**普通金属应变片常见参数和使用方法**

本文档简要的介绍了应变及应变片相关的内容，包括个人在使用中应变片的关键参数，查到的一些应变片品牌，以及应变片的使用技巧，尽管最终应变用的是淘宝货，但这些查阅的资料对应变片的选型和使用很有帮助。其中应变计基础知识引自章和电气。

**目录**

[关键参数 2](#_Toc438727797)

[应变计命名规则 2](#_Toc438727798)

[国产金属应变片举例 2](#_Toc438727799)

[应变片基础知识 3](#_Toc438727800)

[区分应力与应变的概念 3](#_Toc438727801)

[应变片的构造及原理 4](#_Toc438727802)

[惠斯通电桥概述 5](#_Toc438727803)

[温度补偿 7](#_Toc438727804)

[应变片粘贴 8](#_Toc438727805)

[残余应力的概念 11](#_Toc438727806)

[常见品牌： 13](#_Toc438727807)

## 关键参数

### 应变计命名规则

常见应变计命名规则



应变计命名规则

### 国产金属应变片举例

|  |  |
| --- | --- |
| **高精应变片（如BF120-3AA120）**  室温应变极限：20000 um/m  机械滞后：1.2 um/m  室温绝缘电阻：10000ＭΩ  基底材料：改性酚醛基底。  栅丝材料：康铜箔制成,全封闭结构。  灵敏系数： 2.1+-2% | **普通应变片 （如BX120-3AA120）**  室温应变极限：20000 um/m  机械滞后：1.2 um/m  室温绝缘电阻：10000ＭΩ  基底材料：酚醛  栅丝材料：康铜箔制成,全封闭结构。  灵敏系数： 2.1+-2% |

## 应变片基础知识

|  |  |
| --- | --- |
| 区分应力与应变的概念 | |
| **应力** | |
| 所谓“应力”，是在施加的外力的影响下物体内部产生的力。如图1所示：  在圆柱体的项部向其垂直施加外力P的时候，物体为了保持原形在内部产生抵抗外力的力——内力。该内力被物体（这里是单位圆柱体）的截面积所除后得到的值即是“应力”，或者简单地可概括为单位截面积上的内力，单位为Pa（帕斯卡）或N/m2。例如，圆柱体截面积为A(m2),所受外力为P(N牛顿)，由外力=内力可得，应力：  http://www.jumho.cn/images/strain/conception/image002.gif（Pa或者N/m2）  这里的截面积A与外力的方向垂直，所以得到的应力叫做垂直应力。 | http://www.jumho.cn/images/strain/conception/image001.jpg  图1 |

|  |  |
| --- | --- |
| **应变** | |
| 当单位圆柱体被拉伸的时候会产生伸长变形ΔL，那么圆柱体的长度则变为L+ΔL。这里，由伸长量ΔL和原长L的比值所表示的伸长率（或压缩率）就叫做“**应变”**，记为ε。 | http://www.jumho.cn/images/strain/conception/image004.jpg |
| http://www.jumho.cn/images/strain/conception/image005.gif |
| 与外力同方向的伸长(或压缩)方向上的应变称为“轴向应变”。应变表示的是伸长率（或压缩率），属于无量纲数，没有单位。由于量值很小(1×10-6百万分之一)，通常单位用“微应变”表示，或简单地用μE表示。  而单位圆柱体在被拉伸的状态下，变长的同时也会变细。直径为d0的棒产生Δd的变形时，直径方向的应变如下式所示：  http://www.jumho.cn/images/strain/conception/image006.gif  这种与外力成直角方向上的应变称为“横向应变”。轴向应变与横向应变的比称为泊松比，记为υ。每种材料都有其固定的泊松比，且大部分材料的泊松比都在0.3左右。  http://www.jumho.cn/images/strain/conception/image007.gif | |

