

高凝点高含蜡原油的开采

石油工业部科学技术情报研究所
石油工业部石油勘探开发研究院

一九八六年

目 录

难开采和输送的含蜡原油的流动特性.....	(1)
Altamont 地区高含蜡原油的蜡沉积和流变性评价	(15)
采油作业中蜡沉积的控制.....	(27)
油井中的蜡沉积及其预防.....	(36)
石油生产中的全面防蜡.....	(48)
长期防蜡措施.....	(57)
密执安州北部 Niagaran 礁带油田的防蜡	(66)
用太阳能进行二次采油.....	(76)
热虹吸装置用于油井防蜡.....	(79)
从石油生成看高含蜡原油.....	(87)

难于开采和输送的含蜡 原油的流动特性

T.R. Sifferman
Continental Oil Company

宋 辉 译
朱恩灵、胡乃人 校

摘 要

本文介绍应用和不应用流动改进剂（蜡晶改性剂）时北达科他州 Dickinson 原油、印度尼西亚 Udang 原油和利比亚 Amna 原油的粘度、胶凝强度及凝固点数据。这三项流动性能数据可用来表征原油的性质。较低的环境温度（相对于凝固点）会使上述原油的开始流动出现问题。

一、引 言

很遗憾，凝固点经常用作原油流动特性的一个总指标。仅对比原油的凝固点或仅把凝固点与原油输送的环境条件相比较，这种做法是不合适的。北达科他州的 Dickinson 原油，其凝固点为 95°F ，按理应当设想在温度低于 95°F 时会难于输送，但实际上，在室温条件下（约 70°F ），原油仍能流动。凝固点为 75°F 的利比亚 Amna 原油，按理不可能会有什么。然而在 45°F 的北海温度下，却造成了油轮卸油困难。印度尼西亚的 Udang 原油，凝固点为 100°F ，并且实际上在室温下为固体。因此，虽然在了解原油流动特性方面，环境温度十分重要，但粘度、胶凝强度（屈服值）及凝固点应一并加以考虑。令人遗憾的是，许多输油管线仍把凝固点作为确定原油可接受性的唯一准则。这一点有时是不真实的，而且是一项不必要的限制，因为粘度或胶凝强度实际上可能更为重要。

本文还首次综合了用流动改进剂（蜡晶改性剂）和破乳剂（表面活性剂）处理过的原油的数据，对比了各种添加剂，研究了世界上不同地区的各种类型的原油。

正如本文后面所讨论的，流动改进剂（蜡晶改性剂）虽然仅能略为降低原油的凝固点，但却能显著地降低其胶凝强度及粘度。

二、以往的研究工作

早期所做的大量研究工作集中在寻找降低原油凝固点的方法上。在凝固点以上，原油在性质上为典型的牛顿液体；然而当它冷却时，变成非牛顿液体。因此，其粘度随剪切速率

(管线中的流速)而变化。粘度还与时间相关,因此存在滞后现象(触变性能)。在七十年代初曾介绍过许多含蜡原油管线问题的资料。

最早的一篇论文是由 Ford, Ells 和 Russel^[1]提出的。曾对利比亚凝固点为 75°F 的原油及尼日利亚凝固点为 55°F 的原油的管道输送问题作过讨论,主要研究了开始流动的问题。

Uhde 和 Kopp^[2]曾讨论了含蜡原油的各种输送方法,它们包括:

- (1) 作为乳化液;
- (2) 用轻质油稀释;
- (3) 预热和在管道中依次加热的方法;
- (4) 预热和隔热;
- (5) 特殊的加热——冷却处理;
- (6) 注入水层法;
- (7) 蜡晶改性剂。

Ells 和 Brown^[3]给出了类似的方法。本文将讨论涉及应用乳化剂和蜡晶改性剂的方法(1)和(7)。我们还用特殊热处理方法(5)作了试验。

Barry^[4]的另一篇论文讨论了含蜡原油的非牛顿特性,并为此给出北非原油的结果。该文还讨论了旋转粘度计和管式粘度计的优、缺点,并建议这两种仪器都使用。

Davenport 和 Somper^[5]的论文讨论了胶凝状原油的开始流动问题。管式粘度计和旋转粘度计的对比指出,旋转粘度计测出的粘度值较高。在这项研究中,不可能得到精确的匹配结果。

Russel 和 Chapman^[6]的论文讨论了在 65°F 时泵送凝固点为 85°F 的原油。在此情况下,采用特殊的交替加热和冷却的办法来降低原油的粘度。原油开始加热到 200°F,然后冷却到 150°F。以后在专门设计的装置中将原油冷却到 65°F。在冷却处理中研究了剪切的影响。

在 Perkins 和 Turner^[7]所发表的一些论文中评述了胶凝状的普鲁德霍湾原油,文章也象 Harvey, Briller 和 Arnold^[8]的论文一样,谈到低于其凝固点时原油的管道输送问题。在 Chandrasekharan 和 Sikdar^[9]的论文中再次讨论了特殊的加热预处理。Herring^[10]最近发表的论文详细地评述了基本概念并讨论了实验室及矿场数据。

以往的大量研究工作曾经涉及到牛顿流体模式的类型。我们的方法是确定输油管道中原油的流动特性。它并不需要什么模式,而只需要在上述条件下的数据。我们已经规定了标准的粘度测量方法,以便获得与输油管道中类似的剪切速率。

实际上,最大的问题是管线中已经凝结后的重新开始流动。这一问题对于中途很难进行加压的海底输油管线更为重要。

1. 流动改进剂

两篇论文讨论了实验室中和输油管线矿场试验中流动改进剂的效应。Price^[11]的论文包括了一些非洲原油在不同温度范围内加入试剂后降低凝固点、粘度及屈服值的有关实验室结果的资料。Brod, Deane 和 Rossi^[12]等人给出了北非原油加入蜡晶改性剂的管道试验结果,在这篇文章中考虑了粘度和胶凝强度,但未讨论凝固点。其结论是添加剂可用于减少或取消稀释剂,并使输油管道能保持适宜的工作状态。实验室及管道试验结果二者是十分一致的。

