

直升机航电系统高原高寒环境适应性评估

袁大天, 于芳芳, 李太平

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要: **目的** 研究高原高寒环境对直升机航电系统试验的影响、应对以及直升机环境适应性评价方法。**方法** 通过分析高原高寒环境对直升机航电系统的影响因素, 建立评价指标体系, 运用模糊综合评价方法, 得出直升机航电系统在高原高寒环境下适应性评价价值。**结果** 直升机高原高寒适应性可分为两个一级指标, 12个二级指标, 其中高原适应性评价指标的权重为 0.7983, 高寒适应性的权重指标为 0.2135。某直升机高原高寒适应性模糊综合评价值为 0.7692, 适应性综合评价为较好。**结论** 高原、高寒地区特殊的自然环境、地形地貌、气候条件等都会对航空装备的试验和使用产生很大的影响, 航空装备乃至武器装备环境适应性试验的重要性与日俱增, 运用模糊综合评价方法能够有效地进行直升机航电系统高原高寒环境适应性评价, 提高试验效率。

关键词: 直升机; 航电系统; 高原; 高寒; 飞行试验

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.10.013

中图分类号: V217+.39

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2019)10-0076-05

Evaluation of Plateau and Alpine Environment Adaptability of Helicopter Avionics System

YUAN Da-tian, YU Fang-fang, LI Tai-ping
(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

ABSTRACT: Objective To study on the influence of plateau alpine environment on helicopter avionics system test, response and helicopter environmental adaptability evaluation method. **Methods** By analyzing the influencing factors of the plateau alpine environment on the helicopter avionics system, the evaluation index system was established; and the fuzzy comprehensive evaluation method was used to obtain the adaptability evaluation value of the helicopter avionics system in the plateau alpine environment. **Results** The plateau alpine adaptability of the helicopter can be divided into two first-level indicators and 12 second-level indicators. The weight of the plateau adaptability evaluation index was 0.7983, and the weight index of the alpine adaptability was 0.2135. The fuzzy comprehensive evaluation value of a helicopter's alpine adaptability was 0.7692, and the comprehensive evaluation of adaptability was good. **Conclusion** The special natural environment, topography and climatic conditions in the plateau and alpine regions will have a great impact on the testing and use of aviation equipment. The importance of aviation equipment and even environmental adaptability testing of weapons and equipment is increasing day by day. The fuzzy comprehensive evaluation method can effectively evaluate the adaptability of plateau alpine environment of helicopter avionics system and improve the test efficiency.

KEY WORDS: helicopter; avionics system; plateau; alpine; flight test

收稿日期: 2019-03-14; 修订日期: 2019-04-11

基金项目: 装备预研中航工业联合基金(6141B0511010a)

作者简介: 袁大天(1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为综合航电系统试飞。

高原地区海拔高,空气稀薄,气候干燥,昼夜温差大,昼夜最大温差可达 30 ℃。高寒地区一般是指由于海拔高或因为纬度高而形成的特别寒冷的气候区,其最低气温可降至零下 40 ℃ 以下。海拔在 3000 m 以上的高原地区通常也伴随着高寒,例如我国的青藏高原一个最显著的自然地理特征就是高寒。为满足在高原高寒等极端环境下执行任务的需求,直升机在设计时会增加或换装必要的机载航电设备。例如,加装防除冰系统,改进航电和电气系统。

国内在装备环境适应性方面开展了一定的研究,总结出了一些高原环境对武器装备性能的影响^[1-5],研究了高原和低压环境对军工电子产品影响^[6-7]。庞志兵^[8]等从理论层面分析了武器装备论证、研制、设计定型和使用全寿命周期,提出了提高武器装备环境适应性水平的对策。邹小玲^[9]从设计角度,提出对高原直升机电气系统改进的办法和措施,开展了高原高寒地区的战场环境以及装备保障方法研究^[10-11]。在飞行试验领域,主要针对涡轴发动机进行了高寒试验^[12-13],开展了装备的环境适应性评价与效能评估研究^[14-16],取得了一定的成果。可以看出,以上研究多集中在理论研究与设计分析,实际试验数据与理论模型相结合的研究相对较少,尤其是对于直升机航电系统在高原高寒环境下的适应性评估较少。美国在 1919 年就开始将简单的温度、振动试验纳入到装备的验收试验中,随后西方各国和前苏联相继效仿,开展了装备环境适应性的研究和试验,取得了相应的成果,形成了体系和标准。在试验方面,开展了高原环境特点下的试验研究^[17];在设计方面,为适应高寒地区防除冰系统的用电需求,给出桨叶加热面积的估算规则;在人才培养方面,其强调为充分发挥武器装备的作战效能,必须加强环境工程专家队伍建设^[18]。

