燕科对于施拧速度对一般螺栓扭矩系数的影响分析

摘要：

为了分析施拧速度对螺栓拧紧时扭矩系数的影响，利用恒速多功能螺栓扭机以大型螺栓为研究对象对螺栓紧固轴力及预拉力等进行“扭矩——力”分析实验，通过实验分析初步判断螺栓与螺母及垫圈接触面的摩擦系数随着拧紧速度的增大而减少并逐渐趋于稳定；又因为排除变加速度冲击力对扭矩系数的影响，摩擦系数是影响扭矩系数的主要因素之一；而扭矩系数是摩擦系数的增函数，故在一定范围内，扭矩系数与摩擦系数同增同减；同时，拧紧过程中，摩擦会导致产生热量，引起的温度变化会在润滑和膨胀以及摩擦形式等多方面对摩擦系数产生影响，温度的改变也是影响扭矩系数的重要因素之一。

关键词：螺栓；拧紧速度；扭矩系数；摩擦系数；轴向预拉力；紧固轴力

引言：

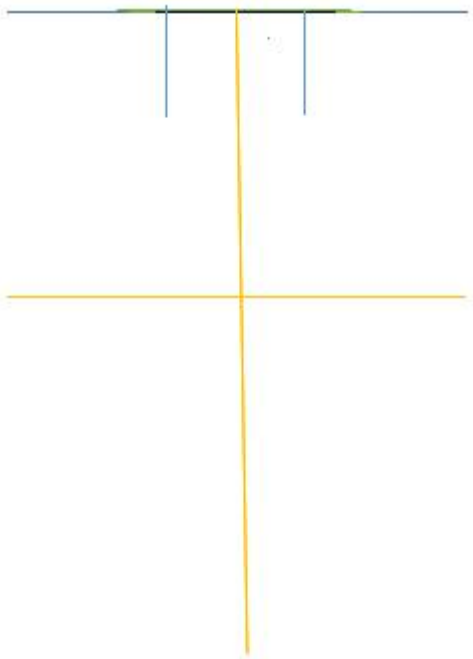
近年来，随着我国相关工艺技术的引进与消化吸收，人们对螺纹紧固件的认识逐渐加深，尤其是对螺纹紧固件质量、螺栓拧紧速度控制等尤为重视。在装配过程中通过控制螺栓拧紧速度来有效的控制螺栓摩擦系数，从而减少扭矩系数的分散，提高螺栓使用性能。

本次实验通过采用定拉力发来实现对轴向预拉力的控制，在实验的过程中通过对相同批次螺栓采用不同的恒定拧紧速度来对螺纹紧固件的摩擦系数及扭矩——速度——预紧力关系进行分析，从而得出拧紧速度对摩擦系数有较大影响，进而影响温度及扭矩系数；因为在实验室质量检测及工程装配过程中，控制拧紧速度对得出准确的螺栓扭矩系数，进而确保有效紧固轴力有较为重大的意义。

一、 螺栓拧紧过程原理分析：

螺栓与板材拧紧联接时，紧固件的拧紧力矩大部分用来克服由于螺纹摩擦和支撑面摩擦而产生的力矩，只有小部分扭矩扭化为螺栓拧紧所需的轴向预紧力，而影响预紧力的主要因素除了操作工具（如人工拧矩电动扳手、恒速拧紧试验机等）及拧紧方法（定矩，定轴力、定旋扭角度等）外，还有摩擦系数。其中拧

紧速度、温度、加工精度、同轴度、表面处理、表面粗糙度等都会影响摩擦系数。



产生轴向预紧力的扭矩约为

全部扭矩的 10%~20%；

克服螺纹摩擦的扭矩约为

全部扭矩的 35%~40%；

克服支撑面阻力产生的扭矩约为

全部扭矩的 45%~50%；

二、拧紧速度对摩擦系数影响的理论分析

在螺栓拧紧的过程中，接触表面对产生相对滑动，从而引起接触表面的滑动摩擦，引起接触表面受损，同时引起接触表面温度的变化。当拧紧速度较低时，接触表面的磨损形式主要为磨粒磨损及轻微的塑性变形为主，此时接触面温度较低不易形成氧化膜在拧紧过程中易发生黏着，导致摩擦系数较大；随着拧紧速度进一步增高，不断地摩擦导致大量热的产生，在一定时间后，会使接触表面产生氧化膜，改变摩擦形式及摩擦系数。拧紧速度越大，接触表面相对滑动产生的热量越大（由动能与速度间的关系可知），从而导致接触面更容易产生适应工装的氧化层薄膜，从而尽快达到较为稳定且相对较低的摩擦系数。一方面，由（$\mu = \varphi e^{-cv}$）可知，随着拧紧速度的增加，摩擦系数减小；另一方面拧紧过程中，拧紧扭矩扭化为轴向预紧力对的影响在于形成摩擦薄膜，低速拧扭时产生的接触面裂纹较多较大，摩擦系数较大，高速扭动时，接触面快速形成光滑薄膜，从而导致摩擦系数较小；此外摩擦系数随轴向预紧力的增加而较小。

