微流控分液平台运动性能测试

1.背景介绍

(1) 伺服电机

伺服系统（servomechanism）是使物体的位置、方位、状态等输出被控量能够跟随输入目标（或给定值）的任意变化的自动控制系统。伺服主要靠脉冲来定位，基本上可以这样理解，伺服电机接收到 1 个脉冲，就会旋转 1 个脉冲对应的角度，从而实现位移，因为，伺服电机本身具备发出脉冲的功能，所以伺服电机每旋转一个角度，都会发出对应数量的脉冲，这样，和伺服电机接受的脉冲形成了呼应，或者叫闭环，如此一来，系统就会知道发了多少脉冲给伺服电机，同时又收了多少脉冲回来，这样，就能够很精确的控制电机的转动，从而实现精确的定位。直流伺服电机分为有刷和无刷电机。

有刷电机成本低，结构简单，启动转矩大，调速范围宽，控制容易，需要维护，但维护不方便（换碳刷），产生电磁干扰，对环境有要求。因此它可以用于对成本敏感的普通工业和民用场合。　　无刷电机体积小，重量轻，出力大，响应快，速度高，惯量小，转动平滑，力矩稳定。控制复杂，容易实现智能化，其电子换相方式灵活，可以方波换相或正弦波换相。电机免维护，效率很高，运行温度低，电磁辐射很小，长寿命，可用于各种环境。

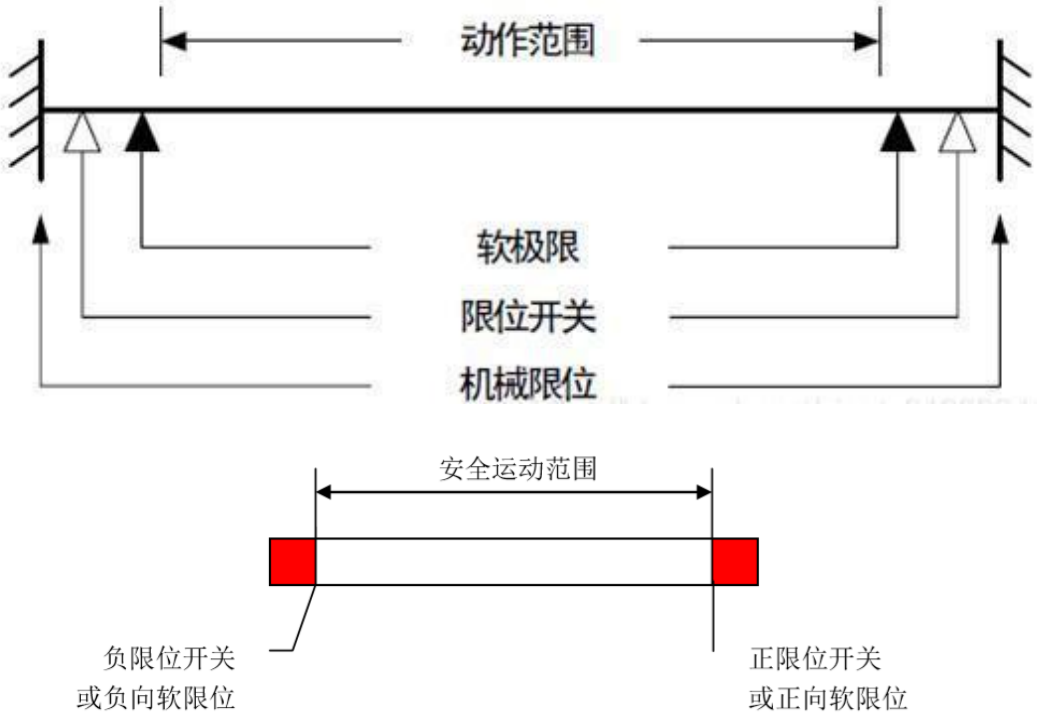
交流伺服电机也是无刷电机，分为同步和异步电机，目前运动控制

中一般都用同步电机，它的功率范围大，可以做到很大的功率。大惯量，最高转动速度低，且随着功率增大而快速降低。因而适合做低速平稳运行的应用。

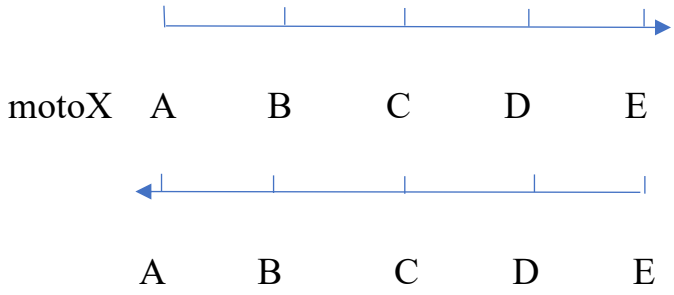
伺服电机内部的转子是永磁铁，驱动器控制的 U/V/W 三相电形成电磁场，转子在此磁场的作用下转动，同时电机自带的编码器反馈信号给驱动器，驱动器根据反馈值与目标值进行比较，调整转子转动的角度。伺服电机的精度决定于编码器的精度（线数）。

(2)限位开关

限位开关是一种安装在固定位置的检测机械臂转轴转到一定位置时的硬件（传感器），当电机驱动丝杆转动时，丝杆拧动滑台在导轨上进行直线滑动，当碰到或者接近时改变接近开关的电位，从而告知控制系统停止运动。

