

# 基于 PLC 的电子灌装计量系统设计

杨忠

(四川沱牌集团有限公司, 射洪 629200)

**摘要:** 基于灌装机储液罐、灌装物料、管道和气动阀的相关数据,建立了数学模型,分析了影响灌装计量系统精度的原因,确定了灌装计量精度调试和校验措施的依据和方法。结果表明:该灌装计量系统可达到设计要求,性能稳定,具有较好的应用前景。

**关键词:** 灌装机; 可编程控制器; 计量; 灌装容量; 精度; 进瓶螺旋

**中图分类号:** TB486<sup>+</sup>.3; TP391.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)17-0087-04

## Design of PLC-based Electronic Measurement Filling System

YANG Zhong

(Sichuan Tuopai Group Co., Ltd., Shehong 629200, China)

**Abstract:** A mathematical model of filling systems was established based on parameter of tank, filling material, piping and valve. The factors influencing the measurement accuracy of the filling system were analyzed. The basis and method for measurement accuracy adjustment and verification was determined. The result showed that the filling system meets the design requirements, has stable performance, and good application prospect.

**Key words:** filling machine; PLC; measurement; filling volume; accuracy; worm screw

随着我国饮料工业的快速发展,以及人员工资、设备投入等成本的上升,食品饮料行业需要自动化来提升经济效益,满足行业发展需要。

目前,国外液体灌装行业主要采取的灌装方式有液位计量灌装、活塞式计量灌装、称重计量灌装和流量计量灌装;国内自动化液体灌装生产线主要采用液位计量灌装和量杯式计量灌装。液位灌装是目前主要灌装方式,啤酒行业主要采用此种方式,但液位计量灌装容易受产品容器精度制约,而称重、流量计量灌装方式设备成本极高;量杯式计量灌装精度低,目前在国内主要应用于白酒、保健酒等行业,主要原理是灌装物料经灌装机液缸暂时存储,经导流管、阀门、量杯,进行定量灌装,计量精度和产品容量是由量杯确定,此种灌装方式的缺点是量杯误差大,如果要达到更高精度灌装计量,在量杯加工上就会遇到瓶颈,同时在进行产品灌装容量变换时,需要更换每个灌装头的量杯,也就是说不同灌装容量品种需要配备一套灌装计量量杯,而且更换及设备清洗也会增加工作量,降低效率。笔者设计的计量灌装系统是通过将灌

装机的计量量杯去掉,直接进行灌装,灌装计量采用流量与时间关系来实现计量控制,从而构建起一套灌装机计量系统。

## 1 灌装计量系统理论分析

灌装机的灌装头个数  $N$  为 24 个,灌装产品在灌装机上的最大行程  $S_0$  为  $5/6$  个圈,灌装机运转速度为变频调速,灌装速度  $v$  为  $0 \sim 8\,000$  瓶/小时,灌装管嘴半径  $R$  为 4.5 mm。

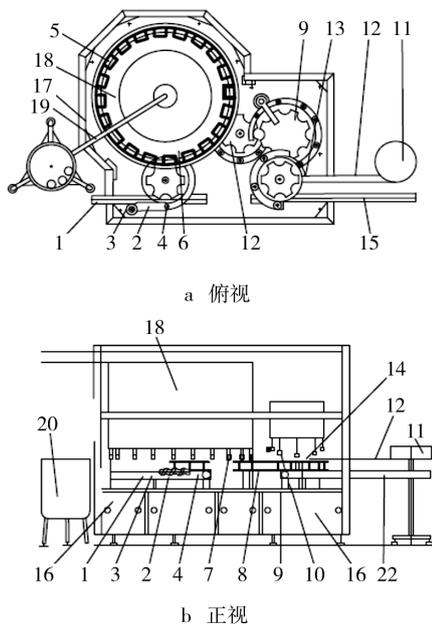
灌装机计量系统原理:打开电源灌装机,进入准备状态,完成灌装机进料,待灌装机液缸内液位达到要求位置后,进入待机状态;接着传送玻瓶到灌装机进瓶螺旋处,灌装机检测到玻瓶后计算,玻瓶传送到瓶托及灌装位置后,打开灌装阀,开始进行灌装计时,当灌装时间达到灌装要求计量值后,关闭灌装阀;完成灌装后,灌装产品随着出瓶输送带离开灌装机,见图 1。

