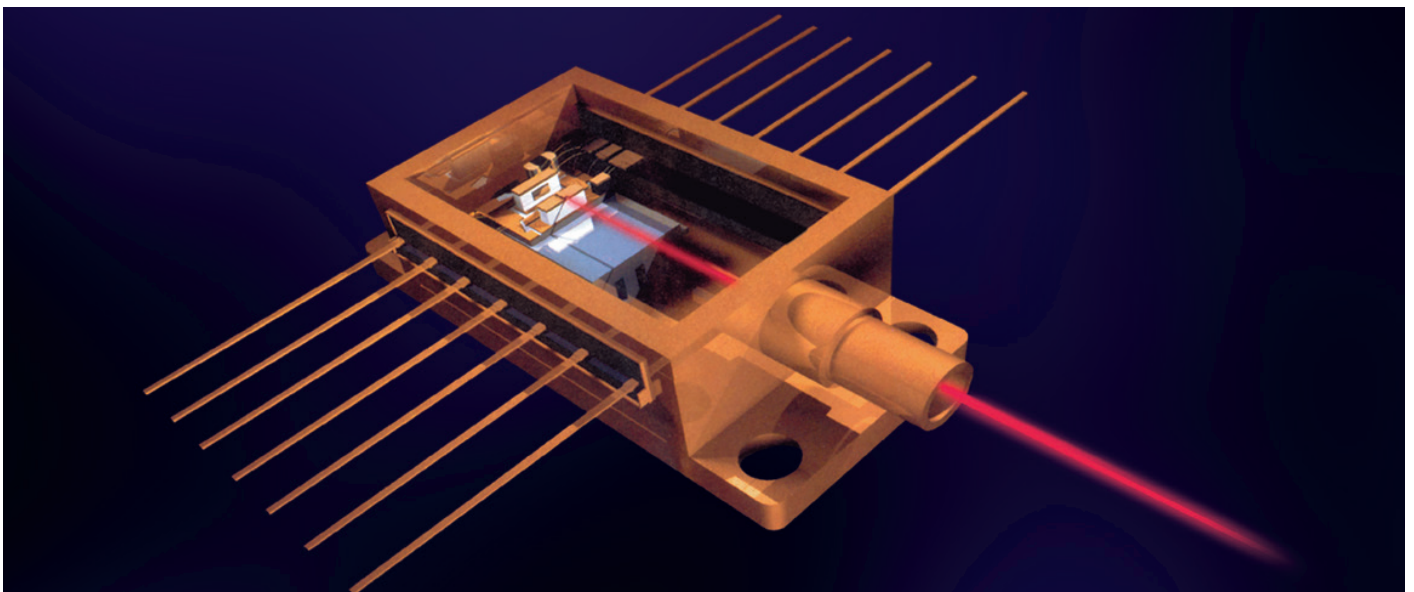


# 有关高稳定性镀金 NTC 热敏电阻的可靠性和寿命方面的考虑因素

---



## 用于基于一般 TELCORDIA SR-332 原理的电信和光电应用场合的 TE CONNECTIVITY NTC 片状热敏电阻（无引线，镀金端接芯片）的可靠性数据和寿命建模。

随着全球对电信连接和系统需求的持续增长，人们预计这些系统的总体性能将得到提高。性能考虑因素包括网络速度、带宽、存储容量和可靠性等。

系统可靠性可以定义为系统在规定的操作条件下，在规定的间隔内执行指定功能而不发生故障的能力。

系统可靠性取决于组成该系统的模块和元件的可靠性。可靠性可以定义和量化，因此它是系统开发中需要考虑的一个重要设计因素。本文讨论了有关负温度系数（NTC）热敏电阻这类特殊电子元件的一些可靠性和寿命考虑因素。

NTC 热敏电阻元件由具有半导体性质的陶瓷材料制成。这意味着，可用于电传导的电荷载体数目会随着温度升高而增加，因此电阻会随着温度升高而减小。这种效应由电阻的负温度系数描述，此类元件则分类为“NTC 热敏电阻”或热敏电阻热变电阻。将 NTC 热敏电阻用作温度传感器基于电阻和温度之间的定义关系，即 R/T 特性。

这是由 Steinhart-Hart 方程定义的一种形式的关系：

$$T(^{\circ}\text{C}) = \left( \left( \frac{1}{A + (B \times \ln(R)) + (C \times (\ln(R))^3)} \right) - 273.15 \right) \quad (1)$$

其中 T 代表温度（以摄氏度为单位），R 代表电阻（以欧姆为单位），A、B 和 C 代表从电阻 / 温度校准中推导出的常数。

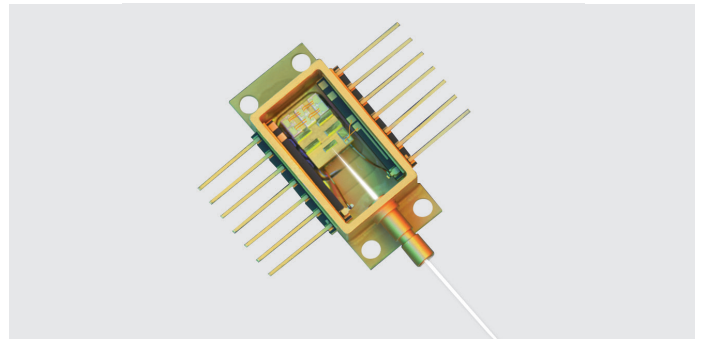
NTC 热敏电阻器广泛应用于各种通信和光电模块应用中的温度传感领域。在此类应用中使用的 NTC 传感器的典型物理形式是一种芯片，其长度为 0.35 至 1mm，宽度和厚度为 0.20 至 0.75mm。

