

# 油田清垢与防垢技术的优化策略与实施路径

周艺颖

(滨州乾坤化工机械有限公司, 山东 滨州 256600)

**摘要** 油田结垢产生机理比较复杂, 受到水质、温度和压力等诸多因素的影响。为解决这一难题, 行业不断探索清垢及防垢技术, 主要有机械清洗、化学清洗及正在兴起的高温高压水蒸气清洗及电磁防垢技术。同时, 防垢技术还涉及控制 pH 值、防止不相容水的掺混、防垢剂的使用和表面处理技术。本文以探索油田清垢防垢工艺优化策略和实施途径为目的, 从工艺选择及优化、防垢剂筛选及适应性研究和综合防治策略等方面进行研究, 以期能对提高油田清垢及防垢效率、确保油田生产平稳运行、降低运营成本等方面有所助益。

**关键词** 油田清垢; 防垢技术; 清垢技术; 新兴技术

**中图分类号**: TE4

**文献标志码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)09-0010-03

在油田生产中, 结垢是常见而又严峻的难题, 结垢不仅会影响油田生产效率而且会损坏设备和增加运营成本。由于油田水质、设备状况及生产需求的复杂性, 单一清垢或者防垢技术通常很难取得理想效果。为此, 文章对油田清垢及防垢技术优化策略进行探究, 希望能够对提升油田生产效率、降低运营成本、实现油田可持续发展发挥积极的作用。

## 1 油田结垢机理及影响因素

### 1.1 油田结垢机理

油田结垢过程复杂而多维, 结垢机理涉及许多物理、化学及生物等因素。油田生产中, 由于温度、压力变化及流体性质不同, 矿物质、有机物及微生物等易沉积于装置表面而形成垢层<sup>[1]</sup>。更具体地说, 结垢主要是由以下几个关键因素引起的: 一是矿物质的沉淀, 例如, 钙、镁等阳离子与碳酸根、硫酸根等阴离子结合, 形成难以溶解的盐; 二是有机物的沉积, 例如, 沥青质和石蜡在较低温度时沉淀黏附于装置表面; 三是微生物活动, 如硫酸盐还原菌等微生物在代谢过程中产生腐蚀性物质和沉积物。这些垢层在影响油田设备正常工作、降低生产效率的同时, 也可能诱发更为严重的腐蚀问题、加大油田运营成本及维修难度。

### 1.2 影响因素分析

第一, 水质是结垢最主要的影响因素。水中所含矿物质、有机物及微生物种类与浓度等因素均对垢层生成与沉积速率产生直接影响。比如, 高矿化度水源更易使矿物质析出, 有机物丰富水源会加重有机垢。第二, 温度与压力对结垢也有显著影响。高温高压环境下水物理化学性质改变, 矿物质溶解度下降, 易产生沉淀。同时, 高温高压环境还可能会促进微生物繁

殖代谢活动而加重生物垢。第三, 油田生产过程中的流体流动状态也会对结垢产生影响。管道及设备内流体流动速度、流向、湍流程度等因素均对垢层分布及沉积速率产生影响。如流速缓慢地区垢层较易沉积累积。第四, 油田设备材质及表面状态同样影响结垢。不同材料的器件在垢层上的吸附能力存在差异, 同时, 器件表面粗糙度、亲疏水性及其他特性也影响垢层生成与沉积。比如, 粗糙表面更易在垢层上吸附, 亲水性表面可能会促使水垢产生<sup>[2]</sup>。

## 2 油田清垢与防垢技术分析

### 2.1 清垢技术

#### 2.1.1 机械清洗

在目前的油田清垢技术当中, 机械清洗是清除垢层普遍采用的常规高效手段。机械清洗以高压水清洗为主, 钢丝刷清洗为辅的技术手段。高压水清洗是用高压水流冲击并剥除垢层, 借助水流动能去除装置表面垢层。该方法适合垢层薄、附着力弱的情况, 能迅速高效去除垢层并恢复装置正常工作<sup>[3]</sup>。但钢丝刷清洗是用机械刷洗, 由钢丝刷将垢层刮掉。此法适合垢层厚、附着力强的情况, 能完全去除垢层, 但是会给设备表面带来一定程度的破坏, 实际使用时需结合垢层性质及设备特点选用适当的机械清洗方式, 运行过程中要注意清洗力度及频率的控制, 以免给设备带来不必要的伤害。与此同时, 机械清洗这种物理清洗方法具有操作方便、成本低等优势, 但是存在着清洗效果受限于垢层性质及设备形状等因素。

