

# 用力传感器测量摩擦型高强螺栓的抗滑移系数

康 杰,张洪明,文宏光

(昆明理工大学 建筑工程学院,云南 昆明 650224)

**摘要:** 为了测定高强螺栓连接构件摩擦面的抗滑移系数,可以先在扭转试验机上通过扭矩来施拧,然后在拉伸试验机上进行测定.而在本试验中采用了传感器技术,通过制作力传感器对 M24 号螺栓试件进行了测定.试验主要分为 2 个部分,一部分是传感器的制作,包括贴片、标定及性能测试;另一部分是用自制的传感器测量摩擦型高强螺栓的抗滑移系数.

**关键词:** 高强螺栓;抗滑移系数;力传感器;螺栓连接

**中图分类号:** TU502.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2008)03 - 0069 - 05

## Using Force Sensor to Determine Anti - Slip Coefficient of Frictional High - Strength Bolts

KANG jie, ZHANG Hong-ming, WEN Hong-guang

(Faculty of Civil and Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

**Abstract:** To determine the anti - slip coefficient of the high - strength bolt which connects components of friction surface, it is screwed and determined by torsion and tensile testing machines respectively. Sensor technology is adopted to test M24 bolt specimens. The first part in the test is production of the force sensor, including the patch, calibration and performance testing. The other part is the determining of the anti - slip coefficient of the frictional high - strength bolt with the sensor.

**Key words:** high - strength bolt; anti - slip coefficient; force sensor; bolt connection

### 0 引言

在建筑结构的高强螺栓连接设计中,接触面的抗滑移系数是个重要的计算参数,其决定了螺栓的承载能力.但国内外对这个参数的试验研究并不多,在国内大部分地区一般都是用扭矩法来测量的.在本次试验中采用了传感器技术,制作了 4 个力传感器.通过应变和力的关系<sup>[1]</sup>解决了螺栓轴力的测定问题.

近年来,随着钢结构在建设工程日益广泛的应用,钢结构制作和安装中紧固件连接采用高强度螺栓的越来越多.按照《钢结构工程施工质量验收规范》(GB50205—2001)<sup>[4]</sup>的规定,要求进行高强度螺栓连接摩擦面的抗滑移系数试验和复验,其结果要符合设计要求.而对运到安装工地的钢构件,在进行安装之前,也必须对高强度螺栓和摩擦面抗滑移系数进行复验,以确保高强度螺栓的抗滑移系数不低于制造厂出厂时的标准和设计要求.所以非常有必要进行这方面的研究工作.

### 1 力传感器<sup>[3]</sup>的制作

#### 1.1 特殊夹具的设计

由于试验用的是 CSS - WAW 1000 电液伺服万能试验机,夹头比较大,高强度螺栓的长度太小,根本没有办法夹到,无法进行传感器的标定实验,为此专门设计了 1 套夹具.本套夹具(材料选用 40Cr)总共由 3 大部分组成,包括拉杆 2 个、半圆的套桶 4 个、外围的箍 2 个,如图 1 所示.

收稿日期:2007 - 10 - 26

第一作者简介:康杰(1982 - ),男,在读硕士研究生.主要研究方向:工程力学,流体力学. E - mail: kj239@163.com

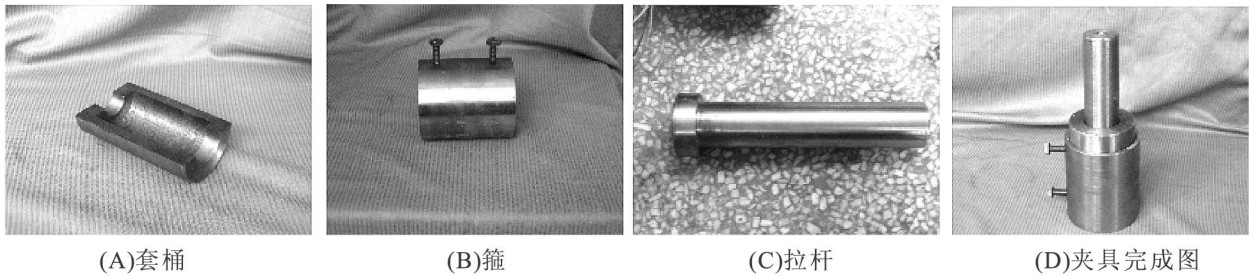


图1 夹具实物图

Fig.1 Finished fixture diagram

### 1.2 制作传感器的装备工作

夹具设计好了以后,就可以开始制作螺栓轴力传感器.要制作螺栓轴力传感器,必须在螺栓的表面贴片.为避免钢板试件因受力滑动而损伤应变片,采取了以下措施:在螺栓的根部对称铣一个 2 mm 的平面.如图 2 所示.接下来的问题就是怎样把应变片上的引线给引出来,又不能把引线弄破或者是坏了.为此需要在螺栓的根部围绕其开一个 2 mm × 2 mm 深的槽.这样就可以把从焊线引出来的线绕到槽里面,系成 2 股.最后,分别在垫片上和夹具上开 6 mm 的开口和直径是 6 mm 的圆孔,从而就可以把两股线从中引出来,接到应变仪上.

