



中文版本

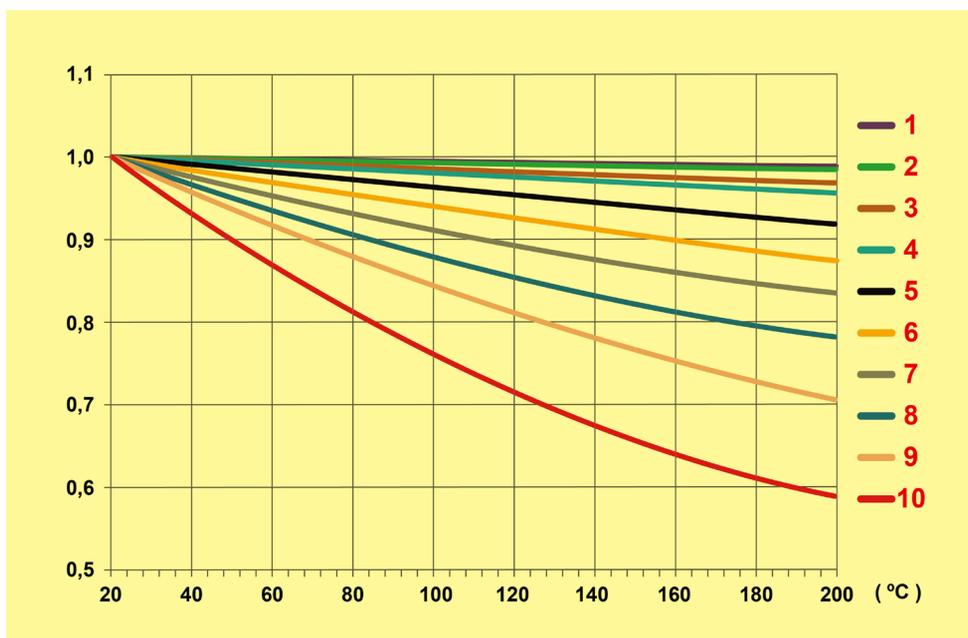


朱茂雅克

用于加热的元件的技术

第 47 章

硅胶加热器的技术介绍



硅胶加热器的技术介绍

硅胶加热器的技术介绍

随着许多制造商在市场上的出现，以及没有任何技术规范在互联网销售的扩散，出现了许多产品，大多数情况的是简单的可视化复制版，没有任何的技术验证，并且其购买通常是其于图片和价格的。

通过此技术介绍，我们希望展示出我们不断地寻求改进，而卓越的技术是向我们的**专业**客户提供**可靠和可持续的**解决方案的唯一途径，考虑到柔性硅胶元件的多项技术缺陷。我们设备的设计没有偶然性或近似性的。除非另有说明，否则所有测试均是在Ultimheat 实验室进行的。

Ultimheat 已通过 **ISO 9000-2015** 和 **ISO 14000-2015** 认证 (最新版本)。其也是政府**认证的高新科技企业**。

硅胶加热器的技术介绍

硅胶加热器的技术介绍

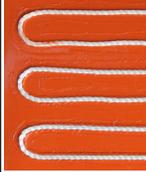
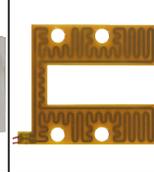
技术介绍概要

1- 柔性加热器的技术对比	7
2- 鼓形桶的重新加热	7
2-1 鼓形桶的标准尺寸	9
钢的鼓形桶的常用尺寸	9
2-2 用柔性硅胶加热带对鼓形桶重新加热	10
鼓形桶重新加热的时间	10
安装在空的鼓形桶上的柔性硅胶加热带的过热	10
用柔性硅胶加热带重新加热鼓形桶的实操对比示例	11
通过硅胶带加热器加热目前不同液体所需的加热时间的对比	14
3- 管道加热	15
3-1. 管道表面温度	15
不锈钢管的测试结果	16
镀锌钢管的测试结果	17
U-PVC 管的测试结果	18
4- 用柔性硅胶加热器来加热板	19
4-1. 板的表面温度与表面功率的关联	19
悬挂在空气中的柔性硅胶加热器的测量	19
安装在非浸入式金属壁的柔性硅胶加热器的测量	20
5- 柔性硅胶加热器的装配参数	21
5-1. 常规的参数	21
用于柔性硅胶加热器发热丝成型的一些现代的方法	21
5-2. 带正温度系数、零或负电阻线的使用, 因此功率随温度的变化而变化	22
5-3. 增强型的硅胶板的设计	23
5-4. 柔性硅胶加热器的表面涂层	23
5-5. 柔性硅胶加热器的机械强度	24
撕裂强度	24
蠕动	25
耐撕裂的支撑挂钩	26
硫化层的耐分裂强度	27
抗挠曲强度	27
温控器、限制器和温度传感器的硅胶保护外壳的撕裂强度	28
比较不同的硫化技术和用在柔性硅胶加热表面上粘合的硅胶帽粘合剂	28
5-6. 电线、电缆、温度传感器和温控器的连接方法	29
柔性硅胶加热器上电线的连接 (IP54)	30
柔性硅胶加热器上电缆和温度限制器的连接 (IP65).....	31
柔性硅胶加热器上电缆和温度传感器的连接 (IP65).....	32
柔性硅胶加热器上电缆和可调节双金属片温控器的连接 (IP54).....	32
柔性硅胶加热器上电缆和可调节球管和毛细管温控器的连接 (IP54)	32
5-7. 柔性硅胶加热器电绝缘参数	33
在环境温度的绝缘电阻	33
在环境温度的电气强度	33
在工作温度的泄漏电流	34
5-8. Rohs 和 Reach 规定	34

硅胶加热器的技术介绍

硅胶加热器的技术介绍

1- 柔性加热器主要技术的对比 *

	发热布	硅橡胶加热器			薄的绝缘箔加热器	
型号	1 线缠绕在嵌入布里面的发热元件	2 锯齿状的发热线	3 线缠绕在橡胶里硫化的发热元件	4 在橡胶里硫化的蚀刻金属箔	5 厚箔加热器, 丝网印刷	6 蚀刻箔
图片						
温度范围	-20 + 120°C。通常的数值取决于所用的布和发热丝的绝缘性。(从 PA66 的 -20 + 120°C 到玻璃纤维或芳纶的 -60 + 350°C)	-60°C 至 230°C	-60°C 至 230°C	-60°C 至 230°C	-20 + 80°C。耐温性主要取决于所用的传导性的和电阻性的油墨。绝缘箔可以是 PVC 或 PET 或甚至是聚酰亚胺。 表面功率负载限制至 0.2W /cm²。	-60 至 230°C。常用的数值, 由于它取决于绝缘箔的材料、用于粘合箔和油墨的粘合剂。绝缘箔可以是 PET (由于薄膜的材料而导致的最高温度为 120°C), Kapton 聚酰亚胺耐高温带 (由于 PSA 而导致的最高温度为 230°C)
柔韧性	良好的耐弯曲性和反复弯曲。	有限的耐弯曲和反复弯曲性。	最佳的耐反复弯曲性。	仅限于静态应用, 因为金属箔的耐弯曲性差。	油墨的耐弯曲性很差。	仅限于静态应用, 因为金属箔的耐弯曲性差。
用途	工业的布袋加热器。家用和工业的毛毯加热器和加热垫。发热的衣服。	工业的柔性硅胶加热器。小体积的应用。	工业的柔性硅胶加热器, 小体积的应用。温度范围从 -60°C 至 230°C。	大多数大体积的工业及商业的应用要求耐高温和高瓦特 / cm²。	低成本和低温加热器用于汽车当中, 以给座位或后视镜供暖, 以防止汽车、公共汽车和卡车的后视镜的侧面结冰。	要求轻量级应用的解决方案或快速加热时间的应用。当使用 Kapton 聚酰亚胺高温事时大的温度范围。

硅胶加热器的技术介绍

	发热布	硅橡胶加热器			薄的绝缘箔加热器	
型号	1 线缠绕在嵌入布里面的发热元件	2 锯齿状的发热线	3 线缠绕在橡胶里硫化的发热元件	4 在橡胶里硫化的蚀刻金属箔	5 厚箔加热器，丝网印刷	6 蚀刻箔
技术	<p>最古老的技术可以追溯到 19 世纪末。电阻导体缠绕在玻璃纤维或芳纶芯周围。(直到 50 年前都是石棉)。然后可以使用两种技术方案来制造平的加热器:</p> <p>1 /- 加热布的线是由玻璃纤维、芳纶棉、聚酰亚胺制成，而纬线是由这缠绕的发热丝制成。</p> <p>2 /- 将线缝在布上。该解决方案允许使用带硅胶或 FEP 主要绝缘的电线。然后，主绝缘层可以收纳一根金属编织线以进行接地。</p> <p>在某些工业应用中，这是生产带有接地编织物的柔性加热器的唯一方法。</p>	<p>电阻导体的成型为平的锯齿形的，并且嵌入在网里。类似于蚀刻的型号，该技术生产的加热器不会增加厚度。小批量最便宜的解决方案，(Ultimheat 的专利技术)</p>	<p>电阻导体缠绕在玻璃纤维或聚酰亚胺芯周围。然后将缠绕的电线用手压在未硫化的硅胶以制成网。然后加热网在两片增强型的玻璃纤维硅橡胶之间硫化。在其传统的耗时组装过程中，它们仅适合少量生产。在 Ultimheat 的专利技术和玻璃纤维网和发热丝是计算机设计的，在硫化之前，发热丝自动嵌入到玻璃纤维网中。这允许全自动生产和大量的应用。</p>	<p>发热元件的导电网是由薄的金属板制成，该薄金属板通过类似于印刷电路加工的技术进行化学蚀刻。然后，可以将该金属网在两个柔性的和绝缘的板之间进行硫化。片材可以由任何类型的橡胶或弹性体制成。由于路径更大，元件之间的间距更小，并且传热效果更好，功率密度可以比传统的线绕模式大两倍。它们适合中等及大批量生产。</p>	<p>厚箔加热器是在导电性的及电阻性油墨的丝网上构建而成的。这些油墨印刷在一块柔性的基板上。它们可以使用使加热器能自我调节其温度的墨水或者固定电阻加热器来生产。可通过使用一种令加热器能自行调节其温度的墨水或作为一个固定电阻的加热器来进行生产。</p>	<p>蚀刻箔 Kapton 聚酰亚胺耐高温胶带的柔性加热器是用薄的金属箔作为电阻元件制成的。电阻图案是用 CAD 设计的，并用类似于印刷电路的生产程序转移到箔片上。然后将金属箔层压并用粘合剂 (FEP 或丙烯酸塑料) 粘合到绝缘基板上。然后通过酸处理金属箔 / 基板，以产生蚀刻的发热元件。It is also resistant to most chemicals。(Kapton is a brand name from Dupont for polyimide)。然后添加顶层，并如第一面那样用粘合剂粘合和层压。聚酰亚胺加热器提供了尺寸的稳定性和高拉伸强度。它对大多数的化学品也有抵抗性。(Kapton 是杜邦公司的聚酰亚胺的一个品牌名称)。</p>

* 型号 1, 2, 3, 4 由 Ultimheat 生产。

硅胶加热器的技术介绍

2- 鼓形桶的重新加热

2-1 鼓形桶的标准尺寸

柔性硅胶加热器最常见的应用之一是加热鼓形桶。因此，有必要规定理论的和实际的尺寸。

最常见的 200 升鼓形桶 (在美国被称为 55 加仑的鼓形桶, 在英国被称为 44 加仑的鼓形桶) 是标称容量为 200 升 (55 美制加仑或 44 英制加仑)。确切的容量可能会因制造商、用途或其他因素而异。标准鼓形桶的内部尺寸为直径 572 毫米 (22.5 英寸), 内部高度为 851 毫米 (33.5 英寸)。这些尺寸产生的体积约为 218.7 升 (57.8 美制加仑; 48.1 英制加仑), 但通常填充至约 200 升。

200 升鼓形桶的外部尺寸通常在顶部或底部边缘的直径为 584 毫米 (23 英寸), 在脊柱处 (彭形桶周围的隆起的位置) 的直径为 597 毫米 (23.5 英寸), 高度为 876 毫米 (34.5 英寸)。

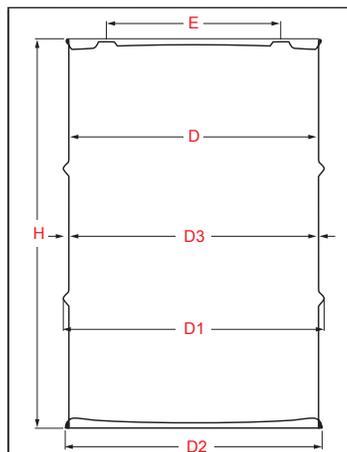
外部尺寸等于美国和 ISO 版本的几毫米。在顶盖上的塞子螺纹的公称直径是相同的, 但使用的螺距不同:

根据美国标准 ANSI MH2, 螺纹为 NPT 类型。

根据国际标准 ISO 15750, 螺纹为 G2 “和 G³/₄” 型 (ISO 228-1 标准)

这种布置在许多相同尺寸的塑料的鼓形桶中得到了体现。可以将各种组件安装到鼓形桶, 例如鼓形泵和桶塞子的混合器。

钢的鼓形桶的常用尺寸



升 (美式加仑)	整体高度 H 单位 mm ± 6.4 (单位英寸 ± 1/4)	内直径 D 单位 mm ± 3.2 (单位英寸 ± 1/8)	凸箍直径 D1 单位 mm ± 3.2 (单位英寸 ± 1/8)	内凹直径 D2 单位 mm ± 3.2 (单位英寸 ± 1/8)	没箍位置的 外直径 D3 单位 mm ± 3.2 (单位英寸 ± 1/8)	接头之间的 中心距离 E 单位 mm(英寸)	箍的数量
19-20 (5)	283 (11-1/8)	356 (14)	371 (14-5/8)	363 (14-5/16)	359 (14-1/8)	210 (8-1/4)	2
30 (8)	412 (16-1/4)	356 (14)	371 (14-5/8)	363 (14-5/16)	359 (14-1/8)	210 (8-1/4)	2
38 (10)	489 (19-1/4)	356 (14)	371 (14-5/8)	363 (14-5/16)	359 (14-1/8)	210 (8-1/4)	2
60 (16)	733 (28-7/8)	356 (14)	371 (14-5/8)	363 (14-5/16)	359 (14-1/8)	210 (8-1/4)	2
75 (20)	552 (21-3/4)	463 (18-1/4)	486 (19-1/8)	475 (18-11/16)	466 (18-3/8)	343 (13-1/2)	2
110/120 (30)	749 (29-1/2)	463 (18-1/4)	486 (19-1/8)	475 (18-11/16)	466 (18-3/8)	343 (13-1/2)	2
200/220 (55)	878 (34-1/2)	572 (22-1/2)	593 (23-3/8)	586 (23-1/16)	574 (22-5/8)	444 (17-1/2)	2

