



卫星导航：产业革命的助推器

□ 空军研究院某研究所 汪陶胜

我们的日常生活总是与时空信息息息相关。不仅日常生活，人们其他的活动也与时空信息紧密关联。据统计，我们85%以上的信息都与时空相关联，由此可知时空信息的重要性。要想获得时空信息，就要确立时空基准，要有提供实时、连续、准确的时空信息的技术手段和服务系统。从古至今人类一直在孜孜追求，直到近几十年，随着科学技术的进步，尤其是航天技术的发展，人们才获得相对理想的卫星导航技术和系统。

所谓时空，主要包括三个方面的内涵：定位、导航与授时。定位，就是指能够提供精确的二维或三维位置和方位的能力。导航，是指通过确定当前位置和目的地位置，并参考地理和环境信息，修正航线、方向和速度，以抵达目的地的能力。授时，就是得到并保持准确和精密时间的能力。

上古时代

人类在上古时代，所用的导航方法是通过识别自然现象或人为标记来指引路线。日月星辰，起伏的山峦、叠起的石堆、刻痕的树木等，便是早期人类出行认路的“参考点”。随着人类活动范围的扩大，导航的技术方法、手段和仪器也随之丰富。早在我国战国时期，就出现了“司南”这种指示方向的工具，北宋时期又发

明了指南针，这些工具很快就被应用到军事、生产和日常生活等方面。明初航海家郑和“七下西洋”，宝船及船队安全往返，指南针起到了决定性作用。

航海时代

进入到航海时代，光知道方位是远远不够的了，人们利用星盘、六分仪等仪器，测量恒星或太阳的角度和方位，配合指南针等工具可以确定方向和纬度。18世纪，木匠出身的哈里森父子经过数十年、两代人的努力，发明制造了精度较高的航海钟，才确定了相对准确的海上经度。自此，人类才拥有测量方位、纬度和经度的导航技术。这个阶段，主要依赖于天文观测和航海钟，定位精度比较粗略，大约十几公里的误差，观测时间长，易受天气影响，但已满足航海的基本要求。

二战时期

进入20世纪后，短短的几十年间，人类经历了两次世界大战，坦克、潜艇、飞机、导弹陆续投入使用，进入海陆空三军联合作战时期。这个时期，对定位、导航乃至授时，提出了更高的要求，要求能够实现全天候、大范围、快速、连续、高精度的作战。也是在这个时期，无线电发明了。我们可知，电磁波在均匀介质中沿直线传播、速度恒定，遇到障碍物或介质

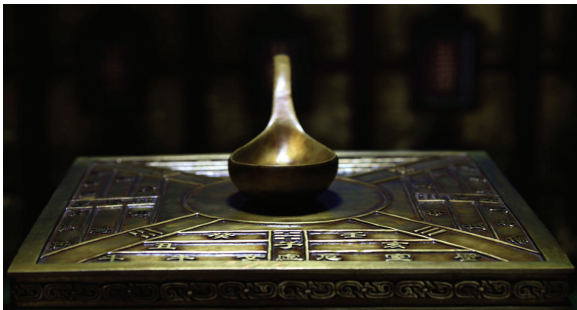
变化有反射和折射特性。能否利用无线电波进行导航呢？科学家们的探索随之开始了。1906年无线电测向仪制造成功，1921年出现无线电信标，1937年雷达开始在舰船上用作导航手段。第二次世界大战中后期，陆基无线电导航系统得到迅速发展，通过测量无线电导航台发射的信号，可以确定运动载体相对于导航台的方位、距离、距离差等几何参量，从而确定运动载体与导航台之间的相对位置关系，据此对运动载体进行定位、导航和授时。相比航海时代，这个时期的导航技术已经有了很大程度上的飞跃，定位精度大约为100至200米，覆盖范围千余公里。导航技术的应用，也从陆地、海洋走向了天空。至今，仍然有很多无线电导航技术作为主要手段或者作为辅助手段在使用，比如飞机着陆用的仪表着陆系统和罗兰-C系统。

