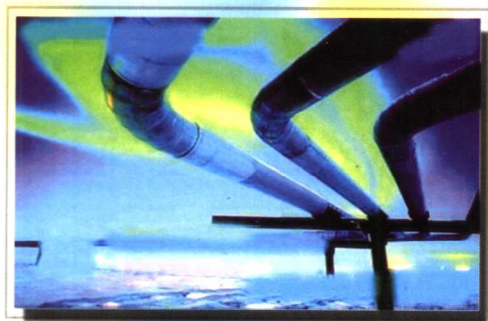


黄春芳 编



原油 管道输送技术

中国石化出版社

原油管道输送技术

黄春芳 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书阐述了原油管道输送的基本原理和实用技术。主要介绍原油的基本性质和实验方法;石油及产品的等温和加热输送技术;输油泵站各种工艺流程的操作;输油管道防腐蚀技术和阴极保护原理及操作管理、检测技术;石油安全知识;输油管道各种检测仪表和流量计标定;输油管道使用的设备包括各种泵、阀、罐、清管设备、加热炉、锅炉、换热器的结构、原理、操作、维护、拆装、修理知识和技术,事故处理方法,以及水处理技术。

本书适合输油管道操作工人、技术人员阅读,亦可作为职业技术学院(校)石油储运专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

原油管道输送技术/黄春芳编.
—北京:中国石化出版社,2003
ISBN 7-80164-459-X

I. 原… II. 黄… III. 原油-管道运输 IV. TE832

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 090543 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 44.25 印张 1153 千字 印 1—2000

2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

定价: 88.00 元



《原油管道输送技术》一书，主要是为石油管道操作工人和输油公司、泵站技术管理干部的需要和要求所写，也可作为职业技术学院(校)输油专业和各类大中专院校石油储运专业的教材。考虑读者文化水平的不同层次，本书尽量避免太深的理论推导，根据现场操作和管理的要求，把较深的理论用最浅显的语言表达清楚。反对学非所用，努力做到现场用什么，书中讲什么，管道操作与管理需要什么，本书介绍什么的原则。对国内现有石油管道的常用工艺和设备争取做到：看了教材可以进行简单操作；经过培训，可以上岗；经过系统学习，可以胜任输油生产管理；现场遇到的常见问题，可以在书中找到答案。

本教材力求通俗易懂，联系实际，图文并茂。把重点放在培养具有实践能力的操作管理人员身上，主要介绍实际操作技术和技能，多数设备原理、结构均来自输油泵站的实际。书中穿插很多操作实例，可作为输油操作、设备修理的参考。本书理论部分以通俗的语言讲解，同时保持部分章节有一定深度，不同层次人员可根据需要选修。

本书各章节互成系统，根据读者需要可选择不同的章节学习，本书适合下列读者群：1. 输油岗位的新工人，经过培训可以上岗；2. 有一定实践经验的输油操作人员，经过学习，可以较深入地掌握输油岗位上的主要技术技能和技术理论；3. 输油公司机关工作人员，只要具有高中以上文化，经过系统地自学完本书可以达到相当于输油专业大专毕业的专业水平，能够胜任一般输油管道设计、管理工作；4. 可作为职业技术学院(校)油气储运专业的专业课教材；5. 分配到输油单位的各类大学生利用本书可以迅速地将学校学到的理论知识和输油生产的实际结合起来，很快地熟悉和胜任输油管理和操作。

全书由中国石油天然气管道局职业教育培训中心(河北石油职业技术学院)副研究员黄春芳编写。中国石油天然气管道局职业教育培训中心(河北石油职业技术学院)副教授张力军、茹慧灵共同主审。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中缺点和错误在所难免，诚恳希望使用本书的教师和读者给予批评指正。

编 者



第一章 原油基本知识和原油化验与计量	(1)
第一节 原油的化学组成.....	(1)
第二节 石油的理化性质.....	(4)
第三节 原油的分析化验.....	(10)
第四节 油罐检尺与测量.....	(24)
第二章 水力学基础知识	(30)
第一节 流体的一般特点及水力学基本概念.....	(30)
第二节 水静力学.....	(32)
第三节 水动力学基本方程式.....	(35)
第四节 液流阻力和水头损失.....	(40)
第三章 传热学基本知识	(49)
第一节 热传导.....	(49)
第二节 热对流和热辐射.....	(52)
第三节 复合传热及增强传热的讨论.....	(55)
第四章 原油管道输送方式及工艺流程	(60)
第一节 输油管道的组成及运行方式.....	(60)
第二节 输油站工艺流程.....	(62)
第三节 输油工艺流程操作原则.....	(77)
第五章 输油管道的工艺计算及调节	(79)
第一节 输油管道的工作特性和工作点.....	(79)
第二节 等温输送管道的工艺计算和泵站布置.....	(84)
第三节 加热输送工艺.....	(97)
第四节 输油管道中的水击.....	(109)
第五节 输油管道运行工况分析与调节.....	(120)
第六章 腐蚀与防腐	(130)
第一节 金属腐蚀的基本原理.....	(131)
第二节 管道外壁防腐涂层.....	(142)
第三节 管路的阴极保护.....	(152)
第四节 牺牲阳极阴极保护.....	(179)
第五节 杂散电流的腐蚀及防护.....	(187)
第六节 阴极保护参数的测定.....	(199)
第七节 强制阴极保护的运行、维护与管理.....	(206)
第七章 石油储运的安全与防火防爆	(210)
第一节 油库和泵站的防火与防爆.....	(210)

