

全球卫星导航系统（GNSS）主要包括美国全球定位系统（GPS）、俄罗斯格洛纳斯（GLONASS）、欧盟伽利略（Galileo）和中国北斗（Beidou/COMPASS）导航系统，以及区域导航系统、星基增强系统和地基增强系统。目前，世界各领域、各行业都广泛依赖GNSS所提供的服务。随着科技的不断发展，GNSS的应用领域可以毫不夸张地说仅受人们的想象力制约。

如今GNSS广泛应用于交通运输、电力电信、公共安全、抗震救灾、精细农业、基础测绘、资源调查、地球科学、空间科学和位置服务产业等，以及尚待开发的新领域。就卫星导航产业来看，全球发展十分迅速。据报道，2010年全球卫星通信服务市场收入突破1000亿美元，随着高分辨率卫星数据的增多，卫星遥感数据服务也突破了10亿美元，而基于卫星导航的GNSS产业规模在2013年将达9200亿美元。

在全球竞争中，GNSS关键技术和创新应用极大地考验国家的科技水平、眼界和战略。目前，卫星导航技术和应用已开始进入了高速发展时期，作为科研人员，现在和未来的几年成为了尤为关键的时刻，谁能在重要的机遇和挑战面前迎难而上，谁就能拥有话语权。

与卫星导航技术一路同行

——记中国科学院上海天文台金双根研究员

汶川大地震救援中，正是GNSS和遥感技术在第一时间提供了最新的观测数据，而随后的唐家山堰塞湖，也是通过GNSS和遥感，在第一时间迅速通报给抗震救灾部门。

抗震救灾只是卫星导航定位技术应用中的一小部分，随着科技的发展，卫星导航定位技术如今已广泛应用于交通运输、电力电信、公共安全、精细农业、基础测绘、资源调查、地球科学、空间科学和位置服务产业等，初步形成卫星导航定位应用产业。

在这个用途广阔的技术领域里，金双根研究员一直奋斗着、成长着，从没有停下过执着的脚步。

科技新未来：新一代卫星导航关键技术

GNSS（全球卫星导航系统），主要功能为定位、导航和授时（PNT），是通过地面接收机接收

卫星发射的信号，测量卫星到地面之间的伪距和载波相位，确定卫星和用户的位置坐标，实现定位、导航和授时功能。

GNSS泛指卫星导航系统，包括全球导航卫星系统、区域导航系统、星基增强系统和各种地基增强系统。GNSS是事关国家安全和经济利益的重要基础设施。GPS系统受美国军方控制，无论民用还是军用，安全问题都存在隐患，为了摆脱对GPS的依赖，各国纷纷开始研制各自卫星导航系统。

2007年4月14日，我国第一颗北斗中轨卫星（BD-M1）发射成功，标志着世界上第四个全球导航卫星系统进入实质建设阶段。9月19日我国在西昌通过一箭双星成功将两颗中轨组网卫星发射成功，截至2012年底，北斗系统已有14颗在轨卫星，基本完成区域组网建设任务。按照北斗三步走的战略，

我国将于2020年前完成由5颗静止轨道卫星和30颗非静止轨道卫星组成的北斗全球卫星导航系统。

据金双根介绍,尽管国际上20多年致力于GPS导航定位理论与模型研究及其应用开发,但仍然受其技术、精度、模型、算法和误差等等影响和限制。特别是下一代多频系统的全球导航卫星系统(GNSS),包括现代化的GPS,恢复的GLONASS以及在建的GALILEO和Beidou/COMPASS。一方面是GNSS技术和硬件问题有待进一步提高和开发,如信号质量、信号衰减、信号锁住、信号干扰、接收机和卫星钟以及接收机性能等。另一方面是GNSS算法和模型尚需进一步优化,各种误差修正模型需要进一步精化,如大气和电离层延迟、多路径和太阳辐射压,以及各种地球物理模型进一步完善,如大气潮和海潮模型等。另外,随着下一代多频多系统的全球导航卫星系统,如现代化的GPS,恢复的GLONASS,在建的Galileo,和中国Beidou/COMPASS,以及其它区域增强系统,需要研究和开发多频多系统GNSS观测联合算法和模型及其软件实现,建立全球多系统和多频率的GNSS数据分析中心。中科院上海天文台瞄准国家重大专项和需求,参与中国北斗导航卫星系统和国家GPS网络工程建设,充分利用国家GPS网络工程一/二期观测资料,处理、分析和地球物理解释,更好地服务国民经济建设。

