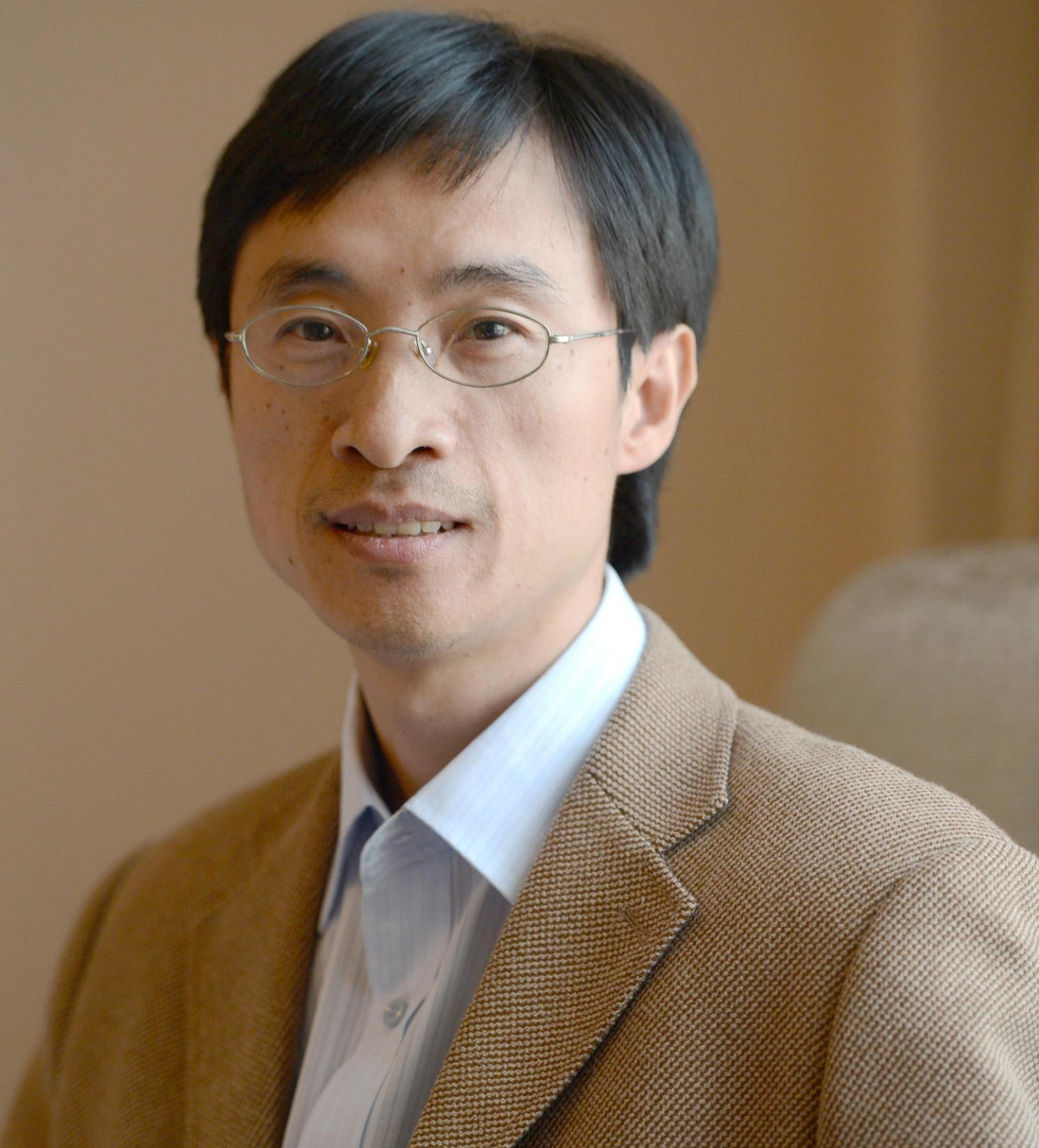


# 科学中国人

11 上半月  
2012月

SCIENTIFIC CHINESE



# 立足国际 探测地球与空间

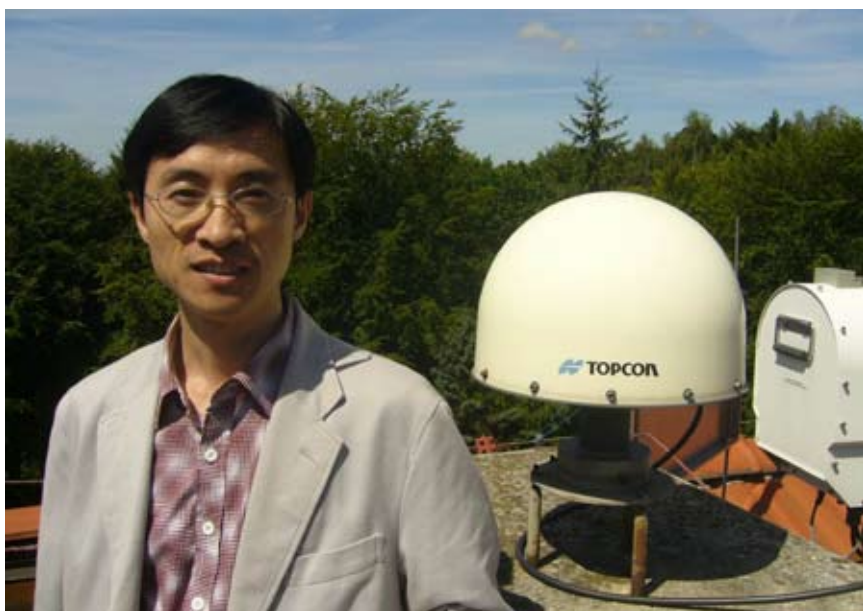
——记中国科学院上海天文台研究员金双根

本刊记者 户万

早在16世纪，哥白尼在他的《天体运行论》的开篇就说：“在人类智慧所哺育的名目繁多的文化和技术领域，我认为必须用最强烈的感情和极度的热忱来促进对最美好的、最值得了解的事物的研究，这就是探索宇宙的神奇运转、星体的运动、大小、距离和出没，以及天界中其他现象成因的学科。难道还有什么东西比起当然包括一切美好事物的苍穹更加美丽的吗？”

大概很多人对天文学的美好情感，都是源于这段话。当我们怀着这样一种感情走进中国科学院上海天文台、走近金双根研究员、走近他的空间大地测量与遥感研究时，我们原本以为足够宽广的视野顿时显得狭促了，因为空间大地测量是一门古老而新兴的学科，更是一门“上通天文，下知地理”的学科，举凡人们脚下所踩的土地，分秒所呼吸的空气，与我们生活息息相关的海洋和陆地以及朝夕相处的月亮、太阳、乃至整个宇宙，都是研究的对象。

这位年轻的科学家有着爽朗的性格、敏锐的思维、流畅的言谈，与他的谈话，像是一次前所未有之广阔的旅行。他用依然略带乡音却富含感染力的语言，带着我们的思绪畅游，从天空到地面，从地上到地下，从陆地到海洋，不断把我们的视野伸展到时空大地、地



金双根参观捷克国际GPS/GLONASS/GALILEO多系统GNSS观测站

球内外新的远处和深处。

## 踏上一条路 ——时空轮换间的清晰足迹

在古代，伟大的旅人常年辛劳奔波，用脚步梳理着每一寸大地，历经艰难险阻，才能绘制一份真实的地图。今天，空间大地测量与遥感技术目光如电，空、天、地一体，感知着广袤大地上的一切，为我们获取地理信息增添了“利器”，使我们的目光更远大而深邃，使我们的足迹抵达古代世界不可想

