

低气压环境下的电子元器件可靠性解析

一、低气压环境

在地球引力作用下，空气依附在地球周围，形成大气层，大气层从地面一直向上延伸到数百公里高空。地球的引力使空气具有一定重量形成大气压力，在某高度上的大气压力，是该点以上垂直于地面的单位面积上整个空气柱的重量。

大气压是各向同性的，即在某一点上，不管在哪个方向上测量大气压都是相等的。大气压力的大小主要取决于海拔高度，随高度的增加，大气压力逐渐降低，大气逐渐变得稀薄。高度接近于 5.5km 处，大气压力降低到大约海平面标准大气压值的一半；接近 16km 处的大气压力为标准海平面值的 1/10；在接近 31km 处的大气压力为海平面标准大气压值的 1/100。

大气压力的降低，必然对高海拔地区使用的电工电子产品产生影响。我国约有 50% 的地球表面积高于海平面 1000m，约有 25% 的面积高于海平面 2000m。压力梯度越大，压力改变得越快，元器件损坏的机会就越多。

二、低气压环境对电子元器件的影响

No. 01 对散热产品影响

电工电子产品中有相当一部分是散热产品，如电机、变压器等，这些产品在使用中要消耗一部分电能，使其变成热能，使产品温度升高。散热产品的温升随大气压的降低而增加。表 1 列出了小型三向异步电动机温升随海拔高度的变化。

表1

| 地点 | 上海 | 西安 | 太原 | 贵阳 | 昆明 |
|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 海拔高度/m | 4.6 | 411.9 | 783.7 | 1071.2 | 1922 |
| 气压/kPa | 101.270 | 96.474 | 92.258 | 89.101 | 80.268 |
| 温升/°C | 49.5 | 51.0 | 52.3 | 53.6 | 55.2 |

由表 1 可以看出：散热产品的温升随海拔高度的增加（大气压力的降低）而增加

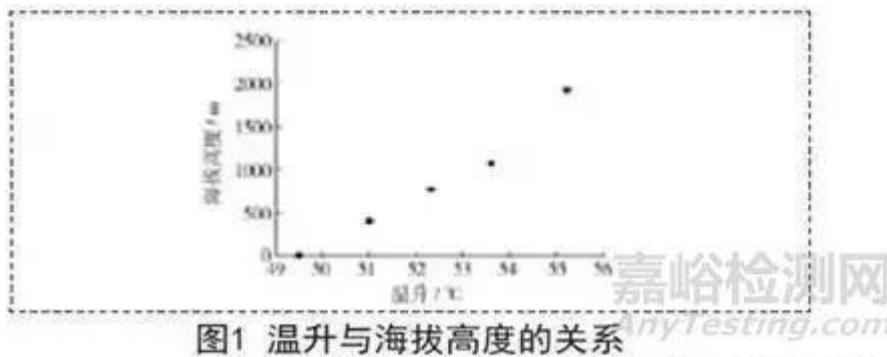


图1 温升与海拔高度的关系

温升与海拔高度大致成线性关系，如图 1 所示。其斜率取决于本身结构、散热情况、环境温度等因素。

散热产品的热耗散可以分成 3 种形式：传导、对流和辐射。

大量散热产品的散热主要依靠对流，即依靠产品周围的空气流动来散热，对流散热一般又可分为强迫通风散热和自然对流散热。自然对流散热是依靠产品发热产生的温度场，造成产品周围空气的温度梯度，使空气流动散热。强迫通风散热是通过强制措施，迫使空气流过产品，带走产品产生的热量。

对强迫对流散热来说，在体积流不变情况下，随高度增加，大气压将伴随着空气密度降低。空气密度降低将直接影响强迫对流散热的效果。这是由于强迫对流散热是依靠气体的流动带走热量的。一般电机用的冷却风扇，是保证流过电机的体积流量不变，当高度增加时，由于空气密度下降，即使体积流量不变，气流的质量流量将随之降低。

No. 02 对电子元器件性能的影响

高度增加气压降低，对电子元器件的性能也会产生影响。特别是以空气作为绝缘介质的设备，低气压对其影响更为显著。在正常大气条件下，空气是绝好的绝缘介质，许多电器产品采用空气作为绝介质。当这些产品用于高海拔地区作为机械设备时，由于大气压力降低，常常在电场强度较强的电极附近产生局部放电现象。更严重的是有时会发生空气间隙击穿，这意味着设备的正常工作受到破坏。