文中通过对高原高寒环境的分析,得出影响直升机航电系统在这类环境下试验和使用的关键因素,建立了环境适应性评价指标体系。有针对性地设计重点试飞科目,开展实地试飞,获取相关试验数据。将试验数据与理论模型有机结合,运用模糊综合评价方法对某直升机高原高寒环境适应性进行评价,达到规范试验科目,提高试验效率。总结试验方法的目的,以期使这类直升机能够尽快投入使用,尽早发挥效用。

1 直升机高原高寒环境适应性试验的必要性

高原高寒环境适应性试验是指检验直升机在规定的平原和高寒等极端环境下实现其预定全套功能的能力,是装备的一个重要质量特性。近几年,我国对直升机环境适应性试验的要求不断提高,一方面,CCAR29 部《运输类旋翼航空器适航规定》中,对直升机高原高寒环境下的飞行和使用提出了适航要求;

另一方面,试验体系也在根据用户的需求和装备的发展不断完善,由过去的重点考核指标符合性逐步转变到指标符合加使用能力综合试验。这些都要求在试验设计之初和试验过程中给予装备环境适应性试验与评估足够的重视,通过环境适应性试验不但可以检验直升机在高原高寒地区的功能、性能,还可以总结出一套在高原高寒地区执行不同任务的使用和保障方法,以便为今后在这类特殊地区执行任务打下基础。

科学高效地开展环境适应性试验的重要环节之一就是试验环境对被试设备的影响进行分析。高原高寒特殊地区的试验不同于平原内陆地区的试验,由于其自然条件恶劣,试验窗口期短,如果对试验环境的影响不进行分析,对试验科目的设置不进行研究,势必导致试验难点和重点不明晰,科目设置随意,费效比低等问题。因此,在试验开展之前,应先对试验环境给直升机航电系统带来的影响开展分析,以便有针对性、有重点地设置试验和评估内容,提高试验效率,使直升机高原高寒环境适应性试验逐步规范化、标准化、系统化。

2 高原高寒环境影响因素及试验

2.1 高原环境

2.1.1 高原环境影响分析及试验科目

高原环境适应性试验主要是针对高原野外机场沙尘大、起降环境恶劣、氧浓度较平原地区低、气候变化快等特点,检查直升机航电系统是否能有效使用。在试验之初,应针对高原环境特点以及设计改进的具体情况,有重点、有针对性地设计试验科目。高原环境对直升机航电系统的典型影响分析及重点试验科目见表 1。

2.1.2 高原环境试验准备

在高原地区组织试验的主要准备工作有:机组人员必须完成高原飞行理论培训和模拟器培训;飞行计划应充分考虑航路气象、地形、备降机场以及应急处置预案;机务和场务部门在试验前应充分检查直升机状态,尤其是环控系统和防砂装置,掌握好当天气象条件;试验组织部门应充分考虑高原环境对试验人员的生理和心理影响,确保试验安全。

2.2 高寒环境

2.2.1 高寒环境影响分析及试验科目

高寒环境适应性试验主要是针对高寒地区纬度高、气温低、旋翼、尾桨等易结冰等特点,检查直升机航电系统、防除冰系统是否能有效使用。同时,通过高寒地区试验尽早发现可能存在的环境适应性问题,暴漏直升机飞行安全隐患。高寒环境对直升机航电系统的典型影响分析及重点试验科目见表 2。