#### 2.1.2 化学清洗

化学清洗是油田清垢技术的一大类型, 它主要有酸洗与缓蚀剂清洗。酸洗就是用酸性溶液在垢层上进

行化学反应以达到溶解、去除垢层目的的有效方法。常见的酸洗溶液有盐酸、硫酸等，它们能够与垢层中的矿物质（如碳酸盐、硫酸盐中的钙、镁）发生反应，生成可溶性的盐类，从而实现垢层的去除。酸洗方法适合垢层厚、附着力强的情况，能迅速将垢层溶解去除，使装置恢复正常工作。但在酸洗时，应注意控制酸液浓度及洗涤时间以免腐蚀设备<sup>[4]</sup>。使用缓蚀剂进行清洗是一种更加温和的化学清洁方式。缓蚀剂为能延缓或阻止金属腐蚀的化学物质之一，将缓蚀剂加入清洗溶液中能在去除垢层的前提下使设备表面免遭腐蚀。缓蚀剂清洗是针对设备材质要求比较高的情况下使用，可以在确保清洗效果前提下将设备损坏降到最低。

### 2.1.3 新兴技术

随着科学技术的发展，油田生产需求日益增加，出现了一系列新的清垢及防垢技术，给油田结垢问题带来了更有效、更环保的解决方法。其中，高温高压水蒸气清洗技术在清垢技术中具有相当大的应用前景。本技术采用高温高压水蒸气冲击剥离垢层，利用水蒸气热能与动能完全去除装置表面垢层。与传统的机械清洗和化学清洗方法相比，高温高压水蒸气清洗具有明显的清洗效果、对设备无损害、无化学残留等优势，特别适合于对清洗效果和环保要求较高的场合。此外，电磁防垢技术也是一项值得重视的新兴防垢技术。这种技术是用电磁场来处理水质，并通过改变矿物质在水中结晶形态及沉积速率来达到阻止垢层生成的效果。电磁防垢技术以其不需投加化学药剂、不污染环境、防垢作用持久等特点，给油田防垢工作带来了一种新思路、新途径。

## 2.2 防垢技术

### 2.2.1 控制 pH 值、去除溶解气体

就油田防垢技术而言，pH 值的调控与溶解气体的脱除是两种基本且行之有效的战略。

第一，控制 pH 值，通过调节水质酸碱度来改变矿物质在水中溶解度及结晶形态来达到阻止垢层产生。水质的 pH 值对于矿物质之溶解度有明显影响，调整 pH 值可维持水中矿物质的溶解状态并降低沉淀及结垢的概率。在实际运行时，需结合水质分析及垢层性质确定适宜的 pH 值区间，通过加入酸碱调节剂达到准确调控 pH 值的目的<sup>[5]</sup>。第二，除去溶解气体。水中的溶解气体，例如氧气和二氧化碳，对于垢层的生成和沉淀起到了关键的作用。这些气体与水发生化学反应并产生碳酸盐和硫酸盐等难溶物质促使垢层形成。所以，通过除去水中溶解气体能有效地降低垢层产生。在实际运行时，可通过脱气装置或者化学方法除去水中溶解气体来减少垢层生成的危险。

