

# 用迭代法实现《石油计量表》转换 EXCEL 上的应用

汪 楚 尧

(中国石化抚顺石化公司, 辽宁 抚顺 113008)

**摘 要:** 上世纪 80 年代, 美国石油学会(API)、英国石油学会(IP)和美国材料与试验协会(ASTM)合作开发了石油计量表, 明确指出石油产品各个类别在基准温度下其膨胀系数与基准温度下的密度之间存在的数学关系, 并制订形成 API Standard 2540、IP 200、ASTM-D1250 系列标准。后来, 这些标准得到国际标准 ISO-91/1 的支持。现行标准 GB/T1885-1998《石油计量表》1998 年 6 月获国家质量技术监督局批准, 1999 年 3 月实施。该标准引用国际标准 ISO-91/1 石油计量表第一部分(以 15 °C 和 60 °F 为标准温度的表), 采用 20 °C 作为标准温度, 主要包括标准密度表和体积修正系数表两部分, 按照原油、石油产品和润滑油分别建表。介绍了如何用计算机办公软件实现《石油计量表》的自动换算功能。

**关 键 词:** 标准密度; 体积修正系数; 数学方程; 迭代

中图分类号: TQ 018

文献标识码: A

文章编号: 1671-0460 (2014) 06-1103-03

## Realization of Converting the "Petroleum Measurement Meter" into EXCEL by Iterative Method

WANG Chu-yao

(Fushun Petrochemical Company, Liaoning Fushun 113008, China)

**Abstract:** In the 1980s, the American Petroleum Institute (API), the British Institute of Petroleum (IP) and the American Society for Testing and Materials (ASTM) developed the petroleum measurement meter, and mathematical relationship between expansion coefficient and density of petroleum products under reference temperature was pointed out, and standards of API Standard 2540, IP 200, ASTM-D1250 were formulated. Later, these standards were supported by the international standard ISO-91/1. Current standard GB/T1885-1998 "petroleum measurement meter" was approved by the State Quality and Technical Supervision in June 1998, was implemented in March 1999. The standard referenced to the first part of the international standard ISO-91/1 petroleum measurement meter (using 15 °C and 60 °F as standard temperature), used 20 °C as standard temperature, included two parts of standard density meter and volume correction factor, the tables of the crude oil, petroleum products and lubricants were respectively built. In this article, how to use office software to realize automatic conversion of the "petroleum measurement meter" was discussed.

**Key words:** Standard density tables; Volume correction factor table; Mathematical relationships

目前为止, 我国石油行业普遍采用的计量结算方式分为体积法和质量法两种, 贸易交接时两种方式经常需要相互转换, 转换的过程参数标准密度  $\rho$  和体积修正系数 VCF 是需要查表得到, 由于试验数据的多变性, 多数情况下需要引入内插法进行计算。这种手动计算的过程枯燥而繁琐, 且容易发生错误, 大大降低了工作效率<sup>[1,2]</sup>。对于千万吨级的炼油企业来说密度每相差 0.000 1 g/mL (0.1 kg/m<sup>3</sup>) 就直接影响经济效益百万余元。如果能通过计算机实现自动转换就可以轻松的解决该问题了。本文以计算机办公软件 EXCEL 为平台, 用迭代法实现了

《石油计量表》的自动转换代替了人工查表。提高了数据精度、方便了计量管理。实现无需编程, 简单易懂。

## 1 数学模型

### 1.1 方程建立

根据国际标准 ISO91-1 中, 标准温度为 15 °C 的体积修正系数方程<sup>[3]</sup>如下:

$$VCF_{15} = e^{-\alpha_{15} \Delta t (1 + 0.8 \alpha_{15} \Delta t)} \quad (1)$$

式中:  $e$ —自然对数的底数, 无量纲;

$\Delta t$ —计量温度  $t$  与 15 °C 的差值, °C;

