

# 应变计的选择： 标准、程序和建议

## 1.0 绪论

作为任何应变计安装的准备，首先要为测试任务选择合适的应变计，应变计的选择初看十分简单，不似应力分析的关键步骤，而事实恰恰相反，仔细合理选择应变计的特性和参数会显得十分重要：可针对指定环境和操作条件优化应变计性能、获取准确和可靠的应变测试、最大限度降低应变计安装的整体费用。

应变计的安装和工作特性受到以下参数影响，并可从不同角度予以选择：

- 应变丝合金材质
- 基底材料 (载体)
- 丝栅电阻
- 应变计图案
- 温度自补偿编号
- 应变计长度
- 可选项

基本上，应变计的选择过程就是确定与环境及其他操作条件精确匹配的参数，同时确保最佳安装和不受条件制约，所谓的条件制约通常由以下需求而形成，诸如：

- 精度
- 稳定性
- 温度
- 伸长率
- 测试持续时间
- 循环持久性
- 安装难易度
- 环境

在选择应变计时，应变计的本身价格一般不作为考虑的本因素，因为整个测试装置的整体价格才是有意义的经济测量，而应变计的用途往往只在其中占很小比重。在很多场合，选择应变计的系列和附加性能会增加费用，但却可以降低装置的成本。

在选择应变计的过程中，还必须认识到折衷的重要，这是因为符合某一个制约或需求的参数选择，可能和另一个大相径庭。例如小半径的环状带测试，可供应变计安装的空间非常有限，应变的变化率有非常大，显而易见要选择一种尽可能短小的应变计，然而，长度小于0.125 in [3 mm]的应变计，通常最大伸长率较低、疲劳寿命短、稳定性差和安装难度大。另一个经常影响应变计的选择和引起折衷考虑的情况是，如何为日复一日进行应变测试做相应的库存。当折衷不可避免之时，我们必须完全明确为符

合应变计安装要求所进行的折衷，会给应力测试带来什么结果。对于在任何特定情况下做出最佳整体折衷，并评判测试数据的精确性与有效性，这种明确的理解是必须的。

这里考虑到的应变计选择标准主要同应力分析的应用相关。应用于传感器特性的应变计的选择标准，与这里提及的许多方面非常相似，但对不同应用有显著区别，因此应当区别对待。Vishay Micro-Measurements的传感器应用部门可对这方面的选择提供相关帮助。

## 2.0 应变计选择参数

### 2.1 应变感应合金材料

决定应变计工作性能的主要因素是用于制造金属箔栅格的应变感应合金材料。但是，合金材料并非在任何情况下都是一个可以独立选择的参数。这是因为Vishay Micro-Measurements的每一个应变计系列（以号的前两或三个字母表示），是被设计成一个完整体系的。这样的体系是由一个特殊的金属箔材与基底的组合所构成，并包括附加的应变计结构组合（诸如覆盖层、引线、焊接点等）。

Vishay Micro-Measurements 供应以下种类的应变计合金材料（以及各自的代表字母）：

- A: 温度自补偿康铜
- P: 退火康铜
- D: 等性合金
- K: 镍-铬合金，温度自补偿性卡马合金

### 2.1.1 康铜合金

在所有现代应变计的合金材料中，康铜是历史最悠久的，而且仍是使用最广泛的。这种情况反映了这样一个事实，对于许多应变计的应用而言，康铜具有最佳的整体综合性。比如，这种合金有一个足够高的应变灵敏度，或灵敏系数 (*gage factor*)，而对于应变级别和温度相对不敏感。其电阻率足够的高，这样即便是很小的栅格也能达到合适的电阻值，并且其电阻的温度系数也不是很大。此外，康铜具有很好的疲劳寿命以及比较大的延长性能。但必须注意，在温度超过+150°F [+65°C]的情况下，康铜往往呈现出连续的漂移；在测试持续数小时乃至数天的情况下，应变计的零点稳定性至关重要，这一特性必须被加以考虑。

很重要。康铜可被加工为自我温度补偿（见右框），以配合各类测试材料的膨胀系数。A合金是按自我温度补偿（S-T-C）的号码00, 03, 05, 06, 09, 13, 15, 18, 30, 40和50来选择，用于同测试材料的对应热膨胀系数（用ppm/°F表示）相配。

对于测量5%(50,000 $\mu\epsilon$ )或更大的应变，退火康铜（P合金）通常是栅格材料的首选。这种康铜拥有很好的延展性，栅长0.125 in [3 mm]的应变计，可以达到大于20%的应变。但是，应当谨记，在高循环应变加载下，在每一个循环周期里，P合金会表现出一些永久的电阻变化，从而造成应变计相应的零点漂移。由于这个特点，为避免应变计在应变重复加载中过早失效的倾向，通常并不建议在循环应变测试中采用P合金。P合金可供选择的自我温度补偿（S-T-C）号码为08和40，分别对应相应的金属与塑料材料。

### 2.1.2 等性合金

当需要测量纯粹的动态应变——也就是说，不需要保证一个稳定的参考零点——等性合金（isoelastic, D合金）具有一定的优势。与A合金相比，主要表现在，出色的疲劳寿命，以及更高的灵敏系数（大约3.2）以善动态测试中的信噪比。

D合金并不能实现自我温度补偿。此外，如图所示（见框中），其热输出非常高（大约80 $\mu\epsilon$ /°F [140 $\mu\epsilon$ /°C]），使得这种合金往往无法适用于静态应变测量。但是，有的情况下，D合金可应用于需要高输出信号的特殊用途传感器，此时可运用全桥电路来实现适当的温度补偿。

当考虑选择这种栅格材料的时候，D合金的一些其他特性同样应当被指出。比如，它是一种磁阻材料；并且它对应变的反应有些非线性，当应变大小在 $\pm 5000\mu\epsilon$ 以外时尤其显著。

### 2.1.3 卡马合金

性卡马，或K合金，由于它的应用范围非常广，使其成为应变计合金家族中的一个重要成员。这种合金具有良好的疲劳寿命和极佳的稳定性；作为精确的静态应变测量的首选，室温下可以长时间测量（数月或数年），或在较短的时期内高温测量。推荐用于长期静态应变测量，温度范围-452° ~ +500°F [-269° ~ +260°C]。在较短的时期内，带覆盖的K合金应变计可应用的最高温度为+750°F [+400°C]。在惰性气体的氛围中有助于提高在高温下的稳定性以及延长应变计的使用寿命。

除了其他的优点，相比A合金，K合金的热输出曲线更为平滑，从而可以在极端温度下对热输出误差进行更为精确的修正。同康铜一样，K合金可以针对不同热膨胀系数的材料进行自我温度补偿。但K合金可以供选择的S-T-C号

码有限，有以下几种：00, 03, 05, 06, 09, 13, 以及15。通常，当需要一款温度补偿应变计，而A合金无法达到环境条件以及性能特点的要求时，K合金将是很好的选择。

