

军用电子元器件应用可靠性

中国军用电子元器件管理中心

一九九四年十月

前 言

用于军用装备上的电子元器件的可靠性，由其固有可靠性和应用可靠性组成。为了提高军用电子装备的可靠性，国防科工委等有关主管部门采取了一系列的措施，使军用电子元器件的固有可靠性有了显著的提高。但对元器件的应用可靠性，还未引起有关部门的重视。元器件失效分析的统计数据表明，由于选用不当导致失效的比例约占 50%。针对这种情况，国防科工委科技委军用电子元器件可靠性专业组于 1992 年 11 月在西安召开了“军用电子元器件应用可靠性技术研讨会”，对提高电子元器件应用可靠性的有关问题进行了研讨。会后，航空航天部五〇二所代表薛仁经同志，向国防科工委科技委聂力副主任写信汇报了提高元器件应用可靠性的重要性和迫切性。聂副主任极为重视，对薛仁经同志的来信，向科技部陈丹淮副部长作了如下批示：

“各单位有一批重视电子元器件可靠性研究专家，并有著文。薛仁经同志提出元器件的固有可靠性和应用可靠性的研究，非常重要。建议‘管理中心’对此给予重视，可将文章汇集编印，提供给用户。‘中心’亦应加强研究……”。

我们根据聂副主任的批示，开展了军用电子元器件应用可靠性的研究，对当前军用电子元器件应用可靠性的现状进行了调研，对有关元器件应用可靠性的标准和书刊进行了摘要，并向有关部门及专家征集论文，现汇编成册，供军用电子元器件的使用部门参照使用。

在调研、征稿及编辑过程中，得到航空、航天及电子系统有关部门和专家的大力支持，使这本资料汇编得以早日出版。对此表示衷心的感谢。但是限于时间和编者的水平，这本汇编征稿的范围较窄，编辑的水平较低。错误和不当之处，欢迎大家批评指正。

提高军用电子元器件的应用可靠性是一项长期的工作，也是“管理中心”的基本任务之一，现已做的工作，~~仍是一带而过~~今后还将把这项工作深入地开展下去，在更大范围内交流、研讨元器件的应用可靠性技术，征集水平更高的稿件，希望继续得到各方面的关怀和支持，~~为电子元器件的应用可靠性作出应有的贡献。~~

编者

一九九四年十月

目 录

一、调研报告

军用电子元器件应用可靠性调研报告

《军用电子元器件应用可靠性研究》课题组	(1)
---------------------------	-----

二、论文

1. 提高电子元器件及整机的应用可靠性

航天工业总公司五〇二所 薛仁经	(11)
-----------------------	------

2. 电子元器件应用可靠性某些概念讨论及运算放大器、电压比较器的应用可靠性

航天工业总公司五一一所 鲍百容	(18)
-----------------------	------

3. “二次筛选”提高电子元器件的应用可靠性

航天工业总公司五一一所 余振醒	(25)
-----------------------	------

4. 半导体器件的应用可靠性

北京航空航天大学 田锡进	(31)
--------------------	------

5. CMOS 电路使用规则

航天工业总公司五〇二所 薛仁经	(37)
-----------------------	------

6. CMOS 电路锁定失效的防止

航天工业总公司五〇二所 薛仁经	(49)
-----------------------	------

7. 微波器件的使用可靠性

电子工业部五十五所 金毓铨	(56)
---------------------	------

8. 继电器在整机(系统)可靠性设计中的特殊性

电子工业部七九二厂 周峻峰	(60)
---------------------	------

9. 低频电连接器的选择准则和应用指南

航天工业总公司五〇二所 薛仁经	(73)
-----------------------	------

10. 电容器的选择和应用

航天工业总公司五一一所 张泉康	(78)
-----------------------	------

11. 采取措施防止多层陶瓷电容器的低压失效
航天工业总公司五院 薛仁经 彭宝霞 (95)
12. 静电放电对元器件的危害及防护措施
航天工业总公司五一一所 余振醒 (101)

三、标准详细摘要

1. GJB / Z 27-92 电子设备可靠性热设计手册
北京航空航天大学 田锡进 (115)
2. GJB / Z 35-93 元器件降额准则
航天工业总公司五一一所 余振醒 (128)
3. GJB / Z 55-94 宇航用电子元器件选用指南 半导体分立器件
航天工业总公司五一一所 余振醒 (138)
4. GJB / Z 56-94 宇航用电子元器件选用指南 半导体集成电路
航天工业总公司五一一所 鲍百容 (142)

