

# 飞机结构环境谱初探

周希源 俞树奎

(陕西省长安县4号信箱, 长安, 710100)

## RESEARCH OF ENVIRONMENTAL SPECTRUM FOR AIRCRAFT STRUCTURE

Zhou Xi-yuan, Yu Shu-kui

(Box 4, Province Shaanxi, Country Changan, 710100)

**摘要** 本文给出环境谱的定义及编谱的基本方法。对总体气候/化学环境因素的分布和随时间变化的规律进行了探讨。统计分析了我我国各气候区和飞机典型使用地区的总体环境, 提供了气温、湿度、太阳辐射、二氧化硫、海水盐度及盐雾等国内实测数据。

**关键词** 环境谱, 环境试验, 结构完整性

**Abstract** According to the strength and rigidity specification and structural integrity program, it is necessary to verify the structural integrity of airplane structures under climatic/chemical/thermal environments. This paper presents the definition of the environmental spectrum and the basic methods of how to draw up the spectrum. The distribution of the total climate/chemical environment and the variational law with respect to time are investigated. The total environments for various climate regions and typical flying regions of aircraft are statistically analyzed, and the observed data, including atmosphere temperature, air humidity, solar-radiation, sulphur dioxide, seawater salinity and salt fog etc, are provided. All of these investigations can be used for structural integrity test under environmental spectrum and for reference of environmental research.

**Key words** environmental spectrum, environmental test, structural integrity

## 0 概 述

强度规范及结构完整性大纲, 要求在飞机整个寿命期内, 机体结构在气候/化学/热环境作用下, 应具有足够的结构完整性。在飞机的使用寿命和日历寿命期中, 各种环境因素也与载荷一样, 随时间的变化而随机地作用于机体, 也呈谱一样的变化。

结合我们的实践, 环境谱的定义应该是“飞机所经受的环境历程, 包括每一种环境的强烈度、持续性、发生频率和作用顺序等, 以及它们的组合及顺序”。

1991年1月25日收到, 1991年6月10日收到修改稿

## 1 飞机结构环境谱的编谱原则

根据环境的性质及对结构影响的敏感度,考虑分析和试验验证的可能性,采用不同编谱原则。急剧作用的环境,对结构也很敏感的,如气动加热和机动载荷,一般应先拟定实时环境谱,然后加以简化和加速。对缓慢作用环境,可简化成平均谱或缓慢的程序块谱施加。对多种环境同时作用,而试验难以模拟,也可以简化成分段交替施加。

### 1.1 气候带平均谱<sup>[1]</sup>

对飞机的设计,不可能对某些地区和航线进行专门设计,也不可能明确每架飞机将来使用的地点和航线,只能按较大的地区进行设计。参考文献[2]将世界分成热、基本、冷和极冷3个气候区,中国大部属于基本气候区,黑龙江北部及西藏高原属冷区,没有极冷区。

按所划分地区各代表气象站各月最高/最低气温月平均值的包络值给出地区平均谱,如果需要考虑气温极值对结构的影响,可在最热月中施加1%极值高温和在最冷月施加20%极值低温。因为各地对飞机的使用不均衡,可按飞机在各地的分布进行加权处理,这样得出的环境谱是加权平均谱。

### 1.2 典型地区环境谱

由于我国幅员辽阔,气候千差万别,考虑结构及材料对环境敏感程度不同,有时需把地区划得更细一些。国家科委材料工程学部将中国分成6个区,并考虑农村、城郊与工业大气的不同,选择11个地区代表点形成大气腐蚀试验网站。综合结构腐蚀、湿热、老化等各方面的需要,我们建议将我国分成7个区,各区都有典型站,如考虑海航飞机腐蚀的现状,可分设计基本区、湿热区、温和沿海与湿热沿海4个区域。按所划区域,对环境数据进行统计分析,给出在一定置信度和可靠度要求下的环境谱为地区统计分析谱。文献[3]把飞机环境分为W、C、B、F4类,并给出实验室特定环境条件的权系数,按权系数组合成环境谱,是加权组合环境谱。

