



原油成套计量仪表

YUANYOUCHENGTAOJILIANGYIBIAO

上海科学技术出版社

原油成套计量仪表

《原油成套计量仪表》编著组

上海科学技术出版社

原油成套计量仪表

《原油成套计量仪表》编著组

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张21 插页3 字数508,000

1980年4月第1版 1982年4月第2次印刷

印数3,001—5,000

书号: 15119·2013 定价: 2.00元

前 言

为了适应我国石油工业高速度发展的需要，一九七五年大庆油田与上海市仪器仪表公司等有关单位协作，研制成功了大口径、高压、高精度成套原油计量仪表，并在现场实际应用，性能良好，精度符合国家标准，目前已定型生产，逐步推广。

《原油成套计量仪表》一书，就是在总结大庆油田和上海市仪器仪表公司，研制大口径、高压、高精度成套原油计量仪表，以及大庆油田在原油计量方面多年实践经验的基础上编著的。本书包括绪论和流量计、标准体积管、密度计、原油低含水分析仪、电子计算机和质量计算仪表在原油计量中的应用，原油成套计量仪表的安装设计、施工、试运和投产等，共七篇二十四章。

本书较系统地介绍了原油计量方面的有关知识，原油成套计量仪表的计量原理、结构特征和结构设计，以及原油成套计量仪表的使用、精度的检定等方面的内容；同时，对计量仪表在设计和制造中所需要的理论问题也进行了必要的探讨。

本书是大庆油田科学技术委员会与上海市仪器仪表公司组织编著的。大庆油田科学研究设计院的潘光坦、李鹤龄等同志参加了编写工作。上海自动化仪表一厂、上海自动化仪表九厂、上海第二分析仪器厂、上海调节器厂部分同志参加了校对工作。最后由张斌奎、郭福民同志审核定稿。

大庆石油学院教授曾慕蠡同志参加了本书腰轮流量计、刮板流量计、双管振动式密度计的有关数学公式的推导。本书初稿还请中国计量科学研究院第一力学研究室等有关单位进行了审阅。对他们的大力帮助，在此表示衷心地感谢。

本书主要供从事原油计量工作的科技人员、设计单位的设计人员、化工仪表科技人员及高等院校有关专业的师生参考。

由于编著人员的水平所限，书中错误和不当之处，恳切希望广大读者多提宝贵意见，以便再版时修改。

《原油成套计量仪表》编著组

一九八〇年二月

目 录

第一篇 绪 论

一、原油的收集与贮运	1
二、原油的物理性质	3
三、原油的计量方法	6
四、计量精度	7
五、原油成套计量仪表的检定	12

第二篇 流 量 计

第一章 腰轮流量计	16
第一节 腰轮流量计的计量原理和结构	16
一、腰轮流量计的计量原理	16
二、腰轮流量计的结构特征	18
第二节 腰轮流量计的设计计算	21
一、腰轮转子的形线分析	21
二、腰轮流量计流量的计算	24
三、腰轮流量计转速的计算	28
四、绝对无振动的摆线 45° 角组合腰轮转子流量计	29
第三节 腰轮流量计的结构设计	30
一、腰轮尺寸确定	30
二、壳体 and 上盖	33
三、滑动轴承	33
四、推力轴承	33
五、连接部分	35
第二章 刮板流量计	39
第一节 刮板流量计的结构及原理	39
一、刮板流量计的结构	39
二、刮板流量计的计量原理	39
三、刮板流量计的特点	41
第二节 刮板流量计形线的理论分析	41
一、凹线式刮板流量计形线的理论分析	41
二、凸轮式刮板流量计中曲线方程	48
三、实例	49
第三节 刮板流量计的设计计算	53
一、凸轮式刮板流量计的设计计算	53
二、凹线式刮板流量计的设计计算	56
第三章 容积式流量计表头的结构设计	57
第一节 表头指示的结构设计	57