关于硅胶加热带, 必须要考虑到直径 D3。在任何情况下都不应将加热带应用于直径 D1 或 D2。

硅胶加热器的技术介绍

2-2. 用柔性硅胶加热带对鼓形桶重新加热

鼓形桶重新加热的时间

这是最常见的问题：加热鼓形桶需要多长时间？第一种方法必须考虑许多关键的参数，主要参数有：

1- 加热的总体积。

对于给定的功率，大体积加热的速度不如小体积的快。

2- 施加的总功率。

原则上，高功率将预热得更快。

3- 功率的分布。

分布在整个物料或所有壁上的热量比位于罐的小表面的加热更快。

4- 液体的导热率。

液体的导热率越高，热量传递到整体的速度就越快。

5- 液体的热容量

由于热容量代表了必须施加到一定量的液体才能对其加热的能量，因此，带低热容量的液体将以相等的功率加热，比具有高热容量的液体加热得更快。

6- 液体的运动粘度 (ν)。

液体粘性越大，对流越小。因此，热能传递的速度较慢。在某些情况下，可能有必要增加一台用于粘性的、低导电产品的混合设备。

7- 保温。

通过消除向外部的热流失，热能集中在储罐体上。一个保温的罐体会加热得更快。绝缘布袋

可用于所有尺寸的鼓形桶。

8- 温度控制的作用类型。

PID 型的温度控制减少了在设定点附近供给罐的功率，因此加热时间增加了，但是避免了的打开 / 关闭控制系统的通有的过热。温度测量点的不正确定位，例如在加热的液体中间，会增加壁过热的风险，这是由于热能到达该中心位置所耗用的时间。

9- 热安全装置。

在加热系统中安装热安全装置时，它们会限制发热元件所达到的温度，以防止因过热而受损。特别是当与液体的热交换不好的时候，由于其导热性或粘度，这种限制会增加加热的持续时间。

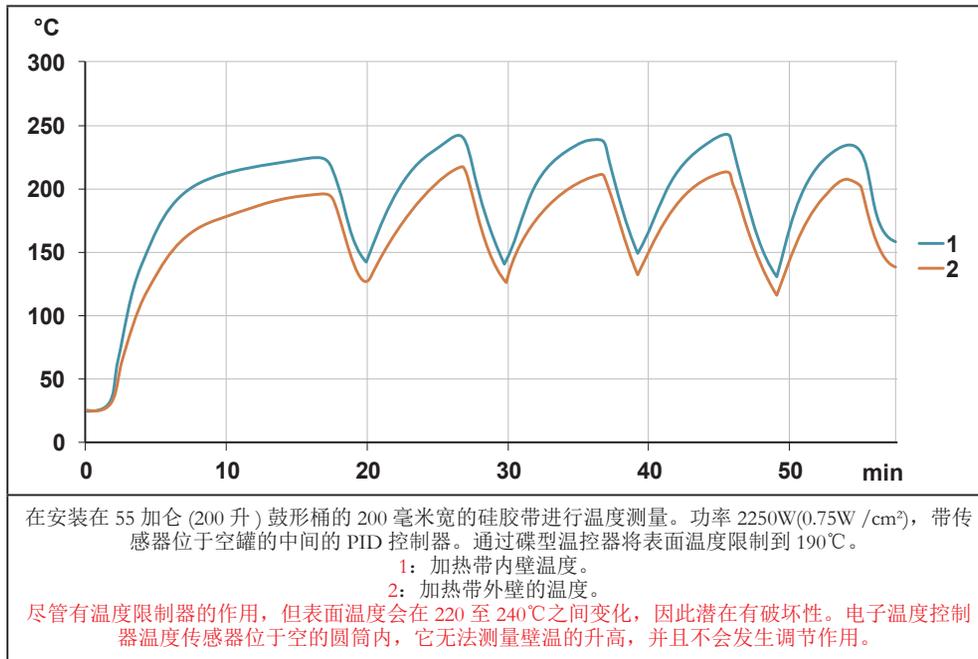
10- 加热表面。

硅胶带加热器仅覆盖罐表面的一小部分。加热是通过该小表面与被加热产品之间的热传导来完成的，并且温度的均匀性尚待很长的时间才能完成。因此，每次应尽可能将硅胶加热器的表面增加到最大。

安装在空的鼓形桶的柔性硅胶加热带的过度加热

我们强烈建议您不要使用此方法，因为达到的壁温几乎总是高于硅胶带的破坏温度。如果尽管如此，在应用中仍然会发生这种情况，我们建议使用一种表面温度控制系统（例如 190°C 的限制器），除了电子或机械温控器控制之外，表面的功率密度限制在 0.75W /cm²。

硅胶加热器的技术介绍



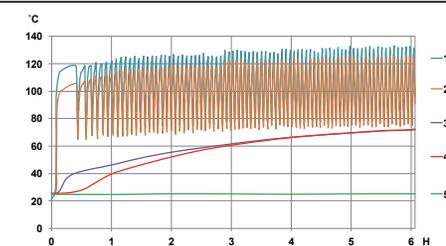
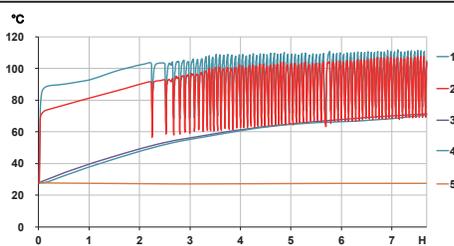
用柔性硅胶加热带重新加热鼓形桶的实例对比

用安装在表面的机械式球管和毛细管温控器进行温度控制。已选定 90°C 的设定点是为了避免水达到沸腾点。(不带表面温度限制器)



220 升金属鼓形桶的温度随时间的变化, 装满水, 用一块 200mm 宽的硅胶加热带加热, 不带保温层, 功率 2250W(表面负荷 0.75W /cm²)。

220 升金属鼓形桶的温度随时间的变化, 装满 HF 24-6 液压油, 用一块 200mm 宽的硅胶加热带加热, 不带保温层, 功率 2250W(表面负荷 0.75W /cm²)。



1: 在硅胶带和鼓形桶之间的表面温度
2: 硅胶带外面的表面温度
3: 水温, 在直径的中间, 离顶部 50mm 的位置
4: 水温, 在直径的中间, 在鼓形桶一半的高度
5: 水温, 在直径的中间, 离底部 50mm 的位置

1: 在硅胶带和鼓形桶之间的表面温度
2: 硅胶带外面的表面温度
3: 油温, 在直径的中间, 离顶部 50mm 的位置
4: 油温, 在直径的中间, 在鼓形桶一半的高度
5: 油温, 在直径的中间, 离底部 50mm 的位置

硅胶加热器的技术介绍

结果分析: 在这些测试中注意到, 在罐的中间和顶部之间的温差几乎为零。罐的底部不变热。在加热带水平面的液体温度达到 70°C 之前, 加热时间为 7 小时 30 分钟。温控器设定为 90°C 的操作会导致加热带壁处的温度波动较大。
与能达到 85% 至 90% 的隔热涂层相比, 其能效是非常低的 (35%)。

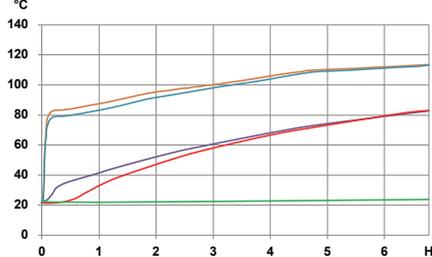
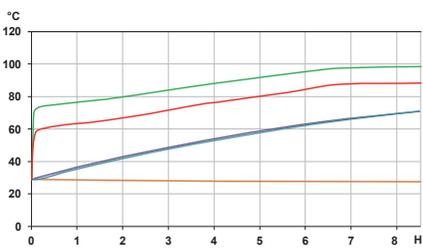
结果分析: 在这些测试中注意到, 在罐的中间和顶部之间的温差迅速变为零。罐的底部不变热。在加热带水平面的液体温度达到 70°C 之前, 加热时间为 5 小时。温控器设定为 90°C 的操作会导致加热带壁处的温度波动范围大, 上升至 130°C。
与能达到 85% 至 90% 的隔热涂层相比, 其能效是非常低的 (32%)。

带远程遥控的加热, 通过 PID 控制器进行, 设定点设定至 90°C, Pt100 传感器安装在加热带的表面 (不带表面温度限制器)



一个 220 升的金属鼓形桶的温度随时间的变化, 填充水, 通过一条 200mm 宽的硅胶加热带进行加热, 不带保暖层, 功率 1500W (表面负载 0.5W/cm²)。

一个 220 升的金属鼓形桶的温度随时间的变化, 填充 HF 24-6 液压油, 通过一条 200mm 宽的硅胶加热带进行加热, 不带保暖层, 功率 1500W (表面负载 0.5W/cm²)。



1: 在硅胶带和鼓形桶之间的表面温度
2: 硅胶带外面的表面温度
3: 水温, 在直径的中间, 离顶部 50mm 的位置
4: 水温, 在直径的中间, 在鼓形桶一半的高度
5: 水温, 在直径的中间, 离底部 50mm 的位置

1: 在硅胶带和鼓形桶之间的表面温度
2: 硅胶带外面的表面温度
3: 油温, 在直径的中间, 离顶部 50mm 的位置
4: 油温, 在直径的中间, 在鼓形桶一半的高度
5: 油温, 在直径的中间, 离底部 50mm 的位置

结果分析: 在这些测试中注意到, 在罐的中间和顶部之间的温差几乎为零。罐的底部不变热。在加热带水平面的液体温度达到 70°C 之前, 加热时间为 8 小时 30 分钟。
与能达到 85% 至 90% 的隔热涂层相比, 其能效非常低 (30%)。

结果分析: 在这些测试中注意到, 在罐的中间、底部和顶部之间的温差几乎为零。罐的底部不变热。在加热带水平面的液体温度达到 70°C 前, 加热时间为 4 小时 30 分钟。在相同的条件下, 与加热水相比, 仅用了 50% 的时间。与能达到 85% 至 90% 的绝缘布袋加热器相比, 其能效是非常低的 (30%)。

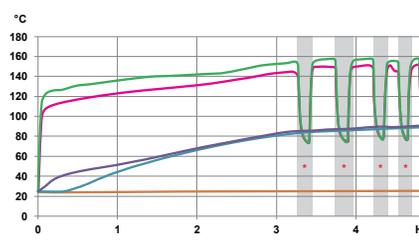
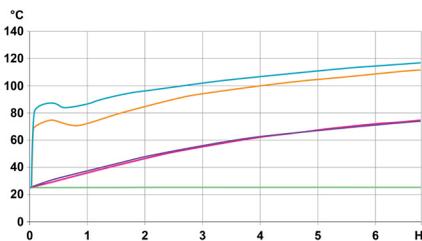
硅胶加热器的技术介绍

通过电子遥控、PID 动作调节器、浸入在罐中间的 Pt100 传感器进行加热，加热带的表面温度通过一个设定在 190°C 的双金属碟形温度限制器进行保护，以避免过热而损坏发热元件。



一个 220 升的金属鼓形桶的温度随时间的变化，填充水，通过一条 200mm 宽的硅胶加热带进行加热，不带保温层，功率 2250W (表面负载 0.75W/cm²)。

一个 220 升的金属鼓形桶的温度随时间的变化，填充 HF 24-6 液压油，通过一条 200mm 宽的硅胶加热带进行加热，不带保温层，功率 2250W (表面功率负载 0.75W/cm²)。



- 1: 在硅胶带和鼓形桶之间的表面温度
- 2: 硅胶带外面的表面温度
- 3: 水温，在直径的中间，离顶部 50mm 的位置
- 4: 水温，在直径的中间，在鼓形桶一半的高度
- 5: 水温，在直径的中间，离底部 50mm 的位置

- 1: 在硅胶带和鼓形桶之间的表面温度
- 2: 硅胶带外面的表面温度
- 3: 油温，在直径的中间，离顶部 50mm 的位置
- 4: 油温，在直径的中间，在鼓形桶一半的高度
- 5: 油温，在直径的中间，离底部 50mm 的位置

结果分析: 在这些测试中注意到，当罐的底部绝对没有加热时，在罐的中间和顶部之间的温差很快就完全一样。加热带水平面的液体温度达到 70°C，加热时间为 6 小时 30 分钟。

与能达到 85% 至 90% 的隔热涂层相比，其能效是非常低的 (35%)。

结果分析: 在这些测试中注意到，当罐的底部绝对没有加热时，在罐的中间和顶部之间的温差很快就完全一样。加热带水平面的液体温度达到 70°C，耗时为 2 小时 30 分钟。

在相同的条件下，与加热水相比，节省时间是重要的 (0.4 的比率)。

但是由于油的低导热性及其较低的热容量，发热元件的表面温度达到 190°C 的极限。表面温度限制器是必不可少的 (区域 * 是限制器切断发热元件供应的时段)。

与能达到 85% 至 90% 的绝缘布袋加热器相比，其能效是非常低的 (25%)。

硅胶加热器的技术介绍

当前通过硅胶带加热器加热不同液体所需的加热时间的对比

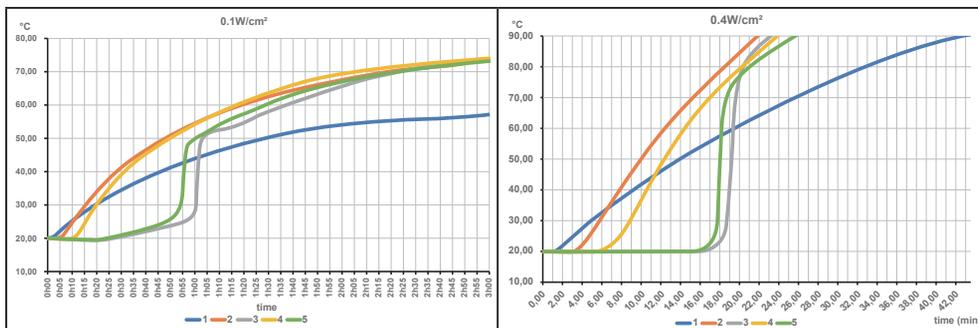
为了给用户提供一个加热特定产品的概念，我们在相同的测试条件下进行了对比测试，记录了加热一升的产品所必需的时间和温度变化，从 20°C 到 90°C（在罐的几何中心测量）。这些测试使用两种不同的表面功率负载值进行：0.1W/cm² 和 0.4W/cm²。试验条件：在圆柱形桶里进行加热，直径 76 mm，高 280 mm，平底，红铜 2mm 厚，整个圆柱形部分填充产品 (250mm) 是通过柔性硅胶加热器进行加热的，用 20mm 的 PVC-NBR 泡沫进行绝缘。加热是在没有温度控制或安全温度限制器的情况下进行的。环境温度保持在 20°C，位于气候箱里。当产品中间的温度达到 90°C 时停止测试。



