

# 无线电设备结构设计

国防工业出版社

# 无线电设备结构设计

《无线电设备结构设计》编写组

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书是根据线路设计人员应具备必要的结构设计知识的要求,由厂、校结合编写而成。

全书共分六章。第一章叙述影响无线电设备工作可靠性的诸因素,即提出矛盾。第二章至第六章分别讨论解决矛盾的方法,即从结构和工艺方面提出一系列措施(如散热;防潮、防盐雾、防霉菌;振动和冲击的隔离;元部件的布局 and 屏蔽;手动调谐和自动调谐;整机结构设计;元件材料的选择和使用等方面),来保证无线电设备稳定可靠的工作。

本书可作为无线电路专业学习无线电设备结构设计的教材,也可供从事无线电设备研制的工人、技术人员参考。

### 无线电设备结构设计

《无线电设备结构设计》编写组

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京第二新华印刷厂印刷

国防工业出版社印刷厂装订

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张18<sup>7</sup>/<sub>8</sub> 434千字

1978年7月第一版 1978年7月第一次印刷 印数: 00,001—47,000册

统一书号: 15034·1686 定价: 1.95元

(限国内发行)

## 前 言

一九七三年七月，在武汉召开的无线电技术与通信专业座谈会上，遵循毛主席“教材要彻底改革”的教导，为了适应电子工业发展和教育革命的需要，根据工厂向院校提出的线路设计人员应具备必要的结构设计知识的要求，确定由厂、校结合编写本书。

在编写过程中，我们先后在有关工厂、院校进行了调查研究，一面学习，一面搜集整理生产、试制的实践经验总结和有关资料，于一九七四年六月编出了《无线电设备结构设计基础》试用讲义。几年来，多所院校用这本书进行过教学。在进一步听取了来自生产实践和教学实践方面的要求和意见后，我们进行了三次较大的修改。在定稿前，又组织有关工厂、院校有实践经验的同志和专业人员对书稿进行了认真的审定。

本书是在南京无线电厂的主持下，由西北电讯工程学院、南京航空学院、天津大学、南京工学院和西安交通大学派出教师共同编写的。在编写过程中，有关工厂、院校和科研单位积极热情的提供了大量宝贵资料和很多很好的意见，在此，表示衷心的感谢。

在编写本书时，我们以辩证唯物论和历史唯物论为指导，力求贯彻理论联系实际的原则，着重揭示与分析事物本身固有的矛盾，既有一般的原理，又有具体的经验，以利于提高学员分析问题和解决问题的能力。便于自学。对于近年来设备结构方面应用的新技术，书中也作了一些反映。考虑到本书是无线电技术与通讯专业所使用，因此，在内容安排上偏重无线电通讯设备的整机结构。

由于我们政治思想水平和业务水平低，实践经验少，难免有缺点错误，恳切地希望广大读者批评指正。

《无线电设备结构设计》编写组

# 目 录

<b>第一章</b>	<b>工作环境对无线电设备的影响及设备的可靠性</b>	<b>1</b>
1-1	环境条件对无线电设备的影响	1
1-2	无线电设备的可靠性	15
<b>第二章</b>	<b>无线电设备的防护</b>	<b>31</b>
2-1	无线电设备的散热	31
2-2	无线电设备的化学防护	55
2-3	无线电设备的防振和防冲击	70
<b>第三章</b>	<b>无线电设备中的屏蔽及元件布局</b>	<b>84</b>
3-1	寄生耦合的形式及屏蔽的一般原理	84
3-2	典型元件的屏蔽及安装	97
3-3	放大器中寄生反馈的抑制及放大器的结构	107
3-4	印制电路的设计	119
<b>第四章</b>	<b>无线电设备的调谐和控制</b>	<b>130</b>
4-1	手动调谐机构和控制机构	130
4-2	机电式自动调谐系统概述	156
4-3	机电式自动跟踪系统分析	160
4-4	强放自动波段转换系统分析	182
4-5	自动频率调谐系统分析	182
4-6	天线自动调谐系统分析	183
附录一	圆柱齿轮传动设计	189
附录二	轴、轴承和联轴器	195
<b>第五章</b>	<b>无线电设备整机结构设计</b>	<b>202</b>
5-1	整机结构设计基本知识	202
5-2	整机结构设计分析	205
5-3	整机机械结构	213
5-4	面板及操纵控制装置	231
<b>第六章</b>	<b>无线电设备常用元件和材料</b>	<b>240</b>
6-1	绝缘材料	240
6-2	电容器	250
6-3	磁性材料	262
6-4	高频电感线圈	275
6-5	电阻器	285

# 第一章 工作环境对无线电设备的影响及设备的可靠性

## 1-1 环境条件对无线电设备的影响

无线电设备已广泛地应用于国防和国民经济的各部门。就其用途来说，有通讯、广播、电视、导航、定位、遥控和遥测等；就其工作位置来说，有室内的、野外的、海上的、水下的、高空的等；就设备的运载工具来说，有汽车、火车、坦克、舰船、飞机、火箭、导弹、卫星等。这些说明了无线电设备所处的环境是相当复杂的，而我们则要求设备在复杂的环境条件下能正常可靠地工作。为此，应了解环境条件及其对无线电设备的影响，采取相应的防护措施，以达到使用的要求。

### 一、气候条件及其对无线电设备的影响

#### 1. 我国气候区的划分

根据我国气候特征，按照温度、湿度和气压的不同，将我国分成五个区：东南区、西北区、东北区、高原区和全国范围<sup>(1)</sup>。五个区的极限气候条件见表 1-1。

表1-1 全国五个气候区

		东南区	西北区	东北区	高原区	全国范围
极 限 气候条件	极热(℃)	43	48	40	33	48
	极冷(℃)	-20	-53	-50	-34	-53
	极大湿度(毫巴)●	42	25	35	20	42
	极小湿度(毫巴)	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0
	极高气压(毫巴)	1045	1000	1035	750	1045
	极低气压(毫巴)	900	850	900	630	630

● 绝对湿度也常用气压的单位毫巴来表示。它们之间的换算关系是：绝对湿度 =  $0.8 \frac{e}{1 + \frac{t}{273}}$  (克/米<sup>3</sup>)。式中：

