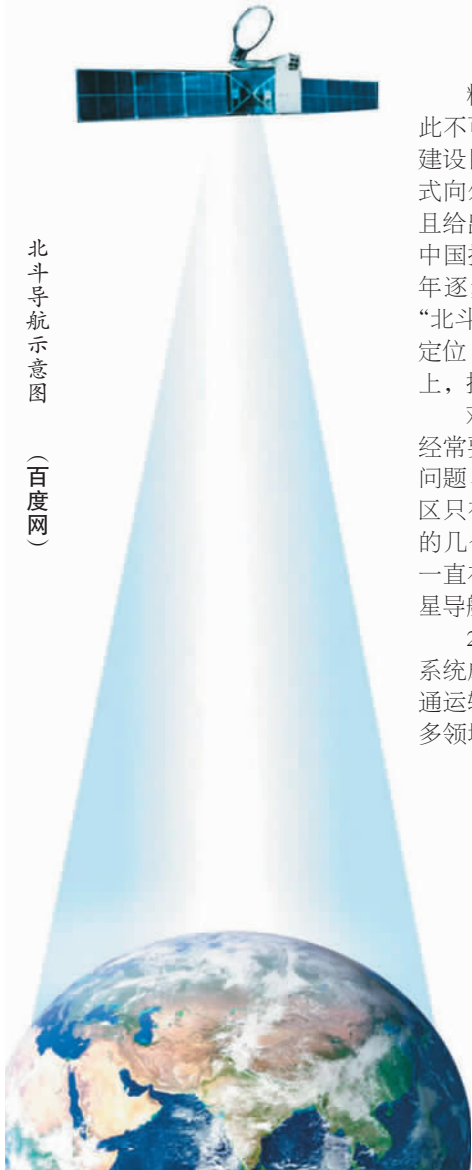


精细入微 中国北斗导航世界

本报记者 张保淑



北斗导航示意图

(百度网)

精度达“厘米级”，误差在数厘米之间。如此不可思议的定位精度是中国“夔龙系统”的建设目标。2016年11月，中国航天科技集团正式向外界发布，该系统建设工作全面启动，并且给出了关键时间节点：初步计划2018年覆盖中国提出的“一带一路”倡议所及区域，2022年逐步发展到覆盖全球。夔龙系统作为首个“北斗”全球“厘米级”定位系统，是强大国产定位“天尺”，将在北斗卫星导航定位系统基础上，提供精细入微的服务。

对空间位置的准确感知是人们生产生活中经常要面对的问题，然而，有能力独立解决该问题、拥有自己独立导航定位系统的国家或地区只有美国、俄罗斯、欧盟和中国等为数不多的几个。中国高度重视卫星导航系统的建设，一直在努力探索和发展拥有自主知识产权的卫星导航系统。

2000年，中国建成北斗导航试验系统。该系统成功应用于测绘、电信、水利、渔业、交通运输、森林防火、减灾救灾和公共安全等诸多领域，产生显著的经济效益和社会效益。特别是在2008年北京奥运会、汶川抗震救灾中发挥了重要作用。为了更好地服务于国家建设与发展，满足全球应用需求，中国启动实施了北斗卫星导航系统建设。

2012年12月27日，拥有14颗卫星和32个地面站的中国北斗导航系统正式向亚太地区提供服务，成为继美国的GPS、俄罗斯的格洛纳斯后，全球第三个成熟的卫星导航系统。一年后，《北斗系统公开服务性能规范（1.0版）》和《北斗系统空间信号接口控制文件（2.0版）》两个系统文件发布。

2014年11月23日，国际海事组织海

上安全委员会审议通过了对北斗卫星导航系统认可的航行安全通函，这标志着北斗卫星导航系统正式成为全球无线电导航系统的组成部分，取得面向海事应用的国际合法地位。

2017年，中国计划发射6至8颗全球组网卫星，全面推进北斗三号系统研制建设，率先为“一带一路”相关国家提供基本服务。这标志着北斗全球组网、全球服务进程拉开帷幕。

在扩大服务范围的同时，北斗在提升导航精度上下工夫。2014年9月，北斗地基增强系统启动研制建设。2017年1月，北斗地基增强系统项目一期建设完成，包括150个框架网基准站和近1270个区域加密网基准站的全部研制建设任务，系统可对外提供米级、亚米级高精度定位服务。地基增强系统项目二期建设计划于2018年底完成，主要进行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，实现全面服务能力。2017年2月，我国首个自主研发的“米级快速定位北斗芯片”正式推出，实现了基础产品的自主可控并达到国际先进水平。

夔龙系统的建设无疑是中国导航定位精度的一个里程碑。该系统通过计算从全球多达300个以上的多系统卫星导航参考站所获取的

观测数据，对传统的卫星导航定位中对于定位精度影响较大的轨道误差、时钟误差等参数进行精密修正，并通过5颗地球同步轨道卫星和60颗以上的低轨通信卫星星座，向卫星导航终端播发相关修正参数，同时提供4种数据信号，分别对应“亚米级、亚分米级、厘米级、航空安全级”服务。