Bilderback 和 Mc Dougall^[13]的文章中讨论了油田上应用和不应用添加剂时的蜡沉积问题。

蜡晶改性中包括了类似的机理,既改善粘度、胶凝强度和凝固点等流动特性,也在石油生产中预防蜡的沉积。对这二方面,都认为是改变了蜡的结构,使它们不能连接成大网络的结果^[13, 14]。

2. 乳化液

曾经应用水来输送含蜡原油或重质油,使低粘度流体与管壁接触。在印度尼西亚和其它地方所做的工作表明,乳化液(或分散体、悬浮体)对于生产系统是适宜的。使用乳化液的主要困难是其在开始流动时的不稳定性。因此,如果预计不会经常地发生重大的停产,对这一系统使用蜡晶改性剂是最合适的。

大约 25 年以前曾应用水悬浮液输送含蜡高凝固点原油^[15, 16],这一方法过去曾用于、现在仍在用于印度尼西亚爪哇海附近。原油的凝固点为 105°F,而在环境温度下象鞋油一样。其测试结果实际上与本文中所介绍的 Udang 原油非常相似。

最近,Shell^[17]的论文中曾经讨论过应用水环输送高粘油特别是重质油的问题。

Marsden 发表了许多论文^[18, 19],讨论应用乳化液(或分散体)来输送原油、主要是北极和加利福尼亚含蜡原油的问题。

以往的研究工作和我们的研究工作均涉及到层流。而 Zakin 等人^[20]文章中曾给出了浓乳化液的紊流数据。在此系统中还试验了降阻聚合物及表面活性剂。

三、实验方案

在附录 A 中全面地介绍了试验设备和方法。多数试验都用范 35 粘度计确定粘度和胶凝强度,并广泛使用了美国材料试验学会(ASTM)的凝固点测定仪。

应用流动改进剂能够降低原油粘度、胶凝强度和凝固点。通常我们用粘度筛选添加剂,但有时候也用凝固点。

市场上供应的流动改进剂(蜡晶改性剂、冷流动改进剂和凝固点降低剂),有不同的类型,从固体的到半液体或液体的。它们常常看起来象蜡,其中有些能被携带剂所稀释,即使在室温下也很易于流动。其它的是凝胶。从化学观点来说,这些改性剂通常主要为顺丁烯二酸酐、聚乙烯或聚丙烯酸酯。用于结晶改性防蜡的为类似的化学剂。

在接近凝固点采用流动改进剂(蜡晶改性剂)通常是有效的,因为此时尚未造成结蜡事故。而在凝固点以上使用,它们并不见得非常有效。但实际上已经发现,添加剂在高于凝固点时使用有些好处。一个比较好的上限温度是含蜡原油的始凝点(浊点)。这是清亮油(如柴油)中出现混浊的温度。当然,对于黑色的含蜡原油不可能作直观测定。始凝点应当是一个上限温度,在此温度以下流动改进剂应当是有效的。

用于形成低粘度水包油乳状液的乳化剂(表面活性剂)可以从油田化学公司获得。为便于操作,它们一般都是低活性浓度的。通常,所用的添加剂为羟乙基酚。

报道我们试验结果的目的是对某种添加剂予以承认或否定,而仅仅是为了表明这些添加剂的有关特性。这些添加剂有着极大的选择性,没有一种添加剂对所有的原油都是最有效的。因此,很遗憾,必须应用试凑法来检查不同添加剂在原油中的效果。

四、结 果

首先,对北达科他州 Dickinson 原油、印尼 Udang 原油和利比亚 Amna 原油按其粘度、胶凝强度和凝固点等流变特性作比较。然后将逐个讨论上述原油使用或不使用所选择的蜡晶改性剂和乳化液的情况。这些添加剂降低原油的视粘度,因此它们在层流条件下更为有效。幸运的是,对于许多稠油管道来说,这是一种典型的流动状态。

中途测试所获得的油样常含有水及其他沉积物,可能代表不了以后的产出物。因此,根据这些油样作设计时应当慎重。然而,由于这些样品在装运过程中已经过蒸发和挥发了,因此其结果通常是趋于保守的。Udang 的原油样品是在中途测试中获得的,而 Dickinson 和 Amna 油样是采出的原油,通常为来自许多井的混和物。

1. 三种原油的对比

表 1 列出了这些原油的 API 重度和凝固点。API 重度的范围为 34—40°,与这些原油的凝固点不存在对比关系。很多人期望仅根据 API 重度就能知道原油是否容易输送。

Dickinson 原油的平均碳原子数为 18.5 左右,而 Udang 原油的碳原子数变化较大,由 18.1 到 21.3。大多数研究工作是应用平均碳原子数为 20 的原油进行的。三个 Amna 原油样品是有代表性的,平均碳原子数为 21.6。

表 1 API 重度和凝固点

原 油 类 型	API 重度(度)	凝固点(°F)
Amna	36	75
Dickinson	34	95
Udang	40	100

注:残渣及水少于 4%。

综合曲线图如图 1 所示。在该图中画出了 Amna、Dickinson 和 Udang 三种原油的视粘度与温度的关系曲线。Amna 原油和 Dickinson 原油的粘度曲线相交,而 Udang 原油则具有最高的粘度值。低于 80°F 时, Dickinson 原油的粘度比 Amna 原油低,但后者具有较低的凝固点。因此,正如前面指出的,凝固点确实并不是代表整个流动特性的一项好指标。图 2 表明胶凝强度的综合曲线。将 Dickinson 原油、Amna 原油和 Udang 原油再次作了排列, Dickinson 原油具有比 Amna 原油为低的胶凝强度,而 Amna 原油的凝固点则比前者低 20°F。

2. Dickinson 原油

为了降低流动压力,开始研究一种应用 Dickinson 原油配制低粘度水包油乳化液的方法。油田在 Dickinson Heath Sand 开发区 (DHSU) 已经联合,准备注水开发。由于采液量大,继续用油罐车从井口拉油将变得不现实,因此需要有个集输系统。由于冬季月份的土壤温度为 35°F,担心在动力线发生故障时难以启动,因此研究了各种集输方法。