一、就地指示部分	58
二、远传部分	62
第二节 表头定量计量部分的结构设计	64
一、滚子副组件的动作原理	64
二、底盘控制机构及微动开关	66
第四章 容积式流量计的容差调整	69
第一节 容差调整的原理	69
第二节 容差调整机构	70
一、有级容差调整机构	70
二、无级容差调整机构	73
第五章 容积式流量计的温度补偿	75
第一节 温度补偿的原理	75
第二节 机械式自动温度补偿装置	77
一、超越离合器式的自动温度补偿装置	77
二、摩擦轮式自动温度补偿装置	81
第三节 电路式温度补偿	84
一、工作原理	85
二、参数确定的实例	86
三、动作说明	87
第六章 其它流量计	89
第一节 涡轮流量计	89
一、涡轮流量计的结构和计量原理	89
二、涡轮流量计的使用	91
三、涡轮流量计的有关技术参数	93
第二节 其它容积式流量计	94
一、椭圆齿轮流量计	94
二、旋转活塞式流量计	95
第七章 流量计的显示仪表	96
第一节 容积式流量计——腰轮流量计的显示仪表	96
一、工作原理	96
二、仪表的校验和使用	97
三、主要技术性能	98
第二节 速度式流量计的显示仪表	98
一、工作原理	98
二、调校与使用	100
三、主要技术性能	102
第八章 流量计的附属设备	103
第一节 过滤器	103
一、过滤器的结构	103
二、过滤器的结构设计	103
第二节 消气器	104
一、立式消气器	104
二、卧式消气器	106
三、消气器的设计	107

第三节 定量阀	109
一、定量阀的结构	109
二、工作原理	112

第三篇 标准体积管

第一章 标准体积管的结构设计	116
第一节 标准体积管的结构和工作原理	116
一、标准体积管的结构	116
二、标准体积管的工作原理	119
第二节 标准体积管基本部分的结构设计	120
一、管体部分的结构设计	120
二、检测开关	123
第三节 三球无阀式单向标准体积管特有部分的结构设计	124
一、分离体	124
二、标定球收发机构	125
三、液压系统	125
四、控制台	126
第四节 一球一阀式双向标准体积管特有部分的结构设计	128
一、四通阀	128
二、换向管长度的确定	129
三、收发筒的结构设计	129
四、电气控制部分的设计	131
第五节 一球无阀式单向标准体积管特有部分的结构设计	131
第二章 标定球	134
第一节 标定球的作用、结构和制造用的材料	134
一、标定球的作用	134
二、标定球的结构	134
三、制作标定球的材料	136
第二节 标定球的制作工艺	139
一、球嘴的制作	139
二、球胆的制作	139
三、球嘴与球胆的粘结	140
四、贴胶制球	140
五、球的硫化	140
六、标定球充液	141
第三节 标定球模具的结构设计	142
一、球模的结构与材料	142
二、球模的设计计算	142
三、球模内表面处理	144
第三章 标准体积管在生产使用上必须解决的几个问题	145
第一节 残留量的试验	145
第二节 标定球互换性的试验	147
第三节 标准体积管与工作量器的对比试验	148
一、直接容积对比	148

二、校表对比	149
第四章 标准体积管的性能测试与标定	152
第一节 标准体积管性能测试	152
一、耐压试验	152
二、密封性试验	152
三、漏失量的试验	153
第二节 标准体积管基准容积的标定	153
一、标定系统及所需的设备	153
二、标定程序及要求	155
三、标准体积管容积的计算及修正	156
四、误差处理及精度确定	157
第三节 LJG-16型标准体积管性能测试与容积标定	158
一、LJG-16型 $D_p 350$ 标准体积管的主要参数	158
二、性能测试	158
三、容积标定	159
第五章 标准体积管对流量计进行实液检定	166
第一节 标准体积管对流量计进行实液检定前的准备工作	166
一、检定系统工作状况的检查	166
二、检定系统严密性检查	166
三、流量计的容差调整	169
第二节 容积式流量计的实液检定	172
一、检定流程	172
二、检定程序	172
三、容积式流量计的误差处理及精度确定	173
四、容积式流量计检定的实例	175
第三节 速度式流量计的实液检定	183
一、容积修正	183
二、涡轮流量计检定结果的计算	183

第四篇 双振动管密度计

第一章 双振动管密度计的工作原理和结构	186
第一节 双振动管密度计的工作原理	186
一、棒和管的振动方程	186
二、振动管的自然频率	189
第二节 双振动管密度计的结构	194
一、NMZ-10型振动式液体密度变送器	194
二、XNP-10型密度数字显示器	196
第二章 双振动管密度计的结构设计	197
第一节 双振动管密度计 NMZ-10型振动式液体密度变送器结构设计	197
一、振动管	197
二、传感线圈(检测线圈)	197
三、驱动线圈	199
四、维持放大器	199
五、NMZ-10型双振动管密度计的技术性能	199