现代导航

二次大战后，人类进入相对和平的发展时期。但是战略威慑、军事应用仍然在推动导航技术的持续发展。美国1957年开始研制战略导弹核潜艇，同年苏联向太空发射了第一颗人造地球卫星。这两个国家研制的不同装备，看似没有关联，但却有着惊人的耦合。美国的核潜艇要在全球巡逻和作战，怎么样

能够实现全球、全天候、连续、准确的定位和导航呢？陆基无线电导航的覆盖范围有限，已经不能满足要求。苏联的卫星发射，给了美国人很好的启示。在观测这颗卫星信号的过程中，人们发现：在位置精确已知的观测站，利用测量得到的卫星信号多普勒频移可以确定卫星轨道；反之，如果卫星轨道已知，通过测量卫星信号的多普勒频移，就可以确定地球上接收机的位置。基于这个发现和推论，1964年诞生了第一代导航卫星系统。由于卫星轨道与地球子午圈重叠，又称为“子午仪”系统。这个系统将导航台放置在卫星上，在地球表面任何地方、任何气候条件下，一小时内均能测定位置，精度与观测次数有关，精度在1至500米之间。

“子午仪”系统的成功应用，在美国海、陆、空三军中掀起了卫星导航热，为后续的“全球定位系统”（GPS）的建设奠定了基础。经过详细的论证，1973年美国启动GPS计划，1995年达到完全运行能力，标志着一个革命性的全新导航时代的到来。GPS系统的特点鲜明，它用24颗卫星实现了全球性覆盖和全天候服务，可实时动态地提供十米级至厘米级的定位、导航和授时一体化服务，充分体现了航天技术的魅力和其他导航方式难以比拟的优越性。



司南



精度较高的航海钟



美国第一颗导航卫星“子午仪”号

中国北斗 中国智慧

卫星导航系统包括三个基本组成部分：空间段、地面段和用户段。空间段就是导航卫星星座，向地面连续地广播无线电导航信号。地面段包括监测站、主控站和注入站，负责监控导航卫星，计算卫星轨道参数和钟差，并注入到卫星中。地面段就是用户接收设备，就是我们经常说的接收机，比如手机、专用终端等。卫星导航的基本原理是：以导航卫星为参照物，通过测量接收机与卫星之间的距离，运用三球交汇原理，解算用户的三维位置。

卫星导航系统的主要功能是定位、导航、授时、短报文，其中短报文是北斗的独有功能。卫星导航系统的特点是高精度、高动态、实时性、连续性、全天候、全球性，单机实时定位精度可以达到十米左右，差分后可以

达到分米级、厘米级甚至毫米级，定位频率可从每秒一次到几十次，可以满足我们绝大部分的应用需求，比如，车辆导航、板块监测、城市测绘、武器制导、精确授时等等。

正是因为卫星导航有这些显著的优点，使得大家都想拥有这种服务。目前，世界卫星导航的格局，已经从美国GPS一枝独秀，演变为美国GPS、俄罗斯“格洛纳斯”（GLONASS）、中国“北斗”（BDS）和欧洲“伽利略”（Galileo）四大全球导航卫星系统竞相发展的局面。这四大系统现在或建成后覆盖全球，因此称为全球卫星导航系统（GNSS）。区域系统还有日本的准天顶系统（QZSS）和印度的区域卫星导航系统（IRNSS）。

四大全球系统中，美国的GPS建设最早，发展比较顺利，

1995年后维持全运行能力，是当前技术最为成熟、用户最多的系统，目前正在开展现代化工作。苏联（现在的俄罗斯）的GLONASS紧随其后建设，欧洲在2000年启动Galileo系统建设。我们的北斗系统，从2000年以来一直保持很好的发展态势。四大系统，既有竞争，也有合作，相互促进，共同为人们提供更好的导航服务。

