

精密电阻分类及特性

什么是精密电阻？

其实，对于不是搞计量的不需要分的那么清楚，可以大体上认为高精度、高准确、低误差等是一个意思。但是，对于“精度”一词，可以分解成分解成三个要素：

温度系数。温度变化是电阻的大敌，温度系数一般用 ppm/°C 表示，即温度变化 1 度对应电阻变化百万分之几。100ppm/°C 就是 0.01%/°C。

老化。也就是长期稳定性，一般用 ppm/年来表示，也有用%/年来表示的。出厂再怎么准确的电阻，如果老化大，那么很快就变了，也就失去高准确的意义了。

初始调整误差，这个其实不太重要，知道偏差是多少，只要不变就没关系，测量时可以修正。因此，在本文里没做进一步讨论。

对于精度不太高的电阻，我们可以不分，笼统的说某电阻精度是多少。比如 0.1%精度的电阻，就是一个综合误差，实际上是说，在常温下(比如 10°C-35°C)、1 年之内，包括所有的误差，应该仍然能保证电阻在 0.1%之内。

但是，对于要求高的地方，电阻的具体特性将被测试，这样才好选用。本文就将把常见的高精度电阻器按照温度系数和老化两个指标做一描述。

常见的精密电阻有三类：金属膜电阻、线绕电阻和块电阻。

金属膜电阻是最常见的，但好一些的为精密金属膜电阻，特点是温度系数不大，阻值比较稳定。但由于膜比较薄因此相对脆弱一些，螺旋切割和压接部分容易出问题。

线绕电阻也是很常用的，甚至一度是高准确设备的主打电阻。采用的电阻丝材料现在有三种：

—康铜，比较古老，耐热但温度系数不太好，与铜的热电动势较高。

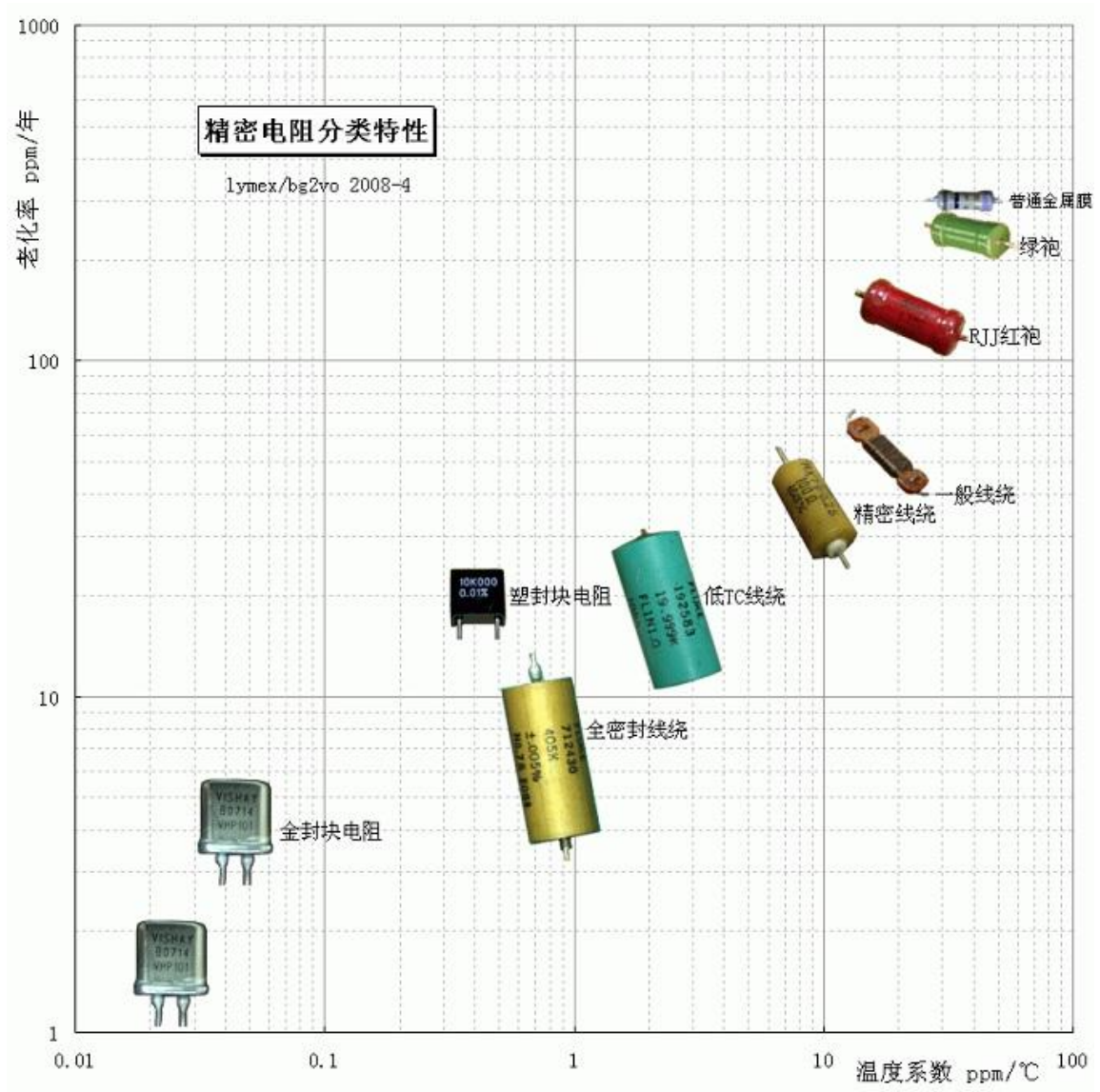
—锰铜，有精密锰铜，尽管热但温度不太高但温度系数很小，与铜的热电动势小，是广泛采用的线绕电阻材料。

