

HFGZ22 型回转式负压灌装机的研制

胡志刚, 侯传亮, 陈恳
(武汉轻工大学, 武汉 430023)

摘要: **目的** 针对当前自动灌装技术发展中提出的大批量灌装要求, 研制一种 HFGZ22 型回转式负压灌装机。**方法** 比较分析各种灌装方法, 采用抽真空与液体灌装同时进行的方式, 并利用气压平衡原理控制灌装量; 根据目标液体特性, 采用机械式托瓶方式实现瓶口的自动密封。**结果** 设备应用表明, 该灌装机综合性能优、可靠性高、适应性强、运行平稳, 且无液体滴漏等现象, 达到预期设计目标。**结论** 该型号灌装机可广泛应用于中小型食品饮料生产企业。

关键词: 回转式; 负压; 灌装机

中图分类号: TS206.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)13-0112-05

Design and Development of HFGZ22-Type Rotary Vacuum Filling Machine

HU Zhi-gang, HOU Chuan-liang, CHEN Ken
(Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

ABSTRACT: Current requirements for high-volume liquid filling were advanced to develop the automatic filling technology. In accordance to the requirements, an HFGZ22-Type rotary vacuum filling machine was designed. Comparing all kinds of filling methods, the way of simultaneous vacuum pumping and filling was adopted, and the filling volume was controlled by using the principle of air pressure balance. According to the characteristics of the target liquid, bottles were held up by mechanical support, and automatically sealed. The application of this machine showed that this machine was characterized by excellent comprehensive properties, high reliability and flexibility, steady performance, and was free of liquid leakage, and thus the desired design goals were achieved. This type of filling machine could be widely used in food and beverage production enterprises.

KEY WORDS: rotary; vacuum; filling machine

20 世纪初, 美国 Kiefer 公司研制了第 1 台商用灌装机^[1]。我国的灌装技术起步较晚, 在经历了技术引进和仿制的过程后, 近年来出现了很多自主创新技术, 与国外的差距也越来越小^[2-3]。在我国进口的灌装机大多为高端机型或生产线, 价格很昂贵, 所以针对中小型企业研发一种实用、高效、稳定的灌装机非常重要。文中在比较分析国外同类型灌装机的基础上, 根据国内植物蛋白饮料企业实际需求, 利用液体灌装基本原理, 定制研发一款新

型的回转式负压灌装机。

1 技术要求

1.1 设计依据

现代灌装技术的目标是精确、高效、自动化, 这就要求灌装机具有精准的灌装量, 灌装的速度高、过程稳定可靠, 灌装液体的损耗尽量小。同时利用

收稿日期: 2016-04-11

基金项目: 湖北省教育厅创新团队项目 (T201310)

作者简介: 胡志刚 (1974—), 男, 湖南衡阳人, 博士, 武汉轻工大学副教授, 主要研究方向为农产品加工与包装机械。

电气控制系统，可实现高效自动化控制，有效改善生产劳动条件，降低劳动强度，降低生产成本，提高国内植物蛋白饮料企业经济效益。

1.2 技术要求

目前，国内中小型食品饮料加工企业瓶装饮料的灌装速度一般为 8000~4800 瓶/h。国内的啤酒及大众饮料企业已普遍采用国外成熟的自动化灌装生产线，这些生产线灌装效率高，但设备售价非常昂贵，而且往往还需要相应的配套设备和很大的工作场地，整体投资非常高。文中针对国内中小型食品饮料加工企业现状，首先满足产能效率，其次考虑企业的经济承受能力和前端工序的产量，因此该设计的灌装机产能定义为 12 000~15 000 瓶/h。由于负压灌装能提供较高的灌装速度，且采用回转式自动生产线是目前饮料灌装企业普遍采用的一种生产工艺，所以文中采用回转式负压灌装技术来设计。该次设计的技术要求由用户提供，产能为 12 000~15 000 瓶/h；容量为 250~350 mL；适用瓶口直径为 18~34 mm；适用瓶高为 100~250 mm；适用介质为植物蛋白饮料、果奶、糖水等流动性好、粘滞性小的液体；灌装方式为负压灌装；单瓶灌装时间不大于 3 s。为保证灌装机的性能可靠，该技术按 18 000 瓶/h 的灌装速度来进行产品设计。

