

# 管输含蜡原油添加降凝剂应用进展

庄昊骏 肖佳乐 钟 杰 李永强 黄潇逸 (重庆科技大学, 重庆 400000)

**摘要:** 原油凝点降低是目前解决管输含蜡原油凝析的重要途径, 因此对含蜡原油添加降凝剂进行了研究。首先对影响降凝剂性能的因素进行分析, 确定了影响降凝剂降凝效果的主要因素包括蜡含量、蜡晶粒度、聚合物分子量和分子结构以及温度等; 其次从降凝剂降凝机理、降凝药剂类型及存在问题出发, 介绍了国内外近年来在管输工艺条件下添加降凝剂方面取得的成果与应用情况, 总结了目前国内油田使用的常用降凝剂种类, 并展望了降凝剂的发展方向。通过本研究为今后对管输含蜡原油添加降凝剂提供理论指导。

**关键词:** 含蜡原油; 降凝剂; 管道输送

## 0 引言

管输含蜡原油添加降凝剂应用进展对于石油工业的发展具有重要意义。随着技术的不断进步和需求的不断增长, 降凝剂的研发和应用也在不断发展。在此背景下, 值得关注的是管输含蜡原油添加降凝剂应用的最新进展及未来发展趋势。因此本文针对管输含蜡原油中添加降凝剂的应用进行分析。

## 1 降凝剂的类型及作用机制

### 1.1 类型

降凝剂的种类主要包括表面活性剂、聚合物和复配型。这些种类在水处理、污水处理、矿物加工、石油开采等领域中都有广泛的应用。表面活性剂常用于改善液体表面张力, 促使悬浮物沉淀。聚合物则通过分子量较大的高分子聚合物结构, 在液体中形成较大的分子团, 从而促使悬浮物凝聚沉淀。而复配型降凝剂则是将不同种类的降凝剂进行混合使用, 以增强其降凝效果和适用范围。

### 1.2 作用机制

降凝剂在管输含蜡原油中的应用是为了防止蜡在管道中沉积和结垢, 保证原油的顺畅输送。降凝剂中的活性成分可以与蜡形成络合物或溶解蜡颗粒, 使蜡分散于原油中, 防止其沉积在管壁上。降凝剂的表面活性成分能够改变原油与管道表面之间的相互作用力, 使蜡颗粒更容易与原油分散相互作用, 减少在管道表面的结垢。某些降凝剂具有抑制蜡晶核形成和生长的能力, 阻止蜡在管道中形成大颗粒结晶, 从而减少了管道结垢的风险<sup>[1]</sup>。降凝剂中的成分可以调节原油的流动温度范围, 使其在管道输送过程中保持在适宜的温度范围内, 减少蜡的析出和沉积。

综合以上机理, 降凝剂在管输含蜡原油中的应用能够有效地防止蜡的沉积和结垢, 保证管道运输的顺

利进行。

## 2 管输含蜡原油添加降凝剂应用情况

### 2.1 影响降凝剂性能的因素

通过对降凝剂理化性质的研究, 可以确定影响降凝剂降凝效果的主要因素有: 聚合物质量浓度、分子量、聚合物结构、蜡类型、蜡晶大小。

聚合物质量浓度是影响原油凝点的重要因素之一, 当聚合物质量浓度大于一定值时, 原油的凝点会降低, 但同时也会使油品产生乳化现象, 因此选择合适的聚合物质量浓度是提高原油降凝效果的关键。一般来说, 对于石蜡油和沥青质含量较高的原油来说, 当聚合物质量小于 100mg/L 时, 能有效降低原油的凝点; 当聚合物质量大于 200 mg/L 时, 则不利于提高原油的凝点值<sup>[2]</sup>。另外, 如果聚合物量过高, 还可能引起乳化现象, 甚至发生破乳, 从而导致管道堵塞。

