

# 保障装备高原环境适应性研究

赵徐成, 马俊伟, 朱逸天, 马胜勇

(空军勤务学院, 江苏 徐州 221000)

**摘要:** 目的 提高保障装备高原保障效能。方法 运用环境工程理论,从研究对象、环境特点、影响分析、适应性要求、评估和设计方面研究装备高原环境适应性问题。结果 通过研究发现,环境指标已突破了原先的设计界限,环境因素将制约保障装备保障效能的发挥。结论 通过对保障装备系统性的适应性评估,为环境适应性设计提供了依据,对提高装备的高原适应能力具有良好的效果。

**关键词:** 保障装备; 高原; 环境适应性

**DOI:**10.7643/issn.1672-9242.2014.05.006

**中图分类号:** E23 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2014)05-0027-05

## Research on Plateau Environmental Worthiness of Support Equipment

ZHAO Xu-cheng, MA Jun-wei, ZHU Yi-tian, MA Sheng-yong

(Academy of Air Force Logistics, Xuzhou 221000, China)

**ABSTRACT:** **Objective** To improve the support efficiency of support equipment. **Methods** Using the theory of environmental engineering, the paper studied the issue of Plateau Environmental Worthiness from the aspect of research object, environmental characteristics, environmental impact, worthiness requirement, assessment and design. **Results** The study found that the environmental indicators have broken through the boundary of the original design, and the environmental factors would restrict the support efficiency of the support equipment. **Conclusion** Environmental worthiness evaluation of support equipment provided reference for worthiness design. It has a good effect on improving the Plateau environmental worthiness ability of equipment.

**KEY WORDS:** support equipment; plateau; environmental worthiness

美国等发达国家在环境适应性研究方面开展得较早,我国起步较晚,20世纪80年代各部门才依据自身需要,参照国外相关标准制定了一些自然环境试验方法标准。在参照 MIL-STD-810 标准的基础

上,我国制定了 GJB 150《军用设备环境试验方法》,促进了型号研制工作的进展。我国 GJB 4239—2001《装备环境工程通用要求》于2001年得到发布和实施,标志着我国的环境工程工作已经有顶层标准

收稿日期: 2014-06-12; 修订日期: 2014-07-17

Received: 2014-06-12; Revised: 2014-07-17

作者简介: 赵徐成(1961—),男,江苏徐州人,硕士,教授,主要研究方向为航空地面保障装备。

**Biography:** ZHAO Xu-cheng(1961—), Male, from Xuzhou, Jiangsu, Master, Professor, Research focus: aircraft ground support equipment.

的支持,迎来一个快速发展的新阶段<sup>[1]</sup>。

环境适应性是指装备(产品)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和性能和(或)不被破坏的能力<sup>[2]</sup>。相对于平原而言,高原地区的气压、含氧量、温湿度、太阳辐射以及地形地貌等均发生不同程度的变化。受到各种高原环境因素的影响和长期作用,保障装备的功能、性能及使用寿命等均会受到不同程度的影响,严重时可导致装备功能失效,无法满足保障需求<sup>[3]</sup>。因此研究保障装备的高原环境适应性具有重要意义。

1 研究对象

保障装备型号多样,涉及到电工学、工程热力学、流体力学等各方面的专业知识。高原环境因素交错复杂,对各型保障装备的影响机理和程度各不相同。运用系统工程的原理,将保障装备视为一个系统,按保障装备的组成、工作原理和受高原环境影响的程度<sup>[4]</sup>,将保障装备系统划分为动力系统、气源系统、液压系统、空分系统、电气系统、机械系统等。这6个分系统是研究对象,称之为保障装备系统元素集,用集合表示为: $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6\} = \{\text{动力系统、气源系统、液压系统、空分系统、电气系统、机械系统}\}$ 。

