

某型火箭弹控制舱环境适应性研究

牛跃听, 穆希辉, 姜志保

(总装备部军械技术研究所, 石家庄 050000)

摘要: **目的** 研究某型火箭弹控制舱的环境适应性。**方法** 通过分析某型火箭弹控制舱在我国亚热带、亚干热、温和、干燥、寒冷5个典型气候区的实际贮存环境, 结合历年积累的控制舱的电性能参数检测数据, 统计分析控制舱的关键部组件失效率与温度、湿度之间的关系。**结果** 温度是导致控制舱失效的主要应力因素。**结论** 加速度计和陀螺仪是影响控制舱质量的薄弱环节, 并对贮存单位和生产厂家提出了相应的合理化建议。

关键词: 制导火箭弹; 控制舱; 环境适应性; 薄弱环节

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.01.017

中图分类号: TJ760.6 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)01-0086-07

Research on Environmental Adaptability of a Guided Rocket

NIU Yue-ting, MU Xi-hui, JIANG Zhi-bao

(Ordnance Technological Research Institute, Shijiazhuang 050000, China)

ABSTRACT: Objective The author studied the environmental adaptability of a guided rocket. **Methods** A certain type of rocket bomb was stored in the five climate zones including Asian hot and humid, Asian dry-heat, mild, dry and cold climate zones in our country. The actual storage environment of its control cabinet was analyzed. Combined with the test data accumulated over the years on the electrical performance parameters of the control cabinet, the relationship between the key component's failure rate and temperature as well as humidity was analyzed. **Results** The results showed that the temperature was the major stress factor causing the control cabinet failure. **Conclusion** The acceleration and the gyroscope were weak links affecting the quality of the control cabinet. Furthermore, reasonable proposals were introduced for the storage institutions and manufacturers.

KEY WORDS: guided rocket; control cabin; environmental adaptability; weak link

收稿日期: 2013-09-25; 修订日期: 2013-10-28

Received: 2013-09-25; **Revised:** 2013-10-28

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(2013M532181)

Fund: Supported by China Postdoctoral Science Foundation Funded Project(2013M532181)

作者简介: 牛跃听(1978-), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为信息化弹药寿命评估与延寿技术。

Biography: NIU Yue-ting(1978-), Male, Ph.D., Research focus: formation ammunition life assessment and prolong life technology.

装备的环境适应性是在其寿命期预计可能遇到的各种环境的作用下能实现其所有预定功能、性能和不被破坏的能力,是装备的重要质量特性之一^[1]。

美军早在20世纪80年代就开展了“CD4011”实际寿命计划^[2],其陆军导弹部曾进行了为期9年的弹药贮存环境试验,选择了6种弹药在两种库型(地面库和地下库)和6个不同气候条件下的地点进行试验,如:在巴拿马运河潮湿地带进行了弹药仓库的内部环境温度与外界气候条件的关系试验;在菲律宾、夏威夷和关岛等西太平洋地区进行了弹药库房温度试验。国内也有很多学者对装备环境适应性做了大量研究^[3-6],但是针对高技术弹药环境适应性方面的研究依然较少^[7-12]。

由于研制周期和经费等多方面因素的限制,我国某型火箭弹控制舱仅在某处湿热气候区域进行自然贮存试验。该型火箭弹贮存区域覆盖了我国亚湿热、亚干热、温和、干燥、寒冷等5个典型气候环境区域,

贮存环境条件变化大;并且,生产的第一批该型火箭弹至今自然贮存时间接近10年,期间积累了大量的监测数据,自然贮存使控制舱受到各种环境因素的综合作用,可以真实、直观地反映其在多环境因素作用下的性能变化规律。通过笔者的研究,可以检验该型火箭弹控制舱材料、工艺、零部件在真实环境中的环境适应性,指导贮存单位改善贮存环境,延缓其质量下降的速率,同时也可以为控制舱的质量监控提供依据。

1 控制舱贮存条件

某型火箭弹贮存于分布在我国各处的“A—J”10个洞库之中,各地洞库贮存条件符合温湿度“三七线”标准,即温度低于30℃,相对湿度低于70%。由于贮存地域覆盖我国5个典型气候环境区域,洞库内的温湿度差异较大。控制舱贮存地域的温度、湿度如图1和图2所示。

