

YOUTIANSHIYONGQINGFANGLA
YUQINGFANGGOUJISHU

油田实用清防蜡 与清防垢技术

杨全安 慕立俊 主编

石油工业出版社

油田实用清防蜡 与清防垢技术

杨全安 慕立俊 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以作者多年来在油田清防垢领域的科研工作和实践认识为基础,介绍了长庆油田近年来在清防蜡与清防垢技术方面的研究成果及其应用,具有实用性和可操作性,对国内其他油田的清防蜡及清防垢有一定的借鉴作用。

本书可供石油开发相关专业技术人员使用,也可作为大专院校相关专业的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

油田实用清防蜡与清防垢技术/杨全安,慕立俊主编.

—北京:石油工业出版社,2014.1

ISBN 978-7-5021-9975-3

I. 油…

II. ①杨… ②慕…

III. ①石油开发—防蜡 ②油田开发—防垢

IV. TE358

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 013583 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

编辑部:(010) 64523738

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:14.25

字数:339千字

定价:68.00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

《油田实用清防蜡与清防垢技术》

编 委 会

主 编：杨全安 慕立俊

编 委：（按姓氏笔画排序）

王小勇	牛彩云	刘 宁	刘 伟
刘 显	刘 锐	刘爱华	刘景旺
何 森	何治武	张明霞	李宁军
李明星	周 佩	杨立华	杨会丽
胡建国	郭 钢	唐泽玮	裴润有
奚运涛			

前言

在油田开发中，结蜡和结垢与原油生产密不可分，清防蜡和清防垢是采油工程、地面集输工艺重要的组成部分。对保障油田生产十分重要，结蜡和结垢问题会导致开发难度加大、产量下降、能耗增加、成本上升、储层伤害、采收率下降，特别是钡锶垢的清防是一些油田合理开发的关键技术之一。

清防蜡技术近年来在化学剂方面日益向绿色、高效、安全、环保方向发展，研发和使用者不仅考虑清蜡效果，而且要更加重视清蜡剂对下游炼化设备的影响。本书中新增加并强调了有机氯危害检测控制方法，以及其他有害物质对施工人员健康的影响。目前，各类新的清防蜡技术不断出现，有力促进了清防蜡工艺技术的不断进步。

随着国内石油工业高速发展，清防垢工艺面临的高含量钡锶垢结垢问题日益突出。多年来，长庆油田持续开展攻关研究，形成了一系列清防垢技术。本书介绍了长庆油田“纳滤水处理技术”、“地层清垢解堵技术”、“地面管道清垢”等新技术的研究应用，简要介绍了国外井筒清垢技术及化学剂产品的发展动态；从结垢机理、工艺防垢、物理防垢、化学防垢等方面，论述了油田防垢技术涉及的主要内容。本着实用性、可操作性，同时体现技术的先进性，立足长庆油田工作实践进行阐述。

本书参阅了国内外学者及其他油田的一些研究内容，但未经验证。对某些技术产品的评价看法只限于试验条件下个人的观点，仅供读者参考。

书中涉及的技术凝聚了油田生产科研人员的成果、认识，在本书出版之际向他们表示由衷的感谢。

在本书编写过程中得到长庆油田公司领导的高度重视，并得到长庆油田公司油气工艺研究院各位领导及科研人员的大力支持，在此深表谢意。

由于笔者的知识技术水平有限，谬误在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

目 录

第一章 油井结蜡基础理论及影响因素	(1)
第一节 蜡质成分特征及分析方法	(1)
第二节 油井结蜡机理理论探讨	(6)
第三节 结蜡影响因素	(11)
参考文献	(14)
第二章 油井清防蜡技术	(15)
第一节 化学清蜡	(15)
第二节 物理清蜡	(27)
第三节 化学防蜡	(34)
第四节 物理防蜡	(51)
第五节 其他清防蜡技术	(55)
参考文献	(59)
第三章 油田结垢机理及垢型分析方法	(61)
第一节 结垢类型及机理	(61)
第二节 结垢垢型分析方法	(66)
第三节 结垢趋势预测	(74)
参考文献	(84)
第四章 油田常规防垢技术	(85)
第一节 工艺法防垢	(85)
第二节 物理防垢	(90)
第三节 化学防垢	(95)
参考文献	(125)
第五章 纳滤水处理防垢技术	(128)
第一节 常见的几种膜分离技术	(128)
第二节 纳滤技术概述	(131)
第三节 纳滤防垢技术室内评价	(148)

