

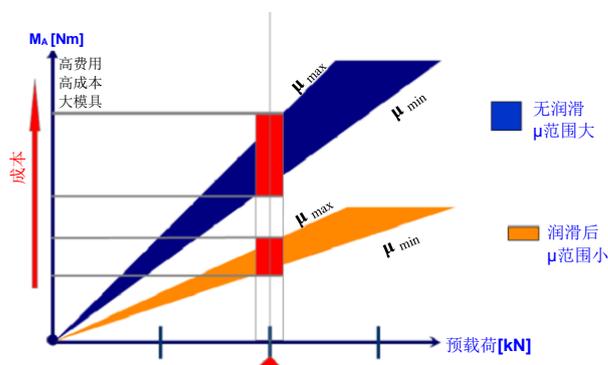
## 为何螺栓式连接中的摩擦对于过程能力至关重要

Martin Rüedy 著, Bossard 专家团队

### 简介

“精益生产”是当今主流趋势，带给人们更精益、目标更明确的制造过程。全球都在研究更高效、更低耗和更长生命周期的解决方案。在评估表面处理或涂层的新型材料或工艺时，摩擦性能例如摩擦、润滑和磨损几乎总是倍受关注。

在工业生产中，可拆卸的螺钉式连接方式在考虑到新型设计和材料时，成为了重要的组成部分。有关材料开发和过程能力，被日益提升的需求带动，不断提高了装配工艺。



### 成功连接解决方案的议题和见解

1. 过程能力
2. 装配过程中的过程能力
3. 摩擦性能方面的挑战

### 螺钉工艺的挑战

市场需要可靠的最终成品，具有高度实用性和更长的使用周期。为满足这些要求，在考虑螺钉式连接功能的安全性同时，需要选择恰当的表面工艺。材料之间的搭配和适当的防腐处理必须足够满足外部影响和应力的要求。例如，即使在高温作业下，也应确保连接的安全性，比如连接发动机的排气管。

然而，除了保护功能之外，技术性表面处理还必须满足装配线上对摩擦性能的要求。通常，螺钉在安装时，使相对移动的表面之间受到摩擦的影响，有效的螺钉预紧力受到装配扭矩的决定性影响。

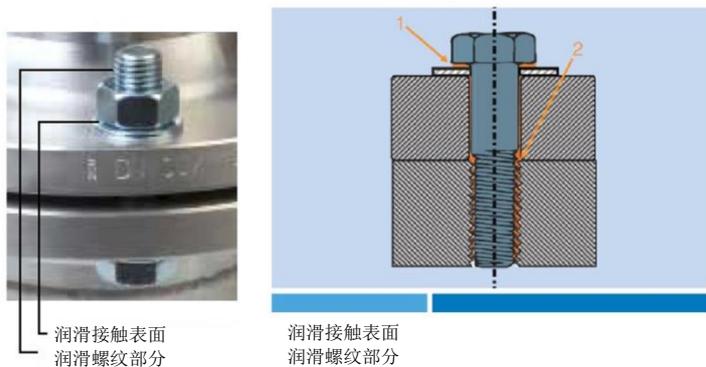
一个带工艺参数的螺钉在进行装配时，在螺纹和螺钉头部接触表面处需要保持恒定低的摩擦分布。对连接元件进行润滑就成了保证质量可靠的基本要求。

由于考虑到使用工业产品在环境和卫生方面受到的法规限制，因此需要更加注重此类问题波及财务状况。

液态润滑剂越来越多地得到关注，并作为底涂在螺纹连接处起到功能性干性涂层的作用（表面涂层）。新的表面保护涂层已经问世，它的使用范围更广，具有更好的防腐性能，此类表面处理类似甚至优于含Cr(VI)成分的铬酸盐涂层，并取而代之。然而，表面技术的标准化工作限制了工业涂层技术的发展。摩擦值校准和防腐数据的标准化变得越来越困难，这一问题归结于广义的环保铬涂层与表面涂层的结合。

## 结论

汽车行业事实上成为了工厂装配工艺的技术驱动力，它提供了可靠的防腐规范和摩擦值范围，并涵盖了安全操作的全部要求。国际化大型公司正日益面临越来越大的压力，他们需要找到更好的解决方案，提供更高效率的装配条件和更长久的生命周期。



润滑部位演示图

## 1. 过程能力

对于安全性螺钉式连接而言，必须确保正确的预紧力，因此不适合使用没有控制工艺的手动安装过程。对影响过程可靠性的所有相关变量进行检测，是十分必要的工作，尤其需要考虑摩擦值分散度，以及选择使用正确的螺钉。