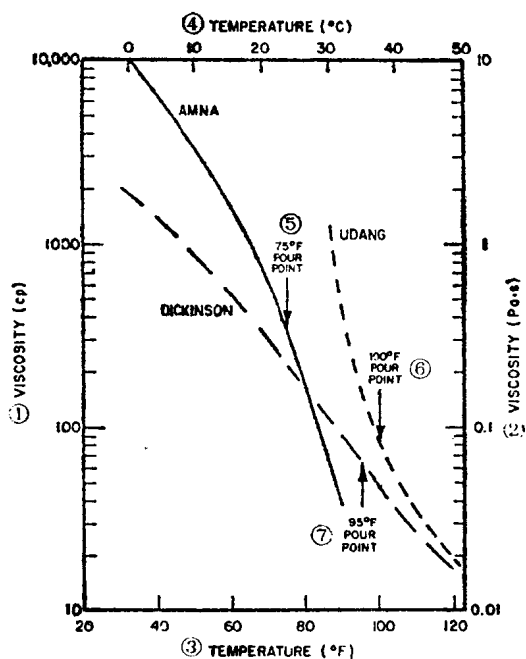


图 1 粘度综合曲线图

- ①粘度, 厘泊; ②粘度, 帕·秒; ③温度, °F; ④温度, °C; ⑤凝固点为75°F; ⑥凝固点为100°F; ⑦凝固点为95°F。

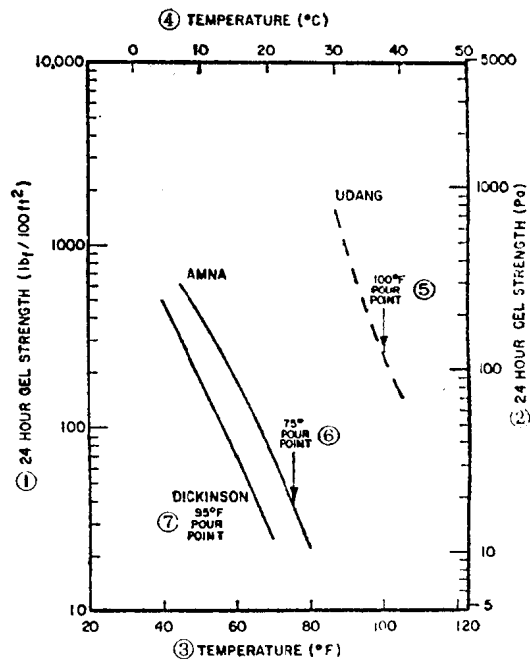


图 2 胶凝强度综合曲线图

- ①24小时胶凝强度, 磅/100英尺²; ②24小时胶凝强度, 帕; ③温度, °F; ④温度, °C; ⑤凝固点100°F; ⑥凝固点75°F; ⑦凝固点95°F。

以后要求研究降低凝固点的化学剂。我们试验把产出油的凝固点降到 25°F 以便实行管道输送。

(1) 粘度

Dickinson 原油的视粘度在不同温度下与剪切速率的关系如图 3 所示。由于粘度随剪切速率而变化, 实际上使用视粘度这一术语更为合适, 它能显示假塑性(剪切稀释)特性。在低温下该流体更象非牛顿流体。大多数数据是在范 35 型粘度计上得出的, 但有些数据是在管式粘度计上测出的。这些数据给出较低的粘度(如同以前文献所示)。这至少部分是由于管道中泵的高速剪切作用所致。

产水量增加会造成问题, 因为会使产出流体的粘度增大。对不同类型的原油, 其含水原油粘度与只有基础原油时相比可增大 10 倍或更多一些, 如图 4 所示。

(2) 胶凝强度

胶凝强度可以用于计算重新启动管线所需压力的大小, 如附录 A 所示。在双对数坐标纸上, 胶凝强度随时间的增大而几乎按线性关系增大。当温度由 40°F 增加到 70°F 时, 增大情况如图 5 所示。

(3) 凝固点

从不同井取样的 Dickinson 原油, 其凝固点变化范围为 70°F 到 100°F。大多数研究工作是用凝固点为 95°F 的原油来完成的。由于该油田上原油最普遍的凝固点为 90—95°F, 因此按不同比例掺合的原油, 其凝固点也为 90—95°F。

(4) 流动改进剂和乳化剂

不同的添加剂经常能给出不一致的特性。图 6 表明在 Dickinson 原油中使用三种聚合酯

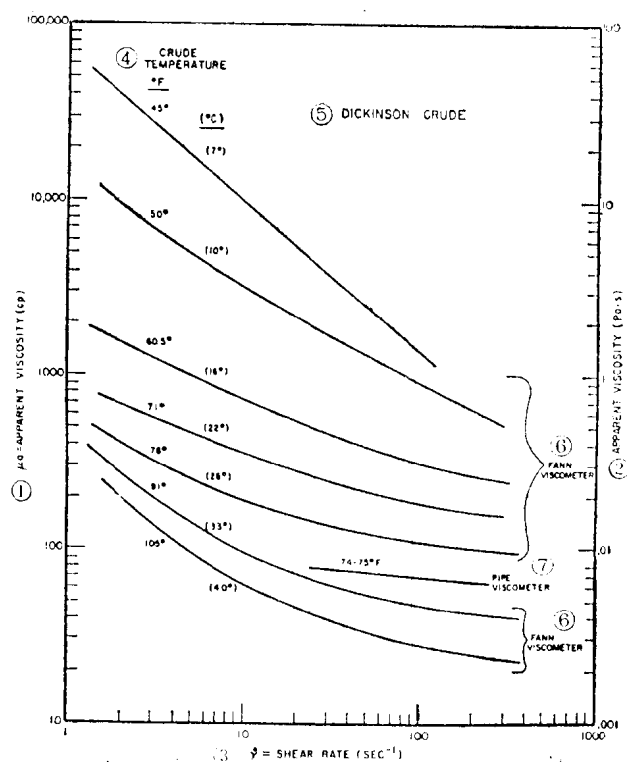


FIG. 3 - SHEAR RATE EFFECTS.