测试设备

测试中的产品特性

产品	导热系数 W/m.K	比热容量 (kJ/kg.K)	在 20°C 的运动粘度 mm ² /s	比重 Kg/m ³
水	0.597@20°C	4.182	1.006@20°C	0.998@20°C
橄榄油	0.189@15°C	1.25	91.5@20°C	0.922 @20°C
猪油	0.407@25°C	2.1	冷冻 (熔化温度在 35 和 42°C 之间)	0.924-0.930
矿物油 ISO VG680	0.134@40°C	1.99	4000@20°C	0.850
黄油	0.197 @46°C	2.3	冷冻 (熔化温度在 27 和 32°C 之间)	0.87-0.93



1: 水; 2: 橄榄油; 3: 猪油; 4: ISO VG 680 矿物油; 5: 黄油

结果分析: 水，其热容量是其他产品的 2 到 4 倍，因此需要更多的能量来变热，也因此加热的速度不快。因为缺乏对流，在室温下产品冻结 (黄油、动物脂肪)，当它们溶解的时候，在快速达到其他油的温度之前，长时间保持在一个中间的冷却位置。

硅胶加热器的技术介绍

3- 管道加热

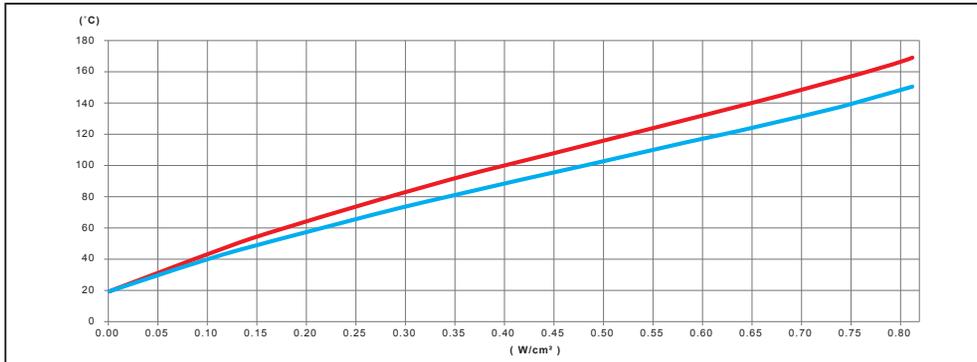
3-1 管道表面温度

柔性硅胶加热器的第二个应用是对管道进行加热或防冻保护。管道表面达到的温度是最重要的参数。因此，我们进行了许多的测试，以让用户在选择这些应用的柔性硅胶加热器之前有一个基准。

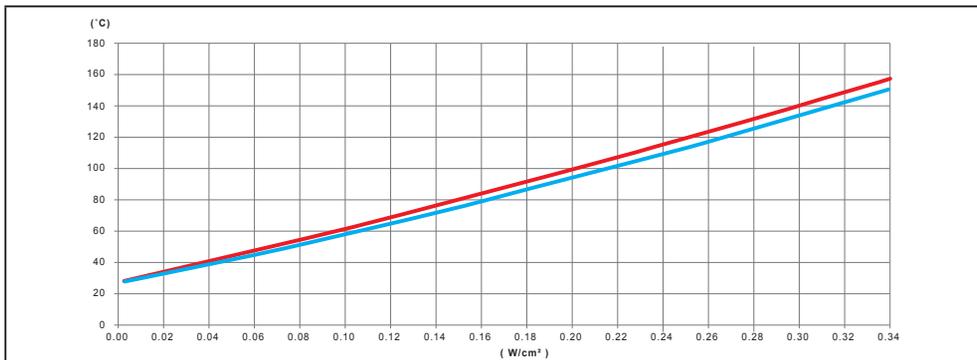


硅胶加热器的技术介绍

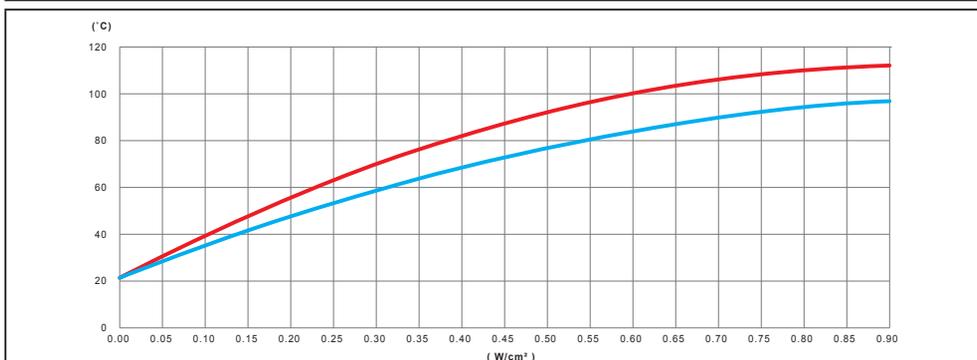
不锈钢管的测试结果



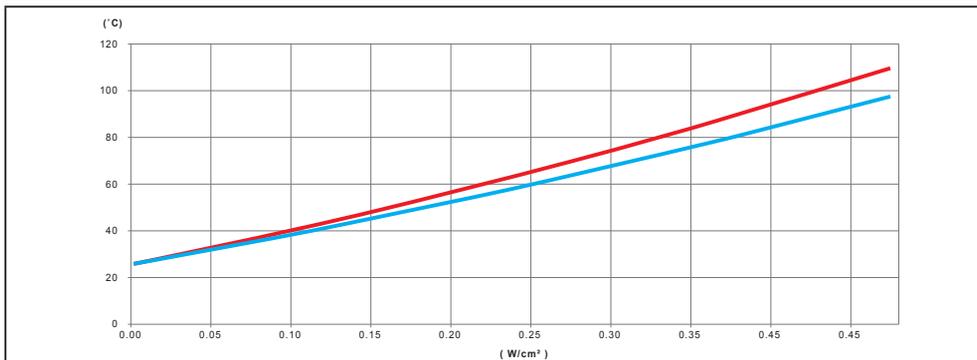
一条空的、不隔热的不锈钢管的壁温随硅胶加热功率 (W/cm²) 的变化而变化



一条空的, 用 20mm 的 PVC-NBR 泡棉进行隔热的不锈钢管, 其壁温随硅胶加热功率 (W/cm²) 的变化而变化



一条用非循环水填充的, 不隔热的不锈钢管, 其壁温随硅胶加热功率 (W/cm²) 的变化而变化。



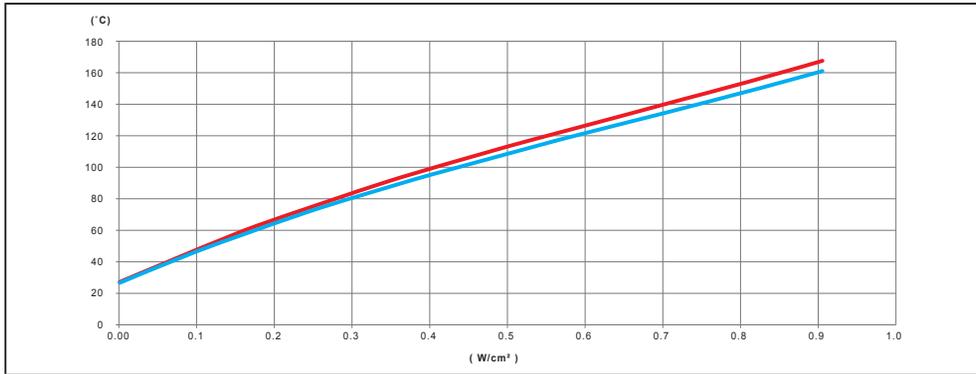
一条用非循环水填充的, 用 20mm PVC-NBR 保温棉进行隔热的不锈钢管, 其壁温随硅胶加热功率 (W/cm²) 的变化而变化。

结果分析:

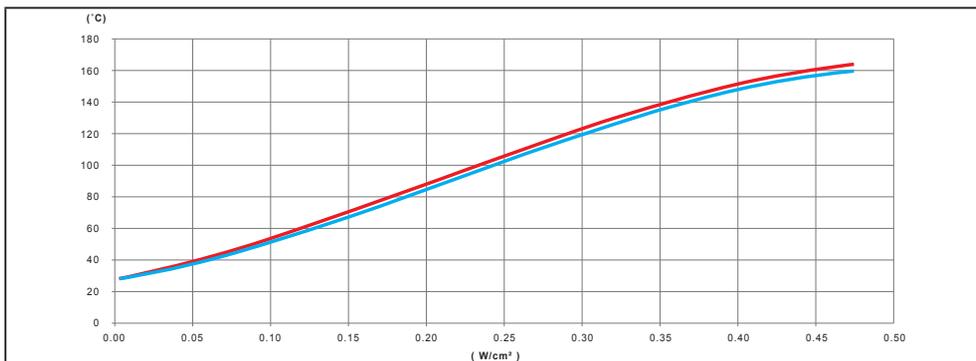
- **温度的均匀性:** 不锈钢管的导热性能相当差, 大家注意到加热区和非加热区之间的温差很大, 特别是空管。在使用绝缘管的过程中, 这种温差会减小。
- **建议的功率:** 对于带非循环水的非绝缘不锈钢管, 例如生活给水管, 0.42W/cm² 的数值足以防止在 -20°C 冻结。对于绝缘管, 该值为 0.3w/cm²。

硅胶加热器的技术介绍

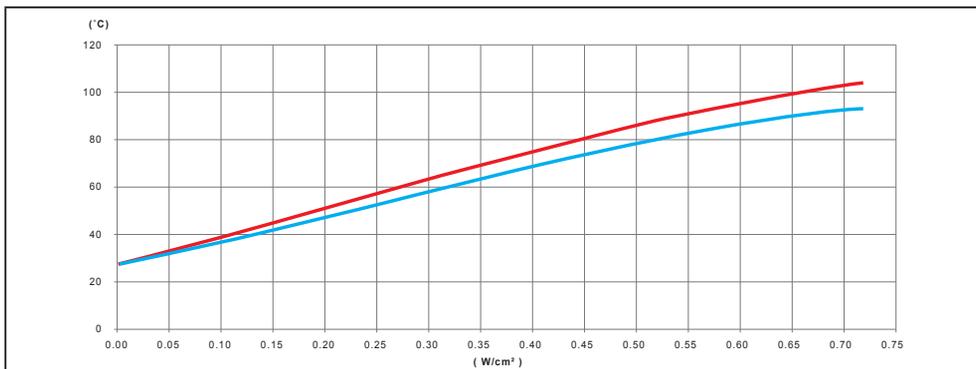
镀锌钢管的测试结果



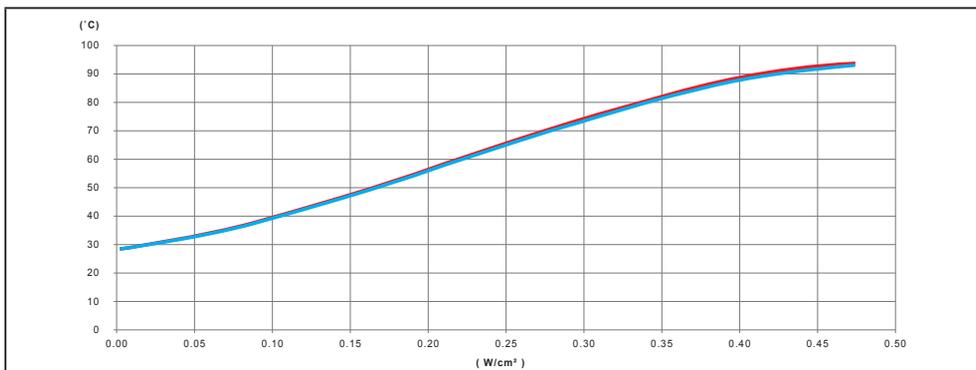
一条空的、非隔热的镀锌钢管，其壁温随硅胶加热功率 (W/cm²) 的变化而变化。



一条空的、用 20mm PVC-NBR 泡棉进行隔热的镀锌钢管，其壁温随硅胶加热功率 (W/cm²) 的变化而变化。



一条用非循环水填充的、不隔热的镀锌钢管，其壁温随硅胶加热功率 (W/cm²) 的变化而变化。



一条用非循环水填充的、用 20mm PVC-NBR 泡棉进行隔热的镀锌钢管，其壁温随硅胶加热功率 (W/cm²) 的变化而变化。

结果分析:

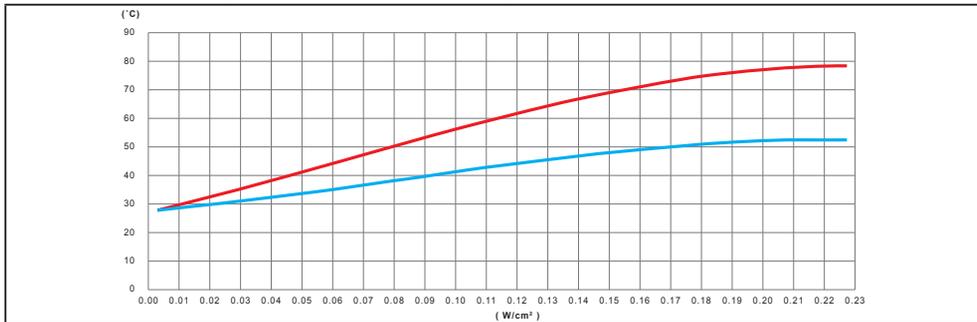
- **温度的均匀性:** 钢管是很好的导热体，我们注意到在加热区和未加热区之间的温度有一个良好的均匀性，在单独的管中两者几乎完全相同。
- **建议的功率:** 对于带几乎不循环水的非绝缘钢管，例如生活给水管，0.4W/cm² 的数值足以防止在 -20°C 冻结。对于绝缘管，该值为 0.27w/cm²。