象、不能涉足的地方。

当然，小时候的金双根是不知道这些的，但每个人对大地与空间的感情都是与生俱来的，就像如今他依然自豪地说自己是农民的孩子，似乎这样更能突出他与大地的亲密关系。小时候放学回来下地插秧是他印象最深的事情，赤裸的双脚陷入水田的泥中，稚嫩的双手把稻秧一棵一棵插进土里。汗水流下，滴入田里，他俯向大地的脸，是灿烂的。也许幼小的他还不能体会，这是因为哺育万物的大地，永远孕育着生机，蕴藏

着希望。

直到上了大学，他才对大地有了理性的认识。1995年，考入武汉测绘科技大学学习的金双根发现自己彻底与大地分不开了。作为测绘专业的学生，背着沉重的仪器，到野外进行勘测是常有的事。对于从小干农活的金双根来说，这些丝毫难不住他。他思考得更多的是，如何把握难得的大学时光，让自己快速地成长。综合素质的培养是他对自己的要求。老师和同学有目共睹的是，即使他的考试成绩不是名列前茅，但他学习善于融会贯通和联系实际；即使刚入学时，他一人说话都会脸红，但很快，他就成了学校社团的活跃分子，还积极走出校门参加社会锻炼。

赞美之声随之而来，而这背后，只有他自己知道，只有坚持与勤奋是他看似“一帆风顺”的最大“秘诀”，他笑言，这叫“不打无准备之仗”。比如学英语，中学在农村学校学的那点英语底子一到大学就捉襟见肘了，尤其是口语。怎么办？唯有迎头赶上。听英语的录音机当时对于他来说是遥不可及的奢侈品，他只有在每天晚自习结束后、周末和假日，坚持不懈地学习英语。正是凭着这样的努力和执着，他成了当年大学英语六级考试学科年级中唯一的通过者。

四年，对于没有理想与目标的人来说，转瞬即逝，而对于金双根来说，无疑是重要的时光，他在这里踏上了他的梦想之旅，奠定了今后从事科学研究必不可少的基础：远大的理想、坚毅的性格、活跃的思维。踌躇满志间，他为自己确定了新的目标——考研。

1999年，金双根顺利考入中国科学院上海天文台攻读研究生。这时，一项新的测量技术闯入了他的视野——GPS。

GPS是英文Global Positioning System（全球定位系统）的简称，最初是指20世纪70年代由美国陆海空三军联合研制的新一代空间卫星导航定位系统。由于GPS技术所具有的全天候、高精度和连续观测等特点，作为先进的测量手段和新的生产力，GPS已经或正在取代经纬仪和激光测距仪为工具的常规地面测量技术，给大地测量带来了一次彻底革命，并且已经融入了国民经济建设、国防建设和社会发展的各个应用领域。

敏锐地抓住这个研究热点，金双根调动起了自己的智慧和潜能，全身心地投入研究。2001年，还在读研二的金双根就开创性地提出用GPS测量大气和电离层延迟，改正合成孔径干涉测量(InSAR)，而这是刚刚起步不久的雷达技术，他的科研能力令人惊叹。2003年，金双根以优秀的成绩和丰富的科研成果成为上海天文台第一个仅用四年时间就完成硕士和博士学业的学生。在这期间，他发表了多篇包括国际《Journal of Geodynamics》和《中国科学》在内的高质量论文，提出的很多见解都具有创造性，引起了学术界的高度关注。

博士毕业之后，2004年，怀着走上国际前沿的信念，金双根开始了持续近七年的海外之行。澳大利亚、韩国、比利时、美国，加上奔赴世界各地的访问、交流和讲学，七年里，他像一个不知疲倦的旅人一样，把足迹留在了世界的各个角落。在国际的大舞台上，他专注于卫星导航与定位、卫星遥感与气候变化和空间行星探测与动力学等领域的研究，逐渐地崭露头角，一颗新星正在冉冉升起。