通过合理的方法，基于对螺钉工艺的风险分析，人们可以从汽车工业中得出一个实用的操作过程。VDI 2862 是螺钉式连接分类的可行性基础，并规定了相应螺钉系列的选择和使用指南。

在这一指南中，根据汽车行业标准将螺钉式连接分成了三个风险等级。可靠的装配工艺也因此与工具的正确使用相互关联。

### 风险等级 A

（“对生命和肢体造成直接或间接的风险”）

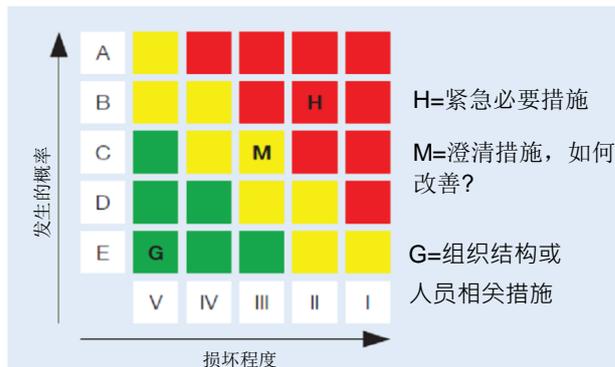
当该螺钉连接点的故障极有可能导致与安全相关的故障或机器/装置/车辆的损坏，从而对生命和肢体造成直接或间接的风险。

风险等级 B  
（“功能性故障”）

当螺钉连接点的故障导致车辆中的功能性故障。

风险等级 C  
（“客户困扰”）

当螺钉连接点的故障导致客户困扰。



过程能力指数Cp和CpK是过程特性在统计评估中的关键指标。您可以根据规格为获取可靠的结果指定目标范围。因此，可以将摩擦值，规定扭矩和部件上的目标预紧力定义为测试特性。

CpK 值定义如下，基于平均值  $\mu$ ，相应的标准偏差和规定的上限值（UST）或下限值（LST）：

$$C_{pK} = \frac{\min(\mu - USG; OSG - \mu)}{3\sigma}$$

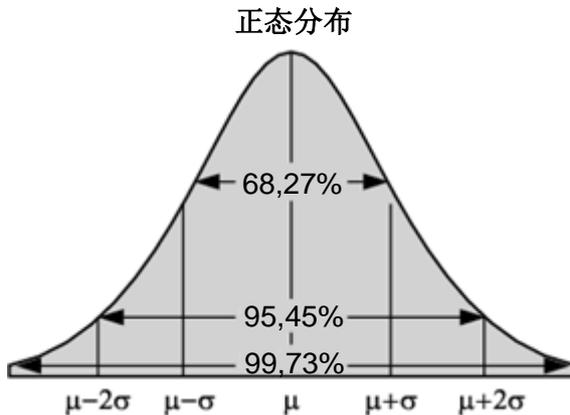
这一数值越高，整个一系列测量内容在规范内就越可靠。

Cp 值定义如下：

$$C_p = \frac{OSG - USG}{6\sigma}$$

只有定义了上限和下限后，才能计算Cp值。

虽然Cp值仅表明指定的公差和过程分布之间的比率，但CpK值还包括关于指定的公差平均值的定位。在最佳情况下（过程平均值恰好处在公差范围的中间数值上）， $C_{pK} = C_p$ ；否则， $C_{pK} < C_p$ 。



正态或高斯分布图 (根据Carl Friederich Gauss的论点)

