

工业电路板

芯片级维修


从入门到精通

汪文忠 编著

GONGYE
DIANLUBAN
XINPIAN
JI
WEIXIU
CONGRUMEN DAO JINGTONG



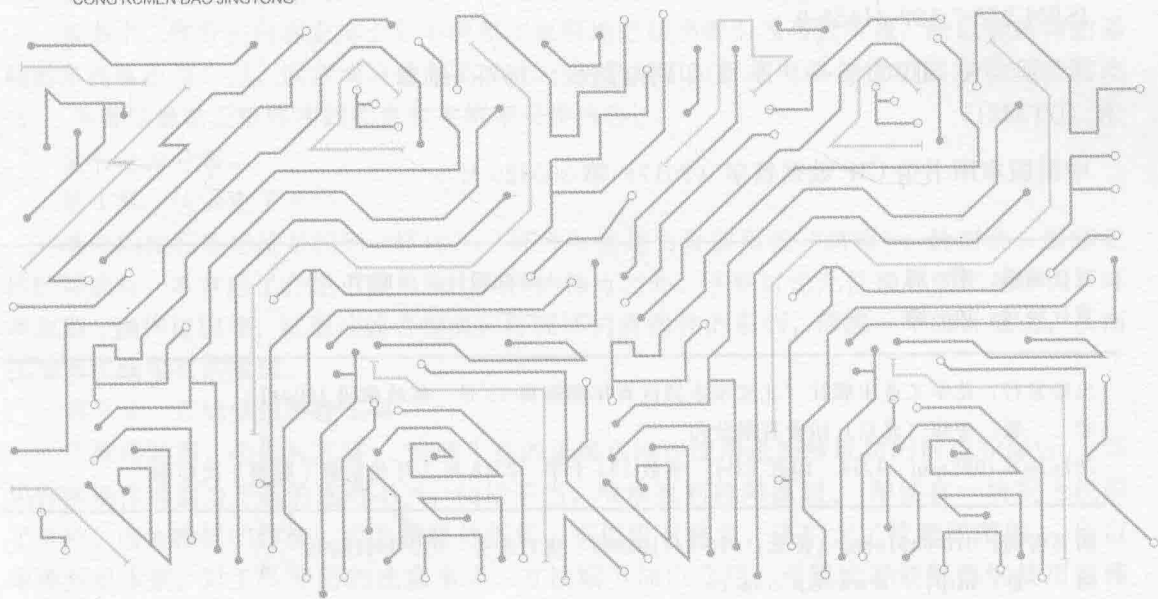
化学工业出版社



工业电路板 芯片级维修 从入门到精通

汪文忠 编著

GONGYE
DIANLUBAN
XINPIAN
JI
WEIXIU
CONG RUMEN DAO JINGTONG



化学工业出版社

· 北京 ·

工业电路板维修

从入门到精通

从入门到精通

图书在版编目 (CIP) 数据

工业电路板芯片级维修从入门到精通/汪文忠编著. —北京:
化学工业出版社, 2018.1

ISBN 978-7-122-31155-9

I. ①工… II. ①汪… III. ①印刷电路板 (材料)-维修
IV. ①TM215

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 300829 号

责任编辑: 宋 辉
责任校对: 边 涛

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 中煤 (北京) 印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13½ 字数 334 千字 2018 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

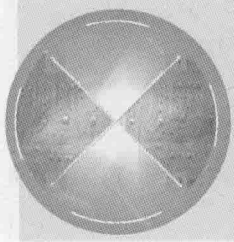
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究



前言

《深度掌握工业电路板维修技术》一书自 2013 年出版以来，收到不少热心读者反馈，他们表示此书对工控电路板维修颇有助益，同时也指出了书中的一些不足之处。在此，笔者表示诚挚的感谢。经过几年的实际维修和培训体会，对工业电路板的维修又有一些新的感悟，基于此，在《深度掌握工业电路板维修技术》一书的基础上有了这本《工业电路板芯片级维修从入门到精通》，希望尽量把最核心、容易操作的东西呈现给大家。

工控行业电子电路维修最大的特点乃是“无图”。因为“无图”，如果从一般的维修思路入手，难免处处碰壁，太多的初涉工控维修者畏难而退，浅尝辄止，因此这一行业一直也只能维持着小众的从业人员，而坚持下来并乐在其中的优秀者，其待遇收益也非常可观。

常有人问我：我有××品牌的控制器，你能不能修？或者，我有××××型号的电路板，你能不能修？其实在有经验的电子维修技术人员眼中，一切电路板不过是基本的电子元件的组合，再加上些软件或可调试的硬件而已，他们的工作简单点说就是找出损坏的元件更换，所以那种维修一定要图纸的思想在电子技术日新月异，电子新产品层出不穷的今天已经不适合了，要适应新时期的维修工作，就要在可通用的维修思路上下工夫。

本书中，作者在内容安排上并不想照本宣科地把初学者引入高级阶段，所以那些特别基础的东西就没有介绍，读者或许先要有点电子电气常识，有些电路分析功底才适合参阅此书。笔者尽量贴近维修实践和真实案例来安排内容。

全书分为 6 章。

第 1 章 认识电子元件

维修的核心思想就是找到“坏件”，“坏件”就是引发故障的“病根”，针对此，围绕元件的可靠性，本章除了介绍工控电路中元件的特点之外，还要讨论元件损坏的工艺原因、环境原因、操作原因等，试图让读者摸清元件损坏的规律性的东西，形成一个统计概念，从而在维修实践中有的放矢。