$t$ —大气温度℃； $e$ —温度为  $t$ ℃时的水汽压，毫巴。

极限气候条件是指在若干年的气象记录中，在每一地区，每一气候因素的最大值或最小值。

东南区、西北区、东北区、高原区划分与地理位置有关，但主要是根据气候特征。全国范围是人为制定的，全国范围的极限气候条件是上述四个区中最恶劣的气候条件的综合。

需要注意的是，应该根据设备具体使用场合的气候条件来设计制造设备。例如，设备若是固定于东南区使用，则主要是满足耐湿热的要求；若是在东北区使用，则主要是满足

耐寒要求。如果固定于东南区或东北区使用的设备按全国范围的气候条件要求——既耐湿热又耐寒，则是不合理的。这是因为，设计制造一个既耐湿热又耐寒的设备要比设计制造一个仅仅耐湿热或仅仅耐寒的设备，不仅技术复杂而且成本也高得多。反之，如果在全国范围使用的设备按某一气候区的条件来制造，则该设备在其它区使用就往往不能正常工作。

有些无线电设备（包括元器件）的测试，要求在正常气候条件下进行。正常气候条件是：

温度：15~35℃

相对湿度：45~80%

大气压力：650~800 毫米汞高（约为 860~1060 毫巴）

## 2. 无线电设备的环境气候条件

无线电设备除在自然气候条件下使用外，还常常在许多不同的运载工具中使用，如汽车、舰船、飞机等。由于运载工具也处在一定的自然气候条件下，因此，运载工具中的设备所处的环境气候条件，有些则与自然气候条件相同。但是，运载工具又有其本身的特点，例如，在 11000 到 12000 米的高空，气温是 -55~-60℃。然而对于超音速飞机来说，由于空气动力增温的缘故，有些机种的设备舱的温度竟达 120℃ 的高温。又如，在大气温度为 30℃ 的情况下，通讯车在露天日光下同时关窗和开油机，车内最高温度达 63.9℃。因此，运载工具中的设备所处的环境气候条件，有些又与自然气候条件不同。一般来说，高温条件更为恶劣。

对不同场合下使用的无线电设备的环境气候条件要求，见表 1-2。某工厂无线电通讯设备的环境要求见附录 1-1。

表 1-2 是设备的环境气候条件。至于设备内部的元器件的环境气候条件（又称微气候条件）与设备的气候条件有相同之处，也有不同之处。当设备不工作时，是相同的；当设备工作时，一般是不相同的，尤其是高温条件。一般来说，由于电子元器件本身的发热将使温度升高，例如坦克内的温度为 49℃，坦克电台内的最高温度为 76℃。因此元器件的低温条件要比设备的低温条件好些；而元器件的高温条件要比设备的高温条件更恶劣。为了保证设备的可靠性，对元器件从严要求：低温条件按设备的低温贮存条件要求，而高温条件则按元件本身工作时的最高温度要求。

## 3. 气候条件及其对无线电设备的影响

气候条件除包括温度、湿度、气压等主要因素外，还包括盐雾、大气污染、灰沙、日光照射等因素。此外，把霉菌、辐射也列入气候条件内。

(1) 温度 表 1-1 中所列我国最低气温为 -53℃，这是在离地面 1~2 米高的百叶箱内测得的温度。地面温度由于受辐射冷却作用就更低，最大的可比百叶箱内的温度低 12.6℃ 左右，即达 -65℃。高空的大气温度也是很低的，从地面到 20000 米高空的气温平均递降率是：从地面到 1500 米为 0.4℃/100 米；从 1500 米到 5000 米为 0.5℃/100 米；5000 米以上为 0.6~0.7℃/100 米。20000 米<sup>●</sup>以下大气温度与高度的关系见图 1-1。高空

● 25公里以下高空气候参阅《中国高空气候》，中央气象局编，科学出版社出版，1975年。更高空的气候参阅《人造地球卫星环境手册》，人造卫星环境手册编写组编，国防工业出版社出版，1971年。

表1-2 地面军用无线电设备的环境气候条件要求<sup>①</sup>

环境条件要求	露天固定使用设备					室内固定使用设备					地下工事固定使用设备					便携式设备	坦克、装甲车 用设备	通讯、雷达车 车辆用设备	快艇用设备	一般舰艇用设备		短期贮存		
	东南区	西北区	东北区	高原区	全国	东南区	西北区	东北区	高原区	全国	东南区	西北区	东北区	高原区	全国					露天设备	舱室设备			
热 耐 热 性 要 求	极热条件(℃)	43	48	40	33	48	43	48	40	33	43						48	70	70	60	39	46	70	
	持续时间(小时) <sup>②</sup>	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4						10、4、6、4	8、4、5、1、2、4	8、4、5、1、2、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	
	温度(℃)	30↗40↘	30↗45↘	25↗36↘	12↗30↘	30↗45↘	30↗40↘	30↗45↘	25↗38↘	10↗30↘	30↗45↘						30↗45↘	35↗50↗65↘	35↗50↗65↘	30↗50↘	28↗35↘	33↗43↘	30↗65↘	
	持续时间(小时)	12、5.5、1、5.5	12、5.5、1、5.5	12、5.5、1、5.5	12、5.5、1、5.5	12、5.5、1、5.5											12、5.5、1、5.5					12、5.5、1、5.5		12、5.5、1、5.5
	太阳辐射强度 (卡/厘米 <sup>2</sup> ·秒)	0↗1.8↘	0↗1.8↘	0↗1.5↘	0↗2.0↘	0↗2.0↘											0↗2.0↘					0↗1.8↘		0↗2.0↘
	风(米/秒)	1~2					1										1~2		1~2		1~2			
承受天数	5	5	2	2	5	5	5	2	2	5						5	5	5	2	5	5	5	2	
冷 耐 冷 性 要 求	极冷条件(℃)	-20	-52	-50	-34	-52	-5	-30	-30	-20	-30						-55	-55	-55	-26	-26	-26	-55	
	持续时间(小时)	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4						10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	8、4、8、4	8、4、8、4	8、4、8、4	8、4、8、4	10、4、6、4
	温度(℃)	-15↗-5↘	-40↗-30↘	-45↗-35↘	-30↗-15↘	-45↗-35↘	-5↗5↘	-20↗-10↘	-20↗-10↘	-10↗-10↘	-20↗-10↘						-45↗-35↘	-45↗-35↘	-45↗-25↘	-16↗-12↘	-16↗-12↘	-16↗-12↘	-16↗-12↘	-45↗-35↘
	风(米/秒)	0					0										0		0		0			
承受天数	5	5	10	5	10	5	5	10	5	10						10	10	10	5	5	5	5	2	
湿 耐 潮 热 性 要 求	极大水汽压(毫巴)	42	25	35	20	42	42	25	35	20	42						42	42	42	42	42	42	42	
	持续时间(小时)	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4						根据具体设备 选用丛林内、 坑道内、 露天下的要求	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	根据具体设备 选用丛林内、 坑道内、 露天下的要求
	温度(℃)	27↗33↘	20↗30↘	23↗28↘	12↗18↘	27↗33↘	27↗33↘	20↗30↘	23↗28↘	12↗16↘	27↗33↘	28	15	15	15	28	根据具体设备 选用丛林内、 坑道内、 露天下的要求	27↗33↘	27↗33↘	29↗32↘	29↗32↘	29↗32↘	29↗32↘	根据具体设备 选用丛林内、 坑道内、 露天下的要求
	湿度(%)	97↘80↗	85↘60↗	97↘85↗	85↘60↗	97↘80↗	97↘80↗	85↘60↗	97↘85↗	85↘60↗	97↘80↗	近于饱和					97↘80↗	97↘80↗	95↘80↗	95↘80↗	95↘80↗	95↘80↗		
	风(米/秒)	1					0.5					0					0		0		0			
承受天数	20	2	2	2	20	20	2	2	2	20	视贮存和使用时间决定					20	20	30	30	30	30	5~10		
干 耐 干 性 要 求	极小水汽压(毫巴)	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0						0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0	
	持续时间(小时)		10、4、6、4		10、4、6、4			10、4、6、4		10、4、6、4							同全国 露天设备	8、4、5、1、2、4	8、4、5、1、2、4					同全国 露天设备
	温度(℃)		30↗45↘		-30↗-15↘			30↗45↘		-30↗-15↘							同全国 露天设备	35↗50↗65↘	35↗50↗65↘					同全国 露天设备
	湿度(%)		20↘5↗		20↘5↗			20↘5↗		20↘5↗							同全国 露天设备	20↘5↗	20↘5↗					同全国 露天设备
	风(米/秒)		2		2			1		1							同全国 露天设备	0	0					同全国 露天设备
承受天数		5		5			5		5							同全国 露天设备	5	5					同全国 露天设备	
大气压力	极高气压(毫巴)	1045	1000	1035	750	1045	1045	1000	1035	750	1045	1045	1000	1035	750	1045	1045	1045	1045	1045	1045	1045	1045	
	极低气压(毫巴)	900	850	900	630	630	900	850	900	630	630	900	850	900	630	630	630	630	630	880	880	880	630	

