

# 钻井液处理剂对固井水泥浆的污染影响研究

谢 羿<sup>1</sup> 徐 蓉<sup>2</sup>

1. 武汉市勘察设计有限公司 湖北 武汉 430000

2. 武汉市长虹中学 湖北 武汉 430070

**摘要:** 本文深入研究了钻井液处理剂对固井水泥浆的污染影响。分析了钻井液处理剂的种类及特性,包括降滤失剂、增粘剂等的的作用及化学稳定性等特点。阐述了固井水泥浆的组成和性能要求。探讨了钻井液中常见污染物如硫化氢、聚丙烯酸钾、二氧化碳和褐煤树脂对水泥浆性能的具体影响,涵盖流动性、稠化时间、强度等方面。最后提出了预防和控制污染的措施,如优化钻井液和水泥浆配方、采取隔离措施及加强现场管理等。

**关键词:** 钻井液处理剂; 固井水泥浆; 污染影响; 控制措施

## 引言

在石油天然气钻井与固井过程中,钻井液处理剂与固井水泥浆的相互作用很重要。随着油气勘探开发的不断深入,对固井质量的要求日益提高。然而,钻井液处理剂可能会对固井水泥浆产生污染,影响其性能和固井效果。目前对于钻井液处理剂对固井水泥浆污染影响的研究尚不完善。因此,深入研究这些问题具有重要的现实意义,可为保障油气井的安全稳定运行提供技术支持。

### 1 钻井液处理剂的种类和特性

#### 1.1 钻井液处理剂的种类

钻井液处理剂种类繁多,主要可分为以下几大类:

(1) 降滤失剂,如羧甲基纤维素、磺化酚醛树脂等,能降低钻井液的滤失量,保持井壁稳定。(2) 增粘剂,包括膨润土、高粘羧甲基纤维素等,可提高钻井液的粘度,增强其携带岩屑的能力。(3) 润滑剂,常见的有石墨、植物油等,减少钻具与井壁之间的摩擦,降低钻井阻力。(4) 加重剂,重晶石、铁矿粉等用于增加钻井液的密度,以平衡地层压力。(5) 堵漏剂,有纤维材料、颗粒材料等,用于封堵钻井过程中出现的漏失地层。

#### 1.2 钻井液处理剂的特性

(1) 化学稳定性,在钻井液复杂的化学环境中,处理剂应具有良好的化学稳定性,不易与其他物质发生化学反应而失去效用。就比如,降滤失剂在不同酸碱度的钻井液中都能有效地发挥降低滤失的作用,保持钻井液性能的稳定。(2) 热稳定性,井下温度通常较高,钻井液处理剂需要具备良好的热稳定性,在高温环境下仍能保持其性能。就比如,一些耐高温的润滑剂在高温下不会分解或失效,能够持续为钻具提供润滑作用。(3) 配伍性,不同的处理剂在钻井液中共同作用时,应具有良好的配伍性。不能因为相互作用而产生不良影响,如沉

淀、絮凝等。比如,增粘剂和降滤失剂在同一钻井液体系中能够协同发挥作用,而不会相互干扰。(4) 环保性,随着环保意识的提高,钻井液处理剂也越来越注重环保性。环保型处理剂应在使用过程中对环境友好,不会对土壤、水源等造成污染。比如,一些可生物降解的处理剂在使用后能够在自然环境中逐渐分解,减少对环境的影响。

### 2 固井水泥浆的组成和性能要求

#### 2.1 固井水泥浆的组成

固井水泥浆主要由以下几部分组成:(1) 水泥,通常为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥等,是固井水泥浆的主要胶凝材料,提供强度和稳定性。(2) 水,是水泥水化反应的必要成分,其用量对水泥浆的性能有重要影响。(3) 外加剂,包括减水剂、缓凝剂、促凝剂等。减水剂可以降低水泥浆的用水量,提高流动性;缓凝剂能延长水泥浆的凝结时间,便于施工操作;促凝剂则可加快水泥浆的凝固速度。(4) 外掺料,如粉煤灰、矿渣等,可改善水泥浆的性能,降低成本,同时提高水泥浆的耐久性<sup>[1]</sup>。

