，首先确定了适合于我国将来首颗重力卫星的优化轨道高度，其次基于选定的轨道高度进而论证了星间距离的优化选取．本文基于半解析法分别利用相同的平均星间距离 220 km 和不同的平均轨道高度 500 km 、 450 km 、 400 km 、 350 km 、 300 km 、 250 km 和 200 km 以及相同的平均轨道高度 400 km 和不同的平均星间距离 110 km 、 220 km 和 330 km 估计了 120 阶 GRACE 地球重力场的精度，建议我国将来采用的卫星跟踪卫星测量模式的首颗重力卫星的平均轨道高度可设计为 400 km, 平均星间距离设计为 220 km, 其原因分析如下：

(1) 利用重力卫星作为传感器进行地球重力场测量的最大弱点是卫星高度处的地球重力场成指数衰减 $[R_{\mathrm{e}}/(R_{\mathrm{e}}+H)]^{l+1}$. 随着重力卫星轨道逐步升高，地球重力场的长波信号衰减幅度较小，中波信号衰减幅度次之，短波信号衰减幅度最大．由于较高轨道的重力卫星对地球重力场中波和短波信号的敏感性较弱，不利于高频地球重力场的精密测量，因此适当降低卫星轨道高度可有效抑制地球重力场信号的衰减效应．但是，随着卫星轨道高度每降低 100 km, 作用于卫星的非保守力约增加 10 倍，不稳定的卫星平台工作环境将影响卫星各载荷的测量精度．因此，适当选取卫星轨道高度是恢复高精度和高空间解析度地球重力场的重要保证． GRACE 双星的轨道高度主要分布在距地面 450∼500 km 的空间范围．由于不同卫星轨道高度敏感于不同频段的地球重力场信号，因此 GRACE 双星仅能在特定轨道高度区间内高精度感测地球重力场．如果我国将来研制的重力卫星

的轨道高度和 GRACE 相同，其效果仅相当于其测量的简单重复，对于地球重力场精度的进一步提高没有实质性贡献. 因此，我国重力卫星的轨道高度应尽可能选择在 GRACE 的测量盲区，进而达到互补的效果. 因此，建议我国将来采用的卫星跟踪卫星测量模式中平均轨道高度设计为 400 km 较优 (卫星受到的非保守力约 10^{-6} m/s^2, 可通过星载加速度计精确扣除).

(2) 在测量低频地球重力场时，由于 GRACE 双星采用共轨编队飞行差分测量模式，如果星间距离选择太小，由于双星感测的重力场信号差别较小，在差分掉双星共同误差的同时重力场信号也将被大部分差分掉，导致信噪比较小，因此星间距离设计太小不利于长波地球重力场的测量；适当增加星间距离有助于地球重力场信噪比的提高，但星间距离设计太大将导致测量噪声急剧增加以及对 GRACE 双星轨道和姿态测量精度的要求提高，不利于中长波地球重力场的测量. 因此，建议我国将来采用的卫星跟踪卫星测量模式中平均星间距离设计为 220 km 较优，可有效抑制由于星间距离选取不当而导致的低频和中频地球重力场测量精度的降低.

综上所述，将我国首颗重力卫星的平均轨道高度设计为 400 km 和平均星间距离设计为 220 km 既能有效提高地球重力场恢复的精度，又能适当降低非保守力的急剧增加带来的负面影响，同时也符合我国目前重力卫星研制的具体国情.

5 展望

本文的研究为将来国际 GRACE Follow-On 地球重力双星测量计划、GRAIL 月球重力双星探测计划和太阳系火星及其它行星探测计划中全球重力场精度的有效和快速估计提供了理论基础和计算保证.

(1) 由美国 NASA 研制的 GRACE Follow-On 双星预计于 2013 年发射升空，轨道高度 250 km, 星间距离 50 km, 采用近圆、近极地和低轨道设计，专用于短波地球重力场 (空间解析度 55 km) 的精密探测. 它利用激光干涉系统高精度测量星间速度 (测速精度 1×10^{-9} m/s), 利用高轨 GPS 卫星对低轨双星精密跟踪定位，利用高精度加速度计测量作用于双星的非保守力 (测量精度 1×10^{-13} m/s^2), 利用无阻尼系统高精度补偿双星受到的非保守力. 因此，它所得到的静态和动态重力场的精度比 GRACE 至少高 1 个数量级.

(2) 自第 1 次探月高潮落幕以来，经 20 多年的成果转化后，当前国际第 2 次探月高潮渐开序幕. 基于 GRACE 双星 SST-HL/LL (Satellite-to-Satellite Tracking in the High-Low/Low-Low Mode) 的成功经验，美国喷气推进实验室 (JPL) 提出 GRAIL 将来月球探测双星计划，预计于 2011 年 9 月发射升空，轨道高度 50 km, 星间距离 175∼225 km, 采用近圆、极月和低轨道设计，其预期探测分辨率较目前地球重力场约高 100 万倍. GRAIL 实现了高科学价值和低技术风险的完美结合，不仅将创新的高精度地球重力场测量技术 SST 带到月球重力场探测中，同时未来有望将此技术应用于火星和太阳系其它行星的重力场探测之中. 基于 GRAIL 获得的月球重力场信息，不仅可以从月壳到月核对月球进行广泛而深入的分析，进而演绎月球内部的热量演化历史，同时将有助于回答长期以来有关月球的未解之谜，并为人类更好地理解地球以及太阳系中其它岩石行星的形成提供

新的理论依据.

