

悬挂运动控制系统

指导老师： 赵建

作者：李艳坤 张大伟 卢云龙 郑铭颖

西安电子科技大学 测控技术与仪器专业

摘要：

本系统采用 MSP430F149 为主控芯片，通过液晶屏和键盘与操作人交互，通过步进电机对悬挂载荷进行开环运动控制，使用安装于悬挂载荷的反射式红外光电传感器提供的反馈对面板上给定曲线进行闭环跟踪。

关键字：MSP430 单片机 步进电机 红外传感器

Abstract

This system is consisted by the controlling core of MSP430 MCU, the human interface of a LCD and a keyboard, two step motors for open-loop controlling of the suspended load and a matrix of reflected infrared optic-electronic sensors for feedback of the close-loop tracing to the given curve.

Keywords: MSP430 MCU step motor infrared optic-electronic sensor

一、方案论证：

根据题目要求，系统主要实现的功能是自由运动、定点运动、圆周运动和循迹运动，通过手动设置参数，并能在运动的过程中实时显示坐标，关键在于电机的精确控制。系统的方案框图如图 1 所示：

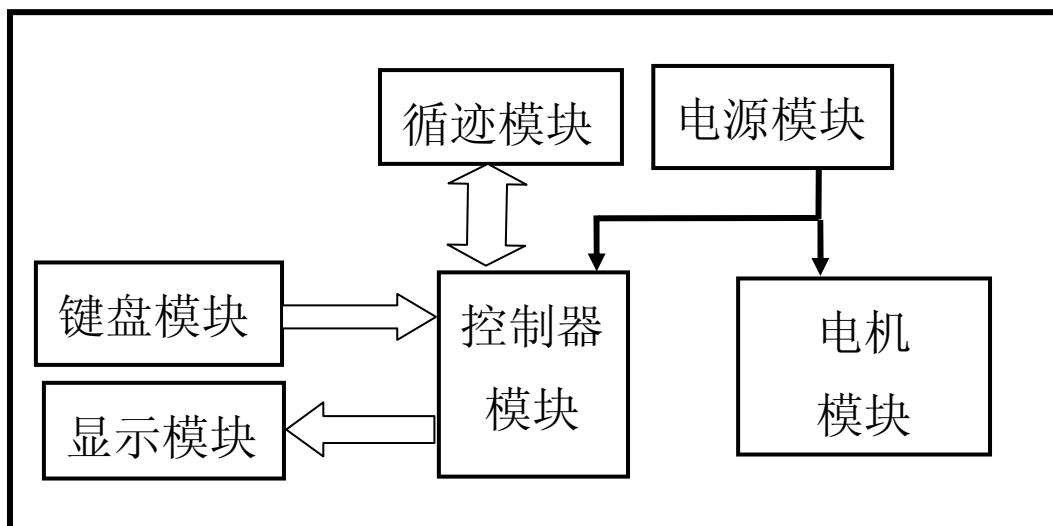


图 1 系统方案图

1、控制器模块方案

方案一：采用通俗的 51 单片机，运用比较广泛，有良好的知识作为基础，上手

很快。但是本系统的程序量较大，需要的 I/O 口资源较多，51 单片机难以胜任。

方案二：系统采用 TI 公司所生产的 MSP430F149 单片机为主控制芯片，有丰富的资源：6 个 8 位并行口其中两个有中断功能，12 位的 ADC，强大的定时器，精密的比较器，大容量的 RAM 和 ROM，存储大容量的程序。

基于上述分析，我们选择方案二。

2、电机模块方案

方案一：采用直流电机控制悬挂物体的运动，直流电机力量大，能获得较大的启动转矩，转动速度快，但由于存在机械触点，直流电机容易产生噪声，而且单独使用时不能完成位置控制，需要配以传感器才能控制定位，增加了系统的复杂度。

方案二：采用步进电机控制悬挂物体的准确运动，步进电机不需要使用传感器就能精确定位，而且通过给定的脉冲周期，能够以任意速度转动，定距运动较精确。虽然步进电机不能高速转动，但根据题目要求的时间和移动距离，步进电机完全能够符合要求，是该种要求下广泛使用的一种电机。

基于上述理论分析，我们选择方案二。

3、循迹模块方案

方案一：可见光发光二极管与光敏二极管组成的发射-接收电路。这种方案的缺点在于其他环境光源会对光敏二极管的工作产生很大干扰，一旦外界光亮条件改变，很可能造成误判和漏判，即使是采用超高亮发光二极管可以降低一定的干扰，但这将增加额外的功率损耗。

方案二：脉冲调制的反射式红外发射-接收器。采用带有交流分量的调制信号，可以大幅的减少环境光源的直流分量的干扰，但由于该红外发射管的最大工作电流取决于平均电流，该最大电流需要通过调节占空比来调节；而且需要添加额外的电路和程序，本题中并不需要很大的电流，故不需要采用该管子。

方案三：不调制的反射式红外发射-接收器。由于采用红外管代替普通可见光管，可以有效的降低环境光源的干扰，尺寸小、质量轻、灵敏度高，对辅助装置的要求最少，对人眼无伤害，采用不调制的反射式红外发射-接收器完全可以有效的降低干扰，而且方便可行，能够准确的实施检测。

基于上述考虑，我们决定采用方案三。

4、电源模块方案

方案一：整个系统都采用同一电源电路，因此电路连接比较简单。但是由于电动机启动瞬间需求电流很大，而且给定脉冲信号驱动的电机电流波动较大，会造成干扰，对单片机系统造成严重的干扰，缺点明显。

方案二：双电源供电。将电机驱动电源（12V）和单片机的供电电源（3V）完全隔开，这样设计可以彻底消除电机驱动所造成的干扰，提高了系统的稳定性。

基于上述考虑，所以选择方案二。

5、显示系统方案

方案一：采用 LED 数码管显示器。LED 数码管亮度高，醒目，但是其电路复杂，占用资源较多，显示信息量较小。

方案二：采用汉字 LCD 液晶显示器。LCD 有明显的优点：低功耗、显示信息量大、字迹清晰、美观、视觉舒适；可以用中文 LCD 液晶进行菜单显示，使整个控制系统更加人性化。

基于上面的比较分析，决定选用方案二。

6、键盘方案

方案一：矩阵键盘虽然占用单片机的端口少，节约单片机的硬件资源，但是电路设计较为复杂，开发时间相对较长，软件设计也相对复杂，主要针对多键盘设计，适用于控制要求高、控制功能多的系统。