第二节	石油防静电	(228)
第三节	输油站库防雷	(250)
第四节	防毒与防触电	(258)
第八章	管道输油测量仪表	(264)
第一节	压力测量仪表	(264)
第二节	温度检测及仪表	(268)
第三节	液位测量仪表	(279)
第四节	流量计	(285)
第五节	用标准体积管进行流量计的标定	(302)
第九章	离心泵	(317)
第一节	泵及其分类	(317)
第二节	离心泵的工作原理及性能参数	(320)
第三节	离心泵的工作特性	(324)
第四节	离心泵的一般构造	(329)
第十章	离心泵的拆装、修理、安装	(368)
第一节	离心泵的拆卸	(368)
第二节	离心泵零件的检查	(372)
第三节	泵轴的检修与更换	(372)
第四节	叶轮的修理	(378)
第五节	轴承检修	(382)
第六节	机械密封的检修	(394)
第七节	平衡盘的检修	(395)
第八节	离心泵的装配和安装	(397)
第九节	联轴器找正	(401)
第十一章	输油泵	(407)
第一节	400KD250×2型输油泵	(407)
第二节	DKS型输油泵	(410)
第三节	KS型输油泵	(413)
第四节	Sh型、DA、D型输油泵	(415)
第五节	Y型油泵	(419)
第六节	宾汉姆泵(HSB型)与硅钠德泵	(423)
第七节	梯森泵(ZM型)	(428)
第八节	离心泵的并联及串联工作	(431)
第九节	离心泵的操作与调节	(436)
第十节	输油泵机组的维护保养及故障处理	(442)
第十二章	输油站其它用泵	(451)
第一节	往复泵	(451)
第二节	齿轮泵	(456)
第三节	螺杆泵	(459)

第十三章 阀门	(463)
第一节 阀门的分类及表示方法.....	(463)
第二节 常用阀门的结构特点及应用.....	(469)
第三节 输油管线常用其它阀门.....	(482)
第四节 阀门的驱动方式和驱动装置.....	(486)
第五节 阀门的安装、使用与维护.....	(494)
第十四章 储油罐	(500)
第一节 长输管道常用典型钢油罐的结构特点.....	(500)
第二节 油罐的附件.....	(512)
第三节 油品的蒸发损耗及降低损耗的措施.....	(529)
第四节 油罐的操作和维护保养.....	(542)
第十五章 管道清管技术	(547)
第一节 清管的方法与作用.....	(547)
第二节 清管器.....	(548)
第三节 清管器收发装置.....	(556)
第四节 原油输送管道清管操作.....	(560)
第十六章 直接加热式输油加热炉	(564)
第一节 输油管道常用加热炉的类型.....	(564)
第二节 加热炉的工作原理与主要技术参数.....	(568)
第三节 加热炉的燃烧器.....	(578)
第四节 直接式加热炉的操作.....	(591)
第五节 加热炉的事故处理.....	(607)
第十七章 原油间接加热技术	(615)
第一节 热媒炉系统.....	(615)
第二节 热媒加热炉的操作及维护保养.....	(624)
第十八章 锅炉与水处理	(638)
第一节 锅炉基本知识.....	(638)
第二节 典型燃油燃气锅炉的结构.....	(643)
第三节 锅炉水处理.....	(647)
第四节 燃油燃气锅炉的操作与运行.....	(665)
第五节 锅炉的故障处理及停炉保养.....	(675)
第十九章 换热器	(692)
参考文献	(696)

第一章 原油基本知识和原油化验与计量

第一节 原油的化学组成

原油是一种油状液体矿藏，埋在地层深处，人们通过勘探、开发将其从地层深处开采出来。这些从油田开采得到的未经加工的天然石油称为原油。经过炼制加工成符合一定使用要求的成品油称为石油产品，或简称油品。输油管道就是将油田开采出来的原油或炼油厂加工出来的油品输送到指定的地点。

原油通常是一种淡黄色到黑色流动或半流动的黏稠液体，由于原油的产地或油层位置的不同，使原油的性质产生了差别。绝大多数原油的密度在 $(0.8 \sim 0.98) \text{g/cm}^3$ 之间。流动性的差别也很大。例如：我国青海原油 50°C 运动粘度为 $1.46 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ，而孤岛原油在 50°C 时的运动粘度为 $4.0 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ 。

绝大多数原油都有很浓的臭味，这是由于原油中含有一些有臭味的硫化物。通常将含硫化物大于 2% 的原油称为高硫原油，低于 0.5% 的称为低硫原油。介于 0.5% ~ 2% 之间的称为含硫原油，对于含硫原油的输送必须要考虑它对管线及金属设备的腐蚀情况。

原油在一定试验条件下开始失去流动性的温度称为凝固点，不同原油的凝固点差别很大。我国有的原油凝固点高达 $40 \sim 50^\circ\text{C}$ ，而新疆克拉玛依原油凝固点低到 -50°C 左右。这种差别主要是原油中含有一定数量的蜡，含蜡量高的原油，凝固点高。反之凝固点低。表 1-1-1 列出了我国部分油田原油的外观性状。

表 1-1-1 我国部分油田原油的外观性状

原油	色泽	密度 $\rho_{20}/(\text{g/cm}^3)$	运动粘度(50°C)/(m^2/s)
四川	暗绿	0.8394	1.23×10^{-5}
青海冷湖	暗绿	0.8042	1.46×10^{-6}
克拉玛依	深褐	0.8679	1.923×10^{-5}
大庆	黑色	0.8604	2.379×10^{-5}
胜利	黑色	0.8886	2.938×10^{-5}
青海混合	黑色	0.8230	2.706×10^{-5}