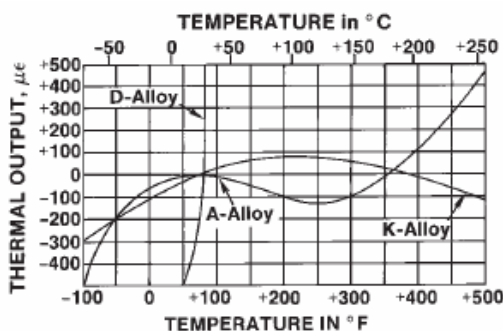
由于直接在K合金上焊接非常困难，Vishay Micro-Measurements采用双面铜焊盘（duplex copper feature），过去这是一个可选项，如今已经成为我们所有K合金开放式应变计的标准配置。双面铜焊盘是一个精密加工的铜焊盘（DP）或焊点（DD），这取决于可焊接区的大小。所有不带引线或焊接点的K合金应变计，都在名称中明确标注了DP或DD（位于可选项，或附加说明）。对于特殊形式的铜处理，联系我们的客户服务部门可以得到具体的建议。开放式的K合金应变计同样可以定制焊接点。

### 自我温度补偿

康铜和性卡马应变计合金共同拥有一种特性，它们能够通过特殊的工艺处理实现自我温度补偿。自我温度补偿应变计被设计成能够产生最低的热输出（温度变化引起显示应变变化），温度范围约-50° ~ +400°F [-45° ~ +200°C]。不论选择康铜（A合金）还是性卡马（K合金）应变计，自我温度补偿（S-T-C）号码必须明确说明。S-T-C号码是以ppm/°F为单位的膨胀系数的近似值，以保证相应的应变计在测试材料上显示出最小的热输出值。

附图说明了A和K合金的典型的热输出特性。未补偿过的等性合金的热输出同样列在图中，以供对比。通常情况下，可根据测试材料的热膨胀系数，来选择最接近的A和K合金应变计的S-T-C号码。然而，在一定的特殊温度范围内，这些合金的热输出曲线可以按室温参考温度点为轴而旋转。这是由于在特定的方向上错误的配了S-T-C号码与膨胀系数。当选择的S-T-C号码小于膨胀系数，曲线可按逆时针方向旋转。相反的配将造成曲线顺时针旋转。显然，在S-T-C错配的情况下，A和K合金原有的热输出曲线将不再适用，一般情况下，作为温度的函数，热输出需要进行校准。

若需要了解更多应变计受温度影响的信息，请参阅Tech Note TN-504。



传统的金属箔式应变计结构包括了一个光蚀刻的金属箔图案，安装于一个塑料底或载体上。底提供了若干重要功能：

- 提供了一种安装金属箔图案的手段
- 提供了一种易于粘结的表面，使应变计能与待测物粘合
- 为金属箔与测试对象间提供了绝缘层

Vishay Micro-Measurements提供了两种基本的应变计底材料：聚酰亚胺，以及玻璃纤维增强环氧-酚醛。与应变感应合金一样，底材料并不是一个独立可选的参数。特定的底与合金的组合，加上特殊结构特点，被设计成为一个系统，并给予应变计系列命名。因此，当为某一特定的应用选择最佳应变计号时，正确的过程并非任意选取合金与底材料的组合，而是需要指定一个可用的应变计系列。Vishay Micro-Measurements应变计系列以及他们的特性将在下一章节2.3中详细描述。每个系列都有其自身的特点和推荐应用领域；后续的表格中给出了选择建议。这里单独讨论底材料，如同前一章节里讨论合金材料一样，以帮助理解由合金与底材料导致的各个系列的特点。

Vishay Micro-Measurements的聚酰亚胺E底是一种特别柔韧的载体，可以轻易的弯曲以适应很小的半径。此外，金属箔与聚酰亚胺底的高剥离强度，使得该底应变计对安装过程中的机械损伤较不敏感。由于其易于处理，以及适用温度范围宽于-320° ~ +350°F [-195° ~ +175°C]，聚酰亚胺是一种理想的底材料，适合于一般用途的静态与动态应力分析。这种底还能够进行大的延伸，并可以用来测量超过20%的塑料应变。聚酰亚胺底是Vishay Micro-Measurements的EA-, CEA-, EP-, EK-, S2K-, N2A-, 以及ED-系列应变计的一个特色。

为了在较广泛的温度范围内获得出色的表现，玻璃纤维增强环氧-酚醛底材料是最合适的选择。这种底可以在温度范围-452° ~ +550°F [-269° ~ +290°C]内进行静态与动态应变测量。对于短时间应用，温度上限可以扩大到+750°F [+400°C]。但是，这种载体材料的最大延长量是有限的，大约1~2%，增强环氧-酚醛底用在下列应变计系列：WA, WK, SA, SK, WD, 以及SD。

### 2.3 应变计系列

正如2.1和2.2节中提到的，应变感应合金和底材料并不能完全独立选择和任意组合。相反的，选择必须出于现有的应变计系统，或者称为系列，每个系列通常包括特殊设计或结构特色，以及合金与底材料的特殊组合。为了满足特定的测试需求而方便识别合适的应变计系列，下面的两张表格以简表形式，列出关于应变计系列的性能以及选择方法的信息。

第一张表给出了所有通用Vishay Micro-Measurements应变计系列的简单介绍——包括每个系列的合金与底组合，以及主要结构特色。这张表定义了每个系列的工作温度范围，应变范围，以及与应变级别相关的循环耐久度。但是，必须注意，性能参数只是标称的，并主要适用于栅长0.125 in [3 mm]或更大的应变计。

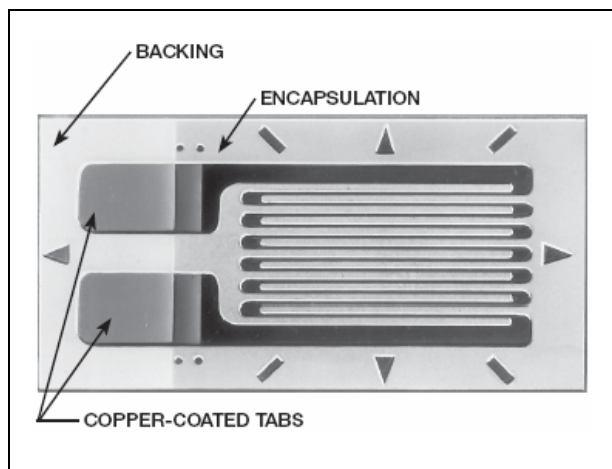
第二张表 据具体测试的“概况”，或测试要求组合，给出了推荐的应变计系列，分类遵循以下原则：

- 应变测量类（静态，动态，等）
- 应变计的工作温度
- 测试持续时间
- 精度要求
- 循环耐久度要求

这张表为大多数传统应用提供了初步选择应变计系列的本手段。同时也包括推荐的粘合剂，因为粘合剂会成为应变计安装后的系统的一部分，并相应的影响到应变计的性能。此选择表，辅以第一张表的信息，用来配合我们的《精密应变计数据手册》，以完成最终的选择。实现这一过程的程序参见本资料的3.0节。

当一个测试遇到所需条件超出表中所列范围时，通常可以假设测试要求达到或超过了可选应变计的性能极限。在这样的条件下，应变计性能特点的相互作用变得非常复杂，从而无法在一个简单的表格中给出。遇到这种情况，用户请询问我们的应用工程部，以得到最佳的折衷方案。

正如表格中显示的，CEA系列通常是常规应变测量的首选，对性能及环境没有极端要求（并且不要求极小的尺寸，或特殊的栅格式样）。CEA系列是聚酰亚胺底-覆盖，A合金应变计，带镀铜粗糙大焊盘，以便直接在应变计上焊接引线（参见下图）。这种薄的柔韧的应变计可以弯曲成几乎任意半径。对于综合的操作性能，比如，方便，不易损伤等，CEA系列应变计是非常优秀的。