图 3 剪切速率的影响

①视粘度，厘泊；②视粘度，帕·秒；③剪切速率，秒⁻¹；④原油温度；
⑤Dickinson原油；⑥范氏粘度计；⑦管式粘度计。

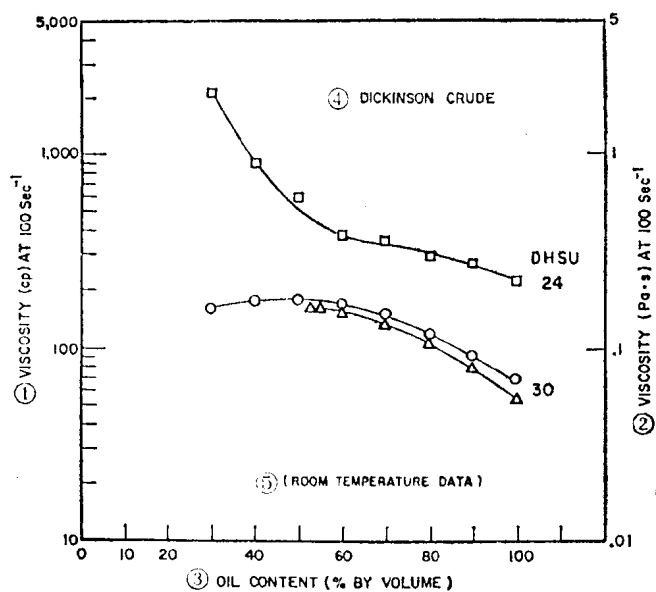


图 4 乳化液粘度

①100秒⁻¹时的粘度，厘泊；②100秒⁻¹时的粘度，帕·秒；③原油含量，
体积%；④Dickinson原油；⑤室温数据；⑥DHSU为开发区。

添加剂的试验结果。看来添加剂 A 在低浓度时具有较好的性能。然而进一步的研究表明,当浓度低于 1,500 毫克/升时,效果变差。总的看来,它在最低浓度下给出了最好的结果(粘度降低 83%,而胶凝强度大致下降 90%)。实际上,添加剂 C 在某些浓度时增大胶凝强度及凝固点。

令人感兴趣的是另一种添加剂 D 在 3,000 毫克/升浓度下对两种不同的 Dickinson 原油样品给出了相似的粘度降低比(约为 20 倍)。同一添加剂在浓度为 300 毫克/升时,粘度几乎下降了 99.4%。另一种固体添加剂(添加剂 B)在浓度为 300 毫克/升时,使粘度下降了 99.5%以上。

上述试验是在室温条件下进行的。在此温度下,一般均能获得最好的效果。应用流动改进剂后,胶凝强度也显著降低。许多添加剂能降低 1 小时或 10 分钟的胶凝强度,使其降低 90%,而其中有一种添加剂可以使之降低 96%。使用最好的添加剂可使凝固点由 90°F 下降到 50°F。

应用流动改进剂不可能将其凝固点下降到 25°F。这可能是由于 DHSU 原油中含蜡量高于 15%。

令人感兴趣的是,发现在接近凝点处加入流动改进剂仍然能获得足够好的效果。

有时,对降低粘度和胶凝强度给出最佳结果的添加剂并不能给出最低的凝固点。

在油相和水相中曾单独地或与流动改进剂二者配合,试验了各种乳化剂。无疑地,效果最好的添加剂是水剂添加剂,在 50%的原油和 50%水条件下通常都给出了最佳效果。

因此,我们的大部分最佳效果都是在水相中应用表面活性剂(乳化剂)取得的。这些添加剂一般都不是根据活性浓度加入的,其浓度是根据所含油量确定的。因此,典型的浓度可能是 3,000 毫克/升,相当于活性浓度为 600 至 1,500 毫克/升。

乳化液一般是由人工配制的产出水制成的。正如所预计的那样,在乳化液中流动改进剂的效果是有限的。此外,还试验了某些油相乳化剂,但其效果均差。如图 7 所示,Dickinson 原油使用乙基化酚(添加剂 G),在油、水各占 50%时,粘度下降了 99%倍。在向原油中加水时,粘度通常上升很快,象 Udang 原油那样。对 Dickinson 原油来讲,粘度增加要慢些,如图 4 所示。在某一点上转为以水为外相(水包油)的乳化液。对于 Dickinson 原油,这种转变发生在含水约为 70%而油为 30%时。

