

# 内陆湿热地区机场环境谱编制

吴云章<sup>1</sup>, 沈军<sup>1</sup>, 钟勇<sup>2</sup>, 李伯舒<sup>3</sup>, 李健<sup>4</sup>, 肖阳<sup>1</sup>

(1.陆军航空兵研究所, 北京 101121; 2.中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039; 3.陆军装备部装备技术合作中心, 北京 100039; 4.陆军航空兵学院, 北京 101121)

**摘要:** **目的** 编制内陆湿热地区机场环境谱。**方法** 分析影响飞机(直升机)日历寿命的地面主要环境因素, 确定内陆湿热地区环境因素数据监测项目, 以机场气象环境因素为基础, 以现场测量化学环境因素为补充, 编制机场环境谱, 通过机场地区整体环境特性分析验证环境谱的有效性。**结果** 机场环境均具有典型的内陆湿热地区非工业环境特点, 大气腐蚀性等级中等(C3级)。**结论** 量化了内陆湿热地区服役直升机面临的使用环境, 为内陆湿热地区直升机环境适应性考核验证和腐蚀防护设计提供输入。

**关键词:** 内陆湿热地区; 机场; 环境谱

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2020.06.016

**中图分类号:** TG174.4 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2020)06-0101-06

## Compilation of Airport Environmental Spectrum in Hot and Humid Inland Areas

WU Yun-zhang<sup>1</sup>, SHEN Jun<sup>1</sup>, ZHONG Yong<sup>2</sup>, LI Bo-shu<sup>2</sup>, LI Jian<sup>3</sup>, XIAO Yang<sup>1</sup>

(1. Army Aviation Research Institute, Beijing 101121, China; 2. No.59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China; 3. Technical Cooperation Centre of Army Equipment Department, Beijing 100039, China; 4. Army Aviation College, Beijing 101121, China)

**ABSTRACT:** The work aims to compile the airport environmental spectrum in hot and humid inland areas. The main ground environmental factors affecting the calendar life of aircraft (helicopter) were analyzed to determine the data monitoring items for environmental factors in hot and humid inland areas. Based on airport's meteorological environmental factors and supplemented by on-site chemical environmental factors, the airport environmental spectrum was compiled. The validity of environmental spectrum was validated by analyzing the overall environmental characteristics of airport area. The airport environment had typical characteristics of non-industrial environment in hot and humid inland areas and the atmospheric corrosion level was medium (C3). The operating environment of helicopters serving in hot and humid inland areas is quantified, providing input for environmental adaptability assessment and corrosion protection design of aircraft (helicopter) in hot and humid inland areas

**KEY WORDS:** hot and humid inland areas; airport; environmental spectrum

飞机(直升机)的地面停放时间约占总使用时间的96%,飞机(直升机)地面停放环境谱(以下简称环境谱)是直升机在地面停放期间所经受的气候、化学、光照、热环境等各种“因素-时间”历程,

包括环境中影响部附件功能的,对结构产生腐蚀/老化作用的各种环境因素的强度、持续时间、发生频率以及各种环境因素的组合。环境谱可为直升机疲劳寿命和日历寿命定寿、延寿,环境耐久性和腐蚀

收稿日期: 2019-11-03; 修订日期: 2019-12-03

Received: 2019-11-03; Revised: 2019-12-03

作者简介: 吴云章(1982—),男,博士,工程师,主要研究方向为日历寿命、可靠性工程、数据融合和导航等。

**Biography:** WU Yun-zhang (1982—), Male, Ph. D., Engineer, Research focus: helicopter calendar life, data fusion method and Reliability.

防护设计、改进、故障分析提供使用环境输入条件和验证考核条件,其应用贯穿了装备设计、验证、使用、维修全过程。

欧美发达国家非常重视环境因素数据的采集工作,通过覆盖全球的众多站点的持续监测,累积了海量的环境因素数据资源,编制了各种实用性极强的标准、手册、技术资料,为武器装备的环境适应性设计、评估、改进以及装备定寿延寿等提供强有力的指导和基础数据支撑。如 MIL-HDBK-310《军用产品研制用全球气候数据》、MIL-STD-810G《环境工程考虑和实验室试验》第三部分“世界气候区指南”、美军条例 AR70-38《军用装备在严酷气候条件下的研究、开发、试验以及评估》、Defence Standard 00-35《国防装备环境手册》第四部分“自然环境”、国际电工委员会标准 IEC 60721-2-1《环境条件分类 第 2-1 部分 自然环境条件 温度和湿度》等等。