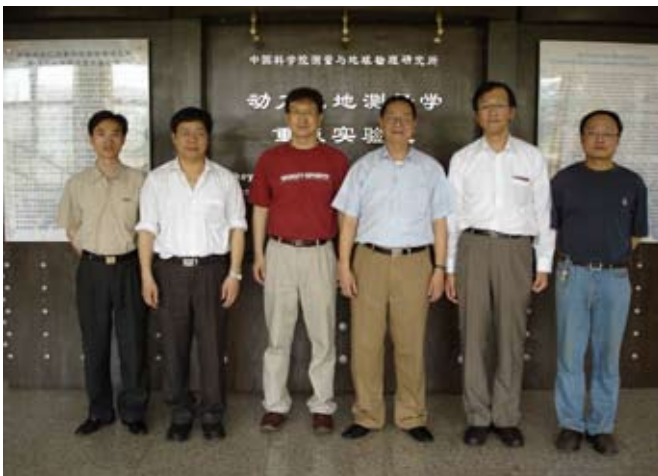
## 推开一扇窗 ——大地测量技术的深刻变革

金双根说，他幸运地处在了一个GPS等卫星导航技术飞速发展的时代，大地测量学经历着一场划时代的革命性的变革，克服了传统的经典大地测量学的时空局限，进入了以空间大地测量和遥感为主的现代大地测量的新阶段。

毫无疑问，金双根也是这场变革的参与者，以GPS定位技术为中心，金双根的目光所凝视的区域从天空到地下，从地面到海洋，用空间大地测量技术打开了地球科学的一扇新的窗户。



金双根组织的国际大地测量与地球系统会议(SGES2012)参会人员



中日韩国际合作项目主要成员



金双根组织国际GNSS遥感研讨

### 代替脚步和钢尺

金双根通过深入研究对地观测技术理论、算法、模型和观测资料, 电离层延迟修正及其跳动与固体地球活动耦合, 参考框架建立与维持, 地表微小形变和流体质量重新分布高精度监测与研究, 以及它们之间相互作用, 取得了多个方面的创新性科研成果, 对高精度GPS导航定位、基础测绘、时空基准、大地测量科学、空间环境和气候变化等研究与应用具有重要价值和意义。

——深入研究GPS定位原理, 修正GPS定位的随机模型, 并模拟GPS观测值剩余残差进入随机模型, 提高GPS定位精度达30%, 特别在垂直方向上, 被国际GPS用户使用(如King and Watson, J. Geophys. Res., 2010; Zhong et al., J. Geodesy, 2010; Gleason et al., Adv. Space Res., 2010; Pravesh et al., Adv. Space Res., 2011)。并进一步模拟三频GPS观测资料, 研究和分析各种多频观测组合及其对定位精度、模糊度解算和电离层估计的影响, 例证多频观测的重要性, 为将来多频和多系统的全球卫星导航系统(GNSS)提供参考价值。

——精确提取GPS大气总延迟和控

掘其新的应用, 发现GPS总对流层延迟(ZTD)能探测大气周日潮汐, 有助于进一步完善大气潮汐理论, 并揭示了GPS电离层总电子含量(TEC)跳动与地震活动相关性, 验证了GPS电离层TEC监测同震的可行性, 为监测和预报地震提供新的可能手段。另外, 拓展了GPS监测三维高分辨率的对流层和电离层剖面信息及其在大气、气象学和空间环境应用, 对天气和空间环境监测和预报具有重要的科学应用价值。

——深入研究参考架理论、实现和维持, 修正了国际参考架标准模型, 建立一个新的无整体旋转模型NNR-NUVEL-1B。并用高精度GPS观测资料深入研究地球动力学疑难问题, 建立一个现今全球板块运动模型, 详细描述全球地壳形变图像及其内部响应, 并深入研究国际上长期争议的东北亚微小构造板块, 给出其运动学特征, 被Nature等多次引用。

