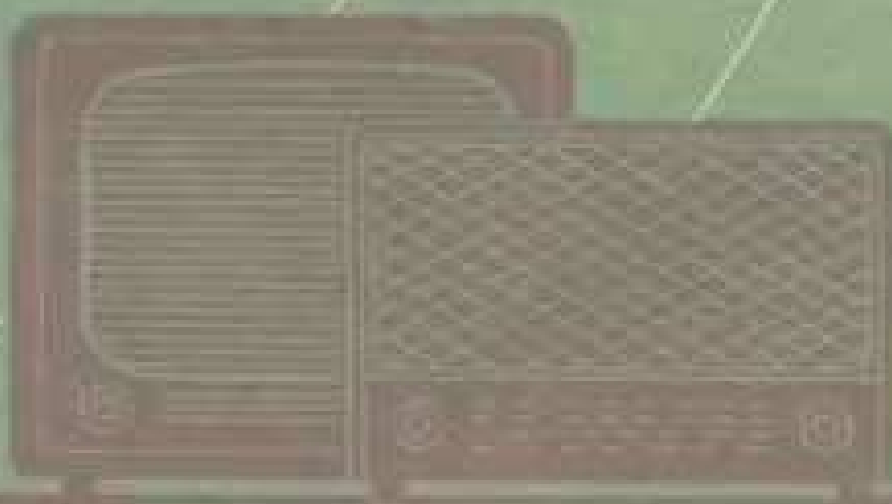


苏联业余无线电丛书

# 无线电子设备的可靠性

[苏联] 瓦. 瓦. 普. 著



国防工业出版社

苏联业余无线电丛书

# 无线电电子设备的可靠性

73.6  
162  
-3

[苏联] Я. М. 索林 著  
武斯特译 周琥校



国防



內容簡介

DTOS/36  
08

本书以通俗的形式叙述了无线电电子设备可靠性问题的实质，指出了可靠性对国計民生的意义，探討了解决可靠性的可能途径，并概要地評述了一些国家的可靠性的状况。

这本书可供无线电电子工业、仪器制造工业的广大工作人員和无线电爱好者学习参考之用。

НАДЕЖНОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ  
АППАРАТУРЫ

〔苏联〕 Я. М. Сорви

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1961

\*

无线电电子设备的可靠性

武斯特譯 周 斌校

\*

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 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印張 2<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 42千字

1964年8月第一版 1964年8月第一次印刷 印数：0,001—6,350册

統一书号：1534·796 定价：（科四）0.24元

## 前 言

由于在科学技术的各个领域内应用无线电电子学的无限广阔的前景，使得解决无线电电子设备及其元件、材料的可靠性问题被提到了首要的地位。

设计师和无线电爱好者在设计无线电电子设备的过程中，经常是以保证最高的可靠性为出发点的。然而，在不久以前，还是凭试验和直观的方法来设计，没有对设计质量的可靠性进行任何计算。

可靠性问题早就引起了人们的兴趣。早在1946年，就开始出现了谈论可靠性和准确性问题的各种书籍和论文。

应该肯定苏联学者A. B. 阿斯塔菲耶夫(Астафьев), Ш. Л. 别比阿什维利(Бебиашвиль), Н. Г. 布鲁耶维奇(Бруевич), Г. В. 德鲁仁宁(Дружинин), Б. Р. 列文(Левин), И. И. 莫洛佐夫(Морозов), М. А. 辛尼兹(Синиц), В. И. 西福罗夫(Сифоров)以及其他许多人在这方面的研究工作。

正是在他们工作的基础上，苏联的学者和工程师们拟定了无线电电子设备可靠性的计算方法与试验方法。

近年来，在许多企业里都设立了专门负责计算、试验和提高无线电电子设备可靠性的部门或小组。

提高无线电电子设备的可靠性、耐久性和准确性的问题已日益引起广大无线电爱好者的兴趣。在有效的解决可靠性问题方面，无线电爱好者可能而且应该起重要的作用。

104781

开发宇宙的工作之所以获得成功，正是由于学者、工程师、技术人员和工人学会了深入研究和制造工作可靠的技术设备。

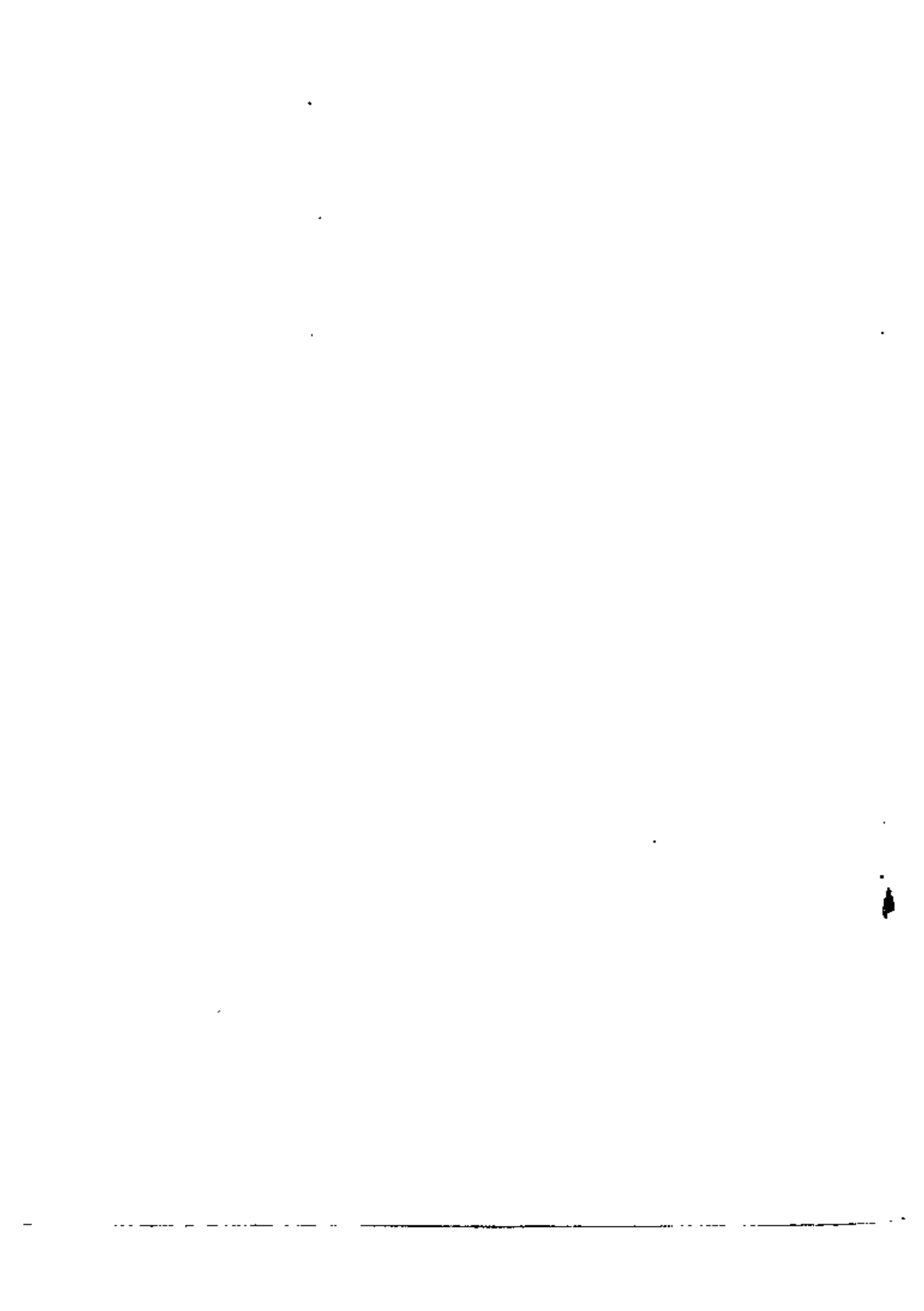
除了其他条件以外，只有无线电电子设备及自动装置高度可靠地工作，才能保证人安全地飞入宇宙并回到地球上来。

使每个人了解无线电电子设备可靠性问题的实质，并深知提高可靠性的重要性，具有头等重要的意义。这本小册子就是为此而写的。

这本小册子试图将现有的资料综合起来，并尽可能以通俗易懂的形式，使广大无线电电子工业工作人员和无线电爱好者对可靠性问题的意义和内容获得一个完整的概念。

## 目 录

前言	3
第一章 工业产品的质量和可靠性	7
第二章 产品可靠性在日常生活、科学和技术中的作用	9
第三章 无线电电子设备的可靠性——技术发展的基础	11
第四章 可靠性的基本概念和定义	13
第五章 不可靠的原因	26
第六章 在设计无线电电子设备时就应考虑其可靠性	32
第七章 保证大批生产时的可靠性	47
第八章 保持设备在使用过程中的可靠性	52
第九章 可靠性问题的重要意义	56
第十章 国外无线电电子设备可靠性的概况	60
结束语	67



## 第一章

### 工业产品的质量和可靠性

如果翻閱一下苏联大百科全书，便可以看到“产品质量”的定义：

“产品质量——产品性能的总和，这种性能决定着产品使用的适用程度”。

換句話說，产品质量就是产品是否符合現代技术和生活要求的綜合指标。

保証产品在使用过程中的可靠性、耐久性和工作的准确性都是产品最重要的质量指标。

这些指标可以用数值表示，并且在实质上决定着所有技术領域内各种仪器、机械装置和系統的使用效果。

对产品的质量要求，由国家标准予以明确規定；在沒有国家标准的情况下，对产品的质量要求，則由各部定出技术条件予以規定。

质量不高、不符合标准的产品，不能算在企业完成生产計划的数目之内。

在所有的质量指标中，我們这里只研究可靠性。

什么是可靠性呢？

很遺憾，在苏联大百科全书中找不到“产品可靠性”这一概念的定义。这并不是偶然的疏忽，因为各国对工业产品



特别是无綫电电子设备的可靠性給予应有的注意，这不过是近几年来才开始的事情。

因此我們试图自己来回答这一問題。

假如，我們决定买一部电视接收机。商店里有各种不同型号的电視接收机，我們究竟选择其中的那一种呢？

自然，我們希望（在我們可能的範圍內）买一部质量最好的电视接收机。我們長時間地挑选，仔細观看所有陈列的电視接收机样机，看它們的說明书，比較它們的质量指标。最后，我們选好了。买了一部带回家，安装好，每天晚上我們都滿意地把电视接收机打开，观赏新的戏剧演出，听听悅耳的音乐，了解新聞。

但是过些时候，电视接收机突然停止工作。我們修理好以后，电视接收机又开始正常工作……直到下一次又出現毛病，或者称为产生“故障”为止。

我們开始考虑：問題很明显，选择电视接收机时，我們沒有注意到它的某些重要的质量指标。是那些指标呢？于是我們就碰到了产品“可靠性”这一概念。

可靠性是什么呢？所謂产品工作的可靠性，通常理解为：产品在規定的使用条件下和在一定的時間內，无故障地完成所規定的职能的能力。

我們已經說过，可靠性是一种质量指标。以电视接收机为例，除了其可靠性外，它外部裝飾的美观，屏幕的大小，接收节目的数量和許多其它指标都属于质量指标。

但是根据个人的經驗，我們确信，如果說可靠性是产品的一种质量指标，那么，对于比較复杂的产品——設備、装置，其工作过程中的可靠性就成为最重要的、具有决定性意义

的质量指标，并具有独立的意义。

很明显，如果电视接收机工作不可靠，如果它大部分时间都不能工作，我们买的电视接收机即或有美观的外部装饰、很大的屏幕和其它一些高质量指标，这又有什么意义呢？

我们所使用的文化、生活用品和国民经济用品越复杂，其工作的可靠性就越具有重要的意义，它就更加成为判断该产品和其它所有工业设备使用效果的主要依据。

## 第二章 产品可靠性在日常生活、 科学和技术中的作用

随着无线电技术的发展，无线电电子设备已大量地生产，所有这些设备，只有工作可靠、耐久才能完成自己的使命。

应该指出，由于电视接收机、收音机、电唱收音两用机和其它一些日常生活用的仪表经常产生故障，很快损坏，而需要经常修理，因此给用户带来了许多的麻烦。

苏联许多工业产品，其中包括无线电电子设备，它们的可靠性，常常远不能满足人民的正当要求。

这就迫使工业企业不得不向用户保证在一定的期限内免费修理所生产的无线电产品。为了修理电视接收机，建立了许多电视接收机修理站，并配备了一定数量的技术人员和各种备用材料及零件。维持这些修理站所需的费用达好几千万卢布。

