

航空煤油单滴汽化历史的计算法

北京航空航天大学 李汝辉 张振堂 董耀德

【摘要】 本文提出了计算多组份燃料单滴汽化历史的一个可靠实用的新方法。文中将煤油视为十种虚拟组份构成的多组份混合物，并推荐了虚拟组份有关物性参数的计算方法，用作者发展的多组份液滴汽化方程组，计算了三种国产航空煤油滴的汽化历史，计算结果与实验数据吻合很好。

一、虚拟组份法

将煤油(或其它油份)在高效精馏塔中蒸馏，把各个馏出容积百分数 $V\%$ 及对应的塔顶温度 T_b 值，在 $T_b-V\%$ 坐标系中依次点画连成曲线，即得煤油的真沸点蒸馏曲线，如图1中的曲线所示。此曲线示出组成煤油的各成份依其常沸点高低馏出的次序及其蒸馏速率大小。

为了方便起见，将图1中的横坐标 $V\%$ 分为十等分，馏出容积百分数从0~10%为第1种组份，从10~20%为第2种组份，依此类推。图1中的每一横线段表示一种虚拟组份，例如线段 AB 表示第5种虚拟组份，其常沸点等于馏出容积为45%时的真沸点温度 T_{b5} ，所占容积百分数为10%。

在一般实验室条件下，对煤油作一次恩氏(或ASTM)蒸馏曲线，要比作一次真沸点蒸馏曲线要简单容易得多。但是，如果已知煤油的比重 $d_{15.6}^{15.6}$ (即在相同容积下，15.6℃的煤油和15.6℃的水的重量之比)和它的恩氏蒸馏曲线及其特性因素 K_{UOP} ，就可以按照文献[1]或[2]中的公式，计算出各虚拟组份的真沸点温度 T_{bi} ($i=1, 2, \dots, 10$)、比重 $(d_{15.6}^{15.6})_i$ 、分子量 M_i 和摩尔分数 y_{i0} 。

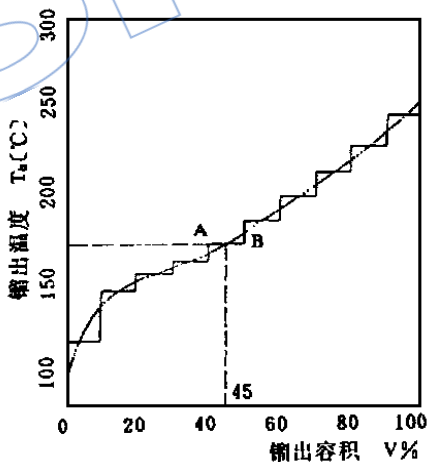


图1 某航空煤油的真沸点蒸馏曲线

文献[3]中列出了真沸点蒸馏曲线各段的温度差与恩氏蒸馏曲线各段的温度差的关系图。北京炼油设计研究院陈志奎同志提供了将原油或煤油的恩氏蒸馏曲线转换为真沸点蒸馏曲线，再按真沸点蒸馏曲线分割为任意等分的虚拟组份的程序“NEWH, MAIN”。用此程序对某航空煤油分割为十种虚拟组份，并得到各虚拟组份的特性参数，如表1所示。

应当指出：煤油的比重 $d_{15.6}^{15.6}$ 、恩氏蒸馏曲线及其特性因素 K_{UOP} ，一般由炼油厂给出，在实验室中也容易测得。

表 1 某航空煤油各虚拟组份特性参数表

第 i 种 虚拟组份	馏出容积 百分数 $V\%$	真沸点温度 T_{bi} ($^{\circ}\text{C}$)	分子量 M_i	比重 ($d_{4}^{15.6}$) $_i$	摩尔分数 y_i
1	5	117. 6	110. 5	0. 7663	0. 1265
2	15	148. 5	127. 3	0. 7797	0. 1118
3	25	156. 6	132. 1	0. 7831	0. 1082
4	35	160. 7	134. 5	0. 7849	0. 1065
5	45	1710	140. 8	0. 7892	0. 1023
6	55	183. 3	148. 7	0. 7943	0. 0975
7	65	195. 7	156. 9	0. 7994	0. 0930
8	75	208. 1	165. 4	0. 8044	0. 0887
9	85	219. 9	173. 9	0. 8091	0. 0849
10	95	234. 1	184. 5	0. 8147	0. 0806

