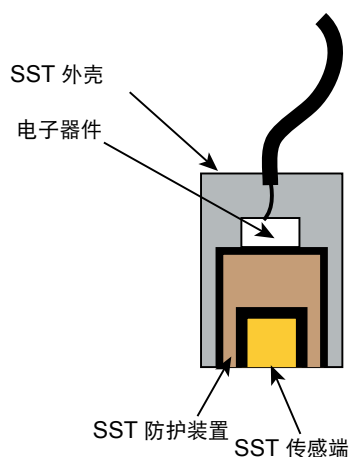


### 电容式传感器和电涡流传感器之间的差异



#### 适用设备:

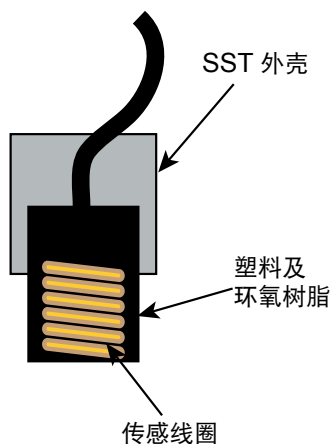
所有电容式和电涡流位移传感器

#### 应用:

所有非接触式位移传感器应用

#### 概述:

技术说明描述了电容式和电涡流位移传感器之间的差异，以便用户可为他们的应用选择最佳技术。



## 介绍

非接触式传感器采用电容和电涡流技术，对于各种应用而言，两种技术分别代表了不同优缺点的融合。这两种技术优势的对比将帮助您在具体应用中选择最为理想的技术。

## 传感器构造

通过查看电容式和电涡流位移传感器的构造方式，开始了解它们之间的差异。电容式探头的中心处是感应元件。这片不锈钢可产生电场，以用来感应与目标之间的距离。将外壳与感应元件隔开的绝缘层是保护环，它也是由不锈钢制成的。保护环包围整个感应元件，以使电场聚焦于目标物。一些电路组件被连接至传感元件和保护环。所有这些内部组件均被一个绝缘层包裹着，并被封装在一个不锈钢外壳中。该外壳被连接至电缆的接地屏蔽(图 1)。

电涡流探头的主要功能件是感应线圈。这是一个位于探头末端附近的电线圈。交流电通过线圈，产生交变磁场；此场可用来感应与目标之间的距离。线圈被塑料和环氧树脂封装，并被安放在一个不锈钢外壳中。因为电涡流传感器的磁场并不如电容式传感器的电场那样可以轻易聚焦，因此使用环氧树脂包裹的线圈磁场可向不锈钢外壳外延展，以便形成完整的感应场来锁定目标(图 2)。

## 感应点尺寸、目标尺寸和测量范围

非接触式传感器探头的传感场在某一区域内锁定目标。此区域的大小被称为感应点尺寸。目标必须大于感应点尺寸，否则将需要进行特殊校准。感应点尺寸总是与探头的直径成正比。对于电容式和电涡流传感器来说，探头直径和感应点尺寸之间的比率有着显著的差异。这些不同的感应点尺寸可导致不同的最小目标尺寸。

电容式传感器利用电场进行传感。此场以探头上的保护环为焦点，因此感应点尺寸比感应元件的直径大约 30% (图 3)。测量范围与感应元件直径的典型比率为 1:8。这意味着对于每一单位的范围来说，感应元件的直径必须大出 8 倍。例如，一个 500 $\mu\text{m}$  的测量范围需要的感应元件直径为 4000 $\mu\text{m}$  (4mm)。此比率适用于典型的校准。高分辨率和扩展的测量范围校准都将改变此比率。

