

固定电阻器

G. W. A. 杜默著



国防工业出版社

固 定 电 阻 器

G. W. A. 杜 默 著

陈 芳 闻 译

杨 臣 华 校



國 防 工 業 出 版 社

內 容 簡 介

本書是根据英文本“固定电阻器”一書翻譯的，書中除了簡要的敘述了固定电阻器的一般特性及电气性能外，还比較詳細的敘述了各种固定电阻器的各种測量，以及制造工艺、材料選擇等問題。

本書对了解英国固定电阻器的生产、标准有一定的帮助。

本書适合于各种固定电阻器的制造工人、技术人员，以及对各种固定电阻器研究人員，或这类专业的学生作参考用。

G. W. A. Dummer 著 'FIXED RESISTORS'

(英国倫敦依薩克·傑梯曼有限公司1956年第一版)

*

國防工業出版社

北京市書刊出版业營業許可証出字第074号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 6 $\frac{5}{16}$ 印張 132 千字

1959年5月第一版

1959年5月第一次印刷

印数: 0,001— 5,100册 定价: (11) 1.00 元

№ 2742

原 序

元件是建設电子設備之磚，一件現代复杂的电子儀器的可靠性决定于一个最弱的元件的可靠性。因此，对元件广泛的了解将有助于各种設備的設計師和使用者。本書是从使用者的观点出發撰写，俾能在其要求上选用最佳元件并可了解有关的基本特性。書末附有比較表 各种同类元件之特性可一目了然。第八第九章介紹了元件的發展。元件的發展过程較慢，从實驗室研究到投入生产往往需数年之久。元件較小的改进則是常有的，而元件制造厂也乐于报导他們产品的改进。

鑒于元件种类繁多，本書勢难全部包括，軍用元件經改革后品种較簡化，故作为高級元件的代表。民用元件一般不能适用于極端的气候环境，但包括了相似的类型。

这是英国出版的第一本專講元件的書，虽然也介紹有美国和欧洲的情况，但主要是講英国的元件。作者希望本書能在这—技术方面起到一定的作用，并将有助于英国电子元件的發展和生产。

G. W. A. 杜默

目 录

原序	3
重要表格一覽表	6
第一章 元件概述	
元件的分类	7
元件的溫度和溼度測試分类	7
元件通用規范和文件	10
第二章 固定电阻器概述	
阻值和电阻率	13
規范, 符号, 标志和选用值	21
电阻器的选择 and 一般特性	29
电气性能綜述	39
电阻器的焊接效应	39
第三章 固定电阻器的測量	
电阻值的測量	41
电阻溫度系数的測量	47
电阻器电压系数的測定	56
噪音及其測定	59
高頻特性及其測量方法	65
第四章 功率、电压和脉冲定額	
第五章 一般用固定电阻器	
模制复合碳电阻器	79
复合碳膜电阻器	84
一般用繞綫电阻器	84
第六章 高稳定性固定电阻器	
分解碳膜电阻器	101

碳膜电阻器	108
分解碳膜电阻器的缺点	108
烧渗金属膜电阻器	109
钽膜电阻器	112
精密线绕电阻器	113
第七章 特种固定电阻器	
高阻值电阻器	119
非线性电阻器	122
热敏电阻器	123
圆盘和杆状电阻器	140
微波负载电阻器和衰减器	140
碳质耐火材料负载电阻器	142
锁流电阻器	143
第八章 试验型固定电阻器	
蒸发和溅射金属膜电阻器	144
金属氧化膜电阻器	146
烧结氧化物电阻器	147
烧渗金属膜电阻器	147
导电玻璃电阻器	148
液体电阻器	148
金属条纹电阻器	149
导电塑料电阻器	149
用于印刷电路的平板型电阻器	150
用于印刷电路之金属膜电阻器	154
粘带形电阻器	155
摄影制成的复合碳电阻器	155
用于平板型电阻器的复合碳	155
第九章 固定电阻器将来的发展	
典型的固定电阻器比较表	161

重要表格一覽表

表:

1.1	元件分类	7
1.2	元件的溫度和溼度分类	8
2.1	电阻材料的电阻率	14
2.2	英国标准顏色标志	26
2.3	美国标准顏色标志	28
2.4	固定电阻器用顏色标志和阻值表	32
2.8	固定电阻器电气特性綜合表	40
3.1	金屬和合金的电阻溫度系数	47
4.1	可容許的最大电压(軍用)	75
5.1	各种金屬和合金的物理常数	88
5.2	各种合金电阻絲的阻值(欧/碼)	90
5.3	玻璃釉繞綫电阻器的电压極限值(Welwyn)	98
7.2	标准热敏电阻特性	133
7.5	标准“卡包”电阻器的性能	137
7.6	碳質耐火材料負載电阻器的性能	143
	典型的固定电阻器的特性	162