国内已有多篇文献报道了环境谱编制方法的研究<sup>[1-8]</sup>及部分工程应用<sup>[9-12]</sup>,机场气象环境因素记录较全,化学环境因素缺失。因此,文中针对机场环境因素,以气象环境因素为基础,以现场测量化学环境因素为补充,开展机场环境因素采集和机场环境谱编制工作。

## 1 内陆湿热地区环境因素数据监测项目

影响飞机(直升机)日历寿命的地面主要环境因

素分为气象环境因素和化学环境因素。虽然影响结构材料腐蚀/老化的环境因素很多,但就某一特定区域而言,可能只是其中几种环境因素在起主导作用。根据编制直升机地面停放环境谱的需要,内陆湿热环境下对直升机结构腐蚀/老化影响较为显著的气象环境因素主要有温度、湿度、降水(降雨量和降雨时数)、太阳辐射(日照时数、太阳总辐射、紫外辐射)等气象环境因素;较为显著且通常量值水平相对较高的大气污染物主要有大气中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_2$ 、氮氧化物  $\text{NO}_x$  和雨水中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、pH 值等。

特别指出,飞机(直升机)发动机运转时排放的尾气中常含有较多的氮氧化物,可能导致部队驻地大气环境中的氮氧化物含量较周围其他地区偏高,应重点持续监测机场驻地大气中氮氧化物  $\text{NO}_x$  的量值。

## 2 内陆湿热地区环境因素数据采集方案

外场户外环境因素可在驻地外场合适的固定地点开展采集。其中温度、湿度、太阳总辐射、紫外辐射、日照时数、降雨量、降雨时数等环境因素数据由便携式自动气象站持续自动监测,数据通常以平均值或累积值的形式每 1 h 采集记录 1 次,采集内容见表 1,自动气象站如图 1 所示。机库内的温度和湿度由便携式温湿度传感器持续自动监测,数据以平均值的形式每 30 min 采集记录 1 次。

表 1 机场外场气象环境因素监测项目与采集频率

Tab.1 Meteorological environmental factor monitoring items of airport outfield and collection frequency

序号	采集地点	项目	参数	监测频率	备注
1	机场气象站	温度	整点平均值	每天 24 h 连续监测	便携式自动气象站 自动采集
2		相对湿度	整点平均值	每天 24 h 连续监测	
3		风向风速	最多风向 平均风速	每天 24 h 连续监测	
4		降水	降水量 降水时数	每天 24 h 连续监测	
5		太阳辐射	0°总辐射 0°紫外光	每天 24 h 连续监测	
6		日照	日照时数 日照百分率	1 次/月	

太阳辐射量用自动气象采集系统采集,其采集方式如图 1 所示。辐射表 0°角水平放置。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》执行。

雨水在露天空旷的场地采集。 $\text{NO}_x$ 、盐雾(氯离子)、 $\text{SO}_2$  等环境因素在不直接接触雨水、通风又良好的地方采集; $\text{NO}_x$ 、盐雾(氯离子)、 $\text{SO}_2$  等环境因素的监测采用连续采样法开展——利用挂片器在规定时间内(通常

为一个月)进行大气沉积物的采集(如图 2 所示),用于分析大气污染物沉积率,采集内容见表 2。

雨水采样参照 GB/T 13580.2—1992《大气降水样品的采集与保存》执行, $\text{NO}_x$ 、盐雾(氯离子)、 $\text{SO}_2$  沉积率的采样参照 GJB 8894.1—2017《自然环境因素测定方法 第 1 部分:大气环境因素》执行。雨水 pH 值的测定按照 GB/T 13580.4《大气降水 pH 值的测定 电极法》执行。 $\text{NO}_x$ 、盐雾(氯离子)、 $\text{SO}_2$  沉积率

表 2 机场外场户外大气污染物监测项目与采集频率  
Tab.2 Atmospheric pollutant monitoring items of airport outfield and collection frequency

序号	采集地点	内容	参数	采样方式	平行样数量	监测频率	备注
1	机场气象站	NO <sub>x</sub>	沉积率	连续采样	3 个	1 次/月	
2	机场气象站	Cl <sup>-</sup>	沉积率	连续采样	3 个	1 次/月	
3	机场气象站	SO <sub>2</sub>	沉积率	连续采样	3 个	1 次/月	
4	机场气象站	雨水	pH 值	—	—	每次降雨	人工采集
			Cl <sup>-</sup> 含量	—	—	每次降雨	
5	机场气象站	雨水	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 含量	—	—	每次降雨	
			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 含量	—	—	每次降雨	