3. Udang原油

也研究了 Udang 原油的胶凝强度、粘度及凝固点。但我们的主要兴趣在于降低原油的胶凝强度,使它易于开始流动。评价了与 Es Sider 原油的混合问题。

(1) 粘度

在前面图 1 中已示出原油样品单独的粘度。实际上,它是从四口不同井中作不同中途测试得到的油样的混合物。通常这些曲线在顶部是互相重合的。

这些原油的乳化液粘度,当含水由零达到 70%(原油占 30%)时增加约 100 倍,如图 8 所示。这显然会给生产造成许多困难。

(2) 胶凝强度

如图 2 所示,胶凝强度也在接近其凝固点 100°F 时迅速增大。当温度由 95°F 降到 85°F 时,某一实例中的胶凝强度增大了 10 倍。

胶凝强度是在 3/8 英寸(0.493 英寸内径)和 1 英寸(1.049 英寸内径)两种管子中测

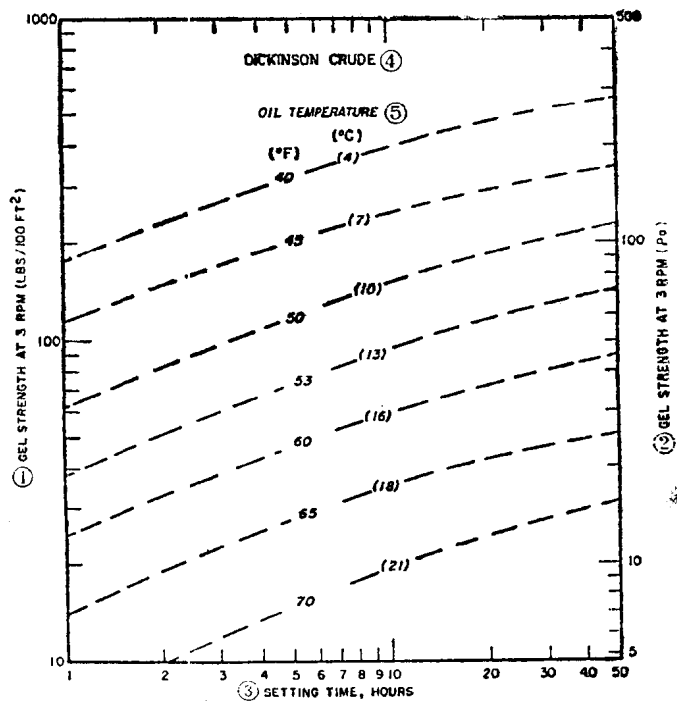


图 5 胶凝强度趋势

① 3转/分时的胶凝强度，磅/100英尺²；② 3转/分时的胶凝强度，帕；
③ 凝固时间；④ Dickinson原油；⑤ 原油温度。

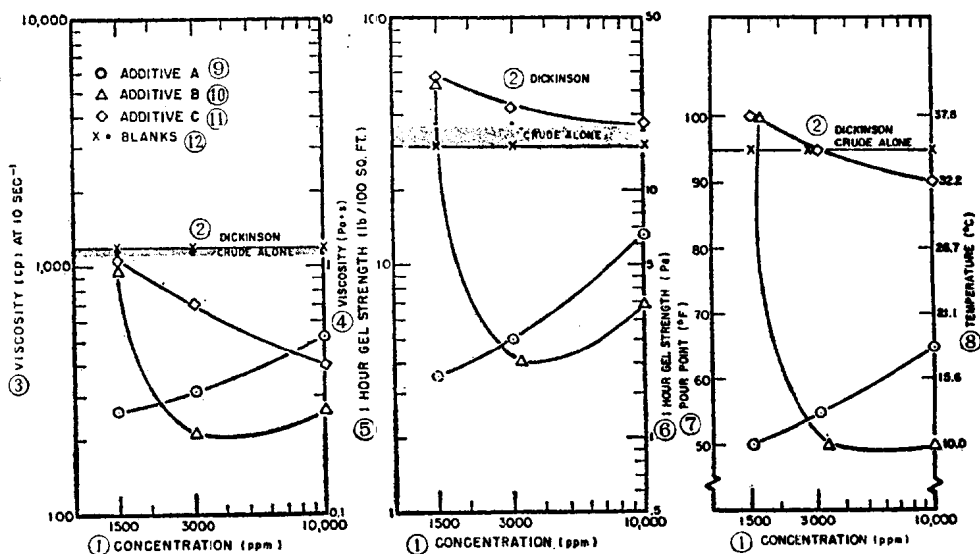


图 6 流动改进剂

① 浓度，毫克/升；② 单独的Dickinson原油；③ 在10秒⁻¹时的粘度，厘泊；④ 粘度，帕·秒；⑤ 1小时胶凝强度，磅/100英尺²；⑥ 1小时胶凝强度，帕；⑦ 凝固点，°F；⑧ 温度，°C；⑨ 添加剂A；⑩ 添加剂B；⑪ 添加剂C；⑫ 对比试验。

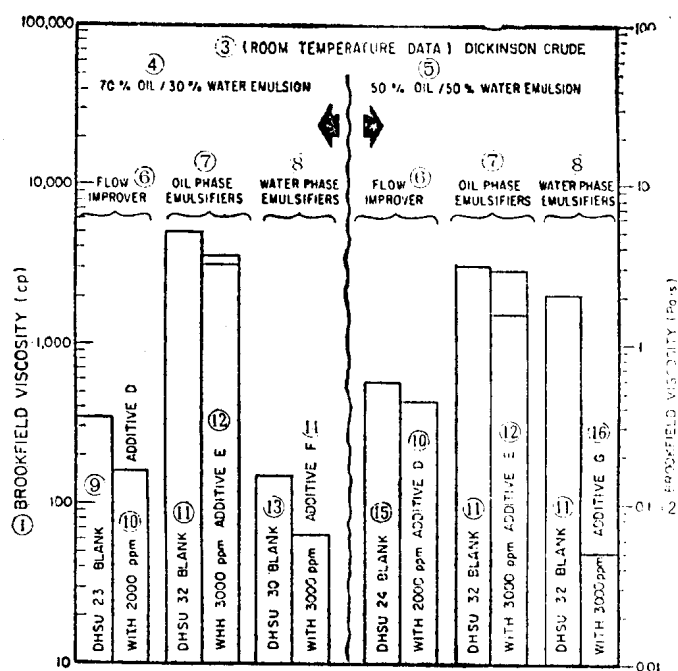


图 7 乳化液中用的化学添加剂

①Brookfield 原油粘度，厘泊；②Broodfield 原油粘度，帕·秒；③Dickinson 原油室温数据；④70%油 30%水乳化液；⑤50%油 50%水乳化液；⑥流动改进剂；⑦油相乳化剂；⑧水相乳化剂；⑨DHSU 23 原油对比试验；⑩加入添加剂 D 2,000 毫克/升；⑪DHSU 32 原油对比试验；⑫加入添加剂 E 3,000 毫克/升；⑬DHSU 30 原油对比试验；⑭加入添加剂 F 3,000 毫克/升；⑮DHSU 24 原油对比试验；⑯加入添加剂 G 3,000 毫克/升。

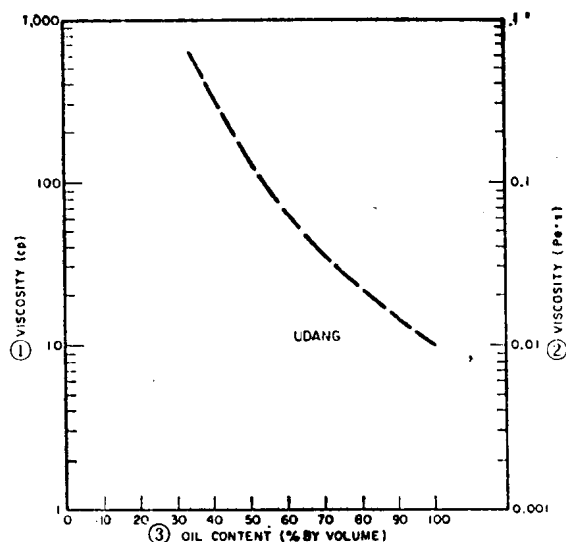


图 8 乳化液粘度

①粘度，厘泊；②粘度，帕·秒；③原油含量，体积百分比。

出的。测试段的长度为 5 英尺，在测试段上、下各有一附加的提升装置。为了防止原油冷却时测试段的管壁产生收缩而应用了封闭压力。管外缠有电阻加热卷带以保持恒温。应用氮气