第四节	纳滤防垢工艺及设备	(153)
第五节	纳滤防垢现场应用效果检测方法	(160)
第六节	纳滤系统的运行管理	(169)
参考文献		(171)
第六章	地层清垢解堵技术	(173)
第一节	地层结垢类型及对储层的伤害	(173)
第二节	常见螯合剂及其原理	(177)
第三节	缓速硫酸盐解堵剂	(180)
第四节	地层清垢技术应用	(185)
参考文献		(190)
第七章	井筒及地面集输系统清垢技术	(191)
第一节	物理清垢技术分类	(191)
第二节	井筒清垢技术	(192)
第三节	空化水射流清垢技术及应用	(195)
第四节	高压水射流清垢技术及应用	(205)
第五节	其他清垢技术	(212)
参考文献		(217)

第一章 油井结蜡基础理论及影响因素

在油井开采过程中,原油从地层进入井底,再从井底沿井筒举升到井口时,压力、温度随之逐渐下降,当压力降低到一定程度时,溶解石蜡和胶质的轻质组分逐渐损失,破坏了石蜡在原油中的溶解平衡条件,超过了石蜡在原油中的溶解饱和度,石蜡结晶析出聚集凝结并黏附于油井设施的金属表面,这就是常说的油井结蜡。油井结蜡会使油流通道缩小,增加抽油杆的上行、下行阻力,负荷增加,若清蜡不及时,结蜡严重会使抽油杆卡死在油管中,甚至造成抽油杆断裂事故。此外,对于油层温度较低的油井,由于抽油泵固定阀、固定阀罩及其以下部位压力低,在生产过程中也容易造成蜡堵而被迫修井。

不同油田、不同区块由于蜡质成分不同,导致其结蜡形态、蜡质不同,采取的防治措施也不同,这就要求石油工作者们对油井蜡质成分、结蜡因素及结蜡规律有一定的了解。因此,本章对蜡质成分特征及其分析方法、结蜡影响因素、结蜡规律进行详细的介绍。

第一节 蜡质成分特征及分析方法

一、蜡的概念与结构

当原油热力学条件发生改变时,尤其是原油组成和体系温度发生变化时,沉积的有机固相以结晶方式析出,通常称为蜡质。蜡质成分以蜡为主,同时伴有胶质与沥青质以及井液所携砂粒等。

蜡是由正构烷烃、带支链(或异构)烷烃和环烷烃所组成的复杂混合物。图1-1显示了蜡的基本分子结构,碳原子成曲折形的“之”字排列,亚甲基碳碳键缔合角约 112° 。无论是单体烷烃还是烷烃混合物,在低于其熔点或熔融范围内均为晶体,其结构是烷烃分子围绕一定的结晶点阵振动,振动频率和振幅随温度而定,点阵的形状、大小和空间位置都在晶体中连续重复。

沥青质和胶质是由数目众多、结构各异的非烃化合物组成的复杂混合物。它们的成分并不固定,性质也有所差异,是多种物质的缔合体。沥青质没有确定的化学结构,但是它们具有一定的共性:(1)含多芳香核;(2)N、O和S等杂原子含量高;(3)含烷基侧链基团。通常沥青质的元素组成为:C $82\% \pm 3\%$, H $8.1\% \pm 0.7\%$, N $0.6\% \sim 3.3\%$, O $0.3\% \sim 10.3\%$ 。胶质主要是由4~6个亚甲基将芳香烃连在一起,并含有氧(O)、氮(N)、硫(S)等杂原子,其平均相对分子质量在600~3000之间。

