

# Prevention of Wellbore Leakage and Performance Evaluation of Plugging Materials in Drilling Engineering

Yipeng Liu

Fourth Engineering Project Department, Changqing Drilling General Corporation, Sinopec Chuanqing Drilling Company, Xi'an, Shaanxi, 710299, China

## Abstract

Wellbore leakage is a common issue in drilling operations. Complex conditions such as deep wells, high temperatures, and high pressures significantly increase the likelihood and complexity of leakage occurrences. Effective prevention and plugging methods are crucial for ensuring smooth drilling progress. This paper briefly outlines the causes, influencing factors, and commonly used plugging materials for wellbore leakage in drilling engineering. It focuses on analyzing the characteristics, application scope, and practical effectiveness of various plugging materials in actual drilling operations. Through performance evaluation of plugging materials, the paper provides recommendations for optimizing material selection and discusses future development trends in plugging technology. Combining current research findings, this study offers theoretical foundations and practical guidance for wellbore leakage prevention and material selection in drilling engineering.

## Keywords

drilling engineering; well leakage; leakage sealing materials; performance evaluation; prevention technology

## 钻井工程中井漏预防与堵漏材料性能评价

刘意鹏

中石油川庆钻探公司长庆钻井总公司第四工程项目部, 中国·陕西 西安 710299

## 摘要

井漏属于钻井时较为常见的问题, 钻井作业中深井, 高温高压等比较复杂的环境使得井漏发生的概率与复杂性大大增加, 有效的井漏预防与堵漏方法是保障钻井顺利实施的关键所在, 本文简述了钻井工程中的井漏的起因, 影响因素以及常用的井漏预防与堵漏材料, 着重剖析了各类堵漏材料的特点, 适用范围及其在实际钻井作业中的运用成效, 经过对堵漏材料性能的评定, 给出了关于如何优化堵漏材料选用的提议, 并谈了堵漏技术将来的发展趋向, 本文结合当下的研究成果, 给钻井工程里的井漏预防及堵漏材料的抉择与利用给予理论依据与实践指引。

## 关键词

钻井工程; 井漏; 堵漏材料; 性能评价; 预防技术

## 1 引言

钻井工程在石油、天然气等资源开采中扮演着十分重要的角色, 但井漏问题在钻井时经常引发严重的安全隐患和经济损失, 井漏指的是钻井液因为地层孔隙, 裂缝等原因渗漏到地下或者水层, 造成钻井液流失, 井壁不稳定, 井漏不但影响钻井进度, 而且可能引起井眼塌陷, 设备损坏等危险, 严重时甚至危及作业人员的安全, 所以井漏的预防和堵漏技术在钻井工程中相当重要, 堵漏材料的选择和评价是保证井漏防治效果的关键, 本文会探究钻井工程中井漏的成因和影响因素, 分析常用的堵漏材料的性能和应用, 评价其在不同条件下的效果, 给钻井工程供应有效的井漏预防和堵漏技术

方案。

## 2 井漏的成因与影响因素

### 2.1 地层地质特性与井漏

地层的地质特性属于井漏发生的决定性因素之一, 地层的孔隙结构, 渗透性和岩性都会对钻井液的流失产生直接影响, 地层的种类与其孔隙度和渗透性有关, 比如砂岩地层常具备较高渗透性, 钻井液较易渗透至地层, 造成井漏。粘土岩, 灰岩等低渗透性地层能更好地封闭钻井液, 但是存在高渗透区域的地层, 特别是存在较大裂隙的地层, 井漏更为严重。钻井液渗透到裂隙或者高渗透孔隙之后一般不能被完全封闭, 并且随着时间的推移, 钻井液会继续渗透, 井漏的范围也会继续扩大。而且, 断层和裂隙发育的地层, 尤其是复杂的断层带或者有裂隙的层段, 很容易引发井漏, 断层带的地层常常具有较大的孔隙度和较高的渗透性, 钻井液很难

【作者简介】刘意鹏(1982-), 男, 中国甘肃庄浪人, 本科, 工程师, 从事石油工程、钻井现场安全管理研究。

形成有效的封堵层，这些地方的钻井液进入地层后，经常会经由断层和裂隙继续蔓延流失，造成很严重的井漏，所以，在钻井的时候，工程师要特别留意这些地层类型，好采取合适的办法，用特定的堵漏材料或者调整钻井液的性质，来缩减井漏的发生。

