

# 油脂脱色工艺中过滤机吹扫废气的热能回收及异味处理工艺设计与探讨

李 健,赵向军,李龙成,陈永军,林凤岩

(山东凯斯达机械制造有限公司,山东 济宁 272000)

节能和环保是当前油脂加工厂所面临的两大课题,也是油脂工程技术人员研究、创新的重点方向。油脂精炼工艺中,脱色过滤机交替使用,每间隔一定时间就需要倒罐、蒸汽吹扫,吹扫产生的废气中98%~99%为蒸汽,1%~2%为空气,温度达到140℃,且因携带油脂过氧化物、白土腥味等成分而具有一种刺鼻难闻的异味。在传统精炼工艺中这些废气被直接排放到室外大气中,不仅造成了能源浪费,也对环境造成了严重的污染。

由于油脂精炼工厂的脱色过滤机吹扫废气具有间歇性排放的特点,致使其热能回收利用、异味消除一直是困扰油脂工程技术人员的难题。随着油脂精炼工艺的发展,近几年,新的工艺方案是采用水对这种吹扫废气进行喷淋捕集,虽然消除了废气中绝大

部分的异味,但是废气中的热能没有得到回收,异味没有得到完全消除,同时产生了大量的废水,不是最佳的处理方案。为此,迫切需要改进过去低效的环保技术,通过系统局部创新达到节能减排、绿色环保生产的目的。本文介绍了热能回收和异味处理的新工艺,即第一步采用进车间的软水对废气进行冷凝回收热能,第二步采用循环水对废气进行补充冷凝,最后剩余不凝气体进入除臭装置。该工艺不仅对废气的热能进行了充分有效的回收,也解决了废气排放的异味污染问题。