2 保障装备高原运用环境

要想对保障装备高原环境适应性进行研究,首先需分析装备在高原保障时可能遇到的环境及其严酷度,明确其高原运用环境。按全寿命管理的思想将保障装备寿命剖面分为储存、运输和使用等3个阶段<sup>[5]</sup>。运用环境工程分析其每个阶段可能遭受的环境因素的影响,建立环境剖面。保障装备高原运用环境见表1,所遇到的高原环境严酷度见表2<sup>[6]</sup>。

表 1 保障装备高原运用环境

Table 1 Operation plateau environment of support equipment

| 环境剖面 | 寿命剖面      |          |          |
|------|-----------|----------|----------|
|      | 储存        | 运输       | 使用       |
| 自然环境 | 低温<br>温差大 | 低压       | 低压       |
|      |           | 低温       | 低温       |
|      |           | 空气稀薄     | 空气稀薄     |
|      |           | 强辐射      | 强辐射      |
|      |           | 风沙       | 风沙       |
| 诱发环境 | 无         | 水沸点低     | 水沸点低     |
|      |           | 振动<br>冲击 | 振动<br>噪声 |

表 2 高原环境严酷度

Table 2 Severity of plateau environment

| 海拔/<br>km | 气压/kPa |      | 气温/℃ |           |     | 绝对湿度/(g·m <sup>-3</sup> ) |           | 空气含氧<br>量(0℃)/<br>(g·m <sup>-3</sup> ) | 太阳辐射<br>强度/<br>(W·m <sup>-2</sup> ) | 空气<br>密度/<br>(kg·m <sup>-3</sup> ) | 水沸<br>点/<br>℃ | 相对湿度><br>95%时的最<br>高温度/℃ |
|-----------|--------|------|------|-----------|-----|---------------------------|-----------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|--------------------------|
|           | 年平均    | 最低   | 最高   | 最热<br>日平均 | 最低  | 年平均                       | 年平均<br>最小 |                                        |                                     |                                    |               |                          |
| 1         | 90     | 87   | 40   | 30        | -5  | 7.6                       | 3.2       | 265.5                                  | 1120                                | 1.112                              | 96.9          | 25                       |
| 2         | 80     | 78   | 35   | 25        | -10 | 5.3                       | 2.7       | 234.8                                  | 1120                                | 1.006                              | 93.8          | 25                       |
| 3         | 70     | 68   | 30   | 20        | -25 | 3.7                       | 2.2       | 209.6                                  | 1120                                | 0.909                              | 91.2          | 15                       |
| 4         | 62     | 60   | 25   | 15        | -35 | 2.7                       | 1.7       | 182.0                                  | 1180                                | 0.819                              | 88.6          | 15                       |
| 5         | 54     | 52.5 | 20   | 10        |     | 1.7                       | 1.3       | 159.7                                  | 1180                                | 0.763                              | 86.7          | 15                       |

3 高原环境对保障装备的影响分析

影响分析能够使我们清楚保障装备受环境影响的方式,从而采取针对性的防护措施。在影响分析

中要综合考虑各种因素,既要分析单因素对保障装备单独作用的影响,更要注重分析多种因素综合作用的结果。高原环境对各分系统的影响及措施见表3<sup>[7-12]</sup>。

表 3 高原环境对各分系统的影响及措施  
Table 3 Effect of plateau environment on support equipment and the solutions

