

螺纹和螺栓头下部摩擦

之前笔者已说明有关螺纹接头拧紧的复杂性和物理学知识，在本文中，笔者将据此展开更多有关摩擦的论述，使读者了解摩擦的产生原理、摩擦与轴向夹持载荷的关系以及如何在设计和应用过程中运用摩擦理论。

文/ Dr. Michael P. Oliver

通常，机械工程师课本、设计指南或者扭力参考手册都会列有下列方程式1或方程式2，用来阐释外部施加的扭力和产生的夹持载荷之间的关系。方程式1可以根据德国的DIN 946规范计算或应用。注意螺纹和螺栓头下部摩擦系数（CoF）变数与外部施加的扭力或内部扭力有关。方程式2是方程式1的简化版，其中K即“螺母因数”，代表两项摩擦变数和一项几何因数。

$$\text{方程式1 } T_m = P \left(0.159 \text{Pitch} + 0.578 d_p \mu_{hd} + \mu_{und} \frac{(d_w + d_h)}{4} \right)$$

$$\text{方程式2 } T_m = KDP$$

在对上述方程式展开讨论以前，首先是说明摩擦产生的原理。大家都知道螺栓和螺母搭配使用会产生两个接触面，一个是螺栓头的下部（假设通过转动螺栓实施固定），另一个是螺母和螺栓之间的螺纹。连接过程中，需

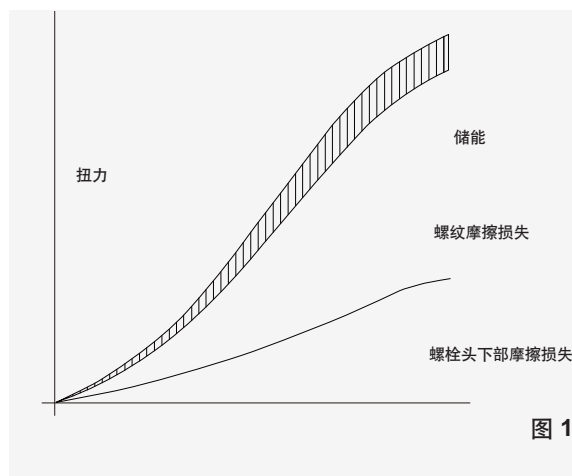


图 1

要消耗较大的力以抵消这两个接触面产生的摩擦。摩擦消耗的能量最多可达到所施加的外力的90%，因此，仅剩10%的力实际用于固定螺栓和螺母，也称作储能（见图1）。夹持载荷和扭力之间的关系很容易理解。到屈服点（发生塑性变形的起始点）的过程为直线性的。

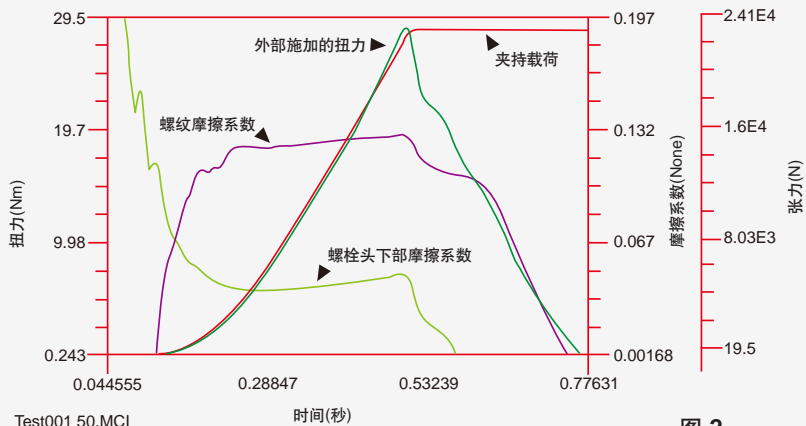
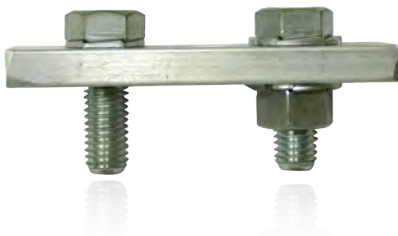


