

内置冷媒管的食用油储罐降温实验

陈雁, 王晓东, 崔伟华, 杜潇, 阎星辰

(河南工业大学 土木工程学院, 郑州 450001)

摘要: 为了解决散装食用油在储藏过程中高温季降温速率缓慢、降温成本高的问题, 提出了一种内置冷媒管的降温方法, 并基于该方法搭建了油罐控温实验台。在实验过程中通过调整冷媒流动方式、冷媒温度和流量, 进行了 20 组对比实验, 对不同工况下的降温效果进行分析。结果表明: 在上供式高流量下, 冷媒温度 8 °C 与冷媒温度 16 °C 时相比, 储油均温与冷媒温差相差 3.2 °C; 在冷媒温度为 12 °C 时, 增加流量对降温效果的影响最为显著。与冷媒下供式降温相比, 采用冷媒上供式可降低储油上下层的温差, 并可更有效地阻隔外界热量向罐内传递。

关键词: 食用油储存; 内置冷媒管; 流动方式; 储油温度; 温度场

中图分类号: TS221; TB657

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2021)11-0148-05

Cooling experiment of edible oil in storage tank with an inner refrigerant tube

CHEN Yan, WANG Xiaodong, CUI Weihua, DU Xiao, YAN Xingchen

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

Abstract: In order to increase cooling rate and cut down the cooling cost of storage for edible oil in hot season, a cooling method with inner refrigerant tube was proposed. Base on this method, a temperature control experiment system was set up. In the process of the experiment, 20 groups of experiments were carried out by adjusting the flow mode (top-bottom and bottom-top), flow temperature and flow rate of the refrigerant to analyze the cooling effect under different working condition. The results showed that under the working condition of a top-bottom flowing and high flow rate, the difference between the average oil temperature and the temperature of the refrigerant decreased by 3.2 °C at 8 °C inlet temperature compared with that of the 16 °C. When the refrigerant temperature was 12 °C, increasing the flow rate had the most significant effect on the cooling effect. Compared with the refrigerant flow of bottom-top, the refrigerant flow of top-bottom could cut down the temperature difference between upper and lower layers of the oil storage and effectively block the transfer of external heat to the tank.

Key words: edible oil storage; inner refrigerant tube; flowing mode; temperature of oil storage; temperature field

散装食用油多采用油罐储藏, 储油质量与温度高低有较高的相关性, 因此在储藏过程中对储油温度的控制显得尤为重要^[1-3]。在 0~25 °C 条件下储藏时, 温度每上升 10 °C, 油脂氧化速度几乎增加 1 倍^[4-6]。同时, 温度对油脂的功能性成分也有一定

的影响, 虽因油脂种类不同而各有差异, 但温度上升仍是导致储油质量下降的主要因素, 因此控制温度对提升储油质量具有重要意义^[7-11]。研究人员对食用油在高温时、不同储藏条件下和不同材质储罐中的油脂参数变化研究表明, 储油质量降低的主要因素仍是由于热传递而导致其过氧化值升高^[12-15]。因此, 若要提高油脂的储藏质量, 则需抑制储油过氧化值升高。目前主要手段是添加抗氧化剂、充氮和对油罐进行喷淋降温等^[16-22]。在储油中添加抗氧化剂或充氮虽然能够提升储油质量, 但仍无法消除

收稿日期: 2020-12-18; 修回日期: 2020-12-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0401601)

作者简介: 陈雁(1977), 女, 副教授, 博士, 主要从事粮油仓储工程节能研究(E-mail)chenyan@haut.edu.cn。

温度上升对储油质量的影响,而通过喷淋降温能耗较高且会浪费大量的水。因此,本文基于内置冷媒管的油罐控温实验台,进行了不同工况下的对比实验,根据实验结果得出了较为有效的储油罐降温方式。

