

项目名称：重力卫星检测地表物质运移的理论、方法及应用

提名单位：中国科学院武汉分院

提名意见：

该项目以质量运移的卫星重力检测为核心，在质量运移信号提取的研究中，开展了高精度时变重力场反演理论和科学应用研究，提出了以扇型滤波为主的具有原创性的理论与方法，成功实现了区域水储量变化及海平面变化的有效监测，揭示了全球和区域水质量运移的时空变化规律，取得了国际领先的原创性成果，获得国内外同行的高度肯定，发展的方法在国内外获得广泛应用，为我国相关卫星计划的实施和关键技术攻关提供了重要支撑，在国内外学术及应用领域均产生了积极广泛的影响。

提名该项目为湖北省自然科学一等奖。

项目简介：

本项目属于卫星大地测量学、水文学和海洋学等地球科学的多学科交叉研究。项目组通过十余年的潜心研究和合作攻关，联合卫星重力观测、海洋学和水文学观测与模式资料，重点开展了全球与区域陆地水循环和海平面变化等领域的交叉研究，发展和建立了一套完整的卫星重力与全球变化应用体系，成功揭示了全球和区域质量运移的时空变化规律。

主要包括：1、在国内率先开展了高精度全球时变重力场模型的解算，攻克了高精度时变重力场反演的关键核心技术，成功研发与国际水平相当的时变重力场产品。2、基于卫星重力资料首次定量估计了近十年来华北地下水储量变化的时空分布和长期趋势，加深了对华北地区深层地下水变化的认识。3、提出了基于扇形滤波器的卫星重力数据后处理新方法，显著提高了时变重力场有效信息的空间分辨率，更为精确地揭示了区域质量迁移时空变化特征与规律。4、联合卫星重力、卫星测高和海洋学观测手段，成功分离出我国南海地区热容海平面变化和海水质量变化，在季节与年际尺度上揭示了南海海平面时空变化规律。

本项目瞄准国际基础研究的前沿问题，集合地球科学多学科交叉的优势，产出了高水平的研究成果，并开发了高精度时变重力场反演及应用软件系统和产品集。项目期间发表的 8 篇代表性论文他引 449 次，其中被 Nature、Science、WRR、EPSL 和 JGR 等高水平期刊 SCI 他引 297 次，论文单篇 SCI 他引最高 139 次。本项目研究成果成功应用在我国自主重力卫星计划的前期仿真与地面应用系统建设中，为我国重力卫星的顶层设计和自主高精度时变重力场的解算提供了重要理论与方法支持，并有力支撑了我国“精密重力测量国家重大科技基础设施”的建设。

客观评价:

1、国内外同行在重要学术刊物公开发表的学术性评价意见

项目期间发表的 8 篇代表性论文他引 449 次，其中被 Nature、Science、WRR、EPSL、JGR 等高水平期刊 SCI 他引 297 次，论文单篇 SCI 他引最高 139 次。

团队最早开展了华北地下水储量变化的卫星重力监测研究，得到了国内外同行的广泛引用和高度评价。代表性论文 1 于 2013 年发表在国际水资源领域知名杂志《Water Resources Research》上，论文得到了审稿人、WRR 责任主编、美国工程院院士 Bridget Scanlon 教授的高度评价：“This is an important paper because of the large-scale groundwater depletion in the North China Plain (NCP) revealed by this work. ... The authors present a novel method, which improves the knowledge of groundwater in the NCP.” 论文发表后立即引起了国际卫星重力学和水文学领域的关注和引用，总计被 Science、Nature、Nature Climate Change 等高水平 SCI 期刊他引 139 次。美国喷气推进实验室著名科学家 Jame Famiglietti 博士、地下水权威 Matthew Rodell 博士、美国工程院院士 Dennis Lettenmaier 教授等人均在其相关论文中多次引用本项目的代表性论文。美国德克萨斯大学奥斯汀分校 Jianli Chen 博士在其文章中指出：Feng et al. 2013 的研究工作利用卫星重力和模式资料，成功揭示了中国华北地区的地下水亏损速率（Chen et al. 2014, GPC, 116, 130-138）。代表性论文 1 入选 ESI 全球高被引论文，是目前国内卫星重力领域被引率排名第一的研究论文，见附件证明材料。国际地下水权威、瑞士苏黎世联邦理工大学金士博（Wolfgang Kinzelbach）教授在其著名的“中国缺水吗”演讲报告中，充分肯定并直接引用了申请人的研究成果。

