

扭矩与拧紧技术原理

【超过15年刀具应用经验，不仅仅是专业】
www.dagongju.com

一、拧紧的基本概念

任何机体都是由多种零件连接（即组装）起来的，而零件的连接有多种，采用螺栓连接就是其中最常用的一种，而欲采用螺栓连接就必须应用拧紧，因而这“拧紧”也就成了装配工作中应用得极为广泛的概念。

零件采用螺栓连接的目的就是要使两被连接体紧密贴合，并为承受一定的动载荷，还需要两被连接体间具备足够的压紧力，以确保被连接零件的可靠连接和正常工作。这样就要求作为连接用的螺栓，在拧紧后要具有足够的轴向预紧力（即轴向拉应力）。然而这些力的施加，也都是依靠“拧紧”来实现的。因而，我们很有必要了解一些有关拧紧的基本概念。

一. 螺栓拧紧的基本概念

1. 拧紧过程中各量的变化

在螺栓拧紧时，总体的受力情况是，螺栓受拉，连接件受压；但在拧紧的整个过程中，受力的大小是不同的（见图1），大体上分为下述几个阶段：

- (1) 在开始拧紧时，由于螺栓未靠座，故压紧力 F 为零；但由于存在摩擦力，故扭矩 T 保持在一个较小的数值。
- (2) 当靠座后（ Z 点），真正的拧紧才开始，压紧力 F 和扭矩 T 随转角 A 的增加而迅速上升。
- (3) 达到屈服点，螺栓开始塑性变形，转角增加较大而压紧力和扭矩却增加较小，甚至不变。
- (4) 再继续拧紧，力矩 T 和压紧力 F 下降，直至螺栓产生断裂。

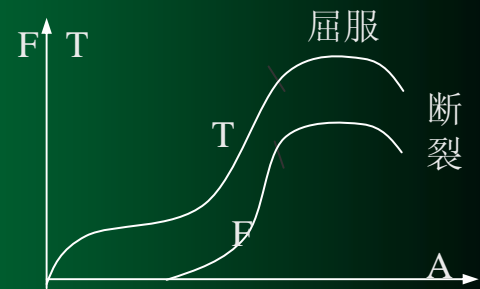


图 1

2. 力矩率

力矩率R所表示的是力矩增量 ΔT 对转角 ΔA 的比值（见图2），即：

$$R = \Delta T / \Delta A \quad (1)$$

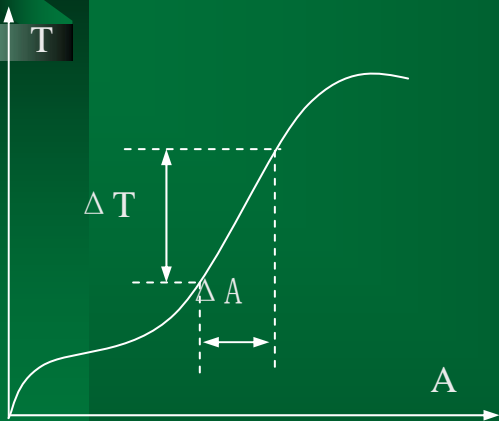


图 2

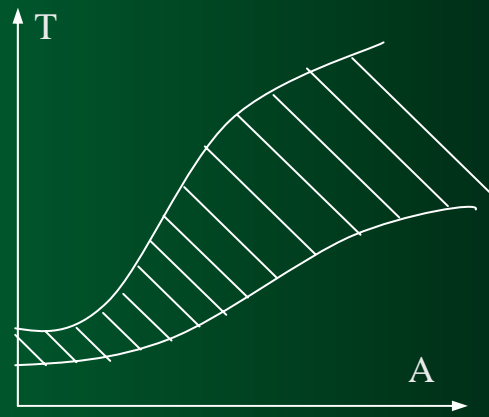


图 3

硬性连接的R值高，软性连接的R值低。R值与螺栓的长度、连接中各件之间的摩擦以及连接件垫圈的弹性有关。摩擦系数的变化，是影响力矩率的主要因素。此外，再加上垫圈、密封垫片等引起的弹性变化，装配线上同样螺纹连接之间的力矩率变化可能超过百分之百，这样，力矩/转角的曲线就可能落在图3斜线中的任何位置。

3. 摩擦与力矩对压紧力的影响

从图4中可见，同一力矩T值，而由于摩擦系数 μ 值的不同，压紧力F可能相差很大。所以，摩擦系数 μ 对压紧力F的影响是非常大的。这里的摩擦系数主要是指螺纹接触面、螺栓与被连接件支撑面间的摩擦系数。

