



电子整机制造工艺

内 容 提 要

本书密切结合当前生产实际,阐明采用半导体器件、半导体集成电路的仪器和各种小型无线电整机的制造工艺。全书共分九章,顺次对常用电子元器件的品种选用、老练筛选、印制电路板、焊接、布线、装配、调试和环境要求与试验方法等,作了详细的论述。它打破工艺书籍的常规编法,在最后一章中向读者提供结合制造工艺的质量管理知识,并对如何从根本上提高整机质量提出了一些探讨性建议。这将有助于工艺技术人员适应新的质量控制的形势要求。

本书可供电子类整机厂有关设计和工艺人员参考,也可用作大专、中专和技工学校工艺课的参考书。

电 子 整 机 制 造 工 艺

李力行 李竞西 编著

出版:江苏科学技术出版社

发行:江苏省新华书店

印刷:扬州印刷厂

开本787×1092毫米 1/32 印张 12,125 字数 260,000

1982年12月第1版 1982年12月第1次印刷

印数1—5,500册

书号:15196·100 定价 1.10元

责任编辑 许顺生

前 言

近二十年来，由于电子技术的迅猛发展和各种新材料与新工艺的不断出现，电子类整机的制造工艺经历了几次较大的改革。最初，按照电真空器件及其相应电路元件的特点要求，形成了一种体积较大、散热较流畅的整机结构制造工艺。随后，因为半导体器件及其相应的小型化元件的问世，一种体积较小的分立元件结构的制造工艺便告诞生。随着微电子技术的发展，人们把半导体器件和部分电路元件集成化，这就使得整机结构和工艺又发生了一次较大的变革，进入了一个崭新的阶段。

在我国，随着制造电子整机的各种新工艺不断涌现，各专业杂志上刊载的有关内容已很多，然而系统介绍的书籍却很少。为此，编者将工作中积累和收集的资料，加以充实和系统化，写成本书。希望它能成为从事整机制造工艺和打算有系统地学习工艺的同志所欢迎的工艺书。若能如此，编者将不甚欣慰。

若要对各种电子类整机制造工艺作全面地阐述，是十分困难的。而中小型整机，特别是电子仪器的制造工艺，则比较有代表性。所以，本书以电子仪器为主线来论述与制造过程有关的各个工艺过程，以期使读者能掌握基础工艺知识，达到触类旁通的效果。

全书共分九章。第一、二章介绍最常用的电阻器、电位器、电容器、小型电源变压器、半导体器件和半导体集成电

路的主要性能、规格和筛选方法；第三章叙述印制电路板的设计原则和生产工艺；第四章介绍锡焊技术、焊接质量要求和检验方法；第五、六章介绍布线和整机结构的一般设计原则与装配工艺；第七章论述整机调试的一般内容和程序，详细地阐明如何正确选择、使用测试仪器，以减小测试误差；第八章是环境要求和试验方法；第九章介绍同整机制造有关的质量管理，着重阐述数理统计方法。工艺与质量管理相结合并编在一本书中，是一次尝试，也是本书的一个特点。全面质量管理（TQC）已受到世界各国的重视，只要认真贯彻，无不收到奇效；质量管理中的数理统计方法，是TQC的一个重要环节，它与制造工艺相结合，不但便于寻找质量事故的原因，并可使工艺质量显著提高，推动生产走向现代化。

