

扭矩测量的方法原理

引言：扭矩是工厂场地上大多数设备的重要被测量对象之一。测量扭矩常常被误解，这就可能导致对测量系统的过度设计或设计不足。本文介绍多种用于扭矩测量的技术和折衷方法。

扭矩可以分为两大类，静态扭矩或动态扭矩。用于测量扭矩的方法可以被进一步分为两类，反扭矩和联机扭矩测量。被测扭矩的类型以及现有各类传感器，对所测的数据精度及测量的成本有重要影响。

在讨论静态和动态扭矩的比较中，最容易入手的是首先了解静力和动力的差异。简而言之，动力包括加速度，而静力则没有。

动力和加速度之间的联系被描述为牛顿第二定律： $F=ma$ (力等于物质质量乘以加速度)。以汽车自身物质(质量)把车停下所需要的力就是动力，因为汽车必须被减速。由刹车卡钳施加以停止汽车的力就是静力，因为所涉及的刹车垫没有加速度。

扭矩只是旋转力或通过一定距离产生的力。根据前面的讨论，它被认为是静力，如果它没有角加速度的话。时钟弹簧施加的扭矩就是静态扭矩，因为没有旋转，因而也就没有角加速度。当汽车以匀速在高速公路上巡航的时候，通过汽车传动轴传输的扭矩就是一个旋转静态扭矩的例子，因为即使存在旋转，以匀速行驶也没有加速度。

汽车引擎产生的扭矩有静态和动态扭矩，取决于测量的部位。如果在机轴中测量扭矩，当汽缸每一次燃烧且活塞旋转机轴的时候，就有大的动态扭矩波动。

如果在传动轴测量扭矩，那几乎就是静态扭矩，因为调速轮和传动系统要阻尼引擎产生的动态扭矩。用曲柄提升车窗所需要的扭矩就是静态扭矩的例子，尽管涉及到旋转加速度，因为曲柄的加速和旋转惯性很小，与车窗运动有关的摩擦力相比，所产生的动态扭矩(扭矩=旋转惯性*旋转加速度)可以忽略不计。

最后一个例子描述了一个事实，大多测量应用都在某种程度上涉及静态和动态扭矩。如果动态扭矩是整个扭矩的主要组成部分或是感兴趣的扭矩，那么，要特别考虑何时对其作出最佳的测量。

反扭矩与联机扭矩的比较

通过在扭矩支撑零件之间插入一种扭矩传感器，可以做联机扭矩测量，非常类似于在套筒和套筒扳手之间插入延长杆。旋转套筒所需要的扭矩直接由套筒延长杆支撑。该方法容许扭矩传感器被放置在尽可能与感兴趣的扭矩靠近的地方，并避免可能出现的测量误差，如寄生扭矩(轴承等等)、无关负载和具有大的旋转惯性的零件(会阻尼动态扭矩)。