图 1 自动气象站

Fig.1 Automatic meteorological station



图 2 大气污染物沉降率的采集器

Fig.2 Collector of atmospheric pollutant sedimentation rate

的测定按照 GJB 8894.1—2017《自然环境因素测定方法 第 1 部分：大气环境因素》执行。雨水 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的测定按照 GB/T 13580.6《大气降水中硫酸盐测定》执行。雨水 Cl<sup>-</sup>的测定按照 GB/T 13580.9《大气降水中氯化物的测定 硫氰酸汞高铁光度法》执行。

### 3 环境谱编制

针对便携式自动气象站、温湿度传感器采集获得的气象环境因素数据和人工采集获取的大气污染物环境因素数据，对环境因素原始数据进行了详尽的统计分析，形成相应的月报表（见表 3）、年报表等，

表 3 某机场驻地 201X 年 1 月气象环境因素月报表  
Tab.3 Monthly report of meteorological and environmental factors in airport in January 201X

日期	温度/℃			相对湿度/%			平均风速/ (m·s <sup>-1</sup> )	太阳辐射/(MJ·m <sup>-2</sup> )			降雨	
	平均	最高	最低	平均	最大	最小		紫外光	红外光	总辐射	降雨量/mm	降雨时数/h
1 月 1 日	7.3	13.2	1.5	81	93	62	0.6	0.37	5.12	9.98	0	0
1 月 2 日	9.2	13.3	5.7	84	96	62	0.7	0.25	2.85	5.91	0	0
1 月 3 日	8.7	13.9	3.6	75	96	44	0.7	0.38	4.95	9.72	0	0
1 月 4 日	10.3	12.5	8.7	85	94	74	0.8	0.15	1.23	2.88	7.2	6.2
1 月 5 日	9.0	10.6	7.3	91	94	89	1.9	0.07	0.31	0.95	22.1	16.6
1 月 6 日	8.2	9.5	7.0	94	97	90	1.5	0.06	0.27	0.85	11.0	10.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1 月 31 日	2.2	5.7	-2.5	57	73	44	1.4	0.52	6.07	12.54	0	0
合计								9.62	121.45	244.62	53.1	40.4
平均		5.6			69		1.4					
温度	最高	15.2	日期	26	相对	最大	97	日期	6			
	最低	-8.5	日期	21	湿度	最小	23	日期	22			备注

为内陆湿热地区机场环境谱编制提供基础数据。

以机场近几年的气象环境因素统计数据为基础,月、年为单位,分析统计太阳辐射、温度、湿度等环境要素的强度、持续时间、发生频率以及时间比例,形成各单项环境要素月谱和年谱,如温度

谱(见表4)、相对湿度谱(见表5)、日照辐射谱(见表6)、降水谱(见表7)、酸雨谱(见表8)、温度-相对湿度谱(见表9)、污染介质谱等,然后对单项环境要素谱进行归并处理,形成机场综合自然环境谱(见表10)。

表4 机场温度谱  
Tab.4 Airport temperature spectrum

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年均温度
平均温度/°C	5.1	6.7	10.6	18.5	23.5	25.8	31.9	29.8	23.8	17.6	12.5	5.9	17.6
极高温度/°C								42					
极低温度/°C								-5.3					
温度/°C	≤0	1~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50		
作用时间/月	0	2	1	2	2	2	2	2	1	0	0	0	

表5 机场相对湿度谱  
Tab.5 Airport humidity spectrum

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年均相对湿度
平均相对湿度/%	69	62	62	61	62	71	68	77	81	78	67	63	69
极高相对湿度/%								99					
极低相对湿度/%								14					
相对湿度/%	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100					
作用时间/月	0	0	0	0	8	3	1	0					

表6 机场太阳辐射谱  
Tab.6 Airport solar radiation spectrum

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
总辐射/ (MJ·m <sup>-2</sup> )	244.62	307.54	398.25	510.38	566.43	480.39	603.61	455.64	331.09	323.79	284.93	261.01	4767.67
总红外/ (MJ·m <sup>-2</sup> )	101.077	126.71	172.52	231.89	269.71	246.7	315.21	248.49	177.88	160.86	121.46	97.61	2270.01
总紫外/ (MJ·m <sup>-2</sup> )	9.62	12.06	16.42	22.07	25.67	23.48	30.00	23.65	16.93	15.31	11.56	9.29	216.05
日照时数/h	134.9	148.5	170.4	210.2	238.8	162.4	260.0	180.3	136.2	130.9	151.6	154.7	2078.9

