

22 117-122

酒蒸馏操作过程特征知识的抽取

石为人^① 梁山^① 谢昭莉^① 梁川^②

(^① 重庆大学自动化系, 重庆, 400044; ^② 泸州老窖股份有限公司质检中心, 第一作者 48岁, 男, 副教授)

TS262.3

TS261.3

摘 要 白酒蒸馏的甑内过程是复杂的多模态动态过程, 新酒质量的好坏很大程度上取决于蒸馏操作。本文在分析、研究白酒蒸馏机理的基础上, 提出了以在规范化操作条件下的甑内温度作为白酒蒸馏领域的专家知识描述的思想。

关键词 白酒; 蒸馏; 人工智能

中国图书资料分类法分类号 TS261.3

0 引 言

白酒蒸馏技术是白酒生产循环圈中一个重要的核心组成环节。白酒的蒸馏是酒精的浓缩与香味成分提取同步进行的过程, 它的目标是将所获得的众多发酵产物按所需要的数量和比例有机地集合在一起, 以实现具有特定风格、味道和独特的香味。在这个过程中, 各组分根据它的沸点高低、醇水互溶性、醇溶性、水溶性等特性, 使整个蒸馏过程既有理想溶液的蒸馏因素, 又具有恒沸蒸馏与水蒸汽蒸馏的因素。“生香靠发酵, 提香靠蒸馏”是固态法白酒酿造这一传统工艺的总结, 实践表明: 一窖发酵良好的酒糟不一定能满意地将其香味物质提留于酒中。七分靠工艺三分靠发酵, 出酒质量因人而异, 一甑粮糟能否提留出较高比率的优质酒, 很大程度上取决于操作人员的经验, 要提高优质酒的比率, 在改造蒸馏设备的同时, 需分析、研究蒸馏机理, 摸清酒中香味物质的提留条件, 甑内的温度变化规律, 在科学总结传统操作工艺精髓的基础上建造一个酒蒸馏操作指导专家系统^[1], 保证操作的规范性和稳定性以及调节与控制蒸馏的温度。笔者在研究蒸馏机理的基础上, 提出了以在规范化操作条件下的甑内温度作为描述白酒蒸馏领域专家知识的思想。

1 白酒蒸馏机理

1.1 酒精出甑机理

发酵所获酒精与待蒸甑料的结合有四种方式: 吸附性储存、毛细管储存、粮粒空壳储存、新加生粮的吸附性储存。含有自由酒精分子的糟粒在蒸馏中与蒸汽接触时, 那些储存在物料表面的酒精首先被汽化, 接着储存在糟粒间形成的毛细管储存液也在表面张力作用下不断升到表面而被汽化。这两者因受热面大、储量多, 形成了强大的以酒精汽为主体的气流, 即气头。而粮粒内部的情况则不同, 在热的作用下, 热扩散引起的浓度梯度大于周围的质量浓度

时,酒精被源源不断地驱赶出来,从而实现提馏的连续过程。

在蒸馏过程中,发酵液的表面蒸发与内部扩散是同时进行的。一般而言两者的传质速度不等,内部传质速度慢且大致是个常数,而表面汽化速度则与操作工艺水平密切相关。当内部酒精的扩散速度大于表面酒精的汽化速度时,则酒精的表面扩散速度对蒸出速度起着限制作用;若装甑粗糙(甑内乱堆放、下糟忽轻忽重)等往往会造成这种工况;反之,内部酒精扩散速度较表面汽化速度小,这时蒸馏速度由于内部扩散等控制作用,这种工况往往是“大火”蒸馏所至。过大的气流使表面酒精迅速蒸发,粮粒内部所含酒精还来不及到达表面,表面汇集的酒精已先行分离了,总的出馏浓度因此下降。对糟子来说,若主气流中酒精不能形成高浓度,则会减弱对酯类物质的推动力,酒质也就会跟着下降。所以只能用“火力”(温度)来适应糟子内部的扩散速度,力求实现两者平衡,争取出馏同步。这是获取较高收酒率必需具备的条件。

