

高强耐热的钛基复合材料投入使用

让航空航天器轻装上阵性能升级

◎本报记者 王春

航空航天是高技术、高投入、高风险、高回报和高牵引的领域。从C919国产大飞机成功首飞，到神舟号航天员乘组圆满完成出舱活动，我国航空航天事业发展进入“快车道”。这些成就的取得，离不开新型材料，特别是轻质高强金属基复合材料的广泛应用。

相较传统高温合金，钛基复合材料以陶瓷颗粒作为增强相，在同体积下可减重40%以上，每年节省燃料数百万吨，是实现航空航天高端装备轻量化、提高装备功效和技术性能的关键战略新材料之一。其在航空、航天、民用高端装备等领域的关键部件中有着巨大应用潜力。因此，研发低成本、高性能且技术自主可控的航空航天等高端装备用耐热高强钛基复合材料十分关键。

中国科学院院士、上海交通大学教授张荻，上海交通大学研究员吕维浩带领团队，经过二十余年潜心研究，形成了耐热高强钛基复合材料的制备加工关键技术，实现关键技术自主可控。该材料在高温环境下表现出的高稳定性和强度使得我国航空航天器能够

在极端苛刻的服役环境中稳定运行，为我国航空航天高端装备发展提供有力支撑。2023年度上海科技奖日前颁发，“耐热高强钛基复合材料关键技术研发与应用”项目获得2023年度上海市技术发明奖一等奖。

基础研究筑牢创新根基

传统钛基复合材料通常采用外加法生产，存在成本高、基体和增强体之间界面结合性能差、界面反应严重、成材率低的问题。研发团队创新性提出原位自生的学术思想和技术原型，利用传统钛合金的熔炼和热成型设备简捷、低成本制备出高性能钛基复合材料，降低了该材料的工业化生产难度。但由于原位自生增强体在熔炼过程中形核与“长大”，因此，增强体的优化控制是关键难题。

吕维浩介绍：“增强体的优化控制就像人类培育孩子，通过优生生出一个身体底子棒的婴儿，再经过优生进一步提升孩子的素质，成为国家的栋梁之材。”

团队通过创新突破了多元多尺寸增强体形状、尺寸、分布控制的困境；通过复合化技术，提升了传

统钛合金的性能，使其能够应对航空航天关键零部件面临的更高温度和冲击载荷的挑战，提高了航空航天装备的性能和可靠性。吕维浩介绍，针对传统钛基复合材料存在的强塑性匹配不佳等问题，团队专注机理研究，提出多元增强体有序分布与耦合强化方法，构建了新的力学模型，创制出航空航天用新一代轻质高强耐热600℃—800℃钛基复合材料，其在室温和高温条件下的各项性能指标均达到国内领跑、国际领先的水平。

精细加工实现社会效益

新材料对制备工艺提出了更高要求。非连续增强钛基复合材料具有硬度高、弹性模量大、加工硬化严重等特性，这导致传统的加工方法难以满足材料精密成形的需求。在制备过程中，如要保证复合材料的性能稳定性，需要对制备工艺进行精细控制。

“解决这些问题，迫切需要开发先进精密成形技术，以应对钛基复合材料的加工挑战。”吕维浩说。

团队针对钛基复合材料复杂构件难以加工成形的难题，建立了动态再结晶诱发大塑性加工技术，并为航空航天重大装备提供了千余套钛基复合材料构件。

如今，先进金属基复合材料已在航空航天应用，并向新能源、现代交通及船舶与海洋工程等多个领域逐步扩展，正从“贵族”材料向“平民化”发展。

一组数据体现了新材料发挥的巨大作用。在民用大型能源化工装备领域，应用该新型复合材料后，在650℃环境下，离心式压缩机叶轮线速度较之前提高40%、压缩比提高33.3%，年节省能耗8%。在航空航天领域，新型复合材料在800℃的复杂应力环境下，使得先进装备的转动惯量大大幅度降低，为装备关键技术指标的实现了关键支撑。