方案二：通用简单键盘设计简单，易于实现。利用 430 单片机 P1 口管脚都有中断功能使无论软件还是硬件都易于实现，减少了系统的复杂度。

通过以上分析，决定使用方案二。

7、软件方案

系统的运动可以通过轨迹的方程算出下一点的坐标，再解两个直角三角形来算出电机应有的动作（详见软件方案一算法分析）。这里涉及到超越方程和开方运算，对于主要用于控制的单片机来说如此大量运算并不适合。我们是将算坐标的运算用取数组的值来代替，让单片机只进行开方的运算，简化了软件复杂度，效果良好。

二、详细软硬件设计实现

1、硬件实现

2、A) MSP430F149 的资源分配，如下图 2 所示：

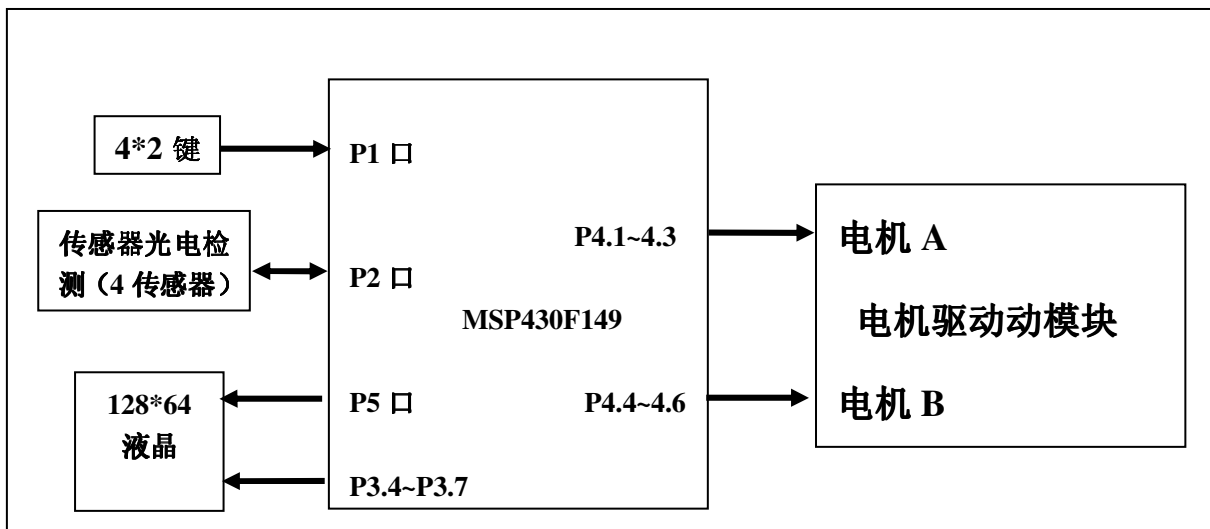


图 2 MSP430 资源分配

图 2 MSP430F149 的资源分配

B) 传感器循迹功能的实现：

采用 ST198A 反射式红外光电传感器，连接图如下图 3 所示。其中 P_SEN 为传感器检测准许段，SEN 则为检测端。P_SEN 为高电平时，发射 LED 有电流通过，发出红外光，若此时检测的是白线，光敏三极管接收到红外光，会导通 SEN 拉低为低电平；若检测黑线则 SEN 为高电平。P_SEN 为低电平则会关闭传感器的检测功能，SEN 端一直被上拉为高电平。

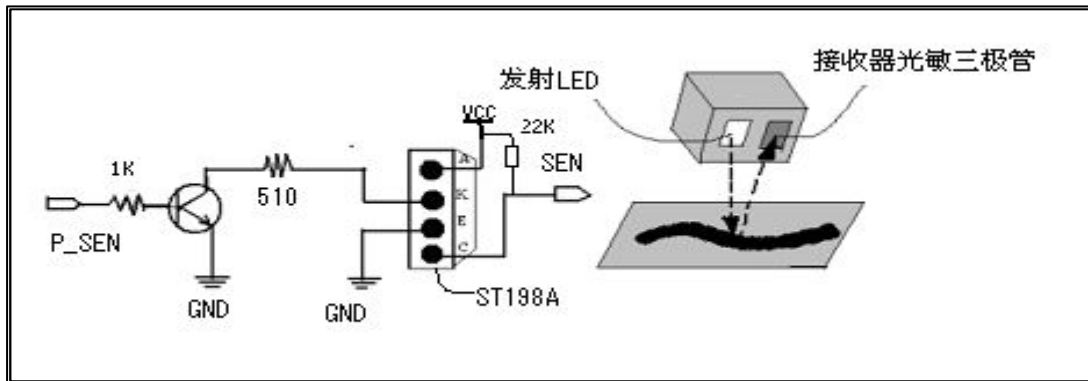


图3 传感器工作原理图

C) 键盘方案实现:

键盘部分实现的非常简单，直接与单片机的 P1 口直连，利用 P1 口的中断功能检测按键进而实现相应的功能

D) 显示方案实现:

使用的液晶是 128*64A (TC6963C) 特点是能够显示图形和汉字，图文并茂，界面良好。具体连接如下图 4。其中 D0 到 D7 是数据口，LCD_WR 为液晶写信号，LCD_RD 是液晶读信号，LCD_CE 是液晶片选信号，LCD_CD 是寄存器选择信号。基于液晶，我们设计了汉字的人机交互界面，支持多层菜单。结合简单易懂的按键设计，能够容易得设置运动的参数、坐标，还可以实时显示运动时间和运动的坐标。

