

四极杆质量分析器的杆系位置度检测方法研究

蒋家东, 刘兴宝

中国工程物理研究院机械制造工艺研究所

摘要: 四极杆质量分析器是四极质谱仪的核心部件之一, 主要由四根圆柱极杆组成, 四根极杆之间的相互位置决定其物理性能, 其位置度检测十分关键。由于极杆较长, 且四极杆质量分析器中无基准平面, 常用的位置度检测方法不适合该位置度检测及评定。通过测量不同轴截面处相邻极杆距离、相对极杆距离, 根据测量数据进行位置度评价的方法适合四极杆质量分析器的杆系位置度评价, 也适合类似杆系的位置度检测。

关键词: 圆柱极杆; 四极杆质量分析器; 位置度

中图分类号: TG806; TH84

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7008.2019.11.028

Position Measurement Method of Quadrupole Mass Filter

Jiang Jiadong, Liu Xingbao

Abstract: The quadrupole mass filter is one of the most important part in mass spectrometry (MS) used in the analysis area, which is mainly made by four cylinder poles. The position tolerance of cylinder poles show important effect on the function of quadrupole mass filter. The length of poles are long, and there is no datum plane for measure, common way of measuring position is not fit for such situation.

Keywords: cylinder pole; quadrupole mass filter; position accuracy

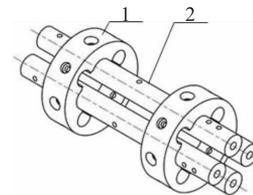
1 引言

四极杆质量分析器是四极杆质谱仪的核心部件, 主要由四根圆柱电极和两个陶瓷座构成, 陶瓷座固定电极, 每个圆柱电极类似一根高精度轴。在相对电极上施加特定电压, 4个圆柱电极之间产生特定电场, 圆柱电极的位置精度直接决定四极杆质量分析器的性能^[1]。4个圆柱的位置精度即为其位置度, 设计要求精度在 $4\mu\text{m}$ 内产品才可能具备较好的物理性能。尽在加工过程中对陶瓷座上的安装孔组提出了较高的位置精度要求, 但在装配时发现, 孔与轴的接触部位并不一定完全接触^[2], 圆柱电极和陶瓷座在制造过程中会产生累计误差, 测量所得的孔或轴的形位误差可能并不能全面反映零件的表面质量, 导致装配后的位置精度达不到预期要求。因此, 仅靠陶瓷座定位孔的位置公差约束实现四极杆质量分析器的位置精度是不够的, 且极杆长度一般大于 131mm , 极杆之间的位置精度已无法用常规的检测方法实现, 有必要根据组件的特性研究其位置精度的相应的检测方法以保证产品质量^[3,4]。

2 检测方案设计

图1为圆柱电极的四极杆质量分析器。圆柱极

杆尺寸、形状精度均加工达 $1\mu\text{m}$, 陶瓷座上的定位孔的位置度为 $2\mu\text{m}$, 要求4根极杆装配后的位置精度要求不大于 $4\mu\text{m}$, 以保证与4根极杆相切的虚拟圆柱的圆柱度不大于 $4\mu\text{m}$, 以此达到较高的质量分辨率。如图2所示, 理论上, 四根圆柱的轴线应在虚拟正方形的顶点上。



1. 陶瓷座 2. 极杆

图1 圆柱极杆四极杆质量分析器

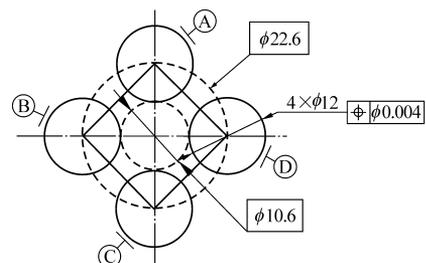


图2 四根极杆的位置精度要求

与常见的孔系位置度不同, 陶瓷座仅起定位作用, 其端面并无精度要求。仅有极杆之间的位置关系, 并无垂轴基准面, 故常用的位置度检测方法并不适合应用于此, 需要研究该位置的检测方法。

如图2所示, 任意垂轴截面的四极场的场圆是

个虚拟圆,沿圆柱杆的轴线方向则是一个虚拟的圆柱体,控制各圆柱的位置是希望获得该虚拟圆柱较小的圆柱度值。在实际测量中,该虚拟圆柱体无法直接检测和评定,只有通过测量相邻、相对极杆之间的距离,计算评定极杆之间的位置精度,才能间接评定该虚拟圆柱体的圆柱度,检测方案设计如下:

①如图 3a 所示,测量某个截面 4 个边长 $a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}$ 判断四根杆的平行情况;测量相对极杆距离 b_{11}, b_{12} , 同时测量这 6 个参数才能准确判断 4 个圆的圆心是否构成一个正方形。

