

# 浸出车间汽提预冷凝器设计及节能效果分析

陈玮婷, 温小荣, 梁椿松

(迈安德集团有限公司, 江苏 扬州 225127)

**摘要:**节能降耗对提升浸出车间生产线竞争力具有重要的意义。汽提塔气相温度可达 95℃, 其中含有 49% 的水蒸气和 51% 的正己烷。研究汽提塔气相冷凝特性发现, 在操作压力为 35 kPa 下, 温度从 95℃ 下降至 40℃ 的过程中, 正己烷不会发生冷凝, 水蒸气从 70℃ 开始冷凝, 温度降至 54℃ 时, 冷凝率可达 88%。据此, 通过增加汽提预冷凝器可对冷凝产生的热量进行回收, 以日处理 1 000 t 大豆浸出车间为例, 通过换热器设计软件 EDR 对汽提预冷凝器进行设计、选型、校核, 同时对节能效果进行评价。结果表明, 通过设计、选型, 换热面积为 55 m<sup>2</sup>、型号为 BEM 500 × 4 500 mm 的列管换热器可以将新鲜溶剂温度从 48℃ 加热至 58℃。分析节能效果发现, 浸出车间增加汽提预冷凝器, 吨大豆可节约蒸汽 8.2 kg、节约电量 0.1 kW·h, 具有很高的投资价值。

**关键词:**汽提预冷凝器; 蒸汽耗量; EDR; 节能降耗

中图分类号: TS223; TS224

文献标识码: B

文章编号: 1003-7969(2022)12-0150-03

## Stripper pre - condenser design and energy - saving analysis in leaching plant

CHEN Weiting, WEN Xiaorong, LIANG Chunsong

(Myande Group Co., Ltd., Yangzhou 225127, Jiangsu, China)

**Abstract:** Energy - saving and cost - reducing have great significance for improving the leaching plant production line competitiveness. The temperature of stripper vapor could reach 95℃, which including 49% water steam and 51% *n* - hexane. By studying condensation characteristics of the stripper vapor, it found that *n* - hexane did not condense when the temperature reduced from 95℃ to 40℃ under the pressure of 35 kPa, while water steam began to condense at 70℃ and the condensation rate could reach 88% as the temperature reduce to 54℃. Therefore, the heat generated by condensation could be recovered by adding a stripper pre - condenser. The stripper pre - condenser was designed, selected and calibrated by the heat exchanger design software EDR with the daily processing of 1 000 t soybean leaching plant as an example, and the energy - saving effect was also evaluated. The results showed that through the design and selection, the column heat exchanger with a heat transfer area of 55 m<sup>2</sup> and the model of BEM 500 × 4 500 mm could heat the fresh solvent from 48℃ to 58℃. Adding the stripper pre - condenser in leaching plant could reduce the steam and electricity of 8.2 kg and 0.1 kW·h, respectively, which had great investment value.

**Key words:** stripper pre - condenser; steam consumption; EDR; energy - saving and cost - reducing

在“碳达峰”和“碳中和”目标牵引下, 节能降耗是提升工艺和生产线竞争力的非常重要的举措。近年来, 大豆压榨车间在节能降耗方面取得了重要的成绩, 大豆的蒸汽消耗已经由原来的 240 ~ 250 kg/t 降

低至目前的 180 ~ 190 kg/t。为了进一步降低蒸汽消耗, 工程设计公司、生产企业以及科研工作者在大豆榨油车间增加了一系列的节能点和节能措施<sup>[1-2]</sup>。

汽提塔作为浸出车间的关键设备, 近年来其结构形式取得了重大的创新, 更加高效节能的新型筛孔式汽提塔已经逐渐取代原来的圆盘式汽提塔和填料式汽提塔<sup>[3]</sup>。相比于传统圆盘式汽提塔, 新型筛孔式汽提塔可将大豆蒸汽消耗由 10 ~ 12 kg/t 降低

