

九“三”看“北斗”

卢 黎 张保淑

或许是因为巧合，北斗卫星导航系统与“三”结下不解之缘，蕴含一系列与“三”有关的奥秘。在北斗三号全球系统建设迎来“收官战”之际，让我们一起探索“北斗”的“三”的奥秘。经过梳理，笔者总结出“北斗”与“三”有关

的9个方面，涵盖其发展战略、系统架构、星座配置、工作原理、信号体制、服务规划、未来愿景等。这些充分彰显了北斗卫星导航系统作为重要的国际空间基础设施的建设历程、鲜明特点、独特价值和杰出贡献。

①“三步走”战略

北斗卫星导航系统“三步走”发展战略为公众所熟悉。实际上，即使不熟悉相关信息，对北斗卫星导航系统“三步走”战略具体内涵不甚了了，人们也能从“北斗一号”“北斗二号”“北斗三号”的名称，解读步步为营步步高升的意味。

第一步，建成北斗一号，卫星导航系统从无到有，服务自身。1994年，北斗一号建设启动；2000年，发射2颗地球静止轨道(GEO)卫星，建成系统并投入使用，采用有源定位体制，为中国用户提供定位、授时、广域差分 and 短报文通信服务；2003年，发射第3颗地球静止轨道卫星，进一步增强系统性能。北斗一号的建设使中国成为继美、俄之后第三个拥有卫星导航系统的国家。

第二步，建成北斗二号，服务亚太。2004年，北斗二号建设启动；2012年，完成14颗卫星发射组网。北斗二号增加无源定位体制，创新性采用中高轨混合星座架构，服务覆盖亚太地区。

第三步：旨在建成北斗三号，提供全球服务。2009年，北斗三号建设启动；计划于2020年完成30颗卫星发射组网，全面建成北斗三号系统。北斗三号继承有源服务和无源服务两种技术体制，为全球用户提供基本导航、全球短报文通信和国际搜救服务，同时可为中国及周边地区用户提供区域短报文通信、星基增强和精密单点定位等服务。

②“三部分”构成

北斗卫星导航系统是复杂完备的软硬件体系，包括空间段、地面段和用户段“三部分”。

空间段：“北斗”给人们留下印象最深刻的无疑是运行在九天之上的卫星，它们就是“北斗”的空间段。近年来，北斗卫星密集发射升空，形成了中国航天壮观的景象。北斗三号的空间段由30颗卫星组成，截至目前，已经成功发射组网29颗，即将迎来发射收官战。

地面段：北斗卫星并不能单独将信号传输到终端，而是经过地面设施完成数据接收、整理、传输等，这就是“北斗”的地面段。该部分包括基准站、主控站、时间同步/注入站和监测站等。此外，对导航卫星之间进行星间链路运行管理的设施也是地面段的一部分。

用户段：用户段包括“北斗”及兼容其他卫星导航系统的芯片、模块、天线等基础产品，以及终端设备、应用系统与应用服务等。它们中有很多是消费者直接购买使用的终端产品，为人们所熟知。

③“三轨道”混合

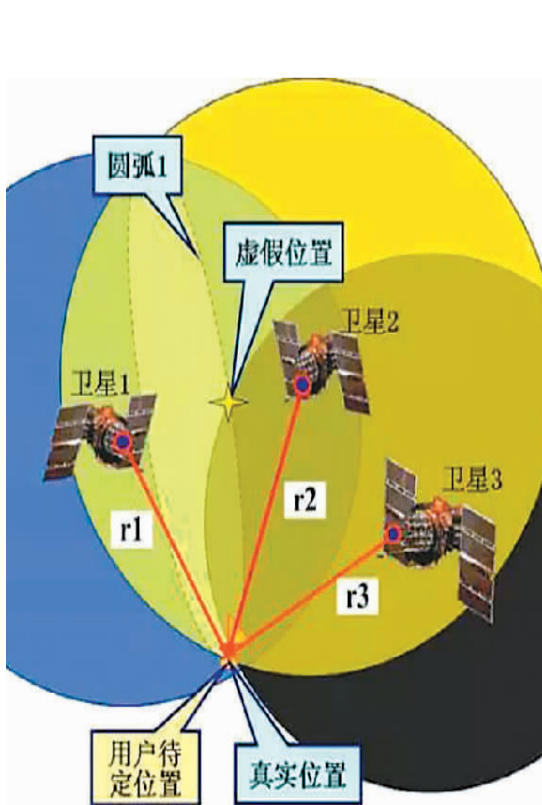
北斗卫星导航系统是由地球静止轨道卫星、倾斜地球同步轨道卫星和地球中圆轨道卫星三种轨道卫星组成的混合星座。