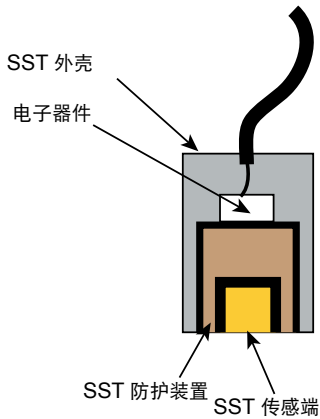


图 1. 电容式传感器构造

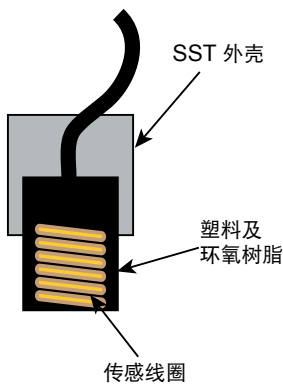


图 2. 电涡流传感器构造

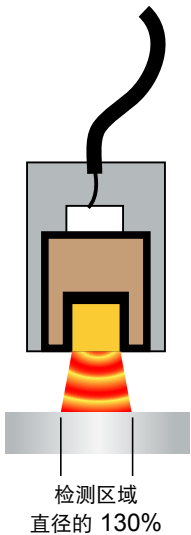


图 3. 电容式传感器的感应点尺寸

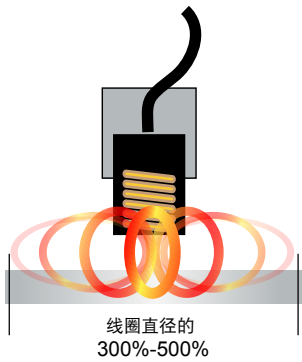


图 4.电涡流传感器的感应点尺寸

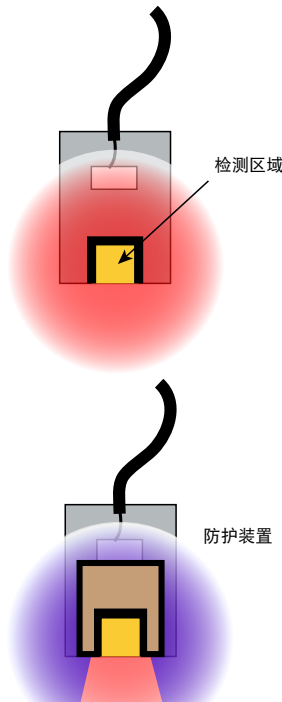


图 5.保护环使电容式探头的电场聚焦

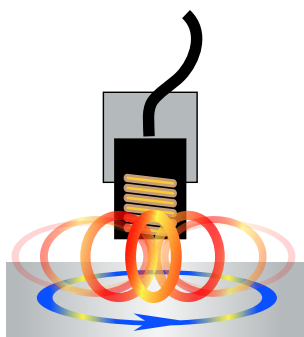


图 6. 交变磁场在目标材料中产生电涡流。

电涡流传感器采用完全环绕探头末端的磁场.这会产生一个相对较大的感应场,从而使感应点尺寸大约为探头的感应线圈直径的 3 倍(图 4)。对于电涡流传感器来说,测量范围与感应元件直径的比率为 1:3。这意味着对于每一单位的范围来说,线圈的直径必须大出 3 倍。在此种情况下,相同的 500 $\mu\text{m}$  的测量范围需要的电涡流传感器直径仅为 1500 $\mu\text{m}$  (1.5mm)。

在选择传感技术时,请考虑目标尺寸。较小的目标可能需要电容式传感器。如果您的目标必须小于传感器的感应点尺寸,那么特殊校准可能可以弥补固有的测量误差。

## 传感技术

电容式和电涡流传感器使用不同的技术来确定目标的位置。用于精密位移测量的电容式传感器采用高频率电场,通常介于 500 MHz 和 1 GHz 之间。电场是从感应元件的表面处发出。为了将感应场聚焦在目标上,保护环会生成一个独立但相同的电场以将感应元件的场与任何东西隔离开来,除了目标(图 5)。

电场内的电流量在某种程度上由感应元件和目标面之间的电容决定。因为目标和感应元件尺寸为常量,因此电容将由探头和目标之间的距离决定,假设间隙中的介质不会发生变化。探头和目标之间的距离变化将会改变电容,而电容的变化则会相应地改变感应元件中的电流。传感器电路可产生一个经过校准的输出电压,而此输出电压与电流的大小成正比,因此可显示目标位置。