注：原油的外观特性有时会发生变化，这里指的是一般情况。

一、原油的元素组成

原油组成十分复杂，要研究原油的化学组成，首先应该从其元素的组成来研究。石油的外观特性反映了石油的组成不同。石油的组成虽然复杂，但其元素组成却较简单，从表 1-1-2 中看出，石油主要由碳、氢、硫、氮、氧五种元素组成。其中碳含量约占 83% ~ 87%，氢含量约占 11% ~ 14%，这两种元素含量在石油中一般占 96% ~ 99.5%，此外还有硫、氮、氧元素，3 者总含量约为 1% ~ 4%。但也有特殊情况，如墨西哥石油含硫量高达 3.6% ~ 5.3%、阿尔及利亚石油含氮量为 1.4% ~ 2.2%。但这仅就一般而言。

除此之外,在原油中,还发现有少量的金属元素(如铁、镍、铜、钒等)、非金属元素(如砷、氯、磷、硅等)其含量均很小,常用 ppm(百万分之一)计。

表 1-1-2 某些石油的元素组成(质量分数,单位为%)

石油	元素	C	H	S	N	O
大庆混合原油		85.74	13.31	0.11	0.15	0.69
孤岛原油		84.24	11.74	2.03	0.47	1.52
江汉原油		83.00	12.81	2.09	0.47	1.63
克拉玛依原油		86.10	13.30	0.04	0.25	0.28
墨西哥原油		84.20	11.40	3.60	—	0.80

二、原油的化学组成

原油是一种多组分的复杂混合物,每个组分部有其各自不同的沸点。根据使用要求,在原油加工过程中第一步就是分馏,按沸点差别把整个原油“切割”成为几个“馏分”,使原油这个复杂的混合物得到分离。“馏分”即馏出部分的意思,它本身还是一个具有一定沸点范围的混合物,但所含的组分数目比原油少得多。

1. 原油中的烃类化合物

原油主要是由碳和氢元素组成。碳和氢在原油中按一定的数量关系,彼此结合成多种不同性质的碳氢化合物,即我们所说的烃类,它是原油的主要组成部分。一般原油中只含有烷烃、环烷烃和芳香烃这三类,石油产品中还含有稀烃和炔烃。

(1) 汽油馏分的烃类组成 汽油馏分的烃类组成随着加工炼制方法的不同而异,就一般情况而言,汽油馏分沸点小于 200℃,平均相对分子质量约为 100~200,含有 C₅~C₁₁的正构烷烃、单环环烷烃(在重汽油馏分中含有少量双环环烷烃)和单环芳香烃。

汽油馏分中含烷烃量较多,烷烃中又以正构烷烃和分支较少的异构烷烃为主,高分支的异构烷烃含量很少;环烷烃主要是六元环(例环己烷)和五元环(例环戊烷)的环烷烃,其它类型的较少,芳香烃一般含量较少,其中甲苯和二甲苯的含量比苯多。

烷烃和环烷烃占汽油馏分的绝大部分,芳香烃含量一般不超过 20%。就其分布规律而言,随着沸点的增高,芳香烃含量逐渐增加,这个芳香烃的分布规律目前对大多数原油的汽油馏分具有普遍的意义。

从原油直接蒸馏得到的汽油叫直馏汽油,只含烷烃、环烷烃和芳香烃。

将重油里长碳链的烃分子断裂成短碳链的烃分子来取得轻烃和石油化工原料气,这种方法叫做裂化。裂化分为热裂化和催化裂化两种。热裂化是将重油在 500℃左右和一定压强下进行裂化的方法。催化裂化借助于催化剂(硅酸铝)的作用,在较低温度和较小压强下进行裂化,它能使 70%以上的重油转化为轻油,而且炼得的汽油质量好,产量高。用铂作为催化剂,使汽油中的烷烃或环烷烃的分子结构重新调整,变成苯、甲苯、二甲苯等这个过程叫做铂重整。铂重整可以提高汽油的辛烷值(表示车用汽油的抗爆性),也是制取重要战备物资和石油化工原料芳香烃(苯、甲苯、二甲苯等)的重要方法。

采用不同的加工炼制方法,得到的汽油馏分其烃类组成差别很大。热裂化汽油含烯烃多;催化裂化汽油含较多异构烷烃和较少的正构烷烃,芳香烃含量较高;而铂重整汽油中含有大量芳香烃等等。

(2) 煤、柴油馏分的烃类组成 煤油馏分的沸点范围一般为 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ ，主要是由 $\text{C}_{11} \sim \text{C}_{15}$ 的烃类组成的。相对分子质量约为 $180 \sim 200$ 左右；柴油馏分的沸点范围大致为 $200 \sim 350^{\circ}\text{C}$ ，以 $\text{C}_{11} \sim \text{C}_{25}$ 烃类为主，相对分子质量约为 $160 \sim 260$ 。煤、柴油馏分(中间馏分)中烃类数目和种类比汽油馏分要复杂得多。煤、柴油馏分中烷烃含量较高，与汽油馏分类似，也存在着单环环烷烃及单环芳香烃，此外还含有双环及三环环烷烃及双环和三环芳香烃。

中间馏分中所含烷烃、单环环烷烃和单环芳香烃和汽油馏分中这类烃的结构相似，不同点仅在于烷烃的碳原子数增多，环烷烃和芳香烃的侧链增多和链增长。16 个碳以上的正构烷烃在常温下为固体，为石蜡的主要组成部分。

(3) 润滑油馏分的烃类组成 润滑油的沸点范围在 $350 \sim 520^{\circ}\text{C}$ 左右，由于沸点高又称之为高沸点馏分。润滑油馏分中包含的烃类分子的碳原子数较多，环数多，结构也更为复杂。

