

浙江大学课程作业



课程名称: 液力传动与气动技术

学生姓名: 武鑫

专 业: 机械电子工程

学 号: 315010xxxx

浙江大学 2018.4

目录

一、	直动式减压阀特性曲线计算及仿真	2
一、	题目要求	2
二、	模型建立	2
1、	受力分析	2
2、	系统流量特性分析	3
三、	压力特性曲线	4
四、	流量特性曲线	6
五、	改进	8
二、	气动电子技术应用实例——气动钻床	9
一、	题目要求	9
二、	全气动步进控制设计	9
三、	PLC 控制设计	11

一、直动式减压阀特性曲线计算及仿真

一、题目要求

减压阀是将气源气流减压、稳压后供给下游设备的一种控制元件,其中直动式最为常用。

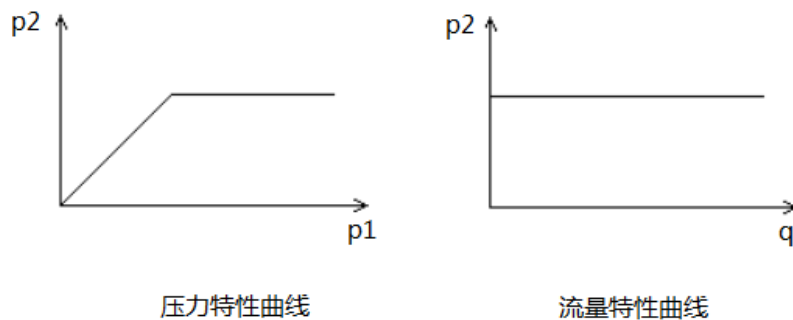
气动阀的特性曲线主要为压力特性曲线、流量特性曲线和溢流特性曲线：

压力特性曲线——在流量不变时,输入压力变化引起输出压力变化的特性曲线。

流量特性曲线——再输入压力不变时,输出流量变化引起输出压力变化的特性曲线。

溢流特性曲线——溢流量与输出压力间的关系,一般减压阀溢流能力很小,不用考虑其溢流特性曲线。

减压阀理想特性曲线



要求对直动式减压阀的特性曲线进行仿真。

二、模型建立

1、受力分析

忽略气动力、沿程阻力及阀口处能量损失。

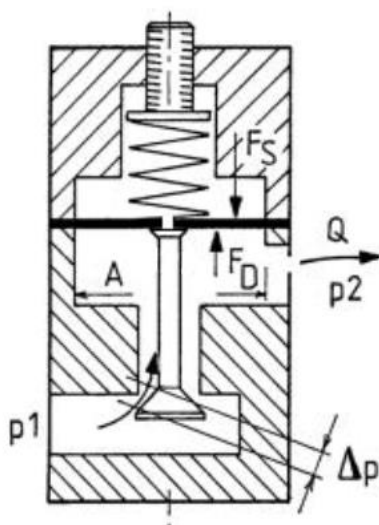
向上的力—— p_1 作用在主阀阀芯底部的力,
 p_2 作用在膜片上的向上的力；

向下的力——弹簧力 F_s , p_2 作用在主阀阀芯的向下的力。

建立力学平衡方程：

$$p_1 A_2 + p_2 A = k(x_0 - \Delta x) + p_2 A_2$$

变换上式, 得到：



$$p_2 = \frac{k(x_0 - \Delta x) - p_1 A_2}{A - A_2} \quad (1)$$

2、系统流量特性分析

减压阀的流量等于流经锥阀的流量，而锥阀阀口处可看作一薄壁小孔，按照薄壁小孔流体流量的计算方法来分析。

查表知，锥阀式阀口的流通截面计算公式为：

$$A_0 = \pi d \Delta x \sin \frac{\Phi}{2} \left(1 - \frac{\Delta x}{2d} \sin \Phi \right) \quad (2)$$

其中，

Δx —— 阀口开度

Φ —— 锥阀锥角，这里取 45°

d —— 孔道直径，这里取 $16mm$

由于空气流经小孔时与管壁接触面小、流动快，可考虑为一维等熵流动。

已知有如下公式：

$$G = \rho q = \begin{cases} S_e p_1 \sqrt{\frac{\kappa}{RT_1} \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}} & \frac{p_2}{p_1} \leq 0.5283 \\ S_e p_1 \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot \frac{1}{RT_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} & \frac{p_2}{p_1} > 0.5283 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\frac{p_2}{p_1} > 0.5283 \quad (3.2)$$