电涡流传感器采用磁场,而非电场,来感应与目标之间的距离。交流电通过感应线圈,即代表传感开始。此举可在线圈周围产生交变磁场。当此交变磁场与导电目标相互作用时,它会感应目标材料中的电流,即电涡流。此目标中的电涡流会产生与感应线圈的相反的磁场(图 6)。

传感器的目的是在感应线圈周围保持一个恒定的磁场。当目标中的电涡流磁场与感应场相反时,传感器将增加到感应线圈中的电流,以维持原始磁场强度。当目标改变它到探头的距离时,维持磁场强度所需的电流量也会发生变化。处理感应线圈中的电流以产生输出电压,从而随后显示与探头相关的目标位置。

## 错误源

电涡流传感器采用磁场中的变化来确定与目标之间的距离；而电容式传感器则采用电容。除了与目标之间的距离外，还有一些因素也可能改变磁场或电容。此类因素代表您的应用中的潜在错误源。幸运的是，在大多数情况下，对于这两种技术而言，这些错误源均各不相同。了解您的应用中的这些错误源的存在及大小，将有助于您选择最佳的传感技术。

本文章的其余部分将讲解这些错误源，因此您可以针对您的应用做出最佳决策，并获得最好的结果。

## 间隙污染

在某些应用中，传感器和目标之间的间隙可能因灰尘、液体（如冷却剂）和不属于预定测量部分的一些其它材料等而受到污染。传感器对存在的这些污染物如何反应，是选择电容式或电涡流传感器的一个关键因素。

电容式传感器假设传感器和目标之间的电容变化是因传感器和目标之间的距离变化而产生的。影响电容的另一个因素是目标和传感器之间的材料的介电常数 ( $\epsilon$ )。空气的介电常数略高于 1；如果具有不同介电常数的另一种材料进入传感器/目标间隙，那么电容将会增加，并且传感器将错误地显示目标已移动至距离传感器更近的位置（图 7）。污染物的介电常数越高，对传感器产生的影响就越大。油的介电常数介于 8 和 12 之间。水的介电常数非常高，为 80。

由于对传感器和目标之间的材料的介电常数高度敏感，因此在测量目标位置时，电容式位移传感器必须用于干净的环境中。

电容式传感器的介电敏感特性可被开发用于测量非导电材料的厚度或密度。如需了解更多关于此类型应用的信息，请参看我们的电容式传感器理论教程，位于 Lion Precision 网站的 Technical Library（技术图书馆）部分。

与电容式传感器不同，电涡流传感器采用磁场进行传感。磁场不会受到非导电污染物（如灰尘、水和油）的影响。当这些污染物进入电涡流传感器和目标之间的感应区域时，传感器的输出不会受到影响。

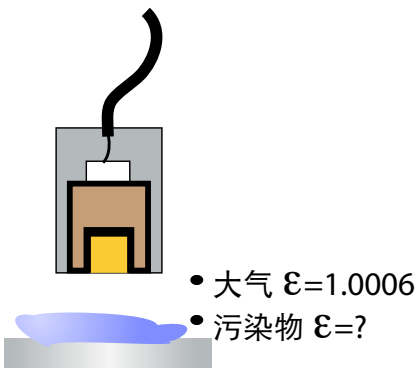


图 7. 污染物使总介电常数发生变化，因而产生测量误差。电容式传感器必须在干净的环境中使用。

鉴于此, 当在脏的恶劣环境中使用时, 电涡流传感器当属最佳选择。Lion Precision 电涡流探头的防护等级为 IP67, 甚至可被完全浸入非腐蚀性液体中加以使用。