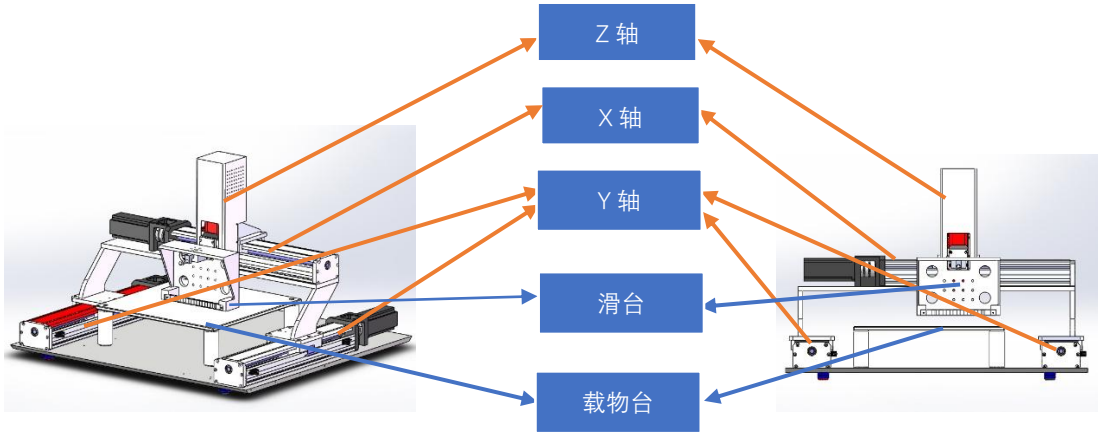


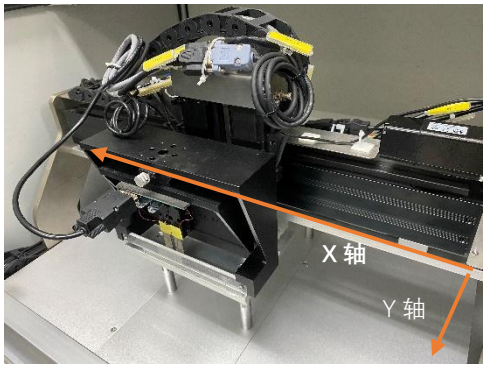
（4）电机的实验运动过程

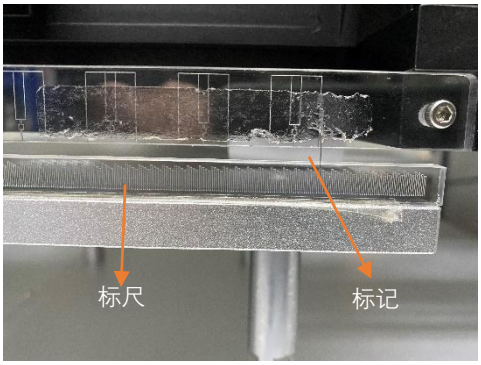


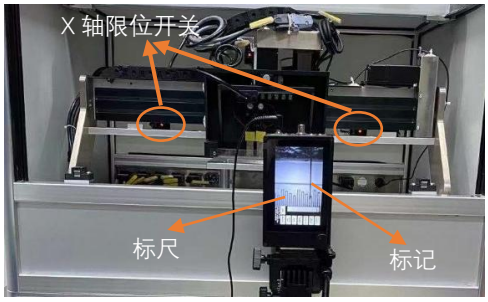
此次实验电机的运动过程为从 A——>B——>C——>D——>E 点，每次正向移动 1mm，共正向移动 4mm；到达 E 点后再反向移动，从 E——>D——>C——>B——>A，每次反向移动 1mm，共方向移动 4mm，回到初始 A 点。

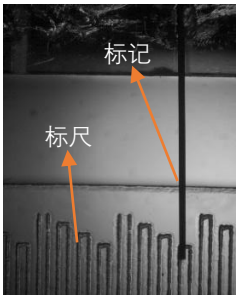
2.实验装置











实验装置包括计算机、高速摄像机、电机、滑台、载物台、限位开关、标尺等。

计算机通过程序驱动电机正转（反转），电机的丝杆带动滑块左移（右移），当碰到或者接近时改变接近开关的电位，从而告知控制系统停止运动。在载物台上装有 0.3mm 的刻度尺，并且在滑块上装载一个竖直黑色标记（琴弦），通过高速摄像机拍摄滑块上标记相对不动的标尺的像素值来表针相应的移动距离变化和运动时间，并计算其相应

的移动误差和抖动误差。

TEST-1(10.1-11.17)

1.实验目的

（1）探究标尺的误差。

（2）探究 X 轴方向电机点对点运动（1mm）的误差。

（3）探究 X 轴方向速度 V 对运动时间 T 的影响。

（4）探究 X 轴方向速度 V 对运动过程中稳定性的影响。

2.实验步骤

（1）在电机的移动头上装一个标记头，并在下方的载物台装一个不可移动的高精度标尺；

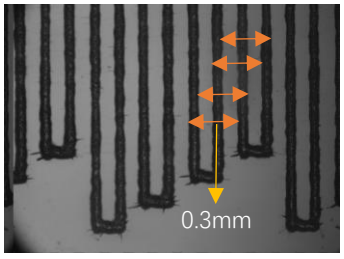
（2）运用计算机通过程序控制电机 X 轴方向进行运动，并用高速摄像机记录此段过程中标记头的运动过程

