

文章编号:1000-582X(2005)02-0008-04

实现二维精密调整的双偏心机构理论及试验*

周 忆, 吴存学, 廖 强, 蔡 飞

(重庆大学机械工程学院, 重庆 400030)

摘 要:给出一种用于特殊结构要求下进行精密的二维调整的双偏心机构的结构和工作原理,建立了精确的数学模型,并用仿真模型对理论模型进行了仿真和相关分析,同时对实际机构进行了相关的试验。分析研究表明,该双偏心二维精密调整机构的工作原理及数学模型是正确的,在一定加工精度和控制精度的条件下,其调整误差能满足使用的要求;实验数据初步分析表明圆度误差、偏心量误差是调整误差的主要来源。

关键词:精密调整;二维调整;双偏心机构

中图分类号:TH701

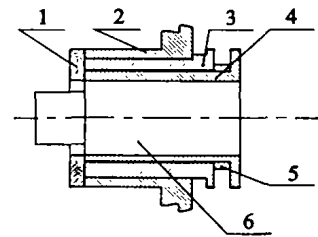
文献标识码:A

工程实际应用中有许多场合需要实现直线运动及其精密的调整,实现直线位移及其精密调整有多种方式,如精密滚珠丝杠,液压、气压传动,甚至直线电机,压电式直线驱动器等^[1]。但在某些特殊要求的场合,如空间尺寸限制,环境的限制(真空状态、不能有油、气等逸出),输出力要求等^[2]。采用双偏心机构,是在特定条件下实现二维直线位移及其精密调整的有效解决方案。该机构具有结构紧凑,无油、气等物质逸出,由伺服电机(或步进电机)驱动可实现高精调整的特点。文中介绍了一种应用于特殊要求场合的双偏心二维精密调整机构的工作原理及数学模型,通过建立仿真模型对其进行分析,并讨论有关试验结果及问题。

1 二维精密调整双偏心机构工作原理

图1为二维精密调整双偏心机构的结构示意图。限制机构1由两滚珠导轨组成,限制被调整件6只能在 x, y 方向移动。内外偏心套3,4组成二维矢量系,当内外偏心套处于不同的位置,即可获得被调整件6在平面上的 x, y 两个方向位移。该结构相当紧凑、简单。

双偏心结构是由如图2所示的机构简图扩大运动副衍生出来的机构。双偏心结构相当于是12和23两杆的组合机构,1处为一固定旋转副,2处为两杆的连



1. 限制机构 2. 固定机座 3. 外偏心套
4. 内偏心套 5. 隔套 6. 被调整件

图1 结构示意图

接旋转副,分别在1和2处装入驱动,就如机械手臂一样,在3处的被调整件能达到半径为 $r = |e_1| + |e_2|$ 的圆平面上任何一点。将1运动副扩大至大虚线圆(外偏心套),2处的运动副扩大至小虚线圆处(内偏心套),由此而得图1所示的双偏心机构。

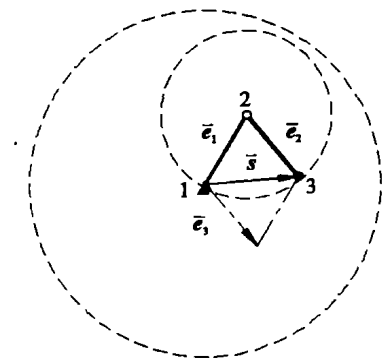


图2 机构简图

* 收稿日期:2004-11-06

基金项目:教育部重点科学技术项目(重点01146)资助

作者简介:周忆(1957-),女,四川成都人,重庆大学教授,博士,主要从事机械电子工程的教学与研究。

由于 1 点固定不动,由 e_1, e_2 合成的矢量 S 等效于由 e_1, e_3 合成。故其计算模型可以看作是绕固定点 1 的两矢量合成的。为便于计算,将两偏心矢量转化为同在一固定点的两矢量,如图 3 数学模型推导图所示。

2 数学模型及仿真分析

2.1 数学模型的建立

假定两偏心套的偏心量相等均为 e ,两偏心量矢量方向的初始位置是 e_{10}, e_{20}, e_{10} 与 x 轴夹角为 β_1, e_{20} 与 x 轴交角为 β_2 (如图 3 实线所示)。若合成矢量即被调整件初始位置为 $S_0(x_0, y_0)$, 将其调整到 $S(x, y)$ 处。现在推导两偏心矢量 e_1, e_2 所需转动的角度与调整坐标 (x, y) 的关系^[3]。