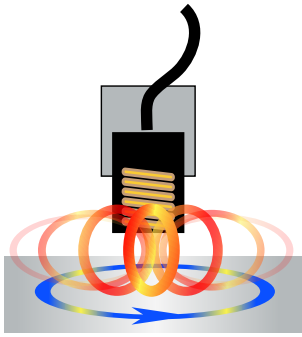


图 8. 电涡流目标具有最小厚度要求, 因为探头的磁场能够穿透目标面。

## 目标厚度

电容式和电涡流传感器对目标厚度有着不同的要求。电容式传感器的电场只锁定目标的表面, 并且无法明显穿透到材料中去。鉴于此, 电容式传感器不会受到材料厚度的影响。

电涡流传感器的磁场必须穿透目标的表面, 以诱导目标物材料产生电涡流 (图 8)。如果材料太薄, 目标中的较小电涡流将产生较弱的磁场。这使得传感器的灵敏度降低, 并且信噪比更小。

传感器的磁场穿透深度取决于材料材质和传感器的振荡磁场的频率。Lion Precision 电涡流传感器通常采用的频率为 1-2 MHz。表 1 显示了某些常见材料的最小厚度。

更多详情, 可在 [www.lionprecision.com](http://www.lionprecision.com) 网站 Technical Library (技术图书馆) 中的“建议的最小目标厚度技术指南”中找到。

## 目标材料和旋转目标

电容式和电涡流传感器对于目标材料中的差异的反应大不相同。电涡流传感器的磁场可穿透目标并诱导目标物材料产生电涡流, 从而产生与探头相反的磁场。电涡流的强度和所产生的磁场取决于材料的导磁率和电阻率。这些属性在不同的材料中有所不同。它们亦可被不同的处理技术改变, 如热处理或退火处理。例如, 采用不同方式处理的两个其他性质相同的铝件可能具有不同的磁场属性。在不同的非磁性材料 (如铝和钛) 之间, 导磁率和电阻率的变化可能很小, 但经过校准用于一种非磁性材料的高性能电涡流传感器在与另一种不同的非磁性材料一同使用时, 将仍会产生误差。

非磁性材料 (如铝和钛) 和磁性材料 (如铁或钢) 之间的差异巨大。当铝和钛的相对导磁率近似 1 时, 铁的相对导磁率则可高达 10,000。

经过校准用于非磁性材料的电涡流传感器在与磁性材料一同使用时, 完全不可能运行。在使用电涡流传感器进行精确测量时, 对传感器进行校准以用于应用中的特定材料, 这一点至关重要。

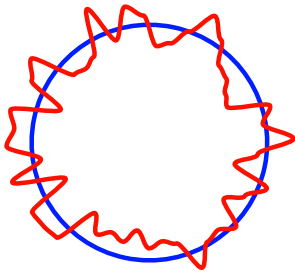


图 9.当电涡流传感器测量旋转磁性材料（如钢和铁）时，显示“电跳动”（红色）的跳动图便会出现。

高导磁率的磁性材料（如铁和钢），也可能导致应用于相同材料件的电涡流传感器出现小错误。在任何有瑕疵的材料内，均有微小裂纹和材料变化。材料的导磁率在这些区域周围略微有所改变。当改变相对较小时，磁性材料的极高导磁率便可允具有高分辨率的电涡流传感器检测这些变化。在磁性材料的旋转目标中，此问题最为显著。

电涡流传感器可被安装用于测量旋转轴的跳动。但即使轴非常理想，绝对没有任何跳动，具有高分辨率的电涡流传感器还是会在轴转动时检测到可重复的变化图形（图 9）。这些变化是由圆周方向上材料属性的微小改变而导致的。这种现象众所周知，被称为“电跳动”。这些错误可能非常小，通常在微米范围内。对于许多轴跳动测量应用，尤其是在被电涡流传感器视为正常的恶劣环境，正在寻找大得多的错误，因而能够容忍这些微小错误。其他更精密的应用将需要使用工艺来应对这些错误或采用不同的传感技术（如电容式传感器）。

电容式传感器的电场采用目标作为到地面的导电路径。所有导电材料都能同样出色地提供此功能，因此电容式传感器测量所有导电材料也是相同的。一旦电容式传感器得以校准，它便可与任何导电材料一同使用，同时不会降低性能。