第二节	双振动管密度计二次仪表——XNP-10 型密度数字显示仪的结构设计	200
一、	密度数字显示仪的设计原理	200
二、	XNP-10 型密度数字显示仪的原理电路	201
第三章	双振动管密度计的性能测试和应用	204
第一节	双振动管密度计仪表系数的确定	204
一、	仪表系数确定的方法	204
二、	测定仪表系数的试验装置	206
第二节	双振动管密度计的动态特性	206
一、	双振动管密度计的温度特性	206
二、	双振动管密度计的压力特性	207
三、	双振动管密度计的粘度特性	209
四、	双振动管密度计的流量特性	210
第三节	双振动管密度计的应用	210
一、	双振动管密度计的密度变送器的安装和应用	210
二、	密度数字显示仪的使用	212
三、	双振动管密度计的现场测定	213

第五篇 原油低含水分析仪

第一章	原油低含水分析仪的工作原理及结构特征	216
第一节	原油低含水分析仪的工作原理	216
第二节	原油低含水分析仪检测仪表的结构特征	216
一、	检测仪表的组成	216
二、	检测仪表控制箱及调节器	218
第三节	原油低含水分析仪显示仪表的结构特征	220
一、	显示部分	221
二、	测量控制部分	221
第二章	原油低含水分析仪的设计计算	222
第一节	检测仪表的设计计算	222
一、	计量电容的设计	222
二、	电容频率变送器(4f 变送器)的设计	224
第二节	显示仪表的设计	229
第三章	原油低含水分析仪的应用和现场测试	231
第一节	原油低含水分析仪的应用	231
一、	仪表的安装	231
二、	仪表的检查和调校	231
三、	原油低含水分析仪的使用	233
四、	国产 YSG-74 型原油低含水分析仪的技术性能	233
第二节	原油低含水分析仪的现场测试	234
一、	现场测试	234
二、	误差的分析及数据处理	235

第六篇 质量计算仪表和电子计算机在原油计量中的应用

第一章	质量计算仪表	240
第一节	质量计算仪表的工作原理	240

一、错开电路	240
二、运算部分	240
第二节 质量计算仪表的校验	242
第二章 电子计算机在原油计量中的应用	244
第一节 电子计算机用的外围装置	244
一、时钟	244
二、脉冲量输入器	244
三、模拟量输入器	244
第二节 JS-10A 电子计算机简介	247
一、累加寄存器	247
二、全加器	247
三、程序计数器	247
四、指令寄存器	247
五、外围设备代码寄存器	248
六、周期特征触发器	248
七、延迟特征触发器	248
八、进位触发器	248
九、送地址特征触发器	248
十、节拍计数器	248
十一、启停触发器	248
十二、纸带输入机启停触发器	248
十三、内存存储器	248
十四、缓冲寄存器	248
第三节 电子计算机的使用	249
一、程序的编制	249
二、电子计算机如何按程序工作	249
三、电子计算机操作说明	253

第七篇 原油成套计量仪表的安装设计

第一章 检测仪表的工艺安装设计	256
第一节 仪表的选型和使用数量的确定	256
一、流量计的选型和使用数量的确定	257
二、标准体积管的选择和确定	260
三、密度计的选择和确定	260
四、原油低含水分析仪的选择和确定	260
五、常规仪表——压力、差压、温度测量仪表的选择和确定	261
第二节 工艺管线及有关工艺设备的选择和确定	262
一、工艺管线尺寸的确定	262
二、有关工艺设备的选择和确定	264
第三节 原油成套计量仪表安装的工艺流程设计	265
一、流量计	265
二、密度计	265
三、原油低含水分析仪	267
第四节 工艺安装设计	267