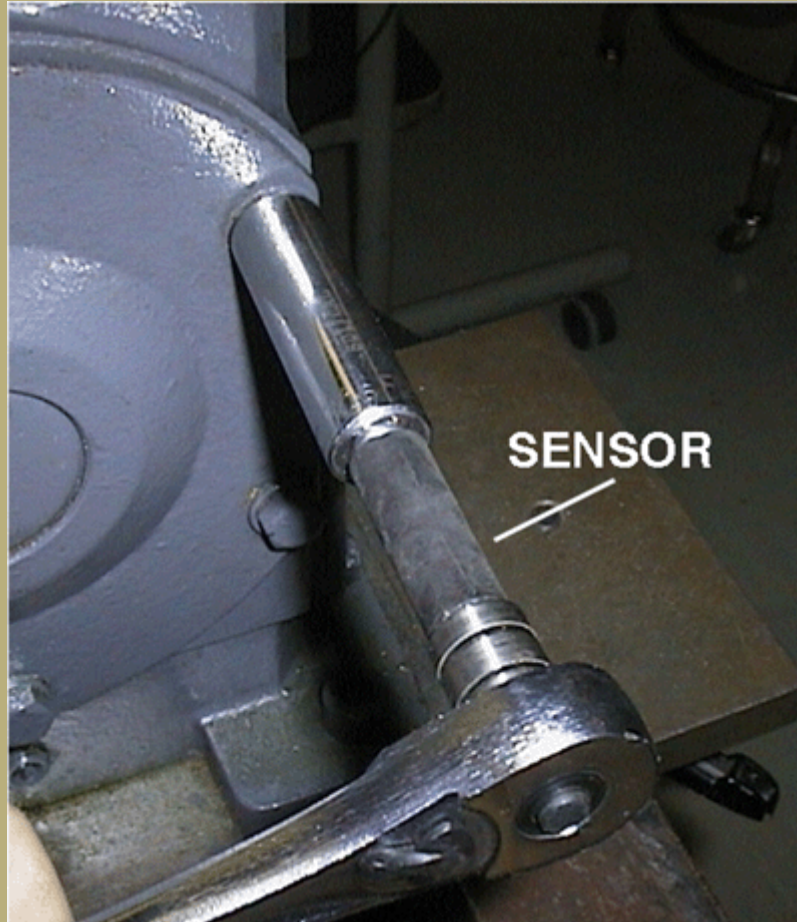


图 1：简单的扭矩测量方法。

根据上面的例子，通过在机轴和调速轮之间插入联机扭矩传感器，可以测量引擎所产生的动态扭矩，避免调速轮的旋转惯性和传动损失。为了测量驱动车轮的、几乎静态的恒稳态扭矩，要把联机传感器放置在汽车的轮缘和盘毂之间，或放置在主动轴中。由于典型的扭矩传动轴(drive line)的旋转惯性和其它相关的零件(的原因)，联机测量常常是恰当地测量动态扭矩的唯一方式。

反扭矩传感器利用了牛顿第三定律：‘两个物体之间的作用力与反作用力总是大小相等而方向相反。’为了测量电动机产生的扭矩，我们可能采用如上所述的联机测量方法，或我们可能测量需要多大的扭矩才能阻止电动机的旋转，通常称为反扭矩。

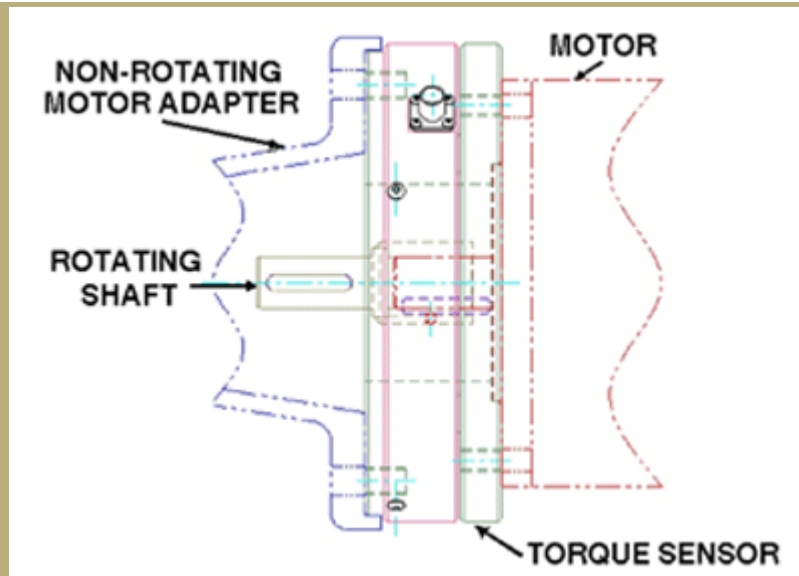


图 2：扭矩传感器的放置是重要的。

在旋转的应用中，对传感器做电气连接显然是一个问题，测量反扭矩就可以避免电气连接；但是，这样做也有缺陷。反扭矩传感器常常需要支撑重要的无关负载，如电动机的重量或至少驱动轴的部分（重量）。这些负载可能引起耦合误差（传感器除了对已确定待测的反扭矩作出响应之外，还对其它力引起的反扭矩也作出了响应），有时候会降低灵敏度，因为不得不加大传感器以支撑无关的负载。对静态扭矩测量，采用联机和反扭矩这两种方法将得到相同的测量结果。