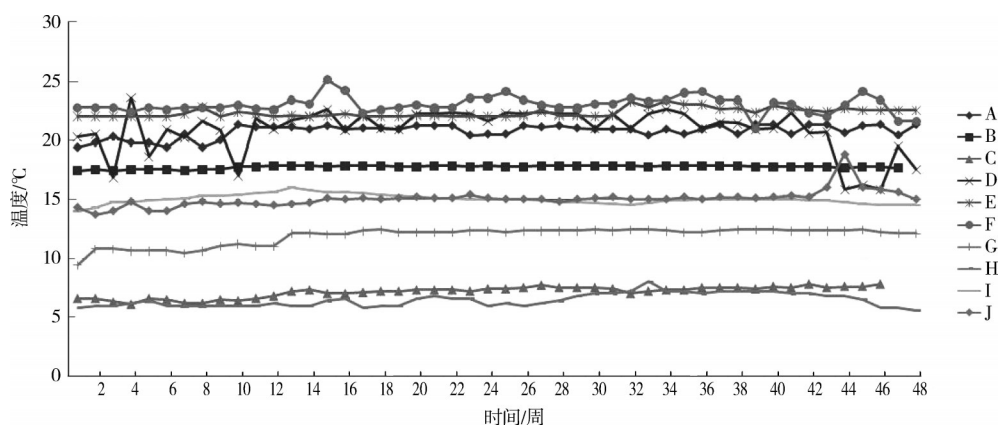


图1 贮存地域洞库内温度变化曲线

Fig.1 Variation curve of cavern temperature in storage area

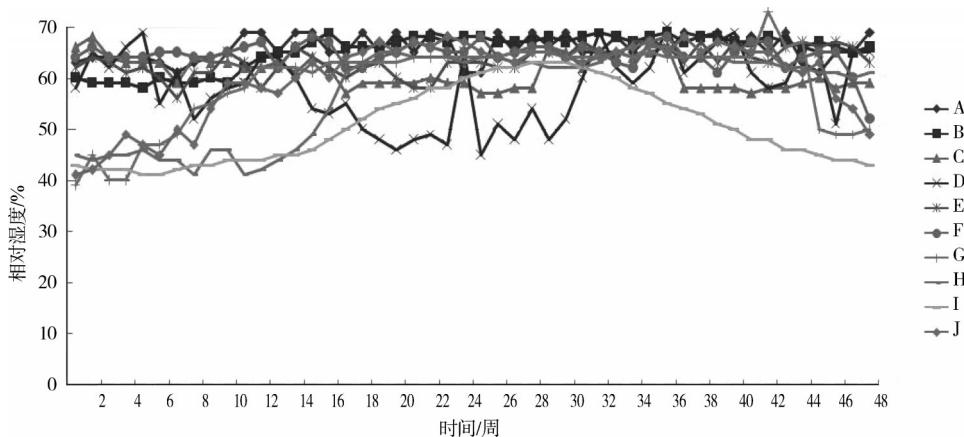


图2 贮存地域洞库内湿度变化曲线

Fig.2 Variation curve of cavern humidity in storage area

2 控制舱的电参数测试数据的获取

自出厂之日起,控制舱每XX年进行一次电性能参数检测,测试参数涉及电子时间装置、加速度计、热电池、陀螺仪等部组件的性能参数,依据检测数据判定控制舱的贮存质量状态。

火箭弹控制舱的电性能参数检测在专用场所进行,环境温度范围为15~30℃,相对湿度范围为40%~70%。检测时,将专用检测设备的测试电缆和控制舱上的测试接口相连接,通过专用测试设备对控制舱的电性能进行测试,并将测试结果记录保存,

前后历时30 min。

值得注意的是:由于洞库内的温湿度和外部检测间的温湿度差异较大,每次检测相当于控制舱经历一次温度、湿度冲击过程。

3 控制舱内部组件失效故障统计分析

3.1 按照部组件失效故障数量统计分析

统计XXXXX发次(根据有关技术要求,同一发火箭弹控制舱可能检测多次)的检测结果,控制舱内的部组件失效故障统计见表1。

表1 控制舱内的部组件失效故障统计(按照部组件统计)
Table 1 Statistics of internal components failure in control cabin (according to components)