1.2 甑料中的质量扩散

在白酒蒸馏中基本的扩散是热扩散,热扩散可以沿甑子纵向和横向进行。由热扩散所引起的质量运动方向是朝热源的,而浓度梯度引起的分子扩散是远离浓度源的。在甑内主要的热扩散方向是由甑底向甑盖,由于热扩散的结果,在甑内形成浓度梯度、温度梯度和压力梯度,因而产生分子扩散,酒精由低甑位流向高甑位。其质量传递过程可表示为:

$$J_{AB,T} = -D_{AB,T} * \frac{1}{T} * \frac{dT}{dz} \quad (1)$$

式中 $J_{AB,T}$ ——由分子扩散引起的组分B对物质A在Z方向的传质通量

$D_{AB,T}$ ——为A物质向B组分因温度梯度存在而引发的扩散系数

T ——甑内温度

Z ——所论方向上的扩散距离

式(1)的物理意义为:1)为提高酒精的蒸出量,即加大 $J_{AB,T}$ 值,应降低甑内的温度水平(减少 T 值);传统工艺中采用常压式蒸馏器而不用高压釜,蒸酒恰好符合这一原则;2)提高出酒量 $J_{AB,T}$ 的另一措施是增大 dT 的数值。 $dT \approx \Delta T = (T_2 - T_1)$, T_1 代表低一层糟子的温度, T_2 代表高一层(新添加的)糟子温度。显然 $T_2 < T_1$ 。

总的来说,上甑操作是要保持蒸酒时糟子中出现最大的温度梯度。

1.3 桶甑的提香机制

对香味物质的提馏,首先要解决向储酯组分扩散酒精以溶解那里的有益酯的问题。在高浓度的酒汽存在的前提下,扩散渗入酒精的质量愈多,渗入的深度愈深,溶解的酯量就愈大。

白酒中含有多种微量物质,因其含量与比例各不相同,从而呈现出酒的种种风格。这些微量成份蒸出规则尽管各有差别,但从总体上讲,大致可分为亲醇性和亲水性两类物质。浓香型酒的主体酯类物质己酸乙酯、乙酸乙酯等都属于醇溶性物质,而乳酸乙酯与大部分有机酸都表现出极强的水溶性。

显然,甑料周围空隙中有高浓度的酒精存在是香味物质提馏的首要条件。发酵终了的糟子其酒精含量一般在5%~9%范围内,这时发酵液内酒精大约为4~6度,故桶甑的酒精只有经过若干次汽化—冷凝—汽化—冷凝过程后才能达到较高的酒精浓度。而较低甑位的香

味物质就不能够较多地提馏出来。可以在底锅水中加入尾酒以提高低甑位的溶酯条件。提香的第二个条件是要给出必要的反向质量扩散与正向质量扩散时间。酒精向粮粒深部细微毛细管储存组织扩散时,完成质量扩散是需要时间的,否则粮粒深部的酒精浓度就来不及升高到最佳溶酯浓度。显然提香的第二个条件是靠高质量的操作质量来完成的。

2 蒸馏操作的领域知识

蒸馏的成功率主要取决于上甑操作。从放甑、撒糠(稻壳)、铺底料、开汽,一个上甑过程就开始了。现场经验表明,上甑操作质量是产酒的关键,有丰富经验的操作与无经验的操作对于一甑料能出现5~10 kg甚至更大的出酒量差别,一般差2~3 kg是经常的事。传统工艺历来十分重视上甑工序,总结出了诸如“探汽上甑”、“缓火蒸馏”、“匀铺轻撒”等一套操作法。

