

●石油天然气行业标准宣贯教材●

原油管道运行技术

YUANYOU GUANDAO YUNXING JISHU

张 城 主编



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

石油天然气行业标准宣贯教材

原油管道运行技术

张 城 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是在 SY/T 5366—2004《原油管道运行规程》基础上总结我国 30 年来原油管道输送技术的发展成果和经验编制而成,针对原油管道输送的实际,详细阐述了原油管道(包括热油管道)的输送工艺及运行技术、风险管理、应急预案等。

本书内容翔实,注重生产应用,实用性强,对促进原油管道输送技术的发展有一定的作用,是从事原油管道输送人员提高业务素质和技术水平的参考读物。本书的主要读者对象是原油管道企业的技术人员和运行操作人员。

图书在版编目(CIP)数据

原油管道运行技术/张城主编.

北京:石油工业出版社,2007.3

ISBN 978-7-5021-5965-8

I. 原…

II. 张…

III. 石油管道-管道工程

IV. TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 028966 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2007 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 2 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:6.5

字数:160 千字 印数:2001—3000 册

定价:25.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《原油管道运行技术》编委会名单

主 编：张 城

编 委：杨其国 张增强 闫 啸 王各花
 孙铁良 刘玲莉 杨雪梅

前 言

目前，国内外先进的原油管道普遍采用全线自动控制的密闭输送工艺，并且配置高效的加热炉和节能型输油泵；运用计算机仿真系统模拟管道运行和事故工况，控制中心的调度人员通过计算机可实现管道流量、压力及泵、炉、阀等设备的自动控制，并通过仿真系统软件完成泄漏检测、定位、设备优化配置、运行模拟、培训模拟等。在对原油管道的管理过程中不断地对输油运行进行优化并对现役管道定期进行安全检测和完整性评价。

我国与美国、俄罗斯等国的原油管道就目前采用的工艺技术和方法而言，水平相当，但在管道的运行管理和主要输送设备的有效利用水平上还存在着一定的差距。如何提高我国管道的运行管理水平，缩小差距？如何在确保原油管道（特别是热油管道）安全运行的同时，降低管道运行的能耗？这是从事原油管道运行管理人员所面临的重大课题。

本书是SY/T 5366—2004《原油管道运行规程》的宣贯教材，是在此标准的基础上总结30年来我国原油管道输送技术的发展成果和经验编制而成，针对原油管道输送的实际，详细阐述了原油管道（包括热油管道）的输送工艺及运行技术、风险管理、应急预案等。

原油管道技术方面的专著已经出版很多，但一般偏重理论和设计的较多，而专门论述原油管道运行方面的书籍相对较少，为此，在油气储运专业标准化技术委员会的安排下，组织了原油管道运行方面的专家编著了此书。由于时间比较紧，加上编撰人员的水平，难免存在一些不足之处，请读者多多指正。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 国内外原油管道运行标准的特点与差别	(1)
一、国外管道标准体系	(1)
二、国外管道运行与维护类标准的特点	(2)
第二节 原油管道输送技术的发展概述	(2)
一、运行技术现状	(3)
二、技术的发展	(4)
第二章 原油管道输送	(5)
第一节 原油的理化性质及其分析	(5)
一、原油的组成与分类	(5)
二、原油的物性及分析	(5)
第二节 原油管道温降	(8)
一、原油管道的总传热系数	(8)
二、热油管道温降	(9)
第三节 管道摩阻	(10)
一、热油管道的特点	(10)
二、热油管道摩阻的计算	(11)
第四节 输送工艺	(12)
一、含蜡原油流变特性的评价	(12)
二、输送工艺	(12)
第三章 管道的运行	(17)
第一节 管道运行允许参数的确定	(17)
一、运行压力	(17)
二、运行温度	(17)
三、热油管道最低输量	(18)
四、热油管道的停输与再启动	(19)
第二节 原油管道投产	(21)
一、试运投产的程序与方案	(21)
二、投产准备	(22)
三、站场设备的试运	(22)
四、管道的清扫	(23)
五、原油管道投产技术	(23)
六、热油管道投产	(25)
第三节 原油管道运行	(25)
一、调度指挥	(25)