故障部组件排序	部组件名称	故障数量/发	故障现象	导致后果
1	加速度计	32	加速度计输出频率差 Δf 不在预定范围内	影响开仓时间精度、距离修正系统中的修正频率
2	热电池及其组件电缆	22	点火通路电阻不在预定范围内	影响控制舱、电子时间装置供电
3	陀螺仪	18	陀螺仪基准信号频率、幅值不在预定范围内	影响角度稳定
4	电子时间装置	9	装定误差超过允许范围	引发发射准备停止,导致留膛
5	陀螺仪电机	5	稳态工作电流超过允许范围	电流负载增大,可能导致储能不足
6	计算装置	5	解算测试题误差超出允许范围	影响开仓时间精度和射击密集度
7	变换放大器	3	控制指令占空比超出允许范围	影响角度稳定、纠偏俯仰和高低超差
8	互联电缆	2	控制舱全弹对接通路不通	控制指令不能作用

由表1可知:

- 1) 除“热电池及其组件电缆”和“互联电缆”以外,其他故障部件为机、电、液、药、惯性器件等高技术产品,并且其结构越复杂、集成度越高,失效故障率越高。
- 2) 根据《产品制造与验收规范》要求,在产品设计时,元器件、阻容元件等均选用军品级产品,且进行了温度循环应力筛选、环境试验和性能试验。但是,只有在真实的贮存环境中才能更好地检验控制舱材料、工艺、零部件的环境适应性。
- 3) 在长达10年的贮存期内,控制舱要经历各种复杂的环境,可能对其产生影响的环境因子包括机

械应力(如压力、振动、撞击等)、热应力(温度)、电应力(如电压、电流、功率等)以及其他应力(湿度、盐雾、霉菌、腐蚀介质、电磁波等);在多环境因子共同作用下,控制舱部组件在长期贮存过程中出现老化迹象,如性能参数超差、绝缘电阻下降、电阻值增加、材料变硬/变脆、机件锈蚀等。

3.2 按照不同地域贮存仓库和不同生产年份统计分析

按照储存地域由南到北、温度由高到低的排列顺序,控制舱内的部组件失效故障统计见表2。

表2 控制舱内的部组件失效故障统计(按照所属仓库和生产年份统计)

Table 2 Statistics of internal components failure in control cabin (according to warehouses and production years)

贮存地域	年温度变化范围/℃	年相对湿度(RH)变化范围/%	生产年份	失效率/%
A 仓库	22.0 ~ 22.9	58 ~ 67	2004	1.13
			2005	1.08
			2006	0.68
			2008	1.02
B 仓库	15.8 ~ 23.6	45 ~ 69.6	2005	1.21
			2007	1.39
			2008	1.33
C 仓库	19.4 ~ 21.3	61 ~ 69	2005	0.26
D 仓库	17.4 ~ 18.8	58 ~ 69	2006	0.20
			2005	0.00
E 仓库	14.1 ~ 16.3	42 ~ 63	2007	1.43
			2008	0.00
			2006	0.31
F 仓库	13.5 ~ 16.0	41 ~ 68	2007	0.39
			2009	0.00
			2007	0.56
G 仓库	9.4 ~ 13.4	39 ~ 67	2008	2.17
			2007	0.38
H 仓库	5.3 ~ 7.2	41 ~ 66	2008	0.30
			2005	0.00
			2006	0.00
I 仓库	5.1 ~ 7.1	44 ~ 65	2008	1.89
			2007	1.25
J 仓库	6.2 ~ 7.9	55 ~ 68	2009	0.77

分析表2可以得出以下结论:

1) 各地洞库贮存条件均符合温湿度“三七线”标准,洞库内温度相对恒定,温度变化范围最大的为B仓库:15.8 ~ 23.6 ℃。但是,不同洞库之间的温度差异较大,温度最低的H仓库为5.3 ~ 7.2 ℃,温度最高的A仓库为22.0 ~ 22.9 ℃。洞库内湿度变化范围较大,相对湿度(RH)变化范围最大的F仓库为41% ~ 68%。不过,不同洞库之间的湿度变化差异不明显。