地球静止轨道卫星：顾名思义，这种卫星相对地球静止，运行轨道高度约3.6万公里，其轨道面与地球赤道面之间的夹角为0度，单星覆盖区域较大，3颗卫星可覆盖亚太大部分地区。

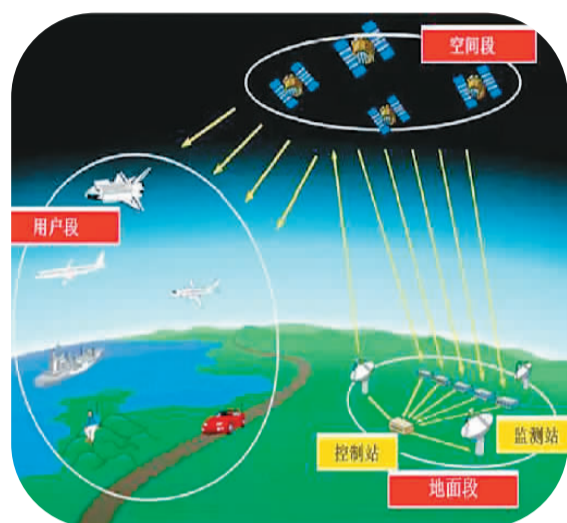
倾斜地球同步轨道卫星：轨道高度与地球静止轨道卫星相同，其轨道面与地球赤道面之间的夹角为55度，星下点轨迹为“8”字，始终聚焦亚太地区。

地球中圆轨道卫星：轨道高度约2.15万公里，其轨道面与地球赤道面之间的夹角为55度，绕地球旋转运行，通过多颗卫星组网可实现全球覆盖，“北斗”地球中圆轨道卫星星座回归特性为7天13圈。

“北斗”独创的三轨混合星座设计，既能实现全球覆盖、全球服务，又可为亚太地区用户提供更高性能的定位导航授时服务。亚太大部分地区，每时每刻可见12至16颗卫星，全球其他地区每时每刻可见4至6颗卫星，卫星可见性和几何构型较好。



