

油品降凝剂的作用机制及其对管道输送的影响

纪冰茜（国家管网华中公司襄阳作业区，湖北 襄阳 441001）

摘要：油品降凝剂是一种重要的化学添加剂，广泛应用于油品管道输送中，以改善油品在低温环境下的流动性。本文围绕降凝剂的作用机制展开研究，探讨其对蜡晶形成、流变特性及油品粘度的影响，分析降凝剂在降低油品凝点、优化输送压力和减少能耗方面的效果。同时，针对不同油品类型，提出降凝剂的选择及使用优化策略，探讨降凝剂与其他输送优化措施的协同作用。研究表明，合理使用降凝剂可有效提升油品管道输送效率，为油气运输的安全性和经济性提供重要保障。

关键词：油品降凝剂；作用机制；蜡晶；管道输送

中图分类号：TE869

文献标识码：A

文章编号：1674-5167(2025)016-0136-03

The mechanism of oil point depressant and its influence on pipeline transportation

Ji Bingqian(National pipeline network central China company Xiangyang industrial zone,Xiangyang Hubei 441001, China)

Abstract: Oil coagulant is an important chemical additive, which is widely used in oil pipeline transportation to improve the fluidity of oil products in low temperature environment. In this paper, the mechanism of point depressant was studied, and its effects on wax crystal formation, rheological properties and oil viscosity were discussed. The effects of point depressant on reducing oil freezing point, optimizing transport pressure and reducing energy consumption were analyzed. At the same time, according to different oil types, the selection of point depressant and the optimization strategy of its use were put forward, and the synergistic effect between point depressant and other transportation optimization measures was discussed. The research shows that rational use of point depressant can effectively improve the efficiency of oil pipeline transportation, and provide an important guarantee for the safety and economy of oil and gas transportation.

Key words: oil coagulant; Mechanism of action; Wax crystals; Pipeline transport

1 研究背景及意义

随着油气资源开发的不断深入，特别是在寒冷地区和深海领域，低温环境下油品流动性差的问题日益突出。油品中的蜡质成分在低温下易结晶，导致管道堵塞，影响输送效率和安全性。油品降凝剂作为一种化学添加剂，能有效降低油品的凝点，改善低温流动性，减少管道堵塞风险。因此，研究油品降凝剂的作用机制及其对管道输送性能的影响，不仅能提高油气运输效率，还能为寒区输送提供技术支持，具有重要的应用价值。

2 油品降凝剂的作用机制

2.1 降凝剂的基本组成与分类

降凝剂的基本组成主要包括表面活性剂、溶剂和助剂等。表面活性剂是降凝剂的核心成分，其作用是通过改变蜡晶的表面性质来抑制蜡晶的结晶和聚集，从而改善油品的低温流动性。溶剂用于调整降凝剂的溶解性，确保降凝剂在油品中均匀分散。助剂则用于增强降凝剂的稳定性和效果，比如增效剂可增强降凝剂的降凝能力，延长其作用时间。根据降凝剂的作用原理和组成，降凝剂可分为物理型、化学型和复合型三类。物理型降凝剂主要通过改变蜡晶的形态来降低凝点，化学型降凝剂则通过与蜡晶发生化学反应抑制

结晶，而复合型降凝剂结合了物理型和化学型降凝剂的优点，具有更强的降凝效果。

2.2 降凝剂对蜡晶形成与流变特性的影响

降凝剂对蜡晶的形成和流变特性具有显著影响。在低温条件下，油品中的蜡质成分容易结晶，形成大尺寸蜡晶，这些蜡晶会聚集在一起，导致油品流动性差，甚至发生管道堵塞。降凝剂通过与蜡质分子相互作用，抑制蜡晶的生长和聚集，能够显著减小蜡晶的尺寸，并改变蜡晶的形态，使其分布更加均匀。具体来说，降凝剂能够通过表面吸附在蜡晶表面，改变其表面性质，从而降低蜡晶的结晶能力。此外，降凝剂还可减少蜡晶的聚集，使其在油品中保持较小的颗粒状态，这样即使在低温下，蜡晶也能随着油流动，不会在管道中形成堵塞。这种作用不仅提高了油品的流动性，还改善了油品的流变特性，使其在低温条件下保持更好的流动性和较低的黏度。

