

浸出车间第一蒸发器有效利用的验证方法及相关注意事项

庞雪风¹, 薛宝臣¹, 裴云生², 孙武³

(1. 中垦国邦(天津)有限公司, 天津 300450; 2. 九三集团 天津大豆科技有限公司, 天津 300450;
3. 迈安德集团有限公司, 江苏 扬州 225100)

摘要:浸出车间第一蒸发器的有效利用对整体的蒸发效果和热能的节约有着重要的意义。旨在为工厂的生产稳定和工艺的不断改进提供理论参考,介绍了混合油的基本特性,引用了两种方法验证第一蒸发器是否得到有效利用,并对蒸馏工艺中需要注意的问题进行了总结。第一蒸发器是否得到有效利用的验证方法一是通过负压合理性进行验证,二是通过实际换热面积是否得到有效利用进行验证。工厂可以通过两种验证方法对第一蒸发器是否得到有效利用进行初步的判断,并对相关工艺条件作出相关调整。第一蒸发器的有效利用涉及多个工艺步骤,蒸发器进口混合油浓度、二次蒸汽中含粕量、混合油的杂质含量、冷凝系统的稳定性等因素在实际生产中均需被关注,以保证第一蒸发器的有效利用。

关键词:浸出车间;第一蒸发器;混合油浓度;混合油温度;负压;蒸发面积

中图分类号:TS223.4;TQ643+.19 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2024)06-0128-05

Validation methods and considerations for effective use of first – stage evaporator in leaching plant

PANG Xuefeng¹, XUE Baochen¹, PEI Yunsheng², SUN Wu³

(1. Sinofarm Guobang (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 300450, China; 2. Jiu San Group Tianjin Soybean Technology Co., Ltd., Tianjin 300450, China; 3. Malande Group Co., Ltd., Yangzhou 225100, Jiangsu, China)

Abstract: Effective use of the first – stage evaporator in leaching plant is of great significance to the overall evaporation effect and heat energy saving. Aiming to provide theoretical reference for the production stability and the continuous improvement of the process, the basic characteristics of the miscella were introduced, two methods were cited to verify whether the first – stage evaporator was effectively utilized or not, and the problems that need to be paid attention to in the distillation process were summarised. The rationality of the effective use of the first – stage evaporator could be verified by the reasonableness of the negative pressure, and by examining whether the actual heat exchanger area was effectively utilized or not. Factory can make a preliminary judgement on the effective use of the first – stage evaporator through these two methods, and adjust the relevant process conditions accordingly. The effective use of the first – stage evaporator involves a number of process steps, and factors such as the evaporator inlet miscella concentration, the meal content in the secondary vapour, the impurity content in the miscella, the stability of condensing system and so on in the actual production need to be concerned to ensure the effective use of the first – stage evaporator.

Key words: leaching plant; first – stage evaporator; miscella concentration; miscella temperature; negative pressure; evaporation area

