

[引用格式] 马浩文,熊勇,吴李淳. 基于全寿命周期的拦截弹贮存寿命评估方法 [J]. 水下无人系统学报, 2022, 30(5): 665-670.

# 基于全寿命周期的拦截弹贮存寿命评估方法

马浩文<sup>1</sup>, 熊 勇<sup>2</sup>, 吴李淳<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军 91439 部队, 辽宁 大连, 116041; 2. 江南工业集团有限公司, 湖南 长沙, 410013)

**摘 要:** 针对现有条件下无法对拦截弹贮存寿命进行真实考核的问题, 基于全寿命周期理论, 对拦截弹贮存寿命进行评估。首先依据拦截弹寿命剖面、贮存剖面以及贮存环境剖面进行拦截弹寿命设计; 然后结合拦截弹产品技术准备和试验, 对影响拦截弹贮存寿命的主要组件和材料进行分析; 通过对影响贮存寿命的主要组件及材料分别开展寿命评估和寿命试验, 以及采信相关试验、其他相似产品或已有资料等数据和结论, 开展电子部件寿命评估等方式, 对拦截弹寿命进行综合评估。该方法能够为其他弹药类产品贮存寿命评估提供参考。

**关键词:** 拦截弹; 贮存寿命; 评估

中图分类号: TJ630

文献标识码: A

文章编号: 2096-3920(2022)05-0665-06

DOI: 10.11993/j.issn.2096-3920.202202009

## Method of Storage Life Assessment of Intercept Missile Based on Whole Life Cycle

MA Hao-wen<sup>1</sup>, XIONG Yong<sup>2</sup>, WU Luan-chun<sup>2</sup>

(1. 91439<sup>th</sup> Unit, The People's Liberation Army of China, Dalian 116041, China; 2. Industries Group Co. Ltd, Hunan, Changsha 410013, China)

**Abstract:** The storage life of intercept missiles was evaluated based on the whole life cycle theory to address the challenges in assessing the storage life of interceptor under the existing conditions. Based on the intercept missile life and storage life profile, the storage life of the intercept missile can be evaluated by analyzing the intercept missile life design using the life data of similar products and the storage life test of accelerated aging of newly developed components. Combined with the technical preparation and testing of the intercept missile, the main components and materials affecting the storage life of the product intercept missile were analyzed. Life assessment analysis and life tests were carried out on the main components and materials that affect the storage life. We used relevant tests, similar products, or existing data and conclusions to evaluate the life of intercept missiles comprehensively. The results show that the storage life of the intercept missile satisfies these requirements.

**Keywords:** intercept missile; storage life; evaluation

## 0 引言

拦截弹一般可装备于各型适装的水面舰艇, 对来袭的反舰鱼雷实施拦截。贮存寿命指标同样是弹药产品在研制过程中由军方下达的重要战术技

术指标之一, 目前拦截弹的贮存寿命要求是 10 年。拦截弹作为新型智能化深弹之一, 其战术价值和经济价值, 相比较传统深弹有了显著提高, 且承担我方适装船艇水下安全的重要使命, 对拦截弹的贮存寿命进行评估, 能更好地保证其在使用

收稿日期: 2022-02-24; 修回日期: 2022-04-14.

作者简介: 马浩文(1978-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为水中兵器试验评估.

过程的安全性、可靠性和战术效能。由于在现有条件下,存在安全、时间和空间等一系列实际问题,无法对拦截弹贮存寿命进行自然环境真实考核。为验证拦截弹的贮存寿命,文中通过拦截弹寿命设计分析,结合拦截弹多次试验的产品准备和试验情况,对影响其贮存寿命的主要组件和材料进行分析,确定贮存寿命核心组件或单元,通过对影响贮存寿命的主要组件及材料分别开展寿命评估分析和寿命试验,通过采信相关试验、其他相似产