在相反的表面上喷涂了用于导电的金属粉，使电流能够传导通过芯片。黄金通常用作传导材料，以优化热电传导，并与线焊和芯片贴装技术相容。

镀金片状热敏电阻的典型安装方式如下所示：



电子显微镜下放大 30 倍的混合热敏电阻芯片



镀金端接 NTC 芯片、激光二极管封装的典型应用

NTC 热敏电阻器的基本可靠性考虑因素是 R/T 特性必须符合定义的公差极限。

NTC 热敏电阻很少发生灾难性的故障。它们表现出电阻的变化或漂移，而不是发生开路或短路行为故障。在实际应用中，将 25°C 时电阻值变化 ± 1.0% 作为典型限值，但根据应用情况可能应用不同的限值。

**可靠性定义和参数:**

元件的故障率通常用  $\lambda$  表示，通常表示为“单位时间的故障”，通常为每小时故障数，即， $\lambda_{hours}$ 。

用来描述元件可靠性的相关值是“平均故障时间”(Mean Time to Failure)，称为 MTTF，通常表示为  $\theta$ 。MTTF 是故障率的倒数，因此：

$$MTTF_{hours} = 1/\lambda_{hours} \tag{2}$$

$$MTTF_{years} = 1/(\lambda_{hours} \times 24 \times 365) \tag{3}$$

因为每小时的故障数通常很低，电子元件和半导体行业也用“故障时间”(Failures in Time, FIT) 来描述故障率，它被定义为每十亿小时的故障率，因此：

$$FIT = \lambda_{FIT} = \lambda_{hours} \times 10^9 \tag{4}$$

可靠性建模和预测基于在正常寿命条件下运行的元件，其中故障率近似为常数。在这种情况下，故障分布作为时间函数的计算公式如下：

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \tag{5}$$

在实际应用中，在正常操作条件下进行大量的故障率测量通常是不实际的。相反，强加速应力测试 (HAST) 的原理被用来测量在高应力水平下的故障率。然后进行外推法计算来预测正常操作条件下的故障率。

对于 NTC 热敏电阻元件，相关的故障模式是相对于定义的限值，在参考温度下电阻的变化。这种故障模式是由于陶瓷材料中微观裂纹的扩展、金属化材料与陶瓷材料之间界面的变化等多种故障机制造成的。影响故障模式发展的主要应力是元件暴露温度，因此这里考虑了温度应力测试。

观察到的故障模式进展的速率可以用阿伦尼乌斯公式 (Arrhenius Rate Equation) 进行数学建模，该方程表示：

$$R \propto e^{\frac{-Ea}{kT}} \tag{6}$$

其中 R 是故障模式的进展率， $e = 2.7183$  (基于自然对数)，k 是波兹曼常数： $8.6 \times 10^{-5}$  eV/K (每开尔文电子伏)。T 是开尔文温度，Ea 是活化能 (以电子伏特为单位)，这是根据评估和 NTC 热敏电阻的专有数据估计的。

在大多数实际应用中，在大约  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $+200^{\circ}\text{C}$  的温度范围内，NTC 热敏电阻元件的 Ea 值近似不变，因此故障模式的相对进展率取决于温度。

定义一个加速度因子 (指定为  $A_f$ ) 很有用，它是一个元件在两种不同温度下故障模式进展的比率。当正常工作温度指定为  $T_{use}$ ，用于应力测试的升高温度指定为  $T_{test}$ ，相关速率指定为  $R_{use}$  和  $R_{test}$  时，比率和加速度因子由以下公式指定：

$$\frac{R_{test}}{R_{use}} = A_f = e^{\frac{Ea}{k} \left( \frac{1}{T_{use}} - \frac{1}{T_{test}} \right)} \tag{7}$$

可以使用加速度因子建立高温工作寿命 (HTOL) 模型。

在这个模型中，元件样本的故障率  $\lambda$  定义为总故障次数和累计运行时间的比值，该比值定义为等效设备小时数 (EDH)：

$$EDH = D \times H \times A_f \tag{8}$$

其中：D = 接受测试的设备数目

H = 每台设备的测试小时数

$A_f$  = 由阿伦尼乌斯方程推导出的加速度因子

$$\lambda_{hours} = \frac{r}{EDH} \tag{9}$$

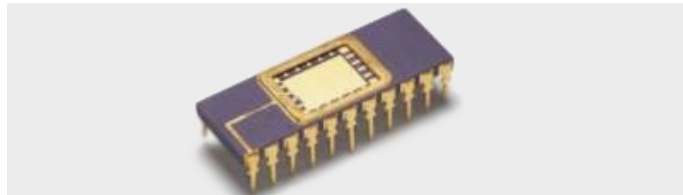
每小时故障率  $\lambda_{hours}$  为：

其中，r 为在定义了 EDH 值的样本中观察到的故障数。

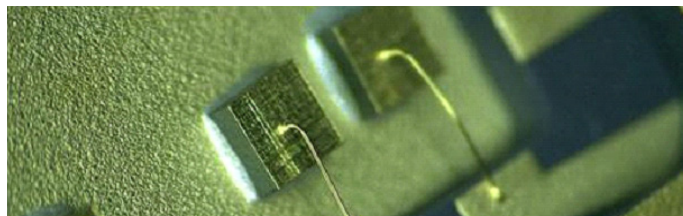
在实际应用中，术语 r 的定义是将概率函数 ( $\chi^2$ ，卡方分析) 应用于观察到的故障数，以便为故障在相关时间间隔内的统计分布建模。

### 评估和结果：

这些原理被用于 TE Connectivity 评估，以获得用于生产镀金 NTC 热敏电阻元件的各种电陶瓷材料系统的故障率和平均故障时间 (MTTF) 值。每种样品都安装在 20 针的 CerDIP 封装中，使用填充了银的环氧树脂与基板形成机械、热和电气结合，并与顶部电极形成金丝键合，如下所示：