——利用卫星重力测量获取精细全球海洋与陆地水循环及其气候异常信号, 如冰雪融化、干旱和洪水, 并首次利用卫星重力测量得到的海洋和陆地水质量变化对地球自转(亚季节至年际尺度)的定量激发, 发现较半经验地球物理模型更进一步了解地球自转受迫运动

的激发和物理机制。

从金双根的这些开创性成果可以看出, 空间大地测量在地球定向参数的测定、地球重力场模型的建立、建立和维持地球参考框架、研究地壳形变与各种地球动力学现象、监测地表流体质量变化等各个方面越来越成为不可替代的技术手段。同时, 空间大地测量的相关技术在探测空间环境、确定航天器轨道、测定潮汐与非潮汐变化海洋重力异常、确定海洋大地水准面及海面地形等方面也发挥着越来越重要的作用。

### 监测自然灾害

2004年12月26日苏门答腊岛西海岸附近发生了40多年来世界上最强烈的9.1级地震, 引发了巨大的海啸, 造成巨大的人员伤亡和财产损失;

2008年中国西部汶川发生最近几十年来中国内陆最强的地震, 震级达8.0, 造成近10万人丧生;

2011年3月11日, 日本东北发生9.0级大型逆冲区地震, 并引发最高40.5米的海啸, 造成了火灾和核泄漏等严重经济损失和重大人员丧生, 东北地区部分城市甚至遭受毁灭性破坏;

……

地球表面形变、流体质量迁移、内部过程以及地球系统各圈层相互作用，如大气、海洋、陆地和固体地球等，这些与地震、海啸等自然灾害孕育密切相关，直接影响人类生存环境。人类至今仍然无法准确预报地震，目前国际上通常用地震仪和地表位移探测仪估计地震破裂和能量，但这些传统探测仪受时空分辨率和精度等因素限制以及缺少近场实时观测，因此无法准确估计地震前兆和孕育过程及其释放传播特征。

“大气观测或可提供一种手段。”金双根说，“地震和海啸等传播会引起地面上空大气波动，从而引发大气扰动。”他利用GPS观测资料获得2008年汶川8级地震的电离层扰动及其传播方向和速度，并与地震仪得到的破裂结果基本一致，主要是由地震破裂后引发大气声波和重力波向上传播，引起电离层扰动。同时，在主震期间，GPS也观测到同震对流层延迟异常，主要在天顶干延迟（ZHD）上，这与地面并置GPS站气压仪观测到由地震波传播引起的大气压变化相一致。从而进一步论证了地震发生激发大气声波和重力波从地面向高层大气传播，引起低层大气质量和高层电离层电子含量变化。

在2012年5月召开的“第三届中国卫星导航学术年会”上，金双根在国际上首次提出了GNSS大气地震学，为监测和预报地震提供了新的可能。同时，他也强调，由于真正同震电离层异常信号很难分离，特别是地震前异常仍存争议，因而大气和地震耦合机制还有待进一步研究。为此，金双根倡议国际同行利用大气探测手段，进一步研究和认识地震破裂前后细节和产生机理，发展GNSS大气地震学，共同解决地震预测难题，并进一步让空间大地观测技术成为监测地质灾害的主要手段之一，为人类的生产、生活、科研和各种经济活动服务。

## 探测空间和行星

当前人类面临全球变化、资源短缺、自然灾害频繁等，以及生命起源和地球形成等一系列疑难问题，这些问题不仅与地球本身有关，更与太阳系形成和演化息息相关，同时人类生存空间也需要向外空拓展。

空间大地测量技术同样是探测空间和行星重要手段，如无线电掩星、激光测距、磁力计、电场测量仪和雷达等。金双根利用行星探测器资料精确获取月球、火星和金星表面地形及其空间环境特征，如行星大气和电离层逃逸到宇宙空间，这对探究行星水散失过程和探索可能的生命具有重要的作用。同时，他也为我国“十二五”期间正在进行的空间探测和深空探测发展规划论证，开展火星探测，以及后续金星和小行星空间环境探探测等，提供理论支持和新的科学目标，这些工作都对国家需求具有重要意义。