根据国标 GB/T16823.3-2010 得出：

螺纹摩擦系数公式：$\mu_h = \dfrac{\dfrac{T_{th}}{F} - \dfrac{P}{2\pi}}{0.577 d_2}$ ； 支撑面摩擦系数 $\mu_b = \dfrac{T_b}{0.5 D_b F}$

三、摩擦系数对扭矩系数影响的理论分析：

由 GT/T16823.2-1997《螺纹紧固件紧固通则》扭矩系数 K 有如下关系：

$$T = KFd$$

$$K = \frac{1}{2d}\left(\frac{P}{\pi} + \mu_{th} d_2 \sec\alpha + \mu_b D_b\right)$$

d 为螺纹公称直径 mm、∂为螺纹牙侧角；

扭矩系数由螺纹常数和摩擦系数共同决定，而拧紧扭矩向轴向预拉力扭化比例为一定值，故摩擦系数对扭矩系数影响极为重要。

四、实验研究过程

选取配套、全新：螺母、垫圈及强度等级为 10.9S 级别的公称尺寸为 M30 的六角头螺栓，在保证螺纹与螺母内牙光滑接触的情况下， 将螺栓放在实验台上，，本试验台仪器可以同时测定扭矩值、紧固轴力值、旋扭速度与偏扭角度，试验数据可以存储在实验仪器中，通过试验台仪器记录在不同拧紧速度下：最大扭矩、最大紧固轴力的数值利用扭矩系数与螺栓预紧力之间的线性关系范围，在处于允许范围内的数值进行记录分析

参考数据：

类型	性能等级	螺纹规格	选用材料
螺栓	10.9S	M12~M24	20MntiB
		M27~M30	35VB
	8.8S	M12~M16	35#
		M20~M24	20MnTib
		M27~M30	35VB
螺母	8H 10H	M12~M30	35#
垫圈	35~45 HRC	12~30	45#

材料的化学成分

材料	C%	Si%	Mn%	Ti%	V%	B%	P%	S%
20MnTiB	0.17~0.24	0.17~0.37	1.30~1.60	0.04~0.10	0	0.0005~0.0035	≤0.035	≤0.035
35VB	0.31~0.37	0.17~0.37	0.50~0.90	0	0.05~0.12	0.001~0.004	≤0.04	≤0.04
35#	0.32~0.40	0.17~0.37	0.50~0.90	0	0	0	≤0.035	≤0.035
45#	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.90	0	0	0	≤0.035	≤0.035

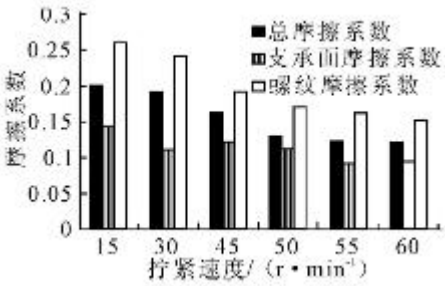
http://wenku.baidu.com/link?url=riNDWz9dE8Vjs65HpgMzX7QFIG2TUwanUlSRPRzJxN3skE7NtcjBwb6oZ9fglBMX82rtvDBfPh9hQan0lAhMOamsMlsNxt9ZHabeVphJLry

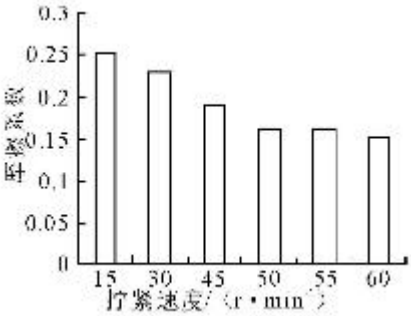
五、试验数据处理与结果分析

将螺栓固定，对螺母在相同拧紧速度 15r/min 的情况下进行五组实验；扭紧装置对螺母施加线性增加的扭矩（直到 960Nm 左右停止），仪器自动记录螺栓轴向预紧力随着扭矩增加而变化的数值。接着换一对螺栓螺母，重复上述实验过程至 5 次。同理将拧紧速度设置为 30，45，50，55，60 r/min，在各种拧紧速度下进行五组试验，仪器分别记录其数据。

螺栓拧紧速度/（r/min）	最大力矩/（Nm）	最大紧固轴力/（KN）	摩擦总系数	支撑面摩擦系数	螺纹摩擦系数	扭矩系数
15	965.02	1622.05	0.2	0.14	0.26	0.25
30	963.22	1557.12	0.19	0.11	0.24	0.23
45	960.03	1436.68	0.16	0.12	0.19	0.19
50	959.35	1410.61	0.13	0.11	0.17	0.16
55	958.93	1372.98	0.12	0.09	0.16	0.16
60	958.66	1340.11	0.12	0.09	0.15	0.15

紧固件在不同扭速下的摩擦系数与扭矩系数的直方图





通过分析可以得出:

1）随着紧固件拧紧速度的增大，总摩擦系数缓慢减小至趋于 0.12，螺纹摩擦系数逐渐减小。拧紧速度从 30r/min 提高至 45r/min，总摩擦系数与螺纹摩擦系数减幅较大，通过数据可知紧固件拧紧速度对摩擦