#### 2.2 固井水泥浆的性能要求

(1) 流动性,固井水泥浆需要具有良好的流动性,能够在套管与井壁之间的环形空间中顺利流动,填充密实,确保固井质量。流动性好的水泥浆可以减少施工难度,提高施工效率。(2) 稳定性,在井下环境中,水泥浆应保持稳定,不发生分层、沉淀等现象。稳定的水泥浆能够保证固井的均匀性和完整性。(3) 凝结时间,凝结时间要适中,既不能过长导致施工周期延长,也不能过短影响施工操作。合适的凝结时间可以确保水泥浆在井下有足够的时间进行灌注和固化。(4) 强度,固化后的水泥浆应具有足够的强度,能够承受地层压力和油气

井的生产压力,保证油气井的安全和稳定。高强度的水泥浆可以提高固井的可靠性和耐久性。

### 3 钻井液处理剂对固井水泥浆的污染机理

(1) 物理污染,颗粒堵塞,钻井液中的固体颗粒,如重晶石、铁矿粉等加重剂,以及堵漏剂等颗粒材料,可能会堵塞固井水泥浆中的孔隙,影响水泥浆的流动性和强度发展。(2) 吸附作用,钻井液中的某些处理剂,如膨润土、纤维素等,具有较强的吸附能力,可能会吸附在水泥颗粒表面,影响水泥的水化反应和强度发展。

(3) 化学污染,离子交换,钻井液中的某些离子,如钠离子、钾离子、钙离子等,可能会与固井水泥浆中的离子发生交换反应,改变水泥浆的化学组成和性能。(4) 化学反应,钻井液中的某些处理剂,如降滤失剂、缓凝剂等,可能会与固井水泥浆中的外加剂发生化学反应,影响水泥浆的性能。

## 4 钻井液中常见的污染影响

### 4.1 硫化氢

硫化氢是钻井液中一种极具危害的污染物。当硫化氢渗入土壤层,由于高温等因素使得钻井液处理剂分解或发生氧化还原反应时,钻井液就容易受到硫化氢的污染。硫化氢水溶液酸度较低,会降低钻井液的pH值,使得钻井液失去胶合性质,严重影响其性能。原本钻井液在胶合作用下能够更好地携带岩屑、稳定井壁等,而受到硫化氢污染后,这些功能大打折扣。但同时,硫化氢还会对钻井工具造成严重腐蚀。硫化氢在溶液中容易电离出 $H^+$ 、 $HS^-$ 等带电离子。这些离子会促使阴极氢原子不结合形成氢分子,使得钻具上吸附的氢原子继续向钻具内部扩散。对于低强度钢,氢原子会形成氢泡或脱盐,降低其强度;对于高强度钢,当阳极发生反应且金属沿玻璃边缘或钻具裂纹转化为硫化物时,就会出现应力腐蚀的情况。这种腐蚀不仅会缩短钻具的使用寿命,还可能在钻井过程中引发安全事故。

### 4.2 聚丙烯酸钾对水泥浆性能的影响

聚丙烯酸钾作为一种常用的钻井液处理剂,对水泥浆的性能有着显著影响。(1) 在流动度方面,随着聚丙烯酸钾含量的增加,水泥浆的流动度明显降低。当加量达到一定程度时,如0.08%,水泥浆的流动性变得非常差,无法满足现场固井要求。这是因为聚丙烯酸钾作为高分子聚合物,可能会增加水泥浆的粘度,阻碍水泥颗粒的自由流动。(2) 对于稠化时间,随着聚丙烯酸钾含量的增加,水泥浆稠化时间明显缩短。当加量达到0.1%时,稠化时间缩短至110分钟,无法满足现场固井施工对稠化时间的需求。这可能是由于聚丙烯酸钾与水泥

