

压电式四向无定心钻削测力仪的研制

高长银¹, 刘江²

(1. 郑州航空工业管理学院 航空工程系, 河南 郑州 450015; 2. 重庆三峡学院 机械工程学院, 重庆 万州 404000)

摘要:根据“力偶矩在平面内移动,其值不变”原理研制出新型压电式四向无定心钻削测力仪。轴向力和切向力分别采用两片 $X0^\circ$ 和 $Y0^\circ$ 晶片对装;扭矩采用4对 $Y0^\circ$ 晶片均布在同一分布圆上,各晶片电荷灵敏度方向与分布圆相切,即可实现无定心扭矩测量。标定结果表明,该测力仪轴向力、径向力和扭矩的线性度和重复性均小于1%,横向干扰小于5%,完全达到了石英力传感器的使用要求。

关键词:压电;钻削测力仪;无定心;标定

中图分类号:TN384 **文献标识码:**A

Manufacture of the Four Component No-centering Drilling Dynamometer

GAO Changyin¹, LIU Jiang²

(1. Dept. of Aeronautics Engineering, Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450015, China;

2. School of Mechanical Engineering, Chongqing Three Gorges University, Wanzhou 404000, China)

Abstract: Based on “the couple can arbitrarily move in the application plane, its value remains unchanged”, a new type of four component no-centering drilling dynamometer is designed. The thrust measuring cell is made of two $X0^\circ$ -Cut quartz discs, and the radial force measuring cell consists of two $Y0^\circ$ -Cut quartz discs. Four pairs of $Y0^\circ$ -Cut quartz discs, whose maximum sensitivity directions are tangent to the distribution circle, constitute the no-centering torque measuring cell. The static calibration results show that both the linearity and repeatability of the thrust, radial force and torque are less than 1%, and the cross talks are also less than 5%, which have full reached the application requirements of piezoelectric quartz sensor.

Key words: piezoelectricity; drilling dynamometer; no-centering; calibration

0 引言

钻削加工中,影响钻削力的主要因素有工件材料、钻头直径、进给量、切削速度、钻头几何参数及钻削条件等^[1]。因此,钻削力的在线监测对钻头结构设计、钻削工艺参数优化及提高加工质量等具有重要意义。与车削、铣削等测力仪相比,压电钻削测力仪是扭矩测量。压电式扭矩测量主要采用“力×力臂”法或“扭转效应”原理。采用“力×力臂”法要求钻头轴线与测力仪中心线重合(即定心性),导致操作繁琐,使用不便^[2]。采用扭转效应检测扭矩虽可实现无定心测量,但量程较小($\leq 9 \text{ N} \cdot \text{m}$),限制传感器应用范围^[3-4]。因此,根据“力偶矩在平面内移动,其值不变”原理,研制了无定心钻削测力仪。其测量时无需定心要求,具有结构简单,操作方便,测量范围大等优点,适用于现场钻削监测。

1 压电式四向无定心钻削测力仪数学模型

四向无定心钻削测力仪是指测力仪能同时感知

X向载荷 F_x 、Y向载荷 F_y 、Z向载荷 F_z 、钻削力矩 M_x ,如图1所示。图中①~④为4个4维压电石英力测量晶组,对称均布在半径为 R 的圆上, X_i 、 Y_j 、 Z_k ($i, j, k=1, 2, 3, 4$)分别为各晶组所感知沿坐标轴X、Y、Z方向力。

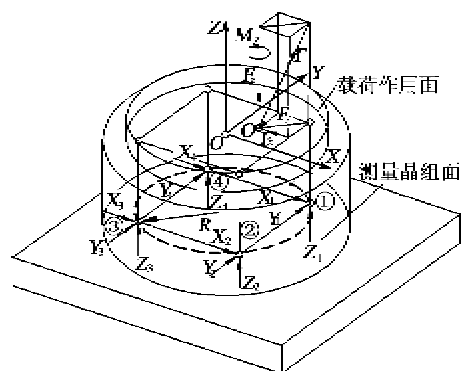


图1 压电式四向无定心钻削测力仪模型
在“力×力臂”法实现无定心扭矩测量时,将4对 $Y0^\circ$ 晶片均布在半径为 R 的圆上,各晶片最大灵

收稿日期:2012-03-03

基金项目:河南省高等学校青年骨干教师资助计划基金资助项目(2011GGJS-140),河南省科技厅科技攻关基金资助项目(112102210413)

作者简介:高长银(1975-),男(汉),河北丰润人,副教授,博士,主要从事压电传感器与执行器的研究。

敏度方向与分布圆相切,如图2所示。图中, F 为切向力, R 为分布圆半径, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 为切向力与力臂法向方向夹角, n_1, n_2, n_3, n_4 为 x 点到 A_1, A_2, A_3, A_4 的距离。