硅胶加热器的技术介绍

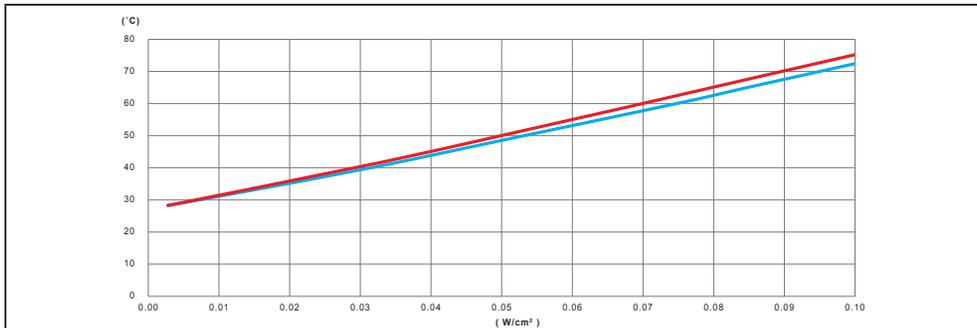
U-PVC 管的测试结果

塑料管的加热受到其软化温度的限制。

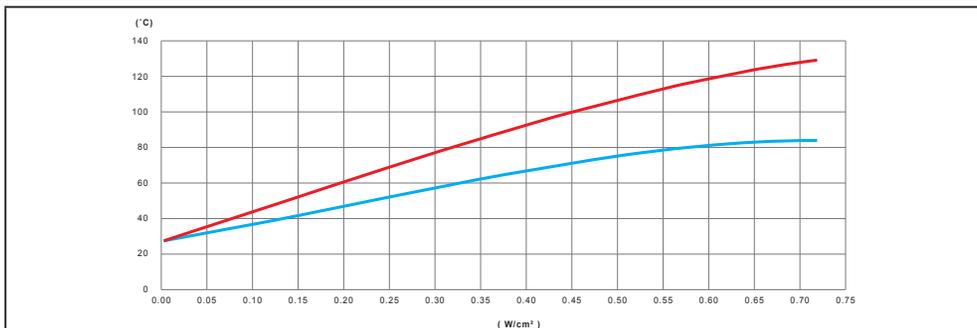
重要的是要注意，如果 PVC 管在预热期间可能会变空，在硅胶加热带下的温度必须保持在此软化温度以下，该温度是在 80 至 100℃ 之间，具体取决于 PVC 的型号。(PVC, U-PVC, C-PVC)。



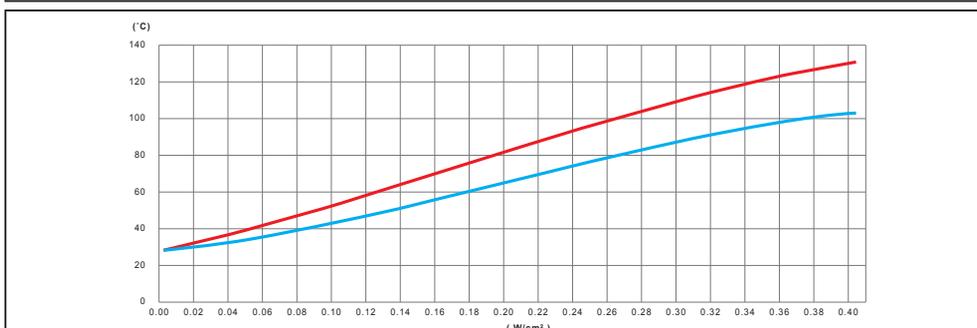
一条空的、非隔热的 PVC 管，其壁温随硅胶加热带功率 (W/cm²) 的变化而变化。



一条空的、用 20mm PVC-NBR 泡棉进行隔热的 PVC 管，其壁温随硅胶加热带功率 (W/cm²) 的变化而变化。



一条用非循环水填充的、不隔热的 PVC 管，其壁温随硅胶加热带功率 (W/cm²) 的变化而变化。



一条用非循环水填充的、用 20mm PVC-NBR 泡棉进行隔热的 PVC 管，其壁温随硅胶加热带功率 (W/cm²) 的变化而变化。

结果分析:

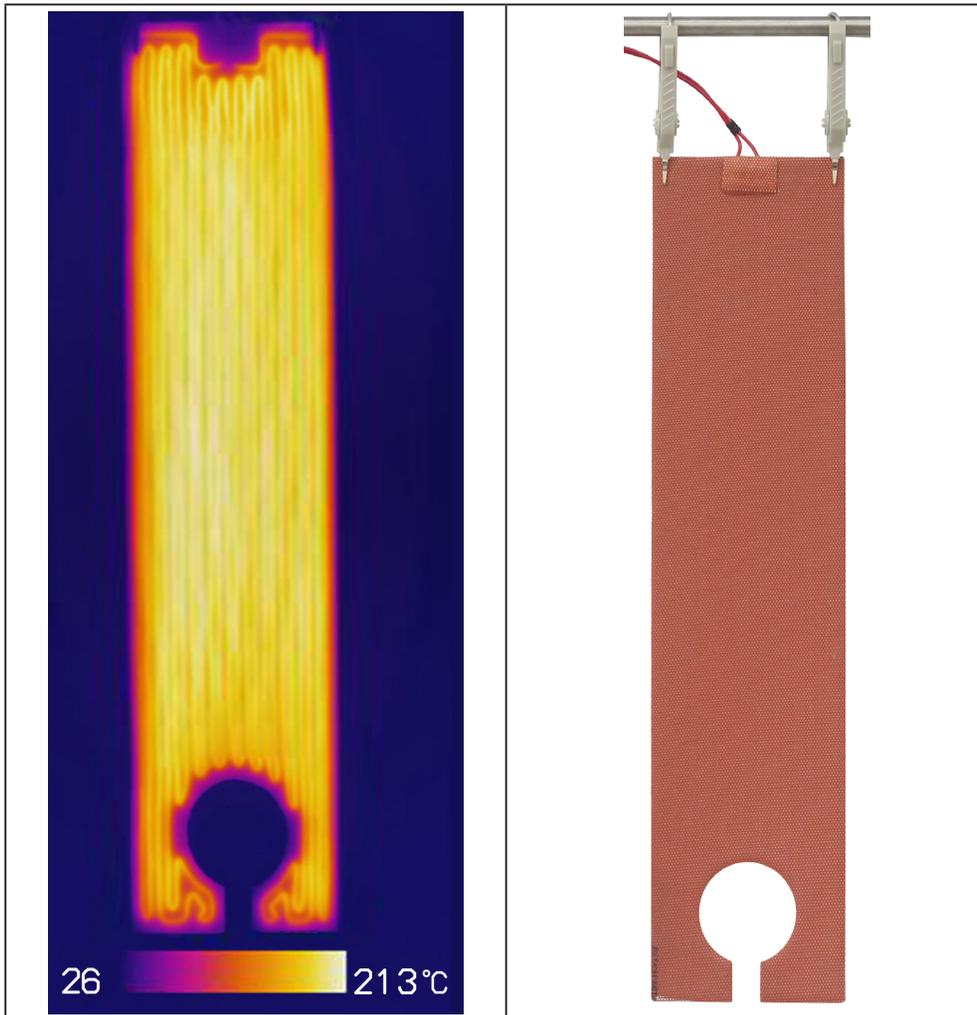
- **温度的均匀性:** PVC 管是较差的导热体，在加热区和未加热区之间的温差非常大，其在绝缘管中会减弱，但仍会超过 20℃。
- **建议的功率:** 对于带非循环水的绝缘的 PVC 或 U-PVC 管，例如生活给水管，0.45W/cm² 的数值足以防止在 -20℃ 冻结。对于绝缘管，该值为 0.22w/cm²。

硅胶加热器的技术介绍

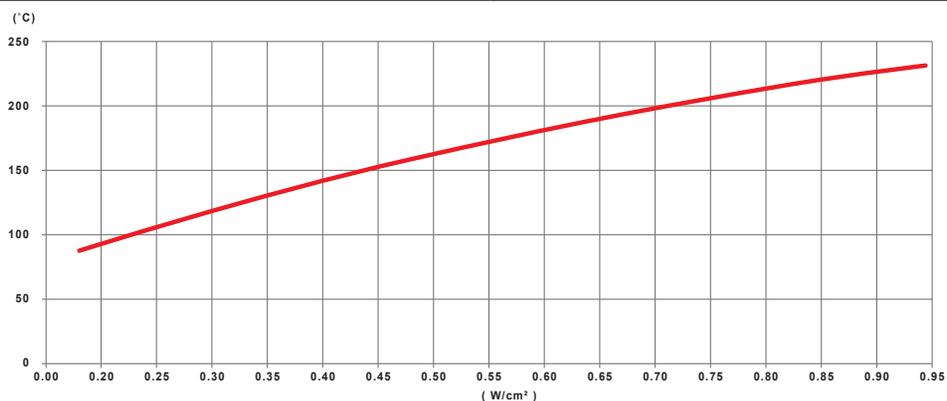
4- 用柔性硅胶加热器加热的板

4-1. 板的表面温度对表面功率的影响

根据单位为 W/cm^2 的**表面功率**，一块加热的板的温度将在不同的数值稳定。该温度将根据其与环境的热交换水平而变化。(在静止的空气中、在通风的空气中、与用不同的金属或塑料制成的板接触)。下面的测试旨在提供该温度变化的整体构想。(通过热像仪进行非接触式的测量)**悬挂在空气中的柔性硅胶加热器的测量**



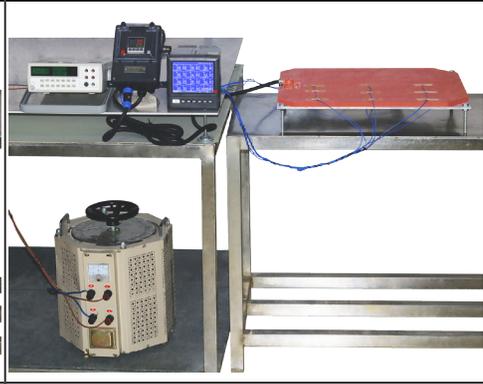
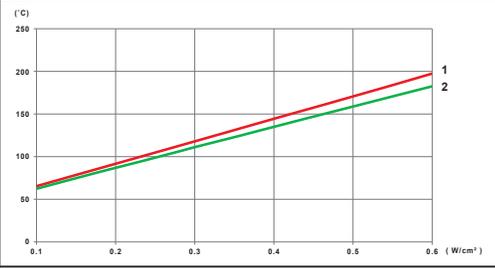
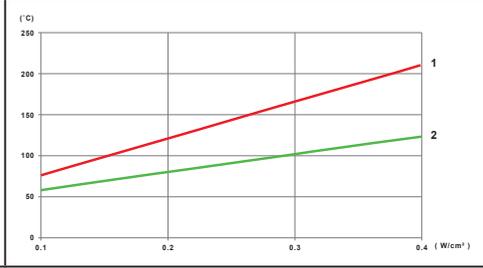
在 25°C 的环境温度下，表面功率为 $1W/cm^2$ 的 2.4mm 平的硅胶加热器的热像图，该加热器悬挂在静止的空气中，不是固定在板上。表面温度达到 213°C，接近其破坏温度。



2.5mm 厚的硅胶加热器的表面温度随表面功率负载的变化。这加热器悬挂在环境温度为 25°C 的静止的空气中，不是固定在金属表面上。加热器不受温度限制系统所保护。在这种情况下，加热器在 235°C 不可逆转地损坏。

硅胶加热器的技术介绍

安装在非浸入式金属壁上的柔性硅胶加热器的测量

不带保温棉	带 10mm 保温的硅胶泡棉
	
	
<p>1: 铝板的平均表面温度 2: 硅胶加热器外表面的平均温度。</p>	<p>1: 铝板的平均表面温度 2: 保温泡棉的外表面的平均温度。</p>
<p>在平的 6mm 厚的铝板上硫化的 2.5mm 厚的硅胶加热器的表面温度与表面功率负载的变化。环境温度为 25°C。对于 0.6W/cm² 的表面负载密度，铝板达到一个 195°C 的表面温度。在铝板和硅胶加热器外表面之间的温差保持是有限的。</p>	<p>在平的 6mm 厚的铝板上硫化的 2.5mm 厚的硅胶加热器的表面温度与表面功率负载的变化。在硅胶加热器上硫化的一块 10mm 厚的硅胶保温棉。环境温度为 25°C。对于 0.4W/cm² 的表面负载密度，铝板达到一个 210°C 的表面温度。在两面之间的温差在 0.4W/cm² 达到 90°C。</p>

硅胶加热器的技术介绍

5- 柔性硅胶加热器的构造参数

5-1. 整体参数

硅胶加热电阻器的主要特征是：**柔韧性和产生高表面功率密度的可能性**。这些特性的结果对建造的方法有重大的影响。

1- 为了获得高的加热功率，由于功率等于 U^2/R ，因此需要低电阻的加热器，所以对于给定的电压，电阻与功率成反比。

2- 为了保持柔韧性，加热导体的直径必须尽可能的小，并以易于弯曲的方式进行布置。

3- 为了获得一个良好的温度均匀性，有必要使表面的每个单位有最大长度的线。

4- 为了避免热点和在发热线周围的硫化硅胶板受损坏，有必要让表面功率保持尽可能的低，以使其表面温度通过硅胶的支撑保持在下面。

我们看到这些参数 2、3 和 4 与 1 号参数先验的不兼容，并且高功率的柔性加热器电阻器的制造似乎是不可能的。但是发热丝的制造商主要开发了高电阻率的合金以减少所需的长度，因为这是最经济的解决方案。