2020年是一个很重要的时间节点，GPS完成了现代化，GLONASS完全复苏了，北斗也建成了全球系统，Galileo按计划完成建设，到那个时候，将是一个“群星璀璨”的导航时代，围绕地球，将有140多颗导航卫星，在任何一个户外地点，观测到几十颗卫星将是家常便饭。我们定位、导航的精度、可用性、连续性、完好性将得到很大的提升。

“三步走”战略让北斗强起来

卫星导航系统的建设，是一个巨大、复杂、系统的航天工程，天上几十颗卫星，地上几十个地面站，还有数十亿级的用户在使用，要把系统建设、运行、维护、应用好，需要国家政策有力的保障和雄厚的航天技术基础，并结合国家整体发展实际，制定严密细致的计划。

在我国由“大起来”向“强起来”的历史进程中，北斗系统按照“三步走”发展战略，和“先区域、后全球，先有源、后无源”的发展思路进行实施。

第一步，2003年建成了北斗试验系统，即北斗一号。全球卫星导航系统一般需要30颗以上的卫星组成星座，要解决十分复杂的工程难题；此外，卫星导航系统投资巨大，一经建成，一定要投入广泛应用，发挥效益。从2000年到2003年，我们共发射了3颗GEO卫星，其中一颗是备用星。北斗一号的建设，标志着我们国家成为世界上第三个拥有自主卫星导航系统的国家，使我们成功跻身于卫星导航这个行列中。

我们的第一步就是先探路，花很少的钱，建设需要卫星数量很少的试验系统，验证系统设计思想的正确性。通过北斗一号的建设和应用实践，逐渐建立北斗的科研队伍，包括卫星、

火箭，尤其是非常重要的地面段的运行控制、应用推广，为后续工程的建设打下扎实的基础。

第二步，2012年前建成北斗区域系统，即北斗二号。北斗一号解决了我国在卫星导航领域“有无”的问题，积累了经验和技能，也取得了很好的应用。但北斗一号是有源系统，这就导致我们的用户机个头大、功耗大、易暴露，在定位、导航的精度、连续性、实时性、覆盖性上，与我们快速增长的应用需求还存在较大的差距。因此，我们要把区域有源试验系统发展成区域无源系统，在保留北斗特色的同时，进一步提升北斗的性能。

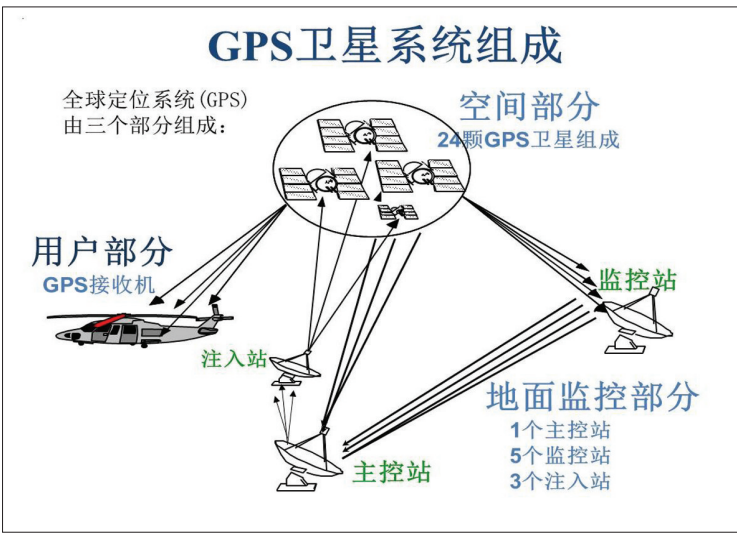
北斗二号世界首创了三种卫星的混合星座——用5颗GEO卫星、5颗IGSO卫星和4颗MEO卫星组成我们的北斗星座，不但保留了北斗一号的技术能力，还可以优先服务我国及周边，最终走向服务全球。