1 材料与方法

1.1 实验材料

桶装大豆油(20 L);JULABO F12 - EH(德国)标准型加热制冷恒温循环器;安柏(常州)AT - 4532多路温度采集仪(精度 0.2°C);电加热带;宇问(深圳)SNN - 11E温度记录仪(精度 0.1°C);油罐(直径54 cm,高42 cm,拱高6.5 cm,装油高度34 cm),该油罐以中央储备粮镇江直属库8号圆柱形钢制拱顶油罐为基础,按50:1比例缩放焊制,内置8根冷媒细管(DN20,冷媒为50%乙二醇水溶液)周向垂直均匀布置和上下两根环形主管(DN32),上环形主管中心高度为33.2 cm,下环形主管中心高度为1.5 cm,如图1所示。油罐内外布置32个温度测量点,如图2所示。油罐控温实验台左侧为加热制冷恒温循环器,中间为油罐,二者通过管路连接,实验台右侧为多路温度采集仪,电加热带贴置于油罐壁外侧,实验台外设一台室温记录仪用以记录室温变化。整体实验台布置如图3所示。

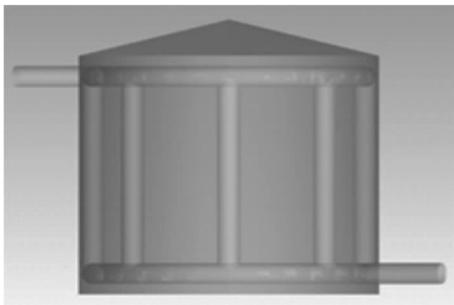


图1 油罐模型示意图

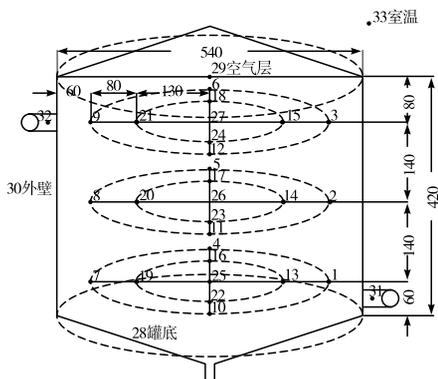


图2 油罐内外温度点布置图



图3 整体实验台布置

1.2 实验方法

1.2.1 降温实验

在实验开始时,启动数据采集仪并以5 min为周期持续采集数据,同时通过电加热对储油进行升温,升温结束后静待30 min,随后通过冷媒管中持续循环的流体进行降温,降温时间24 h,降温采用两种冷媒流动方式,一是冷媒上供式,二是冷媒下供式。共进行20组实验,具体方案如表1所示。

表1 降温实验方案

流动方式	流量/(mL/s)	不同冷媒温度下的实验				
		8 $^{\circ}\text{C}$	10 $^{\circ}\text{C}$	12 $^{\circ}\text{C}$	14 $^{\circ}\text{C}$	16 $^{\circ}\text{C}$
上供式	42.37	1组	2组	3组	4组	5组
	56.50	6组	7组	8组	9组	10组
下供式	48.08	11组	12组	13组	14组	15组
	61.73	16组	17组	18组	19组	20组

1.2.2 数据采集与处理

实验中罐体及罐内温度由安柏AT - 4532多路温度采集仪采集,室温由SNN - 11E温度记录仪采集。采用Origin进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 冷媒上供式降温实验

储油在升温过程中会出现明显的热分层现象^[23],针对该现象,本文采用冷媒沿管道自上而下流动的方式(上供式),以期降低储油上下层温差。上供式实验分为低流量和高流量两组,实验期间室温约 20°C 。每组实验开始前先通过电加热带使储油均温达到 $41\sim 44^{\circ}\text{C}$,随后通入冷媒降温。冷媒上供式降温终了时油温如图4所示。

