

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.03.12

力加载点对压电式多分量测力平台测量结果的影响

蔡菁, 李程

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 随着多分量测力技术的广泛应用, 其准确度要求越来越高。本文通过实验的方式验证在压电式多分量测力平台的使用过程中, 要确保加载力作用点在测力平台有效作用区域之内, 从而保证测量准确度。本文对于多分量测力平台的规范使用具有指导作用, 对提高多分量测力平台的测量准确度具有重要意义。

关键词: 力加载作用点; 压电式; 多分量测力平台; 测量结果

中图分类号: TB93

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)03-0056-03

The Effect of the Force Load Position to the Measurement Results of Piezoelectric Multi-component Force Measuring Platform

CAI Jing, LI Cheng

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: With the extensive applications of multi-component force measuring technology, the requirements of accuracy is more and more strict. The paper in the way of experiments verified the force load position must be in the effective range of the force platform to guarantee the measurement accuracy in the use of the piezoelectric force measuring platform. The paper acts as a guide to the standard use of the multi-component force platform, and it is of great significance to improve the measurement accuracy of multi-component force measurement platform.

Key words: force load position; piezoelectric; force measurement platform; measurement result

0 引言

近些年随着国防科学技术的发展, 多分量测力技术的应用越来越广泛。例如: 飞行器模拟风洞实验和直升机旋翼动力学研究中应用的六分力天平; 用于测量和控制机器人关节作用的多分量力传感器; 用于汽车轮胎性能检测的多分力计等^[1]。除此之外, 在石油钻探受力测量、发动机推力矢量测试等方面也都用到了多分量测力及测量技术^[2]。

1 压电式多分量测力平台工作原理及特性

压电式多分量测力平台是一种先进的多功能测力装置, 特别适用于动态测试。其矢量分解图见图 1 所示^[3]。

多分量测力平台可以直接测量加载力在 X , Y , Z 三个方向上的分力, 经过计算可得到力的方向、位置和各方向上的力矩。

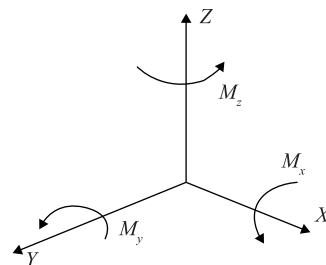


图 1 多分量力矢量分解图

压电式多分量测力平台外形结构尺寸较大, 见图 2 所示。通常由 4 个三分量力传感器通过高预紧力安装在顶板和底板间, 可以测量 F_x , F_y , F_z 的力值和响应方向的力矩 M_x , M_y , M_z 。三个方向的力值是通过 4 个三分量力传感器分别各个方向上的测量结果合成计算得到, 力矩也是利用 4 个三分量力传感器的输出经过内置软件计算得到^[4]。

由于多分量力传感器特殊的作用原理及结构, 其受力中心点并不是简单的物理结构中心点。每个三分量力传感器中包含 3 对石英平板, 分别测量 X , Y , Z 三个坐标方向。对于三分量力传感器而言, 只能确定受力中心线通过传感器作用平面的几何中心, 即穿

收稿日期: 2017-04-07

作者简介: 蔡菁(1986-), 女, 硕士, 研究方向为动态压力测试与校准。



图2 测力平台结构图

过上、下作用平面中心点所确定的直线就是三分量力传感器的 Z 坐标方向。由于三分量力传感器只关注力值, 所以, 只要确定力作用线所在, 不需要确定力作用点在 X, Y 方向的坐标位置。但多分量测力平台特殊的组成结构, 要测量力值 F_x, F_y, F_z 和力矩 M_x, M_y, M_z 。六分量测力平台测得的力和力矩通过测力平台内 4 个三分量力传感器合成后的 8 个输出分量计算而来。各分量定义如图 3 所示^[5]。

