

受拉 T 型高强螺栓连接的撬力计算研究

王哲 周慧芳

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 钢结构常应用于大跨等高难建筑中, 钢结构由已成型的钢构件连接而成, 因此, 钢构件之间的连接至关重要, 文章就受拉 T 型高强螺栓连接的受力特点、承载能力影响因素进行了归纳总结, 并对其中撬力计算基于参考试验提出了具有一定适用范围的计算模型。

[关键词] T 型高强螺栓连接; 撬力; 计算模型

DOI: 10.33142/aem.v2i1.1434

中图分类号: TU391

文献标识码: A

Study on Calculation of Prying Force of T-Type High-Strength Bolt Connection under Tension

WANG Zhe, ZHOU Huifang

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Steel structure is often used in long-span and other high-rise and difficult buildings. Steel structure is made up of formed steel members. Therefore, the connection between steel members is very important. In this paper, the stress characteristics and bearing capacity influencing factors of t-type high-strength bolt connection under tension are summarized, and the calculation model of prying force based on reference test is put forward.

Keywords: T-type high strength bolt connection; prying force; calculation model

引言

随着科学技术的不断进步, 钢结构建筑不断涌现, 钢材由于本身具有巨大的性能优势(如强度高, 塑性、韧性好等), 常被应用在一些构造复杂的建筑中。钢结构主体由各个成型钢构件连接而成, 因此, 构件之间的如何连接是设计中的重要问题, 为保证连接点处韧性, 多数连接需要采用高强螺栓连接, T 型连接是钢结构中常见连接, 对其受力进行的研究是一个重要课题。本文就受拉 T 型高强螺栓连接进行简要阐述, 对其撬力计算提出计算模型, 为之后 T 型连接的研究提供参考。

1 T 型高强螺栓连接受力特点

T 型连接受力简图如图 1 所示, 由图 1 可知, 由于 T 型连接件翼缘刚度为一确定值, 在受到外力作用时会产生一定量的变形, 形成图示杠杆作用, 使得翼缘端部会产生一定的撬力, 螺栓所受拉力增加, 另外, 由于变形的产生, 螺栓靠近 T 型件腹板一侧、远离 T 型件腹板一侧受力不均, 可看做螺栓受到弯矩作用, 撬力的存在及弯矩的作用使得螺栓的承载能力显著降低, 在较小外荷载作用下螺栓即可能发生屈服。

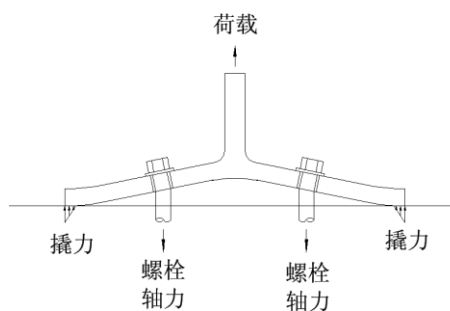


图 1 T 型连接简图

2 T 型连接中撬力研究

Nair^[1]对 T 型连接进行了疲劳拉伸试验, 试验发现外荷载作用下 T 型件会出现撬力, 撬力使得螺栓承载力显著下降, Nair 还建立了撬力计算简化模型, 提出了撬力的计算式, 但该公式并不适用于板厚较小时, 待需改进。Agerkov^[2]通过

试验推导了撬力参数计算式,并归纳总结出 T 型连接的三种破坏模式:翼缘板发生剪切破坏;螺栓拉断和腹板翼缘交界处焊缝破坏。研究学者的研究表明,影响撬力大小的因素包括:翼缘板厚度、腹板至螺栓距离、螺栓至翼缘边距离、螺栓直径等等。

3 撬力计算模型

基于前人研究,本文就 T 型连接中撬力的计算给出带参简化模型,为计算简便且结合实际情况,不考虑螺栓直径对撬力大小的影响,由图 1 可知,T 型连接为一对称结构,因此,建立简化模型时可取一半结构,翼缘中部可看做固定约束,而螺栓、底板对 T 型件翼缘的作用均通过力表现,计算简图如图 2 所示。

