

武器装备

鱼雷武器环境因素分析及环境条件 确定方法研究

寇小明, 石聿炜, 杨令龙

(中国船舶集团有限公司第 705 研究所, 西安 710077)

摘要: 目前鱼雷武器环境条件确定存在着论证不充分、载荷条件确定不够准确等问题, 导致环境适应性及可靠性的设计和验证也不够精准科学。基于以上问题, 对鱼雷武器全寿命周期剖面的环境因素及其影响进行了全面分析, 确定了敏感应力, 对敏感应力的载荷谱确定方法进行了研究, 对鱼雷武器环境条件制定、环境适应性及可靠性设计与试验鉴定起到积极的引导作用。

关键词: 鱼雷武器; 环境因素; 环境条件; 寿命剖面; 环境适应性; 载荷谱; 环境试验

中图分类号: TJ630 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9242(2024)11-0038-09

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2024.11.006

Analysis of Environmental Factors and Approaches to Determine Environmental Conditions of Torpedo Weapons

KOU Xiaoming, SHI Yuwei, YANG Linglong

(The 705 Research Institute, China State Shipbuilding Corporation Limited, Xi'an 710077, China)

ABSTRACT: At present, there are problems such as insufficient demonstration of determining environmental conditions and inaccurate load conditions, causing that the design and verification of environmental worthiness and reliability aren't precise and scientific enough. A comprehensive analysis of the environmental factors and their effect on the entire life cycle profile of torpedo weapons was conducted, the sensitive stresses were identified, and the approach for determining the load spectrum of sensitive stresses was studied. This research plays an active guiding role in formulating environmental conditions, environmental worthiness, reliability design, and test and qualification for torpedo weapons.

KEY WORDS: torpedo weapon; environmental factor; environmental conditions; life profile; environmental worthiness; load spectrum; environmental test

鱼雷以其水下寻的自动导引、攻击威力大, 成为海战场的主战武器之一。鱼雷武器装载平台类型多, 不同作战方式下的环境剖面也各不相同, 导致不同雷型及其舱段/组件的环境条件确定也比较复杂。目前的处理方式多是沿用历史数据、直接传递或采用国军

标/行业数据, 这些方式均存在着不够准确的问题^[1], 导致型号的环境适应性和可靠性设计与试验也不够精准科学, 也不符合 GJB 4239 的要求^[2]。因此, 需要对鱼雷武器全寿命周期剖面的环境因素及其影响程度进行全面分析以科学确定敏感应力, 并对敏感应

收稿日期: 2024-04-16; 修订日期: 2024-09-03

Received: 2024-04-16; Revised: 2024-09-03

引文格式: 寇小明, 石聿炜, 杨令龙. 鱼雷武器环境因素分析及环境条件确定方法研究[J]. 装备环境工程, 2024, 21(11): 38-46.

KOU Xiaoming, SHI Yuwei, YANG Linglong. Analysis of Environmental Factors and Approaches to Determine Environmental Conditions of Torpedo Weapons[J]. Equipment Environmental Engineering, 2024, 21(11): 38-46.

力的载荷谱确定方法进行研究, 从而对鱼雷武器环境条件制定、环境适应性及可靠性设计和试验鉴定起到积极的指导作用。

1 鱼雷武器全寿命周期剖面

鱼雷武器从交付到寿命终结或退役报废这段时间内所经历的全部事件如图 1 所示, 主要包括贮存、

装载和实航三大状态事件^[3]。在运输贮存阶段, 生产合格的产品装包装箱经公路/铁路/空运/海运方式运抵贮存地, 交验合格后, 在雷库、技术阵地工房中贮存, 按维护说明书对鱼雷各组成部分进行例行检修。对寿命周期内修理厂无法修复或达到大修周期的产品返回生产厂进行全面检修, 此时还要经历一个往返运输过程, 堪用雷还可能随保障船在其弹药库中贮存^[4]。

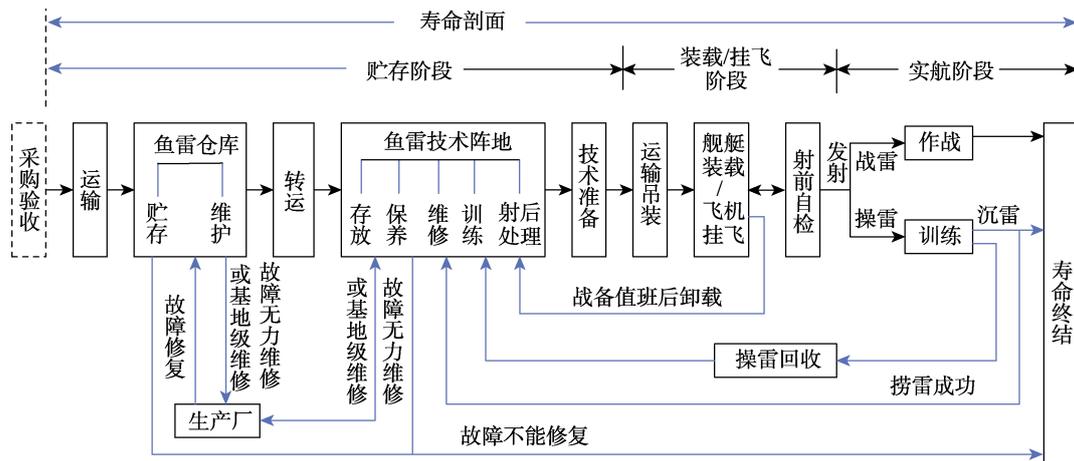


图 1 鱼雷武器全寿命周期典型剖面
Fig.1 Typical life cycle profile of torpedo weapon

在装载阶段, 在技术阵地对鱼雷进行转级准备, 准备好的堪用雷经短距离转运、吊装/挂机等过程装载到舰艇发射管或飞机挂架上, 经武器系统自检正常后, 具备执行任务的条件。装载期间, 武器系统按要求对鱼雷进行发控检查, 接到发射指令将鱼雷发射脱离装载平台, 或装载结束后从作战平台卸载。

