

# 甘蔗制糖企业的磷酸稳定添加系统的设计

何海冰 林佩 覃甲

广西糖业集团星星制糖有限公司

DOI : 10.12238/jpm.v5i7.7023

**[摘要]** 磷酸作为甘蔗制糖澄清工艺环节中一种重要添加剂，在其添加过程中的稳定性及均匀性直接影响到成品白砂糖的质量。本文旨在设计一种采用磷酸存储罐、磷酸溢流罐的双罐设计，并辅予磁力磷酸泵、液位计、流量计、变频器等设备硬件，并通过使用 PLC 进行 PID 串级控制的控制程序编写，从而构建一套能实现磷酸稳定、均匀添加到甘蔗汁中的磷酸稳定添加系统。

**[关键词]** 甘蔗制糖；磷酸；双罐设计；串级控制；稳定添加

## Design of phosphoric acid stable addition system for sugarcane sugar-making enterprises

He Haibing Lin Pei Qin Jia

Guangxi Sugar Group Xingxing Sugar Co., LTD

**[Abstract]** As an important additive in the clarification process of sugarcane sugar production, its stability and uniformity in the addition process directly affect the quality of the finished white granulated sugar. This paper aims to design a double tank design using phosphoric acid storage tank and phosphoric acid overflow tank, supporting the magnetic phosphate pump, level meter, flowmeter, frequency converter, and write the control program with PLC to construct a system of phosphoric acid to sugarcane juice.

**[Key words]** sugar cane; phosphoric acid; double tank design; cascade control; stable addition

## 1 引言

目前我国大多数制糖企业生产过程当中，为达到理想的产品质量，确保色值达标，必须添加各种原辅材料，而磷酸( $H_3PO_4$ )的作用，必不可少<sup>[1]</sup>。在制糖工艺中，产品成品质量的好坏很大程度上取决于磷酸添加过程中的稳定性及均匀性。现多数制糖企业中在对磷酸的添加系统大多数通过使用 PID 控制算法来定量添加控制。这种控制系统的添加方式在实际使用过程中，常常会受到磷酸储存罐的压力变化影响、流量计测量精度及流量超出或达不到流量计测量的范围高低限时出现测量数值错误的影响，导致在实际生产过程中磷酸未能有效实现稳定、均匀添加，从而造成产品质量的不稳定。特别是在设备投入使用多年后，随着流量计测量元件设备的自然老化，磷酸在添加过程出现的不稳定性及不均匀性越发明显。因此，为解决这一弊端，本文将设计一种更为稳定、均匀的磷酸添加系统，为提升制糖企业工艺产品质量提供更多的可行性研究。

## 2 磷酸在甘蔗制糖工艺的作用

磷酸作为一种常见且普通的添加剂，其主要工业磷酸及

食品磷酸两种，制糖企业及食品生产企业所需添加的磷酸均为食品磷酸。在甘蔗制糖亚硫酸法澄清工艺中，磷酸是制糖生产中不可缺少的辅助原材料，磷酸在澄清工序时与石灰乳反应生成具有良好沉淀结构的磷酸钙絮状物沉淀，拥有许多空腔，具有较强的吸附和絮凝作用，能有效去除蔗汁中的非糖杂质和一些微小的胶体微粒，从而得到清亮透明的蔗汁<sup>[2]</sup>。由此可知，磷酸在甘蔗制糖工艺的重要性不言而喻，而稳定、均匀的磷酸添加系统就更为重要。稳定、均匀的添加控制系统，是发挥磷酸对制糖工艺作用的重要保障及坚实基础。

## 3 系统硬件的设计

本文设计的甘蔗制糖企业的磷酸稳定添加系统采用了双罐设计，即磷酸存储罐及磷酸溢流罐。通过双罐设计来减少磷酸存储罐压力变化对磷酸添加过程的影响。除此外，系统硬件硬件中还设计了两台磁力磷酸磁力泵、液位计、流量计以及多个阀门。