目前，团队获得授权中国发明专利26项，制定企业标准5项，发表SCI论文100余篇。团队还建立了国内领先的钛基复合材料产业化基地——浙江嘉钛金属科技有限公司。该公司建立了熔炼、等温锻造、精密铸造等产线，实现了大规格铸锭、棒材、等温锻件、精密铸件、宽幅厚板、薄板的工业化生产。

位测量技术科技进步与产业发展；要在加强开放合作上持续发力，积极推动建设企业主导的产业技术联盟和创新联合体，以产业化应用带动培育一批重要原创科技成果。

相关专家认为，该成果实现了“从0到1”的核心技术突破，推动岩石物理实验由室内向井场、由单点向连续、由单属性向多参数协同测量的重大技术变革，对以陆相页岩油为代表的非常规油气高效勘探和效益开发具有重要意义。

李宇团队研发人员介绍，“移动式井场岩样集成连续测量成像系统研制”一期工程成果已完成西南、华北、大庆、新疆、塔里木等11口井300余米岩心测试，系统稳定、测量精度可靠；第一时间完成业内首次万米超深层岩心测试，为万米科探工程实施提供全天候技术支持。

现场应用效果良好

稠油降黏冷采技术研发的重头戏是现场应用。

“由于每口井的原油黏度、地层温度和地层水矿化度不同，我们本着‘一井一方’的原则，为每口井选定最优剂配方和最佳注采配套工艺，支撑稠油效益开发。经过1年探索，查干凹陷稠油降黏剂主剂基本定型，加注、焖井等工艺也日益成熟。”中原油田石油工程技术研究院提高采收率技术研究所技术主管姚建兵说。

通常情况下，每口井需要累计注入2000至3000吨二氧化碳和数十吨降黏剂或聚合物。根据工艺要求，降黏剂必须大量连续加注才能抵达储层最远端，最大限度与稠油接触、反应，从而实现增油。一旦加注中断，就会影响降黏、驱替效果。

内蒙古采油厂提前前置大排量加注装置和足量药剂。科研人员日夜轮替，在井场盯守，指导采油厂员工严格按剂量、顺序均匀加注。加注结束后，进入1个月左右的焖井期。科技人员定期到现场观察油井压力，确定最佳开井时间。

截至10月8日，中原油田在查干凹陷8口井成功应用稠油降黏冷采技术，平均单井投入产出比由热采时的1:0.5提高到1:1.23。

成果播报

高震区尾矿坝渗流控制技术取得突破

科技日报讯（记者赵汉斌 通讯员甘欣鑫）记者11月7日从昆明有色冶金设计研究院股份公司获悉，该院加大矿业固废污染防治和生态修复技术攻关力度，系统研发出细粘粒高堆坝尾矿库抗震及溃坝技术，消除了矿区地质灾害和水土流失等严重危害，在高震区尾矿坝渗流控制技术领域取得突破。

昆明有色冶金设计研究院股份公司党委书记、董事长周罕介绍，我国西南矿区地质构造复杂，灾害频发，水土流失严重，山高、坡陡、谷深，生态环境敏感、脆弱，矿业废弃物污染治理和修复难度大，存在传统技术适用性较差等问题。

经过持续钻研，该院尾矿专业团

队探究工程力学特性及灾变机理，系统研发了细粘粒高堆坝尾矿库抗震及溃坝技术，建立起新的稳定性及溃后影响范围评价体系，同时开发出有效的尾矿坝隐患综合防治技术，解决了细粘粒高堆坝溃坝灾变机理及其溃坝危害防控的重大技术难题。这一技术的应用，有利于消除矿区周边土壤污染对粮食与食品安全、人体健康的威胁。

目前，这项成果技术已在云南、四川等省区的30个金属矿山尾矿库、冶炼渣库等典型矿业废弃物污染治理、风险管控和生态恢复工程项目实现产业化应用，有效解决了矿区固废废料、尾矿处理面临的土地毁损、生态破坏、重金属污染等问题，为绿色矿山建设提供了技术支持。