2 设计方案

2.1 工作原理

HFGZ22 型回转式负压灌装机主要由进瓶机构、灌装机头、出瓶机构、机架、主传动、控制系统等组成，结构原理见图 1。空瓶经过清洗消毒，通过输瓶线输送到进瓶拨轮位置，进瓶拨轮机构将每个空瓶准确无误地送至转盘，空瓶随机头转动，同时托瓶机构将空瓶托起，瓶口与灌装阀接触后自动打开，经过进瓶上升段、水平灌装段和出瓶下降段，分别完成开阀、灌装和出瓶过程。灌装完毕，瓶子由出瓶拨轮自动拨出，进入出瓶端输瓶线，实现自动灌装^[4-8]。

2.2 控制流程

控制系统采用可编程控制器(PLC)作为主要控制部件，PLC 具有控制准确、工作可靠、程序简单等优点。该灌装控制流程见图 2。

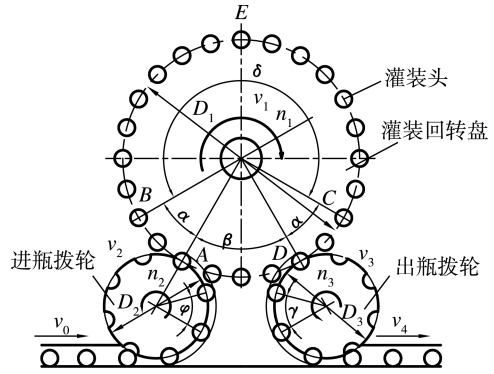


图 1 回转式负压灌装机结构原理
Fig.1 Structure principle diagram of filling machine

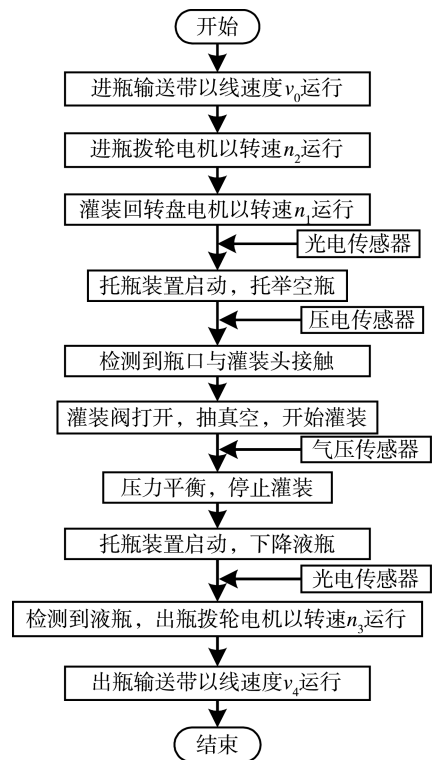


图 2 回转式负压灌装机控制流程
Fig.2 Control flow chart of filling machine

3 参数确立

在图 1 中，假定灌装回转盘中的各灌装头中心的回转直径为 D_1 ，转速为 n_1 ，灌装头中心线速度为 v_1 ；进瓶拨轮拨齿中心回转直径为 D_2 ，转速为 n_2 ，中心线速度为 v_2 ，拨齿间夹角为 ϕ ；出瓶拨轮中心回转直径为 D_3 ，转速为 n_3 ，灌装头中心线速度为 v_3 ，拨齿间夹角为 γ ；进瓶速度为 v_0 ，出瓶速度为 v_4 ，进瓶拨轮和出瓶拨轮之间的灌装头夹角为 β ；灌装头数量为 N_1 ，进瓶拨齿数为 N_2 ，出瓶拨齿数为 N_3 。

