



深度掌握

工业电路板维修技术

/ 深入浅出解析技术 · 多年经验助你成功 /

汪文忠 编著



SHENDU ZHANGWO
GONGYE DIANLUBAN
WEIXIU
JISHU



化学工业出版社



深度掌握 工业电路板维修技术

汪文忠 编著

SHENDU ZHANGWO
GONGYE DIANLUBAN
WEIXIU
JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

深度掌握工业电路板维修技术/汪文忠编著. —北京:
化学工业出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-122-18293-7

I. ①深… 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 (2013) 第 203349 号

责任编辑: 宋 辉

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 徐贞珍

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 12½ 字数 218 千字 2013 年 11 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: 49.00 元

版权所有 违者必究



遍观各类电子维修专业书籍，皆囿于家电、电脑及办公电器，偶有工控行业的电子维修书籍，也是单单介绍某类某款，如变频器、数控机床。

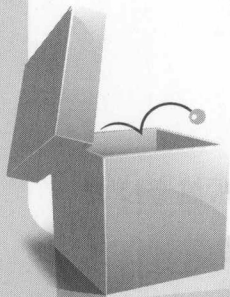
有图之电器电路板，有电子维修基础的技术人员要胜任维修恐非难事，同一款修得多了，技术活也就变成了体力活。然而工控行业之设备及电路板，实在是各行各业，五花八门，各国各牌，就连设计风格，也多有差异。

设备厂商，出于自身利益考虑，罕有提供图纸，故此普通设备维修人员对芯片级的损坏不敢轻易检修，往往束手无策。使用者只能求助于设备供应商，如遇稀有精尖设备，新购配件或维修费用往往惊人。另外如果设备老旧，款型停产，甚至原始厂商早已不复存在，那么设备除却报废以外只有维修一途。

企业工厂里，某些机器或生产线的关键配件一旦损坏，机器或整条生产线就会“罢工”，快速修复就显得格外重要。

工控行业电子电路维修之最大特点乃是“无图”。因为“无图”，如果从一般的维修思路入手，难免处处碰壁，维修陷入死胡同，维修人员也丧失维修的信心，缺乏良性的激励，自此放弃技术的提高，殊为可惜。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。

笔者在电子行业从业十数年，历经维修、设计、管理职位，乃至后来创业自办工控维修企业至今，经手及指导修复工控行业之机器、电路板不计其数，深感工控设备维修之局限，深刻体味维修人员个中酸甜苦辣，困惑迷惘，遂有归纳总结其中经验教训之冲动。经年多有在工控网站以“芯片级维修”网名发帖助人，行业中人，多有认同者。后遇化学工业出版社约



稿，嘱我集成经验，汇成一书，以助初学参考，善莫大焉。故此工作之外，闲暇之余，将维修工作中的经验、教训、感悟，悉数记下，后学者若能从中受益，甚是欣慰。

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。

笔者在内容安排上并不想由浅入深，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不在本书介绍了，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5章：

第1章 电子元件认识

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，点中穴位，省心省力。

第2章 维修工具使用

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。亲见许多操作者因为工具的选用不当，使用不当，或畏难而退，或功败垂成。即便在一块板上找到了坏件，因为糟糕的焊接，或因为糟糕的拆卸，不但没有修复，还扩大了故障的范围，煮熟的鸭子也飞了，顺带还打破了锅。本章对工具使用的注意事项、方法细节加以介绍，读者据此练习，不日即可技艺娴熟。

第3章 典型电路分析

工控电路，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，无所惧也。

第4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，总结一些，统计一把，综合一下，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5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，囊括各行各业的工控电器，从故障现象、维修思路、经验总结三个方面加以叙述介绍，读者碰到类似问题或可依葫芦画瓢，照样修来，体会维修成功乐趣。

