

三坐标测量机机动操作控制系统

韩聚奎^① 杜亚联 张敏

(中国农业大学车辆工程学院)

摘要 针对3坐标测量机用户和生产厂家的需要,按照3坐标测量机机动操作系统技术指标的要求,设计并研制出由步进电机驱动系统组成的3坐标测量机机动操作系统。该系统可实现单轴操作、2轴或3轴的联动;运动方式有连续运动和点动步进2种选择;连续运动速度可在 $0.4\sim 4\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 内无级可调;点动步进距离不大于 $15\text{ }\mu\text{m}$ 。系统还具有急停和测头自动保护等功能。

关键词 3坐标测量机;步进电机;机动操作系统

中图分类号 TP 271.4

Study on Power-driven Operating Control System of 3-Coordinate Measuring Machine

Han Jukui Du Yalian Zhang Min

(College of Vehicle Engineering, CAU)

Abstract To fulfill the user's and manufacturer's demand, a 3-Coordinate Measuring Machine (3-CMM) with power-driven control system is developed composed of stepping motor driving device to meet the requirements of different technological index. The single-axis operation and the double or three axes combining movements can be realized by that system. The system has continuous and stepping movement patterns. The continuous movement velocity can be continuously adjusted in the range of $0.4\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ to $4\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ and the stepping distance is no more than $15\text{ }\mu\text{m}$. The system has the functions of instant stop and measuring head automatic protection.

Key words 3-coordinate measuring machine; stepping motor; power-driven operating-control system

大型3坐标测量机不断向高精度、高效率以及多功能方向发展,对其操作控制系统的要求越来越高。操作控制系统的性能和功用直接影响测量机的测量精度和工作效率。目前,国内生产的大型3坐标测量机大部分采用手动操作系统,测量精度低、测量速度慢,并且在测量大工件时,需配有空间作业设备或架设空间过道,给测量工作带来诸多不便。国外生产的带机动操作系统的大型3坐标测量机,虽有测量精度高、操作方便等优点,但由于价格昂贵,目前大多仅限于在高科技研究领域和资金雄厚的企业使用。

笔者研制开发的大型3坐标测量机的机动操作系统,制造成本低,测量精度较高,操作简便,可实现3坐标测量机各轴的连续运动和点动运动,各轴的运动速度可在 $0.4\sim 4.0\text{ m}\cdot$

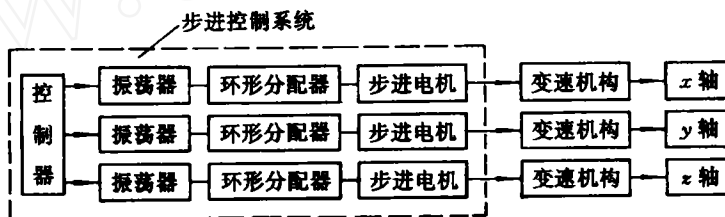
收稿日期:1998-06-05

^①韩聚奎,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)47信箱,100083

min^{-1} 范围内无级可调。点动控制时,每点动1次,3坐标测量机各轴的步距不大于 $15\ \mu\text{m}$ 。该机动系统可以实现任意2轴或3轴的同时联动或单轴运动。系统具有测头接触被测件进行声光报警和测头安全保护功能,即测头接触被测件,产生 $50\ \mu\text{m}$ 变形后可发出声光报警信号,并控制各轴的步进电机自锁,使各轴停止在原接触被测件的位置,起到保护测头的作用。该机动系统还具有超载保护功能,当各轴在运动中超载时,步进电机将自动停止转动,以一定的力矩锁定各轴的当前位置。

1 机动操作系统的组成

所研制的与国产SZJ-3015型测量机配套的机动操作系统由变速机构和步进控制系统组成:变速机构包括1对高精度减速齿轮和原机的手动摩擦轮;步进控制系统由步进电机、环形分配器、振荡电路和控制器等组成(参见图1)。



减速齿轮和步进电机分别装在测量机各轴的滑架

图1 机动操作系统的组成

上,步进电机驱动减速齿轮和摩擦轮转动,摩擦轮在轨道上的滚动,驱动各轴滑架在轨道上滑动。步进控制系统采用步进电机开环控制方式,选用的步距角为 $0.45(^{\circ})\cdot\text{步}^{-1}$,经变速机构减速后可保证系统具有较高的点动步进精度和要求的运动速度。

