

分界面中静摩擦系数 μ_T 的近似值

参照VDI2230, 2015版

材料组合 (惯例: 加工后的状态)	静摩擦系数 μ_T , 状态	
	干燥	润滑
钢 - 钢/铸钢 (一般)	0,1 至 0,3	0,07 至 0,12
钢 - 钢; 经过清洁	0,15 至 0,40	-
钢 - 钢; 表面硬化	0,04 至 0,15	-
钢 - 灰口铸铁	0,11 至 0,24	0,06 至 0,1
钢 - 灰口铸铁; 经过清洁	0,26 至 0,31	-
钢 - 球墨铸铁	0,1 至 0,23	-
钢 - 球墨铸铁; 经过清洁	0,2 至 0,26	-
灰口铸铁 - 灰口铸铁	0,15 至 0,3	0,06 至 0,2
灰口铸铁 - 灰口铸铁; 经过清洁/除脂	0,09 至 0,36	-
球墨铸铁 - 球墨铸铁	0,25 至 0,52	0,08 至 0,12
球墨铸铁 - 球墨铸铁; 经过清洁/除脂	0,08 至 0,25	-
灰口铸铁 - 球墨铸铁	0,13 至 0,26	-
钢 - 青铜	0,12 至 0,28	0,18
灰口铸铁 - 青铜	0,28	0,15 至 0,2
钢 - 铜合金	0,07 至 0,25	-
钢 - 铝合金	0,07 至 0,28	0,05 至 0,18
铝 - 铝	0,19 至 0,41	0,07 至 0,12
铝 - 铝; 经过清洁/除脂	0,10 至 0,32	-

注解: 因摩擦系数的影响变量众多, 因此, 仅对典型范围给予说明。在具体情况下, 最小摩擦系数不一定等于相关范围的下限值, 必要时, 因进行试验研究。这还建议用于增大摩擦系数的措施中。

拧紧系数 α_A 的指导值以及在装配中相应产生的预紧力

参照VDI2230, 2015版

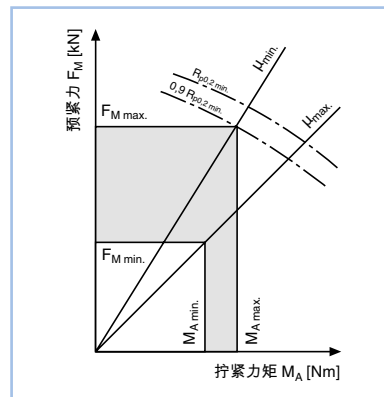
使用拧紧系数 α_A (一个在安装中不确定性的因素), 允许存在由评估摩擦系数误差、摩擦系数分散度, 拧紧方法不同、设备公差、操作失败和读数不精确而带来的误差。

因此, 拧紧系数 α_A 应使得所需要的预紧力在一个最大预载荷 $F_{M \max}$ 和最小预载荷 $F_{M \min}$ 的范围内。螺栓是根据最大拧紧力矩 $M_{A \max}$ 而设计的, 所以螺栓在安装中不会超载。

拧紧系数 α_A 定义如下:

$$\alpha_A = \frac{\text{安装中可能的最大预载荷 } F_{M \max}}{\text{需要的最小预载荷 } F_{M \min}}$$

如今, 甚至简单的现代扭矩拧紧机都可以提供公差非常精密的扭矩。最大偏差扭矩超过范围 $\pm 2\%$ 是常用值, 并被制造商加上引号。然而, 在装配中最终产生的预应力取决于拧紧系数, 其变化由 $\pm 9\%$ 大到 $\pm 60\%$



- 带拉伸长度测量的拧紧方法 - 液压拧紧方法几何不依赖于摩擦力。它的拧紧系数低;
- 力矩控制拧紧方法与摩擦力的作用相关。其拧紧系数一般较高。当摩擦系数是由最初试验得出的时候, 会出现较小的拧紧系数和较小的拧紧系数范围。上述情况也适用于加紧长度短的强螺钉连接和快速拧紧方法。当摩擦系数是估算的时候, 会出现较高的拧紧系数 α_A , 这适用于涉及弱螺钉和慢拧紧方法, 例如: 用于冲击扳手和手工装配。