北斗二号于2012年12月27日正式提供服务，运行已5年半，系统总体运行稳定可靠，服务性能满足承诺指标要求，从未发生服务中断，定位精度由10米提升至6米。建设北斗地基增强系统，形成全国“一张网”，可提供实时厘米级高精度服务。建成全球连续监测评估系统，具备对北斗、GPS、格洛纳

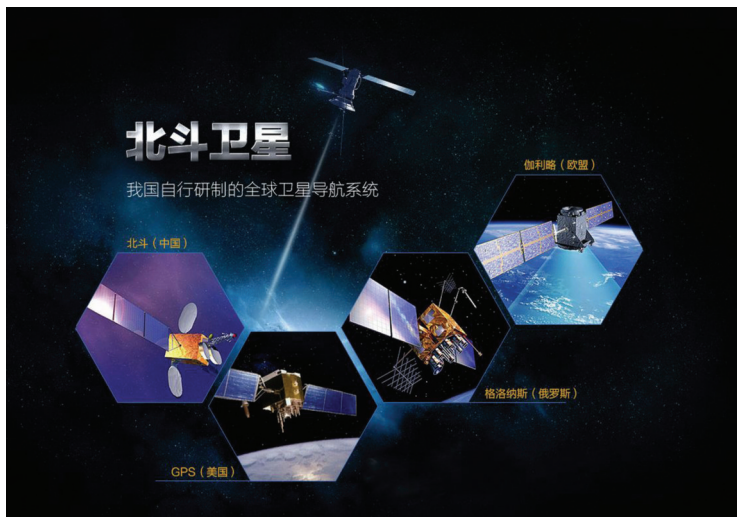
斯、伽利略四大系统监测评估能力。为保证北斗二号系统持续平稳运行，未来两年内还将再发射2颗北斗二号备份卫星，确保服务性能稳中有升。

第三步，2020年建成北斗全球系统，即北斗三号。2017年11月，2018年1月2月、3月，半年内成功发射四组8颗北斗三号卫星，北斗全球系统组网建设进入快车道。目前正在进行组网卫星的在轨测试，系统集成与性能评估，初步结果表明，卫星在轨状态良好，性能满足指标要求。北斗三号增加了星间链路、全球搜索救援等新功能，播发更优的导航信号，采用了新一代铷原子钟和被动型氢原子钟相结合的方式，稳定度达到E-15量级，整体性能大幅提升。经过在轨测试，空间信号用户测距误差预计达到0.5米，系统定位精度将达到2.5米至5米。北斗特色RDSS服务容量提高10倍，用户发射功率降低至1/10，支持手机应用。

今后将持续推进以北斗系统为核心的综合PNT体系建设，争取到2035年，构建空天地海无缝覆盖、高精度安全可靠、万物互联万物智能的国家综合定位导航授时体系，显著提升时空信息服务能力，满足国民经济和国家安全需求，为全球用户提供更为优质的服务。



GPS 卫星系统组成



全球四大导航系统

“深度融合”带火北斗千亿级产业

我国已形成自主可控的北斗完整产业链，北斗在重点应用领域规模化使用，在大众消费领域规模化应用，正在催生“北斗+”融合应用新模式。2017年中国国内卫星导航产业产值为2550亿元，其中北斗对产业核心产值的贡献率为80%。预计至2020年，我国卫星导航产业的规模将超过4000亿元，北斗将拉动2400-3200亿元规模的市场份额。

基础产品方面，北斗芯片实现规模化应用，工艺跨入28纳米新时代，最低单片价格不到人民币6元，总体性能达到甚至优于国际同类产品，实现了基础产品向高端产业的跃升升级。截至2017年4月底，北斗导航型芯片模块销量已突破6500万片，高精度板卡和天线销量已占据国内30%和90%的市场份额，并