四、书刊摘要

1. 集成电路使用可靠性指南
北京航空航天大学 田锡进 (147)
2. 电子元器件使用可靠性指南
北京航空航天大学 田锡进 (175)

军用电子元器件应用可靠性研究

调 研 报 告

《军用电子元器件应用可靠性研究》课题组

内容提要 军用电子元器件由于选用不当等人为因素导致失效，占相当大的比例。本课题是在调查研究的基础上，分析选用不当造成失效的主要原因，并针对造成失效的主要原因，提出可供参考的意见，并建议有关部门根据本单位的具体情况采取相应的措施，以达到提高军用电子元器件应用可靠性的目的。

引言

军用电子元器件（以下简称元器件）的可靠性是军用电子装备可靠性的基础，军用电子装备上元器件的可靠性取决于元器件的固有可靠性和应用可靠性（或称使用可靠性），这两种可靠性同样重要，不可偏废。过去有关领导部门重点抓了元器件的设计、工艺和原材料的全面质量管理，对提高元器件的固有可靠性起了十分重要的作用。但据有关资料报导，有些元器件由于选用不当等人为因素导致失效的比例高达总失效数的 50% 以上。这种情况引起了使用部门及有关领导机关的重视，要求有关部门在抓提高元器件固有可靠性的同时，应抓好元器件的应用可靠性的提高。本研究课题的主要任务是：通过调查研究，掌握元器件应用可靠性方面存在的问题，针对这些问题，提出应采取的措施，以达到提高元器件应用可靠性的目的。

根据国防科工委科技委领导的批示，本课题组还收集了一部分提高元器件应用可靠性的资料（这些资料包括：论文、标准和书刊的摘要），并把这些资料汇编成册。由于时间、经费和课题组人员业务水平的限制，不可能把有关资料收集齐全和编制得完美，只是作了一个开端，希望这本资料汇编能有助于元器件应用可靠性的提高。

一、元器件失效数据收集的概况

收集元器件失效数据的目的在于：通过对这些数据的整理、分析，找出选用不当造成失效的普遍规律。所以必须有足够的数据（信息）量，才能得出有一定“置信度”的结论。但是，由于各方面的原因，要收集大量的元器件失效数据有一定的困难，现把我们收集元器件失效数据的情况作简要的说明。

1. 从某重点工程收集到的元器件失效数据

分析了某重点工程提供的元器件失效数据，得出的结果如表 1 所示：

表 1 某重点工程元器件失效情况统计

元 器 件 生产单位	元器件名称	失效 数量	失 效 原 因 分 类				
			人为因素	生产缺陷	参数超差	误判	原因不明
石 无 二 厂	小功率晶体管	263	78%	12%	5%	3%	2%
	大功率晶体管	91	45%	31%	7%	2%	15%
辽 晶 厂	小功率晶体管	198	19%	57%	4%	14%	6%
	合 计	289	27%	49%	5%	10%	9%

2. “新四星”部分元器件失效数据

“新四星”指将于“八五”期间研制或发射的“东三”、“风云二”、“资源”、“尖一乙”四颗卫星，这里收集到的是“新四星”部分元器件失效数据。经过整理得出的结果如表 2 所示：

表 2 “新四星”部分元器件失效情况统计

元器件类别	失效 数量	失 效 原 因 分 类				
		人为因素	生产缺陷	参数超差	误判	原因不明
集成电路	37	43.2%	16.2%	—	13.5%	27.1%
全部品种	68	35.3%	32.3%	1.5%	8.8%	22.1%

3. “七五”重点工程用元器件失效数据

这部分数据来自中国军用电子产品可靠性信息交换网数据中心。本课题组查阅了《“七五”重点工程用电子元器件失效模式信息库》的 4163 个失效数据，经过分析确定其中 1184 个属于人为因素造成的失效，占失效总数的 28.45%。这 4163 个失效的元器件是在装配和调试阶段发现失效的，在这两个阶段发现的失效元器

件数分别为:

装配阶段 562 个, 其中人为因素造成失效 216 个, 占 38.44%;

调试阶段 3601 个, 其中人为因素造成失效 968 个, 占 26.88%。

按元器件品种分类, 人为因素造成失效的元器件占失效总数的比例如下:

电阻器 — 70.60%; 电解电容器 — 59.74%;

其它电容器 — 32.73%; 电连接器 — 37.51%;

开关 — 21.01%; 继电器 — 12.39%;

电位器 — 5.79%; 放大器 — 58.21%;

场效应管 — 38.99%; 其它电路 — 25.88%;

二极管 — 22.77%; 光电器件 — 20.00%;

数字电路 — 18.49%; 晶体管 — 17.21%。

4. 数据收集过程发现的问题

在数据收集过程中发现了一些问题, 其中有些问题可能对结论的准确性有一定影响, 还有一些是涉及如何充分利用信息资源的问题, 提出来供参考。

(1) 元器件失效数据应尽量集中

元器件失效数据 (或可靠性数据), 具有信息量大但又分散的特点, 要充分发挥其作用, 必须尽可能集中, 并对大量数据进行统一的处理。在我们前往有关重点工程研制单位收集元器件失效数据时, 发现提供的数据有很大的局限性, 数据处理的方法也各不相同, 很难汇总作为统一的数据来进行分析。相比之下, 中国军用电子产品可靠性信息效换网数据中心《“七五”重点工程用电子元器件失效模式信息库》提供的 4163 个失效数据, 不仅信息量大, 而且有统一的数据处理方法。所以本研究报告就以这 4163 个失效数据作为分析的基础。收集到的其它失效数据, 仅供参考。此外, 通过这次失效数据的收集, 我们迫切希望有关部门采取必要的措施, 把分散在各单位的元器件失效数据 (或可靠性数据) 集中起来, 使这些宝贵的信息资源充分发挥作用。

(2) 判断由于人为因素导致元器件失效的复杂性

在这次收集失效数据过程, 查阅了一部分失效分析报告, 发现绝大部分报告记录了失效模式、失效机理或失效原因, 但是很少作出由于使用不当造成失效的结论。这原因可能是多方面的, 但给我们数据收集造成了一定的困难。对于未作出明确结论的数据, 虽经过反复推敲才作出了结论, 不可避免地有一定的主观因素在起作用, 但从总体上来看, 这些数据还是可信的, 是能够说明问题的。

三、失效数据的分析

根据《“七五”重点工程用电子元器件失效模式信息库》提供的 4163 个失效数据进行分析，其要点如下：

1. 人为因素导致元器件失效总的比例接近 30%

本报告的“引言”中提到“有些元器件由于选用不当等人为因素导致失效的比例高达总失效数的 50% 以上”，但根据我们收集到的数据统计，人为因素导致元器件失效的比例还不到 30%，另据美国罗姆航空研究中心公布的 1967~1971 年集成电路现场失效数据中，过应力损伤失效占 56.8%。相比之下，似乎我们统计的人为因素导致元器件失效的比例优于美国。实际上，人为因素导致元器件失效的比例的高低，只是一个相对数，它与元器件的固有可靠性有关。固有可靠性越高，非人为因素造成的失效比例就越低，人为因素造成的失效比例就较高，我国元器件的固有可靠性较低，非人为因素造成的失效比例就较高，相对而言人为因素造成的失效比例就较低。当然，这并不意味着人为因素造成的失效比例较低，我们就可以不重视应用可靠性的提高，目前国产元器件固有可靠性不高，更应重视应用可靠性的提高，以保证整机的可靠性。我国元器件在贯彻国军标后，固有可靠性提高了，进一步提高元器件的应用可靠性就显得更为突出了。

2. 按元器件品种分类人为因素导致失效的比例的分析

按元器件品种分类人为因素导致失效的比例高居榜首的是电阻器和电容器。这两种元件都认为可靠性高使用起来也比较简单，为什么人为因素导致失效的比例如此之高。这可以从两方面来分析。其一是阻、容元件的固有可靠性较高，相对而言人为因素导致失效的比例就必然要高一些。但从另一方面来分析，有些设计人员就因为阻、容元件的固有可靠性较高，所以在设计、安装、调试时没有足够的重视，造成了人为因素的损坏，在这方面可以举出一些“案例”引起有关方面的警惕。在器件中，处于前两位的是模拟集成电路（放大器）和场效应晶体管，放大器所占比例为 58.21%，如与其它几种电路合起来计算，人为因素导致失效的比例将低于美国罗姆航空中心公布的比例（56.8%）。半导体分立器件人为因素导致失效比例最高的是场效应晶体管（38.99%），其中很大部分的失效是由于静电放电造成的，采取防静电措施后，这部分比例将会有所下降。

