

## 传感器选型指南

### 一、概述

朗斯传感器按原理分类主要可分为两大类型：压电传感器和应变传感器。按被测量分类主要可分为四大类型：振动、冲击；压力；力及特型类。

**振动、冲击类：**朗斯的强项产品之一，在国内外享有盛誉。目前朗斯测量振动、冲击（加速度、速度和位移）类的传感器产品有 5 大系列，约 100 个型号，基本能够满足各种用途对振动、冲击的测量要求。振动、冲击（加速度、速度和位移）类的传感器 5 大系列是：

1. LC01 系列内装 IC 压电加速度传感器；
2. LC04 系列压电加速度传感器；
3. LC05 系列压电石英力传感器；
4. LC07 系列内装 IC 应变加速度传感器；
5. LC08 系列应变加速度传感器。

**压力传感器类：**LC09 系列应变压力传感器。为测量流体压强而专门设计，有电压输出、电流输出和频率输出三种输出型式，量程范围 1—200MPa。

**力传感器类：**LC05 系列压电石英力传感器和 LC11 系列应变力传感器。LC05 系列压电石英力传感器主要用于测量动态、短期静态的振动和冲击力，机械结构的拉伸和压缩力，量程范围 100kg—30t；LC11 系列应变力传感器主要用于工程中的静态拉伸和压缩力测量，量程范围 50kg—300t。

**特型类：**为解决用户使用中的一些特殊问题，方便用户使用，朗斯还生产多种特型传感器和传感器辅助产品。特型传感器如：座垫传感器、基桩动测传感器、防水密封型传感器和力锤等；传感器辅助产品如：磁力安装座（LC14 系

列)和附件(LC16系列)等。

## 二、工作原理及特点

### 1. 压电传感器

压电传感器是一种机电换能器,它利用压电元件---压电陶瓷、压电石英等的压电效应:当压电传感器受到力 $F$ (对于振动加速度传感器,这个力 $F=ma$ ,其中 $m$ -加速度传感器内部质量体质量, $a$ -振动加速度)作用后,其内部的压电元件上也受到同样大小的力 $F$ ,根据“压电效应”原理,压电元件的两面就产生一个与这个力 $F$ 成正比的电荷。

压电传感器特点:

- (1) 自生电荷、结构简单、坚固,安装方便;
- (2) 尺寸小、重量轻(最轻仅为0.2克)、寿命长;
- (3) 频率响应范围宽(可高达100kHz)、量程范围大(加速度计可高达100,000g);
- (4) 稳定性好,耐高温可达700°C;
- (5) 不适于静态测量。

### 2. 应变传感器

应变传感器主要由外壳、弹性元件和应变计所组成(应变加速度传感器内多一将加速度 $a$ 转化为力 $F$ 的质量体 $m$ )。当传感器感受力或加速度时,贴于弹性元件上的应变计在力 $F$ (感受加速度时力 $F=ma$ )的作用下,同弹性元件一起变形,根据应变计的应变效应原理,应变计将产生与这个变形成正比的电阻变化 $\Delta R$ 。一般在每个传感器上至少粘贴四片电阻应变计,将他们接成桥式测量电路,这个桥式测量电路可以灵敏而精确地测量 $10^{-3}$ - $10^{-6}$ 数量级的微小电阻变化。

应变传感器的特点:

- (1) 品种多, 尺寸小、重量轻, 制作方便;
- (2) 性能稳定, 精度高;
- (3) 低频响应好, 测量范围大, 静态动态信号都可测;
- (4) 受温度影响大, 需温度补偿;
- (5) 使用频率范围窄。

### 三、压电传感器的选择和安装

#### (一)传感器的选择

压电加速度传感器有许多种型号, 每一种型号都有自己特别适用的某些用途。为了获得高保真度的测试数据, 我们必须根据测试的使用要求, 选择最合适的压电加速度传感器。通常, 选择压电加速度传感器最主要的权衡因素是重量、频率响应和灵敏度。