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，或有不当，所述之法，或走曲折，还望各位海涵。

此书在编写过程中，得到深圳市忠茂深度科技有限公司维修工程师肖茂林及维修技术员聂云湖的大力协助，许多实例及经验总结是大家共同努力的结果，在此深表感谢！

编著者





1 第 1 章 电子元件认识 Page 1

1. 电阻类元件	3
2. 电容类元件	12
3. 磁性元件	17
4. 保护及滤波元件	20
5. 光电及显示元件	22
6. 连接器元件	25
7. 二极管、三极管、场效应管、晶闸管	26
8. IGBT 和 IPM	31
9. 集成电路	34
10. 印制电路板介绍	43

2 第 2 章 维修工具使用 Page 45

1. 手工工具	46
2. 万用表	49
3. 电路板拆焊工具	54
4. 维修用可调电源	59
5. 信号发生器和示波器	59
6. 晶体管测试仪	60
7. 程序烧录器	61
8. 在线维修测试仪	62

3 第 3 章 典型电路分析 Page 66

1. 数字逻辑电路	68
2. 运算放大器电路	70
3. 接口电路	78
4. 电源电路	93
5. 单片机电路	108
6. 变频器电路	110





4 第4章 维修方法和技巧 Page 117

- | | |
|--------------------|-----|
| 1. 说点技术之外的话题 | 118 |
| 2. 维修的步骤 | 119 |
| 3. 各种故障的概率及对策 | 121 |
| 4. 维修方法之电阻法 | 123 |
| 5. 维修方法之电压法 | 124 |
| 6. 维修方法之比较法 | 126 |
| 7. 维修方法之替换法 | 126 |
| 8. 查找维修资料的方法 | 127 |
| 9. 如何看元件的数据手册 | 129 |
| 10. 时好时坏故障的维修方法和技巧 | 131 |
| 11. 公共电源短路的维修方法和技巧 | 133 |
| 12. 开关电源的维修方法和技巧 | 133 |
| 13. 单片机系统维修方法和技巧 | 136 |
| 14. 变频器维修方法和技巧 | 137 |

5 第5章 维修实例介绍 Page 142

- | | |
|--------------------|-----|
| 1. 开关电源维修实例 | 143 |
| 2. 人机界面维修实例 | 152 |
| 3. PLC 维修实例 | 154 |
| 4. 变频、步进、伺服驱动器维修实例 | 157 |
| 5. 仪器仪表维修实例 | 168 |
| 6. 控制板卡维修实例 | 170 |
| 7. 工控主板维修实例 | 180 |
| 8. 数控机床维修实例 | 182 |

附录 Page 184

- | | |
|---------------------|-----|
| 附录 1 贴片电阻标识代码表 | 184 |
| 附录 2 电容精度字母代码 | 187 |
| 附录 3 工业电路板维修常用英语词汇表 | 187 |

Chapter 1

第1章

电子元件认识



深度掌握工业电路板维修技术

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. 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 插件电阻