本书的取材和编写，受编者水平所限，定有欠妥之处，恳请读者批评指正。

在编写过程中，得到王谨之同志的指导和帮助，并承阅全部稿件；汪敏和徐蓓蓓同志为本书收集许多资料。在此，表示感谢。

编 者

1982年2月于合肥

目 录

前 言

第一章 电子元器件 (一)	1
§ 1-1 电 阻 器	2
一、电阻的伏安特性和质量参数	
二、电阻的种类和选用	
三、电阻的表示法	
四、电阻的检验、测试和老化	
§ 1-2 电 位 器	10
一、电位器的质量参数	
二、电位器的种类和选用	
三、电	
位器的表示法	
四、电位器的质量检验	
§ 1-3 电 容 器	16
一、电容器的质量参数	
二、电容器的种类和选用	
三、电容	
器的表示法	
四、电容器的检验	
五、电容器的老化筛选	
§ 1-4 小型单相电源变压器	31
一、变压器的工作原理	
二、变压器的结构和材料	
三、C型	
变压器的设计	
四、变压器的检验	
第二章 电子元件器 (二)	52
§ 2-1 晶 体 二 极 管	52
一、二极管的特性和主要参数	
二、二极管的种类和选用	
三、二极管的表示法	
四、二极管的质量检验	
五、二	
极管的使用注意事项	
§ 2-2 晶 体 三 极 管	59
一、三极管的特性和主要参数	
二、三极管的类型	
三、三极	
管的表示法	
四、三极管的质量检验和参数测试	
五、三极	
管的使用注意事项	
§ 2-3 场效应晶 体 管	67
一、结型场效应管	
二、绝缘栅场效应管	
三、场效应管的	

规格和选用 四、场效应管的测试 五、场效应管的使用
注意事项

§ 2-4 半导体集成电路 77

一、半导体集成电路的分类 二、常用数字集成电路简介
三、模拟集成电路 四、半导体集成电路的参数和测试
五、半导体集成电路的使用注意事项

§ 2-5 晶体管和集成电路的老化筛选 112

一、元器件失效的普遍规律和相应对策 二、老化筛选的作
用和内容 三、功率老化的电路条件 四、老化筛选条
件和方法

第三章 印制电路板工艺 123

§ 3-1 底图的设计和绘制 124

一、底图的设计原则 二、底图绘制的具体要求

§ 3-2 直接感光制版工艺 130

一、照相制版 二、配制感光液 三、敷铜板的准备
四、摇胶和晒版 五、显影和化学固膜处理 六、修版
七、化学腐蚀

§ 3-3 丝网漏印制版工艺 139

一、丝网框架的准备 二、丝网上电路图形的形成 三、漏
印用涂料的准备 四、漏印

§ 3-4 机械加工 144

§ 3-5 镀金和镀银工艺 145

一、镀银工艺 二、镀金工艺

§ 3-6 喷涂助焊剂 153

一、助焊剂的配方和配制 二、喷前处理 三、喷涂助焊剂

§ 3-7 成品检验 155

§ 3-8 图形电镀-蚀刻法制版工艺 156

一、敷铜板减薄和钻孔 二、孔金属化和全板电镀铜 三、光
敏干膜制作电路图形 四、图形电镀光亮铜 五、图形
电镀光亮铅锡合金 六、去膜和蚀刻 七、插头镀金
八、热熔

第四章 焊 接	169
§ 4-1 电 烙 铁	17 ⁰
一、烙铁头的大小和形状 二、烙铁头质料 三、烙铁头的工作温度	
§ 4-2 焊 锡	172
§ 4-3 助 焊 剂	173
一、助焊剂的基本要求 二、助焊剂的成分 三、助焊剂的清洗	
§ 4-4 元 器 件 插 装	177
一、元器件成形和插装原则 二、电阻和电容的插装 三、晶体管的插装 四、集成电路的插装	
§ 4-5 手 工 焊 接	182
一、焊接点的质量要求 二、手工焊接的要点	
§ 4-6 浸 焊	185
§ 4-7 波 峰 焊 接	186
一、泡沫的发生 二、预热 三、波峰焊接	
§ 4-8 焊点质量检查	189
§ 4-9 绕 接 技 术	191
一、绕接原理和绕接过程 二、绕接的优越性 三、绕接工具	
第五章 布 线	169
§ 5-1 布 线 设 计	197
一、布线设计原则 二、编制接线图 三、编制装配接线表和画线扎图	
§ 5-2 线 扎 加 工	204
§ 5-3 接 线 检 查	206
第六章 整 机 装 配	208
§ 6-1 整 机 总 体 结 构 和 设 计 的 基 本 原 则	209
一、机箱 二、底板 三、前面板 四、后面板	
§ 6-2 整 机 装 配 的 一 般 步 骤 和 要 求	221
一、准备工作 二、部件装配 三、总装	
§ 6-3 装 配 的 检 验	225