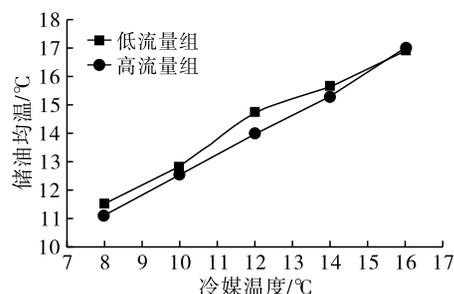


图4 上供式降温终了时油温

由图4可知,冷媒温度越低,降温结束后储油均温越低,在上供式高流量下,冷媒温度8℃与冷媒温度16℃时相比,储油均温与冷媒温差相差3.2℃。实验终了时储油均温与冷媒温差随冷媒温度的降低而增大,以低流量时的8℃和16℃为例,该温差分别为3.52℃和0.90℃。在冷媒温度为16℃时,降温结束后的储油均温接近,在其余冷媒温度下,高流量下的储油均温都低于低流量下。表明在采用上供式且冷媒温度较高时,增加冷媒流量带来的降温效果并不明显,与降低冷媒温度相比,改变冷媒流量产生的温差仅为0.11~0.74℃。

2.2 冷媒上供式高效降温过程

以平均降温速率不低于3.2℃/h作为高效降温段的划分依据。图5绘制了上供式高效降温段终了时的油温。

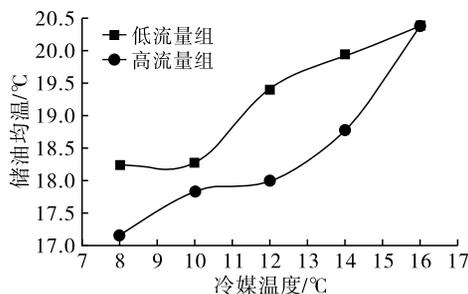


图5 上供式高效降温段终了时油温

由图5可知,在冷媒温度为8~14℃时,高流量下高效降温段终了时的储油均温低于低流量下的。在冷媒温度为12℃时增加流量对降温效果的影响最为显著,两流量下高效降温段终了时的储油均温相差1.4℃。在冷媒温度为16℃时,两流量下高效降温段终了时的储油均温相差仅0.03℃,表明冷媒温度与室温接近时,增加流量对降温效果的影响减弱。

以表1中第6组方案为例,沿深度方向绘制垂直截面温度云图,降温前和高效降温段终了时的温度分布分别如图6、图7所示。

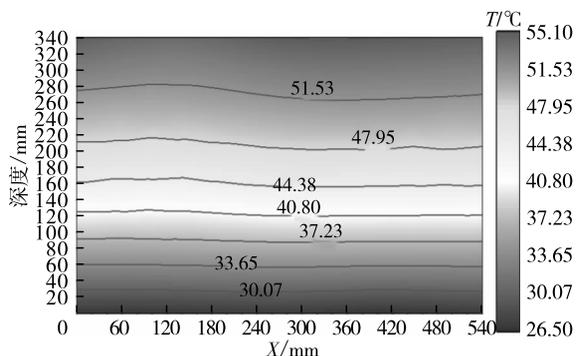


图6 降温前温度云图

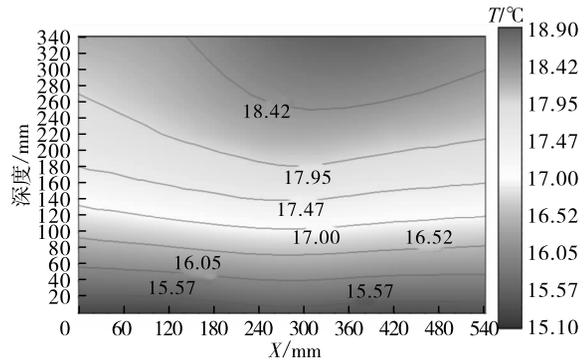


图7 高效降温段终了时温度云图

由图6、图7可知,在降温前后均存在热分层现象,起始和终了时的上下层温差由28.02℃降至3.22℃,可见通过冷媒上供式降温可明显改善热分层现象。图7表明,在高效降温段终了时靠近油罐外壁的下、中、上3层温度分别低于同深度油罐中心位置0.225、0.450、0.575℃,说明在设定的冷媒温度和流量条件下,该工艺可以在降温的同时隔断外部输入的热量。