TECH NOTE

应变计系列	描述及主要应用 SUNSTAR传感与控制 <a href="http://www.sensor-ic.com/">http://www.sensor-ic.com/</a>	温度范围 TEL:0755-83376549 FAX:0755-83376182	应变变量 E-MAIL:szsss20@163.com	疲劳寿命	
				应变级别 $\mu\epsilon$	循环次数
EA	康铜箔配以 韧柔软的聚酰亚胺 底。可选项众多。主要用于一般用途的静态与动态应力分析。不建议用于高精度传感器。	通常: -100°~+350°F[-75°~+175°C] 特殊或短期: -320°~+400°F[-195°~+205°C]	±3%, 栅长小于 1/8in[3.2 mm]; ±5%, 栅长大于 等于1/8in	±1800 ±1500 ±1200	10 <sup>5</sup> 10 <sup>6</sup> 10 <sup>8</sup>
CEA	通用应变计。康铜栅格, 聚酰亚胺覆盖, 镀铜粗糙大焊盘。主要用于一般用途的静态与动态应力分析。“C”在我们的《精密应变计数据手册》中被特别强调。	通常: -100°~+350°F[-75°~+175°C] 层叠应变花低于: +150°F[+65°C]	±3%, 栅长小于 1/8in[3.2 mm]; ±5%, 栅长大于 等于1/8in	±1500 ±1500	10 <sup>5</sup> 10 <sup>6</sup> *适用低模量焊接 善疲劳寿命
N2A	开放式康铜箔配以薄聚酰亚胺薄膜 底。N2A系列特点在于蠕变小且重复性好, 建议主要用于高精度传感器。此外建议用于需大尺寸应变计的应力分析, 便于安装。	普通静态传感器: -100°~+200°F[-75°~+95°C]	±3%	±1700 ±1500	10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup>
WA	完全覆盖康铜应变计, 带耐用引线。比起EA系列, 适用于更宽温度范围和更极端环境。可选项W适用于某些号, 但会限制疲劳寿命。	通常: -100°~+400°F[-75°~+205°C] 特殊或短期: -320°~+500°F[-195°~+260°C]	±2%	±2000 ±1800 ±1500	10 <sup>5</sup> 10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup>
SA	完全覆盖康铜应变计, 带焊接点。与WA系列使用同样的模版。与WA系列应用领 相同, 但由于焊接点的存在, 降低了使用温度上限与工作环境。	通常: -100°~+400°F[-75°~+205°C] 特殊或短期: -320°~+450°F[-195°~+230°C]	±2%	±1800 ±1500	10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup>
EP	特殊退火康铜箔配以 韧柔软的聚酰亚胺 底。主要用于测量大屈服应变。可选项E, L, 和LE (可能会限制疲劳寿命)。	-100°~+400°F[-75°~+205°C]	±10%栅长小于 1/8in[3.2 mm]; ±20%, 栅长大于 等于1/8in	±1000	10 <sup>4</sup> EP应变计在循环应变下会零漂
ED	等 性合金箔配以 韧柔软的聚酰亚胺 底。高灵敏系数, 高疲劳寿命, 极适合动态测量。由于高的热输出特性, 不常用于静态测试。	动态: -320°~+400°F[-195°~+205°C]	±2% 与应力级别对应的非线性误差大于±0.5%	±2500 ±2200	10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup>
WD	完全覆盖等 性合金箔, 带耐用引线。可在恶劣环境中应用于广泛的动态应变测量。	动态: -320°~+500°F[-195°~+260°C]	±1.5% 与应力级别对应的非线性误差大于±0.5%	±3000 ±2500 ±2200	10 <sup>5</sup> 10 <sup>7</sup> 10 <sup>8</sup>
SD	近似于WD系列, 但采用焊接点替代引线。	动态: -320°~+400°F[-195°~+205°C]	±1.5% 见上	±2500 ±2200	10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup>
EK	K合金箔配以 韧柔软的聚酰亚胺 底。主要用于要求高电阻, 高稳定性, 高温环境, 以及很好的 底 性的 合。	通常: -320°~+350°F[-195°~+175°C] 特殊或短期: -452°~+400°F[-269°~+205°C]	±1.5%	±1800	10 <sup>7</sup>
WK	完全覆盖K合金箔带耐用引线。可应用于最宽的温度范围和最极端环境, 通用自我温度补偿应变计。可选项W适用于某些号, 但会限制疲劳寿命和最高工作温度。	通常: -452°~+550°F[-269°~+290°C] 特殊或短期: -452°~+750°F[-269°~+400°C]	±1.5%	±2200 ±2000	10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup>
SK	完全覆盖K合金箔带焊接点。与WK系列相同的应用, 但由于焊接点的存在, 降低了使用温度上限与工作环境。	通常: -452°~+450°F[-269°~+230°C] 特殊或短期: -452°~+500°F[-269°~+260°C]	±1.5%	±2200 ±2000	10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup>
S2K	K合金箔, 压制成0.001in[0.025mm]薄高性能聚酰亚胺 底, 覆盖以聚酰亚胺薄膜。配以大焊盘以方便焊接引线。	通常: -100°~+250°F[-75°~+120°C] 特殊或短期: -300°~+300°F[-185°~+150°C]	±1.5%	±1800 ±1500	10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup>

性能参数 为标称值, 并且主要对应0.125in[3mm]应变计  
SUNSTAR自动化 <http://www.sensor-ic.com/> TEL: 0755-83376489 FAX:0755-83376182 E-MAIL:szsss20@163.com