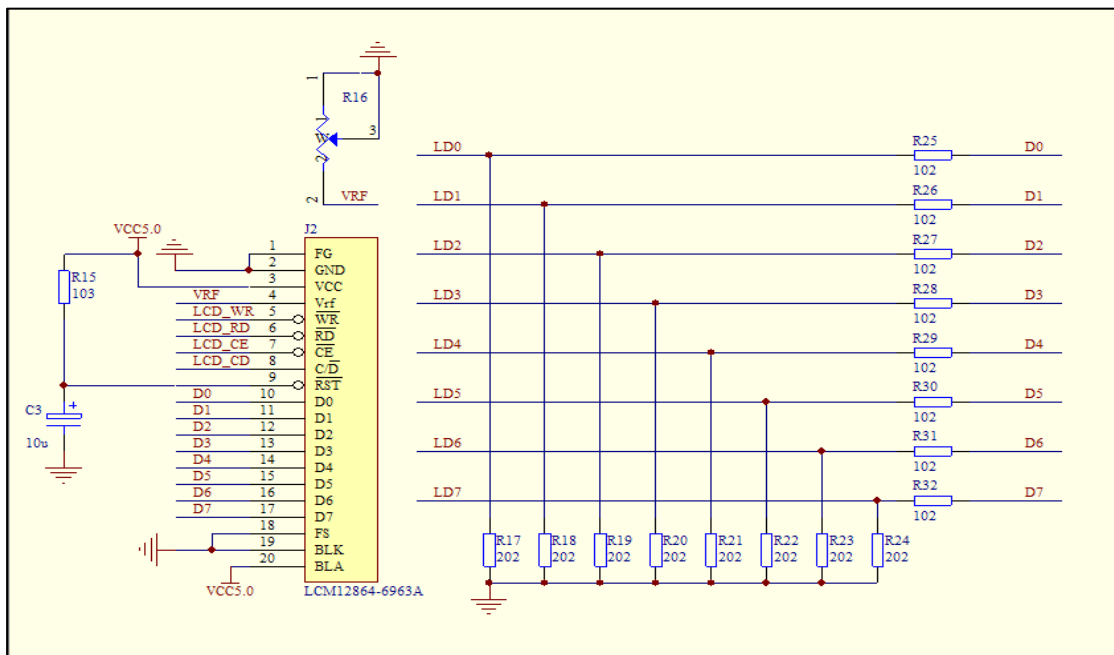


图4 液晶连接图

E) 电机驱动模块方案实现:

L297 是包含环形分配器的控制芯片，可以将控制器来的脉冲序列按一定的规律分配，产生步进电机运转所需要的信号。连接方法如下图 5 所示。CLOCK 是提供的脉冲，L297 将把它的信号分配给 A、B、C、D，供后级功放 L298 放大以驱动步进电机。CW/CCW 用于控制步进电机整步还是半步运行 (CW 时为整步)。ENABLE 是 L297 的使能端。

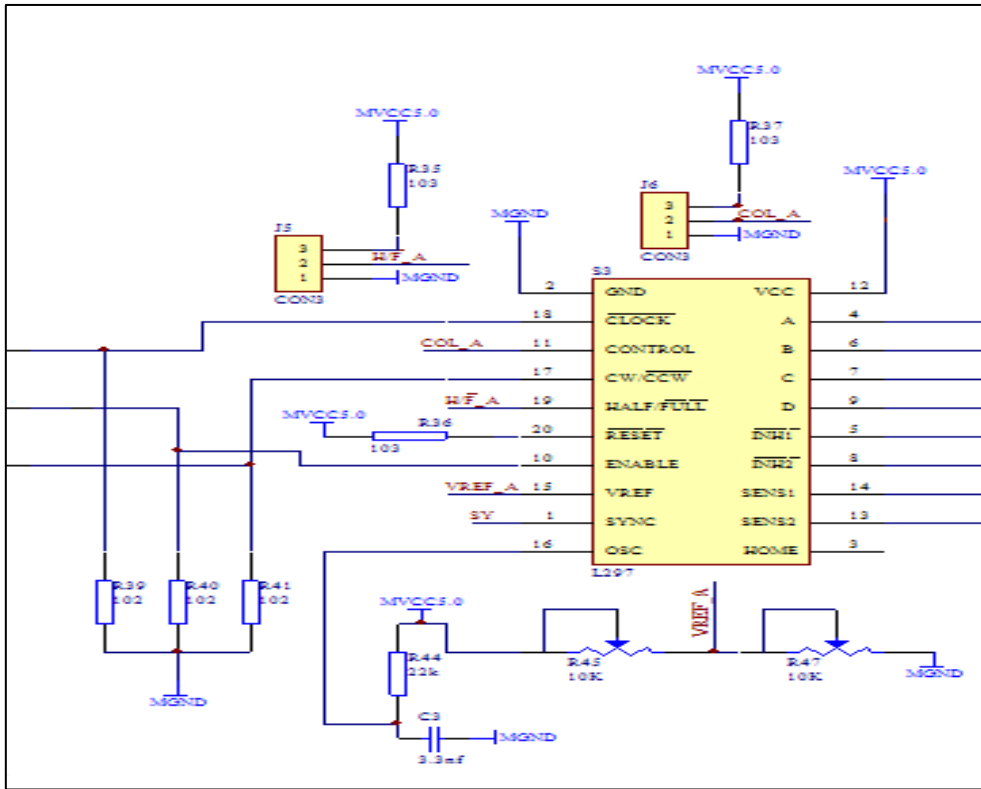


图5 L297 连接图

L298 芯片是一种高压、大电流双全桥式驱动器，放大 L297 提供的信号。连接图如图 6 所示。其中 IN1~IN4 分别连接 L297 的 A、B、C、D 脚，6、11 脚分别接 L297 的 INH1 和 INH2。二极管的作用是续流，保护前级电路。

