

“四深”领域这样创新①

载人航天、探月探火、深海深地探测、超级计算机……当前，中国科技实力正在从量的积累迈向质的飞跃、从点的突破迈向系统能力提升，在深海、深空、深地、深蓝等领域积极抢占科技制高点，科技创新取得新的历史性成就。

近期，本报对中国在深海、深空、深地、深蓝等领域的一系列创新性成果进行采访梳理，向读者展示中国科技创新的丰硕成果，讲述研发生产中的奋斗故事。

——编者

“奋斗者”号上奋斗者的奋斗

本报记者 李贞

广阔的海洋蕴含丰富的资源，深邃的海底充满神秘与未知。近年来，中国深海科技事业加快发展，海洋强国建设不断取得新成就。创造了10909米中国载人深潜纪录的全海深载人潜水器“奋斗者”号，正是中国深海科技探索道路上的一项重要代表。

近日，本报记者采访了中国船舶集团有限公司第七〇二研究所高级工程师、“中国青年五四奖章”获得者张伟，他是“奋斗者”号研发团队中的一员，也曾作为“奋斗者”号主驾潜入过万米深海。让我们听听张伟伴随“奋斗者”号筑梦深海的故事。

不断创新 精益求精

“奋斗者”号的外观看上去像是一条圆头圆脑的绿色大鱼。这条了不起的“鱼”创造了一个又一个激动人心的深潜里程碑。

2016年，“奋斗者”号载人潜水器立项。

2020年11月，“奋斗者”号成功坐底马里亚纳海沟万米海底，创造了10909米的中国载人深潜新纪录，标志着中国在大深度载人深潜领域达到世界领先水平。

2021年3月，“奋斗者”号正式入列中国科考重器矩阵；同年8月，“奋斗者”号进行科考应用“首秀”。

今年3月，“探索一号”科考船搭载着“奋斗者”号载人潜水器，圆满完成国际首次环大洋洲载人深潜科考任务。本航次中，“奋斗者”号总共下潜63次。本航次的成功实施，则标志着“奋斗者”号载人潜水器运维体系走向成熟、稳定，并将中国载人深潜科考由马里亚纳海沟拓展到全球多个深渊海沟，开启了“奋斗者”号国际合作和万米载人深潜的新征程。

一项项耀眼成绩的背后，离不开技术创新的支撑——新型钛合金材料制作成抗高压的载人舱，先进的控制系统实现深渊复杂环境下的高精度航行控制，水声通信系统助力万米海底声像实时传输……“奋斗者”号是国际上首次可以同时搭载3人下潜的万米载人潜水器，它所应用的每项技术都是不断创新、精益求精的成果。