**1 脱色过滤机吹扫废气的热能回收、除臭工艺流程**  
脱色过滤机吹扫废气的热能回收、除臭工艺流程如图1所示。

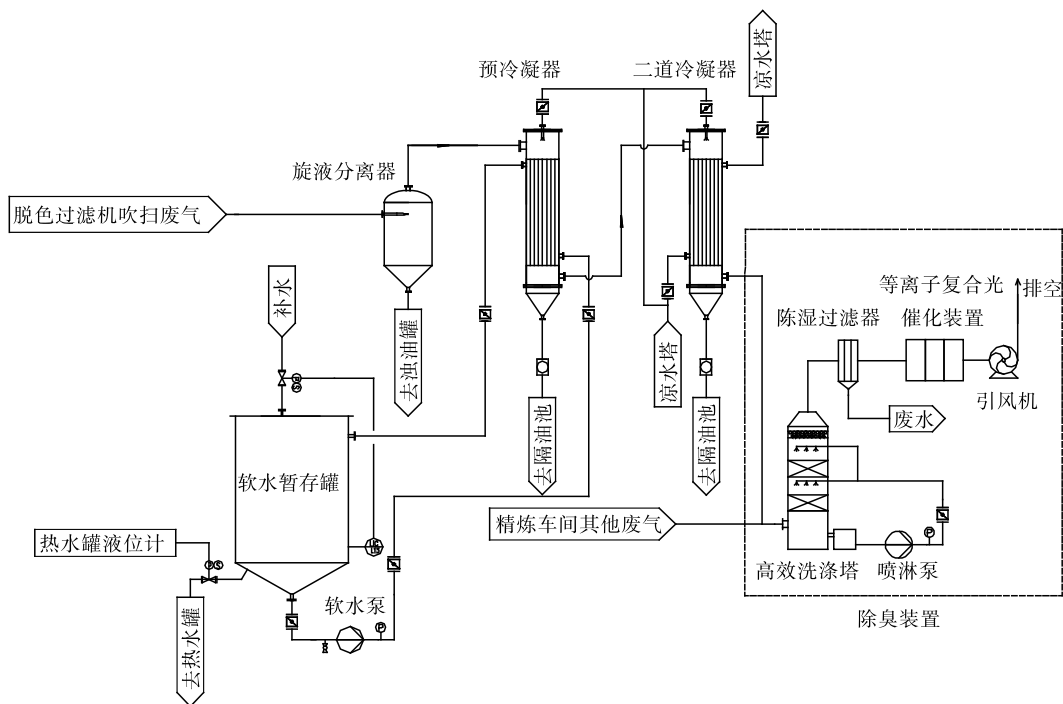


图1 脱色过滤机吹扫废气的热能回收、除臭工艺流程图

作者简介:李 健(1987),男,工程师,主要从事油脂制取及植物蛋白加工工艺设计工作(E-mail)lijiangz@126.com。

从图1可以看出,脱色过滤机吹扫排出的废气先进入旋液分离器除去油滴,油滴流入浊油罐回

收,废气再进入预冷凝器冷却,预冷凝器的冷却水来自软水暂存罐。软水暂存罐的常温软水通过软水泵打入预冷凝器壳程,然后再回到软水暂存罐,形成一个软水循环加热系统。每次过滤机吹扫前将软水泵打开,吹扫结束后关闭软水泵。软水泵打开后,软水暂存罐的水在吹扫废气加热下温度逐渐上升。为了将废气彻底冷凝,设置了二道冷凝器,能保证任何情况下均可将废气充分冷凝下来。随后剩余气体进入精炼车间的除臭装置进行除臭,最终处理后的气体通过引风机引高排放(排放口高度在15 m以上)。

软水暂存罐设置自动进水装置,当软水暂存罐液位低时,自动开启顶部的进水阀,从厂区的软水系统往软水暂存罐补水;同时,软水暂存罐设置自动排水装置,根据精炼车间热水罐的需要,自动将预热后的热水补充给热水罐,这是该节能系统的关键。热水罐的水供给精炼车间水洗工段,要求水温92~95℃。当热水罐进水温度20℃(这是精炼车间通常的软水进水温度)时,热水罐就需要开启直接蒸汽将软水从20℃升至92℃,此时需要消耗大量蒸汽,所以软水暂存罐水温(即热水罐进水)升高能降低热水罐内的蒸汽消耗,减少整个精炼车间的蒸汽消耗,从而达到节能的目的。

## 2 脱色过滤机吹扫废气的热能回收、除臭工艺参数及设计

### 2.1 热能回收系统的热量衡算

以山东某油厂600 t/d大豆一级油精炼生产线为例,为了降低脱色废白土中含油量及便于过滤机卸饼,每间隔3 h就需采用饱和蒸汽对脱色过滤机进行吹扫,吹扫压力0.3 MPa(蒸汽管道上的压力表实际读数),根据蒸汽管道上的蒸汽流量计实际检测得知每次吹扫所需的蒸汽消耗量为300 kg,每天吹扫8次,合计每天需要蒸汽2 400 kg,这些蒸汽通过脱色过滤机后全部转化为吹扫废气。约有95%的吹扫废气在预冷凝器中被冷凝为60℃冷凝水,剩余5%的吹扫废气进入二道冷凝器中被冷凝为60℃冷凝水(由于吹扫废气中携带的空气为1%~2%,在后续热量平衡计算时可忽略不计,所以后续热量计算时吹扫废气可以按饱和蒸汽来考虑)。根据表压0.3 MPa饱和蒸汽的比焓( $h_1$ )2 744.4 kJ/kg、60℃水的比焓( $h_2$ )211.1 kJ/kg<sup>[1]</sup>及热量计算公式 $[Q = m(h_1 - h_2)]$ ,式中 $Q$ 和 $m$ 分别为热量和蒸汽质量,可计算出每次脱色过滤机吹扫时废气的总热量( $Q_{总}$ )、预冷凝器回收的热量( $Q_1$ )、吹扫废气在

二道冷凝器释放的热量( $Q_2$ ),结果如表1所示。

该600 t/d大豆一级油精炼车间热水罐的进水量约为1 750 kg/h(扣除冷凝水回用部分),则在过滤机相邻两次吹扫期间(3 h)内热水罐总进水量为5 250 kg。软水暂存罐的有效存水量设定为5 250 kg。