步进控制系统的控制器做成便携式,便于用户使用。控制器可以控制测量机 x, y, z 3轴的运动方向和运动速度,选择各轴点动或(和)连续运动方式,实现任意2轴或3轴的联动以及任意一轴的单动。控制器接到测头发出的定位信号时发出声光报警,并立即输出使步进电机自锁的信号,实现对测头的保护。

2 机动操作系统的动力学分析

如果允许的测量机各轴每点动1次的移动距离为 l ,当采用摩擦轮直接驱动滑架时,则步进控制系统步进距离 s 与步距角 β 、传动比 i 以及摩擦轮半径 r 的关系应满足 $l \geq s$,这里 $s = 2\pi\beta r/360i$ 。当步进电机选定后, i 和 r 可根据测量机机构和各轴运动速度的技术要求以及步进电机的矩频特性进行设计。

为了确定步进控制系统的驱动功率和保证其控制精度,需要分析测量机各轴最大驱动力和摩擦轮纯滚条件。以 x 轴为例,其力平衡方程为

$$F_e = F_a + F_b + F_c + F_d + Ga_x/g \quad (1)$$

式中: F_e 为3坐标测量机 x 轴的驱动力; F_a, F_b, F_c, F_d 分别是 x 轴的4个导向滚动轮与导轨间的摩擦力; G 为 x 轴的重量; g 为重力加速度; a_x 为 x 轴的加速度。

如果摩擦轮与导轨在接触点 N 处不产生相对滑动,那么 F_e 总小于 N 处的最大摩擦力 $F_{e,\max}$ 。设 f 是接触面处的摩擦因数, N_k 是接触面处的正压力,要保证摩擦轮只滚动而不滑动, F_e 在满足式(1)的同时,还应满足 $F_e < F_{e,\max} = fN_k$ 。

取步进电机和变速机构为分析对象,步进电机输出力矩 $M(\omega)$ 的平衡方程为

$$M(\omega) = J_0\alpha_1 + J_1\alpha_1 + FR_1 \tag{2}$$

式中： J_0 为步进电机转子的转动惯量； J_1 为步进电机主动齿轮的转动惯量； α_1 为步进电机轴的角加速度； F 为主动齿轮上的主作用力； R_1 为主动齿轮的节圆半径。如果 R_2 为从动齿轮的节圆半径， J_2 为变速机构主动齿轮和摩擦轮的转动惯量， α_2 为变速机构主动齿轮和摩擦轮的角加速度，则有

$$FR_2 = J_2\alpha_2 + F_e r \tag{3}$$

又有 $\alpha_2 = \alpha_x / R$ ，将此和式(1)，(3)代入(2)，得

$$M(\omega) = \left[(J_0 + J_1) \frac{R_2}{R_1} + J_2 \frac{R_1}{R_2} \right] g \frac{F_e - F_a - F_b - F_c - F_d}{GR} + \frac{F_e R_1 R}{R_2} \tag{4}$$

由式(4)，在测得纯滚动时的驱动力后即可确定步进电机的输出力矩。

3 步进控制系统的设计

选用日本伺服公司生产的 4 相 KY56RMO-551 型步进电机和 SS413001C 功率驱动集成块。在此基础上研制与之配套的 4 相环形分配器以及连续和点动脉冲发生电路；连续脉冲发生电路由 555 定时器和可调式滑动电阻构成，点动脉冲发生电路由 74121 集成单稳触发器组成。

步进控制系统采用 4 相 8 拍激励方式。该系统环形分配器由型号为 74SL107 的 8 个 JK 触发器组成，其中 4 个 JK 触发器控制系统正向运行，另 4 个控制系统反向运行。仅以正向运行状态为例，由该激励要求^[1]可知：当 $CP_0 = CP_1 = CP_2 = CP_3 = 1$ 时，有 $J_0 = Q_1, J_1 = Q_2, J_2 = Q_3, J_3 = \bar{Q}_0$ ，则 K_0, K_1, K_2 和 K_3 的卡诺图如图 2 所示。由卡诺图得到