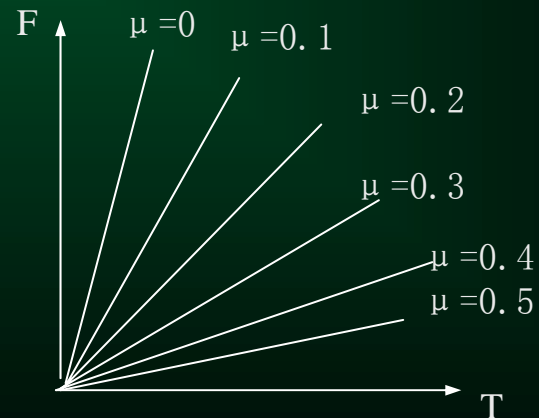


图 4

装配工作按精度等级分为三类

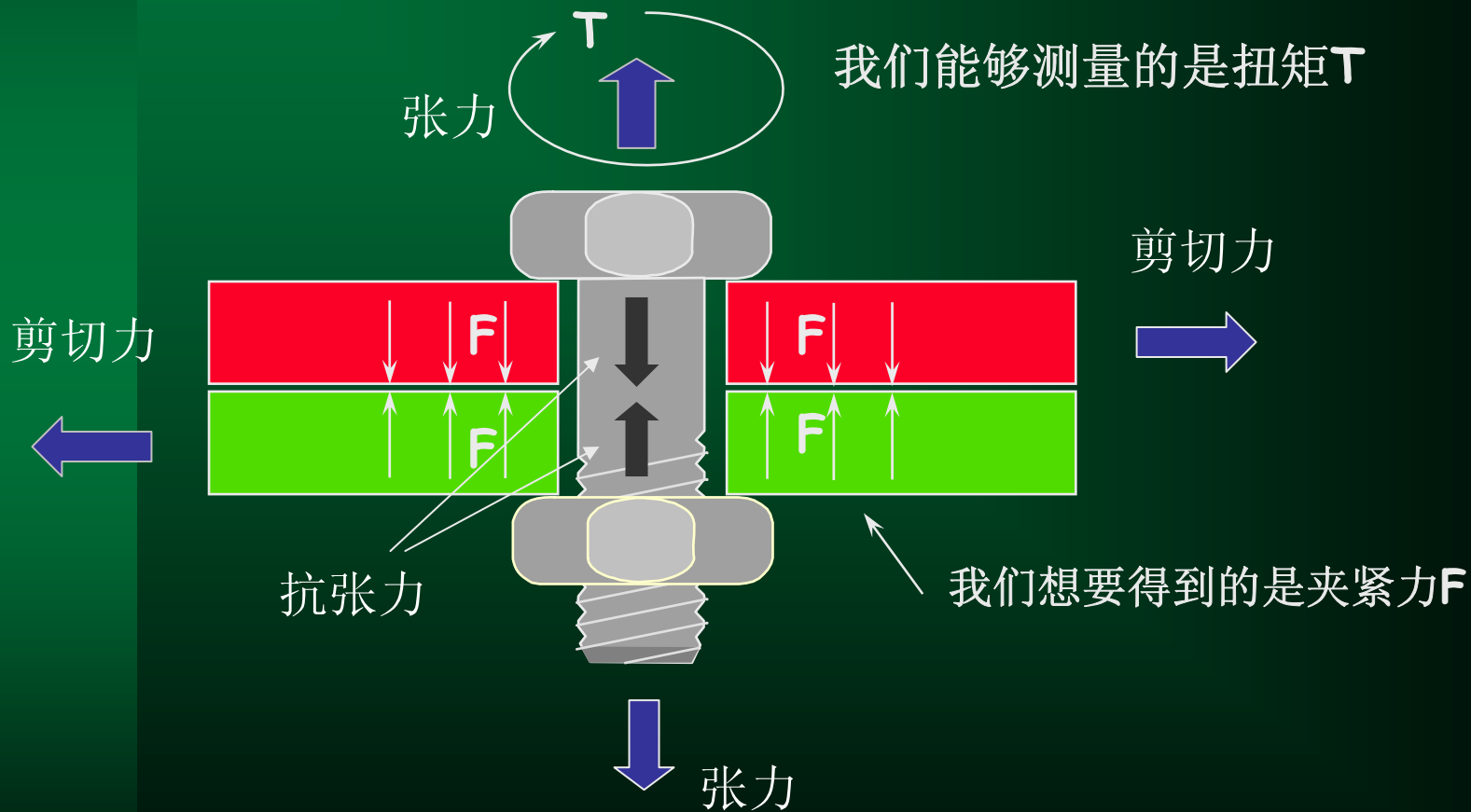


安全等级

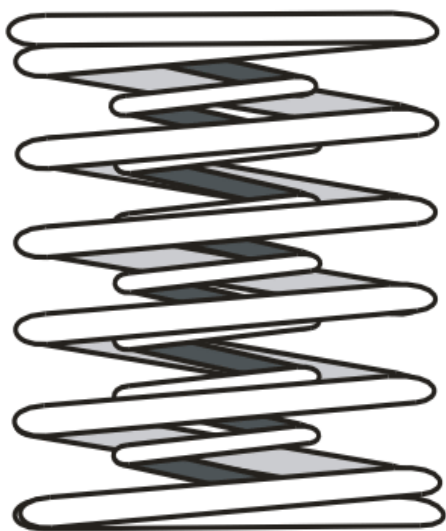
质量等级

客户定义等级

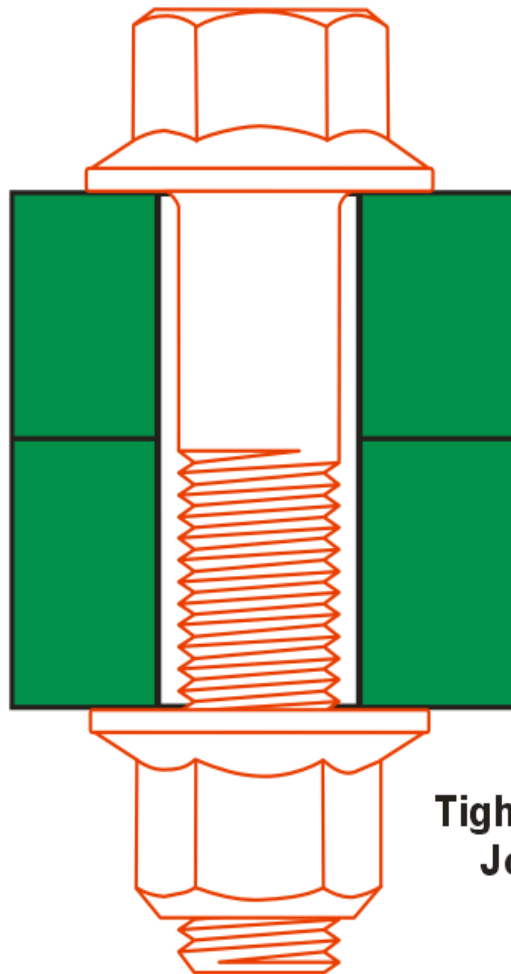
测量拧紧效果



螺栓与连接件的关系

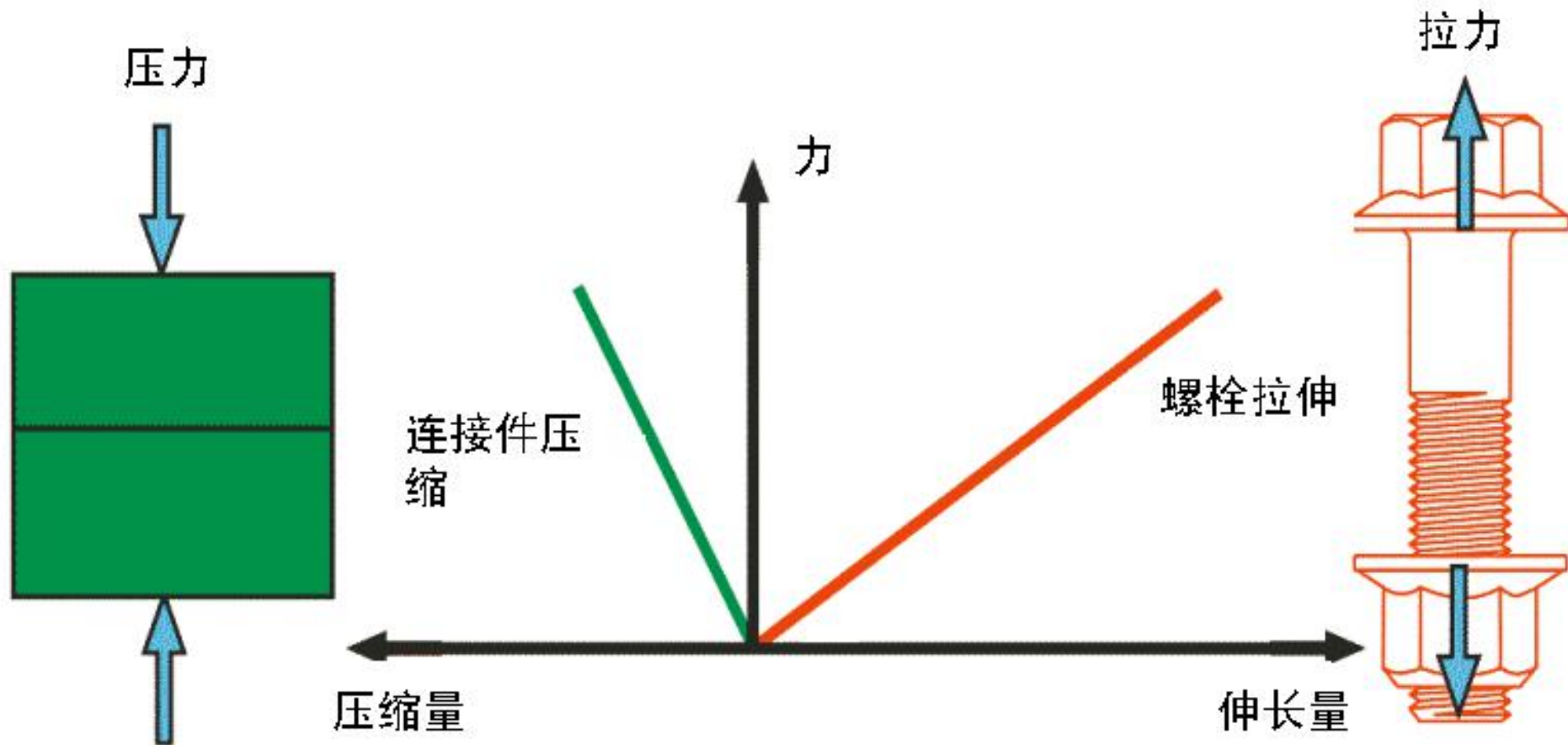


**Tension Spring
secured within the
Compression Spring**

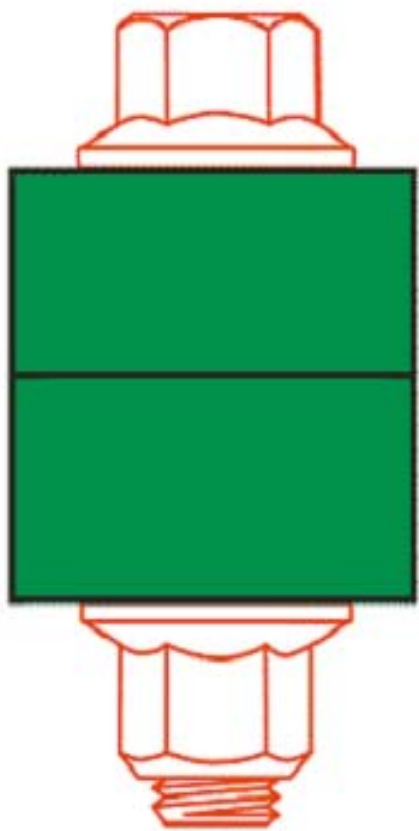


**Tightened
Joint**

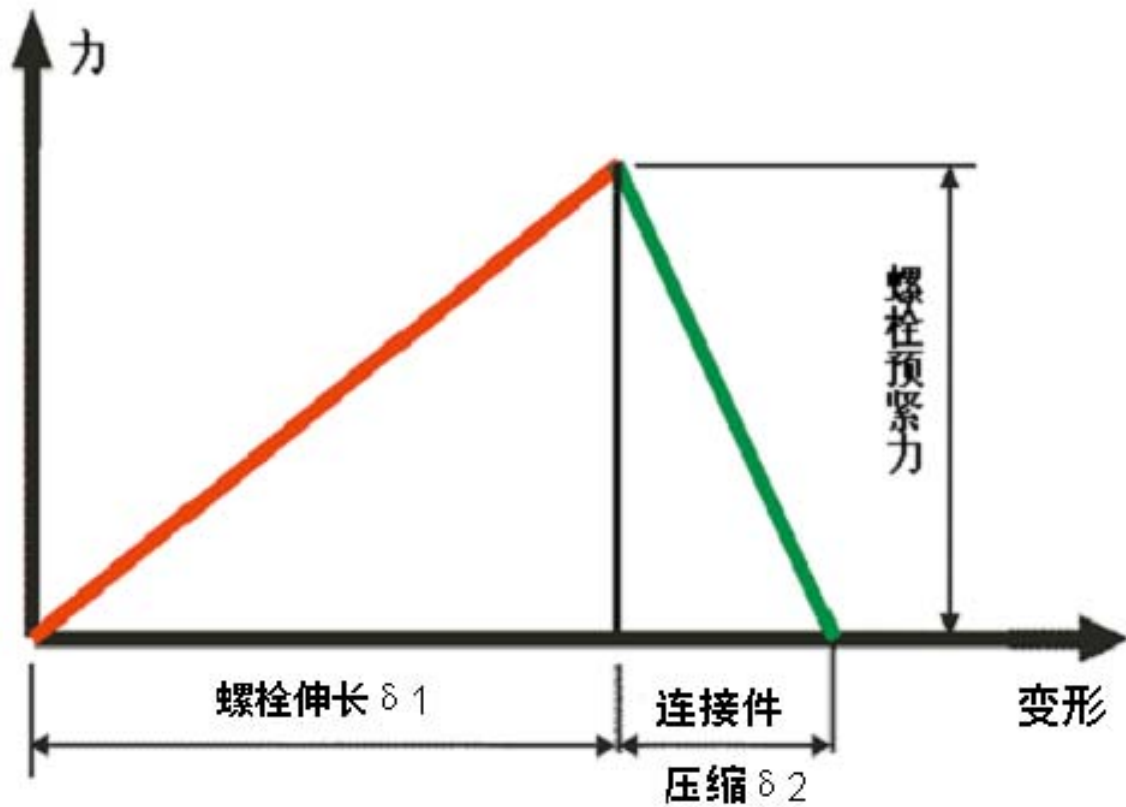
螺栓和连接的变形



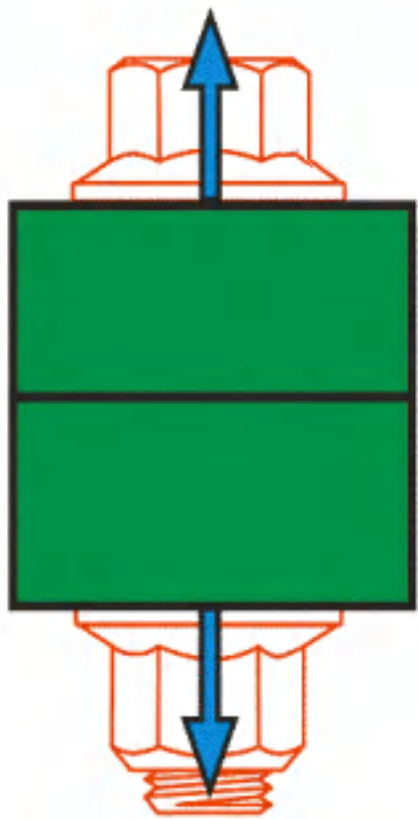
螺栓连接的变形关系



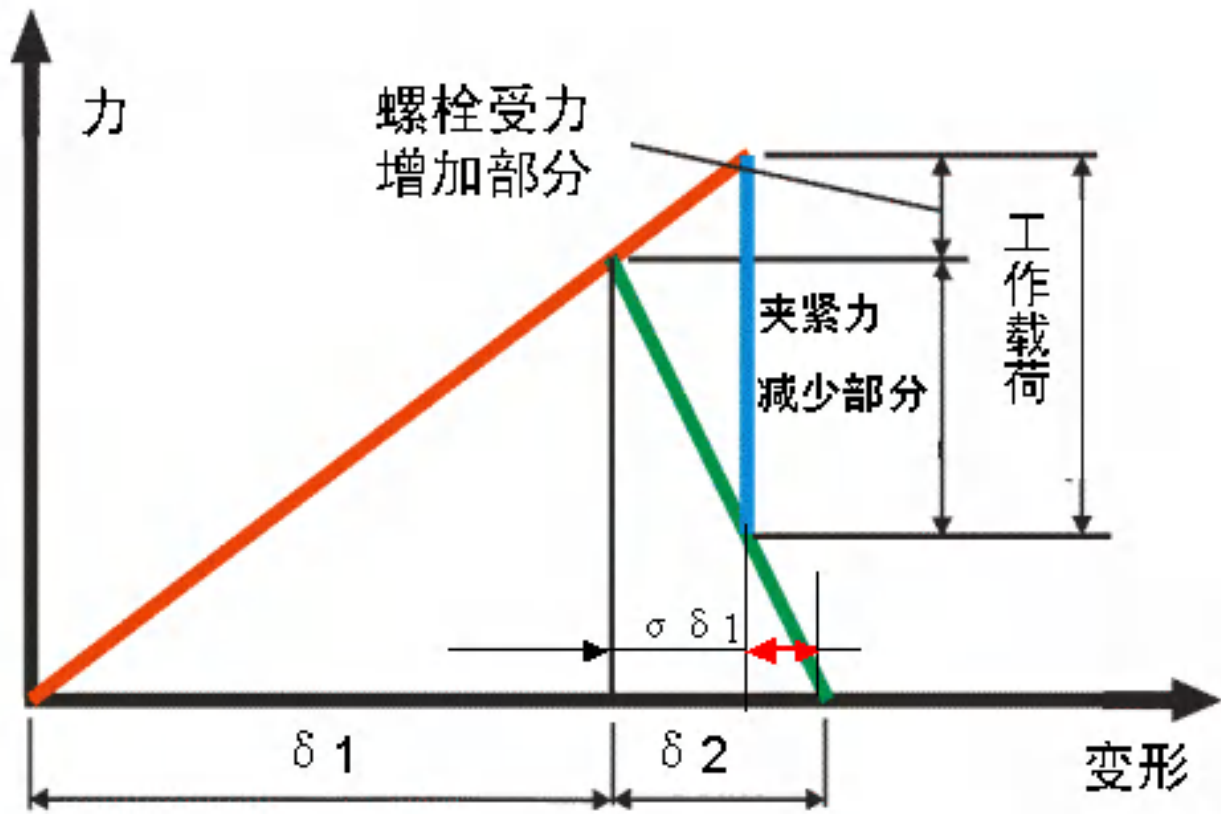
由一个拧紧螺栓连接起来



轴向工作载荷的影响

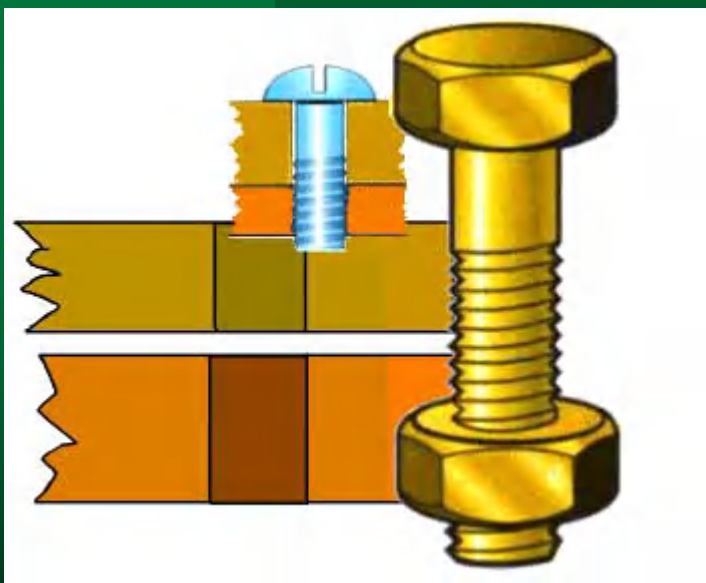


连接受力方向



通过螺纹产生夹紧力把连接件夹紧

- 旋转螺母或螺丝使螺杆受力伸长
- 螺杆伸长产生的夹紧力把连接件夹紧
- 我们需要的是连接件中的夹紧力



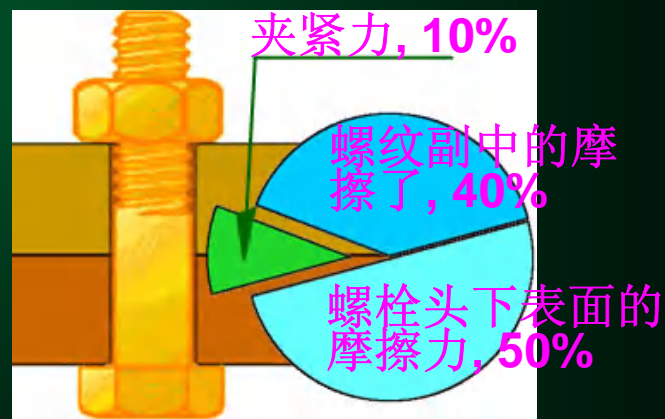
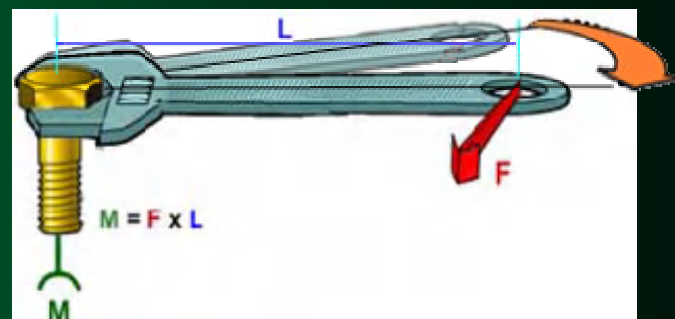
施加的扭矩并不象夹紧力那么简单

力 (F)*力臂 (L) = 扭矩(M)