第 2 章 正确使用维修工具

工欲善其事，必先利其器。维修工具的正确选择和使用是维修成功的前提和保证。亲眼见许多操作者因为工具的选用不当，使用不当，很难找到故障原因。即便在一块板上找到了坏件，因为糟糕的焊接，因为糟糕的拆卸，不但没有修复，还扩大了故障的范围。所以单独列出本章，对工具使用的注意事项、方法细节加以介绍，希望读者能够熟练使用维修工具。

第 3 章 典型电路分析

工控电路，各国各类，各型各款，多有差异。但万变不离其宗，掌握一些典型的基本

电路，其他电路无非在此基础加减变化。本章重点介绍和分析一些数字逻辑电路，运算放大器电路，输入输出电路，开关电源电路，单片机电路，变频驱动电路等典型电路。电路死而思想活，做到“胸有成图”，因应工控电路“无图”的特点，见到未经手之电路，也可举一反三，融会贯通。

第4章 元器件测试详解

大部分的维修工作都会归结到对电路板元器件好坏的检测。本章归纳总结了工控电路板上常见元器件的测试方法，都是通过实际维修过程验证的较佳手段。

第5章 维修方法和技巧

维修工作久了，自然就有些觉得可行的捷径，本章中进行一些总结，把所谓的“秘诀”变成大家都可操作的手头指南，让大家少走弯路。

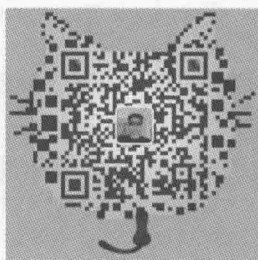
第6章 维修实例介绍

有实例，大家才觉得有操作性。本章介绍了笔者维修实践中的不少实例，从故障现象、维修思路、经验总结三个方面加以叙述介绍，读者遇到类似问题时可以照样修来，进而能够举一反三。

然世界之大，无奇不有，各人各性，自有捷径坦途，通达目的，并不囿于方式方法，维修之道，亦是如此。故书中所述之言，或有谬误，所述之法，或走曲折，还望各位海涵。

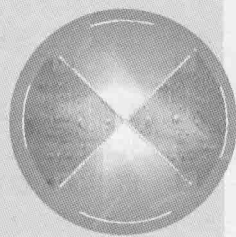
此书在编写过程中，得到深圳市忠茂全芯科技有限公司、深圳市深度工控科技有限公司、东莞市芯维工控科技有限公司、东莞市全芯工控科技有限公司同仁，资深维修工程师肖茂林、汪海波、管颂的大力协助，许多实例及经验总结是大家共同努力的结果。另外，烟台远江电子科技的杨远江先生，神华神东煤炭集团锦界煤矿管理处的李运生先生，中山川芯电子科技公司的邓平先生，廊坊湛蓝自动化电气维修公司的刘学彬先生，海南盈仁和自动化设备有限公司的陈旭先生对本书的编写提供了许多实例和建议，书中所列某些检测方法，也是大家不断总结试验的结晶，在此一并向这几位业界同仁深表感谢！

编著者



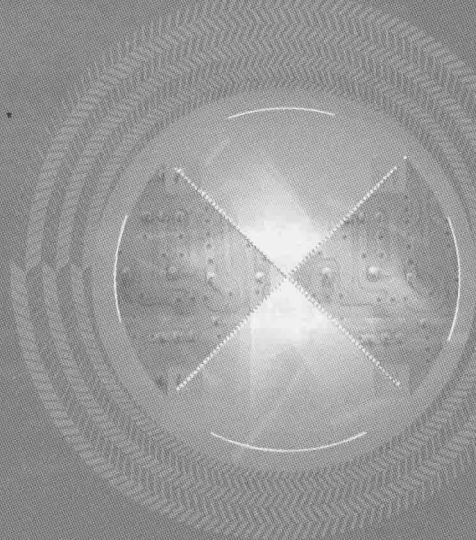
作者微信

目录



第 1 章 认识电子元件	1
1.1 电阻类元件	2
1.2 电容类元件	9
1.3 磁性元件	13
1.4 保护及滤波元件	15
1.5 光电及显示元件	17
1.6 连接器元件	20
1.7 二极管、三极管、场效应管、晶闸管	20
1.8 IGBT 和 IPM	24
1.9 集成电路	26
1.10 印刷电路板介绍	33
第 2 章 正确使用维修工具	35
2.1 手工工具	35
2.2 万用表	38
2.3 数字电桥	42
2.4 电路板拆焊工具	44
2.5 维修用可调电源	48
2.6 信号发生器和示波器	48
2.7 晶体管测试仪	50
2.8 程序烧录器	51
2.9 在线维修测试仪	52
第 3 章 典型电路分析	55
3.1 数字逻辑电路	56
3.2 运算放大器电路	58
3.3 接口电路	65
3.4 电源电路	79
3.5 单片机电路	101
3.6 变频器电路	103
第 4 章 元器件测试详解	109
4.1 电阻元件的测试	109
4.2 电容的测试	112