传感器的连接

在旋转应用中做联机测量，对用户来说，把传感器从旋转的零件连接到固定的零件将永远是一个要面对的挑战。传感器的连接有几种方法，每一种都有其优缺点。在旋转的传感器和固定的电子部件之间建立连接，最常见的方法是采用滑环（slipring）。它由一组跟传感器一起旋转的导电环、一连串与导电环接触的导电刷和发送传感器信号的（电极）构成。

滑环是一种在各种应用中获得广泛应用、性能良好和经济的解决方案。相对而言，这种直截了当的测量方法缺点很少，是一种在大多数应用中经受了时间考验的方案。但是，导电刷和不太宽的导电环是消耗品，寿命有限，不适用于长期测试之用，也不适用于要定期保养的应用（改写）。

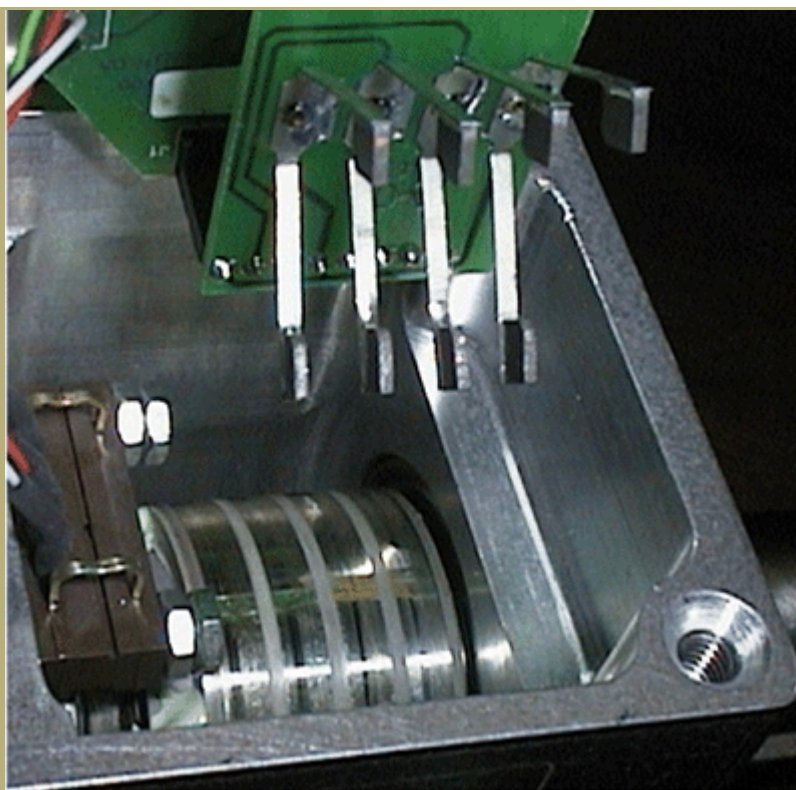


图 3：滑环是一种经济的解决方案。

在中低速(旋转的情形下)，导电环和导电刷之间的电气连接相对而言没有噪声，然而，在较高速(旋转引起)的噪声将严重降低它们的性能。滑环的最大旋转速度(rpm)由导电刷/导电环接触表面的速度决定。因此，对于较大的、典型的(具有)较高扭矩力的传感器，由于滑环的直径较大，因而在给定的 rpm 条件下表面速度就较高，从而导致最大工作速度较低。

对于力的大小为中等的扭矩传感器，典型的最大速度在 5,000 rpm 范围内。导电刷/导电环界面的拖曳力矩可能引起问题，特别是对非常小的扭矩力进行测量或应用，驱动扭矩遇到的麻烦可能是无法克服导电刷的拖曳力矩。

旋转变压器

为了克服滑环的一些缺点，人们设计出了旋转变压器系统。它利用旋转变压器，把电能传输给正在旋转的传感器。外部仪器通过激励变压器把一个交流激励电压提供给应变计桥。传感器的应变计桥然后驱动次级旋转变压器线圈，以便从旋转的传感器取出扭矩信号。通过取消滑环的导电刷和导电环，易于磨损的问题消失了，使旋转变压器系统适合于长期测试应用。

