北斗卫星导航系统

一、简要概况

北斗卫星导航系统（Beidou Navigation Satellite System，简称：BDS，又称为：COMPASS，中文音译名称：BeiDou[75]）是中国自行研制的[全球卫星导航系统](https://baike.baidu.com/item/%E5%85%A8%E7%90%83%E5%8D%AB%E6%98%9F%E5%AF%BC%E8%88%AA%E7%B3%BB%E7%BB%9F/3395723?fromModule=lemma_inlink)，也是继[GPS](https://baike.baidu.com/item/GPS/214654?fromModule=lemma_inlink)、[GLONASS](https://baike.baidu.com/item/GLONASS/2760280?fromModule=lemma_inlink)之后的第三个成熟的卫星导航系统。北斗卫星导航系统（BDS）和美国[GPS](https://baike.baidu.com/item/GPS/214654?fromModule=lemma_inlink)、俄罗斯[GLONASS](https://baike.baidu.com/item/GLONASS/2760280?fromModule=lemma_inlink)、欧盟[GALILEO](https://baike.baidu.com/item/GALILEO/20369040?fromModule=lemma_inlink)，是[联合国](https://baike.baidu.com/item/%E8%81%94%E5%90%88%E5%9B%BD/135426?fromModule=lemma_inlink)卫星导航委员会已认定的供应商。

二、发展历史

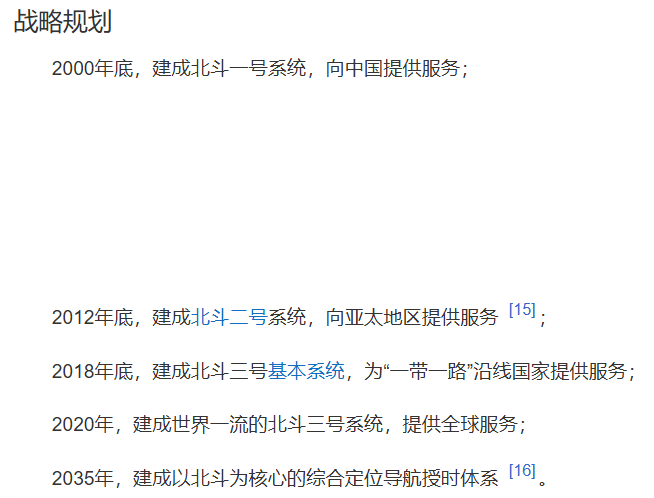
中国高度重视北斗系统建设发展，自20世纪80年代开始探索适合国情的卫星导航系统发展道路，形成了“三步走”发展战略：2000年年底，建成北斗一号系统，向中国提供服务；2012年年底，建成北斗二号系统，向亚太地区提供服务；2020年，建成北斗三号系统，向全球提供服务。

第一步，建设[北斗一号](https://baike.baidu.com/item/%E5%8C%97%E6%96%97%E4%B8%80%E5%8F%B7/2646075?fromModule=lemma_inlink)系统。1994年，启动北斗一号系统工程建设；2000年，发射2颗[地球静止轨道卫星](https://baike.baidu.com/item/%E5%9C%B0%E7%90%83%E9%9D%99%E6%AD%A2%E8%BD%A8%E9%81%93%E5%8D%AB%E6%98%9F/53566933?fromModule=lemma_inlink)，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、广域差分和短报文通信服务；2003年发射第3颗地球静止轨道卫星，进一步增强系统性能。

第二步，建设[北斗二号](https://baike.baidu.com/item/%E5%8C%97%E6%96%97%E4%BA%8C%E5%8F%B7/1667131?fromModule=lemma_inlink)系统。2004年，启动北斗二号系统工程建设；2012年年底，完成14颗卫星（5颗地球[静止轨道卫星](https://baike.baidu.com/item/%E9%9D%99%E6%AD%A2%E8%BD%A8%E9%81%93%E5%8D%AB%E6%98%9F/7117077?fromModule=lemma_inlink)、5颗倾斜地球[同步轨道卫星](https://baike.baidu.com/item/%E5%90%8C%E6%AD%A5%E8%BD%A8%E9%81%93%E5%8D%AB%E6%98%9F/15584148?fromModule=lemma_inlink)和4颗中圆地球轨道卫星）发射组网。北斗二号系统在兼容北斗一号系统技术体制基础上，增加无源定位体制，为亚太地区用户提供定位、测速、授时和短报文通信服务。

第三步，建设[北斗三号](https://baike.baidu.com/item/%E5%8C%97%E6%96%97%E4%B8%89%E5%8F%B7/9540358?fromModule=lemma_inlink)系统。2009年，启动北斗三号系统建设；2018年年底，完成19颗卫星发射组网，完成基本系统建设，向全球提供服务；计划2020年年底前，完成30颗卫星发射组网，全面建成北斗三号系统。北斗三号系统继承北斗有源服务和无源服务两种技术体制，能够为全球用户提供基本导航（定位、测速、授时）、全球短报文通信、国际搜救服务，中国及周边地区用户还可享有区域短报文通信、星基增强、精密单点定位等服务。

