

ANE006 | 连接器降额



Alexandre Chaillet

1 引言

我们知道，电流通过电阻时，电阻会产生热量。热量的多少与这两个参数直接相关。但环境温度对电阻有什么影响呢？当温度升高，尤其是当它接近连接器允许的最高工作温度时，我们是否应该限制电流？

我们将尝试回答这些问题，并给出与我们连接器配合使用的实际操作曲线。

2 温升

2.1. 温升理论

电连接器总是规定了一个由国际、国家甚至行业特定标准定义的工作电流，这些标准规定了工作电流下允许的最大温升（ $\Delta t$ ）值。这些值可以通过非常精确的过程（通常遵循EIA364-70标准）在连接器中最热点测量。不同的标准可能允许不同的最大 $\Delta t$ 值。在UL认证中，Würth Elektronik选择的最大 $\Delta t$ 值为30K（UL1059-接线端子）。

不同的标准可能涉及不同的测试过程、极数，尤其是 $\Delta t$ 值，因此有可能在不同的标准（例如UL和VDE）中发现相同的产品的不同电流值。

$\Delta t$  可以用下面的焦耳公式计算

$$\Delta t = k \cdot R \cdot I^2 \quad \text{公式 (1)}$$

其中:

$\Delta t$  温升, 单位K

k 常数

R 连接器电阻, 单位 $\Omega$

I 电流, 单位A

K常数取决于环境因素，例如：塑料材料的类型，甚至其颜色、气流以及所有会改善或降低散热的因素。当然我们无法轻易知道或计算出每种产品使用时的K值。

当我们比较同一系统的数值时，可以从计算中省略这个常数。如果我们测量了通过电流 $I_1$ 下的连接器温升 $\Delta t_1$ ，则无需测量即可计算出不同电流 $I_2$ 下的 $\Delta t_2$ 。

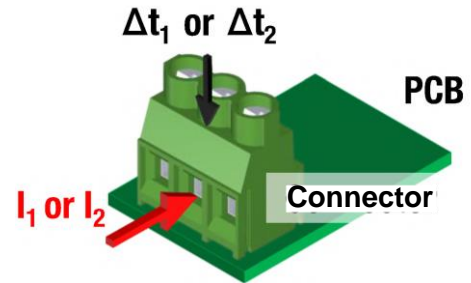


图 1: 温升测试原理

如果我们使用焦耳公式(公式 1)，这两条线路的常数K和电阻R将是相同的。

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2} \quad \text{Eq.(2)}$$

*注意:* 由于输入电流精度、测量精度和环境等原因，此公式为估算值，因此并不精确。

我们将在下一段中看到这种估计与实际测量结果相比是否准确。

连接器的内部温度为

$$t = \Delta t + t_{\text{ambient}} \quad \text{Eq.(3)}$$

2.2. 温升实验

我们对一些产品进行了温升测试，以验证这一理论。产品被放置在封闭的空间内，以避免气流的影响。没有温度调节。

在下面的示例中，PCB接线端子的三个极串联在一起。然后用一根12AWG的导线施加20A的电流。连接器上放置了三个热电偶，每个螺钉夹内一个，另外一个热电偶用于测量环境温度。

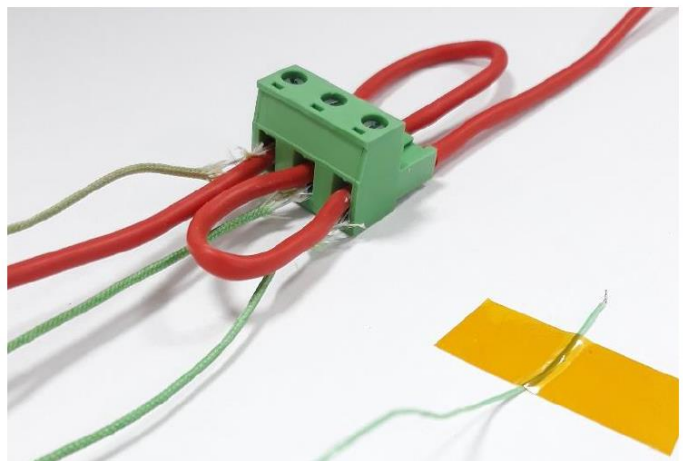


Figure 2: Test cabling



表1显示了热电偶 $\Delta t$ 的测量结果（单位K），同时还显示了根据工作电流为20A时的 $\Delta t$ （绿色行），再使用焦耳公式计算得到其他电流下 $\Delta t$ 估算值。