系数有较大影响，并且在较高拧紧速度条件下摩擦系数减幅比较低速度条件下要小。试验结果表明，当拧紧扭矩趋于屈服扭矩时，摩擦系数随拧紧速度的增大而减小，并逐渐趋于稳定。且当速度为 55，60r/min 时，摩擦系数达到了 0.12，非常符合国际上装配过程中对紧固件摩擦系数控制范围（0.07-0.12）。紧固件拧紧速度较低条件下的扭矩系数明显高于较高速度状态下的扭矩系数。当对紧固件拧紧速度控制为 15r/min 时，紧固件的扭矩系数在 0.25 左右，轴向预紧力为 72.05kN；当对紧固件的拧紧速度提高到 60r/min 时，紧固件的扭矩系数在 0.15 左右，轴向预紧力为 85.11kN；轴向预紧力增幅较大。由扭矩计算公式可知扭矩系数决定了在拧紧扭矩的扭化中轴向预紧力所占的比例，当拧紧扭矩趋于屈服扭矩时，扭矩系数 K 值越小，对应扭化为轴向预紧力的值也较大，轴向联接可靠性较高，保证了螺栓的可靠服役。

2）由实验数据分析可知，随拧紧速度的增加，摩擦系数总体上减小。从两方面阐述原因：a.由实验数据可知，拧紧速度较低时，拧紧扭矩扭化成的轴向预紧力较小，此时摩擦系数比较大，这是由于镀层与联接件的粘结力较小，容易发生脱落。同时紧固件实际接触面积比较少，脱落的镀层会增大接触面的粗糙度，使摩擦系数增大。在拧紧速度较大时，拧紧扭矩扭化成的轴向预紧力较大，合适的轴向预紧力有助于紧固件与被联接件之间的润滑抑制接触面的粗化，导致摩擦系数必然减小；b.另一方面，因为在紧固件的拧紧过程，拧紧速度引起接触表面发热和温度的变化使摩擦副表面材料的性质和接触状况发生改变，从而影响摩擦系数。当拧紧速度较低时，接触表面的摩擦热影响小，此时摩擦表面不易形成氧化膜，在实际接触表面容易产生粘着，导致摩擦系数较大；当拧紧速度增大时，接触表面由于摩擦而升温，分子热运动使粘着点剪切强度减少，摩擦系数降低。

六、拧紧速度对螺栓许用强度的影响

普通螺栓联接，在拧紧螺母时，螺栓不仅受到预紧力 F 产生的拉应力心还受到了扭矩了产生的切应力 r，螺栓处于拉伸和扭扭的复合作用，对于普通螺纹螺栓，应用第四强度理论，计算螺栓危险剖面的当量应力为 $\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \approx 1.3\sigma$ 由此可知，受预紧力的普通螺栓，预紧后受复合应力，在计算强度时

可将拉应力增大 30%，当作只受轴向拉力计算螺栓的强度。因此，只受预紧力作用的紧螺栓联接的强度条件为：

$$\sigma=\frac{5.2F}{\pi d_1^2}\leqslant[\sigma]$$

式中：$[\sigma]=\sigma_s/s$；d_1 为螺栓小径，mm

由上可知，在拧紧过程中，必须控制拧紧扭矩扭化轴向预紧力的大小从而保证螺栓截面拉伸强度在许用拉应力范围之内。从表 2 中可以得知，对比拧紧速度为 15r/min 与 60r/min 时，所需拧紧扭矩从 200.02Nm 减小到 149.14Nm，减小 25%；轴向预紧力从 72.05kN 增到 85.11kN，增大 18%，说明在紧固件装配过程中控制拧紧速度，只需要对紧固件施加较小的拧紧扭矩就可以提高轴向预紧力达到预期的目的。故在弹性区域内，适当提高拧紧速度，拧紧扭矩达到屈服状态前，扭矩系数越小，产生的轴向预紧力就越大，拧紧螺栓联接更具效能。

七、结论

1）通过理论与试验分析可知摩擦系数是影响扭矩系数的主要因素，扭矩系数是摩擦系数的增函数，在一定范围内，扭矩系数与摩擦系数呈同增减趋势。

2）拧紧速度对摩擦系数影响较大，摩擦系数随着拧紧速度的增大而减小趋于稳定，因此应严格控制拧紧速度，从而更好的控制动态拧紧力矩。

3）扭矩系数在整个拧紧过程中并非一成不变的，在屈服之前，扭矩系数在整个拧紧过起着重要作用。

4）紧固件的拧紧过程，摩擦会产生高温，温度变化是使摩擦系数发生变化的重要因素。

参考文献

1 国家技术监督局 GB/T16823.3-2010 紧固件 扭矩-夹紧力试验

中国标准出版社，2010

2 国家技术监督局 GB/T16823.2-1997 螺纹紧固件紧固通则 中国标准出版社，1997

3 高强度螺栓联接理论 田岛二郎 人民铁道出版社，1978

4 机械设计手册 闻邦椿 机械工业出版社，2010

5 试验设计与数据处理 李云雁、胡传荣 化学工业出版社，2005