项目提出的基于扇形滤波器的卫星重力数据后处理新方法，显著提高了时变重力场有效信息的空间分辨率，得到了国内外同行的广泛引用和高度评价。代表性论文 2 目前已被 EPSL、GRL、JGR、RSE 等高水平期刊他引 112 次；得到了日本北海道大学 Kosuke Heki 教授、荷兰代尔夫特科技大学 Roland Klees 教授、台湾中央研究院赵丰教授、德国波恩大学 Jurgen Kusche 教授、德国斯图加特大学 Nico Sneeuw 教授等大地测量领域著名学者在 EPSL、GRL、JGR 和 JG 等高水平期刊论文的多次正面引用。

项目组利用重力卫星开展的长江流域干旱事件的监测研究，成功揭示了 ENSO 对长江流域水储量和极端气候事件的影响。研究成果受到审稿人的好评，法国科学院院士 Anny Cazenave 认为“*This is a new application of GRACE. The topic addressed in this paper is timely. The discussion on the link between ENSO & Asian monsoon and the hydrology of the YRB is quite interesting and informative.*” 在卫星重力反演及其水文学应用方面的代表性论文 1-4、7-8 总计被他引 427 次。

2、研究成果应用评价和社会影响

本项目攻克了高精度时变重力场反演的关键核心技术，成功研发与国际水平相当的时变重力场产品，成功应用并参与了我国自主重力卫星计划的前期仿真与地面应用系统建设中。项目团队受邀在自然资源部国家地质调查局举办的培训班授课，主讲卫星重力新手段和新方法在水资源调查应用方面的理论、方法和软件。多次应邀在美国地球物理联合会（AGU）秋季会议、中国地球物理学会年会等会议上作邀请报告或大会报告。相关研究成果获得《北京日报》、《新京报》、《长江日报》、新华社、科学网和中国科学院网站等广泛报道。相关研究带动了人才培养。项目完成人1人为湖北省突出贡献中青年专家，1人入选湖北省“百人计划”青年项目。

代表性论文专著目录：

| 序号 | 论文专著名称/刊名/作者 | 年、卷、页码 | 发表时间（年月日） | 通讯作者（含共同） | 第一作者（含共同） | 国内作者 | SCI 他引次数 | 他引总次数 | 论文署名单位是否包含国外单位 |
|----|---|-------------------|------------|-----------|-----------|--------------|----------|-------|----------------|
| 1 | Evaluation of groundwater depletion in North China using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) data and ground-based measurements/ Water Resources Research/ Feng Wei, Zhong Min, Jean-Michel Lemoine, Richard Biancale, Hsu Hou-Tse, Xia Jun | 2013、49、2110-2118 | 2013年3月12日 | 冯伟 | 冯伟 | 冯伟、钟敏、许厚泽、夏军 | 139 | 172 | 是 |
| 2 | An effective filtering for GRACE time-variable gravity: Fan filter/ Geophysical Research Letters/ | 2009、36、L17311 | 2009年12月5日 | 赵丰 | 张子占 | 张子占、赵丰、陆洋、许 | 71 | 112 | 否 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|-------------------|-------------|-----|-----|-----------------------|----|----|---|
| | Zhang Zizhan, Chao Ben, Lu Yang, Hsu Hou-Tse | | | | | 厚泽 | | | |
| 3 | Trend of China land water storage redistribution at medium and large-spatial scales in recent five years by satellite gravity observations /Chinese Science Bulletin/ Zhong Min, Duan Jian-Bin, Xu Hou-Ze, Peng Peng, Yan Hao-Ming, Zhu Yao-Zhong | 2009、54、816-821 | 2008年12月17日 | 钟敏 | 钟敏 | 钟敏、段建宾、许厚泽、彭鹏、闫昊明、朱耀仲 | 28 | 61 | 否 |
| 4 | Terrestrial water storage anomalies of Yangtze River Basin droughts observed by GRACE and connections with ENSO/Global and Planetary Change/ Zhang Zizhan, Chao Ben, Chen Jianli, Wilson Clark | 2015、126、35-45 | 2015年1月10日 | 张子占 | 张子占 | 张子占、赵丰 | 42 | 47 | 是 |
| 5 | Sea level variations in the South China Sea inferred from satellite gravity, altimetry and oceanographic data/ Science China Earth Sciences/ | 2012、55、1696-1701 | 2012年4月11日 | 冯伟 | 冯伟 | 冯伟、钟敏、许厚泽 | 11 | 14 | 否 |