在实航阶段, 不同类别鱼雷经历的空中过程有所不同, 空投鱼雷经历自由飞、开伞减速、脱伞、入水、动力启动及水下航行过程; 火箭助飞鱼雷经历火箭助飞、运载器分离、自由飞、开伞减速、脱伞、入水、动力启动及水下航行过程; 水面舰艇管装发射鱼雷经历入水、动力启动及水下航行过程^[5]。水下航行过程中, 战雷经历搜索、跟踪、攻击及起爆过程, 操雷经历搜索、跟踪、规避、上浮以及打捞后的处理与内测数据分析过程, 操雷还可能多次演训使用。

2 鱼雷环境因素及影响分析

GJB 6117 中将“环境”定义为装备在任何时间和地点所存在的或遇到的自然或诱发的环境因素的综合, 并对自然环境因素、诱发环境因素、空间环境因素进行了定义^[6]。环境因素是构成环境整体的各个要素, 如温度、湿度、振动、气压等。本节参照 GJB 4239 工作项目 201 的要求, 确定鱼雷武器寿命期环境剖面, 为了便于分析, 对 GJB 531B 规定的三大事件进

行细化, 划分为运输、贮存、技术准备及装载准备、平台装载、空中飞行、水下航行过程, 并对每一事件的内涵及所经历的主要环境因素进行详细说明。

生产合格的鱼雷产品一般装在包装箱中经公路/铁路/空运/海运方式运抵目的地, 包装箱一般采用密封结构, 可隔断外部空气、雨水、沙尘的影响。因此, 鱼雷运输过程的主要环境因素为运输工具附带的振动冲击, 以及非遮蔽时可能的太阳直射, 太阳直射会引起包装箱内温度和气压的升高。

鱼雷的贮存场地一般为鱼雷库、技术阵地工房、舰艇弹药库等, 环境条件可控或短时间内以裸雷方式存放, 否则应采用包装箱密闭存放。因此, 鱼雷贮存过程中经历的主要环境因素为季节温度变化, 短时湿度、盐雾气候条件。

在技术准备及装载准备过程中, 需要将贮存状态的鱼雷转换为可供装载的堪用雷, 并转运到飞机或舰艇平台进行装载。在技术阵地对舱段、全雷进行技术准备过程中, 工房环境可控, 装载准备过程短时暴露在露天环境下。此时全雷经历的主要环境因素为短暂的露天湿度、盐雾、运输振动以及通电测试的电应力; 舱段/组件分解状态下, 经历的主要环境因素为湿度、盐雾以及测试通电的电应力。

鱼雷在飞机平台的装载过程中, 会经历飞机起降的冲击载荷, 飞行过程中的振动、旋回载荷, 以及空中低气压和低温。在舰艇平台装载过程中, 主要经历

舰艇动力工作引起的振动,海况引起的倾斜摇摆和垂荡,以及水下发射管注水引起的海水浸泡腐蚀。由于空中飞行过程时间短,雷内温度并不会明显降低。鱼雷是金属密闭体,射前准备在发射管内进行,电磁环境也较为良好,鱼雷电磁兼容能力一般可通过全雷电气拖动试验及与武器系统的匹配试验初步验证。

鱼雷脱离平台飞行及入水过程要经历脱离平台的前向冲击和入水过程的后向冲击。空投鱼雷还要经历减速伞开伞冲击、空中低气压和低温。火箭助飞鱼雷经历助飞火箭加速度冲击和飞行振动、运载器分离冲击、高空风、低气压与低温以及减速伞的开伞冲击等。

水下航行过程中,鱼雷主要经历动力启停的加速度冲击、航行振动、旋回加速度、海水浸湿和压力。声自导鱼雷还要受到海洋水声环境,包括自然环境和人工设施的影响。由于在水中散热效能良好,虽然此时鱼雷动力、供电等系统均工作,雷内其他部位温升并不显著。

鱼雷在上述运输、贮存、装载、飞行、实航等过程中,经历的气候、力学各环境因素必然会对鱼雷产生一系列“理化时效”变化,使其材料和结构发生腐蚀或破坏,元器件、部件和设备性能恶化乃至功能丧失^[7]。下面结合鱼雷产品的组成结构、材料特点和使用维护过程对各环境因素影响进行分析,并确定敏感应力。

温度对鱼雷的影响主要有3种方式:一是高温,主要在运输过程太阳照射和水下实航过程的自身发热;二是低温,主要在冬天运输和飞机挂飞过程;三是高低温循环交变,尽管贮存条件较好,但温度的长期影响应予考虑。

1) 高温对鱼雷的影响主要表现为对产品组成材料物理化学特性的影响,温度的升高会使得分子运动速度加快,从而激发热力效应、电磁效应等使得材料老化加速、使用寿命缩减^[8]。如电连接器、电器开关、机电绕组的绝缘降低或导电性能下降;雷上密封圈、硫化橡胶等非金属材料老化速度加快造成密封等功能失效;鱼雷药柱、壳体、动力装置等材料无法满足使用需求;润滑剂黏度变低或泄露造成润滑效果下降。高温能增加湿气的浸透速度,使触点和开关机构的腐蚀加快。电子线路上不同区间温度不同会使得材料发生形变,从而导致线路稳定性发生变化。密封垫、衬垫、轴和轴承等机械零部件发生变形、咬死或松动等。

