

## “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。

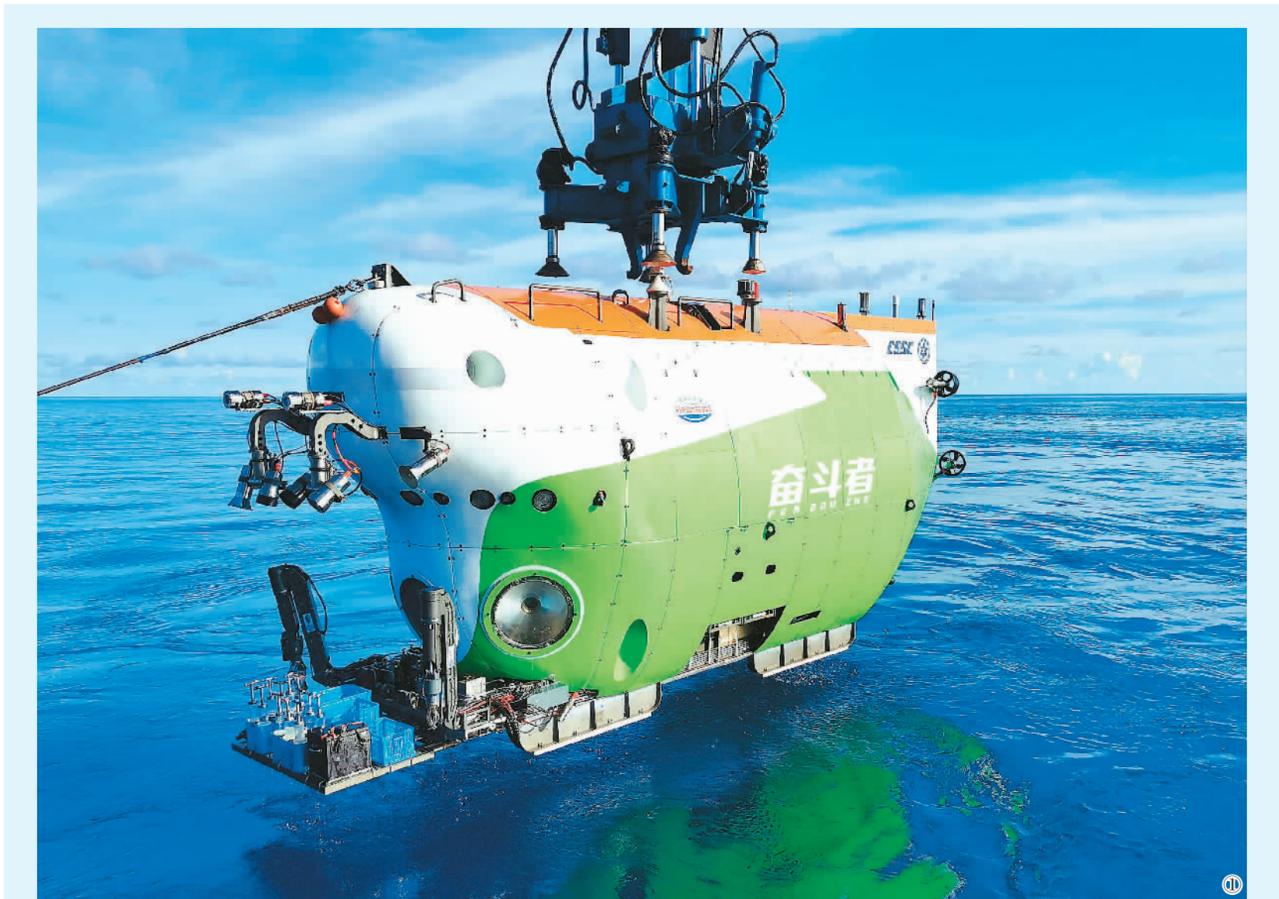
“奋斗者”号由锂电池供电。张伟告诉记者，潜水器下潜到万米深度，从布放、到海底作业、再到最后回收，大概需要13个小时。这期间，潜水器内的电气系统要保证持续工作，电池是核心。所以，“奋斗者”号所用的锂电池在成组前，都要严格进行十几项安全检验，还要进行超过万米压力环境下的安全测试。

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、低噪声推进器、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究的的能力，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！”