

# 我国大豆油脂加工业碳排放测算与减排分析 ——以某大豆油脂加工企业为例

韩建军, 郭妍妍, 郭志涛, 杨雅冰, 张梦琪

(河南工业大学 土木工程学院, 郑州 450001)

**摘要:**为服务于碳减排国家战略,以某典型大豆油脂加工企业为研究对象,明确碳排放计算边界,梳理能耗指标变化,采用碳排放系数法确定该企业二氧化碳排放量,推算2015—2022年我国大豆油脂加工业二氧化碳排放量,并提出碳减排措施。结果表明:2020年前该企业二氧化碳排放量为0.111 t/t(以大豆计),2020年后经工艺改进其二氧化碳排放量为0.097 t/t(以大豆计);大豆油脂加工业二氧化碳排放量在2017年达到峰值,为1 095万t;如加工能耗稳定下降,虽然2030年大豆消费量达到最大值(1.26亿t),大豆油脂加工业二氧化碳排放量仍在2017年达峰;蒸汽消耗和电耗是影响油脂加工碳排放的主要因素。为推动碳减排目标实现,大豆油脂加工业碳减排路径主要是通过持续管理和工艺改进,降低蒸汽用量和电耗。

**关键词:**二氧化碳排放量;碳减排;大豆油脂加工

中图分类号:TS228;X196

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2024)08-0087-05

## Carbon emission measurement and emission reduction analysis of soybean oil processing industry in China: Taking a soybean oil processing enterprise as an example

HAN Jianjun, GUO Yanyan, GUO Zhitao, YANG Yabing, ZHANG Mengqi

(College of Civil Engineering and Architecture, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:**In order to serve the national strategy of carbon reduction, a typical soybean oil processing enterprise was taken as the research object, the calculation boundary of carbon emission was clarified, changes in energy consumption indicators were sorted out, and the carbon emission coefficient method was used to determine the carbon dioxide emission of the enterprise. The carbon dioxide emission of soybean oil processing industry in China from 2015 to 2022 were calculated, and carbon reduction measures were proposed. The results showed that before 2020, the carbon dioxide emission of the enterprise was 0.111 t/t (based on soybean), and after 2020, after process improvement, the carbon dioxide emission was 0.097 t/t (based on soybean). The carbon dioxide emission of the soybean oil processing industry reached its peak in 2017, reaching 10.95 million tons. If the processing energy consumption steadily decreases, although the soybean consumption will reach its maximum value (126 million tons) in 2030, the carbon dioxide emission of the soybean oil processing industry was still at its peak in 2017. Steam and electricity consumption are the main factors influencing the carbon emission of oil processing industry. To promote the achievement of carbon reduction targets, the main carbon reduction path of soybean oil processing industry is to reduce steam and electricity consumption through continuous management and process improvement.

**Key words:** carbon dioxide emission; carbon reduction; soybean oil processing

收稿日期:2023-04-20;修回日期:2024-03-18

作者简介:韩建军(1974),男,副教授,博士,研究方向为粮食储备建设及应急管理(E-mail) hanjianjun@haut.edu.cn。

全球变暖给地球自然环境造成不可逆的影响,

减少碳排放是延缓全球变暖的重要手段。根据国际能源署统计数据,2021年我国碳排放总量超100亿t,约占全球碳排放总量的30%,是世界第一碳排放大国。为彰显大国责任担当,我国在第75届联合国大会上承诺2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和。