（3）将高速摄像机拍的运动的视频分为逐帧的图片，然后对图片进行角点检测读取特定点的（x，y）像素值

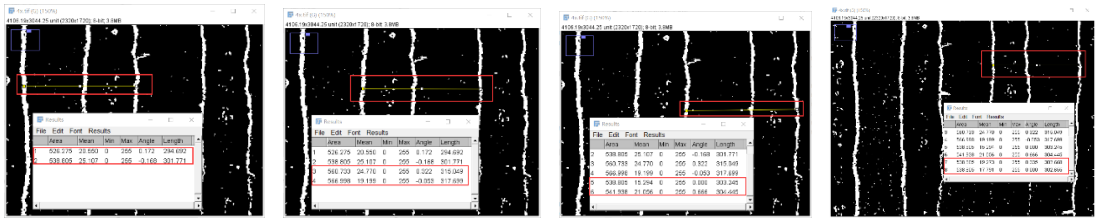
（4）处理获取的一系列像素值坐标

3.实验数据记录与处理

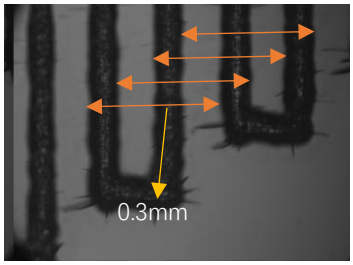
3.1 标尺的误差



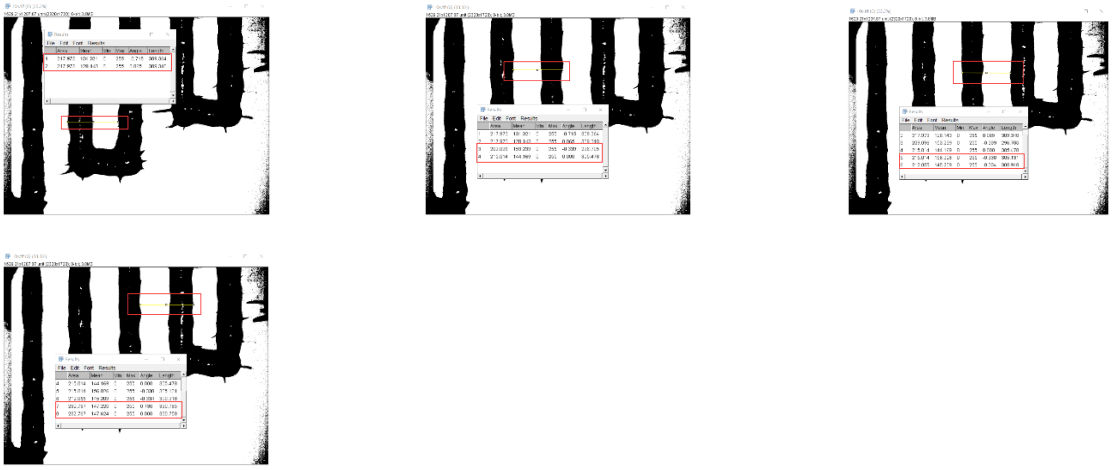
4 倍镜下标尺的图片



4 倍镜下的平均误差为 6.354 μm



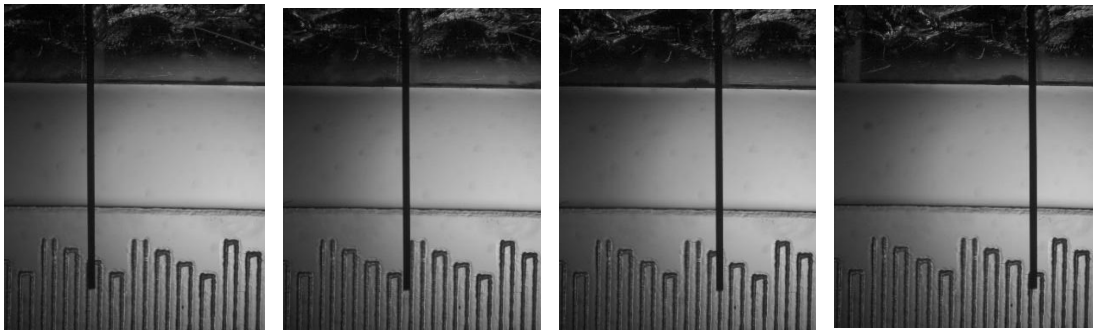
10 倍镜下标尺的图片



10 倍镜下的平均误差为 11.884 μm

3.2 间距 1mm 的速度影响探究

（1）space=1mm，maxvel=5000 脉冲数/s，加速时间=0.00001s，减速时间=0.5s 运动过程数据的处理



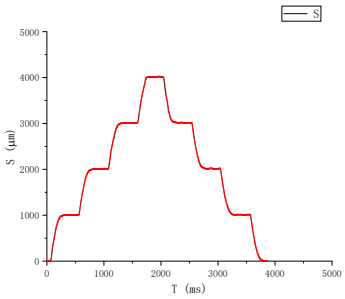


图 1 总运动过程图

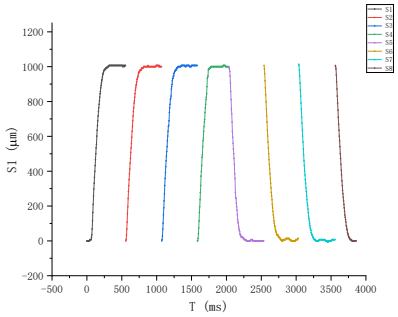
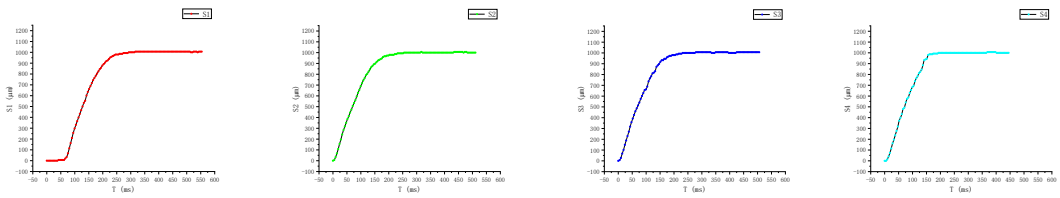
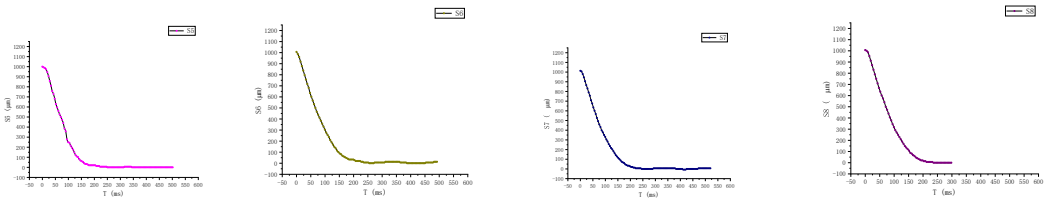