## 栽下一棵树 ——精心培植后的枝繁叶茂

科学家矢志不渝地追求科学真理，使人类经历了一次又一次科学革命，从而促进科学飞速发展。

“在科学的跑道上，也永远只有第一，没有第二。科研工作者要做的，就是要创新，寻找一片沃土，独立栽下一棵树，再把它培植长大。”这是金双根对科学研究的理解。一直以来，他正是用这样的信念，栽下一棵科学的树苗，经过辛勤的耕耘，收获了一个又一个硕果。

## 根植沃土

“虽说科学无国界，但毕竟自己是中国人，在国外取得再大的成果，如果不能应用到祖国和人民的需要中，心里

也不会有幸福感。”他选择的这片“沃土”无疑就是祖国。

2010年7月，已经是美国Texas大学空间研究中心(CSR)研究员的金双根，放弃国外优厚的条件和待遇，作为引进国外杰出人才回上海天文台工作，并入选中科院“百人计划”和上海市浦江人才计划。

多年的国外研究工作，取得了累累硕果。这期间，他感受最深的，就是始终要把目光放在科学的前沿领域，敢于提出自己的想法。而创新性想法的提出，要以国家、社会、人类的需求为导向，关注人类目前和长远的状态和需求。现今地球科学的发展正在进入一个建立新知识体系的重大转折时期。如何让中国在这个过程中跻身世界先进水平的行列，是金双根思考最多的问题。

回国后，以立足国家需求、服务社会为导向，他承担了一系列国家重大研究课题：

在最新参考架ITRF2008下采用最新的模型和常数来处理全球卫星激光跟踪资料，金双根得到更精确的稳定的地球动力学扁率，得到的地表格网负荷位移反演地球动力学扁率；并通过比较和分析地球动力学扁率变化特征和暗含，进一步用新的大气、海洋、陆地水、冰期后回弹、核幔耦合、地球自转和气候等模型和资料研究对地球动力学扁率多尺度变化的贡献，揭示其变化机理。

融合多种传感器位置、姿态、图像数据等多源信息，金双根构建了高精度的基准数字高程图与影像图，建立复杂行星表面地形的多尺度时空表征模型，提出利用多尺度时空表征模型检测和匹配多尺度纹理特征的理论方法；建立多目标约束的安全着陆点选取与评估准则，为实现行星表面精确定点着陆提供重要定向基准和理论基础。

参与中国北斗导航卫星系统建设，

更好地服务国民经济建设，进一步提高GPS定位模型、算法和精度，包括过去通常被简化或者忽略的GPS数据处理随机模型和GPS电离层高阶项延迟，研究和开发将来多频全球导航卫星系统(如美国GPS，欧洲Galileo，俄罗斯GLONASS和中国北斗/Compass)联合算法和多系统联合处理战略及其软件实现，逐步建立全球多系统和多频率的GNSS数据处理平台和分析中心。

根植大地才能树高千尺，面向国家战略需求，面向世界科学前沿，在国家和社会的支持下，金双根的研究一定会结出更丰硕的果实。

### 登上大舞台

“只有站在国际大的舞台上，才能在引领方向上做一些有贡献的研究。”金双根说。

而登上国际的科学大舞台，需要有更多的学者走出去，接触更多的优秀科学家和先进科研成果；同时也需要让国外学者走进来，了解中国在空间大地测量领域的研究进展。

2012年8月18-21日，中科院上海天文台成功举办了首届“国际空间大地测量与地球系统会议”，参会人员180人，分别来自十几个国家或地区，如美国、德国、法国、西班牙、奥地利、荷兰、波兰、韩国、日本、马来西亚、新加坡、香港和台湾等，包括中国科学院院士叶叔华和石耀霖、国际大地测量协会(IAG)主席、国际地球参考架负责人、国际SLR服务组织负责人、国际大地测量杂志主编和其他国内外活跃的顶尖大地测量学者等。会议展现和交流当前国际上最新的大地测量技术——GNSS、SLR、VLBI、InSAR、LiDAR、雷达测高和卫星重力等，以及它们的理论、方法和应用成果，并举办了“国际空间大地测量将来目标与挑战”高峰论坛。