表1 高原环境典型影响分析及重点试验科目

环境特点	产生的影响	影响分析	重点飞行试验科目
高原环境	低压	低压低氧环境, 发动机失效概率增加, 同时会导致供电系统失效, 可能导致全机处于应急供电状态。	供电系统应急供电能力检查
	低氧	大气中的含氧量和氧分压降低, 人体肺泡内氧分压也降低, 可能倒追试验人员出现缺氧症状	环控系统供氧功能检查
	局部小气候	受地形和日照影响, 易产生局部小气候, 且变化较快, 易造成危险接近障碍物或迷航	气象雷达和防撞雷达功能及灵敏度检查
	地形遮挡	低高度飞行时, 受地形遮挡, 超短波通信作用距离和通话质量下降, 甚至中断	超短波电台通信作用距离和通话质量检查
沙尘环境	能见度低	遭遇局部恶劣气候时, 能见度下降, 对光学类侦察系统性能影响较大	光学侦查系统功能检查
	静电沉积	气候干燥, 易产生沙尘环境, 旋翼和尾桨在沙尘中高速旋转时, 与沙尘摩擦产生静电沉积, 容易对航空电子设备产生干扰	全机电磁兼容性检查
	机械卡阻	在沙尘环境中飞行, 容易造成沙堵, 产生卡滞、卡阻, 对暴漏在环境中的机载设备数据测量口或武器管路带来较大的影响, 导致装备运转不正常或失灵	航电武器系统功能检查

表2 高寒环境典型影响分析及重点试验科目

环境特点	产生的影响	影响分析	重点飞行试验科目
纬度高	卫星通信建链困难	纬度高, 导致卫星通信系统信号链路建链困难, 甚至无法建链	卫星通信系统建链时间检查
环境温度 极低	通信天线结冰	天线结冰会影响通讯, 甚至中断联络。强烈积冰能使天线同机体相接, 发生短路, 导致无线电设备失灵	通信导航系统功能检查
	风挡结冰	风挡积冰会严重影响飞行员目视飞行, 特别是在着陆时, 由于判断着陆高度不准确, 可能影响着陆安全	风挡加温功能检查
	旋翼和尾桨结冰	低温环境下, 湿度达到一定的条件, 可能导致旋翼及尾桨产生积冰, 防除冰系统除冰能力不足或故障情况下, 带冰飞行, 导致升力不足、操纵性变差, 而冰块不规则剥落可能导致机体受损, 影响飞行安全	防除冰系统工作能力检查
	动静压测量孔结冰	动、静压测量孔由积冰堵塞, 会使速度、高度、迎角、升降速度等一些重要参数失真, 从而影响飞行员对飞行状态的判断, 严重时危及飞行安全	大气数据系统功能检查
环境温度 极低	用电负载增大	气候寒冷, 防除冰系统和加温装置长时间工作, 导致用电负载显著增大, 对供电系统是一种考验	供电系统大负载工作能力和稳定性检查
	加温效率下降	低温冷浸透后, 舱内温度极低, 环控系统座舱加温效率下降	环控系统加温性能检查
	惯导对准时间延长	在低温环境下, 惯性器件性能下降, 导致惯导的对准时间延长, 严重的可能导致无法对准	惯导系统对准时间检查

2.2.2 高寒环境试验准备

在高寒地区组织试验的主要准备工作有: 机组人员必须完成高寒环境飞行理论培训和模拟器培训, 熟悉迅速脱离结冰区和积冰严重时的应急处置预案; 飞行计划应充分考虑航路气象、地形、备降机场; 机务部门在飞行前应充分做好防除冰系统和供电系统的检查和准备工作, 场务部门应及时清理停机坪和跑道, 以防止起飞和降落时出现吹雪现象, 影响目视起

降条件。

3 直升机航电系统高原高寒环境适应性评价

3.1 评价指标体系

通过上述高原高寒环境对直升机航电系统试验的影响分析, 利用层次分析法建立了直升机高原高寒

环境适应性评价指标体系，如图 1 所示。

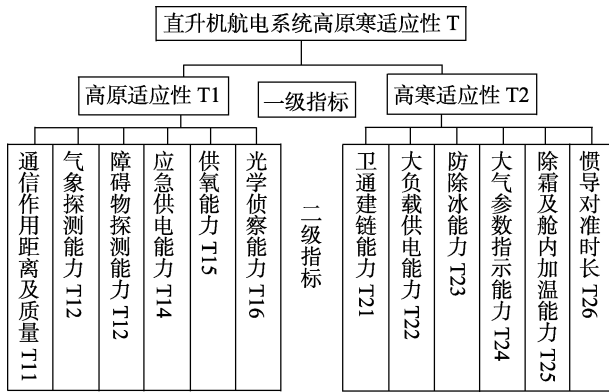


图 1 直升机航电系统高原高寒适应性评价指标体系

3.2 指标权重确定

对于直升机航电系统高原高寒环境适应性评价指标体系中各级指标的权重，这里采用层次分析法加专家评估来确定，假设指标 T_i 与 T_{i+1} 的相对重要度为 a_k ，由多位专家针对一级和二级评价指标进行两两对比打分，得到判断矩阵 M 。