2020年6月23日，北斗三号最后一颗全球组网卫星在[西昌卫星发射中心](https://baike.baidu.com/item/%E8%A5%BF%E6%98%8C%E5%8D%AB%E6%98%9F%E5%8F%91%E5%B0%84%E4%B8%AD%E5%BF%83/981636?fromModule=lemma_inlink)点火升空。[7]6月23日9时43分，中国在西昌卫星发射中心用长征三号乙运载火箭，成功发射北斗系统第五十五颗导航卫星，暨北斗三号最后一颗全球组网卫星，至此北斗三号全球卫星导航系统星座部署比原计划提前半年全面完成，标志着中国北斗“三步走”发展战略圆满完成，中国成为世界上第三个独立拥有全球卫星导航系统的国家



三、系统构成

系统基本组成部分以及增强系统两部分组成。

1、基本组成部分：

北斗系统由空间段、地面段和用户段三部分组成。

空间段由若干[地球静止轨道卫星](https://baike.baidu.com/item/%E5%9C%B0%E7%90%83%E9%9D%99%E6%AD%A2%E8%BD%A8%E9%81%93%E5%8D%AB%E6%98%9F/53566933?fromModule=lemma_inlink)、[倾斜地球同步轨道卫星](https://baike.baidu.com/item/%E5%80%BE%E6%96%9C%E5%9C%B0%E7%90%83%E5%90%8C%E6%AD%A5%E8%BD%A8%E9%81%93%E5%8D%AB%E6%98%9F/23429263?fromModule=lemma_inlink)和中圆地球轨道卫星组成。

地面段包括主控站、时间同步/注入站和监测站等若干地面站，以及星间链路运行管理设施。

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。

详细介绍：北斗卫星导航系统由空间段、地面段、用户段组成。

空间段包括5颗静止轨道(GEO)卫星和30颗非静止轨道卫星，其中30颗非静止轨道卫星包括27颗中圆轨道(MEO)卫星和3颗倾斜同步轨道(IGSO)卫星。

地面段由主控站、注入站、监测站组成，其中，主控站用于系统运行管理与控制等，

（1）主控站从监测站接收数据并进行处理，生成卫星导航电文和差分完好性信息，而后交由注入站执行信息的发送；

（2）注入站用于向卫星发送信号，对卫星进行控制管理，在接收到主控站的调度指令后，将卫星导航电文和差分完好性信息发送至卫星；

（3）监测站用于接收卫星的信号，并发送给主控站，实现对卫星的监测，以确定卫星轨道，并为时间同步提供观测资料。

用户段捕获并跟踪卫星的信号，根据数据按一定的方式进行定位计算，最终得到用户的经纬度、高度、速度、时间等信息。

2、增强系统部分：

北斗系统增强系统包括地基增强系统与星基增强系统。

北斗地基增强系统是北斗卫星导航系统的重要组成部分，按照“统一规划、统一标准、共建共享”的原则，整合国内地基增强资源，建立以北斗为主、兼容其他卫星导航系统的高精度卫星导航服务体系。利用北斗/GNSS高精度接收机，通过地面基准站网，利用卫星、移动通信、数字广播等播发手段，在服务区域内提供1-2米、分米级和厘米级实时高精度导航定位服务。系统建设分两个阶段实施，一期为2014年到2016年底，主要完成框架网基准站、区域加强密度网基准站、国家数据综合处理系统，以及[国土资源](https://baike.baidu.com/item/%E5%9B%BD%E5%9C%9F%E8%B5%84%E6%BA%90/920791?fromModule=lemma_inlink)、[交通运输](https://baike.baidu.com/item/%E4%BA%A4%E9%80%9A%E8%BF%90%E8%BE%93/9649723?fromModule=lemma_inlink)、[中科院](https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%AD%E7%A7%91%E9%99%A2/466976?fromModule=lemma_inlink)、[地震](https://baike.baidu.com/item/%E5%9C%B0%E9%9C%87/40588?fromModule=lemma_inlink)、[气象](https://baike.baidu.com/item/%E6%B0%94%E8%B1%A1/1699215?fromModule=lemma_inlink)、[测绘地理信息](https://baike.baidu.com/item/%E6%B5%8B%E7%BB%98%E5%9C%B0%E7%90%86%E4%BF%A1%E6%81%AF/7975503?fromModule=lemma_inlink)等6个行业数据处理中心等建设任务，建成基本系统，在全国范围提供基本服务；二期为2017年至2018年底，主要完成区域加强密度网基准站补充建设，进一步提升系统服务性能和运行连续性、稳定性、可靠性，具备全面服务能力。

