

环境试验与观测

高原地区机场自然环境谱编制研究

牛犇¹, 刘溅洪²

(1. 陆装驻成都地区航空军代室, 成都 610043; 2. 西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: **目的** 编制高原地区机场自然环境谱。**方法** 通过分析装备典型失效案例, 结合高原地区环境特征, 得出高原地区影响飞机日历寿命的主要气象环境因素和化学环境因素, 并进行为期1a的实时监测和数据采集, 最终编制机场自然环境谱。**结果** 高原地区两地机场气温较低(10.4℃), 且昼夜温差大(28.2℃), 低相对湿度低(61%), 气压低(654 hPa), 太阳辐射强(8 689.5 MJ/m²), 空气中沙尘较少, 降水非常少, 且雨水pH值接近中性, 温度、太阳辐射、降雨等一般夏季较高、冬春季较低。同时, 编制了高原两地机场的温度谱、湿度谱、温度-相对湿度谱、降水谱和综合环境谱等。**结论** 量化了高原地区机场的外场环境, 对指导装备的高原环境适应性考核验证和腐蚀防护设计具有重要意义。

关键词: 气象环境因素; 化学环境因素; 高原地区; 机场; 自然环境谱

中图分类号: TG174.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2023)04-0122-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2023.04.016

Compilation of Natural Environment Spectrum of Airport in Plateau Area

NIU Ben¹, LIU Jian-hong²

(1. Chengdu Aviation Representative Office of Armaments Department of PLA Ground Force, Chengdu 610043, China;

2. Southwest Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: The work aims to compile the natural environment spectrum of airport in plateau area. The major meteorological and chemical environmental factors affecting the calendar life of equipment in plateau area were determined by analyzing the typical failure cases of equipment in combination with the environment characteristics. Then, the real-time monitoring and collection were carried out for one year to finally compile the natural environment spectrum in the airport. The two airports in plateau area had low temperature (10.4 °C), large temperature difference between day and night (28.2 °C), low relative humidity (61%) and atmospheric pressure (654 hPa), strong solar radiation (8689.5 MJ/m²), less dust in the air, very little precipitation and rain pH value close to neutral. Additionally, temperature, solar radiation and rainfall were generally higher in summer and lower in winter and spring. Then, the temperature spectrum, humidity spectrum, temperature-humidity spectrum, precipitation spectrum and comprehensive environment spectrum were compiled for the two airports. These environment spectrums quantify the environment of airport in plateau area, which is of great significance to guide the environmental adaptability assessment, verification and corrosion protection design of the equipment.

KEY WORDS: meteorological environmental factor; chemical environmental factor; plateau area; airport; natural environment spectrum

收稿日期: 2022-06-06; 修订日期: 2022-09-07

Received: 2022-06-06; Revised: 2022-09-07

作者简介: 牛犇(1980—), 男。

Biography: NIU Ben (1980-), Male.

引文格式: 牛犇, 刘溅洪. 高原地区机场自然环境谱编制研究[J]. 装备环境工程, 2023, 20(4): 122-127.

IU Ben, LIU Jian-hong. Compilation of Natural Environment Spectrum of Airport in Plateau Area[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(4): 122-127.

机场自然环境是造成飞机停放(服役)过程中出现腐蚀损伤的重要因素^[1]。典型机场的自然环境可以用自然环境谱的方式进行描述和呈现,编制典型机场自然环境谱,对研究飞机停放(服役)过程中的环境适应性、出现腐蚀损伤的现象及规律、飞机的综合防护理论方法研究和制定相应的腐蚀维修指南的意义重大^[2]。根据飞机停放(服役)环境,研究人员建立了相关的环境谱编制方法^[2-3],并编制了飞机空中使用环境谱^[4]、典型机场地面环境谱^[5]、载荷环境谱^[6]、亚湿热酸雨环境谱^[2]、海洋环境谱^[7]等。针对我国重点地区环境谱的编制研究过程中,还存在收集的环境因素数据量及种类较少,没有形成比较系统完善的飞机环境因素数据库等缺点^[8],尤其是针对高原地区的环境谱建设。我国高原地区地域辽阔,人烟稀少,多数地区由于自然环境恶劣而无法设立自然环境数据监测台站,收集的环境数据量少,很难支撑飞机在高原地区服役时的环境谱编制,至今关于高原地区环境谱的编制也鲜有报道。