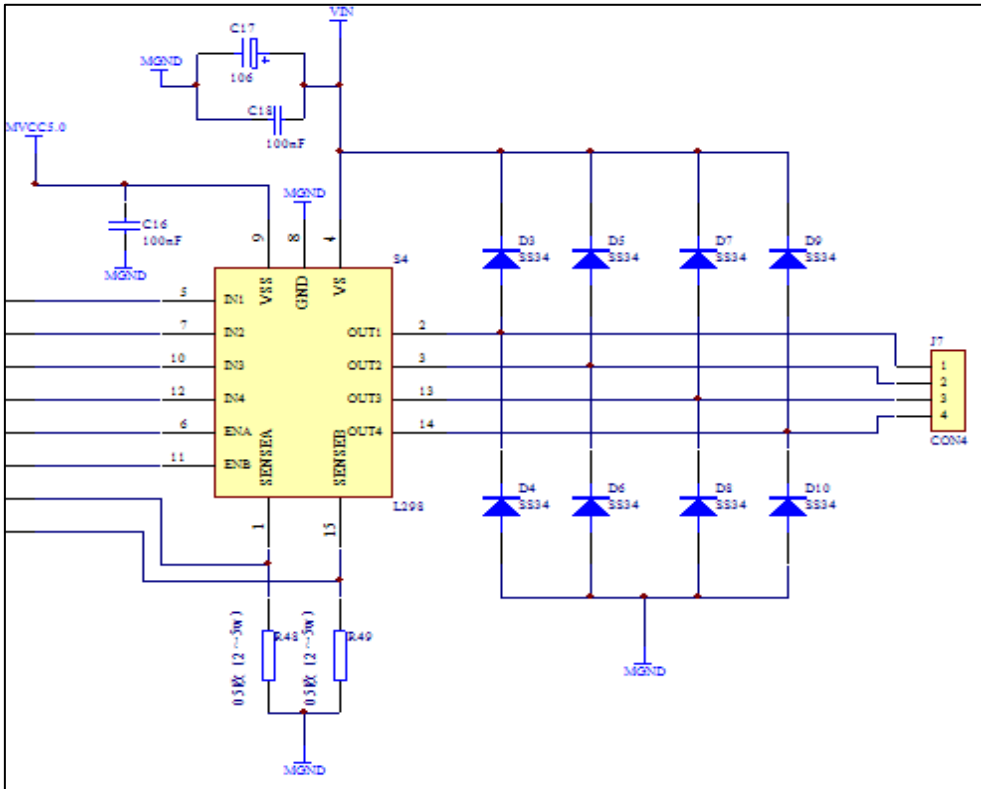


图6 L298 连接图

F) 电源模块实现方案

系统的供电采用 220V 交流电经适配器转换成 12V 直流后给系统供电，连接图如下图 7 所示。由于电机的存在，在设计时使用了 DC-DC 器件实现电路的隔离。具体为 U2 (7805) 将适配器输出的 12V 转换成 5V(MVCC5.0), J3(DC-DC 器件) 将 MVCC5.0 转换成 MVCC5.0 为 L297 和 L298 供电 (L298 有两路供电，另一路外是适配器直接共的 12V)。这样就实现了电源的隔离，提高了系统的稳定性。

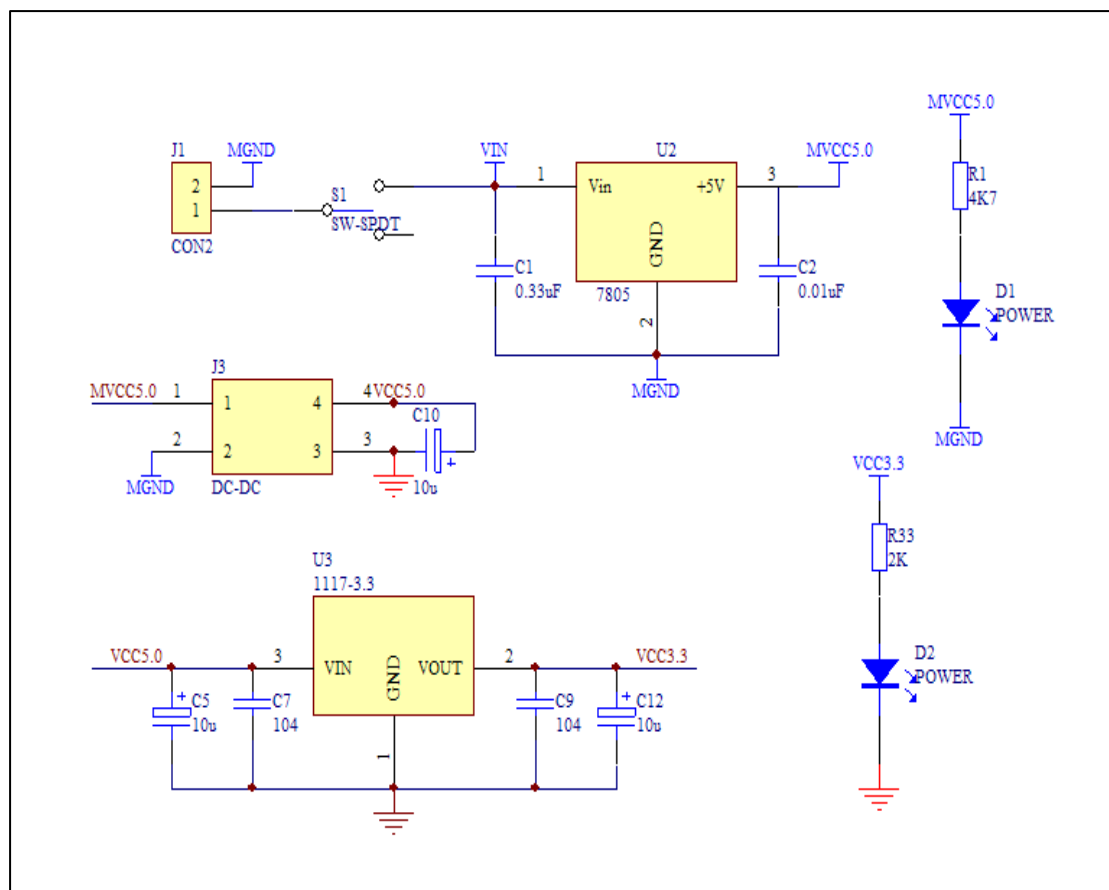


图 7 电源模块连接

这里介绍一下 DC-DC 元件选用的是如下图的器件。引脚如下图：

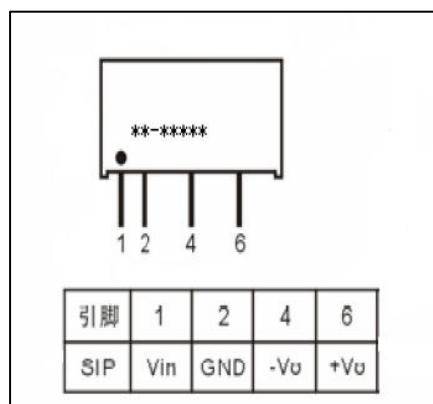


图 8 DC-DC 引脚图

接法如下图：

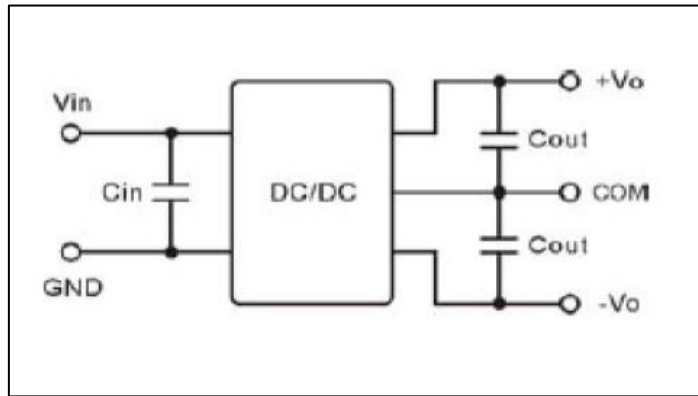


图9 DC-DC 接线图

3、软件方案

A) 算法分析:

1) 脉冲与位移的关系

电机的缠线轴直径是 3cm, 我们选定的步进电机是 0.9° 一步的四相步进故每一个脉冲对应的线的位移是 $3.1415926 \times 3 / 400 = 0.02356193445$ cm。总位移与脉冲个数成正比。