由坐标 (x, y) 的值,可求出合成矢量的大小 $|s|$ 为:

$$|s| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1)$$

s 与 x 正向所成角度 α 讨论如下

1) 当 $x > 0$ 时

$$\alpha = 0^\circ \quad (y = 0)$$

$$\alpha = \arctan \frac{y}{x} \quad (y > 0)$$

$$\alpha = 360^\circ - \arctan \frac{y}{x} \quad (y < 0)$$

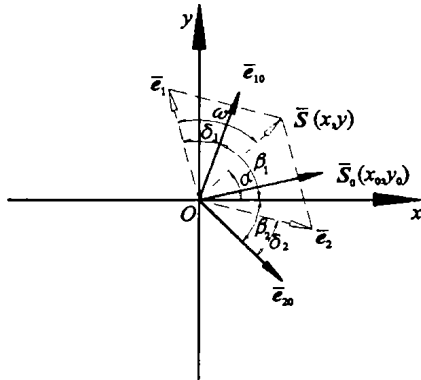


图 3 数学模型推导图

2) 当 $x = 0$ 时

$$\alpha = 0^\circ \quad (y = 0)$$

$$\alpha = 90^\circ \quad (y > 0)$$

$$\alpha = 270^\circ \quad (y < 0)$$

(3) 当 $x < 0$ 时

$$\alpha = 180^\circ \quad (y = 0)$$

$$\alpha = 180^\circ - \arctan \frac{y}{x} \quad (y > 0)$$

$$\alpha = 180^\circ + \arctan \frac{y}{x} \quad (y < 0)$$

由假设可知合成矢量 s 在两偏心矢量 e_1, e_2 夹角 ω 的角平分线上,故可求得:

$$\omega = \arccos \frac{|s|}{2e} \quad (2)$$

由图可求得两偏心矢量 e_1, e_2 应转的角度 δ_1, δ_2 :

$$\delta_1 = \beta_1 - (\alpha + \omega) \quad (3)$$

$$\delta_2 = \omega - (\alpha - \beta_2) \quad (4)$$

式(1)、(2)、(3)、(4)即为二维精密调整双偏心机构的数学模型。两偏心套 e_1, e_2 转过相应的角度 (δ_1, δ_2) ,即可将被调整件从初始位置 (x_0, y_0) 调整到 (x, y) 。若需继续调整,则(3)、(4)式中的 β_1, β_2 代入以下的值:

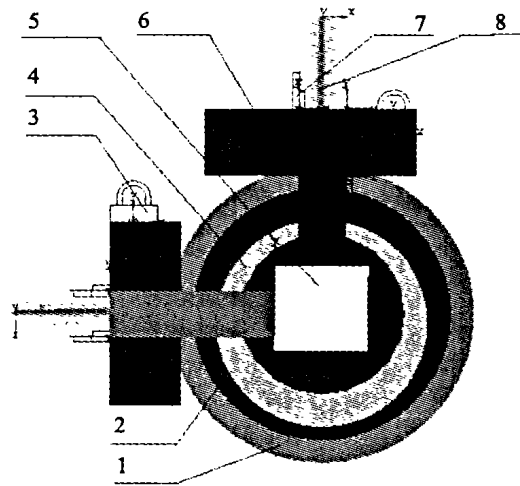
$$\beta_1 = \beta_1 + \delta_1 \quad (5)$$

$$\beta_2 = \beta_2 + \delta_2 \quad (6)$$

其中 δ_1, δ_2 为正时, e_1, e_2 顺时针转,反之则逆时针转。

2.2 数学模型的仿真实验

图 4 为验证上述数学模型的仿真模型图。该仿真模型中,2、4、5 分别两两以转动副连接,内、外偏心套 2、4 对被调整件 5 的调整运动通过传递块 9 和位移测量弹簧 8 输出,传递块 9 由于移动约束副 7 的限制,限制了被调整件 5 的转动自由度,使其只能有 x, y 向的移动自由度。当在内、外偏心套 2、4 上都加上驱动,由各种约束副的限制和运动的传递,通过测量固定刚度的弹簧 8 的变形,就可以知道被调整件的位移,从而实现机构的仿真^[4-7]。



1 - 外固定套, 2 - 外偏心套, 3 - 固定约束副, 4 - 内偏心套, 5 - 被调整件, 6 - 移动约束块, 7 - 移动约束副, 8 - 位移测量弹簧

图 4 (Adams) 仿真模型图

用以上机构仿真模型和理论数学模型按表 1 的数据进行计算(样机偏心量 $e_1 = e_2 = 4 \text{ mm}$),得到图 5 所示曲线。曲线 1 为数学模型计算的曲线,曲线 2 为机构仿真模型计算的曲线(二者基本上重合为一条曲线)。图 6、图 7 为 x 向、 y 向二者的偏差值。

表1 调整件的调整量 单位:mm

x	2.5	2.0	1.5	1	-2.5	-2	-1.5	-1
y	3	2	3	2	3	2	3	2
x	-2.5	-2	-1.5	-1	2.5	2.0	1.5	1
y	-3	-2	-3	-2	-3	-2	-3	-2