图 2

另一项重要资讯是拧紧过程中这两个接触面产生的摩擦系数数值不同。图2显示出了螺栓产生夹持载荷的过程图以及螺纹和螺栓头下部的摩擦系数。这里的螺纹摩擦系数大于螺栓头下部摩擦系数。但是，情况并非总是如此。有时情况刚好相反，有时也会出现两者相等的情况。但是问题在于，CoF值会不断变化，若通过试验无法确定精确数值，因此使用时应特别注意。

使用预期紧固件和承压面进行试验是获得CoF值的最佳途径。但是这种方法需要装备、产品或者原型零件。那麽，在无法取得实验设备或零件时，工程师及设计师应该如何处理呢？德国的VDI（德国工程师协会）2230中的“载重螺栓接合—与圆柱螺栓接合的系统计算—第一部分”是个不错的参考。该程式在多个商业软体的设计规范中被加以应用。但是，同时列出了两个表分别表示螺纹和螺栓头下部的摩擦系数值。还根据材料和涂层/镀层作出了进一步划分。

现在，我们得到了CoF值和方程式，但还有一个问题：上述两表中的数值出现重叠，怎麽办呢？你只需通过两种简单的应用方程式即可。一种是螺纹摩擦系数值取较大值，然後螺栓头下部摩擦系数取较大值。假设这是你的保险系数，定义系数K（包含三个部分）後，可将上述两个摩擦系数值输入方程式1和方程式2。两种方式均可得到较可靠的估计值。但是，K的系数值更容易从表列资料中获得，且在两个摩擦面项下显示相同的数值。我认为这个方法并非首选方法，因为它并不能说明两个接触区域之间的摩擦变化、螺纹的螺距、以及螺栓/螺母头或者通经的外径或内径。



取得紧固件试验设备，即可以精确地观察接合过程。产品添加涂层、镀层的公司，通常采用此类设备用於检验其产品是否符合摩擦要求及其客户的技术要求。为此，需要多个设备零件以及扭力/张力感测器。感测器主要用於测量张力，及螺栓头下部或螺纹的扭力（取决於在感测器的哪侧进行扭转或施力）。同时还需要一个旋转扭力感测器用於测量外部施加的扭力，一个资料获取装置和适用软体用

於分析了解所有输入资料。资料获取系统中的软体如果是专门设计用於紧固件测试，会有一个图形介面装置，用来输入所有的紧固件相关资料，资料包括额定螺纹尺寸、螺距、旋转件的法兰直径以及测试垫圈透眼的内径。试验结束後，软体会将收集的资料分为三个部分，即外部施加的扭力、产生的夹持载荷、螺栓头下部或者螺纹扭力（同样取决於试验在感测器的哪侧进行）。该程式的第一个动作是根据方程式3计算损失的扭力值。

方程式3

得出三个扭力值後，即可分别通过计算方程式1、方程式4(螺纹)和方程式5(螺栓头下部)得出上述两项摩擦系数。

方程式4

方程式5

$$\mu_{thd} = \frac{\left(\frac{T_{thd}}{P}\right) - 0.159 p}{0.578 d_m} \quad \mu_{und} = 2 \left(\frac{T_{und}}{PD_{km}}\right)$$

然後可根据使用者的喜好标绘结果资料。所有收集资料 and 计算值均可以任何方式组合的形式标绘。据我所知，很少企业采用我曾听说过的紧固件专用资料获取装置。过去15年间，我一直使用精密调节器，还有一些其他企业提供类似的摩擦系数运算。读者也可以尝试探寻没有迎合紧固件行业需要的其他企业，利用常规的资料获取元件创造出自己的新式演算法。

在设计过程中（尤其是涉及螺纹接合），应用任何类型的方程式均须谨慎。系数K虽然可供使用，但是它并不能告诉你有关接合的所有情况。最好选择螺纹和螺栓头下部相关数值单独计算的方程式。当然，最好的方法还是测试。测试要求专门的设备和专业知识，了解如何使用及中断资料。透过努力，使用者即可了解接合过程中发生的情况，以及什麼因素对产生的夹持载荷产生影响等等。