图 2 八段位移对比图

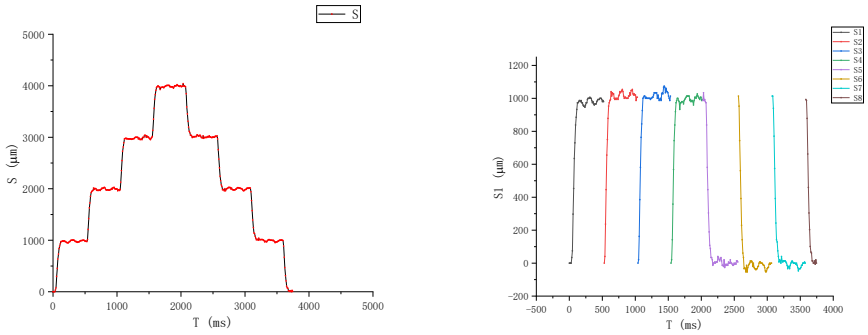
图 1 可反应打印平台如背景介绍过程中的总运动过程，先正向移动 4 个 1mm，再反向移动 4 个 1mm，并在每移动完 1mm 后延时等待。图 2 可用于验证打印平台此段过程中各段位移的一致性问题，每段运动距离设定值为 1mm（148 像素值），移动距离误差<=6.757μm（1 个像素值）。





在 maxvel=5000 脉冲数/s（25mm/s），加速时间为 0.00001s，减速时间为 0.5s 的参数下，电机点对点运动 1mm 平均误差小于等于 6.757μm（一个像素值），运动平均需要 255.440ms（270 帧），并且在运动过程中平均抖动误差 6.757μm（一个像素值，可认为为识别误差）。

（2）space=1mm，maxvel=50000 脉冲数/s，加速时间=0.00001s，减速时间=0.5s 运动过程数据的处理



S1-S8 的抖动误差分别为 3 、5 、6 、7、7 、10 、6 、4 个像素值

在 maxvel=50000 脉冲数/s（250mm/s），加速时间为 0.00001s，减速时间为 0.5s 的参数下，电机点对点运动 1mm 平均误差小于等于 13.514μm（两个像素值），运动平均需要 122.990ms（130 帧），平均抖动误差（64.867μm）9.6 个像素值。

在 50000 脉冲数/s 的速度下，到达后的余抖明显，平均会冲过 27.028μm（四个像素值），然后再来回摆动调整至移动间距为 1mm。

4.实验结论分析

4.1 标尺的误差

	误差（μm）
4 倍镜下	6.354
10 倍镜下	11.884

4.2 点对点误差和速度的影响

运动过程的定义：以运动到间距距离并保持连续五个稳定值为运动过程结束。

抖动值定义：在趋于稳定过程中相邻两点相差像素值。

space=1mm，加速时间=0.00001s，减速时间=0.5s

速度（脉冲数/s）	点对点平均误差（μm）	平均运动时间（ms）	平均抖动误差（μm）
5000	6.757	255.440	6.757
50000	13.514	122.990	64.867

当 space=1mm，加速时间=0.00001s，减速时间=0.5s（此时通过理论计算不能加速到最高速度就将进行减速运动）,对比于 maxvel=5000 脉冲数/s 和 maxvel=50000 脉冲数/s，点对点运动误差分别为 6.757μm 和 13.514μm；平均运动时间分别为 255.440ms 和 122.990ms，速度提升十倍只缩减了 1/2 的运动时间；平均抖动误差为 6.757μm 和 64.867μm，速度提升十倍造成了 10 倍的抖动误差。

TEST-2（11.19-11.27）

1.实验目的

（1）探究间距为 0.3mm、1mm、2.25mm、4.5mm、9mm 的 X 轴点对点运动，抖动误差小于等于 25μm 的最快速度。

2.实验步骤

3.实验数据记录与处理

3.1 点对点运动速度探究

3.3.1 间距 0.3mm

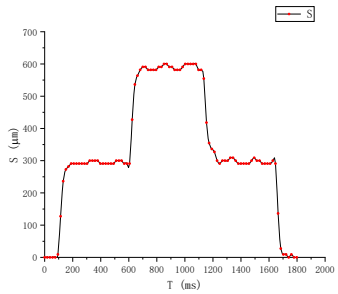
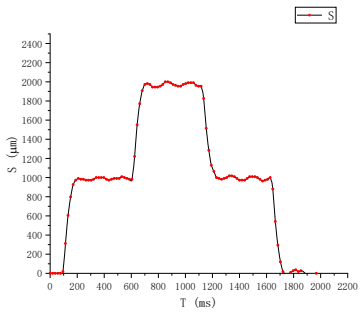


图 1 maxvel=50000 脉冲数/s

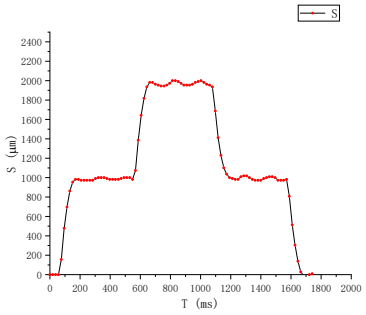
（移动 33 像素值=0.3mm，一个像素值=9.091 μm）

（1）在 maxvel=50000 脉冲数/s（250mm/s），加速时间为 0.00001s，减速时间为 0.5s 的参数下，电机点对点运动 0.3mm 平均误差小于等于 9.091 μm（一个像素值），运动平均需要 56.76ms（60 帧），并且在运动过程中平均抖动误差 13.636 μm（1.5 个像素值）。

3.3.2 间距 1mm



maxvel=30000 脉冲数/s



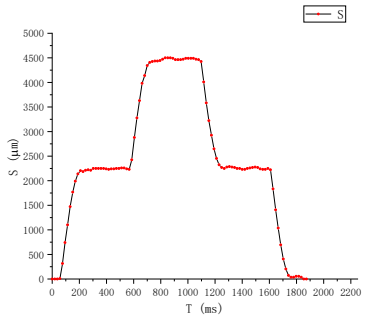
maxvel=25000 脉冲数/s

（1）在 maxvel=30000 脉冲数/s（150mm/s），加速时间为 0.00001s，减速时间为 0.5s 的参数下，电机点对点运动 1mm 平均误差小于等于 9.091μm（一个像素值），运动平均需要 91.74ms（100 帧），并且在运动过程中平均抖动误差 25.00025μm（2.75 个像素值）。

