

简析 S 型测力传感器拉压向工装对其受力状态的影响

□林志伟^{1,2,3}

[1. 福建省计量科学研究院 2. 福建省力值计量测试重点实验室 3. 国家市场监督管理总局重点实验室(力值计量测试), 福建]

【摘要】 本文通过研究在作为力值传递溯源的标准器时 S 型测力传感器拉压向工装装配方式, 分析 S 型测力传感器在相同负荷状态下不同装配方式对测力传感器受力状态的影响, 通过试验分析, 给出了可行的优化装配建议。

【关键词】 S 型测力传感器; 拉压向工装; 直线度

文献标识码: A 文章编号: 1003-1870 (2025) 11-0005-05

Analysis on Influence of Tension-Compression Fixtures on Stress State of S-Type Load Cells

【Abstract】 This paper studies the assembly methods of tension-compression fixtures for S-type load cells used as force transfer standards, analyzes the influence of different assembly methods on the stress state of S-type load cells under the same load condition, and provides feasible assembly optimization suggestions through experimental analysis.

【Keywords】 S-type load cell; tension-compression fixture; straightness

引言

S 型测力传感器因其结构外形与英文字母“S”相似而得名, 目前市面上常见的 S 型测力传感器产品类型覆盖范围可从几牛至几百千牛, 能满足拉压双向受力, 具有较高的测量精度, 能达到 0.3 级、0.1 级甚至更高, 广泛应用于各种需要测量拉力或者压力的场景, 从工业自动化生产线, 到各种用于物品重量精准计量的设备, 再到专业的计量科研与试验仪器。

1 S 型测力传感器的压向工装装配情况

在计量专业领域, S 型测力传感器与相关指示仪表配套组成具有量值传递溯源功能的标准测力仪, 通常根据其计量需求带有配套的压向球副、底座、

拉向转接件等工装配件, 通过螺纹与测力传感器本体连接。在日常工作中发现, S 型测力传感器在用于测量压向力值时, 其配套压向球副及底座的安装主要有两种情况: 一种是配套压向球副及底座通过螺纹拧紧, 工装平面与测力传感器本体相接触, 这种连接方式, 测力传感器本体受力为球副、底座、螺纹共同传递的情况。另一种是配套压向球副及底座通过螺纹拧紧后反向拧半圈, 工装平面与测力传感器本体相不接触, 测力传感器本体受力仅通过螺纹传递。这两种装配情况, 将导致测力传感器受力状态的不同, 成为影响该测力传感器测量重复性的一个重要因素。

2 S型测力传感器压向负荷试验

选取一台HBM的S40AC3-1T的S型测力传感器，按照其球副、底座不同的安装模式进行压向负荷试验。

2.1 模拟试验测试



图1 S40AC3-1T测力传感器

我们通过相关软件对S40AC3-1T测力传感器（图1）的这两种安装模式进行模拟试验测试，得出其受力状态如下所示：图2为压向球副、底座与测力传感器本体相接触贴合安装后加载1kN负荷时，测力传感器受力状态。图3为压向球副、底座与测力传感器本体不接触未贴合安装后加载1kN负荷时，测力传感器受力状态。图4为压向球副、底座与测力传感器本体相接触贴合安装后加载10kN负荷时，测力传感器受力状态。图5为压向球副、底座与测力传感器本体不接触未贴合安装后加载10kN负荷时，测力传感器受力状态。