### 1.1 液体速度计算

灌装机在进行灌装时,灌装机储液罐中液体在重

收稿日期: 2011-06-21

作者简介: 杨忠(1973—),男,四川射洪人,四川沱牌集团有限公司工程师,主要从事工业自动化设计及改造研究。



1—进瓶输送带;2—进瓶螺旋;3—进口门;4—进瓶星轮;5—灌装平台及瓶托;6—灌装机旋转;7—定量阀;8—星轮;9—旋盖机旋转;10—旋盖头;11—盖子定位器;12—输盖槽;13—盖子松开头;14—进盖星轮;15—出瓶输送带;16—滴水盘;17—底座连接;18—灌装储液罐;19—进料管路;20—溢流罐

图1 灌装机的结构

Fig. 1 Diagram of filling machine structure

力作用下,流出进行灌装,见图2,根据动能与势能相

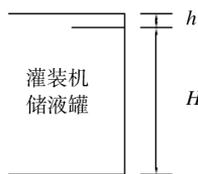


图2 灌装机的液位

Fig. 2 Diagram of filling machine liquid level

互转换关系可得:

$$mgH + \int_0^h mg dh = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1)$$

式中: $V$  灌装管嘴物料流速; $H$  为灌装储液罐内生产时,稳定保持的液位高度; $h$  为灌装过程中调控的物料液位高度,可以计算出灌装速度:

$$v = \sqrt{2g(H + \int_0^h dh)} \quad (2)$$

根据式(2)可知,进行灌装时随着储液罐内液位变化,灌装流速是变化的,为了减小速度变化对灌装的影响,确保灌装容量稳定,在设计灌装机时,让灌装

物料储液罐内液位变化尽可能小,这样就可以减小灌装速度变化,提高灌装精度。在进行设计时,采用了溢流装置(作用:灌装机储液罐在进行进料时,由于 $h$  值较小,容易出现进料超容现象。有溢流装置后,如果进料超量,就将进料排至溢流罐,当溢流罐内液位达到一定高度,灌装机储液罐内液位偏低时,启动回流泵,在进行回流时,不打开进料阀。),在 $h$  值很小的情况下,进行灌装机理论设计时,暂时假想 $h$  为0,可得到:

$$v \approx \sqrt{2gH} \quad (3)$$

## 1.2 灌装容量控制计算原理

灌装产品容量定义:灌装产品的容量是指产品规定需要灌装达到的物料体积,实现方式是利用重力作用进行灌装,在一定时间内,灌装阀门流出物料进行灌装的液体体积。

根据产品灌装容量的定义,可以得知灌装容量 $Q$ 的计算公式:

$$Q = KVSt_0 \quad (4)$$

式中: $K$  为修正系数; $v$  为灌装速度; $S$  为管嘴出流面积; $t_0$  为灌装时间。

## 1.3 液体灌装时间

液体灌装时间定义:产品灌装达到规定容量需要的时间。在进行灌装计量系统设计时,灌装机如果以低速运行,灌装产品在灌装机内的时间较长;如果以灌装机最高设计速度运行,灌装产品在灌装机内的时间就最短,并且玻瓶在灌装机内停留行程为 $5/6$ 圈,由此可以计算出最短灌装时间:

$$t = \frac{t_1}{V/N} \times S_0 = \frac{3600}{8000/24} \times \frac{5}{6} = 9 \quad (5)$$

式中: $t_1$  为单位生产时间(1 h); $S_0$  为灌装产品在灌装机内的行程( $5/6$ 圈); $v$  为灌装机的生产速度(8000瓶/小时); $N$  为整个灌装机灌装头数量(24个)。

通过以上3个方面的理论分析以及计算出来的数值代入式(4)后,最终得出灌装流量的计算公式:

$$Q = KVST = 9K \sqrt{2gH} \cdot \pi R^2 \quad (6)$$

式(6)中修正系数 $K$ 比较复杂,受制于灌装过程中PLC控制器、温度、液位变化、管嘴加工精度的影响,所以 $K$ 系数很难通过精确计算确定,而根据已有的国内或国外不同种类的灌装设备运行情况, $K$ 系数值是可以现场测试的方法确定。经过 $K$ 值修正后,可以保证灌装机灌装容量在设计范围内。

