

2024年终系列报道·科技篇⑥

# 精益求精 导航天下

本报记者 张保淑

失之厘毫，谬以千里。减少误差，力求精确精准，一直是科技专家追求的目标之一。2024年，中国科技工作者继续为这个目标而努力，并取得一系列突出成就，特别是在导航精度、计时精度、探测精度、施工精度等方面，给人们的生活带来新的变化。

在建的世界第一高桥贵州花江峡谷大桥是精准施工的典范。图为该桥效果图。  
新华社发

## 北斗三号“收官星”发射入轨 增强导航服务精度可至分毫

9月19日，第59颗、第60颗北斗导航卫星在长征三号乙运载火箭与远征一号上面级的托举下直冲九霄，之后按计划顺利进入预定轨道。至此，北斗三号全球卫星导航系统正式收官。自1994年立项以来，北斗系统工程走过30年非凡历程，被打造成“中国的北斗、世界的北斗、一流的北斗”。

百尺竿头再进一步。随着两颗“收官星”发射入轨，北斗系统运行稳定性和导航精度再次提升。据北斗三号卫星系统总设计师、中国科学院微小卫星创新研究院副院长林宝军介绍，北斗的定位精度现已提升到厘米级，在交通运输、抢险救灾、农业生产、重大工程建设等诸多方面的应用价值进一步凸显。

建立星间链路是北斗三号进一步保持和提升导航性能核心手段之一。该技术旨在通过卫星之间的通信和测量，实现组成星座的各卫星之间自主导航、时钟同步和协同工作，从而提高导航系统的精度和可靠性。据了解，新入轨的两颗北斗卫星搭载了新型星间链路终端，可以更好地实现与其他卫星之间的组网及信息传输，不仅可以更好支撑北斗系统稳定运行和北斗规模应用，而且将为下一代北斗导航卫星技术升级进行相关试验。

建立北斗星间链路的构想最早可以追溯到中国科学家开始研究卫星导航系统阶段。北斗三号建设启动后，星间链路技术开始正式实施，从而助力北斗三号构建起服务全球的卫星星座系统并不断走向成熟和完善。

北斗三号提升导航精度的另一项措施是建立地基增强系统。作为国家卫星导航高精度服务基础设施，北斗地基增强系统由基准站网络、数据处理系统、运营服务平台、数据播发系统和用户终端五部分组成。基准站接收卫星导航信号后，通过数据处理系统解算形成导航卫星精密轨道和钟差等差分增强信息，经卫星、广播、移动通信等手段实时播发给应用终端，应用终端利用差分增强信息修正误差，实现米、分米、厘米级以及后处理毫米级服务，广泛服务于智能网联汽车、精准农业、智慧城市、测绘和土木工程等领域。

2024年，全国多省份在北斗地基增强系统构建方面取得硕果。根据近日发布的《四川省地理信息产业发展报告(2024)》，该省目前已建成北斗地基增强系统“一张网”，共有251座北斗卫星导航定位基准站。湖北作为全国首个建成省级北斗地基增强网的省份，截止至9月末，全省地基增强基准站近700座，可提供实时厘米级增强定位服务。

## 高精度地基授时系统授时台开播 “北斗”授时国际化取得突破

时间的准确性对于许多领域至关重要，无论是电话、电视、互联网，还是卫星导航系统，都需要精确的标准时间来确保信息的正确传递。在日常生活中，人们需要标准时间来规划日程、安排作息等。对于我们而言，这个标准时间就是北京时间，而“执掌”北京时间的机构就是中国科学院国家授时中心。经过一代代科学家艰苦努力，中国不仅实现了北京时间的自主测量而且授时精度和授时保障能力不断提升，2024年见证了北京时间和国家授时领域新的进步。