例如，10A时的 $\Delta t_1$ 的估算值计算如下：

$$\Delta t_{10A} = \frac{I_1^2}{I_2^2} \cdot \Delta t_{20A} = \frac{10^2 A}{20^2 A} \cdot 19.2 K = 4.8 K \quad \text{Eq.(4)}$$

从表1所示的实验结果可以看出，从10A到20A，连接器的温升乘以了4倍！预测误差（单位K）是测量值和计算值之间三个误差的平均值。

	Current (A)	Th <sub>1</sub> clamp ext	Th <sub>2</sub> clamp middle	Th <sub>3</sub> clamp ext	Prediction error (K)
Measured $\Delta t$ (K)	5	1.3	1.6	0.9	0.0
$\Delta t$ expected (K)		1.2	1.6	1.0	
Measured $\Delta t$ (K)		10	5.4	7	
$\Delta t$ expected (K)	4.8		6.5	3.9	
Measured $\Delta t$ (K)	15	11.5	15.4	9.5	0.7
$\Delta t$ expected (K)		10.8	14.6	8.7	
Measured $\Delta t$ (K)	20	19.2	25.9	15.5	na
Measured $\Delta t$ (K)	25	29	38.8	22.9	-1.3
$\Delta t$ expected (K)		30.0	40.5	24.2	
Measured $\Delta t$ (K)	30	41.8	55.9	32	-2.1
$\Delta t$ expected (K)		43.2	58.3	34.9	

表1:  $\Delta T$ 测试结果与估算结果的比较

预测误差表明，计算方法是估算实际 $\Delta t$ 值的有效方法。这意味着，如果您知道连接器在某一电流下的 $\Delta t$ ，就可以估算出另一电流下的 $\Delta t$ 。

请注意，如果使用的两个电流相差很大（例如2A和50A），这种估算的准确性就会降低。

### 3 降额测试

#### 3.1. 降额理论与实验

降额测试是在工作电流下进行的 $\Delta t$ 值测试，在不同环境温度的试验箱中进行，通常从20°C到产品允许的最高工作温度。它为我们提供了在不同温度条件下允许的最大电流信息。

WE产品的设计使金属部件在整个工作温度围内都不会降低效率。

主要原因是金属电阻随温度的变化如下式示：

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (t - t_0)) \quad \text{Eq.(5)}$$

其中：

$R_t$ ：温度 $t$ 时金属导体的电阻，单位 $\Omega$

$R_0$ ：温度 $t_0$ 时的电阻，单位 $\Omega$

$\alpha$ ：电阻的温度系数，单位 $K^{-1}$

$$\alpha_{\text{copper}} \approx 4 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

$\alpha_{\text{brass}} \approx 1.5 \cdot 10^{-3} K^{-1}$  常数，举例两个广泛用作导体的材料：

*注意：使用符号“ $\approx$ ”是因为数值随材料等级略有不同。*

显然，整体接触电阻是不同参数的叠加：不同材料的导体、导与线夹具之间的接触、焊接以及对配区的接触。

为了了解铜导体和黄铜导体混合连接器的电阻变化情况，以20°C至100°C的温度变化为例，可以用过以下计算进行估算：

$$R_{100^\circ C} = R_{20^\circ C} \cdot \left( 1 + \left( \frac{1.5 + 4}{2} \cdot 10^{-3} K^{-1} \right) \cdot (100^\circ C - 20^\circ C) \right) \quad \text{Eq.(6)}$$

$$R_{100^\circ C} = 1.2 \cdot R_{20^\circ C}$$

该示例表明，连接器的电阻将增加约20%。表2显示了在不同温度下的一些测量结果。

不过，我们可以看到， $\Delta t$ 会随温度发生显著变化。

Ambient temperature (°C)	Product internal temperature (°C)	$\Delta t$ (K)	$\Delta t$ increase vs $\Delta t$ at 23°C (K)	$\Delta t$ increase vs $\Delta t$ at 23°C (%)
23	38.9	15.9		
34.7	51.4	16.7	0.8	5%
46.4	63.8	17.4	1.5	9%
58.1	76	17.9	2.0	13%
69.8	88.3	18.5	2.6	16%
81.5	100.7	19.2	3.3	21%
93.2	112.5	19.3	3.4	21%
104.9	124.7	19.8	3.9	25%

