**三代北斗导航卫星的研制之路**

采用北斗航标遥测遥控装置的一艘大型灯船投放在珠江口担杆水道。记者 田建川 摄

　　2020年6月23日，由中国航天科技集团有限公司五院抓总研制的第55颗北斗导航卫星成功发射，北斗三号全球卫星导航系统星座部署全面完成。

　　中国航天人于20世纪80年代开始探索适合国情的卫星导航系统发展道路，形成了“三步走”发展战略。回首中国北斗自主创新的发展历程，作为北斗导航研制的“国家队”，航天科技集团五院的研制团队汇聚各方力量，同舟共济，携手拼搏，走出了一条独特的探索道路。

　　北斗是第一个“吃螃蟹”的

　　早在北斗工程诞生之前，我国就曾在卫星导航领域苦苦摸索，在理论探索和研制实践方面都开展了卓有成效的工作。作为先驱者，立项于20世纪60年代末的“灯塔计划”虽然最终因技术方向转型、财力有限等原因终止，但它却如同黑夜中的一盏明灯，以十余年的设计、研制为五院积累了宝贵的工程经验。

　　艰难的抉择。1983年，以陈芳允院士为代表的专家学者提出了利用2颗地球同步轨道卫星来测定地面和空中目标的设想，通过大量理论和技术上的研究工作，双星定位系统的概念逐步明晰。接下来的北斗路，是一步跨到全球组网，还是分阶段走？在当时引发了不小的争议。最终，“先区域、后全球”的思路被确定下来，“三步走”的北斗之路由此铺开。

　　先解决有无。1993年初，五院提出卫星总体方案，初步确定了卫星技术状态和总体技术指标。1994年，北斗一号系统工程立项，五院组建了卫星研制队伍，全面展开研制工作。然而，当时国外对我们技术封锁，国内的部件厂家尚未成熟，北斗一号研制只能在摸索中起步。

　　据航天科技集团五院北斗一号总设计师范本尧院士回忆，国产化从北斗一号的太阳帆板做起，“当时很多卫星都不敢上，北斗是第一个‘吃螃蟹’的，硬着头皮上”。

　　之后的国产化攻关更为艰苦，不论是东方红三号平台的横空出世，还是影响长寿命的关键部件，凭借自力更生的创业精神，以李祖洪总指挥、范本尧总设计师等为代表的老一辈北斗人逐一攻克，终于在2003年建成了北斗一号系统，使我国成为继美、俄之后第三个拥有自主卫星导航系统的国家。此间积累的建设和应用实践经验、教训，以及迅速成长的北斗研制队伍，为后续工程建设打下坚实的基础。

　　汗水与泪水交错中完成北斗二号卫星部署

　　1999年，五院在全力研制北斗一号卫星的同时，展开了对第二代卫星导航定位系统的论证。2004年，北斗二号卫星工程正式立项研制。为实现快速形成区域导航服务能力的国家战略，以谢军、杨慧等为代表的北斗人设计了国际上首个以GEO/IGSO卫星为主、有源与无源导航多功能服务相融合的卫星方案，攻克了以导航卫星总体技术、高精度星载原子钟等为代表的多项关键技术，打破了国外的技术封锁，建成了国际上首个混合星座区域卫星导航系统。2012年12月，该系统开通服务，服务区覆盖亚太。

　　谈起北斗二号8年激情燃烧的研制岁月，很多北斗人记忆犹新。2007年正是首颗北斗二号卫星研制攻关的关键时刻。根据国际电联的规则，频率资源是有时限的，过期作废。

　　时间不等人！争分夺秒完成了前期所有研制，为节省时间，所有参试人员进驻发射场后又大干3天体力活，搬设备、扛机柜、布电缆。没有片刻的喘息，紧接着就是200小时不间断的加电测试。

　　这一次，院士、型号老总和技术人员一起排班，共同度过次次险情和种种考验。不少队员都因为水土不服而拉肚子、发烧，谢军总设计师晕倒了3次，但大家都带病坚持在岗位上……

　　2007年4月16日，在成功发射的两天后，北京从飞行试验星获得清晰信号，此时距离空间频率失效仅有不到四个小时。此次壮举，有效地保护了我国卫星导航系统的频率资源，为北斗区域导航系统建设有序推进起到了重要的作用。

　　和空间频率申报期赛跑、攻克一道道技术难关、三年14星连战连捷……汗水与泪水交错中，研制团队圆满完成了北斗二号卫星部署，2012年12月27日，北斗卫星导航系统正式提供区域服务，北斗系统成为国际卫星导航系统四大服务商之一。

　　在太空刷新“中国速度”