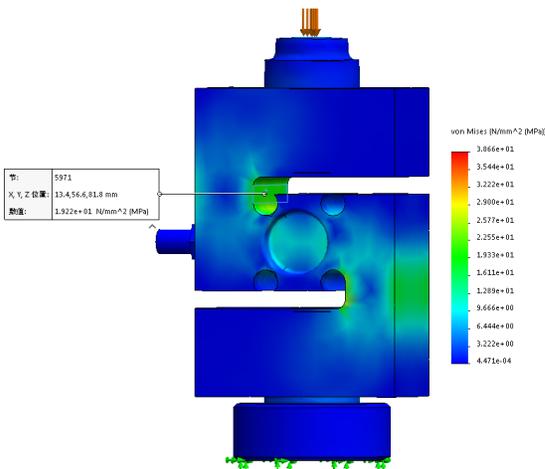


图2 为压向球副、底座与测力传感器本体相接触贴合安装后加载1kN负荷

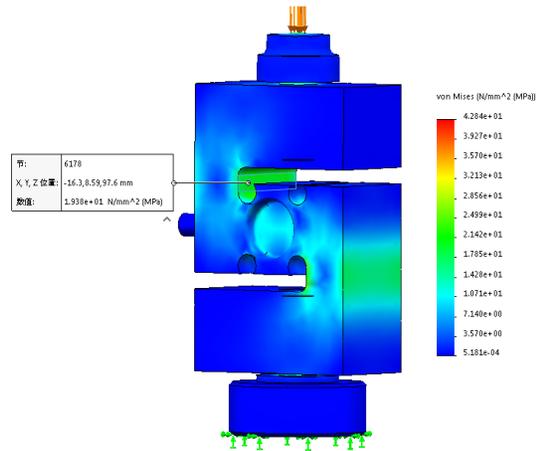


图3 为压向球副、底座与测力传感器本体不接触未贴合安装后加载1kN负荷

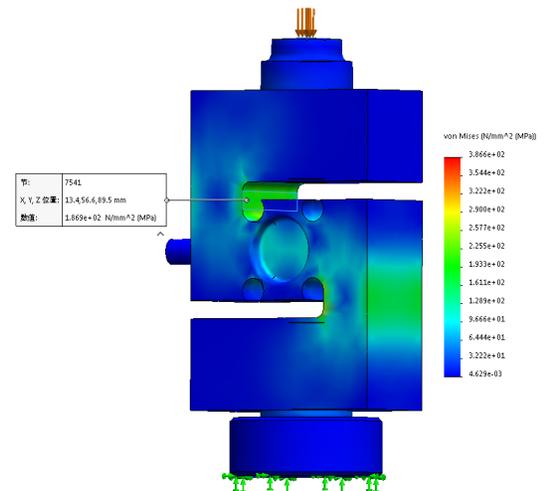


图4 为压向球副、底座与测力传感器本体相接触贴合安装后加载10kN负荷

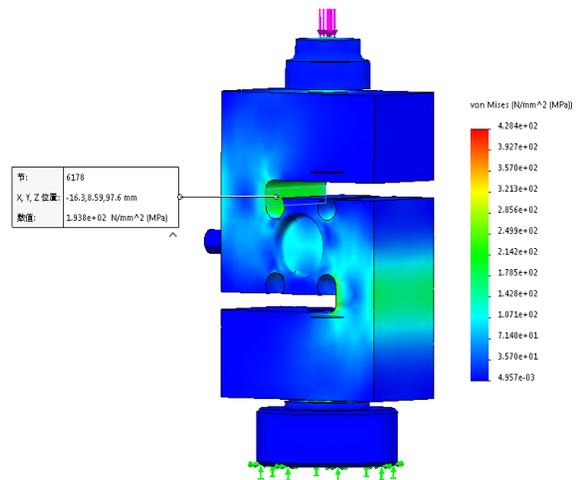


图5 为压向球副、底座与测力传感器本体不接触未贴合安装后加载10kN负荷

根据模拟试验仿真结果可以得出，该测力传感器在加载相同负荷条件下，球副、底座是否与测力传感器本体相接触贴合安装，测力传感器受力后，其相关位置的压强数值是不尽相同的，根据该测力传感器的应变受力后输出原理可得出，该测力传感器的输出信号（mV/V 即电压比率）是存在差异的。在两种安装模式下，分别按照其量程的10%及100%两个负荷点进行负荷模拟试验，从仿真试验结果可以很明显看到，该测力传感器受力状态在其有效量程范围内均受到压向球副、底座的装配方式的影响。

2.2 力标准机试验测试

选取一台HBM的S40AC3-1T的S型测力传感器、一台HBM的DMP-41精密数字测量仪作为配套指示仪表、一台0.01级DWM-10 10kN静重式力标准机作为

为参考标准进行本次试验测试（图6）。

根据JJG 144-2007《标准测力仪检定规程》，实验室环境温度控制在 $(22 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度48%，试验测试期间实验室环境温度波动不超过 1°C 。

测力传感器的配套压向球副及底座的装配方案一：压向球副及底座通过螺纹拧紧，工装平面与测力传感器本体相接触；方案二：压向球副及底座通过螺纹拧紧后反向拧半圈，工装平面与测力传感器本体不贴合接触。根据JJG 144-2007《标准测力仪检定规程》，用0.01级DWM-10 10kN静重式力标准机作为参考标准，分别对两种测力传感器的配套压向球副及底座的装配方案进行负荷测试，通过DMP-41精密数字测量仪读取测力传感器在相应负荷下输出的电压比率（mV/V）。