##### 1. 重量

传感器作为被测物体的附加质量, 必然会影响其运动状态。如果加速度传感器的质量接近于被测物体的动态质量, 则被测物体的振动就会受到影响而明显减弱。对于有些被测构件虽然作为一个整体质量很大, 但是在传感器安装的局部, 例如一些薄壁结构, 传感器的质量已经可以与结构局部质量相比拟, 也将会使结构的局部运动状态受到影响。因此要求传感器的质量  $m_a$  远小于被测物体传感器安装点的动态质量  $m$ 。

由于传感器质量的影响, 会使被测构件的振动加速度  $a$  降低, 其降低的加速度  $\Delta a$  可用下式估算:  $\Delta a = a [ 1 - m / ( m_a + m ) ]$ 。

##### 2. 频率响应特性

低频响应特性：传感器用户手册给出的下限频率为-10%频响。LC01 系列内装 IC 压电加速度传感器的低频响应特性主要由内装 IC 电路芯片的下限频率和传感器的基座应变、热释电效应等环境特性决定；LC04 系列压电加速度传感器的低频响应特性主要由电荷放大器的下限频率和传感器的基座应变、热释电效应等环境特性决定。内装 IC 电路芯片和电荷放大器的下限频率取决于 RC 电路，也就是取决于放电时间常数 DTC（ $DTC = R \cdot C$ ，下降 3dB 低频  $f = 0.16/DTC$ ，下降 10%低频  $f = 0.34/DTC$ ，下降 5%低频  $f = 0.5/DTC$ ）。放电时间常数越大，信号衰减越慢，低频响应越好。放电时间常数不仅决定低频响应，而且决定放电时间。在实验室只测一两个点，放电时间为几秒或更长都可以，但是在工业现场进行多点测量则不一样。因此决定时间常数时必须兼顾低频响应和放电时间。基座应变、环境温度变化等环境干扰引起的输出通常在 5Hz 以下，因此，当测试信号频率在 5Hz 以上时，应将内装 IC 电路芯片和电荷放大器的下限截止频率置于 5Hz 以上，借以滤除压电传感器的热电等环境干扰引起的噪声输出。实验证明：当测试环境温度突然变化 30°C 时，LC0401(中心压缩结构)压电加速度的瞬变温度输出约为 1.5g；而 LC0406(隔离剪切结构)的瞬变温度输出仅为 0.15g。因此，当测试信号频率在 5Hz 以下时，应选择诸如隔离剪切结构等隔离基座应变、热释电效应等环境干扰性能好的加速度传感器。应变加速度传感器具有响应静态信号的特性。

高频响应特性：高频响应取决于公式  $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k/m}$ 。式中： $f_0$  — 谐振频率； $k$  — 敏感结构的组合刚度； $m$  — 质量块的大小。在敏感结构的组合刚度一定的前提下，质量块越大，谐振频率越低。一个大的质量块，产生高的机械增益，因此传感器的灵敏度高，噪声低。相反，一个小的质量块，产生低的机械增益，因此传感器的灵敏度低，输出小，但是频率范围宽，可测量较高的频率信号。

传感器用户手册给出的上限频率为+10%频响，大约为安装谐振频率的 1/3；如果要求上限频率误差为+5%，大约为安装谐振频率的 1/5。如果采用适当的校正系数，在更高的频率范围也能得到可靠的测试数据。

### 3. 灵敏度

灵敏度越高，在电路不放大的基础上，质量块越大（机械增益越大），传感器的输出越大，系统的信噪比越高，而抗干扰能力和分辨率也越强。陶瓷敏感元件有着非常高的信噪比，在没有电噪声的妨碍下，能测非常小的振动信号。但是就特定结构的传感器来讲，灵敏度越高，传感器的重量越大，量程和谐振频率也越低。