压力来推挤流体。这些试验表明, 90°F 时胶凝强度比用范氏粘度计测定的约减小 66%, 而在 75°F (最低海水温度) 时则减小 80%。在最低海水温度 75°F 下, 预计凝固 1 至 3 天, 胶凝强度为 2,000 磅/100 英尺²。如果整个体系是动冷却而不是静冷却, 预计数值还要低些。这在以往的文献中已作过报道。

(3) 凝固点

Udang 原油的凝固点为由 90°F 至 105°F, 但大多数为 100°F。

(4) 流动改进剂

令人遗憾的是, 使用流动改进剂并不能显著地降低原油的胶凝强度。当凝固点降到 90°F 时, 粘度下降 87.5%; 试验温度接近凝固点 100°F 时, 胶凝强度才下降 66%。

使用凝固点为 105°F 的各种 Udang 原油所作的试验表明, 使用浓度为 3,000 毫克/升的添加剂 D, 可使粘度比接近 100°F 时降低 97.5%。但这种原油的 API 重度为 33°。

原油的含蜡量 (约 30%), 在降低其凝固点上可能有些麻烦。这也可能是原油凝固点高而且其外表象鞋油一样的原因。

4. Amna 原油

最初要求确定这种原油的流动性质是由于考虑到在英国加工的问题。需要有一条通过海底的输油管线输送, 因此可能会产生开始流动的问题。早期的资料已表明, 这种原油的凝固点为 80°F 左右。

(1) 粘度

Amna 原油的粘度曲线见图 1。如果把这些数据绘制成剪切应力与剪切速率的关系曲线, 则宜称为“虚体”特性。这表明这种原油是一种具有触变性的宾汉塑性流体。

(2) 胶凝强度

为了获得胶凝强度, 注意了如在图 9 所表明的冷却曲线。最初按每小时 10°F 冷却, 随

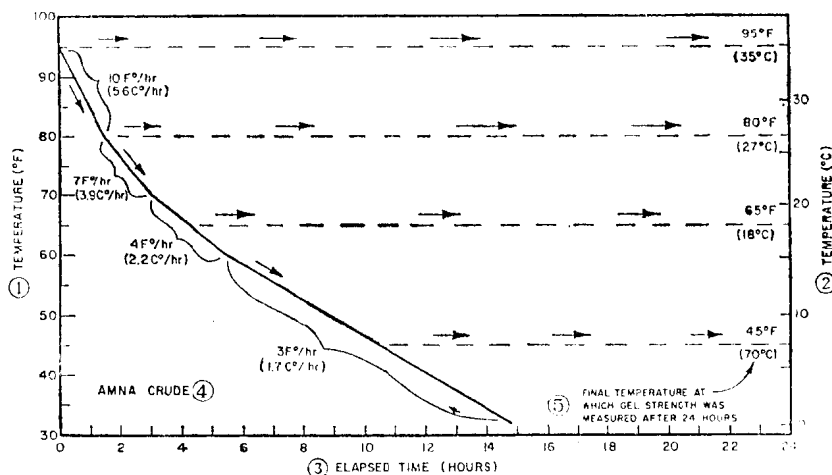


图 9 胶凝强度冷却速度曲线

①、②温度; ③时间, 小时; ④Amna原油; ⑤在24小时后测定胶凝强度时的最终温度。

后按 7、4 和 3°F/小时进行冷却。样品总计处理 24 小时。图 2 中的结果与这一情况十分一致, 因为我们得到了一条均匀的冷却曲线。在凝固点 75°F 下, 胶凝强度大约为 40 磅/100

英尺²。这可能会在管道输送中造成一些问题。实际上当海水温度为 45°F 时, 该值约为 700 因此, 研究了适用于此种原油的混输问题。

(3) 凝固点

用于掺合的 Es Sider 原油的凝固点为 50°F, 因此 20% 的 Amna 原油和 80% 的 Es Sider 原油混合后凝固点为 60°F, 而不是 Amna 原油单独时的 75°F。

(4) 流动改进剂

流动改进剂由于能显著降低各项数值, 因此似乎是最有效的。它可能将凝固点从 75°F 降为 25°F。

五、应 用

这些数据已经用于管线和集输系统的设计以避免出现操作问题。其中一些数据已用于 Udang 海上油田的生产设计, 其中包括生产设备和通到储罐的输油管线的的设计。原来, 我们的数据是用于 Dickinson 集输系统的设计的。最后选择了一个加热系统^[21]。另外, 为了满足原油的管道输送, 也需要有关 Dickinson 原油的资料。最近, 流动改进剂曾在向炼厂用罐车输油中试用, 并用来减少油田集输管线的临时高流速造成的问题。最后, 曾用 Amna 原油的胶凝强度数据确定, 65°F 是在水下油轮卸油管道中避免出现开始流动问题的最低温度。

流动条件下的压降计算需要使用粘度数据, 而胶凝强度需要用来确定启动压力。流动改进剂可以提供较好的触变性, 从而减少操作问题。

六、未来的工作

这方面的研究工作将继续按要求进行下去。然而, 目前的重点是对重质原油使用乳化液系统。这方面的情况将在将来的论文中报道。

七、结 论

(1) 对于原油的流动性能来讲, 凝固点是个不全面的指标, 还应当考虑粘度及胶凝强度。

(2) 由于很多含蜡原油是高粘、高胶凝强度和高凝固点, 在环境温度下难以开采和输送。正如高胶凝强度数值所表明的, 开始流动可能是个最难解决的问题。

(3) 化学添加剂(流动改进剂和乳化剂)看来能改善原油的流动性能(流变性)。流动改进剂(蜡晶改性剂)能显著地降低含蜡原油的粘度、胶凝强度和凝固点, 而乳化剂能使含蜡油(重质油)构成粘度低的水包油乳化液。