表1 每次脱色过滤机的吹扫废气在两次冷却过程中的热量分布

项目	热量/kJ	备注
$Q_{总}$	759 990.0	
$Q_1$	721 990.5	占95%
$Q_2$	37 999.5	占5%

过滤机吹扫时废气在预冷凝器释放的热量被冷却介质(软水)吸收,所以软水暂存罐中的软水在每次过滤机吹扫时吸收废气的热量为721 990.5 kJ。再根据待升温软水的质量( $m$ )5 250 kg、水在20~50℃下的平均比热容( $C_{水}$ )4.176 kJ/(kg·K)<sup>[1]</sup>、软水初始温度20℃和热量计算公式( $Q = mC_{水}\Delta t$ ,式中 $\Delta t$ 为升高的温度),可计算出 $\Delta t = 32.9℃$ 。即该节能系统的使用,可将热水罐的进水温度从20℃提高到52.9℃,相应地节约了软水从20℃提高到52.9℃所需的蒸汽消耗。

### 2.2 预冷凝器及二道冷凝器的设计选择

预冷凝器及二道冷凝器均采用立式列管式换热器,废气走管程,冷却介质走壳程。因为吹扫废气会携带极少量的废白土和油滴,废气走管程便于定期清理管程。换热管顶部设置喷淋冲洗装置,可定期采用喷淋水冲洗列管,保证列管的换热效率。

还应注意的,预冷凝器及二道冷凝器管程的通气截面积要大一些,避免冷凝器与过滤机出气口之间阻力太大、排气不畅。因为一旦排气不畅,会导致过滤机上的饼(废白土)吹扫不干、废白土含油高、过滤机振动排渣时不落饼等连锁问题出现。为此,冷凝器的换热管选择要特别注意,一是换热管长度不宜过长,以2~3 m为宜;二是换热管的直径不宜过小或过大,以外径25 mm或32 mm的国标无缝钢管为宜。以600 t/d大豆一级油精炼生产线为例,预冷凝器、二道冷凝器的截面积均应不低于3.2 dm<sup>2</sup>。

### 2.3 末端除臭装置的设计选择

过滤机吹扫废气经过二道冷凝器冷凝后,剩余气体基本为不可凝的空气,温度40℃左右,每次排放时间8~12 min,每3 h排放1次,瞬时流量为28~36 m<sup>3</sup>/h,流量较小且为间歇式排放,不宜单独设置除臭装置,而应与精炼车间的除臭系统除臭装置共用,这样可节省设备投资。该除臭装置为三步

除臭系统:第一步为高效生物除臭液洗涤系统,工作原理是废气进入洗涤塔填料区,在喷淋循环液里加入一定比例的吸附剂(高效生物除臭液),臭味气体与高效生物除臭液充分接触,臭味组分被高效生物除臭液吸收并通过生物降解去除;第二步为废气除湿工序,采用机械过滤层去除废气中的水分,同时去除部分醛、酮等水溶性的异味成分;第三步为等离子复合光催化系统,工作原理是废气先进入低温等离子激发区,在高频高压电场的作用下,污染物被破坏降解,达到消除气态污染物的目的,而废气进入复合光催化段,在紫外光照射下,发生光催化氧化反应,有效地分解挥发性有机物(VOCs),并去除污染物产生的异味<sup>[2]</sup>。

废气经过上述除臭装置后,废气中异味成分被基本脱除,根据山东某工厂实际检测结果,排放的尾气中臭气浓度为80(无量纲),非甲烷总烃为4 mg/m<sup>3</sup>,均低于我国北京地区大气污染物排放标准规定的臭气浓度不大于2 000(无量纲)、非甲烷总烃不大于50 mg/m<sup>3</sup>(15 m高有组织排放点)的要求<sup>[3]</sup>。

### 3 设备投资及经济效益分析

#### 3.1 节约蒸汽成本分析

以600 t/d大豆一级油精炼生产线为例,根据2.1热能回收系统的热量衡算中得出的结论,该热能回收系统的使用可在脱色过滤机每次吹扫过程中回收废气中的热能721 990.5 kJ。