2) 低温对鱼雷的影响主要体现在对产品组成材料的影响,温度降低,分子运动变慢,材料发生脆化,机械强度降低,产生的微小裂纹和硬化等会使得产品使用寿命缩短^[9]。如低温使橡胶密封材料脆化,出现微裂纹的概率增加,引起油脂类材料黏度增加,密封能力降低;金属零件变脆,在振动条件下易出现裂纹;

电连接器金属和非金属材料脆化或收缩,使密封带开裂;润滑油的流动性降低,动力启动性能变差;低温造成的收缩形变会使材料出现裂纹,导致水蒸气或其他外界污染物进入电器开关,造成线路短路,降低击穿电压阈值;低温和低气压组合会加速密封处的漏气。

3) 温度交变引起的形变在结构内可引起周期性机械应力,导致构件疲劳、脆性材料脆裂。如应力集中处的应力交替变化累积导致构件产生疲劳裂纹,非金属密封件密封性能降低;机电装置热膨胀系数差异形成应力激化材料裂纹、产生孔隙和导致运动部件的卡紧或松弛^[10];接插件、电位计、继电器老化接触不良;不同材料连接部位,特别是陀螺等精密机电仪表,会因不同材料和不同零件膨胀系数的差异使性能稳定性降低;温度的交替变化在固体药柱各层之间形成拉—压反复作用力,引起累积疲劳损伤影响药柱性能。

4) 湿度会产生凝露、吸附、吸收、扩散、呼吸等物理现象,空气中湿度达到某一数值时,水蒸气会在物体表面形成一层水膜,进而造成鱼雷产品性能退化。如对于金属零件,表面附着的水膜会与空气中的酸性气体反应,发生电化学腐蚀造成金属零件表面锈蚀;对于非金属材料,水分子会因为毛细现象扩散到内部,引起非金属材料的水解、霉变或老化变质。高湿气影响器件的性能和可靠性,高湿度电阻器表面的水蒸气会形成泄漏路径,降低电阻阻值,甚至会引起线绕电阻线圈间短路或造成线头腐蚀;潮湿会使接插件出现腐蚀、导线及电缆绝缘体退化,电容器吸收潮气会引起性能参数变化。吸收潮气后,安全机构、火工品壳体表面防静电层的绝缘电阻下降,火工品和炸药会吸湿潮解,引起功能丧失;低湿度对鱼雷性能同样不利,过度干燥不利于静电的消除,同时会使材料机械强度降低,易发生脆化。当环境中水蒸气含量快速升高时,吸湿性差的密封材料表面会产生凝露,致使橡胶氧化,使用寿命缩短。壳体采用的纤维材料会因为湿气变化而形变,导致其力学性能发生变化。

5) 振动产生的动态位移可能造成结构松动和疲劳损伤,可能引起可卸连接、焊接和胶合处失封,电路连接破坏和精密部件损坏,集成电路的焊接点可能会因虚焊引起断路。如雷内紧固件可能会松动,定位销可能会因为振动冲击发生弯曲或剪断,应力集中部位或连接部位会产生龟裂造成疲劳损伤,出现焊接开裂,配合面和表面处理层可能被擦伤^[11];电池/绝热层/衬层/药柱的各个黏接面脱黏;脆性材料如陶瓷、硅芯片、玻璃覆盖层等存在的微裂纹扩大导致破裂;零部件如金属弹簧、减振垫等由于各个方向的加速度作用会发生振动疲劳损伤;电子设备如惯性器件或电子组部件会因为振动冲击发生性能漂移或超差等。

6) 加速度会在鱼雷装备内部产生惯性载荷,高峰值加速度会引起鱼雷功能下降或失效。如雷体结构

变形和构件断裂导致装备松脱, 执行机构或其他机构卡死, 继电器意外断开或吸合; 伺服阀/滑阀移位, 电子线路板短路或开路引起错误或危险动作, 压力和流量调节数值变化、雷体密封泄漏等。

7) 鱼雷产品寿命周期内较长时间处于沿海气候环境, 湿度较高, 容易滋生霉菌, 会直接或间接改变材料的理化性质, 进而削弱鱼雷装备的功能或影响使用。如非抗霉材料易受直接侵蚀导致装备物理性能的劣化; 对直接侵蚀敏感的材料上生长的霉菌, 其代谢产生的有机酸会侵蚀邻近的抗霉材料, 导致金属腐蚀、玻璃蚀刻、塑料和其他材料着色或降解; 材料表面沉积的灰尘、油脂、汗渍和其他污染物(在制造或使用过程中形成的)上生长的霉菌对底层材料造成侵蚀; 霉菌在绝缘材料上能够形成不希望有的导电通路, 或者对精密调节电路的电特性产生负面影响, 导致性能恶化。

8) 海洋和沿海地区空气中往往有盐雾存在, 盐雾对鱼雷的典型影响过程为盐沉积加速湿气对金属的腐蚀。如盐溶于水后, 游离的正负离子会发生电化学反应, 导致金属腐蚀和漆面破损; 沉积盐形成的导电覆盖层会引起绝缘材料和金属材料腐蚀, 致使绝缘材料和金属材料的电性能超出设计要求; 沉积的盐颗粒使机械活动构件阻塞或磨损。