为实现碳达峰与碳中和,各个行业均应明确碳排放总量以及设计减排路径。赵敏娟等<sup>[1]</sup>提出我国农业碳排放量在2016年就已达到峰值,后续经过减排能力建设、快速减排和巩固完善阶段实现农业碳中和;常莎莎等<sup>[2]</sup>认为在优先发展绿色建筑、后期发展超低或近零能耗建筑情境下,建筑行业碳排放量在2030年达峰,峰值为26.44亿t;薛英岚等<sup>[3]</sup>得出钢铁行业碳排放将在“十四五”前期达到峰值,为16.4亿~16.7亿t;李明煜等<sup>[4]</sup>指出我国电力行业仍处于碳排放上升阶段,但增长速度有所减缓;张鸿宇等<sup>[5]</sup>采用下游部门需求法和项目法,建立大气污染物减排模型,计算得到煤化工行业碳排放量在2025年前达峰,峰值在9.6亿t以下;Huang等<sup>[6]</sup>预测在最佳技术应用情景下,我国纺织业2030年温室气体排放量将减少34.3%;刘演景等<sup>[7]</sup>运用碳排放系数法测算“十三五”期间广西食品行业的碳排放呈上升趋势,年均增长7%;何旭丹等<sup>[8]</sup>对造纸行业碳排放研究现状和发展趋势进行了分析。综上所述,各行各业均有大批学者对行业碳排放与碳达峰进行分析测算,并提出减排路径。但在粮油加工业,相关研究文献较少,油脂加工业碳排放计算仅有少数研究<sup>[9-10]</sup>。

在粮油加工各行业中,油脂加工的总量规模大,电、蒸汽和天然气消耗多,大豆油脂加工更是关系到近亿吨的原料进口、饲料养殖和占比约42%<sup>[11]</sup>的食用油消费。因此,本文以某大豆油脂加工企业为研究对象,通过建立行业边界计算模型、确定基础数据,估算整个行业的碳排放量,并设计减排路径,以期能为油脂加工业乃至粮油加工业碳排放的研究提供参考。

## 1 某大豆油脂加工企业碳排放计算

### 1.1 企业基本情况

某大豆油脂加工企业位于北方某临港粮油产业园内,2012年投产,设计加工能力为4000t/d,精炼能力为1400t/d(含外购大豆原油和棕榈油等),小包装车间年灌装能力为30万t,大豆仓容9万t,油罐罐容10万t,散粕仓容1.7万t,成品粕库容0.8万t,年加工大豆80万~100万t,灌装油脂20万~25万t。该企业是我国大豆油脂加工企业的典型代表,包含预处理、浸出、精炼、小包装等油脂加工产业

链的全部子项,市政蒸汽热源和市政供电。

### 1.2 计算边界

按照国家发改委《食品、烟草及酒、饮料和精制茶企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》(2015年)要求,以企业法人为界,识别、核算和报告边界内所有生产系统、辅助生产系统及附属生产系统的温室气体排放。二氧化碳排放核算边界为化石燃料燃烧排放、工业生产过程排放、净购入使用的电力和热力产生的排放。

该企业的生产系统包括原料、预处理、浸出、精炼、产品存储、打包和小包装,辅助生产系统包括环保污水处理,附属生产系统包括厂部、宿舍、食堂等生活办公设施,加工过程主要以电、蒸汽和天然气消耗为主,无生产过程排放,需计算净购入使用电力、热力和净消耗的燃料产生的二氧化碳排放。

### 1.3 能耗参数

#### 1.3.1 生产系统

企业内部以生产车间为主考核水、电、蒸汽和天然气能耗,包括原料库、预处理车间、浸出车间、精炼车间、磷脂车间、油罐区、豆粕库和打包车间、中小包装车间。企业按照上述工段建立企业内部能源消耗考核分析基础。

项目2012年建成初期,预处理、浸出车间蒸汽消耗量为250kg/t(以大豆计),精炼车间蒸汽消耗量为50kg/t(以油计)。2018年起,伴随市场竞争压力增大与市政蒸汽价格不断提升,推动企业不断地改进工艺,在各工段中应用热风二次利用、蒸汽余热利用、电机变频改造、冰冷真空等节能降耗技术,预处理、浸出、精炼车间蒸汽消耗显著减少。表1为2020年大豆油脂加工工段能耗参数。

表1 2020年大豆油脂加工工段能耗参数

项目	电/ (kW·h/t)	蒸汽/ (kg/t)	天然气/ (m <sup>3</sup> /t)
原料库	4.5		
预处理车间	9.0	70.0	
浸出车间	16.0	140.0	
精炼车间	18.0	40.0	1.8
磷脂车间	10.0	2.5	
油罐区	0.8		
豆粕库和打包车间	3.0		
中小包装车间	10.2		