|  |  |
| --- | --- |
| **应力与应变的关系** | |
| 各种材料的应变与应力的关系已经通过实验进行了测定。图2所示为一种普通钢材（软铁）的应力与应变关系图。根据胡克定律，在一定的比例极限范围内应力与应变成线性比例关系。对应的最大应力称为**比例极限**。 | http://www.jumho.cn/images/strain/conception/image003.jpg  图2 |
| http://www.jumho.cn/images/strain/conception/image008.gif 或者 http://www.jumho.cn/images/strain/conception/image009.gif |
| 应力与应变的比例常数E 被称为弹性系数或扬氏模量，不同的材料有其固定的扬氏模量。 |
| 综上所述，虽然无法对应力进行直接的测量，但是通过测量由外力影响产生的应变可以计算出应力的大小。 | |

|  |
| --- |
| 应变片的构造及原理 |
| **应变片的构造** |
| 应变片有很多种类。一般的应变片是在称为基底的塑料薄膜（15-16μm）上贴上由薄金属箔材制成的敏感栅（3-6μm），然后再覆盖上一层薄膜做成迭层构造。 |
| http://www.jumho.cn/images/strain/structure/image010.jpg |

|  |
| --- |
| **应变片的原理** |
| 将应变片贴在被测定物上，使其随着被测定物的应变一起伸缩，这样里面的金属箔材就随着应变伸长或缩短。很多金属在机械性地伸长或缩短时其电阻会随之变化。 应变片就是应用这个原理，通过测量电阻的变化而对应变进行测定。一般应变片的敏感栅使用的是铜铬合金，其电阻变化率为常数，与应变成正比例关系。即： |
| http://www.jumho.cn/images/strain/structure/image011.gif |
| 其中，R：应变片原电阻值Ω（欧姆）  ΔR：伸长或压缩所引起的电阻变化Ω（欧姆）  K：比例常数(应变片常数)  ε：应变  不同的金属材料有不同的比例常数K。铜铬合金的K值约为2。这样，应变的测量就通过应变片转换为对电阻变化的测量。但是由于应变是相当微小的变化，所以产生的电阻变化也是极其微小的。  要精确地测量这么微小的电阻变化是非常困难的，一般的电阻计无法达到要求。为了对这种微小电阻变化进行测量，我们使用带有惠斯通电桥的专用应变测量仪。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 惠斯通电桥概述 | |
| **惠斯通电桥** | |
| 惠斯通电桥适用于检测电阻的微小变化，应变片的电阻变化就用该电路来测量。如图1所示，惠斯通电桥由四个同等阻值的电阻组合而成。  如果:  http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image012.gif 或 http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image013.gif  则无论输入多大电压，输出电压总为0，这种状态称为平衡状态。如果平衡被破坏，就会产生与电阻变化相对应的输出电压。如图2所示:  将这个电路中的R1与应变片相连，有应变（形变）产生时，记应变片电阻的变化量为ΔR，则输出电压的计算公式如下所示:  http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image016.gif，即：http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image017.gif  上式中除了ε均为已知量，所以如果测出电桥的输出电压就可以计算出应变的大小。 | http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image014.jpg  图1  http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image015.jpg  图2 |