仅仅是电视接收机这种产品的“不可靠性价值”就如此庞大，何况许多其它类型的无线电电子设备和文化生活与日常应用的产品也有类似的情况发生。

尽管电视接收机、无线电收音机、收音电唱两用机和其它无线电工业产品的结构相当复杂，但近年来这些产品的质量，其中包括它们的可靠性，还是有了很大的改进。不过，进一步提高可靠性，仍然是一项严重的任务。

无线电电子设备可靠性的意义不仅在人民的日常生活中有所增长，而且当它们在各个科学技术领域内，如在航空、医疗和其它领域内应用时，其可靠性就更具有决定性的意义。

无线电电子学在最近 15~20 年内的成就开辟了崭新的前景和新的可能性，但其使用效果主要取决于无线电电子技术装备的使用可靠性。这一点用下面的例子即可说明。

在无线电电子学应用于航空领域的最初阶段，无线电仪器和设备只起着次要的作用，而现在它们越来越起着主导作用。并且，要想飞行安全和航空事业的进一步发展获得成功在很大程度上也要取决于它们工作的可靠性。

现代无线电电子学的成就，为在医学和生物学中使用电子仪器开辟了广阔道路。外科学、预防、诊断和治疗各种疾病用的各种各样的电子仪器正在迅速增加。

非常清楚，对于直接影响着人们健康和生命的医疗无线电电子设备来说，其工作可靠性是最重要的、必须的条件，不具备这种条件，这些设备就不能完成它的职能——促进人们健康状况的改善。

随着无线电电子学应用范围的扩大，设备的复杂性也随之增加，当然，其工作的可靠性问题就具有越来越重大的

意义。

### 第三章 无綫电电子设备的 可靠性——技术发展的基础

广泛地运用自动化是技术发展的主要手段，如果单个生产工序的自动化是自动化的第一个步骤，那么，现在的任务是建立全盘自动化，即建立完整的自动生产工艺过程、自动生产车间和企业，建立自动控制、自动调节和自动检验的系统。

在所有自动化生产中，无綫电技术和电子学占有最重要的地位。

使用电子计算机是运用电子自动装置的一个例子。现代的电子计算机能够控制各种各样的生产工艺过程的进度。

在自动控制和自动调节系统中，还有许多其它无綫电电子装置与仪器正在获得广泛的应用。

我们看到，无綫电电子学已经由比较简单的传送信息的工具，发展到控制人类各种复杂活动过程的最重要的手段了。

目前，如果不应用无綫电电子学，那么在工业、运输和通讯中的自动化是不可思议的。建立现代化的自动控制、自动检验和自动调节系统也是不可能的。

但什么是自动化呢？这首先是指用自动装置的工作来代

替人的劳动。在这种情况下，人仅是操纵这些自动装置和仪器、拟定操纵这些装置的工作程序。

当然，使自动装置工作代替人的劳动，只有在自动装置比人工作得更加迅速、准确、经济，特别是工作得更为可靠的情况下才有价值。只有在这种情况下，技术设备才可能有效地帮助人们去操纵复杂的生产过程。

保证自动装置的工作具有高度的可靠性，是决定自动化运用效果的主要关键。

显然，可靠性与自动化是紧密联系的。只有保证了全部自动化技术设备具有高度的可靠性时，才能使自动化更有效。相反，自动化又必须保证所生产的产品具有高度的可靠性，因为应用自动化可以排除人为的误差。

经验指出，正是由于技术设备工作的可靠性，才开始越来越频繁地装配现代化的自动装置和自动化作业线。

在运用自动控制和自动调节系统时必然碰到的困难，不仅是没有足够的合适的仪器和设备，而且还由于许多仪器设备没有具备必需的可靠性。

自动控制系统的工作不可靠，工作发生故障或产生误差，甚至其中不关紧要的零件损坏，都可能破坏整个生产过程，使整个生产停顿，从而造成经济上的巨大损失。

当无线电电子学主要还是用作传递信息的工具的时期，可靠性就起着重要的作用。如果无线电电子设备工作不可靠，便会使所发出的有线电报或无线电报失真。不过那时还可用重发的方法来校正失真的有线电报。

在无线电电子学由信息的传递工具变成重要的控制工具的今天，就是另外一种情况了。

在許多情況下，往往來不及復述發錯了的通訊信號或控制信號。在許多工業部門，特別是化學工業、石油開采等部門，如果自動控制、自動檢驗和自動調節系統的工作不可靠，便會造成嚴重的無法彌補的後果。

鐵路運輸、航空及其它部門所用自動閉塞系統的可靠性，不言而喻，更具有決定性意義。

蘇聯學者 A. И. 柏爾格 (Берг) 院士指出，無線電電子設備由收集、發送信息到起控制作用，在其可靠性方面應作質的飛躍。

可靠性問題是現在一切技術發展問題中最重要 的問題。在工業、運輸、通信和軍事技術等方面，在這方面還有許多工作要做。

因此，無線電電子設備的可靠性問題已成為最重要的問題。

## 第四章 可靠性的基本概念和定義

我們已在前面談到，所謂無線電電子設備的可靠性，應理解為：在一定的使用條件下和在一定的時間內，設備無故障地完成所規定職能的能力。

但這種說法只是表示可靠性的一般性的質量定義，它並不能用任何具體的數值表示出來。

然而，為了解決提高可靠性問題，對可靠性作具體的、定量的、數量上的估計，却具有極其重要的意義。

**可靠性的定量估計，使得有可能：**

**对所拟定的无綫电电子設備的可靠性提出明确的要求；**

**在設計和生产无綫电电子設備的过程中計算可靠性；**

**比較各种无綫电电子設備和系統样机的可靠性；**

**預先計算設備的寿命等。**

可靠性的定量指标，就像功率、灵敏度、放大系数这些参数一样，是无綫电电子設備最重要的技术参数之一。

但对可靠性作定量估計比對設備其它任何参数作估計更为困难。

其它任何技术参数——例如功率、放大系数等，基本上只与設備中比較少量的元件有关。与这一点不同的是，設備的可靠性通常几乎与設備中所有的元件和裝置的可靠性有关，并且与气候的、机械的条件及其它使用条件有关。

因此，利用一般方法（比如計算放大系数的方法）來計算可靠性是不行的。

概率論是研究可靠性問題的基本工具，而統計法是研究可靠性問題的基本方法。

在實踐中，會碰到各种各样的事件或現象，使我們感到兴趣的，只是它們所遵循的規律。

**发生的事件可能具有各种不同的性质：**

这些事件可能是必然事件，即在進行該試驗时必然会发生的事件。

或者，这些事件可能是不可能事件，即在進行該試驗时，在任何条件下也不可能发生的事件。

最后，这些事件可能具有随机性质，即它們可能在進行試驗时发生，也可能在以后出現。

随机事件是在試驗时可能发生，也可能不发生，并且不能完全准确地預計它的发生和結果的一种事件。

例如，不可能完全准确地預計到某一电子管阴极发射损耗或电容器发生击穿的时间，以及它們对全部綫路工作的影响如何。

必然事件和不可能事件服从于一定的規律，这对每个人都是很清楚的。但随机事件是否也服从于某一規律呢？

研究随机事件时会发现，它們也服从于一定的規律。这些規律与物理現象的一般規律是不相同的，但它們却是存在的。研究随机事件所遵循的那些規律，是概率論的基本內容。

假設，某随机事件  $A$  在进行实验或試驗时，可能发生，也可能不发生。

进行  $N$  次試驗后，事件  $A$  发生  $K$  次。

$\frac{K}{N}$  称为事件  $A$  发生的頻率。

随着試驗次数  $N$  的增加，比值  $\frac{K}{N}$ ，即事件  $A$  发生的頻率，将趋近于某一常数——一个稳定的数值。

通过大量試驗所获得的各种事件的頻率稳定性，就是随机事件的基本定律。

我們將一定的随机事件的稳定頻率称为該事件的概率，通常以字母  $P$  来表示。

概率总是以正数表示，并可能具有由零到 1 的值，即  $0 \leq P \leq 1$ 。

必然事件的概率等于 1；

不可能事件的概率等于零。

随机事件的概率不能单一地回答某事件在进行实验时是



否發生的問題。

概率只能估計我們需要了解的事件在進行實驗或試驗時出現的可能程度。

運用概率論可以研究影響無線電電子設備可靠性的許多不同原因之間的相互關係。統計法可以保證從試驗和使用設備時所得到的最少的資料中獲得最多的有益的結論。

當然，統計法不能絕對準確地預計所設計的無線電電子設備的可靠性，也不能作出設備能無故障地工作多少時間的準確結論。但它能估計設備在我們所需要的一段時間內可靠地即無故障工作的概率如何，以及在預定的期限內設備工作時可能發生的故障，即可能損壞的危險率如何。

“故障”這一概念對可靠性的定量估計具有重要意義，無線電電子設備的故障（後面我們將要談到）多數具有隨機的性質，只有小部分故障是由於設備中的元件老化而引起的。

這樣的毛病稱為“故障”：不排除這種毛病，設備就不能繼續完成全部功能或者不能完成任何一個主要功能。

故障是設備毛病的一種特殊情況，但是並非所有的毛病都屬於故障。有許多毛病當它們存在時，設備還能繼續工作，這種毛病不需要迅速採取措施，而可在第一次工作間歇或進行例行維修時予以排除。

調諧度盤照明用的小燈泡燒毀、不直接參與設備工作的檢驗測量儀表的毛病、各種各樣緊固零件的損壞以及防護塗層的損壞等都屬於此類非故障性的毛病。

但是有許多看起來是次要的毛病，如果長期不排除，任其發展，遲早也會引起故障。

**故障可能是局部的和整體的。**

产生局部故障后，设备便停止完成某一个（或几个）主要职能，而设备仍继续完成所有其他职能。例如电视接收机停止传声，而图象却继续正常播送。

产生整体故障后，设备便停止完成本身所有的职能。在电视接收机里，那就是既没有图象，又没有声音。

在设备使用的过程中，有时产生局部故障，有时产生整体故障。每一次排除故障后设备都继续正常地工作，直到产生下一次故障为止。因为设备在工作的时间内是会不止一次地产生偶然的故障的，所以当故障很多时，便可得出某一个固定的平均故障频率  $\lambda$ （系希腊字母）。这个参数表明，在一定时间间隔内，如在一个工作小时内，所使用的产品中平均有多少会损坏。

实际上常采用它的倒数，即故障出现的周期  $T = \frac{1}{\lambda}$ 。

这两个参数是可靠性理论的原始参数。

一般将能定量地估计（比较）某样机设备或元件工作可靠性的值，称为该设备故障间的工作时间，并以小时表示。

故障间工作时间，表示设备在两个相邻故障间的正常工作时间。

为了确定设备某一个具体样机的故障间平均工作时间，通常要在时间  $t_0$  内对它进行试验，此试验时间至少应比故障间工作时间多 10 倍（如果故障间工作时间为 100 小时，则试验不应少于 1000 小时，同时在每一次故障后应恢复产品的工作能力）。

为了确定准确度为  $\pm 10\%$  的各种类型的设备的故障间平均工作时间，至少要用 10 个同一类型的样机进行试验。

故障间平均工作时间，以下式表示：

$$T_{cp} = \frac{t_c}{n},$$

式中  $t_c$ ——設備的使用期限（或試驗時間），小時；

$n$ ——使用期限內（試驗時間內）產生的故障數。

對於各種不同類型的無線電電子設備來說，由於其複雜程度和使用條件不同，故障間平均工作時間的範圍極廣，可能由 1 到幾百小時。

在較惡劣的條件下使用的設備，例如飛機無線電電子設備，其一個故障間平均工作時間值最小。

在溫濕度恒定及在較固定的條件下工作的固定設備，其一個故障間平均工作時間值最大。

故障間平均工作時間這一概念，用來比較和估計在相同條件下工作的同一類型設備的不同樣機的可靠性是極其方便的。

如果必須比較用途不同和在不同條件下使用的各種類型的設備的可靠性，則又是另外一個問題了。這裡，故障間平均工作時間已不能作為估計和比較設備可靠性的可靠依據。

例如，假設裝在直升飛機上的無線電台，其故障間平均工作時間等於 25 小時，而遠程運輸機上的無線電台，其故障間平均工作時間為 50 小時。

如果僅根據故障間平均工作時間進行判斷，則運輸機的無線電台比直升飛機的無線電台更可靠些，能較長時間無故障地完成本身的職能。

但是這個結論沒有考慮一個極其重要的要求——對時間的要求，在此時間內設備根據本身的用途和使用性質應不間斷地工作。

為了比較不同類型的無線電電子設備無故障工作的概

率，評價其可靠性時，除故障間平均工作時間外，還引入了時間指標，在此時間內設備應不間斷地完成本身的職能。

時間指標是最主要的因素。系統、儀器和元件工作的可靠性、耐久性和準確性的概念，都是以它為依據的。

既考慮到故障間平均工作時間，又考慮到具體設備正常工作所需的時間，其可靠性估計準則就稱為在一定的時間內無故障工作的概率，並以下式表示：

$$P_0 = e^{-\frac{t_p}{T_{cp}}}$$

式中  $P_0$ ——無故障工作的概率；

$e$ ——自然對數的底；

$t_p$ ——該型設備應良好地完成本身職能的時間（以小時表示）；

$T_{cp}$ ——該型設備的故障間平均工作時間（以小時表示）。

此方程式稱為可靠性指數定律（普哇松定律或普哇松分布）。它表示設備正常工作的概率隨時間按對數曲線而逐漸減少。

前面列舉了直升飛機和遠程運輸機的機上無線電台作為例子，儘管直升飛機無線電台的故障間平均工作時間比遠程運輸機小二分之一，但考慮到直升飛機的無線電台連續工作所需要的時間比遠程運輸機的無線電台連續工作所需要的時間小好幾倍，所以直升飛機的無線電台在要求的時間內無故障工作的概率要大一些。