收稿日期:2023-04-25;修回日期:2024-03-16

作者简介:庞雪风(1988),女,硕士,主要从事大豆浸出生产工艺、设备的研究工作(E-mail)525884030@qq.com。

大豆浸出工艺中,一般采用六号溶剂(主要成分正己烷)将大豆中的油脂浸出形成大豆油与溶剂

的混合物,工艺中称此混合物为混合油。为了得到较为纯净的大豆油,需要将混合油中的正己烷进行充分分离,混合油中正己烷与大豆油充分分离的工

艺过程被称为蒸馏过程。目前在大豆浸出工厂中,常见的混合油蒸馏工艺流程如图1所示。

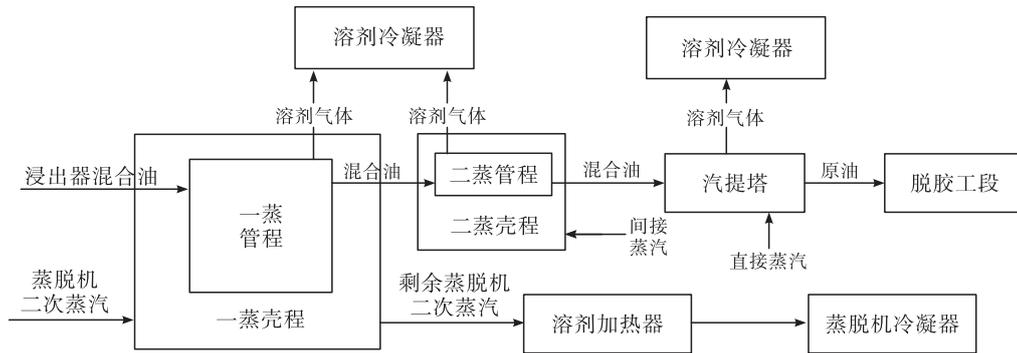


图1 混合油蒸馏工艺流程

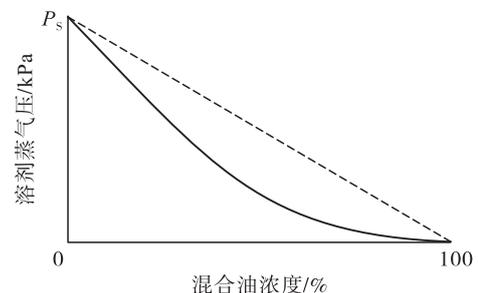
由图1可见,整个蒸馏过程包含两次蒸发和一次汽提。在负压蒸发系统中,第一次蒸发的热源是蒸脱机的二次蒸汽,第二次蒸发的热源主要是间接蒸汽,汽提的热源主要是直接蒸汽,有些汽提设备的夹层中也会通入少量的间接蒸汽。根据物料守恒和热量守恒的原理,在混合油浓度一定的条件下,从混合油中分离的溶剂量是一定的,只有第一次蒸发是利用蒸汽余热进行分离,如果第一次蒸发过程中,充分地利用了蒸脱机的二次蒸汽余热,不仅可以有效地降低后续蒸发过程中蒸汽的使用量,而且会大大降低蒸脱机冷凝器的负荷,对蒸脱机气相压力的稳定也大有益处。相反,如果第一次蒸发过程没有将溶剂有效分离,导致混合油浓度偏低,就会加大第二次蒸发和汽提过程的负荷,为了保证原油中溶剂残留指标合格,在负压难以提高的情况下,很多工厂会选择提高二蒸和汽提的温度,过高的温度可能会导致原油的色泽加深,影响其质量,对后续的精炼过程也会有较大影响。同时,由于蒸脱机的二次蒸汽热量没有被有效利用,加大了冷凝系统的负荷,也会影响蒸脱机气相压力的稳定。可见,在混合油的蒸馏过程中,第一蒸发器是否得到有效利用,对整个浸出车间的工艺稳定、生产成本的降低、产品质量的提高均具有重要的意义。

尽管第一蒸发器在整个浸出车间的作用十分重要,但并不是所有的工厂都能将第一蒸发器的效能发挥得最好,甚至有的工厂由于第一蒸发器没有得到有效利用而引发一系列工艺、成本、产品质量问题而不自知,因此应该有一种方法判断第一蒸发器是否得到有效利用。本文论述了混合油的基本特性,引用了两种验证第一蒸发器是否得到有效利用的方法,并对蒸馏工艺中需要注意的问题进行总结,以期为浸出工厂生产工艺的不断改进提供理论参考。