CERDIP 封装，用于在延长寿命测试期间安装镀金端接 NTC 芯片



为进行延长寿命测试而安装的镀金端接 NTC 芯片的放大视图

这些元件经过加速应力测试，并根据 Telcordia SR-332 中概述的原则进行了评估。

在对这些元件进行初步筛选后，在  $+25^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}\text{C}$  油浴和零功率条件下，对测试夹具进行了校准。在空气中，在  $+50^{\circ}\text{C}$ 、 $+75^{\circ}\text{C}$ 、 $+100^{\circ}\text{C}$ 、 $+125^{\circ}\text{C}$ 、 $+150^{\circ}\text{C}$  的“应力测试”温度下，CerDIP 封装中的热敏电阻经受了无动力温度应力。

对于每种电陶瓷材料类型，使用统计上显著的样本数量在这些温度下对其进行了评估，并以 0 小时为参考，在经过 336 小时、1008 小时、2016 小时、7560 小时和 10080 小时的应力测试间隔后，在  $+25^{\circ}\text{C}$  下对其进行了校准。

这些校准间隔和值用于计算累积等效设备小时数 (EDH) 的值，以及相对于各种电阻漂移限值（基于  $25^{\circ}\text{C}$  时的初始阻值）的故障率。

评估结果汇总如下：

TE Connectivity 电陶瓷材料系统	Beta 值 $\beta(25-85)$ (K)	MTTF for $\pm 1\% \Delta R$ , $+30^{\circ}\text{C}$ 工作温度 (年)	$+25^{\circ}\text{C}$ 下芯片电阻值的典型范围 (k $\Omega$ )	$+25^{\circ}\text{C}$ 下用于计算尺寸的标称欧姆值 (k $\Omega$ )	典型芯片尺寸 [长 x 宽] (mm)
BT4-D	3694	365	5 到 30	10	0.92 x 0.92
BT3-D	3976	106	2 到 20	10	1.00 x 1.00
BT3Lo-D	3978	66	2 到 10	10	0.44 x 0.44
BT647-D	3956	115	2 到 15	10	0.60 x 0.60
BT647H-D	3956	361	2 到 15	10	0.55 x 0.55
BT647H-H	3956	88	2 到 15	10	0.36 x 0.36
BT6-D	4262	212	50 到 200	100	0.76 x 0.76
BT63-H	4075	72	50 到 200	100	0.37 x 0.37