2.3 冷媒下供式降温实验

调整冷媒流动方向,使之从油罐底部进入,沿管道向上流出油罐(下供式),实验分为低流量组和高流量组,实验期间室温约20℃。冷媒下供式降温终了时油温如图8所示。

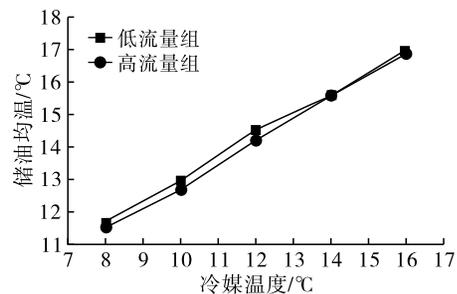


图8 下供式降温终了时油温

由图8可知,在冷媒温度为8~12℃时,降温结束时高流量组储油均温均低于低流量组0.2℃以上,而在冷媒温度为14~16℃时,降温结束时两流量组的储油均温接近。因此,下供式流量变化对降温效果的影响更低。将图4、图8对比可知:在低流量下,冷媒温度为8~10℃时,上供式降温效果稍优于下供式;在高流量下,冷媒温度为8~14℃时,上供式降温效果优于下供式。这表明在冷媒流量上升时会改善上供式的降温效果。

2.4 冷媒下供式高效降温过程

下供式高效降温段划分依据与上供式一致,在图9中绘制了下供式高效降温段终了时的储油均温。

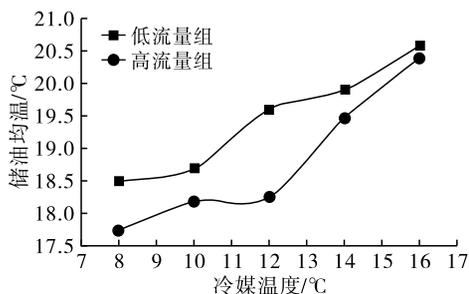


图9 下供式高效降温段终了时油温

由图9可知,在相同冷媒温度下,高流量组储油均温低于低流量组。当冷媒温度为12℃时,增加流量对降温效果的影响最为明显,与低流量组相比高效降温段终了时储油均温下降了1.34℃。当冷媒温度为16℃时,高效降温段终了时两流量组的储油均温最接近,其差值仅为0.19℃。

