

## DTDC 的节能实践

付学华<sup>1</sup>, 左青<sup>2</sup>, 吕瑞<sup>3</sup>, 徐红闯<sup>4</sup>, 雷鸣<sup>2</sup>, 左晖<sup>5</sup>

(1. 中粮(东莞)粮油工业有限公司, 广东 东莞 523000; 2. 江苏丰尚油脂工程技术有限公司, 江苏 扬州 225127;

3. 中储粮油脂(新郑)有限公司, 郑州 451100; 4. 中储粮东莞油脂工业有限公司, 广东 东莞 523000;

5. 广州星坤机械有限公司, 广州 510800)

**摘要:**为了降低大豆压榨厂中 DTDC 的蒸汽消耗量, 对 DTDC 的结构和操作进行调整, 并介绍了回收 DT 层热风余热、DC 热风尾气余热及 DTDC 夹层余热的工艺技术。将 DT 气相温度由 72~75℃ 下调至 68~70℃, 搅拌翅改为折弯式, 各层的旋转阀配置变频电机, 让物料呈悬浮状; DC 热风层每层配一台风机, 装变频电机, 增加节能层。实践证明: 经调整后的 DTDC 生产的成品豆粕外表呈金黄色, 散发出浓香味, 残溶在 190~300 mg/kg; 豆粕的 KOH 蛋白质溶解度大于 80%; DTDC 蒸汽消耗量得到有效降低。

**关键词:**气相温度; 回收余热; 豆粕残溶; KOH 蛋白质溶解度

**中图分类号:** TS228; TS223 **文献标识码:** B **文献编号:** 1003-7969(2024)01-0149-04

### Energy saving practice of DTDC

FU Xuehua<sup>1</sup>, ZUO Qing<sup>2</sup>, LYU Rui<sup>3</sup>, XU Hongchuang<sup>4</sup>, LEI Ming<sup>2</sup>, ZUO Hui<sup>5</sup>

(1. COFCO (Dongguan) Grain and Oil industry Co., Ltd., Dongguan 523000, Guangdong, China;

2. Jiangsu FAMSUN Oils and Fats Engineering Co., Ltd., Yangzhou 225127, Jiangsu, China;

3. CSG Oil (Xinzheng) Co., Ltd., Zhengzhou 451100, China; 4. CSG Oil (Dongguan)

Industry Co., Ltd., Dongguan 523000, Guangdong, China; 5. Guangzhou Xinmas

Co., Ltd., Guangzhou 510800, China)

**Abstract:** In order to reduce the steam consumption of DTDC in the soybean pressing plant, the structure and operation of DTDC were adjusted, and the process technology of recovering the waste heat of DT layer hot air, DC hot air vent gas and the waste heat in the interlayer of DTDC were introduced. The DT gas phase temperature was adjusted from 72~75℃ to 68~70℃, the stirring fins were changed to bending type, and the rotary valves in each layer were equipped with inverter motors to make the materials in suspension; the DC hot air layer was equipped with one blower fitted with inverter motors in each layer, and the energy-saving layer was increased. Practice had proved that the finished soybean meal produced by the adjusted DTDC had golden yellow appearance with a strong aroma, and the residual solvent was 190~300 mg/kg, KOH protein solubility of the soybean meal was greater than 80%, and steam consumption of the DTDC was effectively reduced.

**Key words:** gas phase temperature; waste heat recovery; residual solvent in soybean meal; KOH protein solubility

收稿日期: 2023-03-20; 修回日期: 2023-09-15

作者简介: 付学华(1973), 男, 注册安全工程师, 一级消防工程师, 主要从事油脂生产管理和技术改造工作(E-mail) fuxuehua@cofco.com。

通信作者: 左青, 高级工程师(E-mail) zuoqing\_bj@163.com。

随着环保部门限制废气的排放量, 外购蒸汽价格随之走高, 如东莞新沙工业园的外购蒸汽从 180 元/t 上升到 280 元/t, 因此大豆压榨厂都致力于节能降耗, 降低成本。在浸出车间, DTDC 的用汽量占浸出车间总用汽量的 70% 左右, 蒸汽消耗量较大。

本文以大豆压榨厂日处理量为 3 500 ~ 4 000 t (按 150 t/h 计) 的 DTDC 为研究对象, 对其结构和操作进行调整, 回收 DT 层热风余热、DC 热风尾气余热及 DTDC 夹层余热, 以达到节能降耗的目的。