9) 低气压主要发生在高空条件下, 此时鱼雷内外气压不平衡, 可能造成鱼雷密封性能降低、滑油渗漏、疏松材料膨胀等, 影响鱼雷的密封性能和运动件的灵活性。

10) 高空风会影响火箭助飞鱼雷的空中飞行弹道, 以及鱼雷开伞减速时降落伞的平衡和飘逸, 进而影响鱼雷的落点精度和入水姿态。

11) 海洋环境对鱼雷武器的影响主要考虑海水压力、海洋混响、温度梯度、洋流、盐度、海洋生物等。大深度下的海水压力对鱼雷实航和潜艇水下发射均有影响, 鱼雷在深水中的耐压和密封, 特别是大深度下的壳体强度和耐压能力、推进器高背压工作能力和尾轴动密封能力是鱼雷的重要性能指标。洋流是海水大规模相对稳定的流动, 会给鱼雷带来航向偏差、漂移和水声探测偏差, 进而影响鱼雷作战效能。海洋生物在鱼雷声学装置透声橡胶上生长, 可能使自导性能降低; 海洋生物在鱼雷壳体上大量生长时, 会导致鱼雷活动机构(如舵机)卡滞。海水对鱼雷的腐蚀主要发生在潜艇鱼雷发射管注水时段, 和操演训练雷实航及打捞前的海水浸泡时段, 海水腐蚀、积盐等对壳体外部接口、鳍舵、推进器等产生影响, 包括强度、密封性能、运动件的运动性能等。

3 鱼雷敏感应力及载荷谱确定

本节根据前面分析的鱼雷寿命周期环境剖面及

环境因素影响机理确定鱼雷武器的敏感环境应力, 并分析确定这些敏感应力的载荷谱, 首先对分析范围作如下界定:

1) 有些环境因素是和战技指标密切相关, 且在科研阶段的实际航行试验中经过充分遍历和考验, 不在此处展开讨论。比如高空低气压(飞行高度)、海水压力(航行深度)。

2) 有些环境因素比较复杂, 随机性大, 量值范围不好界定, 工况条件难以模拟, 也常通过实航试验条件分布情况进行综合评估。比如高空风、洋流、海洋环境噪声。

3) 还有些环境因素虽然存在, 但在鱼雷武器寿命周期剖面中甚少存在或不敏感, 比如 GJB 150 中的太阳辐射、淋雨、沙尘、爆炸性大气、风压以及温度交替变化等^[12]。鱼雷裸雷转运时仅短距离暴露在露天环境, 在长途运输和发射管内装载时, 鱼雷通过包装箱或发射管承受太阳直接暴晒, 此时鱼雷不工作, 且管内环境可控。温度交替变化主要来源于贮存、装载期间的季节温度变化, 沿海及海洋气候下昼夜温差较小, 且贮存场所温湿度可控, 因此温度交替变化对鱼雷武器的影响也比较小^[13]。

基于上述认识, 结合 MIL-18404 及 GJB 531B 进行综合分析^[14], 鱼雷武器在寿命周期剖面内承受的敏感环境因素(包括自然环境和诱发环境)见表 1^[15]。

根据表 1 及一些基本原则就可初步确定某个具体鱼雷型号的环境条件因素的量值或载荷谱, 下面是各环境因素的确定流程。

1) 运输振动主要来自于运输中路面不平整而引起的强迫振动。公路运输振动加速度值与运输车行驶速度、路面平整度相关, 垂直方向的振动量级比其他 2 个方向的振动量级要大得多, 质心处加速度幅值约为 0.05g~3g。公路运输时一般应规定运输条件: 公路路面等级、运输距离及速度, 鱼雷运输条件可依据 GJB 150 和 GJB 3493 确定^[12,16]。铁路运输过程中产生的振动频率一般在 3~5 Hz, 质心处加速度幅值约为 0.5g 左右, 其振动量级相对公路运输来说较小。

2) 装载振动源于鱼雷装载平台的工作振动, 比如挂飞鱼雷的飞机飞行振动、舰艇航行传递到发射管及鱼雷上的振动等, 按拟装载平台振动谱级或 GJB 1060、GJB 4000 等相关规定确定^[17-19]。

3) 鱼雷飞行和实航振动载荷量值与鱼雷类型和动力推进特性有关, 可依据经验数据或实际飞行、实航试验的测量值进行处理后确定, 一般比较关心他们的能级大小和线谱分布。

4) 冲击主要源于鱼雷发射、入水、空投鱼雷空中开伞, 以及运输过程紧急刹车、装卸过程意外跌落等环节引起的载荷急速变化。由于受力特性不同, 鱼雷 3 个方向的冲击载荷量值也差异较大, 一般轴向最大、垂直方向次之、横向最小, 可参照 CB 1235 或经

表1 鱼雷武器寿命周期剖面内承受的主要环境因素
Tab.1 Main environmental factors in life cycle profile of torpedo weapon

| 环境因素 | 寿命剖面 | 补充说明 | 推荐验证方式 |
|------|------------------------|--------------------|--------------|
| 振动 | 运输及短途转运 | 货车/船舶/火车等带包装箱装货舱固定 | 运输性试验 |
| | 装载 | 潜艇发射管、舰船发射管/箱、飞机挂架 | 实际装载+实验室装载试验 |
| | 飞行 | 助飞火箭工作 | 飞行工作试验 |
| | 实航 | 动力推进器工作 | 实航工作试验 |
| 冲击 | 发射、入水、开伞、运输刹车 | / | 实验室试验+实航工作试验 |
| 加速度 | 载机回旋、水下大机动、舰船倾斜摇摆、舰船垂荡 | / | 实际工作试验+实验室试验 |
| 温度 | 贮存、工作环境 | / | 实验室试验 |
| 湿度 | 海洋气候暴露 | 裸雷表面暴露, 舱段/组件短时暴露 | 实验室试验 |
| 盐雾 | 海洋气候暴露 | 裸雷表面暴露, 舱段/组件短时暴露 | 实验室试验 |
| 霉菌 | 热带气候暴露 | 裸雷表面暴露, 舱段/组件短时暴露 | 实验室试验 |
| 低气压 | 助飞空中飞行、载机空中飞行 | | 实验室试验+实航试验 |
| 高空风 | 鱼雷空中飞行、开伞 | 气象数据参与控制 | 飞行试验 |
| 海水压力 | 实航 | 深度作为战技指标 | 实验室试验+实航试验 |
| 海水浸渍 | 潜艇发射管注水、操演雷停车打捞 | / | 结合实航试验 |
| 海洋声学 | 实航 | 海洋环境和对抗环境 | 结合科研和实训试验 |