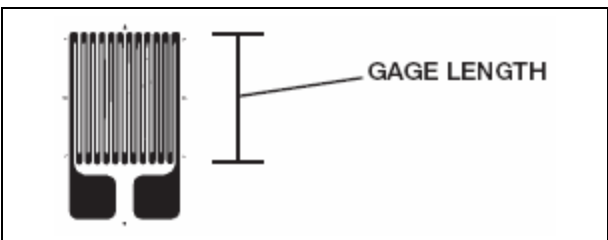
测试或应用类	SUNSTAR传感与控制 http://www.sensor-ic.com 工作温度范围	测试时间 h	精度要求**	循环要求		标准选择	
				最大应变, $\mu\epsilon$	循环次数	应变计系列	M-Bond 粘合剂
普通静态或静-动态应力分析*	-50°~+150°F[-45°~+65°C]	<10 <sup>4</sup>	中等	±1300	<10 <sup>6</sup>	CEA, EA	200/AE-10
		>10 <sup>4</sup>	中等	±1300	<10 <sup>6</sup>	CEA, EA	AE-10/AE-15
		>10 <sup>4</sup>	极高	±1600	>10 <sup>6</sup>	WA, SA	AE-15/610
		>10 <sup>4</sup>	高	±2000	>10 <sup>6</sup>	WK, SK	AE-15/610
	-50°~+400°F[-45°~+205°C]	<10 <sup>3</sup>	中等	±1600	<10 <sup>6</sup>	WA, SA	600/610
		>10 <sup>3</sup>	高	±2000	<10 <sup>6</sup>	WK, SK	600/610
	-452°~+450°F[-269°~+230°C]	>10 <sup>3</sup>	中等	±2000	>10 <sup>6</sup>	WK, SK	610
	<600°F[<315°C]	<10 <sup>2</sup>	中等	±1800	<10 <sup>6</sup>	WK	610
<700°F[<370°C]	<10	中等	±1500	<10 <sup>6</sup>	WK	610	
大应变(屈服)	-50°~+150°F[-45°~+65°C]	<10	中等	±50 000	1	CEA, EA	AE-10
		>10 <sup>3</sup>	中等	±100000	1	EP	AE-15
		>10 <sup>3</sup>	中等	±200000	1	EP	A-12
	0°~+500°F[-20°~+260°C]	<10 <sup>2</sup>	中等	±15 000	1	SA,SK,WA,WK	610
	-452°~+500°F[-269°~+260°C]	<10 <sup>3</sup>	中等	±10 000	1	SK, WK	600/610
动态(循环)应力分析	-100°~+150°F[-75°~+65°C]	<10 <sup>4</sup>	中等	±2000	10 <sup>7</sup>	ED	200/AE-15
		<10 <sup>4</sup>	中等	±2400	10 <sup>7</sup>	WD	AE-10/AE-15
	-320°~+500°F[-195°~+260°C]	<10 <sup>4</sup>	中等	±2000	10 <sup>7</sup>	WD	600/610
		<10 <sup>4</sup>	中等	±2300	<10 <sup>5</sup>	WD	600/610
传感器应用	-50°~+150°F[-45°~+65°C]	<10 <sup>4</sup>	1~5%	±1300	<10 <sup>6</sup>	CEA, EA	AE-10/AE-15
		<10 <sup>6</sup>	1~5%	±1300	<10 <sup>6</sup>	CEA	AE-15
	-50°~+200°F[-45°~+95°C]	<10 <sup>4</sup>	好于0.2%	±1500	10 <sup>6</sup>	N2A	600/610/43B
	-50°~+300°F[-45°~+150°C]	<10 <sup>4</sup>	0.2~0.5%	±1600	10 <sup>6</sup>	WA, SA	610
	-320°~+350°F[-195°~+175°C]	<10 <sup>4</sup>	好于0.5%	±1800	10 <sup>6</sup>	WK, SK	610

\* 这类应用包括了静态试验条件下需要一定稳定性的大多数试验情况。如果期望使用康铜应变计达到完全稳定的长期使用，并且温度高于+150°F [+65°C]，可能需要采用半桥或全桥电路。保护涂层也可能对稳定性产生影响，除非在传感器应用中采用密封手段。

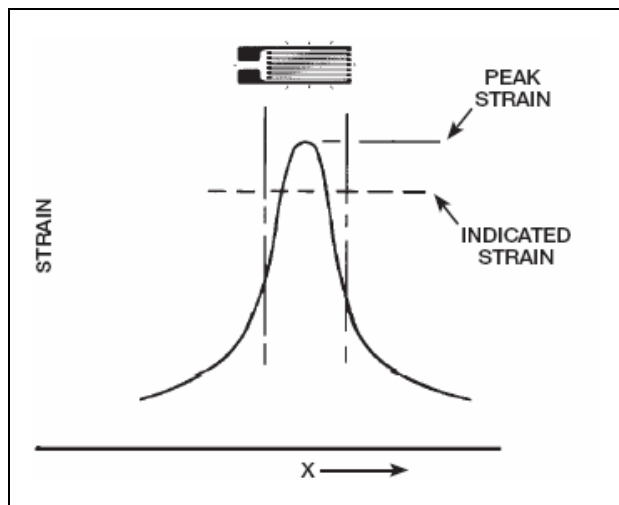
\*\* 如果没有考虑实际测试程序和仪器使用的各个方面，本表中的“精度”是无法量化的。一般而言，以应力分析为目的，“中等”是2~5%的范围，“高”是1~3%，而“极高”是1%或更好。

## 2.4 栅格长度

应变计的栅格长度是栅格的应变敏感区的长度，如图所示。末端弯曲和焊盘部分可被认为对应变不敏感，因为他们的截面积相对较大，并且电阻较低。为满足广泛的实验应力分析和传感器应用的需要，Vishay Micro-Measurements提供的栅格长度范围从0.008 in [0.2 mm] 到4 in [100 mm]。



在一组给定的条件下，栅长常常是一个非常重要的决定应变计性能的因素。例如，应变测量通常取在机器零件或结构的关键点上——也就是说，在应力最高的点上。通常高应力点意味着应力集中，应变的梯度非常陡峭，并且最大的应变集中在一个非常小的区域中。应变计趋于整合，或平滑，栅格覆盖区域的应变。因为任意不均匀分布的应变的平均值总是小于极大值，所以当应变计明显大于应变极大区域时所显示的应变值就会太小了。下图显示了一个典型的应力集中区域附近的应变分布，示意了使用相比峰值应变区域过长的应变计测量所产生的误差。



作为一个经验法则，在实践中，对于小孔，圆角，凹槽，或任何其它需要测量的集中应力的结构，应变计栅长应不大于他们的半径的0.1倍，或相应尺寸。对于尺寸明显小于0.5 in [13 mm]的集中应力的结构，这一经验法则会导致选取非常小的应变计。由于选用小应变计可能导致许多其它问题，因此往往需要折衷。

栅长小于0.125 in [3 mm]的应变计的性能会降低——特别是最大允许延长量，静态应变下的稳定性，循环应变下的耐久性。当其中任意一项的权重大于取平均值应变导致的精度损失，就需要用更大的应变计。

当可以使用较大的应变计时，许多优点值得注意。不论是安装还是接线过程，几乎在每一个方面，大应变计（栅长最大0.5 in或13 mm）通常都比小应变计更容易操作。此外，大应变计改善了散热，因为同样的电阻大小，大应变计的单位栅格面积功率更小。当应变计安装在塑料或其他导热能力很差的材料上时，这点非常重要。不充分的散热将导致栅格、基底、粘合剂和测试件表面的温度升高，从而明显影响应变计的性能和精度（参见Tech Note TN-502, *Optimizing Strain Gage Excitation Levels*）。

另外还有一种大应变计的应用——通常用到非常大的应变计——非均匀材料的应变测量。以混凝土为例，混凝土

是集料（石、沙）和水泥的混合物。当测量混凝土结构的应变时，通常希望使用足够长的应变计以跨越多个集料，从而测量有代表性的应变。换句话说，这种情况下往往寻求平均应变，而不是集料与水泥之间相互作用导致的局部剧烈应变波动。一般来说，当测量任意复合材料结构的应变时，栅长应当足够的大，以考虑到材料的不均匀性。

在常规应用中，不需要考虑上述规则，可选择栅长0.125至0.25 in [3至6 mm]的应变计。这个范围内有最多可供选择的式样和存货。此外，特大或特小的尺寸通常价格更高，并且特大应变计并不能显著提升疲劳寿命、稳定性或最大延伸量，而特小应变计通常在这些特性上表现不佳。

## 2.5 栅格式样

栅格式样包括，栅格的形状，多栅格应变计的栅格数量与方向，焊盘结构，以及特殊式样的多种标准结构特色。关于栅格和焊盘结构的详细信息，在我们的《应变计数据手册》中“栅格式样”一栏有说明。列表中多种多样的式样可以充分满足常规应变计安装和应变测试的要求。