$\alpha_{15}$ —标准温度 15 °C 的石油体积膨胀系数, m/K;

收稿日期: 2014-05-06

作者简介: 汪楚尧 (1983-), 男, 辽宁抚顺人, 助理工程师, 2008 年毕业于辽宁石油化工大学计算机科学技术专业, 研究方向: 从事石油计量工作。E-mail: wangcy-ye@petrochina.com.cn。

$t$ —计量温度,℃。

标准温度 15℃ 的石油体积膨胀系数方程<sup>[3]</sup>如下:

$$\alpha_{15} = \frac{K_0}{\rho_{15}^2} + \frac{K_1}{\rho_{15}} + A \quad (2)$$

式中:  $K_0$ —常数;

$K_1$ —常数;

$A$ —常数;

$\rho_{15}$ —石油 15℃ 的密度, kg/m<sup>3</sup>。

## 1.2 引用标准

国际标准 ISO91-1 中按照石油标准密度的区间划分了体积膨胀系数中  $K_0$ 、 $K_1$ 、 $A$  的值<sup>[3]</sup>, 如下表 1。

表 1 石油体积膨胀系数表  
Table1 The oil volume expansion coefficient table

石油种类	15℃密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	$K_0$	$K_1$	$A$
原油	610.6~1163.5	613.972 3	0	0
汽油	610.6~770.3	346.422 8	0.438 8	0
过渡区	770.3~787.5	2 680.321	0	-0.003363 12
航煤	787.5~838.3	594.541 8	0	0
柴油燃油	838.3~1163.5	186.969 6	0.486 2	0
润滑油	800.9~1163.5	0	0.627 8	0

## 2 逻辑演算

按照公式分别推导出石油 15℃ 标准密度  $\rho_{15}$ 、20℃ 标准密度  $\rho_{20}$ 、20℃ 体积修正系数  $VCF_{20}$ 。

### 2.1 $\rho_{15}$ 求法

在编制石油计量表时, 涉及到两项修正: 玻璃密度计的热膨胀修正、油品的热膨胀修正。根据实际密度 = 视密度 × 视密度补偿系数, 得到:

$$\rho_t = \rho' \times [1 - 2.3 \times 10^{-5} (t - 20) - 2 \times 10^{-8} (t - 20)^2] \quad (3)$$

式中:  $\rho_t$ —实际密度, kg/m<sup>3</sup>;

$\rho'$ —视密度, kg/m<sup>3</sup>;

$1 - 2.3 \times 10^{-5} (t - 20) - 2 \times 10^{-8} (t - 20)^2$ —视密度补偿系数

$$VCF_{15} = \frac{\rho_t}{\rho_{15}} \quad (4)$$

式中:  $VCF_{15}$ —标准温度为 15℃ 的体积修正系数;

$\rho_t$ —实际密度, kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_{15}$ —石油 15℃ 的密度, kg/m<sup>3</sup>

根据 (3)、(4) 得到:

$$\rho_{15} = \frac{\rho' (1 - 2.3 \times 10^{-5} (t - 20) - 2 \times 10^{-8} (t - 20)^2)}{e^{-\alpha_{15} \Delta t (1 + 0.8 \alpha \Delta t)}} \quad (5)$$

假设  $\rho'$  的值赋给  $\rho_{15}$ , 求出的值再赋给  $\rho_{15}'$  (通过循环引用得到的  $\rho_{15}$  新值), 通过迭代使  $\rho_{15}$  与  $\rho_{15}'$  差值的绝对值小于给定的收敛精度, 求出  $\rho_{15}$  的真值<sup>[4]</sup>。

### 2.2 $\rho_{20}$ 求法

根据  $VCF_{15} = \frac{\rho_{20}}{\rho_{15}}$ , 得到方程式:

$$\rho_{20} = \rho_{15} \times e^{-\alpha_{15} \Delta t (1 + 0.8 \alpha \Delta t)} \quad (6)$$