验数据确定^[20]。

5) 鱼雷加速度载荷源于空投鱼雷载机回旋、水下航行机动、舰船倾斜摇摆、舰船垂荡等过程。载机回旋和水下航行机动过程量值大, 但次数不多, 舰船倾斜摇摆和舰船垂荡过程量值小, 但经历的频次较高。高海况下应根据载荷等效原则折算, 或依据装载平台设计规定或参照 GJB 1060、GJB 4000^[19]等确定。

6) 鱼雷温度条件一般依据 GJB 1060、GJB 4000 等相关国军标确定, 这些条件对鱼雷武器偏于严格, 但也可以接受。鱼雷水下航行过程散热良好, 因而需重点关注实航过程中动力、供电等发热源附近的局部环境条件。

7) 湿度、盐雾和霉菌应重点考虑鱼雷的暴露部分, 可依据 CB 1235、GJB 150 等标准确定。

8) 低气压由助飞鱼雷的飞行高度、空投鱼雷载机的飞行高度确定, 其中助飞鱼雷的飞行高度是短时响应, 空投鱼雷重点考虑反潜巡逻机的巡航高度。

9) 高空风场主要影响鱼雷空中飞行、开伞过程, 使得鱼雷的落点精度和入水姿态发生变化, 一般作为气象参数参与弹道控制及验证。

10) 海水压力是鱼雷在水下航行过程承受的外压力, 由最大航行深度决定, 影响鱼雷的声自导头、壳体、孔口密封、螺旋桨和舵机等, 一般作为战技指标进行设计和航行验证^[21]。

11) 海水浸渍是潜艇鱼雷发射前、操演鱼雷航行结束后打捞前经历的海水浸泡导致的腐蚀、海洋生物附着等影响。如 MIL-T-18404 的试验方法为将被试产品浸于自然海水中(18±2) h, 然后取出放置(6±1) h, 重复上述过程 30 次, 期间不得用淡水冲洗^[14]。

12) 鱼雷的声自导检测能力受海洋声学环境(海

洋环境噪声、声速曲线特性、自然物和海工设备等)的影响较大也比较杂散^[22], 不在这里展开。

美国军用标准 MIL-T-18404 鱼雷环境要求通用规范考虑了 10 个因素, 其中湿度没有单独试验, 而是在非工作状态(运输和贮存条件)下进行 28 d 的温湿度循环试验, 因此是 10 个因素 9 项试验。美军标把鱼雷环境试验分成 3 组, 即要用 3 条雷分别考核空投冲击与实航振动相关条件、运输贮存管装(冲击)条件、压力条件(低气压和海水压力)^[14], 虽然该标准制定时间偏早, 但其中的思路和方法值得借鉴。

4 鱼雷环境条件要求及环境适应性设计

为了对鱼雷武器环境条件确定完整准确, 应按照 GJB 4239 中关于环境分析的要求, 执行如下工作项目: 确定寿命周期环境剖面(工作项目 201), 如第 1 节所述。编写使用环境文件(工作项目 202), 提供一套完整而规范的寿命周期遇到的典型环境(含极限环境)的数据, 以便在此基础上分析环境对装备的影响, 并根据各因素对装备影响的严重程度、环境量值的严酷度和出现频度, 进一步确定要考虑的敏感环境类型及其量值。当某些环境数据无法从现有标准数据或其他来源获得时, 应安排对实际使用环境进行实测, 以保证使用环境文件的完整性。第 2 节给出了鱼雷环境条件的基本确定过程, 使用环境文件编制可按照 GJB 9157 装备环境工程文件编写要求编制^[23]。确定环境类型及其量值(工作项目 203), 如第 3 节所述。为了后续工作顺利, 还需确定实际产品试验的替

代方案(工作项目 204)。鱼雷环境条件要求的确定原则顺序如下:按照该型鱼雷使命任务所经历的全寿命周期环境剖面;按照装载/运载平台和武器系统的使用条件要求;按照环境类型的影响程度及载荷量值的包络关系;选择适用的标准规范,或通过实测值分析处理,结合“通用化、系列化、组合化”要求确定载荷量值。

确定好鱼雷环境条件要求后,便可以按照 GJB 4239 中关于环境适应性设计相关要求开展设计,包括制定环境适应性设计准则(工作项目 301)、环境适应性设计(工作项目 302)、环境适应性预计(工作项目 303)^[2]。其中,环境适应性设计应依据此前分析的鱼雷环境因素影响机理针对各敏感因素进行设计,包括一般要求和针对各敏感环境因素的特定要求。一般要求参考如下:

1) 环境适应性设计首先应综合考虑产品可能经受的各种环境因素及环境应力,再采用改善产品所处的局部环境或减缓环境应力的措施,如冷却措施、减振措施、三防措施等,来增强产品自身耐环境的能力^[24]。