表 2: 插拔式接线端子的降额测试值表



我们必须记住，温升与连接器的电阻成正比。当我们考虑到这一点时，对电阻增加的估算是一致的。

### 3.2. 降额曲线

我们之前看到，根据所使用的UL标准，工作电流允许的最大温升为30K。我们看到，金属部件的电阻会随着环境的温度升高而自然增大。

我们知道，所有产品都有工作温度范围，尤其是使用时的最高工作温度。

现在的问题是“产品能否在允许的最高温度下以最大的工作电流使用”？

答案是我们应该调整电流，避免产品温度过高，因为这会缩短其使用寿命。我们应遵循降额曲线。

它们的设计如下：

- 工作电流当然是从最低工作温度开始允许的。曲线从0°C开始，避免出现较长的平坦曲线区域。
  - 对于UL标准，从“ $t_{max} - 30K$ ”到最高工作温度，电流将按照电流的平方递减。
  - 对于VDE标准，从“ $t_{max} - 45K$ ”到最高工作温度。
- 以最高工作温度为85°C的产品为例，我们可以估计如下图3和图4中的降额曲线(红线)。

增加的电阻被考虑在内，因为 Würth Elektronik 在降额测试中对取得的工作电流使用了20%的安全裕度。

其余线条是我们的连接器根据规定的最高工作温度的降额曲线。

这些曲线可用于我们的任何连接器产品。

## 4 总结

如果我们知道一个连接器在电流 $I_1$ （单位A）下的温升 $\Delta t_1$ (单位K)，就可以估算出不同电流下 $I_2$ 下的温升 $\Delta t_2$ 。