式中:  $\rho_{20}$ —石油 20℃ 的密度, kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_{15}$ —石油 15℃ 的密度, kg/m<sup>3</sup>。

### 2.3 $VCF_{20}$ 求法

根据  $VCF_{20} = \frac{\rho_t}{\rho_{20}} = \frac{\rho_{15} \times VCF_{15}}{\rho_{20}}$ , 导出

$$VCF_{20} = \frac{\rho_{15} \times e^{-\alpha_{15} \Delta t (1 + 0.8 \alpha \Delta t)}}{\rho_{20}} \quad (7)$$

式中:  $VCF_{20}$ —标准温度为 20℃ 的体积修正系数。

## 3 基于 EXCEL 平台的实现

众所周知 EXCEL 功能强大, 集成了 VBA (Microsoft Visual Basic 的宏版本) 利用它可以把上面的公式写成宏语言实现转换, 可是大部分从事计量工作的人员不具备编程能力, 实现困难, 且移植性较差。笔者在本文中采用的方法简单易懂, 可以达到和使用 VBA 一样的效果<sup>[5]</sup>。

### 3.1 制表

首先建立一个名为“石油计量表”的 excel 工作表, 该表格我们使用 8 行 9 列。填充内容如图 1 所示。

图 1 《石油计算器》EXCEL 表格建立 1 阶段  
Fig.1 "oil calculator" EXCEL form to build the 1 phase

### 3.2 制作算法

以原油为例, 填写算法的顺序依次为:  $\rho_{15}$ 、 $\rho_{20}$ 、 $VCF_{20}$  (顺序必须正确)。

#### 3.2.1 $\rho_{15}$ 求法

选择 excel 功能栏的“工具”→“选项”→“重新计算”, 在“计算”勾选“自动计算”, “迭代计算”, 最多迭代次数设为 99, 最大误差 (收敛精度) 为 0.000 001, 点“确定”。在 F2 栏输入公式 (5), 假设 E2 为待求值  $\rho_{15}$ , 将表 1 中各值代入计算式, 使其值为:  $=B2*(1-2.3*10^{-5}*(C2-15)-2*10^{-8}*(C2-15)^2)/EXP((-613.9723/(E2)^2*(C2-15))*(1+0.8*(C2-15)*613.9723/(E2)^2))$

在 B2、C2 中输入已知值 (如 777,33), 在 E2 栏输入待求值, 假设为 777, 这时 F2 变成了 791.23, 再将 E2 栏设为与 F2 相等后, 会发现 E2、F2 经过 N 次迭代后得到同为 790.72 的值, 即所求  $\rho_{15}$  的真

值。(注意要按上面操作顺序执行,否则会报错)。

### 3.2.2 $\rho_{20}$ 求法

在 I2 栏输入公式(6),使其值为:

$=F2*EXP((-613.972\ 3/F2^2*5)*(1+0.8*5*613.972\ 3/F2^2))$ ,

在 D2 栏输入公式(3),使其值为:

$=(1-2.3*10^{-5}*(15-20)-2*10^{-8}*(15-20)^2)*I2$ ,即 D2 为所求  $\rho_{20}$  的真值。如下图所示:

### 3.2.3 VCF<sub>20</sub> 求法

在 H2 栏输入公式(7),使其值为:

$=F2*EXP((-613.972\ 3/(F2)^2*(G2-15))*(1+0.8*(G2-15)*613.972\ 3/(F2)^2))/I2$

在 G2 栏输入已知值(如 33)即 H2 为所求 VCF<sub>20</sub> 如图 2 所示:

图 2 《石油计算器》EXCEL 表格建立 2 阶段  
Fig.2 "oil calculator" EXCEL form to build the 2 phase

### 3.2.4 生成总表

根据上面的制作顺序,依次生成 A2-A8 行(不含 A3 行),如图 3 所示。

图 3 《石油计算器》EXCEL 表格建立 3 阶段  
Fig.3 "oil calculator" EXCEL form to build the 3 phase

