

油田用杀菌剂抑菌性能及应用条件优化

孟文博

濮阳市科洋化工有限公司 河南 濮阳 457001

【摘要】：油田开发过程中，硫酸盐还原菌、腐生菌及铁细菌等微生物易引发设备腐蚀、管线堵塞和水质恶化，影响原油开采与集输安全。围绕油田用杀菌剂抑菌性能及应用条件优化展开研究，重点分析不同杀菌剂对典型油田有害菌的抑制效果，探讨投加浓度、作用时间、温度、pH值和矿化度等因素对杀菌效果的影响。优化应用参数，可提升杀菌剂使用效率，降低药剂浪费和环境风险，为油田水处理和微生物腐蚀防控提供技术依据。

【关键词】：油田杀菌剂；抑菌性能；应用条件；微生物腐蚀；参数优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.022

引言

油田注水、采出液处理及集输过程中存在大量有害微生物，其中硫酸盐还原菌、铁细菌和腐生菌会加剧金属腐蚀、形成生物黏泥，并降低水处理系统运行效率。杀菌剂是控制油田微生物危害的重要措施，但其抑菌效果受浓度、温度、pH值、矿化度及接触时间等条件影响明显。明确杀菌剂性能差异并优化使用条件，有助于提高药剂利用率，增强油田生产系统的稳定性与安全性。

1 油田微生物滋生对杀菌剂应用的要求

1.1 注水与采出液系统中的菌群分布

油田注水与采出液处理系统处于高含盐、高含油、缺氧环境，微生物极易滋生。注入水源品类不同，内部微生物结构存在明显区别。硫酸盐还原菌在管线、罐底缺氧区域富集，代谢产生的硫化物会诱发设备腐蚀，是腐蚀防控的重点菌群。铁细菌依附金属表面，氧化亚铁离子生成沉积物，诱发设备局部腐蚀。腐生菌消耗有机物快速繁殖并生成生物膜，破坏水质稳定。菌群相互混杂形成复合群落，降低药剂处理效果。温度、矿化度、含油量的不同条件，使油田各区块、工序菌量分布不均。杀菌剂评测无需局限单一菌种指标，结合注水、采出液及设施菌群分布，可明确管控重点与高风险点位（见图1）。

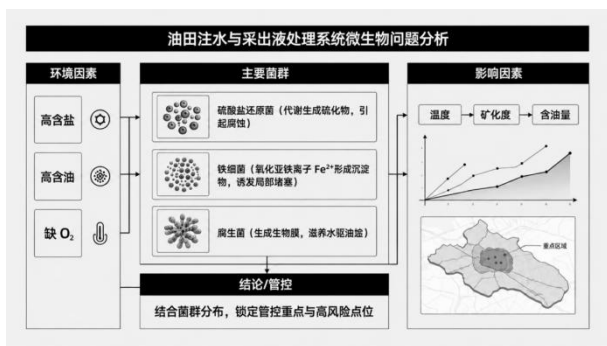


图1 注水与采出液系统中的菌群分布

1.2 微生物代谢对管线设备的影响

油田有害微生物对管线和设备的影响主要体现在代谢产

物累积、生物膜形成及局部腐蚀环境改变等方面。硫酸盐还原菌在厌氧条件下进行代谢时会产生硫化氢和硫离子，硫化氢具有较强腐蚀性，还会与金属离子反应生成黑色硫化物沉积，造成管壁腐蚀加速和设备结垢风险升高。铁细菌代谢过程中形成的铁锈瘤和铁氧化物沉积容易覆盖金属表面，使沉积物下方出现浓差电池，局部腐蚀逐渐向点蚀和坑蚀发展^[1]。腐生菌在利用采出液中有机物繁殖时，会分泌胞外聚合物并形成生物黏泥，黏泥附着在管线、阀门、过滤器和换热设备内壁，导致过流截面缩小、压差增大和过滤效率下降。生物膜结构具有屏蔽作用，外层菌体和黏性基质会削弱杀菌剂渗透能力，使深层细菌长期保持活性。微生物代谢还会改变局部pH值和氧化还原电位，使药剂反应环境发生变化，影响杀菌剂有效成分释放和持续抑菌能力。在注水系统中，这类影响可能造成注水水质波动、井口压力升高和地层堵塞；在集输系统中，则会增加管线穿孔、设备检修和生产停运风险。杀菌剂应用需要针对微生物代谢特点选择具有穿透生物膜、抑制代谢活性和持续控制菌量的药剂组合。