二、运行技术要求·····	(26)
三、管道运行安全·····	(27)
第四节 原油管道清管·····	(27)
一、一般要求·····	(27)
二、清管方案·····	(28)
三、清管器与清管设施·····	(29)
第五节 原油管道设备·····	(31)
一、输油泵机组·····	(31)
二、加热设施·····	(32)
三、储油罐与阀门·····	(34)
四、计量与标定装置·····	(35)
第六节 输油管道监控与数据采集 (SCADA) 系统 ·····	(36)
一、SCADA 系统的构成 ·····	(36)
二、SCADA 系统的功能 ·····	(40)
第七节 管道仿真与 GIS 技术 ·····	(41)
一、管道运行仿真技术·····	(41)
二、GIS 技术在管道中的应用·····	(42)
第四章 管道维护与抢修·····	(43)
第一节 原油管道的腐蚀控制·····	(43)
一、腐蚀的危害·····	(43)
二、腐蚀的类型·····	(43)
三、管道的腐蚀·····	(44)
第二节 管道的腐蚀控制·····	(48)
一、油气管道腐蚀控制的基本方法·····	(48)
二、输油管道保护·····	(48)
三、管道的腐蚀监控和管理·····	(49)
第三节 管道的外防腐·····	(50)
一、管道的外防腐层·····	(50)
二、油气管道防腐层的维护·····	(51)
三、管道的阴极保护·····	(52)
四、外加电流阴极保护·····	(54)
五、阴极保护系统故障的原因与管道维护·····	(56)
第四节 管道维护与抢修·····	(57)
一、焊接修补 (包括运行条件下的焊接修补) ·····	(57)
二、非焊接修补 (运行条件下) ·····	(58)
三、原油管道动火·····	(58)
四、输油管道事故的抢修·····	(60)
第五章 原油管道的风险管理·····	(61)
第一节 原油管道的风险管理·····	(61)
一、风险评价与风险管理的概念·····	(61)

二、风险评价方法·····	(62)
第二节 原油管道的风险评价·····	(63)
一、管道的风险评价·····	(63)
二、原油管道风险管理要求·····	(64)
第六章 原油管道应急预案·····	(66)
第一节 原油管道应急预案的制定·····	(66)
一、必要性 ·····	(66)
二、原则与分类·····	(66)
第二节 原油管道事故应急救援体系·····	(67)
一、事故应急救援体系·····	(67)
二、应急预案的编制·····	(68)
三、社会救援支持·····	(70)
四、应急预案的培训·····	(70)
五、应急预案的演练·····	(71)
六、应急预案的启动和终止 ·····	(71)
第三节 输油管道的事故应急预案·····	(72)
一、输油管道应急预案的格式·····	(72)
二、风险分析·····	(73)
三、输油管道重大事故的应急抢险措施·····	(73)
附录 SY/T 5536—2004 原油管道运行规程 ·····	(79)

第一章 概 述

第一节 国内外原油管道运行标准的特点与差别

我国的标准化体制是把标准分为强制性与推荐性两类，而国际上通行的是“技术法规—技术标准”体制，就是说技术法规是强制性的，而技术标准则是推荐性的。

管道输送石油天然气是最经济的运输方式。随着国民经济的发展，对能源的需求不断增长，油气管道，特别是跨国管道将有很大的发展。而管道的大发展，遵循的标准首先要相互认可并统一，标准化是成为双方交流合作的主要内容。为满足油气管道发展战略需要，形成配套的油气管道标准体系并与国际接轨势在必行。

一、国外管道标准体系

（一）体系全面成套

国外管道标准体系的特点就是体系全面成套。国外在油气输送管道范围内，对设计、材料、施工安装、检验试验、运行操作与维护、在役管道检测修理直到废弃，所遇到和预计到需要协调统一的各种事物和概念，应有的标准相当齐全，并且都纳入了管道标准体系。

ISO 13623 的引用相关标准，包括 ISO/TC67/SC2 委员会在“石油天然气工业—管道输送系统”的统一题目之下，发布的四个 ISO 标准、IEC 国际标准和美国的 API，ASME，ASTM（美国材料与试验协会），MSS（美国阀门及管件制造商标准化协会），NFPA（美国国家消防协会）等标准，使之得到完整的配套标准的基础支持。