就量程来讲，对于电荷型输出的 LC04 系列压电加速度传感器，可以通过调节电荷放大器增益来调节量程范围；但对于 LC01 系列内装 IC 压电加速度传感器，满量程输出特性在传感器内已经固定，量程范围是不可调节的。目前比较流行的内装 IC 压电加速度传感器，它的激励电压为 18-30VDC，而且要求恒流供电 2-20mA，它的输出为叠加在直流偏压上的交流信号。直流偏压通常能被后接的信号调理器中的隔直电容隔掉，所以我们能直接读出它的交流信号，这个交流信号的最大输出一般为 5VAC。因此，一个直流偏压为 9.5VDC、灵敏度为 100 mV/g 的 LC01 系列内装 IC 压电加速度传感器，其量程（最大测量信号）是 50g。如果要增大量程范围，可通过降低灵敏度来实现，如一个灵敏度为 10mV/g 的 LC01 系列内装 IC 压电加速度传感器，其量程（最大测量信号）为 500g。

综上所述，灵敏度的选择受到重量、频率响应和量程的制约。一般来讲，在满足频响、重量和量程要求下，应尽量选择高灵敏度的传感器，这样可降低信号调理器的增益（采用×1 即可），提高系统的信噪比。

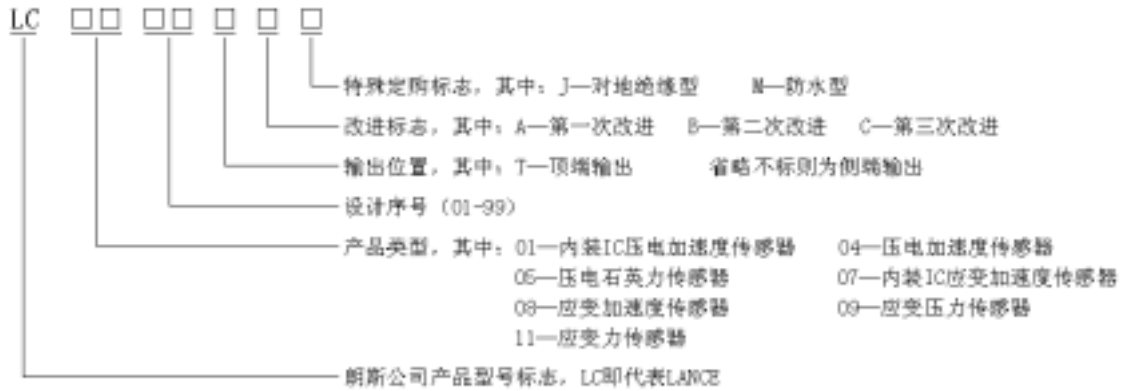
附 1:

内装 IC 压电加速度传感器（LC01 系列）  
与压电加速度传感器（LC04 系列）性能对比

传感器类型	优点	缺点
LC01 系列 内装 IC 压电加速度传感器	<p>(1) 低阻抗输出, 抗干扰能力强, 可以进行长电缆传输, 而不致引起噪声增加;</p> <p>(2) 可直接与内置恒流源的数据采集器连接;</p> <p>(3) 可以使用通用同轴电缆或丝线;</p> <p>(4) 性能价格比高, 多点测量, 总的系统价格较低;</p> <p>(5) 安装方便, 使用简单。</p>	<p>(1) 量程在传感器内已固定, 不可调节;</p> <p>(2) 温度范围不如电荷型 (LC04) 宽;</p> <p>(3) 放电时间常数 (DTC) 在传感器内部已固定;</p> <p>(4) 内装 IC 电路与传感器承受同样的测试环境。</p>
LC04 系列 压电加速度传感器	<p>(1) 可通过调节电荷放大器, 调节满量程输出;</p> <p>(2) 结构简单, 温度范围宽, 高温可达 250℃;</p> <p>(3) 电荷放大器远离测试环境, 外部环境对其影响小;</p> <p>(4) 互换性强, 可方便的与国内外电荷放大器和阻抗变换器配接。</p>	<p>(1) 在安装和使用时, 要特别注意对高阻输出的保护;</p> <p>(2) 外部必须配接电荷放大器;</p> <p>(3) 必须使用特殊的低噪声电缆;</p> <p>(4) 带长电缆 (大于 20 米时) 会引起高电容负载增加, 从而引起电荷放大器噪声增大。</p>