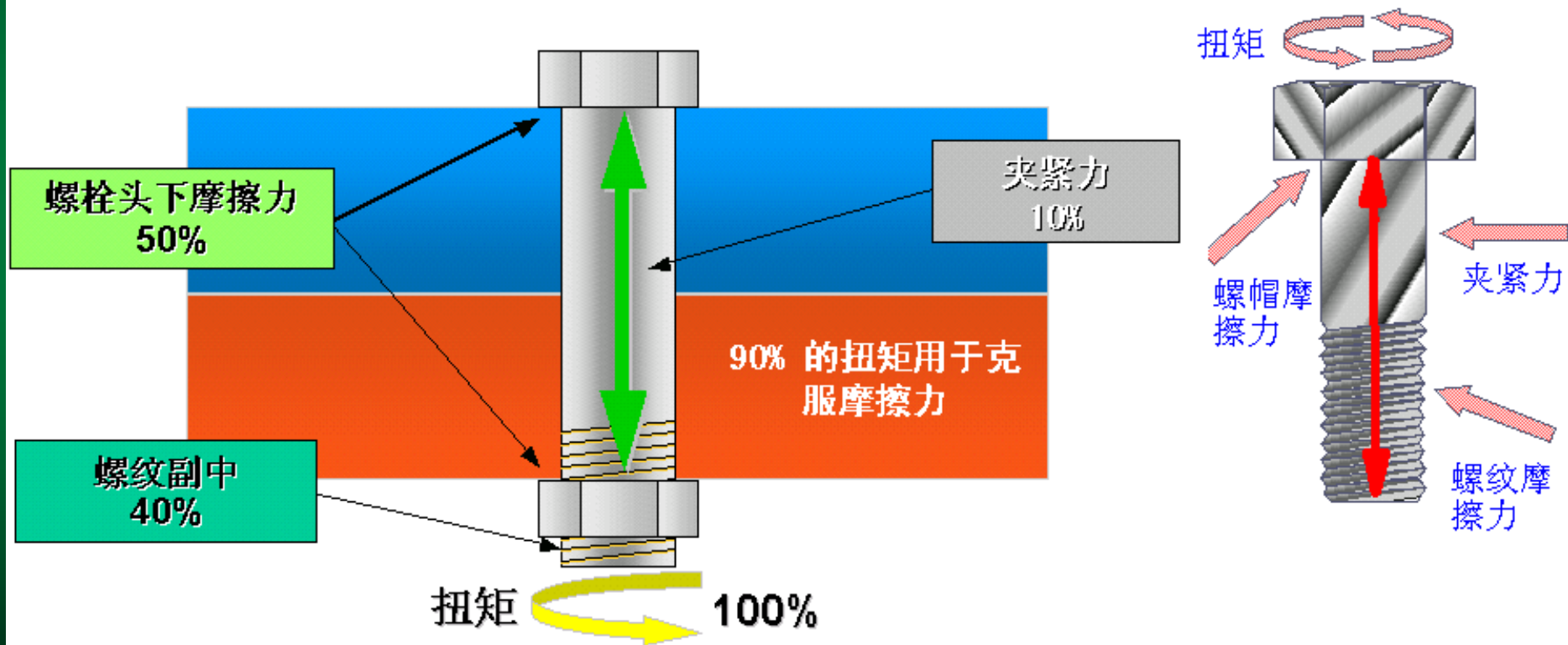
螺栓旋转的越多，得到的扭矩越大

但是，

- 90% 的扭矩被摩擦力消耗
- 只有10%的扭矩转化为夹紧力

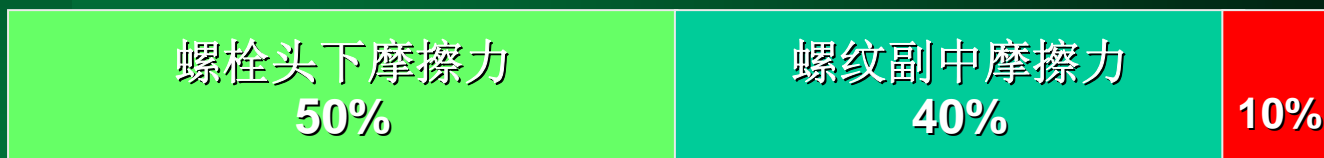


The 50-40-10 规则



夹紧力与摩擦力的关系

通常的情况



在螺栓头支承面下加润滑油

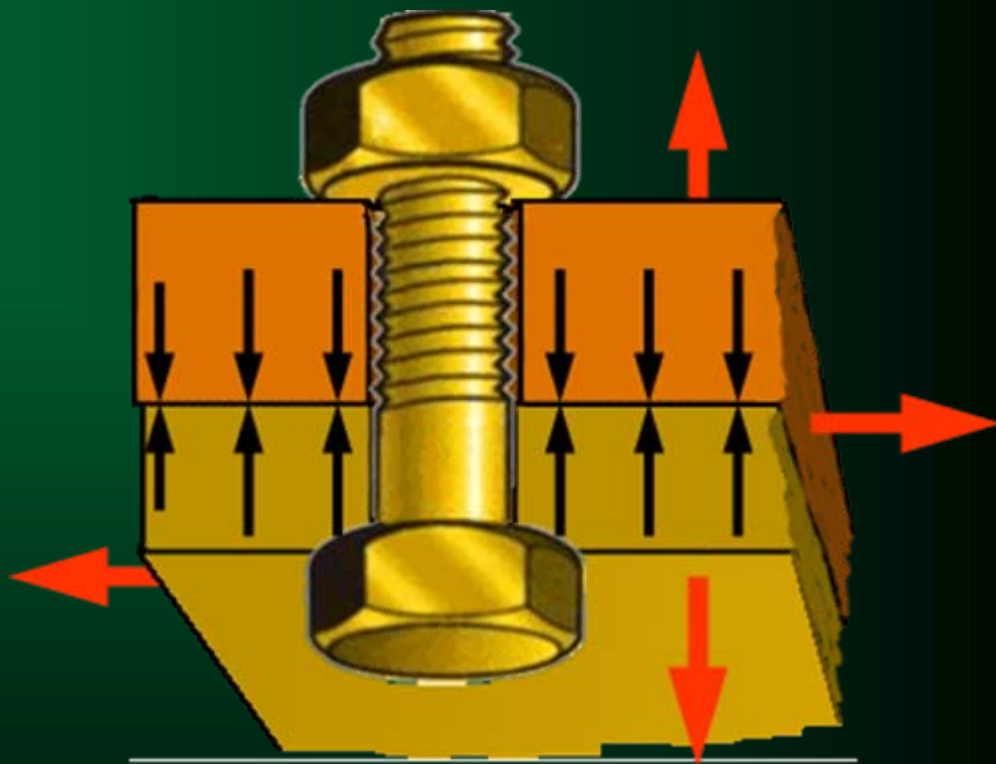


螺纹副中有缺陷，如杂质、磕碰等



一定要确保施加的扭矩达到最小需要扭矩

- 夹紧力一定要高于外部载荷
- 安全余量载荷的影响因素：
 - 振动
 - 摩擦力的变化
 - 连接件尺寸变化
 - 拧紧精度

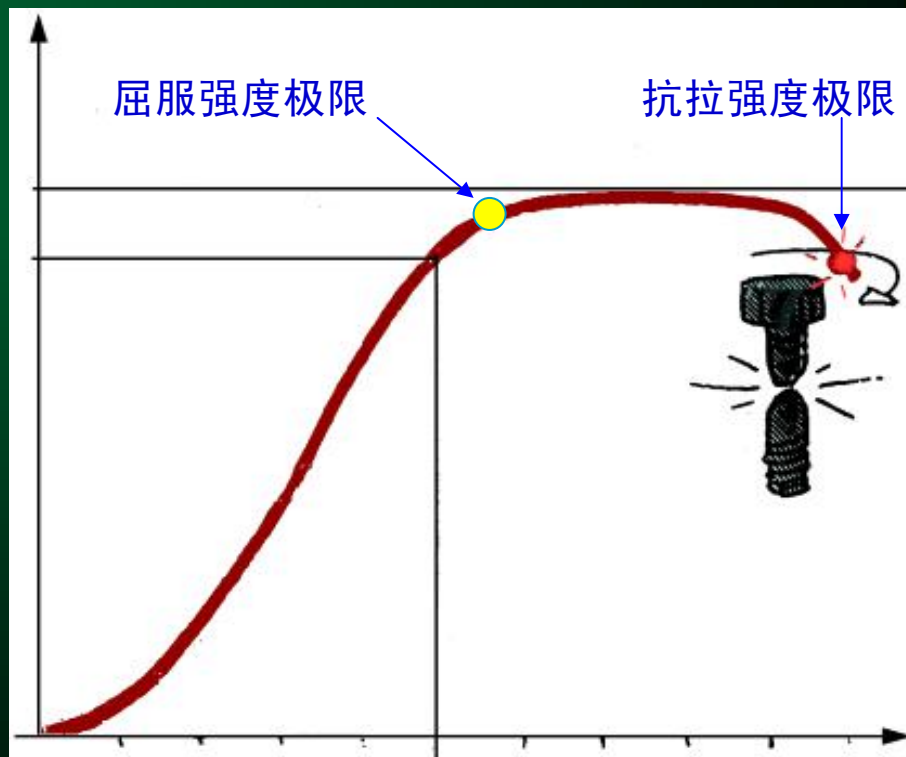


施加的扭矩不要超过使用极限

- 施加的扭矩过大会使螺栓过度伸长
- 安全余量取决于：
 - 拧紧精度
 - 材料等级

螺栓连接件的特性

扭矩夹紧力



旋转转角

螺栓连接件的特性

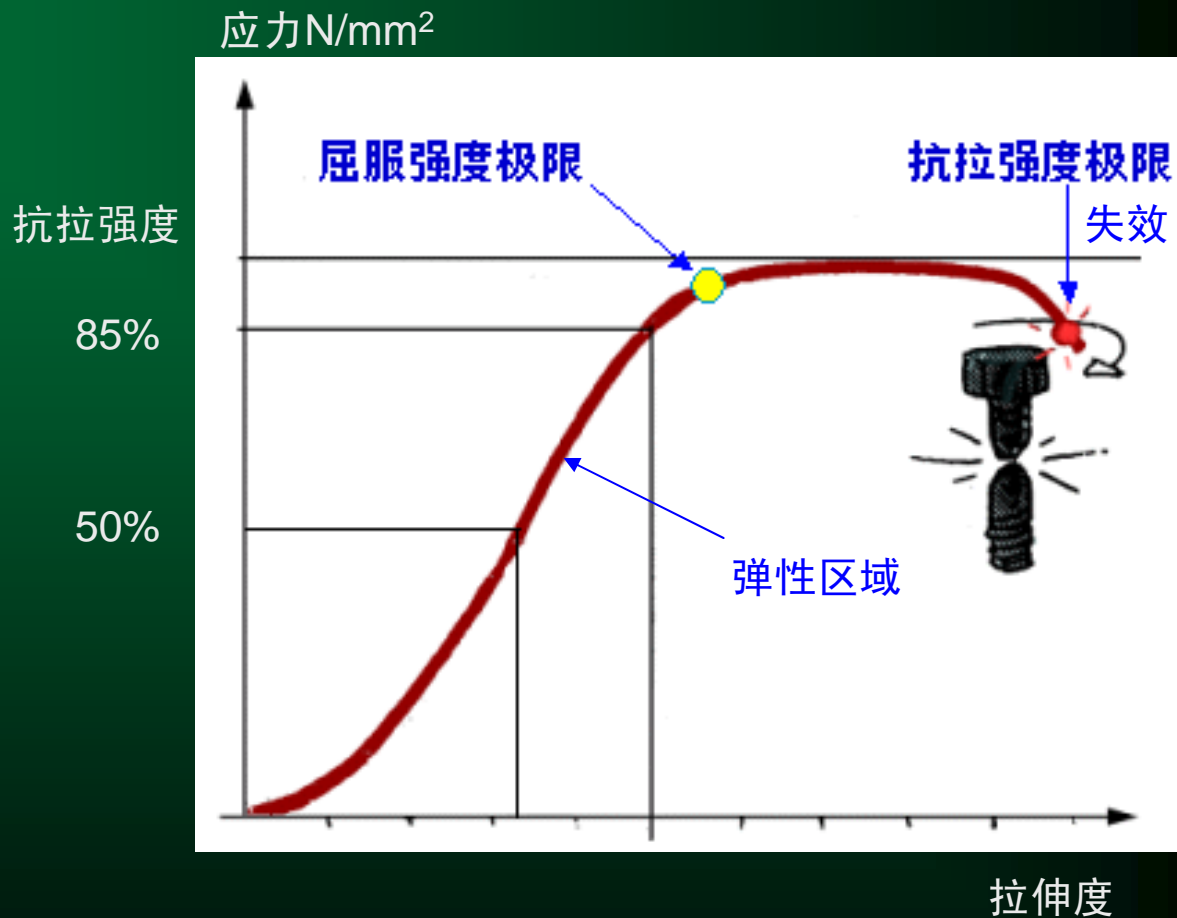
- 抗拉应力

$$100 * 8 = 800 \text{ N/mm}^2$$

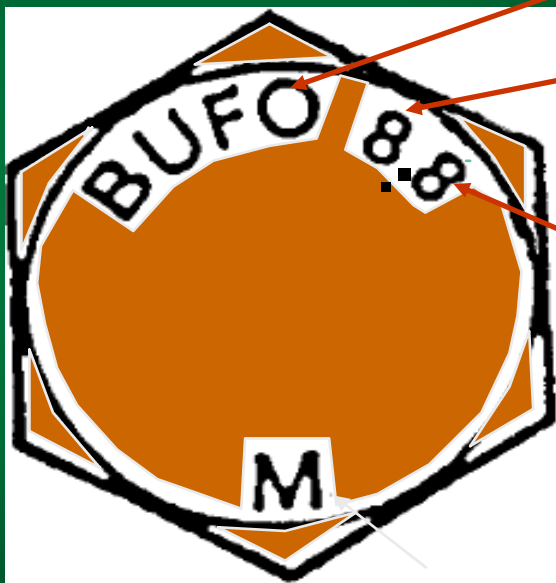
- 屈服应力

$$800 * 0.8 = 640 \text{ N/mm}^2$$

抗拉强度/屈服特性



螺栓标识系统



公制螺纹

生产商

第一个数 = 1/100 的最小抗拉强度 (N/mm²)

$$100 \times 8 = 800 \text{ N/mm}^2$$

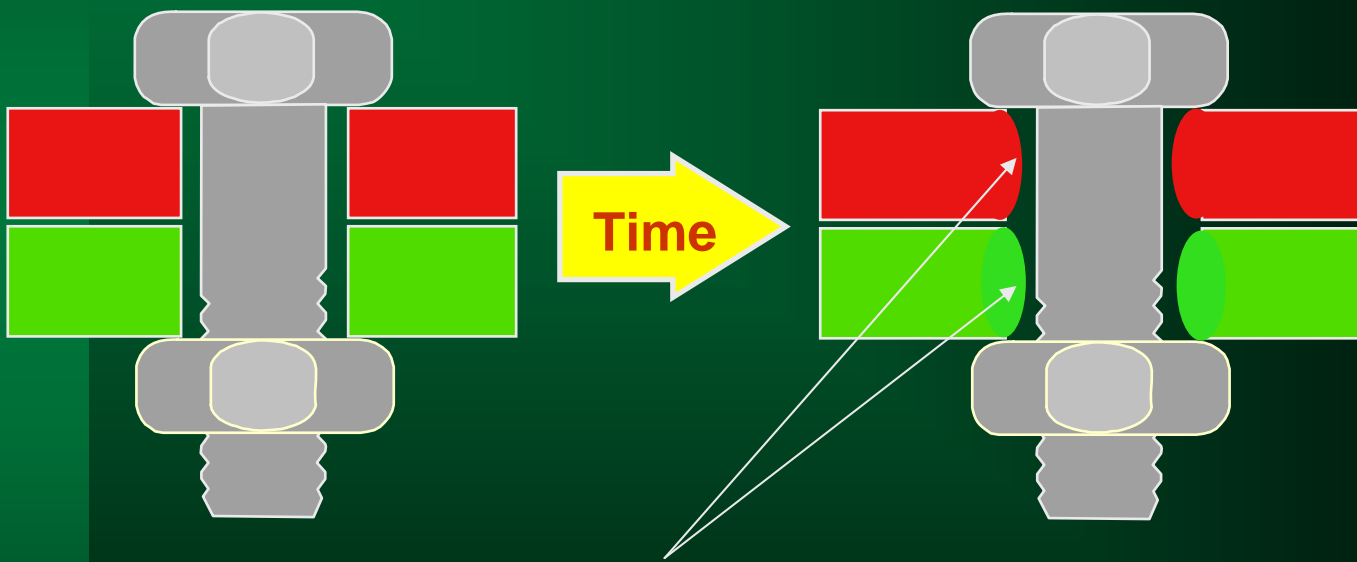
第二个数 = 屈服强度与最小抗拉强度之间的关系

$$0.8 = 80\%$$

两数相乘得出屈服应力

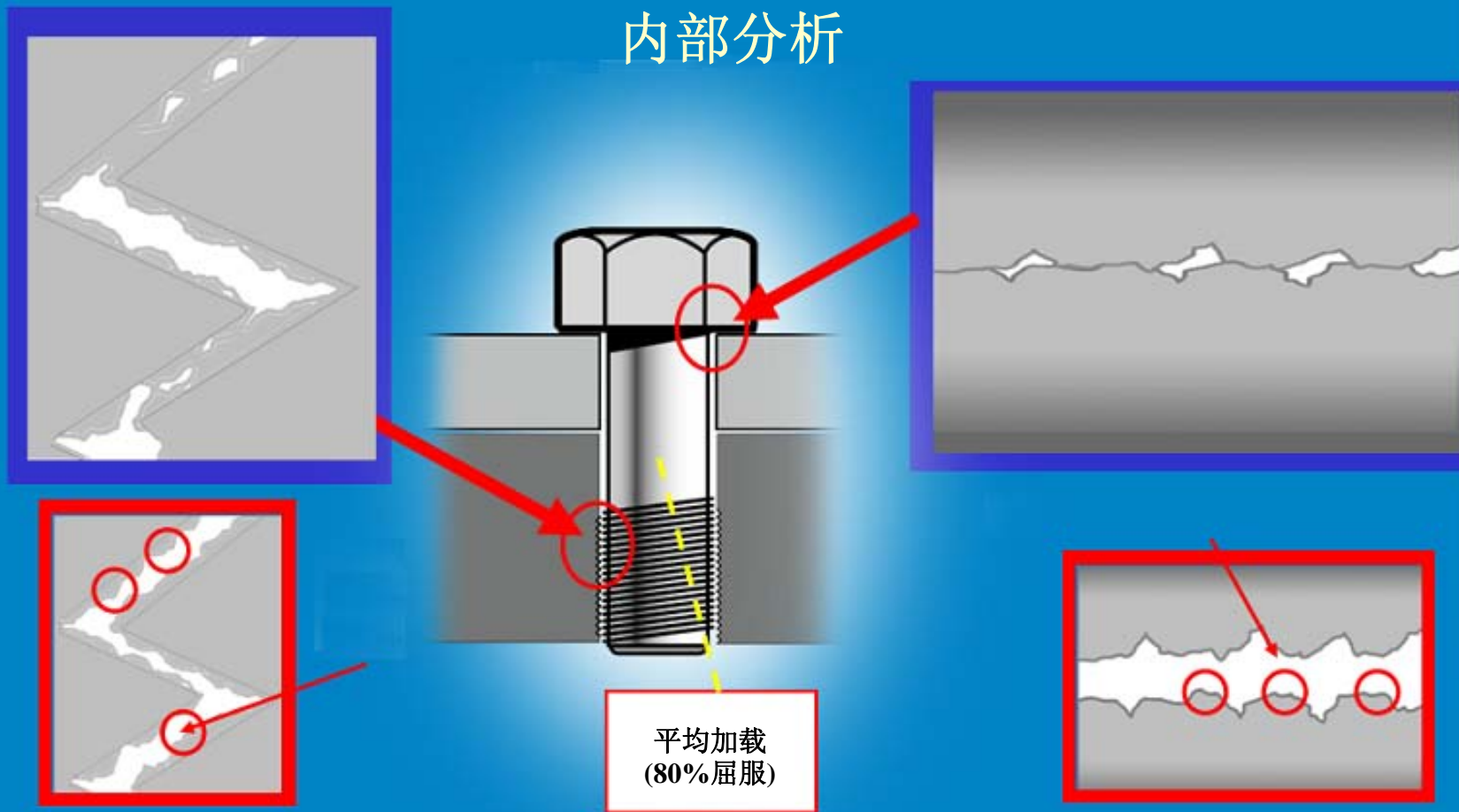
$$800 \times 0.8 = 640 \text{ N/mm}^2$$

弹性变软会影响夹紧力



材料弹性松弛(变软)会使夹紧力衰减!

内部分析



如我们恰巧看到螺纹与支承面连接表面，我们注意此处压痕非常高，因为螺栓伸长远端出现屈服以及这些区域出现崩溃而使夹紧力减少。

二、螺栓拧紧的方法

拧紧，实际上就是要使两被连接体间具备足够的压紧力，反映到被拧紧的螺栓上就是它的轴向预紧力（即轴向拉应力）。而不论是两被连接体间的压紧力还是螺栓上的轴向预紧力，在工作现场均很难检测，也就很难予以直接控制，因而，人们采取了下述几种方法予以间接控制。

1. 扭矩控制法（T）：

扭矩控制法是最开始同时也是最简单的控制方法，它是当拧紧扭矩达到某一设定的控制值 T_c 时，立即停止拧紧的控制方法。它是基于当螺纹连接时，螺栓轴向预紧力 F 与拧紧时所施加的拧紧扭矩 T 成正比的关系。它们之间的关系可用：

$$T = K F \quad (2)$$

来表示。其中 K 为扭矩系数，其值大小主要由接触面之间、螺纹牙之间的摩擦阻力 F_μ 来决定。在实际应用中， K 值的大小常用下列公式计算：

$$K=0.161p+0.585\mu d_2+0.25\mu(D_e+D_i) \quad (3)$$

其中： p 为螺纹的螺距； μ 为综合摩擦系数； d_2 为螺纹的中径； D_e 为支承面的有效外径； D_i 为支承面的内径

螺栓和工件设计完成后， p 、 d_2 、 D_e 、 D_i 均为确定值，而 μ 值随加工情况的不同而不同。所以，在拧紧时主要影响 K 值波动的因素是综合摩擦系数 μ 。

有试验证明，一般情况下， K 值大约在0.2—0.4之间，然而，有的甚至可能在0.1—0.5之间。故摩擦阻力的变化对所获得的螺栓轴向预紧力影响较大，相同的扭矩拧紧两个不同摩擦阻力的连接时，所获得的螺栓轴向预紧力相差很大（摩擦系数 μ 对螺栓轴向预紧力的影响参见图4）。

另外，由于连接体的弹性系数不同，表面加工方法和处理方法的不同，对扭矩系数K也有很大的影响。

对于上述各方面因素对扭矩系数K的影响，为给大家一个较为明确的印象，下面把德国工程师协会（VDI）拧紧试验报告列于表1；

分析表1可知，当拧紧扭矩T的误差为 $\pm 0\%$ 时，螺栓轴向预紧力的误差最大可以达到 $\pm 27.2\%$ ，因此，试图用扭矩控制法来保证高精度的螺栓拧紧是不现实的想法。

此外，由于测量方法的不同，测量时环境温度的不同等，对扭矩系数K也有很大的影响，从而更加增大了F的离散度。日本住友金属工业公司通过试验说明了环境温度每增加 1°C ，其扭矩系数K就下降 0.31% 。

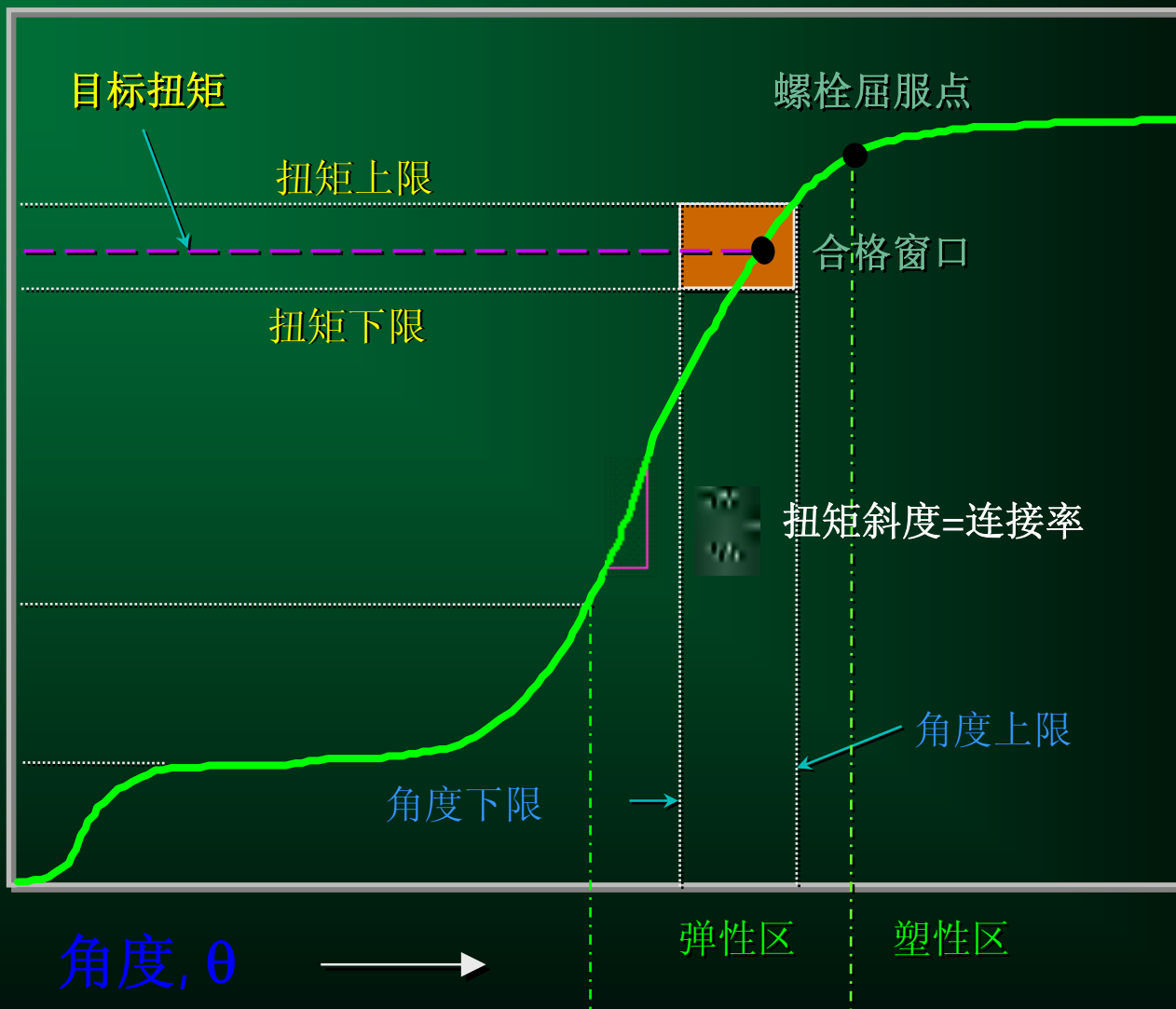
表1 不同扭矩系数值对F与T的精度影响

注：所用螺栓：M10×16DIN931 10.9级；表面处理：磷化锌、涂油。螺母：M10 DIN931 氧化处理。Rt为粗糙度参数。

有试验表明，在拧紧发动机缸盖的螺栓时，用相同的扭矩拧紧，其螺栓轴向预紧力的数值相差最大可能达一倍。扭矩控制法的优点是：控制系统简单，易于用扭矩传感器或高精度的扭矩扳手来检查拧紧的质量。其缺点是：螺栓轴向预紧力的控制精度不高，不能充分利用材料的潜力。