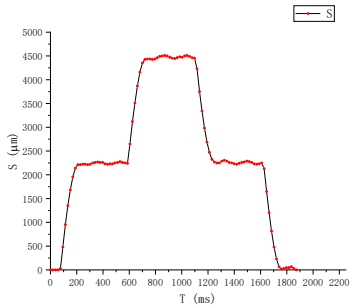
（2）在 maxvel=25000 脉冲数/s（150mm/s），加速时间为 0.00001s，减速时间为 0.5s 的参数下，电机点对点运动 1mm 平均误差小于等于 9.091μm（一个像素值），运动平均需要 91.74-113.52ms（100-120 帧），并且在运动过程中平均抖动误差 20.455μm（2.25 个像素值）。

（91.74ms 时 30000 脉冲数/s 移动到了 106 像素值，25000 脉冲数/s 移动到了 104 像素值）

3.3.3 间距 2.25mm



maxvel=20000 脉冲数/s

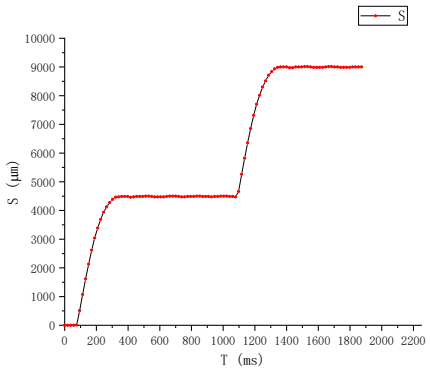


maxvel=25000 脉冲数/s

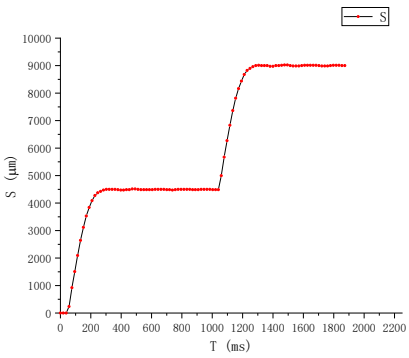
（1）在 maxvel=20000 脉冲数/s（100mm/s），加速时间为 0.00001s，减速时间为 0.5s 的参数下，电机点对点运动 2.25mm 平均误差小于等于 9.091μm（一个像素值），运动平均需要 151.36ms（160 帧），并且在运动过程中平均抖动误差 18.182μm（2 个像素值）。

（2）在 maxvel=25000 脉冲数/s（125mm/s），加速时间为 0.00001s，减速时间为 0.5s 的参数下，电机点对点运动 2.25mm 平均误差小于等于 9.091μm（一个像素值），运动平均需要 151.36ms（160 帧），并且在运动过程中平均抖动误差 27.273μm（3 个像素值）。

3.3.4 间距 4.5mm



maxvel=15000 脉冲数/s



maxvel=20000 脉冲数/s

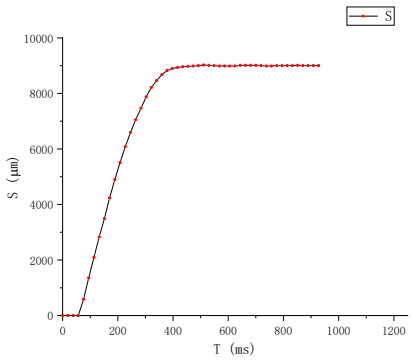
（移动 361 像素值=4.5mm，一个像素值=12.465μm）

（1）在 maxvel=15000 脉冲数/s（75mm/s），加速时间为 0.00001s，减速时间为 0.5s 的参数下，电机点对点运动 4.5mm 平均误差小于等于 12.465μm（一个像素值），运动平均需要 274.34ms（260 帧），并且在运动过程中平均抖动误差 18.698μm（1.5 个像素值）。

（2）在 maxvel=20000 脉冲数/s（100mm/s），加速时间为 0.00001s，减速时间为 0.5s 的参数下，电机点对点运动 4.5mm 平均误差小于等

于 12.465μm（一个像素值），运动平均需要 274.34ms（260 帧），并且在运动过程中平均抖动误差 24.930μm（2 个像素值）。

3.3.5 间距 9mm



maxvel=15000 脉冲数/s

（1）在 maxvel=15000 脉冲数/s（75mm/s），加速时间为 0.00001s，减速时间为 0.5s 的参数下，电机点对点运动 9mm 平均误差小于等于 12.465μm（一个像素值），运动平均需要 397.32ms（420 帧），并且在运动过程中最大抖动误差 24.930μm（2 个像素值）。

4.实验结论与分析

4.1 点对点速度探究

4.1.1 数据整合

（1）space=0.3mm，加速时间=0.00001s，减速时间=0.5s

速度（脉冲数/s）	点对点平均误差（μm）	平均运动时间（ms）	平均抖动误差（μm）

50000	9.091	56.76	13.636

（2）space=1mm，加速时间=0.00001s，减速时间=0.5s

速度（脉冲数/s）	点对点平均误差（μm）	平均运动时间（ms）	平均抖动误差（μm）
25000	9.091	91.74-113.52	20.455
30000	9.091	91.74	25.00025

（3）space=2.25mm，加速时间=0.00001s，减速时间=0.5s

速度（脉冲数/s）	点对点平均误差（μm）	平均运动时间（ms）	平均抖动误差（μm）
20000	9.091	151.36	18.182
25000	9.091	151.36	27.273

（4）space=4.5mm，加速时间=0.00001s，减速时间=0.5s

速度（脉冲数/s）	点对点平均误差（μm）	平均运动时间（ms）	平均抖动误差（μm）
15000	12.465	274.34	18.698
20000	12.465	274.34	24.930