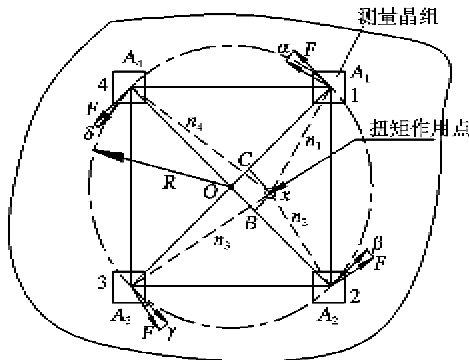


图2 “力×力臂”法无定心扭矩测量原理

当同心钻削力矩 M_O 作用在圆心 O 时,各测量晶组分别受到切向力 F 的作用,由图可知:

$$M_O = \sum_{i=1}^4 RF = 4RF \quad (1)$$

当钻削力矩 M_x 作用在平台上任一点 x 时,则有

$$M_x = \sum_{i=1}^4 M_i = F(n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta + n_3 \cos \gamma + n_4 \cos \delta) \quad (2)$$

考虑 ΔxA_1C 和 ΔxA_3C 可得

$$n_1 \cos \alpha + n_3 \cos \gamma = 2R \quad (3)$$

考虑 ΔxA_2B 和 ΔxA_4B 可得

$$n_2 \cos \beta + n_4 \cos \delta = 2R \quad (4)$$

将式(3)、(4)代入式(2)可得

$$M_x = 4RF = M_O \quad (5)$$

由式(5)可知,利用“力×力臂”法可实现扭矩无定心测量。

2 组合晶组布置

2.1 轴向力测量晶组

采用两片 $X0^\circ$ 晶片“对装”,即两晶片的 y 轴(晶体坐标系)相互错开 180° , z 轴方向相反,在两晶片间粘贴测量电极,如图3所示。

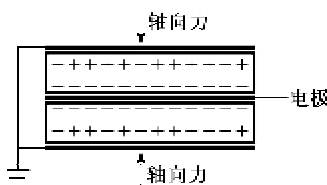


图3 轴向力测量晶组

2.2 切向力测量晶组

切向力测量均采用两片 $Y0^\circ$ 晶片对装,电极粘

贴在两片之间。两晶片 x 轴(晶体坐标系)位于同一直线上且方向相反,与测量方向一致,如图4所示。

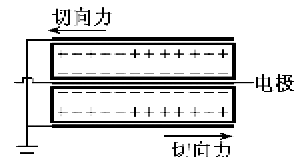


图4 切向力测量晶组

2.3 扭矩测量晶组

采用4对8片 $Y0^\circ$ 晶片对装,各晶片最大灵敏度(晶体坐标系 x 轴)位于同一直线上且方向相反,并与分布圆相切(见图2)。

2.4 组合晶组的布置

考虑到横向干扰,把轴向力测量晶组放在最上面,扭矩测量晶组放在最下面,叠放时要注意各晶组灵敏度方向,如图5所示。

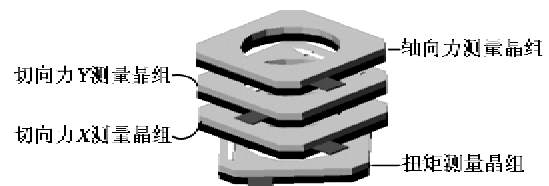


图5 组合晶组排列方式

3 无定心钻削测力仪的结构设计

图6为无定心钻削测力仪结构图。首先将组合晶组用胶固结好,然后贴放在下壳体上表面,通过螺钉将组合晶组、上盖和下壳体连接在一起。各晶组所感知电荷信号由专用插头接出,经电荷放大器放大为便于处理的电压信号^[6]。