2) 点到点运动

算法: 结合图 8 说明, 假设 A (x_0, y_0), B(x_1, y_1) 为给定平面范围上的任意两点, 作辅助线 (图中虚线部分),

在直角三角形 $\triangle ACE$ 中

$$a_0 = \sqrt{(x_0 + 15)(x_0 + 15) + (115 - y_0)(115 - y_0)};$$

在直角三角形 $\triangle ADF$ 中:

$$b_0 = \sqrt{(95 - x_0)(95 - x_0) + (115 - y_0)(115 - y_0)}$$

同理对于 B 点, 两拉线长分别为:

$$a_1 = \sqrt{(x_1 + 15)(x_1 + 15) + (115 - y_1)(115 - y_1)}$$

$$b_1 = \sqrt{(95 - x_1)(95 - x_1) + (115 - y_1)(115 - y_1)}$$

因此当悬挂物从 A 点运动到 B 点时:

电机 1 的收放线长度为 c (当 $c < 0$, 电机正转 (或拉线伸长); $c > 0$ 时, 电机反转 (或拉线收缩)) $c = a_0 - a_1$

电机 2 的收放线长度为 d (当 $d < 0$, 电机反转 (或拉线收缩), 当 $d > 0$ 时, 电机正转 (或拉线伸长)) $d = b_0 - b_1$

根据 c, d 的正负分别确定电机 1, 电机 2 的正反转向。而根据 c, d 的绝对值来确定电机 1, 电机 2 各自所需的脉冲数:

电机 A 所分配的脉冲数: $m = |c| \times p$

电机 B 所分配的脉冲数: $n = |d| \times p$

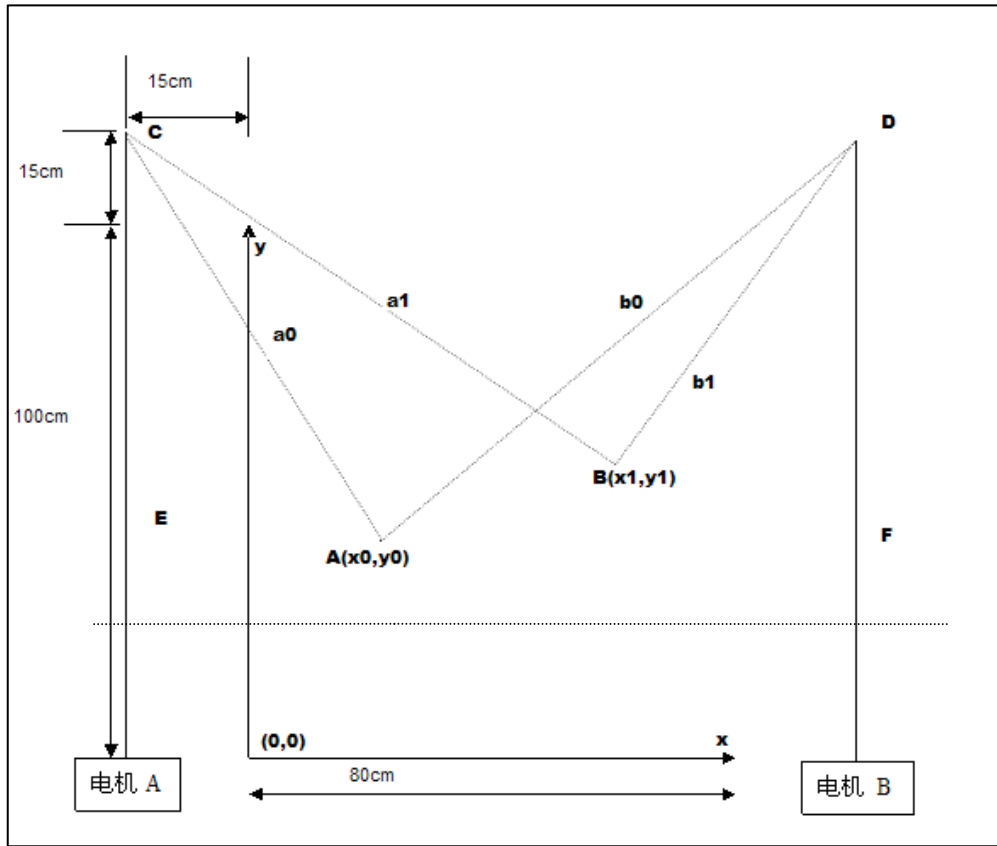


图 10 点到点图

B) 主程序流程图

主程序流程图如图 9 所示，进入主程序并初始化后，等待有键按下后执行相应的程序。各子是独立的模块，结构清楚。

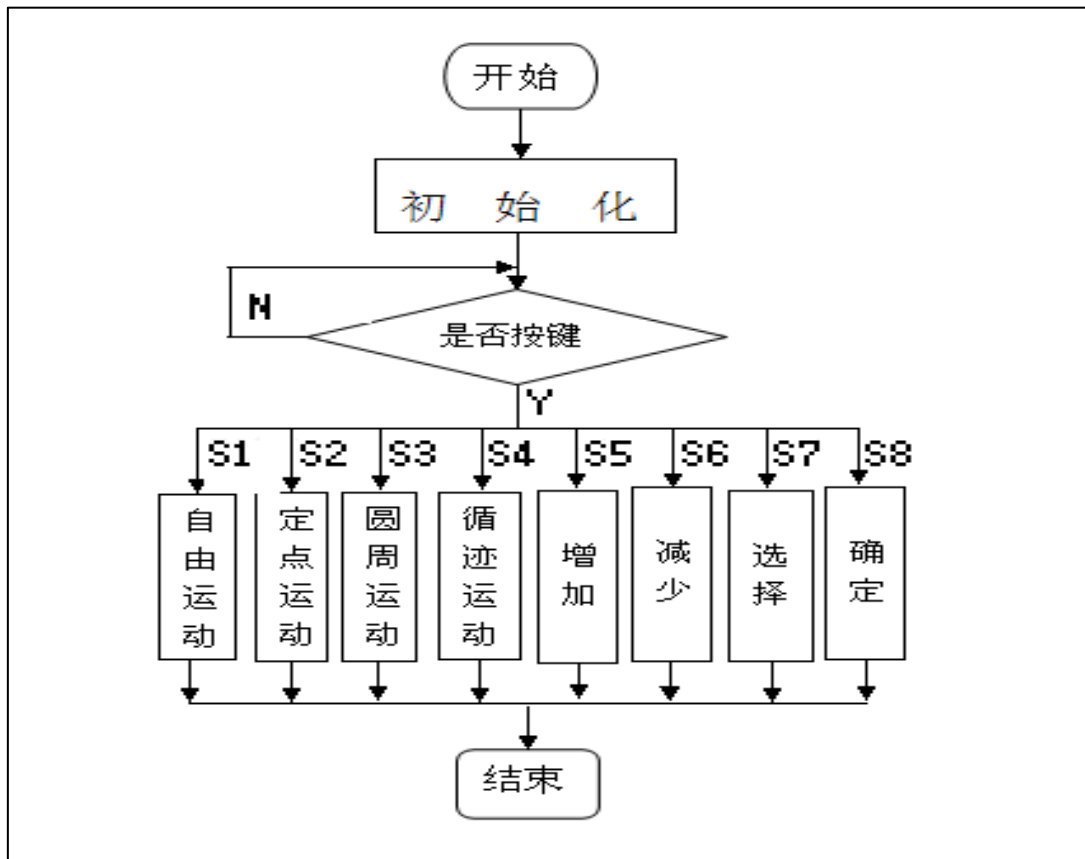


图 11 主程序流程图

C) 自主运动模块

将要走的轨迹离散化，取足够的点以保证精确度，制作成数组。在自主运动时只要取点并调用“点到点运动”子模块便可完成运动。

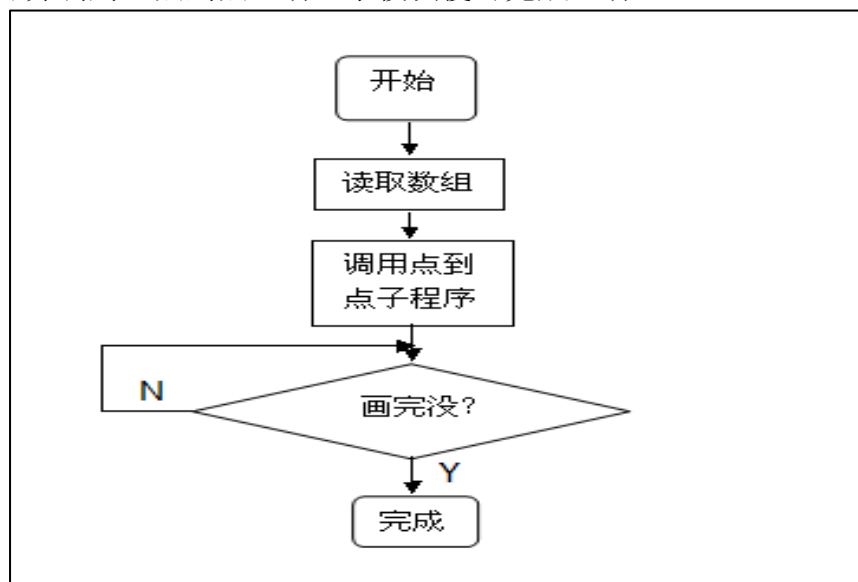


图 12 自主运动流程图

D) 画圆运动模块

此模块要求圆心可设定。根据设定的圆心，滑块走一条直线到达圆的边上，

依照圆数组（注意：此数组与圆心无关，具体数据是差值）调用“点到点动”画圆。

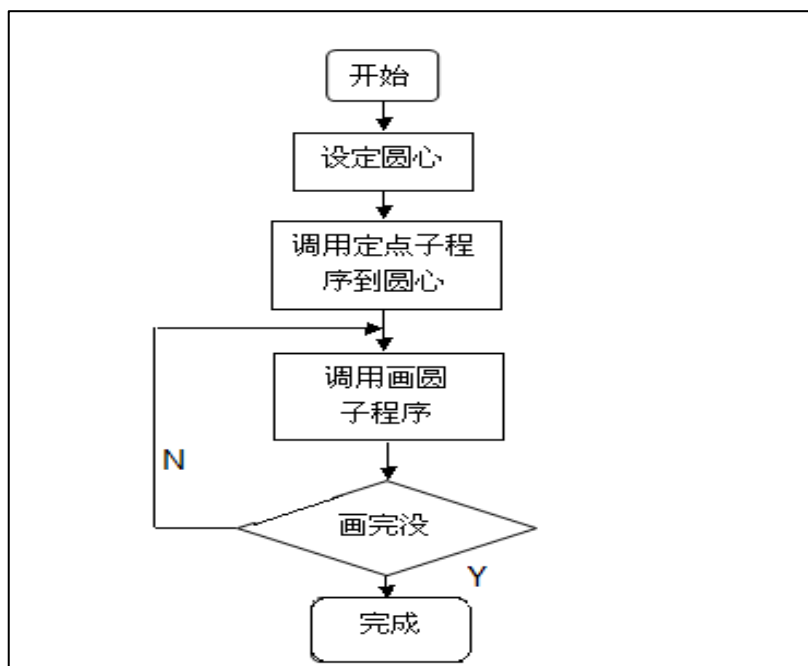


图 13 圆周运动流程图

F) 定点运动模块

假设现在点 A (x_0, y_0) ，目标点 B (x_1, y_1) ，则斜率 $k=(y_1-y_0)/(x_1-x_0)$ ，设 $k>1$ ，将两点间 x 轴长度等分 m 份，则每份 $p=(x_1-x_0)/m$ 。则下点为 $X_n=X_{n-1}+p$ ， $Y_n=Y_{n-1}+p*k$ 。再调用点到点子程序完成定点运动。

G) 循迹运动模块

我们设计的循迹模块如图 10 所示，四个光电传感器“十”字分布，足够小使它们可以全部在黑线内。由于循迹的黑线可能有断点，因此当有一个传感器检测到白纸时，要进行两种判断：是遇到了断点还是非断点的出界。例如 1 号传感器检测到白纸，模块将沿 1 号方向走一段大于断点间距的距离，在进行检测判断：如果检测到黑线则此处为断点，继续向此刻检测出黑线的传感器所处的方向前进；如果检测到的是白纸，则此处为非断点出界，回到前一点，再向其他 3 个方向做相同试探，最后向检测到黑线的方向前进。