北斗导航系统“三轨交汇”定位原理示意图。



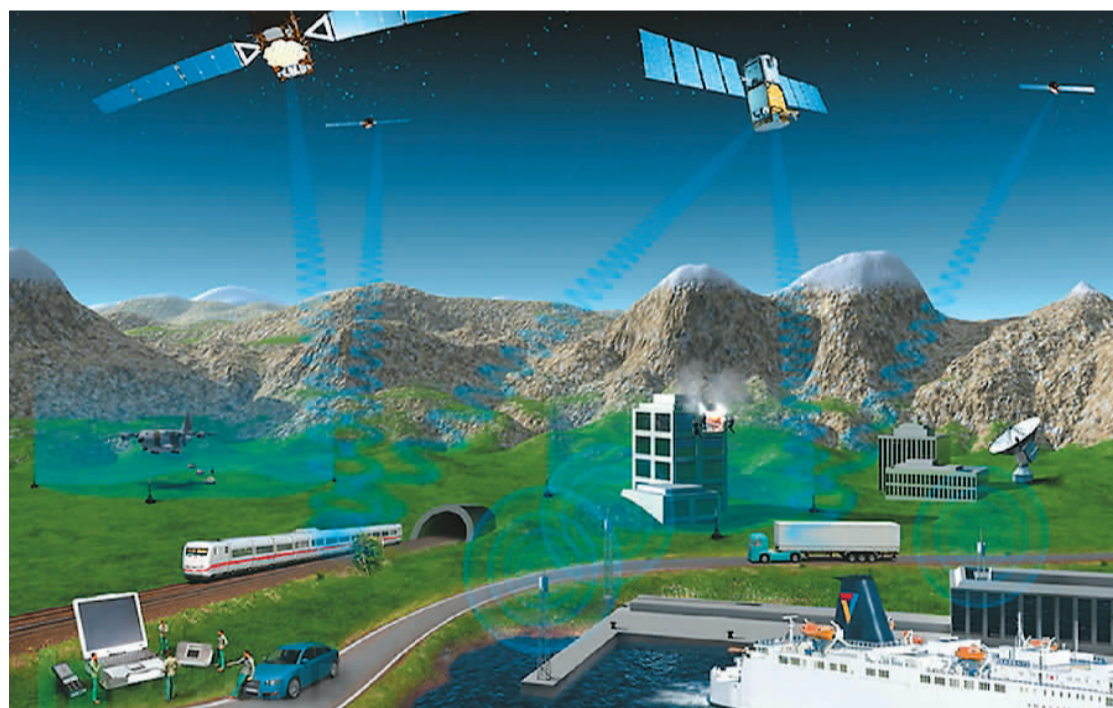
“北斗”三部分示意图。

④“三球交汇”定位

提供位置信息是导航卫星的主要服务内容之一，北斗是如何实现精准定位的呢？

导航卫星发射测距信号和导航电文，导航电文中含有卫星的位置信息。用户接收机在某一时刻同时接收三颗以上卫星信号，测量出用户接收机至三颗卫星的距离，通过星历解算出卫星的空间坐标，再利用距离交会法就解算出用户接收机的位置。整个过程就是“三球交会”定位原理在卫星导航领域中的体现。

北斗卫星导航系统像美国的GPS，俄罗斯的格洛纳斯、欧洲伽利略一样，也是应用“三球交会”定位原理进行定位的。其具体流程是，北斗用户接收机同时测量自身到至少三颗卫星的距离；各卫星的位置通过导航电文播发给用户；以卫星为球



北斗服务示意图。

本文图片均来自“我们的太空”微信公众号

心，距离为半径画球面；三个球面相交得两个点，根据地理常识排除一个不合理点即得用户位置。

⑤“三要素”服务

定位或者提供位置信息是北斗卫星导航系统主要服务之一，除此之外，它还有两大服务即提供速度信息和时间信息，以上构成了“北斗”信息服务的“三要素”。

位置信息：北斗卫星导航系统提供的位置信息服务输出结果为“经度、纬度、高程”或者“x, y, z”，不管哪种输出形式，恰好都是“三个参量”。关于“北斗”提供的位置信息的精确度，总体而言，“北斗”可向全球提供优于10米的定位服务，某些区域比如亚太地区定位精度更高，达到5米。同时，通过精密单点定位、星基增强、地基增强等方式，“北斗”定位精度可提高到米级、分米级乃至厘米级。

速度信息：北斗卫星导航系统提供的测速精度能力优于0.2米/秒。

时间信息：北斗卫星导航系统可为用户提供优于20纳秒的授时服务，在此基础上利用差分授时、双向比对等技术手段，可进一步提升授时精度。

⑥“东三B”平台

北斗卫星导航系统的优异性能在很大程度上源于卫星的研制平台，东方红三号B平台，简称“东三B”平台。北斗三号导航卫星的地球静止轨道卫星和倾斜地球同步轨道卫星就是基于“东三B”平台研制而成。这是中国自主研发的新一代高轨导航卫星平台，采用了综合电子、高效能源和热控、锂离子蓄电池、FDIR(故障检测、隔离和系统重构)等先进技术，为有效载荷提供了更大空间。“东三B”平台助力卫星减重增寿，使导航卫星重量进一步降低，设计寿命可达12年，为其配置了多种载荷，提供包括卫星无线电导航系统、区域短报文通

信、星基增强、精密单点定位等多种服务，功能更强大、集成度更高。

“东三B”平台由中国航天科技集团公司五院通信卫星事业部抓总研制。2013年3月，该平台电推进分系统真实点火试验圆满完成，标志着其研制工作取得突破性进展。2017年4月，“东三B”平台全配置首发星实践十三号发射升空，突破了电推进、Ka通信载荷、高轨激光通信等制约中国航天技术跨越发展的一系列关键技术，在轨实现对“东三B”平台功能和性能指标考核。

⑦“长征三号”专列

人们注意到，在中国长征火箭家族中，每次启动完成北斗卫星发射任务的都是长征三号系列火箭，这也使其赢得了北斗卫星飞天“专属列车”的雅号。

长征三号是在长征二号的基础上发展起来的三级火箭，具有入轨精度高、轨道选择多、适应能力强等特点。12年间，长征三号系列火箭承担了近40次北斗卫星发射任务，成功将50多颗北斗导航卫星精确送入预定轨道。