以表1中第16组方案为例,沿深度方向绘制降温前和高效降温终了时的温度分布,分别如图10、图11所示。

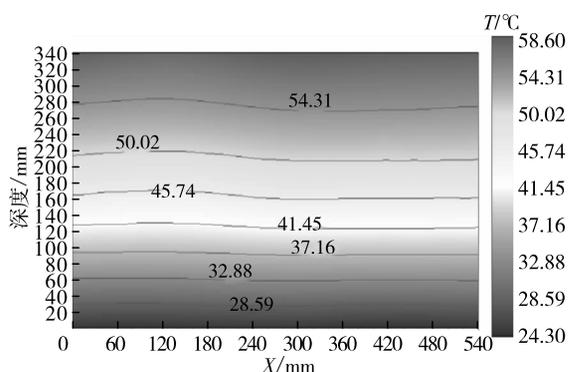


图10 降温前温度云图

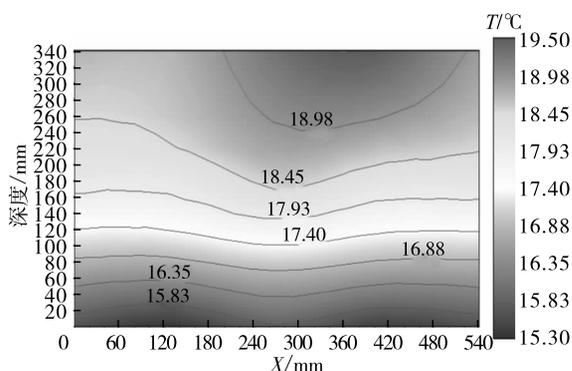


图11 高效降温段终了时温度云图

图10、图11表明,在降温前后也存在热分层现象,其上下层温差由33.66℃降至3.48℃,高效降温终了时储油均温较第6组方案(上供式3.22℃)略高,表明上供式冷媒流动更有利于改善热分层现象。由图11可知,在高效降温段终了时靠近油罐外壁的下、中、上3层温度低于油罐核心位置0.2、0.45、0.5℃,与第6组方案(图7)相比径向温差略

低,表明上供式更易于阻隔外界热量向罐内传递。

3 结论

(1)本文提出的食用油罐降温系统相对于传统的水喷淋式降温节省了水耗,在高温季可有效隔断外界传热。系统可以按实际需要调整冷媒流量、冷媒管直径、冷媒管数量以及冷媒的设定温度,具有较高的可操作性。

(2)实验数据表明,在冷媒和油温温差相近时,冷媒流量大小对高效降温段终了时的储油均温影响较小,因此在需要快速降温时系统不宜采用小温差模式运行;随着冷媒流量增加、温度降低,高效降温段终了时的储油均温降低;在两种冷媒流动方式中,冷媒温度为12℃时,增加冷媒流量对降温效果的影响最为显著。从经济性角度出发,应结合降温能耗与当地储油温度设定合理降温参数,以增加降温达到稳定的时长。

(3)降温过程中油罐中产生了明显的热分层现象,采用上供式降温不仅对减少上下层储油之间的温差更有利,并且可以更有效地阻隔外界热量向罐内传递,在实际应用中,可采用冷媒上供式。

(4)文中采用乙二醇水溶液作为冷媒得到了油罐内冷却换热的比较结论,在实际工程中宜采用水作为冷媒,以防出现泄漏污染;同时,限于室内实验条件,油罐较小,在应用于室外大型油罐时应考虑储存体量和外界辐射对设计的具体影响。

参考文献:

- [1] AMMARI F, BOUVERESSE D J, EVELEIGH L, et al. Independent components analysis applied to mid - infrared spectra of edible oils to study the thermal stability of heated oils[J]. J Food Measur Charact, 2013, 7(2): 90 - 99.
- [2] 袁建,何海艳,何荣,等. 模拟油罐储藏大豆油氧化稳定性研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(3): 92 - 98.
- [3] ZHAO X, GONG G, WU S. Effect of storage time and temperature on parent and oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons in crude and refined vegetable oils[J]. Food Chem, 2018, 239(15): 781 - 788.
- [4] 王若兰. 粮油储藏学[M]. 北京: 北京工业出版社, 2012.
- [5] GIUFFRÈ A M, ZAPPÀ C, CAPOCASALE M. Effects of high temperatures and duration of heating on olive oil properties for food use and biodiesel production[J]. J Am Oil Chem Soc, 2017, 94(6): 819 - 830.
- [6] CHEN B, MCCLEMENTS D J, DECKER E A. Minor components in food oils: a critical review of their roles on lipid oxidation chemistry in bulk oils and emulsions[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2011, 51(10): 901 - 916.