2) 依据“贮存时间的长短”纵向分析可知,贮存于各个洞库控制舱的失效率随着贮存年限的增长而增长,如A仓库贮存的2008,2006,2005,2004年生产

的控制舱,其失效率依次为1.02%,0.68%,1.08%,1.13%。其中,2008年生产的控制舱失效率高的原因可能是该年度测试样本量小而导致了统计学误差,类似的情况如G仓库贮存的2008年生产的控制舱失效率为2.17%,其年度检测量只有46发。

3) 依据“贮存地域分布不同”横向分析可知,生产年份相同,贮存在不同地域的控制舱,因贮存环境的差异造成其失效率的差异也较大。平均温度越高其失效率也越高,如2005年生产的控制舱,A仓库的失效率为1.08%,B仓库的失效率为1.21%,C仓库的失效率为0.26%,I仓库的失效率为0.00%。

由表2得出的结论分析仓库的贮存环境可知:

在各个洞库湿度变化差异不明显的情况下,温度是影响控制舱失效的主要应力因素。但是,也不能因此便判断湿度对其失效率没有影响,这是由于洞库内实际的湿度环境大致相同,不能得到差异化湿度下的检测数据导致的。

4 控制舱性能退化参数论证分析

针对该型火箭弹控制舱的环境适应性研究,随

着贮存时间的推移,其性能参数将产生退化。通过分析其在贮存过程中性能参数的退化量,判断控制舱在贮存状态下的退化失效情况,以对其贮存寿命进行预测研究。有专家提议将“控制指令占空比、电子时间装置装定误差、解算测试题误差”作为控制舱性能退化参数进行分析。由于测试数据占有量的限制,只对历年来检测出现故障的控制舱进行了统计,现将这三个参数超出正常范围、发生故障后的统计结果列表(见表3)。

表3 敏感性能参数故障测试统计
Table 3 Fault test statistics of sensitive performance parameters

测试参数	标准值	测试值	生产年份	仓库
控制指令占空比	1.5 ~ 4.5	SY 占空比 137.3	2005	D
		SZ 占空比 107.37		
		SY 占空比 1.22	2005	D
		SZ 占空比 1.31		
		SZ 占空比 4.548	2005	A
电子时间装置装定误差	-0.07 ~ 0.09	116.490	2004	E
		117.220	2004	E
		117.310	2004	E
		0.000	2005	A
		124.720	2005	A
		1.060	2006	B
		0.000	2005	K
		0.000	2006	K
		0.000	2007	H
		0.132	2005	D
解算测试题误差	-0.3 ~ 0.3	8.19	2005	E
		7.11	2005	E
		1.32	2007	H
		-12.3	2007	D

分析表3可知:

- 1) “控制指令占空比、电子时间装置装定误差、解算测试题误差”三个性能退化参数随着时间的变化,其性能退化量没有呈现预期的“超出标准值后逐渐变坏”的规律特性,数值变化杂乱无章。
- 2) 出现这一结果的原因可能有两个——一是这三个性能退化参数出现故障的控制舱样本量太

- 小,无法从中发现其退化参数呈现的规律性;二是参数的测试值超出标准值后,不具有规律性。
- 3) 该型火箭弹控制舱自生产至今还没有进行系统而科学的实际贮存寿命评定,采用加速寿命试验和自然贮存试验相结合的方法预估其贮存寿命是当前的主要研究方法^[13-16]。在采用加速寿命试验时应注意,要先用合适数量(1~2个)的控制舱进行强

化预试验,一方面验证施加的应力类型和应力水平的正确性,另一方面研究其性能退化参数是否有规律可循。如果“控制指令占空比、电子时间装置装定误差、解算测试题误差”性能退化无规律可循,那么加速试验应该一直做到控制舱内部每个关键部组件都失效为止。如果参数性能退化有规律可循,则加速寿命试验可以不必做到每个关键部组件都失效,科学地确定其加速寿命试验的截止点,可以节省大量的试验费用。

