

水位自动控制系统

陈哲 曹家皓 颜俏 牛宁宇

北京交通大学 机电学院 1112 班

摘要: 过程控制是自动控制技术的重要应用领域,它是指对液位、温度、流量等过程变量进行控制,在冶金、机械、化工、电力等方面得到了广泛应用。尤其是液位控制技术在现实生活、生产中发挥了重要作用,比如,民用水塔的供水,如果水位太低,则会影响居民的生活用水;工矿企业的排水与进水,如果排水或进水控制得当与否,关系到车间的生产状况;锅炉汽包液位的控制。可见,在实际生产中,液位控制的准确程度和控制效果直接影响到工厂的生产成本、经济效益甚至设备的安全系数。所以,为了保证安全条件、方便操作,就必须研究开发先进的水位控制方法和策略。本文就以简单的水箱水位控制系统进行介绍、分解、以及研究。

关键词: 自动控制;液位控制;水箱水位;控制系统;准确程度;控制效果

The automatic control system of water level

Chen Zhe Gao Jiahao Yan Qiao Niu Ningyu

Abstract: Process control is an important application field of automatic control technology, it refers to the liquid level, temperature, flow rate control of process variables such as, in metallurgy, machinery, chemical industry, electric power, etc, has been widely applied. Especially the liquid level control technology has played an important role in the real life, the production, for example, civil water tower water supply, if the water level is too low, will affect residents living water; Industrial and mining enterprises of the drainage and water, if drainage or water control is proper or not, relates to the production situation of workshop; The boiler drum level control. Visible, in actual production, the accuracy of the liquid level control and the control effect directly affects the production cost and economic benefit of the factory and equipment safety coefficient. So, in order to ensure safety, convenient operation, it must research and development of advanced water level control method and strategy. In this

paper, a simple tank water level control system is introduced, decomposition, and research.

Key words: automatic control; level control; water tank; water level; degree of accuracy ; control effect

引言：液位自动控制是通过控制投料阀来控制液位的高低。当传感器检测到液位设定值时，阀门关闭，防止物料溢出；当检测液位低于设定值时，阀门打开，使液位上升，从而达到控制液位的目的。在制浆造纸工厂常见有两种方式的液位控制：常压容器和压力容器的液位控制，例如浆池和蒸汽闪蒸罐。液位自动控制系统由液位变送器（或差压变送器）、电动执行机构和液位自动控制器构成。根据用户需要也可采用控制泵启停或改变电机频率方式来进行液位控制。结构简单，安装方便，操作简便直观，可以长期连续稳定在无人监控状态下运行。