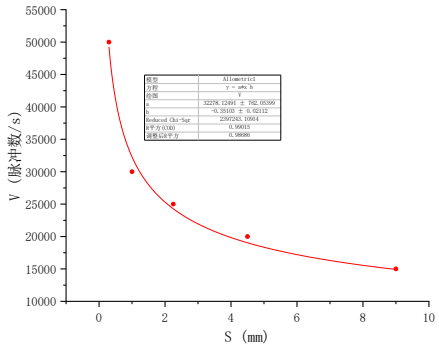
（5）space=9mm，加速时间=0.00001s，减速时间=0.5s

速度（脉冲数/s）	点对点平均误差（μm）	平均运动时间（ms）	平均抖动误差（μm）
15000	12.465	397.32	24.930

4.1.2 点对点运动速度设置

	速度 （脉冲数/s）	平均运动时间 （ms）	平均抖动误差 （μm）
0.3mm	50000	56.76	13.636
1mm	30000	91.74	25.00025
2.25mm	25000	151.36	27.273
4.5mm	20000	274.34	24.930
9mm	15000	397.32	24.930

4.1.3 速度的拟合曲线



TEST-3（11.28-12.4）

1.实验目的

（1）探究间距为 0.3mm、1mm、2.25mm、4.5mm、9mm 的 X 点对点运动速度对于运动时间的影响，将 18.92ms（20 帧）的误差缩小至 0.946ms（一帧）。

2.实验步骤

3.实验数据记录与处理

3.1 点对点运动速度对于时间的影响探究（细化误差至 0.946ms）

3.3.1 间距 0.3mm

速度（脉冲数/s）	点对点平均误差（μm）	平均运动时间（ms）	平均抖动误差（μm）
50000	9.091	57.706	13.636
30000	9.091	57.706	13.636

3.3.2 间距 1mm

速度（脉冲数/s）	点对点平均误差（μm）	平均运动时间（ms）	平均抖动误差（μm）
30000	9.091	118.250	25.00025
25000	9.091	112.574	20.455

3.3.3 间距 2.25mm

速度（脉冲数/s）	点对点平均误差（μm）	平均运动时间（ms）	平均抖动误差（μm）
20000	9.091	157.982	18.182
25000	9.091	140.008	27.273

3.3.4 间距 4.5mm

速度 （脉冲数/s）	点对点平均误差 （μm）	平均运动时间 （ms）	平均抖动误差 （μm）
15000	12.465	271.502	18.698
20000	12.465	257.312	24.930

3.3.5 间距 9mm

速度 （脉冲数/s）	点对点平均误差 （μm）	平均运动时间 （ms）	平均抖动误差 （μm）
15000	12.465	437.998	24.930
10000		442.728	

4.实验结论与分析

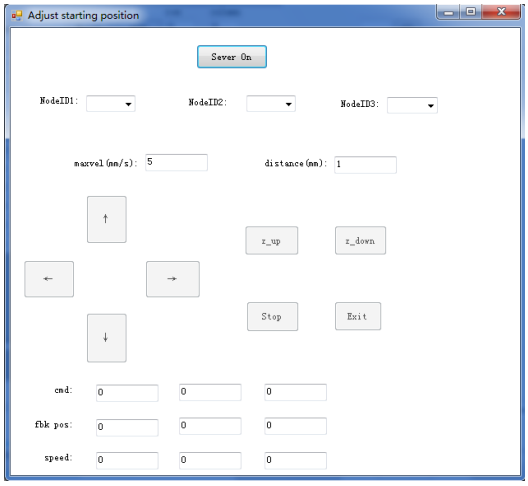
（1）0 < space≤4.5mm　　maxvel=20000;

（2）space > 4.5　　maxvel=15000

TEST-4（12.10-12.20)

1. 实验目的

（1）增加调整打印初始位置页面



（2）完成任意数目液滴及阵列的点对点液滴打印任务

2.问题

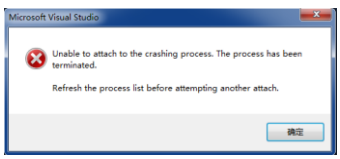
（1）个别点打印出的液滴比发给单片机的任务数目多

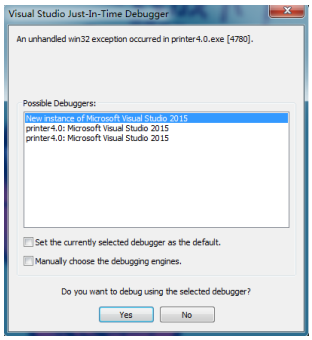
（2）单片机打完任务数目液滴后返回一个“1”，pc 做判断接收到“1”，移动 xy 轴，pc 有时候没有接收到单片机返回的 “1”。

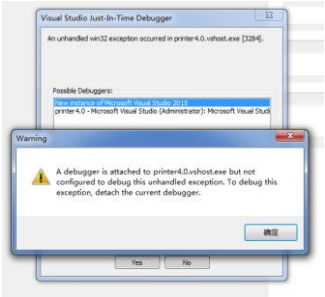
（3）xy 轴什么时候移动结束未给单片机返回信号告知移动结束，从而进入下一次打印任务。目前给的延时保证 xy 轴的移动动作完成后才进行打印任务。