润滑油馏分烃类相对分子质量较大，分子中碳原子数一般为 C_{20} 以上到 C_{40} 左右(或更高)，因而化合物的数目更多，结构也更加复杂。

在润滑油馏分中，存在不同数量的固体烃类(在柴油馏分中已开始出现)。这些在常温下是固体的烃类，在石油中处于溶解状态，随着温度降低，其溶解度降低，会析出一部分晶体，这种从石油中分离出来的固体烃类，在工业上称之为蜡。根据结晶形状及来源的不同，蜡又可分为两类：一类是从润滑油和柴油馏分中分离出来的，呈大片白色状或带状结晶的石蜡；另一类是从润滑油馏分和石油残油中分离出来的，呈细微针状黄色结晶(纯地蜡无色)的地蜡。

一般石蜡相对分子质量为 $300 \sim 500$ ，分子中碳原子数为 $20 \sim 35$ ，熔点为 $30 \sim 70^{\circ}\text{C}$ ，它主要由正构烷烃构成，此外还有少量的相对分子质量很大的异构烷烃、单环烷烃、双环烷烃及单环、双环芳香烃。地蜡相对分子质量为 $500 \sim 700$ ，分子中碳原子数为 $35 \sim 55$ ，熔点 $60 \sim 90^{\circ}\text{C}$ ，地蜡组成极为复杂，各类烃都有，但以带正构烷基和异构烷基的环烷烃为主，正构烷烃含量不多，异构烷烃含量也极少。地蜡中的环烷烃为 $2 \sim 3$ 环结构，以双环结构为主。芳香烃的环数为 $1 \sim 3$ 环。

2. 石油中的非烃化合物

原油中硫、氮、氧等元素和碳、氢元素形成的含硫、含氮、含氧化合物，统称为非烃类化合物。硫、氮、氧这些元素在石油中的含量不高，一般约为 $1\% \sim 3\%$ 左右，它们都是以非烃化合物的形式存在于原油中，若以化合物计，其含量可达 $10\% \sim 20\%$ 。

不同的原油，硫元素的含量相差很大，从万分之几到百分之几。硫在原油中的含量通常是随石油馏分沸点升高而增加，大部分硫均集中在残渣油中。原油中存在的硫化物对原油加工产品应用和储存危害很大。它会引起加工设备、管线、油罐的严重腐蚀，特别是 H_2S ，它与水共存时，腐蚀更为严重。含硫的油品燃烧后能生成 SO_2 和 SO_3 ，遇水生成 H_2SO_4 和 H_2SO_3 ，对设备会造成强烈的腐蚀；含硫化合物具有令人不快的臭味和一定毒性，影响人体健康。总之，必须除去油品中的硫化物，这是原油加工中的一个重要课题。

原油中的氮元素含量一般为千分之几到万分之几。氮化物对原油的储运基本无大影响，但对油品的储运、使用性能都有较大的影响。光和热的作用，会使氮化物生成胶质，影响油品的颜色，使颜色变深、气味变臭，所以氮化物也必须从油品中除去。

原油中含氧量一般较少，约为千分之几，但也有个别含氧量高达 $2\% \sim 3\%$ 。原油中大部分氧集中在胶质沥青质中，除此之外，氧均以有机化合物的形式存在，这些有机化合物，分为中性氧化物和酸性氧化物两类。中性氧化物一般不重要(如醛、酮等)，酸性氧化物中有

环烷酸、脂肪酸和酚类总称为石油酸，其中环烷酸约占 90%。环烷酸对金属具有腐蚀性，由于原油的加工、储运和使用均离不开金属设备，因而环烷酸在油品中是有害的。环烷酸腐蚀金属设备所产生的盐类对油品有一定的影响。原油馏分中的环烷酸可用碱洗的方法脱去。

原油中的胶质沥青质的含量因产地不同差别很大，它是石油中结构最复杂、相对分子质量最大的一部分物质。它们除含碳氢元素以外，还含有硫、氮、氧，相对分子质量很大，其结构也十分复杂。

所谓胶质，一般是指能溶于石油醚(低沸点烷烃)、苯、三氯甲烷、二硫化碳而不溶于乙醇的物质。沥青质是能溶于苯、三氯甲烷和二硫化碳，但不溶于石油醚和乙醇的物质，胶质和沥青质使石油产品的颜色变深，结碳增大，也属于有害成分。

第二节 石油的理化性质

一、汽化性质

1. 蒸气压

在一定温度下，液体同它液面上的蒸气呈平衡状态时蒸气所产生的压力称为该液体的饱和蒸气压，简称蒸气压。蒸气压的高低表明了液体中分子汽化或蒸发的能力。蒸气压越高，说明该液体的蒸发能力越强，越容易汽化。在储运原油的过程中，经常利用蒸气压数据来计算油品的蒸发损耗。蒸气压的大小反映了石油的汽化能力，过大的蒸气压将影响离心泵的吸入能力和机械密封的使用寿命。

2. 馏程

对于纯化合物，在一定外压下，当加热到某一温度时，其饱和蒸气压与外界压力相等，此时在气液界面及液体内部同时进行汽化，这一温度称为沸点。在外压一定时，沸点是一个恒定值。

石油、油品与纯化合物不同，它是由许多物质所组成的混合物，它在外压一定时沸点随油品不断汽化而增加。所以表示石油或油品的沸点不能用某一温度，而是以某一温度范围来表示，该温度范围称为沸程。

石油或油品的馏程因测定的仪器不同，其数值也有差别。在油品质量规格和储存中作为控制指标的是采用恩氏蒸馏测定馏程。当规定数量的石油或油品在恩氏蒸馏设备中馏出速度加热蒸馏时，最先汽化蒸馏出来的是一些沸点低的烃类分子。流出第一滴冷凝液体时的气相温度称为初馏点，蒸馏过程中烃类分子按其沸点高低的顺序逐渐蒸出，气相温度逐渐增高，当馏出物的体积分别为 10%、…、50%、…、90% 时的气相温度分别称为 10% 点、…、50% 点、…、90% 点，蒸馏最后所达到的最高气相温度称为终馏点或干点。初馏点到干点这段温度范围称为沸程或馏程。石油中的高沸点组分，在高温时容易分解，因此在蒸馏原油或较重组分中，一般不把油样蒸干，而是当气相温度达到 350℃ 时，即停止蒸馏，而记下相应馏出油的数量。