§ 6-4 印制板的自动装配	226
一、自动装配工艺流程简介 二、自动装配机的构成 三、元 器件自动插装系统 四、自动装配对元器件的工艺要求	
第七章 整机调试	234
§ 7-1 性能指标和使用条件	234
一、工作特性 二、误差 三、使用条件	
§ 7-2 测试仪表的选择原则和使用注意事项	237
一、工作误差的选择 二、测量范围和灵敏度的选择 三、测 量量程的选择 四、输入阻抗的选择 五、测量频率范 围(或频率响应)的选择 六、使用和测试方法 七、定期校准	
§ 7-3 测试的基本内容	248
一、直流工作点测量 二、电压波形测量 三、频率特性测量 四、瞬态过程的观测 五、整机工作特性的测量 六、误 差的测量 七、其它性能指标的测量	
§ 7-4 调试方案和安全操作规程	264
一、调试方案 二、安全操作规程	
§ 7-5 故障的查找和排除方法	270
一、引起故障的原因 二、排除故障的一般程序和方法	
第八章 仪器的环境要求和试验方法	282
§ 8-1 环境要求	282
一、气候环境条件和要求 二、机械环境条件和要求	
§ 8-2 对环境影响所采取的防护措施	289
一、抗高温措施 二、防潮措施 三、防振措施	
§ 8-3 试验方法	295
一、绝缘电阻和耐压的测试 二、对供电电源适应能力的检验 三、温度试验 四、湿度试验 五、振动和冲击 六、运 输试验	
第九章 制造工艺和质量控制	299
§ 9-1 基本概念	299

一、质量的概念 二、管理的概念 三、质量形成和质量管理的概念	
§ 9-2 质量管理中的数据	305
一、数据的收集 二、数据的种类 三、数据的整理	
§ 9-3 质量管理的一些主要方法	309
一、PDCA循环 二、质量管理中常用的基本统计方法	
三、质量管理方法的综合应用	
§ 9-4 对电子类整机进行质量管理的探讨	341
一、提高产品质量的关键 二、开展可靠性设计的研究工作	
三、设计中的注意事项 四、元器件的筛选、老化和测试	
五、可靠性试验与可靠性指标 六、质量管理与标准化	

附录

附录一 CD型50Hz电源变压器的计算参数表 (D310-0.35-I级品铁芯)	348
附录二 半导体器件和半导体集成电路型号命名方法	350
附录三 电子设备主要结构尺寸系列(部标准SJ140-77)节录	353
附录四 电子测量仪器电气和机械结构的一般要求(SJ946-75)	354
附录五 电子测量仪器安全要求(SJ947-75)	358
附录六 电子测量仪器误差的一般规定(暂行)(SJ943-75)	362
附录七 电子测量仪器环境要求及其试验方法(SJ944-75)	366
附录八 电子测量仪器质量检验规则(SJ945-75)	374

第一章 电子元器件（一）

任何电子类整机产品的各项指标，包括性能、质量和可靠性等，其优劣程度，不仅取决于电路设计的水平，而且也取决于结构与工艺设计的水平。与此同时，还与正确选用各种原材料和电子元器件有很大关系。电子仪器和每一种整机产品一样，都有其必要的独特功能的电路、部件、组件和工艺结构。在工艺设计时，首先要选用标准元器件产品；只有在标准件不能满足时，才自制或订购特殊的元、器件，以完成生产任务。因此，本书第一、二章专门介绍常用的元、器件。

电子元器件是在整机或电子仪器中具有独立电气用途的单元，如电阻器、电容器、晶体管、集成电路、变压器和接插件等等。目前，电子技术和产品的水平在很大程度上取决于材料和元件的发展水平，所以不断地探寻新材料、新工艺，改进元件的性能，研制新品种，是提高元器件的质量和性能指标的一项极其重要的工作。通常对于电子元器件的主要要求是：可靠性、小型化、精确度和符合使用环境条件等。当前电子元器件总的发展趋向是：一些易于集成的元器件将逐渐被集成电路所代替；一些不易集成的元件，如电位器、微调电容器、大中容量的电容器等，将进一步小型化，改进结构，提高性能指标，以适应电子技术的发展。

电子元器件可以分为有源元器件和无源元器件两大类。有源元器件能供出电能量，如晶体管、集成电路和电池等；无源元器件一般又可分为耗能元件和储能元件两种。电阻器

是常见的耗能元件，储存电能的电容器和储存磁能的电感器属于储能元件。这三种元件各有其特点，在电路中起着不同的作用。目前，鉴于电子元器件的发展很快，品种规格也极为繁杂，所以本书只能从实用的角度出发，简单地介绍一些最常用的电子元件（如电阻器、电位器、电容器、变压器、晶体管以及集成电路等）的主要性能、规格及其表示方法，为工艺人员提供有关基本知识；还介绍一些工艺中必不可少的有关元器件老化筛选方法。分两章介绍。