（4）软件错误，参照网上的修改方式，不行。重新从 u 盘中复制一份修改，没有出现这种错误。

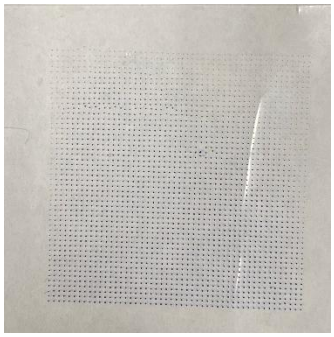


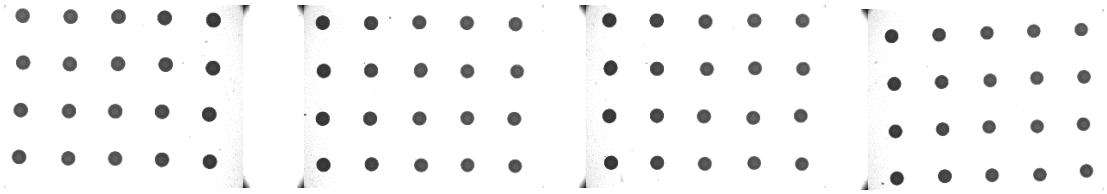


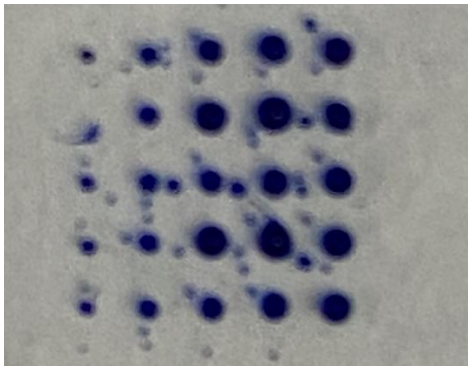




3.实验数据记录与处理







TEST-5（1.18-1.31）

1.问题及其解决方法

（1）软件 vhost 错误问题。问题原因：初始化加载页面阵列信息时，当阵列信息过大时，所使用 GetPrivateProfileString 方法暂存信息的缓

冲区大小不够。

解决方法：用文件数据流的方法读取。

（2）问题：单片机打完任务数目液滴后返回一个“1”，pc 做判断接收到“1”，移动 xy 轴，pc 有时候没有接收到单片机返回的“1”。

解决方法：按照频率计算所需打印时间延时，给单片机足够时间完成打印任务后再移动 xy 轴。

2. 新的问题及其解决方法

（1）当电机未打开时，新的电源接 pc，串口存在；当打开电机时，串口不存在。解决方法：接地

（2）第一个位置点不打，断点调试时第一个位置点打印。

解决方法：给单片机发第一个打印串时，延时 500ms。

TEST-6（3.15-3.29）

1.问题及其解决方法

（1）单片机打完任务数目液滴后返回一个“1”，pc 做判断接收到“1”，移动 xy 轴，pc 有时候没有接收到单片机返回的“1”。

解决方法：按照频率计算所需打印时间延时，给单片机足够时间完成打印任务后再移动 xy 轴。

（2）硬件触发问题

电机说明书

P52 参数定义:

参数定义分为下列五大群组。参数起始代码 P 后的第一字符为群组字符，其后的二字符为参数字符。通讯地址则分别由群组字符及二参数字符的十六位值组合而成。参数群组定义如下:

群组 0：监控参数　　（例：P0-xx）

群组 1：基本参数　　（例：P1-xx）

群组 2：扩展参数　　（例：P2-xx）

群组 3：通讯参数　　（例：P3-xx）

群组 4：诊断参数　　（例：P4-xx）

P160：数字输入输出接脚的介绍

数字输出入接脚规划及输出相关设定参数

代号	简称	功能	初值	单位	适用控制模式				参数索引章节
					Pt	Pr	S	T	
P2-09	DRT	数字输入接脚 DI 输入响应滤波时间	2	2msec	O	O	O	O	表 7.1
P2-10	DI1	数字输入接脚 DI1 功能规划	101	N/A	O	O	O	O	
P2-11	DI2	数字输入接脚 DI2 功能规划	104	N/A	O	O	O	O	
P2-12	DI3	数字输入接脚 DI3 功能规划	116	N/A	O	O	O	O	
P2-13	DI4	数字输入接脚 DI4 功能规划	117	N/A	O	O	O	O	
P2-14	DI5	数字输入接脚 DI5 功能规划	102	N/A	O	O	O	O	
P2-15	DI6	数字输入接脚 DI6 功能规划	22	N/A	O	O	O	O	
P2-16	DI7	数字输入接脚 DI7 功能规划	23	N/A	O	O	O	O	
P2-17	DI8	数字输入接脚 DI8 功能规划	21	N/A	O	O	O	O	
P2-18	DO1	数字输出接脚 DO1 功能规划	101	N/A	O	O	O	O	表 7.2
P2-19	DO2	数字输出接脚 DO2 功能规划	103	N/A	O	O	O	O	
P2-20	DO3	数字输出接脚 DO3 功能规划	109	N/A	O	O	O	O	
P2-21	DO4	数字输出接脚 DO4 功能规划	105	N/A	O	O	O	O	
P2-22	DO5	数字输出接脚 DO5 功能规划	7	N/A	O	O	O	O	
P1-38	ZSPD	零速度检出准位	10	r/min	O	O	O	O	
P1-39	SSPD	目标转速检出准位	3000	r/min	O	O	O	O	
P1-42	MBT1	电磁剎车开启延迟时间	0	ms	O	O	O	O	6.6.5
P1-43	MBT2	电磁剎车关闭延迟时间	0	ms	O	O	O	O	6.6.5
P1-54	PER	位置到达确认范围	100	pulse	O	O			--
P1-56	OVW	电机过负载输出警告准位	120	%	O	O	O	O	--

P197：输出接脚功能规划

P2-18	DO1	数字输出接脚 DO1 功能规划	通讯地址：0212H

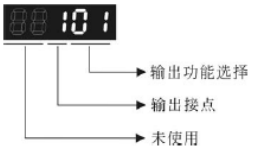
初值： 101　　相关索引：表 7.2

控制模式： ALL

单位： -

设定范围： 0 ~ 110（后两码为 DO 码）

参数功能：



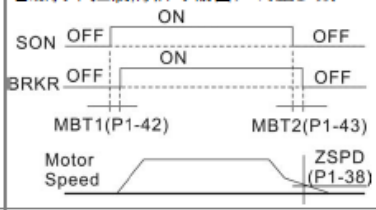
- 输出功能选择：所代表的功能请参考表 7.2
- 输出接点：属性为 a 或 b 接点