因为电容式传感器的电场无法穿透材料，因此材料内的变化将不会影响测量。电容式传感器不会显示电涡流传感器的电跳动现象，可与任何导电材料的旋转目标一同使用，同时不会增加任何错误。

电涡流传感器应按照将使用的相同目标物材料进行校准，并且不应与旋转磁性材料目标一同使用，除非在应用中这些电跳动错误是可以接受的。一旦电容式传感器被校准，它便能与任何导电材料一同使用，不会产生与材料相关的错误，因此它们能被很好地用于旋转目标的测量。

## 环境参数：温度和真空

由于具有不同的传感物理特性，并且驱动器电路也存在相应的差异，因此电容式和电涡流传感器具有不同的探头工作温度范围和真空兼容性。

Lion Precision 电容式和电涡流探头具有不同的工作温度范围。由于电涡流探头对恶劣环境具有容忍性，因此它们具有较大的温度范围。采用聚氨酯电缆的标准电涡流探头的工作温度范围为 -25 到 +125°C。采用 FEP（氟化乙丙烯）电缆的高温探头的工作温度范围为 -25 到 +200°C。

受到冷凝影响的电容式探头的工作温度范围仅为 +4 到 +50 °C。

适用于这两种传感技术的驱动器电路的工作温度范围均为 +4 到 +50°C。

电容式和电涡流探头均可用于真空应用中。探头中的材料的选择条件是：具有结构稳定性，以及在真空下脱气最少。真空兼容性探头需要经受额外的清洁流程和特殊包装，以去除可能对脆弱的真空环境构成威胁的异物。

许多真空应用都需要精确的温度控制。探头的功耗及其对温度变化的相关贡献，即为电容式和电涡流技术的差别所在。电容式探头具有极小的电流和功耗。典型的电容式探头的功耗小于 40 $\mu$ W，为真空室提供非常少的热量。

电涡流探头的功耗从 40 $\mu$ W 到高达 1mW 不等。在这些较高的功率下，电涡流探头将为真空室提供更多热量，并且可能扰乱高精度真空环境。电涡流探头中的功耗取决于许多因素；单探头尺寸并不能作为功耗的良好预测器。各电涡流传感器的功耗必须单独进行评估。

电容式或电涡流传感器均可在真空环境中很好地工作。在温度敏感环境中，电涡流传感器可为应用提供过多的热量。在这些应用中，电容式探头将是更明智的选择。

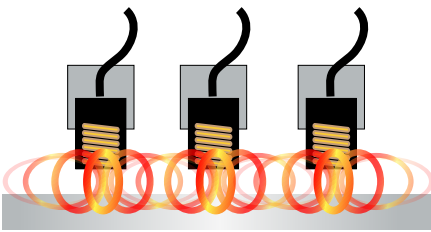


图 10. 靠近安装的电涡流探头的重叠场将出现干扰，并产生测量误差。

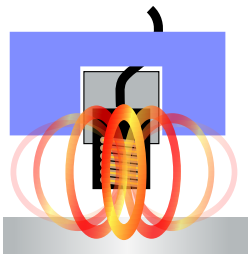


图 11. 由于周围有较大的磁场，因此离电涡流探头的前端非常近的安装硬件可对测量产生影响。对于电容式传感器而言，这并不是问题。

## 探头安装

由于电容式和电涡流传感器的感应场的形状和反应性质差异，这些技术具有不同的探头安装要求。电涡流探头可产生相对较大的磁场。场直径至少为探头直径的 3 倍，并且对于大型探头而言，要大于 3 倍直径。如果多个探头被安装在相互靠近的地方，那么磁场将会相互作用（图 10）。此类相互作用将在传感器输出中产生错误。如果此类型的安装不可避免，那么可对采用数字技术（如 ECL202）的传感器进行特殊校准，以减少或消除来自相邻探头的干扰。

电涡流探头的磁场还可在探头后面延伸大约 1.5 倍于直径的距离。此区域内的任何金属物体，常常为安装硬件，都将与磁场相互作用，并影响传感器输出（图 11）。如果附近的安装硬件不可避免，那么传感器可使用适当的安装硬件进行校准，以抵消硬件的影响。