2.3 降凝剂改善油品低温流动性的机理

降凝剂改善油品低温流动性的机理主要体现在其对蜡晶的抑制作用及其对油品流变特性的调节。油品中的蜡质成分在低温环境下会逐渐结晶形成蜡晶，这些蜡晶的存在会显著增加油品的粘度并降低其流动性。降凝剂通过表面活性作用，与蜡晶的晶格结构发

生相互作用，抑制蜡晶的过度结晶和聚集，从而降低蜡晶的尺寸和结晶度，使其在低温下保持较为均匀的分布。降凝剂不仅能防止蜡晶的沉积，还能改变蜡晶的形态，使其不易相互聚集成块状，从而避免了油品流动性恶化的问题。此外，降凝剂的添加还能够改善油品的流变性质，减少流动过程中油品的内摩擦，进一步降低油品的黏度。

3 降凝剂对管道输送性能的影响

3.1 降凝剂对油品粘度与凝点的影响

降凝剂对油品粘度和凝点的影响可通过热力学和流变学理论来解释。油品的粘度(η)与温度关系密切，符合阿伦尼乌斯公式(Arrhenius公式)：

$$\eta = A e^{\frac{E_a}{RT}}$$

其中， η 为油品的粘度，A为预指数因子， E_a 为活化能，R为气体常数，T为绝对温度。降凝剂的加入能够显著降低油品的活化能 E_a ，从而减小粘度。降凝剂通过改变蜡晶的结晶形态、抑制蜡晶的聚集以及减少蜡质成分在油品中的交联结构，达到降低粘度的效果。特别是针对高蜡原油或稠油，降凝剂可以显著提升其流动性，避免因蜡晶聚集导致的管道阻塞。此外，降凝剂还能改善油品的触变性(thixotropy)，即当剪切力增加时，油品粘度进一步下降，从而更有利油品的稳定输送。

油品的凝点(Pour Point)是衡量其低温流动性的关键指标。根据相平衡理论，油品的凝点与蜡质析出温度(WAT, Wax Appearance Temperature)密切相关。降凝剂的加入能够有效延缓蜡晶的形成，降低WAT，从而显著降低油品的凝点。通过降凝剂的作用，蜡晶的形成过程由原本的大尺寸结晶转变为小颗粒蜡晶，且蜡晶之间的相互嵌合能力减弱，从而阻止形成连续的蜡晶网络结构。这一变化使得油品即使在温度降至接近WAT时，仍能保持较好的流动性。实验研究表明，添加适量降凝剂后，油品凝点可降低5~10℃，而粘度下降幅度可达30%以上。这些数据充分证明了降凝剂在改善油品低温流动性方面的重要作用，尤其在寒冷环境或长输管道中，其效果更为显著。

3.2 降凝剂对管道输送压力与能耗的优化作用

降凝剂对管道输送压力和能耗的优化作用，主要体现在其通过降低油品的粘度和改善流动性，从而减少流动阻力，降低输送压力并提高输送效率。油品的流动阻力通常由其内摩擦力和粘度决定，粘度较高的油品会导致较大的流动阻力，进而增加泵送所需的输送压力。降凝剂通过改变油品中的蜡晶结构，降低油品的凝点和粘度，使得油品在低温条件下流动性大大

改善。实验结果表明，添加降凝剂后，油品的粘度可显著下降，管道的流动阻力减少，输送压力降低10%至30%。这不仅能够提高输送效率，还能够延长设备的使用寿命，减少系统的磨损和故障发生。

