

## 軍工世界觀

据外媒报道,前不久,德国海军在波罗的海完成为期两周的“蓝鲸”无人潜航器实验。“蓝鲸”无人潜航器装备有多种摄像头和传感器,可侦察潜艇、水面舰艇、水雷等目标。

作为一种水下无人平台,无人潜航器可搭载多种设备执行特定任务。在极端或危险环境中,无人潜航

器能够替代人类作业,具有很高的灵活性和效费比,被视为现代海军的“力量倍增器”。

很多国家都加大了水下无人力量建设投入,但能自主建造无人潜航器的国家仍是少数。究竟是什么原因,使建造一型无人潜航器这么难?请看本期解读。

## 建造无人潜航器有多难

■张琦 李博 黎明宇



美国“虎鲸”无人潜航器。

资料图片

## 壳体设计需满足多种要求

无人潜航器需要在水下几米到上千米的深度执行任务,潜水深度越深,环境越复杂,对无人潜航器壳体的要求也越高。总体而言,壳体设计需要通过材料选择、水密技术和防腐技术3道最基本的关口。

第一关:材料选择。在水下1000米以内的环境中,无人潜航器多采用铝合金材料作为壳体材料。铝合金材料成本低,机械加工性能好,但抗压强度较差。在水下1000米至3000米的环境中,不锈钢是使用最多的壳体材料。不锈钢的强度比铝合金高,造价和机械加工性能中等。在水下3000米以上的环境中,钛及钛合金是最佳的壳体材料。它们有很好的钝化能力,强度高、加工性能好、有良好的耐蚀性能。美国的“海崖”号深潜器装备了钛观察舱和操纵舱,下潜深度可达6000米。俄罗斯研制的“勇士-D”无人潜航器由钛合金材料制成,曾在马里亚纳海沟海域完成坐底试验。不过由于资源少、成本高,钛的使用存在一定限制。

随着材料技术的发展,人们开始研制高强度固体浮力材料以替代传统材料。固体浮力材料是一种高新技术化工新产品。其低密度型可提供更大的净浮力,高强度型可用于深潜,这为无人潜航器的设计提供了新的可能与方向。

第二关:水密技术。由于无人潜航器航行深度可达数千米,如果密封性能不好,轻则加重部件腐蚀,重则导致无人潜航器沉没。无人潜航器的密封性能通常需要从壳体、光学窗、可拆卸封头3个方面周全考虑。

壳体除了选择抗压性能较好的材料外,还应注意形状设计。实际运用中,壳体通常被设计为圆筒形,这样既容易制造,又能抵御外压,而且便于在其内部布置设备。

水下光学窗必须用石英玻璃,特种光学玻璃或者有机玻璃等透光性能好、强度高的材料制成。这样既能保证密

封性,又能与成像镜头良好配合。

由于壳体内通常装备着各种设备,在完成水下任务后往往要对这些设备进行检修,所以壳体必须有一个可拆卸的封头。这种可拆卸的封头,通常采用“O”形圈密封。它是一个橡胶或其他弹性材料构成的圆环,低压时靠自然弹性,压力增加时“O”形圈会进一步变形,挤满可能泄漏的地方。选用质量上乘的密封圈,并保持与壳体上的密封槽配合良好,才能保证密封性。

第三关:防腐技术。海水的强腐蚀性,使得无人潜航器在设计 and 制造时必须考虑防腐措施。美国国防高级研究计划局于2019年启动的“魔鬼鱼”项目,第一阶段就要通过无人潜航器防腐等多个关键设计评审。防腐设计一般有5种方式。一是采用耐腐蚀的金属、合金或非金属材料。二是将被保护的表面与侵蚀介质隔绝。三是采用有机涂层和无机涂层将被保护表面与侵蚀介质隔绝,有机涂层多为涂料涂层和塑料涂层,无机涂层多为金属涂层和非金属涂层。四是采用电化学保护。五是采用减轻腐蚀的结构设计,比如减轻缝隙腐蚀、减轻应力腐蚀、减轻接触腐蚀等。

## 电池能量密度要求高

相对陆地而言,海水中缺少空气,各种热机难以工作,无人潜航器大多数情况下需要依赖其他能源。无人潜航器的能源与动力系统必须可靠性高、控制好、耐高压、耐高温、耐腐蚀。此外,由于无人潜航器体积小,能源与动力系统还必须具有较高的单位重量和单位体积能量密度。

现有的无人潜航器主要依靠锂电池作为动力源。典型的有挪威的HUGIN1000潜航器。该潜航器搭载聚合物锂电池,采用串联方式将单体电池连接起来,每个单体电池容量约为40安时。这款潜航器的首要任务是探测水雷,航速一般为4至6节。