浆中的某些成分发生反应,加速了水泥的水化进程,而导致稠化时间缩短。(3) 在API失水方面,随着聚丙烯酸钾含量的增加,水泥浆API失水逐步降低<sup>[2]</sup>。分析其原因,是聚丙烯酸钾和水泥浆形成了交联结构,这种结构能够束缚自由水,使得失水大幅度降低。这对于提高固井质量具有一定的积极作用,因为较低的失水可以减少水泥浆在固化过程中的体积收缩,增强水泥环的密封性。(4) 在水泥石抗压强度方面,聚丙烯酸钾含量的增加对短期内水泥石的抗压强度影响较大。但在7天以后,聚丙烯酸钾掺混与否对水泥石的强度没有明显影响。这表明聚丙烯酸钾具有一定的早强效果,能够在水泥浆固化的早期阶段提高水泥石的强度,为固井后的油气井提供一定的支撑。

### 4.3 二氧化碳

二氧化碳在钻井液中也是一种常见的污染物。当二氧化碳进入钻井液后,会与水反应形成碳酸。碳酸的存在会降低钻井液的pH值,影响钻井液的性能稳定性。一方面,酸性环境可能会影响钻井液中处理剂的功效发挥。比如,一些原本用于降滤失的处理剂在酸性条件下可能效果减弱,导致钻井液滤失量增加,不利于井壁稳定。另一方面,二氧化碳还可能与钻井液中的某些成分发生化学反应,生成沉淀或其他不利于钻井作业的物质。在固井过程中,二氧化碳污染的钻井液也会对水泥浆产生不良影响。碳酸可能与水泥中的成分反应,影响水泥的水化进程和强度发展。可能导致水泥浆的凝结时间变化、强度降低等问题,从而影响固井质量。

### 4.4 褐煤树脂对水泥浆性能的影响

(1) 在流动性方面,实验数据表明,随着褐煤树脂含量的增加,水泥浆的流动性逐渐降低。就比如,当褐煤树脂的添加量为每立方米水泥浆中5千克时,水泥浆的流动度可能从初始的220毫米降低至180毫米左右。这是因为褐煤树脂具有一定的粘性,会增加水泥浆的整体粘度,阻碍水泥颗粒的自由流动。(2) 对于凝结时间,褐煤树脂也有明显影响。一般来说,随着褐煤树脂含量的提高,水泥浆的凝结时间会延长。当添加量达到每立方米水泥浆中8千克时,水泥浆的初凝时间可能从原本的3小时延长至4小时左右,终凝时间可能从5小时延长至6小时以上。这会严重影响固井施工的进度安排,需要在施工中加以考虑。(3) 在强度发展方面,褐煤树脂在短期内可能会抑制水泥石的强度增长。数据显示,当褐煤树脂添加量为每立方米水泥浆中6千克时,水泥石3天的抗压强度可能从正常情况下的20MPa降低至15MPa左右。然而,随着时间的推移,经过一定时间的养护后,褐煤树脂可

能与水泥水化产物发生反应，在一定程度上改善水泥石的长期强度性能，就比如在28天后，强度可能与未添加褐煤树脂的水泥石相近甚至略高。褐煤树脂还可能影响水泥浆的稳定性。如果不能均匀分散在水泥浆中，可能会导致局部团聚，影响水泥浆的整体性能稳定性。

## 5 预防和控制钻井液处理剂对固井水泥浆污染的措施

### 5.1 优化钻井液配方

在选择钻井液处理剂时，要充分考虑其对固井水泥浆的污染影响。进行详细的实验和分析，选择与固井水泥浆兼容性好的处理剂。比如，某些降滤失剂可能会与水泥浆中的外加剂发生不良反应，导致水泥浆性能下降。因此，要选择那些对水泥浆性能影响较小的降滤失剂。还要可以考虑使用环保型处理剂，减少对环境的污染和对水泥浆的潜在危害。在满足钻井要求的前提下，应尽量减少钻井液处理剂的用量。过多的处理剂不仅会增加成本，还会提高对固井水泥浆的污染风险。通过优化钻井液配方，合理调整处理剂的用量，可以在保证钻井安全和效率的同时，降低对水泥浆的污染。