磷酸存储罐的顶部设有进液口，主要用于磷酸的补充及溢流罐磷酸的回流；磷酸存储罐的底部设有出液口，出液口通过

管道与1号磁力磷酸泵相连,由磁力磷酸泵将磷酸送至溢流罐;溢流罐的底部也设有出液口,主要用于磷酸向甘蔗汁存储罐的添加,即通过2号磷酸泵将溢流罐的磷酸添加到甘蔗汁存储罐中去;为了保持溢流罐的压力及避免磷酸溢出,在溢流罐顶部设有溢流口,当溢流罐磷酸液位高于溢流罐溢流口时,磷酸自动溢流回到磷酸存储罐,这样就可以确保溢流罐中磷酸液位及压力恒定性。为了确保溢流罐磷酸顺利回流至磷酸存储罐,磷酸溢流罐的溢流口的高度设计高于磷酸存储罐进液口的高度,利用两者间的高度差产生的压力差,令溢流罐的磷酸在无辅助设备的情况下自动溢流回到存储罐。本设计系统还对磷酸存储罐及溢流罐装设了液位计,存储罐液位计主要对罐内的存量进行监测,提醒负责管理人员根据存量及时补充磷酸作用,而溢流罐液位计则用于监测及控制,确保溢流管长期恒定

在设定的液位。本设计系统硬件构造如图1所示,其各部件说明如表1所示。

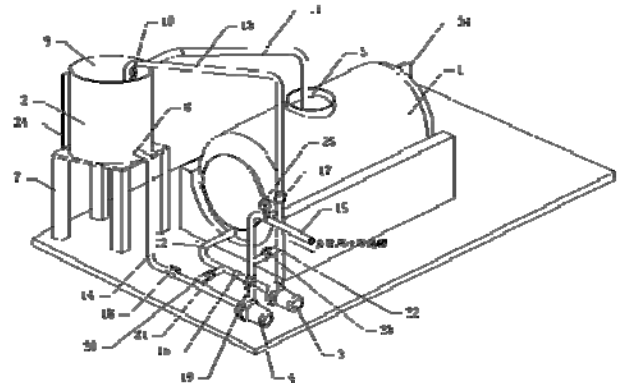


图1 系统硬件构造示意图

表1 系统硬件构造示意图说明表

编号	硬件名称	编号	硬件名称	编号	硬件名称	编号	硬件名称
1	存储罐	8	溢流罐出液口	15	连接管	22	连接管
2	溢流罐	9	溢流罐进液口	16	阀门1	23	阀门6
3	1号磷酸泵	10	溢流口	17	阀门2	24	液位计
4	2号磷酸泵	11	溢流管	18	阀门3	25	流量计
5	存储罐进液口	12	连接管	19	阀门3		
6	存储罐出液口	13	连接管	20	连接管		
7	溢流罐支架	14	连接管	21	阀门5		

## 4 系统软件的设计

### 4.1 系统的控制方案

本文在引言中提到过,制糖企业磷酸添加控制方式存在着磷酸在添加过程出现不稳定及不均匀问题的原因,主要是受到磷酸存储罐内压力变化的影响及流量计测量精度的影响。于是本设计系统在控制上,将以溢流罐中磷酸的液位为主要控制对象,将溢流罐中磷酸的液位长期恒定在设定的液位中。而实现溢流罐磷酸液位恒定需要将溢流罐液位变化数据、储存罐液位变化数据、1号磁力磷酸变频器运行频率的数据、2号磁力磷酸变频器运行频率数据进行采集,并通过与液位控制设置值建立闭环控制,即PID控制及PID串级控制。首先,设定溢流罐需要保持的液位,溢流罐液位计将采集到的数据传送到PLC并由PLC进行AD转换,PLC将根据转换结果与设定值进行比较并进行PID运算后,PLC将根据运算结果发出对1号磁力磷酸泵变频器的控制指令,从而对1号磁力磷酸泵变频进行调速控制;而2号磁力变频器的调速控制将以1号磁力磷酸泵变频器的运行频率为控制参考对象,通过将2号磁力磷酸泵变频器运行频率与1号磁力变频器运行频率进行对比后,再进行PID运算控制输出,进而形成了PID串级控制。在本设计系统中,PID串级控制将会令2号变频器运行频率将跟随1号变频器运行频率的变化而进行动态调整。例如,当1号磁力泵变频器运行频率低时意味着溢流罐液位接近设定值或略大于设定值,而2号磁力磷酸泵变频将会随着1号磁力磷酸泵运行频率的降低而降