　　2000年成功研制我国第一代导航卫星试验系统，2012年成功建成国际上首个混合星座区域卫星导航系统，北斗导航“三步走”战略顺利完成前面两大步，蹄疾而步稳。

　　就在北斗二号正式提供区域导航定位服务前，北斗三号全球导航系统的论证验证工作拉开序幕，并明确了研制要求，确定了建设独立自主、开放兼容、技术先进、稳定可靠的全球卫星导航系统的发展目标，自此北斗开启了创新发展的新征程。

　　建设高性能、高可靠的北斗全球卫星导航系统，是我国科技领域中长期发展规划的16项重大专项之一，系统建设既是对北斗区域系统的完善与升级，更是聚焦世界一流卫星导航系统的攀登与跨越。系统建成后性能与GPS相当，将使我国卫星导航系统达到国际先进水平。

　　相对于北斗二号区域系统，北斗三号服务区域将扩展至全球，同时，实现了下行导航信号升级与改造等关键技术方面的突破，实现了与北斗二号下行导航信号的平稳过渡，并在此基础上增加了新的导航信号，为用户提供更为优质的服务。

　　站在前两代的肩膀上，北斗“第三步”迈得无比自信。航天科技集团五院的研制团队在谢军、迟军、王平、陈忠贵等专家的带领下，汇聚各方力量，把车间当成战场，把攻关当成战斗，奋勇拼搏，先后攻克了北斗系统的各种难关。

　　——新突破实现联通无极限。由于我国北斗系统不能像美国GPS那样，在全球建立地面站，为了解决境外卫星的数据传输通道，航天科技集团五院北斗三号研制团队攻克了星座星间链路技术，采取星间、星地传输功能一体化设计，实现了卫星与卫星、卫星与地面站的链路互通，这就是说，虽然“看不见”在地球另一面的北斗卫星，但用北斗卫星的星间链路同样能与它们取得联系。用星间链路技术实现太空兄弟间手拉手，心相通，不仅实现了相互间的通信和数据传输，还能相互测距，自动“保持队形”，可以减轻地面管理维护压力。星间链路技术的应用中，设计了全新的网络协议、管理策略和路由策略，解决了不能全球布站进行卫星境外监测的难题，是北斗全球导航系统建设的一大特色。

　　——新技术实现卫星长寿命。“北斗是一个开放的系统，中国的北斗，世界的北斗，中国发展卫星导航技术是国民经济的重要基础设施，也是为全人类提供时间坐标和空间坐标的基础设施，服务的连续性和稳定性十分重要”，航天科技集团五院北斗三号卫星总指挥迟军介绍说，就像停水停电影响城市生活一样，卫星导航服务一旦中断，国家和社会的正常运行会受到很大的影响，因此，对卫星导航的可靠性、连续性提出了苛刻设计的要求。为了提高卫星在轨服务的可靠性，北斗三号卫星采取了多项可靠性措施，使卫星的设计寿命达到12年，达到国际导航卫星的先进水平，为北斗系统服务的连续、稳定提供了基础保证。

　　——新“神器”让服务“零误差”。为了提高服务的精度，北斗三号配置了新一代原子钟，通过提升原子钟指标，提升卫星性能、改善用户体验。原子钟是利用原子跃迁频率稳定的特性保证产生时间的精准性，目前国际上主要有铷原子钟、氢原子钟、铯原子钟等。我国北斗卫星采用铷原子钟，同时还配置了性能更高的新研国产氢原子钟。氢原子钟虽然质量和功耗比铷原子钟大，但稳定性和漂移率等指标更优。相对于铷原子钟，我国起步更晚，2015年我国研制的氢原子钟首次在轨应用验证，为北斗全球导航系统进行了技术探索，至今功能、性能十分稳定。星载氢原子钟的在轨应用，对于实现北斗导航定位“分秒不差”，发挥着重要作用。

　　自2009年12月，北斗三号研制团队开始加速冲刺，并在2018年成功实现一年19星发射，在太空中再次刷新了“中国速度”，不仅率先提出了国际上首个高中轨道星间链路混合型新体制，形成了具有自主知识产权的星间链路网络协议，自主定轨、时间同步等系统方案，填补了国内空白；而且研发、建立了器部件国产化从研制、验证到应用的一体化体系，彻底打破了核心器部件长期依赖进口、受制于人的局面……今日之北斗，已取得史诗般的进步和成就，“三步走”的战略路径，从“梦想在望”变成“梦想在握”。

　　未来，到2035年，以北斗系统为核心，建设完善更加泛在、更加融合、更加智能的国家综合定位导航授时体系。