在原油中，相对分子质量比较小的烃类化合物的沸点要比相对分子质量比较大的烃类化合物的沸点低，汽化时小分子的烃类容易汽化而大的分子则不容易汽化。对于石油中的烷烃常温常压下：当碳元素小于 5 时，是气态；碳元素大于 5 而小于 16 时，呈液态；当碳元素大于 16 时，为固态。一般在石油中固态烃类溶解在液态烃中，温度降低时，固态烃逐渐析出。

馏程的高低对输油生产具有一定实用意义，馏程是燃料(汽油、煤油、柴油等)的重要质量指标，也是油库储存中易变指标，油罐储油时的蒸发不仅损耗了油品的数量而且降低了油品的质量，必须予以控制；离心泵的进泵温度必须小于原油在当地大气压下的初馏点，防止发生气蚀；管道输油必须在原油的初馏点以下进行，防止发生水击和不满流。

二、密度

密度是单位体积内物质的质量，单位为 kg/m^3 或 g/cm^3 ，常以字母 ρ 表示。

我国国家标准规定 20°C 时密度为石油和液体石油产品的标准密度，以 ρ_{20} 表示。如果是在其它温度下测得的密度称为视密度，用 ρ'_t 表示。

油品的相对密度是油品密度与规定温度下水的密度之比，是无量纲的。由于纯水在 3.98°C 时密度最大，为 $0.99997\text{g}/\text{cm}^3$ ，一般近似地把 4°C 时水的密度定为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，所以常以 4°C 水作为基准，以 d_4^t 表示 $t^\circ\text{C}$ 时油品密度与 4°C 水密度之比的相对密度。我国与俄国常用的相对密度为 d_4^{20} ，欧美各国常以 $15.6^\circ\text{C}(60^\circ\text{F})$ 油品密度与 $15.6^\circ\text{C}(60^\circ\text{F})$ 纯水密度之比作为相对密度，表示为 $d_{15.6}^{15.6}$ 或 $(d_{60^\circ\text{F}}^{60^\circ\text{F}})$ 。 ρ_{20} 与 d_4^{20} 在数值上是相等的，但他们的物理意义和单位是不同的。

1. 原油、油品的密度与温度的关系

温度升高油品因膨胀使体积增大，因而密度减小。在 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 温度范围内，密度随温度的变化可近似地按下式计算：

$$\rho_{20} = \rho'_t + \gamma(t - 20) \quad (1-2-1)$$

式中 ρ'_t —— $t^\circ\text{C}$ 时油品的视密度， g/cm^3 ；

γ ——石油密度温度系数，见表 1-2-1。

表 1-2-1 石油密度温度系数表(γ 值表)

ρ_{20}	γ	ρ_{20}	γ	ρ_{20}	γ
0.5993 ~ 0.6042	0.00107	0.7014 ~ 0.7072	0.00088	0.8292 ~ 0.8370	0.00069
0.6043 ~ 0.6091	0.00106	0.7073 ~ 0.7132	0.00087	0.8371 ~ 0.8450	0.00068
0.6092 ~ 0.6142	0.00105	0.7133 ~ 0.7093	0.00086	0.8451 ~ 0.8533	0.00067
0.6143 ~ 0.6193	0.00104	0.7194 ~ 0.7255	0.00085	0.8534 ~ 0.8618	0.00066
0.6194 ~ 0.6244	0.00103	0.7256 ~ 0.7317	0.00084	0.8619 ~ 0.8704	0.00065
0.6245 ~ 0.6295	0.00102	0.7318 ~ 0.7380	0.00083	0.8705 ~ 0.8792	0.00064
0.6296 ~ 0.6347	0.00101	0.7381 ~ 0.7443	0.00082	0.8793 ~ 0.8884	0.00063
0.6348 ~ 0.6400	0.00100	0.7444 ~ 0.7509	0.00081	0.8885 ~ 0.8977	0.00062
0.6401 ~ 0.6453	0.00099	0.7510 ~ 0.7574	0.00080	0.8978 ~ 0.9073	0.00061
0.6454 ~ 0.6506	0.00098	0.7575 ~ 0.7640	0.00079	0.9074 ~ 0.9172	0.00060
0.6507 ~ 0.6560	0.00097	0.7641 ~ 0.7709	0.00078	0.9173 ~ 0.9276	0.00059
0.6561 ~ 0.6615	0.00096	0.7710 ~ 0.7772	0.00077	0.9277 ~ 0.9382	0.00058
0.6616 ~ 0.6670	0.00095	0.7773 ~ 0.7847	0.00076	0.9383 ~ 0.9492	0.00057
0.6671 ~ 0.6726	0.00094	0.7848 ~ 0.7917	0.00075	0.9493 ~ 0.9609	0.00056
0.6727 ~ 0.6782	0.00093	0.7918 ~ 0.7990	0.00074	0.9610 ~ 0.9729	0.00055
0.6783 ~ 0.6839	0.00092	0.7991 ~ 0.8063	0.00073	0.9730 ~ 0.9855	0.00054
0.6840 ~ 0.6896	0.00091	0.8064 ~ 0.8137	0.00072	0.9856 ~ 0.9951	0.00053
0.6897 ~ 0.6954	0.00090	0.8138 ~ 0.8213	0.00071	0.9952 ~ 1.0131	0.00052
0.6955 ~ 0.7013	0.00089	0.8214 ~ 0.8291	0.00070		