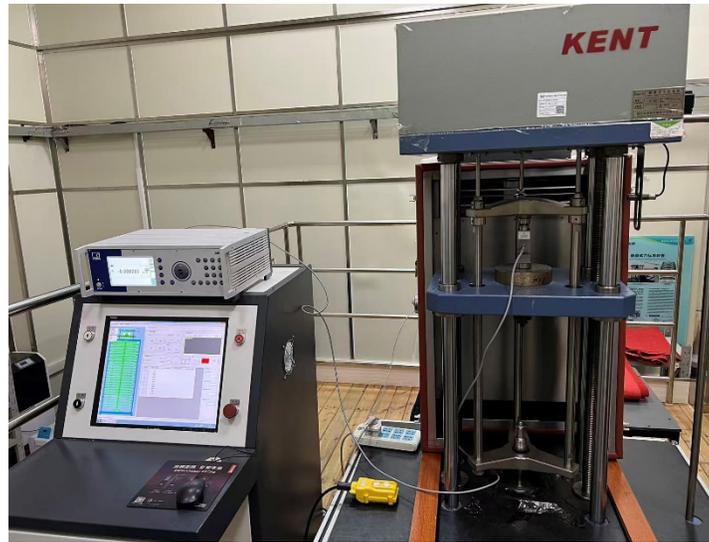


图6 S40AC3-1T测力传感器压向试验

通过试验得出试验数据如表1所示，两种装配方案对该测力传感器在相同负荷下输出的电压比率

（mV/V）会产生较大的影响。

表1 S40AC3-1T测力传感器压向试验数据

负荷 (kN)	方案一 (mV/V)	直线度 (%FS)	方案二 (mV/V)	直线度 (%FS)	方案一、二差值	
					(mV/V)	(%)
0	0.00000	/	0.00000	/	/	/
1	0.20383	0.000	0.20380	+0.001	-0.00003	-0.013
2	0.40766	-0.001	0.40756	0.000	-0.00010	-0.024
3	0.61149	-0.010	0.61132	-0.001	-0.00017	-0.027
4	0.81532	-0.020	0.81510	-0.001	-0.00022	-0.027
5	1.01916	-0.020	1.01887	-0.002	-0.00029	-0.028

(续表)

负荷 (kN)	方案一 (mV/V)	直线度 (%FS)	方案二 (mV/V)	直线度 (%FS)	方案一、二差值	
					(mV/V)	(%)
6	1.22301	-0.010	1.22265	-0.002	-0.00036	-0.029
7	1.42685	-0.010	1.42644	-0.001	-0.00041	-0.029
8	1.63070	-0.001	1.63023	-0.001	-0.00047	-0.029
9	1.83455	0.000	1.83403	0.000	-0.00052	-0.029
10	2.03840	0.000	2.03782	0.000	-0.00058	-0.028

注：方案一、二差值以方案一示值为参考标准

2.3 测力传感器压向试验测试小结

通过对S型测力传感器的模拟试验及实物试验均能相互验证关于该S型测力传感器的受力状态受到了其压向球副、底座的装配方式的直接影响。两种不同的装配方案，其球副、底座与测力传感器本体的力传递方式也不尽相同。方案一：在球副、底座与测力传感器本体相贴合的情况下，部分力由贴合的接触面传递至测力传感器、部分通过螺纹传递至测力传感器，这样的力值传递方式对测力传感器受力带来了一定的影响，在部分负荷点其直线度发生变化。方案二：在球副、底座与测力传感器本体不贴合的情况下，全部的力都是通过球副、底座的螺纹传

递至测力传感器本体。对比方案一、二的两组实测数据，方案一的输出始终略高于方案二，差值范围从-0.00003 mV/V (1kN) 到-0.00058 mV/V (10kN)，差异随着负荷增加而轻微变大，方案二的直线度明显整体优于方案一的直线度。

3 S型测力传感器拉向试验测试

同样设计两种拉向工装装配方案。方案一：拉向工装通过螺纹手动拧紧至极限，不加力对其进行预拧紧动作，拉向工装拉头与测力传感器本体无间隙。方案二：拉向工装通过螺纹手动拧紧至拉向工装螺纹全部与测力传感器螺纹孔相接触后即停止，拉向工装拉头与测力传感器本体留有一定间隙（图7）。