可能認為，如果連續工作的必要時間等於故障間平均工作時間，則設備在該時間內無故障工作的概率應等於100%。

但事实却并非如此。

由指数定律方程式可以看出，当  $t_p = T_{cp}$  时，设备无故障工作的概率将等于  $P = \frac{1}{e} = 0.37$ ，即仅为 37%。

这说明，在 100 台同型设备中，在等于一次故障间平均工作时间的时间内，平均只有 37 台设备无故障地工作。换句话说，同样的一台样机在上述时间内，在 100 种情况中只有 37 种情况是无故障地工作。

计算表明，为了保证无故障工作的概率在 0.9 左右，即在 100 种情况中有 90 种情况能保证无故障工作时，必须使该型设备的故障间平均工作时间至少比该设备连续工作所需要的时间大 9 倍。

图 1 所示为设备可靠性与设备连续工作所需要的时间和故障间平均工作时间之比的关系，即与  $\frac{t_p}{T_{cp}}$  的关系曲线。

采用设备无故障工作的概率来估计无线电电子设备的可靠性，比采用故障间平均工作时间会更全面一些。但是它也不能详尽地说明设备的特性，因为它没有考虑到一个极重要的指标，即在使用设备的过程中花费在设备修理上的时间。

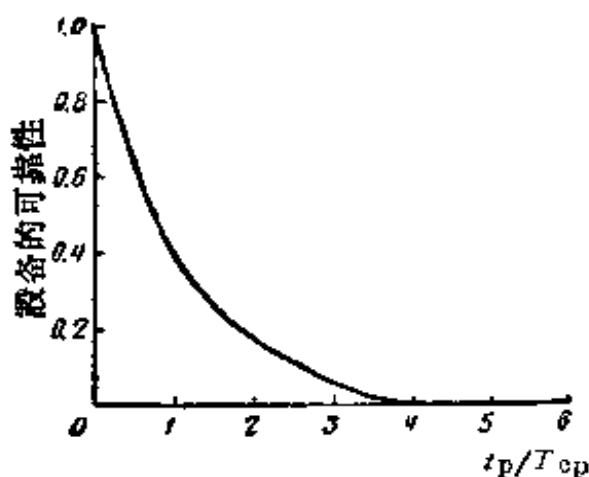


图 1 可靠性指数定律。

下面用一个具体的例子来阐明这个指标的意义。

任何一个设备，无论它是多么可靠，都会周期性地发生故障，并要求迅速排除，此外，设备还需要进行定期维修。

假設有兩台設備樣機，第一台樣機的故障間平均工作時間較長，假設為 200 小時，即它在兩次故障之間的正常工作時間為 200 小時。第二台樣機的故障間平均工作時間少一半，總共為 100 小時。

看來第一台樣機較好。但在兩台樣機的使用過程中却表現出：

第一台樣機由於結構較差、裝配太擠、檢查及更換零件不方便，因而排除一個故障平均需要 20 小時；

第二台樣機，由於其結構比較合理，容易與任何零件接觸，排除每一個故障平均只要 5 小時。

哪一台樣機便於使用呢？

一切取決於樣機的具体用途和使用條件。許多情況表明：採用故障較多但排除故障所花的時間較少的設備，比故障較少但排除故障時間長並引起長期停工的設備更適宜些。

為了從這個觀點來評價設備，引入了設備修理適宜性的概念。所謂修理適宜性，應理解為出現故障後設備對迅速恢復其工作能力的適應性。

按下式對修理適宜性作定量估計

$$K_p = \frac{t_{np}}{t_p},$$

式中  $t_{np}$ ——出現故障後，為恢復設備的工作能力和進行定期維修時設備所必需的停工時間；

$t_p$ ——設備正常工作的時間。

顯然，係數  $K_p$  值越小，設備的修理適宜性就越好。

上面所研究的兩台樣機的修理適宜性為：

第一台樣機  $K_{p1} = \frac{20}{200} = 0.1;$

第二台樣機  $K_{p2} = \frac{5}{100} = 0.05。$

显然，第二台样机的修理适宜性比第一台好。

現在我們已說明了无綫电电子設備（或照有时所說的由大量不同元件組成的无綫电电子系統）的可靠性准則。

下面来研究无綫电电子設備的元件可靠性的主要指标。

把在結構上不具有独立使用价值的設備的单个部分称为元件。在分析无綫电电子設備的可靠性时，通常称通用的无綫电零件和产品如电容器、电阻器、电子管、半导体器件、安装导綫和保險器等称为元件。

任何設備在其使用期間，都会不止一次地发生整体的或局部的故障。每次排除故障后，設備都恢复了工作能力并繼續工作。

因此，設備的可靠性概念和耐久性概念是不相同的。

如果用設備在两个相邻故障間的正常工作的平均時間来确定設備的可靠性，則設備的耐久性便从它开始使用到认定設備完全不适用的总使用期限来确定。

因此，設備在两个相邻故障間的工作時間，仅是設備总使用期限的一个小部分。

我們已經說过，各种类型的无綫电电子設備在两个相邻故障間的正常工作的平均時間，实际上是在几个小时到几百个小时的範圍之內，可是，同一設備的总使用期限，可能为几千个小时。

元件是另一种情况，一般來說，无綫电电子設備某一元件失效（电子管的发射損耗、保險絲燒毀及电容器击穿等），其工作能力就不能恢复而应将其更換。換句話說，大部分元件的使用期限都是随着其工作時間的增加而减少，直至到发生第一次故障（对元件來說也是最后一次故障）为止。

因此，用故障頻率或故障間平均工作時間這種指標來估計設備或系統的可靠性是很重要的，而用來估計元件的可靠性則不适宜。

當然，對於設備很重要的如修理適宜性這樣的指標，對於元件也是不適用的。

只有一個指標——在一定的時間間隔內無故障工作的概率，對設備和元件才是通用的指標。

一般認為，從元件第一次接通開始工作的瞬間起，就是元件工作時間的開始。

元件無故障工作的時間間隔，有時被稱為元件的保證使用期限。

元件在保證使用期限內無故障工作的概率可按熟悉的公式來計算

$$P = e^{-\frac{t_p}{T_{cp}}}$$

式中  $t_p$ ——元件的保證使用期限；

$T_{cp}$ ——元件的平均使用期限。

在整個設備無故障工作的概率和在相同的時間間隔內組成設備的元件無故障工作的概率之間有什麼聯繫呢？或者換句話說，設備總的可靠性與其全部組成元件的可靠性之間的關係是怎樣的呢？

這首先取決於元件連接的性質，這一點將在以後詳細敘述。

根據概率論，在一般情況下，設備的可靠性等於設備中所有的各個元件可靠性的乘積。

可以用一個具體例子來說明這一點。假設有某一設備樣機，它由 100 個串聯連接的元件組成，所有元件的可靠性的



值相同并等于0.99。

看来，似乎因为在设备中没有一个可靠性低于0.99的元件，所以设备的总可靠性也不会低于0.99。

事实上，设备的总可靠性却相当低。因为，如上所述，设备的可靠性低于设备中所有的各个元件可靠性的乘积，在本例中，可靠性将等于0.37。

这个例子说明，无线电电子设备和装置的可靠性，不仅取决于其组成元件的质量，而且还取决于它们的数量。

随着元件数量的增多，即使其可靠性的值不变，设备的总可靠性也会剧烈下降。

设备的总可靠性与其组成元件的可靠性和元件数量的关系曲线如图2所示。图2的横座标为设备中元件的数量（元

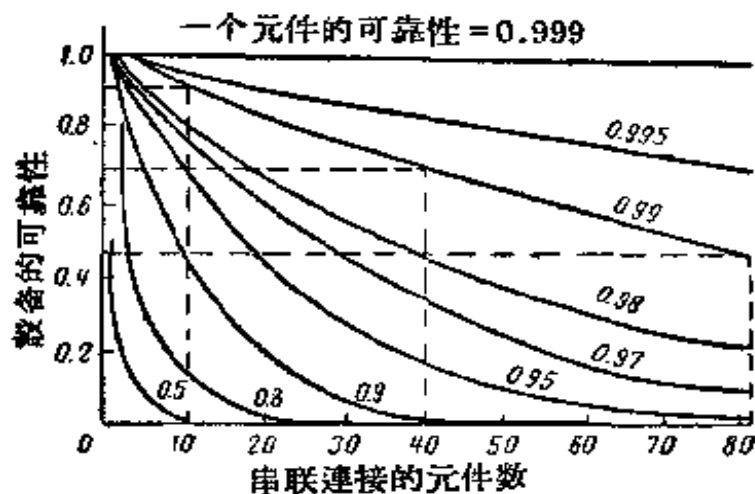


图2 由  $n$  个可靠性相同的串联元件组成的设备的总可靠性。

件是串联连接的)，各条曲线与所用元件的可靠性相对应，纵座标表示具有给定数量的元件和元件具有一定的可靠性时设备的总可靠性。

求设备的总可靠性时，先在横座标轴上找到设备使用的

元件数，从此点作一垂直綫与所用元件的相应可靠性曲綫相交，再从交点引一水平綫交于纵座标軸上，从座标軸上所得到的点即表示设备的总可靠性。

一个元件的可靠性等于 0.99 时，由图 2 可以求出：

由 10 个元件組成的设备的总可靠性为 0.91；

由 40 个元件組成的设备的总可靠性为 0.66；

由 80 个元件組成的设备的总可靠性为 0.48。

无綫电电子设备越复杂，设备中的元件数量越多，如欲保持设备无故障工作的总概率值不变，每个元件无故障工作的概率就应该越高。

以“阿特拉斯”洲际彈道導彈为例，“阿特拉斯”導彈中有 300,000 个零件。

为了保証这种導彈有 90% 的可靠性（对于这种導彈來說，这种可靠性并不很高），必須使導彈的 300,000 个零件中的每一个零件都具有 99.99996% 的可靠性，即实际上每个零件应无故障地工作才行。

除无故障工作的概率外，无綫电电子设备元件的可靠性常常以各种平均統計指标来表示。

可靠性最通用的統計指标是用該型号元件的平均失效百分数来表示，各个型号元件的失效百分数是与其一定的工作時間（例如 1000 小时）及设备中所用的該型号元件总数有关。

平均失效百分数可按下式計算：

$$K_t = \frac{d}{S_t} \cdot 100\%,$$

式中  $d$  —— 在  $t$  時間內所研究的該型号失效元件总数；

$t$  —— 時間，通常以千（有时以百）小时为单位；

$S$  —— 设备中該型号元件的总数。

有时称这个系数为元件可靠性的统计参数。

在实际运用中，设备和元件可靠性还有其他许多指标，但它们只具有比较局部的性质，因此不打算在这里讨论。

## 第五章 不可靠的原因

总的说来，无线电电子设备的可靠性，首先取决于设备中经常产生多少整体性的或局部性的故障，以及设备迅速排除故障的适应性如何。

故障有突然产生的故障和逐渐产生的故障（磨损的故障），或者按Н. Г. 布鲁耶维奇（Бруевич）院士的分类法，将故障分为偶然性的和必然性的二类。这两种故障的区别是什么呢？这些故障产生的原因和性质又是什么呢？

突然产生的故障的主要特征是它的出现具有随机性质。

突然产生的故障的物理意义是：电路元件的某一参数值发生较快的变化后，便产生质量突变，因此元件便失去了本身最重要的、保证设备稳定工作所必需的性能。保险丝烧毁、绝缘击穿及电子管短路等都属于这类故障。