3.1 各段线速度

为保证灌装机结构简洁,上述参数简化为: $D_2=D_3$, $N_2=N_3$, 可得: $n_2=n_3$, 即可推出: $v_0=v_1=v_2=v_3=v_4$, 由此可知,灌装机各段线速度必须相等,才可使进瓶、灌装和出瓶段平稳过渡。

3.2 各段结构参数

由前可推出: $\pi D_1 n_1 = \pi D_2 n_2 = \pi D_3 n_3$, 即:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{n_2}{n_1}, \frac{D_2}{D_3} = \frac{n_3}{n_2}, \frac{D_1}{D_3} = \frac{n_3}{n_1}$$

表明,灌装头的回转直径 D_1 、进瓶拨轮中心回转直径 D_2 、出瓶拨轮中心回转直径 D_3 与各自转速成反比。也就是说,在保证规定的灌装效率的前提下,灌装头回转直径 D_1 越大,其转速越小。

假定该技术可实现每小时灌装 P 瓶的灌装效率。出瓶拨轮每小时可供送的瓶数 $P=60n_2N_2$,灌装机每小时可灌装的瓶数 $P=60n_1N_1$ 。由此可得出:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

即:灌装头数与拨轮齿数和各自对应的回转直径成反比。

根据进出料拨轮与灌装转盘之间的布置关系,为减少瓶子过渡冲击,该技术选择:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} = 3, \text{进瓶拨齿数 } N_2=8, \text{ 可得: } N_1=24,$$

$$\text{即,当 } P=18\,000 \text{ 瓶/h 时, } n_2 = \frac{P}{60N_2} = 37.5 \text{ 4/min,}$$

$$n_1 = \frac{P}{60N_1} = 12.5 \text{ r/min, 可以看出, 灌装回转速}$$

度为 12.5 r/min 时,就可实现 18 000 瓶/h 的液体灌装要求,也即每转耗时 4.8 s。

由前可知,单瓶灌装时间不大于 3 s,即在 3 s 之内需全部完成灌装动作。由上已知,灌装动作主要包括进瓶上升段、水平灌装段、出瓶下降段和空程段。每段对应的区域见图 1。 AB 为进瓶上升段(对应的夹角为 α), BEC 为水平灌装段(对应的夹角为 δ), CD 为出瓶下降段(对应的夹角为 α), DA 为空程段(对应的夹角为 β)。也即灌装段对应的夹角 $\delta=360^\circ - 2\alpha - 2\beta$ 。从布局 and 结构紧凑角度考虑,若取灌装段是其余段的 2/3,即 $\delta=240^\circ$ 。再令 $2\alpha=\beta$,也即 $\alpha=30^\circ$ 。由于灌装回转盘每转耗时 4.8 s, BEC 段对应的夹角为 δ ,表明灌装头旋转 240° 后,需要时间 3.2 s,大于单瓶灌装时间 3 s 的物料灌装要求。