收稿日期: 2022-05-05; 修回日期: 2022-08-22

作者简介: 陈玮婷(1984), 女, 工程师, 主要从事油脂加工工艺设计工作(E-mail) cwt@myande.cn。

至6~8 kg/t(数据来源于实际生产)。得益于更高的传质效率和更长的停留时间,采用新型筛孔式汽提塔可将原油残溶由原来的80~100 mg/kg降低至20~50 mg/kg(数据来源于实际生产)。除了汽提塔本身结构改变带来的蒸汽消耗降低,汽提塔气相也有很高的热能回收价值。汽提塔气相温度可以达到90~105℃,气相中含有40%~60%的水蒸气,这些水蒸气冷凝时可以释放出大量热量。目前,很多工厂已经设计或新增了汽提预冷凝器来回收这些热量,其中,利用汽提预冷凝器给新鲜溶剂加热是目前常见的方式。但是,目前汽提塔气相的冷凝特性、汽提预冷凝器实际可以达到的传热系数、汽提预冷凝器选型、实际可以节约的蒸汽量鲜有文献报道。本文以日处理1 000 t大豆浸出为例,对以上问题进行分析研究。

## 1 汽提预冷凝器设计

### 1.1 汽提预冷凝器气相进口组成

设定产量为日处理1 000 t大豆,可萃取出的大

豆原油量为20%,进汽提塔的混合油浓度为96%,出汽提塔的原油残溶为50 mg/kg,汽提塔直接汽耗量为8 kg/t(以大豆质量计),汽提塔气相出口温度为95℃。则进汽提塔混合油流量为 $1\ 000 \times 20\% \div 24 \div 96\% \times 1\ 000 \approx 8\ 680$  (kg/h),出汽提塔的原油流量为 $1\ 000 \times 20\% \div 24 \div (100\% - 0.005\%) \times 1\ 000 \approx 8\ 334$  (kg/h),则进入汽提塔气相的正己烷流量为 $8\ 680 - 8\ 334 = 346$  (kg/h)。进入汽提塔气相中的水蒸气流量为 $1\ 000 \div 24 \times 8 \approx 333$  (kg/h)。气相总流量为正己烷流量加水蒸气流量,即 $346 + 333 = 679$  (kg/h),其中水蒸气的质量分数为49%,正己烷的质量分数为51%。

### 1.2 汽提预冷凝器气相冷凝特性

采用化工模拟软件ProII中的Flash模块,设定冷凝压力为35 kPa(除有特别说明外,文中出现的压力均为绝对压力),利用软件中的Casestudy功能,研究不同冷凝温度下气相中正己烷和水蒸气流量,结果如图1所示。