## 2 灌装计量系统设计

### 2.1 灌装计量系统工艺流程

灌装计量系统工艺流程见图 3。

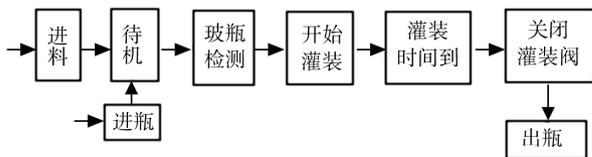


图 3 灌装系统工艺流程

Fig. 3 Diagram of filling process

### 2.2 灌装机称重计量系统硬件设计

灌装机自动控制系统分为 2 部分：一部分用于控制装机转速、安全装置、压盖机等；另一部分为灌装计量系统专用控制，该部分主要用于灌装时产品容量控制、玻璃瓶定位、灌装机液位控制、进料控制、参数设定以及与外部进行通讯等。

电子灌装计量系统有开关量和模拟量，根据灌装计量及操作要求，控制器选用西门子公司 S7-314CPU，触摸屏选用 TP270，灌装阀采用气缸驱动，而气缸又由相应的电磁阀控制。设备可以手动操作也可以自动操作，手动操作要求用按钮对机器的每一步运动进行操作控制；自动操作要求按一下自动/手动操作开关，机器自动地、连续不断地周期性循环。在工作中若按下停止按钮，则灌装机继续灌装，完成一个灌装周期动作，而主设备的控制则由另一个控制器控制，并立即停止灌装机转动，控制系统见图 4。

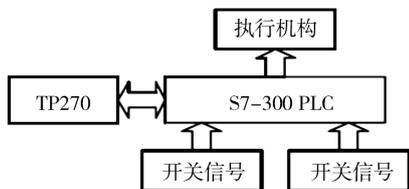


图 4 灌装控制系统

Fig. 4 Block diagram of control system

### 2.3 灌装计量系统软件设计

灌装计量系统包括按键输入功能、给料量功能修正、通讯功能、参数设定功能、自动修正给料功能等，软件系统的总体结构见图 5。

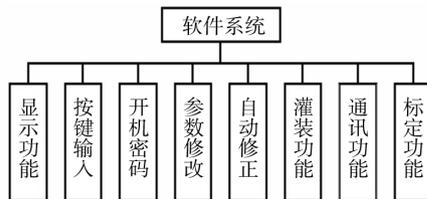


图 5 软件的结构

Fig. 5 Diagram of software structure

## 3 模型应用及误差原因分析

完成灌装计量数学模型理论分析、系统软硬件设计以及设备制造后，将进行灌装计量系统调试，在调试过程中，考虑到异常情况下的多种工况变化过程，需对灌装计量系统做以下考虑和调整，接下来将影响灌装精度进行分析。

### 3.1 PLC 定时器分辨率影响精度分析

根据灌装计量系统选用的控制器为 S7-314CPU，该控制器参数情况。

指令执行时间：位操作  $0.1 \mu\text{s}$ ；字操作  $0.2 \mu\text{s}$ ；定点数加法  $2 \mu\text{s}$ ；浮点数加法  $6 \mu\text{s}$ 。

S7 定时器参数：定时器 256 个；定时范围  $10 \sim 9\,990 \text{ ms}$ 。

根据控制器 S7-314CPU 硬件性能指标可知，在进行灌装计量系统设计时，需要考虑 2 个影响灌装计量的因素：一个因素为定时器分度值；另一个因素为编制的 PLC 编制程序的扫描周期，这 2 个因素也是影响灌装精度关键因素。在完成灌装计量系统编程组态后，经过计算和测试程序，计量灌装系统程序运行时间计算和测定时间大约为  $20 \text{ ms}$ ，故在进行灌装计量系统定时设定时应将  $20 \text{ ms}$  作为最小定时分度值，而不能以定时器的最小分度值来确定灌装时间的参数设定，由此可以计算出计量灌装系统误差之一的误差值，具体计算公式如下：

$$\Delta Q_1 = \frac{\Delta t}{t} Q \quad (7)$$

式中： $\Delta t$  为灌装时间最小分度值， $20 \text{ ms}$ ； $t$  为最小灌装时间， $9 \text{ s}$ ； $Q$  为产品灌装容量， $500 \text{ mL}$ 。