4 灌装头设计

4.1 灌装头结构

灌装头是灌装机的关键部件,其主要组成部分为液位控制系统、负压料桶、灌装阀、托瓶机构、凸轮机构、排气管、回转主轴等。HFGZ22 型回转式负压灌装头结构见图 3。

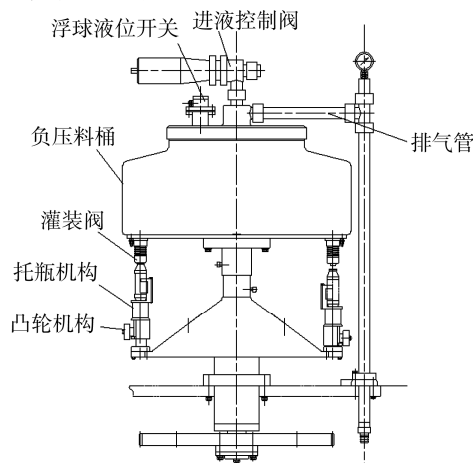


图 3 灌装头结构

Fig.3 Head structure of filling machine

4.2 灌装头的工作原理

当瓶子通过供送装置进入灌装机头后,进入 30° 的进瓶上升段,导轮随着凸轮导轨的轨迹上升运动,灌装阀门被逐渐打开。随后进入 240° 灌装工作段,此时,负压料桶与灌装阀连通的抽气作用将瓶内的空气抽出,在负压状态下,边抽气边灌装,灌装阀门完全打开,料液通过阀体流入瓶子,开始灌装液体,导轮随着凸轮导轨的轨迹水平运动。灌装完毕后进入 30° 的瓶下降段,导轮随着凸轮导轨的轨迹做下降运动,灌装阀门逐渐关闭。之后经出瓶拨轮,将灌装后的瓶拨出机头,通过供送装置把瓶子送回传送带。

灌装过程中液位控制系统通过进液控制阀内的感应机构,根据液位开关设置的上限位和下限位,自动开启和关闭,实现液料输送的自动控制^[9]。浮球液位开关控制储液箱内的浮球达到一定的液位高度(上限位)后,会给进液控制阀传递停止送液信号,保证箱内液面不超过灌装阀排气管道高度而使其堵住,又保证了其有效的排气空间。当液位下降到下限位时,会给进液控制阀传递送液信号,进液阀门开启,保证料箱的连续供料^[10]。排气管在灌装阀开始灌装时,瓶内抽出的空气通过排气管排出

到箱体外,以保证储液箱与瓶内存在负压,提高灌装效率。且排气管与箱体上方的进料管采用排气、加液双管道,互不干涉,密封效果好^[11]。

5 主要零部件结构及特点

5.1 灌装阀

灌装阀是保障灌装机及灌装生产线的精准高效运作的关键部件,它既调节着液箱和容器之间的液体流动,又控制了气室和容器之间的气体流动,根据灌装工艺要求,不同的灌装方法通常要选用相应的灌装阀^[12]。根据设计要求,设计了抽真空与灌装一体的灌装阀,见图 4。当滑套上的密封件与瓶口接触时弹簧压缩使滑套上升,灌装头与滑套间出现间隙,液体从该间隙流入瓶内,当液体逐渐上升与排气管的下部接触时,气体将不能排出,瓶内气体被压缩,当瓶内的气压与储液箱的气压互相平衡时液体不再流入,灌装结束。

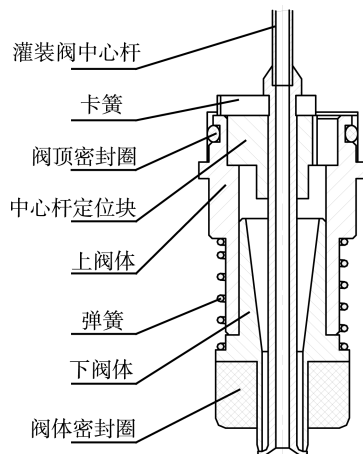


图 4 灌装阀
Fig.4 Filling valve

5.2 负压料桶

由于各种液体的化学物理性质不同,为了在灌装不同的液体时保证灌装的安全以及效率,必然会有不同的灌装工艺和灌装方法。根据灌装压力,灌装方法可分为等压灌装、常压灌装、负压灌装和压力灌装。由于设计灌装的目标介质为不含气的植物蛋白饮料等,具有较大的粘度,为了保证灌装的高效性和稳定性,选用负压灌装方式。到达灌装位的空瓶上升,瓶口接触灌装阀后,直接顶开嵌有橡皮垫的滑套,滑套与灌装头之间出现间隙。瓶内的空气通过灌装阀的中心排气孔抽出,产生压力差,从