低,以减少溢流罐磷酸量的补充。在本文设计系统中,用于测量磷酸添加至甘蔗汁存储罐中流量大小的流量计,其测量结果将不再直接参与控制,只是作为一个辅助参考数据,便于生产管理者对工艺参数调整时提供参考依据,这样就能摆脱系统对流量计测量精度的要求。在磷酸添加过程中,通过调整磷酸存储罐的液位来实现磷酸添加流量大小的控制。本设计系统总体控制方案如图2所示。

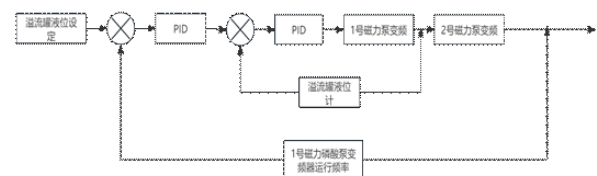


图2 系统总体控制方案图

### 4.2 系统的控制程序设计

在控制程序设计上,主要有PLC对液位计、流量计、变频器运行频率的数据采集的模拟量与工程量之间的转换,即A/D转换;变频器运行频率控制指令输出的工程量与模拟量的转换,即D/A转换;以及PID串级控制算法程序的设计。

#### 4.2.1 模拟量处理程序设计

模拟处理的程序的编写其中有两种方法,一种是根据模拟量与工程量转换计算公式建立一个不带数值存储FB函数块,然后将FB函数块封装成功能块,另一种方法则是直接调用TIA Portal V16编程软件中的缩放与标准化指令块,两种方法均可

实现对模拟量的采集及控制输出，为了更加直观监视程序数据，本文设计系统采用直接调用缩放与标准化指令块来进行模拟量的采集及输出。以 1 号磁力磷酸泵变频器运行频率采集为例，首先在程序段中插入一个标准化指令块：NORM\_X，在数据类型上选择 Int to Real 即整数转换为实数，然后在工程量下限管脚 MIN 输入 0，上限管脚 MAX 输入 27648，VALUE 管脚输入模拟量采集通道定义的变量地址，在 OUT 管脚输入存储模拟量转换成工程量后数据的变量地址。接着再在程序段中插入一个缩放指令块，数据类型选择 Real to Real，下限管脚 MIN 输入 0.0、上限管脚 MAX 输入 50.0，即变频器运行频率的上下限，VALUE 管脚输入存储模拟量转换成工程量后数据的变量地址，OUT 管脚输入存储缩放后的数据的变量地址。

#### 4.2.2 PID 串级控制程序的编写

在 TIA Portal V16 编程软件中编写 PID 程序时，首先要建立一个“循环中断”OB 组织块，随后在组织块程序段中插入 Compact PID 工艺指令，Compact PID 工艺指令中包含了 PID\_Compact 集成调节功能的通用 PID 控制器、PID\_3Step 集成了阀门调节功能的 PID 控制器以及 PID\_Temp 温度 PID 控制器 3 种 PID 控制器，本设计系统主要是液位的控制调节，所以需要选择 PID\_Compact 控制器。在 Cyclic interrupt 循环中断组织块中插入 PID\_Compact 控制器工艺指令块后，需要进行 PID 控制器的组态，PID 控制器的组态包括控制器的工作模式（手动或自动）、Input/Output 参数、主从控制器、过程值限值、过程值标定、PID 参数等指令块参数的设置。本文设计系统中需要用到 2 个 PID 控制器，分别是 1 号磁力磷酸泵变频器运行频率 PID 控制及 2 号磁力磷酸泵变频器运行频率 PID 控制。1 号磁力磷酸泵变频器运行频率 PID 控制器以磷酸存储罐液位为控制目标，对变频器运行频率进行实时控制，而 2 号磁力磷酸泵变频器运行频率 PID 控制器则以 1 号磁力磷酸泵变频器运行频率为控制目标，通过 PID 算法控制 2 号磁力磷酸泵变频器运行频率来实现 1 号磁力磷酸泵变频器运行频率的稳定性，从而实现磷酸的稳定添加。