生产实践大展身手:不断拓展GNSS新的应用—GNSS遥感

随着科学技术不断的提高,卫星导航技术越来越应用在更多的领域中,也越来越在一些新的领域中体现出了无以伦比的优势和特色。GNSS具有全天候、近实时、高精度和廉价等优势,已广泛应用于导航、定位和定时以及相应测量科学研究。由于GNSS是L波段,同样具有遥感潜能,即GNSS遥感,包括GNSS反射测量、地基GNSS大气探测和空基GNSS掩星,能够遥测大气和电离层、海洋、水

文、冰圈和陆地表面特征等。然后其部分理论、模型、算法和应用仍然处在初步研究与开发阶段,以及新的功能尚待进一步研究和发现。

在空间分辨率应用方面,金双根介绍,传统的GNSS主要是监测台站坐标及其变化,尽管低成本、全天候和近实时等观测优势,但仍然受空间分辨率限制。雷达干涉测量技术(InSAR)的出现无疑是一个很好补充,它能监测散射面的位置及其动态特征,广泛应用于监测地面沉降、地震形变和资源环境以及监测南极、格林兰岛和青藏高原冰雪融化等。但雷达图像处理、相位解缠和误差延迟有待进一步提高,包括滤波方法改进和电离层延迟改正等,而且雷达卫星基本上是商业的。如今GNSS反射测量能够遥测地表微小位移、海洋表面风速、波浪高和方向、土壤湿度和冰雪厚度变化等,对传统雷达遥感技术是一个很好的弥补。

目前,GNSS和雷达遥感技术广泛应用于探测地表位移运动,但无法遥感和探测次表层和地球内部物质运动和重新分布。而最近新一代高分辨率时变卫星重力测量扮演重要角色,金双根介绍,最近卫星重力测量技术,例如低低卫-卫跟踪“重力恢复与气候试验”(GRACE)卫星,通过GNSS、K波段测距仪和加速仪获取高精度高分辨率的时变重力场,进而获取地表流体质量重新分布,广泛应用于固体地球物理、海洋学、冰川学、水文学和大地测量学等。然而目前重力卫星GRACE测量的时空分辨率仍然有限(约300公里空间分辨率和一个月的时间分辨率),而且受滤波方法、地球物理模型、冰期后回弹模型等多种不确定性,直接影响GRACE得到的结果和认识。需要将进一步提高滤波方法、地球物理模型(如大气、海洋、水文和潮汐模型)、冰期后回弹模型等,并联合GRACE、SLR, GPS和GOCE资料得到新的更高时空分辨率时变重力场及其应用,以及开发下一代卫星重力测量技术。

GNSS和雷达遥感信号穿过大气，金双根说，大气延迟是GNSS和雷达技术的主要误差源之一，如今这种误差源能够被精确抽取，广泛应用于气象学和空间环境监测，并能弥补传统大气和电离层监测技术上的时空分辨率低和价格昂贵等缺点。如开发GNSS监测三维高分辨率的对流层和电离层剖面信息及其在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。目前人类至今仍然无法准确预报地震，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。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，GNSS大气地震学为监测和预报地震提供了新的可能。然而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，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。