以上是按元器件品种分类统计人为因素导致失效的比例，出乎意料的阻、容元件竟居榜首。今年 6 月美国从事空间技术的 TRW 公司来华交流有关元器件可靠性的情况。介绍了元器件失效品种的分布，阻、容元件失效的比例居前两位，

主要元器件失效分布的分布情况如下:

电阻器——52.9%; 电容器——20.8%; 微电路——11.0%;

二极管——4.1%; 电连接器——3.7%; 晶体管——2.5%;

继电器——0.5%; 其它——4.5%。

以上 TRW 公司提供的数据可能与提高元器件的应用可靠性无直接的关系, 但能给我们一些启示, 应全面重视元器件的可靠性, 即使固有可靠性较高的阻、容元件, 在设计和使用过程亦不可掉以轻心。

四、元器件应用可靠性存在的问题

选择和使用不当是影响元器件应用可靠性主要因素, 经分析使用不当造成失效的主要原因有以下几方面:

1. 选择元器件时未充分了解元器件的极限参数 (绝对最大额定值), 致使元器件在超应力情况下工作, 造成失效。

例如: 某重点工程电源部分需要使用高阻值电阻器 (电阻值约为 $10^9\Omega$), 该电源的最高电压为 1000V。设计人员选了一个额定功耗为 1W 的高阻值电阻器。根据计算该电阻器应能承受三万多伏电压, 现在 1000V 下使用, 已作了充分的降额。但是该重点工程在运行期间一直不能正常工作。为了寻找原因, 在地面作了模拟试验, 当气压降至一定真空度时, 电源电压即急剧下降, 导致工作不正常。根据此现象分析, 怀疑系该高值电阻器失效所致。经向设计人员询问, 并查阅了高值电器的说明书, 才弄清楚该电阻器的极限电压仅为 400V。在超过极限电压一倍以上的情况下工作, 电阻器被击穿, 当然会使整个设备不能正常工作。

电阻器是最常用的电子元件, 固有可靠性较高, 使用起来也很简单。但是设计人员往往只关心它的电阻值、额定功耗等参数, 甚至还不知道有极限电压的限制。因为低阻值的电阻器只要不超过额定功耗, 也就不会超过极限电压。但对高阻值电阻器, 虽然实际使用的功耗远未达到额定功耗, 但其电压已大大超过了极限电压。由于设计人员一时的疏忽, 造成了巨大的损失。吸取了这一教训, 已在即将出版的 GJB/Z 35《元器件降额手册》中, 对电阻器的极限电压必须按 0.8 降额使用, 作了明确的规定。

2. 设计时未考虑工作环境对元器件的影响, 现场运行造成元器件失效。

上述高阻值电阻器造成失效的原因, 除了超过规定的极限电压使用外, 所选电阻器的结构也有问题。该电阻器为空心的瓷管结构, 在高真空环境中, 当两端

所加电压超过一定值时,电阻器内壁即产生电晕或飞弧,使电阻器的阻值严重下降,甚至形成短路。所以在 MIL-STD-975H 中规定了空心结构的电阻器,两端所加电压不得超过 100V,在高真空环境中,更易发生电晕或飞弧,电阻器两端允许加的电压更应降低。

3. 电子线路设计时对可能发生的瞬时反电势、过电流未采取必要的防护措施。

电子线路设计时,一般都考虑了稳态情况下可能产生的最大电压或电流,选择元器件时留有一定的余量,以保证元器件及整机可靠、安全地工作。但在感性负载的情况下,负载断开瞬间将在负载两端出现反电势,往往超过了器件允许的最大额定值,导致器件损坏。在容性负载的情况下,负载接通瞬间,电容器处于短路状态,线路中将产生瞬时过电流,也有可能使器件受到损伤。电子线路中的半导体器件发生了击穿或烧毁现象,经检查往往在设计时忽略了瞬时过电压或过电流的影响。采取瞬时过压、过流保护措施后(如采用瞬变电压抑制二极管等保护器件),瞬时过压、过流造成器件失效的现象将大为减少。

4. 试验条件不良(如不正确的接地、测试设备故障、电源电压有尖峰等),使元器件在测试过程受到损伤或丧失功能。

试验条件不良往往使元器件在测试过程受到损伤或丧失功能。例如:

(1) 利用电网的中线作为地线,当电网的三相负载不平衡时,电网的中线将带有一定电压。某厂以中线作为地线,测量 CMOS 电路时,使大量电路损坏,未完全损坏的也程度不同地受到损伤,不能再用到型号任务上,遭受很大经济损失。

(2) 试验设备的某些故障,造成元器件整批报废。例如某厂生产的功率晶体管寿命试验台,采用水冷装置使晶体管的温度基本保持恒定。在某重点工程用的功率晶体管老炼过程中,水冷装置故障断水,使正在老炼的晶体管因过热而损坏,造成了不小的经济损失,还影响了重点工程的研制进度。

(3) 电源电压滤波不良,输出的直流电压纹波中有很高的尖峰,这种尖峰用直流电压表是测不出来的,但当尖峰足够高时,将使器件击穿。如某单位型号任务上用的二极管,作高温反偏筛选后,复测时发现大多数二极管已击穿。但检查所加电压并未超过规定值,后用示波器检查,才发现电源电压的尖峰已大大超过允许值,因此导致被筛选二极管的击穿。

造成电源电压滤波不良的原因,大多数是由于仪器、设备的故障所致,如滤波电容器损坏或脱焊。因此,在试验前应有针对性地检测仪器、设备的性能,以

免由于仪器、设备的故障而损坏被试的元器件。

5. 操作失误

操作失误造成元器件损伤的事例较多，如对静电敏感器件不按规定采取防静电操作；元器件焊装时用了功率过大的电烙铁或焊接时间过长，超过了元器件规定的“耐焊接热”等，都能造成元器件的损坏。

但是印制板的灌封造成元器件的失效却往往被忽视，过去某研究所曾发生过 0.125W 的电阻器焊装在印制板上用环氧树脂灌封后，大多数电阻器瓷基体断裂。经分析造成损坏的原因是由于电阻器的直径较小，焊装时又紧贴印制板，灌封环氧树脂后，印制板稍有变形就会把电阻器的基体拉裂，以后采取了以下措施：

(1) 灌封材料改用硅橡胶等柔性材料，对于需要固定的发热元器件采用环氧树脂局部点封。

(2) 尽可能不用 0.125W 的电阻器，改用 0.25W 的电阻器。

(3) 焊装小型的阻、容元件时，不得紧贴印制板。

(4) 采用的印制板应有一定的厚度，或结构设计采取措施，以保证印制板有足够的刚度。

采取这些措施后，就没有发生由于印制板变形而损坏元器件的情况。

不久以前，某研究所发现调试合格、已灌封的印制板，性能严重退化。检查印制板上元器件，发现元器件的绝缘电阻普遍大幅度下降。后经分析、对比，终于发现是灌封材料的问题。结果全部更换了元器件，造成了上百万元的损失。

五、提高元器件应用可靠性应采取的主要措施

以上对元器件应用可靠性存在的问题作了初步的分析，分析表明造成元器件使用不当是由于：设计、操作人员没有深入了解元器件的特性以及认真检查测试仪器、设备的技术状态而造成的。可以说要防止使用不当造成元器件的失效并没有高深的理论和复杂的技术问题，至关重要的是要从思想上加以重视，制订必要的规章制度予以保证，汇编有关元器件应用可靠性的资料作为正确选择和应用的引导，持之以恒，元器件应用可靠性是不难提高的。下面提出几条建议，供有关部门参考。

1. 开展元器件应用可靠性的宣传和教育活动，引起有关人员特别是各级领导的重视。

过去有关领导部门主要抓元器件生产厂提高元器件的固有可靠性，这是十分

必要的，今后还要狠抓元器件固有可靠性。与此同时，亦应投入一定的力量来提高元器件的应用可靠性，使元器件的固有可靠性得到充分的发挥。而对元器件应用可靠性的提高，元器件的用户（整机单位）应承担更多的责任，但由于整机单位对元器件的工艺、特性等不如元器件生产单位熟悉，所以元器件生产单位也有责任帮助整机单位选好、用好元器件。

如前所述，保证元器件的应用可靠性（主要指正确选择和使用），并没有高深的理论和复杂的技术问题，只要求电子设备设计、操作人员认真阅读所用元器件的产品说明书，以免选错或用错元器件。这当然只是低标准的要求，但能够做到这一点，元器件的应用可靠性就基本能得到保证。