4.3	电磁元件的测试	113
4.4	保护及滤波元件的测试	114
4.5	二极管、三极管、可控硅的测试	115
4.6	场效应管、IGBT、IPM 的测试	116
4.7	数字逻辑电路的测试	117
4.8	光耦的测试	118
4.9	运算放大器和比较器芯片的测试	118
4.10	存储器芯片的测试	119
4.11	复位和电压监测芯片的测试	119
4.12	模数转换器及数模转换器的测试	119
4.13	处理器的测试	119
4.14	晶体振荡器的测试	120
第 5	章 维修方法和技巧	121
5.1	说点技术之外的话题	121
5.2	维修的步骤	122
5.3	各种故障的概率及对策	124
5.4	维修方法之电阻法	125
5.5	维修方法之电压法	126
5.6	维修方法之比较法	127
5.7	维修方法之替换法	128
5.8	查找维修资料的方法	128
5.9	如何看元件的数据手册	130
5.10	时好时坏故障的维修方法和技巧	132
5.11	公共电源短路的维修方法和技巧	133
5.12	给电路板加电的技巧	133
5.13	开关电源的维修方法和技巧	134
5.14	单片机系统维修方法和技巧	136
5.15	变频器维修方法和技巧	137
5.16	自制维修小工具	140
5.17	工控维修口诀	141
第 6	章 维修实例介绍	143
6.1	开关电源维修实例	143
6.2	人机界面维修实例	158
6.3	PLC 维修实例	160
6.4	变频、步进、伺服驱动器维修实例	163
6.5	仪器仪表维修实例	175
6.6	控制板卡维修实例	178
6.7	工控主板维修实例	195
6.8	数控机床维修实例	199
附录 1	贴片电阻标识代码表	201
附录 2	电容精度字母代码	204
附录 3	工业电路板维修常用英语词汇表	205



第1章

认识电子元件



专家解读

工控电路维修的核心就是：找出“坏件”！

不管什么电路板，无非就是一些电子元件的组合，从理论上说，只要保证电路板上每一个元器件都是好的，那么可以认为这块电路板也就正常（排除调试及软件的因素）。进一步推定，在维修一块坏板时，只要检修人员逐个确认元件的好坏，直到找到坏件为止，然后把坏件更换，也就可以修好这块电路板了。因此，理论上，一个维修者可以不懂电路，可以不关心电路板品牌和型号，可以不关心电路板的工作原理、应用及操作方法，他只需关心每个电子元件的好坏，只要会测试确认每一个电子元件的好坏即可。这就给维修工作所涉及的行业范围一个很大的想象空间，小到身边的小家电，大到工厂的重型设备，甚至航空军工电子设备，都可以以这个核心思路来开展维修工作。

元件的损坏原因和机制多种多样，有些由制造工艺决定，有些由电路设计缺陷导致，有些由环境因素引起，还有些拜人为操作所赐。所以，要想高质量地完成维修工作，就必须对相关的电子元件有着深刻的认识，除了了解其外观、参数、测试方法以外，还要对制造工艺和损坏的统计规律有所熟悉，知道哪些东西容易坏，哪些东西不容易坏。这样在开展检修工作时就可有所侧重，避免盲目性，节省工作量。

同是一类元件，制造工艺的差异决定了元件的寿命和可靠性表现。比如同为电脑主板的滤波电解电容，有普通电解电容，有固态电解电容。普通电解电容介电材料为电解液，它的固有工艺特点决定了长时间工作情况下，这种电容必定会出现电解液干涸、漏电、ESR增加等种种老化变质情况，这会导致各种电路故障。



而固态电解电容的介电材料为导电性高分子，因为所谓的“固态”工艺，所以不存在普通电解电容那些问题。

电路的设计缺陷会导致批次问题。电路设计人员对某些元件的功率、耐压、温度参数取值欠妥，短时间可能故障体现不出来，但元件已经基本处于“满负荷”工作状态，参数裕度甚少，时间一长，故障就陆续出来了。曾经维修某品牌的无线终端，经常有LCD显示器不亮的故障，经检查，每次都是开关电源芯片反馈电路的一个 $2\text{k}\Omega$ 电阻损坏所致。此电阻是0805封装的贴片电阻，功率 0.125W ，但是此电阻长期工作在 15V ，计算其实际功率为 0.1125W ，接近满负荷，难怪容易坏了。

工业环境往往比较恶劣，许多设备工作在高温、高湿、多尘、油污、盐雾环境中，还有电网冲击、谐波干扰、自然雷击等等恶劣环境。虽然设备在设计时有所考虑，但实际情况往往难以预料，特别由于成本等因素，不少设备的工作环境未能按照设计要求来严格控制，糟糕的设备工作环境很大程度上造成了某些元件的损坏。在检修这一类故障时，就要把环境因素最可能导致的元件损坏考虑进去。

有些设备的损坏是由人为错误引起，这类故障大多是因为搞错电压或接错线，还有不按正常操作规程操作，机器长期大负荷引发的故障，还有不成功的维修导致的故障扩大等。

本章就围绕以上导致元件损坏的几个因素，围绕实际维修中工业电路板元件的具体特点来介绍内容。

1.1 电阻类元件

本书将电阻类元件分为插件电阻、贴片电阻、排阻、功率电阻、电位器和可调电阻、压敏电阻、热敏电阻来加以介绍，如此分类或许有点重叠，但便于维修实践中认识理解。

1.1.1 插件电阻

如图 1.1 所示，此类电阻是有引脚的，一般用色环来标识电阻的参数，电阻体较大的话也有用文字直接标识的。从制造工艺上来说，此类电阻可分为 4 个大类，分为实心碳质电阻器、绕线电阻器、薄膜电阻器、金属玻璃釉电阻器。