第一章 元件概述

元件的分类

元件的要求和規範根据使用情况不同而定，以作者的意見，將元件的主要类别綜列于表1.1。

表1.1 元件分类

类别	用途	要求
商用	无綫电、电视。	价廉。良好的可靠性和足够長的寿命。不需耐受各种气候条件。不要求小型化。
專用	測試仪器、电訊、电子工业等等。	价格可較高，重要的是可靠性良好。高度准确度和充分的稳定性。不要求小型化。
軍用 (a)	地面及高空用无綫电及雷達。	充分的可靠性，能用于剧烈的环境。必須能耐受各种气候条件和大的温度范围。空用元件还必须很輕，必須小型化，有时要求超小型化。
軍用 (b)	導彈武器	充分的可靠性，短的使用和測試寿命。但必須有很長的貯存寿命，必須超小型化。須以树脂密封。工作温度范围大。
晶体管元件	軍用和商用	超小型以与晶体管相适应。常用于低壓和小电流。有良好的可靠性。

元件的温度和湿度測試分类

在1939年时，对軍用元件的温度和湿度試驗由无綫电广播局规范K110所規定。此測量包括在70°C的温度下干热6小时，然后进行二次潮溼循环(60°C和相对溼度95%下6小时)。

早在战前，曾在两个潮湿循环中插入一个 -30°C 的负温循环。由于战争波及不同的气候区域，需要使用于恶劣的条件下，故以新的无线电元件规范RCS11代替了K110。根据RCS11的温度，湿度分类将在本章讨论。商用元件由无线电工业会议制定了商业用的元件的规范RIC11，它把元件分为红、黄、绿三组。在这种分类中，对元件的测试方法亦将加以叙述。英国标准局(B.S.I.)规范B.S. 2011:1954年也拟定了英国工商业用元件的分类。目前国际无线电工技术委员会(I.E.C.)规范68号已颁布了“无线电通讯元件用基本气候试验和机械强度测试”的规范。

这四种规范的主要之点已综列于表1.2，必须记住，这几种规范可由专家加以修正。

表1.2 元件的温度和湿度分类、英国标准局分类、
B.S. 2011: 1954 规范

温 度		湿 度		
类 别	环境温度范围 ($^{\circ}\text{C}$)	级别	情 况	
			第 一 组	第 一 组
40/100	-40至+100	H1	6个加速湿热循环 (在 $+55^{\circ}\text{C}$ 相对湿度95%下16小时)。	曝露于热带空气中84天(在95%的相对湿度下 20°C 至 30°C 温度循环)。
45/85	-40至+85	H2	2个加速湿热循环。	曝露于热带空气中28天。
40/70	-40至+70			
25/70	-25至+70	H3	1个加速湿热循环 (中间干燥一个时期)。	在热带空气中曝露7天(中间干燥一个时期)。
25/55	-25至+55			
25/40	-25至+40	H3A	无	在热带空气中曝露7天

選擇組合

a. 軍用或类似用途		b. 專用、商用和家用	
40/100	H1, H2或H3	25/70	H1或H2
40/85	H1, H2或H3	25/55	H3A
40/70	H1, H2或H3	25/40	H3A

無線電工業會議分類——R. I. C. 11規範 (現已為B. S. 2011所代替)

測 試		元 件 組 別		
標 稱	補充規定	紅	黃	綠
干熱 碰擊 (時間)		70°C 無要求	70°C 8分鐘	60°C 8分鐘
濕熱循環 (55°C) 次數		3	3	無要求
冷 冷時碰擊 (時間)		-25°C 8分鐘	-25°C 無要求	-25°C 無要求
在熱帶空氣中 (20 ~35°C) 暴露時 間		84天	28天	無要求
在濕空氣中 (30°C) 時間		無要求	無要求	28天
	振動 有鹽的氣氛 中 霉菌試驗	(見各種元件的規範)		
		無要求	無要求	不作規定
		無要求	無要求	不作規定

表1.2 元件的溫度和濕度分類 (續)、軍用
分類RCS11^① 規範

溫 度		濕 度		
分 類	環境溫度 範圍(°C)	級別	情 況	
			第 一 組	第 二 組
40/100	-40至 +100	H11	6個加速潮濕循環 (在 35°C和相對濕度95%下16 小時)	暴露于熱帶空氣中84天 (在相對濕度為95%下20 °C至35°C間溫度循環)。

① 現已依1954年頒布之B. S. 2011。

温 度		湿 度		
分 类	环境温度 范围(°C)	級 别	情 况	
			第 一 組	第 二 組
40/85	-40至 +85	H2	2个加速潮湿循环	曝露于热带气候中14天 ^②
40/70	-40至 +70	H3	1个加速潮湿循环	曝露于热带气候中7天干燥6小时(60°C)

