

海上稠油油田的降黏开采及集输技术研究

杜少波（中海油田服务股份有限公司，天津 300459）

摘要：随着全球能源需求的持续增长，海上稠油油田作为重要的石油资源储备，其开发与利用日益受到重视。然而，海上稠油因其高粘度、高密度和流动阻力大等特点，给开采和集输带来了巨大挑战。本文综述了当前海上稠油油田降黏开采及集输技术的最新研究进展，包括加热法、稀释法、乳化降黏法、微生物降粘法及化学降粘法等，并分析了各技术的优缺点及适用范围。同时，针对海上稠油油田的特殊环境，提出了技术改进方向和应用前景，旨在为海上稠油油田的高效开发提供理论支撑和技术指导。

关键词：海上稠油油田；降黏开采；集输技术；加热法；稀释法

0 引言

石油作为当今世界最主要的能源之一，其开采和利用对全球经济的发展具有重要意义。随着陆地石油资源的逐渐枯竭，海上石油特别是稠油油田的开发逐渐成为研究的热点。然而，海上稠油的高粘度特性不仅增加了开采难度，还显著提高了集输过程中的能耗和成本。因此，如何有效降低海上稠油的粘度，实现高效开采和集输，成为当前亟待解决的技术难题。

1 海上稠油油田概述

1.1 海上稠油油田的特点

海上稠油油田以其独特的物理和化学特性，在开发过程中展现出显著的不同于常规油田的难点。首先，稠油的高粘度是其最显著的特点之一，这意味着在管道中流动时，稠油需要更大的驱动力来克服其内部摩擦，导致流动阻力显著增加。此外，稠油通常具有较高的密度，进一步增加了其在开采和运输过程中的负担。这些物理特性的直接后果是，稠油在海底管道和储罐中的流动性大大降低，增加了开采和集输的难度。另一方面，稠油中的沥青质和胶质含量较高，这些成分在高温高压条件下容易形成稳定的胶体结构，使得稠油更加难以处理。沥青质和胶质的存在不仅增加了稠油的粘度，还可能导致管道堵塞、设备磨损加剧等问题，对油田的长期稳定运行构成威胁。^[1]

1.2 海上稠油油田开发的挑战

海上稠油油田的运输挑战主要源于稠油的高粘度和高密度。在海上环境中，长距离、大规模的稠油运输需要克服海流、风浪等自然因素的影响，同时还需要确保运输过程中的安全性和稳定性。由于稠油流动性差，传统的运输方式如管道输送需要采用加热、稀释等辅助手段，这不仅增加了运输成本，还可能对海洋环境造成潜在污染。此外，海上平台的存储和转运

能力也受到稠油特性的限制，需要更加复杂和高效的设备来支持。海上稠油油田的开采效率受到多种因素的制约。首先，稠油的高粘度使得油井的注入压力增大，开采过程中需要消耗更多的能量。其次，稠油中的沥青质和胶质容易在井筒和地层中沉积，形成堵塞，影响油井的产能。

此外，海上油田的开采还受到海洋环境、气候条件、设备性能等多种因素的影响，这些因素相互交织，使得海上稠油油田的开采效率难以提高。^[2]为了提高开采效率，需要采用先进的降黏技术、优化开采工艺、提高设备性能等多种手段，但这些措施往往需要投入大量的资金和技术支持。海上稠油油田的开发和运营面临着高昂的经济成本。一方面，稠油开采和运输过程中的高能耗、高物耗使得直接成本显著增加。另一方面，为了克服稠油特性带来的技术难题，需要投入大量的研发资金和技术支持，这进一步推高了开发成本。

此外，海上油田的建设和维护也需要大量的资金投入，包括平台建造、设备安装、人员培训等多个方面。因此，海上稠油油田的开发需要综合考虑技术、经济、环境等多个因素，制定科学合理的开发方案，以实现经济效益和社会效益的最大化。^[3]

2 海上稠油油田降黏开采技术

2.1 加热法

加热法是基于稠油粘度随温度升高而显著降低的物理特性。通过加热稠油，可以破坏其分子间的相互作用力，降低分子间的内聚力，从而使稠油流动性增强，粘度下降。这种方法在海上稠油油田中尤为重要，因为海洋环境的温度较低，稠油的自然流动性更差。加热法在实际应用中有多种形式，包括井口加热法、渗热水法和蒸汽伴热法等。井口加热法是在井口附近

设置加热装置，对即将进入管道的稠油进行加热。渗热水法则是在油井周围注入热水，通过热传导作用加热地层中的稠油。蒸汽伴热法则是在输送稠油的管道外部包裹蒸汽管道，利用蒸汽的热量对管道内的稠油进行加热。加热法的优点在于降粘效果显著，可以大幅度提高稠油的流动性，便于开采和运输。然而，其缺点也同样明显，即能耗较高，增加了开采成本。此外，如果加热不均匀或温度控制不当，还可能引发凝管等安全问题，对油田生产造成不利影响。^[4]