如图 1.1 所示,此类电阻是有管脚的,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。

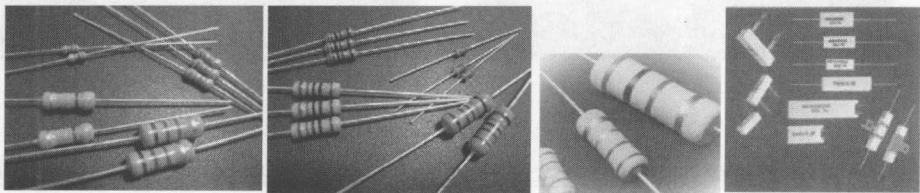


图 1.1 插件电阻

(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。

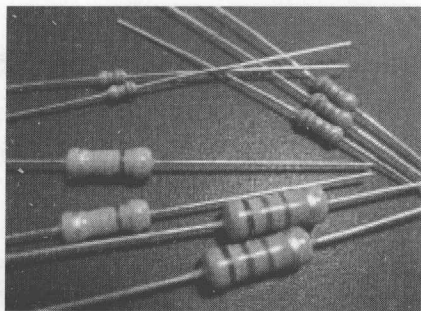


图 1.2 碳膜电阻器

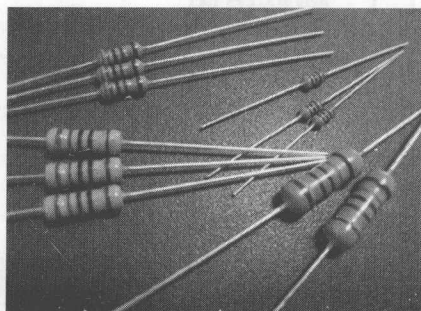


图 1.3 金属膜电阻器

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。

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。

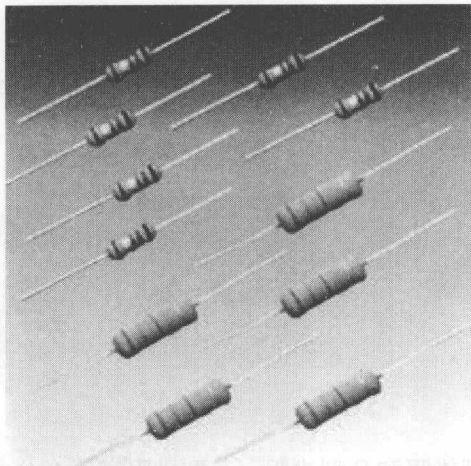


图 1.4 金属氧化膜电阻器

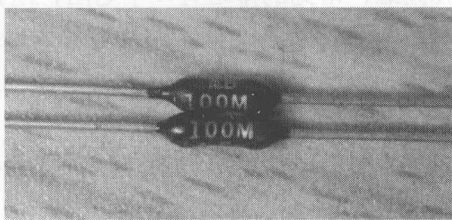


图 1.5 合成膜电阻器

1.2 贴片电阻

应电路板功能增强、体积缩小的要求，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釉电阻的一种形式，它的电阻体是高可靠的钎系列玻璃釉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。

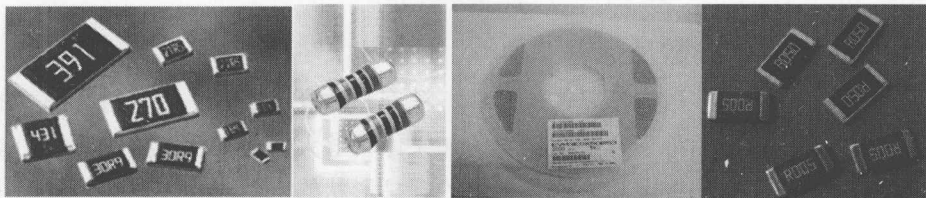


图 1.6 贴片电阻

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。

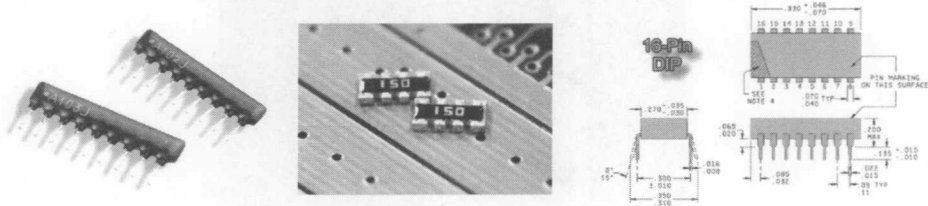


图 1.7 排阻

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。

1.4 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。

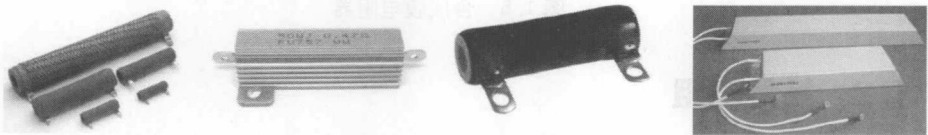


图 1.8 功率电阻

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。

1.5 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容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，念到哪个颜色挡住，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。