## 3.3 整理表格

为简化在成品油换算时的筛选过程,将 A4、A5、A6、A7 作为一个元素集映射到 A3,实现过程如下:

在 B3、C3、G3 中分别输入已知值(如 777, 33, 33),使 B4、B5、B6、B7=B3;使 C4、C5、C6、C7=C3;使 G4、G5、G6、G7=G3。

由于油品密度区间的不同,导致体积膨胀系数中  $K_0$ 、 $K_1$ 、A 的值各不相同,所以四种成品油的计算式也不同。这里我们使用 excel 的 IF 函数和 AND 函数的组合进行嵌套,实现按油品密度区间自

动筛选待求值。

在 F3 栏输入:

$=IF(AND(F4>=610.6,F4<770.3),E4,IF(AND(F4>770.3,F4<787.5),E5,IF(AND(F4>=787.5,F4<838.3),E6,IF(AND(F4>=838.3,F4<1163.5),E7,0))))$

在 D3 栏输入:

$=IF(AND(F4>=610.6,F4<770.3),D4,IF(AND(F4>770.3,F4<787.5),D5,IF(AND(F4>=787.5,F4<838.3),D6,IF(AND(F4>=838.3,F4<1163.5),D7,0))))$

在 H3 栏输入:

$=IF(AND(F4>=610.6,F4<770.3),H4,IF(AND(F4>770.3,F4<787.5),H5,IF(AND(F4>=787.5,F4<838.3),H6,IF(AND(F4>=838.3,F4<1163.5),H7,0))))$

这样,成品油与汽油、过渡区、航煤、柴油之间的映射关系就建立了,如图 4 所示。

图 4 《石油计算器》EXCEL 表格建立 4 阶段  
Fig.4 "oil calculator" EXCEL form to build the 4 phase

当进行成品油换算的时候,只需要把其视密度及温度输入表中,即可自动筛选出种类对应的密度值。(注:实际使用时,会有较低的概率出现待求值不在筛选区间内,遇到这种情况可使用其下方的分区对照值进行修正即可)该表使用时只需要将石油的视密度、试验温度、计量温度填入指定区域即可直接求出  $\rho_{15}$ 、 $\rho_{20}$ 、VCF<sub>20</sub> 的值。

## 4 结论

本文所制作的 EXCEL 版石油计算器,界面清晰、运算准确,其精确位数优于《石油计量表》所提供的数据。此平台在中国石油抚顺石化公司推广试用,在用于油量结算上已获得了使用部门的认可。另外,该 EXCEL 版石油计算器可存储在笔记本电脑、手机、平板电脑等智能移动设备上,携带十分方便,对于公路运输、铁路运输、海上运输、管道运输的石油产品可随时随地地进行快速、准确的数据统计,真正做到“一键出结果”,避免了人工计算的复杂和失误,保证了石油贸易计量的准确度与工作效率。

(下转第 1108 页)

从图中可以看出,随着初始温度的升高,管道内部压力和速度都有减小的趋势,并且在温度从 25℃到 40℃的过程中,压力与速度都几乎不变,达到了极小值。由此可知,温度只有在小于 25℃时,对该直径的压力管道内部流场影响明显,在温度大于 25℃时,几乎没有影响。

### 3 结 语

(1)利用计算流体力学软件 FLUENT,对压力管道内部流场的变换规律进行了探索,随着管道直径的增加,其内部压力有明显的减小趋势,当直径大于 1 080 mm 时,其内部压力不会进一步减小,有利于减小管道壁的受压;而管道内部速度减小的不明显,并且在管道直径为 1 080 mm 以后,其内部速度不受直径的影响,因此得出结论,对于大口径压力管道,其直径为 1 440 mm 时最有利于液体流动,且管道壁受压力最小。