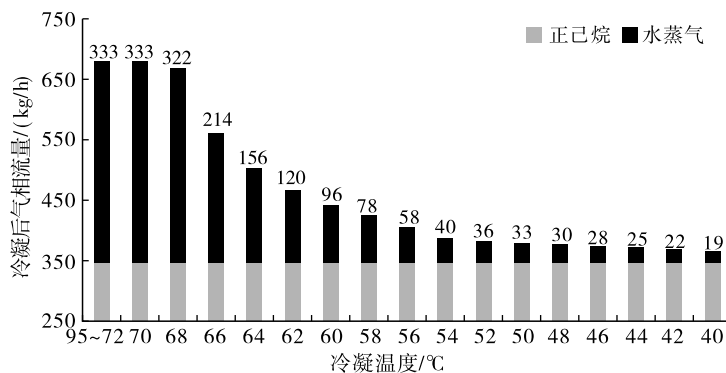


图1 不同冷凝温度下气相中正己烷和水蒸气流量

从图1可以看出,在设定的冷凝压力下,气相温度从95℃至40℃变化过程中,正己烷始终处于过热状态,没有发生冷凝,气相中正己烷流量一直保持在346 kg/h。气相温度从95℃至70℃之间,水蒸气处于过热状态,低于70℃时开始发生冷凝。从68℃至54℃之间冷凝速度非常快,气相中的水蒸气流量由68℃时的322 kg/h降低至54℃时的40 kg/h。54℃时的水蒸气冷凝率达 $(1 - 40/333) \times 100\% \approx 88\%$ 。之后,水蒸气的冷凝速度趋于平缓,在混合气相中的占比也变得非常小,在冷凝温度为40℃时,气相中水蒸气的流量只有19 kg/h,在总气相中的质量分数为5.2%。考虑到54℃之后热能回收量有限,为减少设备投资,在汽提预冷凝器选型时设定气相出口温度为54℃。汽提塔气相从95℃冷凝至54℃,水蒸气冷凝量为 $333 - 40 = 293$  (kg/h),真空下水蒸气冷凝释放的热

量为2 500 kJ/kg,因此冷凝过程中释放的潜热为 $293 \times 2\ 500 = 732\ 500$  (kJ/h)。显热部分为混合气体从95℃冷却至54℃释放的热量,其平均比热容为2.127 kJ/(kg·℃),则释放显热为 $679 \times (95 - 54) \times 2.127 \approx 59\ 213$  (kJ/h)。则总释放热量为 $732\ 500 + 59\ 213 = 791\ 713$  (kJ/h)。

### 1.3 汽提预冷凝器设计条件

按新鲜溶剂喷淋量与大豆流量质量比值为0.8计算,新鲜溶剂的流量为 $1\ 000 \div 24 \times 0.8 \times 1\ 000 \approx 33\ 333$  (kg/h)。正常新鲜溶剂在分水箱的温度为42℃,经过一蒸后的节能器可以换热至48℃,然后再进入汽提预冷凝器。因此,汽提预冷凝器进口流量为33 333 kg/h,温度为48℃。

设计汽提预冷凝器为卧式管壳式换热器,为方便排液且气相本身比较干净,设计时气相走壳程,溶剂走管程。其设计条件如表1所示。

表1 汽提预冷凝器设计条件

参数	管程(溶剂)	壳程(汽提塔气相)
流体质量速率/(kg/h)	33 333	679
程数	3	1
入口温度/℃	48	95
出口温度/℃	58	54
传热负荷/(kJ/h)	-	791 713
入口压力/kPa	200	35
允许压力降/kPa	40	1
污垢热阻/(m <sup>2</sup> ·K/W)	0.000 35	0.000 17

根据表1,利用换热器设计软件 Aspen Exchanger Design & Rating(EDR),可以计算出换热器的平均传热温差为11.1℃。该工况的经验总传热系数为1 463 kJ/(m<sup>2</sup>·℃·h),可以计算出汽提预冷凝器的传热面积 $S = 791\ 713 \div (11.1 \times 1\ 463) \approx 48.8$  (m<sup>2</sup>)。考虑一定的余量,选择型号为BEM 500×4 500 mm的列管换热器,具体参数为换热面积55 m<sup>2</sup>,内径500 mm,列管长度4 500 mm,列管尺寸19 mm,列管厚度1.2 mm,管程程数3,管程和壳程采用逆流换热。

#### 1.4 汽提预冷凝器校核

根据表1和预选的列管式换热器型号,利用换热器设计软件EDR对其进行校核,设定折流板间距为800 mm,折流板数量为4,折流板切向为左右切,折流板切除比例为45%,气相进出口口径为DN200,新鲜溶剂进出口口径为DN80。计算结果如表2所示。

表2 汽提预冷凝器EDR校核结果

参数	指标
壳程压力降/kPa	0.1
管程压力降/kPa	11.6
管内膜传热系数/(kJ/(m <sup>2</sup> ·℃·h))	4 799
管内污垢传热系数/(kJ/(m <sup>2</sup> ·℃·h))	10 442
管壁传热系数/(kJ/(m <sup>2</sup> ·℃·h))	44 826
管外污垢传热系数/(kJ/(m <sup>2</sup> ·℃·h))	24 607
管外膜传热系数/(kJ/(m <sup>2</sup> ·℃·h))	2 938
总传热系数(含污垢)/(kJ/(m <sup>2</sup> ·℃·h))	1 413
总传热系数(干净)/(kJ/(m <sup>2</sup> ·℃·h))	1 751
换热面积余量(含污垢)/%	6
换热面积余量(干净)/%	32