这样一次盛会，是金双根一手操办起来的，并由他担任了大会主席。会议过程中，金双根的组织能力和科研成果给专家学者留下了深刻的印象。此次会议还组织了夏令营。为了让更多有志于空间大地测量的年轻人参与进来，在金双根的建议下，本科生全部免注册费，并提供部分餐费；具有保送资格的本科生，则提供全额奖学金资助参加夏令营。通过这次会议，金双根为我国空间大地测量学家和青年科学家提供一个交流平台，同时向国际同行展示了我国在空间大地测量领域取得的进展，加强了相互之间的沟通、联系与合作。

而在去年的8月7-9日，在金双根的组织下，上海天文台成功举办了国际GNSS遥感会议，会议在未来GNSS系统和革新应用、GNSS气象学和掩星技术、GNSS电离层探测和空间气候、GNSS海啸预警和地震仪、GNSS反射测量等领域展开了热烈的讨论，并开展了国际GNSS合作与挑战高峰论坛等。

此外，金双根还先后担任国际行星科学协会(IAPS)副主席(2011-2013)和主席(2013-2015)、国际大地测量协会(IAG)分委员会主席(2011-2015)和研究组SG4.1主席，全球海外华人GPS协会理事，多本国际杂志的主编、编辑或审稿人，多次担任国际会议或分会(AGU, EGU, IAG, IEEE, AOGS等)的召集人、主席和国际科学委员会委员，并作特邀报告。

2011年，为了表彰在大地测量领域做出杰出贡献的科学家，经国际大地测量协会(IAG)执行委员会投票，金双根荣获拥有百年历史的IAG最高学术

荣誉的会士(Fellow)头衔。IAG的宗旨是：通过国际合作，促进大地测量学的发展，协调需要国际合作的工作和讨论解决国际上重大意义的大地测量学科学问题。而这也是金双根一直以来所奉行的宗旨。让中国的空间大地测量技术融入世界、走向世界，领先世界，正是金双根的目标。因此，他在首届“国际空间大地测量与地球系统会议”上说：“会议结束了，但我们工作才刚刚开始。”

### 精心育人

金双根放弃海外优越环境和丰厚待遇的工作，毅然回到曾培育自己多年的研究所。有人对他说，国内环境不太容易做科研，但他没有气馁。他说，国内大环境不好，但可以建设好自己小团队环境。

自2010年从美国得克萨斯大学空间研究中心(CSR)回中科院上海天文台工作以来，他组建了“卫星导航与遥感”研究团队，研究团队人员10余人，其中国外访问教授1名(2011-2012)、博士后3名(外籍1名)和国外留学生3名，领导团队在国际著名SCI杂志JGR、GJI、ASR和JG等发表高水平论文20余篇，英文著作3部。



金双根研究团队成员野外秋游(上海郊区)

育人是金双根回国的最大心愿，他希望培养出一批胸怀大志而又脚踏实地的优秀青年杰出测绘人才。在他的团队里，硕士一二年级的研究生就开始以第一作者在国际著名杂志发表高质量论文，而这对于测绘学科的高年级博士生或教授来说都不是一件容易的事，这与金双根指导和付出分不开的。尽管他每天杂事、管理、会议和项目等业务繁忙，但他坚持每周组织学生用英语汇报、交流和讨论。对每一篇学术论文和毕业论文都要修改十几遍以上，修改到深夜对他来说是家常便饭。这一切，他从没有过一句怨言，面对爱人有时开玩笑似的埋怨他对学生比对自己孩子还好，他总是报以会心的一笑。