  0：设定输出接点为常闭 b 接点

  1：设定输出接点为常开 a 接点

P229：数字输出功能定义表

表 7.2 数字输出（DO）功能定义表

符号	设定值	数字输出（DO）功能说明
SRDY	01	当控制与主电路电源输入至驱动器后，若没有异常发生，此信号输出信号。
SON	02	当伺服启动（Servo On）后，若没有异常发生，此信号输出信号。
ZSPD	03	当电机运转速度低于零速度（参数 P1-38）的速度设定时，此信号输出信号。
TSPD	04	当电机转速高于设定目标速度（参数 P1-39）设定时，此信号输出信号。
TPOS	05	在位置（Pt）模式下，当偏差脉冲数量小于设定的位置范围（参数 P1-54 设定值），此信号输出信号。 在位置内部寄存器（Pr）模式下，当设定目标位置与实际电机位置相差的偏差值小于设定的位置范围（参数 P1-54 设定值），此信号输出信号。
TQL	06	驱动器转矩受限制扭矩时，此信号输出信号。
ALRM	07	当伺服发生警示时，此信号输出信号。 （除了正反极限，紧急停止，通讯异常，低电压，风扇异常）
BRKR	08	电磁刹车控制的信号输出，调整参数 P1-42 与 P1-43 的设定。 
HOME	09	当完成原点回归，此信号输出信号。
OLW	10	到达过负载准位设定时，输出此信号 t_{OL}= 伺服的过负荷容许时间 x 过负载预警准位设定的参数（P1-56）当过负载累计时间超过 t_{OL} 时会输出过负载预警（OLW），但若过负载累计时间超过伺服的过负荷容许时间，则会输出过负载错误(ALRM)。 举例： 过负载预警准位设定参数的值为60%（P1-56 = 60） 伺服驱动器输出的平均负载为200%时，持续输出时间超过8秒后，则伺服驱动器产生过负荷(ALE06)的警告。 t_{OL}=驱动器输出的平均负载为 200%持续时间 x 过负载预警准位设定参数的值= 8sec x 60% = 4.8sec

问题：实际上电机只有两个输入（DI1,DI2）和两个输出(DO1,DO2)接脚，DO1 和 DO2 的输出功能与说明书中的描述不符，例： DO2 的预设值为 103，03 功能代表当电机运转速度低于零速度（参数 p1-38, 预设为 10rpm）的速度设定时输出信号，但当电机上电时 DO2 电压为 24V，并在电机运动过程及结束后一直保持 24V，但在运动过程中监视转速时，转速在 0-200rpm 有变化。

解决方法：发现在电机不动时 DI1 的指示灯亮，在电机运动过程中指示灯灭，在运动结束后又变为亮，可用于做触发功能。

当发出正向脉冲信号即 X 轴向左运动过程中，CW 灯有明灭变化；当发出反向脉冲信号即 X 轴向右运动过程中，CCW 灯有明灭变化。CW、CCW 与 DI1 信号相反

TEST-7（4.1-5.8)

1.问题及其解决方法

（1）硬件触发问题

解决办法：DI1，DI2 即为从电机的 DO 口接出的对应输出口。用 DI1，DI2 的高低电平变化作为硬件触发信号。

（2）信号噪声问题

电机未启动时，DI1 灯亮，此时为低电平 0V；电机运动时，DI2 灯灭，此时为高电平 5V。但是在电机运动停止及再次启动时会造成误触发，用示波器观察发现电平值此时有较大的波动。

解决方法：加滤波电路及比较器。

（4）硬件触发后点对点的工作状态

此时完成闭环操作，初始时接收打印数目，单片机完成打印工作，返回“1”；PC 接收到单片机返回的“1”后进行电机移动，此时单片机虽已接收到 PC 发来的打印任务，仍会等待电机运动完后才进行打印任务。即第一次打印任务不闭环，后面单片机只有在接收电机运动完后的信号变化才会进行打印任务，而电机也只有在接收到单片机返回的“1”后才会进行下一次的移动。

（3）点对点打印距离及其对应时间

Sapce(单位:mm)	Delaytime(单位:ms)
0.5	87
1	129
1.5	163
2	193
2.5	219
3	243
3.5	266
4	287
4.5	307
5	326

（3）点对点打印时的状态显示

在点对点打印过程中，在遍历打印的单元格时会实时的将正在打印的单元格中打印点数变为红色。

（4）y 轴报错代码 11

y 轴编码器线松动造成接触不良。

解决方法：换线。换完线后目前暂未报过错。

（5）连续打印工作模式

每行打印的个数即为列数。先给单片机发打印个数，延时去掉电机的加速阶段，然后让单片机在电机匀速运动过程中持续打印相应列数个数的点数，最后再延时掉减速阶段。

t=1/f, v=space/t=space*f

所以连续打印工作模式的打印速度主要受间距和打印频率的影响。

问题：此延时仅适用于 10Hz 及以下，在更高频率下不具有普适性，会出现两行对不齐的现象。但通过实验还未探究出频率与延时设置对应关系。

（6）打印的暂停问题

在点对点工作模式下实现实时的暂停及恢复。

连续打印工作模式下，由于一行的打印任务是通过发送一次完成的，所以暂停只会在当前行打印完才能暂停。

（7）打印 logo

对图像灰度化和二值化操作，转化为 0，1 值存在数组中，然后进行打印任务。预留自设阈值输入框，并显示此时二值化后的 logo 图片，已选择更好的打印效果；需对图片进行一下图像锐化，二值化后结果更好。

每个像素值对应一个点，这样高分辨率图片所需的打印点数过多，以

及在点对点模式下的时间消耗过长（150×150=22500 个点，约 3 小时）；但低分辨率对应的图像非常不清楚。

通过打印 logo 时的大规模打印任务也进一步验证点对点打印工作的稳定性。

（8）每个输入框纠错

①space 间距必须大于 0，预设值为 0.5mm。

②Adjust starting position 界面中 distance 需在 0-100mm 之内，预设值为 10mm。

③Adjust starting position 界面中电机最大移动速度需在 0-50mm/s 即 0-10000 脉冲数/s 的范围内，预设值为 30mm/s。

（9）电机运动超限保护

在（0，0）位置时即电机位于装置右上角，此时 x 轴向右移动及 y 轴向前移动按钮为不可点击状态；在 x 轴由原点移动 350mm 超过预设左边界时会 rc = CPCI_DMC.CS_DMC_01_sd_stop(gCardNo, 1, 0, 0)立即停止当前电机的运动；在 y 轴由原点移动 280mm 超过预设后边界时会 rc = CPCI_DMC.CS_DMC_01_sd_stop(gCardNo, 2, 0, 0)立即停止当前电机的运动；在当 x，y 移动超过(0,0)时均会直接停止当前电机的运动。在到达（0，0）后电机还未到达前和右限位开关，均还有一定的限度。