

无綫电元件及 其可靠性問題

〔美国〕K. 汉涅、C. 渥尔士著

李均报、蔡流海译

章士瀛校



國防工業出版社

1964

出版者的話

本書闡述了無線電電子設備中使用的元件及其可靠性問題；敘述了無線電電子設備發生故障的原因、可靠性參數的確定及其測量方法、無線電元件的技術要求與使用要求；列舉了電阻器、電容器、繼電器和開關裝置的主要類型，給出了一般技術數據；分析了電容器的工作原理、電容器所用的材料；提出了軍用電子設備中所採用的繼電器和開關裝置的技術條件及其選擇的建議。

本書系由俄譯本轉譯。俄譯本為 Д. М. Казарновский 譯 “Радиодетали и проблема их надежности” (Издательство “Советское Радио”, 1960)。原著為 K. Henney 與 C. Walsh 著 “Electronic Components Handbook” (McGraw-Hill book Co.)。俄譯者對原文曾作了某些修改和增刪，中譯者對照原著作了校核，對俄譯本中含糊不清的地方，作了修改和加了注解。應該指出，原著中有些觀點是錯誤的；譯文中沒有逐點加以更正。書中所列美國軍用技術條件僅供參考。

本書可供無線電工程技術人員、高等院校師生以及關心無線電電子設備可靠性問題的專家參閱。

ELECTRONIC COMPONENTS HANDBOOK

[美國] K. Henney, C. Walsh

McGraw-Hill book Co., Inc.

*

無線電元件及其可靠性問題

李均報、蔡流海譯

章士瀛校

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

新華書店北京發行所發行 各地新華書店經售

國防工業出版社印刷廠印裝

*

850×1168¹/₃₂ 印張 11⁷/₁₆ 292 千字

1964 年 8 月第一版 1964 年 8 月第一次印刷 印數：0,001—5,300 冊

統一書號：15034·730 定價：(科七) 1.90 元

序

第二次世界大战以来，对軍用无綫电电子设备可靠性的要求几乎没有改变，但是，保证高度可靠性的困难却大大增加了。引起设备发生故障的主要原因，是设备的复杂性不断增加和环境条件所要求的工作规程日益严格。

现在，用于軍事目的的电子设备和十五年前的大不相同。三十年代末，在比較简单的通訊设备中可以允許的无綫电元件的损坏数，现在在用于无綫电定位、导航、火力控制和无綫电通訊以及軍事行动期間完成其它任务所采用的复杂的电子系統中是完全不能允許的。

电子设备可靠性問題是否可能解决，取决于技术設計的完善程度，特别是设备中无綫电元件的設計和应用。为了突出这些情况，这里先談几个主要的概念。

无綫电电子设备在下述条件下可以达到很高的可靠性，第一，制造无綫电元件的材料能抗电、抗化学、抗机械作用，且在工作及儲存期間內能經受其它外界作用的影响；第二，无綫电元件的設計和装配保证元件既能完成預定的作用，又能最好地符合它們的用途。

无綫电元件使用的条件，应当使材料的性能或者結構至少是在預定的工作期限內适应这些元件完成預定作用的要求。

在执行战术任务时，由于设备发生故障，会使任务无法完成；除此之外，可靠性問題还有很大的經濟意义。計算表明，设备每年的維修費用超过了它的购买价格，至少是等于它的购买价格。

十分明显，用来保证提高可靠性的費用，在經濟上是十分合算的，它可以解放出很大一部分工作人員去执行其它任务。此外，提高可靠性还有下列三个好处：（一）由于更合理地使用专家，可达到節約的目的；（二）保存了貴重的设备；（三）能完成重要的軍事任务。

目 录

序.....	6
第一章 軍用电子设备的可靠性	
和配套元件的作用	7
可靠性不足的原因	7
可靠性的定义	8
表明可靠性的数值	9
元件可靠性的估計	10
可靠性——統計学的任务	11
故障的指数律	12
配套元件的概述	15
軍用技术条件的系統	15
軍用技术条件的概述	17
附有詳細数据的技术条件	17
軍用标准	17
标准元件一覽表	18
設備使用的技术条件	18
非标准元件	18
技术条件的編制	20
电子元件資料的来源	21
电子设备中元件的选择和使用說明	21
影响电子元件应用条件的因素	22
第二章 电阻器	28
电阻器的主要类型	28
电阻器特性值的測定	31
电阻器可靠性的因素	34
固定合成电阻器	45

