

# 基于体积温度系数法测量进口精炼棕榈硬脂体积

刘新<sup>1</sup>, 俞晔<sup>1,2</sup>, 夏拥军<sup>1</sup>, 金俊<sup>2</sup>, 金青哲<sup>2</sup>

(1. 张家港海关, 江苏 张家港 215600; 2. 江南大学 食品学院, 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 江苏 无锡 214122)

**摘要:**为了估算拟卸液油到罐体积,使储油罐区有效配置罐容,避免加热液油卸入岸罐时发生溢冒事故,以进口精炼棕榈硬脂(熔点 $52.6^{\circ}\text{C}$ )为例,研究了其在液态下温度变化和体积相对变化的关系,并基于体积温度系数对其在 $60\sim 75^{\circ}\text{C}$ 范围内的体积进行了估算,同时实测液位和液温,求取体积和密度,计算液货质量,并采用常规密度推算算法对精炼棕榈硬脂在 $60\sim 75^{\circ}\text{C}$ 范围内的体积进行估算,对两种方法估算的体积进行 $t$ 检验。结果表明:在 $60\sim 75^{\circ}\text{C}$ 范围内,运用体积温度系数法求得的体积与常规密度推算算法求得的体积没有显著差异。因此,可以采用体积温度系数法估算精炼棕榈硬脂的体积。

**关键词:**精炼棕榈硬脂;体积温度系数法;温度;体积;溢冒

中图分类号:TS227;F740.4 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)12-0146-04

## Surveying the volume of imported refined palm stearin based on volume - temperature coefficient method

LIU Xin<sup>1</sup>, YU Ye<sup>1,2</sup>, XIA Yongjun<sup>1</sup>, JIN Jun<sup>2</sup>, JIN Qingzhe<sup>2</sup>

(1. Zhangjiagang Customs, Zhangjiagang 215600, Jiangsu, China; 2. Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

**Abstract:** In order to estimate the volume of the liquid oil to be discharged to the tank, so that the tank capacity could be effectively configured in the oil storage tank area, and avoid the overflow accident when the heated liquid oil was discharged into the shore tank, the imported refined palm stearin (melting point  $52.6^{\circ}\text{C}$ ) was used as an example to study the relationship between the temperature change and the relative volume change under the liquid state, and its volume within the range of  $60\sim 75^{\circ}\text{C}$  was estimated based on the volume - temperature coefficient. At the same time, the liquid level and liquid temperature were measured to calculate the volume and density, the mass of liquid cargo was calculated, and the volume of refined palm stearin in the range of  $60\sim 75^{\circ}\text{C}$  was estimated by the conventional density calculation method. The volume estimated by the two methods was  $t$ -tested. The results showed that there was no significant difference between the volume obtained by the volume - temperature coefficient method and the volume obtained by the conventional density calculation method in the range of  $60\sim 75^{\circ}\text{C}$ . Therefore, the volume - temperature coefficient method can be used to estimate the volume of refined palm stearin.

**Key words:** refined palm stearin; volume - temperature coefficient method; temperature; volume; overflow

进口棕榈油大都通过远洋油轮液态散装装运,

装运油轮靠泊国内码头后,码头储油罐区根据进货提单量和油轮船舱液货积载体积制订接卸计划,合理配载接卸罐容,通过输油管道卸入指定岸罐。为保证拟卸棕榈油较好流动性,尤其是装运高熔点精炼棕榈硬脂,要求船方对拟卸液油持续加温,所以需要充分估算液油达到预计温度时的体积。同时,由

收稿日期:2021-08-24;修回日期:2022-07-25

作者简介:刘新(1972),男,高级工程师,硕士,主要从事进出口植物油计量研究工作(E-mail) liuxin8682397@sina.com。

于卸载完毕后需对卸油管线进行吹扫,吹扫过程中会形成强气压对卸入岸罐液油产生冲击,所以配置接卸岸罐容量要保留一定余地,卸入岸罐液油体积一般不能超过最大岸罐容量的90%。但一些罐区配载接卸岸罐由于没有充分估算因油温升高而使拟卸液油体积膨胀,超过罐容警戒线,导致发生卸入岸罐液油溢冒事故。