被连接零件		支承面 摩擦系数 μ_a	螺栓摩擦 系数 μ_f	拧紧扭矩精度 ($\pm\%$)				
材 料	表面状态			0	3	5	10	20
				预紧力精度 ($\pm\%$)				
钢37K (AISI016)	端铣削	0.16	0.15	19.6	19.8	20.2	22	28
$\sigma = 520\text{N/mm}^2$	Rt=10 μm	$\pm 28\%$	$\pm 14\%$					
钢CK65 (AISI065)	磨削	0.2	0.15	17.7	18	18.4	20.3	26.7
$\sigma = 950\text{N/mm}^2$	Rt=10 μm	$\pm 23\%$	$\pm 14\%$					
钢37K (AISI010)	拉拔、镀 镉	0.12	0.15	21.9	22.1	22.5	24.1	29.7
$\sigma = 520\text{N/mm}^2$	Rt=4.5 μm	$\pm 36\%$	$\pm 14\%$					
铸 铁	刨削	0.14	0.15	12.3	12.7	13.3	15.9	23.5
	Rt=25 μm	$\pm 14\%$	$\pm 14\%$					
铝镁合金 AlMgSi0.5	拉削	0.12	0.15	27.2	27.4	27	29.7	33.8
		$\pm 48\%$	$\pm 14\%$					

拧紧曲线



扭矩
(夹紧力)

扭矩开始
比较缓慢)

角度, θ

拧紧方法

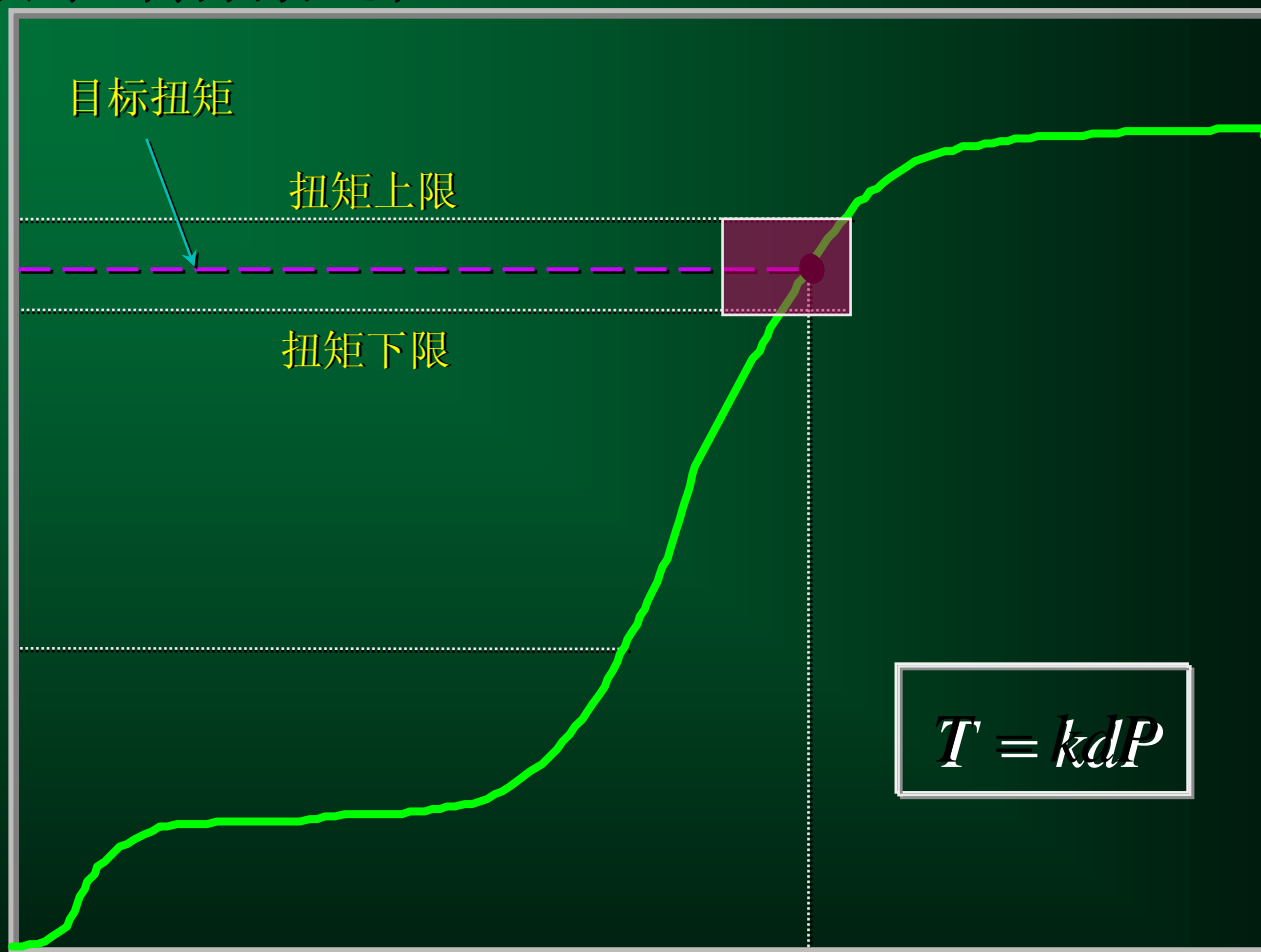
扭矩控制拧紧过程



扭矩
(夹紧力)



扭矩开始
比较缓慢



角度, θ

【超过15年刀具应用经验，不仅仅是专业】
<http://72tools.com/blog/china/tao/tao.html>

拧紧方法



扭矩控制拧紧

- ✔ 直接或间接控制地加载扭矩
- ✔ 实际目标扭矩通常是屈服扭矩的50% to 85%
- ✔ 用在拧紧弹性区域
- ✔ 90%的加载扭矩用于克服摩擦力
- ✔ Also known as: 扭矩，垂直扭矩

预紧力正确度 ± 25%

2. 扭矩—转角控制法（TA），又称超弹性控制法

扭矩—转角控制法是在扭矩控制法上发展起来的，应用这种方法，首先是把螺栓拧到一个不大的扭矩后，再从此点始，拧一个规定的转角的控制方法。它是基于的一定转角，使螺栓产生一定的轴向伸长及连接件被压缩，其结果产生一定的螺栓轴向预紧力的关系。应用这种方法拧紧时，设置初始扭矩（ T_s ）的目的是在于把螺栓或螺母拧到紧密接触面上，并克服开始时的一些如表面凹凸不平不均匀因素。而螺栓轴向预紧力主要是在后面的转角中获得的。从图5中可见，摩擦

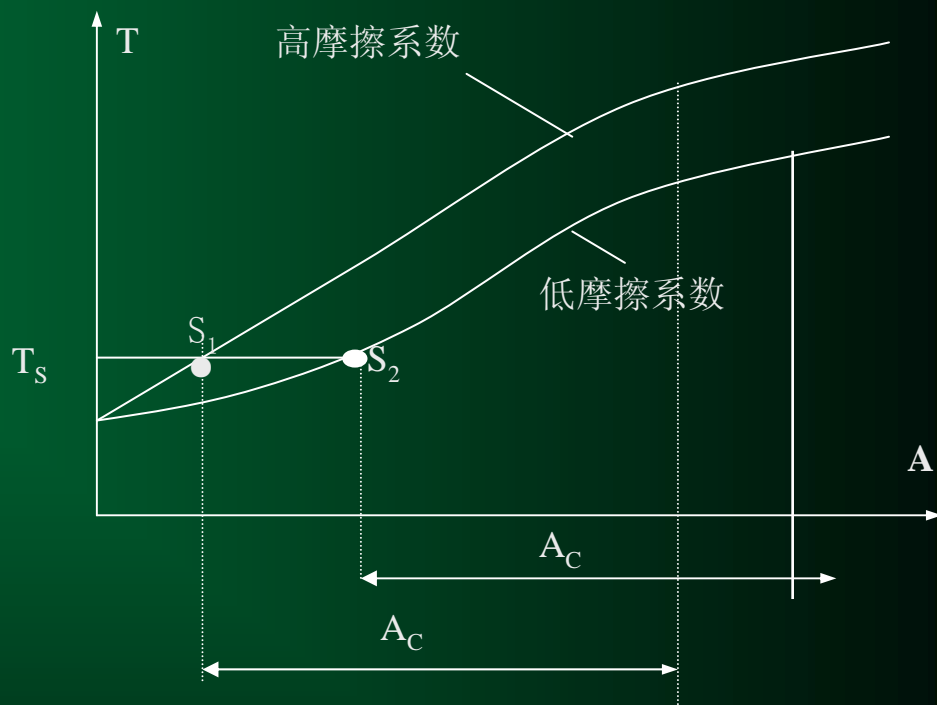


图 5

阻力（图中以摩擦系数表示的）的不同仅影响测量转角的起点，并将其影响延续到最后。而在计算转角之后，摩擦阻力对其的影响已不复存在，故其对螺栓轴向预紧力影响不大。因此，其精度比单纯的扭矩法高。从图5可见，扭矩—转角控制法对螺栓轴向预紧力精度影响最大的是测量转角的起点，即图中 T_s 所对应的 S_1 （或 S_2 ）点。因此，为了获得较高的拧紧精度，应注意对 S 点的研究。扭矩—转角控制法与扭矩控制法最大的不同在于：扭矩控制法通

常将最大螺栓轴向预紧力限定在螺栓弹性极限的90%处，即图6中Y点处；而扭矩—转角控制法一般以Y-M区为标准，最理想的是控制在屈服点偏后。扭矩—转角控制法螺栓轴向预紧力的精度是非常高的，通过图6即可看出，同样的转角误差在其塑性区的螺栓轴向预紧力误差 ΔF_2 比弹性区的螺栓轴向预紧力误差 ΔF_1 要小得多。扭矩—转角控制法的优点是：螺栓轴向预紧力精度高，可以获得较大的螺栓轴向预紧力，且其数值可集中分布在平均值附近。其缺点是：控制系统较复杂，要测量扭矩和转角两个参数，质量部门不易找出适当的方法对拧紧结果进行检查。

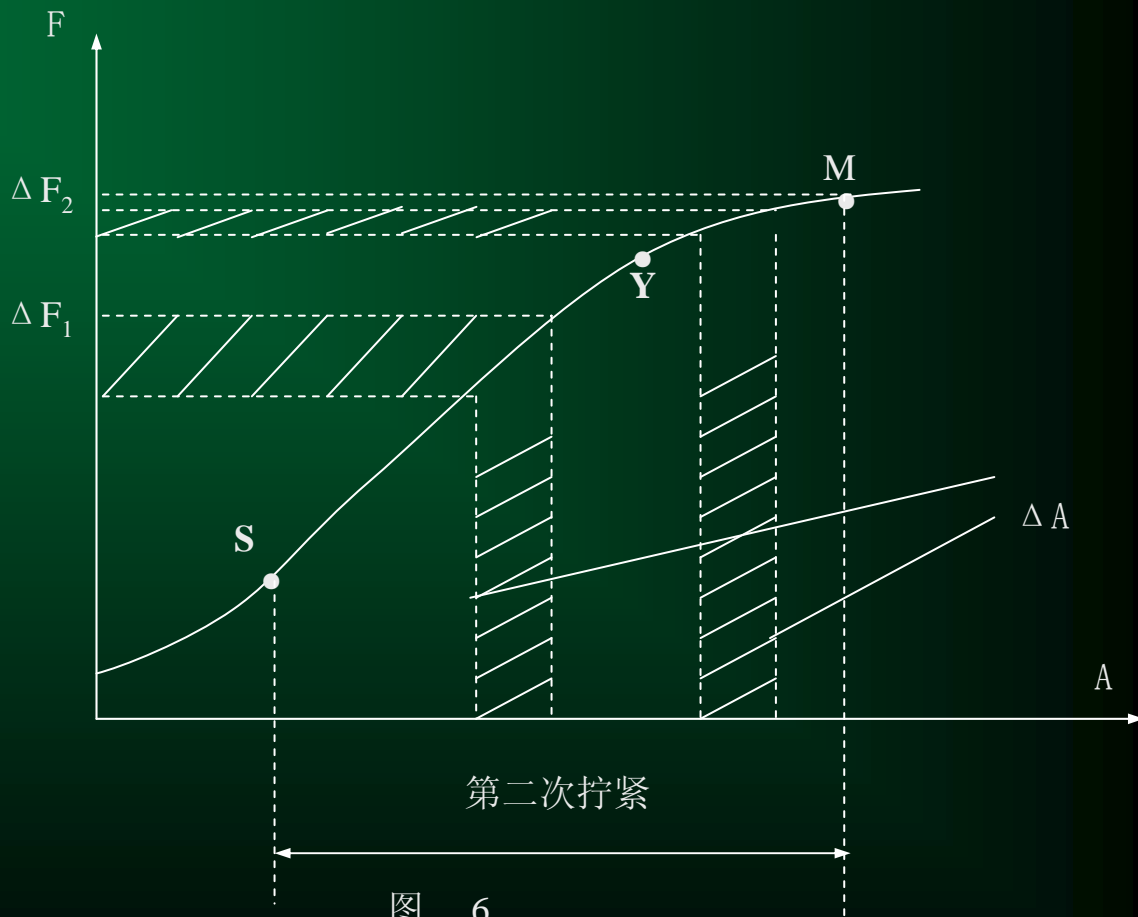


图 6

【超过15年刀具应用经验，不仅仅是专业】
<http://www.kingtop.com/>

角度控制

转角控制拧紧过程

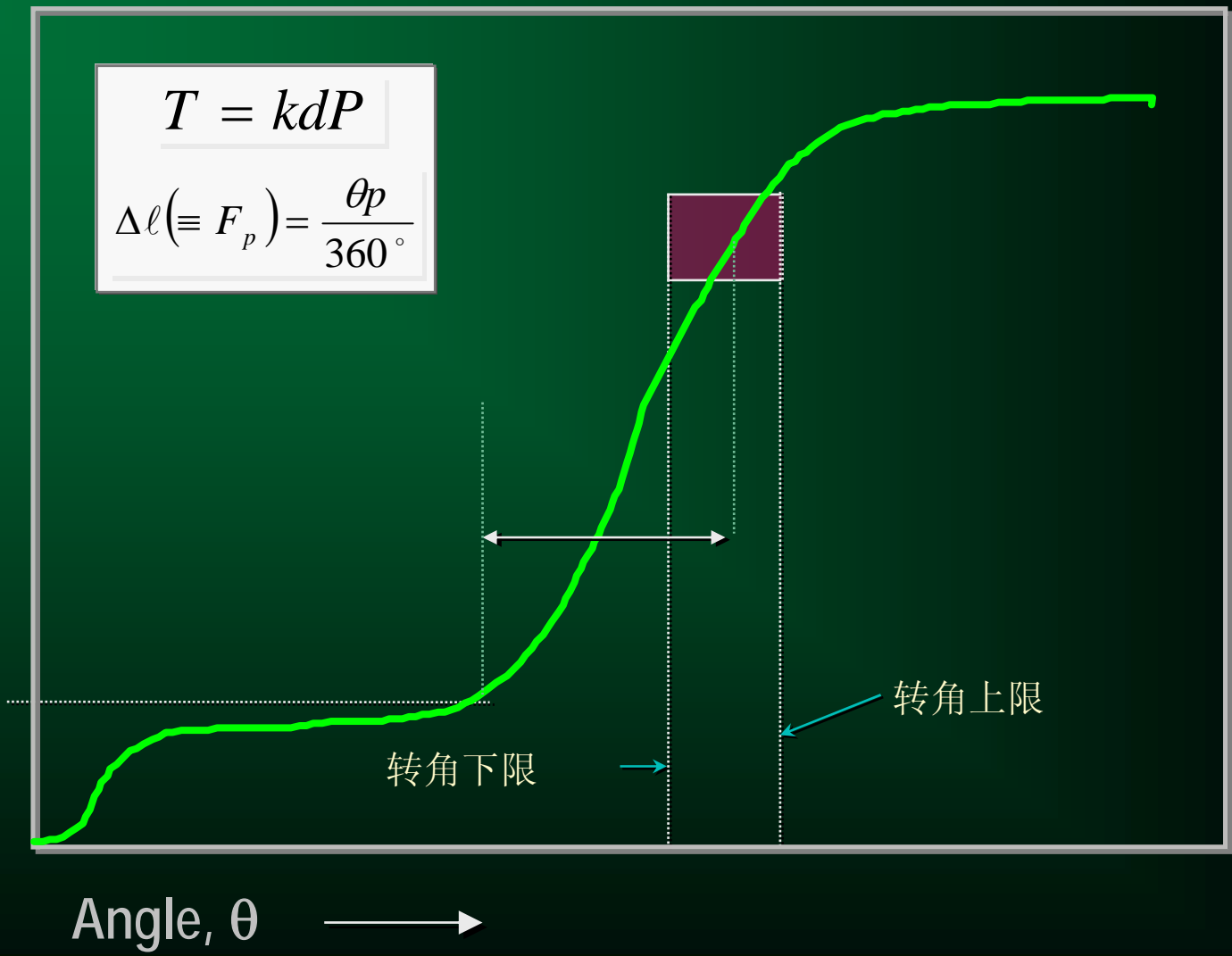


扭矩
(夹紧力)



起始(开门)
扭矩

$$T = kdP$$
$$\Delta \ell (\equiv F_p) = \frac{\theta p}{360^\circ}$$



拧紧方法

角度控制

- ▼ 步骤1: 应用一个固定扭矩 (起始 (开门) 扭矩)
- ▼ 步骤2: 转动扣紧件到达预定转角
- ▼ 离屈服拧紧的最初阶段，此刻也用在弹性区域。
- ▼ 需要用试验确定起始 (开门) 扭矩与转角参数
- ▼ 关键词：螺母转动，扭矩-转角

预紧力正确度±15%

3. 屈服点控制法 (TG)

