

# GB/T16823-1997〔螺纹紧固件扭—拉关系

## 试验方法) 介绍

在螺纹紧固件的使用中应用的较广泛的是螺栓—螺母连接副的形式,应用的较多的是有预紧力的连接方式,预紧力的连接可以提高螺栓连接的可靠性、防松能力及螺栓的疲劳强度,并且能增强螺纹连接体的紧密性和刚度。在螺纹紧固件的连接使用中,没有预紧力或预紧力不够时,起不到真正的连接作用,一般称之为欠拧;但过高的预紧力或者不可避免的超拧也会导致螺纹连接的失败。众所周知,螺纹连接的可靠性是由预紧力来设计和判断的,但是,除在实验室可以测量外,在装配现场一般是不易直观地测量。螺纹紧固件的预紧力则多是采用力矩或转角的手段来达到的。因此,当设计确定了预紧力之后,安装时采用何种控制方法?如何规定拧紧力矩的指标?则成为关键重要问题,这就提出来了螺纹紧固件扭(矩)—拉(力)关系的研究课题。

螺纹紧固件扭—拉关系,不仅涉及到扭矩系数、摩擦系数(含螺纹摩擦系数和支撑面摩擦系数)、屈服紧固轴力、屈服紧固扭矩和极限紧固轴力等以一系列螺纹连接副的紧固特性的测试及计算方法,还涉及到螺纹紧固件的应力截面积和承载面积的计算方法等基础的术语、符号的规定。并且也还必须给出螺纹紧固件紧固的基本规则、主要关系式以及典型的拧紧方法。目前,这些内容 ISO/TC2 尚无相应的标准,德国工程师协会早在七十年代就发表了 DVI2230 《高强度螺栓连接的系统计算》技术准则。日本也于 1987 和 1990 年发布了三项国家标准,尚未查到其他国家的标准。国内尚未发现相应的行业标准,仅少数企业制定了企业标准。尤其是随着引进技术的国产化不断的拓展和螺纹紧固件技术发展的需要,这一需求日趋迫切。这也就是制定此项标准的初衷。

日本国家标准 JIS B 1082-1987 《螺纹紧固件应力截面积和承载面积》、JIS B 1083-1990 《螺纹紧固件紧固通则》及 JIS B 1084-1990 《螺纹紧固件拧紧试验方法》三个标准,概括了国际上有关螺纹紧固件扭—拉关系的研究成果和应用经验,根据标准验证,对我国也是适用的。因此,在制定标准时,在充分消化、分析日本标准的基础上,提出了等效采用的意见。

因此,本系列标准也包括了下列三个国家标准:

- 1、GB/T16823.1-1997 《螺纹紧固件应力截面积和承载面积》;
  - 2、GB/T16823.2-1997 《螺纹紧固件紧固通则》;
  - 3、GB/T16823.3-1997 《螺纹紧固件拧紧试验方法》
- 一、GB/T16823.1-1997 《螺纹紧固件应力截面积和承载面积》

本标准等效采用 JIS B 1082-1987 《螺纹紧固件应力截面积和承载面积》标准,本标准是设计螺纹紧固件扭—拉关系系列标准之一。

### 1、范围

本标准规定的螺纹紧固件的应力截面积( $A_s$ )适用于计算外螺纹紧固件的最小拉力载荷、保证载荷以及内螺纹紧固件的保证载荷。外螺纹紧固件包括螺栓、螺钉和螺柱等标准件和专用件;内螺纹紧固件包括螺母标准件、专用件及机体中的螺孔。其螺纹尺寸及公差均应符合 GB/T193、GB/T196 和 GB/T197 的规定。本标准不适用于寸制螺纹、统一螺纹、惠氏螺纹等其他螺纹紧固件。

### 2、螺纹紧固件应力截面积计算公式

本标准规定的螺纹紧固件应力截面积计算公式有两个,即公式(1)和公式(2)。

螺纹紧固件应力截面积计算公式(1)与已发布的国家标准,即 GB/T3098.1 《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》、GB/T3098.2 《紧固件机械性能 螺母》、GB/T3098.4 《紧固件机械性能 细牙螺母》和 GB/T3098.6 《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉、螺柱和螺母》等标准的规定完全一致。

螺纹紧固件应力截面积计算公式(2)是参照 JIS B 1082 标准,首次推出的新的一种计算公式,这个公式是直接利用螺纹公称直径( $d$ )和螺距( $P$ )数据,求出螺纹紧固件应力截面积( $A_s$ )。公式(1)与公式(2)是等同的计算式,只不过是公式(2)比公式(1)计算更加方便。美国 ASTM619 标准也采用了这一公式。