利用 X 射线衍射法分析了不同分子量聚丙烯酰胺类聚合物对大庆稠油凝点的影响。实验结果表明, 随着分子量的增加, 大庆稠油的凝点逐渐下降, 且当分子量为 60 万时, 凝点值最低。还可以采用红外光谱仪对 SAGD 3# 原油添加聚丙烯酰胺进行降凝处理前后的特征峰进行了分析, 并对比了未加降凝剂原油及加入降凝剂的原油在加热过程中形成的中间产物。实验结果显示, 聚丙烯酰胺的引入可明显改善稠油的乳化性能, 且随其分子量的增大, 乳化效果逐渐增强。

聚丙烯酸的分子结构对其降凝助凝效果有重要影响, 目前国内外学者从分子链长、支链数目以及空间位阻作用方面对聚丙烯酸的降凝机理进行了研究。根据聚丙烯酸的分子结构特点, 将其分为直线型、平行型及树枝型三种类型。直线型聚丙烯酸具有很好的疏水缔合能力, 在常温下即可发挥较好的降凝效果, 适用于各种油藏环境; 平行型聚丙烯酸链比较短, 通常

采用直线型结构，这类化合物的降凝效果最佳；而树枝型聚丙烯酸的主链呈树枝状，其中包含很多分支，这种结构使得该类物质更容易与石蜡形成氢键，故其降凝助凝效果最差<sup>[3]</sup>。

同时经过学者的研究，分别以原油馏分和原油重质馏分为原料制备出四个系列的聚乙二醇共聚物，然后测定了它们对稠化油降凝助凝的效果，同时探讨了蜡的类型对共聚物降凝性能的影响。结果表明，蜡的种类和形态对共聚物降凝性能有重要影响，对于同一种蜡，结晶程度越高，所需的共聚物分子量就越大，降凝效果越差；对于同一种蜡，加入非晶蜡所需的共聚物分子量远大于加入微晶蜡所需的分子量，降凝效果也明显高于微晶蜡。

以大庆油田主力油层典型油藏的原油样品为例，对其进行取样，经 NMR 测定得到其烷烃分布。根据烷烃分布，大庆油田主力油层分为五个区域：I 区主要由原油组成，II 区主要由稠油组成，III 区主要由原油和稠油混合物组成，IV 区主要由原油组成，V 区主要由原油和稠油混合物组成。实验发现，I 区原油中蜡晶平均粒度最小，III 区原油中蜡晶平均粒度最大，说明 I 区原油中蜡晶含量最高，III 区次之，II 区和 V 区最低。因此，II 区和 III 区原油中的蜡晶尺寸相对较大，若要降低原油的凝点，需要添加高分子量的聚合物才能达到预期效果。

## 2.2 国内外研究现状及应用

从国内外对降凝剂的研究来看，国外主要集中在工业级降凝剂研发与实验室级降凝剂的开发两个方面。

工业级降凝剂的研发主要有三类：一是由石油炼制过程中产生的副产品为原料进行合成；二是通过化学反应直接制备而成；三是将前两者相结合制成复合降凝剂。德国 Fraunhofer 研究所发明了一种新型高分子聚合物 (PODMAC)，它由异丙基丙烯酸酯、马来酸酐和乙烯基吡咯烷酮聚合而成，能降低高粘度原油的凝点，并具有较好的热稳定性。该药剂中含有大量的疏水基团，当原油中存在少量的蜡质时，疏水基团会吸附到蜡颗粒表面形成保护膜，阻碍原油中水分向外扩散，从而达到降凝效果<sup>[4]</sup>。目前 PODMAC 已广泛应用于国内外油田降凝剂库，其中美国最多，其次是荷兰、英国等国家。中国大庆油田是世界上首家使用 PODMAC 降凝剂的采油企业。

实验室级降凝剂的开发主要是将降凝剂加入模拟地层水中进行研究，再将结果运用到实际生产中。德国卡尔斯鲁厄理工学院和巴登-符腾堡州立大学组

成的联合团队设计了一套可以评估不同类型聚合物对原油降凝效果的仪器，并在此基础之上研究了降凝剂的最佳加量及作用机理。另外，美国纽约州立大学也研制出一种新型降凝剂 (HD-MIP)，其主要成分是带有亲水性基团的长链烷基羧酸酯。该物质不溶于水，但可以改变油中的“润湿性”，使油水界面张力变小，从而减少水的渗入，进而达到降凝目的。国内也有相关研究人员使用不同类型的降凝剂进行降凝实验研究。