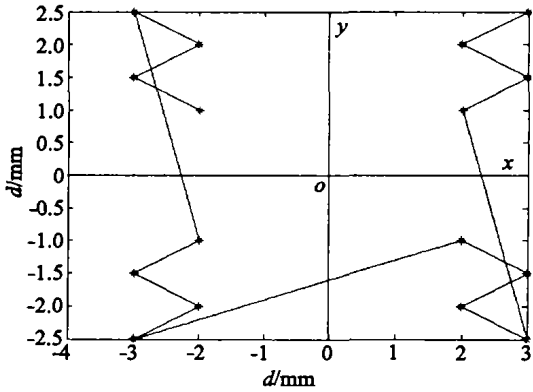


图5 计算和仿真曲线

* 为仿真数据确定的点,实线交点×为预调整点

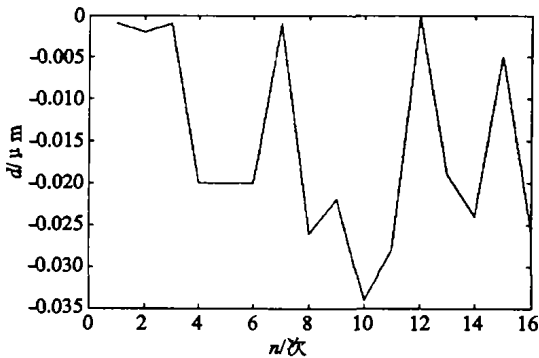


图6 x 向的偏差图

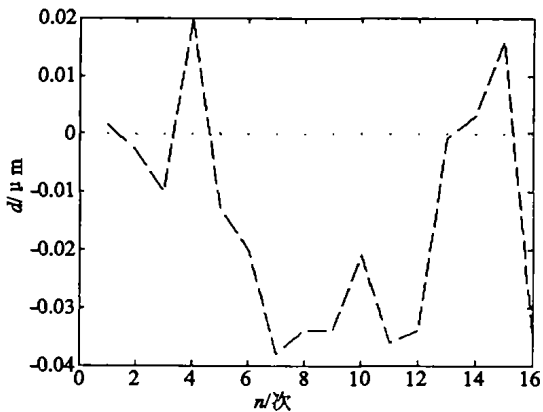


图7 y 向的偏差图

由图6、图7可以看出,机构仿真结果和按数学模型计算的结果偏差很小,最大值在y方向,约为0.04。

图6、图7表明,所建立的数学模型是正确的,该数学模型的理论计算结果与该模型的精度取决于反三角函数求得角度所取的有效位数,当取有效位为0.001°时,其最大偏差约为36nm。实际应用中,若采用步进电机驱动,若最小分辨率为0.009°,如再加上一级传动,完全可以精确到0.001°,甚至更高。故该