研究表明,质量一定的液体,在不同温度下密度和体积不同,一般温度越高,密度越小,体积越大,而在一定温度范围内,进口精炼棕榈油温度和密度之间存在很好的线性关系<sup>[1]</sup>。为了提高棕榈油接卸液油岸罐配载效率和安全性,有必要探讨棕榈油温度变化引起的液油体积变化程度。对此,大都通过常规密度推算法求得不同温度下液油密度,再推算不同温度下液油体积,但不能直接显示温度变化引起的体积变化程度。为此,本文以一批进口精炼棕榈硬脂为研究对象,基于体积温度系数法,探讨温度变化直接引起的液油体积变化程度,从而便于油罐区直接进行不同液油温度下体积估算,同时也为研究其他油脂体积温度特性提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

精炼棕榈硬脂(熔点50~56℃),装货港为印度尼西亚KUMAI港,装载提单总质量2 999.431 t,载货船为JIAN AN 81油轮,卸货港为江苏张家港口岸东海粮油码头,卸入东海粮油罐区3008号岸罐。

经国家计量部门标定并在有效期内的计量岸罐,量油尺,数字温度计,取样器,Anton Paar DMA4500密度仪。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 油品抽样

按照GB/T 5524—2008对油品进行抽样。

#### 1.2.2 油样密度测定

按照ASTM D4052—18a方法测定油样密度。

#### 1.2.3 密度温度系数( $\gamma$ )的确定

液体的密度温度系数( $\gamma$ )是液体温度每变化1℃时密度的变化值,因液体的密度一般随温度的增大而减小,故用式(1)表示 $\gamma$ 。

$$\gamma = (\rho_{t_0} - \rho_t) / (t - t_0) \quad (1)$$

式中: $\rho_{t_0}$ 为液体在基点温度 $t_0$ 时的密度; $\rho_t$ 为液体在温度 $t$ 时的密度。

以温度( $x$ )为横坐标、密度( $y$ )为纵坐标,对密度和温度的相关关系按照最小二乘法进行线性回归,得到回归方程(2)。

$$y = a + bx \quad (2)$$

式中: $a$ 、 $b$ 为回归系数。

根据式(2), $\gamma = -b$ 。

#### 1.2.4 密度修正法计量货物质量

按照参考文献[2],采用密度修正法计算精炼棕榈硬脂质量。根据式(1)可以得到:

$$\rho_t = \rho_{t_0} - \gamma(t - t_0) \quad (3)$$

根据式(3),已知基点温度( $t_0$ )、基点温度下的密度( $\rho_{t_0}$ )、密度温度系数( $\gamma$ ),就可以得到某岸罐实测液油温度时的密度( $\rho_t$ )。

在我国,一般所讲的密度是指物体在真空中的密度。岸罐液油质量( $m$ )计算公式如下:

$$m = V_t \times (\rho_t - \beta) \quad (4)$$

式中: $V_t$ 为某温度 $t$ 下的液体体积; $(\rho_t - \beta)$ 为某温度 $t$ 下的液体计量密度; $\rho_t$ 为某温度 $t$ 下的液体真空密度; $\beta$ 为空气浮力修正值,一般取0.001 1 t/m<sup>3</sup>。

以岸罐作为计量容器进行容量计量,岸罐需经计量检定合格。通过量油尺测定其内装液体货物的液位,可求取液体的体积,通过数字温度计测定其温度,按式(3)求取实测液温密度,经必要的修正后按式(4)即可计算出液体货物质量。