1 混合油的基本特性

1.1 混合油的热特性

从浸出器得到的混合油一般含有0.4%~1.0%的固体粕粒等悬浮杂质^[1],除此之外,从油料中浸出的不仅有甘油三酯,而且还有其它伴随物^[2],如蛋白质、磷脂等,伴随物会导致混合油的特性发生变化,比如黏度增加,沸点升高。混合油中分子之间的相互作用力是不同的,溶剂分子间的引力比溶剂与油分子间的引力更小,因此混合油并非一种理想溶液,一般混合油浓度越高,黏度越大,溶液上方的蒸气压越低,偏离拉乌尔定律结果越显著,偏离的具体数据也取决于溶剂本身的性质、温度以及组分活度等。简单绘制混合油浓度与溶剂蒸气压的关系曲线如图2所示。



注:虚线为拉乌尔定律绘制; P_s 为溶剂的饱和蒸气压

图2 混合油浓度与溶剂蒸气压关系曲线

从图2可以看出,混合油的浓度越高,混合油浓度与溶剂蒸气压关系曲线偏离拉乌尔定律总体更为显著。一定温度下,混合油浓度越高,溶液上方的溶剂蒸气压越低,此时的温度与溶液的沸点相差甚远,也可以理解为混合油的浓度越高,沸点越高。

1.2 混合油的沸点与其浓度、环境压力间的关系

在第一蒸发器中,蒸脱机二次蒸汽(有的工厂将蒸汽喷射泵的工作蒸汽也并入其中)进入蒸发器的壳程,加热管程中的混合油,当混合油吸收热量达

到某种程度时,液体沸腾,处在热表面附近的溶剂获得能量,挣脱其他分子的吸引力以及外部的压力,到达液体的上部空间,形成自由分子(气态)。在沸腾过程中,溶剂由液体变为气体,根据沸腾的定义可知,溶剂的蒸气压与外界蒸气压相同,此时对应的温度就是沸点。也就是说,外界压力越高,沸点就越高。因此,在真空下溶剂蒸发更加容易。实际生产中所使用浸提溶剂浓度对沸点的影响也很大,目前更倾向于使用70%~80%的正己烷。

资料中关于大豆混合油沸点与其浓度、环境压力间的关系数据较少,可以采用下列推荐公式进行沸点的计算^[3],浓度小于60%、60%~70%、大于70%的混合油沸点分别按公式(1)~(3)计算。

$$t = (2.5 + 0.025\omega)(P \times 7.5006)^{0.505 - 0.0008\omega} \quad (1)$$

$$t = 0.00138\omega^{1.94}(P \times 7.5006)^{0.67 - 0.0035\omega} \quad (2)$$

$$t = 0.135 \times 10^{-5} \omega^{3.57}(P \times 7.5006)^{0.73 - 0.0043\omega} \quad (3)$$

式中: t 为沸点,℃; ω 为混合油浓度,%; P 为残压,kPa。

2 第一蒸发器有效利用的验证

2.1 一蒸负压合理性的测算

清楚了解混合油沸点与其浓度、环境压力间的关系之后,可以通过混合油浓度和温度测算一蒸负压的合理性,从而达到验证一蒸是否得到有效利用的目的。混合油进入第一蒸发器时的温度(进口温度)应比其沸点低1~2℃,也有资料描述为进口温度应接近混合油的泡点^[4]。最佳的状态是混合油进入第一蒸发器受热后很快就可以沸腾,溶剂汽化,在混合油内逸出形成气泡,与液体交替上升,最终在气体不断增加的过程中带动液体在管壁形成液膜,液体进一步吸收管壁的热量,溶剂挥发。在压力一定的条件下,混合油浓度不同,混合油的沸点不同,

通过对生产实际的调查可知,进入一蒸的混合油浓度一般在32%~35%,要想浓度基本一定的混合油进入第一蒸发器的温度为沸点,就需要有负压系统的配合。

下面以3种生产工况〔混合油进油温度为50℃,进油浓度(质量分数)为33%〕举例说明第一蒸发器负压是否合理的测算,其结果见表1。

表1 混合油进油温度合理性测算

工况	一蒸 负压/kPa	理论 沸点/℃	沸点与进油 温度差/℃
工况1	-60	51.78	1.78
工况2	-55	54.69	4.69
工况3	-45	60.05	10.05