|  |  |
| --- | --- |
| **双应变片法（半桥）** | |
| 如图3,4所示，在电桥中连接了两枚应变片，共有两种联入方法。 | |
| http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image018.jpg 图3 | http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image019.jpg 图4 |
| 四条边中有两条边的电阻发生变化，根据上面的四应变片法的算法可得输出电压的公式。图3为：  http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image020.gif  或  http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image021.gif  图4为：  http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image022.gif  或  http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image023.gif  也就是说当联入两枚应变片时，根据联入方式的不同，两枚应变片上产生的应变或加或减。 | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **四应变片法（全桥）** | | | |
| 四应变片法是桥路的四边全部联入应变片，在电子行业的应变测量中不经常使用，但常用于桥梁、建筑中，如下图所示。  当四条边上的应变片的电阻分别引起如R1+ΔR1、R2+ΔR2、R3+ΔR3、R4+ΔR4的变化时：  http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image025.gif | | http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image024.jpg | |
| 若四枚应变片完全相同，比例常数为K，且应变分别为ε1、ε2、ε3、ε4,则上面的式子可写成下面的形式:  http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image026.gif | | | |
| **双应变片（半桥）用途** | | | |
| 如图1 所示，同时对悬臂梁施加使其弯曲和伸长的两个作用力，在梁的上下表面对应的位置分别贴上一枚应变片，再联入桥路的相邻边或相对边就可以测知分别由弯曲和伸长所产生的应变。由于悬臂梁的弯曲，在应变片①上产生拉伸应变（正），在应变片②上产生压缩应变（负）。因为两枚应变片与梁的末端距离相同，所以虽然二者的正负不同，但绝对值的大小相同。这样，如果只想测量由于弯曲产生的应变，则如图2所示，将①，②联入电桥的相邻边。 | | | |
| http://www.jumho.cn/images/strain/double/image027.jpg 图1 | http://www.jumho.cn/images/strain/double/image028.jpg 图2 | | |
| 输出电压为：  http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image021.gif  因为当拉伸作用在应变片①，②上时，会同时产生大小相等的正应变，所以上述公式括号中的项等于零。另一方面，由于弯曲变形而在应变片①，②上产生的应变大小相等，符号相反，从数学角度看括号中的项变为每枚应变片上产生的应变的2倍，从而可以测得由于弯曲而产生的应变。若如图c 所示，将应变片联入桥路的相对边，则输出电压 | | | |
| http://www.jumho.cn/images/strain/CharlesWheatstone/image023.gif  与上例相反，这种情况下，由于弯曲应变所产生的输出电压为零，由于拉伸应变所产生的输出电压变为每枚应变片所产生的电压的2倍。也就是说如图c所示联接即可测得仅由拉伸作用所产生的应变。 | http://www.jumho.cn/images/strain/double/image029.jpg | | |
| 温度补偿 | | | |
| 在应变测量中会遇到一个问题，那就是温度对应变的影响。因为被测定物都有自己的热膨胀系数，所以会随着温度的变化伸长或缩短。因此如果温度发生变化，即使不施加外力贴在被测定物上的应变片也会测到应变。为了解决这个问题，可以应用温度补偿法。 | | | |
| **动态模拟法（双应变片法）** | | | |
| 这是使用两枚应变片的双应变片法。如图a 所示，在被测物上贴上应变片（A）,在与被测物材质相同的材料上贴上应变片（D）,并将其置于与被测物相同的温度环境里。如图所示，将两枚应变片联入桥路的相邻边，这样因为（A）,（D）处于相同的温度条件下，由温度引起的伸所量相同，即由温度引起的应变相同，所以由温度引起的输出电压为零。  **自我温度补偿法**  从理论上讲，动态模拟法是最理想的温度补偿法。但是粘贴两枚应变片所费劳力和模拟物的放置场所的选择等问题。为了解决这个问题，可以使用只用一枚应变片即可进行温度补偿的自我温度补偿应变片。  这种方法根据被测物材料的热膨胀系数的不同来调节应变片敏感栅，因此使用适合被测物材料的应变片就可以仅用一枚应变片对应变进行测量，且不受温度的影响。除了特殊的情况，现在基本上都使用自我温度补偿型应变片。 | | | http://www.jumho.cn/images/strain/TemperatureCompensation/image030.jpg 图1 |