§ 1 - 1 电 阻 器

电阻器是一种消耗电能的元件，在电子仪器中用得最多。电阻的基本单位是欧姆（ Ω ），常用电阻器的阻值在几 Ω ~10M Ω 之间。

下面，为简单起见，电阻器都简称电阻。

一、电阻的伏安特性和质量参数

1. 伏安特性

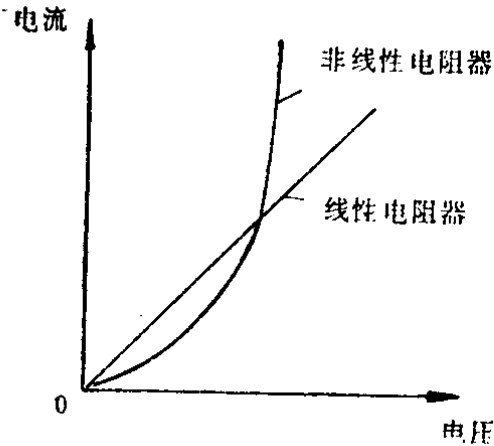


图1-1 电阻器的伏安特性

电阻的伏安特性，是通过电阻的电流和所加电压之间的关系，如图1—1所示。如果伏安特性曲线是通过坐标原点的一条直线，叫做线性电阻。这类电阻的阻值是一常量，不随所加电压变化而变化，符合欧姆定律，常用的电阻大多数属于这一类。如果伏安特性曲线

不是直线性的,则叫它做非线性电阻。这类电阻的阻值不是常量,随所加电压变化而变,不符合欧姆定律。一些具有特殊性能的半导体电阻如热敏电阻、光敏电阻等都属于这一类。

2. 标称阻值和允许偏差

为便于大量生产和使用者在一定的允许偏差范围内选用电阻,规定出一系列的阻值作为产品的标准值,叫做电阻的标称阻值。

实际生产出来的电阻的阻值不可能做得和标称阻值完全一致,总有一定的偏差,规定的最大允许的百分偏差叫做电阻的允许偏差。常用电阻的允许偏差有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 三种,分别用J、K、M标志(以前用I、II和III表示)。精密电阻的允许偏差有 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 和 $\pm 0.5\%$,分别用G、F、D表示。应根据实际电路要求选用。必须注意的是,电阻的允许偏差和阻值的稳定性不是一回事。一般说来,阻值越精密,要求其稳定性也要高,其使用条件也受到限制。

国产电阻的标称阻值和允许偏差系列详见四机部标准SJ618-73和SJ619-73*^①前者列于表1-1中。

表1-1 电阻的标称阻值系列

允许偏差			允许偏差			允许偏差			允许偏差		
$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
E24	E12	E6	E24	E12	E6	E24	E12	E6	E24	E12	E6
1.0	1.0	1.0	1.8	1.8		3.3	3.3	3.3	5.6	5.6	
1.1			2.0			3.6			6.2		
1.2	1.2		2.2	2.2	2.2	3.9	3.9		6.8	6.8	6.8
1.3			2.4			4.3			7.5		
1.5	1.5	1.5	2.7	2.7		4.7	4.7	4.7	8.2	8.2	
1.6			3.0			5.1			9.1		

①凡注“*”者,读者另查部标或有关资料,书中不再抄录。

电阻的标称阻值应符合本表所列的数值，或表列数值再乘以 10^n ，其中 n 为正整数或负整数。

3. 额定功率和最大工作电压

电阻在工作时，因消耗功率而发热，故温度升高。为保证电阻正常工作，它所承受的功率不能超过某一定数值。电阻的额定功率就是指电阻在直流或交流电路中，当大气压力为 $750 \pm 30 \text{ mmHg}$ 和在产品标准中规定的温度下，长期连续负荷所允许消耗的最大功率，其单位为瓦（W）。

和标称阻值一样，电阻的额定功率也有标称值。国产电阻的额定功率系列见部标准SJ617-73*。常用电阻的额定功率有0.125W、0.25W、0.5W、1W和2W等几种。