除了以上两种常见的降凝剂以外，还有一些特殊类型的降凝剂，如磺化酚醛树脂、改性脂肪醇、N-甲基吡咯烷酮等。磺化酚醛树脂是以酚醛缩合反应为基础制备而成，可以改善原油凝析问题。磺化脂肪醇是由脂肪醇聚合法制备的一类高分子聚合物，由于其特殊的分子式，使其在酸性条件下具有良好的溶解性，能够溶解于大部分有机溶剂中，并且易被生物降解，可作为生物柴油添加剂使用。N-甲基吡咯烷酮是一种新型降凝剂，因其含有巯基，因此在一定温度下会发生开环反应，生成过硫酸盐和次磺酸钠，这些物质在加热过程中会分解产生氢过氧化物，可使油水界面张力增大，进而达到降凝效果。

目前国内常用的降凝剂主要包括以下几种类型：一是阴离子型降凝剂，此类降凝剂适用于高温高矿化度的含蜡原油，能有效防止水包油现象的出现。二是非离子型降凝剂，该类降凝剂具有很强的抗盐能力，能有效克服因盐分引起的凝析点升高，同时还能起到杀菌、防腐的作用。三是阴/阳离子型降凝剂，此类降凝剂既能降低原油的凝点又能提高原油的腐蚀性，所以常用于含盐量较高的原油。四是非离子型降凝剂，该类降凝剂主要针对油田注水处理工艺，具有稳定水质、抑菌防腐的功能。五是金属螯合型降凝剂，该类降凝剂主要用于去除重金属离子，特别是一些重金属离子对人体具有极大危害。六是纳米降凝剂，该类降凝剂粒径小于 30nm，在降凝效果方面具有显著优势，而且成本低，具有广阔的市场前景。

## 2.3 存在的问题

管输含蜡原油添加降凝剂应用中存在的问题主要包括以下几个方面。部分降凝剂可能存在环境安全性问题，其成分可能对环境造成不良影响。降凝剂的添加可能会增加管道维护成本，因为需要定期检查和更换降凝剂，增加了运营管理的复杂性。此外，如果降凝剂的添加量不当或者选择不当，可能会影响原油的品质，导致生产效率降低或者原油质量下降<sup>[5]</sup>。另外，降凝剂的选择和使用也需要考虑与其他添加剂的兼容

性, 以免发生不良反应影响管道安全。因此, 在管输含蜡原油中添加降凝剂时, 需要综合考虑各种因素, 确保安全可靠地实施。

管输含蜡原油添加降凝剂应用中存在的问题除了前文提及的方面外, 还有一些需要进一步探讨的问题。首先, 降凝剂的选择与原油的特性密切相关。不同类型的原油含有不同成分的蜡, 因此需要根据原油的蜡含量、蜡的类型和结晶特性等因素选择合适的降凝剂。如果选择不当, 可能导致降凝剂与蜡反应不足或过度反应, 影响降凝效果, 甚至可能引发其他问题, 如管道堵塞或腐蚀。

其次, 降凝剂的添加量和添加方法也是关键因素。过量添加可能造成浪费, 增加成本, 并可能对环境造成负面影响; 而添加量不足则无法达到预期的降凝效果, 仍会存在管道结垢和蜡沉积的风险。此外, 降凝剂的添加方法需要科学合理, 确保在原油输送过程中均匀混合, 以充分发挥其作用。

另外, 降凝剂的稳定性和持久性也是需要考虑的因素。一些降凝剂可能在长时间运输过程中逐渐失效, 导致蜡沉积问题重新出现, 增加管道清洗和维护的频率。因此, 选择稳定性较高的降凝剂对于长期管道运输至关重要。