### 1.3 环境加速试验谱

气候/化学环境谱的组成是十分复杂的,实际模拟试验所需的时间是极其漫长的,有些几乎是不可能的。所见到的结构与材料在环境条件下的耐久性试验,大部分是加速试验,而环境加速试验谱的设计,必须反映结构和材料在环境中的损伤型式,又要和实际环境下的损伤建立起当量关系,否则就不能对耐久性的定量分析和飞机日历寿命试验验证提供可靠依据,因此环境加速试验谱及其当量关系的建立,是环境条件下耐久性技术和给定飞机日历寿命的技术关键。

## 2 气候环境谱

气候环境因素为:温度、湿度、压力、太阳辐射、降水、风、雾、盐、固体沉降物及臭氧等。

### 2.1 气温谱

#### 2.1.1 地区气温谱

在一天 24 h 中，气温有个最高值  $t_{max}$ ，一般出现在 14~15 时，而最低气温出现在凌晨 4~7 时，日出之前，可用式(1)表示

$$t(s) = \frac{1}{2} (t_{max}^m + t_{min}^m) + \frac{1}{2} (t_{max}^m - t_{min}^m) \sin\left(360 \frac{s-8}{24}\right) \quad (1)$$

当  $m = 7$  月  $(31 - n_{ex}^H + 1) \leq n \leq 31$  时  
 $t_{ex}^H \rightarrow t_{max}^7$

当  $m = 1$  月  $(31 - n_{ex}^c + 1) \leq n \leq 31$  时  
 $t_{ex}^c \rightarrow t_{min}^1$

气温的年变化，在陆地上，气温 7 月、8 月最高，1 月最低；海上以 8 月最高，2 月最低。根据各地气象台站的气温记录，得到当地 1 月~12 月各月平均最高气温  $t_{max}^m$  及最低气温  $t_{min}^m$ ，将  $t_{max}^m$  及  $t_{min}^m$  代入(1)式，则(1)式代表该地  $m$  月各日的气温变化，如果某地极端最高气温  $t_{ex}^H$ ，超过 35℃ 的天数为  $n_{ex}^H$ ，极端最低气温  $t_{ex}^c$ ，出现的天数为  $n_{ex}^c$ ，则(1)式代表该地  $m$  月  $n$  日  $s$  时的气温变化。如果  $t_{max}^m$  及  $t_{min}^m$  取一个气候带的气温值，则式(1)代表气候带平均谱。

根据文献[4]收集到的数据，在表 1 中给出我国基本及冷气候区 1 月~12 月的最高/低月平均气温值，并用图 1 表示两个区的气温谱。

表 1 中国基本及冷气候区月平均气温值

气候区	月 平均月℃	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		基本气候区	$t_{max}^m$	25.7	24	26	30	33	33	39.9	37.5	29.5	28
	$t_{min}^m$	-26	-24	-11	-2	5	11	16	14	7	-2	-14	-25
	$t_{ex}$	-39						47.6					
冷气候区	$t_{max}^m$	16	18	20	24	25	29	30	29	29	24	23	19
	$t_{min}^m$	-37.3	-33	-21	-8	2	8	8	8	1	-8	-25	-25
	$t_{ex}$	-52.5						35					

