



谈螺栓预紧力的选用和螺栓强度校核

文/冯琴

螺栓作为连接件,使用十分广泛,其在机车车辆、航太航空、风电机组上的使用环境大多是高强度高应力,而在乘用车主要部件的使用环境大多是低应力高周期,但仍然存在著极大的隐患。从安全角度来说,螺栓所联接的部件都是很昂贵的。所以,螺栓失效时,损坏的不仅仅是它们本身,而是整个产品。

螺栓连接作为汽车装配上的重要应用,据有关资料介绍,根据发动机上的螺纹紧固件通常在1500~2000颗左右,品种更是高达100个以上,规格也是从M6~M30不等,而其中大约100颗是与车辆的安全性能有密切联系的。而做为在装配过程中最重要的螺栓规格及预紧力的选用,存在理论上的不足和认识的误区。

不论螺纹紧固件作为连接或密封作用,还是需要装配的子零件,都有一定的屈服极限。在装配过程中,如果预紧力过大,使零件的变形量超过零件的屈服强度,零件就会损坏。故装配件要长时间稳定有效工作,设计人员必须对螺栓预紧力进行规范设计。

1. 螺栓预紧力的选用

螺栓作为重要的连接件,在总成件安装时必须拧紧,在连接承受工作载荷之前,预先受到力的作用,这个预加的力就是预紧力;预紧的目得到是为了增强连接的可靠性和紧密性,防止总成安装件在工作时候,受到力的作用,各连接件之间出现缝隙或相对滑移,所以在总成件的设计中,必须对预紧力的大小进行规范设计。

1.1 合理选用预紧力

在专业的螺栓紧固装配中,一般都配有标准扳手,不同的直径规格的螺栓使用不同长度的扳手。扳手长度为螺栓直径的15倍左右,在这个基础上使用专业的力学工具可以体现准确的拧紧力矩,达到量化的预紧力,对于一些关键件和重要件尤为重要。一旦使用大规格长扳手拧紧小规格的螺栓,往往会造成拉过紧,破坏零件本身使整个连接构件失效。

在拧紧螺母时,两个或者多个零件被压紧,零件自身被压缩,就像弹簧的压缩变形一样,在螺母和螺栓与装配件之间的接触表面零件自身会产生很大的力,这个力会使得螺栓发生拉伸变形,经计算该应力是简单的轴向拉力的1.3倍,螺栓产生的拉应力超过材料的强度极限时,螺栓就被拉断了。仅仅按操作者的经验进行螺栓的紧固,对于批量生产的产品是非常不科学的。对于长扳手拧紧小螺栓时,更应该注意预紧力的大小,避免发生过度预紧的现象。

使用标准扳手时,施加力大小可参照表1。

表1 常用规格螺栓扳手长度及施加力参考值

螺栓直径d(mm)	M5	M6	M8	M12	M16	M20	M24	M30	M36
标准扳手长度L(mm)	75	90	120	180	240	300	360	450	540
施加力F0(N)	40	48	65	100	130	170	200	250	300



1.2 常用规格螺栓的扭矩值

表2列出部分常用规格螺栓不同性能等级所对应的紧固扭矩值。

對於设计人员来说，该连接处的预紧力需要多大，才能既达到零件的工作要求，又不大於螺栓的安全应力，这就需要计算出该处所需的应力最小值，以此数值来选用合适的螺栓紧固件。施加於螺栓紧固件上的预紧力，上限值取决於螺栓紧固件的屈服强度，下限值取决於满足工作需要所提供的最小预紧力。