②B. S. 2011則为28天。

国际电工技术委员会分类——I. E. C. 68号规范

級 别	温 度 (°C)		湿 度
	干 热	冷	
4級严格度	100	-40	6个加速潮湿循环(55°C, 相对湿度95%, 16小时)。曝露于热带空气中84天(相对湿度85~90%, 30°C下, 12小时, 随之在25°C下冷12小时)。
5級严格度	85	-25	2个加速潮湿循环(同上) 28天热带空气曝露(同上)
6級严格度	70	-10	1个加速潮湿循环(同上) 7天热带空气曝露(同上)
7級严格度	55	—	无加速测试 28天热带空气曝露(同上)

附注: 元件可根据上列分类定級, 但須标明三个数值:

(第一) 低温。(第二) 高温。(第三) 潮湿严格度。

例如: 454組 = -40°C, +85°C和潮湿为4級严格度。

666組 = -10°C, +70°C和潮湿为6級严格度

元件通用规范和文件

有許多种元件规范, 其中主要由无线电工业会议拟訂的关于无线电工业用规范以及由无线电元件标准化委员会或皇

家文教品办公厅 (H. M. S. O.) 拟訂的关于軍用的国防用规范 (D. E. F.)。这些对于使用人都是有用的。无綫电工业會議頒布的规范仅适用于无綫电工业。只有英国标准局頒布了一个一般用的规范, 其他都是專用于各种元件的。

国际电工技术委员会 (I. E. C.) 所頒訂的规范已經公布。

无綫电工业會議拟定的通用规范

R. I. C. 11 用于电子仪器和无綫电元件之气候和耐久性测试 (現在已为1954年所頒布的B. S. 2011所代替)。

R. I. C. 1000/A, 关于无綫电或其他电子仪器以及其他元件所用材料之选择。

R. I. C. 1000/B, 关于无綫电或其他电子仪器元件型式之选择。

R. I. C. 1000/C, 关于无綫电及电子仪器用联接綫之标准顏色标志 (不包括家用无綫电和电视机)。

以上规范由无綫电工业會議供給。

无綫电元件标准委员会拟訂的通用规范

R. C. G. 1: 无綫电元件标准委员会元件手册索引●。

R. C. S. 1: 电子元件的一般规范●。

R. C. G. 3: 軍用电子元件类型索引●。

R. C. G. 4: 标准元件索引。

R. C. S. 11: 軍用电子元件的气候和耐久性测试规范。

● 現已由 D. E. F. 5001 代替。

R.C.S. 1000: 軍用电子元件的一般要求。

以上规范由无线电元件标准委员会供給。

英国标准局 (B.S.I.) 拟訂的通用规范

B.S.2011: 1954年所頒布的用于无线电和基本电子仪器元件的耐久性和气候测试规范。

以上规范由英国标准局, 英国标准室供給。

国际电工技术会议拟定的通用规范

№68, 无线电通讯用元件气候和机械强度基本测试规程。

№63, 电阻、电容器的标称值及容許偏差系列。

以上规范由国际电工技术委员会供給, 或者通过英国标准局取得。

国防用 (D.E.F.) 通用规范

D.E.F.5000: 軍用通讯设备之一般要求 (代替R.C.S. 1000第三版)。

D.E.F.5001, 代替无线电元件标准委员会规范 RCG 1, RCS 1 和 RCG 3。

以上规范由皇家文教品办公厅 (H.M.S.O.) 供給。

通用规范已如上述。对于各种專用元件另有專用规范, 这些将在以后各章討論每一种元件时再介紹。

第二章 固定电阻器概述

阻值和电阻率

欧姆定律说明：“如果导体的物理条件不变时，导体两端电位差（ E ）与流经导体的电流（ I ）之比为一常数。”欧姆将这导体的 E 与 I 之比定为电阻 R 。

在实用单位制中，欧姆定律中之电位差为伏特，电阻为欧姆，电流为安培。在1948年以前，电阻的标准单位一直是国际欧姆。即在保持融冰的温度时，在一个截面均匀而长度为106.300厘米，质量为14.4521克的水银柱通过一不变电流时的电阻。全世界有五个主要的国立标准化实验室用这个方法制成了电阻，彼此间误差仅十万分之几。

1948年1月1日起以绝对欧姆代替了国际欧姆。1绝对欧姆等于0.99951国际欧姆。在英国以特定条件下转动的导体（劳伦兹 Lorenz 方法）测定了绝对欧姆。

电磁理论指出电阻和电感与频率之积有相同的因次。劳伦兹方法即基于此。转动一个导体使切割由一个已准确知道电感的线圈所产生的全部磁力线。供给电感线圈的电流通过标准电阻器，并可量出。调整导体转速使导体两端的电动势适可与电阻器上的电位降 IR 相平衡。此法可精确至十万分之几。