第55颗北斗卫星即北斗三号最后一颗组网卫星的发射任务仍然由长征三号系列中乙型火箭担纲完成。近日，该火箭在迫近点火发射前的测试阶段时发现了技术问题，使得原发射计划未能如期进行，而下一具体的具体发射时间等待检测研究后确定。这次意外让人颇感遗憾，但只是使北斗三号收官星升空推迟一下。我们相信，保持超高发射功率的长征三号一定能经受住考验，很快解决技术问题，搭载北斗三号收官星一飞冲天。

⑧“三特色”鲜明

中国“北斗”是国际卫星导航系统大家庭的成员之一，与美国的GPS，俄罗斯的格洛纳斯、欧洲



伽利略导航系统相比，有鲜明的“三特色”。

一是空间段采用三种轨道卫星组成混合星座，与其它卫星导航系统相比高轨卫星更多，抗遮挡能力强，尤其在低纬度地区性能优势更为明显。

二是提供多个频点的导航信号，能够通过多频信号组合使用等方式提高服务精度。

三是创新融合了导航与通信功能，具备基本导航、短报文通信、国际搜救、星基增强和精密单点定位等多种服务能力，系统功能高度集成，实现了集约高效。

“北斗”特色彰显其服务优势，表明其是具有世界一流水平的太空基础设施，能够为国际社会提供优质的全球公共服务产品。“北斗”因此受到了世界各国民众的热烈欢迎和青睐，各类装备北斗服务的终端在全球销售火爆，“北斗”这一特色鲜明的中文词汇逐渐成为世界流行语。

⑨“三更加”愿景

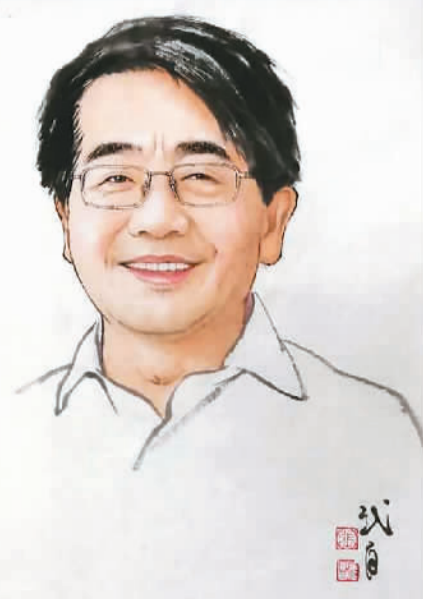
人类认识不断进步，科技发展永无止境。北斗三号全球系统建设收官在即，但是对于中国“北斗”而言，只是进入新的、更高的发展阶段，迈向新的征程。

迈向新征程的“北斗”有什么发展愿景？对此，在2018年底召开的联合国全球卫星导航系统国际委员会第十三届大会上，习近平主席在致大会的贺信进行了阐释和回答。他表示，2035年前，中国将建设完善“更加泛在、更加融合、更加智能”的北斗综合时空体系，并表达了同各国共享“北斗”系统建设发展成果，共促全球卫星导航事业蓬勃发展的美好愿望。

2000年，北斗一号系统首颗卫星成功飞天。20年弹指一挥间，“北斗”完成了从“北斗一号双星定位、聚焦中国”到“北斗三号三轨合璧、服务全球”的历史性跨越。未来，我们将奋力向着建设完善以“三更加”为特征的北斗综合时空体系迈进。加油，“北斗”！

作者黄维肖像画

本栏目画家张武昌绘



黄维

让中国柔性电子爆发硬核实力

当前，新科技革命与产业变革正蓄势待发。我们研判，未来将是“碳基材料+光电过程”(或曰“碳+光”)的时代，石墨烯、碳基纳米材料、有机高分子材料，以及激光与光通信、光存储、光显示等将成为其显著特征。“碳基材料+光电过程”催生了柔性电子和柔性电子产业，并为其开辟了极为广阔的发展空间，将深刻变革人类生产方式、生活方式、思维方式。

随着大量信息电子、健康医疗等为代表的微电子器件的柔性化，柔性电子应运而生。它以柔性材料为基础、柔性电子器件为平台、光电技术应用为核心，是一类将物理学、化学、材料科学与工程、力学、光学工程、生物学、生物医学工程、基础医学等学科高度交叉融合基础上形成的颠覆性科技创新的形式，在表现机械柔性方面超越了经典电子信息系统，为新一代信息科技革命和智能制造时代的发展提供了全新机遇。