张伟所参与的是“奋斗者”号电气系统的研发。

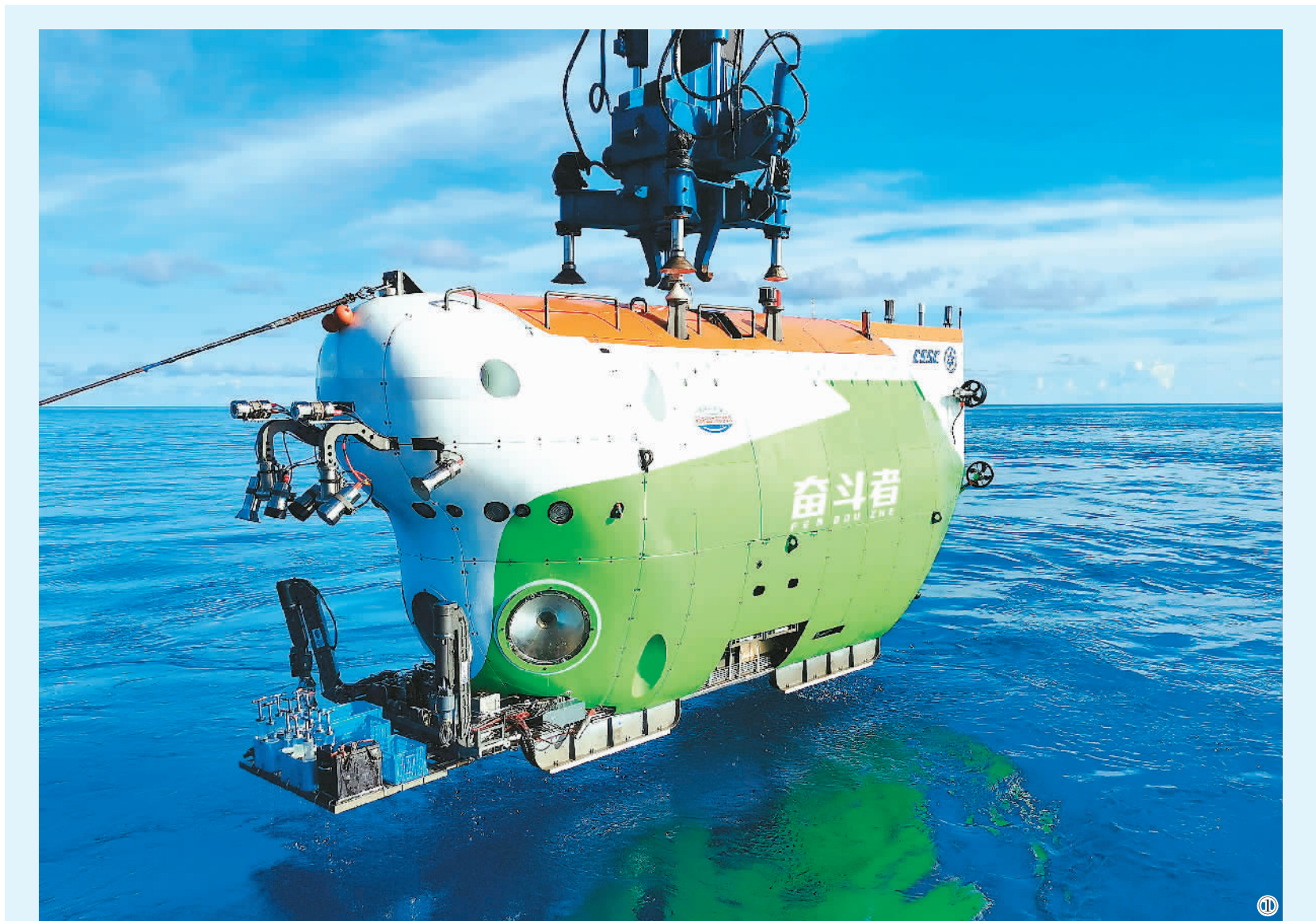
“奋斗者”号由锂电池供电。张伟告诉记者，潜水器下潜到万米深度，从布放、到海底作业、再到最后回收，大概需要13个小时。这期间，潜水器内的电气系统要保证持续工作，电池是核心。所以，“奋斗者”号所用的锂电池在成组前，都要严格进行十几项安全检验，还要进行超过万米压力环境下的安全测试。

而万米深海产生的巨大的水压，对载人潜水器的供电系统也提出了更高要求。张伟讲解说：“在1万米深处的海底，水压接近1100个大气压。但由于潜水器整体的体积、重量都有严格要求，所以我们没办法为电池单独做一个耐压舱。于是团队研发了油浸耐压型锂电池。上百块单体锂电池分若干组排列，模块间隙充满了油，以实现压力平衡。”

“奋斗者”号上还有几百根电缆要直接泡在高压的海水中。在高压、高盐的恶劣环境中，电缆很可能会产生短路、绝缘等故障，造成设备功能失效，更严重的还可能导致电解腐蚀，危及潜水器耐压结构的安全。如果是在陆地上，电缆设备的绝缘性能可以很容易地通过各种仪器来测量，但在海底环境工作时，如何检测设备绝缘性能呢？

张伟和研发团队针对这一难题，建立了一套基于绝缘检测的在线故障诊断系统，并研制了一套智能化的检测装置，实现了载人潜水器的电气故障诊断。

“这套系统能够实时监测潜水器上所有用电设备的状态，如果出现绝缘问题，系统会及时发出预警，提醒潜航员及时进行故障应急处置，实现了潜水器在高压环境下实时在线供电安全性检测、故障定位和隔离。”据张伟介绍，从“蛟龙”号研发时，这套诊断系统就已开始应用。此后，系统又不断升级改进研发。“现在，这