9月30日，高精度地基授时系统的敦煌长波授时台宣布建成并成功试播，这是中国科学院国家授时中心承担的“十三五”国家重大科技基础设施——高精度地基授时系统的重要组成部分。据了解，长波授时是目前最为可靠的地基授时手段。中国通过在甘肃敦煌、新疆库车勒和西藏那曲增建3个长波授时台，结合已有长波授时台站，可以实现长波授时信号全国全覆盖。中国科学院国家授时中心主任张首刚表示，高精度地基授时系统分别利用增强型罗兰无线电长波授时技术和光纤授时技术的高可靠、高精度特征，建设与卫星导航授时相互独立、相互备份、相互补充、相互增强的地基授时系统，与现有其他授时系统一起构建立体交叉、统一溯源、安全可控、

性能先进的国家级授时系统，更好地支撑经济社会运行和相关科技发展、更好地保障国家安全。

关于授时精度，张首刚表示，中国已建成目前世界上技术手段最为完备的国家授时系统，授时精度从最开始的毫秒级(千分之一秒)到了如今的百皮秒级(百分之一秒)，提高了7个数量级，处于世界领先水平，较好地满足了国家需求。

中国科学家积极为“驾驭”国际原子时作出贡献。4月发布的国际计量局相关公报公布了铯原子喷泉钟连续18个月的频率数据，表明中国科学院国家授时中心自主研发的铯原子喷泉钟装置可参与校准国际标准时间。该铯原子喷泉钟装置是张首刚领衔的课题组连续多年攻关的科研成果，此前已与其他校准国际原子时的基准钟进行了8个月比对测量并获得性能验证。

卫星导航系统是目前覆盖范围最广、使用性价比最高、广泛应用于全球各行各

业盐度变化而变化，可通过微波辐射计进行测量。不过，海洋盐度所带来的亮温信号变化非常微弱，测量过程还会受海面温度、海面粗糙度、人为信号干扰等因素影响，实现对辐射亮温的准确测量并不容易。

为了准确捕捉并提取海水辐射亮温，卫星研制团队给卫星配备一批高精尖载荷，其中包括综合孔径辐射计和主被动探测仪，它们可以接收到海面微波信号。该卫星对相关仪器的要求极高。据主被动微波探测仪的负责人、中国科学院国家空间科学中心研究员刘浩介绍，对连舌头都无法辨别的海水咸度细微差别，卫星微波辐射计要从天上辨别出来，难度可想而知。刘浩带领团队创新设计的辐射计综合利用多种技术，尤其是利用综合孔径技术实现高分辨率、宽视场成像，同时利用大孔径反射面保证辐射计具有足够的分辨盐度变化的灵敏度，并且可以同时兼容多频主被动探测。

海洋盐度探测卫星探测效率很高，它

2024年重大工程建设中，中国工程科技人员与广大建设者按照工程建设和规划蓝图施工，高度重视科学性和准确性，保障相关工程高效、高质量推进。

11月，在建的世界第一高桥——贵州花江峡谷大桥进行钢桁梁吊装，施工人员在距离水面620多米的高空，拼装重达200多吨的钢桁梁段，最终误差被控制在毫米级内。该桥总长2890米，主桥跨径1420米，桥两岸山高谷深、水流湍急，相对高度差将近2000米，在这种施工环境下，要达到如此堪称完美的工程精度，面临的挑战之大可想而知。比如高风速，山谷中常有阵风和涡流，最高风速可达14级。为了掌握风的“动向”，抓住施工最佳时间窗口，有关方面在相应位置布设激光雷达风控系统，不间断捕捉风速、风向、风攻角等数据，在此基础上再通过风洞实验进行仿真模拟。此外，在桥体结构中，每段钢桁梁都加装具有导流作用的风翼板。



散裂中子源被誉为“超级显微镜”，能深入揭示物质的微观结构。图为位于广东东莞的中国散裂中子源所在地外观图。  
新华社发

业的授时服务系统。2024年，中国北斗导航卫星系统的授时服务国际化取得新突破。6月，国际计量局发布中国北斗导航卫星星座授时监测结果，标志着基于北斗的授时服务获国际认可，可以为全球提供精准可信的标准时间服务。2022年，国际计量局正式启动基于北斗的国际标准时间比对链路校准工作，对开展的授时监测工作给予充分肯定和高度评价，采纳了中国相关机构提供的全部北斗授时监测结果，促进了北斗导航卫星系统的国际化应用。