“羊城号”盾构机在广花城际始发

科技日报讯（记者叶青 通讯员任志宏）11月2日，粤港澳大湾区轨道交通一体化建设重点项目——广花城际铁路取得关键进展。首台以广州城市命名的“羊城号”盾构机，在历经46天组装调试后，顺利在广州东至花都天贵城际项目（以下简称“广花城际”）方石站现场始发。

广花城际铁路由广州地铁建设，中铁建华南建设总承包管理，本次始发区间为五工区（中铁十一局）管段。作为《粤港澳大湾区城际铁路建设规划》首批实施项目中直径最大的盾构机，“羊城号”盾构机重达3350吨，最大开挖直径达13.56米，将负责广花城际方石至白方盾构区间隧道的掘进任务。

“该区间具有局部埋深覆土浅、掘进技术控制难、同向干线距离近三大显著特点。”中铁十一局广花城际项目负责人蒋浩梁介绍，针对复杂的施工挑战，建设团队决定采用“单洞双线”施工方案，实现“一次掘进风险减半”。

为保障盾构掘进过程中顺利穿越

各类风险源，确保管片拼装质量，“羊城号”盾构机采用泥水平衡施工模式。该模式在地质环境复杂多变的华南地区极具适应性，可实现稳定控制地层，减少地面沉降。同时，盾构机所搭载的超前地质预报、超前注浆等先进系统能极大增强盾构机面对复杂工况时的预判能力，提升掘进过程中的安全系数。

与此同时，建设团队还对“羊城号”盾构机进行了多项“个性化定制”。其自带的盾尾间隙自动测量、自动消防喷淋等可大幅提升盾构施工过程中的智能化水平。由中铁十一局自主研发的第六代智慧盾构系统作为盾构机的“中枢神经”，可实现采集、监控、管理、分析四大核心功能，如同为盾构机装上了一双慧眼，为高质量建成隧道提供了强大智力保障。

据了解，在接下来的盾构施工过程中，建设团队还将依托国家级盾构隧道智能建造实验室和盾构工程研究院，大力开展科技攻关，持续开展前沿技术探索，进一步提升广花城际铁路建设的科技含量。



“羊城号”开始掘进。 张玺摄

新装备提升复杂储层综合评价能力

科技日报讯（记者携秀英）中国石油勘探开发研究院（以下简称“勘探院”）日前发布了“洞察”测井品牌暨旗下首款产品“移动式井场岩样集成连续测量成像系统 CoreLog1.0”。该系统由中国工程院院士李宇团队牵头研发，是业内首套实现井场原位状态下“核磁-激光-CT”一体化协同测量的仪器装备，能够在岩心出筒的第一时间，快速准确测量岩心元素、矿物组分、孔隙度、体积密度、流体组分及饱和度等参数，实现井场原位岩心参数高精度测量和连续三维数字岩心融合成像，并与大型测井软件CIFLog互联互通，为及时发现和高效开

发油气提供强有力支持。

中国石油股份公司副总地质师兼勘探院党委书记李国欣介绍，测井是洞察油气的“眼睛”，是识别评估油气藏的核心利器，但随着油气勘探开发对象转向超深层、非常规、特高含水等复杂领域，传统测井技术已无法满足储层孔隙度、流体性质等高精度测量需求。为了解决这类瓶颈难题，勘探院于2021年牵头承担了中国石油集团公司关键核心技术攻关项目“移动式井场岩样集成连续测量成像系统研制”，并组建了跨单位、跨学科、跨专业的联合攻关团队。3年来，科研团队通过不懈探索和持续攻关，