二、虚拟组份的物性参数

只有前面谈及的虚拟组份的特性参数是不够的。每种虚拟组份的真沸点 T_{bi} 、比重 $d_{4}^{15.6}$ 、分子量 M_i 、和摩尔分数 y_i 均不相同，则各种虚拟组份的其它物性参数必不相同。由后面的论述中可以看到，在煤油滴汽化计算中要用到各种虚拟组份的物性参数有：液体密度 ρ_{ei} 、液体密度的温度系数 β_{ei} 、液体比热 C_{pei} 、汽化潜热 L_i 、饱和蒸汽压力 p_{si} 、气体定压比热 C_{pgi} 、气体粘性系数 μ_{gi} 、气体导热系数 λ_{gi} 、蒸气对空气的扩散系数 D_{ai} 等随温度的变化关系式，有的参数还与压力有关。这些关系式由文献 [4] 和 [5] 查取。北京炼油设计研究院尹承仁同志为本研究提供了计算各种虚拟组份物理参数的子程序“NEWH, PHYS”。

三、航空煤油单滴汽化历史的计算

将煤油分割为十个虚拟组份，并把有关十种虚拟组份的物性参数代入作者发展的多组份液滴汽化历史的计算方程组，则可获得液滴温度和液滴半径随时间的变化过程。该方程组为：

$$\begin{aligned} dm_i/d\theta &= -2\pi r_s D_{ia} M_i / R T_m \cdot p_{fi} \cdot Sh \cdot z \\ \frac{dT_l}{d\theta} &= \frac{2\pi r_s \lambda_m (T_a - T_l)}{m_l C_{pl}} \cdot Nu \cdot Z + \frac{1}{m_l C_{pl}} \sum \left[L_i \frac{dm_i}{d\theta} \right] \\ \frac{dr_s}{d\theta} &= \frac{r_s}{3m_l} \left[\sum \frac{dm_i}{d\theta} \right] - \frac{r_s}{3} \cdot \frac{dT_l}{d\theta} \left[\sum \left(\frac{g_i \beta_i}{\rho_{li}} \right) / \sum \left(\frac{g_i}{\rho_{ei}} \right) \right] \\ i &= 1, 2, \dots, 10 \end{aligned}$$

式中 m_i 为第 i 种虚拟组份的质量， R 为通用气体常数， T_l 和 T_a 为液滴温度和气流温度， T_m 为膜层平均温度， $T_m = (T_a - T_l) / \ln (T_a - T_l)$ ， r_s 为液滴半径， Sh 为舍伍德数， $Sh = 2 + 0.6 Re^{1/2} \cdot Sc^{1/3}$ ， Z 为传质因子， $Z = (Pr / p_f) \ln [Pr / (Pr - p_f)]$ ， Pr 为环境总压力， p_f 为煤油蒸汽压力， $p_f = \sum p_{fi}$ ， m_l 为液滴质量， $m_l = \sum m_i$ ， c_{pl} 为液滴平均比热， $Nu = 2 + 0.6 Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}$ ， Z 为传热修正因子， $Z = z / (e^z - 1)$ ， $z = \left[\sum \left(c_{pli} \frac{dm_i}{d\theta} \right) \right] / (2\pi r_s \lambda_m Nu)$ ， θ 为时间， L_i 、 g_i 、 ρ_{li} 和 β_i 分别表示第 i 种虚拟组份的汽化潜热、质量分数、液体密度和液体密度的温度系数。

作者对数种国产煤油做了研究。各种煤油都分别在相同条件下，作了液滴汽化历史的实验和计算。图 2~4 在相同环境压力 $Pr (= 101858\text{Pa})$ 和气流相对速度 $U (= 3.37\text{m/s})$ 的条件下，给出甲、乙、丙三种国产航空煤油液滴汽化历史的结果。图中的 T_{l0} 和 r_{s0} 分别表示液滴的初始

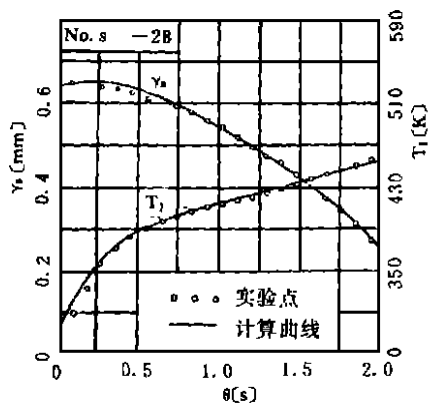


图2 航空煤油甲液滴汽化历史的计算曲线与实验数据

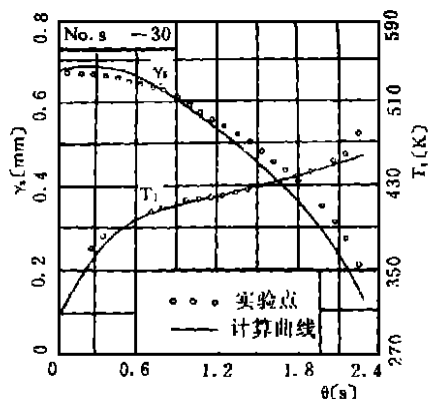


图3 航空煤油乙液滴汽化历史的计算曲线与实验数据

温度和初始半径。图2中的 $T_a = 730.9\text{K}$, $T_{lo} = 293.2\text{K}$, $r_{so} = 0.644\text{mm}$ 。图3中 $T_a = 734.1\text{K}$, $T_{lo} = 298\text{K}$, $r_{so} = 0.667\text{mm}$ 。图4中的 $T_a = 732.5\text{K}$, $T_{lo} = 293.2\text{K}$, $r_{so} = 0.571\text{mm}$ 。