## 1 节能措施

### 1.1 DTDC 的准确操作

将浸出器(鲁奇)的沥干时间延长至 20 min, 浸出器出来的湿粕含水量在 20% ~ 25%, 料温在 53 ~ 55 ℃。

DT 脱溶区包括预脱溶层、脱溶层和节能层, 较合理的层数为 10 层, 通常第 1 ~ 4 层是预脱溶层, 第 5 ~ 9 层为脱溶层, 第 10 层为节能层(VRS 层)。在预脱盘保证豆粕水分不冷凝, 豆粕为散状, 脱除部分溶剂, 按照脱溶负荷要求调整预脱盘料层高度在 200 ~ 250 mm。脱溶层(5 ~ 9 层)每层豆粕温度分别为 62.9、103.4、104.3、105、104 ℃。将气相温度从 72 ~ 75 ℃ 下调到 68 ~ 70 ℃, 调整 5 ~ 6 层二次蒸汽温度在 85 ~ 95 ℃, 7 ~ 8 层在 100 ℃, 9 层在 102 ~ 103 ℃, 如果 9 层的料温低于 100 ℃, 自动停浸出器。设置直接蒸汽喷汽层料层高度在 900 mm, 脱溶层料层高度在 700 ~ 900 mm, 蒸脱时间为 25 ~ 30 min, 尽可能地减少层与层之间的料温差, 避免料表面结露和结团。直接蒸汽喷孔为阶梯孔, 开孔面积为夹层上地板面积的 10% ~ 12%, 脱溶层间各层通过变频旋转阀卸料, 用间接蒸汽(0.9 ~ 1.0 MPa) 加热保温, 将直接蒸汽压力从 0.035 ~ 0.050 MPa 降至 0.02 ~ 0.03 MPa, 喷汽量在 10 ~ 12 t/h, 蒸汽密度每小时在 650 ~ 750 kg/m<sup>3</sup>。脱溶层每层设计底部夹层, 0.9 ~ 1.0 MPa 饱和蒸汽进入底部夹层, 间接加热豆粕, 在底部夹层内焊接带孔支撑管。在脱溶层底部夹层安装脱溶盘, 支撑豆粕并能使蒸汽上升到上层, 脱溶盘规格为 DN245, 圆盘中心距离 295 mm, 在圆盘内一圈设计 9 个 DN19 孔; 开孔区域取决于蒸发的排气量, 总体上占底盘总面积的 10% ~ 15%。用圆孔排气, 二次蒸汽上升过程中分布均匀, 降低物料的黏附性和搅拌阻力。

DT 搅拌翅和底盘的间隙在 20 ~ 25 mm, 搅拌翅为折弯式, 搅拌翅刮过底盘的 330° 角度后物料经旋转阀落到下一层脱盘, 刮刀的倾角在 20° ~ 25°, 脱溶层搅拌翅的安装角度应使下层刮刀比上层刮刀滞后 45°<sup>[1]</sup>, 主轴转速在 10 ~ 12 r/min, 主轴转速和搅拌翅的形式和角度存在关联, 要把物料搅动后呈悬浮状, 溶剂容易挥发, 减少动力需求。

采取料摆控制料层高度, 料摆随料层波动而摆动, 料层波动传到指针和外壳上的角度传感器, 传感

器上信号通过 PLC 调节变频电机的旋转卸料阀。

DC 层采用 3 层热风层和 2 层冷却层, 夹层外壁上有清理孔, 孔板用螺栓连接, 在停机时打开清理孔清理风室。内部料层高度 500 mm, 孔径 5/10 mm, 孔间距 50 mm。每层配置独立变频风机, 按生产过程物料波动的负荷调整风机电机的功率, 避免在料层波动阻力小时产生落料进入夹层中的隐患。热风加热器按豆粕水分和环境湿度开启蒸汽阀, 3 层热风加热器在豆粕水分高时同时蒸汽加热, 汽耗小于或等于 2 t/h, 在干燥天气中不开蒸汽阀。在加热时将进风温度增加到 135 ~ 140 ℃, 以 18 ~ 20 m/min 的速度通过豆粕层, 让豆粕接近流化状态, 更利于豆粕中水分的挥发, 接着在后 2 层冷却层将豆粕温度降低到 42 ℃, 水分从 16% ~ 18% 降低到 12.5%。

### 1.2 DTDC 结构的调整

Crown 式蒸脱机增加节能层。在直接喷汽层下面增加第 10 层, 即节能层, 安装抽真空装置, 把节能层料层上面空间的热汽抽到第 7 层脱溶层, 每吨大豆可降低蒸汽消耗 10 kg 左右。增加节能层, 可降低 5% ~ 10% 的溶耗, 降低出口口蒸汽压, 使料温降低 5 ~ 10 ℃, 消除接料刮板输送机内正压和降低 DC 的热负荷, 降低 DC 刹克龙内热风的水分, 减少底层旋转阀的维护。