而使液体高效地流入瓶内。当液面接近管口时,压力平衡,停止灌装。

为了达到高效的负压灌装要求,设计中采用排气、加液双管道,互不干涉,为了保证机头内部液位线以上的密闭空间有良好的密闭条件,在灌装机机头料桶盖与箱体之间选取端盖密封件来达到密封效果^[13-14]。由于灌装机负压灌装时机头处于外压状态,料桶盖受外部压力,保证了密封件与料桶之间有较好的贴合度,从而达到更佳的密封效果。灌装机负压料桶结构见图 5。

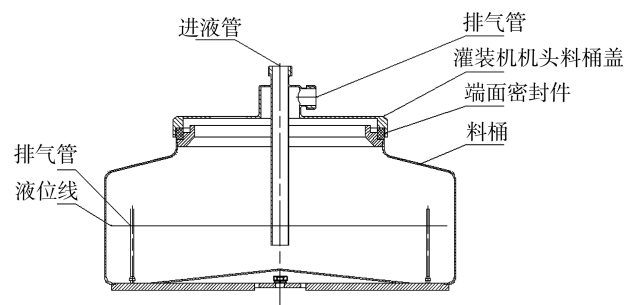


图 5 灌装机负压料桶
Fig.5 The vacuum barrel of filling machine

5.3 托瓶装置

回转式灌装机大多借助分瓶供送螺杆将瓶子按一定的姿态、间距和速度,连续不断地输送到灌装机的托瓶装置位置,再由托瓶装置将瓶子升起到达灌装位,瓶口和灌装头紧密接触并密封,然后进行灌装,灌装过程完成后托瓶装置再下降回到初始位置。

托瓶装置主要有机械式、气动式、机械与气动组合式等 3 种形式^[15],它们各有优缺点。机械式托瓶装置是借助弹簧的回复力托举灌装瓶,不用设计专用的密封机构或密封件,但弹簧压紧力一般不能太大,不适用含有较多气体的灌装液。气动式托瓶装置是采用压缩空气作为动力源,压缩空气具有良好的吸震能力,能较好地保护灌装瓶,不易出现瓶子被压坏的情况,但由于气体的压缩过程需要时间,托瓶的速度不会很快,因而会影响整体灌装速度。机械与气动组合式托瓶装置工作比较稳定可靠,压缩空气可循环使用,具有机械式和气动式的很多优点,但由于需要凸轮导轨装置,会增加额外的磨损和运转阻力,因此也将提高设备成本。

根据设计参数要求,该设计采用改进的机械式托瓶装置,见图 6。托瓶装置的滚轮、销轴、挡圈和压缩弹簧组成一个弹性套筒。滚轮上安装滚动导

轨,托瓶台沿着凸轮导轨进行升、降。弹性套筒不仅保证了灌装时瓶口的密封,同时可以在一定范围内适应瓶子的高度。

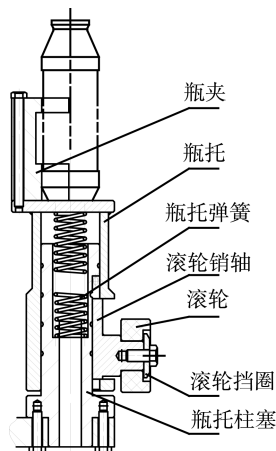


图6 托瓶装置

Fig.6 Bottle supporting mechanism

6 结语

该技术参照了国内外同类型灌装机,并借鉴了性能优良的灌装阀结构,且根据企业要求所研制。目前,HFGZ22型回转式负压灌装机已成功投入运行。经现场测试,其灌装量误差小于 $\pm 1\%$,灌装速度每小时可达15 000瓶,且速度可调、可靠性好、适应性强、运行平稳,无液体滴漏现象,噪音低。同时,该设备还具有操作简单、性价比高等优点,充分满足了植物蛋白饮料批量灌装的要求。

参考文献:

- [1] 张国全. 包装机械设计[M]. 北京:印刷工业出版社, 2013. ZHANG Guo-quan. Packaging Machinery Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2013.
- [2] 李疆. 气动旋转式自动定量灌装机的研制[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 144—145. LI Jiang. Development on Pneumatic Rotating Filling Machines of Fixed Amount[J]. Package Engineering, 2012, 28(1): 144—146.
- [3] 赵大民, 孙秀延, 王秀伦. 一种 FGZ-10 型灌装机的设计与研制[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2007(7): 299—302. ZHAO Da-min, SUN Xiu-yan, WANG Xiu-lun. Research and Design of a Kind of Vacuum Filling Machine[J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering (Natural Science), 2007, 3(3): 299—302.
- [4] 杨振昊, 张裕中. 高黏稠物料真空定量灌装设备核心部件的设计与流量分析[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 1—6. YANG Zhen-hao, ZHANG Yu-zhong. Core Component Design of High Viscosity Material Vacuum Quantitative Filling Equipment and Flow Analysis[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 1—6.
- [5] 崔曼, 陆佳平. 盒中袋灌装阀阀口流场分析与结构优化[J]. 包装工程, 2012, 33(7): 74—77. CUI Man, LU Jia-ping. Numerical Simulation and Structural Optimization on Valve of Bag-In-Box[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(7): 74—77.
- [6] 匡余华. 流体灌装量连续调节机构设计[J]. 机械传动, 2010, 34(12): 73—74. KUANG Yu-hua. Design of Continuous Adjusting Mechanism of Liquid Filling Capacity[J]. Mechanical Drive, 2010, 34(12): 73—74.
- [7] 李明, 李丽娟, 杨松, 等. 全自动液体定量灌装机控制系统设计[J]. 包装工程, 2013, 34(5): 78—81. LI Ming, LI Li-juan, YANG Song, et al. Design of Automatic Quantitative Liquid Filling Machine Control System[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5): 78—81.
- [8] 庆波, 李东波, 何非. 双列旋转式灌装机设计[J]. 包装工程, 2014, 35(19): 69—72. QING Bo, LI Dong-bo, HE Fei. Design of Double-row Rotary Filling Machine[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(19): 69—72.
- [9] BARI S, VEALE D. Improvement of BIB Packaging Product Filling Valve CIP Performance and Efficiency [J]. Food and Bioproducts Processing Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part C, 2012, 90(4): 849—857.
- [10] JIANG Jun-xia, LI Qin-liang, WU Zhi-chao, et al. Numerical Simulation of Mould Filling Process for Pressure Plate and Valve Handle in LFC[J]. China Foundry, 2010, 7(4): 367—372.
- [11] RAHAMAN M F, BARI S, VEALE D. Flow Investigation of the Product Fill Valve of Filling Machine for Packaging Liquid Products[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85(2): 252—258.
- [12] 屠凤莲, 崔岩. 下开阀式塑料灌装阀[J]. 包装工程, 2014, 35(7): 101—103. TU Feng-lian, CUI Yan. Plastic Filling Valve Opening by Valve-stem Moving Down[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(7): 101—103.
- [13] 陈飞虎, 周哲波, 张丽珍, 等. 一种液体纸袋砖包连续灌装切断装置设计[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 55—57. CHEN Fei-hu, ZHOU Zhe-bo, ZHANG Li-zhen, et al. Design of the Cutting Unit of Continues Liquid Paper Brick Packet Filling Machine[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11): 55—57.
- [14] 吕帅, 张裕中. 高粘稠物料在灌装阀体内的流动状态分析[J]. 包装工程, 2012, 33(15): 10—15. LYU Shuai, ZHANG Yu-zhong. CFD Analysis of High Viscous Material in Filling Piston[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 10—15.
- [15] 王海兵, 叶鹏, 苗加乐, 等. 重力灌装阀的改进[J]. 轻工机械, 2012, 30(2): 90—93. WANG Hai-bing, YE Peng, MIAO Jia-le, et al. Improvement on Gravity Filling Valve[J]. Light Industry Machinery, 2012, 30(2): 90—93.