隐蔽在生产上的缺陷、材料和所配备的零件质量不良，是引起突然性故障最普遍的原因。

外部条件急剧变化，例如冲击、剧烈振动及过热等也可能引起突然性故障。

在大多数情况下，突然性故障是整体的和明显的。设备中出现烟和气味、收音机的声音或电视接收机的图象消失、

发射机的調諧失灵等都明显地証明了产生故障并且說明了故障的性质。然而，如果說产生了突然性的故障容易发现，那么要确定其产生的原因往往是比较困难的。在查明那个元件损坏了并需要更換之前，有时需要长久地寻找产生故障的原因。

經驗証明，突然性的或偶然性的故障，經常是在使用设备的开始阶段产生的。

与突然发生的故障不同，逐渐产生的（必然产生的）故障主要是取决于设备的使用期限，即取决于设备的寿命。

逐渐产生的故障的物理意义是：由于电路元件的某一个参数值逐渐地、緩慢地变化的結果，这个参数超出了技术条件所規定的容許极限。結果整个设备不能正常地完成全部或部分主要职能。

电子管的发射降低、电容器的电容改变及电阻器的阻值变化等都屬于逐渐产生的故障。

逐渐产生的故障是由于配套的零件和材料的磨損和老化而引起的規律性的不可避免的结果。

因此，周期地对设备进行檢驗并及时更換快要失效的零件，可以預防逐渐产生的故障。

如果突然性的故障是整体性的和明显的，那么逐渐产生的故障通常就是局部性的和隱蔽的。在大多数情况下，故障沒有明显的征候，因此故障本身暴露較迟，經常是在对设备作定期檢查和修理时才发现。由于在设备的电路中采用了好些各种不同的自动調节系統，因此在使用过程中要发现逐渐产生的故障往往是困难的。

如果用图表来表示故障頻率，那么每种型号设备的故障

頻率都是不同的。但是可以繪制一條通用的能說明大多數無線電電子設備故障頻率的曲線。這條典型的曲線如圖3所示。

該故障頻率曲線具有三段顯著的特性區，分別以數字1、2、3表示。

第一段相當於設備某一開始工作的階段。對於不同類型的設備，這一區段的時間可能有幾十小時至幾百小時。該段的特征是故障頻率高，而且大部分是突然產生的故障。

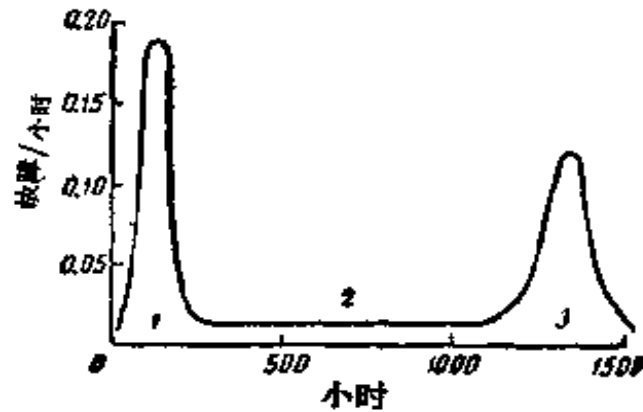


圖3 複雜無線電電子設備典型的故障頻率曲線。

在這個開始階段，絕大多數的故障是電真空器件造成的。

在這個開始階段，絕大多數的故障是電真空器件造成的。

壽命較長的電容器和電阻器，不會使故障頻率顯著上升。由於違反工藝過程和文明生產的程度低所引起的故障，一般多在這個開始使用的階段出現。

更換失效的零件後，故障頻率逐漸降低。開始階段稱為設備的“試轉”階段。一般第一階段是在工廠調整和調諧或老練設備時消耗的，它不包括在設備的計劃使用階段內。

曲線的第二段是基本的、時間上是最長的一個階段。在這段內的故障基本上是突然產生的，但故障的平均頻率急劇降低並較穩定。正是根據對設備在這一階段的分析，確定了前一章所研究的可靠性全部定量指標。在這一階段里，零件的磨損實際上還未開始，而“試轉”階段却已結束，因此，可靠性指數定律（普哇松分布率）是正確的。

对于許多設備來說，穩定工作阶段一般为几千小时，經過較长的穩定工作阶段后，便开始曲綫的第三段所示的阶段。这一段的特点是故障頻率有新的增长，在这一阶段里，故障大多具有逐渐产生的性质，并且是設備中的元件和材料老化与磨損的結果。

无綫电电子設備往往不能工作到这个阶段。如果設備繼續工作，那么为了恢复可靠性，就要对所有零件作全面的檢查并更換损坏了的或不能保持其原有参数的零件，亦即对設備进行大修理。

由上述可見，无綫电电子設備工作的可靠性，主要是取决于設備中所有的各个元件、零件和材料的可靠性。

尽管只有一个通有电流或加有电压的元件損坏，但却往往会使整个設備产生故障或使設備的参数改变。

經常引起設備产生故障的是哪种零件或元件呢？

在一般情况下，可将无綫电电子設備的全部元件分为两类，即电路元件（电气元件）和机械元件。

在原理图和安装綫路中具有独立的符号并为电路的組成部分的零件和制件通常称为电气元件。通用的和专用的零件和制件，如电真空器件、半导体器件、电阻器、电容器、保險絲和絕緣子等，都屬於这类元件。

傳动系統的軸承、接头、齿輪、轉換开关、接点和固定零件等所有元件屬於机械元件。

电路元件在无綫电电子設備的工作中具有决定性的作用。电路元件比机械元件复杂得多，数量也多得多，因此它們也是設備产生故障的主要根源。

机械零件的突然性故障（損坏）是比較少見的，而机械

零件逐漸產生的故障（磨損）一般也比電氣元件遲。這種故障通常可以在非固定條件下使用的無線電電子設備中見到。

無線電電子設備中元件的相對數量各不相同，它們是根據設備的用途和複雜程度而定的。

設備的主要類型元件的比重，也取決於設備的用途和複雜程度。

表 1 所列出各類設備的元件的大致分布情況。

表 1 無線電電子設備中通用元件的分布

元 件	原理圖的元件的百分數		
	雷達和無線電導航設備	無線電接收發射設備	無線電接收設備
電真空器件	5.3~11.6	3.5~6	3.6~7.3
半導體器件	0~14	0~4	0~2
電容器	20~32	37~52	41~61
電阻器	37~51	22~31	16~28
變壓器和扼流圈	3.2~14	4.2~12	0~7.1
電感繞圈、濾波器延遲線	1.2~14	3.6~10	8~22
繼電器	0~2.5	0~4.8	0~3.3
自動同步機、電動機、變換器	0~2.7	0~1.6	0~0.5
測量儀表	0~2.3	0~1.4	0~0.6
照明燈和指示燈	0~4	0~1.1	0~0.5
硒整流器和氧化銅整流器	0~2.7	0~0.8	0~1.2
石英	0~0.4	0~7	0~2.8
保險器	0.2~4.8	0.3~0.9	0.3~0.6

電真空器件是無線電電子設備中可靠性最低的元件。因此，儘管它們的數量一般不多於設備全部元件數量的 10%，但由於電真空器件所引起的故障數經常是超過設備全部故障的 50%。

電真空器件迅速損壞的原因可以分為兩類：

引起电子管突然损坏以及一般在开始使用阶段出现的损坏；

加速发射损耗和电子管参数改变。

电极间短路、电极断裂、管脚和外壳裂纹等都属于第一类的故障原因。这些故障是由于违反了工艺规程或由于玻璃和其他材料的质量低劣而引起的。

违反工艺规程、破坏真空卫生及原材料质量不良通常会造造成不可弥补的后果，因为已制造的电子管的内部故障已不能排除，而在最初的试验过程中又几乎不能发现隐蔽的故障。

灯丝电压的升高或降低、振动的存在等属于第二类的故障原因。

表 2 接收放大管的损坏原因

故 障	损 坏 (%)
灯丝断裂和烧断	20~28
电极间短路	17~20
参数变化和发射损耗	43~51
外壳裂纹及管座、管脚的损坏等	9~12

由表 2 可以看出接收放大管损坏原因的百分比。

介质击穿和极板之间通过边缘飞弧是电容器损坏的主要原因（占有失效的70~75%）。

在纸介质电容器和云母电容器上，有时在陶瓷电容器（通过空隙飞弧）上经常可以发现这样的失效。

制造和试验电容器时未能发现介质上较薄弱的地方，是击穿的原因。

极板间飞弧是由于生产工艺有毛病（云母片破坏及边缘



尺寸不准等)所引起的。

电阻接点断裂、损坏(占全部失效的55~60%)和烧毁(占全部失效的35~40%)是电阻损坏的最重要原因。电阻的阻值变化(占全部失效的5~8%)也占很大比重。

接点断裂和损坏是所有型号的固定繞繞电阻和可变电阻的特点。引綫的接点损坏可以在BC型和MJIT型非繞繞电阻上看到。

通常可以发现CП型可变电阻、固定繞繞电阻和电位計被烧坏。烧坏的电阻三分之一以上是由于过载过大、电子管电极短路和电容器击穿所引起的。

綫圈匝間絕緣和外壳絕緣的耐电强度破坏,导綫断裂和烧毁,防潮性不良及恶劣的热规范(沒有散热)是变压器、扼流圈和其他綫卷产品损坏的最普遍的原因。电子管电极短路和电容器击穿經常是变压器损坏的原因。

各种无綫电电子设备所采用的继电器会由于接点粘合和烧毁、彈簧片损坏及繞組断裂而损坏。

提高无綫电电子设备元件工作的可靠性,是与生产元件的工厂的文明生产的程度和对所用的原材料的严格檢驗分不开的。

## 第六章 在設計无綫电电子设备时 就应考虑其可靠性

无綫电电子设备及任何其它工业设备都要經過設計、生产和使用这一系列的阶段。

这三个阶段都在不同程度上影响着无线电电子设备工作的可靠性和耐久性。但是上述每一个阶段对可靠性的作用是各不相同的。

使用阶段——这是设备最重要，通常也是最长的阶段。在这个阶段提高设备的可靠性是最受限制的。

投入使用的是已生产好了的成品设备。不改变设备的线路结构，不更换设备中的零件和元件，要想稍微显著地提高设备的可靠性是不可能的。

因此，使用阶段的任务是将设备在设计和生产过程中已达到的可靠性水平尽可能保持较长的时间，以及收集和总结设备在结构、线路和生产缺陷方面的资料，以供拟制新样品时参考。

设计和生产无线电电子设备的阶段是保证设备具有高度可靠性的决定性阶段。

经验证明，如果在设计新的无线电电子设备样机的过程中，对设备的可靠性不给予应有的注意，设备可靠性的必要水平就得不到保证，那么在生产过程中要提高这种样机的可靠性，或者说对样机“精加工”就必须花费很高的代价并需要很大的力量和很多的时间。

事实上，并没有遵守这种要求。苏联生产的第一批电视接收机中的某些产品，由于线路的某种缺陷，不得不在使用过程中来排除，糟糕的是，这种例子还可以举出很多。

因此，为了保证无线电电子设备任何一种新样机具有高度可靠性，还在样机的设计阶段就保证它具有所要求的可靠性，是极其重要的。

但这样还不够。如果在设计时奠定的样机的可靠性，在

其成批生产时不能得到相应的工艺过程和檢驗的保証，那么投入使用时，设备的可靠性指标仍将是較低的。

因此，为了保証无綫电电子设备的高度可靠性，必須：  
在設計設備时就奠定其可靠性；  
在生产設備时要保証其可靠性；  
在使用設備时要保持其可靠性。

在設計設備的阶段用什么措施才能保証設備具有高度的可靠性呢？

所謂設計阶段，一般应理解为从編制設備的战术技术要求或技术任务书开始到将技术资料（图紙、技术条件、說明书等）发送到成批生产这种設備的工厂为止的这段时间。

在設計所包括的四个阶段里都应该研究可靠性問題：

准备阶段（这一阶段要估計所設計的設備的使用条件，計算組成元件所要求的可靠性，选择相应型号的元件和元件的使用规范等）；

設計阶段；

制造样机阶段；

試驗檢查样机阶段。

从一开始設計設備时起，就必须考虑影响設備可靠性的全部因素。預定使用的元件的质量和数量，它們的工作规范，設備的电路和結構的构成等是所有因素中最重要因素。

在第四章已經談过，为了保証无綫电电子设备任一样机具有所要求的可靠性，必須在拟制其技术条件时将样机可靠性的具体要求列入。

这些要求将作为选择所設計样机的电路元件和計算其可靠性的根据。应选择使用最完善和质量最高、参数和使用可

靠性最穩定的零件。

無線電電子設備的研制者不僅應深刻掌握成批生產的零件和元件的全部產品名稱及其性能，而且還應熟悉新的正在擬制的零件樣品，以便利用最完善最有前途的零件。

在成批生產的零件中，有不少是應該停止生產以及型號古老的产品。

在設計的無線電電子設備樣機中廣泛使用半導體器件是非常適宜的，因為在原理上半導體器件比電子管可靠得多，並且它要求的電源電壓低很多，這樣還可以減輕其它零件的工作規範。