②沿极杆轴线方向,均布测量多个截面,每个截面均按前述方法测量,如图 3b 所示。计算偏离正方形分布的距离差,在 4 根杆误差很小时直接给出测量结果,若极杆直径存在显著差异时,计算尺寸链消除其影响。

③综合全部测量数据,评价组件的位置精度。

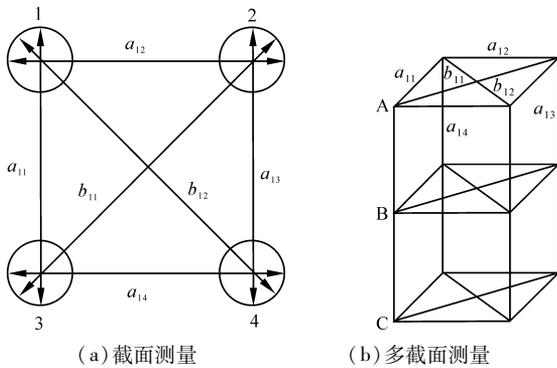
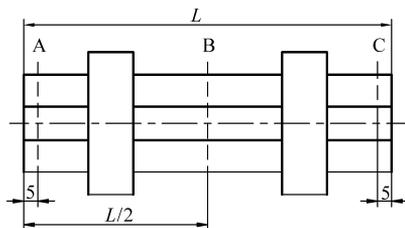


图 3 组件测量内容

3 杆系位置度的检测方法

3.1 相邻极杆距离测量及计算

测量位置见图 4, A、C 测量位置距端面约 5mm, B 测量位置为极杆对称中心。应避免测量位置处有孔等影响测量的结构要素。

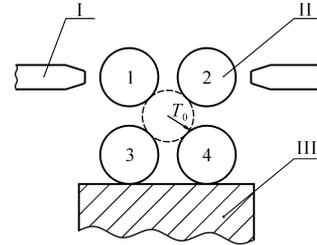


A. B. C. 测量位置

图 4 测量位置

四极杆质量分析器放置在工作台上,见图 5。在规定的测量位置处选择满足精度要求的测长仪测量。四极杆质量分析器三个位置处的极杆距离。

每个测量位置共测 4 组相邻极杆距离数据,三个测量位置共 12 组测量数据(见表 1)。表中, a_{ij} 为相邻极杆距离, $i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3; \delta_i$ 为相邻极杆平行度; γ_j 为相邻极杆距离差值。



I. 测头 II. 极杆 III. 工作台 1. 2. 3. 4. 极杆序号

图 5 相邻极杆测量

表 1 相邻极杆距离测量数据 (mm)

杆号	A 处	B 处	C 处	平行度 δ_i
1-2	a_{11}	a_{12}	a_{13}	δ_1
2-3	a_{21}	a_{22}	a_{23}	δ_2
3-4	a_{31}	a_{32}	a_{33}	δ_3
4-1	a_{41}	a_{42}	a_{43}	δ_4
差值 γ_j	γ_1	γ_2	γ_3	—

根据表 1 中的相邻极杆距离 a_{ij} , 相邻极杆平行度 δ_i 的计算式为

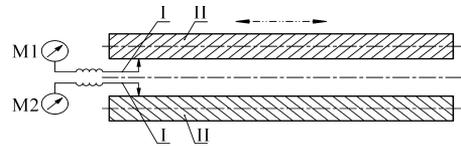
$$\delta_i = \max(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}) - \min(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}) \quad (1)$$

根据表 1 中相邻极杆距离 a_{ij} , 相邻极杆距离差值 γ_j 的计算式为

$$\gamma_j = \max(a_{1j}, a_{2j}, a_{3j}, a_{4j}) - \min(a_{1j}, a_{2j}, a_{3j}, a_{4j}) \quad (2)$$

3.2 相对极杆距离测量及计算

相对极杆测量有内测法和外测法两种。根据四极杆质量分析器的使用情况,宜使用内测法测量相对极杆距离,当无适宜的内测相对极杆平行度测量仪器时,采用外测法测量相对极杆距离。



I. 测头 II. 极杆 M1. M2 为测头指示器

图 6 内测相对极杆

(1) 内测法测量相对极杆测量方法

如图 6 所示,两个测头进入相对极杆之间,相对四极杆质量分析器移动,从极杆一端开始测量,测量相对极杆母线距离,相邻测量位置间距不大于 5mm。分别记录每个测量位置处的测头读数和 M_{kj} (见表 2)。表中, M_{kj} 为测量 k 相对极杆时两个测头在测量点位 j 处的读数, $k = 1, 2; j = 1, \dots, N; \Delta_k$ 为相对极杆平行度; β_m 为相对极杆距离差值, $m = 1, \dots, N$ 。