① 表中所列只是气候条件中的一些主要要求，对于在不同场合下使用的设备还有一些其它要求，如耐盐雾、霉菌、大气污染、灰沙等。

② 根据温度在一天中的变化情况，可分为四个阶段：

1. 夜晚九点多钟以后到第二天日出，约十个小时，是低温恒定时段。
2. 日出后到十点多钟，约四个小时，是温度上升时段。
3. 十点多钟到下午四、五点钟，约六个小时，是高温恒定时段。
4. 下午四、五点钟以后到晚上九点左右，约四个小时，是温度下降时段。

示例：东南区耐热性要求中有一栏为：

持续时间(小时)10、4、6、4

温度(℃)30↗40↘

含意是：在一天24小时中，有10个小时是低温恒定阶段，温度为30℃；然后温度逐渐上升，经过4个小时后，温度上升到40℃，此40℃温度要持续6个小时；然后温度再下降，经过4个小时后，温度降低到30℃；此后又是低温恒定阶段……





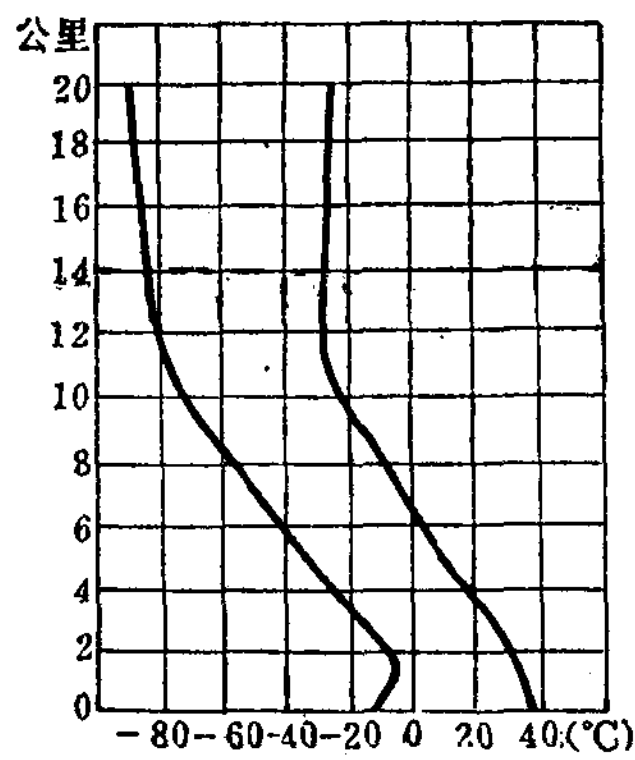
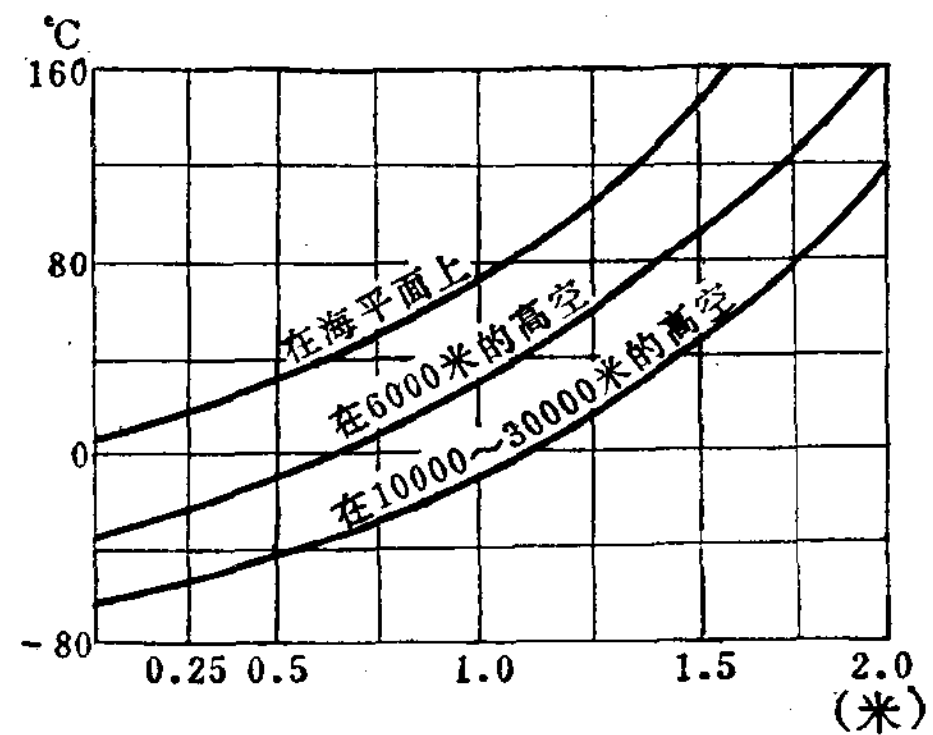