其中，

G —— 气体的质量流量

ρ —— 空气密度，这里取 $1.185kg/m^3$

q —— 气体流量

S_e —— 节流小孔的有效截面积，一般为小孔实际面积 A_0 的 $0.85 \sim 0.95$ ，这里取 $0.9A_0$

κ —— 空气的等熵指数(摩尔热容比)，这里取 1.4

R —— 气体常数，这里取 $287.1N \cdot m/(kg \cdot K)$

T_1 —— 气体温度，这里取 $300K$

在不同给定情况下，联立力学方程（1）、几何方程（2）和流量方程（3.2）即可得到不同特征关系的计算公式。

根据实际情况，为模型各参数选取对应的数值，除了前面已经提到的取值，其它参数的数值选取如下：

弹簧刚度 $k = 200kN/m$

弹簧预警压缩量 $x_0 = 20mm$

膜片面积 $A = \pi r^2$ （膜片半径 $r = 20mm$ ）

主阀芯面积 $A_2 = \frac{\pi}{4} d^2$ （孔道直径 d 已设为 $16mm$ ）

将上述参数设置以 MATLAB 脚本的形式保存在程序中：

```
1      %% 参数初始化
2 -    clear
3 -    clc
4 -    global pi phi d rho kappa R I1 k x0 A A2
5 -    pi = 3.1416;
6 -    phi = 45 / 180 * pi;
7 -    d = 16*1e-3;
8 -    rho = 1.185;
9 -    kappa = 1.4;
10 -    R = 287.1;
11 -    I1 = 300;
12 -    k = 200*1e3;
13 -    x0 = 20*1e-3;
14 -    A = pi * (20*1e-3)^2;
15 -    A2 = pi / 4 * d^2;
```

三、 压力特性曲线

计算压力特性，即在给定流量 q 的情况下，根据输入压力 p_1 求输出压力 p_2 。因为 p_1 与 p_2 关系式耦合程度较大，不便直接计算，采用迭代求解的思路进行求解：