“探汽上甑”是传统蒸馏工艺中最重要的技术指导原则。对固态发酵颗粒糟醅而言,保证白酒风格只能是这样一种工艺路线:边加边提馏,层层赶,层层收,赶到甑面集中出馏,形成浓度带出香酯。白酒蒸馏本质上是一个不稳定而且无法稳定的分离过程^[2],其传质强度每个瞬间都是变化的,而正是精馏系数不稳定才使得各种“杂质”得以收酒中,体现出酒的风格。探汽上甑则是保证这一蒸馏原则的实现方法。这一原则可表述如下:

1) 汽头上升到料面才能下料

发酵糟醅是由纵横交错的稻壳与粮粒所组成。对饮和湿蒸汽而言,一接触到糟醅就先凝结,即使糟醅的温度已经达到饱和温度,情况也是如此。而凡是有从汽到液的凝结过程总是要释放潜热,汽体分子凝结后不再向前运动了。所以糟醅之间的受热特点是传导形式比对流形式来得快。如果抢先在全甑都填满糟醅后才开始蒸馏,甑内糟子层与层之间的温度差就很小,这样小的温度差就只能产生小的浓度差,小的浓度差必然导致小的传质动力,从而酒精出馏很慢,香味物质也就不易提馏出来。故温差大才是有效的传质动力。探汽上甑正是保证大温差的决好办法。当受热料层蒸出了酒精汽体后,及时撒下冷料可保证实现汽化—冷凝—汽化的浓缩过程,使酒精浓度迅速得以提高从而溶解更多的酯类物质,提高酒质酒量。

2) 要求料面内各方位来汽均匀且不能太快

如果上甑不慎,在甑内造成松紧不匀的布料区,这时易在糟子中形成短路沟道,部分水蒸气提早冲出甑盖,造成酒量少酒度低的吊尾现象。为了让甑料粮粒内部的酒精分子扩散出来,必须创造一个能让糟粒表面汽化与深层扩散同步出馏的趋势。操作者通过控制表面的扩散速度而让它去适应糟粒内部的扩散速度,用手中掌握的火力、料层厚度与落点及加料的时间差等手段去求得两个相差甚大的传质速度的平衡。缓火上甑是使得表面蒸发速度下降去适应内部扩散速度慢的通行办法。

3) 匀铺轻撒、薄层收酒

轻撒是为了造就最大尺寸的通汽小孔隙。在重力场中,堆积的糟子实际上只有最面上一薄层甑料处于不受压的自由状态,因此只有轻撒才能建立起正常的饱和蒸汽压,为内部扩散提供一个通畅的出口。至于薄层是为了使冷料的 dZ 薄,从而得到大的温度梯度、获得大的热扩散通量 $J_{AB, T}$ 值。

3 酒蒸馏操作过程的知识抽取

3.1 白酒蒸馏操作指导专家系统的结构

从白酒蒸馏操作指导专家系统的功能来看,它是一个在线监控的实时专家系统。根据实时专家系统的特点,专家系统的一般结构及本专家系统的功能要求,作者设计的白酒蒸馏操作指导专家系统的结构如图1所示。

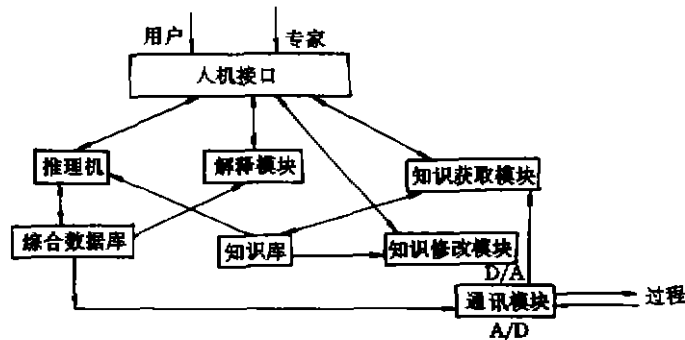


图1 白酒蒸馏操作指导专家系统的结构示意图

专家系统的知识存储在知识库中,它包括经验丰富的操作人员实际操作的启发式(heuristic)知识以及控制算法;测量数据及中间结果存储在综合数据库中;推理机根据知识库以及综合数据库进行过程诊断、信息提示、结果评定和实时控制;解释模块用于回答用户疑问;人机接口用于沟通用户,专家与计算机之间的关系;通讯模块用于上下位机间数据的输入、输出;另外还有知识获取模块和知识修改模块。