在設計過程中選擇必要的零件時必須記住，在使用的末期，零件的參數漂移，一般超過開始使用時的好幾倍。

在設備中採用壽命大約相同的元件和零件是很適當的。這可以降低設備的總故障頻率和提高其工作的可靠性。

無線電電子設備中大多數元件工作的可靠性不僅取決於其生產的質量，而且主要的還取決於其使用規範。

甚至質量最高的元件和零件，如果在惡劣的、工作規範規定以外的條件下使用，它們也會迅速損壞。

因此設計無線電電子設備時的最重要的任務，是保證樣機中使用的全部元件和零件只在它們的技術條件所規定的條件下工作。

元件的工作規範取決於負荷係數，一般以下式表示：

$$K_H = \frac{H_p}{H_n},$$

式中  $K_H$ ——負荷係數；

$H_p$ ——元件在工作規範下的負荷；

$H_n$ ——元件的標稱（技術條件規定的）負荷。

电子管的負荷系数以下式表示

$$K_{\text{管}} = \frac{P_{\text{a}} + P_{\text{н}} + P_{\text{с}}}{P_{\text{a. макс}} + P_{\text{ном}}}$$

式中  $P_{\text{a}}$ ——阳极耗散功率；

$P_{\text{н}}$ ——灯絲电路耗散功率；

$P_{\text{с}}$ ——栅极耗散功率；

$P_{\text{a. макс}}$ ——阳极最大容許功率；

$P_{\text{ном}}$ ——灯絲标称功率。

繞繞电阻和碳膜电阻的負荷系数可由下式求出：

$$K_{\text{r}} = \frac{P_{\text{p}}}{P_0}$$

式中  $P_{\text{p}}$ ——耗散功率；

$P_0$ ——标称功率。

电容器的負荷系数以下式表示

$$K_{\text{c}} = \frac{U_{\text{p}}}{U_0}$$

式中  $U_{\text{p}}$ ——电容器上所加的电压；

$U_0$ ——标称电压。

在过载条件下使用元件，即当  $K_{\text{r}} > 1$  时，元件的寿命就会大大縮短。

相反，在輕負荷条件下使用元件，即当  $K_{\text{r}} < 1$  时；设备的平均故障率就会减少并大大提高其正常工作的期限。

当设备的元件在額定条件及輕負荷条件下使用时，设备的故障频率与时间的关系曲线如图 4 所示。



图 4 在額定条件和輕負荷条件下故障频率与时间的关系曲线：

1—在額定条件下；2—在輕負荷条件下。

图中曲线 1 (实线) 表示设备中的元件在额定条件下使用时设备的工作情况, 曲线的第  $I_1$ , 第  $II_1$  和第  $III_1$  段与该设备工作的各个阶段相对应: 第  $I_1$  段——设备“试转”阶段; 第  $II_1$  段——设备稳定工作的阶段; 第  $III_1$  段——设备中的元件开始老化和磨损的阶段 (有关这几段的详细情况参阅第 28 页及图 3)。

图中曲线 2 (虚线) 及其第  $I_2$ ,  $II_2$ ,  $III_2$  段以图解说明设备中的元件在轻负荷条件下工作时设备相应的工作情况。

比较曲线 1 和曲线 2 可见, 尽管在轻负荷的条件下使用元件, 设备工作的最初阶段——开始阶段 (“试转”阶段) 稍微有所延长 (因为元件的生产故障出现得较缓慢), 但与元件的老化和磨损有关的第三阶段却出现得较迟。因此在轻负荷条件下使用元件时, 设备稳定工作的第二阶段  $II_2$  即主要阶段显著增长 (与  $II_1$  相比较)。

鉴于上述的理由, 现代大多数无线电电子设备样机的主要元件都是在轻负荷的条件下使用的。

图 5 和图 6 是一种典型的无线电电子设备的零件: 电容器、电阻以及电子管负荷系数  $K_n$  的分布情况。

由图 5 和图 6 可以看出, 设备中使用的电阻工作时有 50% 以上的负荷系数小于 0.1, 5% 以下的电阻负荷系数高于 0.5; 设备中大部分电容器的负荷系数也小于 0.1, 在超过容许负荷即系数大于 1 的条件下工作的电容器, 大约仅有 2% 左右; 设备中大部分电子管在负荷系数为 0.5~0.6 的条件下使用。

为了建立无线电电子设备元件工作的轻负荷规范, 应使:

电路中的电源电压取最小的容許值，这样可以减小零件的負荷电平，并可提高设备的可靠性；电子管灯絲电路的电

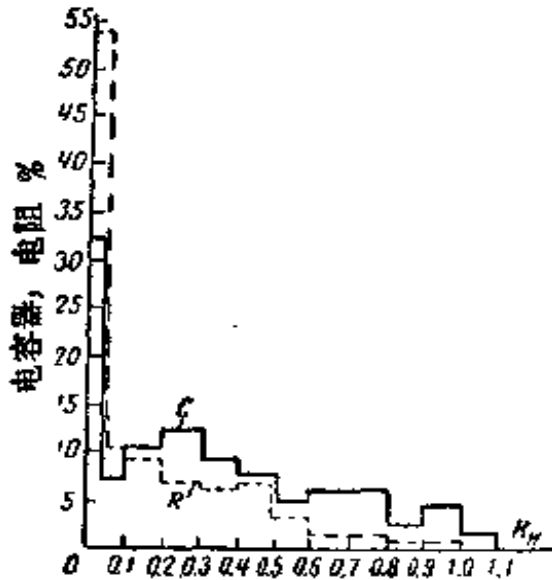


图5 设备中电容器和电阻的負荷系数分布情况:

实线——电容器；虚线——电阻器(已把组件中的最高工作温度考虑在内)。

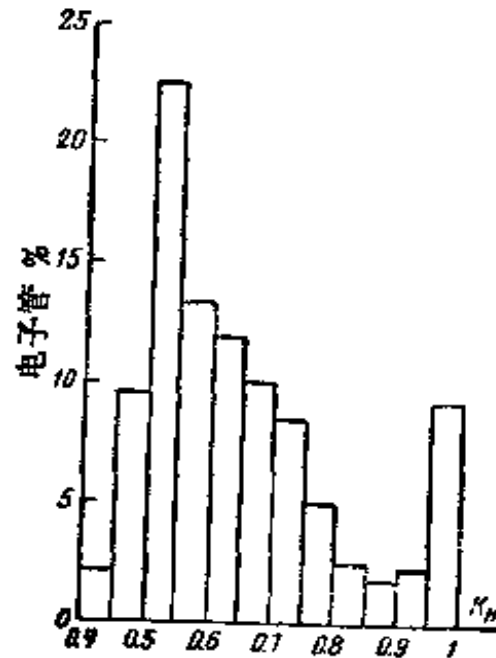


图6 设备中接收放大管的負荷系数的分布情况。

源要稳定，以消除阴极过热时的危险，并增加电子管的寿命。

取电阻的功率储备系数、电容器的电压储备系数等于2，即是使电阻和电容器的  $K_n \approx 0.5$ 。经验证明，当电容器的工作电压为额定电压的一半时，不同型号的电容器损坏概率就会降低到  $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ 。

无线电电子设备工作的可靠性在极大程度上取决于它的热规范。设备的某些元件和部件过热会使其参数改变，使设备的工作变坏，有时还会使设备损坏。

设备的外形尺寸越小，保证零件工作有正常的热规范就越困难。恶劣的热规范往往是由于对设备的设计和装配缺乏

仔細考慮的結果。

例如在某些型號的電視接收機中，對過熱很敏感的零件和元件如半導體器件、電容器、振蕩器槽路綫圈等，直接裝置在發出大量熱量的電路元件如電子管、電源變壓器、耗散功率大的電阻之上。

因此，可以看到同步器的頻率大大漂移，其它部件和整個電視接收機的工作穩定性被破壞。

為了減輕零件工作的熱規範，在設計設備時，必須使全部對高溫敏感的電路元件如電容器、半導體器件、熱敏電阻等放置在離發熱的電源、離熱氣流尽可能遠一些，在安裝和裝配設備時，應使其與接通的電烙鐵離遠一些。

還可以採用散熱和強制設備冷卻的專門措施來減輕熱規範。

設備冷卻系統分整體冷卻和局部冷卻兩種。

利用整體冷卻系統來冷卻整個設備；利用局部冷卻系統來冷卻設備中在最惡劣的熱規範條件下工作的某些元件和部件。

在無線電電子設備的冷卻系統中採用了各種方法：天然空氣冷卻法，強制空氣冷卻法和液體冷卻法等。

設計設備時其最合理的冷卻方法要根據設備的用途和複雜性來具體選擇。

為了提高無線電電子設備的可靠性和電氣強度與機械強度，在設計和裝置設備時還採用了許多經驗措施。在這本小冊子里要一一列舉這些措施是不可能的，現僅將某些措施作為例子提出。

當設備在很潮濕條件下工作時，用特制的耐潮漆塗復全



部零件和裝置，这样可以消除有潮气时出現漏泄的可能性。

建議避免使用开启式繞繞制品，因为受潮之后会降低絕緣电阻，設備的饋电电路可能击穿和短路。必須采用以各种混合物灌封和最好以真空密封的变压器和扼流圈。

将要求电源电压較高的組件（发射机、整流器等）密封以消除电压升高时击穿的危險。

无綫电电子設備使用印刷裝置，可以从本质上提高設備的可靠性。

可用适当的減震方法来防护設備免受冲击和振动的影响。

为了提高設備的机械强度，設備的大型零件如变压器、扼流圈等应安置在剛度最大的地方，如放在底盘的角上。

較重的电容器和电阻器除用焊料固定引綫外，还用固定夹或小箍作輔助支撐。

用技术条件容許的，长度最短的引綫固定不重的零件。

給零件建立輕負荷工作規範、良好的散熱和冷卻，并采取許多其它的輔助措施都可以从实质上提高无綫电电子設備的可靠性。

但这一切措施有时还是不够的，因为現代无綫电电子設備越来越复杂。各种設備样机中的零件数目还在不断增长，例如在某些电子计算机样机中使用了几万个，有时甚至用了几拾万个零件。

在这些零件中尽管只有一个零件工作不可靠及由此而使某些运算失真，就会使计算机整个复杂的計算电路得出錯誤的結果。

我們已經讲过，无綫电电子設備的可靠性在很大程度上

是取决于設備中使用的零件的数量和它們的可靠性。

靠提高設備零件的可靠性的方法来保證設備必要的可靠性，并不是經常都可以作到的，因为当零件的数量很大时，利用上述的所有措施是不能使零件具有高度的可靠性水平的。

在这种条件下，用可靠性較小的元件制成可靠的設備的問題具有特別的意义。

A. И. 柏尔格 (Берг) 院士指出：在解决可靠性問題的过程中有許多高深的理論問題和严密的科学問題……，例如建立比其組成元件的可靠性高的复杂系統的問題，也即用可靠性較低的元件制成可靠性較高的系統的問題。

称可靠性問題为“問題的钥匙”的 B. A. 特拉別茲尼柯夫 (Трапезников) 院士強調了同样的見解。他說：解决可靠性問題必須从拟制較可靠的元件和研究它們的連接方法方面，以及寻求用不可靠的元件建立可靠的系統的方法方面着手。

当設備中使用可靠性較低的元件时，儲存法是提高設備可靠性的可行方法之一。下面我們比較詳細地来研究这个方法。

在可靠性理論与在电工技术中一样认为有两种連接元件的可能形式，即串联和并联。但在可靠性理論和电工技术中对这两种連接的理解是不相同的。可靠性理論将工作时即使只有一个元件失效便会使整个設備发生故障的这种連接称为元件的串联。

这种連接是最基本的、最有特征的，是大多数类型的无綫电电子设备普遍采用的連接方法。

可靠性理論將只有當所有并聯（備份連接）的元件都失效的情況下設備才發生故障的這種連接認為是元件的并聯或備份連接。

因此，將在電路中以并聯、備份連接元件來提高設備可靠性的方法稱為儲存法。

為什麼儲存法能保證提高無線電電子設備的可靠性，同時這種提高能達到什麼程度呢？為了明確起見，我們來舉一具體例子說明這個問題。

為了簡便，假設有任一无線電電子設備，它由  $A$  和  $B$  兩個元件組成，這兩個元件的可靠性相同，都等於  $0.9$ 。

將元件串聯時，設備的總可靠性，如我們第四章所談到的，將等於兩個元件的可靠性的乘積，即  $P_{\text{ночл}} = P_A P_B = 0.9 \cdot 0.9 = 0.81$ 。