品或已有资料等数据和结论,开展电子部件寿命评估,综合评定拦截弹贮存寿命<sup>[1]</sup>。

## 1 拦截弹贮存寿命剖面

### 1.1 寿命剖面

拦截弹的寿命剖面从其交付开始到发射或报废终止。通过对拦截弹不同使用方式下的使用过程进行分析,其寿命剖面内的主要事件如图 1 所示。

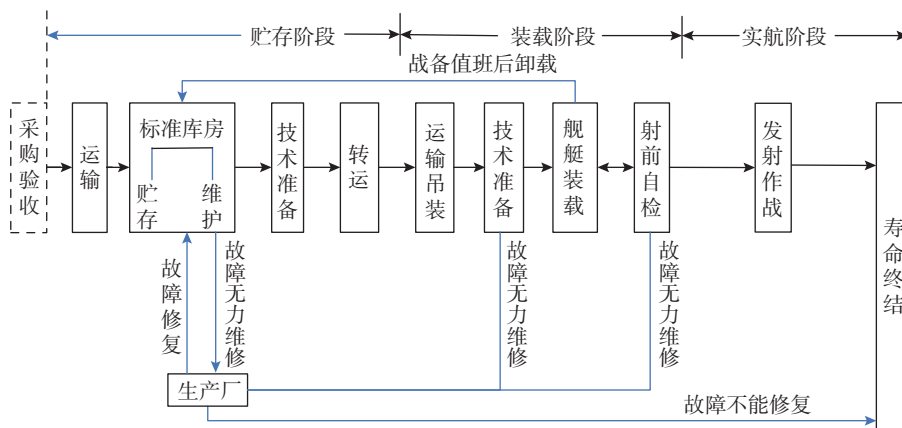


图 1 拦截弹寿命剖面

Fig. 1 Life profile of an intercept missile

### 1.2 贮存剖面

拦截弹贮存剖面是指拦截弹自交付开始,在密封包装状态下存放于舰弹药舱或岸基仓库内所经历的全部事件和环境的时序描述。拦截弹贮存剖面如图 2 所示。

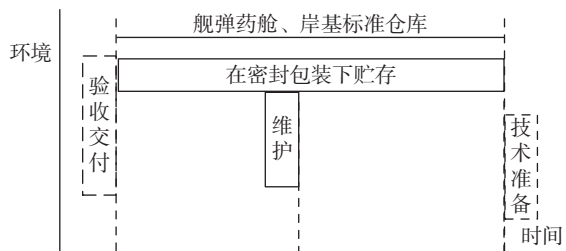


图 2 拦截弹贮存剖面

Fig. 2 Storage profile of an intercept missile

### 1.3 贮存环境剖面

拦截弹贮存环境剖面是指拦截弹自交付开始,在密封包装状态下存放于舰弹药舱或岸基仓库内,以及周转过程中环境情况的描述。拦截弹贮存环境剖面如图 3 所示。

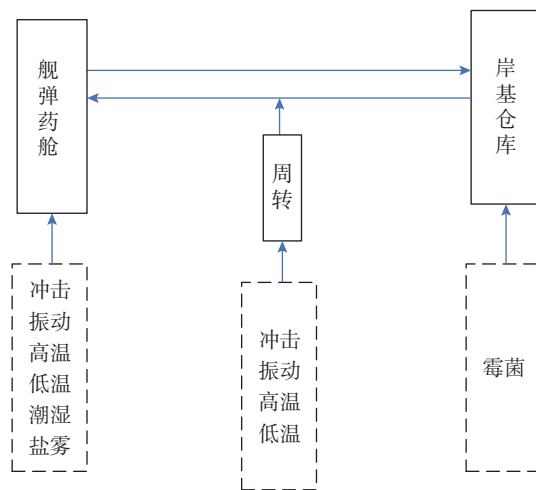


图 3 拦截弹贮存环境剖面

Fig. 3 Storage environment profile of an intercept missile

## 2 寿命模型

根据结构划分,拦截弹由 5 个部件和全弹总体相关零部件组成,建立如图 4 所示寿命模型。

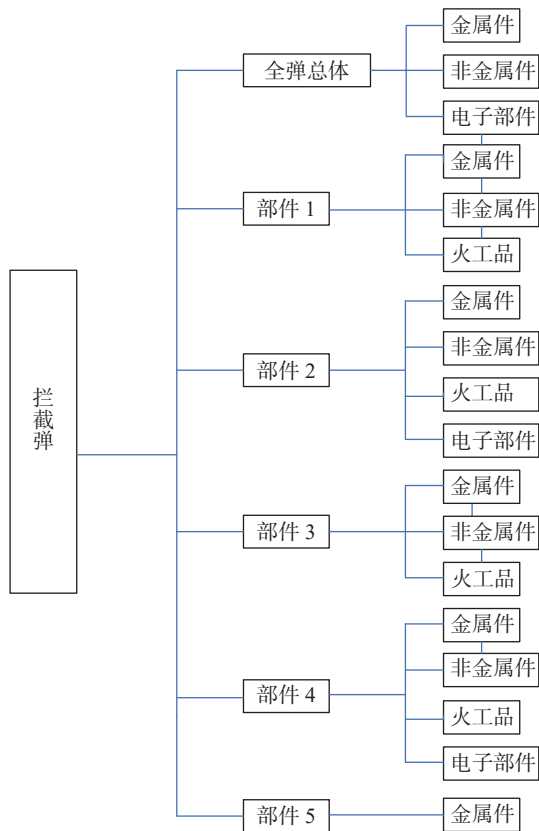


图 4 拦截弹寿命模型  
Fig. 4 Life model of an intercept missile

3 综合评估方法

通过拦截弹寿命设计分析,同时结合拦截弹多次试验的产品技术准备和试验情况,对影响拦截弹贮存寿命的主要组件和材料进行分析,确定贮存寿命核心组件或单元,详细情况如表 1 所示。通过对影响贮存寿命的各主要组件及材料分别开展寿命评估分析和加速老化<sup>[2]</sup>等贮存寿命试验,同时采信相关试验、其他相似产品或已有资料等数据和结论,对拦截弹寿命进行综合评估<sup>[3-4]</sup>。

表 1 影响拦截弹贮存寿命的主要组件及材料组成  