固定薄膜精密电阻器	61
高频电阻器	77
固定线绕电阻器	80
大功率固定线绕电阻器	82
固定精密线绕电阻器	96
固定非线绕大功率电阻器	105
可变电阻器及其应用	106
可变合成电阻器	109
低工作温度用的可变线绕电阻器	118
可变线绕大功率电阻器	123
其他各种各样类型的可变电阻器	129
第三章 电容器	130
电容量	131
储存能量	132
安全措施	132
电容器电极的材料	133
介质和电容器的基本特性	133
标称电容量和额定电压	145
环境条件对电容器的特性和寿命的影响	146
电容器的试验	149
电容器的选择	150
有关应用问题的建议	153
影响电容器的结构和生产工艺的因素	158
电容器失效的原因	160
空气电容器	162
陶瓷电容器	170
通用的陶瓷电容器	182
微调陶瓷电容器	191
电解电容器	194
干式和湿式电解电容器	199
玻璃和玻璃釉电容器	216
云母电容器	221
纸和薄膜电容器	230

充气电容器	262
液体介质电容器	262
真空电容器	262
第四章 继电器	264
继电器的类型	265
继电器的功用	269
继电器的参数	275
供应和技术条件	283
继电器的試驗	283
继电器的选择	287
继电器的使用說明	292
試驗数据	297
軍用技术条件	302
第五章 开关	306
接点	306
开关的选择	309
环境条件的影响	313
軍用技术条件	322
杠杆式开关(起倒开关)	323
旋轉式选择开关(絕緣片式)	329
灵敏开关	334
真空开关	351
高频开关	354
水銀开关	356
参考文献	358

无綫电元件及 其可靠性問題

〔美国〕K. 汉涅、C. 渥尔士著

李均报、蔡流海译

章士瀛校



國防工業出版社

1964

出版者的話

本書闡述了無線電電子設備中使用的元件及其可靠性問題；敘述了無線電電子設備發生故障的原因、可靠性參數的確定及其測量方法、無線電元件的技術要求與使用要求；列舉了電阻器、電容器、繼電器和開關裝置的主要類型，給出了一般技術數據；分析了電容器的工作原理、電容器所用的材料；提出了軍用電子設備中所採用的繼電器和開關裝置的技術條件及其選擇的建議。

本書系由俄譯本轉譯。俄譯本為 Д. М. Казарновский 譯 “Радиодетали и проблема их надежности” (Издательство “Советское Радио”, 1960)。原著為 K. Henney 與 C. Walsh 著 “Electronic Components Handbook” (McGraw-Hill book Co.)。俄譯者對原文曾作了某些修改和增刪，中譯者對照原著作了校核，對俄譯本中含糊不清的地方，作了修改和加了注解。應該指出，原著中有些觀點是錯誤的；譯文中沒有逐點加以更正。書中所列美國軍用技術條件僅供參考。

本書可供無線電工程技術人員、高等院校師生以及關心無線電電子設備可靠性問題的專家參閱。

ELECTRONIC COMPONENTS HANDBOOK

[美國] K. Henney, C. Walsh

McGraw-Hill book Co., Inc.