## 九天之上精准探测海洋盐度 “超级显微镜”二期开建

海洋盐度数据在海洋环境预报、海洋生态预报、短期气候预测、极地海冰监测等方面具有重要作用，而获得大范围连续稳定的高精度海洋盐度数据是一大难点。长期以来，中国科学家主要通过海洋科考船或布防漂流浮标等方式，获取海洋盐度数据，数据覆盖范围和观测连续性很有限。

11月14日，中国首颗海洋盐度探测卫星在太原卫星发射中心发射成功，破解了上述难题，实现了全天时、全天候获取全球海洋盐度准确数据信息，填补了中国海洋盐度探测空白，提高了中国海洋观测卫星综合观测能力。

翱翔于九天之上，卫星怎样探测到海洋盐度信息并且还要做到精准呢？答案是通过测量“辐射亮温”来实现。亮温是衡量海面微波辐射强度的物理量，会跟随海

面温度变化而变化，可通过微波辐射计进行测量。不过，海洋盐度所带来的亮温信号变化非常微弱，测量过程还会受海面温度、海面粗糙度、人为信号干扰等因素影响，实现对辐射亮温的准确测量并不容易。

在微观世界的精准探测领域，中国科学家也取得新成就，相关科技领域获得新进展。7月，位于广东东莞的中国散裂中子源的两台谱仪设备高分辨中子衍射仪、高压中子衍射仪成功出束，这意味着中国散裂中子源的8台合作谱仪建设已基本完成，将显著增强中国散裂中子源的多学科研究能力。散裂中子源被誉为“超级显微镜”，利用中子作为探针，具有极强的稳定性和卓越的穿透能力，能够深入揭示物质的微观结构，应用于很多方面。比如，在材料科学领域，通过优化钢材的微观结构，提高钢材的强度和韧性。

1月，中国散裂中子源二期工程正式启动。据悉，该工程建成后，谱仪数量将增加到20台，加速器打靶束流功率将从一期的100千瓦提高到500千瓦。届时，中国散裂中子源的设备研究能力将大幅提升，实验精度和速度将显著提高，能够测量更小的样品、研究更快的动态过程，为前沿科学研究、国家重大需求和国民经济发展提供更先进的研究平台。

## 在建世界第一高桥误差毫米级内 轨交桥梁完成精准“空中转体”

中国基础设施建设速度和规模赢得世界口碑，离不开不断提高的工程精度。在

作为悬索桥，花江峡谷大桥有数百根索股，其中首根索股是其余索股的基准，对其精确定位是保障工程精度和精准施工的重中之重。为此，施工方除使用仪器分别从不同方向同时对基准索股进行测量、计算之外，还引入北斗系统，获取相关位置数据，进行24小时连续动态采样，提高缆索架设精度。据了解，施工方整整用一天时间来架设首根索股架，并对其位置变化情况进行持续观测一周，最终实现相对高差稳定在2毫米以内。

12月20日上午，北京轨道交通22号线平谷段施工现场，随着现场总指挥一声令下，120米跨度的桥梁上部结构在转体动力系统牵引下开始顺时针缓缓旋转，2小时后，完成72度转身，顺利就位并与前方路段精准衔接。至此，该线路桥梁结构完成“空中转体”，顺利跨越大秦铁路(山西大同至河北秦皇岛的国铁I级货运专线铁路)，成为中国大型工程施工精度的一个最新案例。

为减少施工对大秦铁路运输的影响，22号线施工最终确定“先建后转”，即先在大秦铁路一侧完成桥梁的浇筑施工，随后桥梁转体，完成与铁路两侧主桥梁的最后对接。完成如此大吨位、长跨度的桥梁转体对施工精度要求很高。为此，施工方在桥墩下方安装了一套球铰转盘，以钢绞线和千斤顶推动桥墩旋转。施工方用精密仪器测试采集牵引力、转速、惯性力造成的移动距离等关键数据，并通过全站仪和视频监控对整个转体过程进行持续监测，从而确保转体精确就位。