一、工艺安装尺寸的确定	267
二、管线用的弯头、三通、封头的强度计算	273
三、管线热应力补偿计算	279
四、工艺安装设计	314
第二章 显示仪表的安装设计	318
第一节 仪表的系统配套和安装	318
一、各仪表间的电气联系	318
二、仪表的安装	319
第二节 仪表安装时干扰的抑制	319
一、干扰的形式	319
二、抑制干扰的措施	319
第三章 原油成套计量仪表的安装、调试和投产	322
第一节 原油成套计量仪表的安装	322
一、流量计系统的安装	322
二、标准体积管的安装	323
三、密度计的安装	323
四、原油低含水分析仪的安装	323
五、其它仪表的安装	323
第二节 原油成套计量仪表的调试	324
一、流量计系统的调试	324
二、标准体积管的调试	324
三、密度计的调试	325
四、原油低含水分析仪	325
五、其它仪表的调试	325
六、整个系统的调试	325
第三节 原油成套计量仪表的正式投产	325
参考文献	326

第一篇 绪 论

一、原油的收集与贮运

原油和它的伴生气——天然气是从埋藏地下几百米以至几千米的油层中经采油井的井筒和采油树(井口闸)采到地面上来。将油田上成千上万的单个采油井采出来的油气收集、贮存,然后用输油、输气管线,铁路油槽车和水上的油轮等输送到炼油厂、化工厂,以及需要用油、气的单位,称为油、气的收集与贮运。

在油、气收集和贮运过程中,油、气的收集、贮存、输送、计量和初步处理(如油、气分离、脱水、脱硫、脱盐、脱轻油、原油稳定和除去机械杂质等)的过程称为油气集输(贮)流程。图1-1是油、气集输(贮)的流程示意。

从图1-1可以看出,油田上的油、气收集与贮运可分为三大组成部分:采油井、计量站;油、气集中处理站;外输(运)原油库及天然气加压输送站。

(一)采油井、计量站

采油井和计量站的作用主要是对采油井采出的油、气进行加热和计量,然后靠地层剩余的能量将油、气输送到油、气集中处理站。当地层剩余能量不能满足输送要求时,就要给油、气补充能量进行输送。

采油井、计量站对油、气进行计量,是要测取进行油层动态分析的资料,根据这些资料分析研究油层的变化,从而确定保证油井稳产、高产的措施,达到合理开发油田的目的。

(二)油、气集中处理站

油、气的初步处理(如油气的分离、脱水、脱硫、脱盐、原油稳定和除去机械杂质等)基本上都在这里进行。经过初步处理后,即可得到油田外输(运)的油、气合格产品和副产品(如脱水脱出的含油污水等)。

油、气合格产品经过计量后输送到原油库和天然气管压缩站;副产品(含油污水等)计量后输送到污水处理站进行处理,然后注入地下。在这里不仅有油、气的计量,还要有污水的计量。

(三)外输(运)原油库及天然气加压输送站

外输(运)原油库接收油田集输处理站输送来的合格的原油在这里进行贮存,同时根据各地所需要的原油量,经过计量后,用管线、铁路槽车、油轮等输送到各地。

天然气加压输送站是接受油田油、气集中处理站送来的天然气,进行脱水、脱轻油和其它有关的处理后,将合格的干气加压、计量后,用管线输送到用气单位。

从上面介绍的油田油、气收集与贮运三个组成部分对计量的要求来看,各有不同。在采油井、计量站,计量测取油、气的产量,是要取得分析研究油层动态的第一性资料;油、气集中处理站计量油、气的产量,是要反映本站所管辖的油井完成生产任务的情况;油库和压气站计量油、气产量,则是油田完成国家计划的情况。根据这种情况,可以将油田的计量分成三级:一级计量,外输(运)原油站(库)和压气站;二级计量,油田油、气集中处理站;三级计量,