扭矩—转角控制法螺栓轴向预紧力的精度是非常高的，通过图6即可看出，同样的转角误差在其塑性区的螺栓轴向预紧力误差 ΔF_2 比弹性区的螺栓轴向预紧力误差 ΔF_1 要小得多。

扭矩—转角控制法的优点是：螺栓轴向预紧力精度高，可以获得较大的螺栓轴向预紧力，且其数值可集中分布在平均值附近。其缺点屈服点控制法是把螺栓拧紧至屈服点后，停止拧紧的一种方法。

它是利用材料屈服的现象而发展起来的一种高精度的拧紧方法。这种控制方法，是通过对拧紧的扭矩/转角曲线斜率的连续计算和判断来确定屈服点的。

螺栓在拧紧的过程中，其扭矩/转角的变化曲线见图7。真正的拧紧开始时，斜率上升很快，之后经过简短的变缓后而保持恒定（a_b区间）。过b点后，其斜率经简短的缓慢下降后，又快速下降。当斜率下降一定值时（一般定义，当其斜率下降到最大值的二分之一时），说明已达到屈服点（即图7中的Q点），立即发出停止拧紧信号。屈服点控制法的拧紧精度是非常高的，其预紧力的误差可以控制在 $\pm 4\%$ 以内，但其精度主要是取决于螺栓本身的屈服强度。

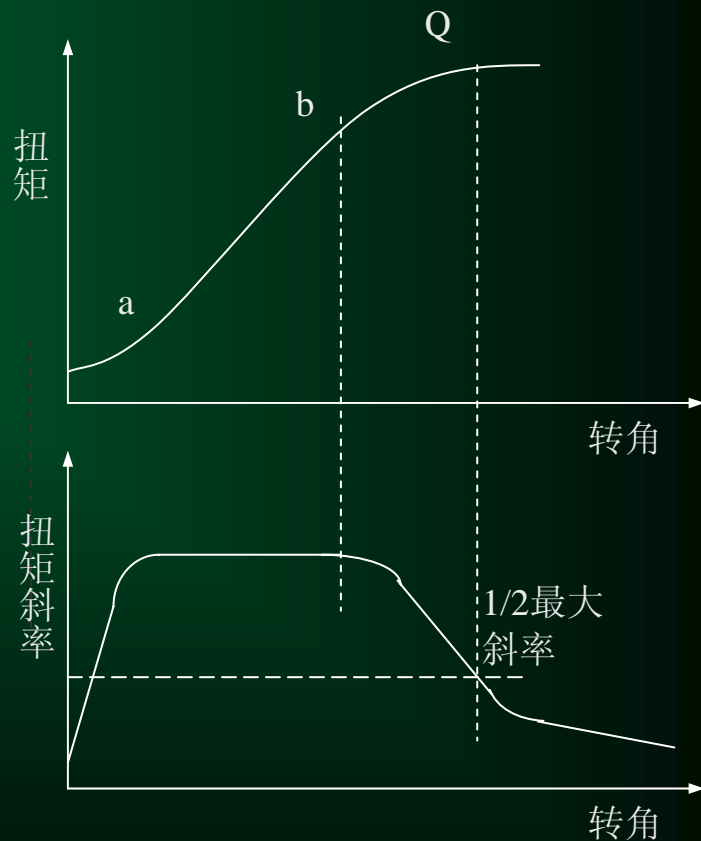


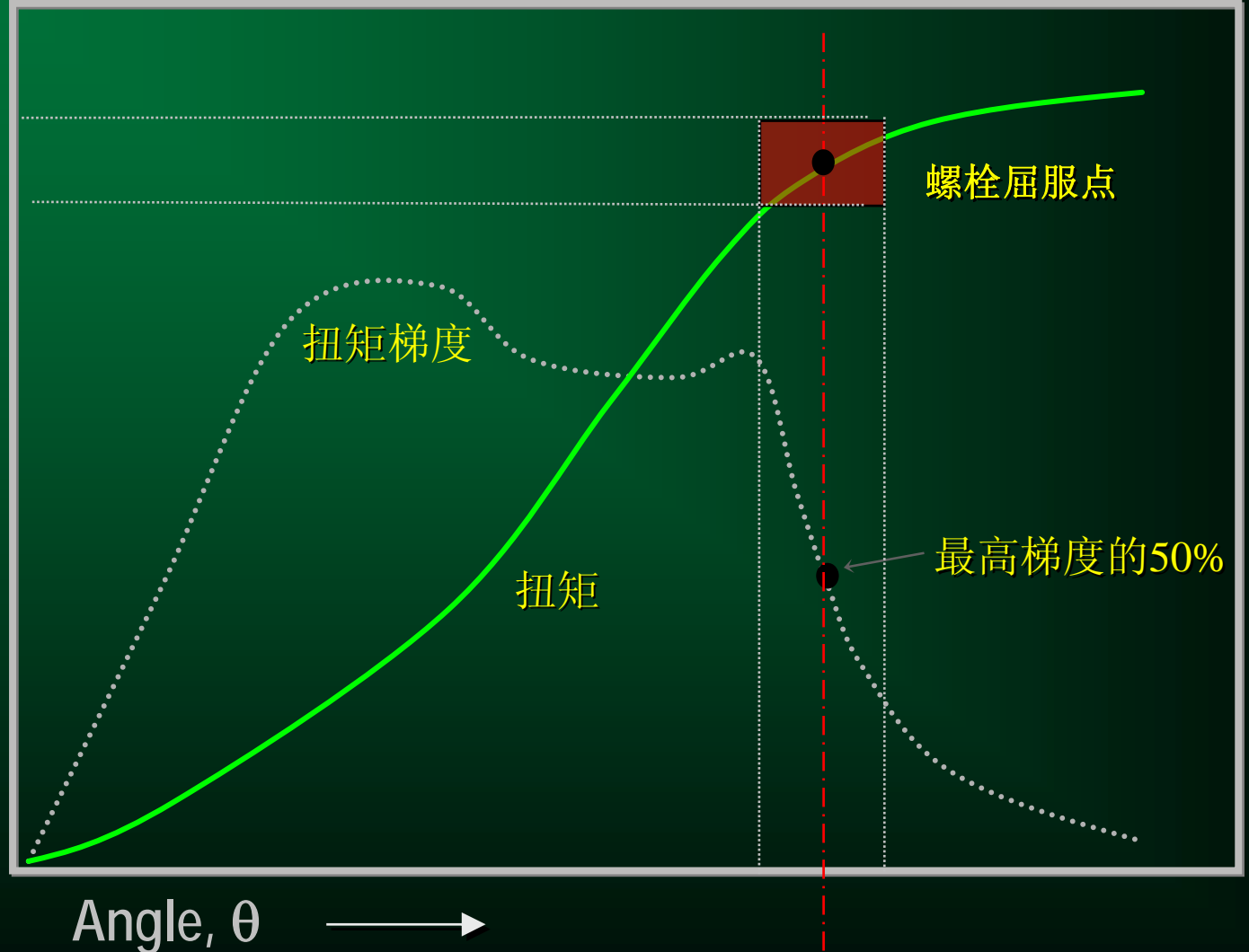
图 7

【超过15年刀具应用经验，不仅仅是专业】
<http://www.tesap.blog.sina.com>

屈服点控制

屈服点控制拧紧过程

↑
扭矩
(夹紧力)



【超过16年】丰富经验，不仅仅为专业！
<http://www.ketang.com.cn>

拧紧方法

屈服点控制

- ✔ 扭矩与转角是在拧紧中受到监控
- ✔ 当一点最大值梯度下降时来判别最大梯度与屈服点
- ✔ 利用最大压紧力潜能
- ✔ 摩擦力未减小
- ✔ 允许每次拧紧的观察扭矩转角
- ✔ 螺栓能再使用
- ✔ 关键词： 屈服扭矩

预紧力正确度±8%

4. 落座点—转角控制法 (SPA) 【超过15年海量应用经验，不仅仅是专业】 http://my.stab.blog.china.alibaba.com/

落座点—转角控制法是最近新出现的一种控制方法，它是在TA法基础上发展起来的（在日本已经开始应用）。TA法是以某一预扭矩 T_S 为转角的起点，而SPA法计算转角的起点，采用扭矩曲线的线性段与转角 A 坐标的交点 S （见图8）。

图中； F_1 是TA法最大螺栓轴向预紧力误差， F_2 是SPA法最大螺栓轴向预紧力误差。从图8可见，采用TA法时，由于预扭矩 T_S 的误差（ $\Delta T_S = T_{S2} - T_{S1}$ ，对应产生了螺栓轴向预紧力误差 ΔF_S ），在转过相同的转角 A_1 后，相对于两个弹性系数高低不同的拧紧工况，其螺栓轴向预紧力误差为 F_1 ；即使是弹性系数相等的，但由于 ΔT_S 的存在，也有一定的误差（见图8中的 ΔF_1 、 ΔF_2 ）。如若采用SPA法，由于是均从落座点 S 开始转过 A_2 转角后，相对于两个弹性

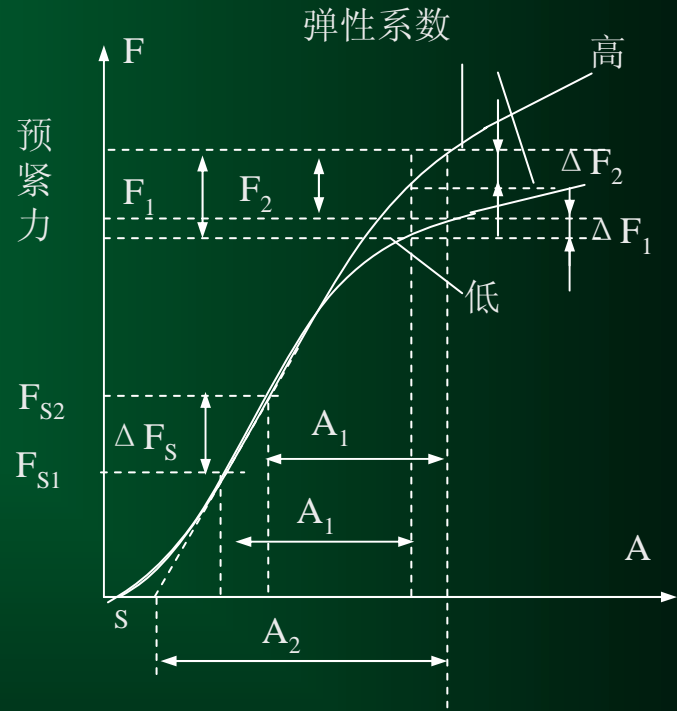


图 8

系数高低不同的拧紧工况，其螺栓轴向预紧力误差为 F_2 。显然 F_2 小于 F_1 ，即落座点—转角控制法拧紧精度高于扭矩—转角控制法。

采用SPA法，摩擦系数大小对于螺栓轴向预紧力的影响几乎可以完全消除，图九为拧紧中不同摩擦系数所对应的扭矩—转角关系曲线。

图中摩擦系数： $\mu_1 > \mu_2 > \mu_3$ 。虽然不同的摩擦系数所对应的扭矩—转角关系曲线的斜率不同，但其落座点(曲线线性段的斜率与横轴的交点)相差不大(见图9)。故从此点再拧一个角度 A_c ，不同摩擦系数对螺栓轴向预紧力的影响基本可以消除。为了更清楚地说明这个问题，我们把图四的纵、横坐标交换一下，绘成图10：

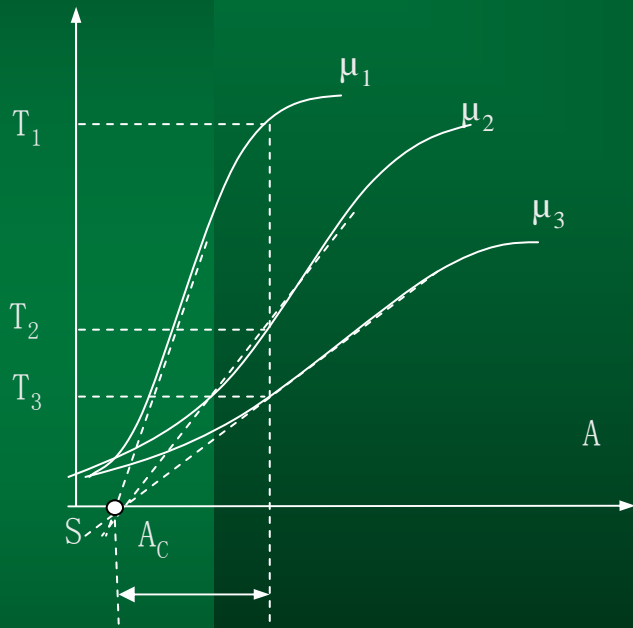


图 9

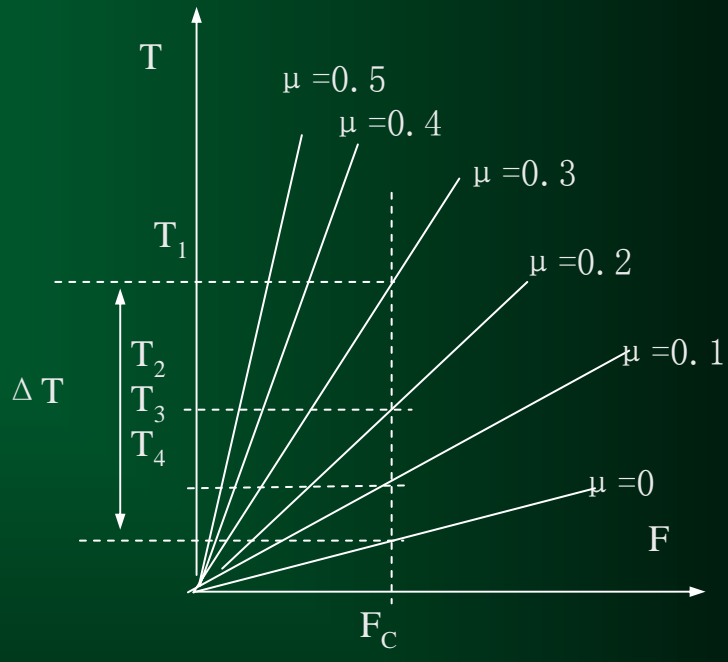


图 10

对比图9与图10，就可以更清楚地看出SPA法摩擦系数大小对于螺栓轴向预紧力的影响几乎可以完全消除。SPA法与TA法比较，其主要优点是：能克服在 T_s 时已产生的扭矩误差，因此，可以进一步提高拧紧精度。

5. 螺栓伸长法 (QA)

QA法是通过测量螺栓的伸长量来确定是否达到屈服点的一种控制方法，虽然每一个螺栓的屈服强度不一致，也会给拧紧带来误差，但其误差一般都非常小。

在QA法中所采取的测量螺栓伸长量的方法，一般是用超声波测量，超声波的回声频率随螺栓的伸长而加大，所以，一定的回声频率就代表了一定的伸长量。图11就是QA法的原理，由于螺栓在拧紧和拧松时，用超声仪所测得的回声频率随螺栓的拧紧（伸长）和拧松（减小伸长量）而发生变化的曲线并不重合，同一螺栓轴向预紧力的上升频率低于下降频率。这样，在用来测量螺栓的屈服点时应予以注意。该法业已在日本的生产中得到应用。

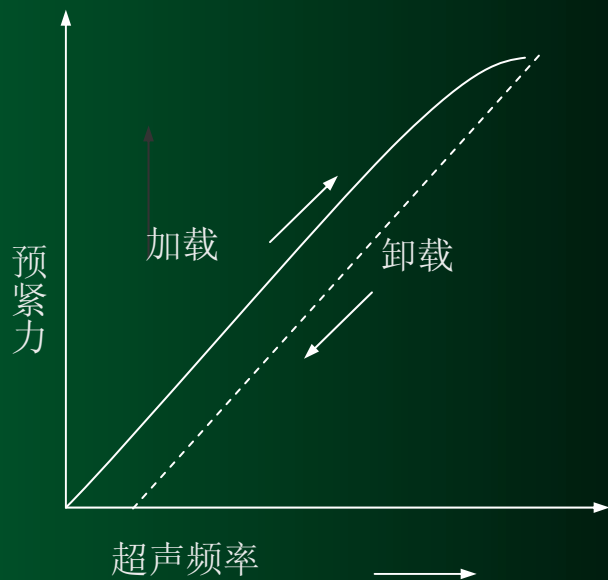


图 11

扭矩测量与质量控制

一. 对拧紧结果的检测方法

拧紧机在安装完成后，必须经过质检部门的专业人员对其进行检定合格后，方可投入使用。且在正常运行中也均有规定的检定周期，加上当前各正规厂家生产的拧紧机，无论是精度还是稳定性也都比较高，因而螺栓拧紧完成后，拧紧机上显示的扭矩值基本上是可以信任的。但再好的设备或仪器也不可能不出问题，而且无论是谁也不能肯定设备和仪器不出问题，或什么时候出问题，所以，对拧紧效果的检测，即对拧紧扭矩值的确认是非常必要的（一般均规定有抽检的频次，即多少件中检一件）。