飞机在高原地区的广泛服役,对发展该区域的国防力量和国民经济等具有重要的作用和意义^[9]。然而,高原地区低氧量、低温、低气压、强紫外辐射和强风沙等恶劣自然环境条件^[10]对飞机发动机、电力电子部件、裸露运动部件、光学部件、裸露气动传感器、非金属材料、液压系统、裸露天线及非气密舱电插头等部位的影响较大,飞机易出现“高原反应”的问题^[11]。例如,在高原低温作用下,机油和柴油的黏度增大,蓄电池的输出功率大幅下降,发动机难以启动。昼夜温差大使产品的密封性受到挑战,仪表零点漂移严重,精度下降^[12]。强太阳辐射能够引起有机涂层和橡胶件材料中的化学键断裂破坏而出现老化,导致高分子材料变硬、变脆而失去密封效果和防护效果^[13-14]。低气压导致发动机性能下降,气密设备负压破坏,液压密封泄漏,金属传动部件接触面粘合、开裂、变形等^[15]。发动机吸入大量沙尘会磨损和打伤风扇叶片,易造成发动机出现大的振动、EGT(排气温度)裕度衰减,加剧运动部件损伤,增加油耗,最终导致发动机服役寿命大打折扣^[11]。上述环境适应性问题可能导致巨大的军事和经济损失。美国国防部针对装备损伤失效的调查结果表明^[15],武器装备损坏的案例中,超过1/2是环境造成的,库存期内,环境因素造成的损坏占比更是达到了3/5。因此,编制飞机在高原地区典型机场停放(服役)过程中的自然环境谱,对于研究飞机材料、结构、分系统乃至整机的环境适应性至关重要。

为了补充和完善高原地区飞机服役环境的环境谱库建设,本文以高原地区两地典型机场为对象,通过监测气象自然环境和化学环境因素数据,研究并建立高原地区典型机场环境谱。

1 机场环境因素数据

1.1 监测

研究表明^[7,16],温度、湿度、气压、太阳辐射、沙尘和降水,大气中的 Cl^- 、 SO_2 、氮氧化物 NO_x 以及雨水中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和雨水pH值等是造成高原地区飞机发生腐蚀行为和老化的主要气象环境因素和化学环境因素。

1.2 采集

在高原地区A地和B地两地机场户外选取合适的区域进行环境因素的监测,监测周期为1a。

1) 温湿度、日照时数、太阳辐射(总辐射、紫外辐射)、气压、降雨量等气象环境因素数据,通过便携式自动气象站持续采集。采集过程参照GB/T 24516.1—2009《金属和合金的腐蚀大气腐蚀 地面气象因素观测方法》^[17]执行,数据每1h采集记录1次。

2) 大气中的 Cl^- 、 SO_2 、氮氧化物 NO_x 等环境因素数据,通过安装露天试验棚进行采集。采集过程参照GJB 8894.1—2017《自然环境因素测定方法 第1部分:大气环境因素》^[18]中的挂片法,每个采集点均由3个平行样组成,沉积速率为3个试样的平均值。数据每月采集记录1次。

3) 沙尘和雨水中的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、pH值等环境因素数据,在机场露天空旷的区域开展采集。其中,沙尘采用内径30cm、高40cm的集尘缸采集,每月采集1次(月初开始,月底取样,每次采集时长为1个自然月)。采用湿法激光粒度检测法测定沙尘粒径,采用离子色谱法测定沙尘中可溶性氯离子含量。雨水的采集参照GB/T 13580.2—1992《大气降水样品的采集与保存》^[19]执行;参照GB/T 13580.4《大气降水pH值的测定电极法》^[20]测定雨水的pH值;参照GB/T 13580.6《大气降水中硫酸盐测定》^[21]测定雨水中的 SO_4^{2-} 浓度;参照GB/T 13580.9《大气降水中氯化物的测定 硫氰酸汞高铁光度法》^[22]测定雨水中的 Cl^- 浓度。雨水在每次降水时实时采样分析,一般每月采集3次。