电阻的额定功率和环境温度有关。一般，额定功率系指在其产品标准中规定的最高温度以下的允许功率限度，例如RJ型金属膜电阻的额定功率是指在其环境温度为低于 $+70^\circ\text{C}$ （碳膜电阻为 $+40^\circ\text{C}$ ）

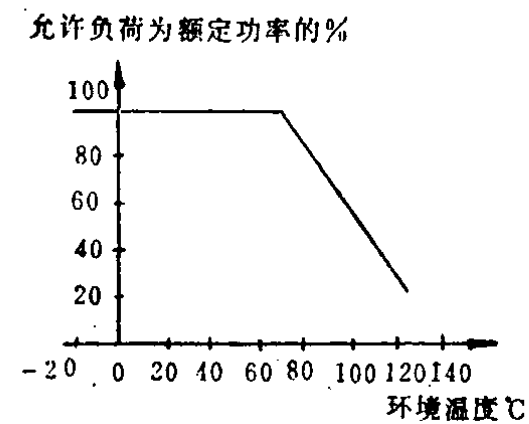


图1-2 RJ型金属膜电阻器的允许负荷和环境温度的关系

下的值。若实际使用环境温度超过此值，其允许功率限度就要线性地降低，如图1-2所示。使用时必须注意。

在工作时，电阻两端所加电压是有一定限度的。将电阻能保证正常工作的最大允许电压叫做电阻的最大工作电压，

其单位为伏（V）。它和额定功率有关，额定功率大的电阻，其最大工作电压也高些。以RJ型金属膜电阻为例，0.25W的最大工作电压为250V；0.5W的为350V；1W的为500V；2W的则为750V（都指气压为33~780mmHg下的直流电压值

或交流电压有效值)。所以电阻的额定功率还要根据其工作电压来选择。

4. 温度系数

电阻的阻值随着温度的变化而略有改变。温度每变化 1°C ，阻值变化的百分数叫做电阻的温度系数，其单位为 $1/^{\circ}\text{C}$ 。温度系数越小，说明电阻的阻值越稳定，所以在对电阻阻值的稳定性有一定要求的电路中，必须选择合适温度系数的电阻。电阻阻值的温度稳定性主要决定于电阻本身的材料和结构。在常用的电阻中，RT型碳膜电阻的温度系数约为 $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ 数量级；RJ型金属膜电阻的约为 $10^{-3}\sim 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 数量级；而线绕电阻的稳定性更高，约为 $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 数量级。电阻的温度系数还有正、负之分，碳膜电阻具有负的温度系数；其它种类电阻的温度系数则可能是正的，也可能是负的，决定于配料和制造工艺条件。

此外，电阻的质量参数还有噪声电动势、高频特性和电压系数等。在实际运用中应根据具体要求来选择。

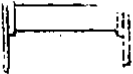
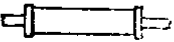
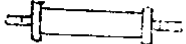
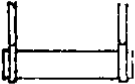
二、电阻的种类和选用

常用电阻可分为固定电阻和可变电阻两种，几种常用电阻的结构和特点列于表1-2中。

目前，线性电阻总的发展趋向是向着高精密、高可靠性和进一步小型化方向发展。还有一些特殊用途的半导体电阻，其阻值对外界的某个物理参数敏感。它是以某些半导体材料的特性对这些外界物理作用的敏感性为基础而制成的。常用于探测某些物理参数的数值及其变化。通常，它是非线性电阻，种类也很多，如对温度敏感的热敏电阻、对电场敏感的压敏电阻、对光量子敏感的光敏电阻、对磁场敏感的磁