—Evanohm，被翻译成埃佛诺姆，是一种镍铬铝铜合金，也可以简称镍铬电阻合金，温度系数最小，材料比较硬，焊接性能不太好。

块电阻，又叫金属箔电阻，国外厂家以 Vishay 为代表，是在陶瓷基片粘上合金电阻层然后无感光刻，不仅采用了镍铬电阻合金材料，而且陶瓷衬底做进一

步温度补偿,使得温度系数非常小,很多能做到《1ppm/°C。国产的型号为 RJ711,性能差一些。

以下为精密电阻分类特性图,基础数据是基于自己多年的收集、积累、测试整理而成。横轴为温度系数,纵轴为老化率,因此,任何一个电阻都可以在这图有一个位置,越靠近左下角表明电阻越好。



下面分别对这些典型电阻做一介绍。

普通金属膜电阻,体积一般比较小,电阻膜比较薄,温度系数和老化一般,除了高阻(《1M)和低阻抗(《5)以外,1%可以保证。

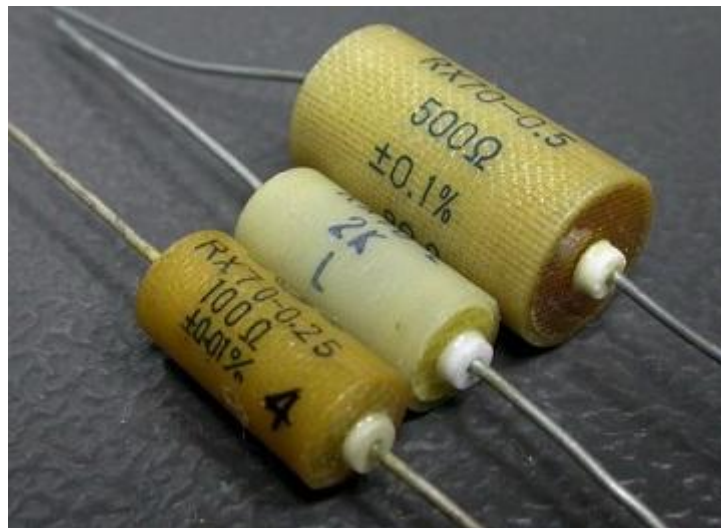
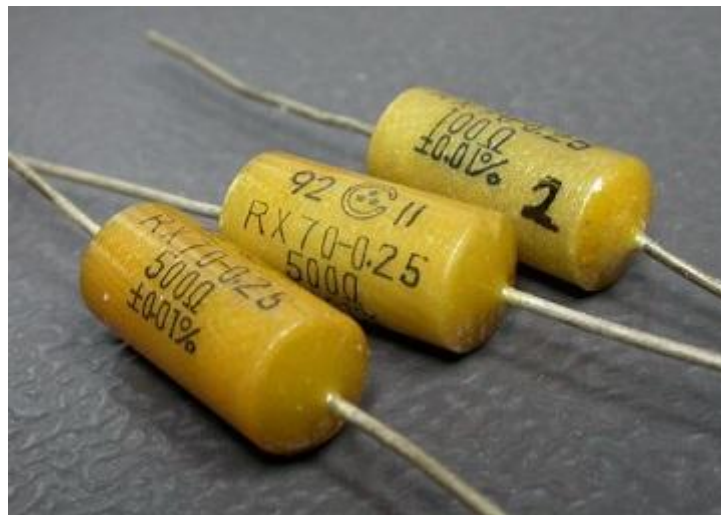
绿袍电阻。这是对80年代中后期出现的一种金属膜电阻的称呼,因为外观呈深绿色而得名,见于MF12和MF14万用表中。但根据自己的实测,性能一般,老化、偏差和温度系数都与红袍电阻相差很大。