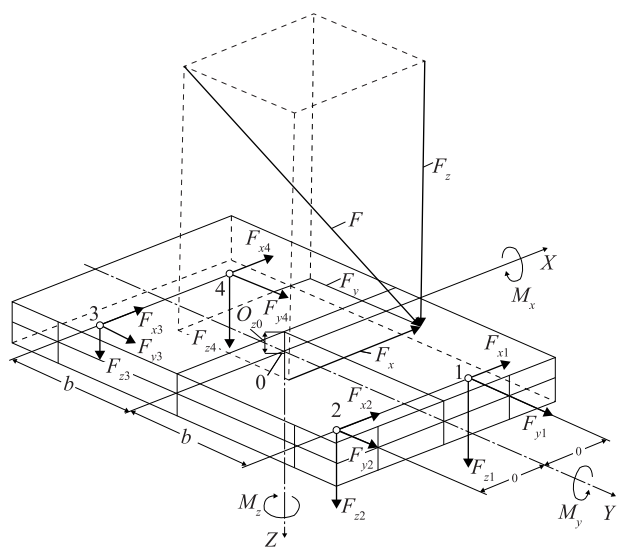


图3 六分量测力系统示意图

各分量计算公式为

$$F_x = F_{x1+2} + F_{x3+4}$$

$$F_y = F_{y1+4} + F_{y2+3}$$

$$F_z = F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} + F_{z4}$$

$$M_x = b \cdot (F_{z1} + F_{z2} - F_{z3} - F_{z4})$$

$$M_y = a \cdot (-F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} - F_{z4})$$

$$M_z = b \cdot (-F_{x1+2} + F_{x3+4}) + a \cdot (F_{y1+4} - F_{y2+3})$$

通过以上分析得到, 对于多分量测力平台, 受力点的位置与力矩测量结果具有不可忽略的影响。本文针对多分量测力平台加载点位置对测量结果的影响进行分析, 以试验方式进行验证。

2 实验结果及分析

2.1 实验条件

本文进行实验的压电式多分量测力平台结构外形尺寸较大, 下底座安装面 $700 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$, 承载面 $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ 。通过加载板进行标准力值加载, 加载板尺寸为 $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ 。加载板在 X, Y, Z 三个方向上都有固定距离的定位孔, 从而确定力加载点到被测传感器物理中心的距离。测力平台量程为 Z 方向力值 $0 \sim 20 \text{ kN}$, X, Y 方向力值 $0 \sim 6 \text{ kN}$, 力矩 $0 \sim 3 \text{ kNm}$ 。分别在直接安装加载板和安装辅助工装两种状态下进行实验。

1) 在压电式测力平台上直接安装加载板, 力通过加载板直接作用在测力平台上, 见图 4 所示。

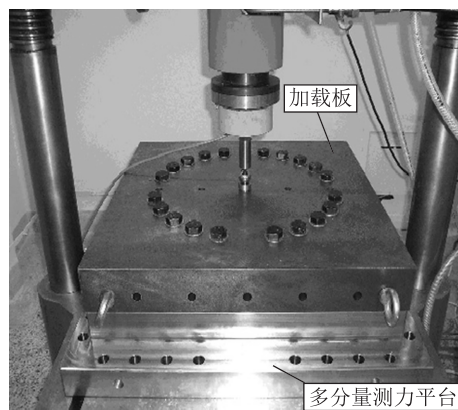


图4 直接加载

2) 在压电式测力平台与加载板之间安装辅助工装, 如图 5 所示辅助工装安装位置在测力平台的 4 个三分量力传感器中心连线区域内, 即有效作用区域。通过辅助工装使得力在测力平台上的作用点始终在测力平台的有效作用区域内。力通过加载板传递到辅助工装,

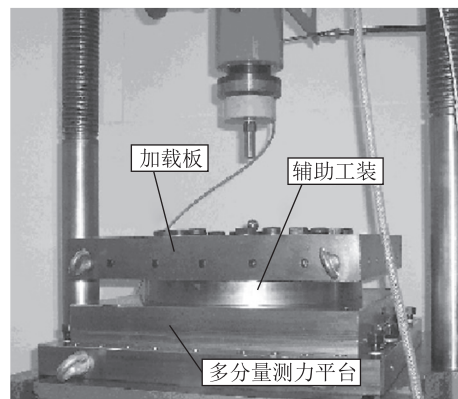


图5 安装辅助工装加载

再由辅助工装传递到测力平台。

通过在不同方向、不同位置进行加载, 试验力加载作用点对测力平台测量结果的影响。

2.2 实验数据及分析

2.2.1 力值测量

依据测力平台出厂检测指标, 在 0~10 kN 内加载时, F_x , F_z 非线性指标 $\leq 0.1\%$ FS, 重复性指标 $\leq 0.5\%$ FS。