正确测量几个要素：

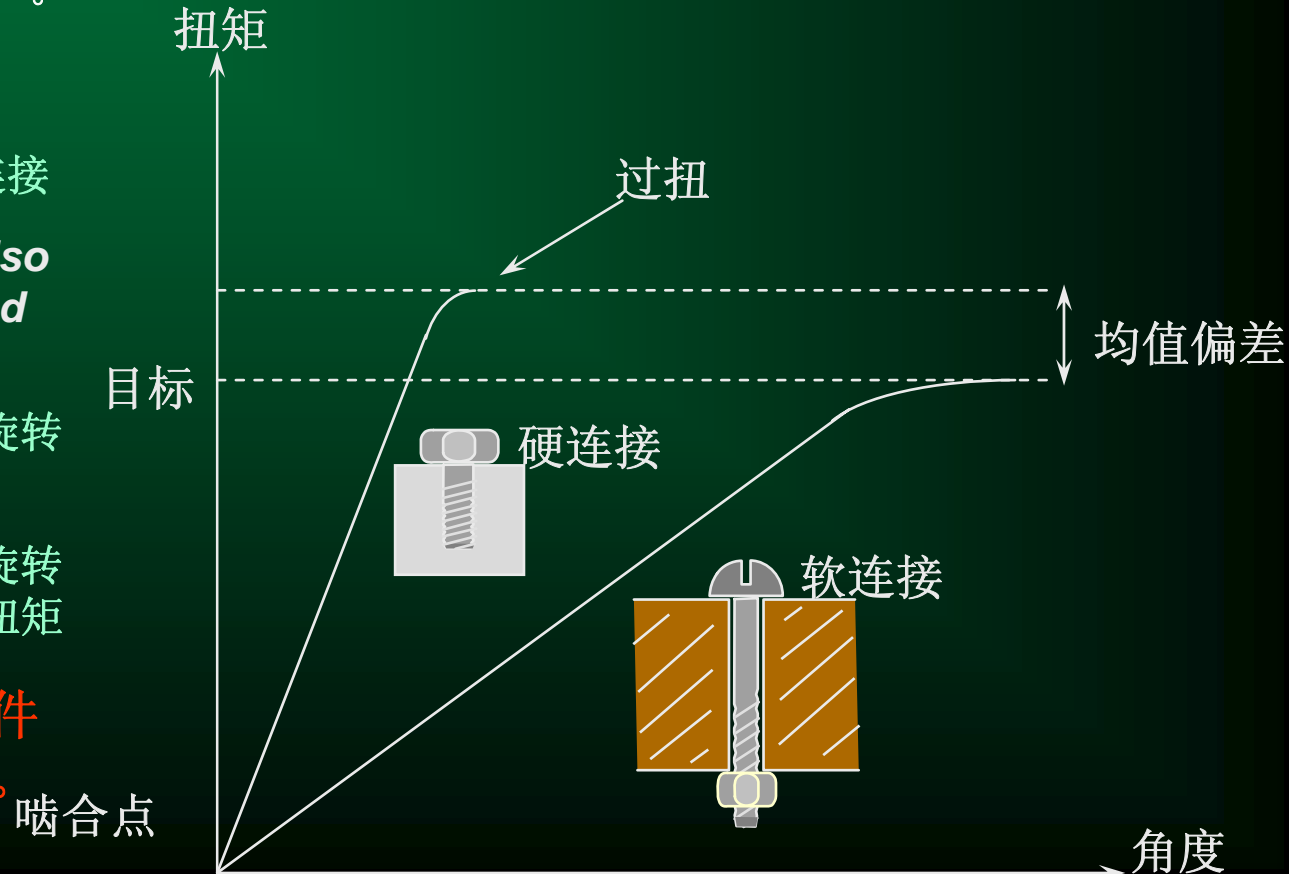
1. 连接形式——软连接、硬连接

Joint characteristics can also define the tool type required (ISO 5393)

A. 硬连接：到达贴合点后，旋转 (30 Deg)以内达到目标扭矩

B. 软连接：到达贴合点后，旋转 2 圈(720Deg)以上达到目标扭矩

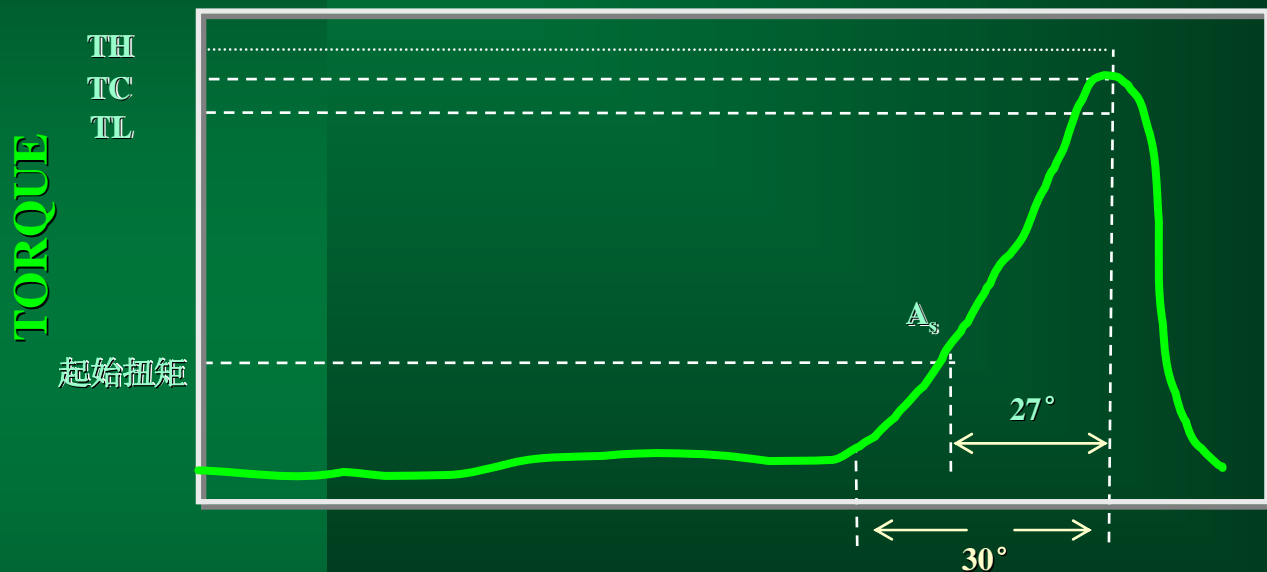
扭矩的过扭程度受连接件硬度以及工具转速影响。





【超过15年刀具应用经验，不仅仅是专业】
<http://noristap.blog.china.alibaba.com/>

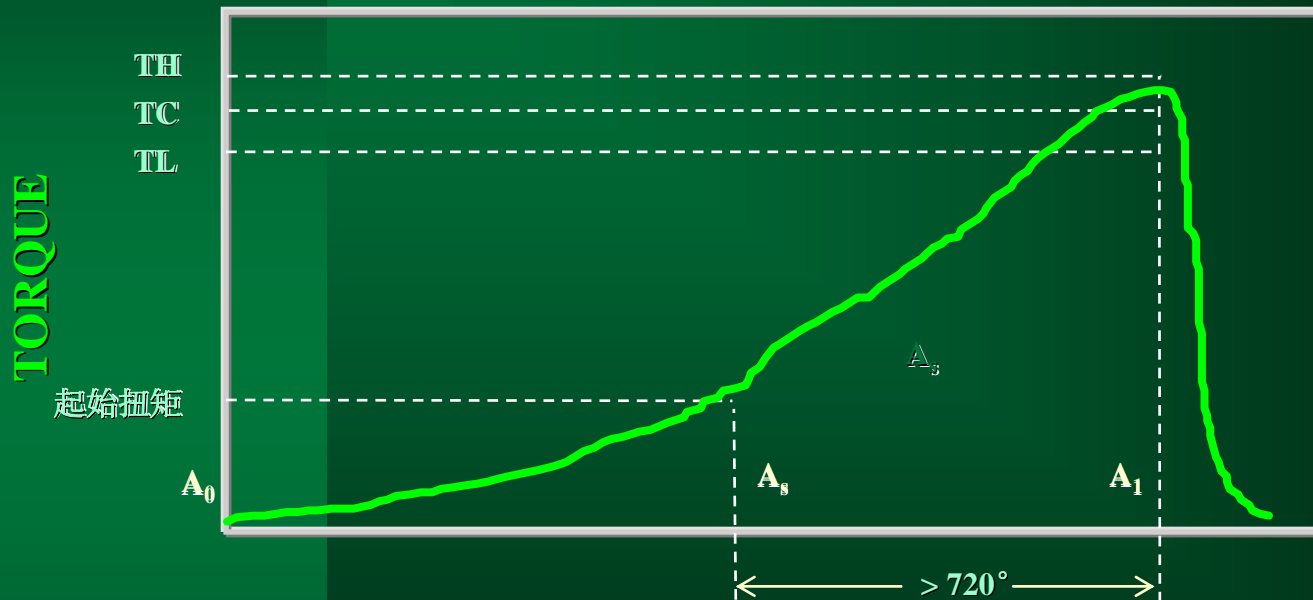
硬连接



装配 (动态)	手测 (静态)
102.6	112
102.6	110
101.4	111
101.2	110
102.4	113
100.9	109
102.1	110
102.4	111
101.0	113
101.8	112

均值	101.84	111.1
标准偏差 (Sigma)	0.67	1.4
3 Sigma	2.01	4.1

软连接



装配 (动态)	手测 (静态)
100.2	88
100.5	84
100.7	92
100.3	86
100.4	90
100.8	88
100.5	86
100.2	85
100.2	84
100.4	84

均值	100.42	86.7
标准偏差 (Sigma)	0.21	2.8
3 Sigma	0.63	8.3

2. 静态扭矩

静态扭矩—用手动拧紧工具对已拧紧的螺栓加一个顺螺栓拧紧方向逐渐增大的扭矩，直至螺栓再一次产生拧紧运动的瞬间，记录下的刚产生运动的扭矩值，该扭矩值即为静态扭矩。如：所用扭矩扳手测量所得到的扭矩。

3. 动态扭矩

动态扭矩—是自动拧紧工具在拧紧过程最终或扭转过程所得到的扭矩值。如：动力总成厂所用的BOSCH拧紧枪最终显示的扭矩是动态扭矩，通常拧紧规范规定的是动态扭矩。



动力工具
输出的动态
扭矩

- 92
- 94
- 91
- 92
- 94
- 92
- 92

$\bar{X}=92,43$

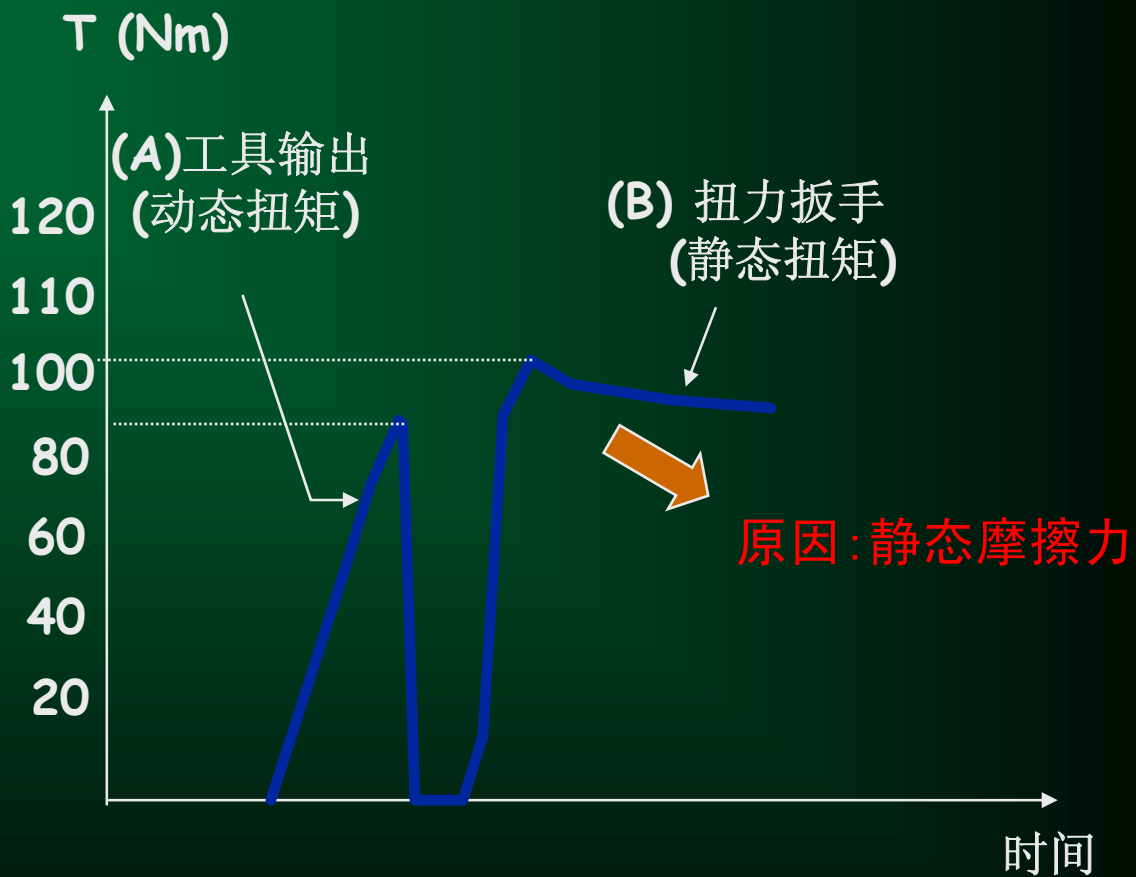
$\sigma=1,13$

扭力扳手
静态扭矩

- 103
- 106
- 103
- 100
- 100
- 103
- 100

$\bar{X}=102,14$

$\sigma=2,27$



拧紧机在安装完成后，必须经过质检部门的专业人员对其进行检定合格后，方可投入使用。且在正常运行中也均有规定的检定周期，加上当前各正规厂家生产的拧紧机，无论是精度还是稳定性也都比较高，因而螺栓拧紧完成后，拧紧机上显示的扭矩值基本上是可以信任的。但再好的设备或仪器也不可能不出问题，而且无论是谁也不能肯定设备和仪器不出问题，或什么时候出问题，所以，对拧紧效果的检测，即对拧紧扭矩值的确认是非常必要的（一般均规定有抽检的频次，即多少件中检一件）。

1. 事后法（静态）

就是在拧紧过程完成后进行检测的方法。事后法的检测有三种：

(1) 松开法：将拧紧的螺栓用扭矩扳手松开，读出松开时的瞬时值。

采用这种方法检测，由于螺纹升角的关系，松开的扭矩比拧紧的扭矩要小，一般要差30%左右。这种检测方法显然误差较大，除特殊情况外很少采用。

(2) 紧固法：即对已经拧紧的螺栓用扭矩扳手，沿螺栓的拧紧方向再施加一个逐渐增大的扭矩，直至螺栓再一次产生拧紧运动，读出此时的瞬时值。

采用这种方法检测，其扭矩偏差为实际扭矩的 $-5\sim+25\%$ 。其偏差产生的原因是：在旋动螺栓的瞬间所产生的摩擦阻力不同于拧紧过程中的摩擦阻力，因二者的摩擦系数不同（前者为静摩擦，后者为动摩擦）；加上操作人员掌握程度、用力大小、感觉的偏差等，均会造成不同程度的偏差。该方法适用于拧紧后不超过30分钟的螺栓扭矩的检测。

(3) 标记法：即对已经拧紧螺栓的拧紧位置做一个标记，将螺栓拧松之后，读出再拧紧到原来位置时的扭矩值。

采用这种方法检测，该扭矩偏差为实际扭矩的 $-12\sim+5\%$ 。可见，这种方法较前两种方法的精度都高，但有许多螺栓规定不允许重复拧紧，限制了这种方法的使用。

(4) TA测量法：**a.** 用带角度（盘或数显）扭矩扳手首先扳到起始（开门）扭矩，然后扳到标记位置测量角度偏差。**b.** 统计紧固法50-100样本，用定值（机械、数显） $-3s$ 扭矩扳手扳被测定螺栓，不动，则此TA法螺栓受控。

拧紧机在安装完成后，必须经过质检部门的专业人员对其进行检定合格后，方可投入使用。且在正常运行中也均有规定的检定周期，加上当前各正规厂家生产的拧紧机，无论是精度还是稳定性也都比较高，因而螺栓拧紧完成后，拧紧机上显示的扭矩值基本上是可以信任的。但再好的设备或仪器也不可能不出问题，而且无论是谁也不能肯定设备和仪器不出问题，或什么时候出问题，所以，对拧紧效果的检测，即对拧紧扭矩值的确认是非常必要的（一般均规定有抽检的频次，即多少件中检一件）。

1. 事后法（静态）

就是在拧紧过程完成后进行检测的方法。事后法的检测有三种：

(1) 松开法：将拧紧的螺栓用扭矩扳手松开，读出松开时的瞬时值。

采用这种方法检测，由于螺纹升角的关系，松开的扭矩比拧紧的扭矩要小，一般要差30%左右。这种检测方法显然误差较大，除特殊情况外很少采用。

(2) 紧固法：即对已经拧紧的螺栓用扭矩扳手，沿螺栓的拧紧方向再施加一个逐渐增大的扭矩，直至螺栓再一次产生拧紧运动，读出此时的瞬时值。

采用这种方法检测，其扭矩偏差为实际扭矩的 $-5\sim+25\%$ 。其偏差产生的原因是：在旋动螺栓的瞬间所产生的摩擦阻力不同于拧紧过程中的摩擦阻力，因二者的摩擦系数不同（前者为静摩擦，后者为动摩擦）；加上操作人员掌握程度、用力大小、感觉的偏差等，均会造成不同程度的偏差。该方法适用于拧紧后不超过30分钟的螺栓扭矩的检测。

(3) 标记法：即对已经拧紧螺栓的拧紧位置做一个标记，将螺栓拧松之后，读出再拧紧到原来位置时的扭矩值。

采用这种方法检测，该扭矩偏差为实际扭矩的 $-12\sim+5\%$ 。可见，这种方法较前两种方法的精度都高，但有许多螺栓规定不允许重复拧紧，限制了这种方法的使用。

2, 过程法（动态）

就是在拧紧过程中进行检测的方法，这种方法需要有专门用于检测的扭矩传感器。过程法的检测也有三种：

(1) 直接法：即在需要检测时，把用于检测的扭矩传感器直接串接于拧紧头与被拧紧的螺栓之间，拧紧时可以直接读出读数。

这种方法的扭矩传感器如若是临时随意安装的，将不可能稳固，会造成三者不在一条直线上，而造成一定的测量误差。如若有专用的连接部件，精度还是可以保证的。

(2) 固定传感器法：这种方法与直接法的区别是，用于检测的扭矩传感器不是临时安装的，而是固定在拧紧头的输出轴上。

这种方法虽然避免了直接法的检测误差，但每个拧紧头的输出轴上均要安装一个专门用于检测的扭矩传感器，平时又不用，故造成了较大的浪费。

(3) 传感器替换法：这种方法仅应用于拧紧头的输出轴上原来就装有扭矩传感器的设备上。可在原拧紧头安装扭矩传感器的部位上，装一根装卸尺寸与扭矩传感器完全相同的可以快速拆卸的活动轴，当要测试时，将快速拆卸活动轴卸下（即原扭矩传感器随之卸下），换上检测用的扭矩传感器。

