

关于承压型高强螺栓的抗剪计算公式

陈 友 泉

(建工系结构教研室)

摘 要

本文旨在论述钢结构新规范送审稿中承压型高强螺栓的抗剪计算公式之合理性问题。

钢结构设计新规范GBJ—86送审稿〔1、2〕首次给出了承压型高强螺栓的计算公式。笔者经过分析、比较后发现：在承压型高强螺栓的三个验算公式中，由限制滑移变形的验算及螺栓的承压验算两者控制计算，实际上可不用再验算螺栓杆本身的抗剪强度。现论述如下：

按钢结构设计新规范GBJ—86送审稿，承压型高强螺栓的抗剪计算要求同时满足以下三式：

$$N \leq [N_v^b] = n_f \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \dots\dots\dots (1)$$

$$N \leq [N_c^b] = d \cdot \sum t \cdot f_c^b \dots\dots\dots (2)$$

$$N \leq 1.3 [N_v^b]_{摩} = 1.3 \times 0.9 \cdot n_f \cdot \mu \cdot p \dots\dots\dots (3)$$

式中 $[N_v^b]$ 指按摩擦型连接计算的单个高强螺栓的允许承载力。

公式(1)和(2)与普通螺栓抗剪的计算公式完全一样，不同的是承压型高强螺栓的 f_v^b 、 f_c^b 取值比普通螺栓的高很多。验算公式(1)是为了保证螺栓杆本身不被剪切破坏，验算公式(2)是为了保证螺栓杆与构件板孔壁不被挤压坏。按照承载力极限状态的观点，只需验算公式(1)、(2)即可。但按照正常使用极限状态的观点，则“承压型高强螺栓连接还应符合在标准荷载作用下不产生滑动的要求，即标准荷载产生的剪力不得大于按摩擦型连接计算的抗剪设计承载力，计算时可近似地按荷载系数为1.3考虑”(〔1、2〕)。这样，承压型高强螺栓除了验算(1)、(2)两式外，还应再验算(3)式。

事实上在(1)、(3)两式中，起控制的主要是(3)式。为此，只需证明：

本文于1987年3月2日收到

$$[N,^b] \geq 1.3 [N,^b]_{\text{摩}} \dots\dots\dots (4)$$

将(1)、(3)两式代入,得:

$$n_f \cdot \frac{\pi d^2}{4} f,^b \geq 1.3 \times 0.9 \cdot n_f \cdot \mu \cdot P$$

化简后得:

$$\mu \leq \frac{0.6713 f,^b}{P/d^2} \dots\dots\dots (5)$$

按GBJ—86取值,计算出8.8级和10.9级的高强螺栓平均 P/d^2 值分别为 310.9 N/mm^2 和 390.8 N/mm^2 (计算见附表1),它们的 $f,^b$ 值分别为 250 N/mm^2 和 310 N/mm^2 ,将这些数值代入(5)式,得:

$$8.8\text{级: } \mu \leq \frac{0.6713 \times 250}{310.9} = 0.5398$$

$$10.9\text{级: } \mu \leq \frac{0.6713 \times 310}{390.8} = 0.5325$$

由此可知当摩擦系数 $\mu \leq 0.5325$ 时,公式(3)控制了验算结果。 μ 值按构件材料及其表面处理情况分别取为0.30、0.35、0.40、0.45、0.55。因此,仅当 $\mu = 0.55$ 时才有可能由公式(1)控制计算。然而,实际上 $\mu = 0.55$ 时,用公式(3)计算出的结果与公式(1)计算出的结果相差并不大。现取 $\mu = 0.55$, $n_f = 1$,对M16~M30的承压型高强螺栓用公式(1)和(3)进行计算比较,其结果列于附表1中。

由附表1可知:

(i)对于8.8级的螺栓采用公式(3)计算比用公式(1)计算平均偏大1.9%;对10.9级的螺栓平均偏大3.3%,二者的总平均值为2.6%。

(ii)公式(3)和公式(1)之计算结果偏差最大的是10.9级的M27螺栓,用公式(3)计算偏大5.1%。

现在已知,即使 $\mu = 0.55$,由公式(3)控制计算也只是带来少量的偏高。因此在设计中用公式(3)控制计算仍是可行的(工程中一般要求按规范计算的偏差不超过5%)。此外,我们还应注意到公式(1)中 $f,^b$ 的取值并不是绝对合理的,文献[3]的试验研究表明:在其他条件都不变的情况下,“用未去掉油的夹具(对应于构件板间的 μ 值相对较小),比用带有干净的轧制氧化皮的夹具(对应于构件板间的 μ 值相对较大)时螺栓的剪切强度 $f,^b$ 降低2~5%”这说明 $f,^b$ 的取值应随构件板间的摩擦系数 μ 的增大而稍有所增大。对此现象我们可以这样解释:因 $f,^b$ 实际上是螺栓的名义抗剪强度,摩擦系数大的结点构造更有利于抵抗破坏,这种效果体现在螺栓的名义 $f,^b$ 值有所增大。在GBJ—86中,不考虑 μ 的影响一律取相同的 $f,^b$ 值。这意味着当 μ 较大时 $f,^b$ 值显得相对偏小,即公式(1)计算出的结果相对偏小。如果认此为依据进行修正,则前面所述的用公式(3)控制计算所带来的偏高程度不就要降低而趋于消失吗?因此我们可以得出结论:在一般情况下,对承压型高强螺栓的抗剪计算,取消公式(1)只用公式(2)、(3)不但是可行的,而且是合情合理的。