### 1.3 余热的回收利用

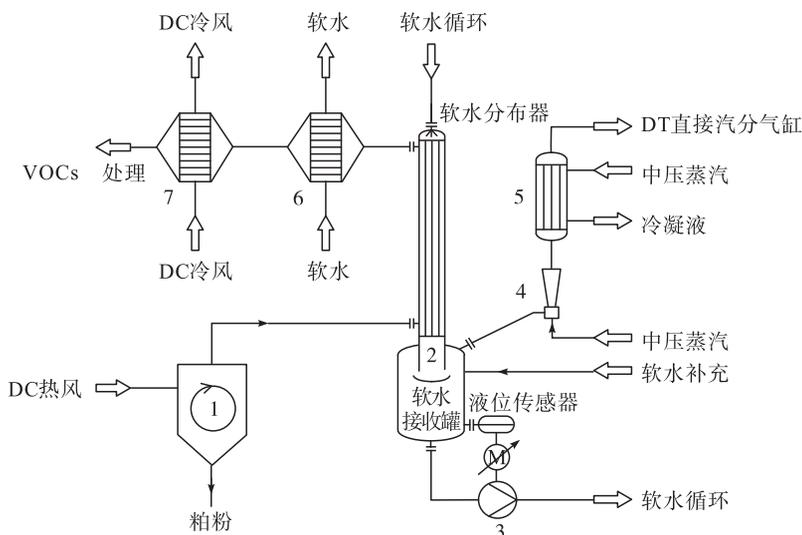
#### 1.3.1 DT 层热风余热的回收利用

图 1 为鲁奇 DT 第 10 层热风余热回收系统<sup>[2]</sup>。如图 1 所示, 除尘装置 DC 刹克龙(1)管接降膜式蒸发器(2)壳程, 降膜式蒸发器(2)下部是软水接收罐, 连接蒸汽喷射泵(4), 蒸汽喷射泵(4)连接蒸汽过热器(5), 降膜式蒸发器(2)顶部配有软水分布器, 降膜式蒸发器(2)顶部壳程连接翅片管换热器(6), 翅片管换热器(6)管道连接板式换热器(7), 翅片管换热器(6)通过管道连接软水管, 板式换热器(7)连接挥发性有机物(VOCs)处理单元。板式换热器(7)管道接新鲜空气进风管。降膜式蒸发器(2)底部软水接收罐连接软水自动补水管, 软水接收罐配置软水循环泵(离心泵), 软水接收罐配置液位传感器, 软水泵(3)泵水到降膜式蒸发器(2)顶部分配盘。该工艺采用 3 级回收热能。

第 1 级余热回收: 把 DC 热风(90 ~ 95 ℃) 经过 DC 刹克龙(1)除尘, 进降膜式蒸发器(2)的壳程加热管程中的软水, 软水是收集车间的冷凝水(60 ℃左右), 即进入软水接收罐和蒸发器下来的水, 经过降膜式蒸发器(2)换热产生低压蒸汽, 软水接收罐配置液位传感器, 控制外来软水(冷凝水)补充量,

低压蒸汽经蒸汽喷射泵加压,并经过蒸汽过热器过热后进 DT 直接汽分气缸。降膜式蒸发器(2)管程的软水加热到 73 ~ 83 °C,闪蒸产生 1 ~ 1.5 t/h 的低压蒸汽,闪蒸汽含水量大,低压蒸汽经蒸汽喷射泵(0.7 MPa,蒸汽温度 166 °C)将真空度保持在 0.034 ~ 0.053 MPa,蒸汽喷射泵将闪发箱的闪蒸蒸汽抽到蒸

汽过热器加热,在蒸汽过热器中以 0.83 MPa 蒸汽间接加热,然后转化为低压过热蒸汽,低压过热蒸汽温度达 130 °C,蒸汽压在 0.01 ~ 0.2 MPa,干燥后的闪蒸蒸汽汇集到 DT 直接汽分气缸,作为 DT 直接蒸汽。DT 二次蒸汽加热软水后,产生的冷凝液回流到蒸煮罐内进行蒸煮,回收溶剂。