表 2 内测相对极杆数据 (mm)

杆号	1	...	N	平行度 Δ_k
1-3	M_{11}	...	M_{1N}	Δ_1
2-4	M_{21}	...	M_{2N}	Δ_2
差值 β_m	β_1	...	β_N	—

根据表 2 中相对极杆距离 M_{kj} , 可得相对极杆平行度 Δ_k 为

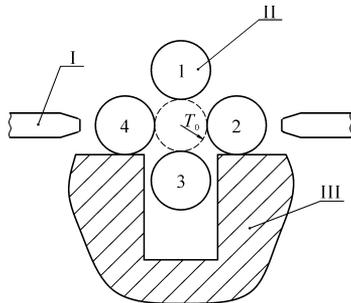
$$\Delta_k = \max(M_{k1}, \dots, M_{kN}) - \min(M_{k1}, \dots, M_{kN}) \quad (3)$$

根据表 2 中相对极杆距离 M_{kj} , 可知相对极杆距离差值 β_m 为

$$\beta_m = |M_{1m} - M_{2m}| \quad (4)$$

(2) 外测法测量相对极杆

如图 7 所示, 四极杆质量分析器放置在工作台上。选择满足精度要求的测长仪测量四极杆质量分析器 3 个位置处的极杆距离。



I. 测头 II. 极杆 III. 工作台 1. 2. 3. 4. 极杆序号

图 7 外测相对极杆

每个测量位置共测 2 组相对极杆距离数据, 3 个测量位置共 6 组测量数据(见表 3)。表中, b_{kj} 为相对极杆距离, $k = 1, 2; j = 1, 2, 3; k$ 为相对极杆平行度; α_j 为相对极杆距离差值。

表 3 外测相对极杆距离数据 (mm)

杆号	A 处	B 处	C 处	平行度 δ_i
1-3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	Δ_1
2-4	b_{21}	b_{22}	b_{23}	Δ_2
差值 α_j	α_1	α_2	α_3	—

根据表 3 相对极杆距离数据 b_{kj} , 计算相对极杆平行度 Δ_k , 有

$$\Delta_k = \max(b_{k1}, \dots, b_{k3}) - \min(b_{k1}, \dots, b_{k3}) \quad (5)$$

按表 3 相对极杆距离数据 b_{kj} , 计算相对极杆距离差值 α_j , 有

$$\alpha_j = |b_{1j} - b_{2j}| \quad (6)$$

如果仅从与极杆相切的场圆考虑, 则 $\max(\Delta_k, \alpha_j), k = 1, 2; j = 1, 2, 3$ 即为四极杆质量分析器的场圆变化, 直观反映了四极杆质量分析器的对杆位置情况。

4 结果评定

在得到极杆之间距离的测量数据后, 需要根据测量数据计算极杆的位置精度。在测量相对极杆时, 有极杆外部测量相对极杆距离与从内部测量极杆距离的两种方法, 因此, 位置度计算也有两种方法。采用内测法测量相对极杆距离时, 以评定方法 A 计算位置度, 依据四极杆质量分析器的使用情况, 优先采用这种方法; 否则, 以评定方法 B 计算位置度。

(1) 评定方法 A

根据表 1 中的相邻极杆平行度 δ_i 、相邻极杆距离差值 γ_j 及表 2 中的相对极杆平行度 Δ_k 、相对极杆距离差值 $\beta(i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3; k = 1, 2; m = 1, \dots, N)$, 可知位置度为

$$A_q = \max(\delta_i, \gamma_j, \Delta_k, \beta_m) \quad (7)$$

(2) 评定方法 B

根据表 1 中的相邻极杆平行度 δ_i 、相邻极杆距离差值 γ_j 及表 3 中的相对极杆平行度 Δ_k 、相对极杆距离差值 $\alpha_j(i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3; k = 1, 2)$, 可知位置度为

$$A_q = \max(\delta_i, \gamma_j, \Delta_k, \alpha_j) \quad (8)$$

5 应用实例

对一编号为 mwj1506-101 的圆柱杆四极杆质量分析器进行了外测邻杆距离和内测对杆距离。外测相邻杆距离数据见表 4, 内测对杆数据较多, 已将测量方法及数据采集、处理过程编制成软件, 自动测量、分析及显示, 得到图 8 所示结果。按本位置度评定方法 A, 则该四极杆质量分析器的位置度为 0.0016mm, 即 $\max(0.0016, 0.0012, 0.0117)$ 。

表 4 实验件的测量数据 (mm)

