

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。

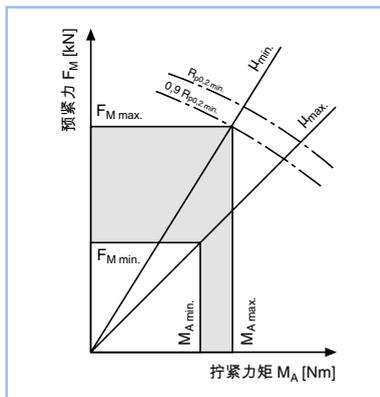
因此, 拧紧系数 α_A 应使得所需要的预紧力在一个最大预载荷 $F_{M \max}$ 和最小预载荷 $F_{M \min}$ 的范围内。螺栓是根据最大拧紧力矩 $M_{A \max}$ 而设计的, 所以螺栓在安装中不会超载。

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)	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
1,7 至 2,5 (摩擦系数等级 A)	±26% 至 ±43%			大数值用于: 可生成信号的或弯曲扭矩扳手
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。