试验中,在垫片上开了 10 mm 左右的缝,如图 3 所示,然后再多加 1 个垫片,以保证试验的顺利进行.优点是在钢板的整个滑移过程中不会压到引线,但缺点是操作比较麻烦.需要把开孔的垫片和螺栓铆固在一起.

为了提高传感器的精度,采用全桥接线方式.具体的实施方法:在每个所铣的表面贴上一个 2 mm × 1 mm 的成 90° 的 2 片的应变花.也就是的一横一纵的全桥接法.最终的实物如图 4 所示.



图2 螺栓铣面图

Fig.2 Bolt milling diagram



图3 垫片开缝图

Fig.3 Gasket slotted diagram

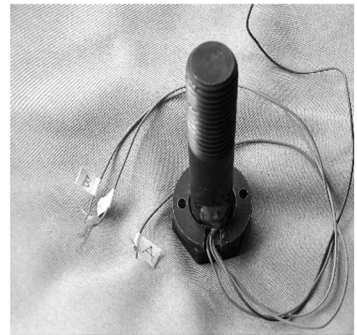


图4 传感器完成图

Fig.4 Sensor ultimately completed diagram

### 1.3 传感器的标定

接下来就可以进行轴力传感器的标定.需要说明的是试验中共需要做 4 个传感器数据如表 1.

试验中,3,4号传感器的第四组试验数据由于变动太大,可能是操作不当造成的,没有使用.

### 1.4 传感器的回归方程

由于在接下来的试验中,需要把应变转换成轴力,所以必须求出每个传感器的回归方程.(如图 5 ~ 8 所示)

## 2 抗滑移系数的测定

### 2.1 试验原理

高强螺栓摩擦面的抗滑移系数<sup>[2]</sup>与摩擦因数是一个道理.因此只要知道拉力与正压力,就可以把抗滑

表 1 分别对 4 个传感器进行标定得到的应变值

Tab. 1 the train value of four sensors

传感器编号	次数	荷载 /kN						
		180	190	200	210	220	230	240
		对应的应变值 / ( $\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$ )						
1	1	6 224	6 555	6 904	7 254	7 601	7 956	8 302
	2	6 161	6 490	6 821	7 166	7 511	7 866	8 210
	3	6 190	6 535	6 864	7 208	7 547	7 895	8 245
	4	6 164	6 494	6 822	7 182	7 515	7 863	8 201
	平均	6 184.7	6 518.5	6 852.7	7 202.0	7 543.0	7 895.0	8 239.5
2	1	6 170	6 495	6 830	7 175	7 511	7 862	8 192
	2	6 161	6 488	6 820	7 152	7 489	7 837	8 168
	3	6 216	6 545	6 885	7 221	7 554	7 890	8 234
	4	6 204	6 530	6 859	7 198	7 538	7 876	8 211
	平均	6 187.7	6 514.5	6 848.5	7 186.5	7 523.0	7 866.2	8 201.2
3	1	6 183	6 495	6 827	7 190	7 537	7 877	8 227
	2	6 225	6 542	6 872	7 195	7 547	7 878	8 213
	3	6 118	6 439	6 772	7 109	7 442	7 775	8 115
	平均	6 175.3	6 492.0	6 823.6	7 164.6	7 508.6	7 843.3	8 185.0
4	1	5 922	6 244	6 570	6 810	7 240	7 568	7 906
	2	5 978	6 284	6 620	6 861	7 281	7 612	7 945
	3	6 044	6 358	6 684	7 015	7 346	7 678	8 008
	4							
	平均	5 981.3	6 295.3	6 624.6	6 895.3	7 289.0	7 619.3	7 953.0