一些国家也在探索使用其他类型

的电池,以提高水下航行器的性能。目前,使用较多的主要有铅酸电池、铝硫化铁蓄电池、锂离子电池等。

铅酸电池成本低廉,技术成熟且维护相对简单。铅酸电池的电极主要由铅及其氧化物制成,电解液是硫酸溶液。美国的“曼塔”大排量无人潜航器使用的动力源就是铅酸电池。该无人潜航器重14吨,采用泵喷推进,最高航速10节,巡航速度5节,续航时间为4到5小时。“曼塔”大排量无人潜航器主要担负侦察、监视等任务,也可以作为母艇平台,搭载更小型无人潜航器。

铝硫化铁蓄电池以锂铝合金为极板,使用硫化铁固体电解质全密封蓄电。它用固体氧化钨作阳极,氧化钨为电解液,充放电时锂离子来回穿梭,能量密度较高。该蓄电池充电速度快,而且在充电时不会产生气体,具有较好的安全性。

## 水下导航技术难度大

导航系统在无人潜航器体系结构中占有举足轻重的地位,它可以为无人潜航器在复杂海洋环境中提供位置、姿态等导航定位信息。这不仅关系到执行任务的成功与否,也关系到无人潜航器的安全。

想在深海寻找正确的道路并非易事。首先,无人潜航器作业时通常会有较大落差的下潜与上浮,需要三维立体导航以应对海底环境。这个难度远远大于传统平面导航。其次,电磁波在海水中衰减十分迅速,无人潜航器又常常处在较深的水下环境中,这导致便捷的无线电导航和雷达都只能作为辅助导航手段。此外,由于对导航数据准确性及实时性高度依赖,必须综合可提供连续信息的内部导航信息以及可获取精确运动轨迹的外部导航信息,才能为无人潜航器导航。

目前,无人潜航器水下导航最常用、最有效的方法是,船位推算法或惯性导航法等内部导航方法与无线电、声学、海洋地球物理学等外部导航方法的结合。

船位推算法是一种低成本的导航方法,它可实时定位并给出载体平台当前和将来的位置。不过,这种方式累计的误差会导致无人潜航器导航系统显示的定位与实际位置不符。

惯性导航系统不受环境、载体机动和无线电干扰的影响,能连续提供全部导航参数,在短时间内具有较高的相对精度。其缺陷是因为陀螺不断漂移,定位误差会随航行时间和距离持续积累和发散。

目前,惯性导航系统虽能满足中近程导航,但无法满足远程、长时间航行的导航要求。因此,无论船位推算法或是惯性导航都需要外部导航来修正误差。比如,使无人潜航器周期性地浮出水面,采用无线电导航修正位置,从而提升导航精度。这样做的缺陷是不利于隐蔽、需要花费额外时间且带来能源问题。

采用声学外部导航方法也是一种解决方案。它利用声学信号在海洋中的良好传播特性,以声学发射器为导航信标,由无人潜航器向声学信标发射信号并接收返回的声信号,计算相对距离,从而推算出实时位置。美国的REMUS-100无人潜航器是一款微型潜航器,可选装声学调制解调器、声学图像系统等。2003年,美国海军在伊拉克一个海港运用REMUS-100无人潜航器清扫第一次海湾战争时期伊拉克海军布放的水雷,他们利用该型潜航器装备的侧扫声呐和导航定位系统,准确发现了数枚水雷并进行了图上位置标定。这是世界上第一次成功运用无人潜航器实现反水雷搜索。

此外,海洋磁导航、重力导航、海底地形匹配导航等海洋地球物理学导航的误差,不随航行时间或航行距离增加而积累或发散。这些导航具有精度高、不受时间限制、无需浮出水面、隐蔽性强等优点,因此成为无人潜航器较理想的辅助导航手段。这也是近年来许多国家研究的重点之一。

## 保障达人



赵建红正在车内维修。

郭坤鹏摄

初春时节,岭南腹地。第74集团军某旅一场射击课目示范正在展开。

讲解现场,自动检测仪突然发出异常声响,突发状况让在场官兵不禁为正在讲解的火炮技师赵建红捏了一把汗。然而,赵建红异常平静。调整、校准、测试……只见他全神贯注、精细作业,仔细查看检测仪各部件。一系列操作下,故障被顺利排除,装备重新恢复工作。讲解最后,随着几发模拟炮弹顺利出膛,现场响起一阵热烈的掌声。

今年,是赵建红从事坦克射击专业的第15个年头。如今,他拥有多个证书,已经是单位坦克射击专业名副其实的“兵专家”。然而,经历过多次重大任务的赵建红,依然对“兵之初”的一次经历记忆犹新。