目前亚米级应用主要可应用于大众消费类以及对于精度要求不高的工业应用场景。亚分米级应用和厘米级应用主要应用在测绘领域、农业领域和工业生产领域。巨大的农业机械在夔龙系统厘米级定位精度的辅助下，将可以达到更高的生产效率。在夔龙系统的辅助下，矿山机械、车辆与人员完全实现了自动化控制与调度，保障生命安全，提高生产率。

近年来，导航卫星系统故障、恶劣电磁环境影响等事件频发，对于卫星导航的区域可用性造成了很大的挑战。夔龙系统通过对于各卫星导航系统的全球监测，准实时发布系统可用情况，切实保障卫星导航应用的安全可靠。这方面目前主要应用于航空安全，未来可逐步扩展，应用到高铁、无人汽车等领域。

除了夔龙系统之外，中国航天科技集团公司还推出了“鸿雁卫星星座通信系统”。该系



“北斗”之父、中国工程院院士孙家栋（左）在工作中（百度网）

统计计划于2020年建成，将由60颗低轨道小卫星及全球数据业务处理中心组成，具有全天候、全时段及在复杂地形条件下的实时双向通信能力，可为用户提供全球实时数据通信和综合信息服务，其中包括导航增强功能。特别值得一提的是“鸿雁星座”将搭载船舶自动识别系统，可在全球范围内接收船舶发送的信息，全面掌握船舶的航行状态、位置、航向等，实现对远海海域航行船舶的监控及渔政管理；还将搭载广播式自动相关监视载荷，可从外层空间对全球航空目标进行位置跟踪、监视及物流调控，增强飞行安全性及突发事件搜救能力。“鸿雁星座”与“北斗”之间将来可以携手合作，前者可为北斗卫星增强系统提供信息播发通道，将北斗导航卫星定位精度再提升一个台阶。

上亿年误差1秒

冷原子钟中国造

杨春雪 喻菲

没有钟摆，也没有秒针走动的滴答声，一只“长相”完全不符合人们对钟的预期的黑色圆柱体搭乘天宫二号空间实验室来到太空，成为人类历史上第一台在轨进行科学试验的空间冷原子钟。这只钟对时间的测量基于原子物理，而又跟大部分的原子钟不同，这只钟应用的是更为先进的冷原子物理技术。

据上海光机所中科院量子光学重点实验室主任刘亮介绍，如

自身的“冷”。

在微重力环境下，原子团可以做超慢速匀速直线运动，基于对这种运动的精细测量可以获得较地面上更加精密的原子谱线信息，从而可以获得更高精度的原子钟信号，实现在地面上无法实现的性能。

此外，利用激光冷却技术，原子气体被冷却至极低的温度，这极大地消除了原子热运动对原子钟性能的影响。

“就像你坐在房间里，虽然

太空中做一个高精度的时间基准。有了这个基准，就可以把天上的原子钟都同步起来，让它们变得更为精准。

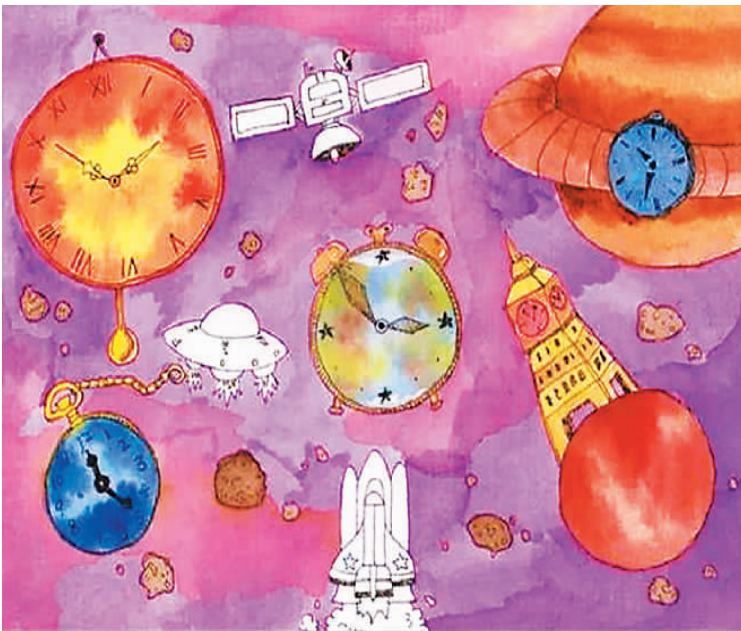
由于空间轨道与地球表面之间存在大气和电离层，地面高精度的时间基准信号与卫星或宇航器进行时间同步比对时，会受大气多变状态的干扰，导致各种误差和不稳定性。

空间冷原子钟的在轨运行，则将在太空中建立超高精度的时间频率基准，对其他卫星上的星载原子钟进行无干扰的时间信号传递和校准，使得基于空间冷原子钟同步的全球卫星导航系统具有更加精确和稳定的运行能力。