参 考 文 献

1. P. E. Ford, J. W. Ellis, and R. J. Russel, "Handling High Pour Point Crude Oils in Pipelines," 16th Annual Pipeline Conference, API, April 1965
2. A. Uhde and G. Kopp, "Pipeline Problems Resulting from the Handling of Waxy Crudes," Journal of Institute of Petroleum, Vol. 57, No. 554, March 1971, pp 63-73
3. J. W. Ellis and V. R. R. Brown, "Design of Pipelines to handle Waxy Crudes," Journal of Institute of Petroleum, Vol. 57, No. 555, May 1971, pp 175-183
4. E. G. Barry, "Pumping Non-Newtonian Waxy Crude Oils," Journal of Institute of Petroleum, Vol. 57, No. 554, March 1971, pp 74-85
5. T. C. Davenport and R. S. H. Somper, "The Yield Value in Breakdown of Crude Oil Gels," Journal of Institute of Petroleum, Vol. 57, No. 554, March 1971, pp 86-105
6. R. J. Russel and E. D. Chapman, "Pumping of 85°F Pour Point Assam (NAHORKATIYA) Crude Oil at 65°F," Journal of Institute of Petroleum, Vol. 57, No. 554, March 1971, pp 117-128
7. T. K. Perkins and J. B. Turner, "Starting Behavior of Gathering Lines and Pipelines Filled with Gelled Prudhoe Bay Oil," Journal of Petroleum Technology, March 1971, pp 301-308
8. A. H. Harvey, Richard Briller, and M. D. Arnold, "Pipelining Oils Below Their Pour Point--Part II," The Oil and Gas Journal, August 30, 1971, pp 62-70
9. K. P. Chandrasekharan and P. K. Sikdar, "Here's How Waxy Indian Crude is Prepared for Pipeline Transit," Oil and Gas International, Vol. 10, No. 10, October 1970, pp 86-95 and 111
10. John D. Herring, "Design Concepts for High Wax Crude Oil Pipelines," Pipeline and Gas Journal, April 1974, pp 35, 36, 38, and 42
11. R. C. Price, "Flow Improvers for Waxy Crudes," Journal of Institute of Petroleum, Vol. 57, No. 554, March 1971, pp 106-109
12. M. Brod, B. C. Deane, and F. Rossi, "Field Experience with the Use of Additives in Pipeline Transportation of Waxy Crudes," Journal of Institute of Petroleum, Vol. 57, No. 554, March 1971, pp 110-116
13. C. A. Bilderback and L. A. McDougall, "Complete Paraffin Control in Petroleum Production," Journal of Petroleum Technology, September 1969, pp 151-156
14. G. A. Holder and J. Winkler, "Wax Crystallization from Distillate Fuels, Parts 1, 2, and 3," Journal of Institute of Petroleum, Vol. 51, No. 499, July 1965, pp 228-252
15. M. J. Lamb and W. C. Simpson, "Pipeline Transport of Waxed-Latent Crude as a Water Suspension," Sixth World Petroleum Congress, Sec. VII, Paper 13, pp 13-33
16. Anonymous, "Waxy Crude Moves in Water Suspension," Oil and Gas Journal, July 1, 1963, pp 140-146
17. "Oil-Water Line Moves Highly Viscous Crude," Oil and Gas Journal, Vol. 70, No. 6, February 7, 1972, p 32
18. S. S. Marsden and R. Raghavan, "A System for Producing and Transporting Crude Oil as an Oil/Water Emulsion," Journal of Institute of Petroleum, Vol. 59, No. 570, November 1973, pp 273-278
19. J. P. Camy et al, "The Rheology of Crude Dispersions," SPE 5299, Presented at the International Symposium on Oil Field Chemistry January 1975
20. J. L. Zakin, R. Pinaire, and M. E. Borgmeyer, "Transport of Crude Oil as Oil-in-Water Emulsions," ASME Paper 77-FE-26, June 15-17, 1977
21. Ralph W. Myers, "An Electrically Heated Buried Gathering System Transfers High Pour Point Crude Oil," Journal of Petroleum Technology, June 1978, pp 890-894
- A1. ASTM-IP Petroleum Measurement Tables, American Edition, ASTM D 1250/IP 200, 1952
- A2. J. R. Van Wazer, J. W. Lyons, K. Y. Kim, and R. E. Colwell, "Viscosity and Flow Measurement," Interscience Publishers, 1963, New York
- A3. "Standard Methods of Test for Pour Point of Petroleum Oils," ASTM D 97-66, part 17, 1974 Annual Book of ASTM Standards, pp 81-84
- A4. D. A. Shock, J. D. Sudbury, and J. J. Crockett, "Studies of the Mechanism of Paraffin Deposition and Its Control," Journal of Petroleum Technology (September 1955) pp 23-28

附录A 试验装置和方法

下边将介绍用于测定原油性质的仪器, 同时也将讨论试验方法。还将讨论有关 API 重度、含水量、粘度、胶凝强度、开始流动、倾点及碳原子数等的技术问题。

1. API 重度

美国材料试验学会 ASTM 的液体比重计可用于各种温度。应用标准表格 (AI) 将它校正到 60°F 的数值。为了使比重计在原油样品中自由移动, 温度需要高于室温。

2. 含水量

含水量低时采用蒸馏方法，含水量高时使用离心法。使用离心法可以得出样品中的水及沉积物含量 (BS & W)。

3. 粘度

粘度 μ 实际上根据剪切应力 τ 和剪切速率 $\dot{\gamma}$ 比值计算出来，公式为

$$\mu(\text{厘泊}) = \frac{511\tau(\text{磅}/100 \text{ 英尺}^2)}{\dot{\gamma}(\text{秒}^{-1})} \quad (1)$$

剪切应力根据仪器的刻度盘得出，而剪切速率根据转速得出。

流经管子的牛顿液体的剪切速率正比于管子内平均流动速度 V 与管子内径的 D 的比值，即

$$\dot{\gamma}(\text{秒}^{-1}) = \frac{96V(\text{英尺}/\text{秒})}{D(\text{英寸})} \quad (2)$$

反之，剪切速率（管壁上）可以根据流量 Q 和直径计算出来

$$\dot{\gamma}(\text{秒}^{-1}) = \frac{1.14Q(\text{桶}/\text{日})}{D^3(\text{英寸})} \quad (3)$$

因此，这些数据可按不同的剪切速率作图，这取决于所选用的管径和预计的流量。

所使用的 Brookfield 旋转粘度计带有各种类型的盘型心轴或 U.L. 衬套。心轴可用来测高粘，而 U.L.（超低流）衬套可用于低粘范围。U.L. 衬套为一同心筒，内筒转动并给出剪切应力读数。它在参考文献 A2 中有详细介绍。