这种方法由于只用一只扭矩传感器，故较固定传感器法成本低。且这只传感器仅在需要检测时才装在拧紧头上，平时还可用于其它同类拧紧头的检测，也方便了自身的精度检定。

上述的事后法实际上是一种静态检测方法，它比较简便，易于实施，因而得到生产和质检部门的普遍应用。但由于所述各方面的因素所造成的误差难以避免，望在检验中能予以考虑。

上述的过程法是动态检测方法，由于是在拧紧过程中检测的，故其误差较小。但由于需要另外安装扭矩传感器，故增加了费用和工作量，因而在对拧紧效果检测上很少应用，大多用于对拧紧工具（即拧紧机）的检定。

二. 螺栓拧紧常用的控制方法

1. 对螺栓拧紧设备能力的评定

现在，多数企业侧重于对拧紧控制的准确性、即扭矩或转角的准确度进行评价。通过采用模拟工况的动态校准法将拧紧枪的输出值与用作测量标准的传感器的读数加以比对。在汽车行业，通过传感器实施扭矩或转角控制的拧紧枪的准确度指标往往采取相对误差形式表示，一般为±5%，也有达到±3%的。

但必须指出，无论是简单的手持式扭矩扳手，或是复杂的半自动、自动拧紧设备，都既不属于检测器具，也不属于通常的制造设备（工具），而是兼有前者的计量特性和后者的装配功能。但就其本质而言，它们应该归于后者，因此，若只进行单纯的准确度评定是不够的。

现代机械制造业为提高批量生产企业的产品质量，已从昔日主要检验实物质量，转到如今强调对工艺过程的控制。所谓“工序质量”就是指在稳定状态下所具有的保证质量的能力，它取决于设备、材料、操作者、工艺方法和环境等5项相互独立因素的影响，以能力指数 C_p 和 C_{pk} 来表示。

而机器能力指数 C_m 和 C_{mk} 是指在工序稳定情况下，上述5项影响因素中的机器设备所具有的保证产品质量的能力，在技术上，它与工序能力分析一样，都建立在数据统计的基础上，以质量特性值的标准偏差 S 来表征。求取机器能力指数 C_m 的具体做法为：将被评定的用于装配的拧紧机调整至规定状态，经过若干小时无故障运转，然后取50个连续生产出来的工件作为样本。至于对质量特性值的检测，一般利用附属于设备的在线测量仪器，或借助外界的精度更高的检测装置。由此获得一组或二组质量特性值的实测数据，并求出平均值和标准偏差 S_m 。如果是螺栓拧紧设备，这时扭矩作为质量特性值，其实测数据既可以通过拧紧枪自身配置的检测仪表获得，也能从用作测量标准的外接扭矩传感器的对应显示值中读取。 C_m 反映了机器制造设备自身所具有的满足产品质量的能力，与反映工序能力的过程能力指数 C_p 相似。

根据测算出的 C_m 或 C_{mk} 值对被检机械制造设备进行机器能力评定，各主要工业国家、各大企业集团执行的评定原则并不完全一致，汽车制造业对螺栓拧紧设备应该具备的机器能力的要求如表所示。

被检设备的情况	C_m	C_{mk}
新设备验收	≥ 1.67	≥ 1.67
经过检修、改造后的设备	≥ 1.33	≥ 1.33
在用设备定期或不定期的评定	≥ 1.33	≥ 1.33

区别：GM装配拧紧设备验收标准ARO, 能力指数为 C_g 、 C_{gk} 。

2. 评价螺栓连接质量控制

在汽车制造业，大多数企业都在装配工序后利用指示式扭矩扳手以抽检的方式对相关的螺纹副进行拧紧扭矩测试，以评价螺栓连接的质量，其间出现各种各样的情况是很正常的现象，但前提是执行的方法必须正确，这是处理问题、解决问题的基础。

除了上述在工序间进行的扭矩测试外，还有一类是整车或总成（指发动机、变速箱等）经过连续运行、承受过负载后再对相关的螺栓连接质量进行评价。前一类测得的扭矩命名为 M_{na1} ，后一类为 M_{na2} 。但为了准确测得 M_{na1} 和 M_{na2} ，必须满足以下条件：

- 电动拧紧机的机器能力指数 C_m 、 C_{mk} 必须达到1.67或更高，即务必经过设备能力验证，要求过程能力指数 $C_{pk} \geq 1.33$ 。
- 通过“事后法”进行拧紧扭矩测试时，必须采用**紧固法**，不能用松开法或标记法。执行紧固法时需注意拧动螺栓（或螺母）的角度应尽量小，最大不超过 $5-10^\circ$ 。
- 在测试过程中，由于摩擦作用，有时会出现一个不应算作 M_{na} 的峰值扭矩，即所谓的“起动扭矩”，因此，为准确地测出 M_{na} 值，不能使用那些只显示一个峰值的指示式扭矩扳手。（采用**数显扭矩扳手的Track模式**，不能使用Peak模式。）
- 工序间的扭矩值 M_{na1} 的求取，必须在装配完成后的**30min**内进行。（带螺纹胶应在装配结束）
- **不能、也不必要**把测得的扭矩 M_{na1} 和 M_{na2} 的值与图纸或工艺上的额定值或控制值相联系、作比较。因为，在以紧固法再次拧紧期间，扭矩值的分布特性与装配工序的拧紧扭矩特性相比已有很大差别，故这种比对毫无意义。PAD除非特指静态扭矩，泛指动态扭矩。
- 对 M_{na1} 和 M_{na2} 值正确评价应该采用如下方式：通过采集至少100个实际扭矩测量值，然后借助统计分析的方法求出标准偏差 s ，再根据不同用户的实际情况以 $\pm 2s$ 或 $\pm 3s$ 作为控制范围的上、下极限，用作检验、评价螺栓连接拧紧效果的 M_{na1} 和 M_{na2} 值必须落在设定的界限范围之内。

由于在检查扭矩值与名义值之间存在一个偏差，在检查中均无法将其作作直观的比较，因此，可在试生产阶段颁发试生产标准，用于指导试生产，并在试生产标准中将两个扭矩值按下式转换

$$M'_{\max, \min} = 0.575(M_{\max} + M_{\min}) \pm \text{SQR}((M_{\max} - M_{\min})^2 + 0.01(M_{\max} - M_{\min})^2)$$

式中： $M'_{\max, \min}$ 为最大或最小检查用扭矩极限； $M_{\max, \min}$ 为最大或最小名义扭矩极限。

扭矩M以及公差值的修正：在试生产中通过对实际检查所得的扭矩值统计，将会发现由于多种因素而使在设计时考虑的名义扭矩值与实际扭矩值存在一定偏差，为此，必须对名义扭矩值M、 M_{\max} 和 M_{\min} 进行必要修正，其修正公式如下：

$$M = (M''_{\max} + M''_{\min}) / 2.42 + 0.475 * \text{SQR}((M''_{\max} - M''_{\min})^2 + 0.0076 * (M''_{\max} - M''_{\min})^2)$$

$$M''_{\max, \min} = (M''_{\max} + M''_{\min}) / 2.30 \pm 0.5 * \text{SQR}((M''_{\max} - M''_{\min})^2 + 0.0076 * (M''_{\max} - M''_{\min})^2)$$

式中： M'' 为实际测量扭矩值； M 为修正后作为正式生产标准扭矩值。



螺栓的拧紧应用于机械行业的装配是一个普遍现象，以前人们只是考虑在装配时，把螺栓（或螺母）拧到**最紧**的程度。后来人们才发现，这个“**最紧**”不过是一个**非常模糊**的概念，它是因人而异的。一台机器有几十，以至成百上千个零件采用螺栓紧固装配，在大生产中又是由多数人在不同的时间里完成的。而且每天又要装配几十或几百台机器，这个“最紧”的离散度将是可想而知的。另外，还有些零件（如汽车发动机中的连杆大头孔），在生产车间需要用螺栓装配起来进行加工，而到了装配车间进行整机组装时，又先要松开螺栓，拆下瓦盖，套到曲轴上后再重新拧紧，如用这个“最紧”来进行，可想而知，其结果将是非常危险的。因而，如何有效的控制“拧紧”，并使其达到“最佳”，也就成为了机械行业十分关注的课题。这样，不仅对于拧紧的控制方法探讨及其采用成为了热门话题，而且对于自动拧紧机的应用也日益广泛了。

2#头拧紧后即人工检测，其值较拧紧机显示值低较多，经过多次试验及检查，是瓦盖有问题。

2. 拧紧扭矩值偏大（转角未达到设定值）

这个问题基本上都出现在工件、垫片和螺栓上。

(1) 对于工件：主要是工件的螺纹不好或螺孔内有异物，使螺纹接触面摩擦阻力增大所至。

(2) 对于垫片：尤其是带有弹簧垫片或带定位点的平垫片对其的影响较大，扭紧靠座后，弹簧垫片（或带定位点的平垫片）可能会随螺栓旋转所产生的摩擦阻力增大所至。（装配3#线的缸盖拧紧机常出现此情况）。

(3) 对于螺栓：主要是螺纹不好，缸体189621拧紧机，在零部件国产化中，刚开始用的国产螺栓时曾出现过，而螺纹改进后就再未发生过。还有一点就是螺栓未按规定处理（蘸油）或把本来涂的油清洗掉了也会出现此现象。

(4) 其它原因：进行了两次拧紧。

3. 拧紧扭矩值偏小（转角已达到设定值）

拧紧扭矩值偏小的问题多半是出在螺栓上，其主要原因是螺栓的质量不好（屈服点较低）。当然，从理论上讲，工件的螺孔攻大，螺栓螺纹直径偏小也会出现这种情况，但在实际生产中，这种情况出现的机率极小。

4. 其它应当商讨的问题：

(1) 我们所谓的“拧紧扭矩值偏小”，是不是真正的偏小？

讨论这个问题必须针对具体实例，我们以缸体189621线（缸体主轴承瓦盖）自动拧紧机为例：

当时的工艺规定：拧至41NM再转90°，其终止扭矩的上限不超过130Nm，下限不低于90Nm。而在有一段时间内，工艺部门把扭矩的下限值修定为：

不低于100Nm和105Nm,在此期间内,时而出现扭矩值偏小情况(即达不到100Nm和105Nm)。

我们在这里再特别强调一下前面已经介绍的如下几个问题:

① 拧紧,实际上就是要使两被连接体间具备足够的压紧力,反映到被拧紧的螺栓上就是它的轴向预紧力(即轴向拉应力)。而不论是两被连接体间的压紧力还是螺栓上的轴向预紧力,在工作现场均很难检测,也就很难予以直接控制,因而,人们采取了上述几种方法予以间接控制。

② 扭矩控制法:由于只能对于拧紧的扭矩进行控制,而这个扭矩与螺栓轴向预紧力的关系受摩擦阻力影响较大,即同样大小的扭矩其螺栓的轴向预紧力可能相差很大。

③ 扭矩—转角控制法:摩擦阻力的不同,仅影响测量转角的起点,并将其影响延续到最后。而在计算转角之后,摩擦阻力对螺栓轴向预紧力的影响已不复存在。

综上所述,螺栓连接需要的是被连接体间的压紧力,拧紧的扭矩虽然与压紧力成正比,但其比例系数(即2式中的扭矩系数K)随摩擦系数的不同,离散度较大。即扭矩的大小并不能确切地反映出压紧力的大小,同一状况的连接体,由于摩擦系数的影响,以至扭矩相差很大,而压紧力却相差不大;而不同状况的连接体,由于摩擦系数的影响,可能扭矩大的还没有扭矩小的压紧力大。如若螺栓和被连接体螺纹的螺距精度可以保证,那么,拧紧的转角的精度就可以保证压紧力的精度了。因而,作为扭矩—转角控制法,只要确保起始扭矩(TS)和控制转角(AC)精度就可以了。至于扭矩也并不是一点也不考虑,主要是把它作为一个监视值来作为参考(用以发现扭矩偏大或偏小中的问题),因而扭矩上下限的范围不宜太小。否

则，本来没有问题的拧紧也被当做有问题的看待了。

从上述情况来看，在扭矩—转角控制法中，过于看重或提高下限扭矩的实际意义是不大的。实际上这台缸体主轴承瓦盖拧紧机，刚从美国引进时的工艺规定：拧至41Nm再转90°，其终止扭矩上限不超过130Nm，下限不低于78Nm。对于这个扭矩范围，我想可能就是在美国原厂时，根据前序有关加工、螺栓等综合情况对拧紧扭矩的影响而制定的。

再如，连杆瓦盖拧紧机，查原始工艺参数的记载：拧至54Nm再转90°，其终止扭矩上限不超过160Nm，扭矩下限不低于40Nm。这个工艺参数乍看起来很矛盾，它是拧至54Nm再转90°，其终止扭矩下限怎么能低于40Nm呢？其答案是：正因为它不可能低于40Nm，即在这里其拧紧的扭矩在工艺上是不考虑的，只要满足其拧至54Nm再转90°就可以了。它限制其终止扭矩的上限不超过160Nm是一种保护措施。

综上，目前我们所认为的“扭矩值偏小”的问题，希望大家广泛讨论。

(2) 对于不同型号的同种工件，在同一台拧紧机上拧紧，拧紧机上显示的扭矩相同，而人工检测却相差较大。

这个问题也是笔者亲身所遇，突出表现在发动机上罩盖的拧紧机上，其上罩盖分为二种，其中一种为铝合金（铸造的）；另一种为钢板的。当天是混流生产，在先装配50台铝合金上罩盖的过程中，其中4#、5#拧紧头显示扭矩12Nm，而人工检测为14—16Nm，其它7个拧紧头的扭矩均与人工检测值相符（该拧紧机共9个拧紧头）。用扭矩校准仪校准，9个拧紧头的扭矩均为什么只是4#、5#拧紧头所拧的螺栓，其扭矩在人工检测时偏大呢？较为引人注目的一点是：

4#、5#拧紧头所拧的螺栓及在铝合金罩盖上的摩擦痕迹如图15 (a)，其它螺栓及在铝合金罩盖上的摩擦痕迹均如图15 (b)。

对比图15 (a) 与 (b) 可见，4#、5#头拧紧的摩擦痕迹是面（而其它头是点），在拧紧进行中为动摩擦，其摩擦阻力与其它头相比差值不大。而人工检测时为静摩擦，其摩擦阻力比其它头大的较多，扭矩之差就显现出来了。然而用铁

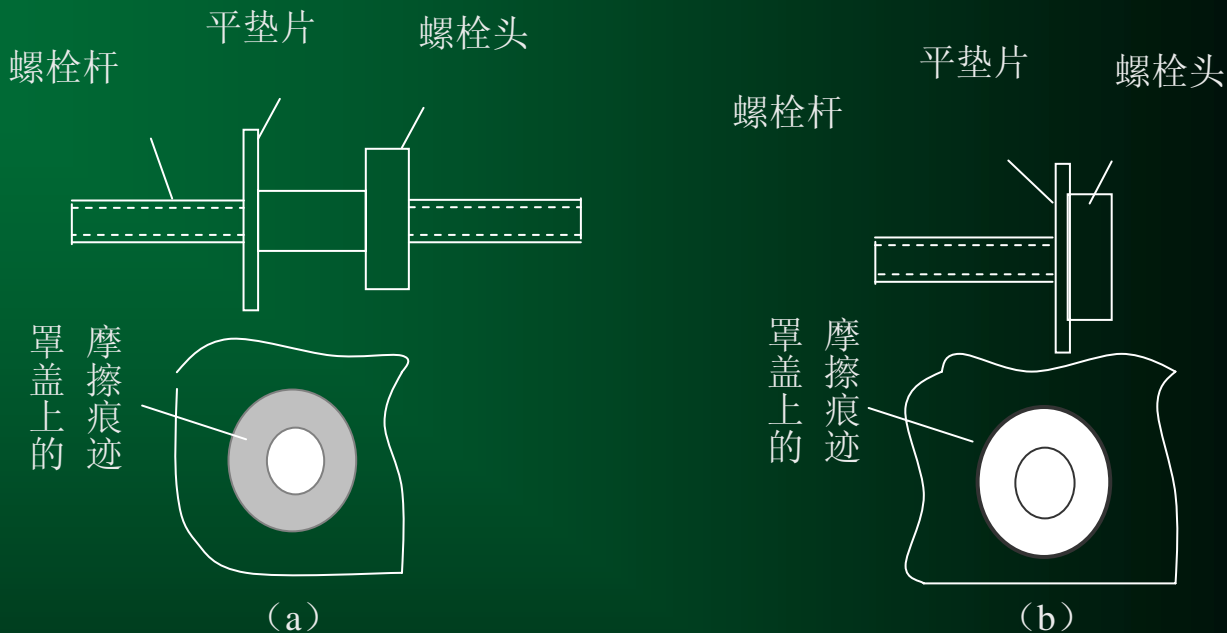


图 15

罩盖时4#、5#头为什么扭矩不大呢？其原因是铁罩盖表面有一层漆，光滑的漆表面使其静摩擦阻力也相差不大了。

从上述分析来看，在拧铝合金罩盖时，4#、5#头在人工检测时，扭矩虽然偏大，但由于拧紧机正常，故不应当按人工检测工件的结果来修正拧紧机的。

拧紧失效

螺栓松的原因与分类

分类		原因
没有旋螺栓的松	起始松	连接件摩擦副表面不平整
	下沉松	支承面塑性变形
	小摩擦力	连接件表面横向摩擦力
	密封材料的永久变形	安装衬垫
	拧紧过头	螺栓拧紧过程中产生塑性变形
	发热	不同的连接件材料热膨胀系数，超过内应力变化产生的温度。
由于螺栓旋紧导致松	轴向外部的力	轴承表面与螺纹面关联替换
	轴向力	
	水平方向外力	
	垂直方向轴向力	对撞，螺纹挤压力降低或损失和轴承的表面振纹

拧紧失效

不良接头特性要素图

- 设计要求拧紧力失效
- 不足连接力
- 达不到容许变化的拧紧力
- 拧紧操作指导没到位
- 不足的松了对策
- 不能用的拧紧工具
- 没有拧紧检查

设计质量问题

- 超过扭矩系数范围
- 零件螺纹摩擦力条件改变
- 螺栓加工问题
- 螺栓抗拉强度问题
- 螺栓尺寸问题
- 螺栓支承面涂层问题

螺栓缺陷

- 拧紧步骤程序错
- 操作人操作工具错
- 操作者忘记拧紧
- 给操作者培训不够
- 拧紧工具使用状态改变
- 拧紧工具工作出错
- 拧紧工具准确度改变
- 选错拧紧工具

拧紧缺陷

系统故障

- 螺栓拧紧没有标准化
- 没有实施螺栓拧紧作业指导书
- 关于拧紧失效监控跟踪系统
- 螺栓拧紧的系统失效
- 缺少关于螺栓拧紧方面的培训

服务支持要求

- 缺少操作人员的培训
- 缺少螺栓拧紧质量检查
- 拧紧工具没有标定
- 应有拧紧规范指导书t

有问题连接

- 套筒或垫片
- 使螺栓变松
- 连接设备没有固定牢
- 电流传输问题与发热
- 油管, 漏气, 等等.