美国的管道系统规范更是大量地引用了 API，ASME，ASTM，NACE，NFPA 等协会（学会）标准，构成了完整的内容体系。

加拿大的引用标准则以本国标准为主，辅以美国的 API，ASME，ASTM，NACE，AGA，NFPA 等标准，看得出其引用配套标准也是很齐全的。

（二）层次恰当分明

以美国的管道标准体系最为分明，也相当简化，其层次如图 1-1 所示。

（三）适用范围划分明确合理

国际标准 ISO13623 用图表示的适用范围明确、清晰地限定为油田及炼厂以外的油气输送管道。

美国的压力管道规范把液体、气体、浆液、燃料气、建筑、制冷、动力、工艺分为多个独立成篇的标准发布。ANSI/ASME B31.4 对液态烃和其他液体管道系统和 ANSI/ASME B31.8 对输气和配气系统的适用范围都限定得非常明确。这是按经济活动性质的同一性做出的划分，而不是按行政系统划分的。

加拿大标准 CSA Z662《油气管道系统》，则把各类输送管道合在一篇标准当中，分为海上、配气、油田蒸汽、塑料、铝制管道等相对独立的章。比较而言，不如美国标准的层次、范围清晰合理。

（四）各层次的着眼点区分明显

仍以美国为例：美国联邦法规提供了危险液体管道的国家安全纲要，是政府规定的国家

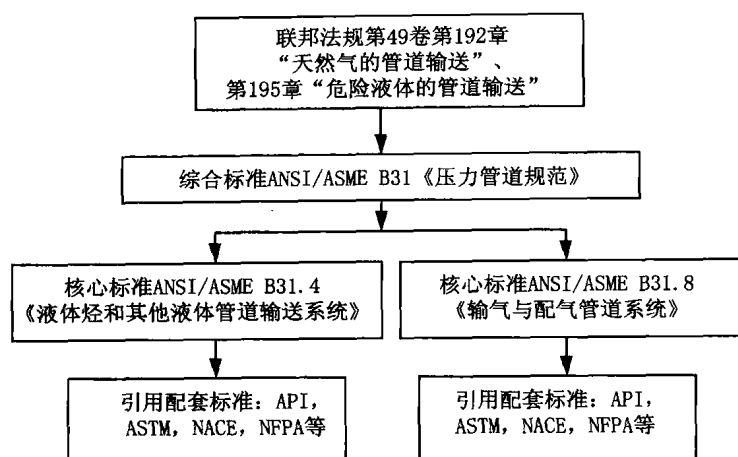


图 1-1 美国的管道标准体系层次

统一的最低标准并通过联邦及各州的合作予以强制执行。

ANSI/ASME B31.4 和 ANSI/ASME B31.8，作为美国国家标准，目的是保护公众和作业公司员工的安全，合理地保护管道系统免遭他人破坏或无意造成的意外损伤，合理地保护环境；在此前提下，对管道系统的设计、建造、检验、试验、运行与维护等环节规定各项技术要求。它并非设计手册，也不是运行规程。它虽然着眼于安全，但对工作区域、安全作业实施细则以及安全装置等属于工业安全规程范围内的内容概不涉及。

而配套的 API，ASTM，NACE 等协会（学会）标准，是从行业（专业）角度提出的技术规范、技术规格或推荐作法。这些标准一般都针对具体的对象，本身并不具有强制性。

二、国外管道运行与维护类标准的特点

(1) 国外标准的“运行与维护”部分，一般都是原则性规定。典型的是 ANSI/ASME B31.4，它声明：

①本规范不可能规定一整套包罗所有情况的详细的运行操作与维修规程。但是，各个运营公司可根据本规范的规定，从公众安全的立场出发，根据本公司从设施上取得的经验和知识以及管道的运行操作条件，编制出能满足要求的运行操作与维护规程。