由表1可知:工况1的理论沸点为51.78℃,进油温度比沸点低1.78℃,符合上述要求;工况2的理论沸点54.69℃,进油温度比沸点低4.69℃;工况3的理论沸点为60.05℃,进油温度比沸点低10.05℃。工况2和工况3的进油温度均偏低,导致混合油进入第一蒸发器底部一定时间以后才可以沸腾,进油温度越低,在蒸发器底部的时间越长,也意味着蒸发器内一部分体积被占用,这部分的蒸发器仅能发挥加热的作用,改变了设备可利用的长径比,导致蒸发器升膜的实际长度被缩短,蒸发面积减小,影响了蒸发器实际蒸发效果。

工况3的进油温度比沸点温度低10℃以上,这种情况一蒸几乎无法正常工作,一蒸的出油浓度太低,该工况在现场很容易判断出来,从视镜中可以看到一蒸冷凝液量明显减少。实际生产中确实会遇到类似的问题,由于一蒸过程负压不足,波动较大,导致一蒸的效率低,为了保证原油中溶剂残留符合标准,不得不提高第二蒸发器和汽提塔的温度。将3种工况下原油的质量,以及对应的其他蒸发器的温度和溶剂残留进行对比,结果如表2所示。

表2 3种工况下工艺参数及原油质量的对比

工况	一蒸出油浓度/%	二蒸负压/kPa	二蒸温度/℃	汽提温度/℃	原油色泽(红值)	原油溶剂残留/(mg/kg)
工况1	80	-65	100	100	2	40
工况2	74	-65	105	105	2	60
工况3	56	-65	120	120	4	98

从表2可看出,在工况3中一蒸出油浓度56%的情况下,二蒸和汽提温度明显提高,且原油的色泽(红值)和溶剂残留均明显高于工况1和工况2的。工况2和工况1相比,虽然原油色泽没有差异,但由于二蒸和汽提温度的提高,增加了能耗,也不是最经济的操作方法。

在实际生产中若遇到工况3一蒸出油浓度低的情况,要排查出负压不稳定的根本原因,可以从冷凝器、循环水、一蒸壳层是否有堵塞等方面进行排查。一般蒸脱机二次蒸汽的利用率和负压情况是相关联的,如果一蒸真空度不足,一蒸效率低,一蒸内混合油利用的热量少,则导致蒸脱机二次蒸汽没有得到

有效的利用,蒸脱机二次蒸汽经过一蒸利用后一般会继续与新鲜溶剂进行换热,然后进行冷凝,如果新鲜溶剂换热后仍然无法充分地利用二次蒸汽的热能,很可能会影响蒸脱机冷凝器的效率,导致蒸脱机内部压力波动不稳定。因此,一蒸系统是否得到有效利用同样关乎着蒸脱机的工况稳定性,浸出车间的设备是一个相互关联的整体,只要一个设备发生问题,就会影响到周边设备的稳定性。

2.2 一蒸蒸发面积有效利用的测算

文献报道称一蒸的出油浓度控制在60%左右是最适宜的,如果一蒸的出油浓度太高,二蒸中蒸发的溶剂量少会导致二蒸升膜困难,影响二蒸的工作效率^[2,5]。因此,不建议将一蒸的出油浓度控制得过高。但这种说法仅存在于常压蒸发的工艺条件,目前大多数的大豆浸出工艺蒸馏系统为负压工艺,而且由离心泵将混合油送入第二蒸发器,动力更足,不会存在升膜困难的情况。负压系统中,一蒸后混合油的浓度尽可能提高,有利于减轻后续工艺的负担,节约能源,且有利于蒸脱机二次蒸汽的充分利用。