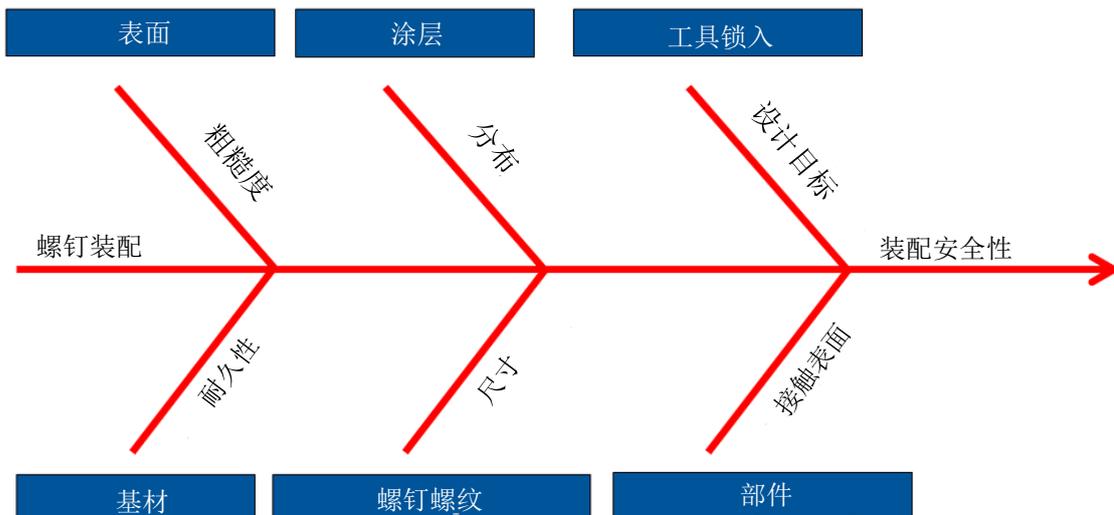
## 结论

因此，装配过程能力是保证较短装配时间的重要要求。摩擦偏差或是甚至螺钉的断裂常常引起装配过程中无法预测的停产。必须通过适当的约束条件和相应的装配规范防患于未然。因此，高水平的过程可靠性意味着可以根据期望值恰当地实现预紧力。

## 2. 装配中的过程可靠性

### 装配可靠性 - 受摩擦值影响

可靠性主要由装配预紧力决定。装配是基于装配规格和摩擦学临界条件进行的。在装配过程中，通过螺纹副和接触表面（连接零件 - 部件）上的摩擦，会严重影响装配预紧力。当螺钉进行组装时，装配的有效功率比率仅为大约 10 ~ 20%!



## 螺钉连接中的摩擦学临界条件

人们可以清楚地认识到，根据设计计算出的目标预紧力，只有通过明确限定的摩擦临界条件得以实现。可靠的装配工艺也需要通过减小摩擦分散度得以实现。对于安全连接，实际应用需要定义润滑。

为了缩短生产时间、降低成本，按照“精益生产”的目标，从需求报告到产品验收的一切活动流程必须实现最佳组织方式。在生产活动中，例如预备评估，事实上并没有创造价值，因此应该尽量避免。

在连接零件上直接涂上干膜涂层，提高了装配所需的可靠性，同时为实现预紧力（Bossard 涂层如 **ecosyn®-lubric**）定义了摩擦值范围。为了确保安装更换部件时的装配可靠性，应使用完整润滑的新涂层螺钉零件。