②本规范中规定的方法和程序可作为一般性的导则，但并不排除个人或运营公司有责任对于面临的特殊情况采用慎重可行的措施。

③必须认识到当地条件（例如温度影响、管内油品特征、地形）将对完成特定的维护和修理工作，具有深远影响。

(2) 强调规程、计划、应急方案的重要性，这在各个标准中占有较大的篇章，而并不规定具体的操作过程或工艺要求。

(3) 对操作人员的培训、考核要求突出。

(4) 非常注意“管道完整性管理”，往往具有独立的章节。

(5) “腐蚀控制”在运行与维护部分占十分重要的地位。

第二节 原油管道输送技术的发展概述

总结近几年原油管道输送技术的发展，主要有以下两方面取得了较大的进步：一是以高

含蜡原油输送技术为标志，管道输送技术取得较大进步，并得到广泛应用；二是以自动化控制技术应用为标志，管道运行管理技术水平上了新的台阶。

一、运行技术现状

（一）输送技术

以高含蜡原油输送技术为标志，管道输送技术取得进步。

1. 基础研究取得重大进展

初步建立了高粘易凝原油停输与再启动的计算机数学模型，并开始输油管道上进行停输实验研究；在管输过程中各种剪切作用定量描述及模拟方法等多项理论创新的基础上，成功研究了加剂原油剪切和热力效应定量模拟技术，填补了国内外空白，为加剂输送管道的设计和运行提供了理论和技术支持。

2. 加剂输送技术应用于新管道的设计中

中银输油管道是我国第一条按加降凝剂综合热处理输送设计的输油管道，中间不设加热站，不仅节省加热站投资，而且与加热输送相比，每年还可节省运行成本；苏丹输油管道也是采用中国石油的加剂输送技术进行设计和运行的，这是目前世界上最长的加剂输送管道。

输油管道减阻剂技术得到应用，库鄯输油管道、马惠宁输油管道及庆铁输油管道都采用减阻剂进行增输及在事故等特殊情况下的降阻。

3. 减阻剂、降凝剂的研究取得重大突破

先后研制出的减阻剂和系列降凝剂，具有显著的减阻和对原油改性效果〔例如库鄯输油管道所输原油添加 30×10^{-6} （质量分数）减阻剂后，增输幅度达到了 19%；马惠宁输油管道加降凝剂综合热处理后，降凝幅度可达 20°C 〕。

（二）管道运行管理

以自动化控制技术应用为标志，管道运行管理技术水平上了新的台阶。

1. 管道自动化控制技术

新建输油管道所采用的 SCADA 系统，增加了在线实时控制、运行优化、泄漏检测及培训模拟系统。实现了对全线各输油站场、线路截断阀、阴极保护站、通信站、高低点压力变送站实时数据的采集、监控与统一调度管理，实现了中间站无人值守。庆铁、铁大、铁秦等老管线相继进行技术升级改造后，SCADA 系统实现了全线集中在线实时监测遥控、遥调、遥测和遥信控制。

2. 密闭输送技术

从 20 世纪 80 年代铁大线、东黄线密闭输油工艺的应用开始，不仅解决了计算机数值分析问题，而且解决了水击保护控制问题。

针对库鄯输油管道大落差情况（在 113km 的范围内，落差高达 1660m），研究了大落差管道水力瞬变特性，建立了管道水击事故超前控制的数学模型，提出了大落差管道水击事故超前控制及动态模型控制的方法。同时，采用钢管变壁厚和设置减压站技术，解决了管线大落差对管道运行可能造成危害的技术难题。

3. 管道仿真技术得到应用

管道运行工艺及质量预测及混油控制研究等多项科技成果在投产和运行中得到应用。

（三）管道运行管理改革和完善

1. 区域性油气管网的集中调控管理日趋加强

由原来按线分散管理的模式，逐步转向区域化集中管理，不仅实现了优化运行，降低了

运行成本，而且安全运行的保证程度明显提高。

管道企业重组和改革，以及新管道建成后采用新型的开放式管理体系，专业化技术服务在新的管理体制中技术优势得到充分发挥，促进了管道运行管理体制的不断完善。

2. 管道内检测与保护技术在管道安全运行上发挥重要作用

国内现有管道腐蚀检测器已能满足 DN250mm~DN1020mm 各种口径管线的检测需求；内检测技术的不断推广应用为提高管道运行可靠程度提供了有效手段。

针对日益严重的打孔盗油现象，输油管道已采用负压波泄漏检测技术对管线进行监控，进一步提高管道安全运行状态。

二、技术的发展

（一）管理水平亟待提高

管道技术和管理的发展与管道建设密切联系。每一次大的管道建设的高潮，都会带来管道技术的飞跃；每一次管道技术的飞跃，又进一步推动了管道管理体制、机制的改革，促进了管理水平提高。