表1 - 2

几种常用电阻器的结构和特点

名 称	外 形	结 构	特 点
碳膜电阻器, RT 型	 径向引出式, RT - a  轴向引出式, RT - b	将碳氢化合物在高温、真空状态下分解,使其在瓷管或瓷棒上形成一层结晶碳膜。通过控制其厚度和刻槽来控制阻值。其表面一般涂有绿色的保护漆	稳定性较好,温度系数小,噪声低,运用频率高,价格低,应用广泛 阻值范围为 $10\Omega \sim 10M\Omega$ 额定功率有 $0.125W$, $0.25W$, $0.5W$, $1W$, $2W$ 等规格
金属膜电阻器 RJ 型		在陶瓷骨架上被复一层金属薄膜,生成金属薄膜的方法一般为真空蒸发法(镍铬合金)和烧铬渗法(金铂合金)。其外表多漆成红色	耐热性及稳定性均比碳膜电阻器好,体积小(同样额定功率下的尺寸约为碳膜电阻器的一半)价格稍贵。适用于对稳定性和可靠性要求较高的电路中,目前应用阻广泛值范围为 $10\Omega \sim 10M\Omega$ 额定功率有 $0.125W$, $0.25W$, $0.5W$, $1W$, $2W$ 等规格
线绕电阻器, RX 型等	 固定式, RX 等  可变式, RX - T 等	用康铜或镍铬合金等电阻丝绕在瓷管上而成。在外面涂复保护层(玻璃釉等)。这种电阻器分固定和可变的两种	工作稳定可靠,耐热性能好,允许偏差范围小,额定功率大,但自身电感较大,阻值范围小,适用于要求额定功率大,数值精密,稳定性高的低频电路中 阻值范围为 $5\Omega \sim 56k\Omega$ 额定功率最高可达 $200W$

敏电阻、对湿度敏感的湿敏电阻、对气体敏感的气敏电阻和对作用力敏感的力敏电阻等。本书不作具体介绍。

选择电阻时，要求所选用的电阻的基本特性和质量参数必须符合电路中的使用条件，还要考虑外形尺寸和价格等多方面的要求。一般来说，其阻值应选用标称阻值系列，其允许偏差多用 $\pm 5\%$ 的，其额定功率应比电路中实际承受的功率高1.5~2倍。如果电路中对阻值的稳定性要求较高，额定功率还应选得更大些。

目前在常用电子仪器中，越来越多地使用金属膜电阻。它与早先广泛使用的碳膜电阻相比，则定性较高、耐热性能好、允许偏差小、体积小和价格适宜。鉴于目前仪器日趋小型化，金属膜电阻的额定功率多用0.25W，碳膜电阻一般只用0.125W。在测量仪器中，若其电路中的电阻要求阻值偏差较小，则可用精密金属膜电阻或测量用碳膜电阻。还有一种金属氧化膜电阻，其性能和金属膜电阻差不多，可代替金属膜电阻使用。如果要求功率大，耐热性能好，使用频率又不高，则可选用线绕电阻。

三、电阻的表示法

电阻的型号组成部分的符号及其意义可参阅部标准SJ 153-73*。型号规格的填写示例如下：

电阻	RT	—	0.125	—	b	—	30kΩ— $\pm 5\%$
	碳膜电阻		额定功率(W)		引出线形式,轴向		标称阻值 允许偏差
电阻	RJ	—	0.25	—	100Ω	—	$\pm 5\%$ —A
金属膜电阻			额定功率(W)		标称阻值		允许偏差 噪声电动势组别(仅标A组)

电阻	RX	YC	—	50	—	T	—	1.5kΩ	—	±10%
耐潮被釉线绕电阻 额定功率(W) 可变式 标称阻值 允许偏差										

电阻的型号，有些直接印在电阻体上；有些以颜色来区别，如绿色为碳膜电阻、红色为金属膜电阻或金属氧化膜电阻等。电阻的规格参数标在电阻体的表面上，有直标法、文字符号法和色标法三种表示方法，可查阅四机部标准 SJ203-76*。电阻的额定功率一般按其外形尺寸来识别，线绕电阻的额定功率也是直接印在电阻体表面上的。

在电原理图中，电阻的文字符号是*R*，其图形符号表示法可参照四机部标准SJ137-65，如表1-3所示。

四、电阻的检验、测试和老化

电阻在使用前必须进行外观质量检验。它的表面保护层不应有擦伤而露出导电层，也不应有裂纹和明显的外来杂质，引出线上不应有影响焊接的氧化层和露出铜的伤痕，标志应清晰可辨。

在使用前，阻值一定要经过测量。一般测量可用万用表。测量时为了减小测量误差，电阻档应选在使指针指在表盘中心附近。而且应注意两手不能同时触及电阻的两端，否则被测电阻两端并联了人体电阻，测量高阻值时会带来很大误差。精确测量可用惠斯登电桥，工厂中测量大批量电阻时也可使用数字欧姆表、惠斯登电桥或万用电桥。

电阻在使用前，必须从制造日期计算起经有一年以上的贮存时间，以达到自然老化的目的。贮存时间不满一年的电阻。须经人工老化处理。人工老化有温度循环老化和电老化