那年,赵建红参加某型装备火炮试射。这是他第一次与其他单位的技师同台竞技。作为所有火炮技师中最年轻的一位,赵建红感到压力很大。

实弹射击训练中,赵建红像往常一样在车内操作装备火控系统。装备突发状况,幸亏身旁有一位经验丰富的老班长及时出手,保证了这次射击任务的顺利完成。

这次经历,让赵建红印象极其深刻。从那天起,他像着了迷一般开始钻研专业,忙起来像一个停不下来的陀螺。半年下来,他的专业能力有了很大精进。

“作为一名军人,就要干一行、爱一行、精一行。”赵建红说。这些年,随着装备快速发展,新旧更迭大大增加了火炮的维修难度。要想精通坦克射击专业,保障火炮“打得快、打得好、打得准”,就必须全身心投入其中,容不得半点懈怠。

一次射击训练,指挥部电台突然传来年轻炮长何俊的紧急求助。面对突发故障,赵建红受命前出排除。尽管火炮最终恢复正常,但最佳战机已被延误。这让赵建红产生一种强烈的本领恐慌。他意识到,只有不断“补课充电”,主动应变,维修装备才能得心应手。

为此,赵建红下定决心,针对某故障展开专项攻关。白天,他在车库反复进行实操训练,碰到不懂的问题就

## 让我的战位成为放心战位

■陈奕倪 鵬

抓紧联系工厂师傅,虚心请教、记录要点;晚上,他在会议室强化专业理论,遇到不会的知识就立即查阅有关书籍。经过不懈努力,赵建红成功总结出一整套排除某故障的方案。方案一经推广,大大提高了单位实弹射击优良率。

从穿上军装的那日起,赵建红一直在努力证明自己。他在任务中不断更新丰富火炮操作维修经验,在工作之余广泛阅读专业领域书籍,了解最新专业进展。“只有不断提升自己,才能让我的战位成为放心战位。”赵建红说,瞄准打赢笃定前行,是他15年从事坦克射击专业的不竭动力。

## 航空轴承——

## 航空发动机的“关节”

■肖凡

## 军工科普

前不久,AEF1200、177S等多台航空发动机纷纷亮相第十五届中国航展,引起广泛关注。航空发动机被称为现代工业“皇冠上的明珠”,而航空轴承作为航空发动机的“关节”,是影响航空发动机可靠性的重要零部件。

工作中的航空发动机,转子转速可达每分钟几万转,稍有不慎,巨大的离心力和摩擦力会使发动机分崩离析。那么,航空轴承是如何帮发动机顶住压力的?

航空轴承是转子和发动机机匣之间的“媒介”,主要由内圈、外圈和滚动体3部分构成。其中,内圈与转子相连,外圈则被固定在发动机机匣上,内外圈之间通过滚动体连接。如此一来,航空轴承能够精确地将转子支撑在发动机机匣内,保证转子稳定地围绕轴心旋转。

航空轴承的制造并非易事。随着航空发动机在温度、载荷、转速、寿命和可靠性等方面的性能要求越来越高,制造航空轴承面临的挑战也越来越艰巨。

一方面,航空轴承对制造精度要求十分苛刻。在极高转速下,航空轴承的尺寸偏差会使转子在旋转过程中产生振动,导致发动机性能下降甚至引发故障。滚动体的形状偏差会引起接触应力不均,造成局部磨损加剧,使轴承的使用寿命大幅缩短。过于粗糙的表面则会增加能量损耗并产生微小的磨损颗粒,不仅会降低发

动机效率,还容易引发安全隐患。因此,航空轴承必须严格控制精度。以F-15和F-16搭载的F100发动机使用的航空轴承为例,它的形状和尺寸精度均被控制在微米级别,滚动体和滚道的圆度误差保持在1微米以内,表面粗糙度则为0.1到0.2微米。

另一方面,极端的工作环境和运行条件,使得航空轴承对材料质量的要求近乎苛刻。航空发动机工作时,航空轴承需要承受巨大的轴向和径向载荷,发动机震动、遭遇气流颠簸等也会使轴承受到的应力发生变化。以F100发动机为例,其内部温度高达1700摄氏度,压力高达20个标准大气压。这就要求制造航空轴承的材料必须具备高强度、耐高温、耐高压和抗疲劳等特性。

目前,国际主流战机使用的航空轴承,大多采用特殊的耐高温合金钢或陶瓷材料。如英国罗罗公司制造航空轴承使用M50钢,经热处理后具备出色的高温强度和硬度,在数百摄氏度的高温下仍能维持良好的机械性能。与传统的轴承材料相比,氮化硅陶瓷具有更高的硬度、更低的摩擦系数、更强的耐腐蚀性和抗氧化性等特点。这些优势使得氮化硅陶瓷在高温、高速、高精度要求等极端环境下表现出良好的性能。

航空轴承是航空工业的关键基础部件之一,体现着一个国家高端航空制造业的水平。随着材料、设计结构、制造工艺和检测技术不断发展,未来的航空轴承将具备更高的承载能力、更强的适应性、更好的可靠性和更长的使用寿命。