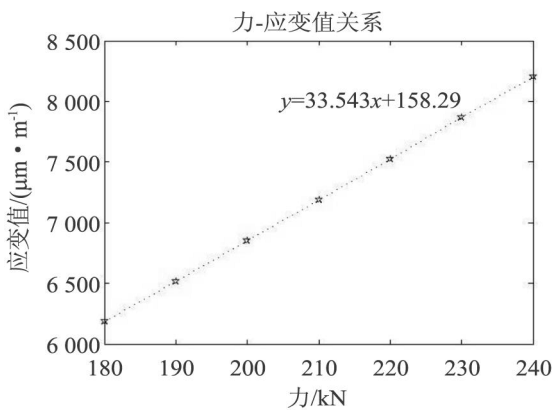


图5 1号传感器的曲线及回归方程

Fig.5 No. 1 sensor curve and regression equation

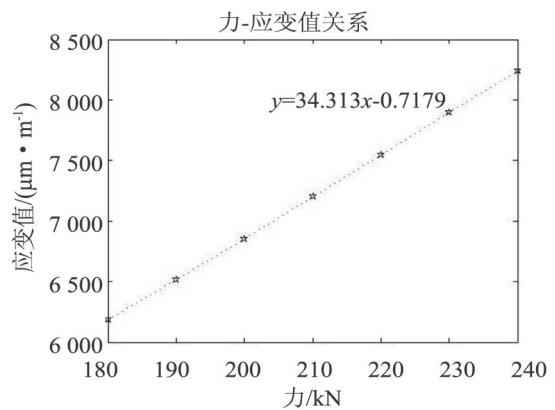


图6 2号传感器的曲线及回归方程

Fig.6 No. 2 sensor curve and regression equation

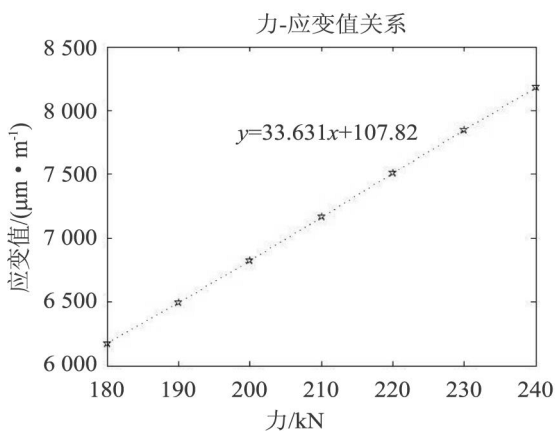


图7 3号传感器的曲线及回归方程

Fig. 7 No. 3 sensor curve and regression equation

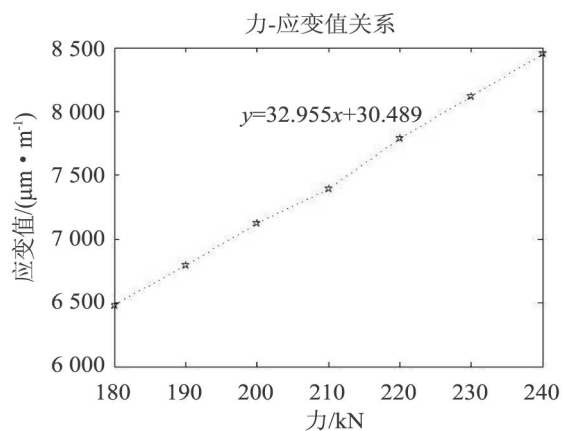


图8 4号传感器的曲线及回归方程

Fig.8 No. 4 sensor curve and regression equation

移系数给算出来. 这里的拉力可以通过液压万能实验机来读出, 而正压力就必须测出螺栓的轴力. 由于螺栓是夹在钢板上的, 轴力的测定比较困难. 经过多种实验方案的对比, 选用把螺栓做成力传感器, 进行轴力测量的试验方案.

试验采用的确定轴力的方法是通过应变和轴力的关系, 然后通过画点散图, 得到线性回归曲线. 进而反算出轴力的大小. 这样对于任意一个应变就可以把它转化成对应的轴力.

## 2.2 试验的主要仪器设备和工具

- 1) 微机 CSS - WAW1000 电液伺服万能实验机.
- 2) 扭转实验机.
- 3) YJ - X4 型静态电阻应变仪.
- 4) 电烙铁, 剪刀, 丙酮, 胶水, 镊子, 焊锡, 导线若干.

## 2.3 试验的基本要求和方法

### 2.3.1 基本要求<sup>[4]</sup>

1) 抗滑移系数试验采用 2 个摩擦面的螺栓拼接的拉力试件. 抗滑移系数试验用的试件由制造厂加工, 试件与所代表的钢结构构件应为同一材质, 同批制作, 采用同一摩擦面处理工艺, 和具有相同的表面状态, 并应用同批同一性能等级的高强度螺栓连接, 在同一环境条件下存放.

2) 试件钢板的厚度  $t_1, t_2$  应该根据钢结构工程中的有代表性的板材厚度来确定, 同时应考虑在摩擦面滑移之前, 试件钢板的净截面始终要处于弹性状态.

3) 试件板面应平整, 无油污, 孔和板的边缘无飞边, 毛刺.

4) 试验用的实验机误差应在 1% 以内, 试验用的贴有电阻片的高强度螺栓和电阻应变仪应在试验前用实验机进行标定, 其误差应在 2% 以内.