电容式探头的电场只从探头的前表面发出。该电场略微呈圆锥形，因此较感应区域的直径而言，感应点尺寸大 30% 左右。附近的安装硬件或其他物体很

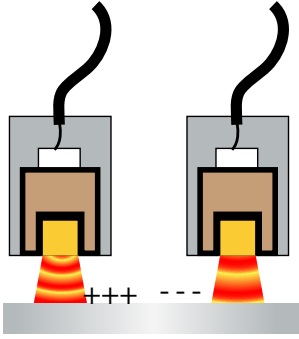


图 12.独立的（非同步的）电容式传感器可在不同频率下操作。有时，它们将向目标添加不同极性的电荷，从而产生干扰。同步传感器可解决这一问题。

少出现在电场区域中，因此不会对传感器的校准产生影响。当多个、独立的电容式传感器与同一目标一起使用时，来自一个探头的电场可能试图向目标中添加电荷，而另一个传感器则试图移除电荷（图 12）。与目标发生的此类具有矛盾性的相互作用将在传感器输出中产生错误。同步传感器，即可轻松解决此问题。同步化将所有传感器的驱动信号设置为同一相位，因此所有探头均正在同时添加或移除电荷，此干扰将被消除。所有 Lion Precision 多通道系统均具有同步性，因此可消除关于此错误源的任何疑虑。

当某个应用需要将多个探头应用于同一目标时，同步的电容式传感器便非常易于使用。如果应用需要电涡流技术，那么在安装过程中必须特别留心，并且可能需要进行特殊校准。

## 结论

在电容式和电涡流位移传感器之间进行选择时，需要考虑许多因素。在测量区包含污染物（如液体或废料）的任何应用都需要电涡流传感器。电容式传感器需要干净的环境。

使用电容式传感器将更容易对小目标进行测量，因为电容感应场的尺寸相对较小。对于小目标测量，电涡流传感器将需要特殊校准。

对于相同尺寸的电容式或电涡流探头来说，电涡流探头将具有一个较大的测量范围。

因为电容式探头与目标表面相互作用，因此材料厚度不是电容测量中的一个考虑因素。电涡流传感器具有最小目标厚度要求。

电容式传感器对目标材料不具备任何敏感度，假设此目标材料具有导电性。电涡流传感器对材料差异很敏感，并且必须被校准至应用的目标材料。

在使用多个探头时，电容式传感器必须同步，但可被安装在相互靠近的地方而不互相干扰。即使采用了同步，电涡流探头仍将相互作用，如果它们被安装在相互靠近的地方。当这种情况不可避免时，即可采用特殊校准，但仅适用于数字传感器，如 Lion Precision ECL202。

仅在目标处进行定向的电容式探头的小传感场可阻止其传感安装硬件或附近的物体。电涡流的大型、环绕型感应场可检测安装硬件或其他物体，如果它们离感应区域的距离太近。



两种技术的另外两个不同的规格是：分辨率和带宽。相较于电涡流传感器，电容式传感器具有更高的分辨率，因此，电容式传感器是需要极高分辨率的精密应用的最佳选择。

大多数电容式和电涡流传感器的带宽均为 10-15kHz，但一些电涡流传感器 (ECL101) 的带宽可高达 80kHz。

这两种技术之间的另一个差异在于成本。一般来讲，电涡流传感器的成本较低。

## 对照表

•• 最佳选择；• 功能选择；— 不考虑

因素	电容式	电涡流
恶劣环境	—	••
小型检测目标	••	•
大的测量范围	•	••
薄型材料	••	•
差异性的材料	••	•
多探头应用	••	•
探头安装简便性	••	•
分辨率	••	•
带宽	•	••
成本	•	••

关于电容式和电涡流传感技术之间的差异综述，将有助于您确定哪种技术对于您的应用而言是最佳选择。请联系 Lion Precision ([www.lionprecision.com](http://www.lionprecision.com))，获取更多关于选择最佳传感器方面的帮助。