对于单栅应变计，一个式样是否适合某个特殊应用，主要取决于以下几点：

**焊盘**——显然，它们的大小和方向应当与可安装位置的空间相一致。同样重要的是，焊盘的安排不能严重影响到操作者正确接线的熟练程度。

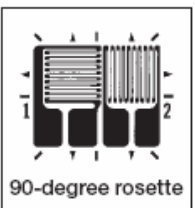
**栅格宽度**——当很大的应力梯度与应变计测量轴垂直，一个窄的应变计将减少误差。在安装位置允许并适合的情况下，更宽的应变计有助于改善散热并提高稳定性——特别是应变计将被安装在导热能力不强的材料或测试件的情况下。

**电阻值**——某些情况下，同一系列两种式样应变计的唯一区别，在于栅格电阻——标准的是120欧姆与350欧姆。当选择存在时，更高的电阻会被选用，因为它能减少热量输出（加载同样的电压）。高电阻的另一个优势在于减少导线的影响，诸如由于导线电阻导致的电路不敏感，以及由温度波动引起的导线电阻变化导致的信号不稳。同样的，当应变计环路包含开关、滑环或其他电阻随机变化源时，在同样的工作电压下，高电阻能够提高信噪比。

在实验应力分析中，单栅应变计通常仅用于测试点应力状态已知为单轴，而且主轴方向的精度误差合理( $\pm 5^\circ$ )的情况。

这些规则严重限制了单栅应变计在应力分析中的应用意义。使用单栅片无法考虑到双轴应力状态，将导致推算出的应力大小存在巨大误差。

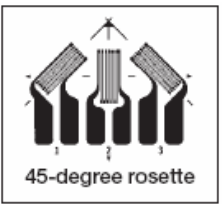
对于一个双轴应力状态——通常应变测量必需的情形——双栅或三栅的应变花被用来确定主应力。若已知应力主轴方向，可以使用一个双栅90度（或T）应变花，将栅格的轴与主轴对齐来测量。主轴方向有时可以从诸多因素中足够准确的找到。例如，从测试物体的外形和加载的类型，可能从对称的情形明显辨别出主轴方向，比如圆柱形压力容器。主轴也可以用光应力检测方法找到。



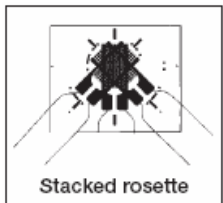
当使用应变花时，必须认真考虑单层应变花和层叠应变花之间的性能差异。对于任意给定栅长，单层应变花总是在许多方面优于层叠应变花，包括与测试件之间的热传导，通常为静态测量提供更好的稳定性和精度。此外，当测试表面存在一个明显的直应变梯度时（比如弯曲），单层应变花将提供更精确的应变数据，因为它所有的栅格几乎在同一个测试平面上。还有一点，比起单层应变花，层叠应变花通常在贴合测试表面轮廓上更困难。



表面应力最普通的情况是，从其他因素无法推断主轴方向，此时必须用三栅应变花来获得主应力大小。应变花可以按任意方向安装，但通常将它的一个栅格沿着测试物体的某一明显的方向安装。三栅应变花有两种可供选择，45度矩形，和60度三角结构。通常的选择是矩形应变花，因为这种结构在数据处理上相对简单。



另一方面，经常发生这样的情况，当测试平面存在很大的应变梯度时，单层应变花会因为各个栅格的数据采自不同的点而产生误差。对于这样的应用，层叠应变花通常更适合。而且当安装应变花的空间有限时，层叠应变花也有优势。



### 2.6 可选项

Vishay Micro-Measurements为应变计和特殊传感器提供了可选组合。在本应变计结构之上额外附加的选项通常会增加成本，但获得的好处足以弥补支出。例如：

- 显著减少了安装时间和成本
- 降低了必需的技术要求而获得可靠的安装
- 增强了应用的可靠性
- 简化了不同位置或在野外的安装
- 增强了保护性，既在安装操作中，也在测试环境中
- 达到特殊性能特点

下表是提供的可选项概要。

#### 标准可选项目录

选项	说明
W	接线端子+覆盖
E	覆盖+裸露焊盘
SE	焊接点+覆盖
L	预接引线
LE	预接引线+覆盖

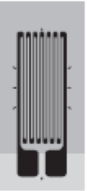
可选项会根据不同系列和不同式样而不同。标准的可选项请参考我们的《应变计数据手册》。

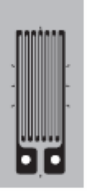
可选项 <b>W</b>	系列：EA, EP, WA, ED, WD, EK, WK
--------------	-------------------------------

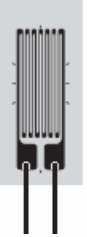
**概述：**此选项提供了覆盖，并在应变计的焊盘端接上薄印刷线路端子。铍铜跳线连接端子与焊盘。端子为厚度0.0014 in [0.036 mm]的铜，附着于厚度0.0015 in [0.038 mm]的聚酰亚胺底上。W应变计韧并有很好的防护，允许直接连接比开放式应变计更大的导线。该选项主要应用于EA系列的普通应用。

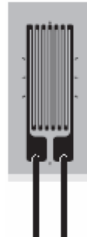
**焊料：**+430°F [+220°C]锡-银合金焊料，用于E底，+570°F [+300°C]铅-锡-银合金焊料，用于W底。**温度限制：**+400°F [+200°C]E底，+500°F [+260°C]W底。**栅格防护：**整个栅格和部分端子用聚酰亚胺覆盖。**疲劳寿命：**损失一定的疲劳寿命，除非端子区加载应力低于±1000με。**尺寸：**可选项W从焊盘端延长了应变计，因此增大了尺寸。对于某些式样，宽度也有轻微增加。**应变范围：**对有些系列，特别是E底片，应变范围会减少。最明显的是EP片，它最好尽可能避免采用可选项W。**柔韧性：**可选项W添加了覆盖，使得应变计轻微变厚而硬。对曲面的贴合有所降低。在端子区，明显的变硬。**电阻公差：**E底片的电阻公差通常翻倍。

TECH NOTE

可选项 E	系列: EA, ED, EK, EP SUNSTAR传感与控制 <a href="http://www.sensor-ic.com/">http://www.sensor-ic.com/</a> TEL: 0755-83376549 FAX: 0755-83376182 E-MAIL: szss20@163.com
<p><b>概述:</b> 选项E提供了一层厚度约0.001 in[0.025 mm]的聚酰亚胺薄膜防护层, 少量的牺牲了柔软度, 而为栅格提供了极佳的防护。由于焊料被防止扩散到焊盘以外的部分, 焊接被极大的简化了。选项E保护栅格在安装过程中不受指纹或其他污染物质影响, 从而有效的保证长期稳定性。对于简单的静态加载测试, 更粗重的导线可以直接连接到焊盘上。在大多数情况下, 焊接导线后仍然应当覆盖辅助的防护料。<b>温度限制:</b> 没有降低。<b>栅格防护:</b> 整个栅格和部分端子被覆盖。<b>疲劳寿命:</b> 正确使用小的跳线连接, 可以轻易得到最佳耐久度。<b>尺寸:</b> 没有 变尺寸。<b>应变范围:</b> 应变范围会减少, 因为附加的聚酰亚胺覆盖会在应变计达到最大应变能力之前脱落。<b>柔韧性:</b> 可选项E应变计对曲面的贴合度几乎与开放式相同, 因为安装时不带任何附加引线或焊盘。<b>电阻公差:</b> 可选项E片的电阻公差通常翻倍。</p>	
	