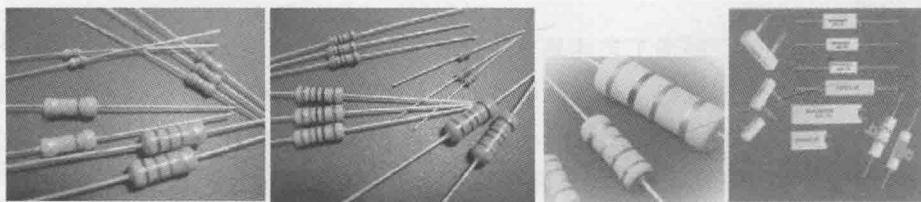


图 1.1 插件电阻

(1) 实心碳质电阻器

是用碳质颗粒状导电物质、填料和黏合剂混合制成一个实体的电阻器。价格低廉，但阻值误差、噪声电压都大，稳定性差，目前较少用，工控电路板上不会使用。

(2) 绕线电阻器

用高阻合金线绕在绝缘骨架上制成，外面涂有耐热的釉绝缘层或绝缘漆。绕线电阻具有较低的温度系数，阻值精度高，稳定性好，耐热耐腐蚀，主要做精密大功率电阻使用。因为是用线绕制，必然具有电感线圈的特点，所以此类电阻器的缺点是高频性能差。

(3) 薄膜电阻器

可分为4类，分别是碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、合成膜电阻器。

① 碳膜电阻器是将结晶碳沉积在陶瓷棒骨架上制成。碳膜电阻器成本低、性能稳定、阻值范围宽、温度系数和电压系数低。观察工业电路板上的插件电阻器，碳膜电阻器的本体颜色多呈黄色、棕色，早期的工业电路板及一些低成本电路板上多有采用。如图1.2所示。

② 金属膜电阻器是用真空蒸发的方法将合金材料蒸镀于陶瓷棒骨架表面。金属膜电阻比碳膜电阻的精度高，稳定性好，噪声、温度系数小，在工业电路板上大部分采用的是此类电阻器。金属膜电阻器多是蓝色、绿色保护表层，无论早期近期，欧系美系工业电路板多会采用此类电阻器。如图1.3所示。

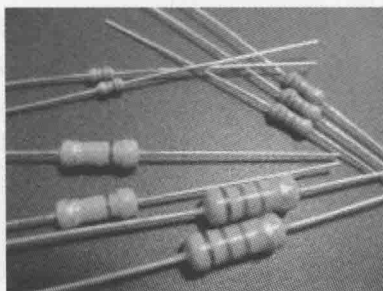


图 1.2 碳膜电阻器

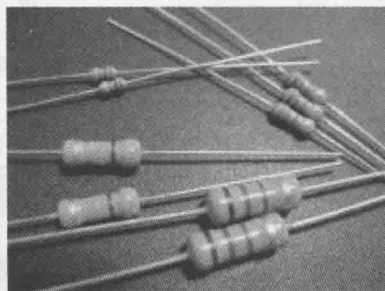


图 1.3 金属膜电阻器

③ 金属氧化膜电阻器是在绝缘棒上沉积一层金属氧化物。由于其本身即是氧化物，所以高温下稳定，耐热冲击，负载能力强，在电源电路、较大功率应用电路中多有采用。如图1.4所示。



图 1.4 金属氧化膜电阻器

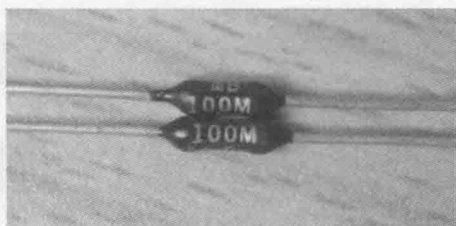


图 1.5 合成膜电阻器

④ 合成膜电阻器是将导电合成物悬浮液涂敷在基体上而得，因此也叫漆膜电阻。由于其导电层呈现颗粒状结构，所以其噪声大，精度低，主要用来制造高压、高阻、小型电阻器。如图 1.5 所示。

1.1.2 贴片电阻

随着电路板功能增强、体积缩小，表面贴装技术（SMT）应运而生，电子元件都向着贴片化发展。片状电阻是金属玻璃铀电阻的一种形式，它的电阻体是高可靠的钎系列玻璃铀材料经过高温烧结而成，电极采用银钯合金浆料。体积小，精度高，稳定性好，由于其为片状元件，所以高频性能也很好。另有圆柱形的贴片电阻，内部结构同插件电阻没有什么不同，只是封装形式便于贴片机器的自动化操作而已。贴片电阻实物如图 1.6 所示。