二、蜡的组成及分类

原油中的蜡因其结构和沉积环境不同,可以石蜡(或粗晶蜡)、微晶蜡甚至非晶蜡形态存在。蜡多由高分子烷烃组成,其碳数分布一般介于16~70之间。

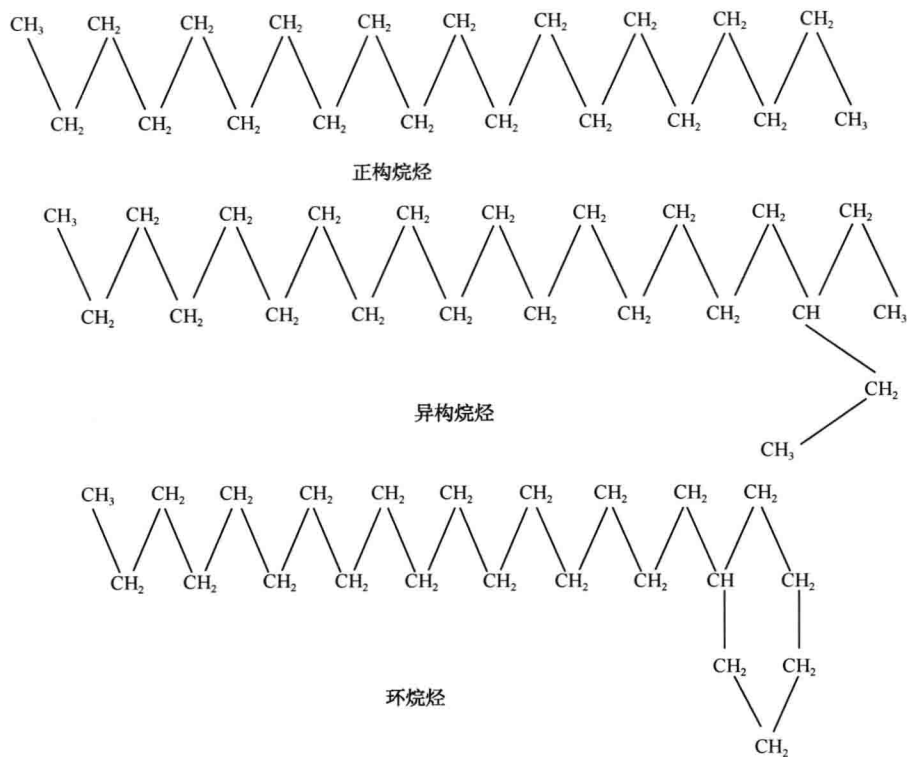


图 1-1 蜡的典型结构式

1. 石蜡（粗晶蜡）

根据碳链结构，石蜡或粗晶蜡主要指 C_{16} — C_{30} 的直链正构烷烃（含量约 90% ~ 92%），少量支链位于碳链末端的异构烷烃（约 7% ~ 8%）和更少量的带长侧链的环状烃类和个别芳香烃（约 1% ~ 2%）。在常温下石蜡呈固态，密度为 $0.85 \sim 0.95 \text{ g/m}^3$ ，碳原子数为 16 ~ 30，相对分子质量约为 260 ~ 500，平均相对分子质量为 360 ~ 430，熔点范围 $40 \sim 65^\circ\text{C}$ ，主要存在于 500°C 以下的馏分中，馏程温度为 $300 \sim 460^\circ\text{C}$ ，少数可达 500°C 。当胶质、沥青质存在时，因温度降低石蜡呈晶体析出，一般以片状为主，只含少量针状晶体，这类晶体的体积与表面积比值较小，石蜡晶体间易于结合成三维网状结构，将液态可流动油组分包围在其中形成凝胶，使含蜡原油流动性能变差，甚至失去流动性。