2 环境谱的编制

2.1 环境因素统计分析

根据采集的气象环境因素数据和大气污染物数据,对A地和B地机场环境特征进行了细致的统计分析,形成了相关的月/年报表和图谱。两地机场的月平均气温和月平均相对湿度的变化规律以及两地间的差异如图1所示。由图1可知,两地的温湿度环境因素数据变化规律基本一致,但是数值上存在一定的差异。两地气候四季分明,月平均温度和月平均相

对湿度随时间成类弦函数规律变化,夏季最高,冬季较低,最高值出现在6—9月份,最低值出现在12月

一次年2月份。在上述统计结果的基础上,形成了单项环境谱、组合环境谱和综合环境谱。

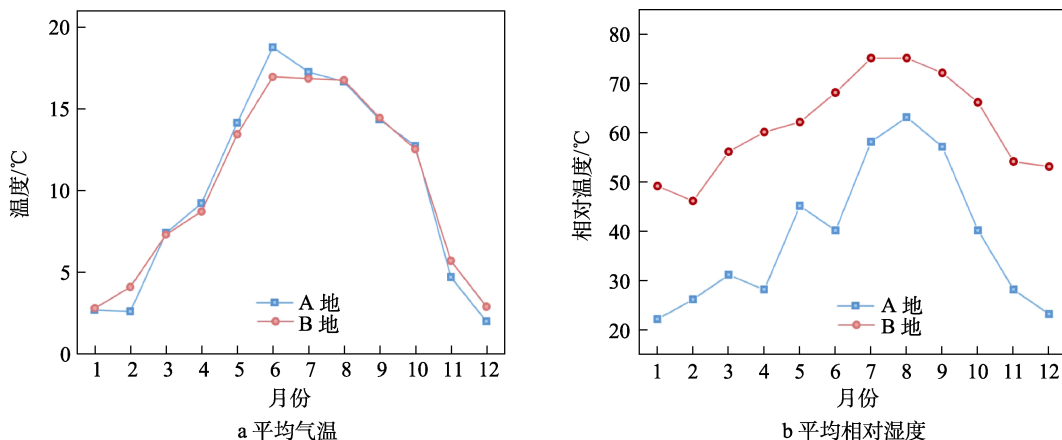


图1 高原两地监测的平均气温和平均相对湿度的变化规律

Fig.1 Variation of average temperature (a) and relative humidity (b) in two places in the plateau area

2.2 单项环境谱

单项谱是仅针对单一环境因素建立的环境谱,不考虑其他环境因素,如温度谱定义为“一定统计时间内,温度平均值、极值及特定温度区间累积时间的统计结果”。单项环境谱包含温度谱、相对湿度谱、日照辐射谱等。

A地和B地的温度谱如图1a和图2所示。其中图1a显示了高原地区两地月平均温度的变化规律,以及相应的极大值和极小值。从图2中可以看出各平均温度段内的作用时间,两地的温度段一致,均在0~20℃,A地的温度集中在0~5℃的低温段,而B地的4个温度段出现的时间相同。

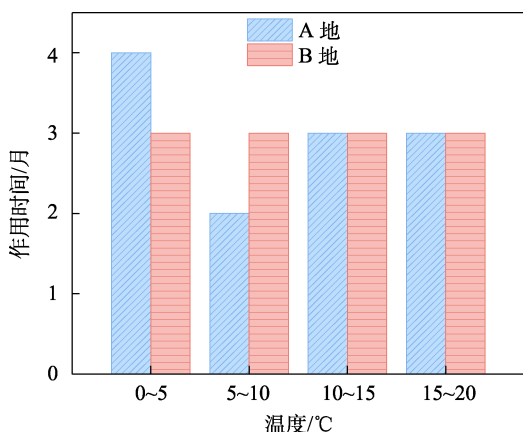


图2 高原两地的温度谱

Fig.2 Temperature spectrums of two places in the plateau area

A地和B地的湿度谱如图1b和图3所示。其中图1b显示了高原地区两地月平均相对湿度的变化规律,以及相应的极大值和极小值。从图3中可以看出各平均相对湿度段内的作用时间。A地的湿度段整体