(2)管道内部流场也会受到温度的影响,随着温度的升高,管道内部压力和速度都有减小的趋势,但这种趋势不明显,在温度大于 25℃时,管道内部流场几乎没有受到影响。

(3)本文只对管道内部流场进行了分析,在今后的研究工作中,还要结合 ANSYS, ABAQUS 等软

件对压力管道进行应力分析,以此对其进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] 姚安林,胡益平,曾祥国,等. 高压输气管道内裂纹相互作用的有限元数值分析[J]. 压力容器, 2011,28(3): 28-32.
- [2] 李振林,姚孝庭,张永学,等. 基于 FLUENT 的高含硫天然气管道泄漏扩散模拟[J]. 油气储运, 2008,27(5): 38-41.
- [3] 王常斌,赵月,贾雪松,等. 热油管道温度场的数值模拟[J]. 管道技术与设备, 2011,3:9-12.
- [4] 龙安厚,张帆,韩帅. 基于 FLUENT 的海底输油管道停输降温数值模拟[J]. 科学技术与工程, 2011,11(34):8474-8476.
- [5] 张圆圆. 利用 FLUENT 软件模拟计算含蜡原油管道的停输降温过程[J]. 管道技术与设备, 2009,6:1-4.
- [6] Zhihe Zhao,H J S Fernando. Numerical simulation of scour around pipelines using an Euler-Euler coupled two-phase model[J]. Environ Fluid Mech,2007,7:121-142.
- [7] 熊莉芳,林源,李世武.  $k-\epsilon$  湍流模型及其在 FLUENT 软件中的应用[J]. 工业加热, 2007,36(4):13-15.
- [8] Xunbo,Lingling Wang. 2D Turbulent Jet Study Based on Fluent[J]. ADVANCES IN WATER AND HYDRAULIC ENGINEERING, 2009,2:608-613.
- [9] 姜小放,曾西京,司振鹏. FLUENT 技术在工业管道设计中的应用[J]. 化工设备与管道, 2009,46(5):46-48.
- [10] 王福军. 计算流体动力学分析—CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [11] 丁珏,翁培奋. 复杂弯曲管道内流体流动特性的研究[D]. 北京:空气动力学前言研究论文集, 2003.

(上接第 1105 页)

#### 参考文献:

- [1] 石油静态和轻烃计量标准化技术归口单位编. 石油计量表, GB/T1885-1998[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [2] 石油静态和轻烃计量标准化技术归口单位编. 石油计量表, 产品部分 GB/T1985-1998 专用[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.

- [3] 陈晓东,程博琛. 实现石油产品体积修正系数自动计算的方法[J]. 科技创新与应用, 2012(14): 1-3.
- [4] 史京军. 基于 EXCEL 环境下迭代法解析初探[J]. 电脑学习, 2008, 12(6): 36.
- [5] 李斌. Excel2010 应用大全[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.

## 三棵树挑起“民营企业第一股”重任

三棵树主营业务为建筑涂料(墙面涂料)、木器涂料以及胶粘剂的研发、生产和销售,公司与嘉宝莉、美涂士等其他涂料企业一直在争夺“民营涂料第一股”的位置,目前来看三棵树暂居上风。招股说明书显示,公司拟登陆上交所,拟采用新股加老股转让的方式公开发行不超过 2500 万股 A 股股票,其中老股转让数量不超过 1000 万股。为满足公司产品战略的客观需要,公司拟募集 3.4 亿元用于投资年产 8 万吨水性涂料扩建等项目。

公司近三年盈利能力持续上升,2011-2013 年公司分别实现净利润 5516 万元、7773 万元和 1 亿元。其中,墙面涂料及木器涂料中的家装木器漆在公司主营业务收入中占比合计达 80%以上,墙面涂料 2011-2013 年销售收入年均复合增长率更是达到了 27.29%。不过,有业内人士提醒投资者,公司所处行业的季节性特征明显,公司经营业绩存在波动较大的风险。