表7 机场降水谱  
Tab.7 Airport precipitation spectrum

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
降雨量/mm	53.1	33.9	48.1	98.3	76.6	260.1	78.2	200.1	31.1	5.3	8	8.3	901.1
降雨时间/h	40.4	22.4	39.0	35.1	26.6	28.0	24.0	44.1	44.4	29.1	4.2	4.3	341.5

表8 机场酸雨谱  
Tab.8 Airport acid rain spectrum

pH	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8
降水量/mm	0	0	0	0	40.4	248.2	44.4

表9 温度-湿度谱  
Tab.9 Temperature-humidity spectrum

温度/°C	<0	0~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40	>40	
RH<60%		38	223	555	414	379	375	407	260	171	8
相对湿度作用 60%≤RH<70%		22	183	238	174	178	177	177	278	7	0
70%≤RH<80%		54	156	195	185	256	294	275	167	0	0
时间/h 80%≤RH<90%		19	148	312	191	226	312	367	13	0	0
RH≥90%		0	78	256	226	215	417	134	0	0	0

表 10 机场综合自然环境谱  
Tab.10 Airport comprehensive natural environment spectrum

环境	雨	潮湿空气	日照
时间比例/%	6.9	66	23.7
作用时间/h	608.6	5783	2078.9
作用次数	116	269	—
pH	6.36	—	—
SO <sub>2</sub> /(mg·100 <sup>-1</sup> cm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	—	0.0464	—
NO <sub>2</sub> /(mg·100 <sup>-1</sup> cm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	—	0.1506	—
Cl <sup>-</sup> /(mg·100 <sup>-1</sup> cm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	—	0.0175	—
雨水 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /(mg·m <sup>-3</sup> )	8056	—	—
雨水 Cl <sup>-</sup> /(mg·m <sup>-3</sup> )	1515	—	—
雨量/mm	902.9	—	—
总辐射量/(MJ·m <sup>-2</sup> )	—	—	4767.67
红外辐射量/(MJ·m <sup>-2</sup> )	—	—	2270.01
紫外辐射量/(MJ·m <sup>-2</sup> )	—	—	216.05
极端温度/℃	42	-5.3	
极端相对湿度/%	99	14	
其他			

## 4 机场地区整体环境特征分析

1) 机场实测数据与同地区常年数据对比分析。机场驻地外场实测数据与同地区城市气象站 2004—2015 年数据对比, 在年平均温度、年平均相对湿度、年太阳总辐射、年日照时数、年降水总量等主要气象因素数据方面, 量值上无显著差异。由于大气污染物数据的采集较为复杂, 文献资料中公布城市相关数据极少, 无法开展比较。

2) 基于温湿度数据的气候类型分析。GB/T 4797.1—2005《电工电子产品自然环境条件 温度和湿度》中以温度和湿度的日平均值的年极值的平均值为依据对不同气候类型进行了划分。参照该标准, 机场驻地外场实测温湿度数据表明: 从年平均温度、湿热月时间、高低温范围、所处地域等方面定性判定, 机场驻地所处区域气候环境具有内陆湿热环境特点。

3) 机场大气腐蚀性分类。GB/T 19292.1—2003《金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性分类》中给出了依据大气潮湿时间、空气中二氧化硫含量和氯化物含量三个因素确定大气腐蚀性等级的方法。参照该标准, 机场实测数据表明(见表 10): 机场所处环境大气腐蚀性等级为 C3 级(腐蚀性中等), 见表 11。

## 5 结论

1) 分析了影响飞机(直升机)日历寿命的地面主要环境因素, 确定了内陆湿热地区环境因素数据监测项目。

表 11 机场大气腐蚀性等级  
Tab.11 Airport atmospheric corrosion level

地点	潮湿时间/ 对应等级	二氧化硫的沉 积率/对应等级	氯化物的沉积 率/对应等级	大气腐蚀 性等级
机场	4037 h/ $\tau_4$	4.6 mg/ (m <sup>2</sup> ·d)/P <sub>0</sub>	1.8 mg/ (m <sup>2</sup> ·d)/S <sub>0</sub>	C3

注: GB/T 19292.1 中将温度大于 0℃且相对湿度大于 80%的时间定义为潮湿时间( $\tau$ ); GB/T 19292.1 中给出的  $\tau_4$  等级对应的润湿时间为 2500 h< $\tau$ <5500 h, P<sub>0</sub> 等级对应的二氧化硫沉积率为  $P_d \leq 10$  mg/(m<sup>2</sup>·d), S<sub>0</sub> 等级对应的氯化物沉积率为  $S \leq 3$  mg/(m<sup>2</sup>·d)。