#### 1.2.5 体积温度系数( $f$ )的确定

液体因温度改变有胀缩现象,其变化能力为等压下单位温度变化所导致的体积变化。液体的体积温度系数( $f$ )是当液体温度升高或降低1℃时液体体积的相对变化值,用式(5)表示。

$$f = (V_t - V_{t_0}) / [V_t \times (t - t_0)] \quad (5)$$

式中: $V_{t_0}$ 为液体在基点温度 $t_0$ 时的体积; $V_t$ 为液体在温度 $t$ 时的体积。

根据质量不变的定律和式(4),分别得到 $V_{t_0} = m / (\rho_{t_0} - \beta)$ 和 $V_t = m / (\rho_t - \beta)$ ,代入式(5),得到:

$$f = (\rho_{t_0} - \rho_t) / [(\rho_{t_0} - \beta) \times (t - t_0)] \quad (6)$$

将式(1)代入式(6),得到:

$$f = \gamma / (\rho_{t_0} - \beta) \quad (7)$$

从式(7)可以看出,体积温度系数( $f$ )与密度温度系数( $\gamma$ )成正比,当基点温度密度( $\rho_{t_0}$ )一定时,若 $\gamma$ 趋于常数, $f$ 也趋于常数。

#### 1.2.6 基于体积温度系数法求体积

将式(5)变形为:

$$V_{t_0} = V_t \times [1 - f(t - t_0)] \quad (8)$$

根据式(8),已知某岸罐实测液体温度 $t$ 时的体积 $V_t$ 、体积温度系数 $f$ ,可求得基点温度体积 $V_{t_0}$ 。

将式(8)变形为:

$$V_t = V_{t_0} / [1 - f(t - t_0)] = V_{t_0} \times [1 + f(t - t_0)] /$$

$$[1 - f^2(t - t_0)^2]$$

由于  $f$  的数值极小(一般为  $10^{-4}$  级),故当温度变化区间不大时,  $f^2(t - t_0)^2$  可舍去,则有:

$$V_i \approx V_{i0} \times [1 + f(t - t_0)] \quad (9)$$

根据式(9),已知基点温度( $t_0$ )下的体积( $V_{i0}$ )、体积温度系数( $f$ ),就可以估算出设置温度  $t$  下的液体体积( $V_i$ ),这种体积计算方法称为体积温度系数法。

### 1.2.7 成对体积的检验分析

参照文献[3]的方法,建立同一温度下密度推算算法计算的体积[已知货物质量以及测定密度,按式(4)计算]与体积温度系数法计算的体积差异与方差表,设理论差异的显著水平 0.05,可按式(10)计算  $t$  值。

$$t = \bar{d} / (S_D / \sqrt{n}) \quad (10)$$

$$S_D^2 = \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2 / (n - 1) \quad (11)$$

式中: $\bar{d}$  为体积差均值; $S_D^2$  为体积差方差; $n$  为体积差样本数; $d_i$  为体积差。

## 2 结果与讨论

### 2.1 整点温度油样的密度

对该批精炼棕榈硬脂抽取代表性样品,实验室测定其熔点为  $52.6^\circ\text{C}$ ,为保持棕榈油的品质和流动性,常规精炼棕榈硬脂的保存温度一般控制在  $60 \sim 70^\circ\text{C}$ ,设置测定温度范围为  $60 \sim 75^\circ\text{C}$ ,每隔  $1^\circ\text{C}$  作为一个温度点,然后用密度仪测定其密度,结果见表 1。

表 1 温度和密度关系

温度/ $^\circ\text{C}$	测定密度/ $(\text{t}/\text{m}^3)$	回归密度/ $(\text{t}/\text{m}^3)$	差值/ $(\text{t}/\text{m}^3)$
60	0.882 2	0.882 2	0.000 0
61	0.881 6	0.881 6	0.000 0
62	0.880 9	0.880 9	0.000 0
63	0.880 2	0.880 2	0.000 0
64	0.879 5	0.879 5	0.000 0
65	0.878 9	0.878 9	0.000 0
66	0.878 2	0.878 2	0.000 0
67	0.877 5	0.877 5	0.000 0
68	0.876 8	0.876 9	0.000 1
69	0.876 2	0.876 2	0.000 0
70	0.875 5	0.875 5	0.000 0
71	0.874 8	0.874 8	0.000 0
72	0.874 2	0.874 2	0.000 0
73	0.873 5	0.873 5	0.000 0
74	0.872 8	0.872 8	0.000 0
75	0.872 2	0.872 2	0.000 0