| 分系统            | 环境因素    | 影响                           | 提高措施                               |
|----------------|---------|------------------------------|------------------------------------|
| A <sub>1</sub> | 低压、缺氧   | 过空气系数下降,燃烧恶化,导致输出功率下降,燃油率升高  | 加装涡轮增压器和采取中冷措施                     |
|                | 空气稀薄    | 雷诺数减少,气体粘性阻力增大,导致内燃机与增压器匹配失准 | 对增压器和柴油机重新进行匹配,使其联合运行曲线位于高效区并远离喘振区 |
|                | 低温、低压   | 蓄电池容量下降,过空气系数降低,启动困难         | 加装低温蓄电池或预热启动等                      |
| A <sub>2</sub> | 低压      | 进气量减少,导致产品气体量或推动压力减少         | 在保证机械正常运转下,适当调节转速或各级压缩比            |
|                | 空气稀薄    | 散热能力变差,排温升高                  | 强化冷却系统的散热能力                        |
| A <sub>3</sub> | 空气稀薄    | 散热能力变差,液压油可能因高温而加快氧化变质       | 强化冷却系统的散热能力,比如增加水箱的散热面积等           |
|                | 低压、多风沙  | 密封性变差,易导致液压油泄露和油液污染          | 选用耐低温的弹性体密封材料                      |
| A <sub>4</sub> | 低压、缺氧   | 进气量和绝对含氧量降低,氧氮产品量下降          | 适当增加压缩机的排气量                        |
|                | 低压      | 精馏塔气液平衡难度加大,调试难度加大           | 改进调试工艺,并形成规范手册                     |
| A <sub>5</sub> | 低温      | 导致晶体管等器件无法有效触发               | 适量增加触发功率                           |
|                | 低压      | 导致绝缘介质的绝缘强度下降和电气产品击穿电压下降     | 增加材料的绝缘强度,并对电气间隙进行修正               |
|                | 气候干燥    | 易产生静电,干扰装备的稳定运行              | 采用泄露法等静电防护措施                       |
|                | 空气稀薄    | 导致发热器件散热困难和开关灭弧性能降低          | 器件降容使用或使用高原型器件                     |
| A <sub>6</sub> | 温差大、多风沙 | 摩擦件收缩量不同,配合间隙变化,加之沙尘导致机械磨损加大 | 采用受温度影响小的机械材料,并注意润滑                |
|                | 低温、强辐射  | 油漆层老化,橡胶件脆性加大,密封效果变差         | 采用先进的涂装工艺,选用高原型材料                  |
|                | 路况差     | 震动使装备及零部件移位或变形               | 优化装备的结构及配重设计,采用多种加固和防震措施           |
|                | 各种环境因素  | 高原环境对各系统影响程度不同,它们之间匹配性变差     | 对各系统进行重新匹配,使其整体效率最高                |

4 保障装备高原环境适应性指标要求

保障装备出现“高原反应”主要是因为装备在研制过程中未考虑高原特殊环境。因此,有必要根据装备结构特点、任务特点和环境剖面中环境因素对装备影响机理和影响程度分析,删除不必考虑的环境要素,制定切实可行的保障装备高原环境适应性指标要求<sup>[13]</sup>。环境适应性要求应在装备立项论证阶段就加以明确并把其作为一项战技指标,纳入研制任务书或研制合同中<sup>[14]</sup>。假设要求保障装备

能在 5 km 的高原环境正常运行,则其高原环境适应性指标见表 4。

表 4 保障装备高原环境适应性指标要求  
Table 4 Specifications of plateau environmental worthiness of support equipment

| 项目            | 气压/<br>kPa | 温度/<br>℃ | 相对湿度/% | 辐射强度/<br>(W·m <sup>-2</sup> ) |
|---------------|------------|----------|--------|-------------------------------|
| 环境适应性<br>指标要求 | 52.5       | -35 ~ 40 | 95     | 1180                          |

## 5 保障装备高原环境适应性评价

高原环境适应性评价的目的是全面衡量保障装备的高原环境适应性满足要求的程度。文献[14]提出利用“环境影响效益函数”能够很好地实现装备的环境适应性量化评估。保障装备是长寿命高可靠性的装备,由于研制周期、经费及条件的限制,很难长时间开展相应的高原环境适应性试验,建立环境影响效益函数以反映各环境因素随时间的变化对保障装备的影响程度比较困难。