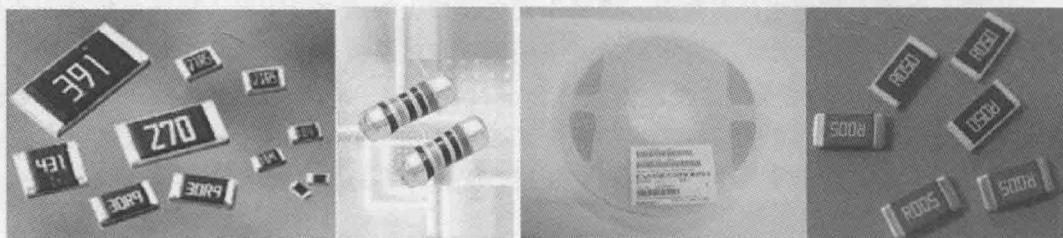


图 1.6 贴片电阻实物

1.1.3 排阻

将数个相同阻值的电阻做成一体，便于在电路板上焊装，这类元件我们称之为排阻。如图 1.7 所示。

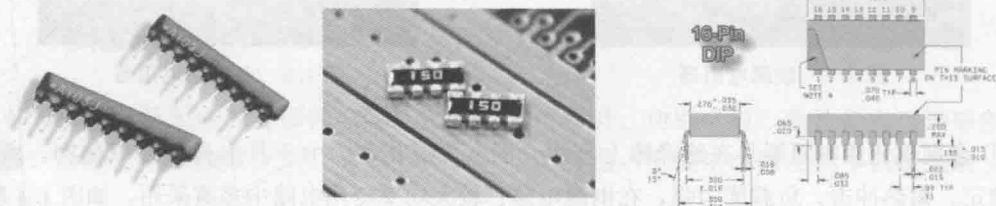


图 1.7 排阻

排阻分为 A 型排阻和 B 型排阻。A 型排阻有一个公共端（用白色的圆点表示），常见的排阻有 4 个、7 个、8 个电阻，所以引脚共有 5 个或 8 个或 9 个。B 型排阻没有公共端，常见的排阻有 4 个电阻，所以引脚共有 8 个。为便于安装，排阻有单列直插、双列直插及贴片等各类封装。

1.1.4 功率电阻

因为在电路中消耗的功率比较大，这类电阻损坏的概率也就大，所以将之归为一类拿出来单独认识。

如图 1.8 所示，此类电阻通常为陶瓷水泥电阻，电阻体是发热丝，使用耐火泥灌装充填

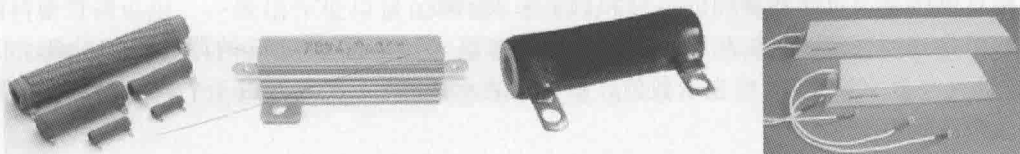


图 1.8 功率电阻

陶瓷外壳，再引出接线脚，有些还自带金属散热外壳。此类电阻用在大电流的场合，比如作为变频器的制动电阻。

1.1.5 电阻的参数标识及功率表示

(1) 电阻的参数及标识

电阻的主要参数包括阻值、功率、精度、热稳定性等。因为封装形式的多样，电阻参数的标识方法也各异。如果体积够大，通常会直接将阻值、功率、误差等文字印在电阻表面。更多的圆柱形状的电阻器会在圆柱体上涂上色环来表示电阻参数，色环标识的识别方法参照图 1.9，通常根据电路要求不同会制造出 4 色环、5 色环、6 色环的电阻，读数时从色环密集一端开始。4 色环电阻的第 1 道第 2 道色环表示数值，第 3 道色环表示 10 的倍率，第 4 道色环表示误差；5 色环电阻的第 1、2、3 道色环表示数值，第 4 道色环表示 10 的倍率，第 5 道色环表示误差；6 色环电阻的第 1、2、3、4、道色环表示意义与 5 色环电阻相同，第 6 道色环表示的是温度系数，不同的颜色对应不同的数值、倍率、误差和温度系数。工控电路板中较常见的是 4 色环和 5 色环的电阻。色环电阻的识别是电路板维修人员必须掌握的基本功。另有某些日系电路板的电阻会使用色点来标注，其表示方法和色环是一样的。



维修诀窍 巧记色环电阻

为了便于记忆，我们可以一边默念口诀：棕红橙黄绿，蓝紫灰白黑，一边依次弹出 10 个手指，念一种颜色，弹出一个手指，念到哪个颜色打住，弹出的手指数即颜色对应的数值，然后按色环电阻的取值规律来确定电阻的阻值和误差。

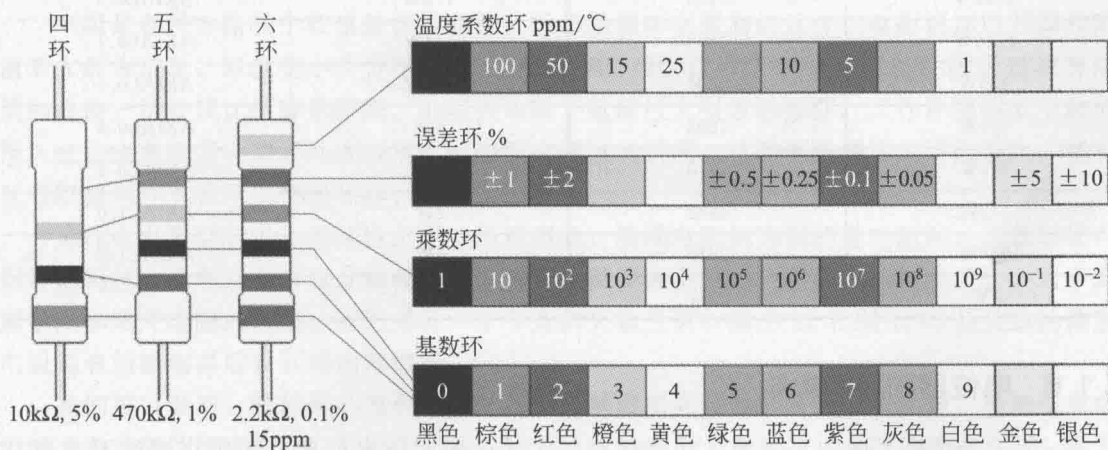


图 1.9 电阻色环的表示方法

贴片电阻是通过印在表面的字母和数字来表示的。

如果是用 3 个数字来表示,例如 103、202、510,那么对应的阻值是 $10\text{k}\Omega$ 、 $2\text{k}\Omega$ 、 510Ω ,这三个数字第 1、2 位表示数值,第 3 位表示 10 的 n 次方,用 3 个数字表示的电阻误差默认为 $\pm 5\%$ 。