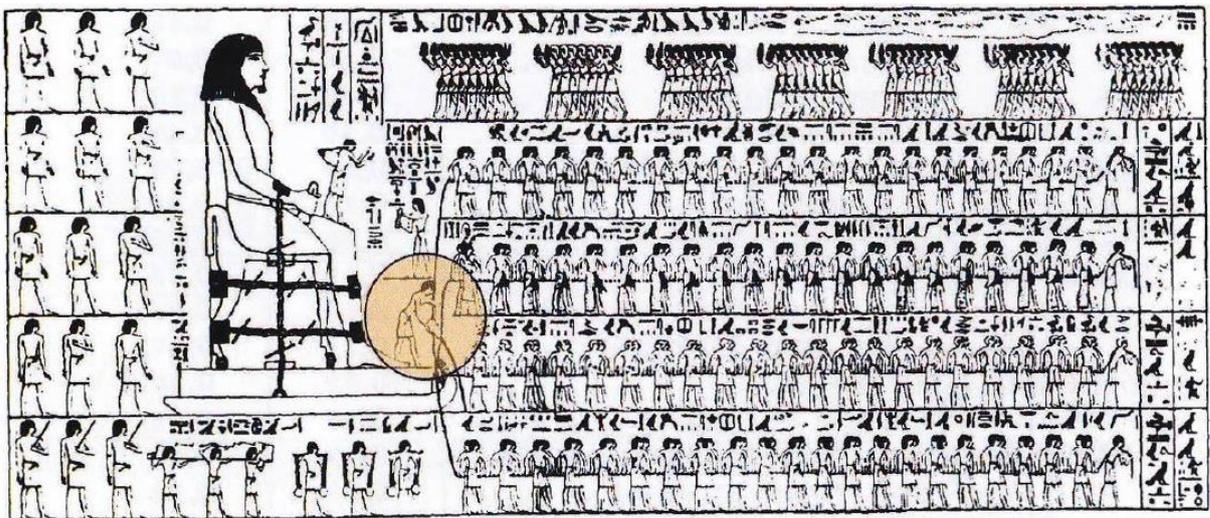
## 结论

经济装配线是一种在正确使用装配工具条件下的简单装配过程。螺钉零件具有摩擦特性，对实现所需的装配预紧力来说至关重要。

因此，与安全紧密相关的连接必须配备新的螺钉零件，必要时使用标签识别（生产批次）便于记录。

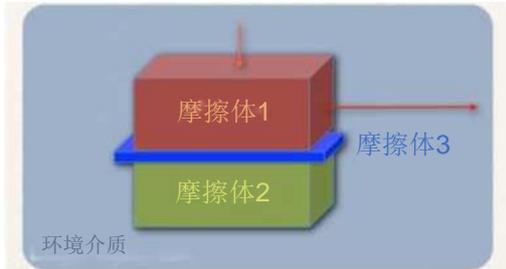
## 3. 摩擦是一项挑战

即便是在1880年期间，埃及人也能通过一些方式减少摩擦，运输雪花石巨像。从传统的记录中可以追溯出真实的润滑方法，责任明确，控制摩擦条件。



埃及雪花岩巨像的搬运

根据 DIN 51834-2, 对摩擦的描述如下: “摩擦是在相对运动中表面相互影响的科学和技术”。它涵盖了摩擦和磨损的整个内容, 包括润滑, 并涵盖固体与固体, 流体与气体之间相应临界表面的相互作用。



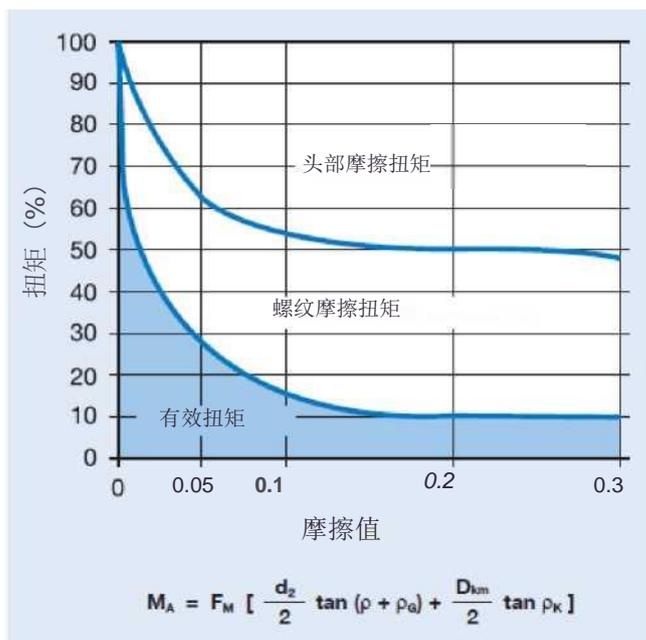
## 螺钉式连接和分离连接处的摩擦及其变量影响

摩擦是两个物体接触表面之间的相互作用。它抵消了相对运动, 当进行、停止或结束接触表面的相对运动时发生的机械能损失。摩擦也可以定义为不可逆的热力学过程。

有关不同材料/表面的参考值, 和螺钉式连接润滑状态的摩擦等级分配, 可以在 VDE 2230 中找到。

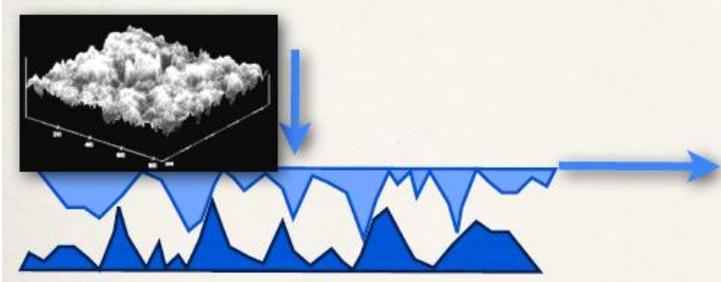
有证可考的数据通常只适用于实验室条件和室温环境, 因此必须针对各自的应用和特定的使用条件重新进行持续评估。摩擦值  $\mu_{tot}$ ,  $\mu_{th}$ ,  $\mu_b$  表示分散度, 决定因素有很多, 例如材料配对, 表面质量 (粗糙度), 表面处理 (无处理, 镀锌, 非电解锌片涂层, 密封等) 以及润滑类型 (有/无油, 硫化钼, 石墨膏, PTFE 润滑剂等)。