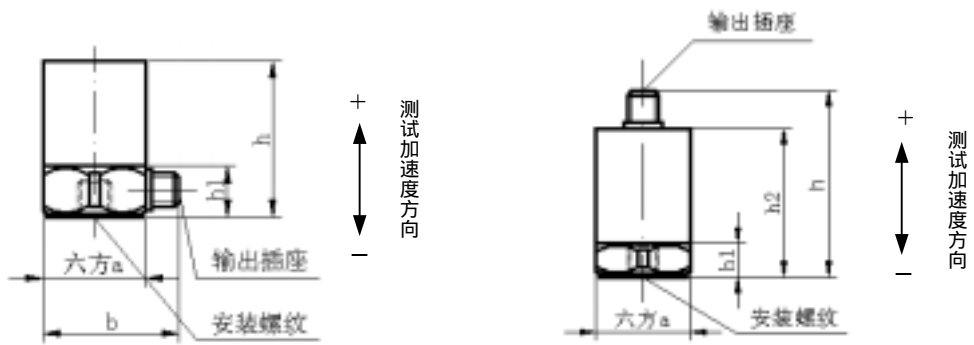
附 2:

传感器型号命名规则



(二) 传感器的安装

以单轴为例, 侧端输出外形如图 2 所示, 顶端输出外形如图 3 所示:



传感器的安装主要有四种方法: 螺钉安装、磁力安装座安装、胶粘剂粘接、探针安装。每种安装方式对高频都有影响。螺钉安装频率响应范围最宽, 而且是四种安装方法中最安全可靠的一种。其它三种安装方式都减小了高频响应范围。通过在传感器与安装表面间插入安装介质 (如: 磁力安装座、探针、胶粘剂), 一个安装谐振频率就产生了, 这个安装谐振频率小于传感器的固有频率,

降低了高频范围。传感器离测试点越远，安装谐振频率越低，可用的频率范围越低。

安装前应对传感器与被测试件接触的表面进行处理。表面要求清洁，平滑，不平度应小于 0.01mm，安装螺孔轴线与测试方向一致。如安装表面较粗糙时，可在接触面上涂些诸如：真空硅脂、重机械油、蜂蜡等润滑剂，以改善安装耦合从而改善高频响应。

测量冲击时，由于冲击脉冲具有很大的瞬态能量，故传感器与结构的连接必须十分可靠，最好用钢螺钉安装。

如现场环境（如安装在电机、发动机等电气噪声较大的设备上）需单点接地，以避免地电回路噪声对测量的影响，请采取使加速度传感器与构件绝缘的安装措施（如绝缘螺钉 LC1614），或选用能满足试验要求的其本身结构对地绝缘的加速度传感器（LC0105J、LC0403J 等）。

(1)螺钉安装：安装螺孔轴线与测试方向要一致，螺纹孔深度不可过浅，以免安装螺钉过分拧入传感器，造成基座弯曲而影响灵敏度。每只压电加速度传感器出厂时都配有一只钢制安装螺钉 M5（或 M3），用它将加速度传感器和被测试物体固定即可。M5 安装螺钉推荐安装力矩 20kgf.cm，M3 安装螺钉推荐安装力矩 6kgf.cm。安装后传感器与安装面应紧密贴实，不应有缝隙。螺钉安装示意图及频响曲线图如图 4、图 5 所示：

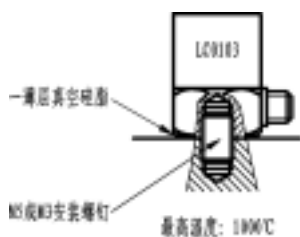


图 4 螺钉安装示意图

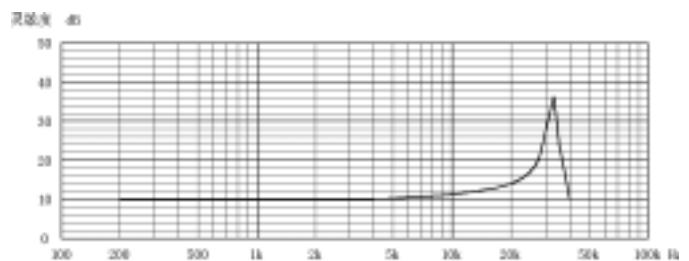


图 5 螺钉安装频响曲线图



(2)磁力安装座安装：磁力安装座分对地绝缘和对地不绝缘两种。在低频小加速度测试试验中，如被测物为不宜钻安装螺孔的试验件（如机床、发动机、管道等），磁力安装座提供了一种方便的传感器安装方法。如被测表面较平坦且是钢铁结构时，可直接安装；如被测表面不平坦或无磁力的，需在被测表面粘接或焊接一钢垫，用来吸住磁座。但在加速度超过 200g，温度超过 200℃时不宜采用。磁力安装座安装示意图及频响曲线图如图 6、图 7 所示：