Table 1 Main components and material composition affecting shelf life of the intercept missile

| 序号 | 单元名称  | 主要材料/器件                  | 失效模式/机理 |
|----|-------|--------------------------|---------|
| 1  | 金属材料  | 合金钢、铝合金                  | 老化,性能下降 |
| 2  | 非金属材料 | 尼龙、聚苯乙烯泡沫、可发性聚苯乙烯树脂、乙丙橡胶 | 老化,性能下降 |
| 3  | 电子部件  | 电子元器件                    | 老化,性能下降 |
| 4  | 火工品   | 炸药、传爆药、发射药、点火具、热电池、气囊组件等 | 老化,工作失效 |

4 寿命设计

分别从总体设计、热设计、“三防”(防潮湿、防盐雾和防霉菌)设计、抗冲击振动设计和电磁兼容性设计等方面提高产品贮存寿命。

4.1 总体设计

4.1.1 结构件设计

拦截弹选用的结构件材质为金属材料以及塑料等非金属材料,材料均要能满足贮存期大于 10 年的要求。

4.1.2 火工品设计

拦截弹火工品包含炸药、传爆药、发射药、点火具、热电池以及气囊组件等。装有炸药和传爆药的战部舱、装有发射药和电点火具的发动机舱,以及其他独立的小火工品如热电池和气囊组件等,上述舱段或自身均采用密封结构设计,选型的药剂均采用广泛运用于军工产品的标准药剂,长贮安定性验证良好,药剂与零部件之间、药剂相互之间的相容性良好且无化学反应。

4.1.3 电子部件设计

1) 元器件选型

拦截弹元器件设计时尽量采用标准件、通用件或借用件;对原材料和元器件的选用立足国内,选用有标准的产品,同时其非工作失效率满足贮存寿命要求,大部分器件符合国军标,出厂检测合格率 100%。

2) 元器件二次筛选

拦截弹的所有元器件采购完成后,交由具有资质的第三方检测机构进行二次筛选,剔除早期失效产品,以有效提高系统的整体可靠性。

3) 环境试验

电路板整机制备调试完成后,进行高温、低温、温度冲击等环境试验,剔除检验不合格产品,减少在贮存期内由于温度变化引起的产品失效,提高系统的可靠性。

4) 电路板“三防”设计

电路板经过环境试验,对检测合格的产品进行喷“三防”漆处理,使得电路在贮存期具有优越的绝缘、防潮、防漏电、防震、防尘、防腐蚀和防老化等性能,保护电路板免受环境的侵蚀,从而延长使用寿命,确保使用的安全性和可靠性。