35 型范氏旋转粘度计通常使用 1 号心轴和标准转子和筒管 (R1—B1)。在变速 范氏 粘度计上也可应用其它心轴、转子和筒管。应用 Heake 或 Kryomat 循环装置控制温度。范氏粘度计为一同心筒装置，外筒旋转时，通过测试样品将剪切应力传到内部筒管上。在参考文献 A2 中给出仪器的操作和理论公式。这种仪器一般用于中等粘度范围。

管式粘度计的示意图见图 A-1，它主要用于乳化液研究中。在流动过程中，测出非稳定乳化液的粘度。用来计算这一数据的公式已编制成 HP-25 型微型机的计算程序。程序包括面广，但主要用来测定压力降和流量，用以计算粘度与剪切速率的函数关系。最新的装置还能给试验段提供较低的温度范围 (35°F 左右)。

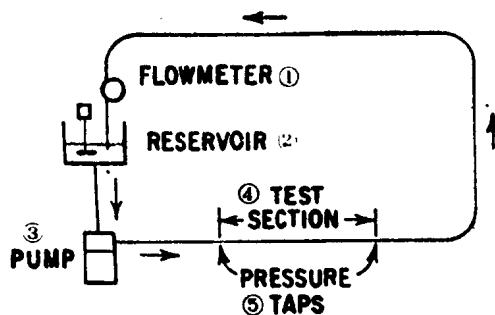


图 A-1 管式粘度计示意图

① 流量计；② 容器；③ 泵；④ 试验段；⑤ 压力孔。

4. 胶凝强度

胶凝强度数据也用同样的 35 型范氏粘度计测出。油样在给定温度下加以稳定，以最高的转速 (600 转/分) 加以剪切，然后让其放置一段时间。胶凝强度 τ_0 根据在 3 转/分①时剪

①实际上剪切应力应在剪切速率为零时得出，但这是不可能的，因此选用 3 转/分作为其近似值。

切应力刻度盘上的最高读数得出，它正好为样品由筒内逸出时的读数。

5. 启动

当管内充满含蜡原油而停输一段时间时，为了重新使管线启动，通常需要提高压力。从力的平衡（如图 A-2 所示），压降 ΔP 可以写成胶凝强度 τ_0 。（管壁上的屈服值和剪切应力）、长度 L 和管子内径 D 的函数

$$\Delta P(\text{磅/英寸}^2) = \frac{\tau_0(\text{磅/100 英寸}^2)L(\text{英尺})}{300D(\text{英寸})} \quad (4)$$

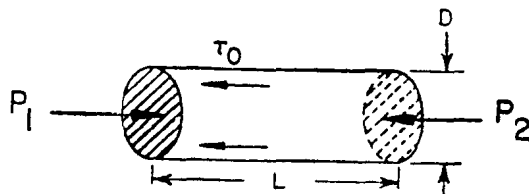


图 A-2 启动时的力平衡

6. 凝固点

标准的美国材料试验学会凝固点测试仪（A3）包括试验罐、水浴、保温套和温度计，用于测定凝固点。一般将油样加热到 $120-125^\circ\text{F}$ ，然后冷却到其凝固点，可以得出各种情况下的标准凝固点。油样每隔 5°F 检查一次，一直到油样停止流动时为止。如果小瓶水平倾斜置放后 5 秒钟尚未产生流动，此温度上升 5°F 即得出凝固点。实际上，将样品加热到 220°F ，可以得最低凝固点。这是由于“某些可溶固体物质分散于原油中”（A4）。

7. 碳原子数

碳原子数是原油中蜡的类型及熔点的一项指标。碳原子数分布状况可以用带有火焰离子检测器的气相色谱求出。安排了一个 6 英尺长的不锈钢色谱柱用来保证规定的加热速率。

（译自 SPE 7409）

Altamont 地区高含蜡原油的 蜡沉积和流变性评价

W.J. Matlach, M.E. Newberry
Petroleum Corp.

宋 辉 译
朱恩灵 校
胡乃人

摘 要

美国犹他州的 Altamont 地区是世界高含蜡原油产区之一。由于该区在地理位置上属于低温地带,加之原油凝固点高,操作困难,因而成了一个棘手的问题。为了加快原油的开采和输送,每年需花费几百万美元来加热这些原油。对该地区的油样用各种方法作了测试,其中包括蜡的沉积、粘度、始凝点(浊点)、屈服值、蜡萃取和气液色谱分析等测定,以便说明这些原油的特性。然后进行同样的测定来分析各种化学添加剂的效果。有效的防蜡剂不仅能降低蜡沉积量,而且能量显著地改变蜡的分子量范围及结构。气液色谱分析数据表明,有效的化学剂均能减少蜡沉积物中 C_{40-50} 分子量的蜡含量。

一、引 言

在石油开采中,蜡从原油中沉淀出来是一种常见的现象。多年来,研究了用各种机械、热力和化学方法减轻蜡沉积问题和泵送问题。如果原油中的含蜡量为低至中等(由0~10%),结蜡是周期性的,可按需要进行处理。如果含蜡量超过10%,这些原油就会发生严重的蜡沉积,流动困难。为了保证连续生产,必须经常地作处理。许多有结蜡问题的原油,其凝点都在30℃(86°F)以上,例如 Minas, Udang, Kuda Laut, Dickinson, Bombay High, Daqing 和 Handil 等的原油。美国犹他州 Altamont 地区的 Wasatch 原油正是这种给生产带来特别严重问题的高含蜡原油。

已经设计出各种对付高含蜡原油的方法,其中包括采用加热、冷却和剪切周期^[1],加水乳化^[2],加蜡晶改性化学剂^[3, 4, 5, 6, 7]和加热^[8, 9]等。随着新的和改进的配方的提出,降低凝固点和防止蜡沉积化学添加剂的应用正得到更多的重视。

综合凝点、粘度和屈服值数据能有效地描述加入和未加入化学剂的原油的流变性^[2, 4, 5, 6, 10]。应用各种静态冷点、冷循环管段和动态探头^[6, 7, 11, 12, 13]可以改善防蜡剂的筛选工作。应用气液色谱仪、质谱仪和气相分配色谱仪等分析仪器,可以得到有关原油的化学组分及高