图1-1 大气温度与高度的关系

图1-2 飞行器蒙皮增温数与M值的关系  
(M—航速/音速)

中的最低气温可达 $-90^{\circ}\text{C}$ 。

表1-1中所列我国最高温度为 $48^{\circ}\text{C}$ ，这也是百叶箱内的温度。地面气温由于直接受热辐射作用，温度将增高到 $70^{\circ}\text{C}$ 。至于某些元件的工作温度就可能更高。前面曾提到，即使在气温很低的高空，由于飞行体的速度高，引起空气动力增温<sup>●</sup>，使飞行体外壳温度剧增，见图1-2。如果没有隔热装置，则会传入设备内部引起高温。

在沙漠地区，昼夜温差较大，达 $40^{\circ}\text{C}$ ；在严寒地区，室内外的温差就更大；飞机在起飞、降落、高速爬升或俯冲时，温度变化也很剧烈；这些都属于高温和低温作交替变化的环境条件。高低温循环变化对设备的影响比仅仅是高温或低温的影响大得多。因此温度试验包括高温、低温、温度冲击和温度循环等四种。

低温试验<sup>(2)</sup>用来考核低温对电子元器件的影响，确定在低温条件下工作和贮存的适应性。低温等级分为：

$-10$ ， $-25$ ， $-40$ ， $-55$ ， $-65$ 等五个试验温度 $(^{\circ}\text{C})$

试验时间(小时)分为：

$0.5$ ， $1$ ， $2$ ， $4$ ， $6$ ， $8$ ， $16$ ， $24$ ， $48$ ， $72$ 等十种。

高温试验<sup>(3)</sup>用来考核高温对电子元器件的影响，确定在高温条件下工作和贮存的适应性。高温等级分为：

$+40$ ， $+55$ ， $+70$ ， $+80$ ， $+100$ ， $+125$ ， $+155$ ， $+200$ ， $+250$ 等九种试验温度 $(^{\circ}\text{C})$ 。

试验时间(小时)分为：

$0.5$ ， $1$ ， $2$ ， $4$ ， $6$ ， $8$ ， $16$ ， $24$ ， $48$ ， $72$ 等十种。

温度冲击试验<sup>(4)</sup>用来考核电子元器件承受大气温度迅速变化的能力。

等级分为：

1) 低温 $T_A$ ，在低温等级： $-10^{\circ}\text{C}$ 、 $-25^{\circ}\text{C}$ 、 $-40^{\circ}\text{C}$ 、 $-55^{\circ}\text{C}$ 、 $-65^{\circ}\text{C}$ 中选定一个温度；

2) 高温 $T_B$ ，在高温等级： $+40^{\circ}\text{C}$ 、 $+55^{\circ}\text{C}$ 、 $+70^{\circ}\text{C}$ 、 $+85^{\circ}\text{C}$ 、 $+100^{\circ}\text{C}$ 、 $+125^{\circ}\text{C}$ 、 $+155^{\circ}\text{C}$ 、 $+200^{\circ}\text{C}$ 、 $+250^{\circ}\text{C}$ 中选定一个温度；

● 空气动力增温  $\Delta t \approx \eta \frac{v^2}{2000}^{\circ}\text{C}$ 。式中 $v$ —飞行速度(米/秒)； $\eta$ —附面层的温度恢复系数 $0.85 \sim 0.9$ 。

- 3) 高、低温下保持时间  $t_1$  按试品的重量、体积及结构等的不同, 在下列等级中选定: 保持时间 (小时)  $t_1$  分为: 0.5、1、2、4、8;
- 4) 转换时间  $t_2$ : 2~3 分钟;
- 5) 循环次数: 3 次或 5 次 (视要求规定);
- 6) 一次循环的过程如图 1-3 所示。

温度循环试验<sup>[5]</sup>用来考核电子元器件在短期内反复承受温度变化的能力。

等级划分与温度冲击试验基本相同, 不同的只是规定高、低温下保持时间  $t_1$  为 30 分钟, 转换时间  $t_2$  为 15 分钟。

(2) 湿度 大气中有水蒸汽的微粒。大气中含水份的多少常用两种方法表示: 绝对湿度和相对湿度。

绝对湿度是指在一定温度时, 单位体积空气中的含水量。当空气中的水汽能凝聚成雾云或小水滴时, 这种状态称为湿度饱和状态。随着温度的不同, 单位体积空气中的含水量也不同。空气被水蒸汽饱和时, 单位体积 (1 分米<sup>3</sup>) 空气中的含水量的极限数据见表 1-3<sup>[6]</sup>。