注:原料库、预处理车间和浸出车间的电、蒸汽和天然气消耗以大豆计;精炼车间、油罐区、中小包装车间以油计;磷脂车间以油脚计;豆粕库和打包车间以粕计

由表1可知:预处理、浸出车间蒸汽消耗降至210kg/t(以大豆计);精炼车间蒸汽消耗降为40

kg/t(以油计),其余工段参数相差不大,不再列明。

### 1.3.2 辅助和附属生产系统

#### (1) 辅助生产系统

污水处理车间主要能耗为电,消耗指标为 1.8 kW·h/t(以水计),污水排放按照用水量的 10% 计算。该企业用水量为预处理、浸出车间 45 kg/t(以大豆计),精炼车间 80 kg/t(以油计)。

#### (2) 附属生产系统

企业员工 240 人,其中管理层(包括各类办公人员)60 人,一线工人 180 人,另有常年派遣工 60 人负责打包搬倒等劳务。根据挂表计量结果,常年办公生活区等采暖用加工区余热,综合电耗 1.8 万 kW·h/年,倒班宿舍电耗 12 万 kW·h/年,食堂电耗 6 万 kW·h/年,天然气消耗 1.8 万 m<sup>3</sup>/年。

### 1.4 二氧化碳排放计算

根据国家发改委、生态环境部有关报告,中国区域电网 2015—2020 年、2021 年起平均二氧化碳排放因子分别为 0.610 1 kg/(kW·h) 和 0.583 9 kg/(kW·h)。天然气折二氧化碳系数按照《中国能源统计年鉴》和《省级温室气体清单编制指南》,取 2.165 0 kg/m<sup>3</sup>。参考包检青等<sup>[12]</sup>的研究,蒸汽折算二氧化碳系数取 0.334 4 kg/kg。

建立大豆油脂加工业二氧化碳排放量计算公式如下。

$$E_{\text{总}} = E_{\text{生产}} + E_{\text{辅助}} + E_{\text{附属}} \quad (1)$$

式中: $E_{\text{总}}$ 为企业二氧化碳排放总量; $E_{\text{生产}}$ 为生产环节包括原料库、预处理车间、浸出车间、精炼车间、油罐区、磷脂车间、豆粕库和打包车间、中小包装车间因消耗电、蒸汽和天然气产生的二氧化碳排放量; $E_{\text{辅助}}$ 为辅助生产系统二氧化碳排放量; $E_{\text{附属}}$ 为附属生产系统二氧化碳排放量。

以年加工 80 万 t 大豆为例,每吨大豆按照油、粕、油脚的产出比例分别为 19%、79% 和 1.8% 计,不考虑原油脱胶损失,各工段均衡生产,排除外购量。

根据公式(1),结合表 1 数据,该企业 2020 年大豆油脂加工二氧化碳排放量如表 2 所示。

表 2 2020 年大豆油脂加工二氧化碳排放量 万 t

项目	电	蒸汽	天然气	小计
生产系统	1.833 2	5.822 4	0.059 2	7.714 8
辅助生产系统	0.000 5			0.000 5
附属生产系统	0.012 1		0.003 9	0.016 0
合计	1.845 8	5.822 4	0.063 1	7.731 3

由表 2 可知,该企业 2020 年二氧化碳排放量约 7.731 万 t,以大豆折算,每吨大豆二氧化碳排放量为 0.097 t。我国有进口大豆原油加工,需单独分析大豆原油的碳排放参数,按照精炼车间和中小包装车间并附辅助和附属生产系统的 20% 折算,每吨大豆原油精炼并进入中小包装后,二氧化碳排放量为 0.035 t。2020 年前,按照工艺改进前的蒸汽消耗参数,每吨大豆的二氧化碳排放量为 0.111 t,加工每吨大豆原油产生二氧化碳 0.039 t。