5 结论

1) 在各个洞库湿度变化差异不明显的情况下,温度是影响控制舱失效的主要应力因素,平均温度越高其失效率越高,贮存单位应采用通风、除湿、降温的方式改善贮存环境,延缓其质量下降的速率;湿度差异对其失效的影响需要采用科学的试验方法进一步研究。

2) 加速度计、陀螺仪失效率相对较高,可以判定其为影响控制舱质量的薄弱环节,厂家需改进设计及生产,加强环境适应性设计及环境保护对策研究,提高控制舱的固有质量水平。

3) 该型火箭弹在仓库的贮存环境较好,统计分析XXXX发次该型火箭弹控制舱检测结果,失效率为0.547%,满足其设计之初的环境适应性要求;同时,也说明其具有较大的寿命挖掘潜力和延寿维修空间。若针对该型控制舱研究其寿命评估以及延寿关键技术,形成切实可行的理论方法与技术体系,必将产生巨大的军事经济效益。

参考文献:

- [1] GJB 4239, 装备环境工程通用要求[S].
GJB 4239, Equipment Environmental Engineering General Requirements[S].
- [2] HOWARD T W, DAVIS G D. Challenges in Missile Life Cycle System Engineering[R]. Missile Research, Development, and Engineering Center, 1997.
- [3] 陶文圣, 黄杰. 环境工程在导弹武器系统中的应用[J]. 装备环境工程, 2007, 4(2):70—72.
TAO Wen-sheng, HUANG Jie. Environmental Engineering Application in Missile Weapon System[J]. Equipment Environmental Engineering, 2007, 4(2):70—72.
- [4] 吴勋, 孟涛. 地地导弹环境适应性分析[J]. 装备环境工程, 2006, 3(1):30—36.
WU Xun, MENG Tao. Analysis of Environment Adaptability about Surface-to-Surface Missile[J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(1):30—36.
- [5] 祝耀昌, 王丹. 武器装备环境适应性要求探讨[J]. 航天器环境工程, 2008, 25(5):416—422.
ZHU Yao-chang, WANG Dan. Discussion on Environment Adaptability Requirement of Weaponry[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2008, 25(5):416—422.
- [6] 李良春, 王红卫, 谭志强. 影响海岛部队弹药储存可靠性的诱因[J]. 包装工程, 2002, 23(6):68—70.
LI Liang-chun, WANG Hong-wei, TAN Zhi-qiang. The Incentives of Influence Island Forces Ammunition Storage Reliability[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(6):68—70.
- [7] 李慧, 黄海军, 王俊, 等. 湿热沿海地区环境条件对风电机组的影响分析[J]. 装备环境工程, 2013, 10(5):17—21.
LI Hui, HUANG Hai-jun, WANG Jun, et al. Influence of Environment Conditions on Wind Generating Set in Hot and Humid Coastal Areas [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(5):17—21.
- [8] 奚愚生, 张燕, 李继红, 等. 非金属药筒环境适应性研究[J]. 装备环境工程, 2013, 9(4):98—100.
XI Yu-sheng, ZHANG Yan, LI Ji-hong, et al. On Environmental Worthiness of Non-Metallic Cartridge Case [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 9(4):98—100.
- [9] 周隆先, 李丹. 浅谈提高新型武器部队适应性的途径[J]. 四川兵工学报, 2006, 27(1):28—31.
ZHOU Long-xian, LI Dan. Discussion on the Methods of Improving the Adaptability of High-tech Small Arms in Army Application [J]. Sichuan Ordnance Journal, 2010, 27(2):28—31.
- [10] 马恒儒. 大力推行装备环境工程切实提高武器装备环境适应性[J]. 航空标准化与质量, 2004, 1(2):32—35.
MA Heng-ru. Pursue Environment Engineering, Promote Environment Adaptability for Weaponry [J]. Aeronutic Standardization & Quality, 2004, 1(2):32—35.
- [11] 马丽娥. 舰船武器装备环境适应性研究与分析[J]. 舰船科学技术, 2006, 28(2):26—30.
MA Li-e. Research and Analysis of Ship Weapon Equipment Suitability of Environment [J]. Ship Science and Technology, 2006, 28(2):26—30.