表 1: TE CONNECTIVITY 电陶瓷材料系统的 MTTF 和芯片配置数据

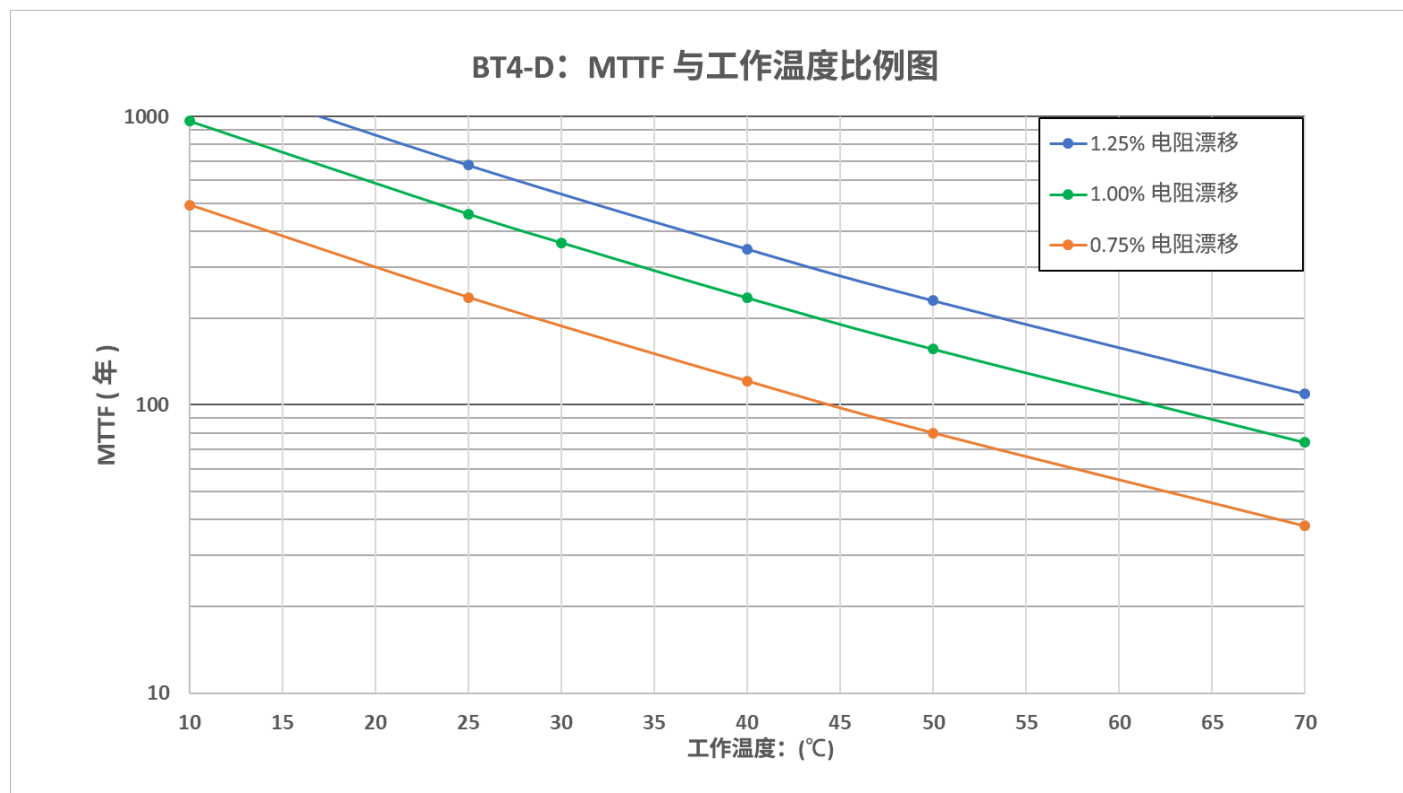


图 1: 电陶瓷材料系统 BT4-D 的 MTTF 与工作温度比例图

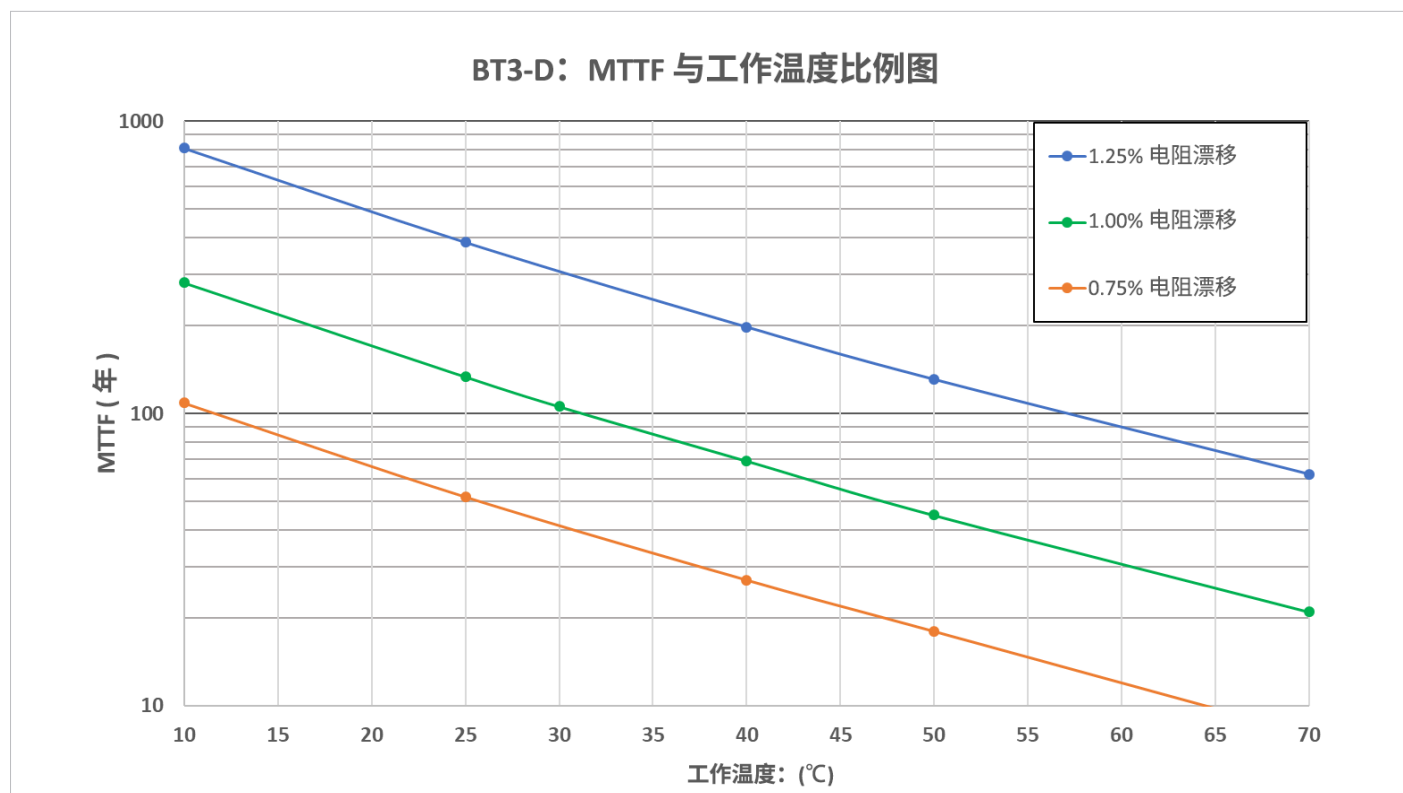


图 2: 电陶瓷材料系统 BT3-D 的 MTTF 与工作温度比例图

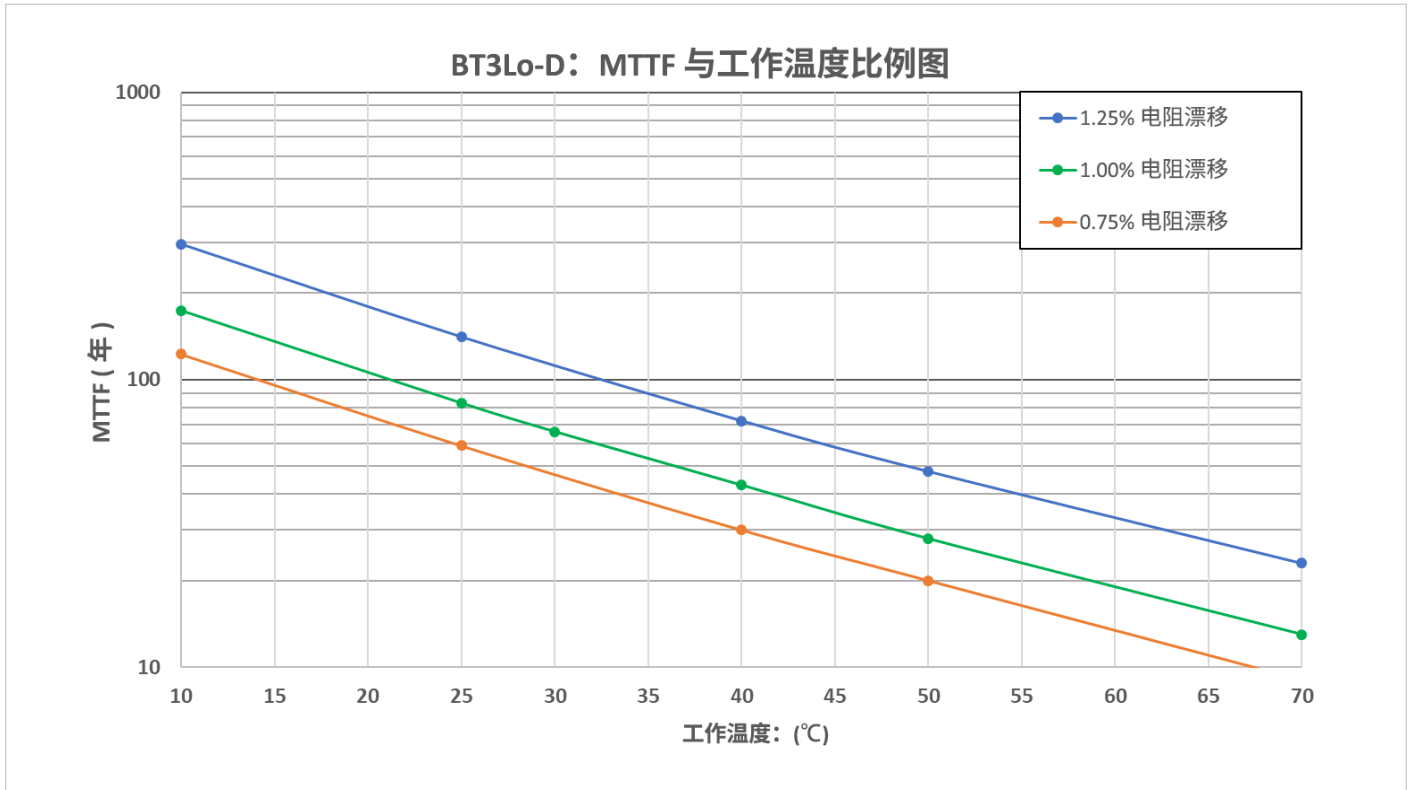


图 3: 电陶瓷材料系统 BT3LO-D 的 MTTF 与工作温度比例图

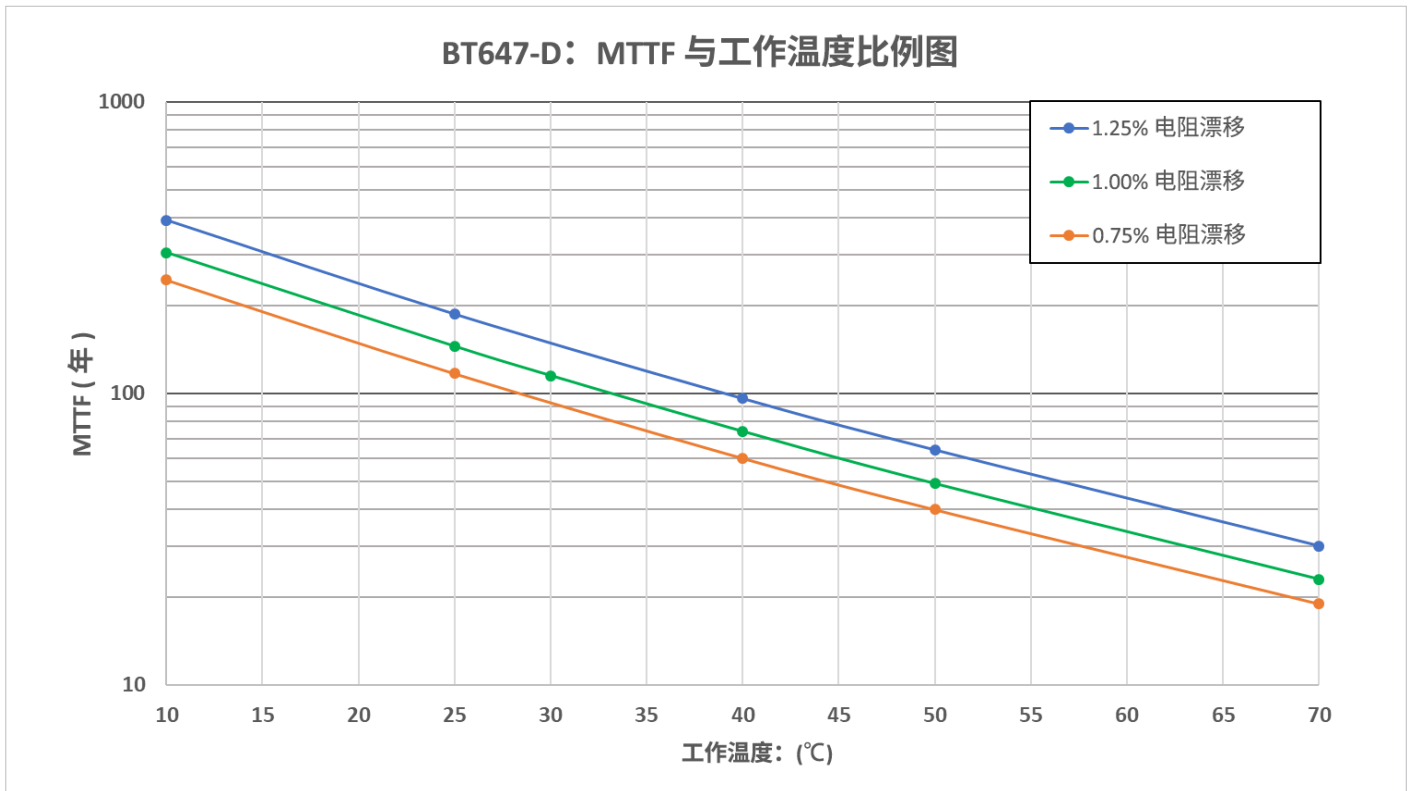