*

無線電元件及其可靠性問題

李均報、蔡流海譯

章士瀛校

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

新華書店北京發行所發行 各地新華書店經售

國防工業出版社印刷廠印裝

*

850×1168¹/₃₂ 印張 11⁷/₁₆ 292 千字

1964年8月第一版 1964年8月第一次印刷 印數：0,001—5,300冊

統一書號：15034·730 定價：(科七) 1.90 元

目 录

序.....	6
第一章 軍用电子设备的可靠性	
和配套元件的作用	7
可靠性不足的原因	7
可靠性的定义	8
表明可靠性的数值	9
元件可靠性的估計	10
可靠性——統計学的任务	11
故障的指数律	12
配套元件的概述	15
軍用技术条件的系統	15
軍用技术条件的概述	17
附有詳細数据的技术条件	17
軍用标准	17
标准元件一覽表	18
設備使用的技术条件	18
非标准元件	18
技术条件的編制	20
电子元件資料的来源	21
电子设备中元件的选择和使用說明	21
影响电子元件应用条件的因素	22
第二章 电阻器	28
电阻器的主要类型	28
电阻器特性值的測定	31
电阻器可靠性的因素	34
固定合成电阻器	45

固定薄膜精密电阻器	61
高频电阻器	77
固定线绕电阻器	80
大功率固定线绕电阻器	82
固定精密线绕电阻器	96
固定非线绕大功率电阻器	105
可变电阻器及其应用	106
可变合成电阻器	109
低工作温度用的可变线绕电阻器	118
可变线绕大功率电阻器	123
其他各种各样类型的可变电阻器	129
第三章 电容器	130
电容量	131
储存能量	132
安全措施	132
电容器电极的材料	133
介质和电容器的基本特性	133
标称电容量和额定电压	145
环境条件对电容器的特性和寿命的影响	146
电容器的试验	149
电容器的选择	150
有关应用问题的建议	153
影响电容器的结构和生产工艺的因素	158
电容器失效的原因	160
空气电容器	162
陶瓷电容器	170
通用的陶瓷电容器	182
微调陶瓷电容器	191
电解电容器	194
干式和湿式电解电容器	199
玻璃和玻璃釉电容器	216
云母电容器	221
纸和薄膜电容器	230

充气电容器	262
液体介质电容器	262
真空电容器	262
第四章 继电器	264
继电器的类型	265
继电器的功用	269
继电器的参数	275
供应和技术条件	283
继电器的試驗	283
继电器的选择	287
继电器的使用說明	292
試驗数据	297
軍用技术条件	302
第五章 开关	306
接点	306
开关的选择	309
环境条件的影响	313
軍用技术条件	322
杠杆式开关(起倒开关)	323
旋轉式选择开关(絕緣片式)	329
灵敏开关	334
真空开关	351
高频开关	354
水銀开关	356
参考文献	358

序

第二次世界大战以来，对軍用无綫电电子设备可靠性的要求几乎没有改变，但是，保证高度可靠性的困难却大大增加了。引起设备发生故障的主要原因，是设备的复杂性不断增加和环境条件所要求的工作规程日益严格。

现在，用于軍事目的的电子设备和十五年前的大不相同。三十年代末，在比較简单的通訊设备中可以允許的无綫电元件的损坏数，现在在用于无綫电定位、导航、火力控制和无綫电通訊以及軍事行动期間完成其它任务所采用的复杂的电子系統中是完全不能允許的。

电子设备可靠性問題是否可能解决，取决于技术設計的完善程度，特别是设备中无綫电元件的設計和应用。为了突出这些情况，这里先談几个主要的概念。

无綫电电子设备在下述条件下可以达到很高的可靠性，第一，制造无綫电元件的材料能抗电、抗化学、抗机械作用，且在工作及儲存期間內能經受其它外界作用的影响；第二，无綫电元件的設計和装配保证元件既能完成預定的作用，又能最好地符合它們的用途。

无綫电元件使用的条件，应当使材料的性能或者結構至少是在預定的工作期限內适应这些元件完成預定作用的要求。

在执行战术任务时，由于设备发生故障，会使任务无法完成；除此之外，可靠性問題还有很大的經濟意义。計算表明，设备每年的維修費用超过了它的购买价格，至少是等于它的购买价格。

十分明显，用来保证提高可靠性的費用，在經濟上是十分合算的，它可以解放出很大一部分工作人員去执行其它任务。此外，提高可靠性还有下列三个好处：（一）由于更合理地使用专家，可达到節約的目的；（二）保存了貴重的设备；（三）能完成重要的軍事任务。

