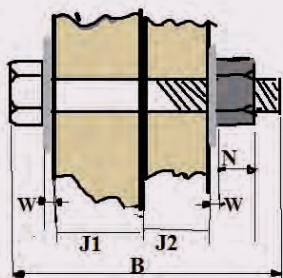


# 弹簧系数的成因和运作

文 / Thomas Doppke

许多文章提到并用到「弹簧系数」或「接合弹簧系数」这两个名词,但显然很少人了解它到底是什麼,还有它为什麼很重要。为了理解这个概念,我们必须探究螺栓接合技术的一些基本要素。虽然是用来进行接合分析的绝佳工具,但仍有一些会影响到数据计算的要素须纳入考量。首先,什麼是弹簧系数?



为什麼会把东西栓合在一起? 答案很明显,就是因为要把它们固定在一起。为做到这一点,接合件就必须比任何想要分开它们的外部力(例如负载力、周期应力、重力、振动力等等)拥有更大的力道。问题2:为免的状况发生,必须要把东西栓合到多紧的程度才可以?这就是接合工程的症结点了!一些影响紧固作业的因素包括:螺栓的强度、尺寸、螺栓的长度、整个接合件的厚度(握持长度)、拿来接合的物件材质(软、易弯曲、表面粗糙等等)、施加紧固作用力的方式、环境条件、使用寿命的条件(接合件维持固定的方式:静态、动态、循环冲击等等)、接合件的预测使用寿命(没有一样东西能紧固到天荒地老!)等等。



如图所示,一个接合件是由几个零件组成的。当螺栓承受负载(或被紧固住),螺栓就是在承受张力负载。而接合件上的其他零件就是在承受压缩力。这些力道必须要相等,否则他们就会移动!每一个零件都会轻轻地伸缩,就像一个弹簧一样(弹簧系数的命名就是这样来的)。这里的螺栓就是一个张力弹簧,它因为接合件上零件的紧固作用而被稍微拉伸。弹簧系数的数值是一个重要的要素,它会决定

扣件(在此指的是螺栓)能承载的最终组装荷载的占比,它也会决定螺栓是否能对可能发生的弯曲现象产生补偿作用。若影响螺栓的张力(扭力过多或操作载荷)大於螺栓本身的张力,就会接合失败。反过来。若操作载荷使得压缩力(永久地或周期性地)降低,那麽预加的荷载(preload)就可能降到零,形成接合件疲劳的条件。

与其等到现场发生故障然後接到老板的职位撤销通知书或者是花大笔钱在样品测试和原型品上(这也是另一种让自己被决策阶层盯上的方式),不如做一些粗略的计算,让自己有个底知道要选哪个方式来做。记住,我们是把整个接合件当作弹簧来看。每个零件都承接一部份的荷载,螺栓承接张力,其他零件大多承接压缩力。其他的要素也适用,嵌合、冷变形、磨损、振动磨损,这些要素都有掺一脚,晚一点我们再来探究它们。

为每一个应用情境测量实际扣件弹簧系数是不切实际的。除了很贵之外,获取每个零件数值的难度顶多只会让结果变得令人无法信服。以下方法虽非百分百准确,但已可满足多数接合件的需求。

既然我们把接合件的零件当作「弹簧」来看待,它们的弹簧系数是从虎克定律计算出来的:「应变与应力成正比」。

$$\Delta L = \frac{F \times L}{E \times A}$$

其中: F = 施加力道

L = 横切面长度

E = 弹性模数

A = 横切面面积

$\Delta L$  = 横切面长度变化

那麽弹簧系数就可定义为:  $K = \frac{F}{\Delta L}$

其中: F = 施加力道

K = 弹簧常数

$\Delta L$  = 横切面长度变化

代入公式之後可得出:  $K = \frac{A \times E}{L}$

有了这条公式,我们就能决定螺栓的弹簧系数。我们定出螺栓上每个部位的弹簧系数,然後把它们依序加进去。螺栓的总弹簧系数(Kb)就是:

$$K_b = \frac{1}{K_h} + \frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_t}$$

其中Kh、Ks和Kt分别是螺栓头部、杆部和螺纹的弹簧系数。透过上述的公式,我们可依据虎克定律得出螺栓头部的偏斜度(Kb)。在此我们不针对承受荷载的螺栓做偏斜度的测试,而是假设杆部的公称直径(D)用於计算面积且横切面的长度(L)是螺栓头部厚度的一半,然後去估算它。相信我,这个方法有用,但整个数学计算很伤透脑筋,所以便不在此详细列出。如此得出的面积值几乎近似於透过实际测试所得出的值,可透过以下公式表现出来:

$$K_h = \frac{[\pi D^2 \times E]}{L}$$

透过螺栓本体的公称直径(D)和杆部的长度(L),我们就能用同样的公式估算出杆部的弹簧系数(Ks)。螺栓的螺纹弹簧系数(Kt)使用到同样的公式,但它用到的长度L是螺纹长度再加上内耦合螺纹高度值的一半(螺帽高度),它用到的A是螺纹的拉伸应力面积。针对此的数学原理说明就留待另一篇文章来说明比较好。相信我,这方法是有用的。