1. 对输入 p_1 ，根据式（3.1）求得 S_e 的初始估计值

2. 将 $S_e = 0.9A_0$ 代入（2），得到 A_0 的估计值

3. 将 A_0 代入（1），得到 p_2 的估计值

4. 若满足 $\frac{p_2}{p_1} \leq 0.5283$ ：估计值 p_2 即为所求

5. 若不满足 $\frac{p_2}{p_1} \leq 0.5283$: 将 p_2 初始估计值作为初值

代入 (3.2) 得到新的 S_e 估计值, 重复步骤 2、3,

直到达到一定精度

用 MATLAB 仿真时, 设置最大迭代次数为 10 次。

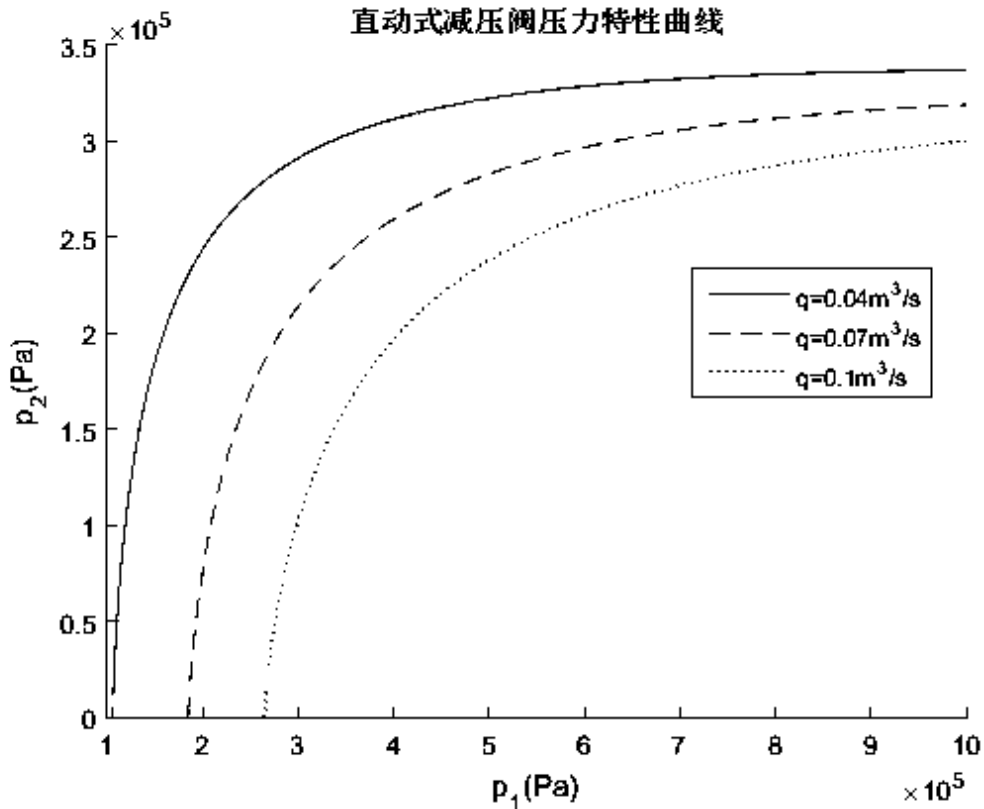
定义压力特性计算函数:

```
1 function [p1, p2] = pressure_cal(q, plmax)
2 - global pi phi d rho kappa R Tl k x0 A A2
3 - N = 1e5;
4 - p1 = linspace(1e5, plmax, N);
5 - p2 = zeros([1, N]);
6 - for i=1:N
7 -     Se = rho * q / ( p1(i) * ...
8 -         sqrt( kappa/(R*Tl)*(2/(kappa+1))^(kappa+1)/(kappa-1)) ) );
9 -     A0 = Se / 0.9;
10 -    delta_x = (pi*d*sin(phi/2)-sqrt(pi^2*d^2*(sin(phi/2))^2-2*pi*sin(phi)*sin(phi/2)*A0)) / ...
11 -        (pi*sin(phi)*sin(phi/2));
12 -    p2(i) = (k*(x0-delta_x)-p1(i)*A2)/(A-A2);
13 -    flag = 0;
14 -    while p2(i)/p1(i) > 0.5283 && p2(i)/p1(i) <= 1 && flag < 10
15 -        Se = rho * q / ( p1(i) * ...
16 -            sqrt( 2*kappa/(kappa-1) * 1/(R*Tl) * ...
17 -                ( (p2(i)/p1(i))^(2/kappa) - (p2(i)/p1(i))^(kappa+1/kappa) ) ) );
18 -        A0 = Se / 0.9;
19 -        delta_x = (pi*d*sin(phi/2)-sqrt(pi^2*d^2*(sin(phi/2))^2-2*pi*sin(phi)*sin(phi/2)*A0)) / ...
20 -            (pi*sin(phi)*sin(phi/2));
21 -        p2(i) = (k*(x0-delta_x)-p1(i)*A2)/(A-A2);
22 -        flag = flag + 1;
23 -    end
24 -    if p2(i) < 0
25 -        p2(i) = nan;
26 -    end
27 - end
```

调用程序, 获取减压阀压力特性曲线的仿真结果:

```
16 %% 直动式减压阀压力特性曲线
17 - figure(1)
18 - grid on
19 - hold on
20 - xlabel('p_1(Pa)')
21 - ylabel('p_2(Pa)')
22 - title('直动式减压阀压力特性曲线')
23 - [p1, p2] = pressure_cal(0.04, 10e5);
24 - plot(p1, p2, '-')
25 - [p1, p2] = pressure_cal(0.07, 10e5);
26 - plot(p1, p2, '--')
27 - [p1, p2] = pressure_cal(0.1, 10e5);
28 - plot(p1, p2, 'k:')
29 - legend('q=0.04m^3/s', 'q=0.07m^3/s', 'q=0.1m^3/s')
```

仿真结果如下：



从上图中可以发现：

- (1) 压力特性曲线不是从零点开始的，这是因为考虑到实际阀体中存在一定的阻尼和能量损失，输入压力过小时无法保证给定流量的气体能够顺利通过阀体，此时无解；
- (2) 在相同输入压力下，随着给定流量增大，输出压力降低，这是因为要使得大流量气体通过阀体，阀口开度必须变大，而根据式 (1)，输出压力变小可以使得阀口开度变大；
- (3) 实际压力特性曲线是一条圆滑的曲线，而不是理想的折线，是因为其受多种因素限制。

四、流量特性曲线

计算流量特性，即在给定输入压力 p_1 的情况下，根据流量 q 求输出压力 p_2 。这里可以反过来求解，即对不同大小的 p_2 ，反过来求其对应的 q 的大小。这样， q 与 p_2 的关系便可以通过顺序求解的方式计算：