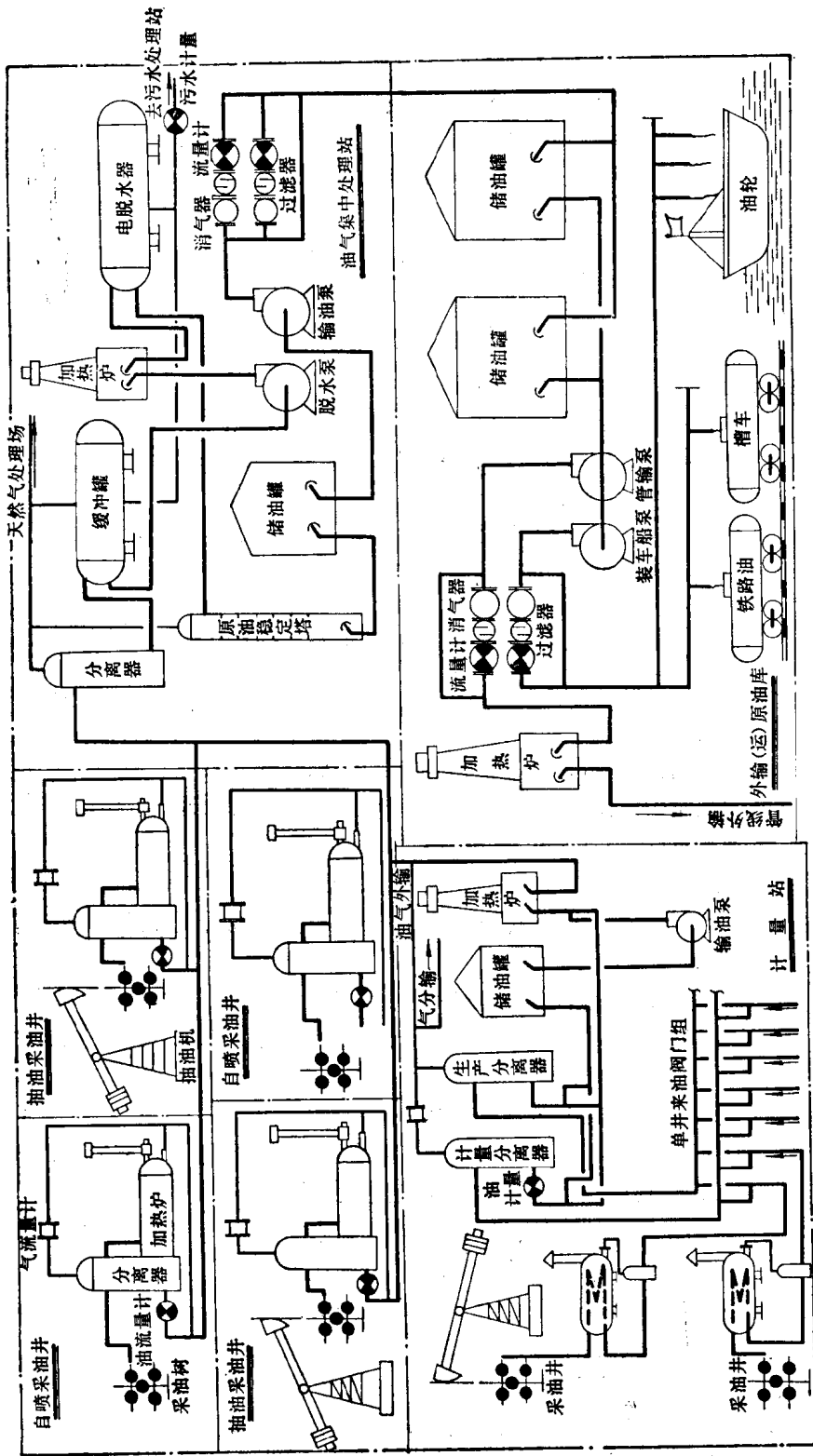


图 1-1 油、气集输(贮)流程示意

采油井、计量站。

这种划分,同油田生产管理基本上是一致的,外输(运)原油站(库)和压气站的产量,是由油田的专门机构(运销处)负责管理;油、气集中处理站的油、气产量,反映采油大队和采油指挥部完成任务的情况,由它们管理;采油井,计量站是小队管理。油田管理的为一级;指挥部或大队管理的为二级;小队管理的为三级。

从上面的介绍还可以看到,油田的计量包括油、气和水(含油污水)的计量。本书所介绍的原油成套计量仪表,主要是适用油田的站、库的原油的计量,以及与油田站、库有相同性质的场所,如原油长输管道、原油装卸的港口、炼油厂的原油计量等。对油井的原油计量、气和水的计量,本书所介绍的仪表能否适用,需要进一步作研究,在这里不作介绍。

从油田三级计量的要求来看,对计量仪表使用的精度等级亦不相同,采油井、计量站可选用 0.5~2.5 级的;油、气集中处理站可选用 0.5~0.2 级的;外输(运)原油库选用 0.2 级的。