## 2.2 孔隙压力与钻井液压力失衡

孔隙压力不稳定是井漏发生的另一个重要原因，孔隙压力指的是地下水或者岩层里的气体，液体在孔隙里施加的压力，通常受地层深度，岩石类型以及孔隙流体性质的影响，在钻井的时候，地层的孔隙压力和钻井液的压力的差异是井漏发生的最主要原因，钻井液的压力如果较低，就不能给地下地层提供足够的支撑，于是地层里的流体，像水，油或者气体就会进入钻井当中，出现井漏现象，钻井液的压力过低的时候，地层里的液体很容易流入井内，引发流体失控，甚至可能引发井喷等危险。不过，孔隙压力过高也会引发另一种问题，当钻井液的压力高于地层的孔隙压力时，就会出现井壁不稳定，甚至井壁坍塌的情况，此时，钻井液的压力过高不但无法有效地封堵井漏，反而会使周围地层出现破裂或者塌陷，从而加重井漏的情况，所以，保持钻井液与地层孔隙压力的平衡是预防井漏的重要环节，这就需要钻井工程师根据不同的地层特性，钻井液的密度以及孔隙压力的变化，动态地调整钻井液的密度和压力，从而达到最佳的平衡，避免井漏的发生。

## 3 常用的堵漏材料与应用

### 3.1 水泥材料

水泥属于一种传统而又普遍使用的堵漏材料，它已经被使用了多年，而且在钻井工程里依旧是应用最广泛的堵漏材料之一，水泥的主要优点就在于其优良的粘结性以及硬化性，当钻井液踏入地层之后，水泥能够迅速固化，进而形成坚硬的封闭层，这样就能够防止井漏的出现，水泥材料可以很好地与地层中的岩石和其他材料相结合，发挥出不错的密封效果，尤其在低渗透性的地层中，水泥堵漏的效果很显著，不过水泥的堵漏性能在一些极端的环境下或许会受到限制，比如在高温高压的环境下就如此。水泥浆接触高温时，容易出现水泥浆失水或者水泥浆硬化不完全的情况，密封效果会变差，在这些环境下，水泥材料的长期稳定性和封堵效果可能达不到预期，所以，在高温高压的深井和超深井钻井作业中，水泥材料的使用要经过特别的处理和改良，增强水泥材料的耐热性和抗压性，以此来提升堵漏效果。水泥材料的施工操作比较难，特别在复杂地层里面，水泥调配和施工可能受干扰，想要让水泥堵漏起效，通常要在钻井液里加些助剂，让水泥浆的流动性更好，稳定性能更高些，水泥材料在常用地层里堵漏效果不错，不过在特定的环境当中，也许还得依靠别的材料或者新的技术来改进水泥材料的堵漏效果。

### 3.2 聚合物材料

聚合物堵漏材料是一种近年来被广泛应用于钻井工程

中的新型堵漏材料，聚合物材料的主要特点是其较高的粘结性、韧性和塑性，这使得聚合物材料在高渗透性地层中具有很好的封堵效果，特别是在砂岩等高渗透性地层中，聚合物材料能够形成有效的封堵层，大大减少钻井液的流失，防止井漏的发生。聚合物材料的粘附性很强，可以很好地与地层岩石结合，在钻井过程中起到很好的密封作用。聚合物材料的优点之一是其具有较高的塑性和可调性，可以依据不同的地层情况实施调整，聚合物材料的分子结构可以被改变，这样就可以改善其在不同环境中的适应性，在孔隙度较大的地层中，聚合物材料可以经由调整粘度和弹性来形成更为紧密的封堵层，提升其抗渗透能力，聚合物材料具有较好的耐腐蚀性，可以在各种化学环境中保持较长时间的稳定性。不过聚合物材料在高温环境下的表现也许会受到影响，特别是极高温度下，其性能也许会有所下降，要解决这个问题，常常要对聚合物材料实施改性处理，添加热稳定剂或者增强剂来改良其耐热性，在实际应用当中，聚合物材料常常与其他堵漏材料一起使用，从而提升堵漏效果和适应性。

### 3.3 膨胀材料

膨胀材料属于特殊堵漏材料，它主要的特点是在碰到水或者钻井液的时候，会自动膨胀，形成密封层，进而封堵住井漏，膨胀材料在封堵大孔隙和裂缝上特别有效，尤其适合那些存在较大孔隙或者裂缝的地层，在这些地层里，钻井液往往经由裂缝迅速流失，引发井漏情况，膨胀材料可以自适应地层孔隙的变化，随着孔隙的扩大而膨胀，增大密封层的厚度，进而阻止钻井液的流失。

膨胀材料的应用主要是封堵大的孔隙和裂缝，主要在裂缝发育带和断层带中，封堵效果好，膨胀材料可根据不同的井下环境自动调整膨胀程度，以达到最佳的封堵效果，通过控制膨胀速率和膨胀幅度，在不同的渗透性和孔隙度的层中达到很好的堵漏效果，其最大的优点是根据不同的层孔隙的变化，能自适应地层孔隙的变化，保证在孔隙变化的地层中也能达到良好的密封效果。

不过，膨胀材料在高温或者高压环境下，可能会受到一定影响，为了加强稳定性，膨胀材料通常会加入特殊的增效剂，从而优化其膨胀性能，在实际应用当中，膨胀材料常常和其他材料一起使用，这样可以提升其适应性和效果。