在 PID 控制器组态中将 2 个 PID\_Compact 控制器参数中的工作模式均设为自动调节模式，Input/Output 参数均设为 Input 和 Output，不选择模拟量作为输入输出，过程值上下限根据液位计的测量范围设定，PID 参数先保留为默认参数，后期再根据控制效果进行调整。在 1 号磁力磷酸泵变频 PID 控制器指令块的 Setpoint 管脚输入磷酸溢流罐液位设定的变量地址、Input 管脚输入磷酸溢流罐液位计的实际值变量地址、Output 管脚均输入 1 号磁力磷酸泵变频器运行频率给定值得变量地址；2 号磁力磷酸泵变频 PID 控制器指令块 Setpoint 管脚输入 1 号磁力磷酸泵变频器运行频率采集值得变量地址、Input 管脚输入 2 号磁力磷酸泵变频器运行频率实际值的变量地址、Output 管脚输入 2 号磁力磷酸泵变频器运行频率给定值的变量地址。通过这中 PID 控制程序的编写，就可实现 PID 的串级控制。

## 5 结论

本设计系统在经过一个甘蔗制糖生产周期的投入使用后，其使用效果在榨季生产周期中表现较强的稳定性。为产品质量的稳步提升提供可靠坚实的基础。本设计相对旧式单罐设计的添加系统，由于其不以流量计的测量结果为控制目标的反馈控制、磷酸输送压力的稳定以及西门子 PLC 控制程序中 PID 控制算法的优越性，令其在实际使用表现出的稳定性及可靠性优势明显优于旧式单罐设计的添加系统。本设计系统在实现磷酸稳定添加的基础上还能对磷酸存储罐的液位变化进行实时监测，值班人员通过监控数值可实时了解到磷酸存储罐内磷酸含量的变化，可有效避免因磷酸含量过少影响生产的情况出现。同时，本设计系统中在硬件设计上的多个管道阀门相连想通的设计方法，使其在榨季生产结束后可对磷酸溢流罐及各连接管道中剩余磷酸进行最大限度地回收至磷酸存储罐，令剩余磷酸得到更好存放和保管。

虽然本系统在实际使用过程中展现出较强稳定性，但由于本设计系统未能与其他工艺自控系统进行互联互通，导致其在磷酸添加量控制上没有得到智能化、自动化控制，磷酸量添加的需求全靠人工进行调整，没有真正实现系统的全自动化控制。在后期的改进及开发中将会考虑将更多智能化控制功能加入其中，例如物联网控制、AI 智能控制、智慧数字系统等功能的加入。

## 【参考文献】

- [1]杨波.磷酸添加量对生产的影响[J].广西糖业, 2017, (01): 31-34.
- [2]黄耘, 滕德荣, 农秋阳, 等.甘蔗制糖生产过程磷酸添加系统应用探讨[J].轻工科技, 2018, 34(10): 6-7.
- [3]杨岚凤, 李利军, 李慰霞.磷酸-蔗糖钙法对糖汁清净作用的研究[J].应用化工, 2019, 48(05): 1067-1070+1075.
- [4]梁梦莹, 胡山.基于模糊自整定 PID 的双容水箱串级液位控制系统研究[J].自动化应用, 2024, 65(03): 206-208+214.
- [5]宋欣欣, 陆盛昌, 周鹏洋, 等.基于智能化控制的循环水前池液位稳定优化研究[J].广东水利水电, 2024, (03): 47-51.
- [6]詹慧, 农秋阳, 滕德荣, 等.自动化控制技术在制糖澄清工艺中的应用[J].轻工科技, 2016, 32(05): 18-19.
- [7]李斌.基于西门子 PLC 的双闭环 PID 控制在橡胶制品挤出上的应用[J].橡塑技术与装备, 2024, 50(02): 71-75.DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2024.02.017.
- [8]李绍向, 巫宗学.蔗糖澄清工艺参数智能化控制对产品质量的影响[J].企业科技与发展, 2017, (04): 87-89.