|  |  |
| --- | --- |
| **自我温度补偿片的原理** | |
| 在热膨胀系数为βs的被侧物表面贴上敏感栅热膨胀系数为βg的应变片。则温度每变化1℃，其所表现出来的应变εT如下式所示：  http://www.jumho.cn/images/strain/TemperatureCompensation/image031.gif  其中，α：电阻元件的温度系数；K5： 应变片的应变片常数  上式中，K5为由敏感栅材料决定的应变片常数，βs、βg分别为由各自材料决定的被测物与敏感栅的热膨胀系数，这三项均为定值，则通过调整α就可以使由温度引起的应变变为零。此时，  http://www.jumho.cn/images/strain/TemperatureCompensation/image032.gif  在箔材的制作过程中可以通过热处理对α的值进行控制。而且它是与特定的被测物的热膨胀系数βs相对应的，如果用在不适用的被测物时，不仅不会补偿温度引起的应变还会引起较大的测量误差。 |  |
| **导线的温度补偿** | |
| 使用自我温度补偿片可以解决应变片所受的温度影响问题。但是从应变片到测量仪之间的导线也会受到温度的影响，这个问题并没有解决。如图a所示单应变片双线的联接方式将导线的电阻全部串联入了应变片中。导线较短时不会有太大的问题，但如果导线较长就会产生影响。  http://www.jumho.cn/images/strain/wireTC/image033.gif  为了减小导线的影响，可以使用3 线联接法。如图b所示，在应变片导线的一根上再联上一根导线，用3根导线使桥路变长。  http://www.jumho.cn/images/strain/wireTC/image034.gif  这种联接方式与双线式不同的地方是导线的电阻分别由电桥的相邻两边所分担。图b 中，导线电阻r1串联入了应变片电阻Rg，r2串联入了R2，r3成为电桥的输出端。这样，就几乎不会产生什么影响了。 | |

|  |
| --- |
| 应变片粘贴 |
| 应变片的粘贴方法根据应变片，粘贴剂，使用环境的不同而不同。这里以常温室内测量为例。选用普通型应变片（带有导线的KFG 应变片），速干性粘贴剂（氰基丙烯酸盐酸粘合剂系列CC-33A），低碳钢试验片。 1、**选择应变片** http://www.jumho.cn/images/clip_image002_0003.jpg 根据被测物与目的选择应变片的种类及长度，参考应变片热膨胀系数，选择适用于被测物的应变片。  　　 2、**除锈，保护膜**http://www.jumho.cn/images/clip_image004.jpg 将应变片所要粘贴的部位（ 范围要大于应变片的面积）用砂布（#200～300）打磨，直到除去涂漆，锈迹及镀金等。  　　 3、**确定粘贴位置**http://www.jumho.cn/images/clip_image006.jpg 在需要测量应变的位置沿着应变的方向做好记号。使用4H 以上的硬质铅笔或划线器，注意在使用划线器时，不要留下深的刻痕。  　　 4、**对粘贴面的脱脂和清洁**http://www.jumho.cn/images/clip_image008.jpg 用工业用薄纸蘸丙酮溶液对要粘贴应变片部位进行清洁。在清洁过程中，沿着一个方向用力擦拭，然后再沿着相同方向擦拭。如果来回擦拭会使污物反复附着，无法擦拭干净。 　　 5、**涂粘贴剂**http://www.jumho.cn/images/clip_image010.jpg 首先要确认好应变片的正反面。向应变片的背面滴一滴粘贴剂（CC-33A）。如果涂抹粘贴剂的话，先涂抹部分的粘贴剂会出现硬化，使粘性下降。因此不使用涂抹的方式。 　　 6、**粘贴**http://www.jumho.cn/images/clip_image012.jpg 将滴有粘贴剂的应变片立即粘在所作记号的中心位置。 　　 7、**加压** http://www.jumho.cn/images/clip_image014.jpg 在置于粘贴位置的应变片上面盖上附带的**聚乙烯树脂**片，并在上面用手指加压。  步骤5，6，7要连贯快速地进行。将放好的应变片取下调整位置重新粘贴时会使粘性极大地下降。 　　  8、完成  http://www.jumho.cn/images/clip_image016.jpg 加压一分钟左右，取下聚乙烯树脂片，确认是否已粘贴牢固。  这样整个粘贴过程结束。为了达到更好的效果，最好将应变片放置60 分钟左右等粘贴剂完全硬化后再使用。 | |