标准中规定“如无特殊要求,取 3 位有效数字”,如无特殊要求时,即一般应照此处理。在已发布的紧固件机械性能国家标准中,也都是这样处理的。也就是说,当  $A_s < 1$  时,取小数点后 3 位数;当  $1 \leq A_s < 10$  时,取小

点后 2 位数；当  $10 \leq A_s < 100$  时，取小数点后 1 位数；当  $100 \leq A_s < 1000$  时，取 3 位整数乘以 10n。

### 3、 螺纹紧固件应力截面积值

标准根据 GB/T193《普通螺纹 直径与螺距系列》有关规定，在标准表 1 中给出了粗牙螺纹 M1~M68 和细牙螺纹 M8×1~M130×6D 的螺纹紧固件应力截面积值。总之，标准表 1 给出的螺纹紧固件应力截面积值，完全能满足螺栓、螺钉、螺柱和螺母等螺纹紧固件产品现行国家标准的需要。

### 4、 螺纹紧固件承载面积计算公式

虽然螺纹紧固件产品品种，但是，按支撑面的形状大致可分为圆形、六角形和方形三种，因此，在标准表 2 中给出了这三种支撑面承载面积的计算公式。承载面积应当是支撑面与被连接件实际接触部分的面积，产品品种不同，承载面积肯定不同，即使是同一批零件，承载面积也不一定完全相同，如在计算中将支撑面形状、尺寸公差、螺栓和螺钉通孔的尺寸和公差都予以考虑，无可非议，但是，给计算增加了麻烦，使用也不一定方便。标准制定时确定了计算承载面积近似值的原则，故标准表 2 中所列出的螺纹紧固件承载面积计算公式的各变量均采用公称尺寸或极限尺寸。

螺纹紧固件承载面积的计算与螺纹紧固件应力截面积的计算一样，如无特殊要求，取 3 位有效数字。

### 5、 面积比

螺纹紧固件承载面积 ( $A_b$ ) 值与螺纹紧固件应力截面积 ( $A_s$ ) 之比，简称为面积比 ( $A_b/A_s$ )。

当面积比小于 1 时，即螺纹紧固件应力截面积 ( $A_s$ ) 值大于螺纹紧固件承载面积 ( $A_b$ ) 值，则支撑面的压强过大，这对普通螺纹紧固件是不适宜的，尤其是对高强度螺纹紧固件更是不宜采用的。

### 6、 典型螺纹紧固件的承载面积及面积比

标准中图 1~6 及表 3~表 5 列出了典型螺纹紧固件的种类、螺纹紧固件承载面积 ( $A_b$ ) 值以及面积比 ( $A_b/A_s$ ) 值。其中有关参数均采用我国现行的紧固件基础标准和产品标准的规定，如：六角头螺栓的标准系列和加大系列按 GB/T3104、方头螺栓按 GB/T8、内六角头螺钉按 GB/70、六角法兰面螺栓按 GB/T5787 及盘头螺钉按 GB/67 和 GB/T818 选取的。

### 7、 应当说明的几个问题

- ①、标准中虽然以螺栓、螺钉分类给出了计算更是及有关数据，但当螺母支撑面的形状、尺寸与表中六角头螺栓、方头螺栓、六角头发兰面螺栓相同时，表中的数据也适用于该螺母。
- ②、表中的螺栓和螺钉通孔直径  $d_h$  按 GB5277 标准中中等装配系列（无内倒角）的基本尺寸选取。
- ③、表中的垫圈面直径  $D_w$ ，见图 2，按  $D_w=0.95S$  计算。
- ④、内六角螺钉、六角法兰面螺栓的支撑面直径  $d_w$  分别按 GB/70、GB/T5787、的“ $d_{wmin}$ ”选取。
- ⑤、方头螺栓（标准型）的对边宽度，按 GB/T8（即 GB/T3104 标准系列）的“ $S_{max}$ ”值选取。
- ⑥、盘头螺钉的支撑面直径  $d_w$ ，按 GB/T67 或 GB/T818 的“ $d_{wmax}$ ”值选取。