2. 微晶蜡

微晶蜡主要指 C_{30} — C_{60} 的多种饱和烃混合物，主要为支链在任意位置的长链异构烷烃、少量大分子正构烷烃和长侧链的环状烷烃。分子结构比石蜡更复杂，相对分子质量更大，为 470 ~ 780，微晶蜡常常与沥青质共同存在，对油质（ C_{16} 以下）成分具有更强的复合力，馏程末端产物熔点为 $62 \sim 90^\circ\text{C}$ ，微晶蜡在原油中主要以针型晶体析出，蜡晶细小，结合力强，它与原油中的液态组分形成凝胶比石蜡与原油中的液态组分形成凝胶强度大得多。

原油中的蜡质是构成有机固相沉积物的主要成分，典型原油蜡沉积物由 40% ~ 60% 的石蜡和少于 10% 的微晶蜡组成，而不定形蜡是微晶蜡和油的混合物。微晶蜡和粗晶蜡的组成、性质等都存在明显差异，表 1-1 列出了二者的主要差别。

表 1-1 石蜡和微晶蜡的区别

主要特征		石蜡	微晶蜡
组成 (%)	正构烷烃	80 ~ 90	0 ~ 15
	异构烷烃	2 ~ 15	15 ~ 30
	环烷烃	2 ~ 8	65 ~ 75
	典型碳数分布	$C_{16}—C_{30}$	$C_3—C_{60}$
化学结构		主要是直链分子，包含少量支链分子，个别有芳香烃支链靠近末端	大部分为支链分子，少量为直链分子，支链在碳链的任意位置
相对分子质量		350 ~ 420	500 ~ 800
平均的分子碳原子数		26 ~ 30	41 ~ 50
熔点范围 (°C)		40 ~ 70	60 ~ 90
结晶度范围 (%)		80 ~ 90	50 ~ 65
完好晶形的形成条件		从溶剂中或熔融下均可	只从溶剂中才能形成完好晶形
存在条件		大都在中等馏程的馏分中，一般流程温度为 300 ~ 460°C，少数可达 500°C	常常与沥青质共存，对油质 (C_{16} 以下) 组分具有更大的亲和力，高馏程产物

蜡的晶型常常受蜡的结晶介质的影响而改变，在多数情况下，蜡型呈斜方晶格，但改变条件也可能形成六方晶格，如果冷却速度比较慢，并且存在一些杂质（如胶质、沥青质或其他添加剂），也会形成过渡型结晶结构。斜方晶结构为星状（针状）或板状层（片状），这种结构最容易形成大块蜡晶团，石蜡的主要晶型如图 1-2 所示。

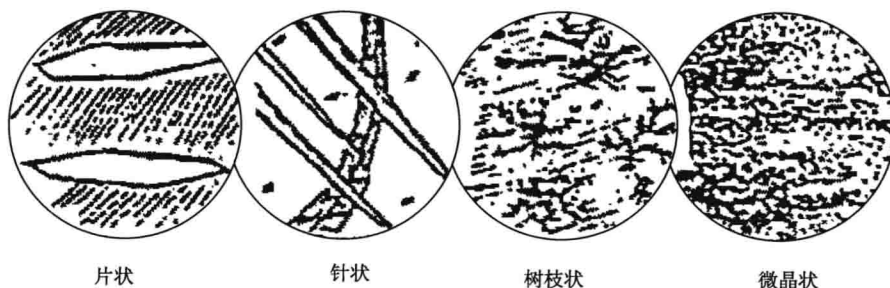


图 1-2 石蜡的主要晶形

三、原油及蜡质组分分析方法

1. 原油组分分析

采用石油行业标准 SY/T 7550—2012《原油中蜡、胶质、沥青质含量的测定》。

(1) 实验方法。

一份试样用正庚烷沉淀出沥青质，并用正庚烷回流除去沉淀中夹杂的油蜡及胶质后，用苯回流溶解沉淀，除去溶剂，求得沥青质的含量；另一份试样经氧化铝吸附色谱分离为油加蜡及沥青质加胶质两部分，其中油蜡部分以苯—丙酮混合物为脱蜡溶剂，用冷冻析出法测定蜡。从沥青质加胶质中扣除沥青质，得到胶质含量。