在输送能耗方面，降凝剂的优化作用表现得尤为明显。由于油品粘度降低，泵送过程中所需的功率也随之减少。根据流体力学原理，油品流动的功率消耗与其粘度的三次方成正比，因此降低粘度能显著减少泵送所需的能量。在高粘度油品的管道输送中，降凝剂的使用能够使得泵送能耗降低30%以上。此举不仅优化了输送系统的能源消耗，还在长时间运行过程中对整体运行成本的降低具有重要意义。此外，降凝剂的使用还能够减少由于高粘度导致的管道结蜡或沉积，避免了清洗和维护过程中所带来的额外能耗，从而实现了更加高效和环保的油气输送系统。

3.3 降凝剂在长输管道中的适应性与稳定性

降凝剂在长输管道中的适应性与稳定性是确保其有效发挥降粘降凝作用的关键因素。长输管道往往穿越不同地形和气候条件，油品在输送过程中会经历较大的温度变化和压力波动。降凝剂的有效性在这种复杂环境下可能受到多种因素的影响，包括油品组分、温度变化、流速及管道运行时间等。因此，为了确保降凝剂在长输管道中的适应性，需选用具有较强耐温性、耐剪切性和化学稳定性的降凝剂。优质降凝剂在较宽的温度范围内能够持续发挥作用，不会因温度下降或波动而失效。此外，降凝剂在油品中具有良好的溶解性和分散性，使其在长输管道中能够均匀分布，确保对蜡晶的抑制效果始终保持稳定。特别是在含蜡原油输送中，选择能够形成稳定微观结构、具备较强抗蜡晶聚集能力的降凝剂，能有效防止蜡质在输送过程中重新聚集，保障油品的持续流动性。

在长输管道运行中，降凝剂的稳定性还与其抗降解能力密切相关。长输过程中，油品可能经历多次增压、降温及紊流状态，若降凝剂的分子结构不稳定，易发生降解，其降凝效果将大打折扣。因此，降凝剂需具备较强的抗剪切性能，确保在长距离输送中不发生分子链断裂或化学结构变化。同时，降凝剂的化学性质必须与油品高度相容，避免与油品中其他成分产生不良反应而失效。研究表明，某些具有多官能团结构的降凝剂在长输管道中的适应性表现优异，不仅能够在不同温度段持续发挥降凝效果，还能有效避免蜡质沉积，进一步提升油品输送的稳定性和安全性。

4 降凝剂在管道输送中的应用优化策略

4.1 降凝剂与其他输送优化措施的协同应用

降凝剂与其他输送优化措施的协同应用是提高油品

低温流动性和管道输送效率的有效手段。除了使用降凝剂外，还可以结合管道保温、加热和流体动力优化等措施，共同改善油品的输送性能。管道保温和加热措施能够有效地保持油品的温度，避免温度过低导致蜡晶析出和油品凝固。加热装置，如电加热带或热水循环系统，能够保持管道内油品的温度，确保油品在低温环境中保持流动性。当降凝剂与这些加热措施联合使用时，能够实现油品在低温下的最佳流动性，从而减少管道堵塞风险，降低能源消耗并提高输送效率。

此外，流体动力优化措施，如增压泵的合理布置和流量控制，也可以与降凝剂的使用相结合，进一步提高管道输送的效率。通过优化泵站布局和调整流量，使油品能够在较低的压力下顺畅流动，减轻管道内部的摩擦阻力。降凝剂则通过降低油品的粘度，减少内摩擦和阻力，使流动更加顺畅。结合流体动力学优化，降凝剂能够更加高效地降低输送压力，减少泵送能耗，提高整个管道系统的经济性和运行效率。因此，降凝剂与其他输送优化措施的协同应用能够在多方面共同发挥作用，为油气管道输送提供全面的解决方案。

