

蒸发器的设计与节能

王 正 华

(华北制药厂淀粉分厂)

藉加热使溶液中部分溶剂汽化以提高溶液浓度的过程称为蒸发。在玉米淀粉工业中,至今仍普遍采用蒸发方法浓缩玉米浸液。玉米浸液亦称玉米浆,其干物主要成分为可溶性蛋白质及其降解物。将玉米稀浸液浓缩至含干物40%以上,作为一些发酵产品培养基的优良氮源。在葡萄糖生产中,将糖化液经过处理达到结晶罐的质量标准或者液体葡萄糖的要求浓度,不仅净化脱色去除杂质,也需浓缩至必要浓度。在工业生产中,蒸发过程要消耗大量热能。Alfa-Laval公司介绍,玉米加工厂中蒸发能耗占工厂总能耗21%,安装热泵压缩装置,可降低其能耗的1/3^[1]。从我厂和国内一些年产万吨级的葡萄糖车间数据^[1],生产过程蒸发耗热量占葡萄糖总热耗50~70%,可见蒸发能耗在淀粉和葡萄糖生产总能耗中占有重要位置。目前国际先进水平生产每吨固体葡萄糖消耗蒸汽约2吨。除近年引进设计项目外,对比国内葡萄糖生产热耗差距很大。国内淀粉葡萄糖生产,80年代通过加强节能管理,在降低能耗方面取得初步效果,但行业中蒸发过程仍蕴藏着节能潜力。改造蒸发装备,提高蒸发过程热效率是降低生产成本和提高经济效益的重要一环,是淀粉和淀粉糖工业的发展趋势。本文就行业所用蒸发器的设计选型及其节能作一综述。

一、蒸发器的设计^[3]

蒸发器设计选型总要求是尽可能经济地利用能源,以较小的传热面积将较大热量传给被浓缩的溶液,并以最简易的装置将汽液分离到理想的程度。蒸发器的选型应考虑下列因素:

1、制造材料:首先要注意到工艺流体对设备的腐蚀。葡萄糖浆在微酸性蒸发,含氯离子,要选择耐蚀材料。其次食品和药品的卫生和防污需要,有时应选用较高级别的合金钢。材料价格、蒸发器制造成本等经济因素亦不可忽视。葡萄糖浆蒸发,国外多用316不锈钢,国内也有使用不透性石墨^[4]和钛材^[5]以解决腐蚀问题。当用热泵蒸发处理酸性溶液时,可在蒸发器与压缩机之间安装高效除沫器和碱性洗涤系统,以防压缩机接触气体部位被腐蚀。

2、溶液的物理性质:

甲、粘度:

粘度是影响设计选型重要特性之一,粘度随浓度加大和温度降低而增加。较低或中等粘度的葡萄糖溶液,国外近年多用三或四效的降膜蒸发器。降膜式蒸发器的液体入口管在加热室上方沿垂直管的管壁下流,其加热室的各管上方安装液体分配器以便均匀分液。分配器可为锯齿形、堵头型、加压喷雾型、旋液式、导流管式、填充金属丝网式等^[6]。液体分配器结构合理,直接关系到传热效率和操作稳定。

玉米浸液为玉米淀粉副产品,其中含悬浮微粒,蒸浓时易发生糊化,导致浓缩浸液粘度

增加,流动性能降低,影响在蒸发器中的循环。因此在蒸发前要分出浸液中悬浮物,在容器中静置沉淀是自浸液中分离悬浮物的最简便方法。

乙、热敏感性:

有些食品和药品较长时间接触高温易改变其原有性质。这类物质的浓缩应以缩短操作时间和降低操作温度并重。早期多用低温冷冻法,因成本高未能广泛应用。随着蒸发技术的发展,近年多选择真空操作的薄膜蒸发器,尽量缩短受热时间,以保证浓缩液质量。

真空蒸发的另一优点是在减压下溶液沸点低,使蒸发器的传热推动力加大,在设计上可降低蒸发器的传热面积,也可采用低压蒸汽或废热作热源。

丙、泡沫:易生泡沫的液体,采用强制循环式或升膜式蒸发器好。

丁、溶液沸点上升:由于沸点上升也消毛玉霜功使冷凝蒸汽与浓缩液间的有效温差变小,因此对沸点上升值较高的溶液蒸发时,推荐用多效蒸发而极少采用热泵蒸发。

3、蒸发器负荷:蒸发器生产能力主要涉及设计传热面积和多效蒸发器效数的选择,以便在原始投资和热力运行费间作经济比较。

4、垢层与总传热系数:

蒸发器经一段时间运行后,在加热室的内外表面上形成的垢层称为积垢。垢层的形成是由与操作条件有关的物理和化学因素所决定。其中糖汁一侧积垢是主要的。加热管表面积垢产生热阻,降低总传热系数和生产能力。腐蚀产物、不溶性钙镁盐类和有机物是垢层的主要来源。分析积垢原因后,有针对性地采取措施:如采用非腐蚀性材料、传热元件壁面尽可能避免粗糙,在最佳工艺条件下高流速运行,或采取物理或化学方法使垢层溶解。提高循环速度,可使溶液中析出的部分沉淀物被迫悬浮于溶液中来不及在壁面上沉积成垢层。积垢热阻是时间的函数。在设计蒸发器选定积垢热阻时,要综合考虑投资费、运行费和清洗费等因素。糖化液经净化除去杂质,不仅提高产品质量,也有助于提高蒸发器的传热效率。^[4]

5、汽液分离装置:

蒸发器的汽液分离装置是提高蒸发收率的关键设备。从蒸汽中分离液末,要求分离效率高,分离出的液体连续排出,分离器保温好,防止蒸汽冷凝而稀释浓缩液,同时流体阻力小,结构简单造价低。

二、蒸发过程的热平衡

70年代世界能源危机,日本首先注重从有效地综合利用能量的观点来建立联合企业。在设计时,将能量流程图放在比工艺流程图更重要的位置。国内从80年代初期随着节能工作的深入开展而加强对热平衡重要性的认识。

蒸发过程的热量平衡计算式为:

$$Q_A + Q_B = Q_C + Q_D + Q_E + Q_F$$

其中: Q_A 为蒸汽供给热量

Q_B 为被蒸发液带入热量

Q_C 为浓缩液带走热量

Q_D 为二次蒸汽带走热量

Q_E 为疏水器带走热量

Q_F 为蒸发系统散热损失

蒸发过程节能的关键在于降低 Q_A ，为此可采取的有效方法为：

1、安装预热器，使被蒸发液体在接近沸点时进入加热室以提高 Q_B 。玉米稀浸液蒸发中，预热所需热量约占总有效热值的15%。沸点进料可降低成本。

2、阻止热量逃逸：如合理疏水 用好疏水器，防止蒸汽泄漏和作好设备、管道、管件的保温，减少散热损失。

3、工艺流程合理化：在葡萄糖生产中，浓缩后要求一定的浓度，工艺过程加入的多余水分，迟早均需蒸发。因此，配制脱色用的炭液，离子交换工序再生液和洗液的排放，都与蒸发负荷有关。酶法生产葡萄糖比酸法生产糖化液浓度高，使蒸发汽耗降低。合理利用母液，也与降低汽耗有关。玉米淀粉厂改善浸渍条件提高稀浆浓度可降低玉米浸液蒸发过程的热负荷。

4、热量反复利用：将浓缩液和二次蒸汽带走的热量充分利用，可用于预热被蒸发液体或其它工艺液体。带走的二次蒸汽仍有很高的热焓，而这部分潜热冷凝又消耗大量冷却水。可见充分利用二次蒸汽热量是蒸发过程节能的关键；其主要方法是供下一效蒸发器作热源（多效蒸发）或将二次蒸汽压缩后提高其压力和温度后再供蒸发器利用（热泵蒸发器）。以下就这两方面，结合行业特点分别介绍。

三、多效蒸发

在一以蒸汽加热的蒸发器内，由液体沸腾而产生的二次蒸汽进入另一蒸发器去加热並蒸发溶液。由于降低压力，在下一蒸发器中溶液沸点低于前一蒸发器的溶液沸点。这样依次利用前一效的二次蒸汽作为下一效蒸发器的热源，即前一效的二次蒸汽表面冷凝器是后一效的加热室，如此组成多效蒸发器。在多效蒸发器中，仅第一效加入新蒸汽而使蒸发水分 量 增加。对于各效蒸发器，蒸发单位水分的先进蒸汽单耗如表一。

表一：蒸发单位水分的先进蒸汽单耗：

蒸 发 器 总 效 数	汽 耗
	蒸 发 水 量
单 效	1.1
双 效	0.57
三 效	0.40
四 效	0.30
五 效	0.27

多效蒸发提高了蒸汽利用率，降低了操作费，但增加了原始投资。从上表可见，双效蒸发比单效蒸发节汽48%，而五效蒸发比四效蒸发仅节汽10%。这就要在设计上确定最适宜效数。多效蒸发器最佳化有关参数包括效数、温度差、浓缩比、年运转费用等。由于需冷凝蒸汽量比单效蒸发器减少，多效蒸发器附属冷凝器的冷却水用量也较小。在葡萄糖浆和玉米浸液蒸发工业生产中，采用三或四效蒸发比较经济合理。

多效蒸发按原液与蒸汽加入蒸发器的方法，可有顺流、逆流、平流、错流等方式。当蒸

发进料温度低的热敏物质又无预热器时,可在末效进料先浓缩至一定浓度,再进一效和二效,减轻预热负荷,热能利用比较合理。

四、热泵蒸发器及其应用

按照热力学定律,若将热量从低温热源传至高温热源,必需藉助于外功。热泵是有效利用低温位热能的一种方法。在蒸发过程中,将蒸发器产生的二次蒸汽压缩至较高压力,作为加热蒸汽再送至蒸发器的加热室,这样二次蒸汽的潜热得到利用,减少了蒸汽消耗。