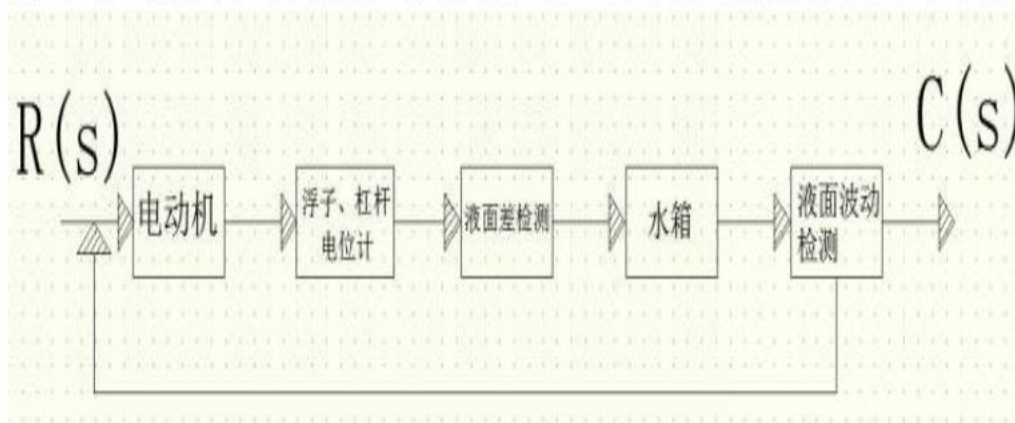


图 1 液位控制系统原理框图

1 实验方案

1.1 方案原理

通过放大器的作用经由电动机，减速器，控制阀（阀门）输出水量，由于水缸有进水量的扰动，放置浮子作为液位的反馈到电位器上。电位器电刷位于中点位置时，电动机不动，控制阀门有一定的开度，使水箱中流入水量与流出水量相等，从而液面保持在希望高度上。一旦流入水量或流出水量发生变化，水箱液面高度便相应变化。例如，当液面升高时，浮子位置亦相应升高，通过杠杆作用使电位器电刷从中点位置下移，从而给电动机提供一定的控制电压，驱动电动机通过减速器减小阀门开度，使进入水箱的流量减少。此时，水箱液面下降，浮子位置相应下降，直到电位器电刷回到中点位置，系统重新处于平衡状态，液面恢复给定高度，反之，若水箱液面下降，则系统会自动增大阀门开度，加大流入的水量，使液面升到给定的高度。形成闭环控制系统。

1.2 水位自动控制系统原理图：

水位自动控制系统原理图如下图所示：

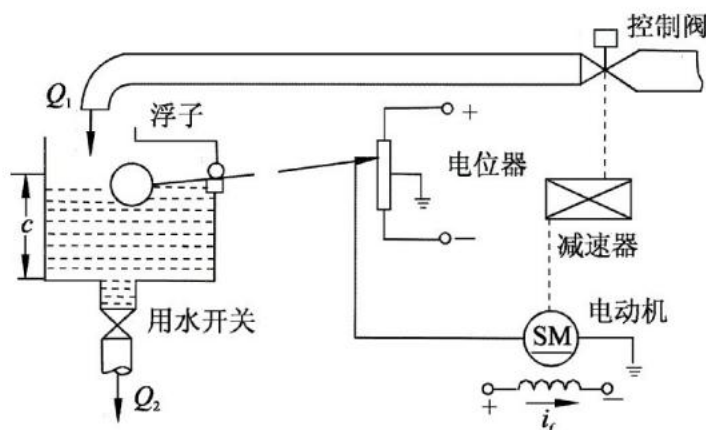


图 2 水位自动控制系统原理图

1.3 水位自动控制系统的基本组成环节

水位自动控制系统由浮子、杠杆、直流电动机，阀门及水箱控制部分构成。根据用户需要也可采用控制泵启停或改变电机频率方式来进行液位控制。结构简单，安装方便，操作简便直观，可以长期连续稳定在无人监控状态下运行。

(1) 伺服电位器

作为常用的位置检测装置，将角位移或者直线位移转换成模拟电压信号的幅值或相位。伺服电位器可作为角位移传感器。

(2) 功率放大器

由于运算放大器具有输入阻抗很大，输出阻抗小的特点，在工程上被广泛用来作信号放大器。

(3) 伺服电机

在伺服系统中控制机械元件运转的电动机，是一种补助马达间接变速装置。伺服电机可使控制速度，位置精度非常准确，可以将电压信号转化为转矩和转速以驱动控制对象。

1.4 水位自动控制系统的结构图

(1) 元件的选择

a. 控制器选择：伺服电位器

在水位自动控制系统中，采用的伺服电位器是 WDD35 精密导电塑料电位器。WDD35 型电位器具备连续旋转功能，其滑动端与导电塑料接触，实现角度-电压的变换。

表 1 WDD35D-1 型电位器主要技术指标

标准阻值 (K Ω)	1	启动力矩 (mN·m)	≤ 1
电阻公差 (%)	± 15	价值耐压 (V)	≥ 500
独立线性度 (%)	0.5	分辨率	理论上无穷小
理论电旋转角 ($^{\circ}$)	345 ± 2	机械转角 ($^{\circ}$)	360 (连续)
输出平滑性 (%)	≥ 0.05	旋转负荷寿命 (圈)	50*