这可透过下式表现出来:

$$K_t = \frac{\text{螺纹的拉伸应力面积} \times E}{L}$$

很难懂吗?倒也不至於。这边有个例子。将M12x1.75x100标准螺栓搭配使用标准螺帽,我们会有以下的数据。

螺栓	头部高度	11.8mm
	无螺纹杆部	70mm
	拉伸应力面积(螺纹)	84.3mm <sup>2</sup>
	螺栓长度	100mm
	弹性模数	.207MPa (依据图表)
螺帽	高度	11.8mm
接合件	厚度	84mm

透过螺栓弹簧系数的计算:

$$K_h = 396799 \text{ N/mm}$$

$$K_s = 334445 \text{ N/mm}$$

$$K_t = 876889 \text{ N/M}$$

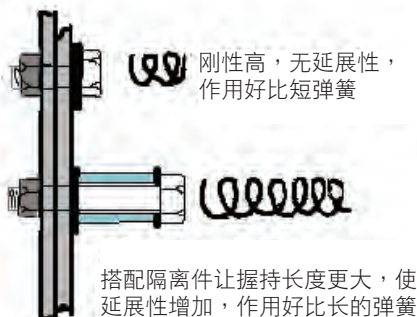
代入Kb公式: 
$$K_b = \frac{1}{\frac{1}{K_h} + \frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_t}}$$

我们得出螺栓弹簧系数为228182 N/mm。

现在有了螺栓弹簧系数,我们就能决定接合件的弹簧系数,或是做个估算。最精准的方式就是做个范例测试,但基於螺栓、强度、零件设置等等的变异几乎不可能让人能精准决定横切面,所以做估算是比较可行的。接合件本身的外部直径等同於或大於螺栓头部承载面的最小直径。依数据所示,我们的范例螺栓的承载面最小直径是22.5mm,倒角半径是0.5mm。再次透过虎克定律来看这数据,会发现接合件的弹簧系数是677400N/mm,相较之下比硬质接合件中的扣件刚性高出了三倍。非常适用於预期使用寿命长且成功有效的接合件。

实际应用的接合件上的螺栓螺栓弹簧系数数值通常都会比计算出来的数值低。在众多可能会改变数值的因素中,握持长度的变化就是其中之一。以硬质接合件为例,由於经垫圈密封在接合件内的零件和/或较软的材质(塑胶、软金属),某些接合件的握持长度可能会减少;此外,从非表面接触变成表面接触时,某些接合件会因而出现气隙(air gap)。数值通常会变异为较低的值。此外,螺栓的尺寸(包括沟槽、杆部直径变短、螺纹的成型和螺纹的长度)变异会影响到最终的数字。

长度短的螺栓会增加刚性,此时长螺栓的作用就像长的弹簧一样弹簧系数较低。通常,会在实务应用中看到长螺栓搭配隔离件使用,此时会产生潜在的(或实际的)松脱现象。短螺栓可能无法紧密地够紧,以达到期望的预加荷载来固定好接合件,因为它不会有足够的延展性! 搭配使用隔离件,就能透过让人使用长度较大的扣件,来增加接合件的握持长度。这是为了要增加螺栓的延展度,让人能施加较高的扭力(预加荷载)。(较长的弹簧其延展性比较短的弹簧来得大!)



常见的应用情境是安装转向齿轮到重型车框架上。工作荷载和周期性冲击可能会超过螺栓的张力,可能会发生暂时性的分离(荷载值变成零)。从零一直循环加载到预加荷载值或反之,这是造成疲劳失效的原因。若循环摆动超过高处的接合长度,螺栓可能会变形并可能产生永久性拉长,造成截面积变小。变小的横切面较无法承载荷载,然後每经过一次循环就减少螺栓强度,直到出现滞後作用导致的失效出现为止。

如前所述,另一个让弹簧系数降低的因素是扣件在安装好後的嵌合状态和安置状态。软的材质会安置定位,且随著时间的演变会往能够远离紧固区域的方向上产生冷变形。虽然没有数学公式可以计算出会影响弹簧系数的实际变形量,但如下所示,我们可以做大概的猜测。假设置定位(遗失荷载)的现象会在第一次的接合件安装作业时发生,且任何进一步的安装作业中不会再出现该现象,就能快速计算如下:

$$L_s = E l \frac{(S_{Ra} - 1)}{S_{Ro}}$$

$L_s$  = 安置定位後的荷载遗失量

$E l$  = 施加於扣件的外部荷载

$S_{Ra}$  = 组装後的弹簧系数

$S_{Ro}$  = (安置定位前的)原弹簧系数

针对多种尺寸和条件做的实际测试所得到的数据显示,安置定位後的弹簧系数是介於组装前的125%~150%之间。这些同样的测试也显示,在与实际的数值相较之下,这些算出的弹簧系数公差都介於6~7%之间。