由上面引用的三种煤油的研究举例可清楚看到, 各种煤油滴汽化的计算结果和实验数据均吻合得相当好。这说明文中提出的计算方法, 包括虚拟组份的分割、虚拟组份的物性计算和多组份液滴汽化方程组都是可靠的。这个方法也是更合理、更便于工程实用的。因为人们习惯使用的用单组份方法处理多组份液滴汽化问题的方法, 既不反映真实情况又有很大局限性, 更不易满足日益发展的各种多组份燃料的分析与计算的需要。所以, 本方法的提出无疑会大大促进各种燃料性质的研究, 推动燃烧物理的研究, 优化热力装置的设计, 以及大气环境的控制等。

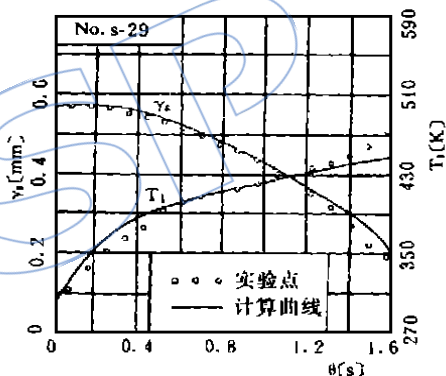


图4 航空煤油丙液滴汽化历史的计算曲线与实验数据

参 考 文 献

- [1] Hariu, O. H. and Sage, R. C., "Hydrocarbon Processing," Vol. 48, P. 143, 1969.
- [2] 陈志奎、冯尚禧, "以虚拟组份法计算油品分馏塔," "石油炼制"杂志, 第1期, 第46页, 1980年。
- [3] 石油化工设计参考资料(二), "工艺计算图表," 燃化部石油化工设计院, 1971年。
- [4] "石油馏份部分物理性质 TQ-16 机计算过程," 石化部炼油设计院计算机室, 1978年5月。
- [5] 石油化工技术情报专题资料, "物性数据库(一), 基础数据及计算方法," 北京燕山石油化学总公司设计院, 1979年5月。

TECHNICAL NOTES

CALCULATION FOR EVAPORATION OF AEROKEROSENE PROPLET

Li Ruhui Zhang Zhentang, Dong Yaode

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics)

ABSTRACT

This paper describes a new method for calculating the evaporation history of a droplet of multicomponent fuel. In this method kerosene is treated as a multicomponent fuel posed of ten fictitious components. The calculation is done by applying configuration of Kerosene Distillation. Also a new method is introduced to find the physical properties of the fictitious components. Finally, the method is developed to calculate the evaporation history of a multicomponent liquid droplet by means of the evaporation equations. It is a more reliable and practical method than that used before. Some computational results are presented for three kinds of Chinese Aviation Kerosene, and compared to data obtained from our experiments favourably.

THE EFFECT OF SWIRLER

ON SHORT REVERSAL-FLOW ANNULAR COMBUSTOR

Hong Yan (*Nanhua Powerplant Research Institute*)

ABSTRACT

A short reversal-flow annular combustor has been tested with three different flame liner heads. The gas parameters of exit-section are detected by a turning measuring system, and data are processed by a PC-8001 microcomputer. Experimental results of efficiency, temperature field of exit-section, flame stabilization and pressure loss are presented. The effect of a swirler on the short reversal-flow annular combustor is illustrated by comparison and analysis. The experimental study shows that it is suitable to install a swirler on the flame liner head in a short reversal-flow annular combustor. This method can improve the combustor performance greatly. However, it should be noted that when a swirler is installed, its direction angle ought not to be too big, otherwise, as a result, carbon deposit will emerge, the swirler will give a negative effect on the combustor.

RESEARCH ON EVAPORATION PERFORMANCE FOR FUEL SPRAY VAPORIZER

Jiang Yijun (*Gas Turbine Establishment*)

ABSTRACT

A way to construct a clean combustor with high performance and low contamination is proposed by means of installation with beforehand mixing and evaporating. Direct measurement or accurate calculation of the evaporation rate in the evaporation installation is very difficult. According to energy relation, calculation is made based on the quasi-steady state evaporation model at the angle of engineering use. The concept of greatest