(2) 蜡、胶质、沥青质含量计算公式。

按下列各式计算蜡、胶质、沥青质含量：

$$\text{沥青质含量} = \frac{\omega_1}{W_1} \times 100\% \quad (1-1)$$

$$\text{蜡含量} = \frac{\omega_3}{W_2} \times 100\% \quad (1-2)$$

$$\text{胶质含量} = \left(\frac{\omega_2}{W_2} - \frac{\omega_1}{W_1} \right) \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 ω_1 —— 沥青质重, g;

ω_2 —— 沥青质加胶质重, g;

ω_3 —— 恒重后的蜡重, g;

W_1 —— 加正庚烷前的试样重, g;

W_2 —— 吸附样试样重, g。

2. 蜡质组分分析方法

根据中华人民共和国石油化工行业标准 SH/T 0653—1998《石油蜡正构烷烃和非正构烷烃碳数分布测定法（气相色谱法）》测定蜡质组分。

四、原油及蜡质组分实例分析

1. 原油组分分析

长庆油田原油含蜡较高, 含量大于 10%, 胶质、沥青质含量较少, 这就使得蜡更容易沉积在管壁表面, 使结蜡程度加重。胶质本身是活性物质, 可以吸附在蜡晶表面, 阻止蜡晶的长大。而沥青质是胶质的进一步聚合物, 不溶于油, 呈极细小颗粒分散于油中, 对蜡晶起到良好的分散作用。表 1-2 以几个典型油样为例, 分析了原油的基本成分。

表 1-2 原油基本成分

油样来源	胶质含量 (%)	沥青质含量 (%)	石蜡含量 (%)
盐 × × -36 原油	1.39	6.61	15
盐 × × -37 原油	1.79	8.21	20
白 × × 2-2 原油	0.66	9.34	10
安塞 1 号原油	1.8	<0.1	24.7
安塞 2 号原油	1.8	<0.1	21.4

2. 长庆油田蜡质组分分析

长庆油田蜡质比较复杂, 很多都是石蜡和微晶蜡的混合物, 主要以微晶蜡为主, 含有少量的石蜡, 蜡质比较硬, 难以溶解。

(1) 白豹油田蜡质分析。

白豹油田蜡质碳数主要分布在 15 ~ 50 之间, 峰值在 30 左右, 微晶蜡平均含量在 55% 左右, 微晶蜡含量较高 (图 1-3, 表 1-3)。

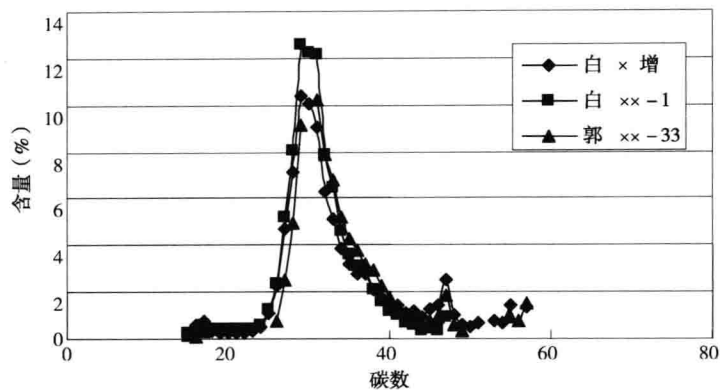


图 1-3 白豹油田 3 口典型井的碳数分布图

表 1-3 白豹油田 3 口典型井蜡样分类结果

井号	层位	碳数分布范围	碳数峰值	石蜡含量 (%)	微晶蜡含量 (%)
白 × 增	—	15 ~ 57	29	39.1	55.2
郭 × × -33	延 9	15 ~ 49	30	18.3	60.1
白 × × -1	长 3	15 ~ 47	29	45.6	49.7