技术与管理是企业发展的两个车轮，管理方法和手段是企业管理的重要组成部分。随着油气管道业务的迅速发展，已经由过去单一的管道，发展为地区性乃至全国性管网。必须变革传统的管理方法和手段，加快科技进步，广泛应用信息技术，适应今后管道事业发展的需要。

（二）原油管道技术发展方向

一是继续开展原油流变性基础研究，继续进行高含蜡原油改性及常温输送的工艺的研究，同时完成大庆原油和俄罗斯原油顺序输送工艺的研究，保障俄罗斯原油引进后不同输量条件下东北管网的安全经济运行，同时满足炼厂对不同原油的需求。

二是完善管道安全运行基础管理，建立管道完整性评价管理体系及配套技术，形成在役管道有计划维修机制，减少和避免事故抢修，保障在役管道安全运行。

三是在以下重点技术方面取得进步：

- （1）管道节能与环保技术；
- （2）管道内检测技术；
- （3）管道泄漏检测技术；
- （4）地质灾害及特殊地段监测与防护技术；
- （5）储运设备安全检测及评价技术；
- （6）管道快速抢维修技术。

四是加强输油管网的优化运行及原油贸易计量的准确度，以适应国际管道的安全经济运行。

五是加快管道信息系统的研究和推广应用，发挥信息技术优势，提高管道建设和运行管理水平。

第二章 原油管道输送

第一节 原油的理化性质及其分析

一、原油的组成与分类

(一) 原油的组成

原油的组成极为复杂，但其元素组成却较为简单，原油主要由碳和氢两种元素组成，其含量（质量组成）在原油中占 96%~99%，其中，碳含量为 83%~87%，氢含量为 11%~14%；其他还有硫、氮和氧等元素，这三种元素总含量一般为 1%~3%。此外，在原油中还含有微量金属元素。

(二) 原油的分类

1. 化学分类法

化学分类法是以原油的化学组成为基础，但因为有关原油化学组成的分析比较复杂，故通常采用同原油化学组成有直接关联的几个物性参数作为分类依据。

2. 工业分类法

原油的工业分类是化学分类的补充，在工业上有一定的参考价值。可根据密度、含硫量、含氮量、含蜡量和胶质含量进行分类。

3. 按流动性质分类法

我国各油田所产原油按其流动性质可分为三大类：第一大类是轻质原油，例如我国塔里木油田的塔中原油等；第二大类是蜡含量较高的易凝原油（含蜡原油），如大庆原油等；第三类是胶质含量较高的高粘原油，如胜利原油。一般也将后两类统称为“易凝高粘”原油，而胶质沥青质含量较高的高粘重质原油（也称为稠油）一般归类为高粘原油，例如辽河油田的高升原油、胜利油田的单家寺原油、渤海油田的埕北原油等。轻质原油主要集中在我国西部塔里木油田，我国东部大部分油田的原油是以大庆原油、胜利原油为代表的“易凝高粘”原油。

二、原油的物性及分析

(一) 原油的物性

原油的物理化学性质是进行输油管道设计和运行控制的主要依据，也是评定原油质量的重要指标。

原油的物理化学性质和它们的化学组成及结构有密切的关系。由于原油是复杂的混合物，所以，其物理化学性质是组成它们的各种烃类和非烃类化合物性质的综合表现。

1. 原油的凝点和倾点

单纯的化合物在一定的条件下，由液态变为固态和由固态变为液态的温度是相同的，而且是一定值。而对原油来讲，它是一个由多种化合物组成的混合物，因而也就没有固定的凝点。

所以，通常把在一定的条件下，原油由流动状态到失去流动性时的最高温度定义为凝点；同时，把在一定的条件下，原油由凝固恢复到流动状态的最低温度称为倾点。

2. 原油的密度

密度是指单位体积物质的质量，原油在 20℃ 时的密度为原油的标准密度，单位符号为 kg/cm³。温度对原油密度影响很大，温度升高，体积膨胀，密度减小；温度降低，体积收缩，密度增大。如已知 20℃ 是原油的标准密度，其他温度下的密度可按式进行计算：

$$\rho_t = \rho_{20} - \alpha (t - 20)$$

式中 ρ_t —— t ℃ 时原油密度，kg/cm³；

ρ_{20} ——20℃ 时原油密度，kg/cm³；

α ——原油密度温度系数，kg/(cm³·℃)。

3. 原油的粘度

粘度是评价原油流动性能的指标。在原油输送过程中，粘度的高低决定着流量和摩阻损失的大小，是决定输油管道运行能耗的重要参数之一。温度对原油的粘度影响很大，温度升高，粘度降低；相反，温度降低，粘度升高。原油的粘度可用动力粘度和运动粘度表示，它们之间的关系可表示为：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