综上所述,在一蒸设计时因综合考虑成本和工艺需求,将一蒸的面积做大,保证混合油充分吸热,挥发溶剂,蒸脱机的二次蒸汽充分放热,减少冷凝的负荷。第一蒸发器的传热面积通过公式(4)进行计算。

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_m} \quad (4)$$

式中: F 为传热面积, m^2 ; Q 为蒸发耗用热量, kJ/h ; k 为传热系数(一般为 $1\ 046.0 \sim 1\ 464.4$), $kJ/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ C)$; Δt_m 为平均温度差, $^\circ C$ 。

以某2 500 t/d大豆生产线为例进行验证,生产线混合油浓度为33%,一蒸设计的传热面积为 $1\ 250\ m^2$,实际运行中3种工况一蒸负压分别为 -60 、 -55 、 $-45\ kPa$,一蒸混合油的进口温度为 $50\ ^\circ C$,3种工况出口混合油温度分别为 65 、 66 、 $68\ ^\circ C$,出口浓度分别为80%、74%和56%,蒸脱机二次蒸汽进口温度 $72\ ^\circ C$,蒸脱机二次蒸汽出口温度分别为 60 、 65 、 $68\ ^\circ C$,传热系数选取 $1\ 255.2\ kJ/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ C)$,计算理论传热面积,结果如表3所示。

表3 一蒸理论传热面积的计算

工况	混合油的出口量/(t/h)	溶剂蒸发量/(t/h)	平均温度差/ $^\circ C$	混合油吸收的总热量/(kJ/h)	理论传热面积/ m^2
工况1	26.04	37.09	8.42	13 387 018	1 266.59
工况2	28.15	34.98	9.83	12 796 580	1 036.77
工况3	37.20	25.93	9.32	10 188 312	871.05

由表3可知,工况1所需的理论传热面积为 $1\ 266.59\ m^2$,考虑计算误差(实际工况参数的测量误差),可以认为计算的理论传热面积与实际换热面积相同,故在此生产线上—蒸得到了有效的利用。工况2实际传热面积大于理论传热面积,实际传热面积利用率为82.94%,虽然没有达到最佳,但利用率超过80%,也属于合理范围内。而工况3中实际传热面积的利用率仅为69.68%,蒸发器的蒸发面积明显没有得到有效的利用,这与前面提到的工况3真空度不足,蒸发效率低,混合油浓度低的结论是一致的。

3 一蒸有效利用应注意的相关问题

3.1 蒸发器进口混合油浓度

在近几年的浸出工艺中,越来越多的工厂意识到一蒸对整个蒸发系统的重要性,很多新建的工厂把一蒸的面积做得足够大,以保证一蒸出油浓度。也有一些较为年久的工厂,在一蒸前增加了新的换热器,或者其他用于提高混合油浓度的设备,达到间

接增加一蒸面积的作用。例如:有的工厂在一蒸前增加了一台降膜蒸发器,蒸脱机二次蒸汽先通过降膜蒸发器后再进入一蒸壳层,而混合油先经过一蒸后再通过降膜蒸发器,实现了蒸脱机二次蒸汽和混合油的逆流换热,相当于进一步扩大了蒸发面积;也有的工厂在一蒸前安装了一台闪发设备,闪发设备同样保持负压的状况, $50\ ^\circ C$ 左右的混合油从微负压的浸出器中进入负压的闪发罐中,由于压力的变化,混合油中的溶剂瞬间蒸发一部分,剩余混合油再进入一蒸系统,这种闪蒸后的混合油浓度会提高,混合油的温度也会降低,因此在进入一蒸时应形成新的合理的蒸发体系。无论是上述哪种方式,前面提到的根据混合油浓度、温度和负压的关系来测算参数的合理性均适用,且混合油的温度在泡点前 $1 \sim 2\ ^\circ C$ 进入系统都是应该遵循的原则。