可选项 SE	系列: EA, ED, EK, EP
<p><b>概述:</b> 选项SE提供了焊盘上的焊接点和整个应变计上覆盖一层厚度约0.001 in[0.025 mm]的聚酰亚胺薄膜的组合。在焊接点上去除了覆盖以提供连线通道。这类应变计非常柔软, 并且极好的防护了安装操作可能带来的损害。选项SE主要用于必需安装在受限制区 的小应变计, 因为导线可以通过外露的焊接点从各个方向接出。本选项不会增大。应变计尺寸。可选项SE有时可用于中等或低精度等级的微小传感器, 或是微小零件的应力分析。<b>焊料:</b> +570°F [+300°C]锡-银合金焊料。为保证长期稳定性, 可选项SE片必需采用无腐蚀性的(松香)助焊剂, 并且在接线完毕后要使用松香溶剂仔细清除所有残留的助焊剂。然后覆盖上防护涂料。<b>温度限制:</b> 没有降低。<b>栅格防护:</b> 整个应变计被覆盖。<b>疲劳寿命:</b> 正确使用小的跳线连接, 可以轻易得到最佳耐久度。<b>尺寸:</b> 没有 变尺寸。<b>应变范围:</b> 应变范围会减少, 因为附加的聚酰亚胺覆盖会在应变计达到最大应变能力之前脱落。<b>柔韧性:</b> 可选项SE应变计对曲面的贴合度几乎与开放式相同。<b>电阻公差:</b> 可选项SE片的电阻公差通常翻倍。</p>	
	

可选项 L	系列: EA, ED, EK, EP
<p><b>概述:</b> 选项L是为开放式聚酰亚胺 底应变计接上软性铜引线带。比起截面为圆形的引线, 使用引线带能够使应变计更薄更适用。同时, 引线带可以向任意需要的方向弯曲。<b>引线:</b> 通常大多数应变计引线带的尺寸为0.012宽 x 0.004 in厚[0.30 x 0.10 mm], 大约0.8 in [20 mm]长。<b>焊料:</b> +430°F [+220°C]锡-银合金焊料。<b>温度限制:</b> +400°F [+200°C]。<b>疲劳寿命:</b> 通常可选项L会降低疲劳寿命。这主要是因为铜引线带的循环耐久度有限。可能的话小心的处理引线使其不处在在大应变区 , 则性能上将不受限制。选项L不常用于高耐久性应变计, 比如ED系列。<b>尺寸:</b> 应变计本体的尺寸没有 变。<b>应变范围:</b> 增加可选项L后应变范围会减少。<b>柔韧性:</b> 可选项L应变计的适用性不如标准应变计。<b>电阻公差:</b> 不受影响。</p>	
	

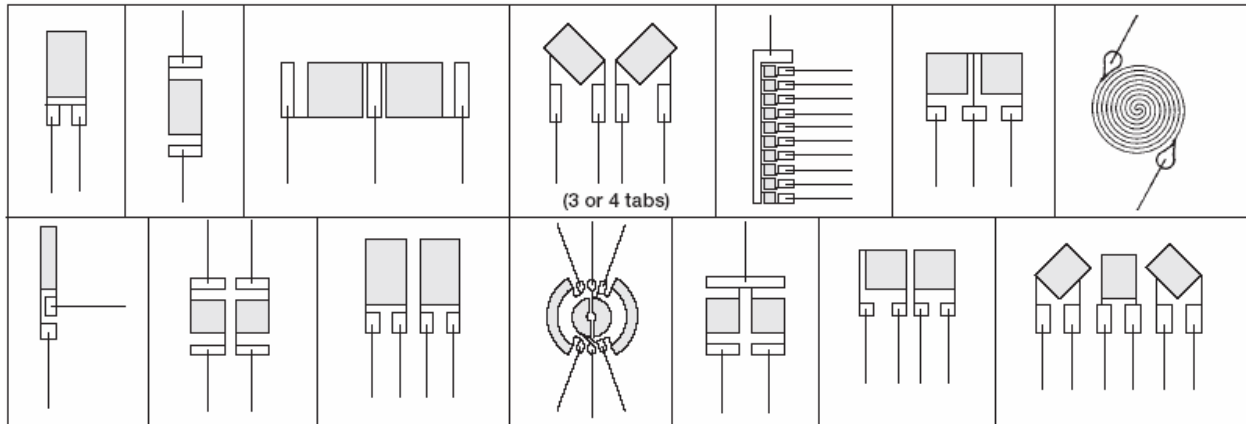
可选项 LE	系列: EA, ED, EK, EP
<p><b>概述:</b> 该选项提供了与选项L相同的软性铜引线带, 但增加了一层0.001 in[0.025 mm]厚的聚酰亚胺薄膜。安装操作过程中, 覆盖层提供了极好的防护, 同样也防护了外界环境影响。而在野外使用中, 额外的保护涂料仍然建议使用。可选项LE片安装后通常比“防水”的开放式应变计表现出更好的长期稳定性。很好的一部分原因在于, 覆盖层可以防止安装处理过程中指纹或其他物质污染栅格表面。即便随后覆盖上复合保护材料, 类似的污染物仍将会降低应变计稳定性。<b>引线:</b> 通常大多数应变计引线带的尺寸为0.012宽 x 0.004 in厚[0.30 x 0.10 mm], 大约0.8 in [20 mm]长。<b>焊料:</b> +430°F [+220°C]锡-银合金焊料。<b>温度限制:</b> +400°F [+200°C]。<b>栅格防护:</b> 整个应变计被覆盖。 底在引线端的一小部分没有覆盖, 以防止引线与测试表面接触。<b>疲劳寿命:</b> 通常可选项LE会降低疲劳寿命。这主要是因为铜引线带的循环耐久度有限。选项LE不常用于高耐久性应变计, 比如ED系列。<b>尺寸:</b> 最大尺寸没有 变。<b>应变范围:</b> 增加可选项LE后应变范围会减少。<b>柔韧性:</b> 可选项LE应变计的适用性不如标准应变计。<b>电阻公差:</b> 可选项LE片的电阻公差通常翻倍。</p>	
	



# 应变计的选择：标准、程序和建议

SUNSTAR传感与控制 <http://www.sensor-ic.com/> 电话: 0755-83376489 传真: 0755-83376182 E-MAIL: szss20@163.com

以下图表显示了可选项L和LE应变计与式样相关的引线标准方向。一般规则是引线的方向与式样最长的尺寸方向平行。这些图表同样可应用于WA-、WK- 和 WD-系列应变计的引线方向，若这些系列中有以下式样的话。



