

军工T型台

在军用装备维护中,对发动机轴承机械密封件的磨损测量是维护过程的关键环节。技术人员常使用千分尺等精密工具检测密封件状态,在高速运转情况下,密封间隙的微小偏差,就可能增加燃油泄漏等安全风险。因此,保证机械密封件的密封性,对提高装备的可靠性至关重要。近年来,军用机械密封技术在全球军事领域受到高

度重视,美国、俄罗斯、英国等国家普遍将该技术纳入用以提升装备可靠性的重点技术范畴。例如,美军及相关军工企业持续推进装甲车辆动力系统的密封技术研发,着力提升密封件在沙漠等极端环境下的耐用性。那么,什么是军用机械密封技术?军用机械密封技术经历了怎样的发展历程?在现代战场上发挥着哪些重要作用?未来又将走向何方?请看本期关注。

军用机械密封技术——

守护装备“心脏”的精密防线

■陈浩天 戚韵婷 李珊珊



主减速器应用了“多唇口密封”方式的美国AH-64“阿帕奇”直升机。

资料图片

从简单密封到精密防护

本质上,军用机械密封技术,是一种在军事装备的旋转部件与静止部件之间构建精密动态屏障的技术。有了这种技术,装备能有效防止流体泄漏等现象的发生。

在现代军事装备发展初期,其密封方式相对简单。

19世纪末,军用车辆和舰船采用浸油麻绳、石棉等填料进行密封操作。例如,一战期间,英国“马克”I型坦克使用浸油棉线进行密封,其密封性易受战场环境影响——在索姆河战役的泥泞地形中,坦克行驶时填料易因振动、磨损导致漏油,部分坦克因此丧失战斗力。

随着军事装备向高速化、重载化方向发展,传统填料密封方式的局限性愈发明显。

20世纪30年代,德国亨舍尔公司在Ⅲ型、Ⅳ型坦克上采用了金属迷宫密封方式。

所谓金属迷宫密封,是一种非接触式密封结构,主要由旋转的金属叶轮与静止的金属壳体组成,两者之间形成一系列曲折的“迷宫”状间隙。当流体试图通过间隙泄露时,会在迷宫通道内经历多次节流、膨胀和能量损耗,从而降低泄漏量。

这种密封方式的耐用性优于填料密封,但易因振动变形失去密封效果,最终未被大规模采用。

20世纪中期,机械密封技术逐渐兴起。该技术通过动环与静环的精密贴合形成动态密封,显著提升了设备的密封性能。

这一时期,军用领域的机械密封技术研发也取得突破。例如,美国相关技术机构开发的军用机械密封产品,泄漏控制能力大幅超越传统填料密封方式,在特定情况下可实现极低泄漏量,为后续该密封方式大规模应用于潜艇等装备奠定了基础。

冷战时期,军用机械密封技术快速迭代:苏联“台风”级核潜艇采用复合密封系统,在轴端设置两道独立的密封面,提高密封效果;美军M1主战坦克采用集装式军用机械密封技术,预先将动环、静环等机械密封部件组成一个整体单元,大幅缩短了机械密封件的更换时间。

如今,经过几十年的发展,军用机

械密封技术已形成了较为完整的体系:在密封结构上,从最初的“单一密封”到如今的“多组密封组合”;在密封材料上,从应用普通金属材料进行密封,到采用碳化硅、氮化硅等多种密封填充材料……

此外,从复合功能层面看,军用机械密封技术从具备单纯的密封功能,逐渐演变为同时集成状态监测的智能系统,其可靠性和适应性得到了质的飞跃,成为现代军事装备不可或缺的关键技术。

关乎作战效能与生存能力

在现代战场上,军用机械密封技术如同守护装备“心脏”的防线,在各类军种装备中都发挥着至关重要的作用,其性能优劣直接关系到装备的作战效能与生存能力。

在陆军装备中,主战坦克的发动机和传动系统是军用机械密封技术应用的重点部位。美国M1A2主战坦克的AGT-1500燃气轮机采用“金属波纹管机械密封”,通过镍铬合金波纹管的弹性,补偿密封面磨损。美国“斯特瑞克”装甲车的液压系统采用“组合密封设计”,2018年阿富汗遇袭事件中,该装甲车车体受损但液压密封面完好,最终实现安全撤离。

海军装备对军用机械密封技术的要求更为苛刻——既要承受海水腐蚀,又要应对波浪冲击带来的交变载荷。“阿利·伯克”级驱逐舰的LM2500燃气轮机采用“串联式机械密封”,3组单元分工协作。2017年“约翰·S·麦凯恩”号撞船后,有两组密封并未立刻失效,为装备抢修争取了时间。

对于潜艇而言,机械密封更是关乎生存。俄罗斯“北风之神”级核潜艇贯穿件的密封能力能够承受深水压,密封面光洁度极高,确保水下低噪音;反应堆系统采用双重密封,严防放射性物质泄漏。