1. 对给定 p_2 ，根据式 (1) 求得 Δx

2. 根据 (2) 及 $S_e = 0.9A_0$, 求得 S_e

3. 将 p_1 、 p_2 、 A_0 代入 (3.1) 或 (3.2) 求得 q 的值

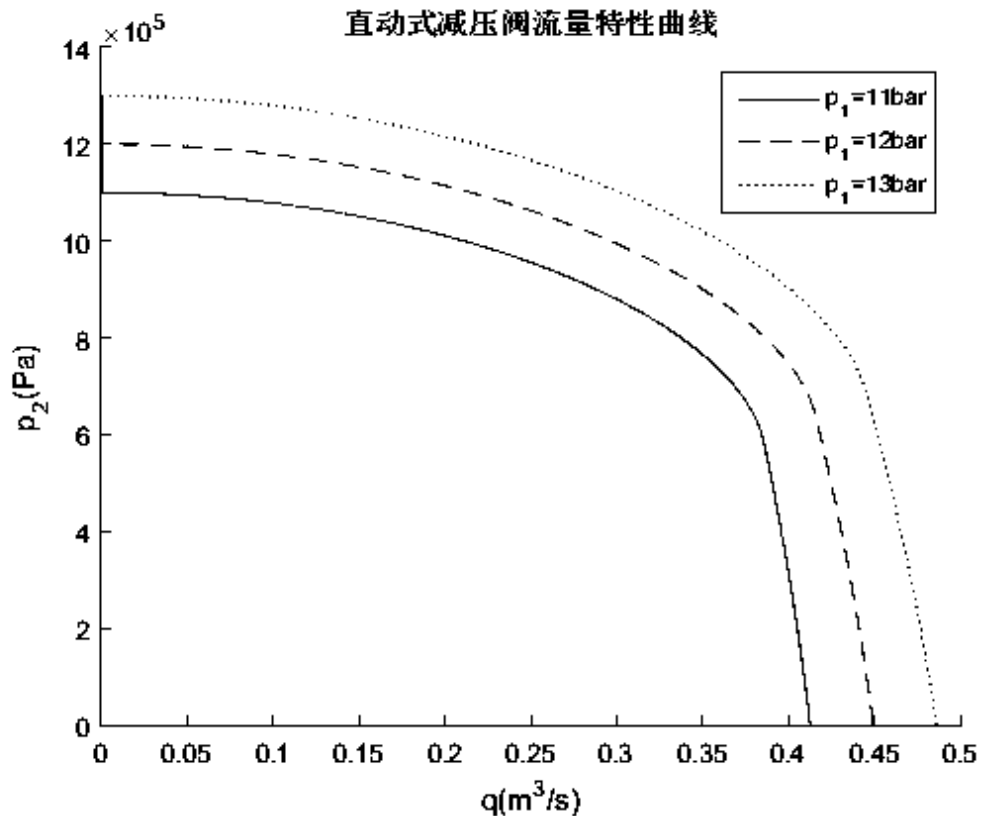
定义流量特性计算函数：

```
1 function [q, p2] = flow_cal(p1, p2max)
2 - global pi phi d rho kappa R l1 k x0 A A2
3 - N = 1e5;
4 - p2 = linspace(1e1, p2max, N);
5 - q = zeros([1, N]);
6 - for i=1:N
7 -     delta_x = x0 - ((A-A2)*p2(i) + p1*A2) / k;
8 -     A0 = pi * d * delta_x * sin(phi/2) * (1-delta_x/(2*d)*sin(phi));
9 -     Se = 0.9*A0;
10 -     if p2(i)/p1 <= 0.5283
11 -         q(i) = Se*p1/rho*sqrt(kappa/(R*l1)*(2/(kappa+1))^(kappa+1)/(kappa-1)));
12 -     else
13 -         q(i) = Se*p1/rho*sqrt( 2*kappa/(kappa-1) * 1/(R*l1) * ...
14 -             ( (p2(i)/p1)^(2/kappa) - (p2(i)/p1)^((kappa+1)/kappa) ) );
15 -     end
16 - end
```

调用程序，获取减压阀压力特性曲线的仿真结果：

```
30 %% 直动式减压阀流量特性曲线
31 - figure(2)
32 - grid on
33 - hold on
34 - xlabel('q(m^3/s)')
35 - ylabel('p_2(Pa)')
36 - title('直动式减压阀流量特性曲线')
37 - [q, p2] = flow_cal(11e5, 13e5);
38 - plot(q, p2, '-');
39 - [q, p2] = flow_cal(12e5, 13e5);
40 - plot(q, p2, '--');
41 - [q, p2] = flow_cal(13e5, 13e5);
42 - plot(q, p2, 'k:');
43 - legend('p_1=11bar', 'p_1=12bar', 'p_1=13bar')
```


仿真结果如下：



从上图可以发现：

- (1) 流量为 0 时输入压力大小等于输出压力；
- (2) 在相同流量下，随着输入压力增大，输出压力也增大；
- (3) 减压阀保持输出压力的作用是有限的，当流量太大的时候，减压阀就会失效。