第一章 軍用电子設備的可靠性

和配套元件的作用

可靠性不足的原因

軍用电子設備可靠性的不足有以下六種原因：

1. 使用不當 可靠性不足的主要原因是對元件使用不當。這種情況的產生，有時是由於維修人員缺乏更好地使用元件的知識，或者缺乏有關元件不能在何種條件下使用的資料，有時是使用元件的實際環境條件不符合設計的要求。

2. 高度的複雜性 在軍事行動的條件下，僅僅依靠維修人員是不可能保證設備有效地工作的，這是因為戰鬥的神速性、要求的反應速度和大的負載都是人力所不能勝任的。目前維修人員的職責已經“轉讓”給了專門的电子設備。

軍用电子系統的特點是日益複雜。要在這種條件下設計簡單的設備，必須花費大量的時間和資金，這比研製出完成同樣任務但結構比較複雜的設備所花的要多的多。

3. 參數值在寬範圍內的迅速變化 談到無線電設備應當工作的環境條件，必須指出參數值的寬變化範圍。設計一種設備，使它能够在 $-55\sim+125^{\circ}\text{C}$ 的溫度範圍內和在地面及高空15公里條件下工作得同樣好，能够承受住汽車和鐵路運輸、飛機和降落傘着陸的惡劣條件，能够具有最小的重量、體積和最低的成本，這是一項艱巨的任務。

4. 軍用設備中採用了為一般用途而設計和生產的無線電元件 這些元件所適應的環境條件，在很大程度上不同於軍用無線電設備的工作條件。

5. 元件应当起哪些作用？其工作能力能保持多久？在战时恶劣的条件下，设备的特性有无显著变化？这些情况还掌握得不准确。

6. 軍事供应单位不可能供应供各地区的设备使用的元件在軍用设备中常采用特殊的、应用稀少的元件和非标准元件，其供应和储备很难保证有足够的数量。

可靠性的定义

减少目前存在的损坏率是迫切需要的。但是，首先必须设法判断可靠性。过去曾经提出过不少定量确定可靠性的方法，其中包括确定设备有效工作与所提出任务的复杂性之間、元件和部件的质量与它們完成所要求功用的能力間的依賴程度。但是，对于直接接触电子系統計算的专家，这些确定方法是不适用的，因为利用这些方法不能对資料从数量上加以处理。

企图用定量的方法确定可靠性是无效果的，因为不可能完全估計到可靠性問題的統計性质。目前有这样一种趋向，即根据“保險的工作寿命”或“最短的連續工作時間”等概念来判断，而不考虑偶然发生的早期故障，因为根据規定的保險連續工作時間不可能預示这些故障。如果能够用統計預报的科学仪器，这些困难是可以克服的。但是，这就要求根据統計学来給可靠性下定义，将可靠性定义为：设备在一定工作条件下，在規定的時間內可靠地完成自己的任务的概率。

按照这个定义，可靠性的数值和有效工作的可能寿命相同。在这种意义上，某一段時間內可靠性的数值可能为0到100%。在測定可靠性的时候，必須指明对设备的所有要求，包括它的规格、用途、将来的使用条件和要求的寿命。此外，还必须注意设备的类型。对于超小型的可移动设备和标准类型的地面固定设备，达到同样可靠性的困难程度相差甚远。

超小型设备出現的时间还不久，由于高温、湿度、振动和顛

難而引起的一系列問題，對於新的小型設備和以前生產的大型設備，獲得解決的程度是不相同的。在測定可靠性時，應當考慮到一次有效的短壽命設備（如用在火箭上的裝置）和經常使用的長壽命設備（如無線電定位、通訊或火力控制裝置）之間的差別。