由于精炼棕榈硬脂熔点较高,常规熔点为  $50 \sim 56^\circ\text{C}$ ,所以习惯取  $60^\circ\text{C}$  为基点温度。从表 1 可知,本批精炼棕榈硬脂在  $60^\circ\text{C}$  的实测基点温度密度为  $0.882 2 \text{ t}/\text{m}^3$ 。

### 2.2 密度温度系数( $\gamma$ )回归分析

用最小二乘法对表 1 棕榈油测定密度数据进行回归分析,得到  $60 \sim 75^\circ\text{C}$  时精炼棕榈硬脂密度线性回归方程  $y = 0.922 491 912 - 0.000 671 176x$  (相关系数为 0.999 950 94),故  $\gamma = 0.000 671 176 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ 。精炼棕榈硬脂温度与密度回归方程的相关系数为 0.999 950 94,接近 1,说明精炼棕榈硬脂密度与温度呈现较好的线性关系,趋于常数,是油脂的一个特性值,在一定温度范围内,通常可将密度温度系数当作不随温度变化而变化的定值。

应用上述回归方程求得  $60 \sim 75^\circ\text{C}$  时的回归密度,结果见表 1。将回归密度与测定密度比较,最大差值为  $0.000 1 \text{ t}/\text{m}^3$  (见表 1),说明回归密度与实测密度很接近,回归方程可用。

### 2.3 卸入岸罐货物质量计量

对卸入 3008 号岸罐的精炼棕榈硬脂进行液位和液温测量,测得液位为  $13.157 \text{ m}$ ,液温为  $66.1^\circ\text{C}$ 。

已知  $\rho_{60} = 0.882 2 \text{ t}/\text{m}^3$ ,  $\gamma = 0.000 671 176 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $t = 66.1^\circ\text{C}$ ,根据式(3)求得  $\rho_{66.1} = 0.878 1 \text{ t}/\text{m}^3$ 。

已知液位  $13.157 \text{ m}$ ,经岸罐静压力修正,最终查得 3008 号岸罐液体体积( $V_{66.1}$ )为  $3 389.819 \text{ m}^3$ 。

根据式(4)求得卸入 3008 号岸罐货物质量为  $2 972.871 \text{ t}$ 。

### 2.4 体积温度系数法计算基点温度体积

已知  $\gamma = 0.000 671 176 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $\rho_{i0} = 0.882 2 \text{ t}/\text{m}^3$ ,  $\beta = 0.001 1 \text{ t}/\text{m}^3$ ,根据式(7)求得  $f = 0.000 761 748 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 。

已知  $V_{66.1} = 3 389.819 \text{ m}^3$ ,  $f = 0.000 761 748 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $t = 66.1^\circ\text{C}$ ,  $t_0 = 60^\circ\text{C}$ ,根据式(8)求得  $V_{60} = 3 374.068 \text{ m}^3$ 。

### 2.5 体积差异分析

已知  $m = 2 972.871 \text{ t}$ ,  $\beta = 0.001 1 \text{ t}/\text{m}^3$  以及不同温度下的测定密度(见表 1),根据式(4)得到不同温度下的体积  $V_1$ ;已知  $V_{60} = 3 374.068 \text{ m}^3$ ,  $f = 0.000 761 748 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $t_0 = 60^\circ\text{C}$ ,根据式(9)得到不同温度下的体积  $V_2$ ,结果见表 2。