可选项 P	系列: EA, N2A
<p><b>概述:</b> 选项P是指为EA和N2A系列应变计的许多号预接导线与电缆。覆盖层密封了小“跳线”与应变计的连接，而绝缘皮保护了电缆末端的焊接。事实上选项P免去了安装过程中的焊接工作。<b>引线:</b> 一对1-in [25-mm]长M-LINE 134-AWP (铜芯, 聚氨酯涂面) “跳线”。<b>电缆:</b> 10 ft [3.1 m]长, 彩色扁平三线, 26 口径[0.404 mm], 多股镀锡铜芯, 乙烯绝缘 (类似M-LINE 326-DFV)。<b>焊料:</b> +430°F [+220°C]锡-银合金焊料。裸露的电缆头已预镀锡以方便使用。<b>温度限制:</b> -60° ~ +180°F [-50° ~ +80°C]; 受限制于电缆的乙烯绝缘皮。<b>栅格防护:</b> 整个应变计及焊盘按选项E覆盖。<b>疲劳寿命:</b> 通常可选项P会降低疲劳寿命, 这主要是因为铜“跳线”的循环耐久度有限。<b>可选号:</b> 大多数EA和N2A系列单栅片, 栅长0.062 in [1.5 mm]或以上, 在应变计一端焊盘平行, 并且适合覆盖。(对于哪些号可选, 以及定制非标准长度电缆, 请询问我们的应用工程部。) <b>尺寸:</b> 尺寸没有变。<b>应变范围:</b> 增加可选项P后应变范围通常会减小。<b>柔韧性:</b> E底带选项P应变计的适用性不如标准应变计。<b>电阻变化:</b> 电缆每个导体的单位电阻0.04 ohm/ft [0.13 ohm/m], 而应变计电阻在焊盘上测量得到。<b>灵敏系数:</b> 应变计的灵敏系数未算入电缆的影响。</p>	

可选项 P2	系列: CEA
<p><b>概述:</b> 选项P2是指为CEA系列应变计预接电缆。事实上选项P2免去了安装过程中的焊接工作。<b>电缆:</b> 10 ft [3.1 m]长, 彩色扁平三线, 30口径[0.255 mm], 多股镀锡铜芯, 乙烯绝缘 (类似M-LINE 330-DFV)。<b>焊料:</b> +361°F [+180°C]锡-银合金焊料。裸露的电缆头已预镀锡以方便使用。<b>温度限制:</b> -60° ~ +180°F [-50° ~ +80°C]; 受限制于电缆的乙烯绝缘皮。<b>栅格防护:</b> 整个应变计已覆盖。(焊盘未覆盖)。<b>疲劳寿命:</b> 通常可选项P2不变疲劳寿命。<b>可选号:</b> 大多数CEA系列单栅和多栅号。<b>尺寸:</b> 尺寸没有变。<b>应变范围:</b> 等同于CEA系列。<b>柔韧性:</b> 对柔韧性的变忽略不计。<b>电阻变化:</b> 电缆每个导体的单位电阻0.11 ohm/ft [0.36 ohm/m], 而应变计电阻在焊盘上测量得到。<b>灵敏系数:</b> 应变计的灵敏系数未算入电缆的影响。</p>	

TECH NOTE

SUNSTAR自动化 <http://www.sensor-ic.com/> TEL: 0755-83376489 FAX:0755-83376182 E-MAIL: szss20@163.com

## 2.7 EA系列应变计标准可选项的特性

如同应变计选择的其他方面，可选项的选择通常也涉及各种选择。例如，一个可以最大化类似疲劳寿命这样的性能参数的选项，可能同时会对安装过程提出更高的技术要求。由于安装难度和性能参数之间有许多涉及选项的相互作用，下面的表格归纳了关于各标准选项的相对优点以帮助选择。作为对比，CEA系列的相应性能列在表格的最右面。

在为应力分析所做的应变测量中，标准可选项最常应用于EA系列应变计，因此这一节所提供的信息主要是针对这类选项应用的。

当试图应用带可选项的EA系列应变计时，首先应当考虑的常常是，是否有同等功能的CEA系列应变计能满足测

试需求。例如，比较一个带选项W的EA系列片和一个类似式样的CEA系列片，你会发现后者不仅更廉价，而且更为柔软易贴合，并具备更好的疲劳寿命。可选项W的唯一可能优点在于，具有更多的式样可供选择，以及偶尔需要大的焊接端子。

同样需要注意的是，许多标准应变计类（不带可选项的），通常备有库存；而带可选项的往往通过订单生产，并且可能会涉及最小订购量的要求。

下表中，开放式不带可选项的EA系列应变计的各性能参数姑且指定为5。数字大于5，代表某选项善了某性能参数，反过来数字小于5则代表降低了性能。

安装难度 或性能参数	标准可选项					CEA 系列
	W	E	SE	L	LE	
综合安装难度	8	7	6	5	6	10
接线难度	10	8	7	7	8	10
保护栅格不受环境破	8	8	8	5	8	8
循环应变耐久度	2	7	8	3	4	4
延伸极限	2	3	3	4	3	3
电阻公差	3	3	3	5	3	3
加固效果	2	3	3	5	3	3

## 3.0 选择程序

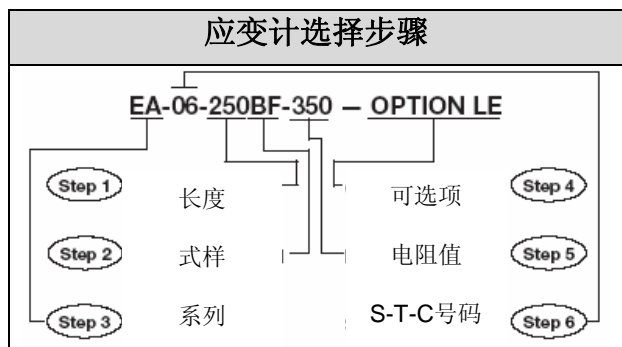
在任意一个应用中，应变计的性能都受到设计和制造中的每个要素影响。Vishay Micro-Measurements提供多种多样的应变计型号以满足最广泛的应变测试需要。除去大量的参数需要考虑，应变计选择过程可被简化为一些基本的步骤。下表解释了应变计命名编码，显然，除了可选项，一共有五个参数需选择：应变计系列，S-T-C号码，

栅格长度和式样，以及电阻值。

在上述参数中，栅格长度和式样通常是首先和第二做出的选择，至于可供安装的空间大小，以及应力主轴方向和预期应变梯度。一个很好的出发点是，对于栅长的最初考虑是0.125 in [3 mm]。这一尺寸为剩余的参数，诸如式样、系列和电阻值，提供了最宽选择范围。这类应变计及其焊盘大小足以方便的操作和安装。同时，这样大小的栅长能够提供比得上更大尺寸的性能。

选择长应变计的主要原因通常是以下之一：(a)更大的栅格区提供更好的散热；(b)在非均匀材料诸如纤维增强复合材料上测平应变；或者(c)稍许简化操作和安装（栅长最大到0.50 in [13 mm]）。另一方面，更小的栅长可能会需要在测试对象是邻近应力集中区的峰值应变，比如小孔或关节。而在可供安装的空间非常有限时，显然同样需要用到小栅长。

TECH NOTE



选择栅格式样。首先考虑的是需要单栅应变计还是应变花（见2.5节）。单栅格可以提供不同外形（长-宽）比率，以及各种焊盘安排，能够适用不同的安装需求。双栅90度应变花，当适用时，也能提供一系列不同栅格和焊盘结构。对于三栅应变花（矩形或三角形），当栅长已被决定之后，首先需要考虑的是选择单层的还是层叠的结构，如同2.5节里所述。