二、原油的物理性质

原油是一种物理性质(如体积、密度、粘度等)随温度和压力变化的液体。原油的这种物理特性,对它的计量是有一定影响的,因此,在讨论原油计量以前,首先要了解与原油计量有关的物理特性。

(一)原油密度、体积随温度的变化

原油密度、体积随温度的变化,是一个问题从两个方面反映出来。一定重量的原油,在它的温度变化时,体积必然发生变化。体积的变化必然引起密度的变化。体积和密度随温度变化之间的关系可以用下式表示:

$$\beta = \frac{\alpha}{\rho_{20}} \quad (1-1)$$

式中: β ——原油的体积膨胀系数,它说明温度变化 1°C 时,体积的变化值;

α ——原油的密度变化值,它说明温度变化 1°C 时,密度的变化值;

ρ_{20} ——标准状态下($P=1$ 大气压, $t=20^{\circ}\text{C}$)的原油密度。

石油工业部石油密度温度系数会战组对我国的原油和石油产品进行测定和分析,总结得出的密度随温度变化的实用公式如下:

当密度值为 $\rho_{20} \leq 0.730$ 时:

$$\alpha = -0.001843 + 0.001669 \rho_{20} - 0.000427 \rho_{20}^2 \quad (1-2)$$

当密度值为 $\rho_{20} \geq 0.7301$ 时:

$$\alpha = -0.004422 + 0.007740 \rho_{20} - 0.003904 \rho_{20}^2 \quad (1-3)$$

原油的密度一般都在 $\rho_{20} \geq 0.7301$ 的范围内,根据公式(1-3)整理得出的 α 、 β 值见表 1-1。有了 α 、 β 值,可按下面公式求得任意温度下的原油密度和体积:

$$\rho_t = \rho_{20} [1 + \alpha (t_t - 20)] \quad (1-4)$$

$$V_t = V_{20} [1 + \beta (t_t - 20)] \quad (1-5)$$

式中: ρ_t 、 V_t ——温度为 t_t 时,原油的密度和体积;

V_{20} 、 ρ_{20} ——标准状态下原油的体积和密度。

(二)原油的密度、体积随压力的变化

原油的密度、体积随压力变化的情况和随温度变化的情况相反,当压力升高、体积缩小、

密度增大,变化的数值要比温度小得多。它们之间有如下关系,即:

$$\alpha_P = \frac{F' \rho_{20}}{1 - F'} \quad (1-6)$$

式中: α_P ——在一定的温度下,压力每变化一个大气压,原油密度的变化值,从图 1-2 查得;

ρ_{20} ——标准条件下的原油密度值;