如果温度和 20℃ 相差较大则不能用上式计算，而需要查换算表进行计算（见石油密度的测定）。

2. 压力对石油密度的影响

液体几乎不可压缩，所以压力对液体油品密度的影响几乎可以忽略不计。只是在极高压力下才考虑外压的影响。但值得注意的是，当液体油品被加热时，如果保持体积不变，压力会急剧上升。如果装满液体油品的一段管道或容器的进出口阀门全部关闭，油品在受热时就会产生极大压力以致引起容器的爆炸，造成事故。所以当管线突然停输时，不可关闭加热炉的进出口阀门，如事故需关闭加热炉进出口阀门时，应同时打开加热炉的紧急放空阀，防止管道内封闭的石油受热膨胀，发生爆炸事故。

3. 油品的混合密度

当有两种或两种以上的油品混合时，如果混合后体积有可加性，则混合油品的密度可近似按下式计算：

$$\rho_{混} = V_1\rho_1 + V_2\rho_2 + \cdots + V_i\rho_i \quad (1-2-2)$$

式中 V_1 、 V_2 、 \cdots 、 V_i ——混合物中各组分的体积百分数；

ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_i ——混合物中各组分的密度， g/cm^3 。

计算时 ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_i 的温度必须相同。

当密度相差很大的两个组分混合时，体积往往没有可加性。例如原油和低分子烃混合时，混合物体积可能收缩，而两个属性相差很大的组分，如己烷和苯混合时，体积可能增大。此时如用上式计算，将导致较大误差。

4. 原油、油品密度与馏分组成及化学组成的关系

原油和油品的密度决定于组成它的化合物的分子大小和分子结构。同一原油的各馏分，随着沸点的升高，相对分子质量增大，密度也随之增大。原油不同，其密度不同，性质也不相同。不同原油相同沸点的两个馏分的密度也会有较大的差别。这是因为它们的化学组成不相同。

碳原子数相同而分子结构不同的分子具有不同的密度。相同碳数的烃类分子的密度芳香烃最高，环烷烃次之，正构烷烃最小。分子中环数越多，密度越大。对于同样馏程的原油馏分，含烷烃多的油品，密度较小，含芳香烃多的油品，密度较大。原油的密度一般在 $0.65 \sim 0.98 g/cm^3$ 之间。密度大于 $1 g/cm^3$ 的原油很少。

5. 密度的测定

密度可用几种方法测定，可按油品粘度、试样数量、所需准确度等来选择测定方法。最简便的方法可用密度计法，但准确度不够高。一般可用于控制生产。在输油生产中就是用法来进行计量的。除此之外比较准确的方法还有比重瓶法。如果原油试样粘度比较高，测定其密度比较困难，可用等体积的已知密度的煤油与它混合，然后测定混合物的密度。即

$$\rho = 2\rho_{混} - \rho_{煤} \quad (1-2-3)$$

式中 ρ ——原油的密度， g/cm^3 ；

$\rho_{混}$ ——原油和煤油混合物的密度， g/cm^3 ；

$\rho_{煤}$ ——煤油的密度， g/cm^3 。

应该注意这里用作稀释剂的是煤油而不是汽油。这是因为汽油的馏分太轻，在常温下或加入热重油时受热，其轻馏分就会蒸发，不但减少了稀释油的体积，而且由于轻质组分的蒸

发, 稀释溶剂本身的密度就会增大, 这样使测定结果不准。煤油馏分比汽油馏分高, 不像汽油那么容易挥发, 密度变化不大。因此我们常用煤油作为稀释剂。

三、粘度

原油的输送过程通常处于流动状态, 因此有必要讨论原油的流动性能。粘度是评价原油或油品流动性的一个指标。粘度又是一个重要的水力参数。

1. 粘度的表示

粘度是表示液体流动时分子间摩擦而产生阻力的大小。阻力越大, 流动就越困难, 说明液体就越粘。粘度的大小常用动力粘度、运动粘度或条件粘度来表示。

(1) 动力粘度 动力粘度 μ_p 又称为物理粘度或绝对粘度, 动力粘度的 SI 单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$, cgs 单位为泊(P)和厘泊(cP), 两种单位关系为:

$$1\text{Pa}\cdot\text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP} \quad (1-2-4)$$

(2) 运动粘度 运动粘度常以 ν_t 表示。运动粘度的单位, SI 制为 m^2/s 或 mm^2/s , cgs 制为厘斯(cSt), 其相互关系为:

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^6\text{mm}^2/\text{s} = 10^6\text{cSt} \quad (1-2-5)$$

运动粘度 ν_t 是动力粘度 μ_t 与同温度、同压力下液体密度 ρ_t 之比, 用下式表示:

$$\nu_t = \mu_t / \rho_t \quad (1-2-6)$$

原油的运动粘度可通过毛细管粘度计来测定。测定一定体积液体通过毛细管时所需时间 τ (s), 将时间 τ 乘以该毛细管粘定计常数 C , 即可得运动粘度 ν_t :

$$\nu_t = C \cdot \tau \quad (1-2-7)$$

由于运动粘度测定方法简单, 正确性较好, 一般误差小于 $0.1\text{mm}^2/\text{s}$, 因此得到广泛应用。在输油生产中常常是测定原油的运动粘度。

(3) 条件粘度 条件粘度中最常用的是恩氏粘度, 即所测的油品在某温度下, 从恩氏粘度计中流出 200ml 所需要的时间与在同样条件下流出 200ml、20℃ 的蒸馏水所需的时间的比值。除了恩氏粘度外常用的还有赛氏粘度和雷氏粘度。各种粘度都可以查图进行换算。