北斗星基增强系统北斗卫星导航系统的重要组成部分，通过地球静止轨道卫星搭载卫星导航增强信号转发器，可以向用户播发星历误差、卫星钟差、电离层延迟等多种修正信息，实现对于原有卫星导航系统定位精度的改进。按照国际民航标准，开展北斗星基增强系统设计、试验与建设。已完成系统实施方案论证，固化了系统下一代双频多星座（DFMC）SBAS标准中的技术状态，进一步巩固了BDSBAS作为星基增强服务供应商的地位。

四、系统功能

北斗卫星系统具有实时导航、快速定位、精准授时、位臵报告和短报文通信服务五大功能。

1）实时导航：结合交通、测绘、地震、气象、国土等行业监测站网资源，提供实时米级、分米级、厘米级等增强定位精度服务，生成高精度的实时轨道、钟差、电离层等产品信息，以满足实时用户应用；

2）快速定位：北斗系统的性能达到国外同类系统水平，其中瞬态和快速定位指标居国际领先地位，可为服务区域内用户提供全天候、高精度、快速实时定位服务；

3）精确授时：北斗系统时钟通过星载高精度的铷原子钟和氢原子钟和UTC时间同步，地面用户北斗接收机接收到来自卫星的时钟信号后，即可完成高精度的时间传递。

4）位臵报告：北斗全球位臵报告是用户将卫星无线电导航业务(RNSS)定位结果，通过北斗组网星座中全球连续覆盖的入站链路发送至地面控制中心，实现位臵报告功能。

5）短报文通信：北斗系统是全球首个在定位、授时之外集报文通信为一体的卫星导航系统，短报文通信是北斗系统的核心优势。它通过空间卫星将信号传输到接收机(如船舶接收机)上，既可以避免传输距离近的弊端，又可以提高通信质量。

五、核心技术

1、时频技术

北斗三号的时频是一个制高点技术。卫星导航之所以成立，是因为可以把时间测准。

起初，北斗研制方采用的是中国国外进口的铷钟，但铷钟并不是最好的，氢钟比铷钟更好。通过努力，上海天文台的林传富等科学家制造成功了世界上第一台双频氢原子钟。中国又自主研发了无缝切换技术——让氢钟和铷钟同时工作，如果氢钟坏了，可以无缝切换到铷钟。这个切换速度可以达到20×20的负12次方秒，用户连感觉都没有。由此，北斗研制单位独立掌握了卫星导航系统的时频技术，北斗卫星的精度比美国高了近一个量级[49]。

2、星间链路

北斗三号采用全球首创的Ka相控阵星间链路技术。由于我国在建设北斗系统时并不具备全球布站的条件，如果沿用以前的技术，无法实现全球卫星导航系统的目标。因此，北斗研制单位首创了星间链路技术，把多个卫星联合起来形成一个巨大的网络进行通话和传输，这项技术就像是为北斗系统的30颗卫星建立了一个微信群，实现了“一星通，星星通”，基于国内测站实现全球运行。

说起来容易做起来难。当时也有人反对研发这项技术，理由是这项技术美国人都没实现，咱们不可能做成。实际上，正是因为这项全世界谁都没有做过的创新技术，使北斗卫星7万千米的测距精度达到了1厘米。这是什么概念呢？就是差不多绕地球两圈的距离，测距精度可以达到1厘米。也就是说，北斗导航的核心指标URE（用户测距误差）比美国高了近一个量级[49]。

3、导航平台

北斗三号采用的是导航卫星专用平台。整个北斗三号有160多项关键技术，导航卫星专用平台就有50多项技术。北斗研制单位突破了一系列技术瓶颈，建造了“中科院专用导航卫星平台”，具有高可靠度、长寿命、小型化的特点[49]。

4、信号体制

北斗三号运用了新型导航信号体制。导航信号从天上发射到地面会变得微弱，必须通过大功率放大来解决。北斗二号系统主要通过采用行波管放大器来解决这个问题，但是进口的行波管价格高，交付进度也得不到保证。后来，在中科院电子所的攻关下，这项技术被北斗研制单位掌握了。然而，行波管是唯一的解决方法吗？北斗研制单位又把氮化镓的高效固放技术运用到星载系统中，有效提升了信号质量。这项技术在2015年3月30日新一代北斗导航系统首发星发射时就已经采用了。在导航系统中，这项技术还是独家的[49]。

六、市场应用

1、基础产品

北斗卫星导航芯片、模块、天线、板卡等基础产品，是北斗系统应用的基础。通过卫星导航专项的集智攻关，我国实现了卫星导航基础产品的自主可控，形成了完整的产业链，逐步应用到国民经济和社会发展的各个领域。伴随着互联网、大数据、云计算、物联网等技术的发展，北斗基础产品的嵌入式、融合性应用逐步加强，产生了显著的融合效益。