1.3 杀菌剂使用条件与生产需求的关联

油田杀菌剂的使用条件必须与现场生产需求相匹配，才能保证抑菌效果与运行成本之间保持合理平衡。药剂投加浓度是影响杀菌效率的关键因素，浓度过低难以达到有效抑菌水平，容易造成细菌残留和菌群反弹；浓度过高则会增加药剂消耗，并可能对后续水处理流程、管材适应性及环境排放带来压力。接触时间同样影响杀菌效果，注水管网流速较快时，药剂与菌体接触不足，可能需要设置合理投加点或采用冲击投加方式提高瞬时杀菌强度。油田水温变化会影响药剂活性和微生物繁殖速度，高温环境可能加快部分杀菌剂分解，也可能提高耐温菌群活性，因此需要结合区块温度条件确定药剂适用范围。矿化度和pH值会改变杀菌剂的稳定性与离解状态，高盐环境下部分药剂有效成分易受离子干扰，酸碱度变化也会影响其对细胞膜和酶系统的破坏能力。采出液中的含油量、悬浮物和有机质还会吸附或消耗药剂，使实际有效浓度低于理论投加值。生产现场通常要求杀菌剂兼具快速抑菌、长效控制、低腐蚀性、低

泡沫性和良好配伍性，避免与缓蚀剂、阻垢剂、絮凝剂等油田化学剂发生不良反应。应用条件优化应围绕水质特征、工艺流程、菌群负荷和运行指标进行匹配，使杀菌剂在注水、采出液处理及集输环节中保持稳定效能。

2 杀菌剂抑菌效果受限的关键因素

2.1 药剂类型与菌种适配不足

油田杀菌剂种类较多，常用类型包括季铵盐类、醛类、异噻唑啉酮类、含氯类以及复配型杀菌剂，不同药剂的作用机理和适用对象存在明显差异。季铵盐类药剂主要通过破坏细胞膜结构发挥抑菌效果，对腐生菌和部分铁细菌具有较好控制能力，但在高含油、高悬浮物体系中容易被有机物吸附，导致有效成分下降。醛类杀菌剂具有较强穿透性，可与微生物蛋白质和酶发生反应，对硫酸盐还原菌等厌氧菌具有一定抑制效果，但刺激性和投加安全性要求较高。异噻唑啉酮类药剂适合低剂量连续控制，但在强还原性环境中稳定性可能下降。含氯类药剂起效较快，却容易受油田水中还原性物质和硫化物消耗，持续抑菌能力不足。现场应用中若仅依据常规经验选择药剂，容易出现药剂类型与优势菌群不匹配的问题。以硫酸盐还原菌为主的厌氧系统需要重点关注药剂对还原环境下菌体代谢的抑制能力；以腐生菌和生物黏泥为主的污水处理单元，则更需要药剂具备破坏黏泥结构和控制生物膜扩展的能力。菌种适配不足会造成短期菌数下降但后续反弹明显，甚至促使耐受菌群占据优势，使杀菌剂消耗增加而抑菌效果不稳定。

2.2 浓度和接触时间控制不稳定

杀菌剂投加浓度与接触时间，决定药效作用效果。油田现场水量波动频繁，管线流量受产液量、回注方案及设备工况影响，固定投药量无法保障浓度稳定。水量、含油与悬浮物上升时，药剂有效占比降低，油污泥沙吸附损耗药剂，实际杀菌浓度达不到设计标准。投加点布设不当、管线流速异动，会缩短药剂接触时长、破坏药剂均匀分布，造成检测数据起伏。投加模式切换不合理，易出现浓度骤升、菌群反弹现象。浓度失衡会引发药剂配伍问题，药量超标干扰其他水处理药剂功效，药量不足难以灭杀生物膜及残留菌群。浓度与接触时间需相互适配，仅提升药剂浓度，无法弥补作用时长不足带来的杀菌短板（见图 2）。



图 2 浓度和接触时间控制不稳定

2.3 温度矿化度及 pH 干扰明显

油田水环境具有较强复杂性，温度、矿化度和 pH 值变化会显著影响杀菌剂稳定性、反应活性及微生物耐受能力。不同油藏区块采出液温度差异明显，高温条件下部分有机杀菌剂分解速度加快，有效成分保持时间缩短，药剂在进入长距离管网后可能难以维持持续抑菌浓度。温度升高还会改变微生物生长速率，耐温硫酸盐还原菌和部分厌氧菌在适宜范围内代谢更活跃，硫化物生成量增加，进一步消耗杀菌剂。矿化度较高的采出水含有大量钠、钙、镁、氯离子和硫酸根离子，这些离子会改变药剂溶解状态和分散性能，部分阳离子型杀菌剂在高盐体系中的扩散能力下降，容易影响对菌体表面的吸附与穿透。钙镁离子还可能与水中碳酸根、硫酸根形成沉积物，为细菌附着和生物膜形成提供载体。pH 值变化则会影响杀菌剂分子形态和细胞膜通透性，偏酸或偏碱条件下，部分药剂的有效成分释放能力、离解状态和氧化还原反应强度均会发生改变。油田水中硫化物、亚铁离子和有机酸等物质还会与杀菌剂发生消耗反应，使实验室条件下获得的抑菌效果难以完全对应现场表现。温度、矿化度与 pH 并非单独发挥影响，而是在复杂水质体系中共同改变药剂的有效利用率。