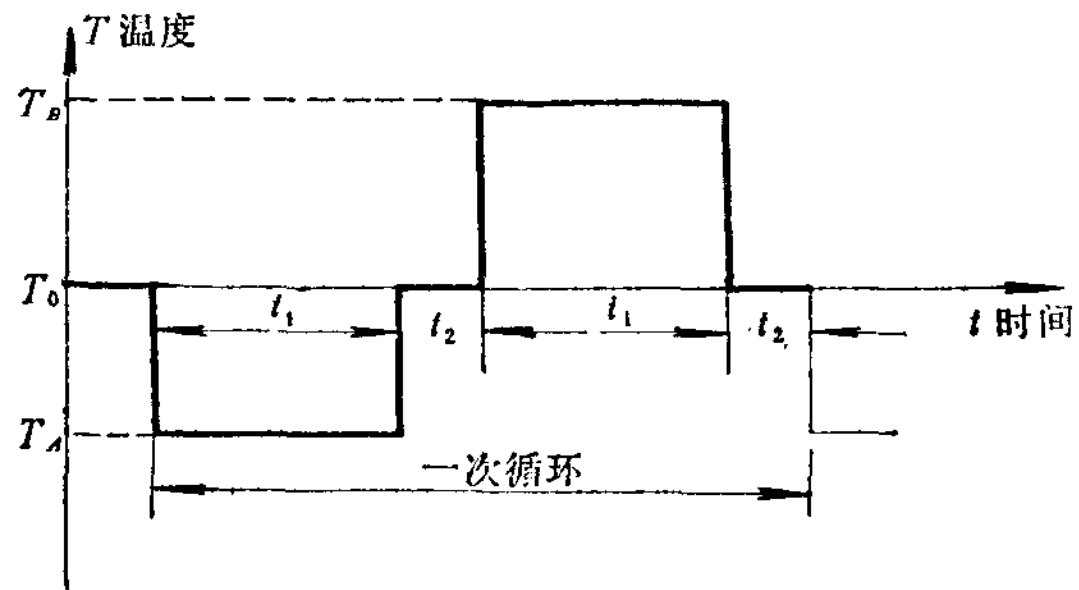


图1-3 温度冲击试验循环过程图

表1-3 湿度饱和时单位体积空气中的含水量

温度(°C)	-20	0	20	40	60
单位体积(分米 <sup>3</sup> )空气中含水量(克)	0.001	0.005	0.017	0.051	0.13

相对湿度是指在一定温度时, 空气中的实际含水量与饱和值之比, 用百分率表示。这是常用的表示方法。在正常温度下, 正常的相对湿度为 50~80%。当相对湿度小于 40% 时, 空气可被认为是干燥的; 当相对湿度大于 80% 时, 空气被认为是潮湿的; 当相对湿度为 100% 时, 则空气处于湿度饱和状态。

当空气的相对湿度大于 65% 时, 任何物体表面均附着一层厚度为 0.001~0.01 微米的水膜。当空气的湿度饱和时, 水膜厚度可增加到 10 微米。当相对湿度高于 90% 以上时, 湿度增高 1% 对无线电产品产生的影响要比温度增高 1~2°C 产生的影响大。相对湿度持续时间愈长, 产生的影响愈大。

空气湿度与温度有关, 见图 1-4<sup>[6]</sup>。在绝对湿度不变的情况下, 相对湿度随温度升高而降低, 随温度降低而升高。这一关系对空用无线电设备来说尤为重要。空用设备一般是密封的, 绝对湿度是不变的, 当飞机在高空飞行时, 大气温度较低, 相对湿度就会增加。如图 1-4 所示, 假设在 20°C 时相对湿度为 65% (曲线 II 的 a 点); 当冷却到 13°C 时, 水分并未改变 (仍为 0.011 克/分米<sup>3</sup>), 但相对湿度却提高到 100%, 即达到饱和状态● (曲线 I 的 b 点); 再继续冷却就要产生水分的凝结, 到 0°C 时 (曲线 I 的 c 点) 每 1 分米<sup>3</sup> 空气中

● 绝对湿度一定时, 随着温度的降低相对湿度升高, 当相对湿度达到 100% 时的温度称为“露点”。在露点以下将出现凝结的水滴——凝露现象。

就要有 0.006 克的水汽凝结成为水滴。

东南区的平均湿度虽然很大，但在每一天，由于夜里与白天的温度不同，因此湿度也不同<sup>●</sup>。夜里温度偏低，相对湿度较高（可达 100%）；白天温度偏高，相对湿度较低（约为 80%）。因此，曾出现通讯设备在白天能正常联络而到夜里由于湿度大，元件参数变化，从而联络不上的现象。

当相对湿度保持不变时，温度愈高，水汽对设备的影响愈大。这是因为温度高，水汽的压力增大，材料的间隙也增大，水分子愈容易从空间进入材料的内部。因此高温高湿的影响是相当严重的。当湿、热在一定范围内交替变化时，会进一步加速材料的吸潮和腐蚀过程。因此，鉴定电子元器件在高相对湿度并伴有温度变化条件下工作和贮存的适应性，最好采用交变湿热的试验方法。考虑到工厂当前的设备条件允许暂作恒定湿热试验。

(3) 气压 在地球的大气层中，气压随高度的增加而减小见表 1-4。

表1-4 气压与高度的关系

高度(公里)	0	3	3.658 (拉萨)	5	10	17	22	27	35	45	70
气压 (毫米汞高)	750	525	477	400	200	64	33	15	5	1	$5 \times 10^{-2}$

气压也可用大气压、毫巴等单位表示。它们之间的关系是：1 大气压 = 760 毫米汞高 = 1013 毫巴。

随高度增加，气压降低，抗电强度将发生变化。试验结果表明：在 5000 米以下，每升高 100 米，抗电强度降低 1%；在 30000 米高空，抗电强度比地面下降 11 倍。

随高度增加，气体密度减小，依靠空气对流的散热条件变差。据测试，在 5000 米以下，每升高 100 米，由于对流散热条件变差会使设备温度升高 0.4~1°C。在 10 公里的高空，对流散热能力将比地面降低 1 倍。

对于在高海拔地区使用的设备，由于气温随高度增加而下降与因散热困难而带来的温升大致上相互抵消，因此可不作与温度共同作用的低气压试验而做纯低气压试验。

对于 9000 米左右高空飞行的低速（音速以下）飞机，空气动力增温不大，约 15°C 左右，而环境温度约 -55°C，因此一般来说，对低速飞机上使用的设备应做低温低气压试验。