低于B地,A地作用时间最长的相对湿度在20%~30%,B地在50%~60%。

高原两地的日照辐射谱如图4所示。B地的总辐

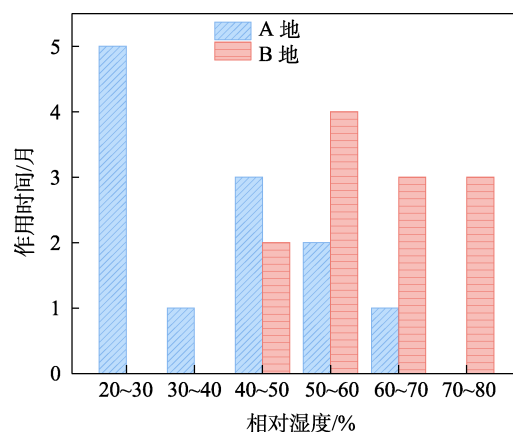


图3 高原两地的湿度谱

Fig.3 Humidity spectrums of two places in the plateau area

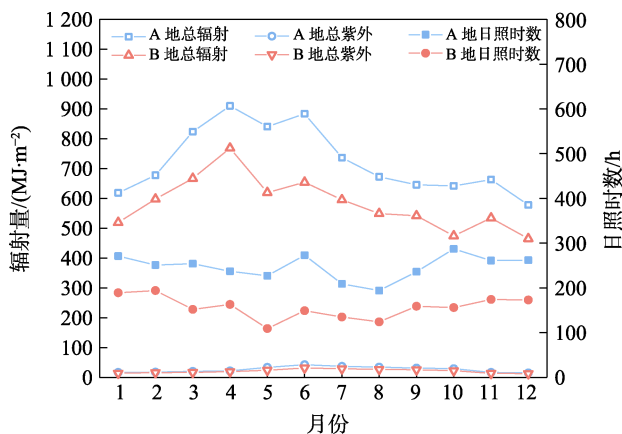


图4 高原两地的日照辐射谱

Fig.4 Solar radiation spectrums of two places in the plateau area

射量、紫外辐射量和日照时数均要低于 A 地。A、B 两地的月平均辐射量分别为 724.1、582 MJ/m²。另外, A 地的年总辐射量为 8 689.5 MJ/m², 年紫外辐射量为 315.1 MJ/m²; B 地的年总辐射量为 6 984 MJ/m², 年紫外辐射量为 250.6 MJ/m², 两地紫外辐射量占总辐射量的比例一致, 均约为 3.6%。高原地区年总辐射量与紫外辐射量均高于内陆地区, 但是占比低于内陆地区^[17]。

2.3 组合环境谱

在建立上述单项环境因素谱的基础上, 为体现高原两地各种自然环境因素的综合作用, 编制了 2 个或 2 个以上环境因素构成的组合环境谱, 组合环境谱以

多种因素在确定应力水平的组合下所占的年均累积时间的形式体现。包含温度-相对湿度谱、降水谱、酸雨谱和污染介质谱等。

A 地和 B 地的温度-相对湿度谱见表 1 和表 2。它是在采集的时间段内, 以 5 °C 为温度变化区间, 以 10% 为相对湿度变化区间, 统计得到的年均累积时间结果。由表 1 和表 2 可知, 在相同的温度条件下, A 地相对湿度低于 50% 的时间达到 6 140 h, 长于 B 地的 2 887 h, 而相对湿度高于 50% 的时间均短于 B 地, 说明 A 地的相对湿度更低, 与图 1 结果一致。另外, A 地温度在 10~15 °C 出现的次数最多, B 地则出现在 15~20 °C, 且均向两侧降低。

表 1 A 地温度-相对湿度谱
Tab.1 Temperature-relative humidity spectrum of A

温度/°C	相对湿度/%						持续时间/h
	RH<50	50≤RH<60	60≤RH<70	70≤RH<80	80≤RH<90	RH≥90	
-15~-10	25	7	0	0	0	0	32
-10~-5	201	87	51	11	0	0	350
-5~0	531	88	41	21	15	19	715
0~5	894	62	41	44	51	40	1 132
5~10	1 204	79	96	122	130	44	1 675
10~15	1 259	188	199	262	289	94	2 291
15~20	1 069	329	174	28	0	0	1 600
20~25	818	8	0	0	0	0	826
25~30	139	0	0	0	0	0	139