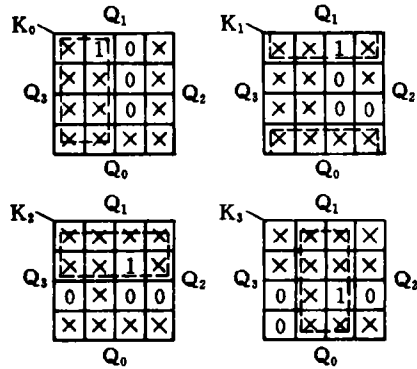


图 2 4 相 8 拍正向运行激励卡诺图

$$K_0 = (\bar{Q}_0\bar{Q}_1 + Q_0\bar{Q}_1)(\bar{Q}_2\bar{Q}_3 + Q_2\bar{Q}_3 + Q_2Q_3 + \bar{Q}_2Q_3) = \bar{Q}_1$$

$$K_1 = (\bar{Q}_2Q_3 + \bar{Q}_2\bar{Q}_3)(\bar{Q}_0Q_1 + Q_0\bar{Q}_1 + Q_0Q_1 + \bar{Q}_0Q_1) = \bar{Q}_2$$

$$K_2 = (\bar{Q}_2\bar{Q}_3 + Q_2\bar{Q}_3)(\bar{Q}_0Q_1 + Q_0\bar{Q}_1 + Q_0Q_1 + \bar{Q}_0Q_1) = \bar{Q}_3$$

$$K_3 = (Q_0\bar{Q}_1 + Q_0Q_1)(\bar{Q}_2\bar{Q}_3 + Q_2\bar{Q}_3 + Q_2Q_3 + \bar{Q}_2Q_3) = Q_0$$

根据这一逻辑表达式所设计的 4 相 8 拍正向运行环形分配器电路简图如图 3 所示。

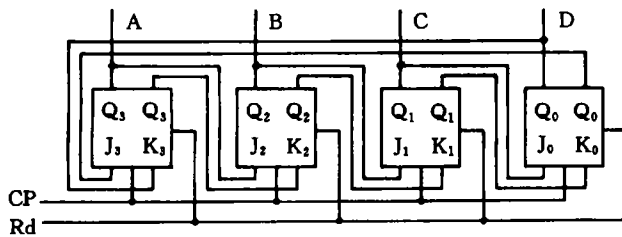


图 3 4 相 8 拍正向运行环形分配器电路简图

4 试验结果

机动操作系统安装在3坐标测量机上后,对其运行速度、点动步距和测量精度进行了测试。用测量机的微机自动记录系统记录显示机动操作系统的运行速度和点动步距,结果见表1和表2。

表1 运行速度测试结果

速度选择	运行方向	起点值/mm	终点值/mm	运行距离/mm	运行速度/(m·min ⁻¹)
低速	正向	0	315.46	315.46	0.315
	反向	0	-315.34	315.34	0.315
高速	正向	257.73	2488.86	2231.13	4.462
	反向	-289.98	-2510.10	2220.10	4.640

说明:运行时间均为60s。

表2 点动步距测试结果

运行方向	3轴	点动次数				
		1	2	3	4	5
正向运行	x	0	10	20	20	30
	y	0	10	20	30	40
	z	0	-20	-30	-50	-60
反向运行	x	0	-10	-20	-30	-50
	y	0	-10	-10	-20	-30
	z	-10	0	10	20	40

用测量机的手动操作系统和所研制的机动操作系统对同一标准块规进行测量,以作测量精度验证。其测量结果如表3所示。可以看出所研制的机动操作系统具有较高的测量精度。

表3 测量精度实验结果

测量方式	起点值	终点值	测量长度	测量误差
手动	2.34	502.23	499.89	-0.11
机动	2.33	502.26	499.93	-0.07

说明:块规标准值500mm,修正值-0.1μm。

5 结 论

3坐标测量机机动操作控制系统采用步进电机开环控制方案,使其具有结构简单、成本低廉、工作可靠和控制精度较高等特点。选用的步进电机体积和质量小、输出力矩大,在低、高频区无振荡,并且步距角可细分。机动操作控制系统具有任意2轴或3轴的联动以及单轴步进点动功能,可以充分提高3坐标测量机的工作效率,降低测量工作的强度。机动操作控制系统的急停和测头自动保护功能可以有效地保护测头,避免了测量时因测头撞击被测件引起变形过大而造成的损坏。

参 考 文 献

- 1 哈尔滨工业大学编. 步进电机及其控制系统. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1985. 59~62