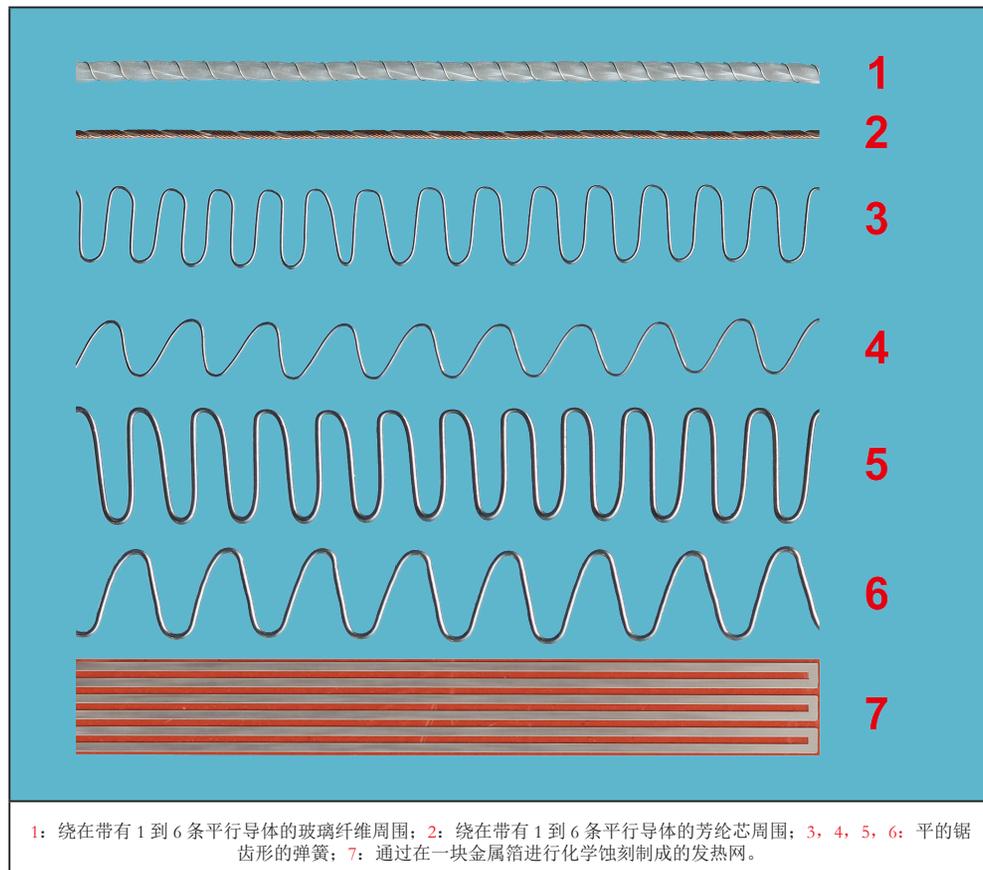
因此，唯一可以修改的剩余参数是：

- 线成型的技术（在玻璃纤维芯周围的小直径线圈、锯齿形平的弹簧、正弦形平的弹簧）。

- 并联的多个电路的组装，以分配每个电路的功率。

- 在特殊的低电阻合金中选择发热丝。

它是这些技术解决方案的结合，是在逐个案便的基础上进行研究的，其保证了良好的柔韧性以及每个单位面积的发热丝有一个良好的密度，因此在没有热点的情况下温度均匀性良好。形成用于柔性硅胶加热器的发热丝的一些现代方法



硅胶加热器的技术介绍

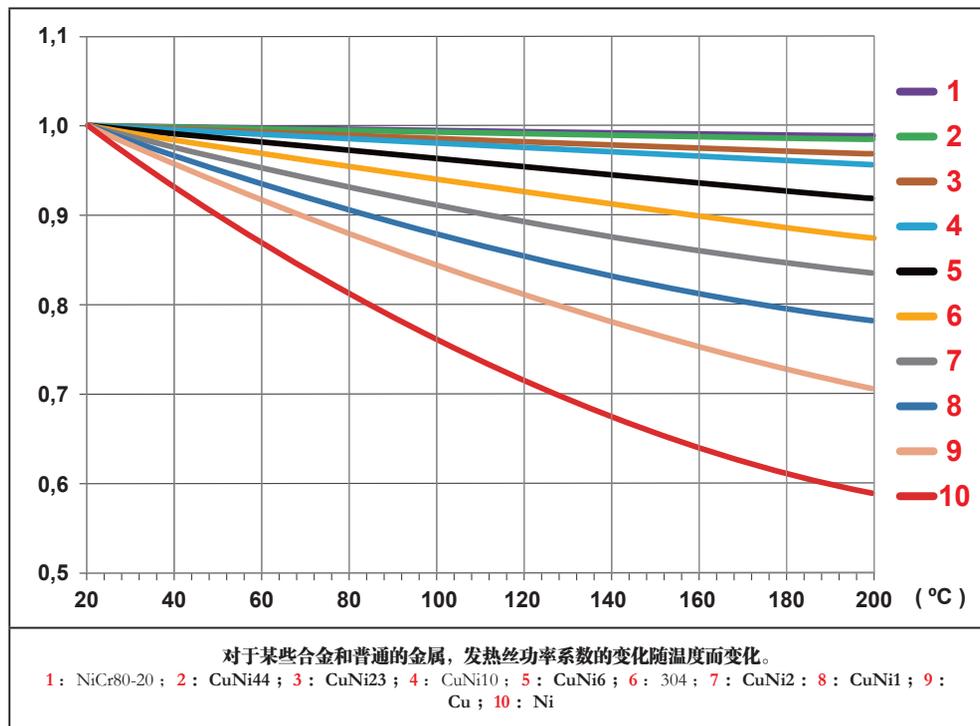
5-2. 使用正温度系数为零或负的电阻线，因此功率随温度变化而变化。

柔性硅胶加热器鲜为人知的参数是当温度上升时其功率的变化。

在高温的加热器中，制造商正在寻找在温度接近零时，带电阻率变化的一个系数，在高温下性能良好并且不氧化，例如在柔性硅胶加热器里使用镍 - 铬合金，要求的耐温性更低，因为使用的最高温度约为 250℃。

这较低的最高温度使得可以使用范围更广的金属和合金，其电阻率值范围从 0.017 到大于 Ohms.mm²/m。这非常宽的电阻率范围几乎可用于建造任何表面的发热元件，同时保持柔性发热丝的直径。然而，所有这些合金和金属具有完全不同的温度电阻率变化的特性。因此，可以使用该参数来产生发热元件，当温度上升时，发热元件将自行调节(或不自行调节)。

例如，使用下表中的 9 号合金，将可以看到发热元件的功率在 20 至 200℃之间几乎被除以 2，而如果使用 1 号合金，它将保持恒定。



5-3. 加固的硅胶板的设计

影响柔性硅胶加热器价格的最重要因素是每平方米硅胶的重量。硅胶是一种昂贵的原材料，因此柔性加热器的开发是基于该材料的最少使用。

基底是玻璃纤维网，那将会涂在带有硅胶树脂层的每一面，然后通过一台加热搅拌机进行聚合。计算硅胶的总厚度以提供电绝缘(操作电压的函数)，而玻璃纤维网可提供机械强度，特别是延伸率。数层可以硫化在一起以满足特殊的应用。

柔性硅胶加热器可采用 6 种主要结构配置制成：

A- 总厚度为 1.5 到 1.6mm，其对应于加热导体两面的绝缘厚度为 0.75 到 0.8mm。用盘绕的发热丝制成，它提供了最佳的耐弯曲性。该解决方案是最经济的，特别是小批量的，但是其机械强度会因为厚度薄而减少。

硅胶加热器的技术介绍

它主要用于加热小表面的元件，或用于粘合。重量轻，可以通过安装在其表面上的温控器和温度传感器以**更快地进行温度测量**。

B- 总厚度为 1.5 到 1.6mm，其对应于通过**化学蚀刻**产生的发热网两面的绝缘厚度为 0.75 至 0.8mm。对于**大规模的生产**，这是最经济的解决方案，但是**最不耐弯曲的**。重量最轻，热量分布最佳，它能**更快地测量**安装在其表面上的温控器和温度传感器的温度。

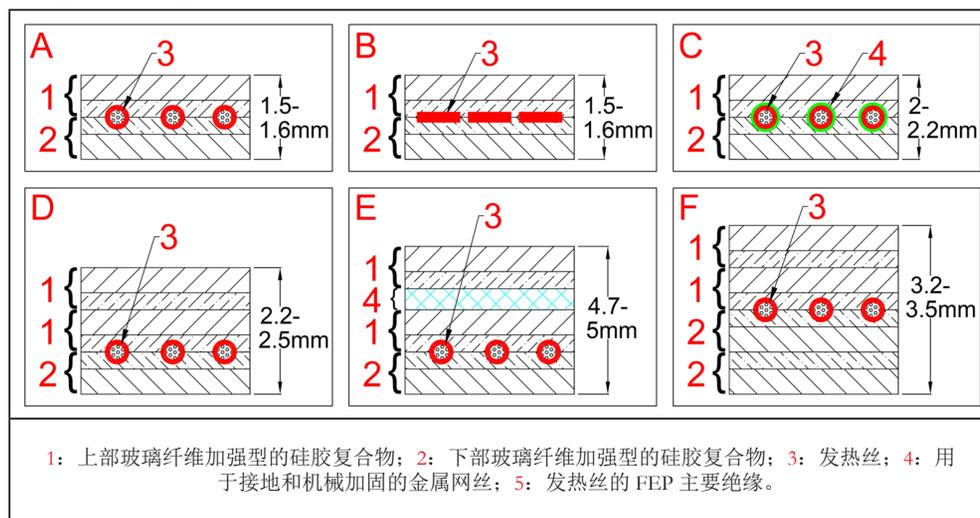
C- 总厚度为 2 到 2.2mm，其对应于加热导体两面的绝缘厚度为 1 到 1.1mm。该解决方案**改善了**接近发热配件外部的电绝缘性，因为在**FEP 中使用带有主绝缘层的加热导体**给该组装件带来了绝缘等级 2，并且不会令其厚度增加太多。此解决方案用于受绝缘等级 2 管制的加热设备中。

D- 总厚度为 2.4 到 2.5mm，其对应于在一面的绝缘厚度为 0.75 至 0.8mm，而在发热导体另一面的是 1.6mm。**此解决方案改善了**关于发热部件外部的机械电阻和电绝缘性。用于频繁安装和拆卸的加热带，以及承受机械应力的大表面的元件。

E- 总厚度为 2.5 至 2.6mm，其对应于在一面的绝缘厚度为 0.75 至 0.8mm，而在发热导体另一面的是 1.6mm。在这 1.6mm 的厚度中夹有一层防冲压的**纤细丝网**，其还可以**有一个有效的接地**。该解决方案改善了电气保护和抗伸长性，但**降低了**柔韧性。

该解决方案的变体包括使用加热导体，该加热导体包括覆盖有金属编织物的主要电绝缘体。

F- 总厚度为 3.2 至 3.4mm，其对应于在发热导体两面的绝缘厚度为 1.6mm。该解决方案提供了最高的机械强度和**双绝缘的**加热器 (级别 2)，但是加热导体和表面之间的这种额外厚度增加了传热时间，从而增加了**过热的风险**。



5-4. 柔性硅胶加热器表面涂层

柔性元件可以收纳在其表面上组装的设备，以满足不同的应用。主要的组合为：

A: 没有设备。

B: 一面带有粘合的或硫化的硅胶绝缘泡棉，为外部提供隔热。

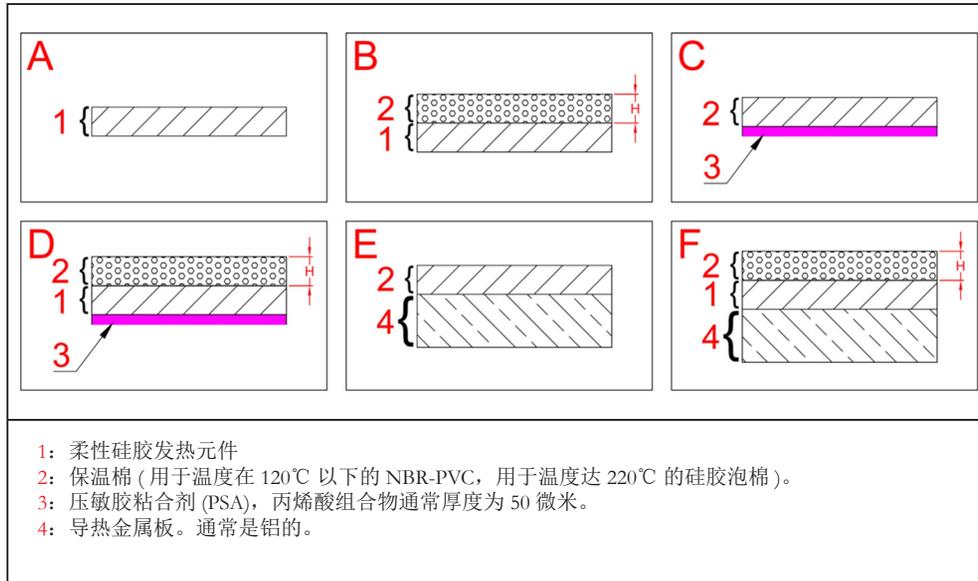
C: 一面用 PSA 型粘合剂，通常是丙烯酸塑料类型，非常薄，将发热元件粘在被加热的壁上。粘合剂可使用在高达 200℃ 的温度。

D: 一面用 PSA 型粘合剂，通常是丙烯酸塑料类型，非常薄，将发热元件粘在被加热的壁上，相对的面已配备一块粘合的或硫化的硅胶绝缘泡棉，从而为外部提供隔热。

硅胶加热器的技术介绍

E: 发热元件粘合在一块导热金属板上。该解决方案提供了良好的表面温度均匀性，并允许达到更高的表面负载。

F: 发热元件粘合到一块导热金属板上。该解决方案提供了良好的表面温度均匀性，并允许达到更高的表面负荷。电阻器的外表面装有隔热的硅胶泡棉，从而提高了加热效率。



5-5. 柔性硅胶加热器的机械强度

硅胶加热器通常在安装或使用过程中会受到机械应力。为了承受这些限制，需要技术解决方案和测试进行验证。

其工业应用的主要限制因素尤其是：

- 1- 耐撕裂性，当发热元件通过其厚度上的孔进行固定时至关重要，例如放置螺丝、线、铆钉或当表面存在凹凸时。
- 2- 蠕变阻力，当发热元件在圆柱状的罐体上通过弹簧永久拉伸时是至关重要的，例如加热带。
- 3- 加热带上弹簧安装钩的耐撕裂。
- 4- 电力电缆和电线的耐拉拔性，其最小值由电气标准给出。
- 5- 各种硫化层的耐分离性，这是这些发热元件正常运作的关键参数。
- 6- 耐弯曲，这使得可以验证发热元件可以放置在圆柱壁上，这是用于加热带和电伴热带的关键参数。
- 7- 温控器、限制器、温度传感器的硅胶保护盒的抗撕裂性，其必须确保安全或温度控制系统维持其功能，因此不得发生将其与加热表面分开的情况。