如有可能，建议元器件用户单位收集元器件选用不当的案例，广泛宣传以引起有关人员特别是各级领导的重视。

2. 进行必要的培训和考核，以提高设计和操作人员的素质。

思想上对元器件应用可靠性的重视是必要的先决条件，但还应掌握必要的元器件的专业知识，贯彻在设计和操作的实际行动中，元器件的应用可靠性才有保证。掌握专业知识可以自己学习，也可用短期培训的方式。

对于操作人员除了必要的培训外，还应考核其应知应会的专业知识，合格者发给操作证，要求持证上岗。

3. 加强电子设备设计中元器件的评审。

各重点工程都分阶段进行设计评审，元器件的评审应作为设计评审的内容之一，对元器件选用是否正确作出评价。参加评审者最好是既熟悉整机（电子线路）又是具有元器件可靠性知识的专家，目前大多数单位还缺乏这样的专家，有待逐步培养。

4. 认真检查仪器、设备和试验室的环境条件，采取必要的技改措施。

仪器、设备故障造成元器件损伤的数量相当可观。因此，在对元器件进行试验前，必须对仪器、设备进行检查。要形成制度列入操作规程。试验室的环境条件（包括温度、湿度、洁净度以及静电放电的防护等）应能满足试验要求。仪器、设备要定期检定及时维修。对于无法维修的仪器、设备应及时更新。可靠性试验首先要求用于试验的仪器、设备是高可靠的。决不允许由于仪器、设备的故障造成元器件的损伤。

5. 编制一系列提高元器件应用可靠性的技术标准和管理标准，指导正确选用、管理元器件。

美国为了提高元器件的应用可靠性，制订了一系列选用元器件的标准。国内

也已开始制订这方面的标准，其中有国军标、行业标准和企业标准。我们相信以后将会逐步完善。制订标准后，应抓紧时间出版、宣贯，使这一系列标准发挥提高元器件应用可靠性的作用。

结束语

本研究报告对前一阶段的工作进行了小结，限于水平和时间报告收集的资料很不全面，有些观点也不一定确当，欢迎批评指正。本课题在调研过程得到电子部五所数据中心以及其它有关单位的大力支持，对此表示衷心的感谢。

二、论 文

提高电子元器件及整机的应用可靠性

航天工业总公司五〇二所 薛仁经

众所周知：整机可靠性的基础是电子元器件的可靠性。只有应用高可靠的电子元器件，才能组成高可靠的整机系统。只有高可靠的整机及系统，才能创造更高的经济效益。所以，大力提高电子元器件应用可靠性是一个关键问题，必须引起各级领导的高度重视。

一、必须重视和加强电子元器件应用可靠性研究

电子元器件的可靠性可以分为固有可靠性和应用可靠性。固有可靠性主要取决于元器件本身的设计、工艺、制造等方面，主要因素有：

1. 高可靠生产线（包括环境的洁净度等）；
2. 主要的工艺生产设备（外延、扩散、光刻、离子注入等等）；
3. 主要的监控设备及器件性能检测仪器等；
4. 各种老练筛选、温度及力学试验设备等；
5. 各类专家及工人的业务水平及责任心等。

提高元器件固有可靠性的任务，是元器件生产厂家的本职工作。没有一定的固有可靠性就没有应用可靠性，这是元器件可靠性的首要问题。

应用可靠性主要取决于元器件使用单位，特别是整机的设计及操作人员。“应用”两字涉及的面很大，非常多，从天上到地下，从陆地到海洋，直到社会生活的各行各业。应用可靠性主要涉及下列因素：

1. 电子技术方面的因素。在整机使用过程中发生以下问题：接地线不良、示波器探头带电、反冲电动势过高、系统设计无余量、二次击穿、发生锁定、浪涌电压及电流过大、静电放电、输入端引入高压大电流等等。

2. 环境条件方面的因素。对航天方面，卫星在太空飞行，受到各种宇宙射线的辐射，例如高能量的电子、质子及中子射到器件上，使器件性能退化，或者失效，还有一些特殊的问题：如单粒子翻转（SEU），单粒子锁定（SEL）……。对核武器方面，有瞬态辐射剂过大使器件失效；对海军有海洋盐雾使器件生锈而腐