如果是用 4 个数字来表示,例如 1002、2001、5100,那么对应的阻值是 $10\text{k}\Omega$ 、 $2\text{k}\Omega$ 、 5100Ω ,这三个数字第 1、2、3 位表示数值,第 4 位表示 10 的 n 次方,用 4 个数字表示的电阻误差默认为 $\pm 1\%$ 。

另外还有数字配合字母的表示方法,例如 $30\text{R}=30\Omega$, $33\text{K}2=33.2\text{k}\Omega$, $2\text{R}2=2.2\Omega$, $\text{R}22=0.22\Omega$ 。

另外,某些欧系设备中的贴片电阻,表面会印上代码,通过查询代码表,查得代码对应的数值和倍率来读出阻值。例如代码 51X,51 代码对应的数值是 332,X 对应的倍率是 10 的负 1 次方即 0.1,所以阻值 $=332 \times 0.1=33.2\Omega$,各代码对应的数值可见附录。

代码-倍率对应表

代码	A	B	C	D	E	F	G	H	X	Y	Z
倍率	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}

代码示例:

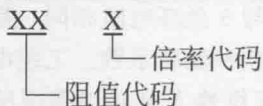
$10\Omega=01\text{X}$

$7.5\text{k}\Omega=85\text{B}$

$150\text{k}\Omega=18\text{D}$

$1\text{Meg}\Omega=01\text{E}$

代码结构



$$\text{例: } 10.2\text{k}\Omega = \frac{102}{02} \times \frac{10^2}{\text{C}} \Omega = 02\text{C}$$

$$33.2\Omega = \frac{332}{51} \times \frac{10^{-1}}{\text{X}} = 51\text{X}$$

(2) 电阻的功率

电阻都有一个额定功率,实际功率不能超过其额定功率,否则,电阻有可能因过热而烧毁。电阻的额定功率基本上由其体积决定,体积越大,功率也越大。体积较大的电阻,其标称功率一般会印在电阻表面上,而色环电阻、贴片电阻,额定功率和封装大小存在对应关系,表 1.1 列出了常用电阻的功率-封装对应关系,维修代换时应注意。

表 1.1 电阻功率-封装对应关系表

功率	封装(贴片式)	功率	封装(插接式)
1/16W	0402	1/8W	AXIAL0.3
1/10W	0603	1/4W	AXIAL0.4
1/8W	0805	1/2W	AXIAL0.5
1/4W	1206	1W	AXIAL0.6
1/3W	1210	2W	AXIAL0.8
1/2W	1812	3W	AXIAL1.0
3/4W	2010	5W	AXIAL1.2
1W	2512		

1.1.6 电位器和可调电阻

一般把带手柄可调的,体积、功率相对较大的电阻叫做电位器,而用小螺丝刀来调节的,体积、功率较小的电阻叫可调电阻,各种外观如图 1.10 所示。工控电路板常用到的为

多圈精密可调电阻，一般用作模拟量的调整，调整好后用螺丝胶固定住，避免他人再去调整。维修时若怀疑某处模拟参数异常，在没有把握的情况下不可贸然调整可调电阻，如要调整，须将调整前的位置标记好，以防误调整后的恢复错误。

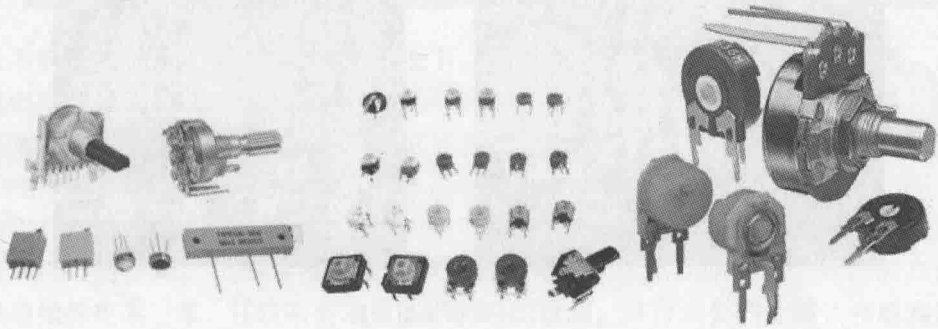


图 1.10 电位器和可调电阻

电位器和可调电阻的阻值标识方法与印字的电阻器基本相同。

1.1.7 热敏电阻

热敏电阻是对温度敏感的元件，不同的温度下表现出不同的电阻值。电阻值随着温度升高而变大的称为 PTC（正温度系数热敏电阻），电阻值随着温度升高而变小的称为 NTC（负温度系数热敏电阻）。热敏电阻如图 1.11 所示。

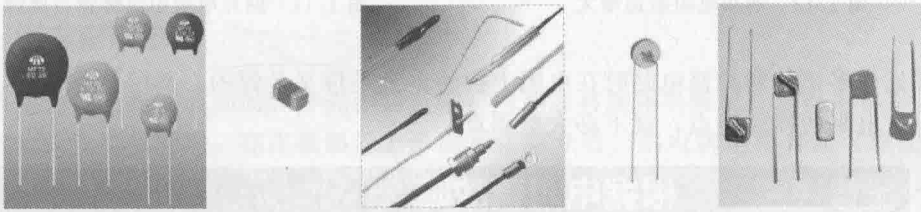


图 1.11 热敏电阻

1.1.8 电阻类元件检测判定方法

电阻是各种电路板中数量最多的元件，但不是损坏率最高的元件。电阻损坏以开路和阻值变大最为常见，阻值变小十分罕见。小阻值电阻（ 100Ω 以下）损坏时往往因为过流有烧黑的痕迹，从外观比较容易辨别。电阻失效除了电流过大引发的损坏，工作环境因素引起的损坏也是主要原因，如果外观观察电阻表面有锈蚀的情况，这种电阻损坏的可能性大。还有些电阻损坏外观看不出任何异样。

