

## 紧固件的防松

Michael Kaas 著，BOSSARD 专家团队

我们都有过这样的经历，螺钉或螺母都会松动—无论是自行车还是眼镜上的部件。那么，问题是怎么产生的呢？我们又如何避免这种情况发生呢？

为了做到这一点，我们需要更多地了解连接的功能以及紧固件的螺纹如何相互作用。我们还需要分析一些应力，才可以完全理解产生松动的原因。只有这样，我们才能确定最佳解决方案，尽量减少或防止松动。在拧紧过程中，摩擦作用在紧固件螺纹和承载面上，随后是这种摩擦防止拧紧后的紧固件发生松动。那么如果摩擦可以约束连接，为什么它仍然会松动呢？

### 连接

在理想的环境下，连接面本身可以承载动态载荷并防止松动。紧固件扭矩必须达到一定的预紧力，且螺栓式连接方式受力只能来自拉力。动态载荷可能会引起松动。为了防止紧固件松动，设计中应考虑防止装配部件由于侧向负载引起的滑动。为此，夹紧长度显得尤为重要。夹紧长度小于5倍螺纹直径的紧固件不会出现回弹力。他们无弹力且抗振性差。如果可能，连接设计应该修改夹紧长度，达到螺纹直径 $d$ 的5倍。这种螺栓式连接方式则更有回弹力，也改善了抗振效果。但在许多应用过程中，这一方法很难实现。

### 外部载荷

为了防止松动，设计师需要确定外部载荷作用。外部载荷将决定连接面摩擦力的持续性，以及是否需要采取其他预防措施。外部载荷分为两类：静态载荷和动态载荷。

### 动态载荷

动态载荷可以有几种不同方式 - 无论是设备本身，还是周边自然环境。当外部载荷作用时，螺纹摩擦力和承载面摩擦力有助于保持连接紧密。以标准机制螺纹为例，摩擦力仅存在于螺纹的一侧，而另一侧存在间隙。如果动态载荷足够大，螺纹摩擦力会显著下降，只留下螺钉头部或螺母在承载面上的摩擦力，以防止连接松动。

### 静态载荷

如果连接面的设计只有静态载荷作用，通常不会出现松动问题。但是，如远洋货船装载的货物在运输过程中一直恒定振动。重型柴油发动机产生的振动，使整个船上装运的货物都处于振动状态中。螺纹连接可能会发生松动。由于螺钉或螺母的松动、转动松脱甚至丢失，会使整个组装件支离破碎。

## 摩擦

通常定义为摩擦系数（CoF）。摩擦取决于选用的材料和涂层。一些材料本身就决定了摩擦系数的大小，如不锈钢和铝，而钢材通常需要经过额外的表面处理，才能决定摩擦系数。通常情况下涂层中的摩擦调节剂被用来控制摩擦系数CoF，从而减少拧紧扭矩的误差，进而控制夹紧力。这样一来使我们陷入两难境地。使用摩擦调节剂，可以确保我们实现正确的夹紧力，最大限度锁紧紧固件。但同时却降低摩擦系数CoF，在动态载荷作用下增加了松动的风险。紧固件处于极限夹紧力的状况下，螺纹侧面和承载面受极大外部载荷作用时，可以承受更多的动态载荷。但在某些情况下，如拧紧塑料、铝等软性材料时，这种情况就不会出现。因此需要使用其它安全防松装置。

## 头型

### 法兰/垫圈面头型

使用法兰或垫圈头型这类接触面较大的头部，在头部和接触表面之间可以产生更多的摩擦。这也降低了承载面上的表面压强，减少紧固件嵌入表面的情况，同时产生更多的摩擦以保护螺纹连接不受动态载荷的影响。

### 锯齿面/带肋法兰头

承载面上使用锯齿面/带肋法兰头，可以实现锁紧功能。拧紧时，锯齿面/带肋面抓牢对手件表面，形成高强度金属锁紧效果。而这种类型的锁紧方式可能会使对手件表面受损，尤其是涂漆表面，需要注意。

如果在螺钉承载面上使用锯齿面设计，还应当在配合的螺母承载面上使用锯齿面，以确保连接接触面具有很高的摩擦力。垫圈不应与带锯齿面零件一起使用。



## 螺母

如果不考虑使用锯齿面增加承载面的摩擦，也可以采用螺母锁紧方式。但通常如果螺母使用不当也会造成松动。“全金属或非金属嵌件的有效力矩型锁紧螺母”。这个标题本身可能会产生误导，因为这些螺母通常被称为“锁紧螺母”。通过使用尼龙环或者变形的金属螺纹，防止连接面上的摩擦力损失。但即使螺纹中有卡紧装置，也不能避免螺母旋转松脱。有效力矩元件决不会在螺母的整个高度上延伸。卡紧效果只局限于螺母顶部有限的几个螺距，而剩余的螺纹却没有被锁紧。