注：此公式适用于相同环境条件下的同一连接器。

当连接器的使用温度接近允许的最高温度时，建议使用本指南第3.2段中给出的降额曲线。它们适用于所有连接器产品。

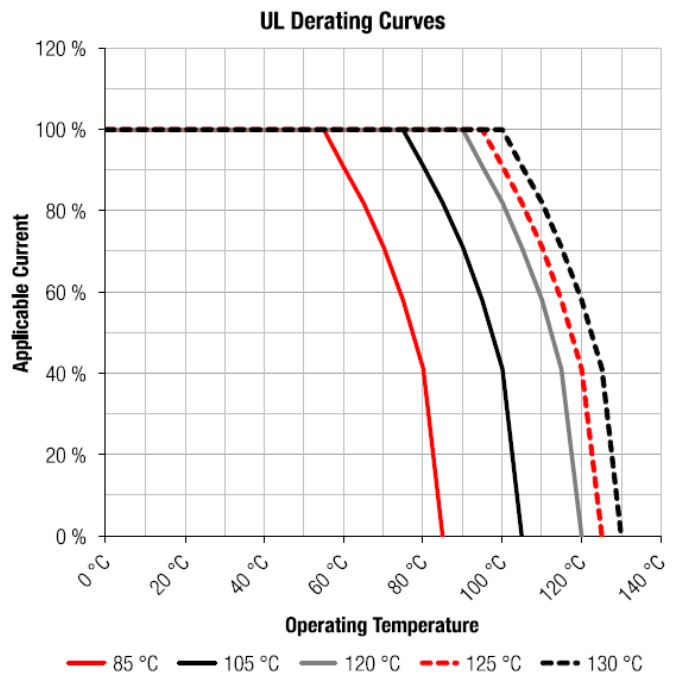


Figure 3: UL derating curves for different operating temperatures

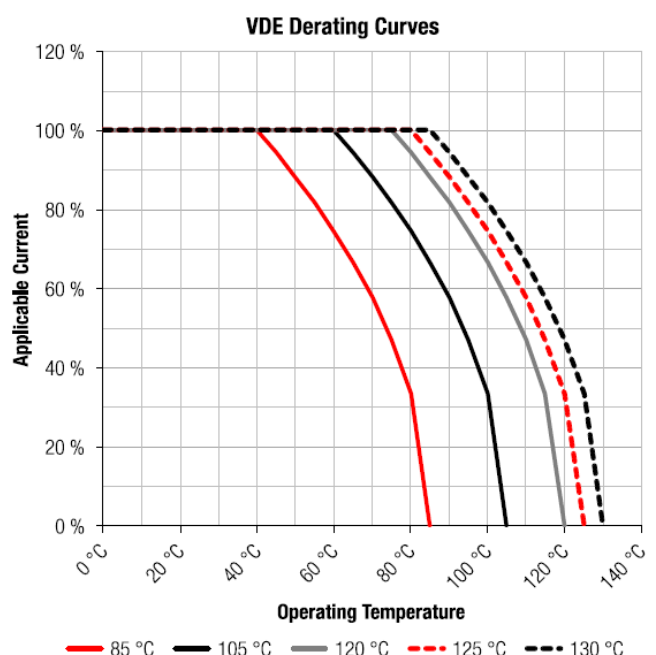


Figure 4: VDE derating curves for different operating temperatures



### 重要声明

本应用指南基于我们对这些领域典型要求积累的知识和经验。它是一般性指南，不应被视为伍尔特电子集团对客户应用适用性的承诺。本文中的信息如有更改，恕不另行通知。未经书面许可，不得翻印或复制本文档及其部分内容，不得将其内容透露给第三方，也不得将其用于未经授权的用途。

伍尔特电子集团及其子公司和分支机构（伍尔特电子）不对任何形式的应用支持承担责任。客户可以在其应用和设计中使用伍尔特电子的帮助和产品建议。伍尔特电子产品在特定客户设计中的适用性和使用责任始终完全在客户自己。基于这一事实，客户应在适当时自行评估和研究，判断具有产品规格中所述特定产品特征的设备是否有效，以及是否适合相应的客户应用。

技术规格见产品最新规格书。顾客应使用规格书，并注意确认最新规格书。可以在 [www.we-online.com](http://www.we-online.com) 下载。客户应严格遵守所有产品特定的说明、注意和警告。我们保留对产品和服务进行更正、修改、增强、改进和其他更改的权利。

伍尔特电子不保证或代表任何基于与伍尔特电子产品或服务使用的任何组合、机器或过程有关的任何专利权、版权、屏蔽作品权或其他知识产权，以及以明示或暗示的方式授予的许可。伍尔特电子发布的有关第三方产品或服务的信息并不代表伍尔特电子授予的使用此类产品或服务的许可证、保修书或认证。

伍尔特电子产品不可用于对安全有严格要求的应用，或合理预期产品故障会导致严重的人身伤害或死亡的用途。此外，伍尔特电子产品不应用于军事、航空航天、航空、核控制、潜艇、运输（汽车控制，火车控制，船舶控制）、交通信号、防灾、医疗、公共信息网络等领域。客户应在进入设计阶段之前告知伍尔特电子有关此类用途的意图。在某些要求高安全性的客户应用中，电子组件的故障或故障可能危及人类生命或健康，客户必须确保他们在应用安全和法规后果方面具有所有必要的专业知识。客户承认并同意，无论伍尔特电子提供与应用程序相关的任何信息或支持，他们将对其产品以及在对安全有严格要求的应用中使用伍尔特电子产品有关的所有法律、法规 and 安全性要承担全部责任。

客户应赔偿我们因在此类安全关键应用中使用我们的产品而造成的任何损害。

### 相关链接



应用指南

[www.we-online.com/aDDnotes](http://www.we-online.com/aDDnotes)



**REDEXPERT** 设计工具

[www.we-online.com/redexDert](http://www.we-online.com/redexDert)



工具箱

[www.we-online.com/toolbox](http://www.we-online.com/toolbox)



产品目录

[www.we-online.com/Dproducts](http://www.we-online.com/Dproducts)

### 联系方式

[appnotes@we-online.com](mailto:appnotes@we-online.com)

Tel. +49 7942 945 - 0



WirthElektronik eSos GmbH & Co. KG Max-Eyth-

Str. 1 - 74638 Waldenburg - Germany



[www.we-online.com](http://www.we-online.com)

**伍尔特 (天津) 电子有限公司**

苏州在线服务中心: +86-512-65128813

电话: +86 22 2385 8666

邮箱: [eiSos-china@we-online.com](mailto:eiSos-china@we-online.com)