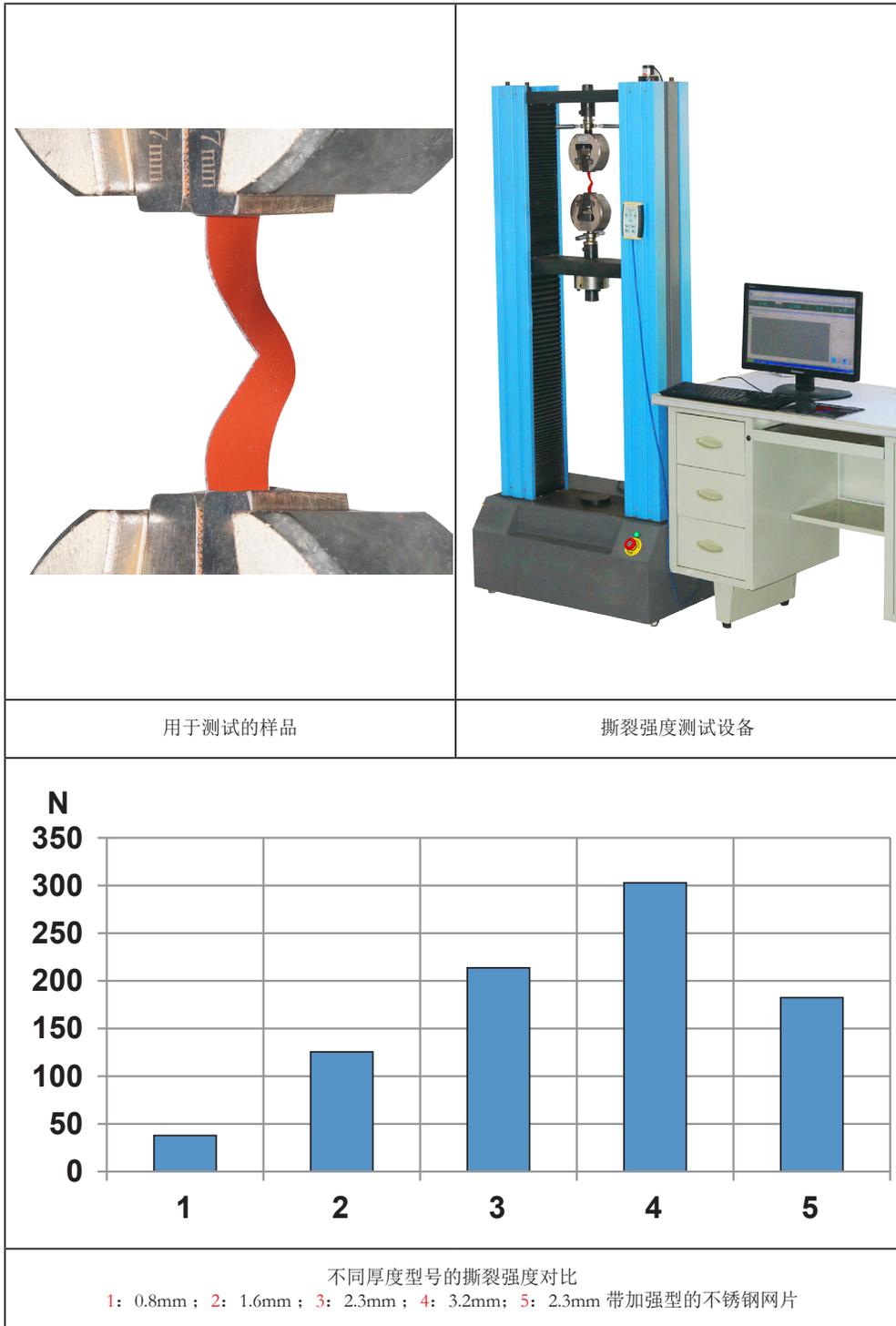
在将这些设备投放市场之前，所有这些限制一直都是验证测试的主题。

撕裂强度

这撕裂强度测试是在这些版本的不同厚度的样品上进行的，A (1.5/1.6mm)，B (2.2/2.5mm)，C (2.3/2.6mm) 和 D (3.2/3.5mm)，根据标准 EN 60335-2-17 § 21.110.1 用激光切割样条。

该测试可以检查用于玻璃纤维增强型的材料中的编织质量。

硅胶加热器的技术介绍

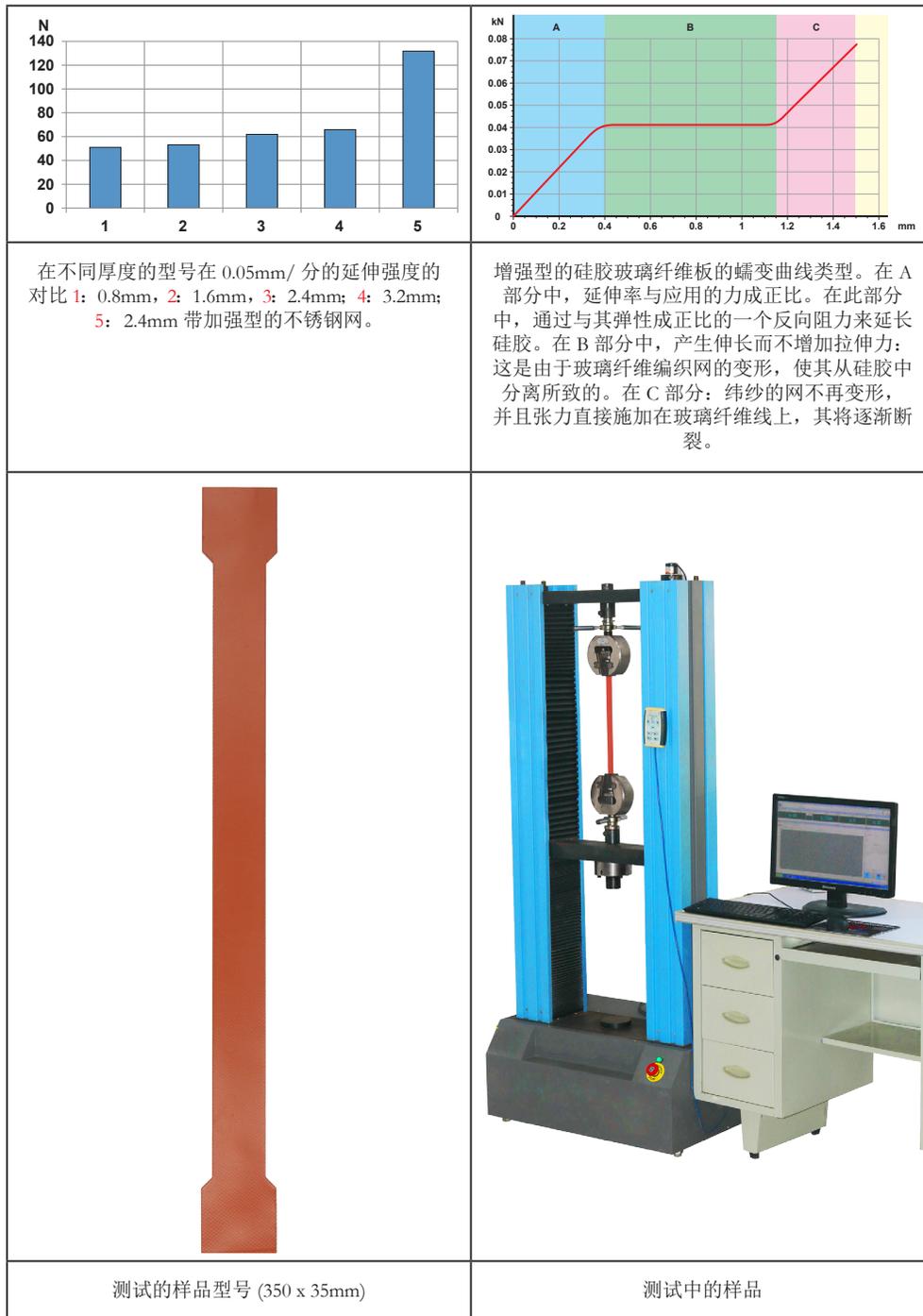


蠕变

在施加永久应力的应用中，柔性硅胶抗阻性的延长可能会导致松动并导致与加热的表面有一条间隙。导致的热交换变化会产生过热。因此，我们在不同厚度配置的一个典型的 300mm 长的加热器上，测量了在 30 分钟内伸长 1.5mm 所需的力。（以 1.6mm 厚的版本为参考依据）。

该测试使我们能够选择蠕变较不敏感的玻璃纤维增强型的硅胶片。测试表明，蠕变几乎与玻璃纤维增强型的硅胶的层数无关，但是以上的全部取决于在硅胶树脂和玻璃纤维框架之间的粘合质量。

硅胶加热器的技术介绍



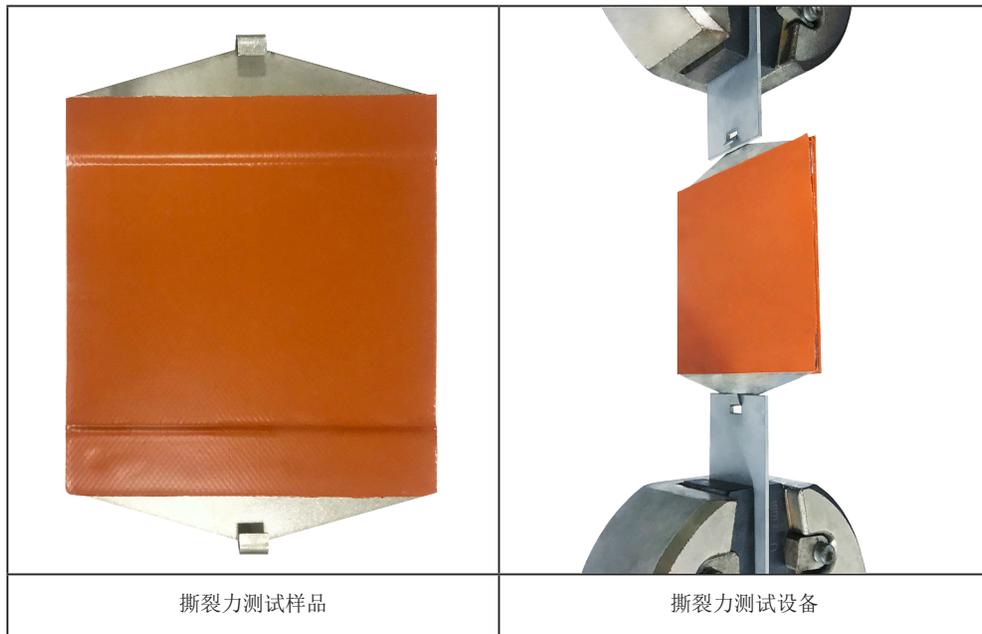
保持钩的耐撕裂性

用于拉紧加热带的挂钩的撕裂，将导致其从已安装在鼓形桶上掉落，从而导致加热带过热和立即损坏，这可能会引起火灾。

由于所使用的技术，

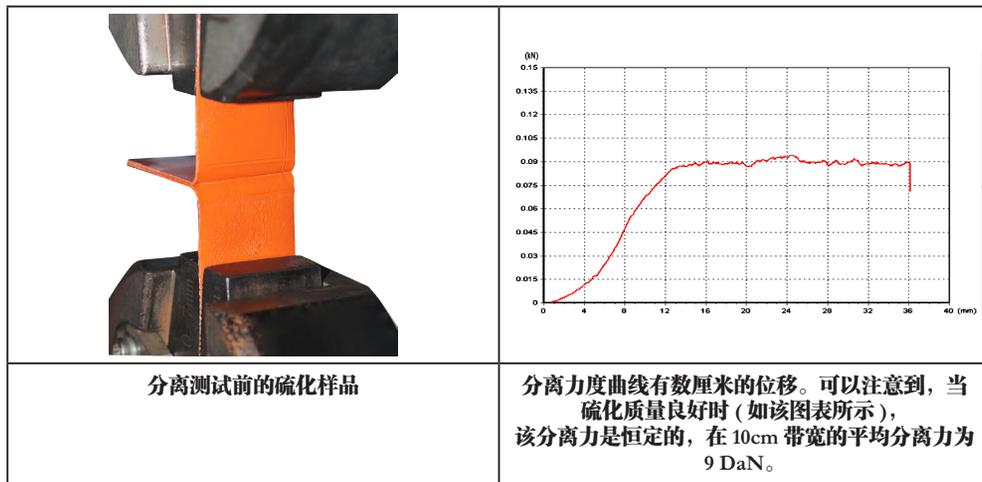
将挂钩支撑件从加热带上拉掉所需的力比使金属挂钩变形和拉直所需的力大至少 50%。

硅胶加热器的技术介绍



硫化层的耐分裂性

柔性硅胶加热器其中的一个关键和无形的缺陷是发热线插入层之间的硫化不完全。这种不完全的硫化可能是由于压力不足、温度不足、压缩时间太短、硅树脂剂量不足或超过了保质期所致。该缺陷将导致各层之间的脱开、气泡的形成以及发热线的过早损坏。因此，重要的是能够量化该粘附力以优化硫化参数。由于其储存时间是有限的，因此该测试尤其能测量半硫化的硅胶树脂的老化。它还可以在较长的长度检查硫化的稳定性。



抗挠曲强度

在柔性加热器中，挠曲强度是用于检查发热线是否正确形成并嵌入到玻璃纤维增强型的硅胶片里的一项参数。该测试是在专用设备上进行的，它能按照精确的半径验证发热元件的折叠将不会导致导体的机械应力，在某些折叠后，该应力会导致其立即或最终断裂。

它是基于 UL817 和 EN60335-1-25 规范进行操作的。

该测试包括以每分钟 60 次的交替弯曲，在 5mm 的半径以 90° 弯曲（垂直方向的每一侧为 45°）。负载为 100 克。每 100mm 的宽度增加到发热元件的自由端。验收标准：500 次，发热丝不断裂或其电阻变化不超过 1%。