在水位自动控制系统中，伺服电位器是一个比例环节，其系数为 15

b. 执行元件：直流力矩电机

永磁直流力矩电机能经常工作在堵转或低速状态，具有高的力矩惯量比，加速性能好，可直接耦合传动，省去了齿轮传动链，消除了齿隙误差，提高了系统精度，反应速度快，线性度好，结构紧凑。在水位自动控制系统中，采用 SYL-5 永磁式直流力矩电动机。其主要技术参数如下：

表 2 SYL-5 永磁式直流力矩电动机主要技术参数

连续堵转力矩 (N·m)	0.49	连续堵转电流 (A)	1.8
连续堵转电压 (V)	20	转矩波动系数	10
空载转速 (r/min)	500	静摩擦力矩 (N·m)	0.098
电极常数 N·m/	79.49*	转矩灵敏度 (N·m/A)	0.2722
反电势系数 (V·min/r)	0.0286	电枢电阻 (Ω)	$13 \pm 10\%$

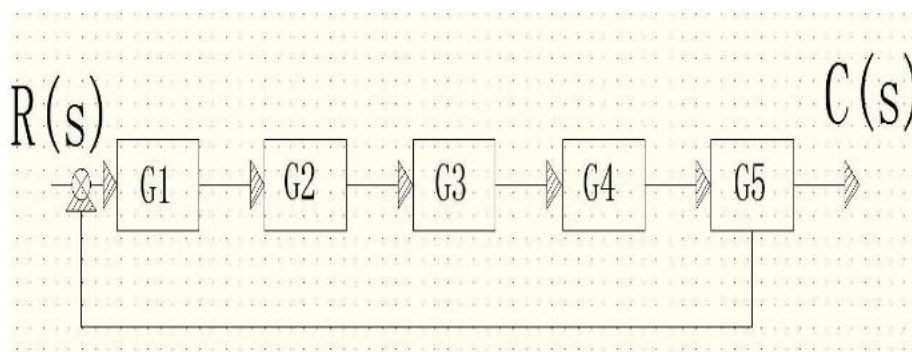
电磁时间常数 (ms)	2.4	电枢转动惯量 (Kg·)	21.58*
-------------	-----	--------------	--------

表二

在水位自动控制系统中,电动机增益常数为 1,时间常数为 10.

(2) 结构图绘制

前面对系统元部的模型析,可得出水自动控系统的构图,下图所示。



由条件分以位制结如

图 3 水位自动控制系统的结构图

2 数学模型

2.1 传递函数

系统的开环传递函数为

$$W_K = W_1 W_2 W_3 W_4 W_5 = \frac{15s + 15}{500s^3 + 1050s^2 + 100s}$$

化简得到的系统闭环传递函数为:

$$W_B = \frac{W_K}{1 + W_K} = \frac{15s + 15}{500s^3 + 1050s^2 + 115s + 15}$$

对上式具体分析有如下结构:

2.2 浮子、杠杆、电位计 (比例环节)

浮球杠杆测量液位高度的原理式

$$U_o = \frac{U_{总} b \Delta h}{al}$$

式中 U_o 为电位计的输出电压, $U_{总}$ 为电位计两端的总电势, $\frac{b}{a}$ 为杠杆的长度比, Δh 为高度的变化, l 为电位计电阻丝的中点位置到电阻丝边缘的长度。这里,在零初始条件下,对上式求其拉普拉斯变换:

$$U_0(s) = \frac{U_{\text{总}} b \Delta h(s)}{al}$$

可求得电位器的传递函数。则其传递函数如下式所示：

$$W_1(s) = G_2(s) = K_1 = \frac{b}{al} = 15$$

2.3 液面差检测（微分环节）

当实际液面与标准液面的差距过大时，输入电压U1经过放大器，减速器，变为U2，有：在零初始条件下，对上式求其拉普拉斯变换：

$$h_c(s) = (Ks + 1)U_1(s)$$

则其传递函数如下式所示：

$$W_2(s) = G_3(s) = K_2s + 1$$

设计值=1

2.4 电动机（惯性环节）

此处查阅相关资料得，电动机的传递函数为

$$W_3(s) = G_1(s) = \frac{k_3}{T_1s + 1}$$

$$T_1 = 10, k_3 = 1$$

2.5 水箱（积分环节）

根据水箱进出流量计算，实际液位Xc是流入量错误！未找到引用源。与流出量错误！未找到引用源。的差值错误！未找到引用源。对时间t的积分，这是一个积分环节：

$$X_c = \int \frac{Q_{in} - Q_{out}}{A} dt$$

式中，A 是水箱的横截面积，拉氏变换后，

$$X_c(s) = \frac{Q_{in}(s) - Q_{out}(s)}{As}$$

故传递函数为

$$W_4(s) = G_4(s) = \frac{1}{K_4s}, A = K_4 = 10 \times 10 = 100$$

2.6 液位波动检测（惯性环节）

液位波动检测是在浮子粗调的前提下使用的液面微调系统，考虑到工程上一些化学反应对流量的高要求，此处特地加入这一环节。

液面波动检测环节采用惯性环节。

故传递函数为：

$$W_5(s) = G_5(s) = \frac{1}{0.5s + 1}$$

3 计算结果与分析

3.1 暂态性能

系统开环传递函数为：

暂态性能分析：

```
num=[15, 15];
den=[500, 1050, 115, 15];
t=0:0.1:1000;
sys=tf(num, den);
y=step(sys, t);
plot(t, y);
grid;
maxy=max(y);
yss=y(length(t));
pos=100*(maxy-yss)/yss
for i=1000:-1:1
    if(y(i)>1.02 || y(i)<0.98)
        m=i; break; end
end
ts=m*0.1
for i=1:1:1000
    if(y(i)<1.02&y(i)>0.98)
        n=i; break; end
end
tr=(n-1)*0.1
for i=1:1:1000
    if(y(i)==max(y))
        a=i; break; end;
end
tp=a*0.1
pos =21.6197
ts =67.8000
tr =17.5000
```