若电流为 I 安培，全部磁通量为 M ，则每转内磁通量耦合的变化量为 MI 。设若导体之转速为 n 转/秒，则由旋转电路

所生成的感应电动势 $= MIn$ 。

电阻器上的电位降 $= IR$ 。

在平衡时 $MIn = IR$ 。

所以 $R = Mn$ 。

M 可由线圈几何尺寸和线圈空间位置计算而得，而 n 可由精确的频率测量而得。

对于一定的导体来说：电阻 R 与其长度 l 成正比，与其横截面积 a 成反比。即 R 随 l/a 而变化，而 $R = \rho(l/a)$ ，式中， ρ 是材料的“比电阻”或“电阻率”，为一常数。当 l 和 a 为 1 时，则 $R = \rho$ ；因此材料之电阻率即其“单位立方体”之电阻值。在公式中 ρ 的单位为“欧姆/立方厘米”，或简称为“欧姆-厘米”。

多数常用电阻材料之电阻率列于表 2.1 中。

表 2.1 电阻材料的电阻率

材 料	成 分	温 度 (°C)	电 阻 率 (欧姆-厘米) $\times 10^{-6}$	根 据
碳		0	3,500	
		500	2,700	
		1,000	2,100	
		2,000	1,100	
		2,500	900	
康铜	Cu60, Ni40	20	49	标准局
		-200	42.4	尼古拉
		-150	43.0	尼古拉
		-100	43.5	尼古拉
		- 50	43.9	尼古拉
		0	44.1	尼古拉
		+100	44.6	尼古拉
		+400	44.8	尼古拉

(續)

材 料	成 分	温 度 (°C)	电 阻 率 (欧姆-厘米) $\times 10^{-6}$	根 据
銅(商用) 韧煉过的硬拉 过的純 韧煉过的		20	1.7241	标准局
		20	1.77	标准局
		20	1.692	1910或尔夫, 地林格
		-258.6	0.014	尼古拉
		-206.6	0.163	尼古拉
		-150	0.567	尼古拉
		-100	0.904	尼古拉
		+100	2.28	1914諾斯韧柏
		200	2.96	1914諾斯韧柏
		500	5.08	1914諾斯韧柏
	1,000	9.42	1914諾斯韧柏	
合金銅-錳	Mn0.98	0	4.83	1912孟克
	Mn1.49	0	6.66	1912孟克
	Mn4.2	20	17.9	1916西巴斯特和格雷
	Mn7.4	20	19.7	1916西巴斯特和格雷
	Mn15	20	50	1924克林
銅-錳-鉄 合金	Cu91, Mn7.1 Fe1.9	0	20	伯洛得
	Cu70.6, Mn 23.2, Fe6.2	0	77	伯洛得
銅-錳-鎳 合金	Cu73, Mn 24, Ni3	0	48	斐斯納和林台克
奧需卡 (Eureka)		0	47	1907屈雷斯台尔
德國銀	Cu60.16, Zn25.37, Ni14.03, Fe0.3 鈷, 錳少許	-200	27.9	台瓦, 弗萊名
		-100	29.3	
		+100	33.1	

(續)

材 料	成 分	温 度 (°C)	电 阻 率 (欧姆-厘米) $\times 10^{-6}$	根 据
石墨①		0	800	
		500	830	
		1,000	870	
		2,000	1,000	
		2,500	1,100	
錳-銅合 金	Mn30, Cu70	0	100	斐斯納, 林台克
錳銅 (Manga- nin)	Cu84, Mn12, Ni 4	20	44	标准局
		22.5	45	克謬勒, 薩加馬蓋
		-200	37.8	尼古拉
		-100	38.5	尼古拉
		- 50	38.7	尼古拉
		0	38.8	尼古拉
		100	38.9	尼古拉
400	38.3	尼古拉		
鎳-鉻合金	Ni80, Cr20	20	110	标准局
鎳		20	7.8	标准局
純		-182.5	1.44	1900弗來銘
純		- 78.2	4.31	1900弗來銘
純		0	6.93	1900弗來銘
純		94.9	11.1	1900弗來銘
純		400	60.2	1907尼古拉
鎳-銅-鋅 合金	Ni12.84, Cu 30.59, Zn6.57 (以体积計)	0	20.3	馬季生
鈹		20	11	标准局
		-183	2.78	德瓦, 弗來名
		- 78	7.17	德瓦, 弗來名

① 結晶体在 20°C 时沿六角形單晶体之平面其电阻率約 60×10^{-6} 欧姆-厘米。