式中 μ ——原油的动力粘度，Pa·s；

ρ ——原油密度，kg/cm³；

ν ——原油的运动粘度，m²/s。

大庆原油和长庆原油的粘温曲线如图 2-1 所示。

(二) 含蜡原油的流变特性

1. 流变特性随温度发生变化

当油温高于反常点，原油为牛顿流体；当油温低于反常点，原油一般为非牛顿流体。原油出现屈服值的温度称为失流点。油温低于反常点、高于失流点的范围内，含蜡原油一般为假塑性流体，表观粘度是温度与剪切速率的函数，粘温曲线呈放射状；随着油温降低，剪切稀释性及触变性逐渐增强，油温低于失流点，含蜡原油一般为屈服假塑性流体，表现出明显的触变性和剪切稀释性。

原油在不同的温度区间内其流变特性不同，因为在不同的温度下蜡晶析出情况不同，使粘温曲线斜率发生变化，在析蜡点曲线发生转折。

2. 含蜡原油的触变性

油温低于反常点后，含蜡原油逐渐呈现触变性，油温越低，触变性越明显。含蜡原油触变性是原油中蜡晶结构受剪切后裂解与恢复过程的表现，与原油含蜡量、温度及启动及输送压力等多种因素有关。

含蜡原油的结构恢复性也是较明显的，如经剪切达到平衡粘度的原油，在静置一段时间后重受剪切时，其开始时的表观粘度要比原来的平衡粘度高，再剪切一段时间后，通常能恢复到原来的平衡粘度。