对于高速飞机，由于空气动力增温随飞行速度增大而急剧升高，如歼击机在一次 12300

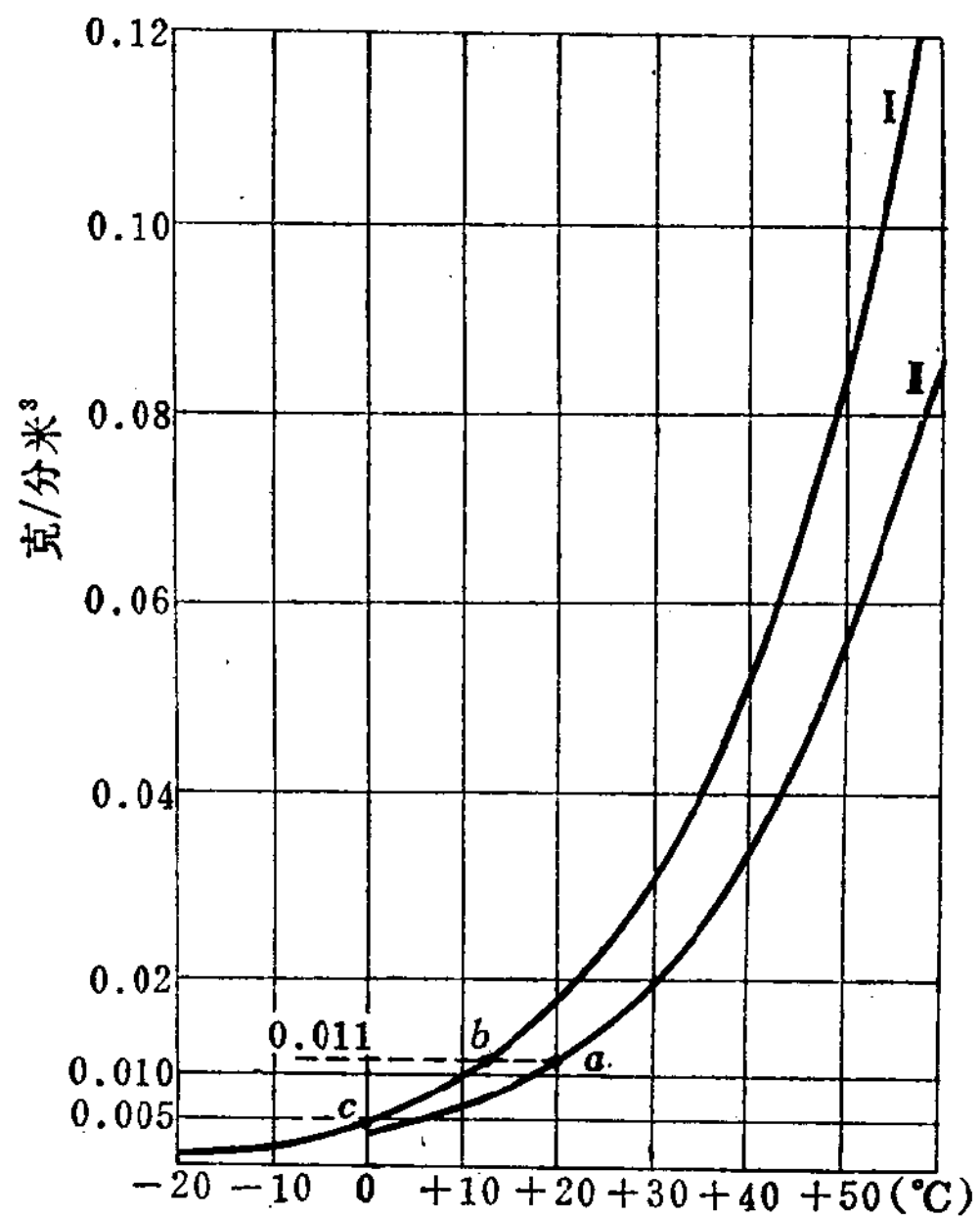


图1-4 空气湿度和温度的关系曲线  
I—饱和值；II—相对湿度为65%的曲线。

● 在热带丛林或在坑道中，由于温度变化不大，所以昼夜都是处于很高的湿度下。

米高度以二倍音速飞行时，前舱空间（进气道壁附近）气温达 $+74.6^{\circ}\text{C}$ ，因此在高速飞机和其它高速飞行体上使用的设备应进行高温低气压的试验。

在高空，气密封设备机壳的内侧将受到压力的作用，机壳两侧的压力差可达1个大气压（1公斤/厘米<sup>2</sup>）。

在深水中，气密封设备机壳的外侧将受到强大压力的作用。压力随着设备下水深度的增加而增加，每10米深度约增大1个大气压。

（4）盐雾 海水中含有盐份。盐雾主要是由于海水的浪花和击岸时喷散，或由于气流卷带海水中的盐份而形成。盐雾颗粒直径在1~5微米范围内。

盐雾的表达形式有两种：盐雾含量和盐雾沉积量。

盐雾含量是指单位体积（米<sup>3</sup>）海洋空气中的含盐量（毫克）。

盐雾沉积量是指在单位时间内（时、日、月或年）沉积在单位面积（米<sup>2</sup>）上的盐雾量（毫克），例如毫克/米<sup>2</sup>·天。

对设备有直接影响的是盐雾沉积量。

目前，盐雾试验主要用来检查金属镀层的耐腐蚀性能。当盐雾与高温、高湿结合在一起时，影响将更严重。

需要注意的是，有些镀层在大气中暴露的结果和盐雾试验的结果正相反。因此，盐雾试验与湿度试验不能互相代替，也不能代替大气污染腐蚀的试验<sup>[1]</sup>。

（5）大气污染 在大气中存在着多种工业废气，如二氧化硫、氯化氢以及各种化学烟雾等，形成各种酸、碱、盐溶液，从而引起金属腐蚀、有机材料性质变化。

（6）霉菌 湿热地区存在有霉菌，特别是在温度为 $25\sim 32^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度80%以上、阴暗不通风的地方，霉菌会很快地繁殖。

（7）灰沙 大气中存在着大量直径为 $0.005\sim 0.02$ 毫米的灰尘，含量可达 $20\sim 60$ 毫米<sup>3</sup>/米<sup>3</sup>。沙漠地区除了灰尘外，还有大量平均直径约为0.5毫米的砂子。

（8）日光照射 太阳光线中，红外线占50%，紫外线占6%，其它为可见光部分。红外线与紫外线将对露天设备产生影响。太阳光的辐射强度用单位时间（秒或月或年）照射在单位面积（厘米<sup>2</sup>）上的热量（卡或千卡）来表示，例如卡/厘米<sup>2</sup>·秒。

（9）辐射 在外层空间和靠近原子反应堆、粒子加速器工作的电子设备，就存在着辐射影响的问题<sup>●</sup>。

气候条件对整机性能的影响，通常是由于在气候条件的影响下，元件和材料的电参数发生变化及机械变形或损坏所造成。气候条件对无线电元件和材料的主要影响概括于表1-5中。

## 二、机械条件及其对无线电设备的影响

无线电设备在正常工作时存在有机械作用的是调谐机构、控制机构和旋转天线系统等。这些运动机构损坏的主要原因之一是磨损，长期磨损所造成的结果是设备寿命缩短，然而这是一种正常的情况。但是，当设备在运载工具中使用或处于运输过程中时，设备还承受外界的机械力的作用，可能造成严重的后果。