当动态载荷大到足以降低连接面的预紧力时，锁紧性能可防止螺母的脱落，但不能防止螺母在轻微旋转时进一步失去预紧力，预紧力一旦失去将无法复原。这可能导致连接件移位甚至最终疲劳失效。此外，当使用有效力矩型锁紧螺母时，需考虑重复使用性，重复使用将导致锁紧效果逐渐减弱。



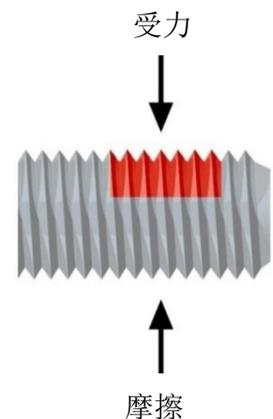
## 螺纹锁紧方式

### 高分子聚合物涂层

非金属有效力矩螺纹的锁紧元件是聚酰胺。聚酰胺是一种热塑性树脂，可在120°C以上高温下软化，在这个范围里有效力矩将会消失。有效力矩螺纹通常是在局部点上聚酰胺涂层，首先将细粉末涂到预定加热的螺纹区域。经过高温处理，螺纹表面粉末层立即软化粘附在螺纹上。最终在螺纹上形成一块软性的聚酰胺补丁，在螺钉锁紧时卡在对手件的螺纹里。松动了的螺钉不再会因振动继续旋转。

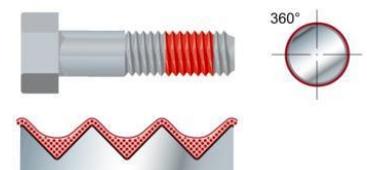


如果涂装时旋转螺钉，就可以360°涂上聚酰胺涂层。这不仅可以卡住螺纹，而且同时起到密封效果 - 这种螺钉的设计对密封容器的安装非常重要。聚酰胺涂层可以直接作业于有效部位，即外螺纹或内螺纹啮合之处。涂层厚度可以在一定程度上做相应调整，并可由此产生有效力矩的效果。通常预留出螺纹端的2-3个螺牙不需要涂层。这样螺钉锁入对手件时就不会出现问题。有效力矩螺钉通常用作调节螺钉。



### 粘合涂覆

使用“粘合涂覆”也可以消除普通螺钉和螺母或内螺纹之间的螺纹间隙。装配时，将这种产品填充在螺纹缝隙间，通过硬化，防止螺纹侧面互相打滑。保持摩擦，且螺钉/螺母也可抵抗振动的影响。整个硬化过程可以长达72小时。但在大多数情况下，部件会在短时间内锁紧。因此，考虑到锁紧效果，应避免装配后调整紧固件。基于相同原因，粘合锁紧方式只能使用一次。如需拆卸，紧固件必须报废。360度粘合涂覆也带来良好的密封效果。应当注意的是，“粘合强度”应对应紧固件的强度。如果粘合锁紧效果“非常强”，则可能导致拆卸时损伤硬件。



## 垫圈

垫圈属于紧固件系列产品，却没有直接紧固的作用。错误使用垫圈的情况无处不在，且经常会在连接时降低连接强度或增加动态连接的松动风险。

## 平垫圈

使用平垫圈（如果选择正确的话），目的是帮助降低较软材料的表面压强，从而减少沉降导致的夹紧力的损失。垫圈的承载面通常大于螺钉和/或螺母的承载面。接触面直径越大产生的摩擦阻力就越大。因此，拧紧时总是螺栓的头部在垫圈上转动，而不是垫圈在夹紧部件上转动。垫圈会保护较软的材料，从而降低动态载荷引起的松动风险。根据紧固件的性能等级选择正确的垫圈硬度。如果接触面材料太软不能支撑螺栓头部，选择错误的垫圈硬度则会导致更高的松动风险。



## 开口锁紧垫圈

大多数人误以为使用开口锁紧垫圈可以降低旋转松动的风险。但在大多数情况下，这种假设是不正确的。使用开口锁紧垫圈的目的是减少嵌入时夹紧力的损失。因此，如果使用得当，它将降低动态载荷引起的松动风险。但人们常常过高估计这些垫圈的强度，从而导致嵌入和/或动态载荷作用下更高的松动风险。众所周知，开口锁紧垫圈在强度上只能达到**5.8级**紧固件的夹紧力（紧固件使用达到极限值）。当与这些紧固件配合使用时，开口锁紧垫圈将减少夹紧力的损失，从而降低动态载荷作用下的松动风险。

此外，大多数开口锁紧垫圈的边缘具有机械式锁紧效果，在软性材料表面锁紧时，可以帮助提高锁紧效果。

需要强调一点，当开口锁紧垫圈与**8.8级（5级）**甚至更高的热处理紧固件配合使用时，防松效果并不明显甚至不存在。垫圈的弹性太弱，并且垫圈边缘不会进入硬质紧固件表面。与更高性能等级的紧固件配合使用时，由于垫圈在高负载力的作用下可能会发生塑性变形甚至断裂，事实上会造成更大的风险。