为什么电阻会有以上损坏特点呢？不难想象，绕线电阻因为用的是电阻丝，这就好比白炽灯的钨丝，通电后会有成分损耗，因而造成钨丝截面积减小，阻值自然增大了。而对于薄膜电阻和贴片电阻的情形，我们来看一下专业的失效分析。图 1.12 和图 1.13 是失效的薄膜电阻器表面被剥离后看到的内部情形。

我们可以看到，螺旋形的黑色电阻体某个区域因遭到侵蚀而变细或者断开，最终造成电阻的开路或阻值增大失效。电阻体被侵蚀的原因往往是因为水汽透过电阻的保护表层，在直流电场的作用下发生的电化学反应。

图 1.14 是贴片电阻因为使用过程中引出脚银的腐蚀和迁移造成空洞不断扩大，引发阻值变大甚至开路。

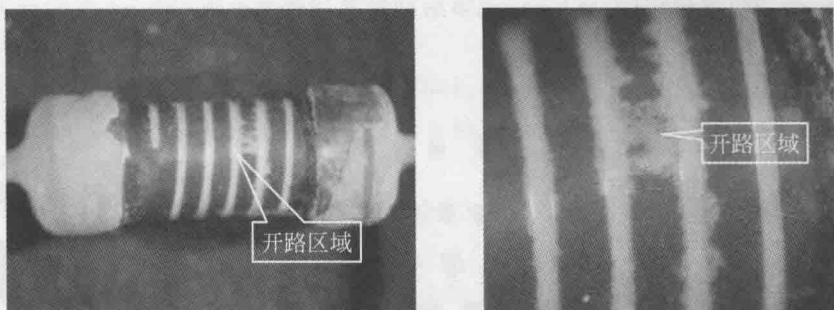


图 1.12 薄膜电阻开路

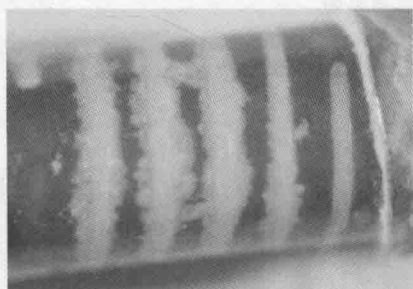


图 1.13 薄膜电阻阻值增大



图 1.14 贴片电阻引出脚银被腐蚀

常看见许多初学者检修电路时在电阻上折腾，又是拆又是焊的，其实修得多了，你只要了解了以上电阻的损坏特点，就不必大费周章。



维修诀窍 根据电阻查故障

电路原理告诉我们：电阻在电路中和其他元件并联以后的阻值必定小于或等于此电阻本身的阻值，根据这个特点，我们可以不从电路板上拆下电阻而在线测量其阻值，如果测得的阻值在误差范围内比被测电阻的标称阻值大，则此电阻一定损坏（注意要等阻值显示稳定后再下结论，因为电路中有可能并联电容元件，有一个充放电过程）。如果测得的阻值比标称阻值小或相等，由于电路可能有其他元件并联的原因，则一般不用理会它，因为电阻阻值变小的情况十分罕见，笔者也只见过 4~20mA 电流取样电路中的取样电阻有过一次这样的情形。在维修故障不明的电路板时，可以对电路板上每一个电阻都量一遍，即使“错判一千”，也不能放过一个！如果万用表反应够快，检测所耗时也不会太多，万一真测出来那么一个阻值变大的“坏家伙”，很有可能它就是电路板异常罢工的“罪魁祸首”！笔者使用此法在维修实践中屡试不爽。

电位器常用于变频器速度调节电路中，损坏也大多是因为频繁调节引起的接触不良，或电阻体腐蚀引起的开路及阻值调节不连续故障。损坏后取相同参数规格的代换即可。

压敏电阻损坏时一般会爆裂，或有阻值（很少见），代换时要注意尺寸和电压。

1.1.9 电阻的代换



维修诀窍

电阻巧代换

在不完全清楚手头电路板原理的情况下，应该遵循的所有元件的代换原则是：以同级或更高级参数的元件来代换。对于电阻则是：取相同或更高功率的电阻来代换，取相同或更高精度电阻值的电阻来代换，取相同或更高温度系数品质的电阻来代换。在对频率敏感的电路中，更要注意代换电阻对频率可能的影响。

如果对电路的原理结构非常熟悉，知晓不同参数在电路中的影响大小，也可以根据手头现有元件方便行事。有时手头缺少某款阻值的电阻，也不妨采用串、并联的方法来组成所需阻值的电阻，串、并联时要注意电阻功率的选取，进行必要的计算，考虑实际工作时每个电阻都不得超出其额定功率。

1.2 电容类元件

电容是工控电路板中使用量仅次于电阻的元件，各种电容外形见图 1.15。根据常见工控电路板的特点，下面将电容分为铝电解电容、钽电解电容、瓷片电容、薄膜电容、固态电容、法拉电容（超级电容）加以介绍。