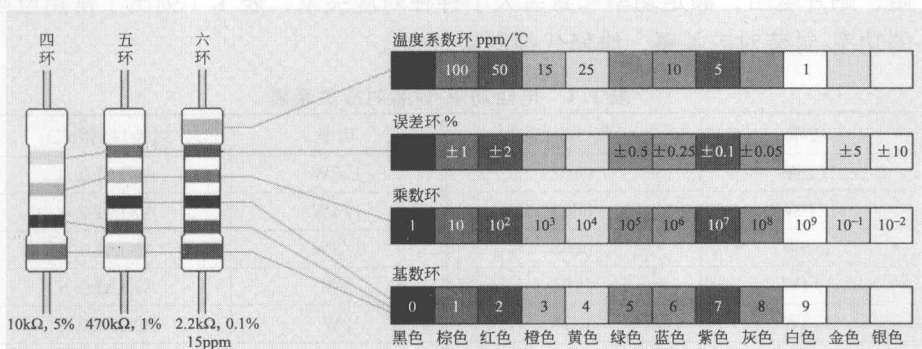


图 1.9 电阻色环的表示方法

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10kΩ、2kΩ、51Ω，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±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10kΩ、2kΩ、510Ω，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±1%。

另外还有数字配合字母的表示方法，例如30R=30Ω，33K2=33.2kΩ，2R2=2.2Ω，R22=0.22Ω。

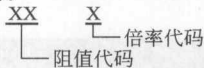
另外某些欧系设备中的贴片电阻，表面会印上代码，通过查询代码表，查得代码对应的数值和倍率来读出阻值。例如代码 51X，51 代码对应的数值是 332，X 对应的倍率是 10 的负 1 次方即 0.1，所以阻值 = $332 \times 0.1 = 33.2\Omega$ ，各代码对应的数值可见附录。

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：
 $10\Omega=01X$
 $7.5k\Omega=85B$
 $150k\Omega=18D$
 $1M\Omega=01E$

代码结构



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

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

贴片电阻代码表示方法

(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		

1.6 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。

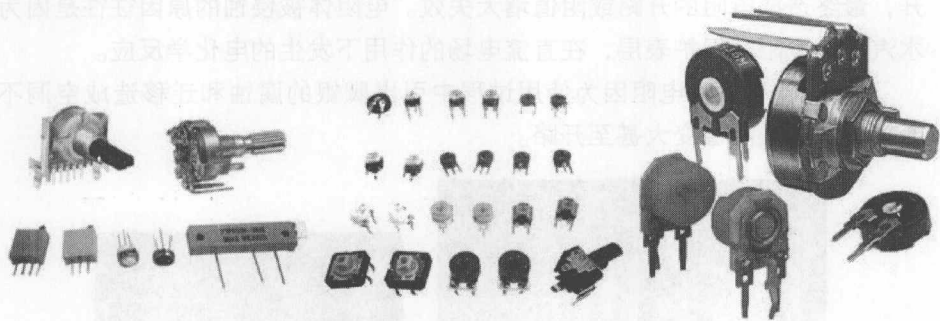


图 1.10 电位器和可调电阻

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。

1.7 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）。热敏电阻外形如图 1.11 所示。

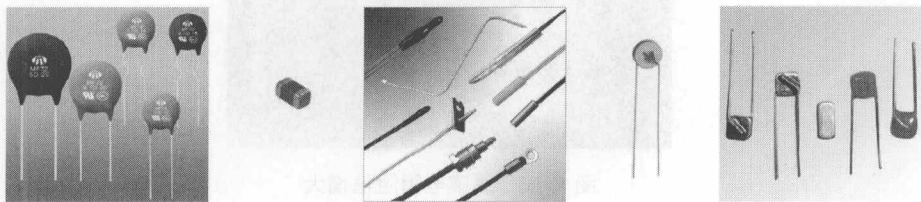


图 1.11 热敏电阻外形

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。电阻损坏以开路最常见，阻值变大少见，阻值变小十分罕见。小阻值电阻（ 100Ω 以下）损坏时往往有烧黑的痕迹，从外观比较容易辨别，其他阻值的电阻损坏从外观上看不出任何异样。

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 图 1.13 是失效分析工程师对失效的薄膜电阻器表面剥离后，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