图 6 磁力安装座安装示意图

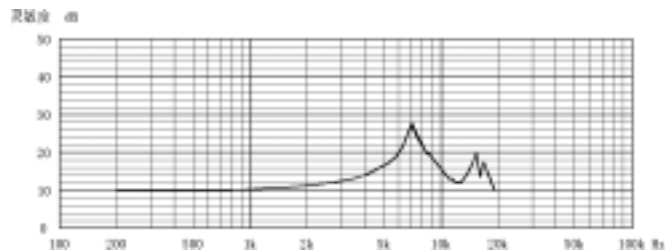


图 7 磁力安装座安装频响曲线图

(3)胶粘剂安装：可用多种胶粘剂粘接，胶接面要平整光洁，并需按胶接工艺清洗胶接面。目前常用的 502 胶粘接工艺如下：a. 先用 200-400# 砂纸对安装面进行打磨；b. 用丙酮或无水乙醇清洗打磨面，并彻底擦干；c. 于粘接部位滴适量的 502 快干胶，之后用手（或加压）将传感器压住几秒钟，待胶初步固化后松开手（或去掉压力），静置十几秒，使胶彻底固化达到胶接强度；d. 欲取下粘接在被测物体上的传感器，请先于粘合部位涂布丙酮，过几分钟后用起子取下，注意不要用力过猛！如果轻轻用力取不下时，可再涂布溶剂，待几分钟再轻轻取下。对大加速度的测量，请计算胶接强度。胶粘剂安装示意图及频响曲线图如图 8、图 9 所示：

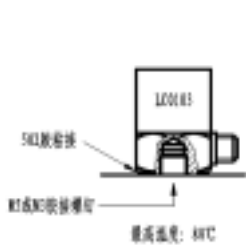


图 8 胶粘剂安装示意图

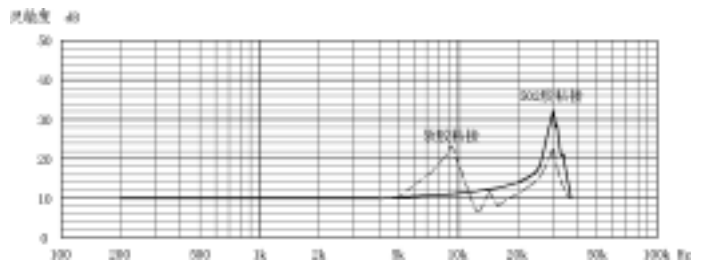


图 9 胶粘剂安装频响曲线图

(4) 探针安装：当因测试表面狭小等，不能采用以上较可靠的安装方法时或对设备进行快速巡检时，手持探针安装是一种方便的安装方法。由于这种安装方法安装谐振频率低，所以，仅能用于低于 1000Hz 的测试。探针安装示意图及频响曲线图如图 10、图 11 所示：



图 10 探针安装示意图

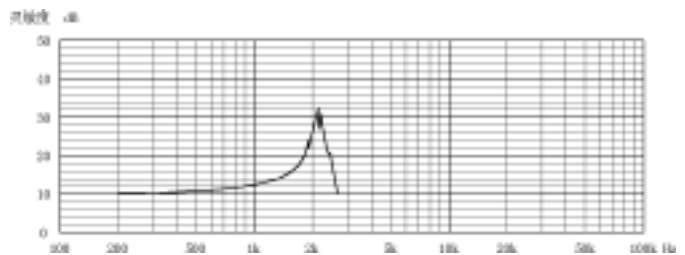


图 11 探针安装频响曲线图