(2) 姬塬油田蜡质分析。

姬塬油田蜡质碳数分布在 15 ~ 55 之间，碳数峰值处于 30 ~ 40 之间，微晶蜡含量平均在 60% 左右，蜡质主要以微晶蜡为主，含有少量的石蜡成分（图 1-4，表 1-4）。

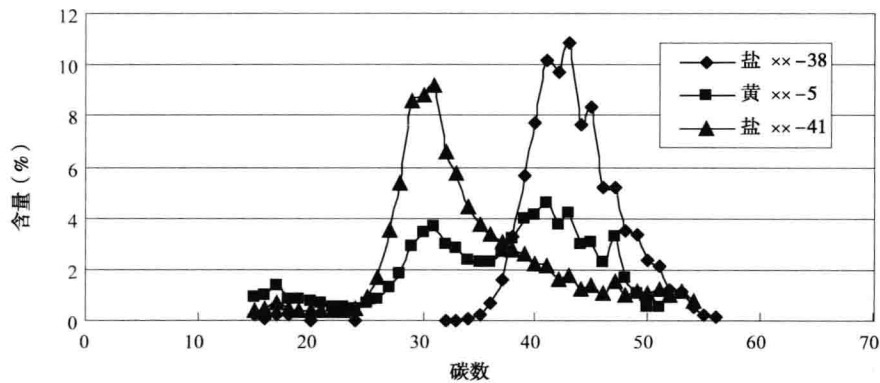


图 1-4 姬塬油田 3 口典型井的碳数分布图

表 1-4 姬塬油田 3 口典型井蜡样分类结果

井号	层位	碳数分布范围	碳数峰值	石蜡含量 (%)	微晶蜡含量 (%)
盐 × × -38	长 2	15 ~ 56	43	0.5	91.2
盐 × × -41	长 2	15 ~ 54	31	32.8	31.6
黄 × × -5	延 9	15 ~ 51	31	18.0	58.4
			41		

(3) 安塞油田蜡质分析。

安塞油田长 10 蜡样的主要成分是正构烷烃，大部分蜡样中正构烷烃的碳数分布在 10 ~ 80 之间，碳数峰值比较高，微晶蜡含量在 60% 以上，熔点高（85 ~ 125℃），蜡质难以清除，清防蜡比较困难（表 1-5）。

表 1-5 安塞长 10 不同井段蜡样组分分析

蜡样	结蜡位置（m）	碳数分布范围	碳数峰值	熔点温度（℃）	石蜡含量（%）	微晶蜡含量（%）
1 号蜡样	100 ~ 300	10 ~ 74	29	85	31.0	63.7
	990 ~ 1322	13 ~ 84	57	125	19.6	75.9
2 号蜡样	上部	13 ~ 76	39	85	30.9	63.7
	下部	12 ~ 80	29	120	29.6	68.3

3. 国内部分油田蜡质组分对比

国内大部分油田原油中所含的蜡属于石蜡，由于地质、开发等不同原因，其正构烃碳原子数占总含蜡量的比例各不相同，但均呈正态分布，碳原子数高峰值约在 25 左右，蜡的熔点较低，清防蜡比较容易。从表 1-6 可以看出，长庆油田和青海 7 深井油的碳数峰值较高，吐哈油田碳数高峰呈现两个高峰值，其中第二个高峰值高达 51，所结出蜡的熔点高达 90℃ 以上，给清防蜡造成一定的困难。

表 1-6 部分油田原油碳数高峰值及含蜡量比较

油样来源	胜利油田 混合原油	大港油田 混合原油	塔里木油 田原油	北疆油 田原油	青海油田	吐哈油 田原油	南阳油田 混合油	大庆混 合原油	长庆油田
碳数高峰值	25	24	28	16	37	19, 51	27	24	34
原油含蜡量（%）	20.6	14.1	3.4	0.09	20.0	12.0	30.9	26.2	18.2

