

# 调驱剂封堵性能影响因素及改善措施研究

孙银丽

中原油田文卫采油厂 山东 聊城 252000

**【摘要】**：我国多数陆上油田已进入高含水开发阶段，储层非均质性强、优势渗流通道发育，导致注入水低效循环、水驱效率大幅下降，剩余油难以有效动用。调驱技术作为控水增油、提高原油采收率的核心技术，其应用效果直接取决于调驱剂的封堵性能。本研究结合石油工程现场实践，明确各因素作用机理，系统分析调驱剂封堵性能的主要影响因素，针对性提出科学可行的改善措施，为不同油藏条件下调驱技术高效应用提供理论支撑与工程参考，对推动老油田稳产增产、提升开发效益，破解调驱过程中各类封堵难题具有重要的工程价值与实践意义。

**【关键词】**：调驱剂；封堵性能；影响因素；改善措施

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.028

## 1 引言

随着我国石油资源开发不断深入，陆上大部分注水开发油田已进入中高含水期，部分油田综合含水率超80%，长期注水冲刷加剧储层非均质性，形成大量高渗优势渗流通道，注入水“窜流”现象突出，水驱波及效率不足30%，大量剩余油滞留低渗储层难以动用。化学调驱技术通过注入调驱剂封堵高渗通道、调整吸水剖面，迫使液流转向低渗区域，是老油田稳产增产的关键手段。调驱剂封堵性能直接决定调驱成败，现场应用中易出现近井堵塞、深部封堵不足等问题<sup>[1]</sup>。因此深入探究其影响因素、提出改善措施对优化调驱方案、提升效果、降低成本具有重要理论与工程意义。

## 2 调驱剂封堵作用机理

### 2.1 物理与黏弹封堵机理

物理封堵是颗粒型调驱剂（如弹性微球、无机颗粒）的核心作用方式，调驱剂颗粒随注入液进入油藏后依据粒径与孔喉的匹配关系在高渗孔喉处通过堆积、桥塞、滞留等物理作用，形成致密稳定的封堵体，直接提高高渗通道渗流阻力，迫使注入液转向低渗未动用区域，实现液流调控。室内岩心驱替实验表明物理封堵可使高渗储层渗透率降低70%以上，有效遏制注入水窜流。黏弹封堵主要适用于聚合物凝胶类调驱剂，这类调驱剂注入地层后在交联作用下形成三维网络结构，依靠自身良好的黏度与弹性，既能限制注入液无效流动，又能对原油产生剪切、携带作用，兼具封堵与驱油双重效果，适配中高渗油藏的封堵需求，可有效提升水驱波及效率与原油采收率，尤其适用于高含水期油藏的控水增油作业。

### 2.2 化学吸附与膨胀封堵机理

化学吸附机理主要体现在高分子类调驱剂中，调驱剂分子链通过氢键、范德华力等化学作用吸附于岩石表面，形成致密的吸附层，显著减小孔隙有效直径，降低储层渗透率，同时改变岩石表面润湿性，改善水驱效果，减少注入水窜流，吸附层的稳定性直接决定封堵长效性，可通过添加吸附增强剂进一步

提升吸附效果。膨胀封堵是体膨胀调驱剂（如膨润土、聚合物吸水微球）的主要作用方式，这类调驱剂接触地层水后发生显著膨胀，体积可扩大数倍至数十倍，能够逐级封堵不同尺寸的孔喉，实现从近井到深部的梯度封堵，有效延长封堵有效期，其膨胀倍数可通过配方调整适配不同孔喉尺寸需求。实际工程应用中四种机理并非单独作用，多为协同配合，共同实现“封堵大通道、启动低渗层、扩大波及体”的调驱目标，提升调驱技术的综合应用效果<sup>[2]</sup>。

## 3 调驱剂封堵性能主要影响因素

### 3.1 调驱剂自身体系特性因素

调驱剂自身体系特性是决定其封堵性能的基础，直接影响封堵强度、稳定性与运移能力。浓度与配方是核心因素，浓度过低难以形成有效封堵结构，封堵率不足50%；浓度过高则体系黏度骤增，注入压力升高，易造成近井堵塞且增加施工成本。交联剂、稳定剂等助剂比例也至关重要，交联剂用量不足会导致凝胶成胶强度不够、易破胶，用量过多则成胶过快，难以实现深部运移。此外，粒径与孔喉匹配性、耐高温耐盐性及膨胀流变性能，也直接影响调驱剂运移效果与封堵稳定性，是决定封堵成败的关键自身因素，其中耐高温耐盐性直接决定调驱剂在深层高温高盐油藏的适配性，膨胀流变性能则影响封堵体的长效性。

### 3.2 油藏地质条件因素

油藏地质条件是调驱剂封堵性能的外部约束，不同油藏地质特征差异显著，对封堵效果影响较大。储层渗透率与非均质性直接影响调驱剂分布，高渗储层易形成优势窜流通道，低渗储层则导致调驱剂注入困难，渗透率级差越大，封堵越不均衡，级差超10倍时封堵率下降30%以上<sup>[3]</sup>。孔隙结构中孔喉尺寸决定调驱剂粒径选型，连通性差阻碍运移，裂缝发育易导致调驱剂窜流、加速降解。地层温度与矿化度则直接影响调驱剂稳定性，高温加速降解，高矿化度易引发盐析，是高温高盐油藏封堵失效的主要原因，不同区块油藏地质参数差异较大，需针对