蚀断管脚而失效；对空军有雷电的严重影响；在计算机房里，工作人员在塑料地板上走动产生高压静电，人体碰到计算机中的器件时，静电放电使器件损坏，实际应用时有大量实际问题需要研究的。只有深入研究才能提高应用可靠性。

3. 元器件的特殊失效模式，有器件在使用中失效，不是使用不合理或使用不当造成的，而是器件的一些特殊失效模式所致。例如：①CMOS 器件的锁定失效；②某些电容器的低压失效；③某些运算放大器的低温振荡及自激振荡；④固钎的某些失效与使用线路的阻抗有关；⑤静电敏感器件的静电放电失效及高压静电场产生感应电引起击穿等。

4. 人为因素引起失效；对 CMOS 器件的整机另有信号源，如果先开信号的电压，后开 CMOS 的电源电压，由于输入信号高于电源电压会引发锁定失效，操作人员必须遵守操作顺序。还有人员素质问题、工作人员的责任心问题。应用可靠性必须结合实际，深入调查研究总结以往的实践经验，一定要有针对性。如：对航天的卫星来说，要达到长寿命高可靠（10 年寿命），加上空间辐射环境，又是不可维修的，这是非常严格的。为此美国、欧洲、日本都搞辐射加固的宇航级电子元器件，从设计、生产、筛选、考核、检验有详细严格的具体要求。对航空的军用或民用飞机来说，特别是民用飞机的应用可靠性要求更高，因为飞机失事涉及到 300~500 人的生命安全及其家属的心理打击，非同小可。当然军用和民用飞机是可以定期维修的，在重量体积与卫星要求也有区别，其平均寿命的表述也不同，对航天叫 MTTF（到失效的平均时间），对航空叫 MTBF（在失效之间的平均时间）。所以，各行各业都有自己的应用可靠性研究的内容，要求及范围，而只能各自下功夫去完成，别人无法代替的。

二、使用不当引起的失效比例较大

美国罗姆航空研究中心公布的 1967~1971 年集成电路现场失效数据表明：由于电过应力造成的失效占 56.8%；我手头的几份资料表明，目前由于使用不当引起元器件失效的比例较大。见表 1。因此，无论国内还是国外，对元器件的应用可靠性都存在严重的问题，必须引起各方面的重视。

从表 1 可见：1981~1982 年发现这个问题，到 1989~1990 年又出现这个问题。这说明：没有引起人们的重视，特别是没有引起各级领导的重视。由于引进生产线，工艺技术的改造及进步，元器件的固有可靠性有了长足的进步，而应用可靠性却没有重视，反而引起较多的失效。所以，当前急需加强电子元器件应用

可靠性的研究，具体方法是首先组织力量编写“电子元器件选择准则及应用指南”，使电子线路及整机的设计人员有章可循，从而提高电子元器件及整机的应用可靠性，从中取得较高的效益。

表 1 元器件失效原因统计表

报告日期	使用不当 引起的失效比例	器件本身质量 引起的失效比例	资 料 来 源
1982 年 7 月	66.6%	33%	某厂元器件工作总结报告
1982 年 8 月	75%	75%	某所 CMOS 失效分析报告
1989 年 11 月	54%	46%	《可靠性与质量信息》
1990 年 1 月	64%	33%	《可靠性信息管理简报》

三、美国军方编写提高电子元器件应用可靠性的标准及手册

美国有很多军工企业及公司，都有自己的企业军用标准，美国军方编写了很多提高电子元器件应用可靠性的标准及手册，简介如下：

1. MIL-HDBK-978《宇航用电子元器件应用手册》。该手册汇集了各种集成电路（从数字到模拟，从中小规模到大规模，从门电路到 CPU 及存储器）、分立器件（从低频到高频，又从高频到微波，从小功率到大功率等），以及电容器、电阻器、继电器等等，有 5~6 本之多，内容十分丰富。涉及面极广，包括电路结构、制造工艺、电气特性、应用指南、环境条件及可靠性；还包括航天用 S 级、军用 B 级器件的工艺控制、监测、筛选、使用注意事项，各种电路的优缺点、失效现象、失效机理、以及减少失效的方法等等（由电子部四所翻译出版，美国出了新的版本，增加了新的内容）。

2. MIL-STD-975H《NASA 标准 EEE 元器件目录》该标准由 512 所出版，标准附录中有：“标准元器件降额准则”，这是为了提高军用电子元器件的应用可靠性。