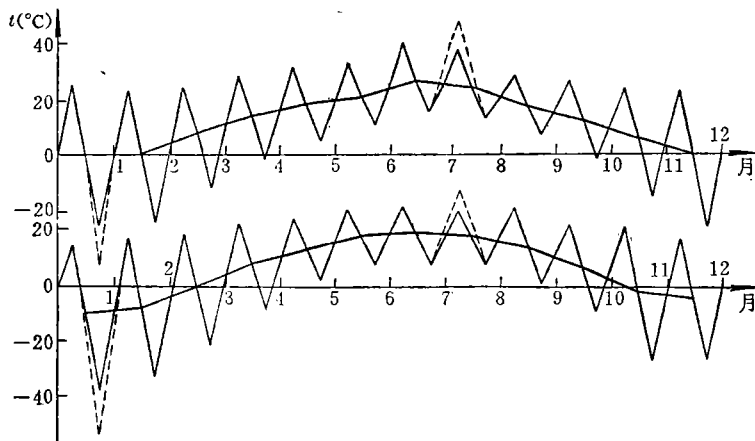


图 1 气候带平均谱

表 2 中国气温的标准垂直分布

高度	H(km)	0	11	20	30
气温	t(°C)	15	-56.5	-56.5	-16.5
温度梯度	L(°C/km)	-6.5	-6.5	0	1

2.1.2 气温的垂直分布

根据国[6]标规定气温的垂直分布如表2。实际上各地高空气温值与标准大气温度都有偏移，文献[6]统计了我国 43 个台站在各等压面上 7 时及 19 时的最高及最低气温的 10 年记录，给出我国高空非标准大气分布，如图 2 所示。

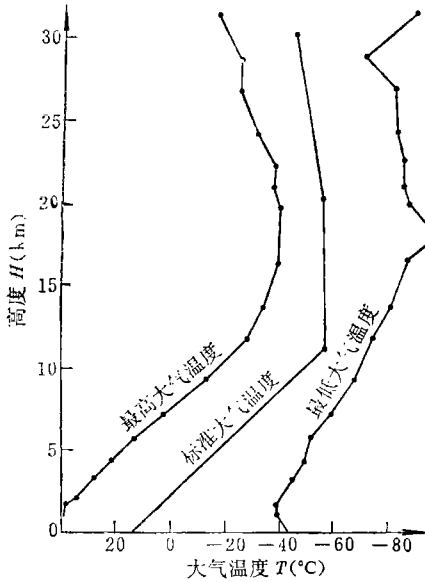


图 2 中国标准气温与非标准气温随高度的变化

2.2 湿度与降水

2.2.1 湿度

水气压的日变化在陆地与海洋不一样，在陆地，日出前及日落后有两个高值；在海上，最高值出现在午后，最低值出现在清晨。然而水气压的日变化幅度较小，可略去不计。由于气温日变化幅度较大，大气的饱和水气压变化也较大，大气的相对湿度变化也大，最大相对湿度  $f_{max}$  出现在清晨，最低值  $f_{min}$  出现在午后，用(2)式表示

$$f(s) = \frac{1}{2} (f_{max}^m + f_{min}^m) + \frac{1}{2} (f_{max}^m - f_{min}^m) \cos\left(360 \frac{s-2}{24}\right) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{当 } m = 7 \quad 1 \leq n \leq 3 \quad f_{ex}^H &\rightarrow f_{max}^m \\ \text{当 } m = 1 \quad 1 \leq n \leq 3 \quad f_{ex}^L &\rightarrow f_{min}^m \end{aligned}$$

如用气候带第  $m$  月的最高/低月平均相对湿度  $f_{max}^m/f_{min}^m$  之值代入，则(2)式是气候带湿度谱。

表 3 中国基本及冷气候区相对湿度的月平均值

相对湿度(%)	最高月平均值	最低月平均值	极大	极小
气候区	$f_{max}^m$	$f_{min}^m$	$f_{ex}^H$	$f_{ex}^L$
基本气候区	85	30	100	0
冷气候区	78	25	100	0

2.2.2 湿度与高度的关系

大气中的水汽<sup>[7]</sup>，来自江河湖海，借助空气的垂直交换向上传输。观测表明，在1.5~2km水汽含量已减少为地面的一半；在5km处减少为1/10；再向上就更少了。6 km以上，气温常年都在0℃以下，各种云都由冰晶和过冷水滴组成。文献[8]给出11城市10年0~6km高空相对湿度记录，并将统计结果表示于图3。

2.2.3 降水

降水对飞机结构腐蚀有重要影响，由于水渗入结构缝隙，以及积存于结构下面，都会使腐蚀的进程活化而加速，据统计降水最多在7~8月，基本气候区最大月平均降水可达300 mm，月降水天数最多可达20天，冷气候区为139mm，最长达22天。降水形式有雨、雪、雹、霰等。