图 4: 电陶瓷材料系统 BT647-D 的 MTTF 与工作温度比例图

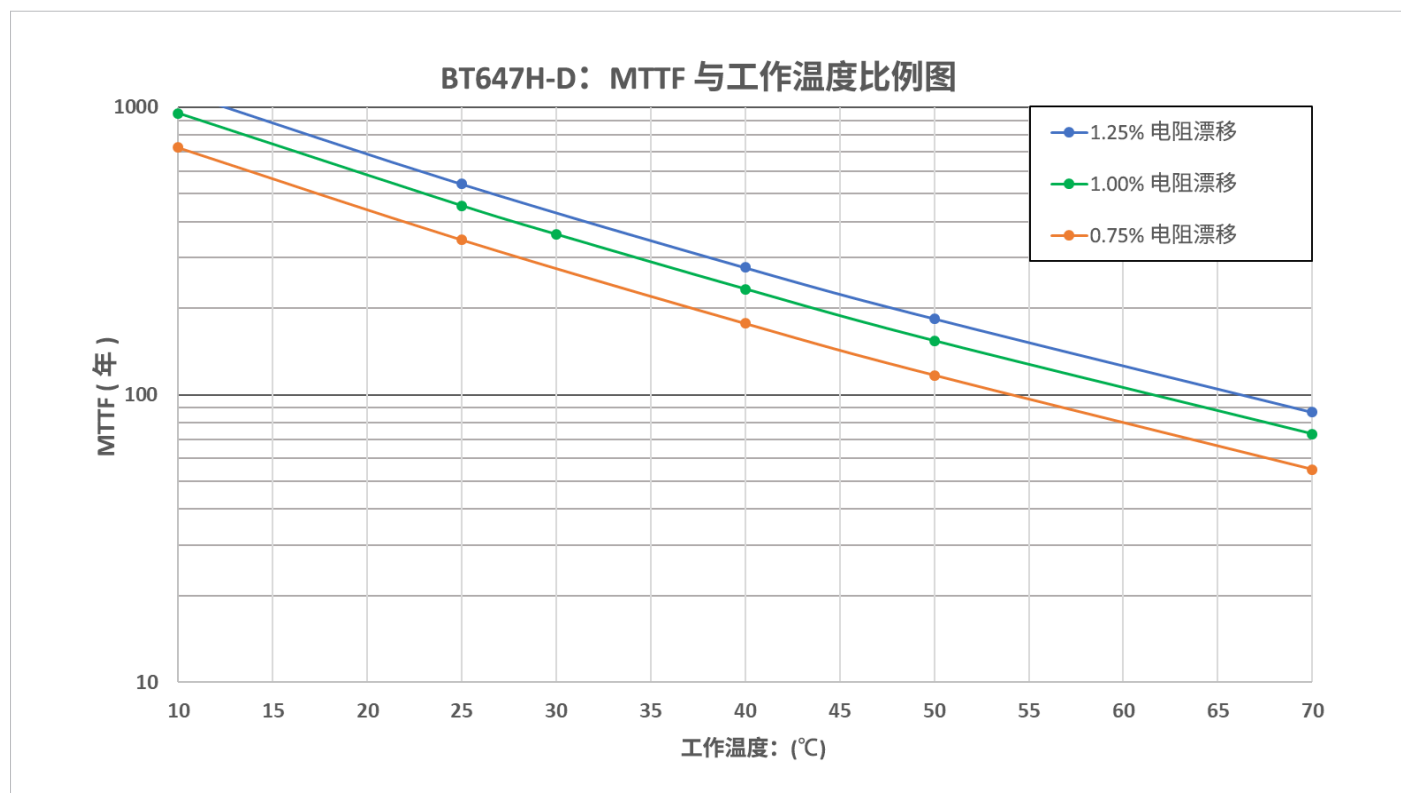


图 5: 电陶瓷材料系统 BT647H-D 的 MTTF 与工作温度比例图

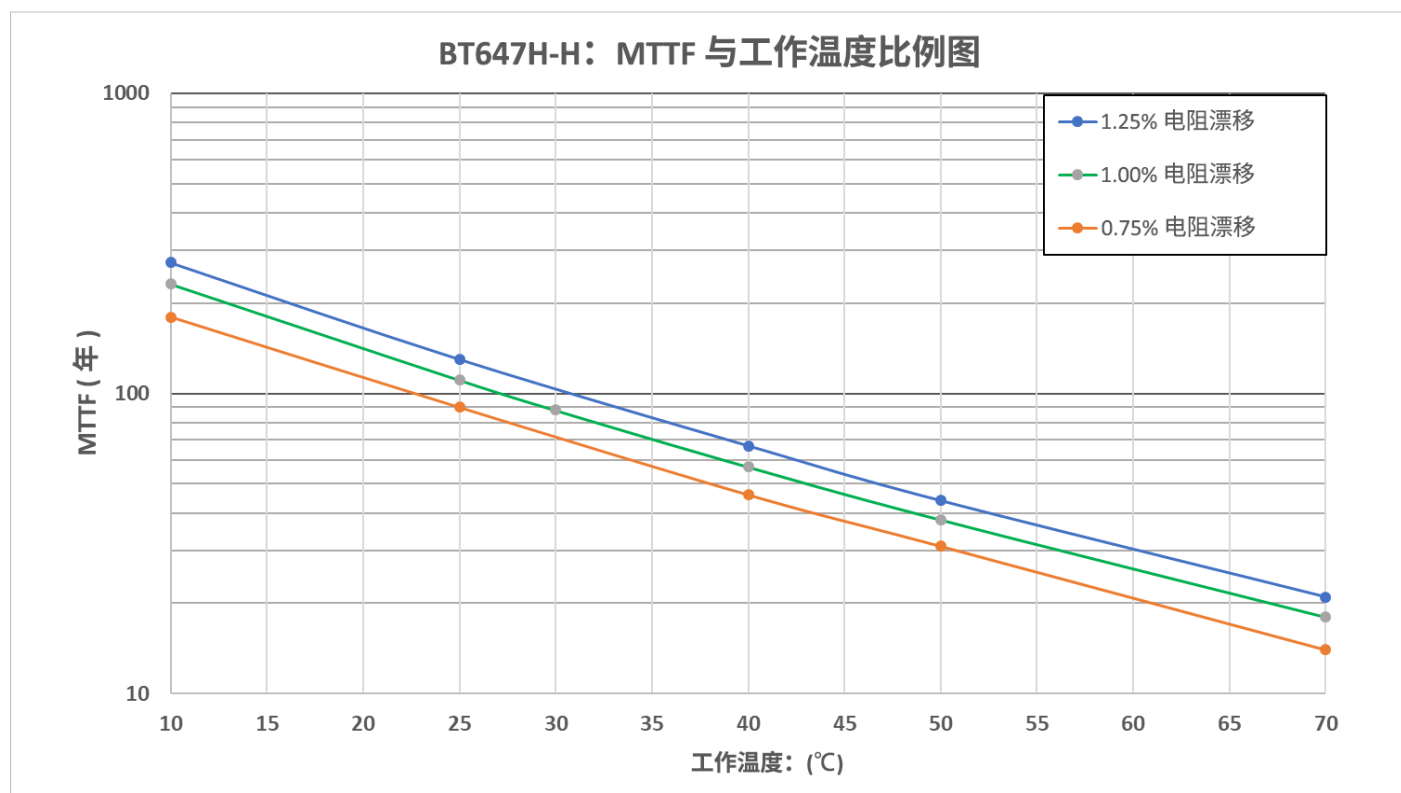


图 6: 电陶瓷材料系统 BT647H-H 的 MTTF 与工作温度比例图

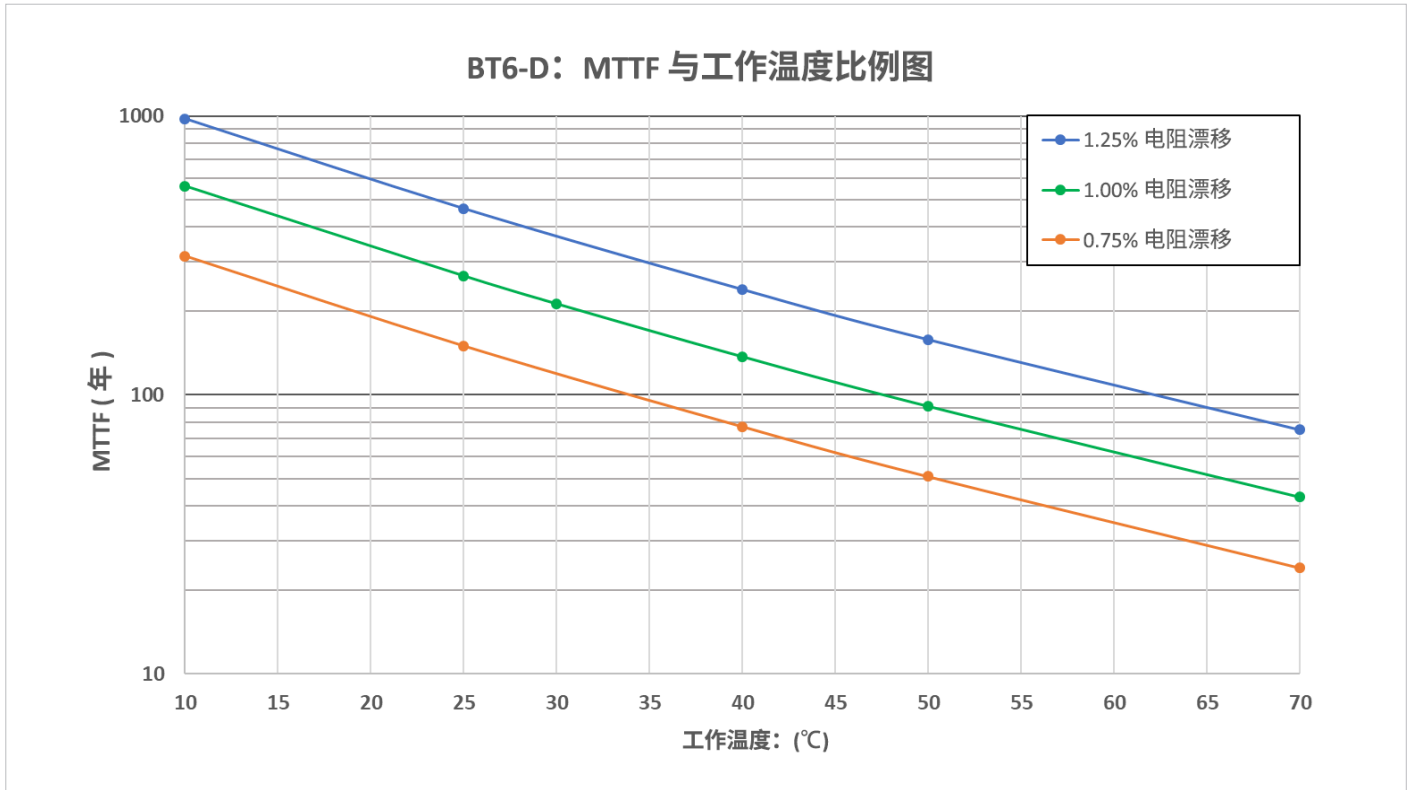


图 7: 电陶瓷材料系统 BT6-D 的 MTTF 与工作温度比例图

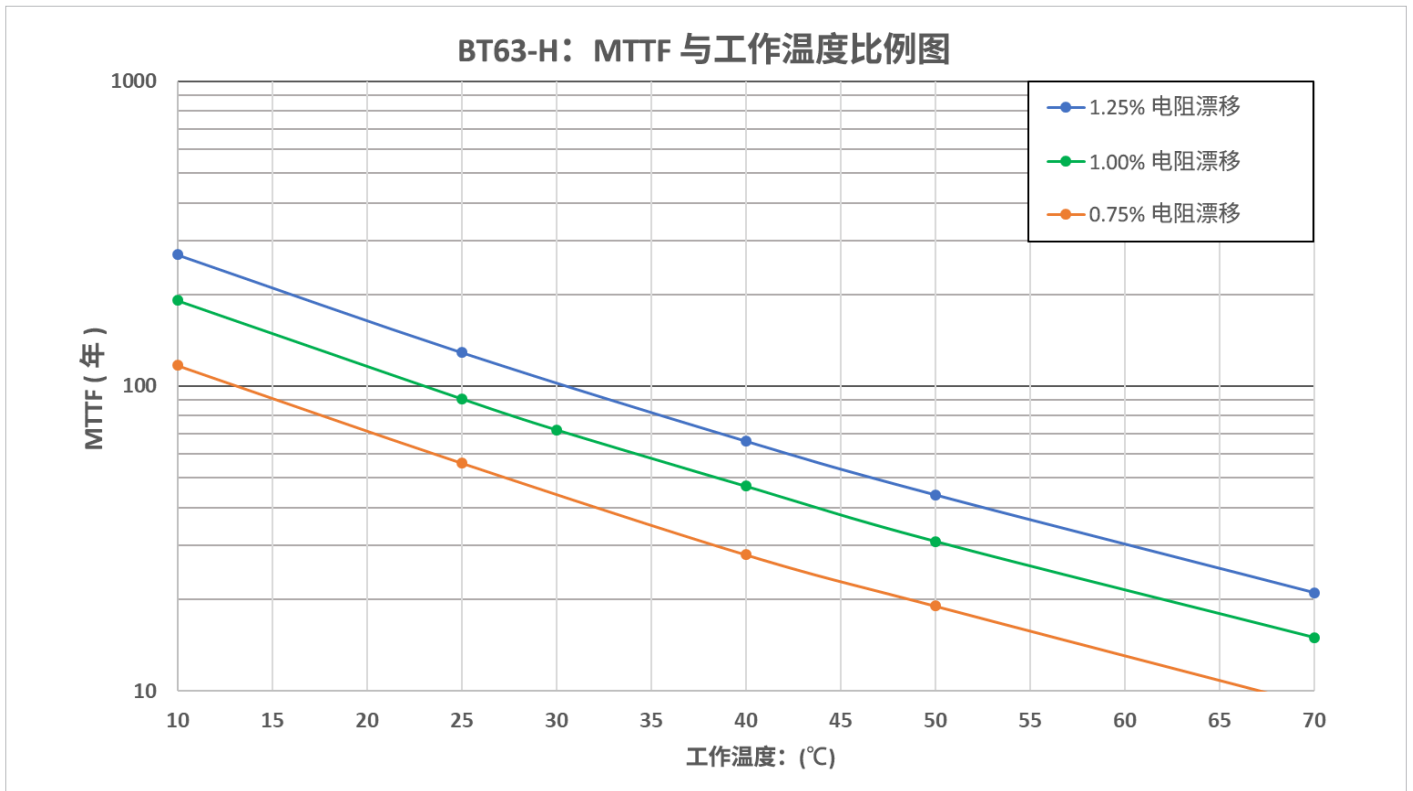