## 二、GB/T16823.2-1997《螺纹紧固件紧固通则》

本标准等效采用 JIS B 1083-1990《螺纹紧固件紧固通则》标准，本标准也是设计螺纹紧固件扭—拉关系系列标准之一。本标准有两个附录，附录 A“螺纹摩擦系数、支承面摩擦系数与扭矩系数的对照表”和附录 B“螺纹摩擦系数、支承面摩擦系数与屈服紧固轴力和屈服紧固扭矩的对照表”均为标准的附录（现应为规范性附录）。

### 1、 范围

本标准的名称为“螺纹紧固件紧固通则”，所以本标准限于螺纹紧固件的范围。但是，螺纹紧固件包括的种类、设计选用的紧固方法很多，在一个通用规则中不可能完全包括进去，而只能规定最通用的方法。因此，本标准适用于最典型的，也就是最通用的“螺栓—螺母连接副”。本标准规定了拧紧螺栓—螺母连接副连接的术语、基本要求、主要关系式以及典型的拧紧方法。本标准也适用于螺栓或螺钉拧入机体内螺纹的连接副或者其他外螺纹（专用件）与内螺纹的连接副。但是，本标准对自攻螺钉、自钻自攻螺钉和木螺钉的“螺纹连接体”（由螺纹紧固件和被连接件构成的总体是不适用的，对于螺纹连接体中使用弹簧垫圈或弹性垫圈（如：外齿锁紧垫圈、内齿锁紧垫圈、内外齿锁紧垫圈、鞍形弹性垫圈等）以及使用有效力矩型螺纹紧固件（如：尼龙锁紧螺母等）的螺纹连接副也都是不适用的。总之，本标准仅适用于影响螺纹紧固件“扭—拉”关系最简单或单纯的，最典型或通用的螺纹连接副。

## 2、术语及符号

标准表 1 中给出的术语及其定义和相应的英文名称，以及表 2 给出的本标准使用的主要符号及其含义，均等同采用 JIS B 1083-1990 标准。因为 JIS 标准制定时，相应的英文名称参考了 J. H. BLCKFORD 著的《An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints (螺栓连接件的设计与应用)》(1981. Dekker 发行)的资料，并且，这些与我国现行术语大同小异，基本适用，故没有必要另搞一套。

## 3、螺纹紧固的基本要求

国内外实践表明，螺纹紧固件的紧固，并不是像有些人想像得那样，不就是螺丝螺帽吗？用扳手拧紧就行了吧。螺纹紧固的方式方法很多，但是最简单的、最常用的还是使用手工扳拧工具进行拧紧，这种紧固手段虽然容易操作，但是，对于高强度或者重要的连接紧固中是绝对不行的，也是绝对不允许的，这一点恐怕极易被人忽视。因为使用手工扳拧工具进行拧紧的方法是无法控制轴向预紧力的，也是会影响螺纹连接体的可靠性，甚至会直接影响整机或工程的性能和质量。因此，在螺纹紧固件的连接设计中应该明确提出确切的初始预紧力的指标要求，在装配工艺或施工规范中，根据设计要求，应制订切实可行的方案，采用合适的拧紧方法，准确控制，来确保设计目标的实施，是非常必要的。在这方面钢结构工程多年来积累了许多经验。汽车行业在技术引进中，通过通过吸收消化过程，也广泛地采用了国际先进技术，在这方面做了很多基础研究工作。目前，在各行业中不论是在螺纹紧固件连接紧固的连接理论、检测试验、还是现场装配使用研究工作都引起了足够的重视。所以，标准中对螺纹紧固的基本要求虽然只有一段话，但意义深刻。

## 4、螺纹紧固的主要关系式

从标准图 1 中可以看出，螺纹紧固件紧固时，可以根据螺栓承受应力处于屈服点的内或者外的位置，可分为弹性区或塑性区紧固。

弹性区内的紧固扭矩与预紧力的关系，见式 1；

弹性区内的紧固转角与预紧力的关系，见式 6；

屈服紧固轴力与螺纹应力截面积及其等效直径的关系，见式 7；

屈服紧固扭矩与屈服紧固轴力的关系，见式 8。

## 5、螺纹拧紧方法

选择螺纹连接的拧紧方法，应该在充分了解各种拧紧方法特性的基础上，按照设计对初始预紧力离散程度的要求、预紧力的大小、使用条件等因素来合理选择拧紧方法。其中对初始预紧力离散程度的要求，通常用紧固系数(Q)来表示，一般也称之初始预紧力离散度。虽然拧紧工具以及精度的不同，所对应的初始预紧力离散度也是不同的，但是，由于拧紧方法的不同，在拧紧时对应的初始预紧力离散度更是不同的，因此，紧固系数是选择螺纹拧紧方法的一个重要条件。