三、低气压环境下电子元器件的可靠性控制

#01 元器件的合理选用

根据元器件在电路中的使用特性进行设计分析并合理选用元器件，是元器件可靠性的基础。电子元器件的可靠性控制点应前移，从源头抓起，即从设计选用、优选厂家、压缩品种、可靠性试验、提高质量等级抓起，使那些用代价换来的预防措施在源头就发挥作用，而不能总是处于补救措施状态。并且，应该从元器件可靠性物理分析角度，系统地进行失效信息的收集与分析、失效分析、破坏性物理分析、密封器件内部气氛分析、失效模式及机理与工艺的相关性分析、失效模式与影响分析等元器件的质量与可靠性分析技术等，将元器件质量与可

靠性分析技术融入元器件产品设计、制造过程，实现元器件的可靠性增长。

#02 元器件的监制、试验和验收

元器件的生产、试验和验收，是保证元器件质量的重要环节，也是航天产品元器件可靠性的关键控制点，其过程控制的好坏决定了元器件的固有质量。电子元器件按功能划分，有电子元件、分立器件和微电路等；按采购渠道划分，有进口和国产元器件之分；按产品成熟性划分，有货架产品和新品器件。不同元器件有不同的控制要求，在下厂监制和验收、到货检验时应有不同的处理方法和程序。因此，应将元器件分门别类地进行划分，规定各类元器件的监制方式、特殊试验要求和验收办法，并明确相应的程序和执行单位或部门。

#03 破坏性物理分析

元器件 DPA(破坏性物理分析)的主要目的是要防止有明显或潜在缺陷的元器件装机使用。除用于元器件的质量鉴定外，在航天产品中，还用于元器件的验收、装机前元器件的质量复查、元器件超期复验以及元器件的失效分析。在一般产品上，DPA 通常用于已装机元器件的质量验证。在航天产品上，DPA 必须在元器件装机以前完成，因此，需明确航天产品用元器件进行 DPA 的时机、DPA 的试验项目、实施 DPA 的机构、DPA 的数据记录要求和 DPA 结果的处理方法。

#04 元器件的失效分析方法

元器件失效分析的主要任务是对失效的元器件进行必要的电、物理、化学的检测，并结合元器件失效前后的具体情况及有关技术文件进行分析，以确定元器件的失效模式、失效机理和造成失效的原因。通过失效分析可以发现失效元器件的固有质量问题，也有可能发现元器件因不按规定条件使用而失效的使用质量问题，通过向有关方面反馈，促使责任方采取纠正措施，提高元器件的固有质量或使用质量。

相对来说，失效模式的确定比较简单，而确定失效机理的难度较大，分析人员必须掌握元器件的设计、工艺和有关的理化知识，并有一定的实践经验。此外，还要具备较复杂的仪器、设备。在明确失效机理后，还必须找出失效原因，才能避免重复失效，提高元器件的固有质量或使用质量。但根据失效机理确定失效原因，往往涉及失效现场和责任人等具体情况，确定起来有相当大的难度。

因此，首先要确定进行失效分析的单位，规定提交失效分析的程序和失效信息，以及产品研制各阶段失效元器件的失效信息记录要求等，然后，根据失效分析的结论，对引起失效的原因进行归零处理。若为设计缺陷，应和生产厂家一起找出问题所在并进行改进；若为操作失误，必须严格操作规范，避免引入人为的失误。从而达到失效分析的目的，使器件制造和生产操作更上一个台阶。

#05 元器件质量信息的管理

在元器件选用、采购、监制和验收、筛选和复验以及失效分析质量保证环节中，存在大量的元器件质量信息，例如，选用目录外元器件的规格、型号、生产厂商、质量等级以及在航天

产品上的使用情况；国内新品器件的研制厂家及新品器件使用情况；进口器件的质量保证情况；元器件失效分析报告和处理情况等。

综上所述，低气压会使电子元器件的性能受到很大影响，有时会导致直接损坏。

低气压环境条件对元器件的影响在正常大气条件下是无法模拟的，必须按相关标准进行试验。为此，一定要加强环境条件试验的标准化工作，从设计环节就开始考虑环境变化对产品的影响，增强产品对环境的适应性，从而提高产品的可靠性。