1) 通过加载板对测力平台 Z 方向施加作用在加载板中心点位置 0~6 kN 的作用力 F_z 。表 1 和表 2 分别为安装辅助工装与无辅助工装时测量结果的示值误差和相应指标的结果比对。

表 1 Z 向中心加载示值误差

测量次数	示值误差/%	
	安装辅助工装	无辅助工装
1	0.11	-0.06
2	0.11	-0.06
3	0.08	-0.08

表 2 Z 向中心加载结果比对

	非线性/%	重复性/%
安装辅助工装	0.099	0.211
无辅助工装	0.145	0.275

2) 安装辅助工装时, 对测力平台 X 方向施加 0~6 kN 作用力 F_x , 作用点位置分别在加载板中心点和沿 Y 向平移 200 mm 处。表 3 和表 4 分别为中心加载与偏移加载时测量结果的示值误差和对 F_x 指标的影响。

表 3 不同加载点作用位置的示值误差

测量次数	示值误差/%		
	中心加载	偏移 200 mm 加载	偏移 200 mm 加载
1	0.20	0.23	0.082
2	0.25	0.26	0.089
3	0.22	0.23	

表 4 加载点作用位置对 F_x 的影响比较

	非线性/%	重复性/%
中心加载	0.088	0.125
偏移 200 mm 加载	0.082	0.089

由表 1、表 2 实验数据得, 在同一加载点位置作用相同大小的加载力, 安装辅助工装的测量结果略优于无辅助工装时的测量结果, 但差异不是很大。由表 3、表 4 实验数据可知, 通过辅助工装传递加载力时, 由于辅助工装已经将加载力作用点限制在有效作用区域内, 此时中心加载和偏移加载的作用结果也没有太大区别。综上所述, 在使用多分量测力平台进行测量时, 是否安装辅助工装对力值测量结果指标并不产生较大影响。

2.2.2 力矩测量

在加载板上 Y 方向以力臂为 199.931 mm 处加载力, 测量 X 方向力矩 M_x , 有无安装辅助工装的测量结果比较见表 5 所示。

表 5 M_x 测量结果比对

安装辅助工装			无辅助工装		
非线性	迟滞	力矩误差	非线性	迟滞	力矩误差
0.256	0.189	0.85	0.696	1.036	2.29

通过表 5 实验数据得, 安装辅助工装时的各项测量结果明显优于无辅助工装时的结果。使用多分量测力平台进行力矩测量时, 加载力作用点的位置不同会产生不同的力臂, 就会对力矩的测量误差产生较大影响。加载板直接作用于测力平台时, 加载力作用点位置可能出现在有效作用区域外, 一定程度上对测量结果造成较大的误差影响。安装辅助工装可以将加载力通过辅助工装传递到有效作用区域之内, 这样可以减小由于加载力作用点的位置超出有效作用区域引起的力矩测量误差。

3 结论

本文针对压电式多分量测力平台体积大、结构复杂的固有特性设计不同的实验内容, 以实验测试的方式研究了加载力作用点对压电式多分量测力平台测量结果的影响。通过对实验结果进行分析得出, 在使用压电式多分量测力平台进行测量时, 安装加载板加载或直接作用加载机构加载时的力作用点位置, 一定要在 4 个三分量力传感器的中心线连结所形成的作用区域之内, 才能保证测量数据的可靠性。本文对于指导压电式多分量测力平台的规范使用及其相关校准方法研究具有重要指导意义。

(下转第 38 页)