2.2 稀释法

稀释法是通过向稠油中掺入稀油或低粘度溶剂，来降低其整体粘度的方法。稀油或溶剂的加入能够打破稠油分子间的紧密结构，增加分子间的间距，从而降低稠油的粘度。稀释法主要包括稀油掺入法和溶剂稀释法两种。稀油掺入法是将一定比例的稀油直接注入稠油中，通过混合均匀来降低稠油的粘度。溶剂稀释法则是使用特定的低粘度溶剂，如轻质烃类、醇类等，与稠油混合，达到降粘的目的。稀释法的优点在于操作简便，能够快速有效地降低稠油的粘度。然而，其缺点在于受稀油或溶剂资源限制，成本可能较高。此外，稀释后的稠油在后续处理过程中可能需要额外的分离和回收步骤，增加了处理难度和成本。^[5]

2.3 乳化降黏法

乳化降黏法是利用表面活性剂的作用，使稠油形成油包水（O/W）型乳状液。在乳状液中，稠油被分散成微小的油滴，被水相包围，形成稳定的乳状体系。这种乳状体系具有较低的粘度，便于开采和运输。乳化降黏法的核心在于注入乳化剂水溶液。乳化剂是一种具有特殊分子结构的表面活性剂，能够在油水界面上形成一层稳定的薄膜，防止油滴聚并。通过向稠油中注入乳化剂水溶液，并经过充分的混合和剪切作用，即可形成乳状液。

乳化降黏法的优点在于降粘效果显著，能够大幅度提高稠油的流动性。同时，乳状液的形成还具有一定润滑作用，有助于减少管道和设备的磨损。然而，其缺点在于乳状液的稳定性较难控制，且存在破乳脱水的难题。破乳过程需要消耗额外的能量和资源，且可能对后续处理造成一定影响。因此，在实际应用中需要综合考虑乳化剂的种类、用量以及破乳工艺的选择等因素。

2.4 微生物降粘法

微生物降粘法是一种环保且可持续的稠油降粘技

术。其基本原理是利用特定种类的微生物，如石油降解菌，通过其代谢活动降解稠油中的高分子化合物，主要是沥青质和胶质。这些高分子化合物是稠油高粘度的主要来源，通过微生物的作用，可以将其转化为低粘度的烃类化合物，从而降低稠油的粘度。在实际应用中，微生物降粘法通常涉及向油藏中注入含有目标微生物的营养液。这些营养液不仅包含微生物本身，还包含它们生长所需的营养物质，如碳源、氮源、磷源以及微量元素等。

注入后，微生物在油藏环境中大量繁殖并代谢活动，逐步降解稠油中的高分子化合物。为了促进微生物的活动，还可能采用一些辅助措施，如提高地层温度、调整地层压力等。微生物降粘法的优点在于其环保性和可持续性。与其他方法相比，它不会引入额外的化学物质，对环境影响小。同时，微生物可以在油藏中持续作用，长期降低稠油的粘度。然而，该方法的缺点也较为明显，即受环境条件限制大。微生物的活性受温度、压力、盐度、pH值等多种因素影响，且不同油藏的地质条件差异较大，因此微生物降粘法的应用效果往往难以预测和控制。^[6]

2.5 化学降粘法

化学降粘法是通过化学反应直接改变稠油分子结构，从而降低其粘度的方法。其基本原理是引入某些化学物质，如催化剂或反应剂，与稠油中的高分子化合物发生化学反应，改变其分子结构和分子间作用力，进而降低稠油的粘度。化学降粘法有多种实现方式，其中较为常见的有催化剂加入法和水热裂解法。催化剂加入法是通过向稠油中加入催化剂，促进稠油中的重质组分发生裂解反应，生成低粘度的轻质组分。水热裂解法则是利用高温高压的水热环境，促使稠油中的大分子化合物发生水解、裂解等反应，生成低粘度的产物。

在实际应用中，这些方法往往需要与加热、搅拌等物理手段相结合，以提高反应效率和降粘效果。化学降粘法的优点在于效果显著，能够迅速降低稠油的粘度，提高开采效率。然而，其缺点也不容忽视。首先，化学降粘法可能引入新的化学污染，对环境和生态造成潜在威胁。其次，该方法成本较高，需要消耗大量的化学试剂和能源。此外，化学降粘法还可能改变稠油的物理性质和化学组成，对后续加工和利用产生一定影响。因此，在实际应用中需要综合考虑其优缺点和经济效益。