3.2 蒸馏操作过程知识的获取

获取驱动一个专家系统所需要的知识并将知识表达为可用的形式是专家系统开发中的瓶颈问题之一。多年的研究表明:在建立专家系统中,知识的获取是最难解决的,而且效率很低,人们往往要花很多人力和财力在知识获取上^[3]。目前除了一些非常简单的有能力从实例中构造规则系统的辅助工具外,很难找到可任意完成知识获取工作的自动方法。

前述在阐明蒸馏机制的基础上,总结出了上甑操作的技术要求,即:“探汽上甑,匀铺轻撒,薄层收酒”。这是几百年来传统操作工艺的精髓所在,也就是白酒蒸馏操作的领域知识。然而要把这两、三句话作为专家系统的知识送入知识库中,计算机是无法理解、无法工作的。操作人员“探汽上甑”是指看到桶甑里有酒汽出现则立即进行撒糠的操作。探汽是要靠眼睛来观察和辨识,目前还无法设计一种满足实时要求的能代替人眼完成观察和辨识的硬件和软件。“匀铺轻撒”的工作是由人来完成的,计算机由于不能得到观察和辨识的信号,也无法设计机械手来完成该项操作。因此,不能直接用“探汽上甑,匀铺轻撒,薄层收酒”来作为专家系统的知识库内容,而只能在充分理解这句话并且不改变原意的基础上用其它方式来表达领域的知识。

在白酒的蒸馏过程中,桶甑内的工况是一个复杂的多模态的动态过程,其物质成分、压力、温度无时无刻不在变化;桶甑内进行蒸馏的物质包括发酵后的粮糟、稻壳、生高粱粉、水、乙醇及上百种微量元素。因为甑内物质是一个固、液、汽三相一体的混合物,很难对甑内成分

的变化情况进行跟踪,检测;至于压力,由于上甑过程是一个无盖的操作过程,桶内外的大气压是相等的,而盖盘后,混合物内部相变瞬间的气压变化不是很大,同时甑内糟子是松散的,因此也不能用压力来反映甑内工况。

白酒蒸馏操作指导专家系统的任务在于监督上甑和受热的均匀性,同时调节火力。调节火力是为了控制天然气燃烧后释放的热能。根据热力学原理可知热能和温度是两个密切相关的概念,用温度值的大小可代表热能的多少。上甑是在见汽时进行的,这里的汽是指酒精汽体,因此我们可用酒精的沸腾温度作为探汽上甑的临界条件;而速度可以根据温度的变化情况反映出来;对温度差的限定可体现薄层收酒的原则;对同一槽层进行多方位的测量,各方位温度值相等与否就代表了上甑和收热的均匀与否。因此温度值可以代表领域知识。

由上甑技术的理论依据(1)式可知,甑内工况与温度有关,与上甑糟子的厚度有关,上甑糟子的厚度可根据在纵向上的温度差来表示。每上一层新糟子,桶甑内槽面的温度就会突变到室温(新糟子温度为室温),而一旦穿汽,则槽面温度一定在酒精沸腾温度附近,因此温度可反映甑内的工况。

我们将传统的桶甑进行必要的改造,使甑内的温度场发生变化,新型酒蒸馏器甑内温度场分布曲线如图 2 所示。传统桶甑的甑内的温度场分布曲线如图 3 所示。同时在桶甑的甑壁(衬木层)的前、后、左、右四个方向安设传感器,则这些传感器可分别代表同层 A、B、C、D 四个区位的温度值。温度传感器在桶甑内布置的俯视图如图 4 所示。

