

## 钻井工程中井漏预防及堵漏技术措施

杨志宽

中国石油天然气集团有限公司西部钻探工程有限公司员工实训中心, 新疆 乌鲁木齐 830000

**[摘要]** 钻井工程中的井漏问题会导致钻井效率降低, 增加成本支出, 影响地质分析和施工安全。在有效预防方面, 可以采取一系列措施, 如强化井身结构设计、减小钻井液的激动压力、减小钻井液的环空压耗等。而一旦发生井漏, 需要采取堵漏技术来尽快解决问题, 复合堵漏、循环法堵漏和段塞堵漏施工技术都是常用的方法。综合运用这些技术手段, 可以有效预防和解决钻井工程中的井漏问题, 确保施工安全和工程顺利。

**[关键词]** 钻井工程; 井漏预防; 堵漏技术

DOI: 10.33142/ec.v7i9.13395

中图分类号: TE9

文献标识码: A

### Preventive Measures for Well Leakage and Plugging Techniques in Drilling Engineering

YANG Zhikuan

Employee Training Center of CNPC Xibu Drilling Engineering Company Limited, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

**Abstract:** Leakage problems in drilling engineering can lead to reduced drilling efficiency, increased cost expenditures, and affect geological analysis and construction safety. In terms of effective prevention, a series of measures can be taken, such as strengthening wellbore structure design, reducing the excitation pressure of drilling fluid, and reducing the annular pressure consumption of drilling fluid. Once a well leak occurs, it is necessary to adopt leak plugging techniques to solve the problem as soon as possible. Composite leak plugging, cyclic leak plugging, and segmental leak plugging construction techniques are commonly used methods. By comprehensively utilizing these technological means, it is possible to effectively prevent and solve well leakage problems in drilling engineering, ensuring construction safety and smooth engineering.

**Keywords:** drilling engineering; prevention of well leakage; leak sealing technology

#### 1 钻井工程井漏危害及产生的原因分析

##### 1.1 井漏危害

(1) 井漏会导致钻井液中的化学成分进入地层, 改变地层的物理和化学性质。如: 渗透率下降, 使原本亲油的地层变成亲水的, 影响油气藏的开发。

(2) 井漏发生后, 需要使用额外的堵漏材料和增加钻井液来处理, 增加了钻井的成本。同时, 处理井漏会导致钻井作业暂停, 进一步延长施工周期。

(3) 井漏会引起井眼不稳定, 进一步导致卡钻甚至井喷等严重事故, 这些事故不仅危害作业人员的安全, 还对周边环境造成严重的污染。

(4) 井漏伤害油气层, 降低油气井的产能, 对于一些特殊的油气藏, 如低压低渗透油气藏, 井漏可能更加严重, 影响油气的采集和评价。

##### 1.2 井漏产生原因

(1) 钻井工程关键参数之一就是钻井液的密度, 它对井下安全和钻井效率都有着重要影响。钻井液的密度过高会导致井底压力增加, 从而引起地层裂缝的扩展或新裂缝的产生, 导致井漏, 严重影响钻井安全和工作效率。

(2) 钻进速度过快、钻井液排量不当、钻头选择不合理、钻井参数设置不当等操作问题, 都可能引起井漏。

(3) 套管下入深度不足、井眼尺寸设计不当、井身结

构未能有效封隔不同压力层系等设计问题, 可能导致井漏。

(4) 钻井液的粘度、切力、失水性等性能不符合要求, 无法形成有效的滤饼或封堵地层, 从而引起井漏。钻井液的粘度是指其内部阻力的大小, 而切力是指钻井液流动时产生的剪切力。如果钻井液的粘度和切力过大, 可能会导致钻头周围的井壁形成厚重的泥饼, 这可能会阻碍钻头的正常运行, 并可能导致井漏。另一方面, 如果钻井液的粘度和切力过小, 它可能无法有效地携带钻屑, 清洗井眼, 从而导致钻井效率下降。