2. 粘度与温度的关系

温度对粘度有极其重要的影响, 温度升高, 粘度降低, 油品温度降低, 则粘度增高; 所以, 在说明原油或油品的粘度时, 必须注明温度条件, 否则粘度数据没有意义。原油和油品在某一温度范围内, 随着温度降低, 粘度增大不很显著, 但降低到某一温度点(反常点), 随着温度降低, 粘度将有显著变化, 这一点在输油和生产中应引起足够重视。

3. 粘度与化学组成的关系

随着馏程增高, 油品的密度加大, 粘度也迅速增大。当馏程相近时, 油品中含烷烃多粘度最小, 含环烷烃多粘度最大, 芳香烃介于两者之间。

四、低温性能

原油及油品的输送和储存条件与其低温下流动性能关系十分密切。由于用途不同以及不同国家采用不同测定方法, 油品低温性能有多种评定指标, 如浊点、结晶点、冰点、凝点、倾点、冷滤点等。

(一) 石油及其产品凝固的实质

石油及油品在低温下失去流动性有两种情况:

(1) 含蜡很少或不含蜡的原油和油品, 随着温度降低, 粘度迅速增大。当粘度增大到一

定程度(大约为 $3 \times 10^5 \text{mm}^2/\text{s}$)后,原油和油品就变成无定型的玻璃状物质而失去流动性,这种凝固称为粘稳凝固。油品在特定条件下刚刚失去流动性的温度称为疑点。油品的“凝固”这一词并不确切,因为在油品刚失去流动性的温度下,油品实际是一种可塑性物质,而不是固体。

(2)含蜡原油或油品受冷时,情况有所不同。含蜡油随着温度下降,油中的蜡就会逐渐结晶出来,开始出现少量极细微的结晶中心,油品中的高熔点烃分子在结晶中心上结晶,结晶逐渐长大,使原来透明的油品中出现云雾状的浑浊现象,此时的温度称为浊点或云点;如果继续降低温度,蜡结晶逐渐长大,结晶刚刚明显可辨的温度称为结晶点。当温度进一步下降,结晶大量析出,并连接成网状结构的结晶骨架,蜡的结晶骨架把此温度下还处于液态的油品包在其中,使整个油品失去流动性,这种现象称为构造凝固。在特定条件下出现油品刚失去流动性的温度,称为疑点。从以上分析可以看出,所谓构造凝固这一名词,其含义也并不确切,因为蜡的结晶骨架中还包含着大量液态油品,其硬度离“固”相差还很远。

(二)基本概念

1. 浊点和结晶点

浊点又称云点,就是原油和油品在规定仪器和条件下降低温度,使其开始出现石蜡结晶而使试油开始呈现浑浊时的最高温度。结晶点是在同样的仪器中,用同样的方法测定的。测定了试油的浊点以后,继续将试油冷却,直到试油中呈现出肉眼所能看得见的晶体时(可将装油的试管放在带有反光镜的暗箱中或试管架上观察)的最高温度称为结晶点。在达到结晶点时,整个试油仍然处于可流动的液体状态。

2. 凝固点和倾点

所谓凝固点(也叫凝点),只是在特定的仪器中,在一定的试验条件下,试油刚失掉流动性时的温度。而所谓失掉流动性也完全是条件性的,即把装有试油的规定试管,在一定条件下冷却到某一温度后,将其倾斜 45° 角,经过一分钟后,肉眼看不出管内油面有移动,则认为该油“凝固”了,产生这种现象的最高温度称为该试油的凝固点。

所谓倾点,是指石油产品从标准型式的容器中流出的最低温度或称为流动极限,通常将凝固点加上 2.8°C 就是倾点。倾点比浊点低。油品的沸点越高,其凝点和倾点就越高。

3. 熔点、滴点和软化点

熔点是石蜡、地蜡和高熔点石油产品的一个质量指标。在特定的仪器中测定已预先熔化试样的降温曲线,取降温曲线中温度下降最慢的一段曲线的开始温度作为试样的熔点。

滴点是润滑油的重要质量标准,表示润滑脂使用温度范围的界限。滴点是在规定条件下,固态或半固态石油产品达到一定流动性时的最低温度(GB 4029)。

软化点是沥青使用的界限温度,它是在一定条件下加热,沥青软化到一定稠度时的温度,采用环球法测定(GB 4507)。

五、燃烧性能

石油及其产品大部分用作燃料,原油和油品又是很容易着火、爆炸的物质,因而研究它们爆炸、着火、燃烧有关的性质——闪点、燃点及自燃点,对原油和油品的安全储存、输送、炼制及产品应用有很重要的意义。

1. 爆炸极限

烃类和油品的蒸气与天然气一样,和空气以一定的比例混合后,可以形成爆炸性的混合物,遇到外界火源时就会发生闪火或爆炸现象。

并不是任何油气和空气的混合物都能闪火爆炸，只有混合气中烃或油气的浓度在一定的范围内才有可能。低于此浓度范围油气不足，高于此浓度范围则空气不足，此浓度范围称为爆炸范围。其浓度下限和上限称为爆炸下限和爆炸上限。

一般油品的沸点越低，质量越低，其爆炸极限的范围越宽，油品越危险。油气爆炸压力与油气浓度有关，当油气浓度达3%时，爆炸压力达到最大值。爆炸压力还和混合气原来压力有关，随着可燃混合气压力增高，爆炸后压力迅速增大。例如天然气的常压混合气爆炸后压力为 $(6 \sim 8) \times 10^5 \text{Pa}$ ，当混合气压力为 $3 \times 10^5 \text{Pa}$ 时，爆炸压力可达 $(20 \sim 24) \times 10^5 \text{Pa}$ 。爆炸压力还随压力和温度的升高而变宽，其着火危险性增大。