五、改进

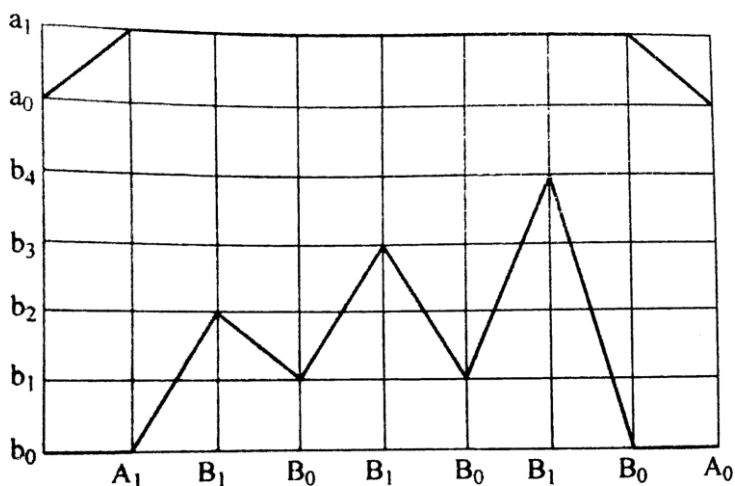
对减压阀进行数学建模的时候, 考虑到作用在锥阀阀口的气动力分项在量级上应该小于其它项, 为了方便建立模型和进行计算, 人为忽略了阀口处的气动力、系统管路的沿程阻力和流经阀孔的能量损失, 如果对模型精度有更高的要求, 可以考虑在力学模型中补充加入这些因素。

二、 气动电子技术应用实例——气动钻床

一、 题目要求

机械工程自动化流水线中,通过自动钻床加工一零件,加工步骤为:先在零件中心钻孔,然后攻螺纹。一组动作包括将零件定位夹紧和通过齿轮齿条机构实现工螺纹前进与后退。一组动作可由 A、B 两个气缸完成, A 气缸实现夹紧, B 气缸实现钻头进给。

自动钻床的工作程序为:按下启动按钮,气缸 A 前进,将工件夹紧;然后 B 气缸带动钻头进给,当钻头至行程开关 b_2 时, B 气缸退回至 b_1 ,排除铁屑;然后继续进给至 b_3 ,再退回 b_1 ,排除铁屑;最后进给至 b_4 ,退回至 b_0 原位,完成钻孔, A 气缸退回,松开工件。该流程的位置流程图如下图所示:



要求用全气动步进控制模块和 PLC 控制两种方法设计自动钻床的气动控制系统。

二、 全气动步进控制设计

系统运动的逻辑顺序为:

$$A_1 - B_2 - B_1 - B_3 - B_1 - B_4 - B_0 - A_0$$

则程序控制回路部分共有 8 个模块。选用复位记忆步进模块。

共有 7 种位置状态:

$$a_0, a_1, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$$

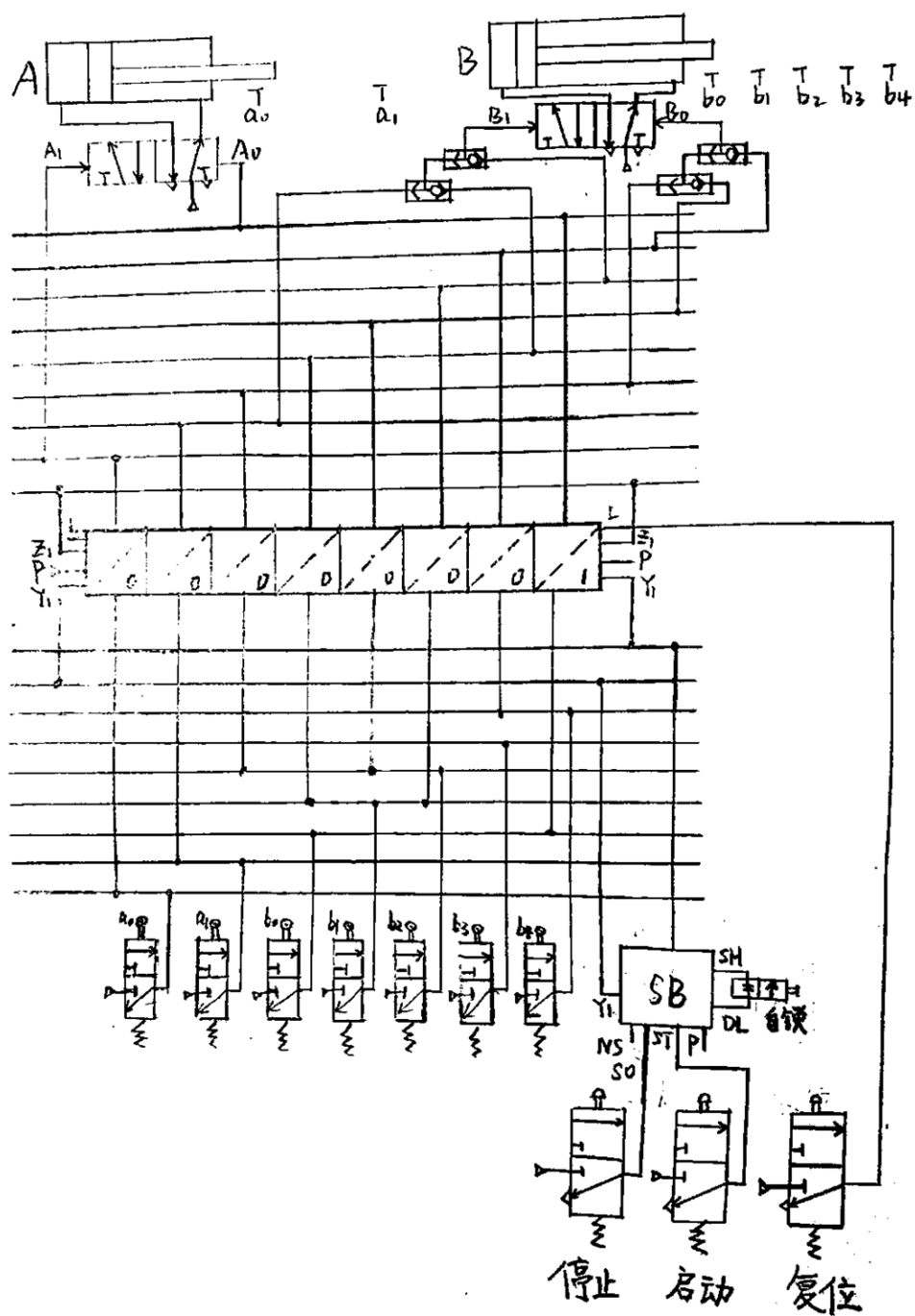
则条件信号输入部分共有 7 个控制阀。

上管网组官网数目 $8+1=9$; 下管网组官网数目 $7+2=9$ 。

控制 A 气缸运动需要一个控制阀, 控制 B 气缸运动需要一个控制阀和四个或门。

控制启停和复位使用条件指令信号处理模块。

设计得到气动控制系统的简化图如下：



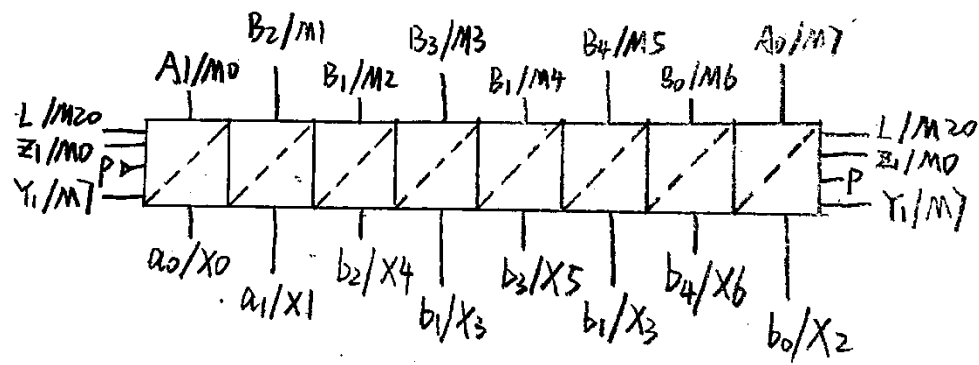
三、PLC 控制设计

PLC 控制可在全气动控制系统的基础上修改得到。将全气动控制系统中的二位五通气控换向阀换成二位五通双电控换向阀。

寄存器分配：

启动按钮	X7		
自锁按钮	X10	循环标志	M10
停止按钮	X11		
复位按钮	X12	复位标志	M20

另外， A_0 、 A_1 、 B_0 、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 a_0 、 a_1 、 b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 都有对应的 M 寄存器和 X 地址，对应关系如步进模块图所示：