本世纪初Kelvin提出机械压缩蒸发法,但一个时期内未得到发展,直至二次世界大战期间,由于军事上需要,海水淡化和压缩机技术的发展,促进了小型机械压缩蒸发装置的发展,但由于气态压缩机造价昂贵未能普及^[1]。国外50年代后期,热泵蒸发在化工和食品行业应用渐广,加拿大和北欧诸国电力资源充足而燃料价高,应用机械热泵经济效益显著。70年代世界性石油危机,能源费上涨,促进了热泵节能技术的普及。近年国外在葡萄糖浆与玉米浸液浓缩过程中,将蒸汽喷射式热泵与三效(或双效、四效)降膜蒸发器结合使用,蒸发水分的蒸汽单耗低于 0.3t/t ,取得节能降耗的显著效果。

热泵蒸发器按其设备构造分为两类:

1、蒸汽喷射式热泵:形似文丘里管,无传动装置,构造较简单,可与单效、双效或多效蒸发装置结合使用。

2、机械压缩式热泵:压缩装置可为离心式鼓风机或容积式压缩机。通常与单效蒸发器结合使用。

机械热泵装置能耗低,二次蒸汽的热量得到利用。机械压缩式热泵的能耗与压缩比成正比。经济运行方式是将压缩比控制在1.5至2.0间^[2]。由于沸点升高也消耗压缩功使有效温差变小,使蒸发器生产能力下降。因此对沸点上升值较高的溶液蒸发时,应用热泵受到限制。

由于没有二次蒸汽排出,机械热泵不需大量冷却水,也不需为此建设水泵房和凉水塔。仅气体压缩机润滑系统用冷却水,因此排污量小。由于生蒸汽与二次蒸汽混合,冷凝水中夹带杂质,热泵蒸发的冷凝水不能直接回锅炉再用,热泵蒸发仅在设计条件下运行热效率高,而多效蒸发对于调整运行参数,仍可保持操作稳定。

和普通双效蒸发器比较,热泵蒸发器热能消耗和运行成本较低。机械热泵能耗折算,比蒸汽喷射式热泵更低。但机械热泵构造较复杂,风机常在每分钟数千转高速下运转,需要采用先进的监测手段和掌握精细的维修方法。轴的密封是阻止蒸汽泄漏的关键。

工业热泵运行方案的选择,主要看两方面条件,一为能源价格,电价与产生蒸汽的煤价的比例,二为热泵技术水平,涉及热泵效率、年操作费等。Starcosa公司的Jahh认为,当蒸发器蒸发水分的能力在 10t/h 或以上时,设置耗电的热泵装置,可得到较高的热效率^[3]。

在日处理500t玉米的工厂设计,国外有推荐用四效降膜蒸发器浓缩葡萄糖浆的。经一效分离的二次蒸汽,一部分再经蒸汽喷射式热泵回用,一部分供二效加热。

日本重机械工业公司研制一种蒸汽再压缩式蒸发器^[4],其传热元件呈板状,易于清洗,传热系数大,被处理液停留时间短,自动化程度高,操作时从外部可观察蒸发器内情况,用于葡萄糖和异构糖等产品。

日本70年代报导^[1]将热泵与多效蒸发结合,其用于本行业的能耗数据见表二。

表二:玉米浸液与葡萄糖浆用蒸发器运行数据:

处 理 液 名 称	玉 米 浸 液	葡 萄 糖 浆
蒸发器效数	四 效	三 效
浓缩前后干物含量	5→50%	30→65%
蒸发水分量 t/h	17	4.5
蒸汽消耗量 t/h	3.8	1.3
冷却水耗量 m ³ /h	90	50
电 耗 量 Kw	50	13

某果糖厂将葡萄糖浆自31%浓缩至45%,蒸发水分28t/h,采用电机传动的机械压缩式蒸发器,其能耗仅为单效蒸发的10%,其中气体压缩机传动占5.5%,蒸汽予热占3.5%,补充蒸汽0.7%,真空喷射泵传动用汽0.3%^[12]。

参考文献:

- 1、D.J.Barr; Starch32(1)5,1980
- 2、相金华:医药节能汇编(5)34
- 3、D.K.Mehra; C.E.93(3)56,1986
- 4、董传强:淀粉与淀粉糖(3—4)69,1980
- 5、黄书贤:节能与设备(2)26,1987
- 6、袁人:化工设备设计(1)52,1981
- 7、J.H.Mallionson; C.E.70(18)75,1963
- 8、G.Whittlesey; C.E.88(1)146,1981
- 9、1988年全国淀粉会议资料
- 10、化学世界(8)254,1982
- 11、医药农药工业设计(4)41,1979
- 12、D.Dietrich; Starch 37(5)149,1985