算法本身的误差是可忽略的。

3 实验研究

对图1所示实际的二维精密调整双偏心机构进行试验(用表1的数据),图8为试验系统框图。试验结果如图9所示。

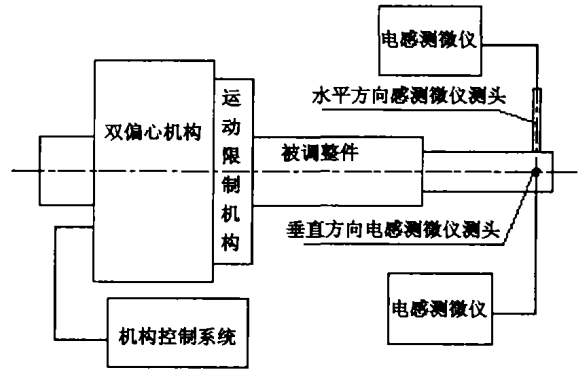


图8 试验系统框图

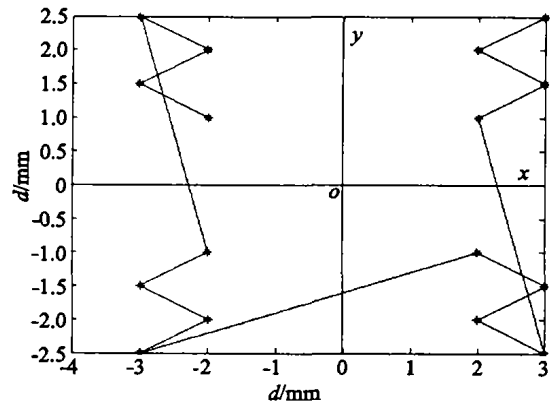


图9 试验曲线图

* 为实验数据确定的点,实线交点×为预调整点

图10、图11为试验数据与理论计算值在x向、y向的偏差图。

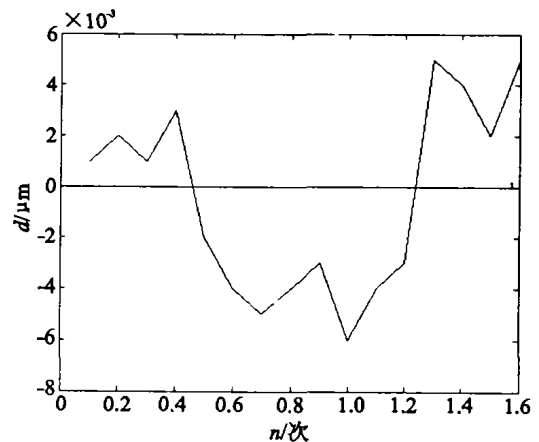


图10 实测值与理论值x向偏差图(单位:mm)

由图9可知,试验曲线和理论曲线的趋势是相同的,而x向、y向的偏差较大,x向最大偏差为6.19μm,y向最大偏差为6.10μm。分析其原因,一

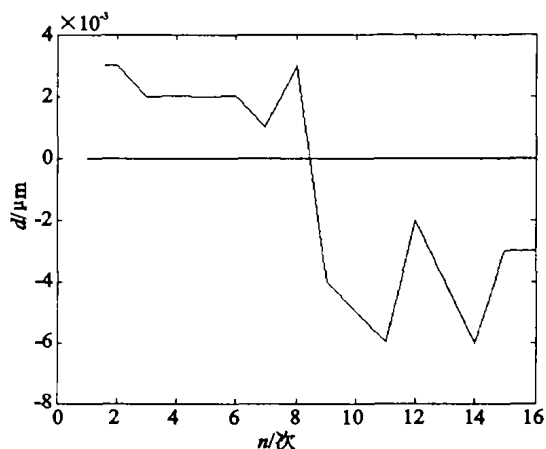


图 11 实测值与理论值 y 向偏差图(单位: μm)

是由于机构加工误差较大,由于使用需要,实际机构的偏心套筒为薄壁长套筒,长度约 400 mm,壁厚为 5 mm,因而加工制造较困难(实测圆度误差 $2 \mu\text{m}$,偏心量测量误差约为 $3 \mu\text{m}$),而控制步进电机时的计算是按理论模型进行的,没有考虑加工误差(圆度误差,偏心量误差)等因素,带来一定的调整误差;二是由于使用空间的限制,内、外偏心套以及固定机座之间只能采用滑动轴承,增大了运动件之间的摩擦,也产生了一定的调整误差。

4 结 论

通过上述理论分析和试验,所设计的双偏心二维

精密调整机构能满足特殊场合工作的要求;所给出的理论计算模型是正确的,该数学模型的精度取决于反三角函数求得角度所取的有效位数,一定的有效位数即可满足使用要求;该机构的调整精度主要取决于制造加工和装配精度,如能精确测量出偏心误差和 360° 圆度误差曲线,并对控制模型进行修正,则可达到很高的调整精度。(其最小调整量可达到亚微米级,调整精度可达到 $0.5 - 3 \mu\text{m}$ 之间)。

根据上述分析所设计的双偏心二维精密调整机构已用于实际当中,能满足使用要求。

参考文献:

- [1] 盛鸿亮. 精密机构与结构设计[M]. 北京:北京理工大学出版社,1993.
- [2] 阮丽江,李永德. 五自由度模拟靶定位工作[J]. 光电工程, 2002,26(3):58-63.
- [3] 魏修亭,谭建荣. 基于约束的平面机构运动建模及其应用[J]. 机械科学与技术,1999,(3):386-389.
- [4] 戴同,宗志坚,吴明华. 机械分析与仿真中关键技术研究[J]. 中国机械工程,1999,7(3):82-84.
- [5] 何连珠. 动力仿真技术在结构设计中的应用[J]. 飞机设计,1994,(2):12-15.
- [6] 何国伟. 误差分析方法[M]. 北京:国防工业出版社,1978.
- [7] 李军,邢俊文,覃文洁. ADAMS 实例教程[M]. 北京:北京理工大学出版社 2002.

Theory and Testing Research on Realizing Two-dimension Precision Adjustment with Double Eccentric Mechanism

ZHOU Yi, WU Cun-xue, LIAO Qiang, CAI Fei

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: This paper introduces the structure and operating principle of double eccentric mechanism used in a special environment to realize the two-dimension precision adjustment, establishes its precise mathematic model, analyzes the theory model with simulation model, and researches it by test. All of which indicate that the operating principle and mathematic model of double eccentric two-dimension precision adjustment mechanism are right. Under the condition of some processing and control accuracy, the adjusting error can satisfy the requirement. Through analyzing on the test data, it shows the circular degree and eccentric errors are the main sources of adjusting errors.

Key words: precision adjustment; two-dimension adjustment; double eccentric mechanism