红袍电阻，代号 RJJ，高稳定低温度系数精密金属膜，体积大，性能很好，经过自己的测试，多年的电阻，老化很少有超过 0.5%的，温度系数都在 30ppm/°C 左右。请注意，红袍电阻还有一种是普通精度的，代号 RJ，性能一般。

一般线绕电阻，采用锰铜或康铜电阻丝，非密封（只上漆），由于线径一般比较粗因此老化指标不错，但温度系数不算太好，一般是 15ppm/°C 到 35ppm/°C 之间。

精密线绕，电阻丝一般采用精密锰铜，密封后稳定性得到提高，实际测试了大量的 0.01%电阻，绝大多数数年后仍然能保持在 0.02%之内。温度系数也因为选材和工艺达到较高水平，大约是 5ppm/°C 到 20ppm/°C 之间。新品价格大约 5 元/只。

（另外，国产还有一种高密封线绕，稳定性更好一些）



低 TC (温度系数) 线绕电阻, 常见于老式国外 (比如 Fluke) 各种精密仪器中, 采用镍铬电阻合金, 温度系数非常低, 一般在 $1\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ 到 $5\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ 之间, 有的电阻每一只都标明了实测温度系数。老化也不大, 基本在 $20\text{ppm}/\text{年}$ 之内, 二手价格大约 10 元/只。这样的电阻进行标定后, 可以作为一般标准电阻来用。

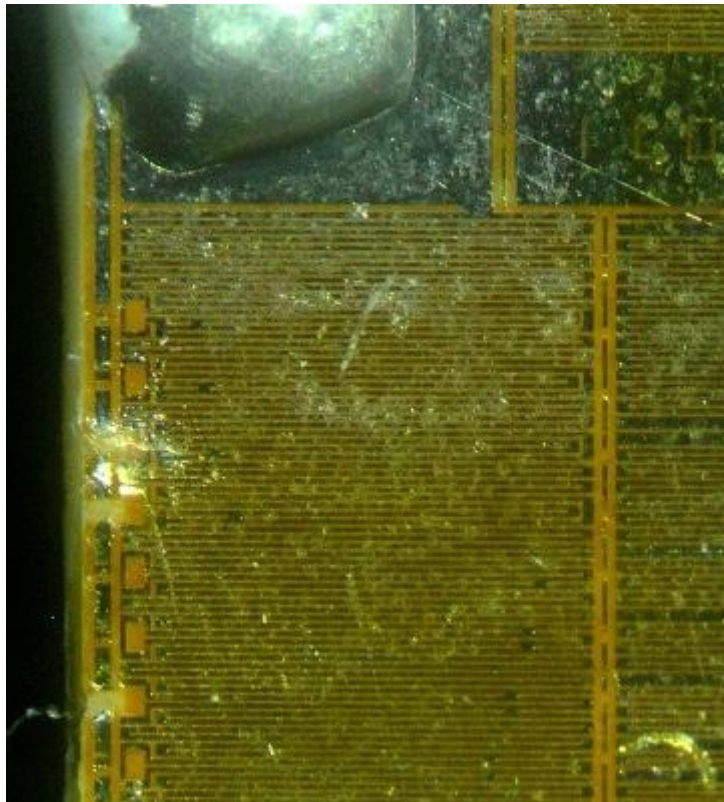
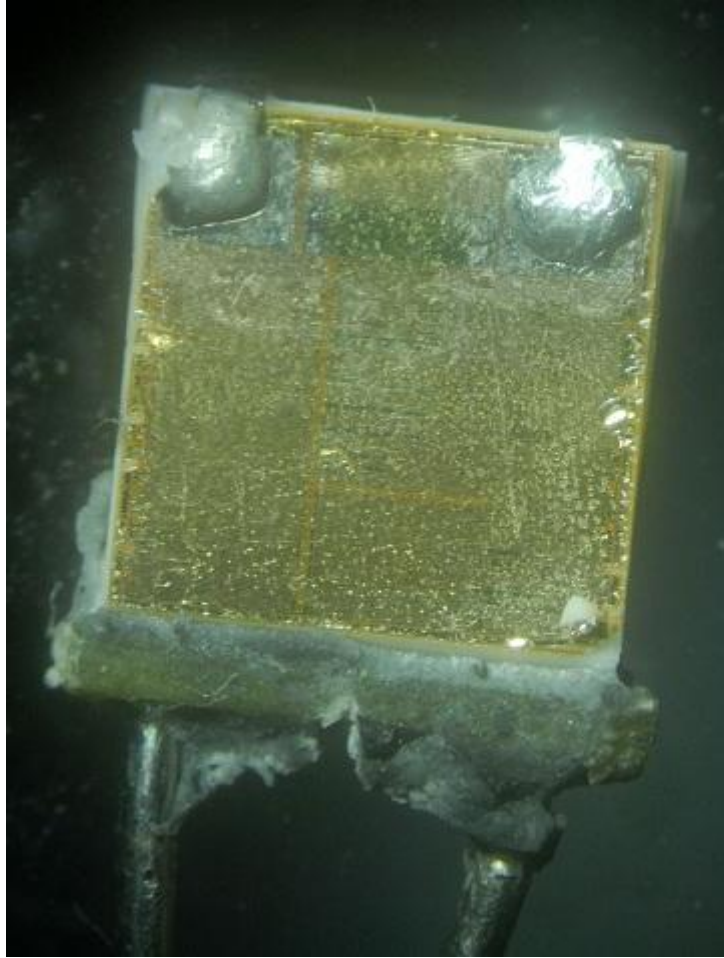