2、交通

北斗卫星导航系统是助力实现交通运输信息化和现代化的重要手段，对建立畅通、高效、安全、绿色的现代交通运输体系具有十分重要的意义。

主要包括陆地应用，如车辆自主导航、车辆跟踪监控、车辆智能信息系统、车联网应用、铁路运营监控等；航海应用，如远洋运输、内河航运、船舶停泊与入坞等；航空应用，如航路导航、机场场面监控、精密进近等。随着交通的发展，高精度应用需求加速释放。

千寻位置推动北斗时空智能技术在公路养护方面的创新应用，打造“北斗+AI”道路智能巡检系统——千寻驰观。在北斗时空智能的赋能下，千寻驰观让道路病害有了精准的位置和唯一的身份信息，可实现精确的面积计算，实现对道路病害的漏报率低于5%、准确率高达90%的巡检效果，其效率是人工巡检的近40倍。千寻驰观已在山东、辽宁、云南、江苏等全国多个省市的高速公路及国省干线落地，成为提升道路养护管理水平和管理效能的重要工具。

3、农业

北斗卫星导航技术结合遥感、地理信息等技术，使得传统农业向智慧农业农业加快发展，显著降低了生产成本，提升了劳动生产率，提高了劳动收益。

主要包括农田信息采集、土壤养分及分布调查、农作物施肥、农作物病虫害防治、特种作物种植区监控、以及农业机械无人驾驶、农田起垄播种、无人机植保等应用，其中农业机械无人驾驶、农田起垄播种、无人机植保等应用对高精度北斗服务需求强烈。

在农业领域，基于北斗时空智能服务的千寻农机导航系统可适配拖拉机、插秧机、植保机、收割机等农业机械，实现起垄、开沟、耙地、深松、深翻、旋地、播种、插秧等全环节自动驾驶作业，定位精度可达2.5cm，将作业效率大幅提升30%。此外，“星地一体”技术能力和电离层抑制能力还能有效保证农机导航的稳定性，实现24小时全天候精准作业。如今，千寻农机导航系统已经遍布全国23个省市，保障春耕作业的顺利开展。

4、林业

林业是北斗系统应用较早的行业之一。林业管理部门利用北斗应用进行林业资源清查、林地管理与巡查等，大大降低了管理成本，提升了工作效率。

主要包括林区面积测算、木材量估算、巡林员巡林、森林防火、测定地区界线等应用。其中巡林员巡林、森林防火等使用了北斗特有的短报文功能。

特别是在国家森林资源普查中，北斗卫星导航技术结合遥感等技术，发挥了重要作用。而随着中国林区实行集体林权改革，北斗系统也在勘界确权上得到广泛应用。

5、渔业

主要包括渔船出海导航、渔政监管、渔船出入港管理、海洋灾害预警、渔民短报文通信等等应用。特别是在没有移动通信信号的海域，使用北斗系统短报文功能，渔民能够通过北斗终端向家人报平安，有力保障了渔民生命安全、国家海洋经济安全、海洋资源保护和海上主权维护。

6、大众应用

　 手机、可穿戴设备等北斗大众应用，逐步成为近年来北斗应用的新亮点。利用北斗定位功能，实现手机导航、路线规划等一系列位置服务功能，使人民生活更加便捷。

主要包括手机应用、车载导航设备、可穿戴设备等应用，通过与信息通信、物联网、云计算等技术深度融合，实现了众多的位置服务功能。

“车道级导航”、“红绿灯倒计时”等北斗创新应用

7、能源

在能源领域，白皮书提到在中石油西南油气田通过提供北斗厘米级定位无人机燃气泄漏巡检系统、北斗时空智能油气管道智慧桩、北斗时空智能数字孪生平台、毫米级管道地灾监测系统以及管网GIS自动测绘成图系统等，千寻位置促进北斗时空智能融入示范区燃气安全生产工作的全面感知、智能分析、综合管控等各个环节，报警及时准确，事件响应率达100%。

七、未来发展方向

　2035年前还将建设完善更加泛在、更加融合、更加智能的综合时空体系。

中国将进一步深化发展下一代北斗系统，建设更加泛在、更加智能、更加融合的综合时空体系。北斗系统依然是核心，并将把所有与时空信息有关的新兴技术，全部纳入该体系里一体统筹，同步发展，加快发展，预计目标是2035年全面建成综合时空体系。

《新时代的中国北斗》白皮书指出，面向未来，中国将建设技术更先进、功能更强大、服务更优质的北斗系统，建成更加泛在、更加融合、更加智能的综合时空体系，提供高弹性、高智能、高精度、高安全的定位导航授时服务，更好惠及民生福祉、服务人类发展进步。