表2 常用规格螺栓的紧固扭矩值

直径规格 (mm)	应力截面积 As(mm ²)	性能等级 (GB/T3098.1-2010)							
		4.8	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	
		RPf/MPa(mm ²)			RP0.2/MPa(mm ²)				
		340	430	480	D≤16; 640 D>16; 660	720	940	1100	
粗牙螺纹									
M8	36.6	13.9	17.2	19.6	26.2	29.5	38.5	45.0	
M10	58	27.6	34.1	38.9	51.9	58.4	76.3	89.3	
M12	84.3	48.1	59.4	67.9	90.6	101.9	133.1	155.7	
M14	115	76.6	94.6	108.1	144.2	162.2	211.8	247.9	
M16	157	119.5	147.7	168.8	225.0	253.2	330.5	386.8	
细牙螺纹									
M8X1	39.2	14.9	18.4	21.0	28.0	31.6	41.2	48.2	
M10X1	64.5	30.7	37.9	43.3	57.7	65.0	84.8	99.3	
M10X1.25	61.2	29.1	35.9	41.1	54.8	61.6	80.5	94.2	
M12X1.25	92.1	52.6	61.9	74.2	99.0	111.4	145.4	170.2	
M12X1.5	88.1	50.3	62.1	71.0	94.7	106.5	139.1	162.8	
M14X1.5	125	83.3	102.9	117.6	156.8	176.4	230.3	269.5	
M16X1.5	167	127.1	157.1	179.5	239.4	269.3	351.6	411.4	

注：(1)9.8级仅适用于螺纹直径≤16mm；
(2)扭矩的上偏差可取按基本值的5%，下偏差可取按基本值的10%。

2. 螺栓规格的合理选用

机车车辆、机械装备、汽车的装配是实现总成件，尤其是大型总成装配件生产的重要环节，零部件之间的连接通常通过螺栓来实现，特别是关键部位的螺栓，其连接品质决定著总成装配件的可靠性。由於螺栓施加预紧力的数值影响了螺纹的连接品质，在保证采用合适预紧力装配的前提下，选用合适的螺栓规格，非常重要。對於螺纹紧固件来说，它们的性能参数都是在一定的范围内变化的，所以基本是有参考值的，因此计算出该紧固连接处的螺栓规格在性能上，是否达到工作强度要求，是设计人员必须考虑的。

3. 强度计算

3.1 手册中的螺栓连接

现行的汽车行业螺栓强度分析基本都是基於《机械设计手册》的理论计算，由於安全系数要求有较高的强度余量，所选螺栓强度会远远高於所需强度，进行计算时，首先是根据连接的类型、装配情况、载荷状态等条件，确定螺栓的受力，然後按相应的强度条件计算螺栓危险截面的直径或校核其强度。

螺栓连接装配时，其螺栓危险截面的拉伸强度条件为：

F_2 为螺栓总拉力， $F_2 = F_0 + \frac{FXCb}{C_b + C_m}$ ， F_0 为螺栓预紧力，其中 $\frac{Cb}{C_b + C_m}$ 为螺栓相对刚度，取值为0.2~0.3。

3.2 VDI2230标准的螺栓连接的强度计算

VDI2230《高强度螺栓连接的系统计算强度校核》标准，在德国及其它国家已获得广泛应用，适用于高强度螺栓的强度校核，使用该标准校核最大载荷下的工作应力。

VDI2230标准在用於校核螺栓强度方面，更加注重螺栓本身的各段尺寸，并将预紧力引起的螺栓扭转应力，以及螺纹摩擦系数精细的考虑在内，相对於《机械设计手册》粗放大的相对刚度系数，该标准有效的降低了强度浪费。

4. 结论

螺纹紧固件在机车车辆、航太航空、风电机组和汽车上的运用是普遍的，但是对高强度螺栓重视程度远远不够，近几年频繁发生由於螺栓断裂引发的事故，可以看出螺栓虽小，但位置关键，各大公司，特别是国际品牌对高强度螺栓的选用设计也是非常严格的，但是也发生由於螺栓强度不足发生事故，应该引起我们对设计过程的关注。德国VDI-2230《高强度螺栓连接的系统计算强度校核》标准，相对於《机械设计手册》的计算方式，更注重强度的有效利用，计算中考虑了温度、截面变化和摩擦系数等细节方面，为螺栓的强度校核提供了更加贴近事实的支援。 □