- [7] 赵芳,李桂华,罗世龙. 葡萄籽油和亚麻籽油储藏期间氧化对功能性成分影响[J]. 粮食与油脂, 2011(5): 19-22.
- [8] 佟云伟,陈凤香,杨波涛. 不同食用植物油氧化稳定性的研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(2): 31-34.
- [9] ISSAOUI M, FLAMINI G, HAJAJI M E, et al. Oxidative evolution of virgin and flavored olive oils under thermo-oxidation processes[J]. J Am Oil Chem Soc, 2011, 88(9): 1339-1350.
- [10] 吕俊峰,郭文川,于修焯. 高温处理对食用调和油微波介电特性与品质的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 148-151, 169.
- [11] 罗寅,张羽霄,杜宣利,等. 植物油库储油过程中油脂品质变化影响因素及控制要点[J]. 中国油脂, 2016, 41(12): 85-87.
- [12] 沈维维. 食用植物油热环境下品质变化规律的研究[D]. 上海:华东理工大学, 2018.
- [13] MIYAGAWA Y, YOSHIDA M, ADACHI S. Crystallisation kinetics of rice bran and soybean oils during storage at low temperature [J]. Food Bioprod Process, 2020, 120: 123-130.
- [14] 王若兰,徐卫星,李守星,等. 大豆油不同储藏技术的效果研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(10): 41-44.
- [15] 丁明,费学谦. 茶油储藏条件对过氧化值的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(12): 183-186.
- [16] SHANKER N, DEBNATH S. Impact of purslane (*Portulaca Oleracea* L.) leaves extract to enhance the anti-oxidant potential of edible oils during heating[J]. J Oleo Sci, 2019, 68(4): 321-328.
- [17] 郭晓峰,毕艳兰,陈佳丽. 加热条件下 α -生育酚在油脂中的抗氧化活性、损耗及其对油脂全氧化值的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 27-33.
- [18] WRONIAK M, FLOROWSKA A, REKAS A. Effect of oil flushing with nitrogen on the quality and oxidative stability of cold-pressed rapeseed and sunflower oils[J]. Acta Sci Pol Technol Aliment, 2016, 15(1): 79-87.
- [19] 何海艳. 大豆油氮气储藏氧化稳定性研究[D]. 南京:南京财经大学, 2012.
- [20] 张来林,金文,周杰生,等. 充氮气调对大豆制油品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2010, 31(6): 11-14.
- [21] 彭小虎,杨光. 氮气在油脂储藏方面的应用[J]. 中国油脂, 2007, 32(6): 67-68.
- [22] 周延智,黄学春,陈远毅. 喷淋在立式油罐控温储油中的应用[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(1): 79-80.
- [23] MAWIRE A. Experimental de-stratification and heat loss in a storage tank containing different thermal oils[J]. J Braz Soc Mech Sci Eng, 2017, 39(6): 2279-2288.
- (上接第144页)
- [13] 李军,毕艳兰,杨会芳,等. 加热条件下大豆油中TBHQ的挥发、转化规律及其对大豆油品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 106-112.
- [14] 胡前,曾轶. 植物油循环充氮工艺研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(1): 155-157.
- [15] FARHOOSH R, HOSEINI - YAZDI S Z. Shelf-life prediction of olive oils using empirical models developed at low and high temperatures[J]. Food Chem, 2013, 141(1): 557-565.
- [16] 李伟,狄育慧. 地下粮仓的发展及节能优势[J]. 粮食科技与经济, 2015, 29(1): 79-83.
- [17] 温运启,刘玉兰,王璐阳,等. 不同食用植物油中维生素E组分及含量研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(3): 35-39.
- [18] 魏佳丽,马传国,柴小超,等. 米糠毛油中去甲基甾醇检测方法的对比研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(1): 61-64.
- [19] 邓金良,刘玉兰,王小磊,等. 不同储存条件对浓香花生油风味及综合品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(17): 231-237.
- [20] 陈华凤. 油脂中抗氧化剂BHT、TBHQ及其转化产物的研究[J]. 质量技术监督研究, 2018(4): 16-19.
- [21] 邓金良. 不同储油技术对油脂保质保鲜影响的研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2020.
- [22] 王伟,张艳,肖雪芹. 不同储藏方式下四级菜籽油品质变化研究[J]. 粮食储藏, 2019, 48(1): 39-42.