相比传统的电子技术，柔性电子是将有机/无机材料电子器件制作在柔性/可延展性塑料或薄金属基板上的新兴电子技术，柔软、质轻、透明、便携、可大面积应用的柔性电子器件，极大地扩展了电子器件的适用范围。柔性电子将深入交叉融合人工智能、材料科学、泛物联网、空间科学、健康科学、能源科学和数据科学，进而引领信息科技、健康医疗、航空航天、再生能源等领域的新变革，带动相关产业实现新跨越。

柔性电子技术是一场全新的电子技术革命，美国、欧盟、澳大利亚、日本、韩国、新加坡等政府机构、高等院校和科研单位投入大量资金与人力，建立研究中心与技术联盟，重点支持柔性显示、柔性电子器件、健康医疗等方面的研究及产业化，在柔性显示与照明、柔性能源电子、柔性生物电子和柔性传感等领域取得领先地位。

近年来，中国把与柔性电子息息相关的新一代信息产业、先进材料、生物技术、再生能源等列入了国家战略新兴产业。北京大学、清华大学、东南大学、华南理工大学、华东理工大学、中国科学院纳米技术与仿生研究所等单位在生物电子和柔性传感领域取得了一定科研成果。复旦大学、南京邮电大学、南京工业大学、厦门大学、南京信息工程大学、福建师范大学等先后建立先进材料与柔性电子研究基地，取得了国际领先的研究成果。西北工业大学建立的柔性电子研究院(柔性电子前沿科学中心)，已成为新时代西部地区吸引优秀人才的学科高地。特别值得指出的是，南工、南邮柔性电子研究院近年来连续取得重大突破，包括被列入“化学与材料领域十大热点前沿”的有机超长余辉材料研究、入选“中国高等学校十大科技进展”的“高效钙钛矿发光器件研究”，还有无墨喷打的多彩“复写纸”、无限保鲜的“层状钙钛矿电池”、回归有机半导体本质的“有机纳米聚合物”等，相关成果相继发表于国际顶尖学术期刊，引起了业内的广泛关注。

柔性电子研究成果正转化为引领中国信息科技变革发展的颠覆式创新力量，不断涌现的柔性电子产品将无处不在、无所不包，在柔性发光显示、柔性能源装置、柔性电子标签、柔性电子皮肤等方面起到引领和支撑作用，改变人类生活方式。比如，柔性电子显示器就像报纸一样，可随时打开、卷曲或折叠，使手机、电视等消费电子产品形态更新颖轻便；基于柔性电子技术的薄膜太阳能电池，可满足大功率发电需要，还能集成在衣服上，为随身携带的小电器供电；柔性电子标签可用作钞票、食品等的防伪标识，也可用于安全指示牌和加密信息传递；“电子皮肤”既有皮肤的柔性和弹性，又可将外界作用于其上的力或热转换为电信号，进行人机信号处理；柔性发光显示可应用于飞机、船只、车辆、步兵制服和设备等，柔性监测设备和柔性可穿戴式传感器可广泛应用于军事和医疗以及单兵作战系统等。

柔性电子研究领域是原始创新的“无人区”，既富含科学宝藏，又荆棘丛生、暗藏风险。原始创新从没有坦途，科技工作者要弘扬优良传统，强化时代责任，厚植家国情怀，在祖国最需要的地方建功立业。要坚定创新自信，敢于开拓，克服浮躁心理和急功近利心态，认准方向、坚守初心、潜心钻研，以甘坐冷板凳的定力和大胆创新的魄力从事科研工作。

今天，中国电子信息产业发展正处于系统创新和智能引领的重大变革期，深入开展柔性电子领域研究是驱动创新发展的重要引擎，乃是中国在电子信息、智能制造等领域实现弯道超车、换道超车、乃至开道超车的重要战略机遇。要大力推进柔性电子学科发展，加快培育国际领军人才和团队，在关键领域、“卡脖子”的地方下大功夫，在前瞻性、战略性领域打好主动仗，勇做新时代科技创新的排头兵！

薪火相传的技术陪伴人类从“石器时代”走到“信息时代”；而发源于公元前600-前300年的科学，在追求知识、重构人类认知的同时，逐渐与技术融为一体，使人类文明不断实现新进步。历史上，中国以造纸术、印刷术、火药和指南针为代表的技术深刻改变了世界面貌；我们期待，中国未来能够以丰硕的柔性电子科技创新成果参与塑造世界科技和经济的新格局。

(作者为中国科学院院士、俄罗斯科学院外籍院士，亚太工程组织联合会主席，西北工业大学常务副校长)

科技名家笔谈

本版携手科学出版社推出