①地层压力异常, 如压力窗口狭窄, 可能导致钻井液无法有效平衡地层压力, 引起井漏。

②堵漏材料的选择和使用不当, 可能无法有效封堵漏失通道。

③地质勘探数据不准确或不全面, 可能导致对地层特性的误判, 从而引起井漏。

④操作人员的疏忽、技术水平不足、安全意识不强等人为主观因素, 也可能导致井漏的发生。

#### 2 钻井工程井漏现象的预防措施

##### 2.1 强化井身结构设计

在设计井身结构时, 需根据地层情况和堵漏工艺要求选择合适的井眼尺寸和套管材料, 而通过优化井身结构, 可提高井壁的稳定性和密封性, 减少井壁垮塌和漏失钻井

液的可能性<sup>[1]</sup>。

首先合适的井眼尺寸能够满足油气开采的需求,同时避免井眼过大或过小导致的问题。其次应选用耐腐蚀、高强度的套管材料,如碳素钢、合金钢等,能够提高井身的耐久性和密封性,减少井漏发生的风险。例如,采用特殊的连接方式和密封结构,确保套管连接紧密。

对已建成的井身,需要定期进行检查和维护,及时发现并修复套管的破损点,确保井身的完整性和稳定性。

工程设计应根据地层孔隙压力梯度、地层破裂压力梯度、岩性剖面及保护油气层的需要,设计合理的井身结构和套管程序。工程设计应明确每层套管固井开钻后,按SY/T 5623—2009《地层压力预(监)测方法》的要求测定套管鞋下易漏层的破裂压力(碳酸盐岩地层可不作地层破裂压力试验)<sup>[5]</sup>。

## 2.2 减小钻井液的激动压力

一是选择合适的钻井液类型和性质。钻井液的密度、粘度和流变性等对液压稳定性和井壁稳定性具有重要影响。钻井液密度过大,会增加井底压力,增加井漏的风险;钻井液黏度过大,会增加液体阻力,导致钻井液环空压耗增加。选择适当的钻井液,根据地层和钻井条件进行调整,可以实现激动压力的最小化。

二是合理控制泵送参数,通过合理调整钻井液的流量、压力和速度等参数,使其符合井下地层的规律和需求。合理控制泵送参数可以减小钻井液的液动效应,降低井底压力,从而减少井漏的风险。

三是优化堵漏工艺和操作方法,减小钻井液的激动压力。例如,合理选择钻头和钻具,减小钻头与井壁的摩擦力,降低钻井液的动压效应;合理控制钻井液的循环速度和钻进速度,避免剧烈的液动压力变化。施工中,应做到如下4条要求:

- (1) 保持钻井液有良好的造壁性和流变性;
- (2) 在疏松地层,特别是造浆性强的地层,应保持良好的钻井液性能和足够的循环流量,防止钻头泥包;
- (3) 下钻中应控制钻具下放速度,避免因井下压力激动导致井漏;

(4) 若静止或下钻时间过长,必要时分段循环钻井液;漏溢同存井宜采用反推、凝胶段塞、重浆帽、吊灌等措施确保起下钻安全<sup>[5]</sup>。

四是完善井控措施和应急预案,建立科学的井控流程和操作规程,严格执行井控措施,遵循规范操作,制定健全的应急预案,明确井漏事故的应急处理措施和责任分工,提高应对井漏风险的能力。

## 2.3 减小钻井液的环空压耗

环空压耗:是指在钻井过程中,钻井液沿环空向上流动时所产生的压力损失。如果环空压耗控制不当,会导致井漏或地层不稳定等问题。

降低环空压耗的措施如下:

- (1) 选择合适的钻井液密度;
- (2) 优化钻井液的性能,如粘度、流变性,调整钻井液的粘度、切力和失水性等性能,以减少钻井液在环空中的流动阻力。使用高质量的钻井液处理剂,如降失水剂、增粘剂和切力剂等,以提高钻井液的携岩能力和井壁稳定性。
- (3) 选择合适的钻井液循环排量、转盘转速。
- (4) 使用高质量的钻杆,减少钻杆的内部摩擦和压力损失。同时,定期对钻杆进行清洗和维护,保持其良好的输送性能。

钻井液密度对环空压耗具有直接影响,选择合适的钻井液密度,可以降低环空压耗和井底压力;优化钻井液的性质,如粘度、流变性等,也能够降低流体阻力,减小环空压耗。施工中,合理选择钻具组合也可以减小钻井的环空压耗<sup>[2]</sup>。