2) 环境适应性设计应按全雷、系统、组件、模块、元器件到材料逐级明确防护对象和防护等级,按从大到小的顺序提出相应改善措施。

3) 进行环境适应性设计时,应严格计算并确定使用条件,选用成熟的环境适应性设计技术、合理的结构设计、耐环境能力强的零部件、元器件和材料以及稳定的加工、装联工艺,使所设计的产品达到环境适应性要求。

4) 环境因素和不良影响之间并不是一一对应的关系。一种环境因素会造成多种不良影响,一种不良影响通常是多种环境因素综合作用的结果,在设计过程中应当将多种环境因素结合起来,综合分析可能会造成的不良影响,并留出适当的耐环境设计裕度,采取防止瞬态过应力的措施。

5) 通过对鱼雷及保障设备寿命环境剖面的全面分析,提出环境适应性要求,必要时纳入研制技术要求,对于可靠性要求高、耐环境设计不易得到保证的精密电子组件和其他重要部件可提出特殊贮存和装载环境要求。

5 鱼雷环境条件要求的特殊考虑

以往鱼雷型号立项过程对环境条件要求的论证往往比较笼统,比如“满足我国沿海地区使用”“满足××平台装载使用要求”等。在形成某型鱼雷环境条件和环境试验大纲时,除了按第 3 节的流程分析确定外,还应作如下特殊考虑。

1) 鱼雷武器的任务性质是“长期贮存、一次使用”,因此不能和长期栖装在平台上的设备,诸如武

器系统、信息设备、指控设备、发射装置等对待,鱼雷武器的装载时长远远低于上述装备,其累积应力也比较小,而平台环境条件要求往往没有细分到鱼雷武器,需要针对性确定。

2) 在舰艇装载平台上,鱼雷武器一般装载在发射管中,或存放在舰艇雷库中,以水面舰艇为例,鱼雷武器并不直接暴露在舰面环境中,而是在发射管的环境条件下,装载过程所承受的机械应力也应以发射管所在位置承受的应力为主。

3) 鱼雷武器类别多样,包括轻型鱼雷、重型鱼雷,轻型鱼雷又有管装发射、火箭助飞发射、飞机空投等多种使用方式,所经历的环境剖面差异也较大,因此直接引用国家军用标准、行业标准过程中,存在着标准的过使用或欠使用问题,应结合该型鱼雷全寿命周期经历的环境剖面详细分析和确定。

4) 要考虑环境条件的验证时效性,有些诱发环境条件因素量值离散度小,在科研阶段的飞行、实航试验中经过了充分考验,而环境试验设施的试验能力又不能对鱼雷进行全尺寸和全重量的试验,在确定鱼雷环境条件时可酌情考虑或不再单独约定。

6 鱼雷环境试验及可靠性试验设计

在确定了鱼雷武器的环境敏感应力及其量值后,可据此开展型号环境试验设计,包括实验室环境试验、自然环境试验和使用环境试验。其中,实验室环境试验可按照 GJB 150A《军用装备实验室环境试验方法》进行,需要注意的是,GJB 150A 规定了气候、力学、流体、噪声、冲击等近 30 项环境条件及其实验室试验方法,武器装备应根据其研制要求进行环境条件分析,并根据 GJB 150 等相关标准确定环境条件及其试验项目。鱼雷装备使用过程可能不一定经历恶劣气候、高海况、大过载、复杂水声等环境条件,但这些环境条件又是必须要考虑和考核的,在和平时期的演习训练环境毕竟和真实战争环境的严酷程度是无法比拟的。科研阶段的设计验证性能试验主要考核战技指标达标度、性能极限和技术成熟度,包括复杂环境和边界性能^[25-26],装备环境条件和边界条件的关系如图 2 所示。

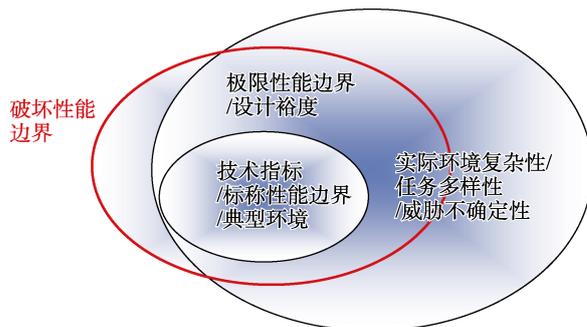


图 2 装备的环境和边界条件

Fig.2 Environmental and boundary conditions of equipment

在图2中,装备的环境条件设计裕度要大于技术规范的环境条件要求,在设计裕度之外就可能造成装备损坏,装备的战术性能设计裕度也大于技术规范要求的战技指标要求,但装备的战技指标发挥、体系贡献率则和体系编队及其组织、指挥、战术运用、训练程度、人员、设施、保障等要素密切相关,甚至超越了装备本身。在确定试验条件时,应利用实施GJB 4239《装备环境工程通用要求》得出的结果,确定试验量值、范围、变化率与持续时间等。在没有实际数据的情况下,可根据GJB 150A提供的信息进行裁剪,这就避免了标准的过使用问题。CB 1235《鱼雷环境试验方法》也规定了鱼雷的大部分环境条件及试验方法,但鉴于各个型号的使命任务、投射平台及投射方式差异较大,科研阶段试验验证的充分性也各有差异,同样存在着标准的过使用或欠使用问题。比如有些科目是为了保证鱼雷实航试验成功必须提前安排的陆上试验科目,随着实航试验的不断验证,后续已没必要再在陆上单独考核;还有些无法在实验室进行的环境试验项目需要在自然环境条件下进行试验,环境试验的设计结果就是型号环境试验大纲。