原油的触变性及平衡粘度对管道输送的压降有重要的影响，故对于输送含蜡原油的管道，其沿程摩阻可近似按平衡粘度计算。

3. 静屈服值

含蜡原油的静屈服值一般指原油在低温静态的结构强度。为使原油开始流动，外加剪切

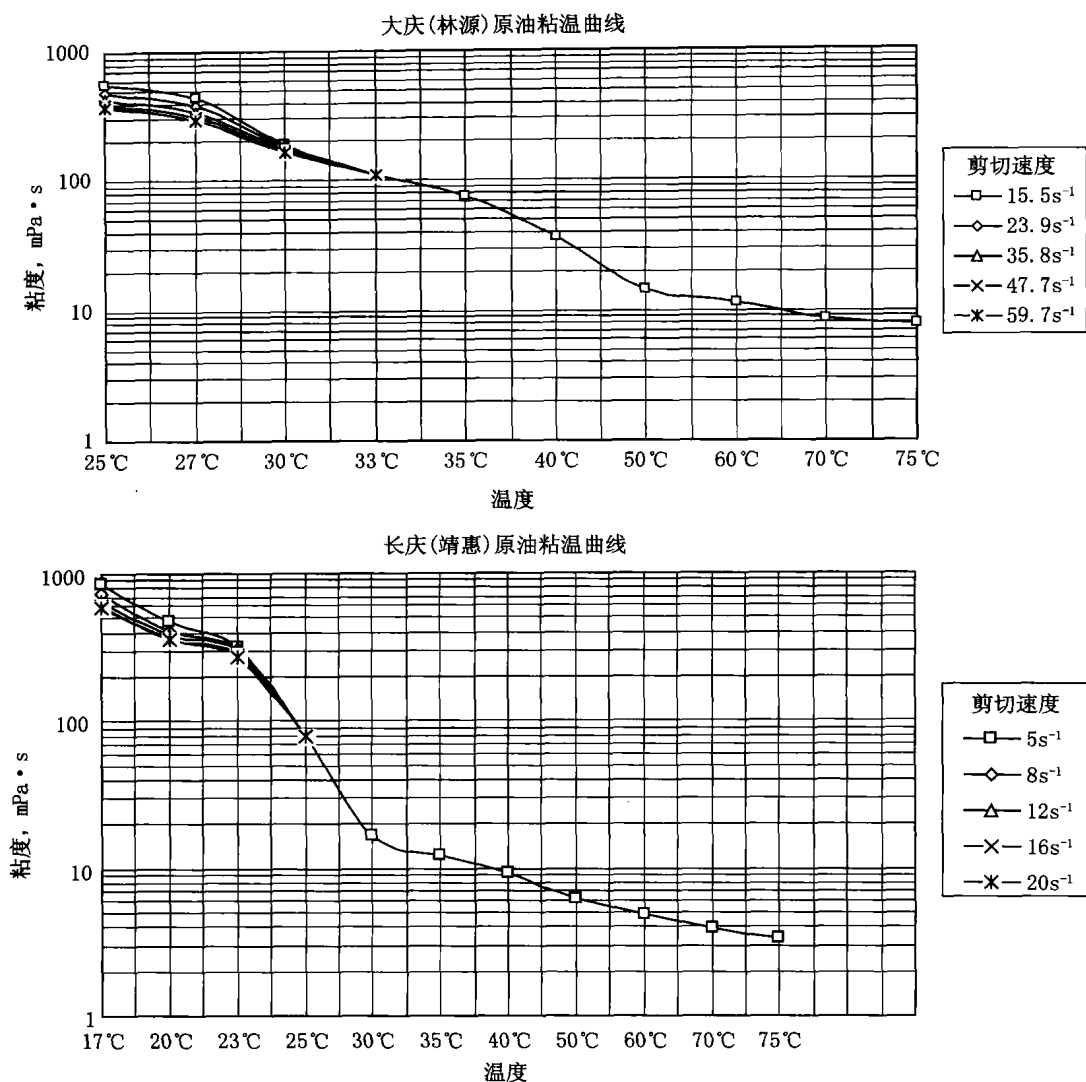


图 2-1 原油的粘温曲线

应力必须大于其静屈服值。静屈服值是衡量原油流动性的重要指标之一，能定性地反映原油管道停输再启动的难易程度。

含蜡原油出现静屈服值的温度及不同温度下静屈服值的变化幅度等不但与原油的组成有关，而且受原油的热历史、剪切历史等因素影响。不同装置、不同测试方法得出的静屈服值有差异，但其变化规律是一致的。常用旋转粘度计或管道模拟环道测量原油的静屈服值。

(三) 含蜡原油流变特性主要评价指标

含蜡原油的组成很复杂，其相态、流变特性的变化不仅与温度有关，还受热历史、剪切历史等多种因素的影响。评价其流变性有很多指标，在管道日常运行中常用的评价指标有：粘度（表观粘度）、凝点（或倾点）、静屈服值。

原油的粘度及粘温关系直接影响油流摩阻大小，原油静屈服值则与管道停输再启动压力直接相关，均是管输工艺设计及运行管理所需的重要参数。凝点与倾点都是条件性指标，是在规定条件下测得的油样“不流动”的最高浊度和“能流动”的最低浊度。含蜡原油的所谓

“凝固”，实质上是从蜡晶为分散相、液态烃为边疆相的两相体系转变为蜡晶是边疆相而液态烃为分散相的两相体系。当外加剪力大于屈服值时，已“凝固”的原油又能恢复流动。

凝点的测试设备简单，凝点容易测定。当处理条件改变时，它与含蜡原油表观粘度、静屈服值的变化趋势一致，故可用凝点的变化来粗略地、定性地判别含蜡原油低温流变性的变化。

含蜡原油的表观粘度、静屈服值、凝点都随原油流变性测定的仪器及方法而有所差别，可参见有关书籍。近年来将热分析的 DSC 技术用于测定原油析蜡过程，可以快速、准确地测定析蜡点、析蜡高峰区及析蜡热焓，这对分析原油流变性有重要作用。

第二节 原油管道温降

一、原油管道的总传热系数

管道总传热系数 K 系指油流与周围介质温差为 1°C 时，单位时间内通过管道单位传热表面所传递的热量。它表示油流至周围介质传热的强弱，在分析与计算热油管道沿程温降时，埋地管道总传热系数 K 值是关键参数。