标准表 3 中给出了扭矩法、转角法及扭矩斜率法三种常用的典型拧紧方法。下面就分别将它们的特点简单的介绍如下：

### (1)、扭矩法

从标准图 2 “紧固扭矩和预紧力的关系图”中可以看出，扭矩法就是利用扭矩与预紧力的线性关系在弹性区进行紧固控制的一种方法。该方法在拧紧时，只对一个确定的紧固扭矩进行控制，因此，因为该方法操作简便，是一种一般常规的拧紧方法。但是，由于紧固扭矩的 90%左右作用于螺纹摩擦和支承面摩擦的消耗，真正作用在轴向预紧力方面仅 10%左右，初始预紧力的离散度是随着拧紧过程中摩擦等因素的控制程度而变化的，因而该拧紧方法的离散度较大，适合一般零件的紧固，不适合重要的、关键的零件的连接。

### (2)、转角法

从标准图 3 “紧固转角和预紧力的关系图”中可以看出，转角法就是在拧紧时将螺栓于螺母相对转动一个角度，称之为紧固转角，把一个确定的紧固转角作为指标来对初始预紧力进行控制的一种方法。该拧紧方法可在弹性区和塑性区使用。从标准图 3 “紧固转角和预紧力的关系图”中还可以看出，Q-F 曲线斜率急剧变化时，随着紧固转角的设定误差，预紧力的离散度也会变大。因此，在被连接件和螺栓的刚性较高的场合，对弹性区的紧固是不利的；对塑性区的紧固时，初始预紧力的离散度主要取决于螺栓的屈服点，而转角误差对其影响不大，故该紧固方法具有可最大限度地利用螺栓强度的优点（即可获得较高的预紧力）。

应该注意的是该拧紧方法在塑性区拧紧时会使螺栓的杆部以及螺纹杆部发生塑性变形，因此，对螺栓塑性差的以及螺栓反复使用的场合应考虑其适用性。另外，对预紧力过大，会造成被连接件受损的情况时，则必须对螺栓的屈服点及抗拉强度的上限值进行规定。

### (3)、 扭矩斜率法

从标准图 4 “紧固转角相对应的预紧力及紧固扭矩图”中可以看出，扭矩斜率法是以 Q-F 曲线中的扭矩斜率值的变化作为指标对初始预紧力进行控制的一种方法。该拧紧方法通常把螺栓的屈服紧固轴力作为控制初始预紧力的目标值。该拧紧方法一般在螺栓初始预紧力离散度要求较小并且可最大限度地利用螺栓强度的情况下使用。但是由于该拧紧方法对初始预紧力的控制与塑性区的转角法基本相同，所以，需要对螺栓的屈服点进行严格的控制。该拧紧方法与塑性区的转角法相比，螺栓的塑性即反复使用等方面出现的问题较少，有一定的优势，但是，紧固工具比较复杂，也比较昂贵。

### 6、 附录

在附录 A 中给出了螺纹摩擦系数、支承面摩擦系数与扭矩系数关系的对照表。即当已知预紧力、螺纹摩擦系数、支承面摩擦系数以及螺栓公称直径的六角头螺栓连接副连接时，可由附录 A 表 A1（包括粗牙和细牙）中查出扭矩系数，并按公式 1 求出紧固扭矩。

在附录 B 中给出了螺纹摩擦系数、支承面摩擦系数与屈服紧固轴力和屈服紧固扭矩关系的对照表。即当已知螺栓的公称直径、性能等级以及螺纹摩擦系数、支承面摩擦系数时，可由附录 B 表 B1 中分别查出屈服紧固轴力和屈服紧固扭矩的值。

在标准附录 B 图 B1 中，仅以螺纹公称直径 M10，性能等级 8.8 级的螺栓为例，给出了螺纹摩擦系数、支承面摩擦系数与屈服紧固轴力和屈服紧固扭矩的关系。由图 B1 也可以看出螺纹摩擦系数对屈服紧固扭矩的影响较小（曲线的轨迹趋近于水平线），几乎可以忽略不计。因此，标准制订时，为了简化，把屈服紧固扭矩是按一个不变的纹摩擦系数（0.15）值计算出来的。JIS B 1083-1990 和 VDI 2230 也都是采用的这种方法，否则，十种螺纹摩擦系数与十种支承面摩擦系数排列组合后可要得出 100 个表，我们进行了标准验证，选用了国家现行标准进行了计算，验证结果是可行的，我们认为处理这一问题的原则是科学的。