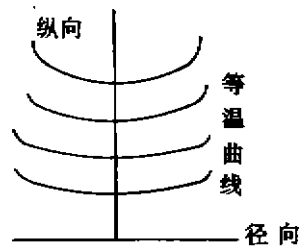


图 2 新型蒸馏器甑内的温度场分布曲线

根据同一平面上传感器在前、后、左、右四个方位的测量值是否一致则可判断上甑或受热的均匀性。

在每一方位纵向上,沿甑壁上排列七个传感器,根据相邻传感器测量差值的变化情况可反映上甑和受热的速度。

“探汽上甑,薄层收酒”的实质在于要求汽头升到槽面时才能下料,而且一甑装料的厚度要薄,这就是说上料的速度是受限制的,通常上料时间需要 30~35 分钟,并且要求层

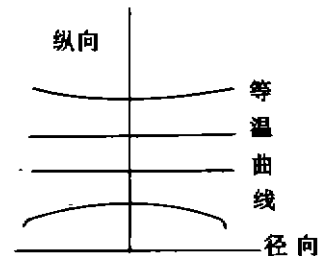


图 3 传统桶甑的甑内的温度场分布曲线

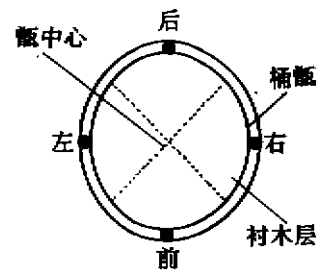


图 4 传感器在桶甑内布置的俯视图

与层之间的 ΔT 大、 ΔZ 小。由于冷料为室温 20°C 左右,酒汽温度为 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ 。所以根据所测得的温度值就可知此时是在上料还是有汽带出,同时根据测量点的纵向位置高度可以判

断料和汽的到位情况,进而推算出上甑的速度。“匀铺轻撒”则是强调穿汽要均匀。由于在桶甑前、后、左、右四个方位都安上了传感器,因此比较它们在同一时间同一层上的测量值是否相等就可推知是否在均匀上料和上汽。

让经验丰富的操作人员按最规范的方式进行演示操作,温度测量仪记录下整个上甑操作过程的温度值,那么这组温度值就代表了蒸馏操作的规范化标准。别的操作人员的温度记录情况与这组标准温度值的异同就能反映出该操作人员的操作是否规范。因此这一组标准温度值就成了操作指导专家系统的领域知识,它不再仅仅是一组数据,而是体现了领域经验的知识。这些领域知识与对象的位置属性和时间属性一起构成了知识库。

4 结束语

在分析研究蒸馏机理、酒中香味物质提留条件和甑内温度变化规律的基础上,提出了以规范化操作下的甑内温度作为描述白酒蒸馏领域的专家知识的思想。根据该思想构建的白酒蒸馏操作指导专家系统,能较好地优化专家操作经验,保证操作的规范性和稳定性,能合理地调节与控制温度,从而保证新酒的质量。

参 考 文 献

- 1 梁山. 酒蒸馏过程的系统动力学分析与控制策略研究. 重庆大学学报, 1997(2): 33~37
- 2 彭明启. 白酒蒸馏技术. 成都: 四川省科学技术出版社, 1992. 166~167
- 3 何新贵. 知识处理与专家系统. 北京: 国防工业出版社, 1990. 12~17

Abstraction of the Characteristic Knowledge in the Distillator Operation Process

Shi Weiren Liang Shan Xie Zholi

(Department of Automation, Chongqing University)

ABSTRACT The inner process of the distillator is a multimode dynamic process. To a great extent quality of the spirits depends on operation of the distillation. On the basis of studying spirits distillation principle the authors, propose an ideal of using inner temperature in canonical operation circumstances as the descriptive language of expert knowledges in the domain of the spiritis distillator.

KEYWORDS spirits; distillation; artificial intelligence