

## 啤酒发酵罐用的可编程全自动精密压力控制装置

### Programmable Fully Automatic Precision Pressure Control Device for Beer Fermentation Tanks

摘要：针对目前啤酒酿制发酵过程中存在的温度、压力、氧气和二氧化碳含量这些工艺参数的精密控制问题，本文以压力控制为例提出了自动化可编程的啤酒发酵压力精密控制解决方案，解决方案可满足各种大型和小型发酵罐的压力控制需求，可实现变设定压力和可编程的全自动压力准确控制。更重要的是：此解决方案可推广应用到温度和工艺气体含量的实时控制，为真正实现高品质啤酒的酿造以及质量稳定性提供了技术保障。

## 1. 问题的提出

在啤酒生产工艺中，发酵是重要且不可或缺的一环，并且在发酵过程中需要实时监测和控制发酵罐内的温度和压力以及氧气和二氧化碳含量等工艺参数，以保证酒液酿制品质和在发酵罐内正常发酵。而目前啤酒发酵过程中需要解决的技术难题之一就是如何对上述参数实现精确的智能化和自动化控制，如在压力这个重要参数的控制过程中，就存在以下几方面的具体问题：

(1) 压力控制技术和装置简陋，大多采用开环控制方式，有些甚至还在采用人工调节方式，缺少闭环反馈控制和调节能力而无法实施对发酵罐内的压力变化做出及时反应和准确控制，往往会对发酵过程造成影响导致啤酒口感变差。例如，酒液在发酵过程中会产生二氧化碳而造成发酵罐内压力增高，如果不及时进行减压调节方式的压力恒定控制则会导致发酵失败，而如果发酵过程中的压力太低又会影响啤酒的口感，这些问题在长时间的发酵工艺中显得尤为突出。

(2) 现有压力控制装置多为只能设定一个固定压力进行控制，无法根据酿制啤酒的品种和发酵工艺设置对应的压力控制程序并进行程序控制。

(3) 在有些大批量啤酒生产中，现有大型发酵罐压力控制装置体积较为庞大笨重和技术落后。小型和微型精酿啤酒的发酵又缺乏小型的压力控制装置，啤酒酿制还基本靠人工经验来进行压力控制，特别是对啤酒屋这种需要多个品种的啤酒精酿场合，口感和品质很难保证稳定。

除了上述问题之外，啤酒发酵过程中的压力控制技术还面临以下挑战：

(1) 在啤酒发酵过程中，不能只为达到压力控制指标而任意对发酵气体进行排放，还需尽可能保留有效气体成分和含量，这就要求在尽可能低的排放条件下还能实现压力的准确控制。

(2) 发酵过程中发酵罐内的温度、压力、氧气含量和二氧化碳含量往往会相互影响，如温度的升降会造成压力的高低变化，气体含量的改变也会对压力产生影响，这都需要在具体控制中予以解决，而现有发酵工艺基本都缺乏这种实时多参数的准确控制能力。

因此，针对目前啤酒酿制发酵过程中存在的精密控制问题，本文特别针对压力控制提出了自动化可编程的啤酒发酵压力精密控制解决方案，解决方案可满足各种大型和小型发酵罐的压力控制需求，可实现变设定压力和可编程的全自动压力准确控制。

## 2. 基本原理

啤酒酿造过程中的压力控制是一个典型密闭容器压力控制问题，为此我们采用了常用于密闭容器真空压力控制的动态平衡法。动态平衡法的基本原理是同时调节密闭容器的进气流量和出气流量，使进出气流量按照要求达到某个平衡，从而实现真空压力的准确控制。动态平衡法控制原理框图如图1所示。