| | | | | | | | | | |
|---|--|---------------------|--------------------|-----|-----|----------------------|---|----|---|
| | Feng Wei, Zhong Min, Xu Hou -Ze | | | | | | | | |
| 6 | Mass-induced sea level variations in the Red Sea from GRACE, steric-corrected altimetry, in-situ bottom pressure records, and hydrographic observations/Journal of Geodynamics/ Feng Wei, Jean-Michel Lemoine, Zhong Min, Xu Hou -Ze | 2014、78、 1-7 | 2014年 4月28 日 | 冯伟 | 冯伟 | 冯伟、 钟敏、 许厚泽 | 4 | 8 | 是 |
| 7 | 卫星重力研究：21世纪大地测量研究的新热点/测绘科学/许厚泽 | 2001、26、 1-3 | 2001年 9月1 日 | 许厚泽 | 许厚泽 | 许厚泽 | 0 | 31 | 否 |
| 8 | 利用动力学方法解算GRACE时变重力场研究/地球物理学报/王长青，许厚泽，钟敏，冯伟，冉将军，杨帆 | 2015、58、 756-766 | 2015年 3月1 日 | 钟敏 | 王长青 | 王长青、许厚泽、钟敏、冯伟、冉将军、杨帆 | 2 | 4 | 否 |

主要完成人情况:

| 排名 | 姓名 | 职称、职务 | 完成单位 | 工作单位 | 贡献 |
|----|-----|-------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1 | 钟敏 | 研究员 | 中国科学院测量与地球物理研究所 | 中国科学院测量与地球物理研究所 | 代表性论文 1、3、5、6、8 |
| 2 | 冯伟 | 副研究员 | 中国科学院测量与地球物理研究所 | 中国科学院测量与地球物理研究所 | 代表性论文 1、5、6、8 |
| 3 | 张子占 | 研究员 | 中国科学院测量与地球物理研究所 | 中国科学院测量与地球物理研究所 | 代表性论文 2、4 |
| 4 | 王长青 | 副研究员 | 中国科学院测量与地球物理研究所 | 中国科学院测量与地球物理研究所 | 代表性论文 8 |
| 5 | 许厚泽 | 研究员 | 中国科学院测量与地球物理研究所 | 中国科学院测量与地球物理研究所 | 代表性论文 1、2、3、5、6、7、8 |

完成人合作关系说明:

第一完成人钟敏是该项目的主要学术负责人，提出了项目的主要技术方案和学术思想，从2001年1月开始从事该项目的研究工作，和项目组所有成员建立了密切合作关系，共同参加了多项科研项目，与其他完成人均发表过共同作者文章。

第二完成人冯伟是第一完成人的博士研究生和研究所同事，从2007年7月至今参与本项目的研究工作，在卫星重力的应用方面保持长期的学术合作关系，与其余四位完成人均合作发表过相关学术论文。与第一完成人共同发表学术论文15篇。

第三完成人张子占和第一完成人钟敏为测量与地球物理研究所同事，自2008年1月起在时变重力场的水文应用方向上保持长期的学术合作关系，是第五完成人的博士研究生；第三完成人与第一、第二完成人曾共同为科技部973项目课题的研究骨干；至今与第一完成人共同发表论文3篇。

第四完成人王长青是第一完成人和第五完成人的博士研究生和研究所同事，从2009年7月至今参与本项目的研究工作，在时变重力场反演领域与第一、第二和第五完成人保持长期的学术合作关系；与第一完成人共同发表论文3篇。

第五完成人许厚泽是第三和第四完成人的博士期间的指导老师，指导该项目的总体方案，在物质迁移的卫星重力监测理论、方法和应用等方面均给予了重要指导；从2001年1月至今参与本项目的研究工作，并与其余四位完成人均保持长期的学术合作关系；与第一完成人共同发表论文46篇，共同指导培养了博士研究生5人。