表 2 B 地温度-相对湿度谱
Tab.2 Temperature-relative humidity spectrum of B

温度/°C	相对湿度/%						持续时间/h
	RH<50	50≤RH<60	60≤RH<70	70≤RH<80	80≤RH<90	RH≥90	
-10~-5	4	15	42	50	18	0	350
-5~0	70	94	136	131	71	15	129
0~5	361	324	325	183	229	73	517
5~10	849	245	238	215	224	118	1 495
10~15	679	187	175	284	491	699	1 889
15~20	447	236	356	310	171	24	2 515
20~25	427	143	49	2	0	0	1 544
25~30	50	0	0	0	0	0	621

高原两地的降水谱如图 5 所示。降水谱为在采集的时间段内, 以 5 °C 为温度变化区间, 统计得到的累积降水量。A、B 两地累积降水量最高值均出现在 20~25 °C, A 地最高值约比 B 地高 90 mm。A 地最低值出现在 15~20 °C, 仅 0.3 mm, 几乎不发生降水; B 地则出现在 25~30 °C。整体上两地机场的降水量均较少, 具有少雨干旱的特点。

2.4 综合环境谱

将收集、统计的高原两地所有环境因素归类合并计算后, 按照最大程度涵盖高原地区飞机可能面临的极端环境为原则, 取两地环境要素中较为严酷的极值数据, 形成了高原地区综合环境谱, 见表 3。该自

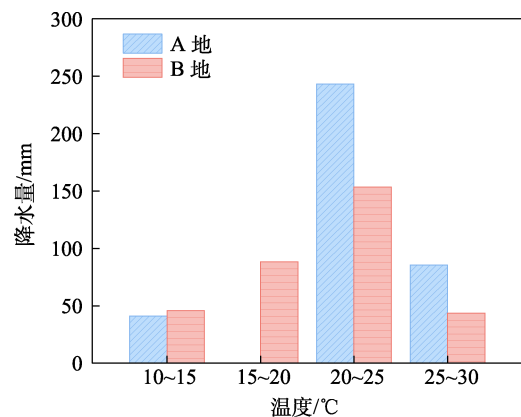


图 5 高原两地的降水谱

Fig.5 Precipitation spectrums of two places in the plateau area

然环境谱中给出了潮湿空气、日照、雨、沙尘的时间比例、累积作用时间、作用强度，以及 Cl^- 、 SO_2 和 NO_2 等污染介质的浓度等信息。其中，潮湿空气为大气温度在 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 以上且大气相对湿度在 70% 以上

的大气环境。由表 3 可知，高原两地机场环境具有空气和雨水中腐蚀介质（ SO_2 、 NO_2 和 Cl^- ）含量较低，太阳辐射量大，年平均温度、湿度和气压均较低，昼夜温差大的特点。

表 3 高原地区自然环境谱
Tab.3 Natural environment spectrum of plateau area

环境	雨	潮湿空气	日照	沙尘
时间比例/%	—	34.8	33.8	—
作用时间/h	—	3048	2 962	—
pH	6.51	—	—	—
$SO_2/(mg \cdot 100^{-1}cm^{-2} \cdot d^{-1})$	—	0.034 4	—	—
$NO_2/(mg \cdot 100^{-1}cm^{-2} \cdot d^{-1})$	—	0.000 1	—	—
$Cl^-(mg \cdot 100^{-1}cm^{-2} \cdot d^{-1})$	—	0.003 4	—	—
雨水 $SO_4^{2-}/(mg \cdot m^{-3})$	842	—	—	—
雨水 $Cl^-(mg \cdot m^{-3})$	4 326	—	—	—
降雨量/mm	370.1	—	—	—
总辐射量/ $(MJ \cdot m^{-2})$	—	—	8 689.5	—
紫外辐射量/ $(MJ \cdot m^{-2})$	—	—	315.1	—
沙尘中位径/ μm	—	—	—	36.9
沙尘中 Cl^- 含量/ $(m \cdot kg^{-1})$	—	—	—	343
温度/ $^\circ C$	年均温度：10.4 极大值：30.2 极小值：-12.5 最大昼夜温差：28.2			
相对湿度/%	年均湿度：61 极大值：98 极小值：1			
气压/hPa	年均气压：654 极大值：723 极小值：625			