### 2.2.2 防止不相容水混合

预防不相容水掺混是油田防结垢技术中非常关键的战略。不相容水掺混常造成水质不稳，继而造成结垢等问题。不同种类水源在矿物质含量、离子组成及酸碱度等特性上都会有明显区别。这些不同特性的水源在混合过程中，水中矿物质与离子会重新结合并析出，从而产生一层难溶于水的垢层。为防止不相容水掺混，油田必须采取有效措施。一是对水源做了严格监测与分析，摸清了水源水质特性及结垢潜力。定期对水质进行检测能够及时发现水源存在的变化情况并采取适当措施进行治理。二是对注水策略进行了优化，避免了不同水源直接掺混。注水时可根据水源性质及油田需要制定出合理注水方案以保证水源稳定相容性。三是可通过加入阻垢剂或者分散剂等化学处理方法来改变矿物质在水中的结晶形态及沉积速率来降低垢层生成。

### 2.2.3 采用防垢剂

油田防垢技术实践中使用防垢剂效果较好。防垢剂可通过作用于水中矿物质离子对垢层结晶过程产生扰动而抑制垢层生成及沉积。当前常用防垢剂有无机磷酸盐、有机磷酸盐和聚羧酸类。

1. 无机磷酸盐防垢剂的主要作用是与水中的钙、镁等阳离子结合，从而产生难以溶解的磷酸盐沉淀，这有助于减少垢层的生成。该防垢剂因其成本低，使用方便等特点而被油田广泛用于防垢。但它的防垢效果受水质条件及用量的制约。

2. 有机磷酸盐防垢剂被认为是一种效率更高的防垢剂。它们能与水中矿物质离子生成稳定络合物而使垢层不能结晶沉积。有机磷酸盐防垢剂比无机磷酸盐防垢剂防垢效果好、适用范围广。但它的费用比较昂贵，而且会给环境带来一定的影响。

3. 聚羧酸类防垢剂又是常用防垢剂之一。它们以吸附方式作用于垢层结晶表面并扰乱垢层正常结晶进程来实现防垢。聚羧酸类防垢剂因其防垢效果显著、环境友好，也被广泛用于油田的防垢。

### 2.2.4 表面处理技术（涂层防腐蚀）

在油田防垢技术的研究和应用过程中，表面处理技术，特别是涂层防腐蚀技术，展示了其独到的优点和实际应用价值。涂层防腐蚀技术是将防腐蚀、防垢性能好的涂层材料涂在油田设备上，使之构成有效屏障、隔离设备与腐蚀性介质、垢层之间的直接联系，达到防垢、延长设备寿命的效果。

在涂层防腐蚀技术研究中，涂层材料选择至关重要。理想的涂层材料应该具有优良的附着力、耐腐蚀性、耐磨性和抗垢性能。常用的涂层材料主要有环氧树脂、聚氨酯、橡胶，这些涂层材料分别有其特殊的防腐蚀

防垢机制。如环氧树脂涂层可通过形成一层致密屏障来有效地防止腐蚀性介质及垢层腐蚀器件；聚氨酯涂层因其出色的耐磨和弹性特性，在苛刻的工作条件下仍能维持稳定的防垢效果。

在涂层防腐蚀技术的推行过程中，涂层制备及涂覆工艺同样非常关键。在涂层制备过程中，需严格控制原材料质量、配比及反应条件等因素才能保证涂层材料性能稳定。涂覆工艺又由表面预处理，涂层涂覆及后处理三部分组成，每一个部分均需精细操作才能保证涂层牢固地黏结在设备表面，最大限度地发挥防垢作用。

### 3 清垢与防垢技术的优化策略

#### 3.1 技术选择与优化

在油田清垢防垢技术实际运用过程中，技术选择和优化是保证清垢防垢工作成效和油田生产效率提升的关键环节。油田在面临多样化清垢及防垢技术时，需结合自身生产需求、设备状况、水质条件及环保要求，全面考虑并合理取舍。第一，在清垢技术选择上，油田要优先选择垢层性质、厚度和附着力。如对垢层薄、附着力弱的情况，可选用高压水洗涤或钢丝刷等机械洗涤；但对垢层厚、附着力强的情况，可能要用酸洗或者缓蚀剂等物理和化学清洗。在清垢技术的选择上，还要充分考虑到清洗时可能带来的设备损坏及清洗废液处理与排放。第二，选择防垢技术时，油田要依据水质分析结果、水中矿物质种类、浓度等因素选择适宜的防垢策略。如对含钙量和含镁量高阳离子水源，可采取控制pH值或者除去溶解气体等措施以降低垢层；但对不相容水源掺混，需采用优化注水策略或者投加阻垢剂以阻止垢层形成。选用防垢技术时还需考虑到技术实施费用、环境影响和长远防垢效果。