● 辐射的类型及辐射对电子元器件的影响见参考资料[11]，[7]。

表1-5 气候条件对无线电元件材料的主要影响

气候条件	影 响	结 果	
温 度	高 温	材料软化 化学分解和老化反应 设备过热 油的粘度降低 金属的膨胀不同 金属氧化加速	结构的强度减弱 元件材料电性能变化, 甚至损坏 元件损坏、着火、低熔点焊锡缝开裂或焊点脱开 轴承损坏 活动部分被卡住、紧固装置出现松动、接触装置接触不良 接点接触电阻增大, 金属材料表面电阻增大
	低 温	材料变脆 油和润滑脂粘度增大 材料的收缩不同 元件的性能改变 密封橡胶硬化	结构的强度减弱、电缆损坏、蜡变硬、橡皮发裂等 轴承、开关等产生“粘滞”现象 活动部分被卡住, 插头、插座、开关片等接触不良 铝电解电容器损坏, 石英晶体往往不振荡, 蓄电池容量降低, 继电器接点烧结 气密设备的泄漏率大
	高 低 温 循环变化	剧烈的膨胀与收缩产生内应力, 交替的凝露、冻结与蒸烤	加速了元件、材料的机械损伤和电性能变化
湿 度	高 湿	水蒸汽沉积 吸收水分 金属腐蚀 化学性质的变化 水在半密封设备中凝聚	绝缘电阻降低, “导电小路”和飞弧出现, 介电常数增大, 介质损耗增大 某些塑料零件隆起和变形, 电性能变化, 结构破坏等 结构强度减弱, 活动部分被卡住, 表面电阻增大, 电接触不良, 其它元件材料受到腐蚀物的沾污 材料发生溶解和变化 所有上列故障都可能出现
	干 燥		木材、皮革和纤维织物之类的材料变干而发脆
	湿 热 交 替 变化	材料毛细管的“呼吸作用”	加速材料的吸潮和腐蚀过程
气 压	高 气 压	气密设备中的应力	结构损坏、漏泄
	低 气 压	空气抗电强度降低 空气介电常数减小 气密设备中的应力增大 散热困难 冷焊	使击穿容易发生飞弧、电晕等现象增加 元件电参数发生变化 密封外壳变形, 焊缝开裂, 结构损坏, 漏泄 设备温度升高 机械动作困难
盐 雾	金属腐蚀 绝缘材料腐蚀	对含镁量高和具有相互接触的不相同金属腐蚀尤为严重, 结构强度减弱 产生凹点, 表面电阻和抗电强度降低	
大 气 污 染	金属腐蚀 化学性质的变化	某些塑料膨胀, 损耗增大	
霉 菌	霉菌吞噬和繁殖 吸附水分 分泌酶	所有有机材料和部分无机材料强度降低, 甚至损坏, 活动部分被阻塞 元件、材料表面绝缘电阻降低, 介质损耗增大 金属腐蚀	
灰 尘 和 沙	进入活动部分 静电荷增大 吸附水分	轴承、开关、电位器和继电器等损坏, 电接触不良 产生电噪声 降低元件、材料的绝缘性能	
日 光	设备过热 光化效应	元件损坏, 着火 有机材料加速老化和分解, 油漆褪色和剥落, 软橡皮发硬开裂, 抗张强度降低	
大 风	对天线、结构产生应力	结构损坏	
辐 射		参考资料[11]、[7]	

机械条件通常是指振动、碰撞、冲击和离心加速度的作用。

在机械力的作用下，设备强度不够就会产生机械变形或机械损坏。如支架的破裂，底座由于长时间振动而发生疲劳破坏，结构由于受到大载荷的作用而产生过应力等。

设备在机械力的作用下，电气指标会发生改变，甚至完全不能工作，这大多是由于设备内元器件在机械力作用下电参数发生变化或完全损坏的缘故。

在机械力的作用下：当元件的固有谐振频率与振动频率一致时，会引起共振，振幅很大，其结果造成对元件的破坏也很大；即使固有频率与振动频率不一致，也会由于长期交变力的作用而导致疲劳损坏，如元件引线断裂、电缆损坏等；元件、导线的变形或位移会使电容量（包括分布电容）发生变化，线圈的铁粉心移动会使电感量变化，这些都造成回路失谐、工作状态被破坏；对接触元件（如电位器、波段开关、继电器、微调电容器、插头插座等），可能造成接触不良、甚至完全不接触；紧固将减弱，如螺钉、螺母松动，电子管从管座跳出等；锡焊或熔焊处可能会开裂而破坏密封等；脆性材料，如玻璃、陶瓷、聚苯乙烯元件可能发生破裂；电源变压器的 50 赫（或谐波 100 赫）的机械振动，可能会使振荡器产生寄生调制，等等。

无线电设备在不同的运载工具中使用，所受的机械力作用是不同的。

需要指出的是，对于同一种运载工具如汽车，随汽车的类型、载重量、速度等不同，振动、冲击的情况也就有所不同。即使对于同一类型的运载工具如飞机，在飞机上的不同部位——发动机附近、机身、机翼和机尾，振动、冲击等情况又会有所不同。因此振动、冲击的具体参数应根据设备的具体应用场合、安装部位来确定。

### 1. 振动<sup>(13)</sup>

振动是一种重复的交变力的作用，它使设备在外力作用下产生周期性的往复运动（简谐运动）。产生振动的主要来源是运载工具上的发动机。

振动试验有两种：稳定性试验和强度试验。

振动稳定性试验，主要是检查试品在振动频率范围内有无共振点，以及振动中试品的工作情况（此时试品应接通电源处于工作状态）。

振动强度试验，主要是检查试品在较长时间振动下的适应能力，检查产品的工艺、结构及材料是否有违反规定要求的情况。

振动试验有三个参数：振幅、频率和时间。振幅也时常用加速度来表示，它们之间的关系是：

$$a = \frac{1}{250} \cdot f^2 A_0 (g)$$

式中  $a$  ——加速度（单位是重力加速度  $g = 9.8 \text{ 米/秒}^2$ ）；

$f$  ——振动频率（赫）；

$A_0$  ——单振幅（毫米）。

振幅大小和振动频率高低，根据具体应用场合决定。振动试验的理想时间应该等于设备的使用寿命，但这样试验时间就要很长，会使振动设备受到限制，产品出厂周期受到影响，因而是困难的。因此，常用材料的典型疲劳极限（振动  $10^7$  次）来确定振动试验的时间。振动  $10^7$  次，用高频电磁振动台约需 7~15 小时，用低频机械振动台约需 55.5~122 小时。如果产品处于稳定生产时期，那么振动时间可以缩短（如某厂用 40 分和 60 分，见