性调整调驱方案适配地质条件。

### 3.3 施工工艺参数因素

施工工艺参数是调驱剂封堵性能的重要调控因素，合理工艺可充分发挥封堵效能，反之则导致效果下降甚至引发施工事故。注入速度直接影响调驱剂运移与堆积，过快易冲垮封堵体、导致窜流，过慢则易造成近井吸附堵塞，合理速度通常为0.5~1.5m<sup>3</sup>/h，需结合储层渗透率动态调整。段塞结构设计决定封堵范围与有效期，单一体系段塞难以兼顾近井与深部封堵，尺寸不足则有效期短，尺寸过大则增加成本。注入顺序、时机及前置预处理也至关重要，未预处理会导致地层杂质吸附调驱剂，降低有效浓度，影响封堵性能，前置预处理可显著提升调驱剂有效利用率。

### 3.4 地层流体与岩石特性因素

地层流体与岩石特性是易被忽视但影响显著的因素，直接影响调驱剂与油藏的适配性。原油黏度方面，高黏度原油会增大注入液流动阻力，阻碍调驱剂运移与分布，降低液流转向效果，低黏度原油则有利于调驱剂扩散，高黏油藏需搭配降黏措施提升调驱效果。地层水性质中，高价阳离子（Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>）会破坏聚合物水化膜，导致分子链卷曲聚集，影响封堵稳定性，需通过抗盐助剂缓解该问题。岩石矿物组成上高岭土含量较高的储层，调驱剂吸附量较大，会降低有效浓度；岩石表面润湿性不同，也会影响调驱剂吸附与封堵效果，亲油岩石更易吸附调驱剂，需针对性优化体系<sup>[4]</sup>。

## 4 调驱剂封堵性能改善措施

### 4.1 优化调驱剂体系配方，提升核心性能

针对调驱剂自身体系存在的短板，通过配方优化，全面提升其耐温耐盐性、封堵强度与长期稳定性。研发耐温耐盐型调驱剂，在聚合物分子结构中引入磺酸基、疏水单体等功能基团，增强分子链抗降解与抗盐能力，适配高温高盐油藏，引入磺酸基的聚合物调驱剂耐温可达120°C、抗盐可达1×10<sup>5</sup>mg/L，可有效应对深层油藏高温高盐环境下的降解问题<sup>[5]</sup>。同时，优化交联体系，采用酚醛树脂与有机铬复合交联剂，替代传统单一交联剂，延长高温下成胶时间与稳定性，提升成胶强度，避免封堵体破胶，经室内实验验证，复合交联体系成胶强度较单一体系提升30%以上。此外，合理添加助剂，加入稳定剂、抗盐助剂抑制高价阳离子破坏，加入助凝剂加快成胶速度，确保在目标区域形成有效封堵体，同时添加分散剂减少调驱剂分子聚集，提升体系分散性。最后，发展复合调驱体系，采用“凝胶+弹性微球”“泡沫+颗粒”等组合，兼顾封堵强度、选择性与运移能力，提升综合调驱效果，解决单一调驱剂封堵与运移难以兼顾的痛点<sup>[6]</sup>。

### 4.2 实现粒径与孔喉精准匹配，强化深部封堵

针对粒径与孔喉匹配性不足导致的封堵失效问题通过精

准选型与复配实现调驱剂与储层孔喉的最优匹配，提升深部封堵效果。首先，开展储层孔喉参数系统测试，通过岩心实验、测井数据等，明确孔喉尺寸分布，结合压汞实验精准获取孔喉直径范围，按孔喉尺寸分级选型，大孔道选用0.1~1mm大颗粒调驱剂实现强封堵，中小孔喉选用10~100μm微球或纳米颗粒实现深部封堵，确保不同尺寸孔喉均能得到有效封堵。其次，采用大小颗粒复配技术按7:3左右的合理比例混合不同粒径调驱剂，形成梯度封堵结构，大颗粒在近井高渗孔喉形成桥塞，小颗粒随注入液进入深部，在中小孔喉形成封堵，提高封堵率与封堵深度，复配体系封堵率较单一粒径调驱剂提升20%以上<sup>[7]</sup>。最后，严格遵循1/3~1/1.4的匹配原则，结合室内实验模拟调驱剂运移与封堵效果，优化粒径参数，通过岩心驱替实验验证适配性，确保调驱剂顺利运移至深部目标区域，形成稳定有效封堵体。