表2 密度推算法体积与体积温度系数法体积差异

温度/℃	$V_1/\text{m}^3$	$V_2/\text{m}^3$	$(V_1 - V_2)/\text{m}^3$	$(d_i - \bar{d})^2$
60	3 374.045	3 374.068	-0.023	0.004 900
61	3 376.344	3 376.638	-0.294	0.116 281
62	3 379.030	3 379.208	-0.178	0.050 625
63	3 381.721	3 381.779	-0.057	0.010 816
64	3 384.416	3 384.349	0.067	0.000 400
65	3 386.729	3 386.919	-0.190	0.056 169
66	3 389.432	3 389.489	-0.057	0.010 816
67	3 392.139	3 392.059	0.080	0.001 089
68	3 394.851	3 394.630	0.221	0.030 276
69	3 397.179	3 397.200	-0.021	0.004 624
70	3 399.898	3 399.770	0.128	0.006 561
71	3 402.622	3 402.340	0.282	0.055 225
72	3 404.960	3 404.910	0.050	0.000 009
73	3 407.693	3 407.480	0.212	0.027 225
74	3 410.429	3 410.051	0.378	0.109 561
75	3 412.778	3 412.621	0.157	0.012 100

注: $\bar{d}=0.047 \text{ m}^3$

根据式(10)、(11)以及表2数据,得到 $t=1.033$ 。样本数为16,自由度为15,查得 $t$ 分布表 $t_{\alpha/2}(15)=t_{0.025}(15)=2.131$ , $t=1.033 < 2.131$ ,表明体积温度系数法求得的体积与密度推算法求得的体积没有显著差异。

## 2.6 配载罐容可靠性分析

同一温度船方提供的货物积载体积与实到岸罐体积存在差异,除了与船舱计量与岸罐计量方式不同外<sup>[4]</sup>,还与卸货过程中损耗等因素有关<sup>[5]</sup>。由于配载接卸岸罐须在卸货前完成,估算配载拟卸货物体积暂以船方提供的货物积载体积为基础。

本例船方船舱积载图显示该批精炼棕榈硬脂积载体积61℃时为3 396.175 m<sup>3</sup>,如果要求船方对液油预设加温到70℃,根据式(8)和式(9)估算出70℃时拟卸液油体积为3 419.439 m<sup>3</sup>,东海粮油罐区为其配置了最大容量4 137.789 m<sup>3</sup>的3008号岸罐,估算70℃时拟卸液油体积占最大罐容的82.6%,在内设90%安全系数范围内,该号岸罐可以安全使用。

## 3 结论

通过数理统计方法对该批进口精炼棕榈硬脂不同温度相应体积变化关系的研究表明,在60~75℃

范围内,体积温度系数法求得的体积与密度推算法求得的体积没有显著差异。运用体积温度系数法求取预设温度体积要求对基点温度取值合理,一般设置在常规保存温度范围内,且预设温度与基点温度相差不大,计算实际质量时以实测液位求得的体积为准。

本研究探明了精炼棕榈硬脂温度与体积的关系,有助于储油罐区提前估算拟卸液油到罐体积,合理配载接卸岸罐,提高岸罐使用效率,避免发生卸入岸罐液油溢冒事故。

## 参考文献:

- [1] 刘一军. 进口精炼棕榈油温度和密度线性关系的探讨[J]. 中国油脂,2002,27(5):43-45.
- [2] 刘扬睿,汤宏兵. 进出口商品鉴定专业基础[M]. 北京:中国标准出版社,2007:189-234.
- [3] 盛骤,谢式千,潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京:高等教育出版社,2010:183-187.
- [4] 张烁,刘伟. 岸罐与船舱交接误差分析[C]//全国进出口商品基础鉴定工作研究论文集. 北京:中国标准出版社,2007:140-144.
- [5] 刘燕波. 进口 BENCHMAS 原油短量成因例析及对策[C]//全国进出口商品基础鉴定工作研究论文集. 北京:中国标准出版社,2007:41-45.