

关于螺纹适用扭矩数值选定的技术分析

杨春涛¹ 马关田²

1.贵阳长之琳发动机零部件制造有限公司 550014; 2.重庆宗申航空发动机制造股份有限公司 401300

【摘要】螺纹连接普遍应用于各类机械产品中,其适用扭矩的准确性关系到机械产品工作的可靠性和使用寿命。本文通过提供一种普通牙型螺纹适用扭矩的计算方法,为相关领域学习人员提供借鉴,并结合生产过程的实际需求,基于visual basic软件设计了一套小程序,为生产过程中的相关人员提供方便。

【关键词】机械产品; 螺纹适用扭矩; 极限法

Technical analysis of applicable torque values

Yang Chuntao 1 Ma Guan tian 2

1.Guiyang Changzhilin Engine Parts Manufacturing Co., LTD. 550014

2.Chongqing Zongshen Aero-Engine Manufacturing Co., LTD. 401300

【Abstract】Thread connection is widely used in all kinds of mechanical products, and the accuracy of its applicable torque is related to the reliability and service life of mechanical products. This paper provides a calculation method of applicable torque of ordinary dental thread, which provides reference for learners in related fields, and combined with the actual needs of the production process, designs a set of small programs based on visual basic software to provide convenience for relevant personnel in the production process.

【Key words】mechanical products; thread applicable torque; limit method.

引言

在机械产品的设计和制造过程中,零件与零件之间的连接常用螺纹紧固连接,螺纹连接广泛应用于航空航天、汽车、轮船等诸多领域。一台先进的机械设备很可能因为一颗螺栓的拧紧力矩问题,导致整个设备不能工作,甚至发生严重的安全事故。在以往的一些关于螺纹扭矩计算文献中,采用较多的经验系数计算得到的数值偏大,影响到螺钉的使用寿命,导致多数产品在首翻期时需要将全部的螺钉更换。针对上述问题,本文提供了一种螺纹拧紧适用扭矩数值选定的方法,并制作了一套切合实际、方便工作查询的应用软件。

1 螺纹连接副计算模型建立

根据实际工况,将螺钉拧紧过程简化为如图1所示。通过扳手拧紧螺纹时,螺纹上有了扭矩M的作用,扭矩的大小取决于扳手的长度L_b和在扳手上施加的作用力B_s。当螺纹已经拧紧,扳手还在施加扭矩作用时,螺纹上便会产生一个反扭矩M_h与之抗衡,反扭矩的力臂长度为螺纹中径的一半R_o,反作用力为F_h。反扭矩M_h与扳手扭矩M形成力矩平衡状态。

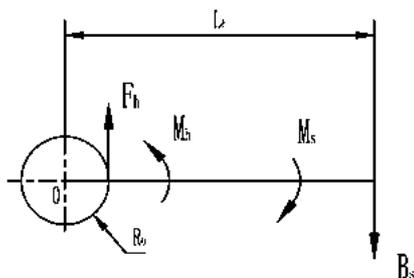


图1 力矩平衡图

平衡状态力矩关系如下:

$$M_s = B_s \times L_b$$

$$M_h = F_h \times R_o$$

$$M_s = M_h, B_s \times L_b = F_h \times R_o \dots\dots\dots (1)$$

从公式(1)中可以看出,当扳手正在拧紧螺纹时,力矩M_s可以是不同的大小,只有当螺纹旋不动时等式才能成立,这种状态要给M_s设定一个合理的数值,即本文所阐述的螺纹拧紧适用扭矩数值。

2 螺纹连接副的受力分析

本文在此选则常用的普通三角形螺纹作为计算示例,其他牙型的螺纹可参考本方法,螺纹受力分析选取某一截面进行,受力分析图如图2所示。该剖视图沿图1所示的螺纹中径,顺着反作用力F_h的方向切出的微元体,下部的楔块为螺母,上部的楔块为螺杆,螺母旋紧时相当于下部的楔块从右向左水平楔入,推动上部螺杆楔块垂直向上运动。当螺母旋紧时,在图2所示的微元体上,各作用力沿螺纹中径圆上各力是相互平衡的关系。

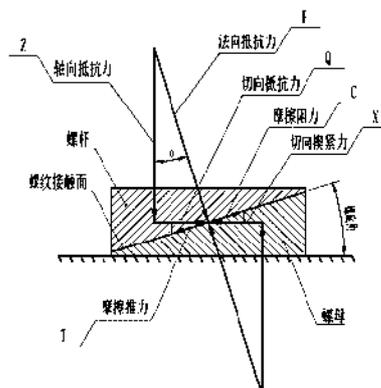


图2 螺纹受力图

其中，由扳手的扭矩作用产生的作用力有切向楔紧力 X ，同时还有抵抗摩擦作用的摩擦推力 T ，与之抗衡的作用力为切向抵抗力 Q 和摩擦阻力 C 。在螺母和螺杆的接触面上会产生法向抵抗力 F ，法向抵抗力在轴向上的分力就是轴向抵抗力 Z ，这个作用力正好由螺杆的拉力（螺纹预紧力）来平衡。