由表2可以看出,壳程实际的压力降为0.1 kPa,小于允许的压力降1 kPa,管程实际的压力降为11.6 kPa,小于允许的压力降40 kPa,说明所设计的换热器在压力降方面控制良好,满足要求。

由表2还可以看出,管外膜传热系数最小,仅为

2 938 kJ/(m<sup>2</sup>·℃·h),说明管外膜传热阻力最大,管内膜传热系数次之,为4 799 kJ/(m<sup>2</sup>·℃·h)。考虑污垢的情况下,汽提预冷凝器的总传热系数为1 413 kJ/(m<sup>2</sup>·℃·h);如果不考虑污垢,其总传热系数可以达到1 751 kJ/(m<sup>2</sup>·℃·h)。从换热面积余量看,考虑污垢的情况下,仍有6%的面积余量。说明所选换热面积和型号合理,即面积为55 m<sup>2</sup>,型号为BEM 500×4 500 mm的汽提预冷凝器可以满足工艺要求。

#### 2 汽提预冷凝器节能效果分析

从1.3和1.4的结果可以看出,所选汽提预冷凝器可以将33 333 kg/h的新鲜溶剂从48℃提升至58℃,总回收热量为791 713 kJ/h。按水蒸气释放热量2 300 kJ/kg计算,可节约的水蒸气量为 $791\ 713 \div 2\ 300 \approx 344$  (kg/h),吨大豆可节约蒸汽量为 $344 \times 24 \div 1\ 000 \approx 8.2$  (kg)。每天可节约水蒸气量 $8.2 \times 1\ 000 = 8\ 200$  (kg),按年加工300 d计算,年节约蒸汽量 $8\ 200 \times 300 = 2\ 460\ 000$  (kg) = 2 460 (t)。

此外,汽提预冷凝器的增加减少了汽提冷凝器的负荷,减少了循环水泵电耗。按循环水进水温度32℃,出水温度37℃,即进出水温差5℃,水的比热容为4.18 kJ/(kg·℃),则增加汽提预冷凝器可减少的循环水量为 $791\ 713 \div [(37 - 32) \times 4.18] \approx 38$  (m<sup>3</sup>/h),循环泵扬程按30 m计算,水的密度为1 000 kg/m<sup>3</sup>,按照离心泵机械效率为75%计算,可减少的轴功率为 $38 \times 30 \times 1\ 000 \div (3\ 600 \times 102 \times 75\%) \approx 4.14$  (kW)。日处理大豆1 000 t的生产线,增加汽提预冷凝器后,吨大豆可节约电量 $4.14 \times 24 \div 1\ 000 \approx 0.1$  (kW·h)。

#### 3 结语

汽提塔气相温度可达95℃,气相中含有大量的水蒸气,水蒸气在冷凝过程中可释放出大量的潜热。通过增加汽提预冷凝器,可以节约浸出车间蒸汽耗量,吨大豆可节约蒸汽8.2 kg,并给新鲜溶剂加热,可以将新鲜溶剂的温度从48℃提升至58℃。此外,增加汽提预冷凝器还可以减少循环水泵的电耗,吨大豆可节约电量0.1 kW·h。

#### 参考文献:

- [1] 左青,左晖. 大豆压榨厂节能增效措施实践[J]. 中国油脂, 2020,45(9):122-127.
- [2] 温小荣,管磊,梁椿松,等. 水捕集回收干燥冷却机(DC)首层废热工艺分析[J]. 中国油脂,2019,44(7):158-160.
- [3] 梁椿松,温小荣,杭明,等. 浸出车间筛孔式汽提塔设计与应用[J]. 中国油脂,2017,42(11):154-156.