3 结论

通过分析装备在高原地区的腐蚀损伤案例和现象，以及结合高原地区环境特征，确定了环境因素监测项目和方法，编制了高原地区机场的单项环境谱、组合环境谱和综合环境谱，得到高原地区 2 个典型机场环境特点如下：年平均相对湿度、平均气压、气压极大值均很低；年平均温度中等，冬季温度较低，低温时间较长，昼夜温差大；太阳辐射特别是紫外辐射强（远高于内陆、沿海等其他环境，约为内陆地区的 2~3 倍）；温度、太阳辐射、降雨等环境因素与季节关联度较大（一般夏季较高、冬春季较低）；降水较少，且季节性分布不均，雨水 pH 值呈中性，空气较为干燥，且大气污染物含量很低，存在少量沙尘（沙尘粒度较小）。

在实际应用中，还需要对飞机材料、结构、分系统乃至整机在高原地区出现的腐蚀损伤进行分析，确定主要的气象/化学环境因素，对相应的环境谱进行裁剪，确定直升机以及武器装备在机场地面停放/存放时的环境适应性考核验证和腐蚀防护设计的输入。

参考文献：

[1] 王艳艳, 舒畅, 李超. 自然环境谱转化为加速试验环境谱的方法[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 34-38.

WANG Yan-yan, SHU Chang, LI Chao. Method for Conversion of Natural Environmental Spectra to Accelerated Test Environmental Spectra[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(1): 34-38.

[2] 舒畅, 苏艳, 吴龙益, 等. 自然环境谱编制方法研究[J]. 装备环境工程, 2011, 8(2): 93-96.

SHU Chang, SU Yan, WU Long-yi, et al. Research on Establishment Method of Natural Environmental Spectrum[J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(2): 93-96.

[3] 蒋祖国. 编制飞机使用环境谱的任务——环境分析法[J]. 航空学报, 1994, 15(1): 70-75.

JIANG Zu-guo. The Profile-Environment Analysis Method for Compiling Aircraft Operational Environment Spectra[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 1994, 15(1): 70-75.

[4] 杨晓华, 金平, 陈跃良. 飞机空中使用环境谱的编制[J]. 航空学报, 2008, 29(1): 85-90.

YANG Xiao-hua, JIN Ping, CHEN Yue-liang. Making out Aerial Environment Spectrum of Aircraft[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(1): 85-90.

[5] 崔常京. 军用飞机地面腐蚀环境谱的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005.

CUI Chang-jing. Study on Environmental Spectrum of Ground Corrosion of Military Aircraft[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2005.

[6] 陈跃良, 郁大照. 飞机载荷/环境谱编制研究及应用[J].