注:1. DC 刹克龙;2. 降膜式蒸发器;3. 软水泵;4. 蒸汽喷射泵;5. 蒸汽过热器;6. 翅片管换热器;7. 板式换热器

图1 鲁奇 DT 第 10 层热风余热回收系统

第 2 级余热回收:经过第 1 级回收后的热风对翅片管换热器(6)管程中的软水进行加热,从调质塔换热后的低温冷凝水(35 °C)进翅片管换热器换热到 66 ~ 68 °C,此冷凝水与汽提塔出口热油(94 °C)换热,出水温度达 86 °C,再进入调质塔。

第 3 级余热回收:经过第 2 级余热回收的热风进板式换热器(7),热风 and 新鲜空气以十字交叉错流换热,热风在板式换热器(7)板片处冷却、冷凝,把新鲜空气加热到 65 °C,送到 DC 进风口作为第 1 级余热回收的新鲜进风,而冷却的热风排空到 VOCs 处理。

DT 第 10 层中热粕二次蒸汽被抽到刹克龙中净化,经过旋转阀再进入到热粕刮板中,节能层的出粕温度从 97 ~ 105 °C 降到 90 ~ 95 °C、含水 16% ~ 18%,DC 第一层料温由 90 ~ 95 °C 降到 53 ~ 58 °C。鲁奇热风回收系统可降低蒸汽消耗和异味处理单元的负荷。

### 1.3.2 DC 热风尾气余热的利用

在 3 层 DC 热风层各配置一台变频风机,配置 3 台风机总风量为 60 000 m<sup>3</sup>/h,实际运行总风量在 36 000 m<sup>3</sup>/h 左右,在尾气汇集管上加装尾气过滤器除去粉尘,温度在 85 ~ 90 °C,相对湿度在 90%,进入尾气换热器。采用双换热器换热,热管为密封管件,内部维持真空,换热器的触气材质为 SS304 和铝,分两部分,上半部分用铝翅片,下半部分用高频焊的不

锈钢翅片,在铝翅片和不锈钢翅片中间焊接有一只密封螺纹,在装配时与中间隔板紧密连接,翅片的间距在 6 ~ 12 mm。热管通道中最大流速 68 m/s,管道外径 32 ~ 51 mm。表 1 为尾气热量利用参数。

表 1 尾气热量利用参数

类别	项目	参数
含湿空气	流量/(m <sup>3</sup> /h)	36 000
	进汽温度/°C	85
	排汽温度/°C	45
	空气比热/(kJ/(m <sup>3</sup> ·°C))	1.31
	85 °C 含湿空气热焓/(kJ/kg)	2 281.81
	45 °C 含湿空气热焓/(kJ/kg)	212.69
换热前蒸汽	蒸汽压力/MPa	0.9
	蒸汽温度/°C	175
换热后蒸汽	蒸汽热焓/(kJ/kg)	2 773
	蒸汽压力/MPa	0.8
换热后蒸汽	蒸汽温度/°C	175
	蒸汽热焓/(kJ/kg)	743

150 t/d 的 DC 的尾气风量为 36 000 m<sup>3</sup>/h 左右,85 °C 含湿空气换热到 45 °C 输出热能,所利用的蒸汽量:

$$36\,000\text{ m}^3/\text{h} \times 1.31\text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{°C}) \times (85 - 45)\text{°C} \div (2\,773 - 743)\text{ kJ}/\text{kg} = 929.3\text{ kg}/\text{h}$$

按 150 t/h 处理量折合得处理每吨大豆节省蒸汽 6.20 kg, 生产实测处理每吨大豆可节省 6 kg 蒸汽。

### 1.3.3 DTDC 夹层余热的回收利用

DT 的间接蒸汽用高压饱和蒸汽经夹层壁与物料换热, 在换热后, 产生冷凝水流经疏水阀, 高压侧的热量(水温高于低压液体饱和温度)和低压侧的热量不平衡, 对水产生过热, 过剩的热量使部分冷凝水达到沸点形成闪蒸蒸汽。蒸汽在夹套冷凝后, 饱和的冷凝水进疏水阀, 压力在 0.9 ~ 1.0 MPa(按 0.9 MPa), 冷凝水含 697.52 kJ/kg 热量, 饱和温度在 175 °C, 通过疏水阀后压力降为 0, 水温在 100 °C, 含 419 kJ/kg 热量。高压侧和低压侧之间的热量差为 697.52 kJ/kg - 419 kJ/kg = 278.52 kJ/kg, 在常压下产生闪蒸蒸汽, 1 kg 冷凝水产生蒸汽需要 2 257 kJ 热量, 则 1 kg 冷凝水产生的蒸汽量为  $278.52 \text{ kJ/kg} \times 1 \text{ kg} \div 2 257 \text{ kJ/kg} = 0.123 \text{ kg}$ 。浸出车间蒸汽用量按 176 kg/t 计, 60% DT 用汽量为 105.6 kg/t(即 105.6 kg/t 冷凝水), 则产生闪蒸蒸汽量为  $0.123 \times 105.6 \text{ kg/t} = 13 \text{ kg/t}$ 。