F' ——在一定温度下,压力每变化一个大气压、原油体积变化值,从图 1-3 查得。

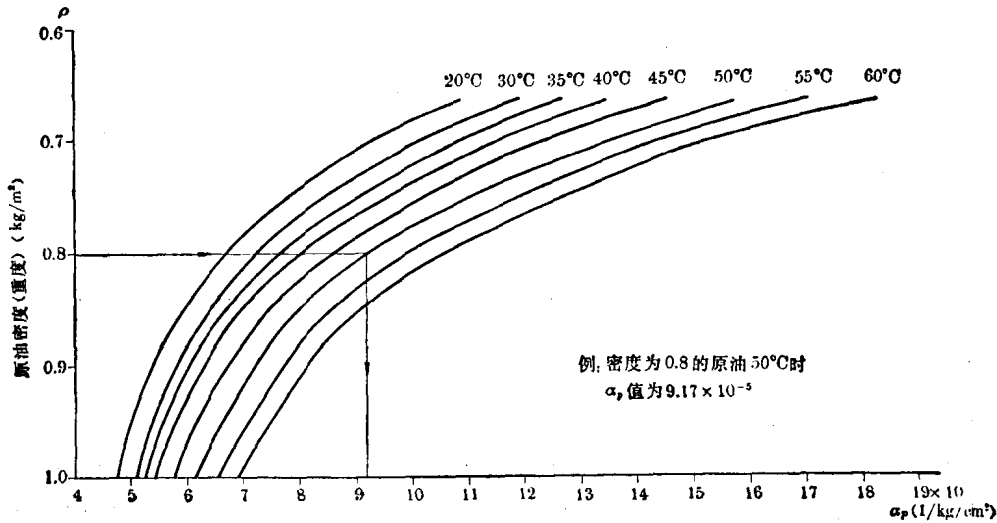


图 1-2 原油密度(重度)压力系数 α_P

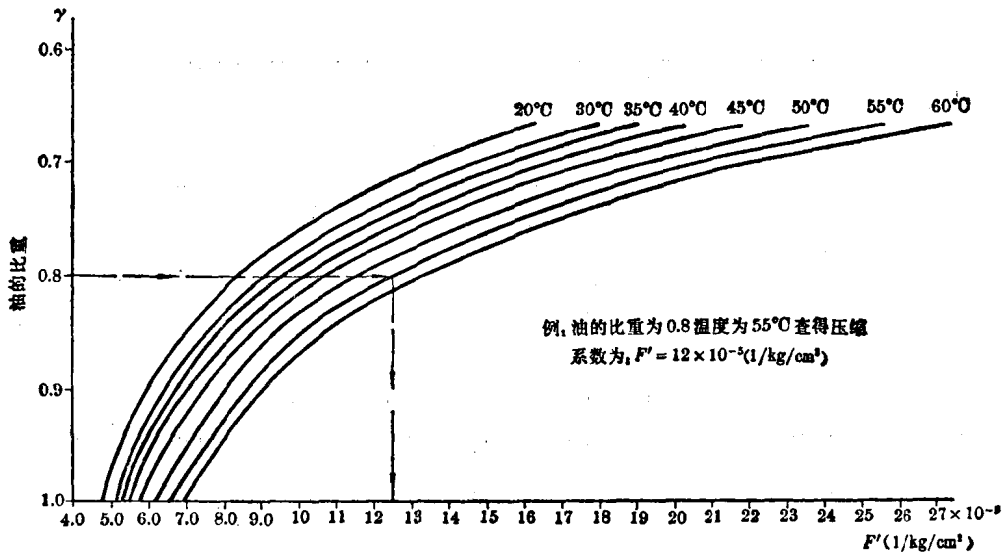


图 1-3 石油液压缩系数 (0~70 kg/cm²)

因此,在一定温度,原油体积和密度与压力的关系可用下式表示:

$$V_P = V_0 [1 - F' (P_i - P_e)] \quad (1-7)$$

$$\rho_P = \rho_0 [1 + \alpha_P (P_i - P_e)] \quad (1-8)$$

式中: V_P, ρ_P ——压力为 P 时, 原油的体积和密度;
 V_0, ρ_0 ——标准条件下原油的体积和密度;
 P_0 ——标准大气压。

表 1-1 α, β 值

标准条件下的密度 ρ_{20}	α	β	标准条件下的密度 ρ_{20}	α	β
0.7301	-0.000882	0.001167	0.87	-0.000643	0.000739
0.735	-0.000842	0.001146	0.88	-0.000634	0.000721
0.74	-0.000832	0.001125	0.89	-0.000626	0.000703
0.75	-0.000813	0.001084	0.90	-0.000618	0.000687
0.76	-0.000795	0.001046	0.91	-0.000612	0.000672
0.77	-0.000777	0.001009	0.92	-0.000606	0.000658
0.78	-0.000760	0.000975	0.93	-0.000600	0.000646
0.79	-0.000744	0.000942	0.94	-0.000596	0.000634
0.80	-0.000729	0.000911	0.95	-0.000592	0.000624
0.81	-0.000714	0.000881	0.96	-0.000590	0.000614
0.82	-0.000700	0.000854	0.97	-0.000588	0.000606
0.83	-0.000687	0.000828	0.98	-0.000586	0.000598
0.84	-0.000675	0.000804	0.99	-0.000586	0.000592
0.85	-0.000664	0.000781	1.00	-0.000586	0.000586
0.86	-0.000653	0.000759			

(三) 原油的蒸气压

原油的蒸气压是指在某温度下, 保持某一临界压力值时, 原油不会气化, 当小于该临界压力值时, 原油会发生气化, 有溶解气分离出来。这个临界压力值称为原油的蒸气压。

为了保证计量的精度, 在计量仪表的安装时, 应保证被计量液体在进入计量仪表前或在计量仪表内, 不出现工作压力小于蒸气压的条件。

另外, 原油的一些换算系数, 是指某一温度和该温度蒸气压下的值, 查换算系数进行温度、压力换算时, 一定要注意这点。原油蒸气压可根据温度、雷特蒸气压从图 1-4 中查得。