#### 5) 连接器制造工艺

拦截弹使用的连接器均符合国军标的制造与验收标准,通过插针、插孔的金属片材优选,表面电镀,精密加工与塑料成型等关键制造工艺,在保证连接器良好的导电率基础上,增强防腐性能,提高连接器全寿命周期内的可靠性。

#### 6) 电路板总体灌封

经过“三防”处理,对检测合格的产品,利用发泡剂将电路板整体包裹成具有一定形状的部件,整体发泡成型后可使电路板的防振、防冲击、防水、防腐蚀、防尘以及防老化能力进一步提高,电路可靠性进一步加强。

### 4.2 热设计

热设计主要是指采取适当措施降低产品及其零部件所处的环境温度,或提高产品及其零部件的温度适应能力,特别是元器件周围的环境温度,以降低元器件失效率,提高设备可靠性。针对发动机工作温度可达 2 500℃ 的情况,对发动机壳体与燃气接触的所有内表面、发动机连接部位均采用隔热措施,涂装隔热涂层;对换能器及电路板进行热防护设计,并进行低温极限试验、高温极限试验、温度冲击试验和温度突变试验等,以保障可靠工作。

### 4.3 “三防”设计

全弹采取密封措施,使弹体内腔封闭,防止弹体内部元器件受潮等;通过在弹体表面涂装军用油漆,零件表面采用镀层、阳极氧化等表面处理方式,提高其抗盐雾、防腐蚀能力,提高贮存可靠性。

### 4.4 抗冲击和防振设计

拦截弹设计时依据相关国军标进行抗冲击和防振设计,防止零部件、敏感元器件或整机在运输、跌落和飞行等过程中或高过载情况下出现共振或失效情况,以保证产品可靠工作。

### 4.5 电磁兼容设计

电磁兼容性是指拦截弹的各部件在其设计要求范围内正常工作时,其他部件的工作性能不得降低或出现故障。主要通过滤波、屏蔽、接地、线路及布线设计、干扰和敏感性控制,以及电源系统选取等方式来完成电磁兼容性设计。

## 5 试验验证和寿命评估分析情况

### 5.1 试验验证情况

#### 1) 环境适应性试验情况

对拦截弹进行一系列部件及总体环境试验,环境试验结果表明,拦截弹在各种极端环境条件下均能达到战技指标和使用要求,对环境的变化不敏感,能够保证在勤务使用中的安全性以及在特殊环境条件下的飞行性能、安全性和可靠性<sup>[5]</sup>。

#### 2) 电磁兼容试验情况

对拦截弹进行了电磁兼容试验,结果表明,拦截弹对国军标要求的电磁辐射和实际环境下的电磁辐射均不敏感<sup>[5]</sup>。

### 5.2 金属材料寿命情况

拦截弹上选用的金属结构件材料均从合格原材料供方处采购,经过出厂检验和进厂原材料验收后进行制造加工,质量品质可控。这类金属材料抗老化性能强,贮存寿命均在 20 年以上。

### 5.3 非金属材料寿命情况

拦截弹上使用的非金属材料主要为各类密封圈和塑料件。

#### 1) 橡胶材料

拦截弹上使用的密封圈、保护套等橡胶材料在国家橡胶密封制品质量监督检验中心进行老化、性能试验等共多项试验,结果表明,各项指标均达到国家标准的要求,贮存寿命可达 15 年。

#### 2) 塑料材料

拦截弹中使用尼龙和聚苯乙烯泡沫等非金属材料,这些材料已广泛应用于军工行业,在相似的弹药装备中使用这类材料达 30 年以上,表明该类塑料件贮存寿命均能达到贮存要求。

### 5.4 火工品寿命情况

拦截弹上发射药、电点火具、热电池、气囊组件等火工品均按照相关国军标进行了热加速老化试验或长贮试验等,试验结果表明上述火工品的贮存寿命均满足要求<sup>[6-8]</sup>。