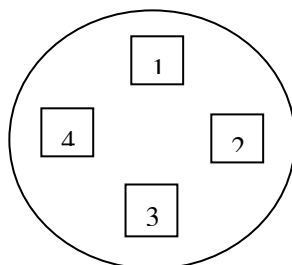


图 14 循迹模块

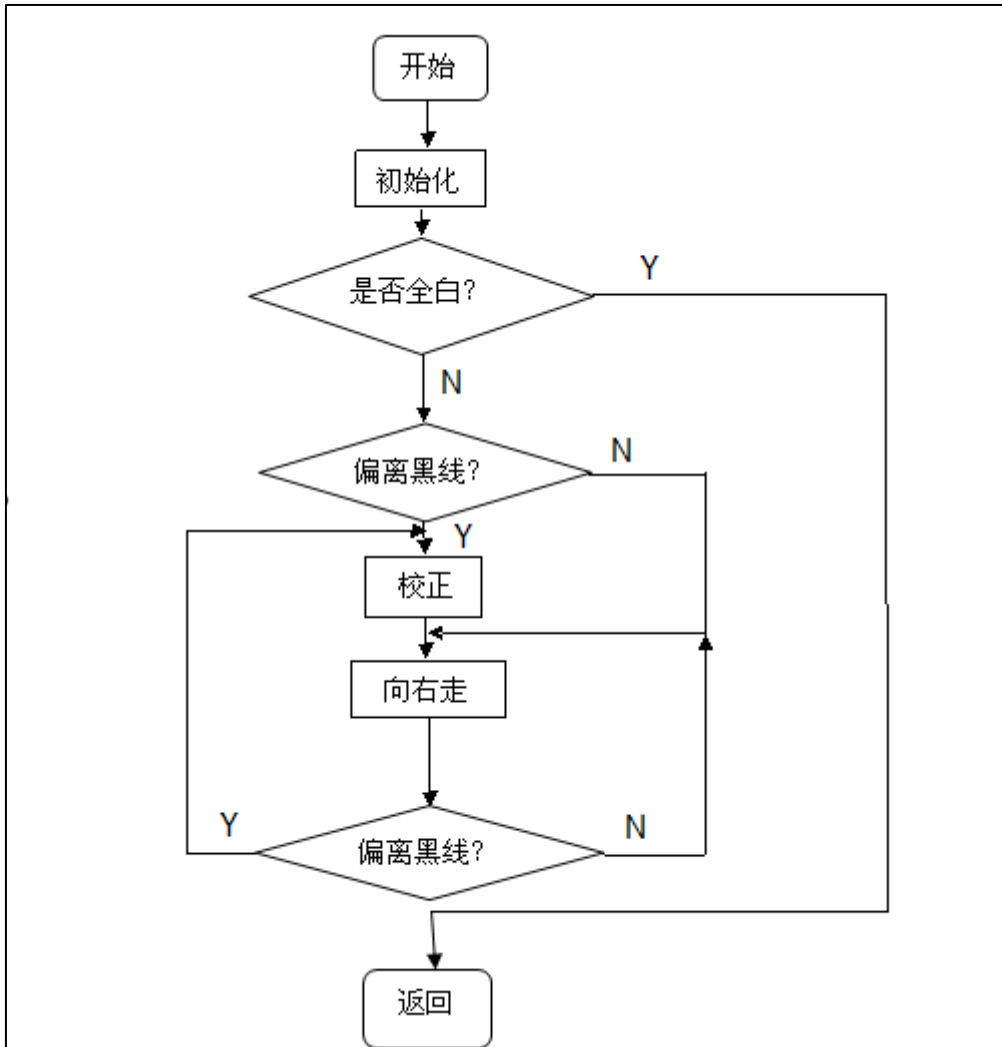


图 15 循迹流程图

三、测试说明

1、测试用仪表：

序号	仪器名	数量	备注
1	数字万用表：UT33D	1	优利德科技有限公司
2	稳压电源：HY1711-2	1	--
3	双踪示波器：YB4320G	1	--
4	秒表	1	--
5	米尺	1	--

2、自主运动测试

运动的长度是 cm，完成时间是 s，下表是多次测量结果：

测量次数	1	2	3
行程/cm	152	152	152
完成时间/s	42.5	42.0	42.9

3、定点运动测试

预先设定终点的坐标，滑块从 (0, 0) 点运动到终点，测试表格如下：

序号	终点坐标 (x, y)	实际坐标(x, y)	误差/cm	完成时间 /s
1	(40, 40)	(39.5, 39.5)	0.5	15
2	(35, 50)	(34.5, 49.5)	0.5	14
3	(60, 70)	(60.6, 70)	0.6	23

4、画圆运动测试

首先根据设定的圆心，由定点运动运行到画圆起始点，开始画圆。用时大约为 s，误差为 cm. . 测试结果如下表：

序号	设定圆心 (x, y)	画笔位置	用时/s	误差/cm
1	(40, 45)	实时显示	46	0.1
2	(35, 28)	实时显示	46	0.2
3	(50, 50,)	实时显示	45	0.1

5、循迹运动测试

滑块上的光电传感器能辨别黑白，由 MSP430 控制电机拉动滑块沿黑线运动，并能越过断点。测试表如下：

序号	连续线循迹情况	用时 /s	间断线循迹情况	用时/s
1	完成	20	完成	23
2	完成	20	完成	24
3	完成	20	完成	23

四 结语

经过四个人的努力，终于有所收获，圆满完成了作品，并且效果很好。遗憾的是由于资金的不足，设计之初想应用在滑块与主控板之间的无线通信没能实现，可作为改进的地方，毕竟那条连线有使用寿命的问题，不是很完善。附录给出了元件清单、PCB 版图和装配图，供说明用。