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中：元素 a_{ij} 表示第 i 个指标针对第 j 个指标的相对重要度， $a_{ii}=1$ ， $a_{ij}=1/a_{ji}$ ， $(i, j=1, 2, \dots, m)$ 。判断矩阵应满足一致性条件，即： $a_{ij} = a_{ik} / a_{jk}$ 或 $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$ ， $i, j, k=1, 2, \dots, m$ ，表明判断矩阵 M 具有满意的一致性，满足直升机航电系统高原高寒环境适应性评价要求。一般地，判断矩阵 M 中各元素的分值由熟悉问题的专家根据评价指标相对重要度评分定义（见表 3）独立给出。

表 3 指标相对重要度评分定义

相对重要度分值	分值定义
1	前一个指标与后一个指标一样重要
3	前一个指标比后一个指标稍微重要
5	前一个指标比后一个指标明显重要
7	前一个指标比后一个指标强烈重要
9	前一个指标比后一个指标极端重要

由表 3 确定矩阵 M 中各元素的分值后续，则利用式（2）计算各级指标权重值，得到的各指标权重值。

$$K_m = \left\{ 1 + \sum_{i=1}^{m-1} \prod_{j=1}^{m-1} a_{ij} \right\}^{-1} \quad (2)$$

3.3 模糊综合评价

考虑与评价对象相关的各种因素，对其所作的综合评价，定量化被评价对象的模糊指标。将权重系数模糊矩阵和模糊关系矩阵通过模糊运算，最终可以得到综合指标对各个评价等级的隶属度矩阵。模糊综合评价步骤如下所述。

1) 评价指标集确定。即建立评价指标体系，明确指标集，即 $T = (T_{11}, T_{12} \dots T_{26})$ ，这里共设置 12 个指标。

2) 评价意见集确定。 $C = (C_1, C_2, C_3, C_4, C_5)$ ，评语集可以设定为 3、5、7 级等，最高可设为 9 级。在此，将意见级定义为“很差、差、一般、较好、很好”等 5 个等级，分别对应“0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9”等 5 个分值。通过上述对评语意见的量化定义，可以将高原高寒环境对直升机航电系统的影响度按大小确定为相应的级别。

3) 确定各指标的权重。 $K = (K_1, K_2, \dots, K_m)$ ， $m=1, 2, \dots, 12$ 。由式（2）可计算得到该值。

4) 建立评价指标的模糊综合评判矩阵。 $D = (d_{ij})_{m \times n}$ ，根据评价等级 C_i 确定各评价意见针对各评价指标的隶属度 d_{ij} ，即对指标 T_i 得到所有评价意见中 C_j 的占比，从而得到模糊评判矩阵 D 。

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

式中： n 表示评价意见； m 表示评价指标； d_{ij} 表示意见 j 对应于指标 i 的隶属度， $i = 1, 2, \dots, m$ ， $j = 1, 2, \dots, n$ 。

5) 计算评价结果。评价结果 $R = K \cdot D$ 。根据模糊评判矩阵 D 和评价指标权重向量 K ，计算得到直升机航电系统高原高寒环境适应性的模糊综合评价结果。

通过开展实地试验，收集试验数据，运用模糊综合评价法对某型直升机的高原高寒适应性进行综合评价。由多名参与试验的试飞员对指标体系中的各指标相对重要度进行打分，确定针对该型直升机各指标的权重值，见表 4。然后对其二级指标进行模糊评价打分，按照最大隶属度原则确定评价对象（指标）的隶属度统计值，详见表 5。

利用获得的评价指标权重，计算得到该直升机航电系统高原高寒环境适应性的量化综合评价值， $R = K \cdot D = 0.7692$ 。综合评价值越高，则代表其高原高寒环境适应性越好。根据评价值与评语集“0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9”进行比较，该直升机综合评价值落在 [0.7, 0.9] 区间内，因此，可以给该直升机航电系统的高原高寒环境适应性评估为“较好”。