- [12] 冯伟泉. 航天器材料空间环境适应性评价与认定准则研究[J]. 航天器环境工程, 2010, 27(2):53—58.
FENG Wei-quan. Research and Evaluation Criterion that Environmental Adaptability of Spacecraft Materials Space [J]. Spacecraft Environment Engineering, 2010, 27 (2): 53—58.
- [13] 丁光雨, 陆山, 撒彦成. 同类异形产品环境因子的确定方法及应用[J]. 装备环境工程, 2013, 10(5):61—64.
DING Guang-yu, LU Shan, SA Yan-cheng. Determination Method of Environmental Factors for Same Kind Products and Application [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(5):61—64.
- [14] 党晓勇, 赵英, 庞明磊, 等. 橡胶密封件加速老化试验影响因素分析及验证[J]. 装备环境工程, 2013, 10(4): 5—8.
DANG Xiao-yong, ZHAO Ying, PANG Ming-lei, et al. Analysis and Verification of Influencing Factors of Accelerated Aging Tests for Rubber Seals [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(4):5—8.
- [15] 雷剑宇, 霍佳静, 楚丽妍. 载人航天器关键电子产品综合环境应力试验[J]. 装备环境工程, 2013, 9(5):6—8.
LEI Jian-yu, HUO Jia-jing, CHU Li-yan. Combined Environmental Test of Key Electronic Equipments of Manned Spacecraft [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 9(5):6—8.
- [16] 郝冲, 许路铁, 俞卫博, 等. 某灵巧弹药红外敏感器部件贮存加速寿命试验应力的研究[J]. 装备环境工程, 2013, 9(4):23—26.
HAO Chong, XU Lu-tie, YU Wei-bo, et al. Study on Accelerated Storage Life Testing of Infrared Sensor Component of Smart Ammunition [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 9(4):23—26.

(上接第85页)

- [11] 李旭东, 穆志韬, 刘治国, 等. 基于分形理论的6A02铝合金腐蚀损伤评估[J]. 装备环境工程, 2012, 9(4): 27—30.
LI Xu-dong, MU Zhi-tao, LIU Zhi-guo, et al. Evaluation of Corrosion Damage for 6A02 Aluminum Alloy Based Fractal Theory [J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(4): 27—30.
- [12] 李旭东, 张连峰, 朱武峰, 等. 铝合金高温低周疲劳裂纹扩展可靠性评估[J]. 装备环境工程, 2013, 10(5): 134—137.
LI Xu-dong, ZHANG Lian-feng, ZHU Wu-feng, et al. Evaluation for Reliability Based Low Cycle Fatigue Crack Growth of Aluminum Alloy Subjected to Elevated Temperature [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10 (5): 134—137.
- [13] 李旭东, 刘治国, 穆志韬. 基于飞行载荷的LC9铝合金腐蚀疲劳裂纹扩展研究[J]. 腐蚀与防护, 2013(11): 985—988.
LI Xu-dong, LIU Zhi-guo, MU Zhi-tao. Fatigue Crack Growth from Corrosion Damage in LC9 Aluminum Alloy Based on Aircraft Loading [J]. Corrosion and Protection, 2013(11): 985—988.
- [14] 李旭东, 王玉刚, 苏维国, 等. 预腐蚀LY12CZ铝合金疲劳裂纹扩展行为研究[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版), 2013(2): 182—187.
LI Xu-dong, WANG Yu-gang, SU Wei-guo, et al. Research on Fatigue Cracking Behavior of LY12CZ Aluminum Alloy with Corrosion Damage [J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2013(2): 182—187.
- [15] 李旭东, 刘治国, 穆志韬, 等. 基于短裂纹的LD10CZ铝合金腐蚀预疲劳裂纹扩展研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2013(1): 47—52.
LI Xu-dong, LIU Zhi-guo, MU Zhi-tao, et al. Micro-crack Based Research on Fatigue Crack Growth of LD10CZ Aluminum Alloy with Pre-corrosion Damage [J]. Journal of Aeronautical and Astronautical University, 2013 (1): 47—52.