第二节 油井结蜡机理理论探讨

一、油井结蜡理论

原油中石蜡沉积过程是一非常复杂的问题，一方面是因为油气体系的组成十分复杂，各种组分对石蜡沉积的影响有待进一步研究，另一方面石蜡沉积过程要涉及许多理论问题，如蜡的溶解度与结晶、流体动力学、传质动力学及传热学等，目前，对石蜡沉积机理尚不完全清楚，虽然对沉积规律的内因作了重要的探讨，但还未有统一的认识，存在多种解释理论。

1. 溶解度理论

若将溶有石蜡的原油在稳定条件下视为真溶液，原油中的轻质组分能够维持重质组分（如石蜡）在原油中的稳定。不同的原油体系，石蜡碳数的分布范围是不同的，石蜡在原油中溶解与否或溶解多少是由石蜡在原油中的溶解度控制的。

常压下，若视含蜡原油中蜡和油处于固—液平衡状态，将其看成二元物系，液相中油为

溶剂, 蜡为溶质, Berne - Allen 和 Work (1938) 提出预测蜡在烃类溶剂中的溶解度的如下经验关系式:

$$R_p = (1120 - 2.97T_v) \times 1.357^{T_f - T_m} \quad (1-4)$$

式中 R_p ——石蜡的溶解度, g/100mL;

T_v ——溶剂的体积平均沸点, °C;

T_f ——溶液温度, °C;

T_m ——石蜡的熔点, °C。

由式 (1-4) 可知, 石蜡溶解度随体系温度升高而增大, 随温度降低而减小。随温度的增加, 当原油体系达到某一温度时, 原油中石蜡含量小于石蜡的溶解度 R_p 时, 石蜡全部溶解于油中而变为单一的液相; 反之, 温度下降, 石蜡在原油中的溶解度降低, 当温度达到某一值即析蜡点时, 溶液呈过饱和状态, 开始有固体石蜡析出。在温度低于析蜡点时, 析出的固体石蜡逐渐增多, 使原油体系变成液—固两相分散体系状态。随着原油进一步冷却, 蜡析出量不断增加, 蜡晶颗粒分散相逐渐转变为连续相而形成蜡晶网络, 将油包围在网络结构内, 当其强度达到一定程度时, 分散介质则被分割包围在其中而成为分散相, 只有施加一定外力才能使原油发生流动, 一般认为此时原油已发生结构性凝固。

2. 结晶理论

原油中石蜡析出是以结晶方式出现, 当体系的温度下降到析蜡点时, 蜡晶体开始形成, 带长侧链的非极性高分子物质在冷却结晶过程中, 进入石蜡晶体结构中并与石蜡共晶, 而带有极性基团的高分子物质被吸附于蜡晶的表面, 使蜡晶聚集。在含蜡原油中, 无定型固体高分子物质作为晶种, 能诱导晶核形成, 加速蜡晶长大。根据结晶理论, 石蜡的沉积分为 3 个过程: (1) 晶核形成; (2) 晶体成长; (3) 晶体连接形成结构。

此外石蜡的结晶沉积受一定条件的影响, 石蜡结晶时需要一个成核位置来形成晶核, 不溶解的石蜡沉积在其周围, 缺乏成核位置, 石蜡能够以过饱和状态存在于原油中而不产生沉积。地层岩石的表面、井筒和地面设备的表面都是很好的成核位置, 溶于原油中的沥青胶束以及原油中的砂粒等也可以成为晶核的中心。

3. 扩散理论

扩散理论认为, 原油在流动过程中不断地向周围环境散热, 当油温下降到原油浊点时, 蜡晶微粒开始在油流中或管壁上析出, 若原油体系内部和壁面有温差存在, 那么在内部和管壁间必然有溶液内蜡分子或蜡晶微粒的浓度差存在, 由于浓度梯度的存在, 溶液中溶解的蜡分子和析出的蜡晶微粒将向管壁迁移, 并借助分子间力而沉积于壁面上, 迁移方式有 3 种: (1) 溶液中石蜡分子的径向扩散; (2) 蜡晶粒子的剪切弥散; (3) 蜡晶微粒的布朗运动。这 3 种迁移机理又可归结为两个过程, 即溶解石蜡分子的扩散过程和蜡晶粒子横向迁移过程。