|  |
| --- |
| 残余应力的概念 |
| 构件在制造过程中，将受到来自各种工艺等因素的作用与影响；当这些因素消失之后，若构件所受到的上述作用与影响不能随之而完全消失，仍有部分作用与影响残留在构件内，则这种残留的作用与影响称为残余应力。  残余应力是当物体没有外部因素作用时，在物体内部保持平衡而存在的应力。  http://www.jumho.cn/images/solve/ResidualStress/2.jpg  **残余应力的作用**  机械零部件和大型机械构件中的残余应力对其疲劳强度、抗应力腐蚀能力、尺寸稳定性和使用寿命有着十分重要的影响。  在制造过程中，对于一个成品零件或大型构件，适当的、分布合理的残余压应力可能成为提高疲劳强度、提高抗应力腐蚀能力，从而延长零件和构件使用寿命的因素；而不适当的残余应力则会降低疲劳强度，产生应力腐蚀，失却尺寸精度，甚至导致变形、开裂等早期失效事故。所以，一个构件残余应力状态如何，是设计者、制造者和使用者共同关心的问题。  http://www.jumho.cn/images/solve/ResidualStress/4.jpg  http://www.jumho.cn/images/solve/ResidualStress/3.jpg  **残余应力的测量**  欲了解构件残余应力的分布，特别是一些比较复杂构件的残余应力分布，采用计算方法有时会遇到种种困难，譬如有时因缺乏材料的一些机械性质与物理性质的有关信息而导致计算工作无法进行。因此，采集实验测试方法是有实用意义的。  残余应力的测试方法很多，这里着重介绍最常用的通孔法。它在具有残余应力的构件上钻一个小孔，使孔的邻域内由于部分应力释放而产生相应的位移与应变，用残余应变片进行测量这些应变值，经换算得钻孔处原有的应力。  http://www.jumho.cn/images/solve/ResidualStress/5.jpg  详情请查看[章和电气汽车稳定杆残余应力测试解决方案](http://www.jumho.cn/solve/rstvsb.asp)  **残余应力的调整**http://www.jumho.cn/images/solve/ResidualStress/1.jpg  针对工件的具体服役条件，采取一定的工艺措施，消除或降低对其使用性能不利的残余拉应力，有时还可以引入有益的残余压应力分布，这就是残余应力的调整问题。  通常调整残余应力的方法有：  1.加热，即回火处理,利用残余应力的热松弛效应消除或降低残余应力。  2.施加静载，使工件产生整体或局部、甚至微区的塑性变形，也可以调整工件的残余应力。例如大型压力容器，在焊接之后，在其内部加压，即所谓的“胀形”，使焊接接头发生微量塑性变形，以减小焊接残余应力。  3.振动时效，英文叫做Vibration Stress Relief,简称VSR 。在国际上，工业发达国家起始于上世纪50年代，我国从70年代研究和推广。振动消除应力主要特点：  （1）、处理时间短；  （2）、适用范围广；  （3）、能源消耗少；  （4）、设备投资小，操作简便。  4.锤击、喷丸、滚压等。喷丸强化是行之有效、应用广泛的强化零件的手段，喷丸的同时也改变了表面残余应力状态和分布，而喷丸产生的残余压应力又是强化机理中的重要因素。 |

## 常见品牌：

如下品牌中会有比较全面的应变片型号，更有利于对选型

日本： 共 和（K Y W O A） http://www.kyowa.sh.cn/

德国： H\_B\_M http://www.hbm.com

(应力测试应变计，光纤传感器) LD20 - 极高应变

美国： V ishay

台湾： G\_C\_S