1. 管道总传热系数 K 值计算

埋地热油管道散热的传递过程是由三部分组成的，即油流至管壁的放热，钢管壁、沥青绝缘层或保温层的热传导和管外壁至周围土壤的传热（包括土壤的导热和土壤对大气地下水的放热）。在稳定传热的情况下，即热油管道经过长期运行，已在管内外建立了稳定的温度场时， K 值计算式为

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

通常在实际运行中反算管道总传热系数 K

$$K = \frac{Gc}{\pi DL} \ln \frac{T_R - T_0}{T_K - T_0}$$

式中 G ——所输油品质量流量， kg/s ；

D ——管道外径， m ；

L ——管道长度（加热站间距）， m ；

K ——管道总传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；

T_R ——管道出站油温， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_K ——管道进站油温， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_0 ——管道埋深处地温， $^{\circ}\text{C}$ ；

δ ——导热层的厚度， m ；

λ ——每个导热层导热系数， $\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；

c ——所输原油比热容， $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；

α_1 ——油流至管内壁放热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；

α_2 ——管外壁至土壤放热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

2. 管道总传热系数 K 值的确定

埋地不保温管道的 K 值主要取决于管道至土壤的放热系数 α_2 。由上述分析可见,土壤导热系数受到多种因素影响,土壤含水量、温度场、大气温度变化等均影响到 α_2 的大小,对于原油管道沿线每一点的 α_2 都是不同的,故难以得到准确的计算结果,目前我国实际生产中均采用经验方法确定 K 值。

一条管道往往要经过各种不同地质条件的地区,即使通过同一地质条件区,由于地貌、地层等条件的不同,土壤的含水率、密实度也不相同,所以各点土壤的传热系数也不尽相同。一般根据热油管道投产阶段和稳定工况的运行参数,代入温降公式中进行反算得出 K 值,并从大量计算值中总结出 K 值的变化范围。利用反算归纳出的 K 值,可作为今后指导管道运行和在同类地区新设计输油管道的参考值。

二、热油管道温降

一般热油管道的输送温度均高于地温,故需对所输原油加热到一定的温度。原油在沿管道流动中不断向周围土壤散热,油流温度逐步降低。其温降的规律和散热量受很多因素的影响,如管径的大小、管道的输油量、加热温度、管道沿线的地质地理及气象环境等。在这些影响因素中,很多因素都是随时间而变化的,从理论上,热油管道始终处于热力不稳定状态。实际生产运行中为了便于操作和控制,一般以稳态热力、水力计算为基础对热油管道进行分析。

(一) 温降计算

1. 温降计算公式

热油管道沿线各处的温度梯度是不同的;在加热站的出口处油温高,油流与周围介质的温差大,温降就快;而在进下一加热站前的管段,由于油温低,油流与周围介质的温差小,温降就慢。

加热温度愈高,散热愈多,温降就快。因此,过多的提高加热站出口油温,对提高下一加热站的油温,往往是收效不大的。常常提高出站油温 10°C 后,进站油温却只升高约 $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。

在不同的季节,管道埋深处的土壤温度 T_0 不同,温降情况也不同,冬季时,温降将显著加快,因此在热力计算时,要慎重地确定 K 值,如 K 值变化较大,则应分段计算其温降,其计算式为:

$$T_K = (T_0 + b) - [T_R - (T_0 + b)] e^{-aL}$$

式中: a, b ——参数, $a = \frac{\pi KD}{Gc}$, $b = \frac{gIG}{\pi KD}$, b 值表示摩擦热对沿程温降的影响;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

I ——管道水力坡降, m/m 。

2. 摩擦热对沿程温降的影响

当流量大及油流粘度高时,摩擦热的影响很大。当管道油温接近周围环境温度即管道散热量较小时,摩擦热对油温影响也比较明显。美国阿拉斯加原油管道,长 1287km ,管径 1220mm 。687km 的架空段保温层厚 95mm ,保温材料为聚氨酯泡沫塑料。设计流量下,流速可达 3.5m/s ,全线不加热,利用摩擦热可使这条伸入北极圈内的原油管道油温保持在 62°C ,终点油温可升至 82°C 。为了避免过大的热应力及管外涂层老化,防止因油温升高而