拧紧失效

在装配过程中

- ✦ 拧紧失效由连接、工具或操作引起的
- ✦ 这些失效典型反映违背常规
- ✦ 拧紧失效，检测远离标准角度极限。
- ✦ 现代直流控制器具有能力监视或控制标记
这些过程中出错。

拧紧失效

由下列方法判断:

错误种类	扭矩控制	扭矩控制带 角度监视	屈服点控制带 扭矩和角度监视
软连接 (低和高摩擦力)	NO	YES	YES
软连接 (正常摩擦力)	NO	通常 NO	YES
硬连接	NO	NO	YES
螺纹缺陷 (高摩擦力)	NO	YES	YES
涂层/润滑剂 (摩擦力非常低)	NO	YES	YES

【超过15年刀具应用经验，不仅仅是专业】
<http://noristap.blog.china.alibaba.com/>



▼ 案例1:使用力矩扳手实例

客户 : Swaraj Engines Ltd

问题 : Cylinder Head Leakage

分析 :

- ✓ 拧紧方法: 使用向下冲击扳手, 用手动扭力扳手完成拧紧14 Kg.m
- ✓ 方法: JCS 传感器固定-屈服模式用4度获取转角, 从两台发动机24个缸盖螺帽&柱头螺栓记录屈服的扭矩数据
- ✓ 发现: 螺帽在平均13.5 Kg.m扭矩屈服了.
- ✓ 推论: 认为摩擦力扭矩作用在这连接处应该超过11 Kg.m更大的结果. (0.81安全因数)

结论

结果低等级螺帽/柱头螺栓使用问题. 印度发动机证实的最近几年前柱头螺栓等级从8.8改到10.9 and 指明扭矩提高到10.9级. 可螺帽等级没有改变.

行动 :

改螺帽为同等级, 问题解决.

【超过15年刀具应用经验，不仅仅是专业】
<http://noristap.blog.china.alibaba.com/>



▼ 案例2:实例分析

客户 :发动机缸盖线

问题 :某装配工位，该工位采用的螺栓规格为M6，强度等级9.8，原来表面采取发黑处理，后来为提高抗腐蚀能力改成表面镀锌，并换了一家供货厂，但在装配工艺完全不变的情况下，发生了下线总成中有少量的螺栓出现断裂的现象。

分析 :断裂原因何在？我们经过了以下一些试验与分析。

▼1. 对新螺栓的材料强度及其他一些主要理化指标是否符合要求的质疑
首先，我们提取了各三个样本对更换前后的两种紧固件进行了对比试验，结果如表。更换螺栓前后的对比试验结果

	强度等级9.8要求	发黑螺栓（实测）	镀锌螺栓（实测）
抗拉强度 σ_b	$\sigma_b \geq 900\text{Mpa}$	1028 ~ 1063	1010 ~ 1096
硬度HV	HV30 = 290 ~ 336	339 ~ 345	339 ~ 341
金相组织		回火马氏体	回火马氏体
断口分析		韧性断裂	韧性断裂

上表说明更换后的螺栓尽管表面处理由发黑改为镀锌，又出自另一家供货厂，但其机械性能完全符合要求，且与原来的紧固件差异很小，因此，完全可排除由于强度等材质原因引起螺栓断裂的可能。

▼2. 分析摩擦系数对螺栓联接轴向预紧力的影响。

装配过程由多头电动拧紧机完成，采取扭矩法，工艺规定的装配扭矩为 $12+3\text{Nm}$ 。众所周知，螺纹副连接实质上是依靠螺栓的轴向预紧力把紧固件和被连接件结合在一起的，而扭矩法是一种通过控制拧紧扭矩间接地实施

对轴向预紧力控制的装配方法。

我们所使用的紧固件均由专业化工厂生产，后一组变量的散差较小，带来的影响也较小，而经验告知，在加工工艺相同的情况下，镀锌的表面相比发黑处理的表面摩擦系数将有明显下降，因此，针对前面两种联接螺栓，螺纹制造精度的影响可以忽略。

在这类螺纹副联接中，拧紧扭矩、螺栓的轴向预紧力及扭矩系数三者之间相互关联此消彼长。摩擦系数的减小导致了扭矩系数变小，在拧紧扭矩保持不变的情况下，必然将引起螺栓轴向预紧力的增大。连接螺栓的断裂是因作用在其上的拉力——轴向预紧力过大，超出了材料抗拉的强度造成的，而正是紧固件表面处理由发黑改成镀锌，致使摩擦系数减少才产生了这样的结果。

▼3. 替代试验及其工艺改进方向

要用实验方法测出真实状态下的摩擦系数值或螺栓受到的轴向拉力数值，在一般企业中不太可能。这里有一种较简单、也较直观的替代实验，能在一定程度上说明问题：

取相同数量的两种螺栓，每组10 ~ 50件，用高精度指示式扭力扳手（指针式或数显式）逐个紧固在一个又一个的工件上。随着拧紧力矩的逐渐增加，螺栓承受的轴向拉力不断加大，当拉力达到材料的抗拉强度时，螺栓断裂。记下此时扭力扳手的指示值。从前面的介绍可知，尽管两种连接螺栓表面处理方式不同，但材质和主要机械性能相同，因此，当上述替代试验出现试件螺栓断裂时，它们受到的轴向预紧力是相同的，而此刻拧

紧力矩的数值（平均值）分别为：发黑螺栓28.36Nm，镀锌螺栓17.02Nm，这两个平均值之间的差别实质上就反映了螺栓联接配合中摩擦系数不同所带来的影响。

以上实验结果也指出了装配工艺改进的方法：

若把摩擦系数视为常数，对于一个确定的螺栓轴向预紧力，它与拧紧力矩在理论上呈线性关系，但当轴向预紧力超过屈服点之后，随着拧紧力的增大，预紧力的增量将减少，甚至出现下降，因此，螺栓轴向预紧力与拧紧力之间的关系只有在螺栓预紧进入屈服状态之前才是线性的。

事实上，在采用扭矩法这一拧紧工艺时，考虑到扭矩控制精度、摩擦系数散差、紧固件机械性能波动和制造精度等影响因素，螺栓轴向预紧力的最大值通常只设计在其屈服极限的70%以下，也就是说，螺栓连接是工作在材料的弹性区域内，因此，替代试验的对比测试值并不能说明扭矩法工况下拧紧力矩与螺栓轴向预紧力间的真实比例关系，但还是指出了明确的趋势，而且提供了一种修正装配工艺后直截地评价改进效果的方法，以便于企业实施。

针对提高抗腐蚀性的目的，把螺栓由表面发黑改为镀锌后所采用的改进装配工艺的做法主要是降低装配扭矩值，此时可做若干基本假设，并选用一些经验数据，再代入公式，求出拧紧力矩，即装配扭矩值，作为改进依据。



螺纹联接的防松

在静载荷和工作温度变化不大时，螺纹联接能满足自锁条件。防松的根本问题在于防止螺纹副的相对转动。具体的防松方法和装置很多，就其工作原理来看，可分为利用摩擦、直接锁住和破坏螺纹副关系三种。

依据 VDI 2230的夹紧力表

用于如 DIN 13·第13部分的公制螺纹定位螺钉和如 DIN 931的各种尺寸六角螺钉或如 DIN 912的圆柱头螺钉的预加拉力 Fm 和拧紧扭矩 TA (这儿 $\mu k=0.12$ 是螺纹的摩擦率) 的推荐值。

尺寸	分类	预加拉力的安装力 Fm (N)·这儿 $\mu G=$							拧紧扭矩 TA (Nm)·这儿 $\mu k=$						
		0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.20	0.24	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.20	0.24
M 4	8.8	4400	4200	4050	3900	3700	3400	3150	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.7	4.0
	10.9	6400	6200	6000	5700	5500	5000	4600	3.2	3.7	4.1	4.5	4.9	5.4	5.9
	12.9	7500	7300	7000	6700	6400	5900	5400	3.8	4.3	4.8	5.3	5.7	6.4	6.9
M 5	8.8	7200	6900	6600	6400	6100	5600	5100	4.3	4.9	5.5	6.1	6.5	7.3	7.9
	10.9	10500	10100	9700	9300	9000	8200	7500	6.3	7.3	8.1	8.9	9.6	10.7	11.6
	12.9	12300	11900	11400	10900	10500	9600	8800	7.4	8.5	9.5	10.4	11.2	12.5	13.5
M 6	8.8	10100	9700	9400	9000	8600	7900	7200	7.4	8.5	9.5	10.4	11.2	12.5	13.5
	10.9	14900	14300	13700	13200	12600	11600	10600	10.9	12.5	14.0	15.5	16.5	18.5	20.0
	12.9	17400	16700	16100	15400	14800	13500	12400	12.5	14.5	16.5	18.0	19.5	21.5	23.5
M 7	8.8	14800	14200	13700	13100	12600	11600	10600	12.0	14.0	15.5	17.0	18.5	21.0	22.5
	10.9	21700	20900	20100	19300	18500	17000	15600	17.5	20.5	23.0	25	27	31	33
	12.9	25500	24500	23500	22600	21700	19900	18300	20.5	24.0	27	30	32	36	39
M 8	8.8	18500	17900	17200	16500	15800	14500	13300	18	20.5	23	25	27	31	33
	10.9	27000	26000	25000	24200	23200	21300	19500	26	30	34	37	40	45	49
	12.9	32000	30500	29500	28500	27000	24900	22800	31	35	40	43	47	53	57
M 10	8.8	29500	28500	27500	26000	25000	23100	21200	36	41	46	51	55	62	67
	10.9	43500	42000	40000	38500	37000	34000	31000	52	60	68	75	80	90	98
	12.9	50000	49000	47000	45000	43000	40000	36500	61	71	79	87	94	106	115
M 12	8.8	43000	41500	40000	38500	36500	33500	31000	61	71	79	87	94	106	115
	10.9	63000	61000	59000	56000	54000	49500	45500	90	104	117	130	140	155	170
	12.9	74000	71000	69000	66000	63000	58000	53000	105	121	135	150	160	180	195
M 14	8.8	59000	57000	55000	53000	50000	46500	42500	97	113	125	140	150	170	185
	10.9	87000	84000	80000	77000	74000	68000	62000	145	165	185	205	220	250	270
	12.9	101000	98000	94000	90000	87000	80000	73000	165	195	215	240	260	290	320
M 16	8.8	81000	78000	75000	72000	70000	64000	59000	145	170	195	215	230	260	280
	10.9	119000	115000	111000	106000	102000	94000	86000	215	250	280	310	340	380	420
	12.9	139000	134000	130000	124000	119000	110000	101000	250	300	330	370	400	450	490
M 18	8.8	102000	98000	94000	91000	87000	80000	73000	210	245	280	300	330	370	400
	10.9	145000	140000	135000	129000	124000	114000	104000	300	350	390	430	470	530	570
	12.9	170000	164000	157000	151000	145000	133000	122000	350	410	460	510	550	620	670
M 20	8.8	131000	126000	121000	117000	112000	103000	95000	300	350	390	430	470	530	570
	10.9	186000	180000	173000	166000	159000	147000	135000	420	490	560	620	670	750	820
	12.9	218000	210000	202000	194000	187000	171000	158000	500	580	650	720	780	880	960
M 22	8.8	163000	157000	152000	146000	140000	129000	118000	400	470	530	580	630	710	780
	10.9	232000	224000	216000	208000	200000	183000	169000	570	670	750	830	900	1020	1110
	12.9	270000	260000	250000	243000	233000	215000	197000	670	780	880	970	1050	1190	1300
M 24	8.8	188000	182000	175000	168000	161000	148000	136000	510	600	670	740	800	910	990
	10.9	270000	260000	249000	239000	230000	211000	194000	730	850	960	1060	1140	1300	1400
	12.9	315000	305000	290000	280000	270000	247000	227000	850	1000	1120	1240	1350	1500	1650
M 27	8.8	247000	239000	230000	221000	213000	196000	180000	750	880	1000	1100	1200	1350	1450
	10.9	350000	340000	330000	315000	305000	280000	255000	1070	1250	1400	1550	1700	1900	2100
	12.9	410000	400000	385000	370000	355000	325000	300000	1250	1450	1650	1850	2000	2250	2450

6. 怎样测量扭矩？

测定螺钉紧固扭矩并检测紧固作业。

断裂扭矩法
重新紧固扭矩法
标记法

$$T_m = a \cdot T_t$$

($T_m \neq T_t$)

T_m : 被测扭矩
 T_t : 紧固扭矩
 a : 系数 (见下表)

方法	断裂	重新紧固	标记
测量方法	用扭矩扳手松开或断裂螺栓，当螺栓开始松开时读出扭矩。	紧固螺栓进一步确定所加扭矩，当螺栓重新开始转动时读出扭矩。	对紧固螺栓的位置作标记，松开并在再次紧固到标记位置时读出扭矩。
测量扭矩 = a 紧固扭矩	0.6 ~ 0.9	0.9 ~ 1.2	0.9 ~ 1.1
该方法的 优点与缺点	比较容易测量，需要重新紧固螺栓。	若开始转动点清晰，则可具备精度，在检测后无需另外工作。	省时和省力，检测后，螺栓保持其初始扭矩。

a : 摩擦引起不一致性 → 不可能准确估计紧固扭矩。

检测前具有 T_i 和 T_m 之间的关系 (平均 T_m , a , 和偏差)
 → 精度得到改善。

检测时使用直读式扭矩扳手和螺丝刀。

F, DB, CEM (数字式) 和 FTD (螺丝刀型)

测量/验证方法

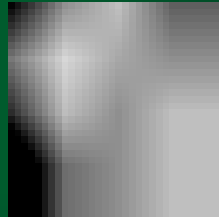
1. 松动法 (用在小螺栓/螺母) 拧紧力 = 松动力 拧紧力用 $10 \text{ N}\cdot\text{m}$ 才松动力只因 $5 \sim 8 \text{ N}\cdot\text{m}$
2. 紧固法 (用在中等尺寸螺栓/螺母) 用表盘扭力扳手扳动在学的瞬间的值就是它的值。
3. 标记法 (用在大尺寸) 用在桥梁(桥)和山上。

标准代号	中 国 GB 1031-83				国际 ISO	美 国 ASAB 461-1982	德 国 DIN4763(1972)			日 本 JISB 0601-1976					
	R_a		R_z 或 R_y		老标准 等级代 号	等级 代号	R_c min(μm)	R_a (μm)	R_z (μm)	等级 代号	R_a (μm)	R_z (μm)	R_{max} (μm)	标 记 示 例	
	I	II	I	II											
表 面 粗 糙 度 (光 洁 度) 数 值 和 代 号	0.012		0.05		▽14				0.04	▽▽▽▽ ▽▽▽ ▽▽ ▽	0.0125a		0.05s	▽▽▽▽ ▽▽▽ ▽▽ ▽	
								0.006	0.063		0.025a				
	0.025	0.012	0.1		▽13	N1		0.012	0.10			0.1z	0.1s		
							1(0.025)	0.025	0.16						
	0.05	0.025	0.2		▽12	N2		0.040	0.25			0.2z			
							2(0.05)	0.063	0.40			0.4z	0.4s		
	0.1	0.05	0.4		▽11	N3		0.10	0.63			0.8z	0.8s		
							3(0.08)	0.16	1.0						
	0.2	0.1	0.8		▽10	N4		0.25	2.5			1.6z	1.6s		
							4(0.10)	0.40	6.3			3.2z	3.2s		
	0.4	0.2	1.6		▽9	N5		0.63	4			6.3z	6.3s		
							5(0.125)	1.0	10						
	0.8	0.4	3.2		▽8	N6		1.6	16			12.5z	12.5s		
							6(0.160)	2.5	25			(18z)	(18s)		
	1.6	0.8	6.3		▽7	N7		4.0	25			25z	25s		
							8(0.20)	6.3	40						
	3.2	1.6	12.5	6.3	▽6	N8		10	63			35z	(35s)		
							10(0.25)	16	100			50z	50s		
	6.3	3.2	25	12.5	▽5	N9		25	160			70z	(70s)		
							13(0.32)	40	250						
	12.5	6.3	50	25	▽4	N10		63	400			100z	100s		
							16(0.40)	100	630			140z	140s		
	25	12.5	100	50	▽3	N11		160	1000			200z	200s		
							20(0.63)	250	1600			280z	280s		
50	25	200	100	▽2	N12		400	2500		400z	400s				
						25(0.80)	630	4000		560z	560s				
100	50	400	200	▽1			1000	6300							

注：① GB 1031-83 使用中，表面粗糙度的常用参数值范围内(R_a 为 0.025~6.3 μm , R_z 为 0.100~25 μm)，推荐优先选用 R_a 。一般旧标准▽4~▽12 推荐用 R_a 、▽1~▽3、▽13~▽14 推荐用 R_z 。在轴承、仪表和木材制品中多用参数 R_y 。
 ② 一般机械常用第 1 种，但对表面质量要求较高的场合，设计者可根据零件的功能要求，采用较低的粗糙度数值(如第 II 种)。
 ③ 列出的老标准等级代号为 GB 1031-68。
 ④ GB 131-83 与 ISO1302-1978, GB 1031-83 与 ISO 468-1982 为等效采用。

【超过15年刀具应用经验，不仅仅是专业】
<http://noristap.blog.china.alibaba.com/>

GMPT扭矩控制



Microsoft Word
Document

GMGA扭矩控制

QCOS TRAINING COURSE

QCOS-对关键扭矩操作的控制

QCOS-Control of Critical Torque Operation



Microsoft
PowerPoint Presentation