拧紧系数 α_A	离散度 $\frac{\Delta F_M}{2 \cdot F_{Mm}} = \frac{\alpha_A - 1}{\alpha_A + 1}$	拧紧方法	设定方法	说明
1,1 至 1,2	±5% 至 ±9%	借助超声波延展控制或检查拧紧	声音传播时间	- 需要校准值 - 当 $l_K/d < 2$ 时应注意累积误差增加 - 直接机械连接时, 误差较小, 间接连接时, 误差较大
1,1 至 1,3	±5% 至 ±13%	通过螺母或螺栓头内固定的压紧螺栓进行机械延展	螺栓延展预设, 通过压紧螺栓的压紧扭矩调整	- 用来支撑压紧螺栓的硬化垫圈 - 约 M24 以上.
1,2 至 1,5	±9% 至 ±20%	通过带螺纹轴套的组合螺母进行机械延展	拧紧工具的扭矩	- 用来支撑压紧螺栓的硬化垫圈 - 约 M30 以上.
1,1 至 1,5	±5% 至 ±20%	借助机械延展测量或检查拧紧	直接的方法: 通过延展测量调整 间接的方法: 已用完与控制销的轴向间隙	- 必要: 准确测定成比例的螺栓轴向弹性恢复率 - 分散度主要取决于测量方法的精度 - 需要校准小数值 - 当 $l_K/d < 2$ 时注意累积误差增加
1,1 至 1,4	±5% 至 ±17%	以无摩擦和无扭转形式液压拧紧	通过螺母的压力或延展测量或扩展旋转角度调整	- 当 $l_K/d \geq 5$ 时, 获得较小数值, 在机械加工的螺栓和板材中, 可能 $\alpha_A = 1.05$ - 在标准螺栓和螺母中 $\alpha_A \geq 1,2$ - 夹紧长度比例较低导致 α_A 值较大。 - 出现在拧紧系数中忽略的回弹损失。 - M20 以上应用
1,2 至 2,0	±9% 至 ±33%	带液压脉冲组件的脉冲扳手, 扭矩和/或旋转角度控制	通过旋转角度或扩展扭矩调整	- 仅通过旋转角度、压缩空气伺服阀和脉冲计数的螺旋接合情况时预设置的小数值 - 在特殊情况下, 也可进行超弹性安装
1,2 至 1,4	±9% 至 ±17%	屈服极限控制拧紧, 电动或手动	规定相对的扭矩—旋转角系数	预紧力数值分散主要取决于所使用的螺栓中的一批螺栓中的屈服点的数值分散, 此处根据 $F_{M \min}$ 确定螺栓的尺寸, 所以在这种拧紧方法时, 取消根据 $F_{M \max}$ (含有拧紧系数 α_A) 配置螺栓;
1,2 至 1,4	±9% 至 ±17%	拧紧时控制旋转角, 电动或手动	根据试验确定预拧紧扭矩和旋转角度 (分级)	
1,4 至 1,6	±17% 至 ±23%	用液压工具以扭矩控制方式拧紧	通过压力测量调整	- 约 M30 以上
1,4 至 1,6	±17% 至 ±23%	借助扭矩扳手以扭矩控制方式拧紧, 可生成信号的扳手或带动态扭矩测量的电动扭矩扳手	根据试验确定原装螺纹连接件上的额定拧紧扭矩, 例如通过螺栓的延展测量	小数值用于: 需要调整或检查试验中的大多数 (例如 20); 需要给定扭矩低分散度 (±5%) 小数值用于: - 小旋转角度, 意味着相对刚性连接 - 反向位置硬度相对较低 ^{a)} - 不易于“腐蚀的”反向位置, 例如磷化或润滑充分时
1,6 至 2,0 (摩擦系数等级 B)	±23% 至 ±33%	借助扭矩扳手以扭矩控制方式拧紧, 可生成信号的扳手或带动态扭矩测量的电动扭矩扳手	通过估算摩擦系数确定拧紧扭矩额定值 (表面和润滑条件影响很大)	小数值用于: 均匀拧紧时测量的扭矩扳手和精密机械螺丝刀 大数值用于: 可生成信号的或弯曲扭矩扳手
1,7 至 2,5 (摩擦系数等级 A)	±26% 至 ±43%			大数值用于: - 大旋转角度, 意味着相对柔性连接以及精细螺纹 - 反向位置硬度大, 与粗糙表面连接
2,5 至 4	±43% 至 ±60%	借助冲击式扳手、“止动扳手”或脉冲扳手拧紧; 手动拧紧	通过拧紧扭矩进行调整, 拧紧扭矩由额定拧紧扭矩 (估算的摩擦系数) 及附加值构成; 主观判断后手动拧紧	小数值用于: - 调整实验中的大多数 (重新拧紧扭矩) - 位于螺丝刀特性的水平分支上 - 无间隙脉冲传递 方法仅适用于预拧紧, 手动拧紧时存在过度延展危险 M10 时或更小

^{a)} 接触表面: 被紧固的零件, 其表面与连接的拧紧元件 (螺栓头或螺母) 接触
注解: 在特定的情况下, 拧紧系数可能更小。这需要在设定时更费力, 工具和/或紧固件和部件的更高的质量。