当扳手的作用力消失后，因螺纹的螺旋角（ α ）小于材料摩擦副的摩擦角，螺纹不会发生相对移动，楔紧力 X 会消失，切向抵抗力 Q 会消失，但是，法向抵抗力 F 不会消失，轴向抵抗力 Z 不会消失。此时，轴向抵抗力 Z 转换成螺杆内应力的形式形成螺母螺杆的紧固作用。

为了计算方便用切向抵抗力 Q 代替切向楔紧力 X ，用摩擦阻力 C 代替摩擦推力 T ，根据作用力与反作用力的原理建立几何关系式如下：

$$\tan(\alpha) = \frac{P_0}{2 \times \pi \times R_0} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\tan(\alpha) = \frac{Q}{Z} \quad \dots\dots\dots (3)$$

P_0 —螺距；
 R_0 —螺纹中径的半径；
 Q —切向抵抗力；
 Z —轴向抵抗力。

螺纹接触面上的摩擦阻力 C 为：

$$C = \eta \times F \quad (\text{钢-钢, 无润滑, 摩擦系数 } \eta=0.15^{[1]})$$

将螺纹接触面上的摩擦力换算到切向，切向摩擦力 C_q 为：

$$C_q = \eta \times F \times \cos\alpha \quad \dots\dots\dots (4)$$

扳手加载在螺纹上的力 P 可表示为：

$$P = Q + C_q \quad \dots\dots\dots (5)$$

3 采用极限法计算螺纹适用扭矩

本文所阐述的极限法是以材料的屈服强度为设计依据，计算螺纹副薄弱截面上所能承受的极限作用力，并通过设定安全系数值来判定螺纹拧紧适用扭矩值的合理性。安全系数常用 K_s 来表示，螺纹承受的极限扭矩值为 U_j ，拧紧适用扭矩值为 U_s ，则安全系数 K_s 可表示为：

$$K_s = \frac{U_j}{U_s} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$K_s < 1$ 时，说明螺纹拧紧适用扭矩值超出了极限扭矩值，螺纹连接处于不安全状态。

$K_s = 1$ 时，说明螺纹拧紧适用扭矩值等于极限扭矩值，螺纹连接处于极限状态。

$K_s > 1$ 时，说明螺纹拧紧适用扭矩值小于极限扭矩值，螺纹连接处于安全状态，留有安全裕度，通常 K_s 值取塑性材料的安全系数 $1.5 \sim 2^{[2]}$ 。

计算螺纹连接副薄弱的截面积 A 为：

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad \text{或} \quad A = 0.7854 (d - 0.9382P)^2 \quad \dots\dots\dots [2]$$

d —外螺纹大径的基本尺寸；
 d_2 —螺纹中径的基本尺寸；
 d_3 —螺纹小径的基本尺寸；
 H —螺纹原始三角形高（ $H=0.866025P$ ）；
 P —螺距。

计算极限轴向力 Z_j 为：

$$Z_j = A \times \sigma_{0.2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$\sigma_{0.2}$ —材料屈服强度。

计算极限正压力 F_j 为：

$$F_j = \frac{Z_j}{\cos\alpha} \quad \dots\dots\dots (8)$$

计算极限切向摩擦力 C_{qj} 为：

$$C_{qj} = \eta \times F_j \times \cos\alpha \quad \dots\dots\dots (9)$$

计算极限楔紧力 Q_j 为：

$$Q_j = Z_j \times \tan(\alpha) \quad \dots\dots\dots (10)$$

计算极限加载力 P_j 为：

$$P_j = Q_j + C_{qj} \quad \dots\dots\dots (11)$$

螺纹承受的极限扭矩 U_j 为：

$$U_j = P_j \times R_0 \quad \dots\dots\dots (12)$$

由（7）~（12）式整理得：

$$U_j = (\tan(\alpha) + \eta) \times A \times \sigma_{0.2} \times R_0 \quad \dots\dots\dots (13)$$

由上述计算过程可知，当在选定螺纹规格为 $M10 \times 1.5$ ，螺纹中径 9.03mm ，材料屈服强度为 834MPa ，摩擦系数选 0.15 ，则螺纹适用扭矩计算如下：

螺纹升角计算 α ：

$$\tan(\alpha) = \frac{1.5}{2 \times 3.14 \times 4.515} \approx 0.0529 (3.032^\circ)$$