表4 评价指标权重值

一级指标	权重	二级指标	权重
高原适应性	0.7983	通信作用距离及质量	0.0989
		气象探测能力	0.1025
		障碍物探测能力	0.0926
		应急供电能力	0.0756
		供氧能力	0.0822
		光学侦察能力	0.0219
		卫通建链时间	0.0436
高寒适应性	0.2135	大负载供电能力	0.1003
		防除冰能力	0.1059
		大气参数指示能力	0.0689
		除霜及舱内加温能力	0.0812
		惯导对准时间	0.0529

表5 二级指标隶属度统计

序号	评价指标	隶属度
1	通信作用距离及质量	0.8
2	气象探测能力	0.8
3	障碍物探测能力	0.7
4	应急供电能力	0.9
5	供氧能力	0.8
6	光学侦察能力	0.5
7	卫通建链时间	0.6
8	大负载供电能力	0.8
9	防除冰能力	0.9
10	大气参数指示能力	0.8
11	除霜及舱内加温能力	0.8
12	惯导对准时间	0.6

4 结论

1) 高原地区直升机航电系统主要受地形、低气压、沙尘影响,可能带来的危害主要是通信质量变差、供电系统失效概率增大、沙尘静电引起电子设备故障等,应主要对直升机的通信系统、供电系统、供氧系统、电磁兼容性等进行验证。

2) 高寒地区直升机航电系统主要受高纬度、低温影响,可能带来的危害主要是卫星通信系统建链困难、供电系统负载增大、环控系统加温效率下降、电子设备低温环境下故障率增加,应主要对直升机的卫星通信系统、供电系统、环控系统、无线电导航系统等进行验证。

3) 高原高寒环境从多方面影响直升机航电系统

的性能,不能用某单项性能指标来评价其高原高寒环境适应性,需要考虑多方面的影响因素。通过高原高寒实地飞行试验和环境适应性模糊评价方法相结合,可以为高原高寒地区直升机航电系统的环境适应性评价提供参考。运用该方法,得出某直升机航电系统的高原高寒适应性综合评价值为 0.7692,适应性较好。

参考文献:

- [1] 刘俊学, 胡唐胜, 陈晓宾. 高寒山地战场对武器装备的影响[J]. 兵器知识, 2013(11): 29-32.
- [2] 蔡伟, 曾卫东, 吴奎发. 高原环境对直升机性能的影响[J]. 环境技术, 2010(12): 33-35.
- [3] 李德龙. 高原型气候对电气设备的影响[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2009, 27(4): 71-74.
- [4] 高强, 庞志兵, 魏赫. 高原高寒环境对武器装备的影响研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 118-121.
- [5] 俞一明, 赵广彤. 高原环境对防空武器装备的影响及改进措施[J]. 现代防御技术, 2011, 39(2): 172-174.
- [6] 赵世宜, 胡立成, 吴娟, 等. 低气压环境对军用电工电子产品的影响[J]. 装备环境工程, 2009, 6(5): 100-102.
- [7] 孙立军, 蔡汝山. 高原环境对电工电子产品的影响及防护[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2010, 28(4): 15-18.
- [8] 庞志兵, 高强, 魏赫. 提高武器装备环境适应性对策研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 68-71.
- [9] 邹小玲. 高原直升机电气系统设计的几点思考[J]. 直升机技术, 2012(2): 15-18.
- [10] 郑宇. 高原高寒地区战场分析[J]. 兵器知识, 2013(11): 21-25.
- [11] 刘威, 薛雪东, 王品. 高原高寒战场环境下某型导弹武器系统保障研究[J]. 科技风, 2018(3): 191.
- [12] 任智勇, 李志鹏. 涡轴发动机高寒飞行试验和结果分析[J]. 现代机械, 2017(6): 63-66.
- [13] 苗禾壮, 王朝蓬, 朱哲, 等. 航空发动机“三高”启动试验研究[J]. 工程与试验, 2015, 55(1): 38-42.
- [14] 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): 54-58.
- [15] 廖兴禾, 白洪波, 丁建琪. 基于系统工程的装备试验与评价需求研究[J]. 装备学院学报, 2017, 28(1): 118-123.
- [16] 张子菡, 王晓红. 基于环境特征的临近空间飞行器作战效能评估分析[J]. 装备环境工程, 2018, 15(7): 84-88.
- [17] TEC60068-2-27, 2008 Basic Environmental Testing Procedures Part2: Test-test Ea and Guidance: Shock[S].
- [18] MIL-S TD-810F, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Test[S].