硅胶加热器的技术介绍

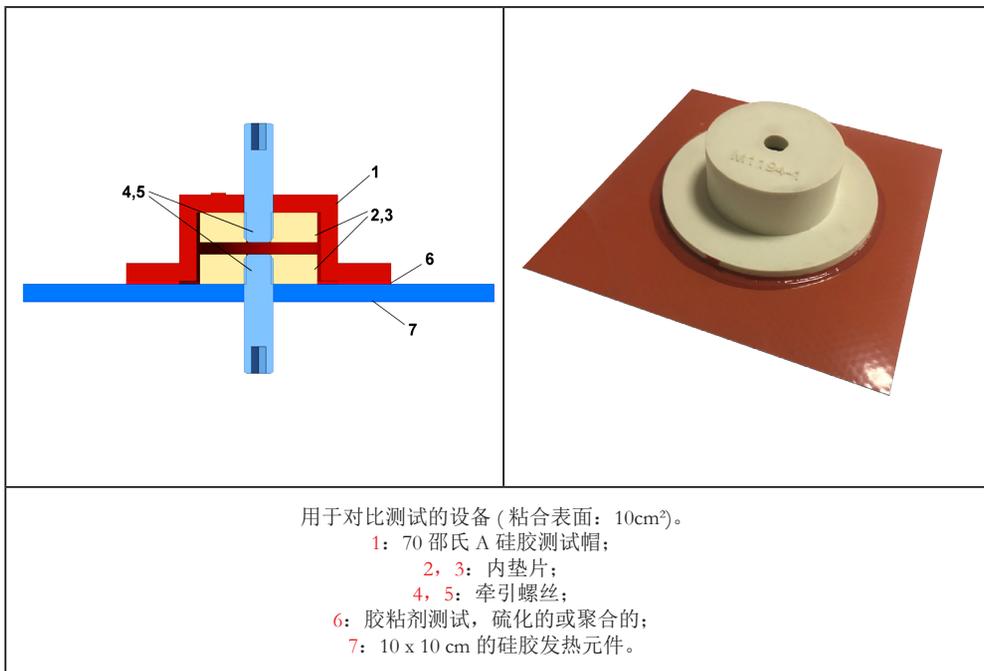


弯曲试验中的柔性硅胶加热器

温控器、限制器和温度传感器的硅胶保护外壳的撕裂强度

所有的护套和保护盒都在硅胶板上硫化的。这些组件是由硬度为70邵氏A的半柔韧性的硅胶制成的，其法兰有一个大的接触表面以进行硫化。因此，它们的抗撕裂性是传统胶粘型的10倍左右。在某些型号中，硫化后，会用导热的RTV树脂进行额外的填充，以防止水渗透和/或更好地与发热元件的表面进行热交换。**比较不同的硫化技术和用在柔性硅胶加热表面上粘合的硅胶帽粘合剂**

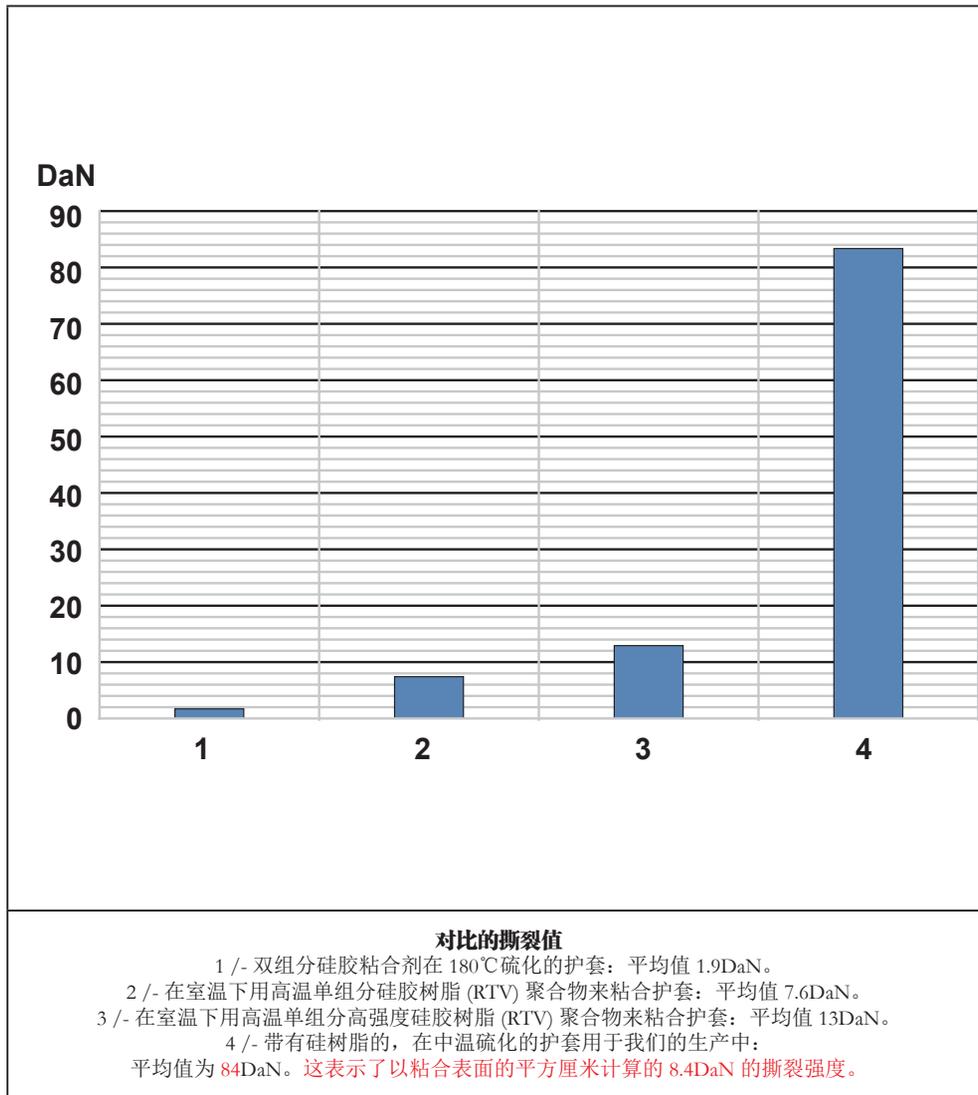
这些测试是通过一项特定的测试护套进行的，以具有复验性的结果。



用于对比测试的设备 (粘合表面: 10cm²)。

- 1: 70 邵氏 A 硅胶测试帽;
- 2, 3: 内垫片;
- 4, 5: 牵引螺丝;
- 6: 胶粘剂测试, 硫化的或聚合的;
- 7: 10 x 10 cm 的硅胶发热元件。

硅胶加热器的技术介绍



5-6. 电线、电缆、温度传感器和温控器的连接方法

柔性硅胶加热器使用的两种类型的电源线连接：

- 通过独立的电线（每相一根）进行连接，用于由该设备的制造商合并到设备里的加热器。导体的规格取决于发热元件的功率。在此版本中，通过硫化补丁来实现机械的抗撕裂性。

- 用于最终用户的设备，是通过一根电缆进行连接的，带有两个或三个导体，通常配备有一个插头。在这种情况下，可通过一个硫化的硅胶套来实现机械的抗撕裂性，并且可通过机械夹紧以实现电缆的锁定系统。在最关键的工作条件下，硫化护套可以铆接到发热元件上。

电缆和电线的撕裂值符合 EN60335-1-25.12 的规格：

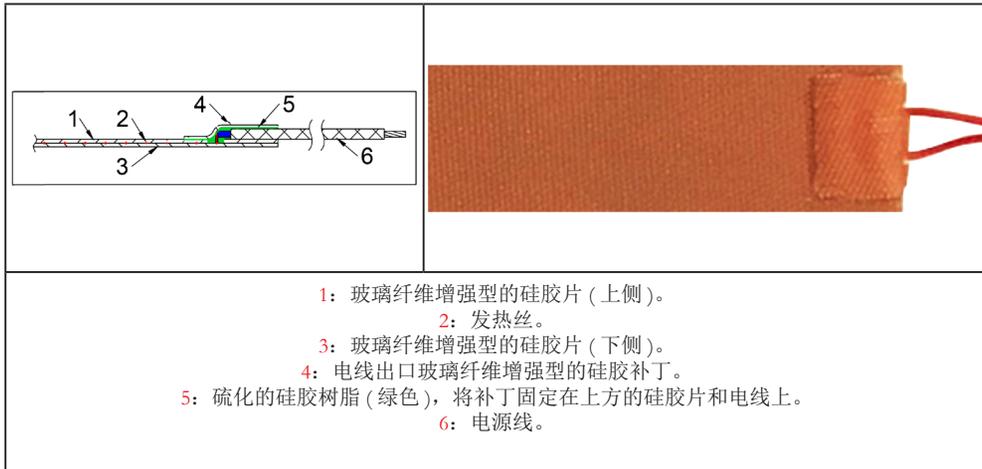
- 3 DaN，用于重量小于 1kg 的发热元件，
- 6 DaN 用于重量 1 到 4kg 的，
- 10 DaN 用于 4kg 公斤以上的。

这些约束条件决定了所用的补丁和帽盖的设计和特性。

柔性硅胶加热器的电线连接 (IP54)

这种连接是小尺寸柔性加热器上最常见的连接，是通过在电源导体和发热线之间的焊合上硫化的硅胶补丁所制成的。它提供了机械支撑和相对的保护等级 (IP54)。

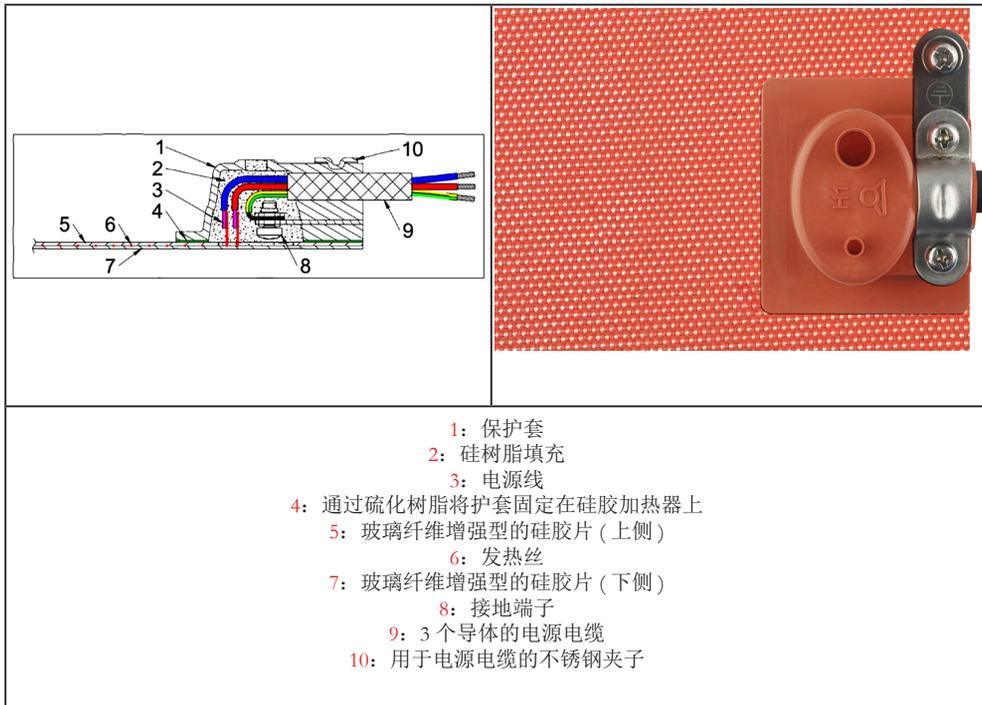
硅胶加热器的技术介绍



- 1: 玻璃纤维增强型的硅胶片 (上侧)。
- 2: 发热丝。
- 3: 玻璃纤维增强型的硅胶片 (下侧)。
- 4: 电线出口玻璃纤维增强型的硅胶补丁。
- 5: 硫化的硅胶树脂 (绿色), 将补丁固定在上方的硅胶片和电线上。
- 6: 电源线。

柔性硅胶加热器上**电缆**的连接 (IP65)

这些帽盖能连接 3 根导体的圆形电缆。它们能将电源线的接地线连接到一个内部端子, 有助于用一块金属网格来连接柔性电阻丝。一个外部螺丝端子也已接地, 用于罐的金属部件或加热壁的连接。用硅胶树脂填充护套, 使组件极耐撕裂, 并保证有一个防水和防尘的 IP65 等级。



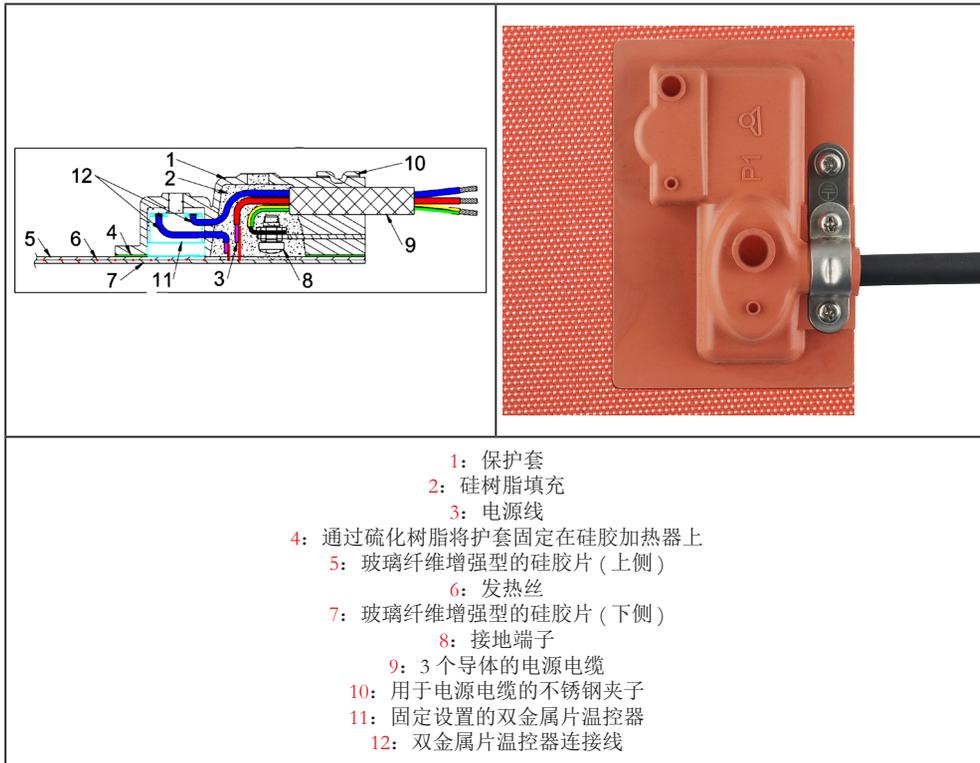
- 1: 保护套
- 2: 硅树脂填充
- 3: 电源线
- 4: 通过硫化树脂将护套固定在硅胶加热器上
- 5: 玻璃纤维增强型的硅胶片 (上侧)
- 6: 发热丝
- 7: 玻璃纤维增强型的硅胶片 (下侧)
- 8: 接地端子
- 9: 3 个导体的电源电缆
- 10: 用于电源电缆的不锈钢夹子

柔性硅胶加热器上**电缆和温度限制器**的连接 (IP65)

这些帽盖能连接 3 根导体的圆形电缆。它们能首先将电源线的接地线连接到一个内部端子, 有助于用一块金属网格来连接柔性电阻丝。一个外部螺丝端子也已接地, 用于罐的金属部件或加热壁的连接。