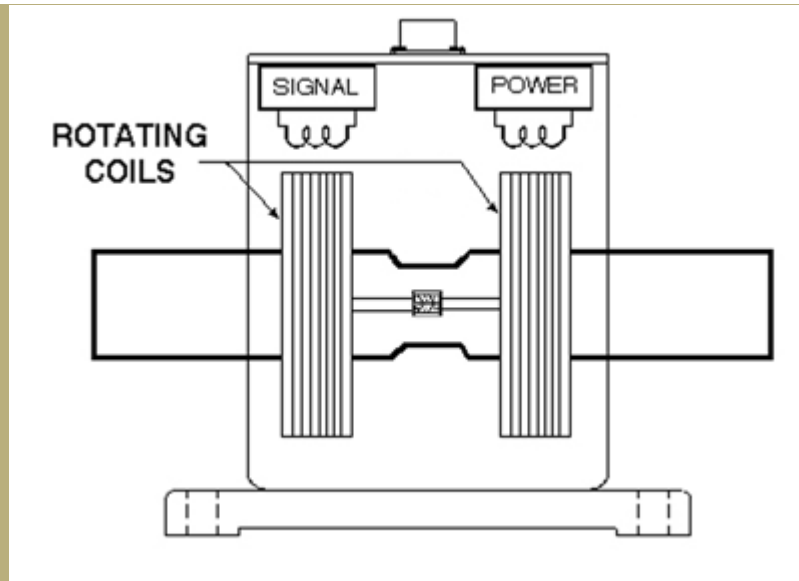


图 4：旋转变压器改善性能。

由滑环中导电刷装配引起的寄生拖曳力矩也消失了。然而，由于需要轴承且变压器芯易碎，最大旋转速度仍然受到限制，仅仅比滑环方案好一点。变压器初级和次级的对准会引入噪声和误差，系统也容易受到两者的影响。因为旋转变压器存在特殊的要求，还需要专用信号调理(电路)，以便产生大多数数据采集系统可接收的信号，从而进一步增加已经比典型的滑环零件更贵的系统成本。

红外线(IR)方案

跟旋转变压器一样，红外线(IR)扭矩传感器采用不接触方法，从旋转的传感器把扭矩信号取回到固定的世界。相似地，利用旋转变压器耦合，电源被传输到旋转传感器。然而，与其被直接用于激励应变计桥，不如被用于为旋转的传感器供电。该电路把激励电压提供给传感器的应变计桥，并把传感器的输出信号数字化。