图 8: 电陶瓷材料系统 BT63-H 的 MTTF 与工作温度比例图



### 结论：

本文概述了在阿仑尼乌斯方程和高温工作寿命模型 (HTOL) 的基础上，利用加速应力测试生成有关镀金 NTC 热敏电阻材料的扩展可靠性数据的一些原则和注意事项。

所呈现的数据和分析提供了使用各种电陶瓷材料系统的镀金 NTC 热敏电阻平均故障时间的估计值。该信息旨在让设计工程师大致了解一些关键因素，涉及物理形式、电阻 / 温度特性以及光电系统设计方面的可靠性考虑因素。

这些数据为客户在预期运行寿命超过 20 年的系统中使用 TE Connectivity 镀金片状热敏电阻产品提供了信心。

随着镀金片状热敏电阻应用范围的不断扩大，建议根据反映实际运行状况的配置进行可靠性评估。TE Connectivity 可以提供技术支持，以优化依赖精确和可靠温度测量的系统中 NTC 镀金片状传感器的性能。

## 联系我们

您可以轻松联系我们的专家，随时获取所需的全部支持。  
欢迎访问 [www.te.com/support](http://www.te.com/support) 与产品信息专家交谈。

---

### [te.com/sensors](http://te.com/sensors)

TE Connectivity、TE、TE Connectivity (徽标) 和 Every Connection Counts 为商标。此处提及的所有其他徽标、产品和 / 公司名称是其各自所有者的商标。

本文档所提供的信息，包括仅用作说明性目的的图纸、插图和原理图等，均被认为是可靠的。但是，TE Connectivity 对其精确度或完整性不作任何担保，也不承担与其使用有关的任何责任。TE Connectivity 仅履行 TE Connectivity 针对本产品制定的标准销售条款和条件中提出的相关义务，对于因销售、转售、使用或滥用产品而造成的任何偶然的、间接的或相应的损害，TE Connectivity 概不负责。TE Connectivity 产品的用户应自行评估，确定每种产品是否适用于特定应用。

© 2021 TE Connectivity 保留所有权利。

2021 年 05 月 初稿