可靠性是产品在规定条件和规定时间内完成规定功能的能力^[27],这里的条件也包括了环境条件,因此装备环境条件制定的科学合理性也直接或间接影响着可靠性试验结果的科学性和置信度。以电子类板卡为例,环境温度每上升10℃,失效率会增大1倍。因此,在进行鱼雷装备可靠性试验设计时,应根据该型鱼雷全寿命周期经历的各个环境影响要素及经历时长和频度,结合科研试验过程敏感因素验证的充分程度,合理制定可靠性试验环境剖面,特别是综合环境条件的量值或载荷谱,必要时还需确定加速因子进行载荷折算,以便快速、有效地达到预期目的。

7 结语

鱼雷武器环境条件确定和特定装备的使命任务、装载平台及投射方式密切相关,在寿命周期剖面内不同环境因素影响的频次和程度也各有差异。在对鱼雷武器全寿命周期剖面的各环境因素及其影响程度和包络关系进行全面分析的基础上,初步确定了敏感应力,对敏感应力的载荷谱确定方法进行了研究,给出了指导性意见。依据相关国家军用标准、结合工程实际,以及鱼雷装备“通用化、系列化、组合化”要求,便可科学合理地制定出特定型号鱼雷武器的环境条件,进而可细化得到各舱段、组件的具体环境条件,为鱼雷型号及其舱段、组件的环境适应性及可靠性设计与试验鉴定奠定良好的基础。

参考文献:

[1] 贺成刚,高江,王昊.鱼雷试验鉴定有关问题认识及改

进方法[J].鱼雷技术,2016,24(5):374-378.

HE C G, GAO J, WANG H. Discussion on Five Problems in Torpedo Test and Evaluation with Improvement Suggestions[J]. Torpedo Technology, 2016, 24(5): 374-378.

[2] 中国人民解放军总装备部.装备环境工程通用要求:GJB 4239—2001[S].北京:总装备部军标出版发行部,2001.

PLA General Armament Department.General Requirements for Materiel Environmental Engineering: GJB 4239—2001[S]. Beijing: Military Standard Publishing and Distribution Department of General Armament Department, 2001.

[3] 中国人民解放军总装备部.鱼雷通用规范:GJB 531B—2012[S].北京:总装备部军标出版发行部,2013.

PLA General Armament Department.General Specification for Torpedo: GJB 531B—2012[S]. Beijing: Military Standard Publishing and Distribution Department of General Armament Department, 2013.

[4] 中国人民解放军总装备部.水中兵器上舰贮存要求鱼雷:GJB 3720—99[S].北京:总装备部军标出版发行部,1999.

PLA General Armament Department. Storage Requirements for Underwater Weapon on Ship Torpedo:GJB 3720—99[S]. Beijing: Military Standard Publishing and Distribution Department of General Armament Department, 1999.

[5] 郭勃,庞多,刘小西,等.多平台鱼雷实航可靠性试验剖面设计方法[J].水下无人系统学报,2022,30(1):128-134.

GUO Q, PANG D, LIU X X, et al. Profile Design Method of Reliability Test for Multi-Platform Launching Torpedo in Sea Trial[J]. Journal of Unmanned Undersea Systems, 2022, 30(1): 128-134.

[6] 中国人民解放军总装备部.装备环境工程术语:GJB 6117—2007[S].北京:总装备部军标出版发行部,2007.

PLA General Armament Department.Materiel Environmental Engineering Terms: GJB 6117—2007[S]. Beijing: Military Standard Publishing and Distribution Department of General Armament Department, 2007.

[7] 余阳,王斗辉,谢章用,等.鱼雷环境应力与工作应力耦合效应研究[J].水下无人系统学报,2023,31(2):333-338.

SHE Y, WANG D H, XIE Z Y, et al. Coupling Effect of Environmental Stress and Working Stress for Torpedo[J]. Journal of Unmanned Undersea Systems, 2023, 31(2): 333-338.

[8] 郭勃,何光进.鱼水雷延寿策略与试验技术探讨[J].装备环境工程,2021,18(12):1-6.

GUO Q, HE G J. Discussion on Life Extension Strategy and Test Technology of Torpedo and Mine[J]. Equipment Environmental Engineering, 2021, 18(12): 1-6.

[9] 刘小西,蔡自刚,朱泽,等.水中兵器贮存寿命评价方法研究[J].电子产品可靠性与环境试验,2018,36(5):47-51.