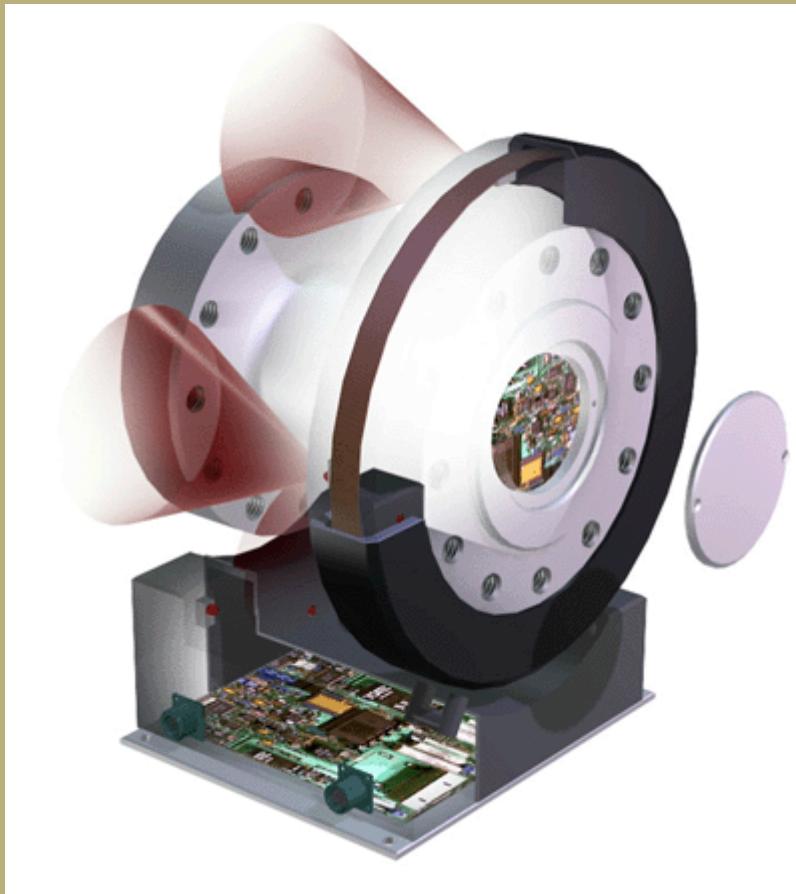


图 5：红外线提供无接触的传感方法。

该数字输出信号然后通过红外线被发送到固定的接收二极管，其中另一个电路核查数字信号的误差并将其转换回模拟电压。因为传感器的输出是数字信号，它不太容易受到诸如电机和磁场之类的噪声源的影响。与旋转变压器系统不同，红外换能器可以被配置为安装或不安装轴承，真正做到了免于维护、不磨损和不需要拖曳传感器。

虽然比简单的滑环方法要昂贵得多，但是，它有几点好处。

当不安装轴承的时候，作为真正的不接触测量系统，易磨损件没有了，使之理想地合适于长期测试设备。更重要的是，由于不需要轴承，工作速度(最大旋转速度)大为提高，达到 25,000 以上的最大旋转速度，即使对具有高扭矩力的传感器也如此(根据上文改写)。对于高速应用，这常常是旋转扭矩传动的最佳方案。

调频发射机

另外一种在旋转传感器与固定世界之间建立连接的方法是采用调频(FM)发射机。这些发射机被用于把任意传感器遥控—无论是力传感器还是扭矩传感器—连接到远端的数据采集系统；发射机把传感器的信号转换为数字形式，并发送一台 FM 接收机；而 FM 接收机把接收到的信号转换回模拟电压。

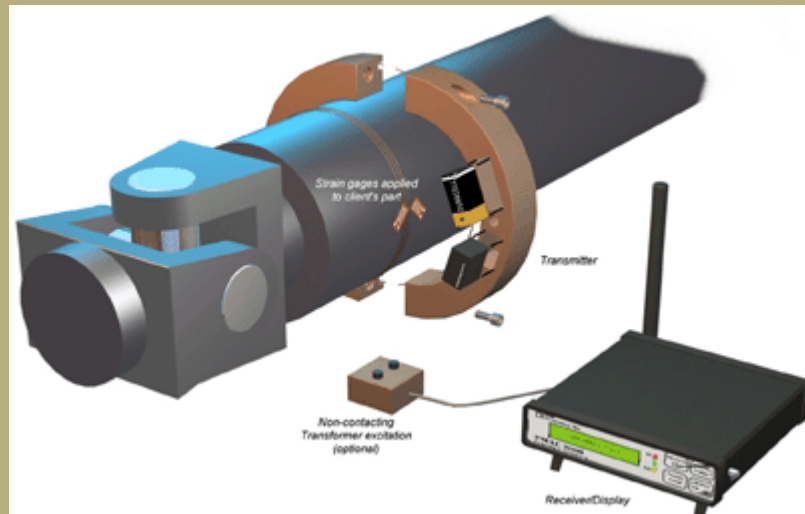


图 6：FM 链接的作用距离比较长。

对于扭矩应用，它们通常被用于一种专业的传感器，如当应变计被直接应用到驱动轴中零件的时候，例如，这可能是车辆的传动轴或半轴。发射机提供的好处是便于安装在零件上，正如它通常就被夹带计量轴一样，并且它可重新被用于多定制传感器。旋转的传感器确实存在需要电源供电的缺点，典型值为 9V，从而使之不适用于长期测试。

本文小结

在努力测量扭矩的过程中，掌握被测扭矩的特性以及可能改变扭矩的因素，对所采集的数据的可靠性有重要影响。在需要测量动态扭矩的应用中，要特别小心地在恰当的位置测量扭矩，并且不要让测量系统的阻尼作用影响到扭矩。

掌握旋转扭矩传感器连接的各种可选方案，可能极大地影响传感器封装的价格。滑环是一种经济的方案，但是，有其局限性。对于要求更高的应用，可以采用技术上更为先进的方案，但是，成本会更高。通过考虑特殊应用的要求和条件，可以第一时间选择适当的扭矩测量系统。