附录 1-1)。实践证明，产品工艺结构上的明显问题通过短期的振动试验一般能暴露出来。现在也有用提高振动加速度（如加大 1 倍）以缩短试验时间的方法。

应该注意的是，客观环境中的振动往往不是单一频率的振动，而是许多频率的振动的叠加。目前振动试验所采用的频率分段法<sup>①</sup>和低频固定法<sup>②</sup>，不能如实地反映客观情况。因此，国内已逐步采用对数式扫频振动<sup>③</sup>，在低频范围采用直线扫频振动<sup>④</sup>。

## 2. 碰撞和冲击<sup>〔14〕〔15〕</sup>

在实际使用和运输的条件下，遇到经常重复出现的冲击力，如飞机的降落、车辆在崎岖的路面上行驶，这种冲击的特点是具有重复性，次数较多，波形一般是半正弦波。称这种情况为碰撞。

另一种是在运输或使用过程中遇到的非经常性的、非重复性的冲击力，如炸弹的爆炸、设备的跌落、车辆的碰撞或急刹车等。其特点是不经常遇到的，次数少，加速度大。称这种情况为冲击。

表征碰撞和冲击的参数有：

1) 冲击波形，不同的波形其频谱成分不同，对元器件的影响各有不同。在这两种试验中，我们均采用近似半正弦波。

2) 冲击加速度，它反映冲击力的大小，在其他条件一定时，加速度越大，冲击力越大，破坏作用就越大。

3) 冲击脉冲持续时间，表征冲击力作用时间的长短，时间越长，冲击能量越大，对元器件性能的影响就越大。因为只要冲击脉冲持续时间与冲击力作用的机械系统的固有周期相比为短时，则冲击的猛烈度只由冲击脉冲的面积决定，因此必须考虑冲击脉冲的持续时间。考虑到破坏有积累作用，因此总冲击次数也是一个重要参数。

又由于冲击波形的正向和反向显然不一样，正向能量大，反向能量小，对试品的一个轴的两个方向考核不一致，因此冲击或碰撞试验必须在试品的三个互相垂直轴的两个方向上进行。

表 1-6 所列为通用环境条件，是编制有可靠性指标的电子元器件产品技术标准时优先选用的参考依据。

这些参数都是根据设备的具体应用场合而定。例如飞机正常降落时的冲击加速度为 4~8g，在 1~2 秒内有 2~3 次冲击，在飞机的使用寿命中约有 5000 个飞行起落，因此对飞机用设备的冲击试验，加速度可选为 6g，冲击频率为 60~80 次/分，冲击次数约  $10^4$  次。

应该注意的是，冲击脉冲的持续时间的大小对产品有一定影响。有一些结构上机械惯性较大的产品，在很小的冲击脉冲持续时间内（如 2 毫秒以下）隐藏着故障不易暴露出来；而在冲击脉冲持续时间较长（如 10~20 毫秒）的情况下则容易暴露出来。因此冲击试验还必须规定冲击脉冲持续时间，否则产品的薄弱环节就得不到应有的考验。

- ① 频率分段法是将整个振动频率范围分成若干个小段，再一个小段一个小段进行振动试验。如附录 1-1 中所示，振动稳定性试验将 10~55 赫分成四段：10~20 赫，20~30 赫，30~40 赫，40~55 赫。
- ② 低频固定法是固定在某一低频上进行振动试验。如附录 1-1，振动强度试验是固定在 50 赫频率上。
- ③ 对数扫频振动。振动过程中包含有各种不同的高低频率成分，且频率的变化速度（赫/分钟）随频率的增高而加快（扫描频率近似按 10 为底的对数变化），这些与实际情况较相似。采用的设备是高频电磁振动台。
- ④ 低频范围直线扫频式振动，是指频率为 5~55 赫，频率变化是均匀的，故又称均速扫描。



表1-6 有可靠性指标的环境条件<sup>(17)</sup>

项 目	内 容			
环境温度℃	负 温: -55(-40) 正 温: +70, +80, +125, +155 优先组合: -55~+85, -55~+125			
相对温度	+40℃, 达98%			
大气压力(毫米汞高)	800~350	800~7.5	(800~7.5) 800~5×10 <sup>-2</sup>	800~5×10 <sup>-2</sup>
振动	10~55赫 5g	10~100赫 10g	10~2000赫 15g	10~2000赫 20g
碰撞	15g, 16毫秒 4000次	25g, 10毫秒 4000次	25g, 100毫秒 4000次	40g, 6毫秒 4000次
冲击	—	50g, 6毫秒 六个方向共18次	75g, 6毫秒 六个方向共18次	150g, 2毫秒 六个方向共18次
离心	—	25g	50g	100g
参考用途	室内、地面固定和舰上电子设备用元器件	地面移动(车载、坦克)、艇上、机载电子设备用元器件	导弹、卫星用元器件	导弹、卫星、宇宙飞行体用元器件

实践经验指出: 设备由于振动而引起的损坏大大超过冲击所引起的损坏。例如, 在通讯设备中振动损坏率比冲击损坏率大四倍。能经受 50~70g 冲击的元器件, 在持续振动环境中, 最大也只能承受 2~3g 的振动<sup>(6)</sup>。

冲击的特点是, 瞬时加速度很大, 即瞬时作用力很大而造成元器件损坏; 振动的特点是造成元器件的疲劳损坏。损坏原因不一样, 因此这二种试验不能互相代替。

跑车试验<sup>①</sup> 既是一种运输试验, 考核包装质量, 同时也是一种振动与冲击的综合试验, 目前常为工厂所采用。

### 3. 离心加速度<sup>(16)</sup>

离心加速度是运载工具加速或变更方向时所产生的。

离心加速度为

$$a = 0.0011Rn^2 (g)$$

式中  $a$  ——离心加速度 (单位为  $g$ );

$R$  ——旋转中心至设备几何中心的距离 (米);

$n$  ——试验台每分钟转速。

电子设备实际所承受的离心加速度是不大的, 歼击机的离心加速度一般为 3~6g、最大不超过 12g (导弹的离心加速度约为 45g, 炮弹的最大离心加速度可达 20000g)。一般设备所受到的离心加速度均小于此值。目前对设备或元器件做离心加速度试验主要是为了检查某些产品的结构完整性和可靠性, 而且试验所用离心加速度值较实际情况大, 甚至很大。例如为了检查半导体器件内部结构的完整性, 常采用 10000g 以上的加速度进行

① 载重汽车在三级公路上用30公里/小时的速度行驶约300公里。