## 2 我国大豆油脂加工业二氧化碳排放测算

### 2.1 2015—2022 年我国大豆油脂加工业二氧化碳排放量

依据中国海关数据,我国自 2015 年大豆进口量突破 8 000 万 t,此后每年进口大豆在 9 000 万 t 上下波动,高峰期突破亿吨;每年进口大豆原油 50 万 ~ 180 万 t;依据国家粮油信息中心数据以及对东北油厂实际考察结果整理,发现每年有 200 万 ~ 300 万 t 国产大豆用于榨油(能耗参数高 10%)。

根据行业走访,将 2019 年视为工艺降耗的转折年份。2015—2019 年以加工每吨大豆产生 0.111 t 二氧化碳排放量,加工每吨大豆原油产生 0.039 t 二氧化碳排放量为计算基数,2020 年以加工每吨大豆产生 0.097 t 二氧化碳排放量,加工每吨大豆原油产生 0.035 t 二氧化碳排放量为计算基数,2021—2022 年因区域电网二氧化碳排放因子降低,以加工每吨大豆产生 0.096 t 二氧化碳排放量,加工每吨大豆原油产生 0.034 t 二氧化碳排放量为计算基数,2015—2022 年我国大豆油脂加工业二氧化碳排放量见表 3。

表 3 我国大豆油脂加工业二氧化碳排放量 万 t

年份	大豆进口量	国产大豆产量	大豆原油进口量	二氧化碳排放量
2015	8 169	280	82	944
2016	8 391	280	56	968
2017	9 553	260	65	1 095
2018	8 803	300	55	1 016
2019	8 851	300	83	1 022
2020	10 033	240	96	1 002
2021	9 652	220	112	954
2022	9 108	200	34	897

由表 3 可知,伴随着大豆进口量持续增加,2017 年我国大豆油脂加工业二氧化碳排放量达到峰值,为 1 095 万 t,但随着工艺改进,尽管大豆进口量继续增加,但二氧化碳排放量未突破 2017 年数据。

## 2.2 我国大豆油脂加工业二氧化碳排放发展预测

根据美国农业部报告,2030年我国大豆进口量将达到最大值,为1.26亿t。根据经济合作与发展组织(OECD)研究,我国将在2029—2030年达到植物油消费和肉类消费的峰值。据此分析,2030年我国大豆进口量将达到峰值。如果保持目前加工工艺能耗水平不变,行业二氧化碳排放量将会达到1210万t左右(未考虑加工国产大豆和进口大豆原油),成为大豆油脂加工业二氧化碳排放量的新峰值。根据对企业走访,油脂加工企业普遍认为,加工每吨大豆蒸汽消耗比当前水平能够再降低10%~20%。据此推断,当大豆进口量达到1.26亿t时,大豆油脂加工业二氧化碳排放量不会超过2017年的水平。

根据荷兰合作银行2023年研报显示,由于推动豆粕减量替代行动(例如牧原豆粕添加比例从20%降至10%以下),我国大豆进口量将连续7年呈下降趋势,大豆进口量在2020年就达到峰值,2025年大豆进口量将减少到8700万t,到2030年将进一步降至8400万t。如果上述研判成立,则2017年已经是二氧化碳排放量峰值。

## 3 二氧化碳减排分析

### 3.1 二氧化碳排放量影响因素

根据2020年我国大豆油脂加工业二氧化碳排放量(表3),计算大豆加工量、蒸汽消耗、电耗和天然气4个因子的值在±20%之间变动对大豆油脂加工业二氧化碳排放量的影响程度。当大豆进口量在±20%之间变动时,二氧化碳排放量在807.5万~1196.8万t之间变动;当蒸汽消耗在±20%之间变动时,二氧化碳排放量在847.5万~1146.6万t之间变动;电耗在±20%之间变动时,二氧化碳排放量在950.4万~1043.7万t之间变动;当天然气在±20%之间变动时,二氧化碳排放量在991.8万~1002.2万t之间变动。因此,二氧化碳排放量敏感因素依次为大豆加工量、蒸汽消耗和电耗,而对天然气消耗的变动不敏感。