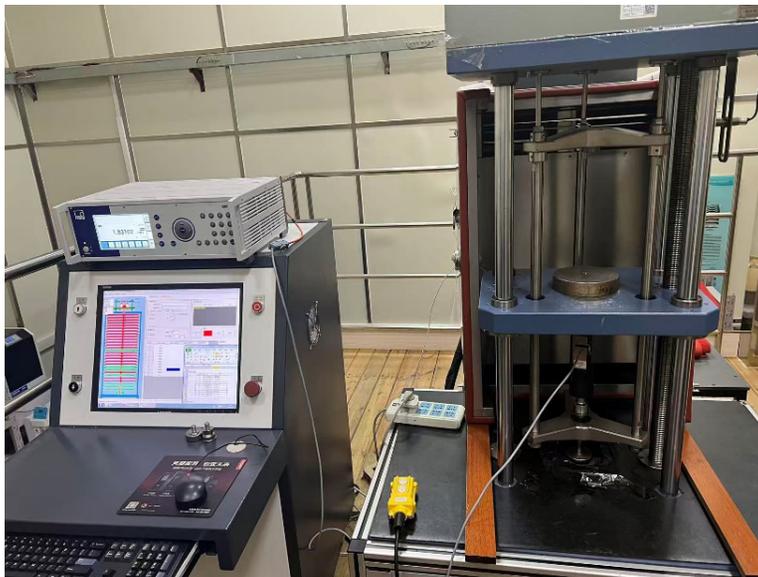


图7 S40AC3-1T测力传感器拉向试验

根据JJG 144-2007《标准测力仪检定规程》相关要求进行了试验测试，得到试验测试数据，如表2所示。

表2 S40AC3-1T测力传感器拉向试验数据

负荷 (kN)	方案一 (mV/V)	直线度 (%FS)	方案一 (mV/V)	直线度 (%FS)	方案一、二差值 (%)
0	0.00000	/	0.00000	/	/
1	0.20382	+0.005	0.20382	+0.004	0.000
2	0.40756	+0.006	0.40757	+0.005	+0.002
3	0.61130	+0.007	0.61133	+0.007	+0.005
4	0.81503	+0.008	0.81506	+0.007	+0.004
5	1.01875	+0.008	1.01881	+0.008	+0.006
6	1.22245	+0.007	1.22252	+0.007	+0.006
7	1.42615	+0.006	1.42624	+0.007	+0.006
8	1.62984	+0.005	1.62993	+0.005	+0.005
9	1.83351	+0.002	1.83362	+0.003	+0.006
10	2.03718	0.000	2.03728	0.000	+0.005

注：方案一、二差值以方案一示值为参考标准

S型测力传感器的拉向工装与测力传感器安装完成后，其负荷的受力方向与测力传感器本体是相背离的，不存在拉向工装与传感器本体产生挤压的情况，无论拉向工装是否与测力传感器拧紧后相接触，其力值传递均由螺纹完成力值传递。从本次试验数据中也能看出，两种测试方案在各负荷点输出的电压比率（mV/V）基本一致，直线度误差表现相近，因此可以验证，拉向工装是否与测力传感器本体接触基本不会对S型测力传感器的拉向测试性能产生影响。此外，国外解决S型测力传感器的拉向载荷影响问题，多采用带有关节轴承的拉头，也取得了很好的应用效果。

4 结语

S型测力传感器在用于计量专业领域发挥其量值传递溯源作用时，其压向球副、底座的装配模式直接影响其量值传递溯源的精度，通过模拟仿真试验及力标准机试验测试得到的数据分析可得，在相同负荷条件下，按照球副、底座与测力传感器本体通过螺纹拧紧后反向拧半圈的装配方案二测得的数据，明显优于球副、底座与测力传感器本体通过螺纹拧紧且工装平面与测力传感器本体相接触的方案一测得的数据。但在其承受拉向负荷时，其拉向工装的螺纹装配是否拧紧至工装与测力传感器本体接触基本不对该测力传感器的受力状态产生影响。

因此，S型测力传感器在用于压向负荷计量时，

建议其球副、底座装配时，螺纹拧紧后反向拧半圈，使球副、底座工装平面与测力传感器不接触，这种装配方案下，能较好地提升该S型测力传感器的性能。而在其用在拉向负荷计量时，则可自主选择拉向工装的螺纹是否拧紧至工装与测力传感器本体接触。

参考文献

- [1] 程宝平. 高精度S型测力传感器的研制[J]. 太原科技, 2003, (03): 56-57.
- [2] 肖尧, 陈章位, 陈俭等. 小量程S型测力传感器的动态性能验证及优化研究[J]. 衡器, 2024, 53(01): 22-26+29.
- [3] 张如一, 于建, 王增梅. S型测力传感器的动态特性与标定[J]. 实验力学, 1991, (02): 117-126.
- [4] 张智敏等. JJG 144-2007 标准测力仪.
- [5] 李庆忠等. JJF 1011-2006 力值与硬度计量术语及定义.

作者简介

林志伟（1987—），男，福建福州人，工程师。
研究方向：力与扭矩计量，自动化。