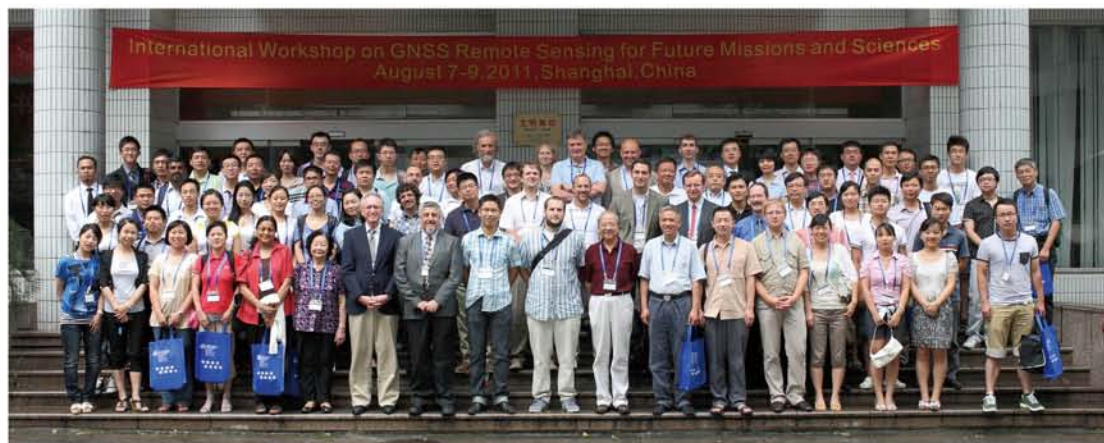
另外，在复杂地球系统方面，金双根介绍，

涉及到固体地球、大气圈、海洋、广义的水圈、生物圈和地球内核，还有地球低温层（包括太阳和空间环境）等。最近高精度的卫星观测技术，特别是GNSS和卫星重力技术，提供了关于地球表面形变、陆地水和海洋循环、冰雪融化和气候变化以及地球内部与地球表面流体/低温层相互作用的空前洞察力和信息。这些也是理解地球系统内部物理参数和气候以及人类活动相互作用的关键观测变量。

未来大有可为：空间和行星遥感

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、卫星导航和雷达等。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。并模拟将来可能的火星和月球GNSS导航定位及其应用。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。



金双根组织的2011年国际GNSS遥感会议

GNSS应用领域无限，服务用户也是无限，是一个充满商机的战略性新兴产业。现如今，GNSS导航技术从十几年前狭小的军事应用扩展到如今广阔的科学、经济和生活领域，以至于很少人知道“导航”，但几乎无人不晓“GPS”。可以说，卫星导航技术已经切切实实地融入到人们的日常生活当中，卫星导航已经成为各个国家、各个研究单位重点关注和投入的领域，中国近些年大力发展北斗导航系统，就是意识到卫星导航在国计民生中的重要性及未来无限的发展潜力。

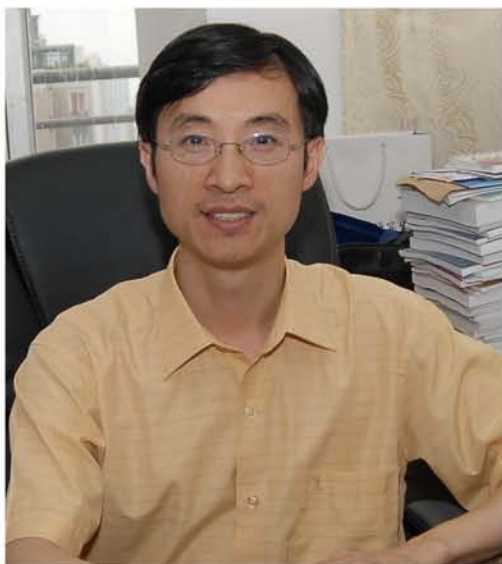
卫星导航技术研究正处于关键的发展时期，作为一位有着国内国外丰富科研经历的科技工作者，金双根正在将他厚重的积淀充分地挥洒在中科院上海天文台这个大的舞台上。

未来，天地广阔；未来，前路悠悠。但，金双根，正行走在通向未来的征程上……

专家简介

金双根，男，1974年9月生，博士，百人计划，研究员，博士生导师和国际大地测量协会(IAG)会士和国际行星科学协会(IAPS)副主席。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。在国际地球与空间科学顶尖杂志 JGR, EPSL, GJI, IEEE, J. Geodesy 和国内《中国科学》等权威期刊以发表80余篇学术论文、英文著作或教材5部、书章节10余章、国际杂志专刊5本和会议报告/论文100余篇，其中SCI检索50余篇（第一作者40余篇），EI检索近10余篇，被国际SCI期刊引用220余篇次(包括



Nature)和国外出版的GNSS方面专著（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。

担任国际行星科学协会(IAPS)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-)，并多次担任国际会议主席或分会(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)、国际大地测量学会(IAG)会士(fellow)(2011)、上海市浦江人才计划(2011)、中国地球物理学会傅承义青年科技奖(2012)、国际杂志Adv.Space Res.最佳审稿人(2012)和湖北省科学技术进步二等奖(2012)。