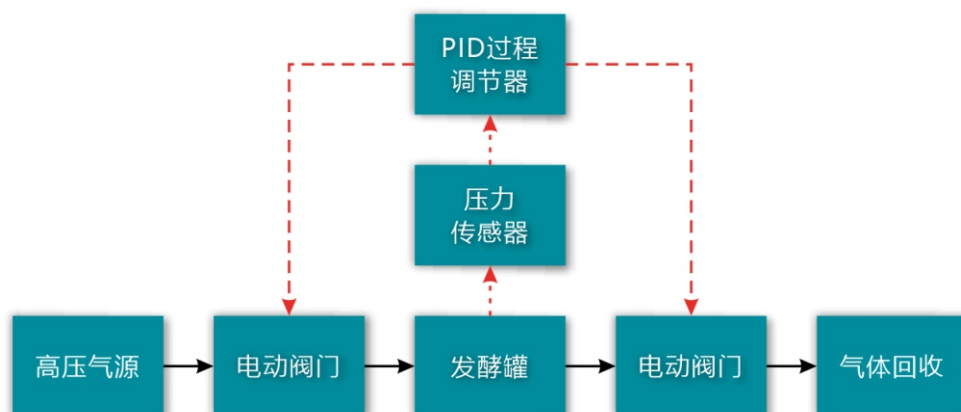


图1 动态平衡法压力控制原理示意图

在啤酒发酵罐压力控制中采用动态平衡法，主要基于此方法的以下两个特点：

(1) 动态平衡法有很强的灵活性，其中的各个功能部件可根据需要采用不同的结构形式。对于大尺寸的发酵罐，可以采用分立结构形式来保证罐内压力控制过程中的均匀性，如将独立电动阀门分别布置在发酵罐两侧分别负责调解进气和出气流量。对于小体积发酵罐，则可以采用集成式结构，将进气和出气阀门集成在一起并安装在发酵罐的某个部位进行压力控制而不影响罐内压力均匀。

(2) 动态平衡法比较适合控制压力的同时对氧气和二氧化碳气体含量进行控制，只需在进气口处增加相应流量计就可以实现多个工艺参量的实时控制。

## 3. 解决方案

### 3.1 分体式结构解决方案

对于大型发酵罐，发酵过程中的压力控制要考虑气体在大尺寸空间内的均匀性，即尽可能要保证压力的均匀。为此，针对大型发酵罐的压力控制采用了分体式结构的动态平衡法，相应的压力控制装置结构如图2所示。



图2 分体式压力控制装置结构示意图

分体式压力控制装置主要特点是将进气和排气装置分开，即通过单独气体质量流量计调节进气流量，采用独立的电动调节阀的不同变化开度来调节排气流量，而它们的控制则通过一个双通道的PID控制器来实现，其中压力测量通过一个压力传感器。

图2所示的分体式压力控制装置具有以下几方面的特点：

(1) 分体结构可以保证大型发酵罐内的压力非常均匀。

(2) 通过调节进气速率和抽气速率，并配备较大口径的高响应速度的电动调节阀，可以非常准确和快速的实现各种程序设定压力的动态控制，关键是采用了双通道PID控制器更能保证长时间发酵过程中压力变化的稳定性以及重复批量生产过程中压力变化的可重复性。

(3) 从图2可以看出，进气口处可以并联连接多种气体管路，如氧气和二氧化碳气体。只要控制采用相应的气体质量流量计控制好进气比例，并能保证发酵罐内相应的各种气体含量，那么只需调节电动调节阀就可以准确控制发酵罐内的压力变化。

(4) 分体式压力控制装置的不足是进气和出气始终处于一个动态过程，这使得压力控制过程中的用气量比较大，如果后续工艺配备了气体回收处理装置，则此问题不再显着突出。

### 3.2 集成式结构解决方案

对于很多小型啤酒发酵生产场合，往往并不能做到对工作气体的回收，但更需要针对不同品种的啤酒发酵进行压力准确控制。为此我们提出一种集成式结构的压力控制装置方案，如图3所示。