空军装备中的机械密封方式同样面临极端挑战。美国F-22战斗机的F119发动机采用“浮动环机械密封”,陶瓷密封环可耐受剧烈温差。一次军演中,一架F-22战斗机连续完成复杂机动动作,离不开其密封系统的稳定可靠。美国AH-64“阿帕奇”直升机的主减速器采用“多唇口密封”,这种密封方式既防止漏油又阻挡杂质,对确保直升机飞行安全的重要性不言而喻。

在导弹武器系统中,军用机械密封技术对保障系统核心性能稳定具有重要作用。例如,美国“战斧”巡航导弹的动力系统依靠高性能密封技术防止燃料泄漏,保障发动机稳定运行,为其远程打击提供支撑。又如,借助“喷管密封方式”,俄罗斯“白杨-M”导弹发动机可在极端温度下长期稳定工作,提升了导弹的贮存寿命。

向高性能和智能化迈进

随着军事科技的不断发展,军用机械密封技术正朝着高性能化和智能化的方向迈进。

目前,美国、俄罗斯、英国等国家已构建起涵盖材料研发、结构设计、仿真测试、量产制造等方面的完整技术体系,推动着密封技术向更高精度、更长寿命、更智能的方向突破。

——高性能材料突破物理极限。新型材料的应用是提升军用机械密封技术性能的关键,近年来,不少新型密封材料相继问世。

美国陆军研究实验室近年研发的“梯度功能陶瓷密封环”,通过粉末冶金技术,实现材料成分从表层到芯部的梯度变化:表层采用高硬度碳化硅材料,提高密封件的耐磨性;芯部采用韧性较好的氮化硅材料,提高抗冲击能力。据悉,在一次坦克台架测试中,该密封环的使用寿命相较传统产品显著提升,磨损率大大降低。

俄罗斯国家技术集团研发的“金属—陶瓷复合密封面”,通过等离子喷涂技术在金属基体上形成陶瓷涂层,既保留了金属的强度和韧性,又具备了陶瓷的耐磨性和耐腐蚀性。在舰船推进轴密封测试中,该复合密封面在盐雾环境中连续工作,性能稳定。

英国BAE系统公司开发的“自润滑金属基复合材料”,通过在铜合金基体中嵌入石墨、二硫化钼颗粒,形成“微储油池”结构,确保在缺乏润滑的紧急情况下,仍能保持密封面润滑。

——智能化监测实现主动预警。未来,智能化是军用机械密封技术发展的重要方向。

美国陆军正在测试的“智能密封健康管理”系统,通过在密封件内部集成微型光纤传感器,可实时监测密封面的温度、接触压力和磨损量。数据通过无线设备实时传输至装备控制系统,实时

捕捉瞬间的密封异常现象。

据悉,在2023年“欧文堡”军演中,一套安装在M2“布雷德利”步兵战车上的智能密封系统,提前预警了变速箱输入轴密封的磨损超标情况。技术人员随后及时进行更换,避免了战车在战场抛锚。此外,该系统还能通过机器学习算法,根据历史数据预测密封件剩余寿命,且预测精度较高。

德国莱茵金属公司为“豹2A7”坦克开发的“智能化密封监测技术”,采用传感器监测密封面摩擦产生的声波信号,并通过频谱分析判断密封状态。该技术可识别密封异常,并通过快速预警,给出故障定位,帮助维修人员快速找到问题点,显著提升战场抢修效率。

——集成化设计适应复杂环境。为适应现代军事装备的复杂工况,军用机械密封技术正朝着“密封—润滑—冷却”一体化的方向发展。

俄罗斯海军在22350型护卫舰的柴燃联合动力系统中,采用“集成式密封模块”,将机械密封、润滑油路、冷却水道整合为一个单元,通过温度传感器自动调节冷却水的流速,使密封面温度始终保持在一个稳定的范围,延长了密封件寿命。

美国通用动力公司为LAV-25轮式装甲车设计的“自适应密封系统”,能根据车辆行驶状态自动调整密封压力:在公路行驶时降低压力减少磨损;在越野驾驶时增加压力,提升密封效果。在2022年的一次沙漠测试中,与之前相比,该密封件的平均寿命大幅提升。

以色列埃尔比特系统公司开发的“三防密封集成单元”,将机械密封与核生化防护功能结合,通过在密封面外侧增加过滤层,既阻止放射性气溶胶和化学毒剂侵入,又不影响密封性能。

军用机械密封技术的发展,始终与军事装备的进步同频共振。从一战时期的简单填料密封,到如今的智能密封系统;从被动承受工况,到主动适应环境;从单一密封功能,到集成健康管理……军用机械密封技术的每一次突破,都为装备可靠性增加新的保障。

我们看到,即便军用机械密封技术应用的位置,隐藏在装备核心部件的深处,但其始终无声守护着军事装备的战斗力,是未来战场上的重要“隐形防线”。

可以预见,未来随着材料科学、传感技术和人工智能技术的深度融合,军用机械密封技术必将具有更高的精度、更强的适应性和更智能的管理模式。



保障达人

东部战区海军某勤务船机舱内,机电设备的轰鸣声不绝于耳。

机电技师、一级军士长唐明华绷紧的每一根神经,仿佛都与耳边的轰鸣声同频共振。

这种在外人耳中被听作“噪音”的轰鸣声,在唐明华耳中,却是世界上最美妙的声音之一。

今年是他成为机电兵的第30年,他的青春,就是在这样的轰鸣声中度过的。

1995年,怀揣军旅梦的唐明华踏进军营。本想操枪弄炮的他,没想到新兵下连时被分到勤务船大队。

虽然现实与最初的想法有落差,但唐明华牢牢记住了班长的话:“岗位有分工,战位无不同,在哪儿干好了都是优秀的兵。”