由环境适应性的定义可以看出,其主要关注3个内容:实现预定功能和性能的能力、不被破坏的能力及装备受各种高原环境因素的作用。对装备高原环境适应性综合评价,也应从这三方面入手。通过装备高原保障或试验的数据,比较保障装备在高原和平原主要战技指标差距,分析确定保障装备的功能和性能是否能满足保障需求;通过计算保障装备的高原环境适应度<sup>[15]</sup>(装备高原实际服役或工作时间长度与规定或期望的服役或工作时间长度的比值)来评价高原环境装备的耐久能力;最后通过构建评价指标,运用层次、模糊等系统评价方法评估主要的环境因素对装备的影响程度<sup>[16]</sup>。这样从保障功能及性能、不被破坏的能力和環境因素三方面构成完整的评价体系,能够定量地、有针对性地反映保障装备对高原环境的适应能力,符合现实情况,具有较强的可操作性。

以某型航空地面电源为例进行说明,其在海拔4 km的地区能生产符合要求的电源,但是功率下降15%左右。其能实现预定的功能,但性能在高原环境出现一定程度的下降。统计此装备在高原正常使用的时间,与装备规定的大修期的比值为0.75。环境适应度小于1,说明环境适应性设计不能满足技术要求,还需要采取防护措施提高其环境适应性。通过装备高原运用环境分析,确定气压、温度、沙尘、太阳辐射和振动为其高原环境适应性评价指标体系,其权重的确定通过组合专家评价和环境因素失效分析统计得出。通过模糊综合评价得出各环境因素对装备的影响程度分别为0.38,0.15,0.27,0.08,0.12。由评价结果可知,气压对此装备的影响最大,应对此采取更多的高原防护设计。

## 6 保障装备高原环境适应性防护

对照高原环境影响分析与高原环境适应性综合评价,从技术防护措施、元器件优选、调试工艺、维护保养、各系统间的匹配等方面入手提高保障装备高原环境适应性,见表3。此外,装备的设计和选材要综合考虑装备的性能、结构及环境之间的相互关系,并且要兼顾人性化设计,保证装备在有良好的高原环境适应性的同时减少保障人员的劳动强度。

## 7 结语

文中从环境适应性的基本概念出发,围绕保障装备全寿命期高原环境特点、环境效应、环境评估及环境设计等方面展开,对保障装备的高原环境适应性进行了系统的研究,对提高装备的高原保障能力有积极的意义。

### 参考文献:

- [1] 杨晓然,张伦武,秦晓洲,等. 自然环境试验及评价技术的进展[J]. 装备环境工程,2005,12(4):6—16  
YANG Xiao-ran, ZHANG Lun-wu, QIN Xiao-zhou, et al. The Development of Natural Environmental Test and Evaluation Technologies[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 12(4): 6—16.
- [2] GJB 4239, 装备环境工程通用要求[S].  
GJB 4239, General Requirements for Material Environmental Engineering[S].
- [3] 许翔,刘瑞林,董素荣,等. 车辆高原环境模拟试验技术发展现状综述[J]. 装备环境工程,2012,9(6):63—66.  
XU Xiang, LIU Rui-lin, DONG Su-rong, et al. On Development of Vehicle Simulated Plateau Environmental Test Technology[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(6): 63—66.
- [4] 许翔,周广猛,郑智,等. 高原环境对保障装备的影响及适应性研究[J]. 装备环境工程,2010,7(5):100—103.  
XU Xiang, ZHOU Guang-meng, ZHENG Zhi, et al. Research on Influence of Plateau Environment on Support Equipment and Its Environmental Worthiness[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(5): 100—103.
- [5] 王宏伟,赵云峰,陶帅. 装备全寿命周期环境适应性评