计算螺纹连接副薄弱的截面积 A 为：

$$A = 0.7854 (d - 0.9382P)^2 = 0.7854 \times (10 - 0.9382 \times 1.5)^2 = 57.9896 \text{ (mm}^2\text{)}$$

计算极限轴向力 Z_j 为：

$$Z_j = 834 \times 57.986 = 48360.324 \text{ (N)}$$

计算极限正压力 F_j 为：

$$F_j = \frac{48360.324}{\cos 3.032^\circ} = 48428.069 \text{ (N)}$$

计算极限切向摩擦力 C_{qj} 为：

$$C_{qj} = 0.15 \times 48360.324 \times \cos 3.032^\circ = 7243.90 \text{ (N)}$$

计算极限楔紧力 Q_j 为：

$$Q_j = 48360.324 \times \tan(3.032^\circ) = 2558.26 \text{ (N)}$$

计算极限加载力 P_j 为：

$$P_j = 7243.90 + 2558.26 = 9802.16 \text{ (N)}$$

螺纹承受的极限扭矩 U_j 为：

$$U_j = 9802.16 \times 4.515 \approx 44.26 \text{ (N.m)}$$

4 基于 visual basic 的程序设计

根据上述理论分析方法，结合实际工作要求，本节将利

用 visual basic 编程软件, 设计一个方便工作中查询使用的小程序。

在小程序的操作界面中, 螺纹规格可以根据下拉菜单进行选择, 当选择相应的螺纹规格时软件会自动根据选中的螺纹规格列出相应规格的所有螺距。材料的屈服强度软件默认为 834MPa, 该值用户可以根据实际需求手动输入更改。摩擦系数软件默认为 0.15, 该值用户也可以根据实际需求手动输入更改。当软件中参数设置完成后单击计算按钮即可得到螺纹适用扭矩最大值和螺纹适用扭矩最小值。在软件窗口的右侧还可以查看安全系数和各力的计算结果。单击清除结果按钮即可清除计算数值, 可再次进行其他螺纹规格的适用扭矩计算, 当需要结束时单击窗口右上角进行关闭即可, 图形用户界面如图 3 所示。



图 3 软件界面

注: 软件中计算结果与上文的计算结果存在计算误差, 因上文的计算结果对小数点进行了四舍五入。

5 计算方法验证

本文提供的计算方法采用的是对比验证法, 因螺纹连接在航空发动机上应用经验比较成熟, 故选航空发动机的螺纹拧紧力矩装配要求作为对比。

参考文献

[1]成大先 机械设计手册[M].化学工业出版社, 2004.1
 [2]梁建术, 李欣业.材料力学[M].中国铁道出版社, 2013.
 [3]GB/T 16823.1-1997.螺纹紧固件应力截面积和承载面积.
 [4]HB6125-1987.航空发动机螺纹紧固件拧紧力矩.

作者简介: 杨春涛, 男, 1989 年 09 月, 苗, 贵州麻江人, 本科, 工程师, 主要从事: 航空发动机包装箱设计, 航空发动机零部件设计。

马关田, 男, 1988 年 07 月, 回, 贵州威宁, 本科, 工程师, 主要从事: 航空发动机设计。

在安装某发动机连接环时, 需要用到 4 种规格的普通螺母, 其拧紧力矩值要求满足《航空发动机螺纹紧固件拧紧力矩》HB6125 的要求, 如表 1 所示。

表 1 普通螺母的拧紧力矩值^[4]

螺纹代号	拧紧力矩值 N.m (kgf.cm)	
	max	min
M5	4.8 (49)	3.5 (35.7)
M6	8.3 (84.7)	6.1 (62)
M8	19.3 (197)	14.1 (143)
M10	37.5 (382)	27.3 (278)

采用本文中极值法计算结果如表 2 所示。

表 2 极值法计算的拧紧力矩值

螺纹代号	拧紧力矩值 N.m	
	max	min
M5	4.6	3.7
M6	7.8	6.3
M8	18.8	15.0
M10	36.9	29.5

通过表 1 和表 2 对比可知, 采用极值法计算得到的螺纹适用扭矩值与航空发动机普通螺纹拧紧力矩值接近, 能满足装配要求。

6 结语

本文提供了一种螺纹拧紧适用扭矩数值选定的计算方法, 详细介绍了螺纹连接副的计算模型建立、螺纹连接副的受力分析以及极限法计算螺纹适用扭矩的过程。阐述了螺纹连接副的受力状态及力平衡关系原理, 并通过对比分析法, 验证了其合理性, 为以后的相关领域从业人员提供借鉴。

同时, 采用了基于 visual basic 的程序设计软件, 设计了一套准确、简洁、方便和高效的螺纹拧紧适用扭矩数值计算查询工具, 为相关研究领域的人员及工厂的设计人员提供便利。