据科学家介绍，冷原子技术的发展使许多实验的精度大幅提高，使原来不可能进行的实验成为可能。例如，目前的卫星导航系统只能用于近地范围，未来有没有可能实现太阳系星间的定位呢？若是能在空间合适的位置放置高精度原子钟，就可以实现大尺度的高精度导航。

刘亮认为，最合适的位置是太阳系中的各个拉格朗日点，因为这里不受引力的影响。若在这些点上各放置一台高精度原子钟，则至少可以在太阳系较大范围内实现准确定位。这一旦实现，就可以进行大尺度时空研究，例如可以验证广义相对论在大尺度情况下是否成立等。

刘亮介绍，利用空间冷原子钟还可以测量引力红移，探测引力波以及暗物质等。“实际上，很多研究都是基于我们对于时空的测量。只要能探测到时空的变化，我们就能测出目前的方法感觉不到的东西。”他说。



精确计时的应用范围

(百度网)

果说机械表1天差不多有1秒误差，石英表10天大概有1秒误差，氢原子钟数百万年有1秒误差，那么冷原子钟甚至可以做到3亿年误差1秒。

空间冷原子钟精确计时秘诀在于“高、冷”二字：一方面得益于太空中“天宫二号”的“微重力”环境，另一方面则因为钟

看不见原子或分子，但里面的原子或分子都在运动，运动就会产生热，这便是热原子。冷原子技术是用激光的方法将原子温度从室温降低到接近绝对零度。对这些几乎不动的原子进行测量，结果会更加准确。”刘亮说。

科学家解释说，这是为了在



“太空穿针引线”

本报记者 张保淑

茫茫太空中，8月1日成功在轨释放立方的天舟一号正在高速运行，目前正静静等待实现被称为“太空穿针引线”的航天壮举：空间交会对接。值得一提的是，天舟一号和天宫二号即将联袂上演的这场航天大戏有一个鲜明的特点，那就是限时6.5小时完成，也就是说二者在九天之上，要在给定的这段时间内成功“穿针引线”，完成一次自动“快速”空间交会对接。在许多人看来，在6.5小时内完成一件事情，似乎算不上“快速”。但是相对于目前国际上自主快速交会最快也需要两天时间来说，6.5小时内完成任务，其速度无疑是惊人的。

空间交会对接是指两个航天器在空间轨道上会合并并在结构上连成一个整体的技术，是实现航天站、航天飞机、太空平台和空间运输系统的空间装配、回收、补给、维修、航天员交换及营救等在轨道上服务的先决条件。对中国载人航天来说，空间交会对接技术是必须“啃”下的一块“硬骨头”。从过程上来看，这项技术并不复杂。先是从地面发射追踪航天器，并使其按比目标航天器稍微低一点的轨道运行。接着通过变轨，使其进入与目标航天器高度基本一致的轨道，并与目标航天器建立通信关系。追踪航天器调整自己与目标航天器的相对距离和姿态，向目标航天器靠近。当两个航天器的距离为零时，完成对接合拢操作，结束对接过程。然而这一切都是两个航空器在太空高速运动中完成，有丝毫不慎，不是造成相撞事故，就是“谬以千里”。因而，这项技术被形象地称为“太空穿针引线”。

2011年11月3日1时36分，中国载人航天十年磨一剑，

迎来历史性时刻：神舟八号和天宫一号成功实现空间自主交会对接。2012年6月18日14时14分，在距地面高度340公里的近圆轨道上，神舟九号与天宫一号目标飞行器成功实现自动控制交会对接形成组合体。18日17时07分，航天员景海鹏首次成功进驻天宫一号，随后，另两名航天员刘旺、刘洋依次进驻。在组合体飞行6天后，所有航天员从天宫一号回到神舟九号内，两个航天器分离，然后成功进行了首次手动控制交会对接试验。至此，中国完全掌握了空间交会对接技术。

2013年6月13日中午，神舟十号与天宫一号进行首次交会对接。在这次太空飞行中，聂海胜、张晓光、王亚平3名航天员，在太空工作生活15天。神舟十号飞船先后与天宫一号进行一次自动交会对接和一次航天员手控交会对接。为进一步考核验证空间站运行轨道的交会对接和载人飞船返回技术等，2016年10月17日，神舟十一号飞船发射升空。两天后，神舟十一号与天宫二号自动交会对接成功。航天员景海鹏、陈冬进入天宫二号，进行了长达30多天的太空飞行生活。

天舟一号作为我国首艘货运飞船，是我国空间实验室任务的收官之战。2017年4月20日，天舟一号发射入轨。4月22日、6月19日，天舟一号与天宫二号成功进行了两次交会对接试验，连战连捷。目前，天舟一号正以昂扬的姿态，迎接即将到来的快速空间交会对接的考验。我们相信，中国航天人将以特别能吃苦、特别能战斗、特别能攻关、特别能奉献的载人航天精神，继续取得胜利。

交会对接技术是我国载人空间站、确保载人航天工程可持续发展的技术基石之一。该技术的突破将带动中国航天技术实现新跨越，增强中国航天的整体实力。



神舟十号载人飞行乘组，自左向右依次为航天员王亚平、聂海胜、张晓光。 新华社发