## 3 钻井工程中的堵漏技术措施

### 3.1 复合堵漏施工技术

首先,需要通过电测、压力测试、流体分析等方法来准确地确定井漏的位置。然后,对漏点的大小、形状、深度以及漏层的情况等进行评估,以便采取相应的堵漏措施。

根据漏点的特性和井下条件,选择合适的堵漏材料,堵漏材料应该具有良好的封闭性能、耐高温性能以及适应相应地层的性能。如表1所示。

表1 典型堵漏材料及其主要作用机理

序号	堵漏材料类型	典型堵漏材料	主要作用机理	
01	桥接类	颗粒状	核桃壳、橡胶、沥青、硅藻土、贝壳等	架桥堆积卡堵裂缝通道
		片状	云母片、蛭石、稻壳、树脂片等	填塞堆积颗粒间的空隙
		纤维状	锯末、棉纤维、亚麻纤维、碳纤维等	拉筋成网,强化堆积体结构
02	高失水类	黏土、粉煤灰、石棉纤维、碳酸钙等	在裂缝内快速失水形成封堵层	
03	吸液膨胀类	亲水/亲油树脂、预交联凝胶颗粒等	吸液膨胀填塞裂缝空间	
04	柔性凝胶类	聚丙烯酰胺凝胶、聚丙烯腈凝胶、聚乙烯醇凝胶、生物凝胶等	裂缝内反应生成凝胶体,隔断井筒和地层	
05	可固化类	触变水泥、矿渣、聚氨酯、酚醛树脂等	井下反应生成高强度固结体	
06	智能材料类	形状记忆聚合物、形状记忆金属、温敏凝胶、自愈合凝胶等	受环境刺激自行发生物理化学反应,封堵裂缝	

目前国内外研发的堵漏材料种类繁多,不同类型的堵漏材料在一定程度上都能取得较好的应用效果,但也存在一定不足,说明如下:

- (1) 桥接堵漏材料,配方复杂,堵漏材料与裂缝壁面胶结强度弱,易受压力波动等因素的影响而导致返吐;

(2) 高失水堵漏材料, 失水速率难以控制, 解堵困难, 水敏地层适用性差; (3) 吸液膨胀类堵漏材料, 吸液速率难以控制, 吸液后材料强度不足, 抗高温性能普遍较差; (4) 柔性凝胶类堵漏材料, 抗高温、抗盐能力普遍较低, 长期封堵稳定性差; (5) 水泥类固化材料, 抗钻井液和地层水稀释能力差, 固化时间难以控制, 施工安全风险高; (6) 智能堵漏材料, 目前处于基础研究阶段, 作用机理仍需进一步完善, 尤其在深层高温复杂地层的适用性尚需提高。

在开始堵漏施工之前, 准备好堵漏所需的设备和工具, 包括泵车、混凝土搅拌机、压裂设备、管线等, 确保这些设备和工具的正常运行是堵漏施工成功的关键。

根据堵漏材料的特性和漏点情况, 选择合适的注入方法, 如压裂、注浆等。包括地层的渗透性、孔隙度、裂缝大小等, 漏失通道的尺寸和形状, 这决定了所需材料的粒径和类型。堵漏材料需要与钻井液相容, 而且不会影响钻井液的性能, 并且能够在井内漏层位置形成有效的封堵。

注入堵漏材料的过程需要控制注入排量和压力, 以确保材料能够充分填充漏点并形成坚固的封闭屏障。堵漏施工完成后, 对堵漏效果进行监测和评估, 主要通过地面和井下的压力测试、流量监测等手段来实现。如果需要, 还可以进行后续的修补和加固工作, 以确保井漏得到彻底解决<sup>[3]</sup>。

### 3.2 循环法堵漏施工技术

循环法是利用钻井液循环系统将堵漏材料输送到井漏区域, 以封堵漏失通道的方法, 这种方法一般适用于井漏情况不是很严重, 或者井眼条件允许进行循环作业的情况。

钻井液中应加入适量的堵漏剂, 如胶体颗粒或聚合物材料, 以增加液体的黏稠度和密度, 将加入堵漏剂的钻井液通过钻杆从井口循环到井底, 再由井底循环到井口, 形成一个闭环循环系统。