图3所示的集成式压力控制装置是图2分体式压力控制结构的一种小型化集成，即将进气调节阀和排气调节阀整体小型化，并与内置微型压力传感器一并集成在压力控制阀内，实现对进气口压力进行降压并对压力控制阀出口的气体压力进行恒定控制，同时通过将压力控制阀的出口与发酵罐连接，进而实现对发酵罐内的压力进行准确控制。

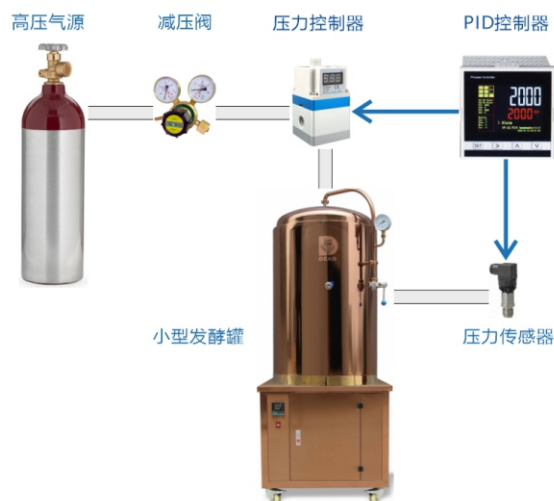


图3 集成式压力控制装置结构示意图

由于集成式结构压力控制装置的进气和排气流量比较小，所以比较适合小型发酵罐的压力控制，这种集成式控制装置具有以下几方面的特点：

(1) 为了保证小型发酵罐内的压力均匀性，集成式压力控制装置需要外接一个压力传感器，结合图2中所示的压力控制器和PID控制器构成压力控制闭环回路。此闭环回路可以安装在一个控制箱内形成一个完整的压力控制装置，控制箱上布置有进气接口、排气接口、发酵罐接口、压力控制器引线接口、计算机通讯接口和电源线接口。

(2) 集成式结构压力控制装置同样具有快速、准确和高稳定性的压力控制特点，而其最大优势是节省工艺气体，即只有在欠压或过压时快速打开内部进气阀或出气阀，保压过程中进气阀和出气阀全部关闭。

(3) 这种集成式压力控制装置体积小巧，可以直接安装在发酵罐外进行压力控制，也可以与发酵罐的控制器系统进行集成。尽管这种压力控制装置进气和排气流量较小，但非常适合各种小型发酵罐的压力自动化控制。同时，也可以外接出手动旋钮便于人工设定压力控制值。

(4) 这种集成式结构压力控制装置的不足是只能控制发酵罐内部压力，无法对进气流量和气体含量进行直接控制。若要进行气体成分和比例进行控制，在进气端还需增加一个气体缓冲罐，在缓冲罐内完成气体成分调节和控制后，再进行压力控制。

## 4. 总结

本文所提出的解决方案和相应的两种压力控制装置，可以很好的解决啤酒发酵过程中的压力控制问题，整个解决方案的技术特点如下：

(1) 发酵罐压力控制装置采用了先进控制技术，可实时监测发酵罐内部压力，并根据预设的参数进行调整。可以自动调整氧气和二氧化碳的供应，以保证发酵过程中的适宜环境条件。

(2) 该装置还具有可编程功能，可以根据不同的啤酒配方和发酵条件进行调整。它可以存储多组参数，方便操作人员进行选择和调用。

(3) 可满足各种啤酒发酵生产规模的压力控制需求，压力控制可智能化和自动化，可达到很高的控制精度和长期稳定性和重复性，能很好的保证产品品质和重复性。

(4) 本解决方案尽管只描述了发酵过程中的压力控制问题，但相应的控制装置具有很强的拓展性，可应用到发酵过程中的温度和气体成分的控制过程。

总之，啤酒发酵罐用的可编程全自动精密压力控制装置是一种高效、精确、可靠的控制装置，可以有效提高啤酒生产的质量、产量和稳定性。