输出到80余个国家和地区。

行业区域应用方面，北斗已在公安、交通、渔业、电力、林业、减灾等行业得到广泛应用，正服务于智慧城市建设和社会治理。500多万辆营运车辆上线，建成全球最大的北斗车联网平台，相比2012年，道路运输重大事故率和人员伤亡率均下降50%以上。公安出警时间缩短近20%，突发重大灾情上报时间缩短至1小时内，应急救援响应效率提升2倍。全国4万余艘渔船安装北斗，累计救助渔民超过1万人，已成为渔民的海上保护神。基于北斗的高精度服务，已用于精准农业、危房监测、无人驾驶等领域。

大众应用方面，北斗日益走近百姓生活。世界主流手机芯片大都支持北斗，国内销售的智能手机，北斗正成为标

我国将加快建设北斗卫星导航认证体系

中国北斗卫星导航产品检测认证联盟日前举办了“北斗卫星导航产品认证试点工作推进会”，正式启动对包括芯片、终端产品、信息系统、运营服务在内的北斗卫星导航产品和服务的认证试点工作。据指导此项工作的中国国家认证认可监督管理委员会和中国卫星导航定位应用管理中心介绍，此举将进一步推进北斗卫星导航产品认证体系建设，有助于提升北斗卫星导航产品整体质量水平，规范北斗卫星导航行业管理，加速北斗卫星导航产业化进程，确保产业健康、可持续发展。

联盟秘书长张益青介绍，目前北斗导航系统在通信、铁路、测绘等领域的市场应用存在大量可培育和推广的空间，但我国尚未建立相关的认证制度，缺少权威认证机构，导致北斗标准体系不完善、产品研发体系不完整、行业应用标准滞后等问题愈发显现。因此，通过上述工作，将快速有效地打造北斗监测认证体系，为北斗导航系统，以及我国卫星导航产业整体发展扫清障碍。

目前，我国卫星导航产业发展势头良好，《2018中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书》介绍，北斗卫星导航系统正式开通5年来，已广泛应用于交通、海事、电力、民政、气象、渔业、测绘、市政管网等十几个行业领域，各类国产北斗终端产品推广应用已累计超过4000万台/套，包括智能手机在内的采用北斗兼容芯片的终端产品社会用户总保有量接近5亿台/套。2017年我国卫星导航与位置服务产业总产值已达到2550亿元，较2016年增长20.4%。其中包括与卫星导航技术直接相关的芯片、器件、算法、软件、导航数据、终端设备等在内的产业核心产值占比为35.4%，达到902亿元，对产业核心产值的贡献率已达到80%。业内预计，2018年产业增速仍有望保持20%以上，产业总产值也将有望突破3000亿元大关。

中国卫星导航定位应用管理中心等机构数据还显示，我国卫星导航设备营销总规模相较于全球市场，占比逐年提高，已接近15%。

当前，我国卫星导航与位置服务领域企业事业单位数量保持在14000家左右，其中卫星导航及北斗应用相关上市公司(含新三板)总数已达到58家(截至2018年1月数据)，全行业从业人员数量超过50万。

配。共享单车配装北斗实现精细管理。支持北斗的手表、手环、学生卡，更加方便和保护人们日常生活。以北京为例，33500辆出租车、21000辆公交车安装北斗，实现北斗定位全覆盖；1500辆物流货车及19000名配送员，使用北斗终端和手环接入物流云平台，实现实时调度。

北斗为我国各行业/领域提供了重要的位置导航时频信息，极大地促进了社会创新和经济的发展，是万物互联、万物感知、万物智能的纽带。在新时代背景下，北斗将加强与通信、遥感、互联网、物联网、大数据、云计算等新兴技术的融合发展，开展理论创新、技术创新、应用创新，创造衍生更多新技术、新产业、新业态、新模式，更好地助力国民经济和社会持续健康发展。