突破3个技术卡点，攻克5项核心技术，成功研制了业内首套车载移动式“核磁-激光-CT”一体化集成测量装备。

中国石油股份公司副总地质师江同文认为，CoreLog1.0的成功发布标志着原创性井场岩样原位测量技术与装备取得了重大突破，对提升复杂储层综合评价能力具有重要的现实意义。他提出，未来，要在扩大应用和升级装备功能上持续发力，在应用过程中不断发现问题、解决问题，持续提升系统整体性能和应用规模；要在打造特色品牌上持续发力，加快实现技术产品的体系化、标准化、品牌化，引领井场岩样近原

稠油降黏冷采技术为油田“活血化瘀”

◎本报记者 孙越 通讯员 张松才

十月底，内蒙古乌拉特后旗戈壁滩气温逼近零摄氏度。中原油田内蒙古采油厂员工正在为吉2-平15井包裹井口管线，预防原油冻凝。“这口井产出的原油是稠油。我们连续向井中注入3000吨二氧化碳和60吨降黏剂。焖井1个多月后，井中原油黏度降低，地层能量增大。”内蒙古采油厂地质专家马喜斌介绍。

中原油田内蒙古探区查干凹陷地层温度低、压力低、渗透率低，稠油开发难度大。对此，油田科技人员自主研发稠油降黏冷采技术，自2023年6月现场应用以来，在查干凹陷累计产出稠油2950吨，实现效益开采。

探索石油开采新路径

查干凹陷埋藏着700多万吨稠

油。这些原油中胶质、沥青含量高，稠稠得像蜂蜜一样，开发异常困难。

查干凹陷油井地层温度只有30至40摄氏度，地层压力低于7兆帕，地层渗透率低，原油流动性极差。更麻烦的是，井下多为黏土层，遇水后黏土迅速膨胀，把细小的原油孔道堵得严严实实。为此，中原油田借鉴胜利油田、河南油田经验，在查干凹陷开展稠油热采试验。但稠油热采试验需要向井中注入大量超高温、超高压蒸汽，开发成本极高，难以实现规模化应用。

以水驱油和稠油热采的开发之路都走不通。2022年，该油田科技人员加强攻关，探索低温、低压、低渗透条件下的稠油降黏冷采之路。

中原油田石油工程技术研究院科研团队先后对80多组查干凹陷稠油样品开展致黏机理研究，并从104种常规降黏剂中筛选出50多种，与查干凹陷稠油样品进行匹配试验。

查干凹陷稠油主要分布在毛1块和毛8块。经过8个月的反复试验，科研团队分别研发出适用于这两个区块的复合驱替用水溶性降黏剂和气体辅助吞吐用油溶性降黏剂。试验表明，应用这两款降黏剂后，两个区块的稠油降黏率提高明显，分别达到98%、87%。稠油降黏冷采技术犹如一剂良药，为油田“活血化瘀”，让原本黏稠的地下“蜂蜜”终于被稀释成顺畅流淌的“糖水”。

提高水平井储层钻遇率

相对直井而言，钻水平井能够用更小的成本采出更多原油，稠油降黏冷采技术也能派上大用场。然而，由于查干凹陷的储层只有3至4米，多为隔夹层，岩石均质性极差，钻头在水平段行进时上下跳动，很容易出层。

为提高水平井储层钻遇率，中原油田勘探开发研究院内蒙古开发研究所科研团队利用水平井下波阻抗体协同模拟技术，精细刻画隔夹层，成功完成对2米内隔夹层的精细刻画及地质建模。

“这些成果不仅为精准认识储层奠定坚实基础，有助于指导水平井钻井方案的设计部署，而且对水平井钻进中的实时导向起到至关重要的引导作用。”中原油田勘探开发研究院内蒙古开发研究所副所长孔海瑞说。

前些年，查干凹陷水平井储层钻遇率平均仅有74%。2023年9月到今年5月，孔海瑞带领团队入驻多个井场指导，密切关注钻头轨迹，及时指导井队调整导向措施，确保钻头一直按照水平

技术人员正在观察油井生产情况。
赵奕松摄