生产系统中,消耗蒸汽、电和天然气所产生的二氧化碳排放量分别约占总量的75%、24%和1%(见表2)。蒸汽成本是加工企业动力成本中最大部分,降低蒸汽成本既是企业增效的有力推手,也是减少二氧化碳排放的重要因素。

### 3.2 碳减排措施

根据上述分析,油脂加工业可以从降低蒸汽消耗和电耗角度进行碳减排。为降低蒸汽消耗和电耗,各企业应持续从管理和技术入手,开展节能降耗

行动,如提高连续开机时间,对用热设备和管道加保温材料,热能回收等。

降低二氧化碳排放量的挖潜重点是生产系统。改造蒸脱机、汽提塔、膨化机、调质塔等主要用汽设备,控制物料参数和指标,加强尾热利用,是降低蒸汽消耗的重要手段,主要措施包括采用筛板式汽提塔,在蒸发器中用真空泵替代蒸汽喷射泵、降低湿粕溶剂含量、调整坏片厚度、延长浸出器沥干时间、回收二次蒸汽、提高冷凝水的余热利用效率或替代蒸汽作为热源。同时,对大功率电机变频改造,输送设备稳定可靠运行是节电的重要措施。为了尽快实现减排目标,辅助和附属生产系统仍需大力提倡节能降耗,如参考同等规模污水处理厂,电耗指标为0.3kW·h/t。

从管理角度,充分利用物联网技术,在耗量大的设备上加装计量设备,强化实时感知能力,便于实时跟踪和数据回溯,出现流量异常时及时报警;加强巡视检查,防止跑冒滴漏;加强同业学习交流,共同推动技术进步。从建筑角度,北方地区的厂房应采用封闭式厂房,该建议已经被周口某新建大豆油脂加工厂采纳。从销售角度,加大与下游饲料企业衔接,推行散装豆粕,降低豆粕打包发放站电耗。新建企业和既有企业可将倒班宿舍和食堂剥离为社会化运行,以规模和合理运作降低生活办公能耗。

部分新建企业采用与设备厂商签订合同的方式,明确将预处理、浸出车间蒸汽指标降至195~200kg/t(以大豆计),预处理、浸出车间电耗降至21kW·h/t(以大豆计);根据2024年初行业了解,个别企业预处理、浸出和精炼车间蒸汽消耗已经分别降至170kg/t(以大豆计)和30kg/t(以油计)以下,同比以上参数,企业还有很大降耗空间。

需注意的是,节能降耗是减排手段,不能影响产品质量。

## 4 结论与建议

(1)保持目前加工能耗参数不变,我国大豆消费量在2030年达到峰值,则我国大豆油脂加工业二氧化碳排放量将在2030年左右达到峰值,与国家碳达峰要求基本一致。但行业普遍乐观预测,油脂加工能够持续稳步降低蒸汽消耗10%~20%,我国大豆油脂加工业二氧化碳排放量已经在2017年达到峰值,为1095万t。同时,社会电耗、蒸汽耗的碳排放因子降低也有助于确保2017年碳达峰。

(2)减少蒸汽用量是大豆油脂加工业减排的主要驱动因素。为减少蒸汽用量,各企业可以从管理和技术两方面入手,包括工艺设备改造、物料控制、

余热利用等多个方面。

(3)研究数据是基于对典型油脂加工企业的调研以及行业内从事油脂加工的专业人士访谈得出,本企业生产能耗参数在全国居于平均水平,样本数据有代表性,反映了全国油脂加工业的基本情况,但由于缺少系统性统计,精准度还有待提高。建议粮食行业行政主管部门委托第三方单位研发专业的碳排放信息填报与计算系统并建立完整的数据库,统计小麦加工、大米加工、饲料加工、玉米精深加工、大豆蛋白加工等各粮油加工子行业碳排放参数,从而明确全行业的碳达峰目标年限和设计减排路径。