定义摩擦比对于头部接触表面和螺纹接触表面都非常重要, 关乎设计和装配的可靠性。



摩擦值  $\mu$  在很大程度上取决于: 材料配对, 表面质量, 表面处理, 润滑。

磨损被定义为由于机械原因（即固体，液体或气体对抗体的接触和相对运动）导致的固体表面发生渐进性材料损失。体现在溶解颗粒（磨损颗粒）的出现以及摩擦影响表面的材料和形成变化。



## 润滑

润滑剂的总摩擦值对于确定螺钉式连接的扭矩和所得到的装配预紧力至关重要。

与安全相关的螺钉式连接方式必须进行润滑，特别是无表面处理、镀锌表面涂层或非电解锌片涂层以及防锈螺钉。螺钉式连接通常工作温度在  $-50^{\circ}\text{C}$  至最高  $+80^{\circ}\text{C}$  之间。用于可靠装配过程的常规摩擦值范围通常从  $\mu_{\text{tot}} 0.1$  定义而成（分散范围  $\mu_{\text{tot}} = 0.1-0.14$ ）。

如果使用另一种润滑剂，使分散范围大于  $\mu_{\text{tot}} = 0.1-0.14$ ，建议做进一步说明和调整。如有必要，应通过相应的试验测试真实的摩擦值。

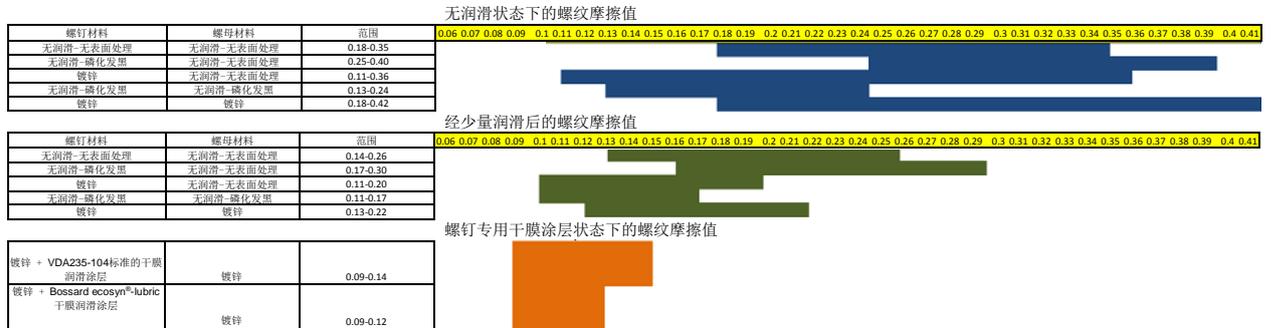
“干”的润滑状态需要作出特殊考虑，它不能满足控制紧固的要求（摩擦值未定义）。

代替流体润滑剂，干膜涂层被越来越多地使用，也就是人们所说的“抗摩擦涂层”，它们可以为更经济的装配带来更直观的功效。

- 确定润滑比，在工厂装配和保养过程中具有更高的装配可靠性
- 润滑绝不可遗忘
- 经济型装配方式，拆卸无需额外的准备工作
- 有效的工作方法降低了装配成本

干膜润滑涂层是一种用于机械应力安装零件（螺钉，螺母，垫圈）的系统解决方案。涂层通常由完整的润滑性能、非电解涂覆的薄膜涂层组成。人们通常所说的表面涂层（例如 **Bossard ecosyn®-lubric**）可以产生平滑的薄膜，均匀了表面所有的不规则不平整，因此即使在极端应力的工作条件下也可以完善摩擦条件。

对于有润滑/无润滑的摩擦值, 以下呈现出了无约束力的参考值分析, 显示了润滑效果。



## 结论

摩擦学可以作为一项独立的、跨学科的主题, 通过减少摩擦和磨损相关的能量以及材料损失来完善机械技术。由于使用中的表面涂层受到功能性侵蚀, 会出现颜色、表面状况和所使用螺钉材料的残余故障风险, 因此需要及时替换。建议对与安全相关的螺钉式连接处进行有计划的监察和定期检验 (评估)。

## 摩擦特性表

优化机械体系的摩擦测评目标	用户提及目标的出现频率(100%=978用户)
延长使用寿命	32
避免维护保养	22
提高负载/转速	9
改善生产	8
降低能耗及电量损失	7
减少渗漏, 密封	6
降低噪音	5
应用于高温环境	4
减少振动	4
减轻重量	2
其它	1