图①：图为作业中的“奋斗者”号。

资料图片



图②：图为张伟在工作中。

资料图片

图③：3月11日，“探索一号”科考船携“奋斗者”号全海深载人潜水器抵达三亚，圆满完成国际首次环大洋洲载人深潜科考航次任务。

新华社记者 赵颖全摄

图④：图为中国载人潜水器发展历程的科普图。

本报记者 杨俊峰制图



一图了解 中国载人潜水器发展历程

- 1986年 中国第一台载人潜水器7103救生艇研制成功
- 2009年 中国第一台自主设计和集成研制的载人潜水器“蛟龙”号第一次海上试验
- 2017年10月3日 中国第二台深海载人潜水器“深海勇士”号在南海海试成功
- 2020年11月10日 中国首台万米级载人潜水器“奋斗者”号在马里亚纳海沟成功坐底，深度10909米

套设备已经越来越小型化、智能化。比如最开始设计的系统，还需要潜航员自己去操作、判断信息，对潜航员的技术要求比较高，也会增加他们的工作量。但现在，应用在“奋斗者”号上的系统已实现了自动在线监测，能更加及时地发出预警，有效提高了“奋斗者”号的故障诊断能力，缩短了维护时间，在保障潜水器快速故障定位和安全作业中发挥了重要作用。”

探秘深海 勇担重任

对普通人来说，万米深海是一片难以想象的神秘世界。但张伟曾跟随

“奋斗者”号多次潜入其中，这是一种怎样的体验？

张伟描述，因为载人舱内是常压环境，所以人坐在潜水器里下潜，在身体上是没什么特殊感觉的。但从听觉和视觉上，潜航员能明显感受到海环境中环境的变换。

“坐在潜水器里潜入海底不同的深度，能听到载人舱壳体因为压力变化而产生的吱吱呀呀的声音，还能看到在不同深度的海水中光线的变化。”张伟说：“从浅海下到深海，阳光的穿透力会逐渐减弱，到海下200米左右时，基本没有什么光线了。到了海下1000米，已是完全漆黑一片，这时我们能从窗口观察到一些会发光的生物。等再下到万米深海，仍然会有丰富的生物，

比如透明的海参，形状像弯钩一样的钩虾，还会有一些奇特的、叫不上名字的海洋生物。深海的地形起伏也很大，有的地方平坦，有的地方陡峭，覆盖着厚厚的沉积物，这里还有很多人类未知的奥秘等待着我们去探索研究。”

潜人未知的深海，这样的经历既很难得，同时也责任重大。每次下海，张伟都心存敬畏。“作为潜水器设计人员，我跟随‘奋斗者’号深潜，主要是在海试阶段，来检验设备是否合格，后续是否能顺利交付使用，所以责任很重。”

能肩负这份责任，首先要对潜水器有全面的了解。

在“奋斗者”号陆上联调和水池试验阶段，张伟就经常加班加点坚守

在一线。水池试验完成后，张伟已对“奋斗者”号每条电缆、每个信号的情况熟记于心，当发生问题时，他总是能快速定位故障点，高效地解决问题。

正式成为“奋斗者”号主驾前，张伟先经过了一段时间的理论培训，主要是熟悉潜水器各个系统的工作原理、技术细节、操作方法等。特别是要学习在各类故障情况下，如何正确处置。

张伟对自己的要求是无论何时、无论遇到何种情况，一定要准确判断、精细操作、沉着应对。他记得，有一次在万米下潜的过程中，“奋斗者”号深度接近9000米时，忽然听到一声非常响的声音，载人舱也感受到了明显震动。怎么办，是否需要返航？作为主驾，张伟必须对潜水器

状态迅速作出判断，确保所有人员和设备安全。

张伟立刻对舱内设备进行了检查，并没有发现异常；对全系统设备进行了检测，状态也都正常。于是他判断，应该是舱外的浮力材料在压力作用下产生的声音，并不影响正常使用，于是“奋斗者”号继续执行下潜任务。当成功完成此次任务并顺利回收潜水器后，大家发现原来是一块浮力材料在与框架结构接触的地方，因高压挤压产生了裂纹。