2.3 太阳辐射

2.3.1 太阳对机体表面的辐射量

大气顶部单位面积上太阳辐射总量 $Q_a = S \cos Z$ ，太阳常数 $S = 135.3 \text{ mw/cm}^2 = 1.94 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ ， $Z$ 为天顶角， $Q_a$ 通过大气减低至 $Q_s$ ，其中24%由云层反射，3%由气体、尘埃、水蒸气反射回宇宙，3%被云吸收，14%由气分子、尘、水汽吸收，22%由天空漫射至地面，31%由光辐射至地面。根据分析<sup>[9]</sup>，可采取<sup>[10]</sup>所推荐的设计值，高太阳辐射设计取 $1.64 \text{ gm-cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ ，低太阳辐射设计取 $0.36 \text{ gm-cal/cm}^2 \cdot \text{min}$

2.3.2 太阳辐射对机体加热的实测与分析

飞机在外场，机体温度与气温并不一致，白天受太阳辐射的加热，温度高于气温，夜

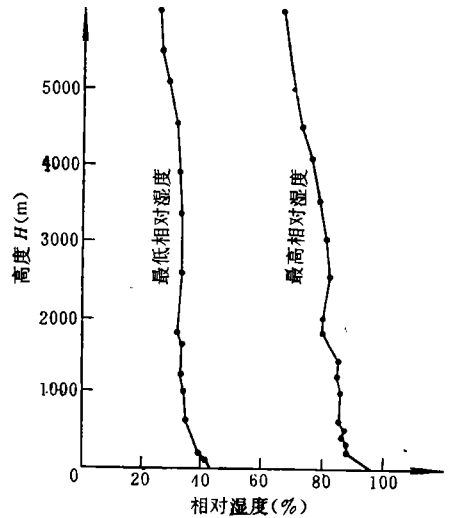


图3 中国0~6 km最高/低累年平均相对湿度

表4 太阳辐射对机体加热的实测值

地点 时间	T(°C) 部位				
	机翼上表面(铝)	机身上表面(铝)	前起支柱(钢)	前起轮胎(橡胶)	坐舱盖(有机玻璃)
黑龙江齐齐哈尔 1988年1月	+3.5	+3.5	+4.5	+14	+3
	-5.5	-5	-2.5	-1.5	-5
内蒙海拉尔 1988年1月	+9	+8.5	+3	+13.5	+8.5
	-5.5	-6	-3.5	-3	-7.5
新疆阿维滩 1988年5月	+4.5	+8	+3	+23	+5
	-5	-5.5	-4.5	-4	-5
【新疆鄯善 1988年5月	+3	+5.5	-1	+1	+2
	-3.5	-4	-4.5	-4	-4
海南陵水 1988年8月	+5.5	+7.5	+10	+12	+7.5
	-6.5	-5.5	-2.5	-4	-4.5

晚由于金属散热快又低于气温,想用理论计算这样复杂的热场十分困难,因此世界各国多采取实测记录的方法解决。由于我国起步较晚,缺乏实测记录,现仅将我们对3个典型气候区的实测记录<sup>[12]</sup>汇总列入表4,表中比气温高为+;低为负。机舱蒙皮在太阳辐射下,热向舱内传导,使舱内温度高于气温,文献[16]推荐周期为1h取87.8℃,周期为6h,取65.6℃,我们实测达56℃。当然我们尚未测到最高温度,密闭舱升温问题值得注意。

### 3 化学环境谱

导致飞机结构腐蚀的主要化学环境因素为:二氧化硫、酸雨、海水及盐雾。

#### 3.1 二氧化硫的分布与谱变化

表5列出我国典型地区及典型地点的SO<sub>2</sub>值。民航机场一般离城20~30km,军用机场更远,前者取城市浓度的70%,后者取50%。SO<sub>2</sub>的日变化,早晚6h高值,系数1.8;中午6h,取0.2,其余取1.0。SO<sub>2</sub>的季变化明显,以年日均值为1,冬、春、夏、秋各按1.7,0.85,0.6,0.85取值。

表5 中国典型地区SO<sub>2</sub>浓度值(mg/m<sup>3</sup>)