杆号	A 处	B 处	C 处距离	平行度
1-2	28.0094	28.0099	28.0091	0.008
2-3	28.0086	28.0096	28.0098	0.0012
3-4	28.0087	28.0083	28.0087	0.0004
4-1	28.009	28.0095	28.0088	0.0007
差值	0.0008	0.0016	0.0011	—

用本文的四极杆质量分析器位置度的检测方法对批量生产的一批四极质量分析器的进行检测并评价。若位置度达到设计指标, 则送交质谱测试, 实验结果反映良好^[5]; 若位置度超差, 质谱分辨效果还符合预期, 表明所述位置度的测量和计算方法合适。

M 螺纹塞规检测 MJ 工件内螺纹的可行性分析

陈祖芳,何英,高雅

中国航空工业标准件制造有限责任公司

摘要: 通过分析 M 螺纹、MJ 螺纹的现行国家标准、国家军用标准以及相应的螺纹量规的设计标准,得出利用 M 螺纹塞规检测 MJ 工件内螺纹可行的结论,明确了要求、规则和判定条件,降低了企业的量具成本费用,缩短了产品开发周期,同时为完善量具设计标准提供了实践依据。

关键词: M 螺纹塞规;检测;MJ 工件内螺纹;判定条件

中图分类号: TG115;TG61;TH121 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2019.11.029

Feasibility Analysis of M Thread Plug Gauge for Inspecting Internal Thread of MJ Workpiece

Chen Zufang, He Ying, Gao Ya

Abstract: By analyzing the current national standards of M thread and MJ thread, the national military standards and the corresponding design standards of thread gauge, it is concluded that it is feasible to use M thread plug gauge to detect the internal thread of MJ workpiece, and the requirements, rules and judging conditions are defined, thus reducing the cost of measuring tools and shortening the product development cycle. At the same time, it provides a practical basis for improving the design standard of measuring tools.

Keywords: M thread plug gauge; inspecting; MJ workpiece internal thread; judging condition

1 引言

我公司是制造紧固件的企业,生产的产品中约有 30% 是带有内螺纹的螺母等产品,该部分产品产量约 450 万件/年,涉及螺纹种类主要有执行国标

(GB) 的 M 螺纹即普通螺纹(以下称 M 螺纹)、执行国军标(GJB)的 MJ 螺纹、美国军用标准(MIL)的 UNJ 系列统一加强螺纹等,螺纹大径规格从 2 - 50mm,螺距从 0.25 - 4mm,同一尺寸规格的螺纹还涉及不同的基本偏差和不同的公差等级。

生产一项带内螺纹的产品,螺纹塞规是必需的量具。若该项产品需进行表面涂覆处理,所需的螺

收稿日期: 2019 年 1 月

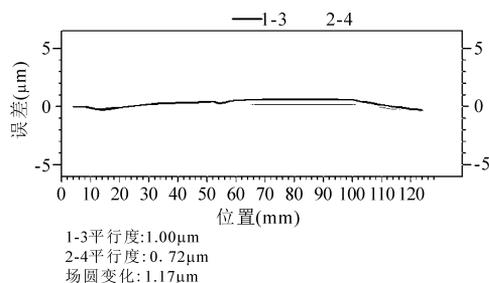


图 8 内测对杆曲线

6 结语

常见位置度的检测对象多为孔系或槽系零件,检测基准体系多由孔所坐落的平面、轴构成。本文杆系比较罕见,不涉及基准平面,仅为杆之间的位置关系。通过检测杆系不同截面处相互极杆的距离,确定了位置度的评价方法,解决了检验的难题,拓展了位置度检测的实践。

参考文献

- [1] Raymond E March, Richard J Hughes. Quadrupole storage mass spectrometry [M]. New York: John Wiley & Sons, 1981:31 - 51.
- [2] 吴定柱,蒋家东,易忠全,等. 四极质量分析器装配工艺研究[J]. 机械设计与制造,2014(5):73 - 78.
- [3] 王继兴. 行星架销轴位置精度误差的控制[J]. 制造技术与机床,2010(9):82 - 84.
- [4] 汪莲莲,孔晓玲,刘素梅,等. 基于 CETOL 的成组孔位置精度设计与分析[J]. 机械设计,2016(12):47 - 51.
- [5] 蒋家东,袁道成,岳晓斌,等. 四极质量分析器的几何量检测研究[J]. 制造技术与机床,2015(2):35 - 38.

第一作者:蒋家东,高级工程师,中国工程物理研究院机械制造工艺研究所,621900 四川省绵阳市

First Author: Jiang Jiadong, Senior Engineer, Institute of Mechanical Manufacturing Technology, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China