全密封线绕, 电阻丝材料同上, 但采用金属壳密封 (引线是后焊接的) 完全杜绝了潮湿和氧化因此稳定性很高, 达到 $8\text{ppm}/\text{年}$ 左右, 温度系数也大多在 $1\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ 之内, 广泛用于老一代高等级计量仪器和标准电阻中, 我有一篇专门的文章做过详细介绍。二手价格大约 50 元/只。

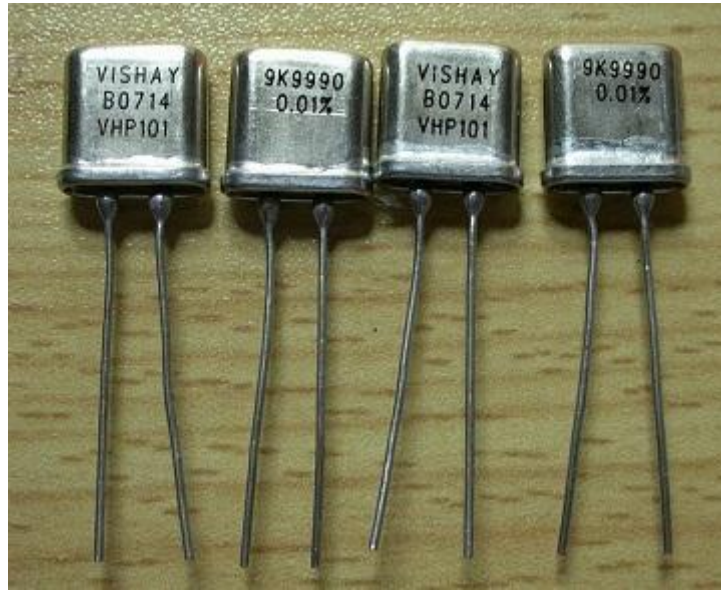


塑封块电阻。由于采用镍铬电阻合金和补偿技术，温度系数可以做的非常低，甚至 $\ll 1\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。但该电阻由于密封不太好因此老化特性不是很好，只能保证 25ppm/年，典型值 12.5ppm/年。新品价格约 50 元/只，二手约 20 元/只。这样的电阻也常常被音响发烧友采用，因为除了上述特性外，还具备超低噪音和无感等优良特性。





金封块电阻，这是目前最高等级的电阻，内部结构同上但采用金属陶瓷密封（外形类似晶振），彻底杜绝外界老化因素，同时零温度系数技术使得温度系数达到很难测量出来的程度。老化典型值 2ppm/年，有的达到 0.5ppm/年以下。新品价格大约 400 元/只，西方国家对我国实行封锁，严禁进口用于军事目的，连 8 位半的万用表 3458A 也仅仅用了一只（做内部标准电阻）。





应该看到，即便是同一类的电阻，不同厂家、不同时代的产品，差别也很大，这里只是尽量找一个典型的范围而已。

附：指针万用表最好用什么电阻呢？

选择电阻要看万用表的等级，一般采用等级的 1/4 或 1/5，比如 2.5 级的选 0.5%，1 级的选 0.2% 或 0.25%。

线绕的是最好的，稳定而且温度系数小，但阻值高的很难做，因此大部分是低阻值的用线绕。唯一见有 5M 电阻仍然用线绕的是 MF35。

电压测量档等需要 3M 到 5M 的高阻值电阻，一般只能选金属膜的。而高阻高精度的金属膜也比较难，需要高阻膜（这样稳定性可能要变差）、大体积。传统的红袍 RJJ 精密金属膜是很合适的。业余条件下如果很追求性能，可选用 6 环 1M 金属膜 0.1% 的电阻多个进行串联。