怎么才能当个“优秀的兵”?唐明华选择了“主动出击”:平常学习专业,面对复杂的阀门位置和密集的管路布线线路,他一手拿起图纸,一手紧握扳手,逐个位置进行背记;周末外出时,他买来《柴油机的结构构造》《柴油机如何使用和维护保养》等专业书籍进行自学……

功夫不负有心人。很快,唐明华不仅能熟记默画装备结构图,还具备了按图索骥分析故障的本领。入伍第2年,成绩突出的唐明华,被任命为主机班长。

唐明华不放过任何机会磨炼自己,在一次次任务中夯实了专业本领。一次演习任务,船上设备出现故障。经过检查,唐明华初步判断,某淡水水泵高温高压,导致主机空气冷却器渗漏海水。

此时,船体正在逐渐偏离航向。危急关头,唐明华灵机一动,接来一桶水,根据自己对主机内部线路的熟悉掌握,通过分层分段浇注的方法判断出水点。半小时后,他找到故障水管,迅速排除故障,机器运转恢复正常。“找到具体故障水管的难度,就好比在心脏中精确找到一根血管,是很不容易的。”回忆当时情形,有位老兵这样说道。

唐明华没有停止学习。这些年,他还通过自学,拿到了钳工技师证书和本科学历。“在军营这所大学校,我通过学习改变了自己的人生轨迹。”唐明华觉得,坚守船上的战位,赋予他许多深刻的感悟。

他的世界很“小”——在大海上航行时,他的战位在一个很小的舱室内,看不到太阳,看不到星空,陪伴他的只

「做一朵奔腾的小浪花」

■孙思伟 刘毅

东部战区海军某勤务船大队机电技师唐明华

有滚烫的机器和回荡耳畔的轰鸣声。

他的世界又很“大”——这些年,跟随人民海军发展的脚步,他与战友一起,为一艘艘战舰进行补给,目送战舰抵达自己从未去过的远方,走向更远更深的海域。

“做一朵奔腾的小浪花,成就大海的雄壮。”这是唐明华的心声,也是一名机电兵的“大”“小”辩证法。



唐明华正在检修装备。迟大山摄

“鹞式”战斗机——

垂直起降的先驱

■刘 合 李明辉



军工档案

有一种战机,被称为“空战传奇”,它就是英国研制的“鹞式”战斗机。回望历史,“鹞式”战斗机无需跑道也能翱翔天际,以垂直起降技术引领了航空史上的一次技术飞跃。

作为垂直起降技术的先驱,“鹞式”战斗机的研发之路充满挑战。

上世纪50年代,在冷战阴霾笼罩下,英国空军意识到,机场跑道作为战争中最易受攻击的目标之一,一旦遭袭会导致战斗机无法起飞,他们亟须一种不依赖长跑道的战斗机,以维持空中优势。

经过研究,英国空军大胆提出一项对跑道依赖最低的技术——垂直起降技术,并计划研制一款拥有垂直起降技术的战斗机。

在此之前,垂直起降的概念仅限于热气球与直升机的范畴,如果将其引入战斗机领域,无疑是一大创举。

尽管如此,英国空军还是决定试一试。1957年,英国霍克公司与布里斯托尔公司联手,针对垂直起降技术展开研究。面对挑战,研发团队迎难而上,跨过了一道道技术鸿沟。

其中最具挑战性的,是如何使战

从垂直飞行的状态平滑转换到水平飞行的状态。

经过多次试验,设计师们始终没有取得进展。一次偶然机会,他们在调整鼓风机风扇时,突然发现随着方向不断转换,气流会产生相对应的力。设计师灵光一闪,“如果调整喷口角度,是不是就能解决这个问题?”

最终,他们找到了破解难题的钥匙——通过调整发动机喷口的方向和角度,改变喷气的推力方向,进而改变飞机的飞行姿态,使战机具有了垂直起降和短距离起降的能力。

1965年,世界上第一架垂直起降喷气式战斗机在万众瞩目之下缓缓升空后,盘旋、调整、平稳飞行、降落,成功完成首次垂直起降试飞。

后来,经过一系列测试与评估,这款战斗机终于定型,并被正式命名为“鹞式”GR.1战斗机,服役后深受英国空军的青睐。1967年,英国又将其引入海军战斗序列,搭载于新型直升机驱逐舰上,并赋予其“海鹞”之名。

如今,“鹞式”战斗机已退出历史舞台,成为博物馆中的陈列品,但其独特的垂直起降技术曾重塑航空母舰及舰载航空力量的格局,成为战斗机发展史上的重要一笔。

下图:“鹞式”战斗机。

资料图片