### 5.5 电子部件寿命分析

依据相关国军标进行拦截弹电子设备和系统的非工作状态可靠性预计。由于元器件非工作可靠性详细预计法适用于产品已具有详细的元器件清单阶段,所以使用该方法进行拦截弹电子部件

的非工作状态可靠性和贮存期预计。

根据拦截弹的实际情况,其电子设备非工作状态可靠性预计的一般程序如下:

- 1) 将拦截弹划分成 N1~N7 共 7 个可靠性预计单元;
- 2) 采用非工作状态可靠性详细预计法,计算各预计单元内元器件的非工作失效率,按非工作失效率模型计算各个种类元器件的非工作失效率;
- 3) 将 7 个预计单元内各种类元器件的工作失效率相加,由此得出预计单元内的失效率;
- 4) 按拦截弹的可靠性模型<sup>[9-10]</sup>,逐级预计设备、系统的非工作状态可靠性。
- 各单元的非工作失效率见表 2。

| 表 2 单元非工作失效率汇总                                   |                                               |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Table 2 Summary of unit non-working failure rate |                                               |
| 单元                                               | 非工作状态失效率/(10 <sup>-6</sup> ·h <sup>-1</sup> ) |
| N1                                               | 0.042 09                                      |
| N2                                               | 0.017 38                                      |
| N3                                               | 0.002 97                                      |
| N4                                               | 0.017 12                                      |
| N5                                               | 0.000 75                                      |
| N6                                               | 0.001 63                                      |
| N7                                               | 0.001 35                                      |

按设备可靠性模型,总的非工作状态失效率为所有预计单元的非工作状态失效率之和,即 $\lambda_s=0.083\ 31$ 。

根据拦截弹研制总要求的可靠性指标,下达给电子部件经过贮存期后允许的可靠度值 $R_s=0.992$ ,则电子部件的贮存期为

$$T=\frac{1}{\lambda_s}\ln\frac{1}{R_s}=\frac{1}{0.083\ 31\times 10^{-6}}\ln\frac{1}{0.992}\quad (1)$$

经计算拦截弹电子部件贮存寿命为 11 年,能够满足相关要求。

5.6 采信情况

拦截弹的各种金属件、非金属件、炸药和传爆药等均在行业内使用广泛,因此该部分寿命数据可采信类似产品相关寿命数据。

5.7 拦截弹组部件寿命情况

通过拦截弹寿命设计分析、采信类似产品贮存寿命数据、新研组部件的加速老化贮存寿命试

验、电子部件寿命综合评估。拦截弹各组部件寿命情况汇总表见表 3。

表 3 拦截弹组部件贮存寿命情况汇总

Table 3 Shelf life of each component of suspended intercept missile

| 组部件名称 | 组成   | 结论 | 评估方法   |
|-------|------|----|--------|
| 全弹    | 金属件  | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 非金属件 | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 电子部件 | 满足 | 综合评估   |
| 部件1   | 金属件  | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 非金属件 | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 炸药   | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 传爆药  | 满足 | 采信长贮数据 |
| 部件2   | 金属件  | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 非金属件 | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 热电池  | 满足 | 贮存寿命试验 |
|       | 电子部件 | 满足 | 综合评估   |
| 部件3   | 金属件  | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 非金属件 | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 气囊组件 | 满足 | 贮存寿命试验 |
| 部件4   | 金属件  | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 非金属件 | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 发射药  | 满足 | 采信长贮数据 |
|       | 电点火具 | 满足 | 贮存寿命试验 |
|       | 电子部件 | 满足 | 综合评估   |
| 部件5   | 金属件  | 满足 | 采信长贮数据 |

6 结束语

针对人力、物力和安全性考量,无法对拦截弹贮存寿命进行自然环境真实考核的问题。文中分别从拦截弹的寿命设计、试验情况、金属材料贮存寿命、非金属材料贮存寿命、火工品贮存寿命和电子部件贮存寿命等方面分析,通过采信类似产品相关寿命数据、拦截弹组部件的相关寿命分析以及长贮试验等,同时结合拦截弹试验的产品技术准备和试验情况,综合评估拦截弹贮存寿命。

参考文献:

[1] 戴树森.可靠性试验及其统计分析[M]. 北京:国防工业出版社,1984.

[2] 贺国芳.可靠性数据的收集与分析[M]. 北京:国防工业出版社,1995.