### 锯齿面锁紧垫圈

这个标题本身就是一个误导。这种垫圈仅仅起到促进导电的作用。常用于接地安装上，例如汽车电池。垫圈上的锯齿状部分被视为锁紧特征，但事实上这种垫圈的设计通常不能承受装配中的压力。这样会导致更高的嵌入风险，以及随之而来的更大的松动风险。即使锯齿可以增加较软材料上的摩擦力，但大多数紧固件（性能等级为8.8及以上）的表面硬度仍然太高，不能有效实现金属锁紧。在某些情况下，比如与性能等级6.8级及以下的紧固件配合使用时，它的表面压强和夹紧力有限，会有一些锁紧效果。



### 带肋锁紧垫圈

带肋锁紧垫圈至少一侧有脊。与螺纹的摩擦共同作用增加承载面的摩擦，防止螺钉和/或螺母的自发性旋转松动。

脊（齿）的设计使它们自身固定在被夹紧的工件上，同时锚固在螺栓或螺母的承载面上，抵住反向作用力。与锥形弹簧垫圈和开口锁紧垫圈相似，带肋锁紧垫圈用来降低嵌入的风险。与平垫圈相同，带肋锁紧垫圈也具有不同规格，根据形状差异功能也各不相同。带肋弹簧锁紧垫圈的外径与螺钉和/或螺母的承载面直径大致相同。两面都有肋状纹路。

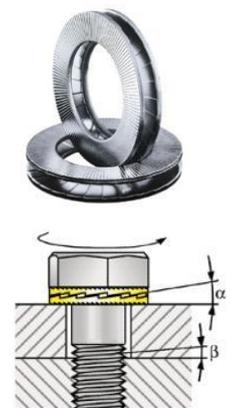


**Rip-Lock** 型带肋弹簧锁紧垫圈具有更大的外径，包含大间隙孔和腰形孔两种。螺钉头部或螺母位于脊状一侧的上端面。垫圈底面没有脊。垫圈的大直径在夹紧部位产生足够的摩擦力，防止垫圈转动。



### NORD-LOCK垫圈

Nord-Lock是一种特殊锯齿形锁紧垫圈。这种垫圈总是两两配对达到锁紧效果。外表面有肋状纹路，甚至可以咬合在异常坚硬的材料中，内表面具有细致精密的坡面。拧紧螺钉/螺母时，两片锁紧垫圈之间的坡面紧密贴合，垫圈之间牢固连接。如果螺钉因振动造成旋转松动，上垫圈将旋转与下垫圈稍稍滑移。由于垫圈坡面的角度大于螺纹升角，此时实际上增大了夹紧力，依然可以有效的防止螺钉的旋转松动。**Nord-Lock**垫圈可多次重复使用，使用稍高的拧紧扭矩即可达到需要的夹紧力。请参阅Bossard产品目录中的相关介绍。



原始的Nord-lock锁紧垫圈不能像锥形带肋锁紧垫圈一样防止能量释放。最近Nord-lock新推出了一款锥形带肋Nord-lock垫圈，除了具备常规性能外还具有减少能量释放的效果。



综上所述，这些带肋锁紧垫圈具有以下特点：

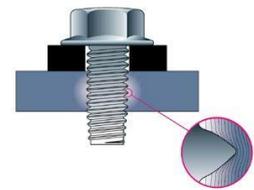
- 必须配合螺栓/螺母使用实现安全锁紧
- 可与硬化后的紧固件配合使用。但只有Nord-Lock垫圈可以用在12.9级的紧固件上。

## 自攻锁紧螺钉

通过消除螺纹中的间隙，自攻锁紧螺钉在动态载荷作用（振动）下不会出现松动。通常在螺钉和螺母配合的螺纹之间存在间隙。然而，在工件上拧入自挤螺钉时内螺纹通过挤压形成，不存在任何螺纹间隙。



即使装配部件发生强烈振动，螺纹面也不会出现相对滑动。完全可以保持现有的螺纹摩擦力，从而可避免使用额外的锁紧装置。即使在拆卸和重新装配后，仍然保持抗振防松性能。使用自攻锁紧螺钉无需螺母，可在盲孔部件或通孔部件中进行安装。由于自攻锁紧螺钉良好的抗振防松性能，设计工程师们把它成功地运用在剧烈振动的机器和设备上。



自攻锁紧螺钉可以应用于低碳钢，轻合金和大多数塑料材质上，不同类型的材料选用不同类型的螺纹。孔径和螺纹啮合长度如何才能确保动力锁紧效果，相关介绍请参阅Bossard产品目录中的技术章节。

## 总结

适用于任何连接设计的万能的解决方案根本不存在。设计工程师需要计算/估算连接处松动的可能性。考虑力、材料、安全需求、设计要求、可重复使用性、装配等诸多因素，才能选择恰当的应用解决方案。