某些油品蒸气或可燃气体与空气形成混合物的爆炸极限见表1-2-2。

表1-2-2 某些油品的燃烧性能

可燃物名称	体积百分比/%		闪点/℃	燃点/℃	自燃点/℃
	上 限	下 限			
天然气	5.0	16.0	< -66.7		650 ~ 750
汽油(原油)	1.1	6.0	-50 ~ 30		510 ~ 530
煤 油	2.0	3.0	28 ~ 45		380 ~ 425
柴 油			60 ~ 140		约 350
原 油			-20 ~ 100		380 ~ 531
航空润滑油			180 ~ 210	230 ~ 260	360 ~ 380
氢	9.5	66.3			580 ~ 590

2. 闪点

由于测定爆炸范围比较麻烦，而且这个指标不够直观，因而出现了描述油品安全性较直接的指标——闪点。闪点是將油品放在规定的仪器中，在规定试验条件下升高温度，逸出的油蒸气与空气形成的混合气，当与火焰接触时能发生瞬间闪火(闪火时间少于5s)时的最低温度。当测定煤油、柴油以及润滑油的闪点时，就是测定该油气爆炸下限时的温度；汽油则不同，在室温下，汽油在密闭容器中因为油气太浓，空气不足而不会闪火，当冷却降低其蒸气压，则可以达到使混合气发生闪火的温度。显然，汽油的闪点是相当于油气达到爆炸上限时的温度。

油气闪火后如果没有新鲜的烃类蒸气和空气补充，火焰随即熄灭。闪火后如果源源不断地提供烃类蒸气和空气，则闪火后形成连续的火焰，这就是燃烧现象。

3. 燃点和自燃点

油品在规定的条件下加热到一定温度，当火焰接近时即发生燃烧，且着火时间不少于5s的最低温度，称为该油品的燃点。在规定的条件下加热油品，外界无火焰，油品在空气中自行开始燃烧的最低温度，称为该油品的自燃点。

油品愈轻，其沸点越低，则其闪点、燃点愈低，但其自燃点却愈高。汽油的闪点约为 $-50 \sim 30^\circ\text{C}$ ，润滑油闪点高达 $130 \sim 325^\circ\text{C}$ 。大气压力对闪点有影响，闪点随压力升高而增大，通常所说的闪点是指常压下的闪点。

油品的闪点、燃点、自燃点与油品的化学组成有关。一般原油中石蜡较多者，闪点较高。烷烃比芳香烃容易自燃，所以烷烃自燃点比较低，但其闪点比粘度相同而含环烷烃和芳香烃较多的油品为高。

闪点是油品的安全性指标,可燃液体的危险等级就是根据闪点划分的(表 1-2-3)。重质油中如混入少量低沸点油品,其闪点大大下降。因而可以从闪点判断重质油中是否混入轻油。由于油的闪点很低,它和汽油一起被列入一级可燃品之列。从安全角度来看,在比闪点低 17℃ 左右的温度下倾倒油品才是安全的。

表 1-2-3 石油产品的安全等级

油品名称	闪点	失火危险等级	备注
溶剂油类、汽油类苯类	< 28℃	1 级	易燃石油产品
柴油类	28 ~ 45℃	2 级	
柴油、重油类	45 ~ 125℃	3 级	可燃石油产品
润滑油、润滑脂类	> 120℃	4 级	

第三节 原油的分析化验

输油泵站原油试验主要测定原油的密度、含水、凝点、粘度,考虑到生产安全因素,偶尔也测定油品的闪点。根据中华人民共和国国家标准《原油试验法》(GB/T 2538—88),原油密度测定按 GB/T 1884 进行,再按 GB/T 1885 将测得的视密度换算成标准密度。原油水分测定按 GB/T 260 进行。原油凝点测定按 GB/T 510 进行。原油粘度测定按 GB/T 265 或 GB/T 11137 进行。本节内容参照最新的国家标准编写。

一、密度测定法

单位体积内所含石油的质量,称为石油的密度。其单位为 g/cm^3 。

原油及石油产品随温度变化而改变其体积,密度也随之发生变化。因此油品密度的测定结果必须注明测定温度,用 ρ_t 表示。其中, t 为测定该值时的温度。

我国统一把 20℃ 的密度规定为石油产品的标准密度,以 ρ_{20} 表示。因此石油密度计在 20℃ 时进行分度,即使用时只有在 20℃ 时密度计的示值才是正确的。在其它温度如 t 度时测得之密度,称为视密度 ρ'_t ,需按本方法查算为 20℃ 时密度 ρ_{20} 。

密度计法是以阿基米德原理为基础。当被石油密度计所排开的液体重量等于密度计本身重量时,密度计处于平衡状态,即稳定地漂浮于液体石油产品中。

试油密度不同,同一密度计在试油中下沉程度不同,试油密度愈大,密度计下沉得愈少。

石油密度的测定常用方法有以下三种:

(1) 密度计法 适用于粘度不太大的液体石油产品。该方法简单易行,准确度不高,误差为 0.001 左右。一般用于生产现场及质量检验。

(2) 比重瓶法 操作较繁琐,准确性较高,误差最大为 0.0004,是科学研究中常用的方法。

(3) 混合法 适用于经加热仍难得到流动性较好的均匀液体的粘稠试油。采用等体积已知密度的煤油 ρ_2 稀释试油,混合均匀后,用密度计法测定混合液的密度,然后按下式计算试样 ρ_{20} 。

$$\rho_{20} = 2\rho_1 - \rho_2$$

混合法的准确性较差,应尽量避免使用。