由此可以算出  $\Delta Q_1 \approx 1.11 \text{ mL}$ ，即误差值大约为  $1.11 \text{ mL}$ 。

### 3.2 灌装管嘴对精度影响

灌装管嘴加工精度以及在灌装过程中液体粘度对灌装精度同样有影响，对此部分的精度影响，在进

行灌装管嘴加工时,尽量提高加工设备的精度来降低误差。

### 3.3 液位变化对流速造成的精度影响

根据式(1)可知,如果采用 10 cm 高度差作为控制灌装机储液罐内液位的控制范围值,而  $H$  值为 1.4 m,由此可知,将产生一个流速波动值,根据式(2)和(4)可以计算出将会产生的灌装产品波动范围值为 0 ~ 18.2 mL。

从上面计算数据可知,灌装机储液罐内液位变化对灌装产品造成影响的数值来看,仍然偏大,为此,在进行灌装计量系统程序设计时,编写一个动态修正公式,液位变化与灌装时间进行一个动态系数自动修正,这样就可减小液位变化对灌装误差影响。

### 3.4 环境温度影响

设计灌装机在灌装物料时采用体积灌装模式,灌装精度受环境温度影响:

$$\alpha_v = \frac{dv/v}{dT} \quad (8)$$

式中: $\alpha_v$  为体积膨胀系数; $V$  为液体体积; $T$  为温度。

## 4 信号处理及 $K$ 值确定

根据误差原因分析,灌装产品容量受到控制器硬件、灌装管嘴、液位变化和环境温度几种情况影响,在进行灌装机调试过程中,需要对修正系数  $K$  值进行确认,并判定灌装产品容量是否稳定。从灌装设备调试时灌装产品容量特点看出,灌装产品容量是存在一个平均值,该值是在一个范围内上下波动,在这种情况下,仅取一个采样值作为判断依据显然是不准确的。采用平均值方法可以得到  $K$  值,该方法采用灌装  $n$  个产品求平均值,所得数据既反映了灌装产生误差数据的变化情况,又克服了随机误差带来的影响。利用平均值来确定修正系数  $K$  值,再将此系数输入到控制器参数设定,经再灌装测试,灌装出来的产品满足设计要求。

平均值为:

$$\bar{X} = \frac{1}{n}(X_1 + X_2 + \dots + X_n) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (9)$$

标准差为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n}} \quad (10)$$

当标准差  $\sigma$  小于设定值时,则误差稳定,当前值即为灌装容量值。根据系统要求的精度不同,可以设定不同的值。

该系统由于受温度影响,在温度变化不大情况下,不用进行修正系数  $K$  值的调整,在不同季节需要对修正系数  $K$  值进行修正,以避免温度对灌装容量带来的影响。

## 5 结论

通过以上灌装机计量原理数学模型的建立、影响误差因素的分析和设备调试,并对生产产品统计分析表明,当灌装管嘴加工精度提高和 PLC 产品性能提高时,生产产品灌装精度能够得到进一步提高。目前生产调试出来的灌装机灌装的产品精度为 1.5 mL/500 mL,达到设计的预期目标。

### 参考文献:

- [1] 罗惕乾. 流体力学[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 杨公源. 可编程控制器(PLC)原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [3] JJF 1070-2005, 中华人民共和国国家计量技术规范(定量包装商品净含量计量检验规则)[S].
- [4] 赵恒侠. 热工仪表与自动调节[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [5] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京:高等教育出版社,2005.
- [6] 严兆大. 热能与动力机械测试技术[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [7] 余俊. 机械设计[M]. 北京:高等教育出版社,1986.
- [8] 杨晓清. 包装机械与设备[M]. 北京:国防工业出版社,2009.