- 价若干问题探讨[J]. 装备环境工程, 2013, 10(1): 70—72.
- WANG Hong-wei, ZHAO Yun-feng, TAO Shuai. On Environmental Worthiness Evaluation during Whole Life Cycle of Equipment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(1): 70—72.
- [6] GB/T 19608. 3—2004, 特殊环境条件分级 第3部分: 高原[S].
- GB/T 19608. 3—2004, Classification of Special Environmental Condition—Part 3: Plateau [S].
- [7] 刘瑞林. 柴油机高原环境适应性研究[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2013: 70—77.
- LIU Rui-lin. Research on Plateau Environmental Adaptability of Diesel Engines [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2013: 70—77.
- [8] 刘谊兵, 孙运礼, 孔令文. 新型螺杆压缩机在高海拔低温环境矿山中的应用[J]. 甘肃冶金, 2011, 33(5): 83—84.
- LIU Yi-bing, SUN Yun-li. KONG Ling-wen. Application of A New Type Screw Compressor in Mine of High Altitude and Low Temperature Zone [J]. Gansu Metallurgy, 2011, 33(5): 83—84.
- [9] 许翔, 张众杰, 郑智, 等. 叉车液压系统高原举升性能模拟试验研究[J]. 军事交通学院学报, 2012, 14(3): 45—48.
- XU Xiang, ZHANG Zhong-jie, ZHENG Zhi, et al. Experimental Study on Loading and Unloading Performance of Hydraulic System of Forklift at Plateau [J]. Journal of Military Transportation University, 2012, 14(3): 45—48.
- [10] 王峰, 陈连善. KL-15A 型制氧制氮车高原试车[J]. 深冷技术, 2006, (2): 31—32.
- WANG Feng, CHEN Lian-shan. Commissioning of KL-15A Type Oxygen-and Nitrogen-producing Vehicle at Tableland [J]. Cryogenic Technology, 2006, (2): 31—32.
- [11] 陈开运. 高海拔电气设备工作特点及设计要求[J]. 机车电传动, 2005, (2): 19—22.
- CHEN Kai-yun. Working Characteristics and Design Requirement of Electric Equipment for High Height above Sea Level [J]. Electric Drive for Locomotives, 2005, (2): 19—22.
- [12] 王光福. 高原寒区对工程机械性能的技术研究与应用[J]. 甘肃科技, 2009, 20(5): 44—46.
- WANG Guang-fu. Study and Application on Engineering Machinery Performance at Plateau [J]. Gansu Science and Technology, 2009, 20(5): 44—46.
- [13] 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. The Environmental Worthiness Requirements with Respect to Weapon Materials [J]. Spacecraft Environment Engineering, 2008, 25(5): 416—422.
- [14] 于衍华, 史国华, 山春荣, 等. 武器装备环境适应性论证[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2007: 312—315.
- YU Yan-hua, SHI Guo-hua, SHAN Chun-rong, et al. Demonstration of Weapon Equipment Suitability of Environment [M]. Beijing: Weapon Industry Press, 2007: 312—315.
- [15] 罗天元. 装备环境适应性的量化表征技术探讨[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 150—152.
- LUO Tian-yuan. Study on Quantitative Characterization Technique of Environmental Worthiness of Equipment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(6): 150—152.
- [16] 胥泽奇, 张世艳, 宣卫芳. 装备环境适应性评价[J]. 装备环境工程, 2012, 9(1): 54—59.
- XU Ze-qi, ZHANG Shi-yan, XUAN Wei-fang. Environmental Worthiness Evaluation of Equipment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(1): 54—59.

(上接第9页)

- WANG Hai-yan, ZHANG Cui-xin, YU Sheng-xue, et al. Microwave Absorbing Properties of the Electroless Nickel-phosphorus Deposited on the Hollow Microspheres [J]. Journal of Surface Technology, 2010, 39(6): 63—65.
- [14] LOU H F, WANG J J, HU W B, et al. Present Research Situation and Development of Hollow Microspheres [J]. Materials Review, 2010, 24(16): 453—456.
- [15] 许宝才, 刘亮, 王建江, 等. 采用自反应淬熄法的电磁波吸收剂空心化研究[J]. 人工晶体学报, 2012, 41(4): 1148—1152.
- XU Bao-cai, LIU Liang, WANG Jian-jiang, et al. Hollow Sphere Radar Absorbing Materials Technology of Self-Reactive Flame Quenching [J]. Journal of Synthetic Crystals, 2012, 41(4): 1148—1152.