將元件串聯時，設備的總可靠性總是低於最壞的元件的可靠性。

將上述兩個元件并聯連接時，即將備份元件  $B$  重復在基本元件  $A$  上時，設備的可靠性怎麼樣呢？

兩個并聯連接元件工作的可靠性，即其中至少有一個元件工作的概率等於三種可能結果的概率的和：

- 1) 元件  $A$  和元件  $B$  都未損壞；
- 2) 元件  $A$  損壞，但元件  $B$  工作；
- 3) 元件  $B$  損壞，但元件  $A$  工作。

這種情況可用數學式子表示如下：

$$P_{AB} = P_A P_B + P_B (1 - P_A) + P_A (1 - P_B),$$

在本例中：

$$P_{AB} = 0.9 \cdot 0.9 + 0.9(1 - 0.9) + 0.9(1 - 0.9) = 0.99。$$

如果元件串联时，设备的总可靠性低于最坏的元件的可靠性，那么元件并联时，设备的总可靠性高于最好的元件的可靠性。

因此用并联的方法，即用储存的方法时，即使设备中使用可靠性较低的零件，设备也可获得较高的可靠性。这就是储存法与提高可靠性的所有其它方法的原则性的区别。

在我们所举的例子中，由两个并联元件组成的设备的可靠性比每个单个元件的可靠性高10%，如果元件是串联，则比设备的可靠性高20%还多。

计算证明，用储存法可使设备的可靠性提高数倍。

设备的可靠性与并联连接元件的数量的关系曲线如图7所示。

图7的横座标是设备中所用的元件的可靠性；曲线表示使用元件的数量，纵座标轴表示设备的总可靠性。

例如，为了计算在上述情况下设备的总可靠性，也即计算由两个并联的可靠性均为0.9的元件组成的设备的可靠性，可在横座标轴上先找到0.9，由此点作一垂线，使其与两个元件相应的曲线相交，再由相交点向纵座标轴作一垂线。垂线与纵座标轴的交点表明，在该情况下设备的总可靠性为0.99。

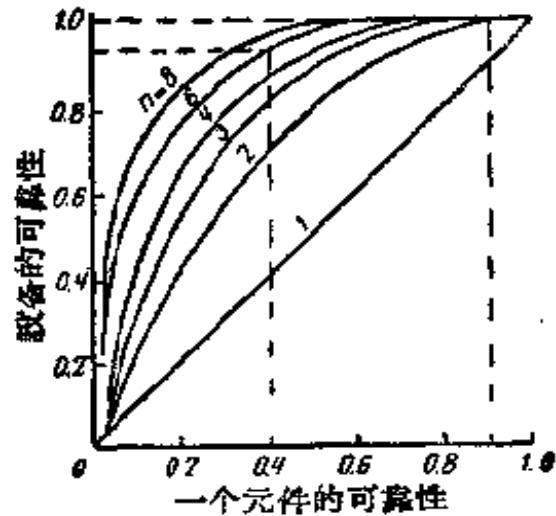


图7 由 $n$ 个并联连接的、可靠性相同的元件组成的设备的可靠性。

以同样的方法还可算出，当设备中使用的元件的可靠性为 0.4，使用六个元件时，设备的总可靠性约等于 0.92。

现有两种主要的储存方法：

总储存法亦即整个设备的储存；

单个储存法亦即设备按元件或部件储存。

这两种储存法如图 8 和 9 所示。

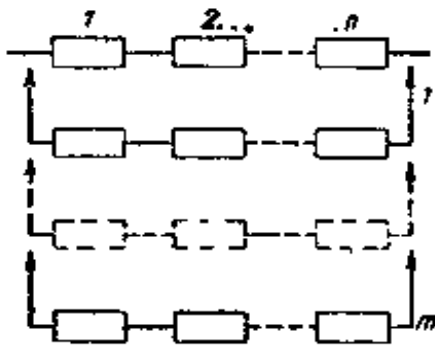


图 8 总储存。

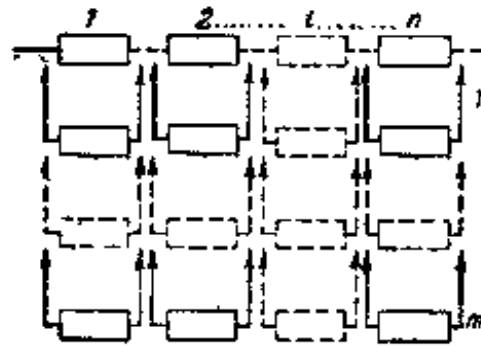


图 9 单个储存。

用总储存法时，备份的元件和电路以及它们的工作规范应与基本元件和基本电路相同。

分析表明，在备份元件数量相同的情况下，个别的按元件储存的方法比总储存法提高的可靠性更大。

根据各种无线电电子设备的性质和特点的不同，采用两种接通备份元件和电路的方法：

在整个使用期间恒定地接通备份元件；

以更换失效的元件的方法接通备份元件。

恒定接通备份件时，储存的主要优点是简便，因为这种方法不要求任何转换装置和故障信号装置。

如果是储存设备的单个级联、不大的组件时，将备份元件恒定接通是适宜的。

用更換法接通备份件时，几个工作元件可使用一个备份元件。备份元件的工作规范固定不变，因此接通它們时，不要求輔助調節設備也是更換法儲存的优点。此外，备份元件的可靠性能保持較长的時間，因为接通它們以前，它們是处在非工作状态的。

与恒定接通的备份件比較，以更換法儲存的优点随着被儲存元件的可靠性的降低而增长。

要求在长時間內工作，可靠性高的复杂的无綫电設備，如无綫电中繼綫路，大型无綫电樞紐站等設備中，采用更換法儲存是比較适宜的。

应根据热阴极电子管的规范，来区别“热”和“冷”的备份件。

使用“热”的备份件可以縮短將綫路由失效的元件轉換到备份元件所需要的时间。

用“冷”备份件可以增加备份元件的寿命。

如果能够保証用每个备份元件来更換大量的同一型号的工作元件，那么用单个儲存接合更換接通的方法是最有效的儲存方法。

使用儲存法是提高无綫电电子装置可靠性最有效的方法之一。

但必須指出，使用儲存法不可避免地会使設備复杂化，增加設備的重量和尺寸。

因此，設計无綫电电子設備时，只有当用尽了其它一切較簡便的提高可靠性的方法，而这时又非常需要提高可靠性的情况下，在設備中使用儲存法才是适宜的。

从上述观点来看，微小型化問題在提高无綫电电子設備

可靠性方面具有极其重要的意义。

微小型化問題的实质在于，在提高設備的可靠性和保證設備的生产能够自动化的同时，尽可能地减小所有基本无綫电零件的尺寸和重量，并提高其装配密度。

用简单地减小現有的无綫电零件的尺寸和重量的方法不能解决微小型化問題。对提高設備可靠性及其在极端負荷条件下的工作能力的要求必然会促使电子零件和装置在結構和生产工艺方面作根本的改变。

新零件的制作必然也要求采用装配零件的新方法和新的設備設計。

在提高設備可靠性的同时，能使无綫电电子設備的尺寸尽可能地縮小的最好的系統，是微型模式系統。微型模式組件現在已成为微小型化的实际体现。

微型模式組件的高强度、不易受冲击和振动的影響、良好的密封及对周圍环境的影響的防护性能、在較寬的溫度範圍內的工作能力等性能可大大地提高用微型模式組件装配的設備的可靠性。

在上面我們已經叙述过，与設備无故障工作的概率一样，設備的修理适宜性也是其最重要的可靠性指标。因此設計无綫电电子設備时，預先規定出一切可能措施来减少寻找和排除設備故障的必要時間是很重要的。

从这个观点出发，使用微型模式設備結構系統是很适合的。

使用这种結構的設備时，用简单地更換失效的部件或組件的方法即可使設備恢复工作能力，所需的時間极少。

被更換的組件可送到專門的修理工厂修理。

使用无綫电电子設備的經驗表明，在寻找設備发生故障的原因上所花費的时间比排除故障所費的时间还多。

因此保證能够最迅速发现和寻找設備的任何故障是极其重要的。使用所謂內装式工作可靠性檢驗方法便能大大地減輕这项工作。內装式檢驗的实质是：在設備本身的組成中裝設有相应的檢驗測量仪器，这种仪器不断地檢驗設備的基本参数；在参数变化超过容許极限时，檢驗系統便产生切断失效元件，接通代替失效元件的无故障元件的信号，或者发出必須修理設備的信号。

設計阶段最后的工作是制造和試驗样机，在此过程中檢驗設計的数据和实际中获得的参数，其中包括所設計的可靠性。

設備的試驗方法有很多种。在研制設備的过程中，边界試驗方法是檢驗无綫电电子設備可靠性最有效的方法。該方法的实质是：改变受試設備的工作规范直到設備的一个元件或部件损坏为止。

使用边界試驗方法，可以具体地估計受試样机的可靠性，帮助設計人員了解样机的薄弱环节并在这些地方建立必要的安全系数。

## 第七章 保證大批生产时的可靠性

任何无綫电电子設備样机在其設計阶段就已奠定的可靠性，应在成批生产时固定下来并予以保證。



什么措施能够保证无线电电子设备在成批生产时的高度可靠性呢？

对协作工厂生产的全部材料和成套元件进行入厂检验是重要的措施之一。

下面的数字能充分说明入厂检验的意义。在生产电视接收机的工厂里，其劳动的费用，即从生产电视接收机的单个元件和部件开始到装配和安装为止的全部劳动费用，约为其它工厂提供的补充产品费用总数的十分之一。

对其它类型的无线电电子设备来说，情况也相类似。

在这种情况下，只有对全部入厂的材料和补充产品作严格的、组织良好的入厂检验，才能保证成批生产的设备有高度的可靠性。

所生产的无线电电子设备越重要越复杂，设备中用的材料和零件的数量、种类越多，则组织入厂检验就应该越严格越细致。

整个企业的文明生产和生产人员的个人卫生在提高大多数无线电电子工业产品的可靠性方面具有特殊的作用。所谓文明生产，特别是像真空、半导体和无线电技术这样的工业部门的文明生产，我们的理解是指完善的工艺过程，以及对工艺过程的严格遵守，保持实验室和车间的高度清洁，恒定的湿度和温度，保证防尘和空气调节，以及无论在生产单个的元件和零件，或者在装配和装置所有产品时的高度自动化。

厂房、实验室和车间对保持其高度文明生产的适应性具有很大的意义。其相应的条件在设计 and 建筑新的无线电电子工业企业时，就应预先加以考虑。但是很遗憾，许多工业企业在建立时却很少考虑这些要求。

在所有的厂房内保持高度清洁是很重要的。任何一个施工工序都不能容许有灰尘和污物。工作场所清洁，这是文明生产中最首要、最基本的要求，它在无线电电子工业中具有特别重要的意义。

在无线电技术工业的某些生产过程中，手指接触了产品的元件便会引起腐蚀或其它一些质量变化。比如，手指上的汗水如果粘在高频电容器的云母片上，其损耗角便会急剧增大。

生产锗和硅半导体器件、长寿命电子管、长期工作不用维护的各种装置设备时要求特别的清洁和严格的周围环境规范条件。

生产上述仪器时，对生产工序需要多高的要求，可以通过下面的例子来加以评论。例如生产电解电容器时采用纯度为99.9%的薄铝箔，生产半导体器件时，采用均匀单晶的锗和硅，在1亿个锗或硅原子中其杂质不得超过一个原子。

在这种情况下，生产人员的个人卫生有很大的意义。掉在导弹控制设备精密轴承上的一粒微小的头皮屑，可能引起导弹偏离目标几百万公里。

改进和提高无线电电子设备生产工艺过程是一个困难而又复杂的任务。无线电电子工业有40多种独立的生产形式，使用着数千种各种不同的工艺方法和数百种专门的工艺设备。

无线电电子工业的迅速发展及其工艺的完善为过渡到无线电电子设备成套生产的机械化和自动化创造了前提。

自动化在提高无线电电子设备可靠性方面的意义，每个人都是很清楚的。制造设备的生产过程的自动化越高，由人

的个体特性所带来的误差就越小，产品均匀性越高，缩小公差的可能性就越大。

复杂产品的装配和安装的自动化，必定会排除由于人工装配和安装所产生的缺陷，这种缺陷的数量在目前还是很大的。

在成批生产无线电电子设备时，使单个零件、电路、联级与组件的标准化及规格统一，对贯彻生产自动化和提高无线电电子设备可靠性具有很大的意义。许多标准电路，如视频放大器、低频放大器、间歇振荡器、阴极输出器等规格都可以统一。