#### 参考文献:

- [1] 赵敏娟,石锐,姚柳杨. 中国农业碳中和目标分析与实现路径[J]. 农业经济问题, 2022(9): 24-34.
- [2] 常莎莎,冯国会,崔航,等. 建筑行业碳排放特征及减排潜力预测分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2023, 39(1): 139-146.
- [3] 薛英岚,张静,刘宇,等. “双碳”目标下钢铁行业控煤降碳路线图[J]. 环境科学, 2022, 43(10): 4392-4400.
- [4] 李明煜,张诗卉,王灿,等. 重点工业行业碳排放现状与减排定位分析[J]. 中国环境管理, 2021, 13(3): 28-

39.

- [5] 张鸿宇,王媛,郝成亮,等. 双碳约束下煤化工行业节煤降碳减污协同[J]. 环境科学, 2023, 44(2): 1120-1127.
- [6] HUANG B J, ZHAO J, GENG Y, et al. Energy-related GHG emissions of the textile industry in China[J]. Resour Conserv Recy, 2017, 119:69-77.
- [7] 刘演景,黄春兰,唐华臣,等. 双碳背景下广西食品行业碳排放分析及路径研究[J]. 食品工业, 2022, 43(8): 249-253.
- [8] 何旭丹,李永智,贾学桦,等. 造纸行业碳排放研究现状及发展趋势可视化分析[J]. 中国造纸, 2022, 41(7): 85-94.
- [9] 鲁海龙,钱瑾蓉,杨静雯,等. 我国油脂加工行业碳排放及认证现状[J]. 中国油脂, 2023, 48(3): 52-55.
- [10] 杨杰,史展菲,鲁海龙. 食用油精炼加工厂的碳排放核算及碳减排分析[J]. 中国油脂, 2023, 48(6): 79-85.
- [11] 王瑞元. 2021年我国粮油产销和进出口情况[J]. 中国油脂, 2022, 47(6): 1-7.
- [12] 包检青,王其营. 轮胎生产企业碳排放碳中和的管理及规划[J]. 橡塑技术与装备, 2023, 49(1): 70-75.

(上接第47页)

- [15] GONÇALVES C B, RODRIGUES C E C, MARCON E C, et al. Deacidification of palm oil by solvent extraction[J]. Sep Purif Technol, 2016, 160: 106-111.
- [16] 郭峰,乌日娜,梁志霞,等. 生物基炭质催化剂催化大豆皂脚酸化油制备生物柴油[J]. 中国油脂, 2009, 34(4): 35-38.
- [17] 刘玉兰,彭团儿,马宇翔. 米糠油及其脱臭馏出物中生育酚和生育三烯酚的分析检测[J]. 中国油脂, 2010, 35(3): 70-74.
- [18] CHANDRASEK K, NG M H, CHOO Y M, et al. Effect of storage temperature on the stability of phytonutrients in palm concentrates[J]. Am J Appl Sci, 2009, 6(3): 529-533.
- [19] RODRIGUES C E C, ONOYAMA M M, MEIRELLES A J A. Optimization of the rice bran oil deacidification process

by liquid-liquid extraction[J]. J Food Eng, 2006, 73(4): 370-378.

- [20] 胡晓军,李群,许光映,等. 乙醇萃取米糠油脱酸脱蜡工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(8): 33-36.
- [21] 邹曼,王娟,何东平,等. 高酸值米糠油同步脱酸脱蜡工艺[J]. 中国油脂, 2021, 46(7): 14-19.
- [22] RODRIGUES C E C, GONÇALVES C B, MARCON E C, et al. Deacidification of rice bran oil by liquid-liquid extraction using a renewable solvent[J]. Sep Purif Technol, 2014, 132: 84-92.
- [23] 杨亚,刘启东,孙百创,等. 食用植物油脂精炼过程中色素的定量分析[J]. 中国油脂, 2021, 46(5): 43-47.
- [24] 黄留敏. 热损大豆的油脂成分分析及其中四种色素的稳定性和吸附脱除效果的研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2022.