我国关于高强螺栓的研究,尤其是对承压型高强螺栓的研究起步晚,有关的试验研究很少,与发达国家相比还存在不小的差距。据国内外的试验报告可知,高强螺栓的承压型连接

的极限承载力比摩擦型连接的极限承载力高很多。但在GBJ—86中,承压型连接的允许承载力要由限制滑移变形控制,由公式(3)可以看出,一般情况下,其承载力比摩擦型连接最多只能提高30%。美国、西德、日本在高强螺栓方面的研究起步早,研究得较多,它们为充分利用高强螺栓的承载潜力,设法提高螺栓连接的制造加工及施工安装精度,较严格地限制螺栓与孔径之间的间隙,从而不必考虑限制滑移变形。美国、日本关于承压型连接的验算公式正是前述的公式(1)、(2)(无需公式(3));关于摩擦型连接的验算则只用公式(1),但对承压型连接验算时容许抗剪强度 f_v^b 是摩擦型连接时的1.5倍[3]。西德则用下式验算(式中符号改用我国新规范相应的符号表示)[4]:

$$N \leq \frac{1}{2} [N_v^b] + [N_v^b]_{\text{摩}} = \frac{1}{2} n_f \frac{\pi d^2}{4} f_v^b + \frac{n_f \cdot \mu \cdot p}{K}$$

此公式概念明确,体现了螺栓连接的承载力由螺栓本身的抗剪作用和构件板间的摩擦阻力共同组成。用此公式计算的承压型连接的允许承载力比摩擦型连接的允许承载力平均提高了78.8%(计算结果列于附表2)。相比之下我国承压型连接的允许承载力是偏低的,为提高其承载力,我们应改进技术,提高制造加工、施工安装的工艺技术水平,使螺栓与孔径之间的间隙减小,从而不必限制连接的滑移变形,达到充分利用螺栓杆本身抗剪之目的。当然,这涉及一系列经济、工艺、技术方面互相影响因素,需综合研究之,已出本题范围,不以赘述

附表1. 承压型高强度螺栓抗剪计算

螺栓公称直径	8.8级高强度螺栓					10.9级高强度螺栓				
	p	p/d ²	[N] ₁	[N] ₃	[N] ₃ - [N] ₁	p	p/d ²	[N] ₁	[N] ₃	[N] ₃ - [N] ₁
	(kN)	(N/mm ²)	(KN)	(KN)	[N] ₁ •100%	(KN)	(N/mm ²)	(KN)	(KN)	[N] ₁ •100%
M16	80	312.5	50.26	51.48	2.4	100	390.6	62.33	64.35	3.2
M20	125	312.5	78.54	80.44	2.4	155	387.5	97.39	99.74	2.4
M22	150	309.9	95.03	96.52	1.6	190	392.6	117.8	122.3	3.8
M24	175	303.8	113.0	112.6	-0.4	220	381.9	140.2	141.6	0.9
M27	230	315.5	143.1	148.0	3.4	290	397.8	177.5	186.6	5.1
M30	280	311.1	176.7	180.2	2.0	355	394.4	219.1	228.4	4.3
平均		310.9			1.9		390.8			3.3

$$1. [N]_1 = n_f \frac{\pi d^2}{4} f_v^b$$

$$2. [N]_3 = 1.3 \times 0.9 n_f \mu \cdot p$$

$$3. n_f = 1.0; \mu = 0.55; 8.8 \text{级 } f_v^b = 250 \text{N/mm}^2; 10.9 \text{级 } f_v^b = 310 \text{N/mm}^2$$

附表 2. 联邦德国高强螺栓允许承载力比较

螺栓公称直径	摩擦型高强螺栓承载力 (KN)	承压型高强螺栓承载力 (KN)	承压型高强螺栓承载力相对提高量
M12	22.5	43.5	93.3%
M16	45.5	82.0	80.2%
M20	72.5	128.0	76.6%
M22	86.5	153.0	76.9%
M24	100.0	178.5	78.5%
M27	132.0	230.5	74.6%
M30	159.0	280.0	76.1%
M36	232.0	404.0	74.1%
平均			78.8%

※摘自文献 [4] p28表 9

从以上分析小结如下两点:

(i) 对于钢结构设计新规范送审稿 GBJ—86 中承压型高强螺栓抗剪计算公式, 可取消公式 (1), 只验算公式 (2)、(3), 从而简化计算。

(ii) 我国承压型高强螺栓连接的承载能力受限制滑移变形所控制, 有待于改进, 进一步提高其允许承载力。

参 考 文 献

- [1] 陈绍蕃主编:《钢结构》, 西安冶金建筑学院出版, 1986年3月, p83.
- [2] 钟善桐:《钢结构设计新规范简介》, 哈尔滨建筑工程学院印, 1986年3月, p48.
- [3] 日本钢构造协会接合小委员会编, 王玉春等译:《高强度螺栓接合》, 中国铁道出版社出版, 1984年, 北京, p145.
- [4] 张成科译:《西德工业标准: 钢结构设计与施工》, 冶金工业部建筑研究总院技术情报研究室, 1984年4月