3 油田杀菌剂应用条件优化路径

3.1 多菌种抑菌性能对比筛选

多菌种抑菌性能筛选应以油田实际水样中的优势菌群为依据，避免只用单一菌株评价杀菌剂效果。试验对象可围绕硫酸盐还原菌、铁细菌、腐生菌及生物膜混合菌群展开，通过菌数变化、抑菌率、最低有效浓度和药效持续时间等指标判断药剂适配程度。硫酸盐还原菌评价应关注硫化物生成量、黑色沉淀变化及厌氧培养后的菌量下降幅度；铁细菌评价可结合铁锈瘤生成情况、铁离子转化程度和管壁附着趋势；腐生菌评价则应侧重有机物利用能力、生物黏泥形成速度及水体浑浊度变化。复配型杀菌剂筛选过程中，需要观察不同组分之间是否具有协同效果，避免出现成分相互削弱或与水处理药剂发生不良反应的情况。对比试验还应设置空白组和不同浓度梯度，明确药剂从低剂量抑制到高剂量灭杀的变化规律。筛选结果不能只依据短时间菌数下降幅度，还需关注停药后的菌群回升速度和残留菌活性，以判断药剂是否具备持续控制能力。通过多菌种、多指标、多条件对比，可为后续投加浓度、投加方式和使用周期确定提供基础数据。

3.2 投加参数与现场水质协同调控

投加参数优化应结合现场水质波动进行动态调整，使杀菌剂有效浓度与微生物负荷、水处理流程和管网运行状态保持匹配。油田采出水中含油量、悬浮物、硫化物、亚铁离子和矿化度变化较大，这些因素会影响药剂消耗速度，因此投加方案不宜单纯采用固定剂量模式。可根据进水菌数、含油量、悬浮物

浓度及硫化物含量建立投加控制依据,当菌量升高或还原性物质增加时,适当提高冲击投加强度;当水质相对稳定时,采用低剂量连续投加维持基础抑菌水平^[3-5]。投加点选择也需要与工艺流程衔接,宜设置在混合条件较好、停留时间充足且污染负荷较高的部位,使药剂能够充分扩散并接触目标菌群。对于长距离注水管网,可通过前端投加与关键节点补加相结合的方式减少沿程药效衰减。药剂投加过程中还应关注与缓蚀剂、阻垢剂、絮凝剂等化学剂的配伍性,防止沉淀、分层、泡沫或有效成分损失。通过菌数监测、水质检测和运行参数联动调整,可提高药剂利用率,减少过量投加造成的成本增加和处理系统负担。

3.3 优化方案在油田水处理中的验证

油田水处理现场运行数据支撑方案核验,把实验室筛选成果转化为落地生产管控方案。选取注水站、采出水沉降罐、过滤系统、集输管线为试验单元,依照既定药剂品类、投加浓度、周期与检测频次持续监测。监测涵盖菌数、硫化物、铁离子、悬浮物、含油量、浊度、腐蚀速率、管线压差及过滤器反洗频

率等指标,评判药剂对水质与设备工况的作用效果。记录不同班次、来水量、温度下的药效波动,核验方案工况适配稳定性。冲击投加后菌群反弹可调整投加频次,腐蚀、硫化物指标回落,压差增速放缓,体现药剂抑微生物、防堵塞成效。核算药剂单耗、运行成本,契合环保排放标准,规避片面追求杀菌率的治理方式。依托实测数据迭代调整参数,保障杀菌剂优化方案适配油田水处理常态化运行。

4 结语

油田用杀菌剂抑菌性能受菌群结构、药剂类型、水质条件和投加参数等多因素影响。针对硫酸盐还原菌、铁细菌和腐生菌等主要有菌群,应通过多菌种对比筛选明确药剂适配性,并结合浓度、接触时间、温度、矿化度和pH值等条件进行优化。现场应用中,还需加强菌数、水质和设备运行指标监测,动态调整投加方式与周期。通过实验筛选与现场验证相结合,可提升杀菌剂利用效率,降低微生物腐蚀和堵塞风险,保障油田水处理及集输系统稳定运行。

参考文献:

- [1] 张帆,杨晓拂,李芳芳,等.油田水处理用杀菌剂研究进展[J].当代化工研究,2024,(04):9-12.
- [2] 侯保荣,闫静,王娅利,等.油气田开采中管道微生物腐蚀防护技术研究现状与趋势[J].石油与天然气化工,2022,51(05):71-79.
- [3] 张天遂,王军磊,张斐,等.用于工业系统腐蚀微生物的杀菌剂研究进展[J].表面技术,2021,50(11):1-17.
- [4] 张迪彦,何爱珍,秦立娟,等.一种高效油溶性杀菌剂及其制备方法[J].化工时刊,2021,35(10):22-24.
- [5] 何勇君,张天遂,王海涛,等.微生物腐蚀杀菌剂研究进展[J].中国腐蚀与防护学报,2021,41(06):748-756.