1.2.1 铝电解电容

铝电解电容是将铝质圆筒状外壳作为负极，内部装有液体电解质，正极由铝带连电极引出。经过直流电压处理后，在正极铝带上形成氧化膜介质。铝电解电容容量可以做得很大，而且相对廉价，在低频滤波场合应用较多。

铝电解电容的容量从零点几微法到几万微法，耐压从 5V 到 630V 都算常见。如图 1.16 所示。电解电容的容量误差一般都是 20%。

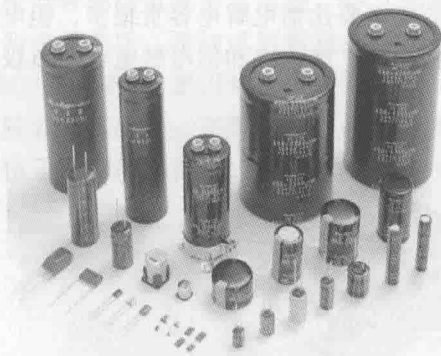


图 1.15 各种电容外形

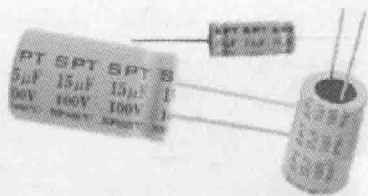


图 1.16 铝电解电容

因为铝电解电容的制造工艺特点，实际应用中，我们不能将电容看成理想电容器，要考虑的不仅仅是电容的电容特性，还要考虑电容的 ESR（串联等效电阻）和 ESL（串联等效电感）以及漏电等参数和特性。所谓 ESR，就是实际的电容器相当于理想电容器和一个电

阻的串联，那么在通过电容的交流电流比较大的场合，因交流电流也同时要通过串联等效电阻，所以电源纹波会受到阻碍，滤波效果会大打折扣，同时，ESR 会发热影响电容使用寿命。实际的电容器还有一定的电感特性，对交流电压电流具有阻碍作用，频率越高，作用越明显，因此对高频杂波的滤波效果不理想。另外，铝电解电容还存在一定的漏电流，电压越高，温度越高，漏电越明显。

基于以上因素，电路设计者会通过并联多个铝电解电容的方式来降低 ESR 的影响，同时会在铝电解电容上并联滤除高频成分的瓷片电容、独石电容等之类的小电容。

铝电解电容电解液的挥发不可避免，所以，铝电解电容几乎都会损坏，只是时间问题。

正常工作情况下，影响铝电解电容寿命的最大因素是温度。每增加 10°C ，电容的寿命减半。从笔者实际维修情况统计来看，品牌好的电容如 NICHICON RUBYCON 等牌子电解电容一般要 10 年以上才出问题，而质量不好的电容三五年就出问题。铝电解电容在代换时，须注意耐压的降比使用，应至少留足 15% 的耐压裕量。如 24V 电源使用 25V 耐压的电容，短时间应该不会出现什么问题，时间一长，问题就会显现，电容寿命会大打折扣。铝电解电容是有极性电容，要注意电容极性千万不可接反，否则会有爆炸危险，特别是高电压电解电容，接反后通电的爆炸威力会让人心有余悸。铝电解电容会在外壳上将负极特别标注，代换时须对照电路板上的正负极性，有些工控电路板不会在板上标注极性，拆卸更换之前须做好标记，以免更换再焊接时弄错。

1.2.2 钽电解电容

如图 1.17 所示钽电解电容使用稀土元素金属钽形成的五氧化二钽氧化膜作为介质，在工作过程中，具有自我修补的电化学特性，因为没有液态电解液，较之铝电解电容具有非常优异的性能，接近理想电容的特性。钽电解电容具有非常小的 ESR 和 ESL，寿命长，耐高温，精度高，滤除高频谐波特性好，可以做到小型化。但其固有的工艺特点也决定了它的一些缺点。钽电解电容的电容量和耐压不可以做到很高，一般常见的容量在零点几微法到数百微法之间，耐压在 5V 到 63V 之间。因为较小的 ESR 和 ESL，钽电容在电压加载瞬间，电流冲击比较大，这会造成钽电容击穿短路，我们在维修过程偶有碰到击穿短路的钽电解电容。另外，由于使用了稀土元素金属钽，钽电容的成本要比铝电解电容贵很多。钽电解电容也是有极性电容，厂家会在电容表面正极一端特别标注，这一点和铝电解电容在负极特别标注不同，初学者容易混淆，要特别注意。

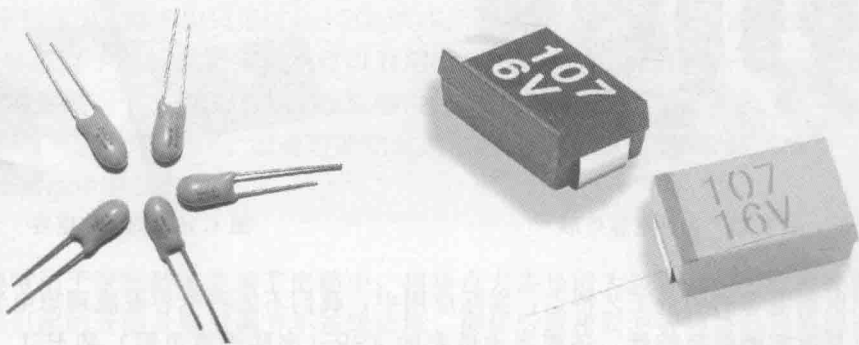


图 1.17 钽电解电容