“虽然是浮力材料发生了一点点撕裂，但在深海非常安静的环境下，那个声音通过金属壳体传导到载人舱内后，人就会感觉是声音很大。所以当时我们还是非常紧张的，但好在经过冷静判断，我们选择了正确的处理方式。”张伟回忆说。

除了可能遇到各种突发状况，潜入深海还是一件十分辛苦并且需要付出极大耐心的“体力活”。

尽管“奋斗者”号是当前全球同类型全海深载人潜水器中载员人数最多的，能够同时容纳3人，但是对于身处球形载人舱中的潜航员来说，舱内的活动空间十分有限。

“‘奋斗者’号海试过程中，一般是一名主驾和两名负责不同系统的技术研发人员共同下潜。‘奋斗者’号载人舱的内径是1.8米，里面还有很多仪器设备，所以3个人基本在全程十几个小时中都要一直坐着，很难去交换位置，也不能站着、躺着。主驾要观察窗外情况时，只能向前蹲着凑近观察窗。”张伟告诉记者，执行任务时，潜航员一般会在吃完早餐后下潜，然后用保温饭盒带一些炒饭、炒面、水果等，在海底吃上一顿午餐，等返回上岸后再吃晚餐。

虽然有苦有累，但对张伟来说，在与“奋斗者”号相伴探海的日子里，更多的还是激动与自豪。

尤其是2020年11月10日，这一天令张伟永远难以忘怀——当日，他作为主驾，与另外两名潜航员通力协作，让“奋斗者”号成功坐底马里亚纳海沟，创造了10909米的中国载人深潜新纪录。

“当时的心情就是很激动、很自豪。中国人乘坐自己研制的载人潜水器达到了万米深海，这得益于国家对海洋事业的重视和支持，更是综合国力提升的重要表现，也是载人深潜团队多年来不懈奋斗的最好回报！”张伟说。

保持奋斗 砥砺前行

从2009年“蛟龙”号出航海试，到4500米级载人潜水器“深海勇士”号诞生，再到“奋斗者”号创下多项纪录，十几年来，中国载人潜水器不断取得丰硕成果。“在载人潜水器方面，我们已经实现了从跟跑，到并跑，再到领跑的跨越。”张伟说。

在“蛟龙”号研制时，还有部分技术需要依赖借鉴国外的技术。

但在“深海勇士”号立项后，中国接连突破多项关键技术，跟上了国际领先技术的脚步。“深海勇士”号实现了“核心技术自主化，关键设备国产化”，其关键零部件的国产化率超过95%，如载人舱、浮力材料、高压海水泵、低噪声推力器、锂电池等全部国产化，并且潜水器整体各项性能也都有了显著提升。

到了“奋斗者”号，载员人数多、海底作业能力强、上浮下潜速度快等指标，令其真正成为全球同类型全海深载人潜水器中的佼佼者。“奋斗者”号的研制及海试的成功，标志着中国具有了进入世界海洋最深处开展科学探索和研发的能力，体现了中国在海洋高技术领域的综合实力。

“奋斗者”号抵达马里亚纳海沟海底，这已是到达了地球海洋的最深处。未来，中国载人深潜团队又将迈向何方？

张伟表示：“创新突破始终是中国载人深潜精神的核心，接下来我们还有许多研发工作要做，依旧要不断突破，取得新的进步。”

比如，新材料、新概念、新的应用场景的各类潜水器，需要不断突破更多的关键技术。

2021年，中国船舶集团有限公司第七〇二研究所开始研制新型潜水器，该潜水器将采用新型材料，视野更宽广，可应用于科研、考古、搜救等多个场景。

“未来还可能研制出模块化的潜水器，可根据不同的任务和目的，选用搭载不同的模块。另外，‘奋斗者’号现在虽然实现了‘全海深’，但还不能覆盖‘全海域’。未来我们的潜水器应该具备全海域作业能力，相应的，潜水器上应用的能源系统、导航定位系统等技术都还要继续进一步突破。”张伟表示：“作为潜水器研发团队的一员，我也将保持奋斗的状态，继续向深海进发！”