表明可靠性的數值

解決可靠性問題的重要步驟是：確定測量可靠性的合適單位或定量地一般估計設備質量的方法。

1. 使用維修頻率（系數） 定義為：在某一段使用時間內，為了使設備工作而必須花費在維修調整上的時數與這段時間的比值。

維修系數

$$M = \frac{t_m}{t_0},$$

式中 t_m ——花費在維修上的總時數；
 t_0 ——相應的使用時數。

這種估計設備質量的方法，反映了系統損壞的次數、確定故障的位置和替換損壞元件所必需的時數，並在一定程度上反映出了維修單位的一般水平。

2. 使用準備系數 定義為：設備完全準備好工作或在工作過程中所花費的一段時間，與總的連續使用時間（一晝夜24小時或一周7天等等）的比值。

準備系數一般用百分數表示。這個數值和使用維修頻率密切有關，因為花費在維修上的時間越長，則系統處在使用準備狀態中的時間越短。

3. 完成任務的頻率 定義為：不因設備故障而中斷、成功地完成職能（或任務）數與職能總數的比值。這個數值同樣用百分數表示。

4. 平均壽命或兩次故障之間的平均工作時間 是評定設備質量最通用的方法，應用很廣泛。

两次故障間的平均工作時間定义为:

$$m = \frac{Nt}{f},$$

式中 N ——被使用設備的台数;

t ——試驗的連續時間;

f ——試驗期間發生的故障次数。

必須指出, 設備工作的時間 t 是指故障間的任意一段具体的時間。不应当將設備故障間的平均壽命和元件到損壞時止的平均壽命混為一談。

在后一种情況下, 損壞了的元件要替換, 而在前種情況下設備要進行修理, 然後繼續進行壽命試驗。當確定供完成相當長期連續工作任務的設備的可靠性時, 這種方法比較方便。

5. 故障率 λ 定义为平均壽命 m 的倒数。

$$\lambda = \frac{1}{m}。$$

显然, 对于工程師來說, 它是設備質量最有用的指标。按照壽命試驗的数据, 很容易确定故障率。任何一段時間 t 內的故障率 λ_t , 都是可以計算的, 它等于這段時間內的故障次数 f 被除以這段時間开始时設備的个数 N 。

因此

$$\lambda_t = \frac{f}{N}。$$

这个数值有时称为故障的危險性。

元件可靠性的估計

在一批元件中, 失效元件的数量借助于所謂标称的品质接收水平 (Acceptable Quality Level 或簡称 AQL) 來估計。AQL 值表示一批元件內失效元件的百分数, 換句話說, AQL 值为該批內元件总数与失效元件数的比值。

在軍用技术条件規定的一般試驗中或在“試驗方法” RETMA №42內指出的試驗中, 將認為 AQL 值为 0.1~8%。

无綫电元件 AQL 值的选取取决于安装在設備內的元件的数量和对整台設備提出的可靠性水平。例如，假若一台設備很簡單，大約只有 100 个元件，那么用 AQL 的起始值約为 0.1% 的元件制造这台設備是不困难的。但是，如果遇到十分复杂的設備，由几千个元件組成，則 AQL 值必須小于 0.01%。

可靠性——統計学的任务

为了解决复杂的軍用电子设备的可靠性問題，不久前应用了概率理論。尽管統計方法是一种近似的方法，用它不能十分肯定地回答如一种具体的設備能否在規定的時間內良好地工作或这种設備能有效地工作多久等問題，但是，用統計方法解决可靠性問題还是卓有成效的。

在較好的情况下，能够預計到它在工作中可能发生的情况和这种或然率的大小，但是并不存在絕對保証电子设备可靠性这样的数值；在較好的情况下，也只能表示出相似的保証，如預計到危險的程度以及設備的可靠性 [1.2]。为了近似地确定元件的质量水平，要求具有有关統計学方面的基本知識。根据成品設備內規定的单个元件的数量和設備的最大故障率，不难确定单个元件所能允許的最大失效概率。随着元件总数的增加，元件的失效率必然降低。必要的元件的品质水平应当与設備的复杂性成比例地增高。为了制造很复杂、但同时又非常可靠的設備，有必要采用品质因数完全不同于一般的元件。

由此看来，有必要掌握无綫电元件在綫路的不同使用规范和环境条件下的可靠性的統計数据。从形式統計学的观点来看，設備內元件数量的增加，将降低設備的可靠性。

根据数学的概率定律，复杂設備的可靠性不等于設備元件的平均品质水平，而是低于最差元件的可靠性。

这些定律确定，复杂系統的可靠性随着元件数目的增加而成指数地下降。