(四) 原油的粘度

液体流动时, 内部产生内摩擦力(或切应力)的这种性质叫做流体的粘性。内摩擦力与液体运动时的速度梯度成正比, 与接触面积成正比, 与液体的种类及其温度有关, 而与压力无关。可写成如下的数学表达式:

$$F = \mu A \frac{du}{dh} \quad (\text{公斤}) \quad (1-9)$$

式中: F ——内摩擦力;

A ——接触面积;

$\frac{du}{dh}$ ——速度梯度;

μ ——表征流体种类及其温度的一个比例常数, 称之为绝对粘度。它的物理意义是: 当速度梯度等于 1 时, 接触液层间单位面积上的内摩擦力。当速度梯度为 1 厘米²/秒, 接触液层间单位面积上的内摩擦力为 1 达因时, μ 的单位达因·秒/厘米², 并把该单位叫做泊, 1 泊 = 100 厘泊。

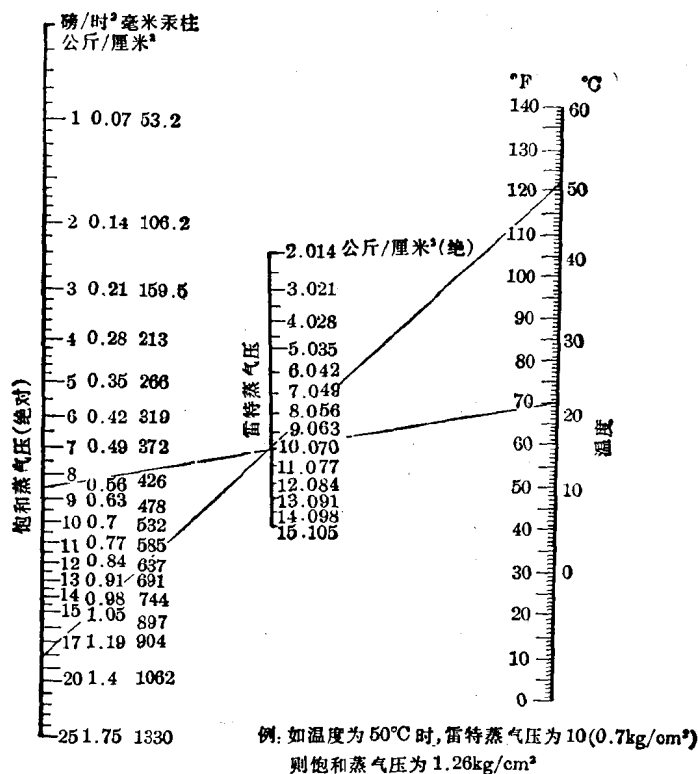


图 1-4 原油蒸气压温度雷特蒸气压关系

绝对粘度 μ 与液体密度 ρ 之比叫做运动粘度, 它的单位为厘米²/秒叫做沱, 1 沱 = 100 厘沱。

大庆原油的粘度, 当温度在 40~60°C 时, 约在 25~15 厘沱之间。

速度式流量计的流量系数受介质粘度的影响。为保证流量计在精度等级范围内, 一般制造厂家都要给出各种粘度下的流量系数。使用时, 应按使用条件下的液体粘度查流量系数进行流量修正。如果能进行现场实液检定, 流量系数可通过现场实液检定来确定, 这就消除了因查流量系数产生偏差而带来的误差, 提高了计量精度。

三、原油的计量方法

原油计量的方法目前有两种: 一种是重量法(质量法), 一种是体积法。我国、苏联和一些东欧国家, 一般是采用重量法, 销售和计算产量都是以吨为单位; 英、美、日本和一些西欧国家, 一般是采用体积法, 销售和计算产量是以桶、加仑为单位。从这两种计量方法来看, 体积法比较简单, 只要使用一种仪表就能将体积计量出来。重量法在目前还不能做到使用一种仪表将原油的重量计量出来, 一般都是用一种仪表计量出体积量, 使用另一种仪表测量出原油的重度(密度), 然后按下式进行运算求得:

$$G = V \times \rho \quad (\text{吨}) \quad (1-10)$$

式中: V ——计量求得的体积量;
 ρ ——计量求得的密度(重度)值;
 G ——原油的重量。