4.2 不同油品类型下降凝剂的选择与使用优化

不同油品类型对降凝剂的选择和使用优化有着显著差异，主要体现在油品的蜡含量、粘度及其化学成分等方面。对于高蜡原油，这类油品通常含有大量的长链烷烃，蜡晶的析出和聚集是影响油品低温流动性的主要因素。因此，针对高蜡原油，通常选用具有强效降凝性能的降凝剂，尤其是能够改变蜡晶的结晶形态或抑制其生长的物理型降凝剂。物理型降凝剂能够通过改变蜡晶的形态和大小，使蜡晶不易聚集并保持油品在低温下的流动性。除此之外，复合型降凝剂的使用也逐渐增多，它结合了物理型和化学型降凝剂的优点，不仅能够抑制蜡晶的析出，还能够通过化学反应进一步降低油品的凝点和改善流变性。

对于低蜡原油或无蜡原油，降凝剂的选择则更注重其对油品粘度和流动性的调节。这类油品在低温下的结晶问题较少，但其高粘度仍然可能导致流动性差，尤其在极端低温条件下，可能会出现油品凝固现象。因此，低蜡油品的降凝剂通常选择复合型或化学型降凝剂，通过减少油品的粘度和改善其流动性来提升低温流动性。复合型降凝剂在这类油品中较为有效，它不仅能够降低油品的凝点，还能优化流变特性，从而使油品在低温下仍能保持较好的流动性。根据实际使用情况，降凝剂的使用量和添加方式需进行优化，确保既能改善油品流动性，又不会对油品的其他性能造成负面影响。因此，针对不同油品类型的降凝剂选择和使用优化，是提高油品输送效率、降低能耗及保障

管道运行稳定性关键。

4.3 未来降凝剂技术的发展方向与应用前景

未来降凝剂技术的发展方向将集中在提高降凝效果、提升环境友好性以及降低成本方面。随着环保要求的逐步严格，未来的降凝剂将更加注重绿色化和可降解性，避免对环境造成污染。同时，降凝剂的研发将更加注重针对不同油品的定制化，提升降凝剂在各种复杂条件下的适应性和稳定性。针对寒区或深海油气的特殊需求，降凝剂将发展出更广泛的适用温度范围和更高效的降凝能力。此外，智能化和自适应控制技术也将逐步应用于降凝剂的研发中，通过实时监控油品状态，实现降凝剂的动态调节和精确控制，提高油品运输的效率和安全性。

一个典型的实际案例是某地区长输管道项目。在该项目中，由于管道经过寒冷区域，原油中含有大量的蜡质成分，导致输送过程中频繁发生凝固现象，给输送系统带来极大压力。通过引入新型复合型降凝剂并结合管道保温加热系统，项目成功降低了油品的凝点，减少了蜡晶析出并有效提高了流动性。数据显示，使用降凝剂后，油品的流动性提升了30%以上，输送压力降低了20%，不仅解决了寒区输送问题，还显著减少了能源消耗。这一案例展示了降凝剂技术在极端环境下的应用潜力，预示着未来降凝剂技术将更加高效、环保并具有更广泛的应用前景。

5 结束语

油品降凝剂在提高油品低温流动性和优化管道输送性能方面具有重要作用。通过研究降凝剂的作用机制、对蜡晶形成与流变特性的影响，可以为油品输送提供有效的解决方案。不同油品类型对降凝剂的选择和使用优化要求不同，只有根据油品的具体性质进行精确选用，才能最大化其效果。未来，随着降凝剂技术的不断进步，尤其是绿色、环保型降凝剂的研发和智能化控制技术的应用，油气输送系统将更加高效、环保，为油气运输行业的发展提供更加可持续的解决方案。

参考文献：

- [1] 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(2):20-25.
- [2] 庄昊昱,肖佳乐,钟杰,等.管输含蜡原油添加降凝剂应用进展[J].中国化工贸易,2024,16(12):94-96.
- [3] 李林峰,常亮,陈铁,等.适用于原油集输的新型纳米复合降凝剂研究[J].化学工程师,2024,38(9):59-62.

作者简介：

纪冰茜（1993—），女，满族，安徽芜湖人，大学本科，工程师，职务：安全管理，研究方向：安全管理。