2) 流动分析

根据实验数据可以整理不同热侧进口压力条件下的冷侧进出口压差随冷侧空气流量变化曲线,如图15所示,热侧进口压力0.11MPa。

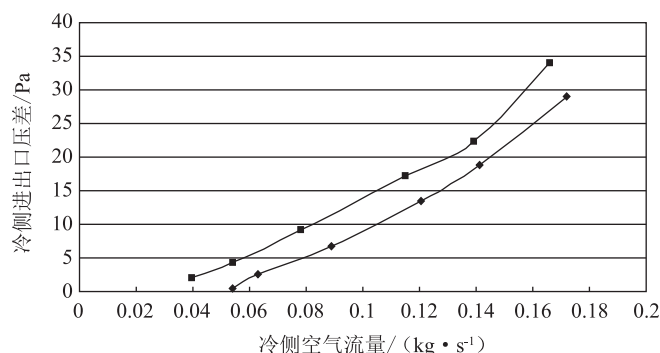


图15 空气冷却器阻力损失对比图

6 结论与展望

1) 试验分析方法

在试验中,由于冷侧为不可压缩流体,因此在保证气侧压力达到发动机状态的水平情况下,采用换热系数和热动力曲线的方式可以相对方便的描述空气冷却器全状态下的换热特性,但对于冷、热侧流体均为可压缩流体的空气冷却器,采用热动力曲线的方式已不再适合,对于此类空气冷却器,应当采用效能-传热单元数曲线描述不同状态点下的空气冷却器性能,即

通过空气冷却器效能 $\varepsilon = \frac{T'_1 - T''_1}{T'_1 - T'_2}$ 以及传热单元数 NTU

来描述。

$$NTU = \frac{KF}{W_{\min}}$$

2) 新测试方法

现代电子技术的飞速发展,尤其是光学技术手段的应用,必然会提高航空发动机用空气冷却器的设计和应用水平,为新型航空发动机

的设计生产提供扎实的技术基础。

参考文献

- [1] 曹玉璋. 航空发动机传热学[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [2] Min JK, Jeong JH, Ha MY, et al. High temperature heat exchanger studies for applications to gas turbines. Heat Mass Transfer, 2009 46: 175 - 186.
- [3] Missirlis D, Donnerhack S, Seite O, et al. Numerical development of a heat transfer and pressure drop porosity model for a heat exchanger for aero engine applications. Applied Thermal Engineering, 2010, 30: 1341-1350.
- [4] D. Missirlis, K. Yakinthos, A. Palikaras, et al. Experimental and numerical investigation of the flow field through a heat exchanger for aero engine applications, Int. J. Heat Fluid Flow 2005, 26: 440-458.
- [5] K. Yakinthos, D. Missirlis, A. Palikaras, et al. Optimization of the design of recuperative heat exchangers in the exhaust nozzle of an aero engine. Applied Mathematical Modelling 2007, 31: 2524-2541.
- [6] A. A. 茹卡乌斯卡斯, 换热器内的对流传热[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [7] F. Parsons, R. Meenaksh, S. Murthy, N. B., Three - Fluid Fuel-Air Heat Exchanger ISABE 99-7204.
- [8] Yves Ribaud, Palaiseau, France. Compact Heat Exchanger Fitted to Engines of The Inverted Type. ISABE: 93-7120.
- [9] Arash Saidi, Bengt Sunden, Daniel Eriksson. Intercoolers in Gas Turbine Systems and Combi-Processes for Production of Electricity. ASME: 2000-GT-0234.
- [10] T. Yoshida, M. Taki, F. Mimura, et al. A New Cooling System for Ultra High Temperature Turbines. ISABE: 93-7073.
- [11] Tilemachos Papadopoulos, Pericles Pilidis. Introduction of Intercooling in a High Bypass Jet Engine. ASME: 2000-GT-150.
- [12] 王晓鲁. 飞机用紧凑换热器及强化换热研究[M]. 北京: 清华大学, 2004.
- [13] 曹玉璋. 实验传热学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.

(上接第58页)

参考文献

- [1] 李培玉, 谭大鹏, 刘端阳, 等. 六分量力传感器及其校准系统[J]. 中国机械工程, 2005, 17(16): 1523-1526.
- [2] 秦海峰, 王磊, 田峰, 等. 多分量测力仪及其校准技术的研究[C]//第三届中国航空学会青年科技论坛文集, 北京: 航空工业出版社, 2008: 399-404.

- [3] 秦海峰, 曹亦庆. 多分量测力仪的研究[J]. 新技术新仪器, 2007, 27(1): 14-16.
- [4] 刘海斌, 元文学, 孟昭莉. 多分量压电晶体测力平台静态标定与 CoP 验证研究[J]. 吉林体育学院学报, 2009, 25(5): 82-84.
- [5] 毕毓秀, 李有朴, 赵广复, 等. YDT-6461 型六分量压电晶体生物力学测力平台的研制与应用[C]//全国运动生物力学学术会议, 1983.