2) 开展了机场环境因素实测, 针对环境因素进行数据统计, 形成月报表。分析统计太阳辐射、温度、湿度等环境要素的强度、持续时间、发生频率以及时间比例, 形成各单项环境要素月谱和年谱。然后对单项环境要素谱进行归并处理, 形成机场综合自然环境谱。

3) 机场环境均具有典型的内陆湿热地区非工业环境特点, 大气腐蚀性等级中等(C3 级)。

4) NO<sub>x</sub> 沉积率在机场大气污染物中占比高。

5) 量化了内陆湿热地区服役直升机面临的使用环境, 为内陆湿热地区直升机环境适应性考核验证和腐蚀防护设计提供了依据。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 蒋祖国. 飞机载荷-环境谱的编制[J]. 航空学报, 1994, 15(1): 76-81.  
JIANG Zu-guo. The Compiling of Aircraft Load-environment Spectra[J]. Acta Aeronautica ET Astronautica Sinica, 1994, 15(1): 76-81.
- [3] 蒋祖国, 田丁栓, 周占廷. 飞机结构载荷/环境谱[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.  
JIANG Zu-guo, TIAN Ding-shuan, ZHOU Zhan-ting. Aircraft Load/Environment Spectra[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012.
- [4] 陈群志, 刘桂良, 崔常京, 等. 军用飞机结构局部环境谱编制的工程方法[J]. 装备环境工程, 2006, 3(2): 53-56.  
CHEN Qun-zhi, LIU Gui-liang, CUI Chang-jing, et al. Engineering Method on Establishment of Local Environmental Spectrum for Military Aircraft Structure[J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(2): 53-56.
- [5] 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 Spec-

- trum[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2011, 8(2): 93-96.
- [6] 张福泽. 飞机停放日历寿命腐蚀温度谱的编制方法和相应腐蚀介质的确定[J]. *航空学报*, 2001, 22(4): 359-361.  
ZHANG Fu-ze. Method for Drawing up Corrosion Temperature Spectrum of Aircraft Calendar Life and Determination of Respective Corrosion Medium[J]. *Acta Aeronautica ET Astronautica Sinica*, 2001, 22(4): 359-361.
- [7] 周希沅. 飞机结构的当量环境谱与加速试验谱[J]. *航空学报*, 1996, 17(5): 613-616.  
ZHOU Xi-yuan. Equity Environmental Spectrum and Speed Test Spectrum for Aircraft Structure[J]. *Acta Aeronautica ET Astronautica Sinica*, 1996, 17(5): 613-616.
- [8] 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.
- [9] 蒋祖国. 飞机结构腐蚀疲劳[M]. 北京: 航空工业出版社, 1992.  
JIANG Zu-guo. Corrosive Fatigue of Aircraft Structure [M]. Beijing: Aeronautical Industry Publishing House, 1992.
- [10] 张福泽, 叶序彬, 宋军. 飞机日历寿命试验的介质成分确定和加速方法[J]. *航空学报*, 2008, 29(4): 873-879.  
ZHANG Fu-ze, YE Xu-bin, SONG Jun. Corrosion Medium Composition and Accelerated Corrosion Method of Aircraft Calendar Life Test[J]. *Acta Aeronautica ET Astronautica Sinica*, 2008, 29(4): 873-879.
- [11] 吴云章, 李健. 高原环境对直升机日历寿命影响研究[R]. 北京: 陆军航空兵研究所, 2016.  
WU Yun-zhang, LI Jian. The influence of Helicopter's Calendar Life in Plateau Enrionment[R]. Beijing: Army Aviation Research Institute, 2016.
- [12] 李健, 吴云章, 李伯舒, 等. 基于电化学阻抗的直升机涂层日历寿命评估方法[J]. *装备环境工程*, 2017, 14(7): 79-82.  
LI Jian, WU Yun-zhang, LI Bo-shu, et al. Estimate Method of Calendar life of Helicopter's Coating Based on Electrochemical Impedance[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2017, 14(7): 79-82.
- [13] 吴云章, 李健. 内陆湿热地区陆航直升机地面停放环境谱编制[R]. 北京: 陆军航空兵研究所, 2018.  
WU Yun-zhang, LI Jian. Compiling the Environmental Spectrum of Army Aviation Helicopter Ground Parking on Humid and Hotter Inland[R]. Beijing: Army Aviation Research Institute, 2018.