在成批生产无线电电子设备的过程中，对元件和成品都应进行专门的可靠性试验。这些试验与该类设备以后使用的实际条件越接近，则这些试验越有效。成批生产以及研制新的无线电电子设备样机时，采用前述的边界试验方法是极为合适的。

对生产的设备进行试验性的使用可得到很大的益处。通过试用可以从实践中评价设备的可靠性，查明其薄弱环节，保证预报故障的可能性。

在进行试用的同时，应组织收集设备在实际使用条件下所产生的各种故障和缺陷情况的资料。

正确地组织试用，有系统地收集和分析设备在实际工作情况下所发生的一切故障资料，就为采取有效的措施来排除研制新的设备样机或改装现有的设备时所发现的一切缺陷提供了保证。

如果不能满足这个要求，便会在新的模式组件中重复产生旧的结构和生产上的缺点，从而降低设备的可靠性，这种

情况在許多类型的电视接收机中已經发生过。

如果在生产过程中对产品沒有固定的檢驗，則任何工业产品的质量都不可能保持在所要求的水平上。因此規定最合理的质量檢驗系統，对保証工业产品，其中包括无綫电电子设备的高度可靠性具有很大的意义。

为了提高可靠性，在质量檢驗、設計样机和制造样机的生产过程之間建立紧密的联系是很重要的。

統計分析法和质量檢驗統計法是完成这些任务最合适的方法。近来外国的各个工业部門都越来越广泛的采用这些方法。

质量檢驗統計法的优点是什么呢？它与从前采用的普通檢驗方法的区别在哪里呢？

旧的方法是技术檢驗科的檢驗員在檢驗成品的质量是否符合技术条件規定时，实质上仅仅是登記一下质量而已，他們对生产工艺的改善沒有起任何作用，他們在生产过程中的作用純粹是被动的。

为了充分（100%）的保証产品的质量，必須百分之百地檢驗受檢产品。当然，这要求技术檢驗科配有大量的技术檢驗人員。

但由于測量仪器所引起的測量上的客觀誤差，由于檢驗員不够小心及其它原因所造成的測量上的主觀誤差等原因，即使是这样檢驗也不能保証应有的产品质量。

統計檢驗法是以数学統計法为基础的一种檢驗方法。

檢驗对象不是极少数的一些产品，而是成批产品质量的共同的特征。如果用統計檢驗法，就不必百分之百的檢驗产品，只要根据某一部分产品（选择、抽样）的檢驗結果，就

完全可以判断一批产品的质量。鉴定一批产品的质量后便可以确定该型产品的总质量和可靠性的概率。

在检验产品质量的同时，统计检验法还可对生产过程和工艺过程的状况作系统的观察。

统计检验有两种形式：接收统计检验和日常统计检验。

接收统计检验是检验一批成品的质量，其方法是选择一部分抽样进行检验。

日常统计检验是在产品生产的过程中进行的，其目的不是检验成品的质量，而是检验生产过程中保证预定的质量的情况如何。

因此统计检验法能及时确定产品质量和产品可靠性变坏的征兆并采取必要的措施，及时调整，以保持工艺过程处于应有的状态。

可见统计检验法与旧方法的区别在于，它不仅检验而且还能改进成批生产的产品质量和可靠性。

如果检验和计算工序实现了最大程度的机械化和自动化，则统计检验法就更为有效。

目前对于在无线电电子工业中广泛应用统计检验质量的方法的问题已引起极大的注意。

## 第八章 保持设备在使用过程中的可靠性

在设计 and 成批生产设备的过程中，无论采用了什么样的措施来提高无线电电子设备的可靠性，如果设备使用不当，则

其工作仍会不可靠和不耐久。

相反，如果正确地組織使用，及时地对設備进行必要的預防、維護和修理，設備的可靠性就能超过保險期限若干倍地并长期地保持在規定的水平上。

使用設備时設備的可靠性不仅取决于主觀因素，即取决于操作人員的技能和經驗，还取决于客觀因素，即取决于使用設備的具体条件和特点。

經驗証明，无綫电电子設備有20%以下的故障是由于操作人員的过失造成的。为了正确地組織对設備的使用和减少由于操作人員的过失而造成的故障，設備所附技术文件的质量具有极大的意义。

年年都大量生产的民用无綫电电子設備，如电视接收机、无綫电收音机、电唱收音二用机等，都是比較复杂的技术設備，在大多数情况下使用者都沒有必要的无綫电电子学知識。

在这种情况下，民用无綫电电子設備所附技术說明书就具有特別的意义。要知道它是設備购买者使用設備所依据的唯一的資料。

因此使无綫电电子設備所附技术說明书編写得尽可能詳細，附以必要的电路图 and 零件清單，使它的說明尽量簡明易懂，使它包含每个人都能懂的有关設備的使用方法、貯存与保管的注意事项和建議是很重要的。

由于使用設備的知識和經驗不够，如电源电压装設不对，違反接通和切斷設備的規則，不正确地調节控制和調节机构，装置自做的保險器等都是不正确地使用无綫电电子設備的最有代表性的現象。

如果說民用无綫电电子設備是在較良好的室內条件（溫

度、湿度比較恆定，沒有機械影响) 下使用，則勤務用設備特別是攜帶式及戶外用的設備就可能在最复杂的各种各样气候和机械条件下使用。

因此对設備工作的可靠性來說，与主觀因素一样，客觀因素也有很重要的作用。操作无綫电电子設備的技术人員，必須了解各种不同的外部因素对設備的影响。

使用設備时，周圍溫度的急剧变化、高湿度及各种机械作用对設備工作的可靠性有很大的影响。

温度升高的影响表现为各种各样的形式：电真空器件出現各种不同的損坏，如真空破坏、阴极加速磨損等；絕緣材料变坏、絕緣电阻减小、击穿危險性增大；电容器、变压器和其它元件的密封性破坏、开始溢出灌封和浸漬物。由于絕緣磁漆被破坏，卷綫产品出現短路綫圈，这就会引起这些产品电参数的变化。某些元件的参数（电感、电容、电阻）改变，会破坏电路的調节，使設備产生故障。

低溫使設備的使用更为复杂，使供电設備难于启动，使天綫饋綫設備扫描和轉动的時間增加。低溫影响会損坏普通的不耐寒的橡皮，其結果会减低电纜的柔軟性、增加其脆性。澆注物开裂会破坏各种元件的密封。潤滑油凝聚会提高机械部件的負荷。在低溫影响下，某些电路元件会改变本身的参数，这就会使所有設備的正常工作规范失諧和破坏。

湿度升高也会剧烈影响設備工作的可靠性。在湿度影响下會出現各种漏泄，大大增加表面击穿的危險性，增加高频損耗，增加电器接綫电容。这一切会使設備失諧，有时会使設備发生故障。

各种机械作用对設備有极大的影响。在振动和冲击的作

用下，电路的許多元件，首先是电真空器件，会出现各种机械损伤，在电真空器件上可发现电极闭合、灯丝断线、线担支撑松动及玻璃裂缝等现象。加速作用会使零件的支撑松动，损坏各种连接的接点。由于发生火花，在不稳定的接点上会出现强烈的干扰。

如果操作人员能清楚了解各种外部因素对设备工作可靠性的影响，那它就可以随时采取措施来排除或减少这些因素的有害影响。

无线电电子设备工作的可靠性和耐久性在极大程度上是取决于及时进行必要的预防维护以及正确地组织设备的修理工作。

预防维护工作有时称为计划预修，其任务是对设备进行定期检查并及时采取必要的预防措施来预防设备可能发生的故障和可能出现的毛病。

虽然进行了预防工作，但仍需要修理系统，用它来排除设备中可能产生的故障和毛病。

贮存、运输和包装设备的条件对保证无线电电子设备可靠性具有很大的意义。但可惜的是对这些问题，特别是包装和运输问题还没有经常地给予应有的注意。

同时，设备包装不当时，一出厂，从工厂到仓库或直接到消费者手里的路上就会使外部以及内部受到各种机械损坏。

不小心的运输，如装载设备时用力挤压，没有遵守包装设备时“向上”或“向下”的规则，在汽车或火车车厢内未将设备作相应的固定等，都可能使设备发生严重的毛病和损坏。



貯存无綫电电子設備时未必經常保証必要的条件。为了长期地貯存无綫电电子設備，必須有封閉的加暖庫房，房內应保持标准的溫度和湿度。

收集、研究和总结設備的可靠性資料，有关設備工作时所产生的一切故障和缺陷的資料，是使用无綫电电子設備时极重要的任务。

無論是在設計新的无綫电电子設備时；或者成批生产时，这些資料都是非常必須的。只有仔細地研究和总结有关使用情况的資料，才能保証进一步提高所有无綫电电子設備的可靠性和耐久性。

## 第九章 可靠性問題的重要意義

在无綫电电子工业領域內，是否能够有效解决无綫电电子設備的可靠性問題呢？仍以电视接收机为例，下面我們来較詳細地研究一下这个問題。

我們在本书的开头已經談到許多型号电视接收机不够可靠。但我們知道电视接收机是由几百种各种各样的零件和材料組成的。

电视接收机中有一个电视管和各种电子管、許多半导体器件、大量电阻和电容器、导綫、电纜和測量仪器等。

如前所述，由于电真空器件和半导体器件所引起的故障达全部故障的 40~50%。

这些故障中的大部分故障是由于生产不够文明和电真空

和半导体工厂沒有遵守工艺規程的結果。

电真空工业是否能依靠自己的力量經常保証电子管和电视管具有所要求的质量、可靠性和耐久性呢？

当然可以。因为它对自己生产的产品质量負有直接的責任。而且这是完全正确的，因为电视管有25%的廢品是由于生产上的缺陷所造成的（屏幕上有污点、真空破坏等）。

但是电真空产品的可靠性和耐久性在极大程度上与制造它們所用的原材料的质量有关，如与制作电子管和电视管外壳用的玻璃的质量，与制造电极所用的金屬的质量有关等等。

电视接收机有很大一部分故障是由于其中所采用的电阻和电容器的质量低劣而引起的。

但必須指出，电阻和电容器的可靠性也同样地在极大程度上取决于制造它們所采用的金屬以及其它各种材料的质量，以上这些材料都是由各个不同的工业部門制造的。

电视接收机中用的半导体器件、电纜和导纜等也有同样的情形。

如果注意地观察一下电视接收机制造厂所采购的全部成套产品和材料，我們就会看到，电视接收机的生产以及电视接收机的质量和可靠性在不同程度上是与許多工业部門的工作相关的。

这不仅对电视接收机是正确的，而且对于任何其它无綫电电子设备也是正确的。設備越复杂，則它与其它工业部門工作的水平与质量的关系也就越密切。

我們提到这一点，决不是为了推卸电视接收机制造厂在工作质量和可靠性上应担負的責任。这种結論是完全不正

确的。

第一，这些电视接收机有相当一部分废品是直接由制造厂造成的，与其它工业部门的工作无任何关系。

第二，制造电视接收机的工厂，像任何其它无线电电子工业工厂一样，其产品与大量其它工厂提供的材料和成套产品有关，必须像第七章所讲的那样组织最仔细和最严格的入厂检验。

良好地组织入厂检验，必定会限制可能渗入到无线电电子设备生产中那些不符合质量要求的材料和零件。

谈到无线电电子设备与许多其它工业部门的工作关系时必须强调指出，只有一切工业部门都同时地、经常地、坚决地为产品的质量 and 可靠性而进行斗争，可靠性问题的根本解决才有保证。可靠性问题在目前不仅具有全国的意义，而且可靠性问题应在全国范围内，通过各个工业部门的努力，在所有社会团体的直接参加下，来求得解决。

有效地解决这一问题，要求相应地培养工程技术干部和工作人员。这对于无线电电子工业具有特别的意义。无线电电子工业设备在自动化的所有过程和许多科学技术部门中具有决定性的作用。

现代无线电电子设备的复杂性，设备所采用的大量零件及所用材料的多样化，以及设备使用规范的不同，就像我们所见到的一样，它们会使设备的可靠性变成取决于许多“随机”因素的因变量。