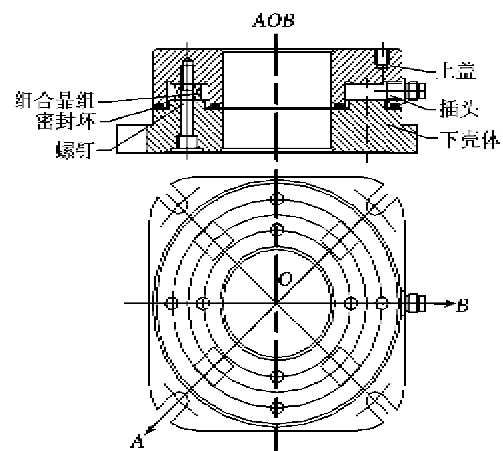


图6 压电式四向无定心钻削测力仪结构简图

4 钻削测力仪的静态标定

在自行研制的新型压电式测力仪多功能静态标

定平台上^[7]对采用轴向力、径向力、扭矩进行标定,结果如图 7~10 所示。

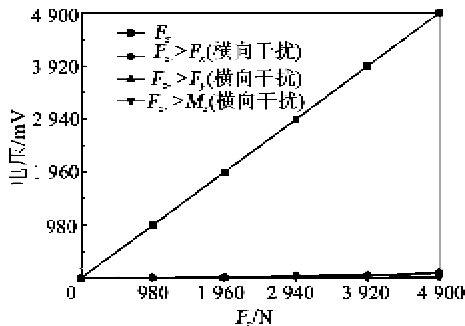


图 7 轴向力 F_z 的标定曲线

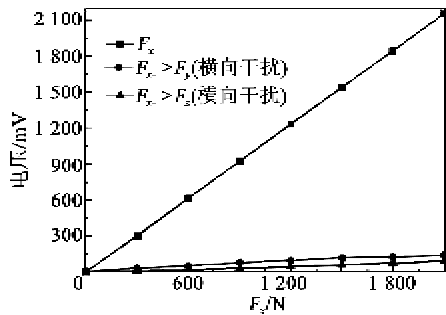


图 8 切向力 F_x 的标定曲线

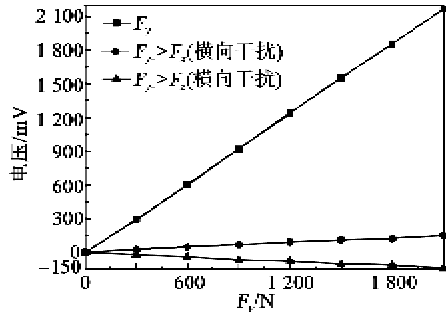


图 9 切向力 F_y 的标定曲线

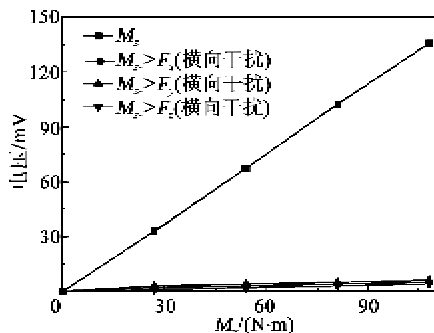


图 10 扭矩 M_z 的标定曲线

由图 7~10 可知,该钻削测力仪轴向力量程为 4 900 N, X、Y 切向力均为 2 100 N, 扭矩为 108 N·m, 各向线性度均小于 1%, 重复性均小于 1%, 且相互间的横向干扰均小于 5%, 满足石英力传感器使用要求^[8]。

5 结论

1) 根据“力偶矩在平面内任意移动, 其值不变”原理, 理论上证明了无定心扭矩测量原理, 并给出各测量晶组以及组合晶组的组成方式。

2) 在标准标定台上完成压电式四向无定心钻削测力仪静态标定。结果表明, 该测力仪线性度、重复性和横向干扰等指标满足石英力传感器使用要求。

参考文献:

- [1] 谢大纲, 袁哲俊. 钻削力测量的新方法[J]. 工具技术, 1999, 33(19): 18-20.
XIE Dagang, YUAN Zhejun. New method of measuring drilling force[J]. Tool Engineering, 1999, 33(19): 18-20.
- [2] 孙宝元, 张怡恭. 压电石英力传感器及动态切削测力仪[M]. 北京: 计量出版社, 1985.
- [3] 韩丽丽, 孙宝元, 钱敏. 新型压电三向钻削测力仪的设计与实验研究[J]. 压电与声光, 2007, 29(3): 263-285.
HAN Lili, SUN Baoyuan, QIAN Min. The design and experiment of new piezoelectric three-direction drilling dynamometer [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2007, 29(3): 263-285.
- [4] 高长银, 刘江. 压电石英晶片扭转电荷灵敏度研究[J]. 压电与声光, 2011, 33(6): 852-855.
GAO Changyin, LIU Jiang. Research on the torsion charge sensitivity distribution of piezoelectric quartz disc[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2011, 33(6): 852-855.
- [5] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994.
- [6] 高长银, 赵辉, 马龙梅, 等. 电荷放大器对石英传感器动态特性的影响[J]. 压电与声光, 2006, 28(6): 654-656.
GAO Changyin, ZHAO Hui, MA Longmei, et al. Influence of charge amplifier on dynamic characteristics of quartz sensor[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2006, 28(6): 654-656.
- [7] 高长银, 李万全, 钱敏. 新型压电式测力仪多功能静态标定平台的研制[J]. 机械工程师, 2012(7): 79-80.
GAO Changyin, LI Wanquan, QIAN Min. Design of multifunctional static calibration platform for a new-type piezoelectric drilling dynamometer[J]. Mechanical Engineer, 2012(7): 79-80.
- [8] Scientific Technical Committees of CIRP-STCC. Reports of the scientific technical committees of CIRP-STCC; recommendation of calibration and operation of machined-tool dynamometer[J]. CIRP, 1974, 23(2): 295-306.