绝对压力0.7 MPa的蒸汽汽化潜热( $r$ )为2 071 kJ/kg,根据热量计算公式( $Q = mr$ ),回收废气中的热能721 990.5 kJ折算成蒸汽量( $m_1$ )为348.6 kg。每天吹扫次数( $n$ )为8次,每年开机时间( $d$ )300 d,则每年可节约的蒸汽量( $m_2$ ): $m_2 = m_1 nd = 348.6 \times 8 \times 300 = 836\ 640$  kg。

当前蒸汽平均价格按350元/t计算,每年可节省蒸汽成本292 824元。

#### 3.2 电耗成本变化分析

该节能系统相对于传统工艺增加了1台动力设备(末端除臭装置因与整个精炼车间除臭系统共用,所以其动力可以不计入此计算)软水泵(流量35 m<sup>3</sup>/h,扬程20 m),其功率为5.5 kW,按每次过滤机吹扫时开机10 min,每天开机8次,用功系数0.7计,每年开机时间300 d,则可计算出每年电耗为1 540 kW·h,按当前工业用电平均价格0.8元/(kW·h)计算,则相对传统工艺多消耗电费1 232元。

#### 3.3 设备投资成本

热能回收系统设备投资(以600 t/d大豆一级油精炼生产线为例)300 000元,末端除臭装置设备

投资450 000元,合计投资750 000元。

### 3.4 综合经济分析

以600 t/d的大豆一级油精炼加工厂为例,该系统的设备投入及经济回报如表2所示。

表2 设备投入及经济回报分析

项目	数值
节约蒸汽成本/(元/年)	292 824
增加电费/(元/年)	1 232
综合节约运行成本/(元/年)	291 592
设备投入费用/元	750 000
静态投资回收期/年	2.57

综上,600 t/d规模的大豆一级油精炼加工厂使用该节能系统后每年可节约运行成本291 592元,约2年7个月可收回设备投资。

### 4 环保效益

过滤机吹扫废气经过预冷凝器、二道冷凝器冷却后,携带的易挥发臭味成分随着蒸汽冷凝过程进入冷凝水中,剩余废气中携带的臭味组分大大减少,大幅降低了后续废气除臭系统的负荷。最终,废气经过配备的末端除臭装置(高效生物除臭液洗涤系统、废气除湿系统、等离子复合光催化系统)处理后,废气异味成分被基本脱除,其臭气浓度和VOCs均低于我国北京地区环保标准要求,这在山东某工厂已经得到验证。

另外,脱色过滤机每次吹扫时废气中的蒸汽量为300 kg,每天吹扫8次,则每天产生2 400 kg废水,其被排入隔油池,最终进入污水处理车间处理后达标排放。新工艺中脱色过滤机吹扫废气经过预冷凝器、二道冷凝器后,废气中的蒸汽被间接冷凝下来变为冷凝废水,该系统产生的废水量远少于传统的水喷淋捕集工艺,故减少了废水处理费用。

### 5 结语

本文所述废气热能回收系统能充分回收脱色过滤机吹扫废气的热能,用于精炼车间热水罐补充软水的预热,解决了该工段废气热能难以回收的工艺难题,对节约精炼车间的蒸汽消耗具有十分重要的意义。同时,二道冷凝器及末端除臭装置的应用,能更彻底地解决精炼车间脱色过滤机吹扫废气排放的环境污染问题,对绿色生产、环境保护意义重大。

### 参考文献:

- [1] 杨同舟,张家年,李元瑞,等. 食品工程原理[M]. 北京:中国农业出版社,2001: 435-436.
- [2] 左青,王文林. 油脂加工厂臭味处理讨论[J]. 中国油脂,2014,39(7): 79-81.
- [3] 北京市环境保护科学研究院. 大气污染物综合排放标准:DB 11/501—2017[S]. 北京:北京市环境保护局,2017.