### 三、GB/T16823.3-1997《螺纹紧固件拧紧试验方法》

本标准等效采用 JIS B 1084-1990《螺纹紧固件拧紧试验方法》标准，本标准也是设计螺纹紧固件扭一拉关系系列标准之一。

#### 1、 范围

本标准的范围与 GB/T16823.2-1997《螺纹紧固件紧固通则》大致相同。本标准适用于最典型的，也就是最通用的“螺栓—螺母连接副”。本标准规定了螺栓—螺母螺纹连接副的紧固特性值的试验方法。紧固特性值包括扭矩系数、螺纹摩擦系数、支承面摩擦系数、屈服紧固轴力、屈服紧固扭矩及极限紧固轴力。本标准也适用于螺栓或螺钉拧入机体内螺纹的连接副或者其他外螺纹（专用件）与内螺纹的连接副。但是，本标准对自攻螺钉、自钻自攻螺钉和木螺钉的“螺纹连接体”（由螺纹紧固件和被连接件构成的总体是不适用的，对于螺纹连接体中使用弹簧垫圈或弹性垫圈（如：外齿锁紧垫圈、内齿锁紧垫圈、内外齿锁紧垫圈、鞍形弹性垫圈等）以及使用有效力矩型螺纹紧固件（指在螺纹连接副不受轴向载荷的情况下，平稳旋转螺母或者螺栓时所测得的旋转力矩。该力矩具有抗旋转的功能。如：尼龙锁紧螺母等）的螺纹连接副也都是不适用的。

#### 2、 紧固特性值的测定项目

紧固特性值的测定项目是计算螺纹紧固件各紧固特性值涉及的要素，具体的测定项目按表 1 的规定

表 1 紧固特性值的测定项目

紧固特性值	初始预紧力	紧固扭矩	螺纹扭矩	支承面扭矩	紧固转角
扭矩系数	○	○	—	—	—
螺纹摩擦系数	○	—	○	—	—
支承面摩擦系数	○	—	—	○	—
屈服紧固轴力	○	—	—	—	△

屈服紧固扭矩 ○ ○ — — △

极限紧固轴力 ○ — — — △

注：①、在测试扭矩系数、螺纹摩擦系数和支承面摩擦系数时，对标有“○”的项目，即初始预紧力、紧固扭矩、螺纹扭矩和支承面扭矩需同时测试并记录。

②、在测试屈服紧固轴力、屈服紧固扭矩和极限紧固轴力时，对标有“△”和“○”的项目，即初始预紧力、紧固扭矩和紧固转角需同时测试并记录。但在只求极限紧固轴力时，可仅测试预紧力的最大值。

### 3、 试验装置及试验条件

为了对试验装置有统一规定，标准中第 4.1~4.6 条较详尽地提出了要求。

标准中对试件和垫片做了规定，并且标准图 1 给出了试件装夹示意图。

标准规定了试验装置及试验条件应能满足下列条件：

(1)、试验装置在测试中，应该可以采用连续记录或者指示计读取；

(2)、试验装置可自动或手动操作，可对螺栓头部或螺母施加紧固扭矩；

(3)、紧固扭矩、螺纹扭矩、支承面扭矩和初始预紧力的测定精度（误差率），无特殊规定时，可采用±2%。

(4)、求屈服紧固轴力和屈服紧固扭矩时，紧固转角值应在线性范围内测定。

(5)、在紧固轴力范围内进行试验时，紧固特性应是线性的。

(6)、试件原则上只能使用一次；

(7)、在试验中，拧紧螺母时，螺栓不得转动；拧紧螺栓时，螺母也不得转动。并且试验中，标准垫片也不得转动。

(8)、试验时，必须明确螺栓、螺母、垫圈和垫片的技术条件、试件的装夹方式、润滑条件、拧紧速度以及试验环境等；

(9)、拧紧速度一般以 4r/min 为宜；

(10)、A 类试验用标准垫片，B 类试验用实用垫片。但实用垫片的形状与尺寸应与标准垫片一致。

### 4、 紧固特性的计算式

本标准所述的计算式与 GB/T16823.2-1997《螺纹紧固件紧固通则》标准第 5 章中规定的计算式是完全一致的。

——扭矩系数按公式 1；

——螺纹摩擦系数按公式 2；

——支承面摩擦系数按公式 3。

### 5、 试验报告

标准中对试验报告的内容做了较详细的规定。