最后, 降凝剂的研发和应用技术也需要不断改进和完善。随着原油开采和输送技术的发展, 原油蜡含量可能会发生变化, 因此需要及时调整降凝剂的配方和应用方法, 以适应不同条件下的实际需求。同时, 对于降凝剂的环境友好性和生物降解性等方面也需要加强研究, 以减少对环境的不良影响。综上所述, 管输含蜡原油添加降凝剂应用中存在的问题是一个复杂的系统工程, 需要在各个环节上进行全面考虑和优化, 以确保管道输送的安全可靠和环保高效。

#### 2.4 方案设计分析

管输含蜡原油添加降凝剂应用的运行方案研究是针对当前存在的问题和需求, 结合降凝剂的特性和原油的特性, 制定科学合理的运行方案, 以确保管道输送的顺畅和安全。首先, 需要对原油的蜡含量、蜡的类型和结晶特性等进行全面的分析和评估。这样可以更准确地选择合适的降凝剂, 以及确定合适的添加量和添加方法。此外, 还需要考虑原油输送过程中的温度变化情况, 以调节降凝剂的使用量和输送温度, 最大程度地提高降凝效果。

其次, 针对降凝剂的稳定性和持久性问题, 可以通过优化配方和加强监测管理来解决。可以选择具有

良好稳定性和持久性的降凝剂, 并加强对降凝剂在运输过程中的监测和管理, 及时发现并处理降凝剂失效的情况, 以确保管道的持续运行。

另外, 为了解决环境安全性问题, 可以加强对降凝剂成分的研究和评估, 选择对环境友好且生物降解性良好的降凝剂。同时, 还可以采取一些环境保护措施, 如加强管道周围的生态环境保护和建设, 减少对环境的不良影响。

最后, 需要不断加强对降凝剂技术的研发和创新, 以适应不断变化的市场需求和技术要求。可以加强与科研机构和合作, 开展降凝剂技术的研究和开发, 推动降凝剂技术的进步和应用, 为管输含蜡原油的安全输送提供更加可靠的技术支持。

#### 2.5 结论与展望

综合以上分析, 目前国内外针对管输含蜡原油添加降凝剂的研究主要集中在以下几个方面: ①降凝剂的类型和降凝机理, 从化学角度阐述了降凝剂降低原油凝点时的反应机理; ②降凝剂对蜡结晶的影响, 通过实验分析了不同条件下添加聚合物、表面活性剂等降凝剂后蜡晶生长速率的变化; ③实际应用中存在的主要问题, 如降凝剂降凝剂量低、添加后会起管道结垢堵塞以及长时间添加会造成环境污染。

#### 3 结语

综上所述, 需要注意的是, 对于含油量高的原油, 除添加降凝剂外, 还需要采取其他措施来防止凝析现象发生, 例如采用分段加热方法等。同时, 由于每种降凝剂都有其独特的作用机理, 因此可以根据具体情况选择合适的降凝剂。此外, 随着科技的进步, 新技术的不断涌现, 新型降凝剂的研发将更好地满足市场的需求。

#### 参考文献:

- [1] 孙征楠, 李洪晶, 荆国林, 张福宁, 颜飏, 刘晓燕. EVA 及其改性聚合物在原油降凝剂领域的应用 [J]. 化工进展, 2023, 42(06): 2987-2998.
- [2] 高志敏, 全青. 管输含蜡原油添加降凝剂应用进展 [J]. 精细石油化工进展, 2022, 23(02): 20-25.
- [3] 彭泽恒, 喻伟婕, 李清平, 路宏, 黄辉荣, 宫敬, 丁艳芬, 王玮. 含蜡原油纳米降凝剂研究进展 [J]. 应用化工, 2022, 51(01): 164-169.
- [4] 孙亚东. 沉积条件对降凝剂改性原油蜡沉积影响的研究 [D]. 北京: 中国石油大学, 2021.
- [5] 陈福鑫. 降凝剂与含蜡原油匹配性及降凝效果研究 [D]. 北京: 中国石油大学, 2021.