因此在研究可靠性问题时，在拟制其数量指标，确定提高可靠性的方法时，应广泛应用概率论和数学统计，这两门科学可以研究影响可靠性的大量交变量和随机变量的相互关系。

数学統計方法是解决可靠性問題的主要方法。統計研究方法可以从最少的資料中取得最多的有益的情報。

可靠性問題的研究工作与其它許多科学和技术部門也是有联系的。

但是无綫电电子設備可靠性問題的主要問題已日益具有最重要的独立意义。可靠性理論已作为一門新的、独立的学科建立起来了。

可靠性理論的主要內容是：研究影响成品可靠性及其相互連系和依从关系的原因和因素；研究可靠性的定量測定和指标及其工程計算方法；估計預測和試驗可靠性的可能性；确定設計、生产和使用过程中的可靠性值；确定最有效的收集和分析設備可靠性統計数据的系統和許多其它問題。

将有关无綫电电子設備可靠性的專門課程列入高等学校和中等专业学校的大綱中，首先是列入无綫电专业的大綱中，显然是非常必要的。

目前某些高等技术学校已經开始学习有关可靠性的某些問題。

无綫电爱好者在提高无綫电电子产品和使用的原材料与元件的可靠性及耐久性方面可以起很大的作用。

无綫电爱好者在自己的設計中也早已了解到提高无綫电发射管、电子管、电容器、变压器和其它許多元件的可靠性和耐久性的重要性，这些元件的不可靠不止一次地給他們带来了不少的麻煩。

各个无綫电小組在观察无綫电电子設備产品在工作中引起故障的原因以及研究无綫电元件的材料的老化物理时，他們可以作一些有益的工作。

每个工厂、设计院或研究所都怀着感激的心情从无线电爱好者那里接受这种观察的总结资料。

遇到某些最典型的事件时，必须将损坏的无线电电子元件和元件产生失效的一切情况和工作规范的说明同时附上。

企业中的无线电爱好者，必须首先带头作提高文明生产的工作，研究所生产的产品引起可靠性低和耐久性差的一切原因。

提高无线电产品的可靠性和耐久性的问题和它们的决定因素，应成为无线电小组经常研究的课题。

无线电小组在收集和整理发生在无线电爱好者所设计的设备中的故障的情报方面可以作许多工作，这种情报对于无线电电子工业部门是极其重要和有益的。

## 第十章 国外无线电电子设备

### 可靠性的概况

对我们来说，无线电电子设备的可靠性问题首先是技术发展的問題，是迅速发展国民经济和改善人民日常生活的問題；而在美国，由于其对外政策奉行侵略的方针，主要是从发展军事技术的观点，是从不断进行军备竞赛的观点来研究这个问题的。

随着无线电电子学的发展，各种无线电电子装置、设备和元件在军事技术装备和军械的各个领域内开始起着越来越大的作用。下面的例子足够说明这一点。

1941年歼击机上的无线电电子设备有40个电子管；現

代的歼击机上的无线电电子设备有 600 个电子管，轰炸机有 2000 个电子管。

在海軍驅逐艦的无线电电子设备中，仅仅是电子管的数目，在 1937 年才 60 个，到第二次世界大战末期就增加到 3000 多个。

在第二次世界大战以前，一架飞机上的无线电电子设备（视飞机型号的不同而定）的价值为 3000~5000 美元。现在喷气式轰炸机上的无线电电子设备的成本已达 750,000 美元。

必須指出，在第一次世界大战以前（1914 年），美国空軍的所有无线电电子设备的价值约为 4000 美元。

但在无线电电子学迅速渗入军事技术装备各个部門的同时，也开始发现了許多可靠性极低的无线电电子装置和设备。这一点在第二次世界大战結束前表现特別显著，在朝鮮战争时期也表现非常明显。

在第二次世界大战中运到远东的航空无线电电子设备中有 60% 是不能使用的。

在 1949 年发现：有 70% 航海无线电电子设备处于非工作状态。有 50% 的无线电电子设备在仓库貯存过程中就已损坏。

1950~1952 年，无线电通信设备有 14% 的时间处于非工作状态，水声设备有 48% 的时间处于非工作状态，雷达设备有 84% 的时间处于非工作状态。

战后几年的特点是军事技术装备进一步迅速发展和复杂化。导弹、火箭所装备的无线电电子元件是控制系统最重要的組成部分。

在发射人造地球卫星和彈道火箭时，无线电电子学的决定性作用变得特别显著。

但无线电电子设备的可靠性不仅只具有軍事上的战术上的意义，同时还具有极显著的經濟意义。

如果无线电电子设备中的零件工作不可靠，就必须經常更換。根据 1953~1955 年的資料，美国海軍为了使装备上的 160,000 个无线电电子设备保持工作状态，每年不得不更換一百多万个零件。空軍在其仓库中为每个工作的电子管要保存九个备用电子管。

尽管在每次起飞前都对轰炸机上的无线电电子设备进行了檢查，但美国空軍还是未能将轰炸机上的无线电电子设备的修理間隔期限提高到 20 小时以上。因此价值一美元的飞机设备每年要花費两美元的維護費用。

在 1959 年，美国由于设备的可靠性不够，为了保証设备的使用，軍队不得不在自己的仓库內保持价值二百一十亿美元的备用器材，同时这种器材的經費每年要增长二十亿美元。在国防部所有系統內，有七分之一的軍人（14%）和五分之一的职工（20%）在从事设备的修理和預防維護工作。

为了查明不可靠的原因，对許多陆海空軍部队的无线电电子设备进行了大量的調查工作。对成千个设备以及其中使用的几十万个零件和电子管进行了檢查。詳細地研究了各种类型电子设备的使用条件和特点，研究了其修理、运输和仓库貯存系統。

在美国已开始建立專門的可靠性和質量控制处、科、實驗室和小组。

美国无线电公司的檢驗系統包括：

**合同檢驗**，其目的是保證从承包商那里获得的材料和零件的质量，能保證研制的系統具有預定的可靠性水平。

**系統檢驗**，其目的是在制定和平衡战术条件和技术条件阶段中，使某公司能够接受可完成的可靠性标准，而这种标准高于其他一些竞争的公司所提出的标准。

**設計檢驗**，在确定所用的部件、組件和仪表的可靠性标准时，在选择电路元件及其使用规范时，在計算电路的可靠性及研制系統（設備）的可靠性时都应进行这种檢驗。

**生产檢驗**，該檢驗包括对各个工序的檢驗，檢驗元件、組件和部件，檢查其結構是否与圖紙相符，檢驗其参数是否与技术条件的标准相符。

**产品的預防檢驗**，这种檢驗是在将产品提交給技术檢驗科和訂貨者以前，对所生产的样品和其可靠性程度进行初步的产品鉴定。

**野外条件檢驗**，亦即在試驗場作交付試驗檢驗，以及在試用設備过程中的檢驗。

美国是怎样来提高无綫电电子設備的可靠性呢？

对每个設計和制造的設備样机准确地提出具体的可靠性要求，被认为是为提高无綫电电子設備可靠性而进行有效工作的最重要的先决条件。

美国目前要求在所有战术技术要求和研制各种无綫电电子設備样机的技术条件中，除了其他各种技术参数以外，还必须列入設備可靠性的定量要求。

**故障間的工作時間**，即設備在两个相邻故障間无故障工作的平均小时数，被认为是可靠性的基本定量标准。

在美国已拟訂了可靠性标准的推荐值。



因为设备中所用元件的质量对保证设备具有给定可靠性有着极其重要的意义。曾将所有元件按其不同的使用范围划分为具有不同水平的可靠性组。可靠性的水平取决于故障强度，故障强度以1000工作小时的百分数表示。

按美国无线电公司的建议，所有元件被分为七组（表3）。

表3 元件的可靠性水平

水平名称	代号	故障强度，以1000小时的%表示	备注
市场水平	O	20	该种水平的元件供一般用途的产品使用，不需作可靠性数量估值
低水平	R	1.5	该种水平的元件供用途不重要的产品使用，这种产品要求对可靠性作数量估值
标准军用水平	S	0.5	S水平的元件属于这种水平，以低于额定工作条件的使用方法来提高可靠性
次标准水平	DS	0.15	
高水平	T	0.05	以在轻负荷的工作条件下使用的方法来提高T水平元件的可靠性
次高水平	DT	0.01	
最高水平	U	0.005	

按照所采用的可靠性水平，确定在军用和民用设备的不同系统中应采用何种水平的元件。（表4）。

美国认为设备的设计阶段对保证无线电电子设备高度可靠性具有最重要的意义。

除了选择具有相应的可靠性水平的元件和仪器外，还应

表 4 在不同系統內的元件可靠性的需要水平

系 統 名 稱	需 要 水 平
电子計算机	U
飞机射击控制系統 導彈系統	DT
便携式軍用通信設備 飞机通信設備 船舶通信設備 <sup>①</sup>	T
厘米波段无綫電設備 輕便无綫電儀器	DS
无綫電广播設備和电视設備	S

① 原文为“船舶設備”，可能有誤。——編者

特別注意保證所設計的設備中的全部元件的正常工作規範。

在選擇电路和設計新樣機時，必須考慮其將來的修理適宜性。

大多數公司在設計設備時對某些組件和部件進行了專門的可靠性試驗。對每個研制的电路都作了特殊的可靠性研究。許多可靠性工程師專門研究电路并編制專門文件，文件中提出了研制人員必須執行的建議。

在提高設備可靠性的最重要的方法之中，廣泛使用的一個方法是儲備法。研制了自動更換失效元件和故障部件的大量电路。

在成批生產无綫電电子設備的過程中，對元件和零件進行入廠檢驗，在將它們裝入設備前對其進行嚴格的檢驗以吸引承包商對他們所出售的全部零件和材料作必要的試驗等具有巨大的意義。

美国飞机公司的可靠性部門与承包商簽訂了专门文件，由承包商对所出售的元件和产品作必要的試驗，并提供証明进行了相应的試驗。这种入厂檢驗方法实行了两年以后，由于供售产品不良所引起的故障数大大降低，例如电动机的故障由15%降到0.2%以下，电位計故障由32%降到1.5%，各种型号的电容器的失效由26%降到1.7%等。

对设备进行大批生产时，不仅在生产单个元件和部件时，而且在装配和安装设备时，都广泛地运用了自动化，并且将设备的基本元件规格化和标准化。

应极广泛地建立收集无綫电电子设备在其使用过程中发生故障的資料的机构，并对这些資料加以研究和总结并供給工业部門使用。

統計分析方法和质量檢驗方法無論是在无綫电电子设备的生产中或者在使用中都有极大的意义。这些方法不仅在无綫电电子工业中，而且在相近的工业部門中都被极广泛地使用。

对“可靠性的价值”，即为提高可靠性所花费的代价应极其注意。根据对近5~6年来所积累的有关无綫电电子设备可靠性的資料以及有关研究可靠性、生产和使用设备的費用的資料的研究，确定了研制设备的“单位”成本。該成本等于費用的总和除以所研制设备中的电子管数。还确定了在5年内使用一个电路电子管的单位費用。这些費用包括修理及更換元件的費用以及使用和修理设备的人員的費用。

根据可靠性数值的不同而繪制的这种单位成本曲綫，能确定生产和使用无綫电电子设备的費用。

在1959年美国无綫电工程师协会全国會議的一个报告

中，列举有使用这些曲线的具体例子。

以具有 100 个电子管的地面接收发射设备为例，研制样机后，制造了 3000 套设备，该设备可靠性的特点是故障间的平均工作时间为 300 小时。

作者认为，如果故障间的平均工作时间由 300 提高到 400 小时，则研制该型设备的费用就要贵 150 万美元。但 5 年中使用 3000 套设备的费用减少了 750 万美元。可见故障间的平均工作时间由 300 小时增加到 400 小时，从经济上看，花费在研制工作上的 150 万美元不仅是正当的，而且仅仅在 5 年的使用过程中就可节约 600 万美元。

某些公司（如柯琳兹无线电公司）在最近 5 年内将所生产的设备的可靠性提高了一级左右。

但美国所达到的结果并不能保证解决全部无线电电子设备的可靠性问题，因此解决可靠性问题的迫切性在以后若干年内依然存在。

## 结 束 语

我们已简单的介绍了无线电电子设备在国民经济和人民日常生活中具有什么意义，引起无线电电子设备不可靠的可能原因是什么，用什么方法来提高无线电电子工业产品的可靠性和耐久性，国外可靠性问题的概况。

无线电工业一年年地在发展。目前生产的各种各样产品中，由最小的大头针大小的热敏电阻到世界上最大的无线电

电子設備（世界上功率最大的同步相位加速器），这些产品都是发展科学、国民經济、文化和国防所必需的。

在无线电电子設備和装置这样多样复杂并日趋复杂化的情况下，能否保証其可靠性和耐久性具有所必需的水平呢？

这个任务是艰巨的，希望各方面人士給予注意并参与这一工作。

提高所有无线电电子設備及其元件的可靠性，将大大促进技术的进步及人民福利的增长。