(1) 溶液中石蜡分子的径向扩散。

扩散沉积由浓度梯度驱动, 这种浓度梯度是由于温度梯度的存在而建立起来的。在正常生产时期, 生产油管中部的饱和原油温度较高, 溶解的石蜡浓度较大; 而在生产油管管壁一侧, 饱和原油温度较低, 其所溶解的石蜡浓度较小, 因此, 溶解的石蜡将向生产油管的管壁扩散。由于扩散而引起的质量交换将使石蜡的浓度甚至超过溶解上限, 出现这种情况时, 析

出的石蜡黏附在生产油管的内壁上,进而形成石蜡沉积块。

(2) 蜡晶粒子的剪切弥散。

流体呈湍流形态,悬浮于油流中的蜡晶粒子在涡流作用下迅速迁移,因此在流线的任一位置上(次层流除外)蜡晶粒子的浓度基本上是均一的。但是在流体呈层流形态或在湍流时的边界层内,则存在着速度梯度。在速度梯度场中,悬浮于油流中的蜡晶粒子,若不考虑粒子间的相互作用,则除了沿流线方向运动外,在油流的剪切下,还可以一定的角速度转动。结果,蜡晶粒子将逐渐地由速度高处向速度低处迁移,即逐渐向壁靠拢,当其达到壁面处时,其线速度和角速度都将迅速减小,在壁面处油的剪切下最终停止不动,并借分子间的范德华引力沉积于管壁上或并入已形成的不流动层上,这就是蜡晶粒子的剪切弥散。

(3) 蜡晶微粒的布朗运动。

由于分子的热运动,悬浮于油流中的蜡晶粒子,在油分子的撞击下,时刻不停地做无规则运动,即布朗运动。由胶体化学可知,在布朗运动作用下,溶胶粒子从浓度高处向低处迁移的现象叫做溶胶的扩散作用。

由布朗扩散所产生的蜡晶粒子的横向迁移,可以向壁迁移,也可以向湍流中心迁移。实验表明,由布朗扩散机理所产生的蜡沉积同其他两种机理所产生的蜡沉积相比很小,可以忽略不计。

以上3种机理是同时并存的,在不同的条件下,它们对蜡沉积的贡献是不同的,温度高时,分子径向扩散沉积是主要的,温度较低时剪切弥散沉积是主要的。布朗扩散使小石蜡颗粒在平面上移动,这些石蜡颗粒在油流中,与热油分子随机碰撞,这种相互作用使油流中悬浮的固相石蜡颗粒产生微小的布朗运动。

二、结蜡规律分析方法

原油、天然气、石蜡的成分和含量直接影响结蜡规律,原油中轻质馏分越多,溶蜡能力越强,析蜡温度越低,越不容易结蜡。石蜡中碳数越高,蜡的熔点越高、析蜡温度越高和蜡的含量越多,结蜡速度越快、结蜡越严重、清防蜡越困难。因此分析结蜡规律必须从以下几方面进行。

(1) 全面分析天然气、原油和石蜡的代表性样品,掌握其基本的理化性质,进而了解结蜡规律。

(2) 测定石蜡的熔点。

(3) 测定石油在不同压力下的析蜡温度。

(4) 测定胶质、沥青质含量及成分。由于胶质本身是活性物质,可以吸附在蜡晶表面,阻止蜡晶长大。沥青质是胶质的进一步聚合物,不溶于油,呈极小颗粒分散于油中,对蜡晶起到良好的分散作用。但是,有胶质、沥青质存在时,沉积的蜡硬度较大。所以必须了解胶质和沥青质含量、成分和活性。

(5) 用冷板(Cold plate)、冷指(Cold finger)或循环流动等方法,模拟含蜡原油的结蜡过程,掌握结蜡规律,验证上述分析结果。

(6) 录取油层温度、压力、流动压力及井筒不同深度的温度剖面,用来预测结蜡深度。没有流动温度剖面时也可以用式(1-5)进行预测。