3.2 二次蒸汽中含粕量

对于第一蒸发器来说,由于热源为蒸脱机的二

次蒸汽,其中含有较多的粕末杂质,蒸发器管束间的折流装置设计时应格外注意,折流板的设置应满足两个条件:一是设备内的粕末可以清理,不能造成局部堵塞,影响整体的传热效果,一般蒸汽在进入蒸发器之前先进行湿式捕集,这样可以有效减少蒸汽中粕末的携带量;二是设备内通过的气流不能短路,应充分经过各个区域,以保证蒸发器的有效面积得到充分利用。在实际生产过程中也确实遇到了由于蒸发器堵塞,设备在运行过程中一蒸出油浓度始终无法提高,负压较低,二蒸和汽提长期处于高温的状态,原油质量受到影响。这可能就与一蒸内部折流板设计不合理有关。

3.3 混合油的杂质含量

混合油中杂质含量过高会影响蒸发系统的效率:第一,由于杂质的存在,混合油加热过程中产生大量的气泡,容易导致液泛,溶剂中含有大量脂肪,影响溶剂的二次利用,粕残油率升高;第二,杂质在蒸发器内部糊化黏结,会导致蒸发器内壁结垢,影响换热效果;第三,杂质在蒸发系统中受热后结焦炭化,使原油的色泽加深。因此,有效地去除混合油中的杂质对后续工艺十分重要,混合油的净化方法有过滤、沉降、离心分离等。目前大部分的工厂都采用离心分离的方法进行净化,此工艺具有结构简单,效率高,可以实现连续分离的特点。根据调查反馈,部分工厂的悬液分离器效果不好。一般认为主要原因是进、出口的压力控制不当,可以在进、出口安装压力表,结合压力情况和视镜观察混合油状态,逐步调整。经过净化处理的混合油杂质含量应很低,且不易检测。实际生产过程中,如果混合油的净化处理可将杂质降至足够低(因含量低不易检测,可通过浓缩磷脂中的杂质反映),使浓缩磷脂中的杂质含量控制在0.4%以下,浓缩磷脂的色泽、流动性都会有明显的改善。

3.4 冷凝系统的稳定性

冷凝系统的稳定性决定系统真空的稳定性,对蒸发连续性至关重要。在冷凝系统中,应加强对冷凝水水质和流量的关注:良好的水质,可以延缓设备的腐蚀或结垢,保证设备的传热效果;流量的稳定也是保证换热量的关键,在设备设计时应注意在发生临时断电时冷凝器中水位的保持。在实际生产过程中,可以通过观察冷凝水的循环量和冷凝水进出口温差判断冷凝效果。

4 结论

本文主要介绍了混合油的基本特性,引用了两种验证第一蒸发器是否得到有效利用的方法,一是通过负压合理性进行验证,二是通过实际换热面积是否得到有效利用进行验证,最后还对蒸馏工艺中需要注意的问题进行了总结。油脂加工行业发展至今,有很多工厂已运行20年甚至更长,设备或系统本身可能存在着诸多问题,但由于长期存在可能不易被发觉,需要通过理论计算的方式去验证。本文所讲述的两种验证方法在工厂已得到应用,通过该方法可以有效判断一蒸的运行状况,对工厂下一步的改进计划奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] 易国阳,王丽. 混合油负压蒸发工艺设计和工程实践的探讨[J]. 中国油脂, 2000, 25(4): 5-7.
- [2] 胡健华,赵国志. 油脂浸出工艺学[M]. 北京: 中国商业出版社, 1997.
- [3] 倪培德. 油脂工程工艺设计[M]. 江苏 无锡: 无锡轻工业学院, 1988.
- [4] 何东平,王兴国,刘玉兰. 油脂工厂设计手册[M]. 2版. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2012.
- [5] 李殿宝. 关于混合油蒸发与汽提工艺中几个问题的探讨[J]. 粮油加工与食品机械, 2005(2): 51-52.

· 公益广告 ·



油脂加工精准适度

《中国油脂》宣