$$W_K = W_1 W_2 W_3 W_4 W_5 = \frac{15s + 15}{500s^3 + 1050s^2 + 100s}$$

tp =28.1000

图 4 系统的暂态响应曲线

计算可知，本系统超调量 21.61%，上升时间 17.5s，峰值时间 28.1s，调节时间 67.8s，系统不足之处在于调节时间太长。

下面用劳斯表对该系统进行时域分析：

系统的闭环特征方程为：

$$500s^3 + 1050s^2 + 115s + 15 = 0$$

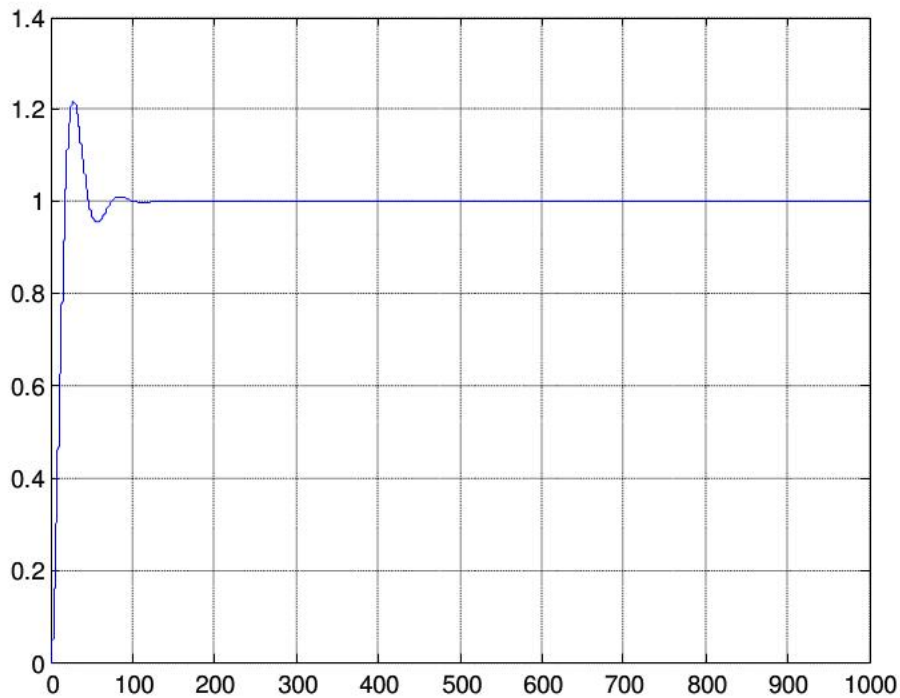
则劳斯表如下

S^3	500	115
S^2	1050	15
S^1	107.9	
S^0	15	

经计算得劳斯表的第一列没有负值，所以系统是处于稳定的。

3.2 根轨迹

```
num=[15, 15];  
den=[500, 1050, 115, 15];  
rlocus(num, den);
```



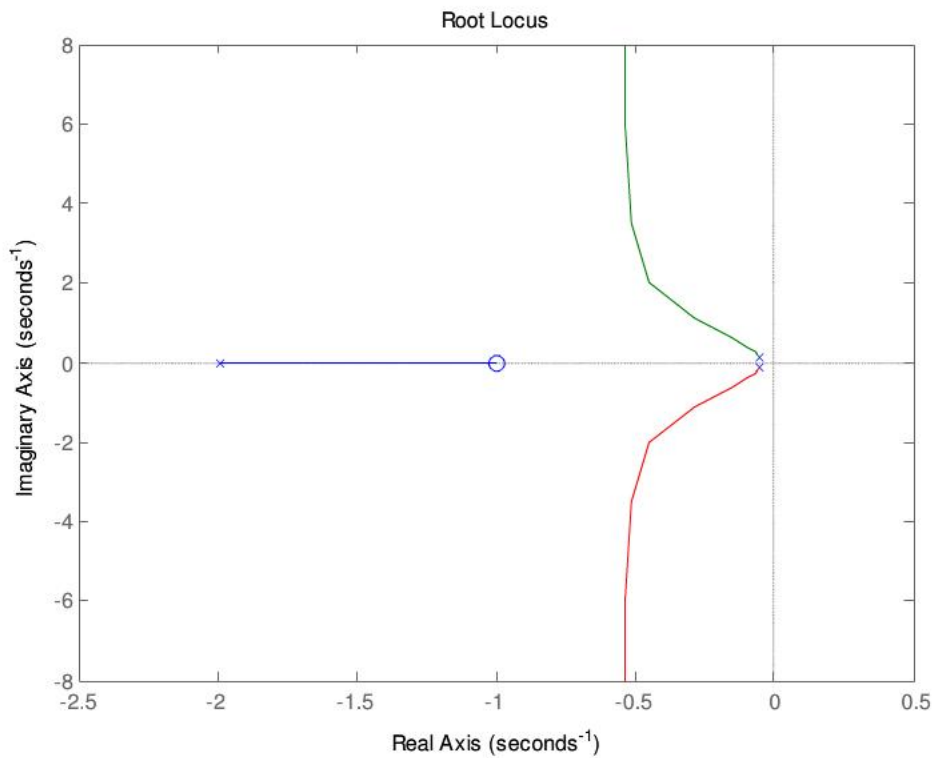


图 5 系统的根轨迹

根轨迹分析:

系统的开环传递函数化为首“1”的标准形式

$$W_k = \frac{0.03(s+1)}{s(s+0.1)(s+2)}$$

由此得出此系统是具有开环零点的三阶系统

- (1) 其中开环有三个开环极点: $-p_1=0$, $-p_2=-0.1$, $-p_3=-2$, 一个开环零点 $-z=-1$
- (2) 在实轴的的根轨迹在 $[-2, -1]$ 和 $[-0.1, 0]$ 区间内
- (3) 渐近线的倾角为: $\pm 90^\circ$ 渐近线的交点: -0.55
- (4) 分离点: 在区间 $[-0.1, 0]$ 必然存在一个分离点。