### 3.4 复合材料

近年来，新型复合堵漏材料的研究逐渐成为钻井技术发展的重要方向，复合材料一般是由多种材料混合而成，可以根据井下的具体情况来调整材料的性能，以达到更好的堵漏效果，复合材料的最大优点就是适应性强、稳定性高，尤其在高温高压的极端环境下，复合材料能够表现出良好的封堵效果，复合材料能够将多种材料的优点结合起来，从而克服单一材料在特殊环境下的不足。

复合堵漏材料的组成一般包含水泥，聚合物，膨胀材料，纳米材料等，这些成分的合理搭配可以明显提升材料的密封

性,抗渗透性,耐高温高压性能等,复合材料的多功能性使得它在各种地质状况下都能发挥较好的堵漏效果,尤其在深井,超深井,高温高压等复杂环境下,复合材料能够有效地给出持久的堵漏效果。

复合材料的应用并不局限于传统钻井作业,在各种复杂条件下都可得到广泛应用,封堵地层裂缝、控制井漏流量、提升钻井液的稳定性等均为可能应用。复合材料确实有着很广泛的应用前景,但也存在成本较高,施工需要较高技术要求等问题。故选材上要综合考虑成本效益与应用环境,才能达到良好的堵漏效果。

## 4 堵漏材料的性能评价方法

### 4.1 密封性能

密封性能是评判堵漏材料的重要指标之一,钻井过程中井漏问题的根源往往与井壁失稳或者钻井液渗漏到地层有关,为了保证堵漏材料能够有效地封堵这些漏洞,密封性能必须达到一定的标准,密封性能的好坏直接决定了堵漏材料是否能够有效地阻止钻井液的流失,防止进一步的井漏和地层流体的渗入。密封性能的评估方法通常是通过模拟井下环境,进行不同压力和温度条件下的实验,实验一般采用液体或气体流量测定法、压降法等技术,通过加压和测量泄漏率来评估材料的密封性能。

在实际应用当中,材料的密封性能应当符合特定地层压力和温度范围的需求,高渗透性地层或者复杂的地质情况之下,密封性能显得尤为关键,因为这些环境对材料的封堵能力提出了更高要求,材料的适应性,抗变形能力以及在极端条件下的稳定性都会影响到密封的效果,所以,密封性能的好坏直接关系到堵漏材料能否满足井漏预防的需求,进而影响整个钻井作业的安全性和经济效益。

### 4.2 抗渗透能力

抗渗透能力属于评价堵漏材料是否能够有效封堵井漏的关键指标之一,特别是在渗透性较强的地层里,抗渗透能力显得尤为重要,钻井液的渗漏常常同地层的孔隙度,渗透率等要素密切相关,渗透性较高的地层,例如砂岩层,很容易使钻井液快速渗入地下,进而引发井漏,所以,考察堵漏材料的抗渗透能力,主要是依靠比较不同材料在模拟井下环境之下对流体渗透的阻力,以此判定其对钻井液流失的封堵成效。

抗渗透能力测试一般通过渗透实验来评估,堵漏材料被放置到标准的渗透测试装置中,模拟井下的高压高温环境,测量材料在施加不同压力时的渗透速率,评估其抗渗透性能,材料的抗渗透能力越强,意味着它能有效阻止钻井液的流失,降低井漏现象发生的概率,抗渗透能力强的材料还能保持钻井液的稳定,确保井下作业的顺利进行,对于高渗透性区域的堵漏,抗渗透能力强的材料无疑是更好的选择。

### 4.3 耐高温高压能力

深井和超深井钻井作业时,井下环境温度和压力常常极端,钻井作业的深度加大,井下温度和压力就会明显升高,这对堵漏材料的要求也就随之提升,高温高压环境里,常规堵漏材料可能无法维持足够的稳定性,材料的性能也许会下降,甚至失效,所以堵漏材料必须具备不错的耐高温高压能力,才可在这些极端环境下稳定工作。

耐高温高压能力的评价一般借助高温高压实验来完成,实验期间,堵漏材料在模拟深井环境的高温高压条件下实施检测,考察其在长时间高温高压情形下的物理和化学稳定性,比如,检查材料在超高温下是否会产生热膨胀,分解或者强度减小等情况,材料的耐受能力会直接影响到其在深井以及复杂环境下的应用效果,通常而言,耐热性高且抗压性强的材料能在高温高压环境下正常工作,给予长期稳定的堵漏效果,这对深井钻井作业中井漏的预防和堵漏非常关键。

## 5 结语

井漏问题在钻井工程中属于重大挑战,针对井漏问题的研究不断有新的进展,对堵漏材料的性能评价,我们能更科学地选择合适的堵漏材料,进而有效地防止井漏现象的发生,未来,随着新型堵漏材料的研发和综合技术的使用,钻井工程中的井漏问题有望得到更有效的解决。

### 参考文献

- [1] 李岩阁,侯薇,邹双,等.钻井工程防漏堵漏材料研究进展[J].油田化学,2025,42(03):537-544.
- [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(07):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(01):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.