饱和蒸汽进 DT 夹层经换热后产生的高压冷凝水经过疏水阀降到 0.05 MPa(调节闪蒸罐背压), 冷凝水从高压转为低压时出现闪蒸蒸汽, 冷凝水和闪蒸蒸汽混合沿切线方向进入闪蒸罐后盘旋到罐底, 使用调节阀将其送到常压冷凝罐, 闪蒸蒸汽通过罐体上部出汽管排出, 控制闪蒸罐蒸汽压力大于或等于 0.05 MPa, 进入 DT 直接蒸汽管, 把闪蒸罐上调节阀的开启度和闪蒸罐内压力连锁, 稳定输出闪蒸蒸汽。闪蒸蒸汽温度低于直接蒸汽温度, 通过 DT 直接蒸汽过热器, 用 0.9 MPa 饱和蒸汽加热闪蒸蒸汽。

## 2 应用效果

### 2.1 提升豆粕质量

东莞中储粮把鲁奇浸出器的沥干时间延长至 20 min, 浸出粕含溶量在 20%(美西豆)、22% 和小于 25%(巴西豆), 减轻了 DTDC 的负荷; DT 的气相温度调至 68 °C, 直接汽层出粕温度 105 °C, 第 10 层出粕温度 95 ~ 100 °C, 预脱溶层料层高度在 200 ~ 250 mm, 脱溶层料层高度在 700 ~ 900 mm, 直接蒸汽层料层高度在 900 mm, 总料层高度在 2 600 mm

左右, 直接汽量按 10.5 ~ 12 t/h, 各层料层高度和直接蒸汽量按收集汇总的操作经验和大豆品质数据进行调整, 降低气相温度, 减少直接蒸汽用量, 降低大豆中蛋白质变性程度。成品豆粕外表面呈金黄色, 散发出浓香味, 残溶小于或等于 300 mg/kg, 最低达 190 mg/kg。对于新鲜大豆, 的豆粕 KOH 蛋白质溶解度在 84% 左右, 对储存 5 ~ 6 个月的大豆所生产豆粕的 KOH 蛋白质溶解度为 80% ~ 82%。

### 2.2 节省蒸汽

DC 的热风热能来自 DT 的高料温热量, 用 DC 热风预热 DC 的进风, 然后再用蒸汽加热。中储粮东莞公司采用热风/冷空气换热器, 换热面积在 800 m<sup>2</sup>, 可节省蒸汽 6 kg/t 左右。把 DC 出来的热风余热利用后可降低豆粕温度和粉末度, 清洁浸出车间的环境空气, 减少异味处理单元的负荷。

引用 Crown VRS 层把 DT 的二次蒸汽抽到第 7 层, VRS 层的落料温度降低 5 ~ 10 °C, 可降低蒸汽消耗 10 kg/t 左右, 降低溶耗 5% ~ 10%。减少落料口正压, 降低 DC 的负荷。在很多情况下, 不开热风加热器豆粕水分就可以达到 12.5%。

鲁奇的余热回收系统, 把 DT 的喷汽层下面闪蒸层的热汽进行 3 级回收利用, 如果余热完全得到利用(如重庆中粮), 可节省蒸汽 13 ~ 15 kg/t。

夹层余热回收冷凝水的低压闪蒸蒸汽在 13 kg/t。

## 3 结束语

对上述几种节能措施进行选用, 要综合考虑当地的环保政策、蒸汽价格、投资和车间设备空间等因素, 如: 有的公司 DT 没有第 10 层, 只能在 DC 尾气热风除尘后再回收余热。

如果油厂使用自备锅炉, 冷凝水密闭循环到锅炉房, 只考虑管线热损率差别。按照能量守恒定理, 在换热介质温度差大于 15 °C 时, 设计两种介质换热, 降低能耗, 减少异味和粉尘排放。

### 参考文献:

- [1] 刘润民, 冯喜旺, 魏永峰. 蒸脱机的设计制造要点[J]. 中国油脂, 2005, 30(11): 25 - 26.
- [2] 张健义, 曾刚本, 郑继福, 等. 一种 DC 热风余热回收系统: CN215810075U[P]. 2022 - 02 - 11.