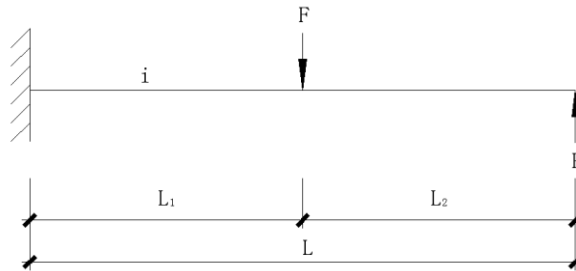


图 2 计算简图

在图 2 中,将 T 型件翼缘简化为悬臂杆件, F 为螺栓轴力, P 为撬力, i 为翼缘线刚度。由于翼缘本身并非刚度无穷大,故会存在一定量的变形,而在计算模型中,将实际情况的向上位移转化为受螺栓压力作用下的向下位移,结合实际情况中翼缘边缘转角很小,假定该转角为零,则根据材料力学可计算出弹性阶段撬力与螺栓轴力之间的关系:

$$F^2 L_1^3 = P^2 L^3 \quad (1)$$

由公式 (1) 可得撬力计算简化理想公式:

$$P = F \left(\frac{L_1}{L} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

该模型简化时将撬力作用于 T 型件翼缘边,而实际撬力作用点会靠近腹板,计算所得撬力会偏小,且模型中未考虑板厚,板长的影响,为增强计算公式的适用性,引入带参函数 $f(i, j)$,其自变量为翼缘线刚度 i ,翼缘内板长 L_1 与外板长 L_2 比值 j 。

由此,公式 (2) 可写为:

$$P = f(i, j) F \left(\frac{L_1}{L} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

4 T 型连接试验分析

对于 T 型连接方面的试验研究,许多学者提出了自己的理论,其中,周向前^[3]研究了各参数改变对 T 型连接受力的影响,本文选取其中基本对照组、翼缘板长改变组和板厚改变组试验结果进行深入分析,根据试验结果计算相应组在螺栓达到屈服时的撬力试验计算值,根据本文简化模型计算得出理论值。其结果统计如表 1 所示。

表 1 撬力试验结果与理论计算结果

组别	翼缘板厚/mm	内板长 L_1 /mm	外板长 L_2 /mm	试验结果/kN	计算结果/kN
1	16	70	70	51.46	50.90
2	20	70	70	37.14	56.44
3	16	105	70	60.06	58.12
4	16	70	105	52.58	37.33

根据表 1,可得 $f(i, j)$ 的取值,为保证理论公式适用性,假设该试验中基本对照组的 i 为单位 1,其余组别的 i 为相应组别线刚度与基本对照组线刚度的比值。由此可知, i 、 j 与 f 的对应关系,关系如表 2 所示。

表 2 i、j 与 f 对应关系

i	j	f
1	1	1.011
1.95	1	0.658
0.8	1.5	1.033
0.8	0.667	1.409

i、j 均与 T 型件翼缘长度存在一定关系，故设 f 为 i、j 的多项式函数，由于试验数据本身限制，暂设 f 为 i、j 的二元一次多项式，即 $f=ai+bj+c$ ，其中，a、b、c 为待求参数。结合表 2 数据，依据最小二乘法可得，

$$\begin{bmatrix} 6.09 & 4.69 & 4.55 \\ 4.69 & 4.69 & 4.17 \\ 4.55 & 4.17 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.25 \\ 4.16 \\ 4.11 \end{bmatrix}$$

解得：a=-0.4906 b=-0.4401 c=2.0444

故

$$f = -0.4906i - 0.4401j + 2.0444 \quad (4)$$

$R^2=0.95$

将公式 (4) 代入 (3) 中可得由参考文献[3]试验结果拟合的撬力计算公式：

$$P = F(-0.4906i - 0.4401j + 2.0444) \left(\frac{L_1}{L}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

该公式可适用于螺栓能达到屈服破坏情况，得出螺栓屈服时撬力大小，从而得到承载荷载的大小。

5 总结

(1) T 型连接受拉力作用会产生撬力，撬力的存在显著降低了螺栓承载力，影响撬力大小的因素包括翼缘板厚、螺栓位置和螺栓直径等等。

(2) 结合参考文献[3]试验，提出撬力计算公式：

$$P = F(-0.4906i - 0.4401j + 2.0444) \left(\frac{L_1}{L}\right)^{\frac{3}{2}}$$

[参考文献]

[1]R S-Nair,P C,Birkemoe & W H,Munse.High Strength Bolted Subject to Tension and Prying[J]. Journal of the Structural Division,ASCE,1974,100(01):351-372.

[2]H-Agerskov,High-strength,Bolted,Connections Subject to Prying. [J]. Journal of the Structural Division,1976,102(01):161-175.

[3]周向前. 基于弯矩分配的受拉 T 型连接高强螺栓受力性能[D]. 吉林: 吉林大学,2017.

作者简介: 王哲 (1991.12-), 女, 毕业于中南大学; 现就职于河北建筑设计研究院有限责任公司。