致谢　感谢美国宇航局 (NASA) 、美国喷气推进实验室 (JPL) 和德国波茨坦地学研究中心 (GFZ) 提供了 GRACE 双星的相关资料. 感谢华中科技大学物理学院罗俊教授和日本京都大学防灾研究所徐培亮博士对本文的帮助.

参 考 文 献

[1] 许厚泽. 测绘科学, 2001, 26: 1
[2] 张捍卫, 许厚泽, 周旭华. 天文学报, 2004, 45: 88
[3] Zhang H W, Xu H Z, Zhou X H. ChA&A, 2004, 28: 348
[4] Zhong M, Naito I, Kitoh A. JGR, 2003, 108: 2057
[5] 周旭华, 吴斌. 天文学报, 2002, 43: 327
[6] 郑伟, 邵成刚, 罗俊. 大地测量与地球动力学进展. 武汉：湖北科学技术出版社, 2004: 328
[7] 蔡五三, 郑作亚, 冯初刚, 等. 天文学报, 2005, 46: 46
[8] 郭鹏, 严豪健, 黄　, 等. 天文学报, 2006, 47: 192
[9] Guo P, Yan H J, Huang C, et al. ChA&A, 2006, 30: 447
[10] Baker R M L. Orbit Determination from Range and Range-Rate Data. Semi-Annual Meeting of the American Rocket Society. Los Angeles: ARS Preprint, 1960
[11] 吴晓平. 测绘工程, 2001, 10: 1
[12] 姜卫平, 章传银, 李建成. 武汉大学学报：信息科学版, 2003, 28: 104
[13] Cheng M K. JGeod, 2002, 76: 169
[14] Xu P L. CeMDA, 2008, 100: 231
[15] 周旭华, 吴斌, 许厚泽, 等. 天文学报, 2005, 46: 62
[16] Reigber C, Schmidt R, Flechtner F. JGeo, 2004, 39: 1
[17] Ditmar P, van Eck van der Sluijs A A. JGeod, 2004, 78: 12
[18] 沈云中, 许厚泽, 吴斌. 地球物理学报, 2005, 48: 807
[19] Han S C. CeMDA, 2004, 88: 69
[20] Zheng W, Lu X L, Xu H Z, et al. PNSci, 2005, 15: 596
[21] 郑伟, 邵成刚, 罗俊, 等. 地球物理学报, 2006, 49: 712
[22] Zheng W, Shao C G, Luo J, et al. PNSci, 2008, 18: 555
[23] Zheng W, Xu H Z, Zhong M, et al. ChPhL, 2008, 25: 4482
[24] Zheng W, Xu H Z, Zhong M, et al. ChPhL, 2009, 26: 029101-1
[25] 郑伟, 许厚泽, 钟敏, 等. 大地测量与地球动力学, 2009, 29: 100
[26] 郑伟, 许厚泽, 钟敏, 等. 地球物理学报, 2009, 52: 1465
[27] 郑伟, 许厚泽, 钟敏, 等. 地球物理学报, 2009, 52: 1966
[28] Jekeli C, Rapp R H. Reports of the Department of Geodetic Science, No. 307. The Ohio State University, 1980
[29] Sneeuw N. A Semi-Analytical Approach to Gravity Field Analysis from Satellite Observations. PhD Dissertation, Technical University of Munich, 2000
[30] Kim J. Simulation Study of a Low-Low Satellite-to-Satellite Tracking Mission. PhD Dissertation, The University of Texas at Austin, 2000
[31] Loomis B. Simulation Study of a Follow-on Gravity Mission to GRACE. M.D. Dissertation, The University of Colorado, 2005
[32] 郑伟, 许厚泽, 钟敏, 等. 地球物理学报, 2008, 51: 1704

Requirement Analysis of Orbital Parameters in the Satellite-to-Satellite Tracking Model

ZHENG Wei[1,2] HSU Hou-tse[1] ZHONG Min[1] YUN Mei-juan[3]

ZHOU Xu-hua[1] PENG Bi-bo[1]

(1 *Key Laboratory of Dynamic Geodesy, Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077*)

(2 *Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Kyoto 611-0011*)

(3 *Department of Applied Physics, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081*)

Abstract The 21st century is a new epoch that human beings upgrade the cognitive capabilities to the Digital Earth using the SST (Satellite-to-Satellite Tracking) and SGG (Satellite Gravity Gradiometry) techniques. The requirement analysis of orbital parameters in the SST model is carried out for the first time using the combined models of cumulative geoid height errors influenced by the range-rate error of K-band ranging system, orbital error of GPS receiver and nonconservative force error of accelerometer from GRACE satellites based on the semi-analytical method in this study. The simulated results are as follows: (1) The matched relationship of accuracy indexes from key payloads including K-band ranging system, GPS receiver and accelerometer is obtained using the semi-analytical method; (2) The GRACE global gravitational field is estimated based on different average orbital altitudes (500 km, 450 km, 400 km, 350 km, 300 km, 250 km and 200 km) and average intersatellite ranges (110 km, 220 km and 330 km). The optimal design of average orbital altitude 400 km and intersatellite range 220 km is suggested in the future first gravity satellite in China. The reasons why the preferable orbital altitude and intersatellite range are selected are analyzed and demonstrated in detail. This work not only can provide theoretical foundation and calculational guarantee for the optimal selection of orbital parameters and efficient and rapid estimation on the accuracy of global gravitational field in the future satellite gravity measurement in China, but also has some guiding significance to the development direction of future international GRACE Follow-On Earth's gravity measurement mission and GRAIL lunar gravity exploration program.

Key words celestial mechanics: satellites, methods: analytical, Earth: gravitational field