5) 试件的组装顺应该符合下面的规定: 先将冲钉打入试件孔定位, 然后逐个换成装有压力传感器或贴有电阻片的高强度螺栓, 或换成同批经预应力复验的扭剪型高强度螺栓.

### 2.3.2 试验方法

紧固高强度螺栓应分析: 初拧, 终拧. 初拧应达到螺栓预先应力标准值的 50% 左右; 终拧后螺栓预拉力应符合下面的规定:

1) 对贴有电阻应变片的高强度螺栓, 采用电阻应变仪实测控制试件每个螺栓的预拉力值应该在  $0.95 - 1.05P$  ( $P$  为高强度螺栓的预拉力值) 之间.

2) 不进行实测时, 扭剪型高强度螺栓的预拉力 (紧固轴力) 可按同批实验预拉力的平均值取用.

3) 试件应在其侧面画出观察滑移的直线. 将组装好的试件置于拉力实验机上, 试件的轴线应与实验机的夹具中心严格对中. 加载荷时, 应先加 10% 的抗滑移设计荷载值, 停 1 min 后, 再平稳加载, 加载速度为  $3 \sim 5 \text{ kN/s}$  直到发生滑动, 测得滑移荷载  $N_v$ .

### 2.3.3 滑移荷载的确定

在试验中当发生以下情况之一时, 所对的荷载可定为试件的滑移荷载: 试件侧面滑线发生明显的错动; 微机记录仪上的变形曲线发生突变; 试件突然发生“蹦”的响声.

## 2.4 抗滑移系数的计算公式

抗滑移系数应根据试验所测得的滑移荷载  $N_v$  和螺栓预拉力  $P$  的实测值, 按下式计算, 保留 2 位有效数字.

$$\mu = \frac{N_v}{n_f \cdot \sum_{i=1}^m P_i} \quad (1)$$

式中:  $N_v$ ——为试验测得的滑移荷载 (kN)  $n_f$ ——为摩擦面面数, 取值为 2  $\sum_{i=1}^m P_i$ ——为试件滑移一侧高强度螺栓预拉力的实测值  $m$ ——为试件一侧的螺栓数量, 取  $m = 2$

2.5 数据的整理与求解

1)第 1 次拉伸试件时各传感器测得的应变及对应的力.

在第 1 次试验中,3,4号传感器所在面先滑,故滑移荷载为:202.8 kN.

由计算公式 (1):得  $\mu_1 = 0.229$ ; 1,2 号传感器滑移荷载为:225.08 kN;同样,代入公式 (1)得:  $\mu_2 = 0.251$ ;平均值  $\bar{\mu} = 0.24$ .

2)第 2 次拉试件时各传感器测得的应变及对应的力.

表 2 传感器测得的应变值及对应的荷载

Tab.2 Strain values measured by sensors and corresponding loads

传感器编号	应变值 / ( $\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$ )	转化成力荷载 /kN
1	7 485	218.9
2	7 876	230.4
3	7 655	224.4
4	7 200	217.5

表 3 传感器测得的应变值及对应的荷载

Tab.3 Strain values measured by sensors and corresponding loads

传感器编号	应变值 / ( $\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$ )	转化成力荷载 /kN
1	7 381	215.1
2	7 653	223.8
3	7 570	221.9
4	7 534	227.7

第 2 次拉伸试验中,1,2号螺栓所在面先滑,故滑移荷载为:269.2 kN.

由计算公式 (1):得  $\mu = 0.307$ ; 3,4号螺栓滑移荷载为:303.7 kN;同样,带入公式 (1)得:  $\mu_2 = 0.338$ ;平均值  $\bar{\mu} = 0.32$ .

把上面 2 次的结果再次求平均值,得到  $\bar{\mu} = 0.28$ .

3 结 语

经过与理论值 0.3 的对比,这个结果与扭矩法测量的结果比较的接近.试验的结果也表明:同一次试验结果的差幅非常的小,从而证明了此方法的可行性及重复性较好.另外,前后 2 次的差幅比较大,分析其原因主要是由于第 1 次对试件表面进行了处理,由此可以得出一结论:试件表面的处理对试验的结果会产生较大的影响.



图9 试件拉伸中  
Fig.9 Specimen measuring

参考文献:

[1] 李洪升.基础力学试验 [M]. 沈阳:大连理工大学出版社,2000: 95 - 98  
 [2] 李启才,顾强,苏明周,等.摩擦型高强螺栓连接性能的试验研究 [J]. 西安科技大学学报,2003: 23 (3): 322 - 324.  
 [3] 金发庆.传感器技术与应用 [M]. 北京:机械工业出版社,2004: 105 - 112  
 [4] 中华人民共和国建设部.钢结构工程施工质量验收规范 GB50205—2001 [Z]. 北京:中国计划出版社,2002: 66 - 70.