### 5.2 优化固井水泥浆配方

(1) 选择合适的水泥和外加剂：在选择水泥和外加剂时，要考虑其与钻井液处理剂的兼容性。选择能够抵抗钻井液处理剂污染的材料，提高水泥浆的抗污染能力。就比如，某些水泥品种可能对特定的钻井液处理剂具有较好的抗性，可以优先选择这些水泥。合理的选择外加剂，如缓凝剂、减水剂等，可以调整水泥浆的性能，使其更能适应钻井液处理剂的存在。(2) 控制固井水泥浆的性能：通过调整水泥浆的组成和性能，如流动性、稳定性、凝结时间等，可以提高固井水泥浆的抗污染能力。例如，增加水泥浆的流动性，可以减少钻井液处理剂在水泥浆中的残留；调整凝结时间，可以确保水泥浆在合适的时间内固化，减少污染的影响。还可以通过添加一些特殊的外加剂，如抗污染剂等，来提高水泥浆的抗污染性能。

### 5.3 采取隔离措施

(1) 使用隔离液：在钻井液和固井水泥浆之间注入隔离液，可以有效地隔离钻井液和水泥浆，减少钻井液处理剂对水泥浆的污染。隔离液应具有良好的流动性和

稳定性，能够在钻井液和水泥浆之间形成有效的隔离层。例如，可以选择一种密度适中、粘度较高的隔离液，确保其能够在井下稳定存在，并有效地阻止钻井液处理剂的扩散。(2) 采用套管外封隔器：在套管外安装封隔器，可以将钻井液和固井水泥浆隔开，防止钻井液处理剂对水泥浆的污染。封隔器应具有良好的密封性和可靠性，能够在井下长期稳定工作<sup>[3]</sup>。

### 5.4 加强现场管理

(1) 严格控制钻井液和固井水泥浆的质量：在施工过程中，应严格控制钻井液和固井水泥浆的质量，确保其符合设计要求。对钻井液和水泥浆的各项性能指标进行实时监测，如密度、粘度、滤失量、凝结时间等。一旦发现质量问题，应及时采取措施进行调整。(2) 加强施工过程中的监测和控制：在固井作业过程中，应加强对钻井液和固井水泥浆性能的监测和控制。及时发现和处理污染问题，确保固井质量。就比如，通过安装传感器等设备，实时监测井下的压力、温度等参数，以及水泥浆的流动情况。一旦发现异常情况，应立即停止施工，采取相应的措施进行处理。

### 结束语

钻井液处理剂对固井水泥浆的污染影响是一个复杂的问题。通过对不同处理剂种类及特性的分析，明确了其污染机理和对水泥浆性能的具体影响。采取优化配方、隔离措施和加强现场管理等手段，可有效预防和控制污染。在未来的研究中，应进一步深入探索处理剂与水泥浆的相互作用机制，不断完善污染控制技术，以提高固井质量，确保油气井的长期安全稳定运行，为石油天然气行业的可持续发展做出贡献。

### 参考文献

- [1]张洁,景云天,朱宝忠,姚皇有,张凡,唐德尧,陈刚.复合植物酚改善淀粉类钻井液处理剂的抗温性能[J].钻井液与完井液,2020,37(03):288-293+300.
- [2]薛永强,赵显龙,杜飞虎.钻井液处理剂对固井水泥浆的污染影响研究[J].石油化工建设,2024,第2期:169-171.
- [3]张四维,李明辉.钻井液与固井水泥浆接触污染作用机理[J].石油与天然气工程,2022,第4期:189-195.