- LIU X X, CAI Z G, ZHU Z, et al. Research on the Evaluation Method of Storage Life of Underwater Weapons[J]. *Electronic Product Reliability and Environmental Testing*, 2018, 36(5): 47-51.
- [10] 李劲, 张毅男, 王斗辉, 等. 鱼雷装载可靠性试验验证技术探讨[J]. *电子产品可靠性与环境试验*, 2023, 41(4): 63-67.
- LI J, ZHANG Y N, WANG D H, et al. Discussion on Reliability Test Verification Technology for Torpedo Loading[J]. *Electronic Product Reliability and Environmental Testing*, 2023, 41(4): 63-67.
- [11] 张百勇, 刘凯, 孙炯, 等. 基于参考应力下鱼雷综合试验剖面设计[J]. *舰船科学技术*, 2017, 39(17): 174-178.
- ZHANG B Y, LIU K, SUN J, et al. The Design Profile for Torpedo Synthetically Testing under Reference Stress[J]. *Ship Science and Technology*, 2017, 39(17): 174-178.
- [12] 中国人民解放军总装备部. 军用装备实验室环境试验方法第1部分: 通用要求: GJB 150.1A—2009[S].北京: 总装备部军标出版发行部, 2009.
- PLA General Armament Department. Laboratory Environmental Test Methods for Military Material-Part 1: General Requirements: GJB 150.1A—2009[S]. Beijing: Military Standard Publishing and Distribution Department of General Armament Department, 2009.
- [13] 中央军委装备发展部. 鱼雷贮存要求: GJB 2166A—2021[S]. 北京: 国家军用标准出版发行部, 2021.
- Central Military Commission Equipment Development Department. Requirements for Torpedo Storage: GJB 2166A—2021[S]. Beijing: National Military Standard Publishing and Distribution Department, 2021.
- [14] MIL-T-18404, Torpedoes, Environmental requirements, General specifications for[S].
- [15] 李星, 陈欢, 朱曦全, 等. 基于寿命剖面的鱼雷环境条件分析及可靠性试验剖面制定[J]. *强度与环境*, 2012, 39(6): 42-47.
- LI X, CHEN H, ZHU X Q, et al. Environment Condition Analysis and Reliability Testing Profile Designing of Torpedo Based on Life Profile[J]. *Structure & Environment Engineering*, 2012, 39(6): 42-47.
- [16] 中国人民解放军总装备部. 军用物资运输环境条件: GJB 3493—98 [S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1998.
- PLA General Armament Department. Transport Environmental Conditions for Military Materials: GJB 3493—98[S]. Beijing: Commission of Science, Technology and Industry for National Defense Military Standard Publishing and Distribution Department, 1998.
- [17] 国防科学技术工业委员会. 舰船环境条件要求机械环境: GJB 1060.1—91[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1994.
- Commission of Science, Technology and Industry for National Defense. General Requirement for environmental Conditions of Naval Ships Mechanical Environments: GJB 1060.1—91[S]. Beijing: Commission of Science, Technology and Industry for National Defense Military Standard Publishing and Distribution Department, 1994.
- [18] 中国人民解放军总装备部. 舰船通用规范总册: GJB 4000—2000[S]. 北京: 总装备部标准出版发行部, 2000.
- PLA General Armament Department. General Specifications for Naval Ships General Volume: GJB 4000—2000[S]. Beijing: Military Standard Publishing and Distribution Department of General Armament Department, 2000.
- [19] 国防科学技术工业委员会. 舰船环境条件要求气候环境: GJB 1060.2—91[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1992.
- Commission of Science, Technology and Industry for National Defense. General Requirement for Environmental Conditions of Naval Ships Climate: GJB 1060.2—91[S]. Beijing: Commission of Science, Technology and Industry for National Defense Military Standard Publishing and Distribution Department, 1992.
- [20] 国家国防科技工业局. 鱼雷环境试验方法: CB 1235—2018[S]. 北京: 中国船舶工业综合技术研究院, 2019.
- Commission of Science, Technology and Industry for National Defense. Environmental Testing Methods for Torpedo: CB 1235—2018[S]. Beijing: China Shipbuilding Industry Comprehensive Technology Research Institute, 2019.
- [21] 国防科学技术工业委员会. 鱼雷实航验收试验评定方法: GJB 1534A—2004[S]. 北京: 中国船舶工业综合技术研究院, 2004.
- Commission of Science, Technology and Industry for National Defense. Evaluation Method for Torpedo Run Acceptance Test: GJB 1534A—2004[S]. Beijing: China Shipbuilding Industry Comprehensive Technology Research Institute, 2004.
- [22] 杨佳宜, 杨云川, 李永胜, 等. 高速运动声呐海底宽带混响建模与仿真[J]. *水下无人系统学报*, 2023, 31(2): 285-290.
- YANG J Y, YANG Y C, LI Y S, et al. Subsea Broadband Reverberation Modeling and Simulation of High-Speed Motion Sonar[J]. *Journal of Unmanned Undersea Systems*, 2023, 31(2): 285-290.
- [23] 中央军委装备发展部. 装备环境工程文件编写要求: GJB 9157—2017[S]. 北京: 国家军用标准出版发行部, 2017.
- Central Military Commission Equipment Development Department. Compiling Requirements of Material Environmental Engineering Files: GJB 9157—2017[S]. Beijing: National Military Standard Publishing and Distribution Department, 2017.
- [24] 刘小西, 郭勃, 蔡自刚, 等. 鱼雷实验室环境与可靠性试验方案探讨[J]. *环境技术*, 2018, 36(2): 29-32.
- LIU X X, GUO Q, CAI Z G, et al. Research on Laboratory Environmental and Reliability Test of Torpedoes[J]. *Environmental Technology*, 2018, 36(2): 29-32.

- [25] 寇小明, 杨春武, 张共愿. 与时俱进直面问题抓实装备研制质量[C]// 舰船质量与可靠性 2020 年学术交流年会论文集. 北京: 中国船舶集团, 2020.
- KOU X M, YANG CW, ZHANG G Y. Keep Pace with the Times, Face up to Problems and Grasp the Quality of Equipment Development[C]// 2020 Academic Exchange Annual Meeting of Ship Quality and Reliability. Beijing: China State Shipbuilding Corporation Limited, 2020.
- [26] 吴亚军, 王薇, 陈欢, 等. 鱼雷全系统状态环境与可靠性试验工程实践[J]. 强度与环境, 2016, 43(2): 54-59.
- WU Y J, WANG W, CHEN H, et al. The Engineering Practice of Environment Reliability Test of Whole Torpedo[J]. Structure & Environment Engineering, 2016, 43(2): 54-59.
- [27] 中国人民解放军总参谋部. 鱼雷可靠性鉴定与验收试验方法: GJBz 20391—97[S]. 北京: 中国人民解放军总参谋部, 1997.
- PLA General Staff. The Testing Method of Torpedo's Reliability for Qualification and Acceptance: GJBz 20391—97[S]. Beijing: PLA General Staff, 1997.