3 海上稠油油田集输技术

3.1 集输管道设计

在海上稠油油田的集输系统中，管道设计是至关重要的一环。为了确保稠油能够高效、安全地从生产平台输送到处理中心，必须进行精心的管道布局和保温设计。首先，优化管道布局是关键，通过合理的路径规划和管径选择，可以显著减少摩阻损失，提高输送效率。这包括减少管道弯曲、采用大曲率半径、合理安排支撑结构等措施，以降低流体在管道中的流动阻力。其次，为了防止稠油在输送过程中因温度下降而粘度增加，甚至凝固，必须采用高效的保温材料对管道进行包裹。这些保温材料应具有良好的绝热性能，能够有效阻止热量散失，确保稠油在管道中保持适宜的温度，从而维持其流动性。^[7]

3.2 输送工艺优化

输送工艺的优化是提高海上稠油油田集输效率的重要手段。针对稠油的高粘度和易凝固特性，多相流输送技术被广泛应用于海上油田的集输系统中。该技术通过合理控制油、气、水等多相流体在管道中的流动状态，实现能量的有效利用和输送效率的提升。此外，为了保持管道的畅通无阻，必须实施定期的清管作业。清管作业通过向管道内发送专用的清管器，清除管道内的沉积物、杂质和结蜡等，防止管道堵塞和摩阻增加。这不仅有助于提高输送效率，还能延长管道的使用寿命，降低维护成本。

3.3 能源回收与利用

在海上稠油油田的集输过程中，往往伴随着大量的能源消耗和余热排放。为了提高能源利用效率，减少对环境的影响，必须重视能源回收与利用工作。一方面，可以回收输送过程中的余热，通过热交换器等设备将余热传递给需要加热的稠油或其他介质，实现能源的再利用。这样不仅可以减少加热所需的外部能源，还能降低整体能耗和运营成本。另一方面，可以积极利用太阳能、风能等可再生能源为集输系统提供动力。例如，在海上平台安装太阳能板和风力发电机，将收集到的清洁能源转化为电能或热能，用于驱动集输系统中的泵、压缩机等设备，减少对化石能源的依赖，实现绿色、低碳的集输作业。

4 应用前景

随着技术的不断进步和成本的逐步降低，海上稠油油田的降黏开采及集输技术展现出了广阔的应用前景。一方面，这些技术的广泛应用将极大地促进稠油

资源的有效开发，提高采收率，为我国乃至全球的能源供应提供重要保障。在全球能源需求持续增长、传统油气资源日益枯竭的背景下，稠油作为重要的替代能源之一，其开发价值的提升将对维护能源安全具有重要意义。另一方面，随着环保意识的增强和环保法规的完善，环保型、低能耗的稠油开采及集输技术将更受青睐。因此，未来海上稠油油田的开发将更加注重技术创新和可持续发展，推动整个行业向更加绿色、高效的方向发展。

5 结束语

海上稠油油田的降黏开采及集输技术面临着诸多挑战，但同时也孕育着巨大的发展机遇。通过持续的技术创新和研发，不断优化降黏开采工艺和集输技术，结合绿色环保、智能化和能源综合利用的理念，我们有望克服现有难题，实现海上稠油油田的高效、安全、环保开发。这不仅将对我国乃至全球的能源供应结构产生深远影响，也将为应对能源危机、保障能源安全、推动绿色低碳发展作出重要贡献。未来，我们期待更多的科研人员和技术人员投身于这一领域的研究与实践，共同推动海上稠油油田开发技术的不断进步和升级。

参考文献：

- [1] 周文超, 孙君, 付云川, 等. 海上稠油油藏自扩散降黏增效技术研究 [J]. 山东石油化工学院学报, 2023, 37(02):56-58.
- [2] 郑金定, 李华朋, 杨冠美, 等. 两亲聚合物驱油剂在海上稠油油田的适应性评价 [J]. 精细石油化工进展, 2023, 24(02):7-10.
- [3] 徐方雪, 刘志龙, 孙君, 等. 海上油田稠油开采井筒举升用水溶性降黏剂 [J]. 精细石油化工进展, 2023, 24(01):10-13.
- [4] 王凤刚, 黎运秀, 李瑞雪, 等. 水溶性降黏技术研究进展及海上油田应用展望 [J]. 精细与专用化学品, 2020, 28(10):18-21.
- [5] 张颖, 黄子俊, 宫汝祥, 等. 化学吞吐技术在海上稠油油田的试验研究 [J]. 非常规油气, 2020, 7(01):44-49.
- [6] 赵杰. 海上稠油油田的降黏开采及集输技术分析 [J]. 石化技术, 2019, 26(10):83-84.
- [7] 刘宇思. 海上稠油油田的降黏开采及集输技术 [J]. 化工管理, 2018, (24):125.

作者简介：

杜少波（1990-），男，汉族，湖北大悟人，研究生，中级工程师，研究方向：油气田开发开采专业。