在循环过程中, 堵漏剂被带入井漏处, 通过沉积或凝聚形成堵塞物, 达到止漏的效果。施工中, 可以根据井漏情况和井深适当调整堵漏剂的浓度和循环速度, 以确保堵漏剂充分覆盖漏点, 并形成坚固的堵塞层。在操作过程中, 需密切监控循环系统的压力、流量和堵漏剂的浓度, 及时调整循环参数, 确保施工效果和安全。同时, 还要注意循环过程中的钻井液循环速度和管柱的摩擦力, 避免因循环速度过快或管柱摩擦力过大导致堵漏剂的分散和失效。

在循环法堵漏施工技术中, 还可结合其他辅助手段提高堵漏效果, 如在堵漏剂中添加增稠剂增加其粘度, 或在井漏处预先打入一层堵漏剂以增加堵漏效果等<sup>[4]</sup>。

### 3.3 段塞堵漏施工技术

段塞堵漏是通过在漏层以下适当位置安装特殊的段塞堵漏工具, 形成阻塞物以堵住井漏的传播路径。井漏发

生后, 先确定井漏位置, 然后通过钻杆将井漏点下方的井壁清理干净, 以保证后续的段塞堵漏工具能够有效接触到井壁, 提高堵漏效果。

通过钻杆将段塞堵漏工具下入至漏层下方附近适当位置, 并确保工具能够紧密贴合在井壁上, 形成有效的堵漏屏障。在下入过程中, 注意操作的精确性和工具的定位, 以确保工具的正确安装和堵漏效果。完成段塞堵漏工具的下入后, 通过施加适当的推力或旋转力, 使得堵漏工具完全展开, 形成紧密的堵漏屏障。

完成段塞堵漏后, 进行测试, 以确保堵漏效果。如果测试结果不理想, 需要调整工具位置或更换其他堵漏方法, 直至井漏得到有效控制。

### 3.4 静止堵漏施工技术

静止堵漏是指当发生完全或部分漏失的情况时, 将钻具从漏失井段起出(起至上层套管或者完全井段内), 静止一段时间(一般8~24h), 消除井漏的方法。

静止堵漏的原理包括以下2个方面: 一方面裂缝往往会自然闭合, 另一方面漏进裂缝的钻井液能够起到粘附和封堵裂缝的作用。

在钻井过程中, 当因为操作不当(如开泵过猛、下钻速度过快等), 造成了过大的激动压力, 进而导致地层形成裂缝性漏失时, 就可以采用静止堵漏的施工技术。

## 4 结束语

钻井工程中的井漏预防和堵漏技术的有效应用, 能够确保钻井施工顺利。选择性地使用现代化堵漏技术, 针对井漏的发生原因和特点, 不断创新和应用, 可以有效地应对钻井工程中的井漏情况。只有持续不断地提升堵漏技术水平, 才能保障钻井施工的顺利。

### [参考文献]

- [1] 吕金帅, 李玉雄, 俞辉, 等. 钻井工程中井漏预防及堵漏技术[J]. 自动化应用, 2024, 65(2): 126-128.
  - [2] 李建宇. 钻井工程中井漏预防及堵漏技术分析[J]. 石化技术, 2023, 30(7): 79-81.
  - [3] 李京伟. 钻井工程中井漏的预防及堵漏技术研究[J]. 石化技术, 2023, 30(1): 133-135.
  - [4] 郭金平. 钻井工程中井漏预防及堵漏技术研究[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(33): 173-176.
  - [5] Q/SY 02552-2022《钻井井控技术规范》[Z]. 中国石油天然气集团有限公司 2022. 2023. 实施.
- 作者简介: 杨志宽(1968. 11—), 毕业院校: 西南石油大学, 所学专业: 石油工程, 当前就职单位名称: 中国石油天然气集团有限公司西部钻探工程有限公司员工实训中心, 就职单位职务: 培训教师, 职称级别: 中级。