- [3] 罗天元, 周堃, 余淑华, 等. 国外弹药贮存寿命试验与评价技术概述[J]. 装备环境工程, 2005, 2(4): 17-21.  
Luo Tian-yuan, Zhou Kun, Yu Shu-hua, et al. Summarization on Foreign Ammunition Storage Life Test and Evaluation Technology[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(4): 17-21.
- [4] 郑波, 李淦, 李明. 基于成败型试验数据的弹药贮存寿命评估[J]. 军械工程学院学报, 2005, 17(5): 29-30.  
Zheng Bo, Li Gan, Li Ming. Evaluation of Ammunition Storage Life Based on Test Data of Success-Failure Type[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2005, 17(5): 29-30.
- [5] 李东阳, 刘志岭. 火工品长贮失效情况分析[J]. 火工品, 1996(2): 28-30.  
Li Dong-yang, Liu Zhi-ling. An Analysis on the Failure of Initiating Explosive Device during Long Tern Storage[J]. Initiators and Pyrotechnics, 1996(2): 28-30.
- [6] 邓爱民, 陈循, 张春华, 等. 加速退化试验技术综述[J]. 兵工学报, 2007, 28(8): 1002-1007.  
Deng Ai-min, Chen Xun, Zhang Chun-hua, et al. A Comprehensive Review of Accelerated Degradation Testing[J]. Acta Armamentarii, 2007, 28(8): 1002-1007.
- [7] 张春华, 温熙森, 陈循. 加速寿命试验技术综述[J]. 兵工学报, 2004, 25(4): 485-490.  
Zhang Chun-hua, Wen Xi-sen, Chen Xun. A Comprehensive Review of Accelerated Life Testing[J]. Acta Armamentarii, 2004, 25(4): 485-490.
- [8] 李琛, 邵宗战, 张姝红, 等. 基于恒定应力加速寿命试验法评估深弹贮存寿命[J]. 科技导报, 2009, 27(20): 87-88.  
Li Chen, Shao Zong-zhan, Zhang Shu-hong, et al. Life Estimation of Deep Bomb Storage Based on Constant Stress Accelerated Life Testing[J]. Science & Technology Review, 2009, 27(20): 87-88.
- [9] 机械电子工业部第二一三研究所. 火工品试验方法 71℃ 试验法: GJB736.8-1990[S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 1990.
- [10] 机械电子工业部第二一三研究所. 火工品试验方法 加速寿命试验 恒定温度应力试验法: GJB 736.13-1991[S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 1991.

(责任编辑: 陈 曦)

## 《水下无人系统学报》相关文献导航

1. 李炬晨, 胡欲立, 郝泽花, 等. 基于新陈代谢 GM(1,1)-神经网络的锂离子电池贮存寿命研究. 2022, 30(2): 231-236.
2. 徐立, 李华, 张宁, 等. 基于删失数据的雷弹装备电子件贮存寿命估计方法. 2020, 28(3): 345-350.
3. 李杰, 朱勇. 一种武器装备体系组合试验验证与评估方法. 2020, 28(2): 225-230.
4. 孟庆玉, 蒋涛, 杜军. 鱼雷 RMS 学术与型号工程中相关问题的探讨与澄清. 2019, 27(1): 97-107.
5. 李国良, 郭燕子. 鱼雷性能鉴定试验阶段保障性试验与评价方法. 2018, 26(4): 358-363.
6. 董金鑫, 张东俊, 张磊, 等. UUV 试验评估组织执行体系构建与思考. 2018, 26(1): 63-69.
7. 叶豪杰, 邓南明. 基于战备完好率的鱼雷贮存寿命试验方法. 2017, 25(6): 470-473.
8. 邢国强, 孙常存, 梁斌. 鱼雷装载可靠度多源试验信息综合评估方法. 2017, 25(5): 381-384.
9. 仲维彬, 陈欢, 梁志君. 鱼雷延寿试验及寿命评估方法. 2017, 25(3): 193-197.
10. 叶浩亮, 陈涛, 陈遥沛. 一种 AUV 锂-亚硫酰氯电池储存可靠性试验评估方法. 2017, 25(2): 76-81.