在其他影响弹簧系数的因素中,还包括了大型和小型的振动效应。振动是缩短接合件寿命最危险的因素。我们已经算出我们要的弹簧系数,一切都顺利,接合件也很坚硬,而且它会耐久不衰(或直到保固期限为止)。还有什麼会出错?荷载损失牵涉到的实际损失量根本非常少。你仅仅只需转动半圈,扣件上的预加荷载就能从满载状态变成零(相当於半个螺纹间距!)。这就是回转角组装法的理论基础,它事实上比任何其他现代化的工具(亦即冲击枪和扭矩杆控制工具)还更精确。在多数钢制扣件上,为超越降伏强度所需的量是高於保证荷载,其形式通常是一个数值或是好几厘米长的延展量)。振动会减少预加荷载,尤其是循环振动,包括从零到预加荷载以及反向的循环,或是从零到高於降伏强度的值以及反向的循环,直到预负载不见或降低为止。如果发生大幅降低的状况,就会产生接合失效。

磨损指的是振动力作用在接合件上的时间,它在任何阶段都不会超过降伏强度。就像砂纸的作用一样,细微的振动会把粗糙处和突起处磨掉,直到接触面变比较平滑为止。这也会减少握持长度,如前所述,只有小量的降幅能导致大量的预加荷载降幅,而预加荷载降低又会导致……!

# 微媒体



请用微信APP扫我!!

微信ID搜寻：台湾汇达 Fastener World

精确掌握全球紧固件市场情报，  
领先同业增加曝光机会，投放广告放眼世界。  
让惠达用最强大的行销阵容，提供您最完美的广告服务，  
用最少成本达到最大效果，打造专属企业的黄金品牌！



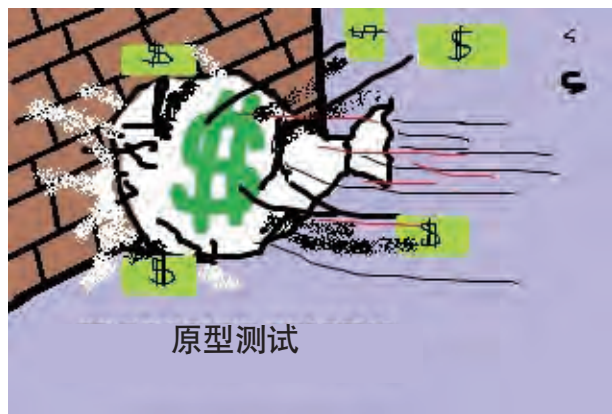
排除特殊应用情境少见且不常见的状况不谈，扣件的头部或螺帽都是以扭力来紧固。自动压型快速做动而锁紧时的冲击也很快。测试显示，施加扭力后获得的张力值些微不同于透过延展计算出的数值(真实的张力值)。虽然实际的量会随著材料的考量、硬度；接合件的构成和其他因素而大幅变异，但立即遗失的张力的大约平均值是在2%~25%之间，而数日后整体遗失的值是在5%~9%之间。如同以往，有怀疑，就做测试！

虽然会选择扭矩法来取得接合件中所需的张力预加荷载，但透过扭矩的方式达到的数值估计会比预期的少约15%。这少掉的量是因为扭力在转紧的过程中遗失，让原本预期能在张力之下产生的扭力值降低。螺栓的延展是用来量测紧固的螺栓中的实际张力最精准的方式。可惜，若没有先描绘出延展量和荷载量的关系图并复制到应用过程中，就会极其难以量测。

不同的工具也会让接合结果不同。某些工具光是在安置点的变异量就大到只能猜测实际的值(冲击枪顶多在正负25%之间)。扭矩杆控制工具在接近正负15%之间，而市面上最好的就是含昂贵电子装置的复杂系统(设置后在正负1%之间)。

弹簧系数的计算为设计检查提供便宜的方式。每一个经过耐力测试、撞墙测试、道路测试的款式之原型品现在都接近25万美金。那还不包括解决因所发现问题而损失的时间。市场上每省下一分钱就是一分竞争优势。

接合件的弹簧系数是用来决定接合件在变异荷载条件下如何运作时的有用方式。当考量到工作荷载和其他变异因素的条件时，你或许会发现一个看似可作用的接合件其实也可能并不受用。



与其等到现场的接合失败出现或花费昂贵的时间和资源在实验室和原型品上，不如做个计算来估算接合件的耐用性。弹簧系数的计算是简易方式用来衡量接合件整体的应力。上述其他因素的考量也很重要，这些因素会影响你所取得且会用在算式中的数值。接合件的弹簧系数是用来评估接合件分析时很快速的方式，而不需一头钻入冗长耗时的电脑模型绘图和应力分析。为避免计算会出现可能的问题，现在针对此特定的领域，更详尽的研究也都已就绪。