尽管一个人很渺小，力量有限，也改变不了什么，但他始终相信，通过每个人的辛勤付出，就能用有限的经费做最有意义的事情。对于一个科研工作者来说，什么是最有意义的事情？我们在金双根朴实的话语里找到了答案：为国家科学事业走向世界贡献更多力量、为国家培育出更多优秀的青年人才，让科学这棵大树更加枝繁叶茂。

## 编后记

可以说，地球科学是一个大题目，纵横几万里，上下数亿年。在我们居住的这个地球上，不同时期，不同方式、不同环境的自然作用给我们留下的是一幅错综复杂的结果图案。要根据这一图案恢复和解析自然界发展的过程，就必须利用多学科的原理和方法，结合复杂的影响因素，进行综合分析，地理学、地质学、地球物理学、地球化学、大气科学、海洋科学、水文学和空间物理学以及新的交叉学科（地球系统科学、地球信息科学）等分支学科，他们涉及的学科几乎辐射到自然科学的其他各个领域。这是考验一个科学家的智慧和毅力的赛场。

好在，金双根是年轻的，他有足够的耐力来跑完全程，所以他说：“科学是一步一步做出来的，生命有限，时间也有限，只要我们尽量多吃一些，就问心无愧。回想起来，自己所做的也只是大海里的一滴水。”但是，我们相信，即便只是一滴水，汇入海洋，它便获得了永不干涸的动力。

这让我们想起上海天文台一进门便映入眼帘的八个大字：“精勤司天，诚信修文”，这是上海天文台精神，也是金双根科研路上的真实写照。科



金双根研究团队主要成员

## 专家简介：

金双根，中科院上海天文台研究员。1974年9月生，籍贯安徽，博士，研究员，博士生导师，百人计划，国际大地测量协会(IAG)会士和国际行星科学协会(IAPS)主席(2013-)。1999年获武汉大学工学学士，2003年获中国科学院理学博士。2004年至今，先后在澳大利亚新南威尔士大学访问学者、韩国天文与空间科学研究院博士后和高级研究员、韩国科学技术大学教授(联合)、比利时皇家天文台访问学者、美国Texas大学空间研究中心(CSR)研究员和中科院上海天文台研究员。

长期从事卫星导航与GNSS遥感、卫星遥感与气候变化和空间行星探测与动力学等。在国际地学顶尖杂志JGR, EPSL, IEEE TGRS, GJI, J. Geodesy 和国内《中国科学》等权威期刊发表80余篇学术论文、著作或教材5部、书章节10余篇和会议报告/论文100余篇，其中SCI检索近50余篇(第一作者40余篇)，EI检索10余篇，被国际SCI期刊引用220余次(包括Nature和著作或教科书引述)。主持和合作主持澳大利亚研究委员会(ARC)、韩国科技部和科技部973项目子课题、国家自然科学基金、中科院重要方向与省部级项目等十余项。

国际行星科学协会(IAPS)主席(2013-2015)和副主席(2011-2013)、国际大地测量协会(IAG)分委员会主席(2011-2015)和研究组4.1.主席(2007-2011)，国际杂志Int. J. Geosci.主编(2010-)，J. Geod. Sci. 编辑(2010-)，Positioning编辑(2010-)，J. GIS编辑(2010-)，Adv. Space Res.专题执行编辑(2009-)和J. Geodynamics 专题执行编辑(2012-)，并多次担任国际大会主席或国际会议分会(AGU, EGU, IAG, IEEE, AOGS...)召集人/主席、科学委员会委员和特邀报告10余次。获韩国天文与空间科学研究院特别奖(2006)、中科院百人计划(2010)、国际大地测量协会(IAG)会士(Fellow)(2011)、上海市浦江人才计划(2011)和中国地球物理学会傅承义青年科技奖(2012)。