### 4.3 优化施工工艺参数，实现均衡高效封堵

通过优化施工工艺参数，解决近井堵塞、深部封堵不足等问题，实现调驱剂均衡封堵与深部调控。采用多级段塞注入工艺，设计“前置段塞+主体段塞+后置段塞”三级结构，前置段塞选用低浓度、小粒径调驱剂，预处理地层、清除杂质、改善渗流条件；主体段塞选用高浓度、高强度调驱剂，实现高渗透道强封堵；后置段塞选用稳定性强的调驱剂，保护封堵体、延长有效期，三级段塞协同作用，避免单一段塞的局限性。同时，优化注入速度，根据储层渗透率与孔喉尺寸，采用低速推进、逐级升压方式，避免过快冲垮封堵体、过慢造成近井堵塞，确保调驱剂均匀分布并运移至深部，针对不同渗透率储层动态调整注入速度参数<sup>[8]</sup>。此外，实施疏调一体化工艺，先采用解堵剂清除近井污染与堵塞，再注入调驱剂，扩大注入压力窗口，提升注入效果，解堵后注入压力可降低15%~25%。最后，合理设计段塞规模，结合油藏厚度、渗透率等参数，确定段塞规模为0.3~0.6PV，确保封堵距离大于注采井距50%，实现深部有效封堵，同时兼顾施工成本与封堵效果。

### 4.4 适配油藏与地层特性，实施差异化改善

针对不同油藏地质、地层流体与岩石特性实施差异化改善措施，提升调驱剂适配性，确保封堵效果。高温高盐油藏，选用耐温≥90°C、抗盐≥5×10<sup>4</sup>mg/L的复合凝胶或耐盐颗粒调驱剂，优化配方并加入抗盐助剂，抑制盐析与降解，采用低速注入、多级段塞工艺，确保深部封堵，适配渤海、塔里木等高温高盐油藏开发需求。同时，低渗透油藏，选用低黏度、小粒径调驱剂，加入助排剂改善运移能力，避免近井堵塞，采用“薄段塞、多轮次”注入方式逐步扩大封堵范围，解决低渗透油藏调驱剂注入困难、波及范围小的问题<sup>[9]</sup>。此外，裂缝发育油藏，选用弹性强、不易破碎的体膨微球或泡沫调驱剂，填充裂缝形成弹性封堵体，采用凝胶与颗粒复合体系，兼顾裂缝与孔喉封堵，防止窜流，有效延长封堵有效期至12个月以上。最后，高含

水、高黏度原油油藏,先实施控水预处理降低含水,加入降黏剂改善原油流动性,再注入调驱剂,减少注入水稀释冲刷,提升封堵与驱油协同效果,助力高含水老油田控水增油。

## 5 结语

总之,调驱剂封堵性能是决定石油工程调驱技术应用效果的核心,直接关系到老油田稳产增产与开发效益提升。本研究结合石油工程实践,系统分析了调驱剂自身体系特性、油藏地质条件、施工工艺参数及地层流体与岩石特性四大类影响因

素,明确了各因素的作用机理与影响规律,指出当前调驱过程中易出现的近井堵塞、深部封堵不足、耐温耐盐性差等问题。针对各类影响因素从体系配方优化、粒径与孔喉匹配、施工工艺改进、油藏适配性提升四个方面提出了针对性强、可操作性强的改善措施,可有效提升调驱剂封堵强度、稳定性与长效性,实现精准封堵与高效控水增油。未来需结合深部油藏开发需求,进一步加强调驱剂研发与技术创新,优化差异化方案,推动调驱技术向高效化、智能化方向发展,为石油资源高效开发提供更有力的技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 马梦琪;李俊键;徐飞;于馥玮;第五鹏祥;姜汉桥.基于微流控实验的碳酸盐岩油藏纳米材料调驱效果及机理[J].油气地质与采收率,2025(05):155-169.
- [2] 朱向前;王潜龙;钱雄涛;杨凯澜;安然;董传宾;白昉放.一种预组装核壳相变调驱剂的性能评价及其在胡尖山油田的应用[J].西安石油大学学报(自然科学版),2025(04):53-58.
- [3] 闫冬;曾奇灯;宫汝祥;曾浩见;彭丹;刘陆芑.沉淀粒子调驱剂的研究与应用[J].石油钻探技术,2025(01):122-129.
- [4] 鲍文博;肖丽华;刘长龙;宋鑫;吕鹏;薛宝庆;吕金龙;张国栋.新型荧光核壳微球调驱剂制备及性能表征[J].中国海上油气,2023(06):98-105.
- [5] 李欣儒;高党鸽;郑力军;刘茂昌;张霄汉;吕斌.聚合物微球调驱剂研究进展[J].应用化工,2023(06):1847-1854.
- [6] 晋清磊;王瑶瑶;李恒娟;王亚雄;王祎璠;张倩.低渗透油藏聚合物驱提高采收率技术研究进展[J].中外能源,2025(10):43-49.
- [7] 周广慧;段志刚;滕学伟;梁乔玥;张宇哲.高温微纳米柔性深部调驱剂的研制与性能评价[J].石油化工应用,2025(06):100-104.
- [8] 周海燕;张运来;何逸凡;缪飞飞.新型交联聚合物微球调驱性能研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2022(06):175-182.
- [9] 郭永鑫;李键;仵改;刘小.高温中低渗油藏调驱体系活性溶胶深部调驱剂研究[J].山东化工,2025(02):79-82.