#### 3.2 防垢剂的筛选与适应性研究

油田防垢技术优化策略研究中，防垢剂筛选和适应性研究占核心位置。防垢剂是阻止垢层形成及沉积的一种有效方法，它的筛选及应用需要进行严格的科学研究和试验验证。在选择防垢剂时，要注意防垢效果。在实验室内模拟油田水质条件试验了不同类型防垢剂抑制垢层生成的效果，并对防垢性能进行了评价。与此同时，还需要对防垢剂对于油田设备腐蚀性以及环境的影响进行调查，以保证防垢剂实际使用过程中安全环保。对于防垢剂的筛选，适应性研究是一个关键步骤。不同油田水质条件、设备状况以及生产需求都不相同，所以，防垢剂使用需要有针对性。适应性研究的目的是探讨防垢剂对各种水质的防垢效果及其在油田设备上的适应性及稳定性。采用现场试验与长期监测相结合的方法对防垢剂的防垢效果及持久性进

行了评价，为防垢剂合理运用于油田防垢策略提供了科学依据。

#### 3.3 综合防治策略

油田清垢及防垢技术优化过程中，综合防治策略制定和执行更为重要。该战略强调要在充分理解垢层生成机理及影响因素的前提下，综合运用各种技术手段及管理措施，最大限度地发挥清垢及防垢作用。综合防治策略的核心在于“以防为主，以治为辅”。从防治角度来看，油田应优化注水策略，控制水质参数及使用防垢剂来降低垢层生成与沉积。同时，加强水质监测及设备维护，对可能出现的垢层问题及时进行检测与治理。在油田的治理过程中，应依据垢层的特性和严重性来选择适当的清垢方法，例如，机械清洗、化学清洗或新兴的高温高压水蒸气清洗等，以确保设备表面的清洁和正常运行。

为实现综合防治策略有效落实，油田仍需加大技术研发及创新力度，持续推进清垢及防垢技术水平。同时，建立并完善清垢、防垢等管理制度，明确责任分工、强化人员培训，保证各种技术、管理措施得到有效落实。

### 4 结论

本文就油田清垢及防垢技术优化策略展开深入探究，并得出结论如下：一是油田选用清垢和防垢技术，需考虑诸多因素以保证选用技术具有针对性与有效性；二是防垢剂筛选及应用需要进行严格的科学研究及实验验证才能保证防垢剂在实际使用过程中具有防垢效果、设备适应性及环保性能；三是提出综合防治策略，为最大限度地发挥清垢及防垢作用提供了有效手段，油田应该强化技术研发及管理创新，以促进清垢及防垢水平不断提高及优化。上述结论旨在对指导油田清垢、防垢实际有较大参考价值。

#### 参考文献：

- [1] 赵云斌,王殿武,王凤刚,等.低渗油田中高含水期电泵井筒防垢技术研究与应用:以海上A油田为例[J].石油地质与工程,2023,37(05):100-103.
- [2] 斯绍雄,张玉敏,张磊,等.电位诱导沉积防垢技术在油田污水处理中的应用[J].水处理技术,2023,49(01):127-131,136.
- [3] 李琼玮,苑慧莹,刘爱华,等.低渗透油田油井胶囊防垢剂实验与评价[J].现代化工,2023,43(S01):205-209.
- [4] 鄯长灏.油田防蜡防垢防腐技术研究与应用[M].北京:石油工业出版社,2022.
- [5] 蒋涛.量子防垢技术在油田加热炉的防垢应用研究[J].油气田地面工程,2024,43(01):57-60.