其次, 它们允许将固定设置的双金属温度限制器与发热元件串联连接。用硅胶树脂填充护套, 使组件极耐撕裂, 并保证有一个防水和防尘的 IP65 等级。

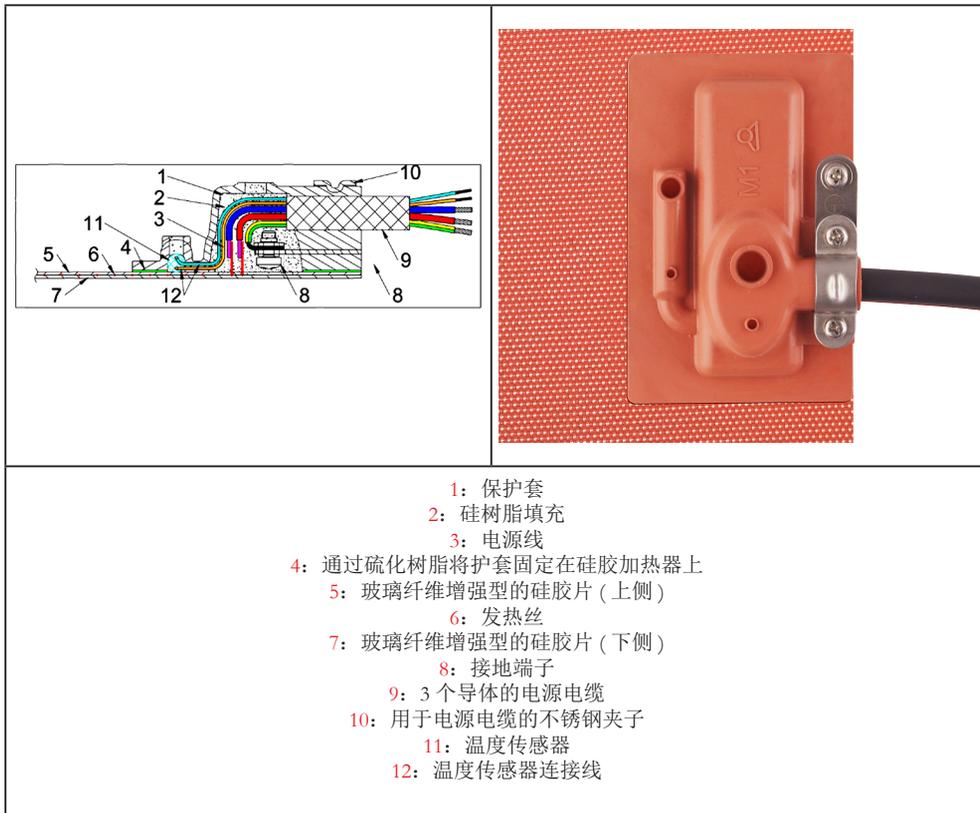
硅胶加热器的技术介绍



柔性硅胶加热器上**电缆和温度传感器**的连接 (IP65)

这些帽盖能连接 5 根导体的圆形电缆。首先，它们能将电源线的接地线连接到一个内部端子，有助于用一块金属网格来连接柔性电阻丝。一个外部螺丝端子也已接地，用于罐的金属部件或加热壁的连接。

其次，它们允许连接两根电线的温度传感器 (两根电线 Pt100, NTC 或热电偶)。用硅胶树脂填充护套，使组件极耐撕裂，并保证有一个防水和防尘的 IP65 等级。



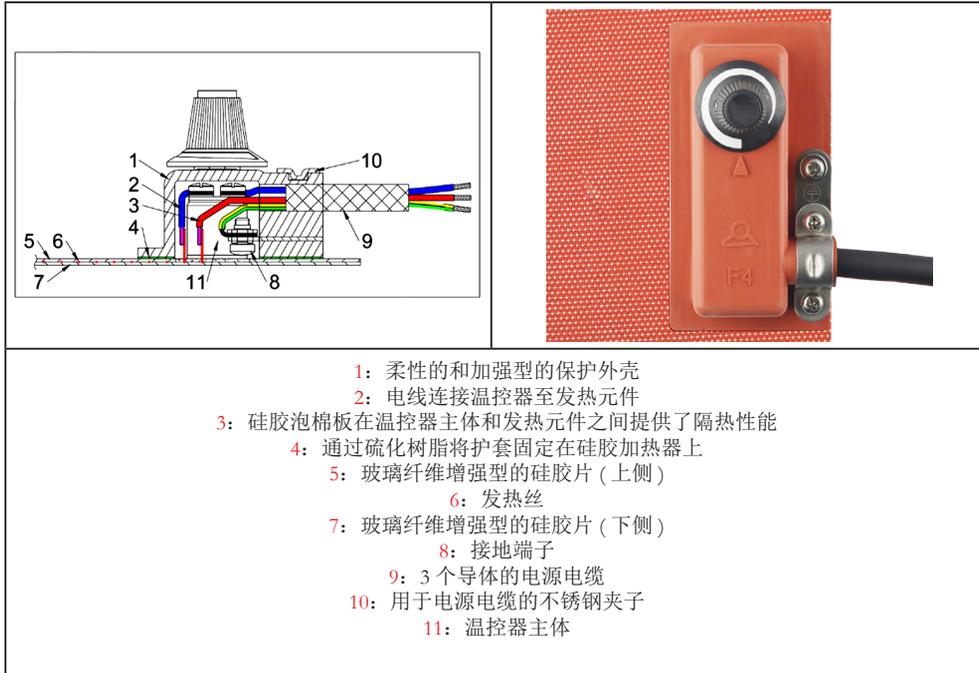
硅胶加热器的技术介绍

柔性硅胶加热器上**电缆和可调节双金属片温控器**的连接 (IP54)

这些帽盖能连接 3 根导体的圆形电缆。首先，它们能将电源线的接地线连接到一个内部端子，有助于用一块金属网格来连接柔性电阻丝。一个外部螺丝端子也已接地，用于罐的金属部件或加热壁的连接。

其次，它们允许连接一个可调节的双金属片温控器来测量与其接触的硅胶加热器表面的温度。

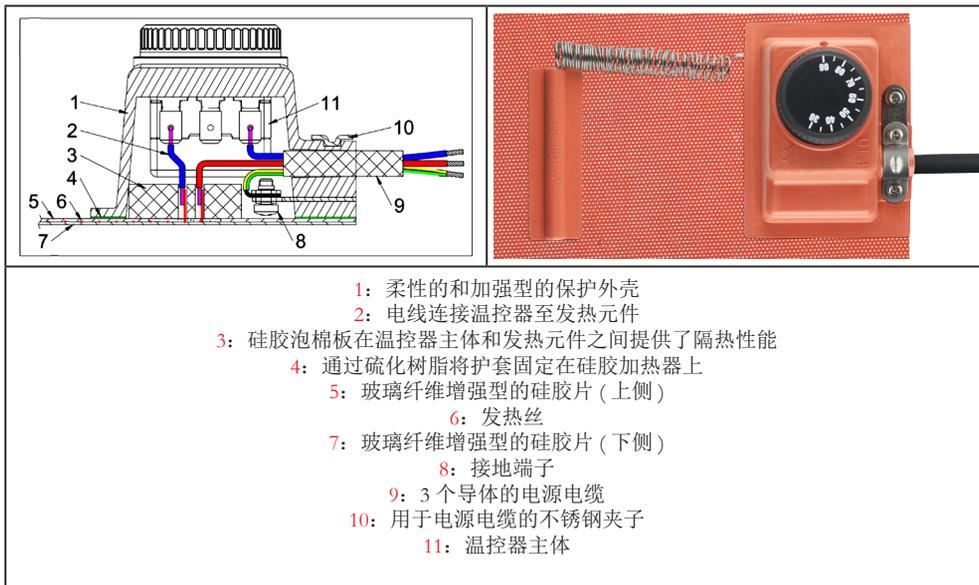
外壳的大粘合表面使组件极耐撕裂。该外壳保证有一个防水和防尘的 IP54 等级。



柔性硅胶加热器上**电缆和可调节球管和毛细管温控器**的连接 (IP54)

这些柔性外壳能连接 3 根导体的圆形电缆。首先，它们能将电源线的接地线连接到一个内部端子，有助于用一块金属网格来连接柔性电阻。一个外部螺丝端子也已接地，用于罐的金属部件或加热壁的连接。

其次，它们允许连接一个可调节的球管和毛细管温控器。硅胶泡棉板可保护温控器主体免受加热表面温度的影响。外壳的大粘合表面使组件极耐撕裂。该外壳保证有一个防水和防尘的 IP54 等级。



硅胶加热器的技术介绍

5-7. 柔性硅胶加热器电绝缘参数

在环境温度的绝缘电阻

绝缘电阻随所用发热丝的长度而减小。在小型的硅胶加热器，如果该长度的米数可以减小一点，那么在大的型号上，它可以超过 250 米。在生产中，绝缘值是 100% 在环境温度下测得的。我们可接受的最小极限是 0.1Gohms (EN60335-2-17 § 19.112.3 极限的 100 倍)。

该行测量是将加热器夹在覆盖整个表面的两块金属板之间进行的，并以 35DaN/m² 的负载施加压力进行彼此压紧。



测量的数值通常大于 0.1Gohm

在环境温度的电气强度

在所有受保护的发热元件中，都有泄漏电流通过其绝缘材料。该泄漏电流随着施加的电压而增加。

对于硅胶加热器，通过将加热器放置在两块金属板之间，并根据 60-335-2 -17 § 22.115，在导体和金属板之间施加 1750 伏的电压，以测量总泄漏电流的生产测试。在 EN60519-1 标准的应用中，在 1 分钟的过程中允许的最大泄漏电流是随加热器的额定载流容量而变化。对于小于 7A 的载流容量 (在 230V 为 1600W) 为 3mA，而对于较大的电流为每安培 0.5mA (例如 2000W 为 10mA，3000W 为 15mA)。大尺寸加热器上的大泄漏电流值需要将其连接到电源电路，该电源电路由一个差值断路器在 20mA 校正进行保护。

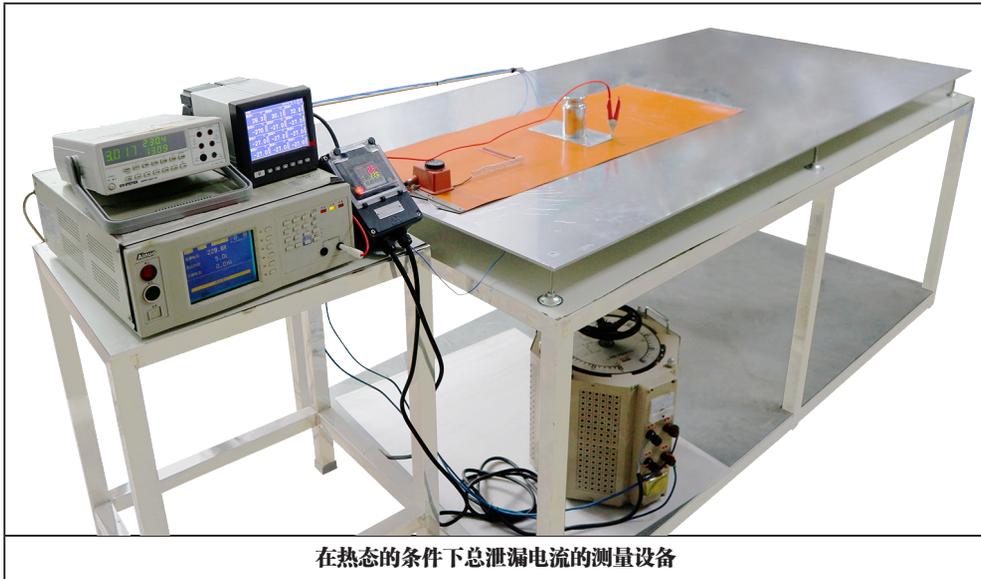


在冷态的条件下总泄漏电流的测量设备

硅胶加热器的技术介绍

在工作温度的泄漏电流

有一个热的及易触及的表面上测量泄漏电流是一项参数，旨在验证设备的安全性，以避免在操作过程中触摸设备时触电。这是检查当达到工作温度时，其电绝缘性能不会降低并保持充足的方法。根据标准 EN60335-1-13.1 和 13.2 条款的规定，测试包括在加热器上放置一块 10 x 20 cm (模拟一只手掌的尺寸) 的金属板，并且当硅胶加热器达到最高温度时，测量通过该板和带电导体之间的电流，在同一型号，该温度能升至 200°C。在 240V 时，最大的极限值为 0.75mA。我们的测试通过在等于额定功率 1.15 倍的功率下在不同位置进行 6 次测量的平均值进行验证。



在热态的条件下总泄漏电流的测量设备

5-8. Rohs 和 Reach 规定

Rohs: 布袋加热器中使用的材料符合修订的 2011/65 欧洲指令的 2015/863 附录 II。

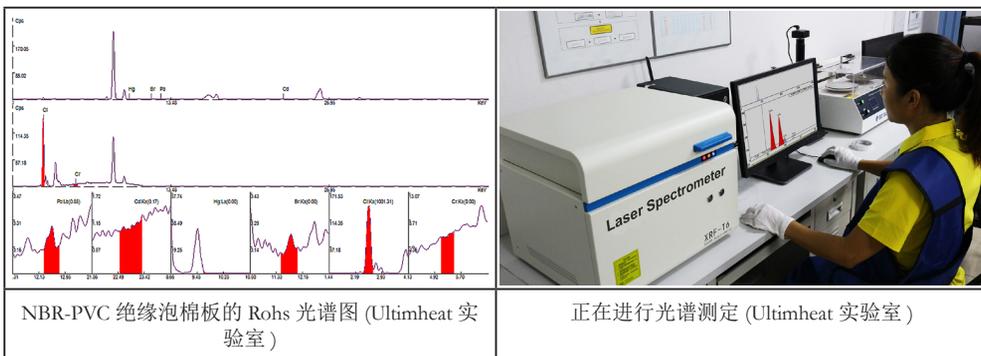
这些测试是 Ultimheat 质量控制标准的一部分，并且均是系统地执行以验证每个供应商所交付的货物。

是在我们自己的实验室使用最新一代的测量仪器进行检验的。

如果有需要，我们可以提供由外面认可的实验室所认证的证书。

Reach: 根据 2017 年 6 月的指令，布袋加热器中使用的材料符合 REACH 欧洲指令，在 2017 年 1 月 12 日 ECHA 发布的清单中增加了 173 种 SVHC 物质 (高度关注的物质)，适用于 Reach 指令 1907/2006。

可按要求提供由外面有资质的实验室认证的证书。



NBR-PVC 绝缘泡棉板的 Rohs 光谱图 (Ultimheat 实验室)

正在进行光谱测定 (Ultimheat 实验室)