附录 1—元件清单

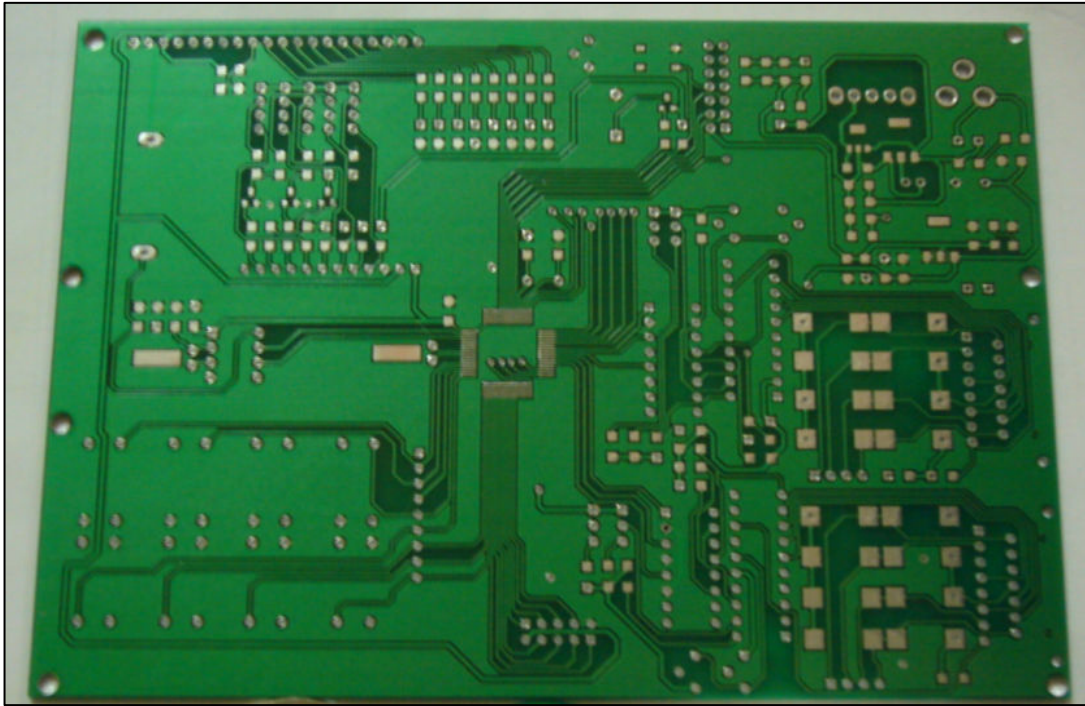
名称	参数
C2	0.01uF
C21	0.1uF
R49	0.5 欧 (2~5w)
R48	0.5 欧 (2~5w)
R56	0.5 欧 (2~5w)
R55	0.5 欧 (2~5w)
C1	0.33uF
R7	1K
R13	1K
R10	1K
R33	2K
C3	3.3nf
R1	4K7
Y1	4MHz
R45	10K
R47	10K
R54	10K
R53	10K
C5	10u
C12	10u
C10	10u
C19	12pF
C20	12pF
R44	22k
C14	22p
C15	22p
R4	24K
R5	24K
R6	24K
R2	24K
R3	24K
Y2	32.768kHz
Y3	32.768kHz
C22	47uF
C18	100nF
C16	100nF
C27	100nF
C25	100nF
R30	102
R31	102
R32	102
R29	102

R27	102
R26	102
R25	102
R28	102
R50	102
R51	102
R52	102
R39	102
R40	102
R41	102
R37	103
R36	103
R35	103
R43	103
R42	103
R15	103
R46	103
J12	103
C9	104
C7	104
C13	104
C23	104
C26	106
C17	106
R21	202
R20	202
R34	202
R24	202
R23	202
R22	202
R17	202
R18	202
R19	202
R38	472
R8	510
R9	510
R12	510
R14	510
R11	510
U3	1117-3. 3
U2	7805
Q4	9012
B1	BEEP
BT1	Battery

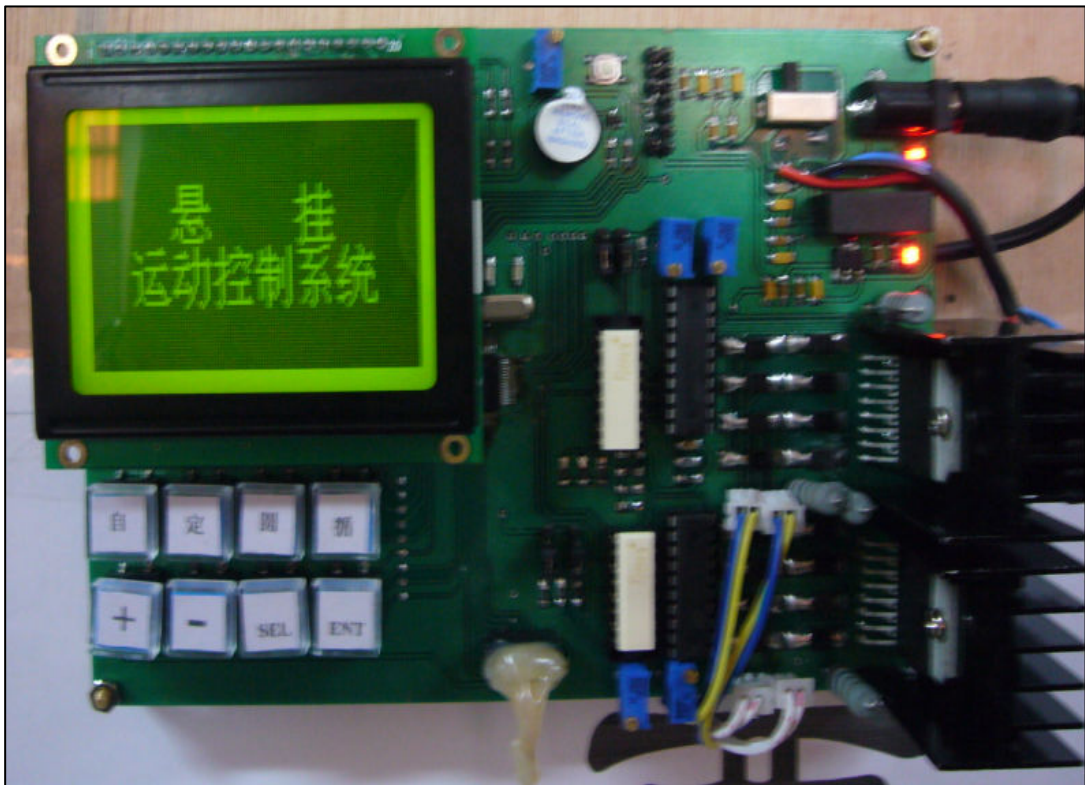
J1	CON2
J6	CON3
J10	CON3
J5	CON3
J9	CON3
J7	CON4
J11	CON4
J4	CON11
J3	DC-DC
U4	DS1302
J8	JTAG
S9	L297
S3	L297
S10	L298
S4	L298
J2	LCM12864-6963A
U5	MSP430F149
Q2	NPN
Q3	NPN
Q1	NPN
D2	POWER
D1	POWER
S7	RESET
D8	SS34
D9	SS34
D4	SS34
D6	SS34
D15	SS34
D14	SS34
D3	SS34
D18	SS34
D17	SS34
D16	SS34
D13	SS34
D7	SS34
D10	SS34
D5	SS34
D12	SS34
D11	SS34
SEN5	ST198
SEN3	ST198
SEN4	ST198
SEN1	ST198
SEN2	ST198

S1	SW-SPDT
S2	TLP521-4
S8	TLP521-4

附录 2—实物图片



附录图 1 裸板



附录图 2 装配板



附录图 3 效果演示

附录 3—使用 TI 器件

器件型号	数量	用途
MSP430F149	1	主控芯片
TLV1117-3.3	3	电源电路
TLV1117-5	2	电源电路
TPS77001	1	电源电路