典型地区	城市数	年日均值	冬季日均值	典型城市	年日均值	冬季日均值
设计基准区	49	0.096	0.192	北京	0.119	0.28
湿热区	43	0.110	0.149	重庆	0.397	0.57
温和沿海区	7	0.119	0.187	青岛	0.249	0.501
湿热沿海区	11	0.073	0.096			
中暖带	21	0.064	0.126	齐齐哈尔	0.027	0.044
暖温带	26	0.126	0.220	北京	0.119	0.28

#### 3.2 酸雨

我国以pH值5.6为酸雨划线标准,全国27省市189个监测站,采集水样24737个,测得单次降水pH在2.82~11.11之间,表6列出各区降水pH值。酸雨的年变化不明显,8月频次最低,2月最高。

表6 中国各区降水pH值

典型地区	全国	设计基准	湿热区	温和沿海	湿热沿海	中温带	暖温带
平均值	6.07	6.3	5.32	5.9	5.2	6.51	6.15
典型地点		北京	广州,重庆,武汉	青岛		嫩江	北京
平均值		6.3	5.6,4.5,5.6	5.6		6.65	6.3

#### 3.3 海水盐度

盐度是海水腐蚀和海雾腐蚀的重要因素,世界大洋的平均盐度为3.472%,赤道低两极高,呈马鞍形。中国沿海近岸及河口区低,外海高。各海及典型地区盐度如表7。全年6个月取平均值,3个月取平均值+0.25%,3个月取-0.25%。为简化起见取平均值。

表 7 中国各海海水盐度(‰)

海 区	年平均	最 高	最 低	典 型 地 区			典 型 地 点		
				温 和 沿 海	最 高 最 低 平 均	33.99 28.95 31.01	青 岛	最 高 最 低 平 均	31.31 30.29 31.14
渤海	30.28	31.20	28.93	温 和 沿 海	最高	33.99	青 岛	最高	31.31
黄海	31.74	33.99	29.35		最低	28.95		最低	30.29
东海	32.99	34.56	12.82		平均	31.01		平均	31.14
南海	33.85	34.62	30.63	湿 热 沿 海	最高	34.62	海 南 岛	最高	34.50
北部湾	32.83				最低	27.31		最低	27.31
西沙,南沙	33.50				平均	32.18		平均	32.18

### 3.4 盐雾

海洋附近大气中, 由于海浪水沫飞散, 使含有盐分的海水水滴混入大气, 形成水汽凝结的核心, 是海面上海雾生成重要原因, 低空大气含盐量与海岸距离有极大关系, 距海岸 20km, 含盐量降低 50~100 倍。从获得数据来看, 我国东南沿海盐雾含量的月平均值在 0.1069~0.742 mg/m<sup>3</sup> 范围内, 年平均值为 0.148~0.48 mg/m<sup>3</sup>。典型地区年平均值为: 汕头 0.4161, 广州 0.1729, 湛江 0.3774, 海口 0.2794, 舟山 0.4802, 可取平均值 0.3452。

### 参 考 文 献

- 1 周希沅. 环境谱研究报告. 航空航天部热强度研究所, JB 8911 1989; 9~15
- 2 MIL-STD 810 D. 环境试验方法和工程导则. 1983.7. 航空工业部 301 研究所, 1985; 10~13
- 3 飞机结构耐久性与损伤容限设计手册 (三). 航空航天部科学技术研究院编撰出版, 4-1~4-9
- 4 周惠群. 中华人民共和国按区划部分数据. 航空航天部热强度研究所, JB 8805 1988; 1~25
- 5 GB 1920-80. 标准大气 (30 公里以下部分). 1981; 3~3
- 6 史纪华. 我国大气温度的研究. 第三机械工业部峨眉研究所, 1981; 33~37
- 7 周淑贞主编. 气象学与气候学. 高等教育出版社, 1984; 13~13
- 8 安顺清, 吴其助等. 中国 11 城市中低空相对湿度资料. 中央气象局, 气象科学研究院天气气候研究所, 气象出版社, 1980; 423~426
- 9 周希沅, 俞树奎. 飞机结构的环境谱. 航空航天部热强度研究所, JB 9012, 1990
- 10 Glenn E. Daniels, Editor. Terrestrial Environment (Climatic) Criteria Guidelines for Use in