我们《应变计数据手册》的格式设计成可以简单的选择栅格长度和式样。类似式样不同栅长的应变计被归为大组，并按大小顺序排列。主清单（大图）中的应变计最广泛用于应力分析应用。当需要选择一款适合的应变计时，这一节应当总是首先被考虑。

当最初选择栅格尺寸和式样完成后，下一步是选择应变计系列，即决定金属箔和底组合，以及其他与系列相关的特性。完成这一过程，可以通过先前图表所列的，对于特殊或一组测试需求给出的建议。如果应变计系列可以添加可选项，此时选项应当试验性的被指定，因为被选择的应变计式样所需选项，需要下一段落中简述的过程来确定。

选择好应变计系列（以及可选项，如果有的话），将再次参考我们的《精密应变计数据手册》，在推荐的系列中查找所需的应变计的尺寸和式样。如果这一组合并未在我们的产品目录中，大小相同式样近似，或是式样等不同大小略有差异的一类，可以选择来满足安装和测试的要求。在极端的情况下，可能需要选择替代的系列，并重复这一选择过程。经常发生的，特别是在常规应变测试中，不止一种栅格尺寸和式样的组合适合指定的测试条件。这类情况下，明智的做法是从主清单（大图）中选择应变计，以避免可能的延期交货或最小订单要求。

正如2.5节栅格式样中所讨论的那样，在仪器适用的情况下，选择350欧姆的电阻值通常具有很多优点。但是，这一选择可能会受到价格因素的影响，特别对于非常小的应变计来说。同时，高电阻的小应变计的疲劳寿命相对更底。最后，在完整的应变计命名中，应当根据本文中每种合金的可选S-T-C号码列表，选出相应的号码。

这样便完成了应变计选择程序。对于程序中的每一个步骤，4.0节提供的《应变计选择清单》可提供帮助，用来清算测试条件和影响选择的各种要求。

#### 4.0 应变计选择清单

本清单提供了一种方便快捷的手段，来帮助确定没有任何关键的要求被忽视而影响到选择结果。使用本清单所需要明确的是，所列的考虑项适用于常规的和传统的应力分析情况，并不包含特殊应用，包括核辐射，强磁，极端离心力，等类似情况。

#### 供考虑的参数选择

##### 选择步骤: 1

参数: 栅格长度

- 应变梯度
- 区内最大应变
- 精度要求
- 静态应变稳定性
- 最大延长量
- 循环耐久度
- 散热
- 安装空间
- 安装难度

##### 选择步骤: 2

参数: 栅格式样

- 应变梯度（水平及 直于表面）
- 二轴应力
- 散热
- 安装空间
- 安装难度
- 可选的电阻值

##### 选择步骤: 3

参数: 应变计系列

- 应变测试应用类（静态，动态，屈服，等等）
- 工作温度
- 测试持续时间
- 循环耐久度
- 精度要求
- 安装难度

##### 选择步骤: 4

参数: 可选项

- 应变测试应用类（静态，动态，屈服，等等）
- 安装环境 - 实验室或野外
- 稳定性要求
- 测试面焊接敏感度（塑料，骨骼，等等）
- 安装空间
- 安装时间限制

##### 选择步骤: 5

参数: 电阻值

- 散热
- 导线降低电路敏感度
- 信噪比

##### 选择步骤: 6

参数: S-T-C号码

- 测试件材料
- 工作温度范围
- 精度要求

## 5.0 应变计选择案例

这一节里，给出了三个典型的应力分析中应变计选择程序的例子，试图解释做出特殊选择的主要原因。但是，需要注意的是，富有经验的应力分析专家通常并不遵循这些例子中所说明的按部就班的方式。相反的，专家会同时考虑测试条件和环境、安装条件、以及测试要求，然后回顾我们的《应变计数据手册》，并从合适大小的栅格式样和系列中，迅速筛选候选号。于是，选择标准从特殊应变测试任务，集中到测试程序所需的应变计。不管形式上还是其他，知识渊博的专业人员确实是这样，根据参数选项来选择，比如前述清单中的项目。

### A. 压力容器的设计研究

在一个压力容器的缩小比例塑料模上进行应变测试。这个模将进行室温，或接近室温的静态测试；并且，尽管整个测试将可能持续数月，但每个单独测试只会运行数小时。



#### 应变计选择:

1. **栅格长度**——应当避免非常短的栅长，以减小塑料的低导热能力导致的散热问题。模很大，显然没有严重的应变梯度；因此，指定0.25 in [6.3 mm]的栅长，因为在这一尺寸下有最宽泛的式样供选择。
2. **栅格式样**——在模的某些区，从对称的角度考虑，应力主轴的方向很明显，因而可以使用单栅片。在已选定的栅长下，可供选择的式样中，250BF是一个很好的折衷，因为它的高电阻值将有利于最小化散热问题。在模的其他区，主轴方向未知，因此需要三栅应变花。为此，应当选择一个“平面的”应变花，因为层叠应变花将明显的加固结构和导致散热问题。由于电阻值较高，250RD是个很好的选择。

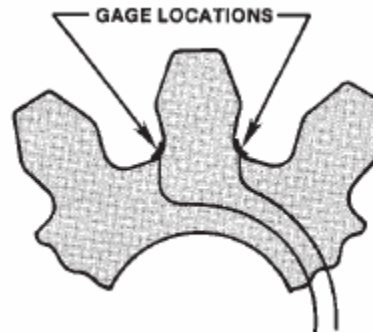
3. **应变计系列**——选择聚酰亚胺(E)底，因为低性模量将使对塑料模的加固最小化。通常用作静态应变测量的栅格合金材料是A合金，因此这个应用应当选择EA系列。
4. **可选项**——接引线过程中测试模的过热将会损坏材料。因此选择选项L(预接引线)，从而使得仪器的电缆能够直接连上引线而完全不需要使用电烙铁。选项L优于选项LE和P，因为后两者的覆盖将会加固结构。
5. **电阻值**——在这个案例中，电阻值由第二步决定，选择栅格式样导致选择较高的电阻；也就是，选择250BF而非250BG，以及250RD而非250RA。因此，选择的电阻值为350欧姆。
6. **S-T-C 号码**——理想情况是，应变计应当能够与模的材料相配而自我温度补偿，但这并不总是可行的，因为塑料——特别是增强塑料——热膨胀系数变化范围很广。对于未增强塑料，通常选择S-T-C30, 40或50。如果模材料和S-T-C材料必然存在错配，那么应当选择S-T-C13(因为库存状况)，并且在恒温下完成测试。

#### 应变计名称:

通过上述步骤，所选择的应变计是：  
EA-30-250BF-350/Option L (单栅)  
EA-30-250RD-350/Option L (应变花)

### B. 动态应力分析研究 水泵正齿轮

应变测量是在水泵运行时测试齿轮的齿部。齿部的圆角半径为0.125 in (或约3mm)，测试温度范围预期0° ~ +180°F [-20° ~ +80°C]。



#### 应变计选择:

1. **栅格长度**——考虑到圆角半径，这个应用中小的栅长应当被指定。栅长应当选取0.015 in [0.38 mm]，但是我们的《应变计数据手册》指出，这样的选择将严格限制可用的栅格式样和合金材料。考虑到步骤2和3可能会遇到麻烦，这里选择栅长0.031 in [0.8 mm]。