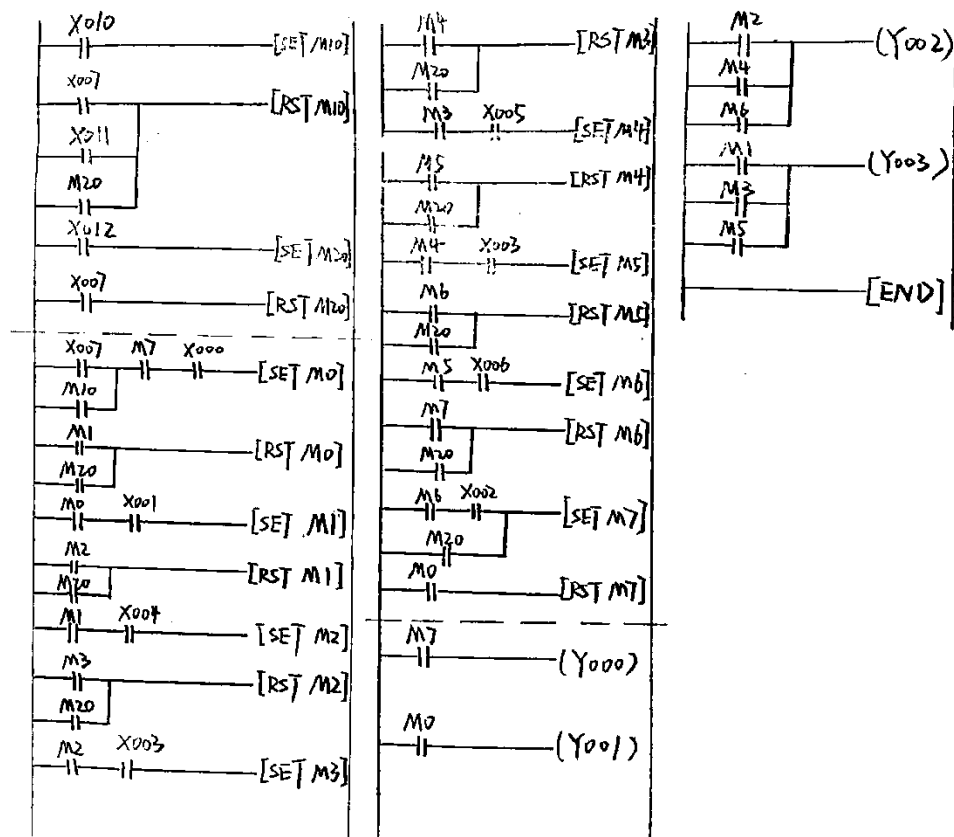


气缸与运动	符号	寄存器
A 气缸前进	A_1	M0
A 气缸后退	A_0	M7
B 气缸前进	B_2 、 B_3 、 B_4	M1、M3、M5
B 气缸后退	B_0 、 B_1 、 B'_1	M2、M4、M6