## 新研究表明 有些鲸寿命或远超预期

新华社北京电 鲸在哺乳动物中以长寿著称，美国《科学进展》杂志近日刊文称，最新研究方法发现有些鲸的寿命甚至可能是人们所认为的几乎两倍。

已知有几种鲸能活过100岁，如弓头鲸、蓝鲸等。研究人员此前采用几种方法来评估鲸的年龄，如计算耳垢的层数、测量眼睛蛋白质的化学转化速率等。然而，这些分析样本很难获得，耳垢堆积分析等方法也并不适用于所有鲸类。此外，由于20世纪捕鲸活动猖獗，许多高龄鲸被捕杀，还活着的大多数鲸可能相对年轻，使得识别任何幸存的老年鲸变得更加困难。

美国阿拉斯加大学费尔班克斯分校研究者发现一种推断鲸年龄的新方法，将历史照片记录与保险公司用来设定人寿保险费率的方法相结合。研究人员没有从死鲸身上提取样本，而是参考了它们的图像资料目录，这些目录可追溯到20世纪70年代。利用这些记录，研究人员可通过外表来识别单个鲸，并判断出个体何时可能因死亡从种群中消失。将个体消失的数据输入标准统计模型后，模型可预测鲸种群中有多少比例能够存活到不同的年龄段。

基于该方法，研究人员估算了北大西洋露脊鲸和南露脊鲸的寿命，这两种露脊鲸过去都曾遭到大规模捕杀。新研究结果显示，南露脊鲸的中位寿命约为73岁，其中10%可以活到132岁以上，接近于此前估计的两倍。而由于过度捕杀、船只撞击等因素，北大西洋露脊鲸显得更为脆弱，正处于灭绝边缘。研究表明，北大西洋露脊鲸的平均寿命只有22岁，只有10%的个体有可能活过47岁。

研究者称，南露脊鲸的寿命比人们预想的要长得多，这一真实情况可能也适用于其他鲸类。过去的捕鲸活动掩盖了它们的长寿情况。

## 雅万高铁全线站点投运

新华社雅加达电(记者陶方伟)印度尼西亚雅万高铁卡拉旺站近日正式启用，标志着雅万高铁全线站点投入运营。

在启用仪式上，印尼基础设施与区域发展统筹部长阿古斯说：“雅万高铁是印尼和中国紧密合作的象征。希望未来双方进一步加强合作，推动两国经济增长与繁荣。”

阿古斯表示，雅万高铁显著提升了区域交通效率。“从雅加达的哈利姆站到卡拉旺站，搭乘高铁仅需15分钟，而驾车则需要1.5小时。”他强调，卡拉旺站的启用将为当地经济发展注入新动力。

印尼中国高速铁路有限公司董事总经理德维纳在启动仪式上表示，自2023年10月17日投入运营以来，雅万高铁已累计运送旅客700万人次。

由中印尼两国合作建设的雅万高铁全长142.3公里，最高运行时速350公里，将雅加达和万隆之间的旅行时间由原来的3个多小时缩短至46分钟，为当地民众提供了安全、绿色、高效、舒适的出行方式。

## 中企承建孟加拉国铁路项目全线通车

新华社达卡电(记者孙楠)中国企业承建的孟加拉国最大铁路项目帕德玛大桥铁路连接线近日全线通车，正式运营。

作为标志性“一带一路”共建项目，这条被当地人称为“梦想之路”的铁路全长约170公里。通车后，首都达卡到西南部城市杰索尔的通行时间将由原来的10小时缩短至3小时。同时，该铁路将有力促进沿线地区经济发展。

孟加拉国铁道部相关负责人说，该铁路的商业运营不仅标志着一条新线路的开通，更开启了孟加拉国铁路发展史上的新篇章。

中国驻孟加拉国大使姚文说，帕德玛大桥铁路连接线是中孟经贸合作的典范。明年是中孟建交50周年，中方愿意继续尽其所能支持孟发展，与孟方携手推进铁路等基础设施建设领域合作。中方将继续鼓励中资企业在孟深耕奉献，助力实现产业升级和出口多元化。

帕德玛大桥铁路连接线项目由中国中铁股份有限公司承建，2023年10月首通段开通运行。

当地旅客在列车前自拍。  
新华社发