3.3 频率特性

频率特性分析:

- (1) 系统的幅相频率特性 (Nyquist 图 6)

Nyquist 图

```
num=[15, 15];
```

```
den=[500, 1050, 115, 15];
```

```
nyquist(num, den);
```

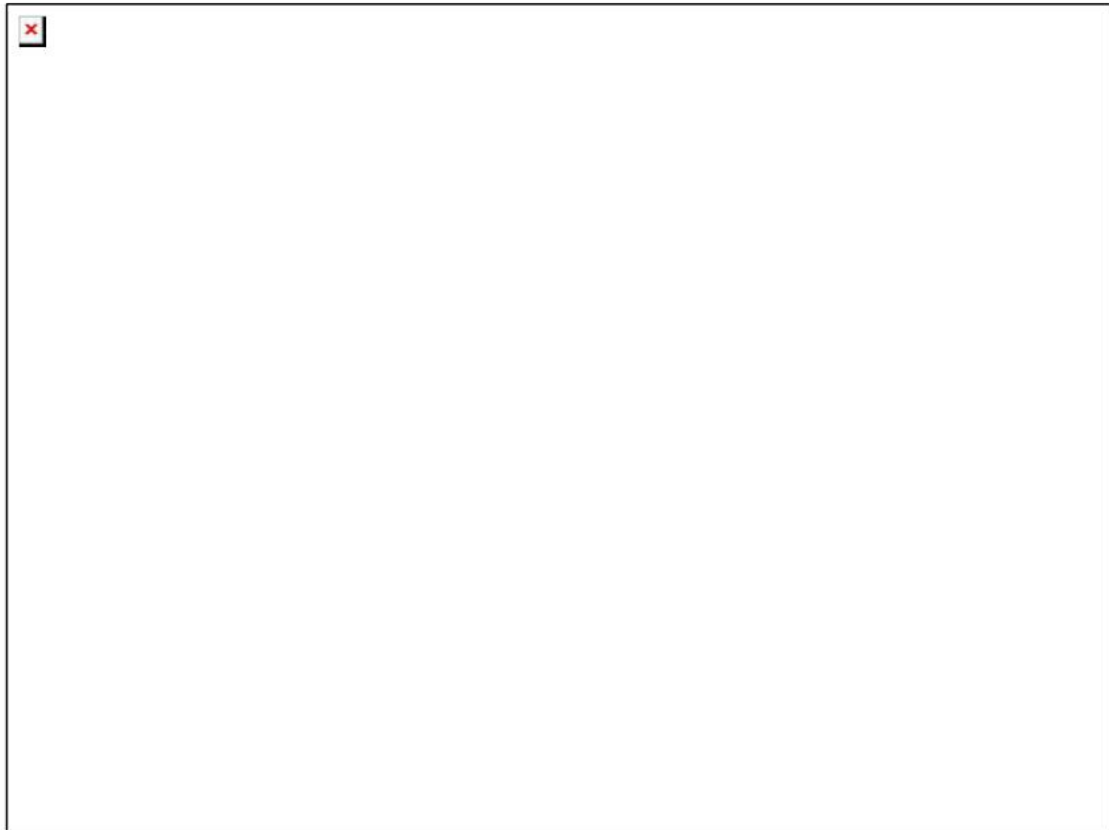



图 6 系统的幅相频率特性曲线

划为尾” 1” 的形式:

$$W_K = \frac{15(s+1)}{100s(10s+1)(0.5s+1)}$$

由此可以看出此系统的频域特性是 I 型系统

当即幅值趋近于 ∞ ，而相位角为 $\pm 180^\circ$

(2) 对数频率分析 (图 7)

Bode 图

```
num=[15, 15];
```

```
den=[500, 1050, 115, 15];
```

```
bode(num, den);
```

图 7 系统的对数频率特性曲线

结论：根据以上计算以及仿真分析得知，该水位自动控制系统稳定，但是超调量过大，因此，该系统还有改进空间。

参考文献：王建辉，顾树生，杨自厚 《自动控制原理》，第四版