需要注意的是，在实验用到的 PLC 中，由于触摸屏使用的是 M 寄存器，所以要将几个按钮对应的 X 地址改为 M 寄存器，即：

X7	改为	M27	X10	改为	M30
X11	改为	M31	X12	改为	M32

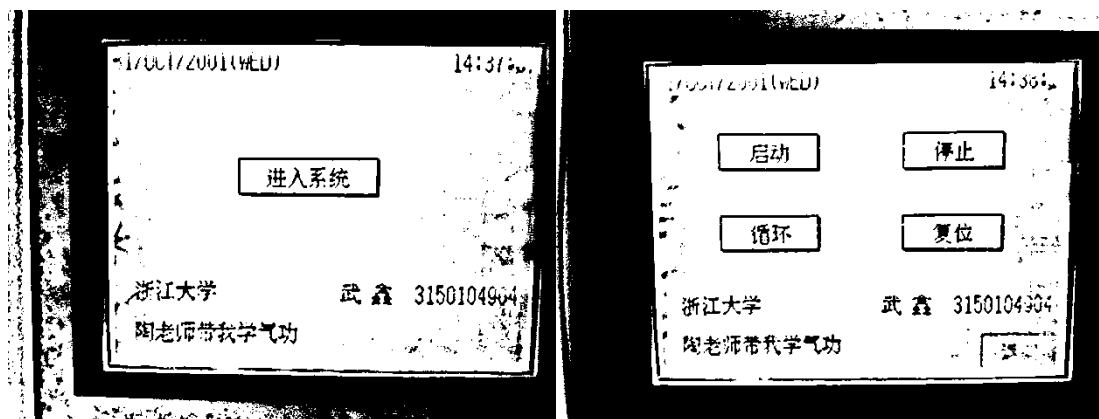
根据步进模块图作出梯形图：



梯形图对应的指令表：

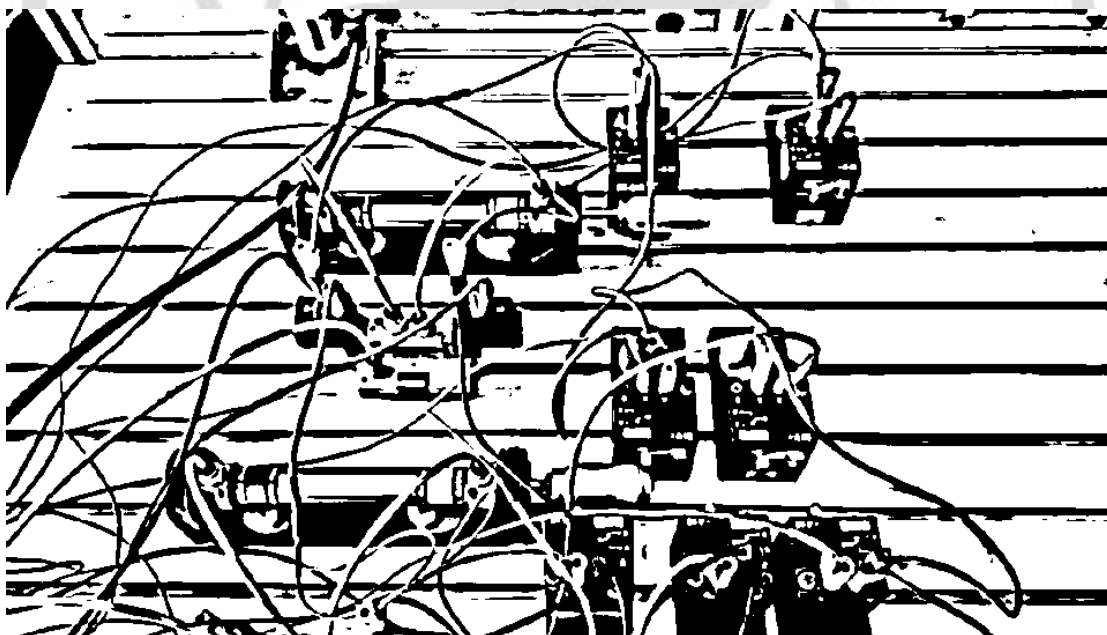
0	LD	M30	32	SET	M3
1	SET	M10	33	LD	M4
2	LD	M27	34	OR	M20
3	OR	M31	35	RST	M3
4	OR	M20	36	LD	M3
5	RST	M10	37	AND	X005
6	LD	M32	38	SET	M4
7	SET	M20	39	LD	M5
8	LD	M27	40	OR	M20
9	RST	M20	41	RST	M4
10	LD	M27	42	LD	M4
11	OR	M10	43	AND	X003
12	AND	M7	44	SET	M5
13	AND	X000	45	LD	M6
14	SET	M0	46	OR	M20
15	LD	M1	47	RST	M5
16	OR	M20	48	LD	M5
17	RST	M0	49	AND	X006
18	LD	M0	50	SET	M6
19	AND	X001	51	LD	M7
20	SET	M1	52	OR	M20
21	LD	M2	53	RST	M6
22	OR	M20	54	LD	M6
23	RST	M1	55	AND	X002
24	LD	M1	56	OR	M20
25	AND	X004	57	SET	M7
26	SET	M2	58	LD	M0
27	LD	M3	59	RST	M7
28	OR	M20	60	LD	M7
29	RST	M2	61	OUT	Y000
30	LD	M2	62	LD	M0
31	AND	X003	63	OUT	Y001
			64	LD	M2
			65	OR	M4
			66	OR	M6
			67	OUT	Y002
			68	LD	M1
			69	OR	M3
			70	OR	M5
			71	OUT	Y003

触摸屏显示界面：



程序烧入后，在触摸屏处点击进入系统，会进入主控制界面。主控制界面有五个按钮，分别是启动、停止、循环、复位和返回。按下启动按钮，装置会进行一次循环；按下停止按钮，装置会停止运动；按下复位按钮，装置会复位至初始状态；按下循环按钮，装置会连续运行；按下返回按钮，触摸屏返回初始界面。

实验装置连接图：



上方的气缸代表 A，其行程上有两个传感器，代表两个位置状态；下方的气缸代表 B，其行程上有 5 个传感器，代表 5 个位置状态。

在实验中发现的问题是，由于气缸行程有限，传感器布置太过紧密，传感器 b_0 和 b_1 总是会同时被压下，这样气缸 B 在一个循环内实际上只能运动两个来回，而不是三个来回。

若要用单电控，则可在双电控基础上进一步改动。

在单电控换向阀的控制中，一边是进气管，另一边是弹簧。气管进气时，换向阀被推到运动位置，停止进气后，弹簧将换向阀压回静止位置。这里将气管控制位定为前进位，弹簧控制位定为后退位，则只需要将梯形图最后几行稍作改动：

(Y000)	改为	[RST Y001]
(Y001)	改为	[SET Y001]
(Y002)	改为	[RST Y003]
(Y003)	改为	[SET Y003]