- 海军航空工程学院学报, 2007, 22(1): 114-118.
CHEN Yue-liang, YU Da-zhao. Research and Application of Compilation of Load/Environment Spectrum for Aircraft[J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering Institute, 2007, 22(1): 114-118.
- [7] 杨晓华, 金平. 飞机使用环境谱的编制[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 99-102.
YANG Xiao-hua, JIN Ping. Compile of Aircraft Operation Environment Spectrum[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(6): 99-102.
- [8] 吴瑜, 张晓娟. 某型直升机加速腐蚀试验环境谱编制及应用[J]. 直升机技术, 2021(2): 63-68.
WU Yu, ZHANG Xiao-juan. Compilation and Application of Environment Spectrum for Accelerated Corrosion Test of a Helicopter[J]. Helicopter Technique, 2021(2): 63-68.
- [9] 裴鑫, 香承虎, 刘亚巍. 直升机在高原地区使用特点分析[C]//第二十八届(2012)全国直升机年会论文集. 绍兴: 中国航空学会直升机专业委员会, 2012.
PEI Xin, XIANG Cheng-hu, LIU Ya-wei. Characteristics Analysis of Helicopter Used in the Plateau Region[C]/Paper of the 28th (2012) National Helicopter Annual Conference. Shaoxing: Helicopter Professional Committee of the Chinese Aviation Society, 2012.
- [10] 刘章龙, 赵徐成, 胡涛. 基于高原环境的保障装备适应性技术研究[J]. 装备环境工程, 2016, 13(2): 34-38.
LIU Zhang-long, ZHAO Xu-cheng, HU Tao. Adaptive Technology of Support Equipment Based on Plateau Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(2): 34-38.
- [11] 张劼, 关莉, 于鲁平, 等. 航空装备高原环境适应性保障研究[J]. 国防技术基础, 2016(2): 8-11.
ZHANG Jie, GUAN Li, YU Lu-ping, et al. Study on Plateau Environmental Worthiness Support for Aviation Equipment[J]. Technology Foundation of National Defence, 2016(2): 8-11.
- [12] 王坚, 王保贵, 张晨, 等. 高原气候环境对装备影响及适应性措施[J]. 环境技术, 2013, 31(6): 25-28.
WANG Jian, WANG Bao-gui, ZHANG Chen, et al. Countermeasures on Influence of Plateau Climate Environment on Equipment and Its Environmental Worthiness[J]. Environmental Technology, 2013, 31(6): 25-28.
- [13] 赵徐成, 马俊伟, 朱逸天, 等. 保障装备高原环境适应性研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(5): 27-31.
ZHAO Xu-cheng, MA Jun-wei, ZHU Yi-tian, et al. Research on Plateau Environmental Worthiness of Support Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(5): 27-31.
- [14] 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.
- [15] 郑鹏翱, 周建航, 李冬伟. 高海拔环境对典型装备影响分析及对策研究[J]. 兵器试验, 2013(3): 3-6.
ZHENG Peng-ao, ZHOU Jian-hang, LI Dong-wei. Analysis and Countermeasure Research on the Influence of High Altitude Environment on Typical Equipment[J]. Weapon Test, 2013(3): 3-6.
- [16] 文邦伟, 胥泽奇. 外军装备环境适应性典型案例[J]. 装备环境工程, 2005, 2(3): 83-87.
WEN Bang-wei, XU Ze-qi. The Typical Cases of Environmental Worthiness of Foreign Materiel[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(3): 83-87.
- [17] 吴云章, 沈军, 钟勇, 等. 内陆湿热地区机场环境谱编制[J]. 装备环境工程, 2020, 17(6): 101-106.
WU Yun-zhang, SHEN Jun, ZHONG Yong, et al. Compilation of Airport Environmental Spectrum in Hot and Humid Inland Areas[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(6): 101-106.
- [18] GB/T 24516.1—2009, 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀 地面气象因素观测方法[S].
GB/T 24516.1—2009, Corrosion of Metals and Alloys—Atmospheric Corrosion—Determination of Meteorologic Factors[S].
- [19] GJB 8894.1—2017, 自然环境因素测定方法 第一部分: 大气环境因素[S].
GJB 8894.1—2017, Determination Method of Natural Environmental Factors-Part 1: Atmospheric Environmental Factors[S].
- [20] GB/T 13580.2—1992, 大气降水样品的采集与保存[S].
GB/T 13580.2—1992, Collection and Preservation of the Wet Precipitation Sample [S].
- [21] GB/T 13580.4, 大气降水 pH 值的测定 电极法[S].
GB/T 13580.4, Determination of pH Value of the Wet Precipitation—Glass Electrode Method[S].
- [22] GB/T 13580.6, 大气降水中硫酸盐测定[S].
GB/T 13580.6, Determination of Sulfate in the Wet Precipitation[S].
- [23] GB 13580.9—1992, 大气降水中氯化物的测定 硫氰酸汞高铁光度法[S].
GB 13580.9—1992, Determination of Chloride in Wet precipitation – Ferrithiocyanate Spectrophotometry[S].

责任编辑: 刘世忠