

通南巴区块钻井防漏堵漏技术研究及应用

吴畏

中石化中原石油工程有限公司西南钻井分公司

【摘要】川东北通南巴地区凭借其独特的地质条件，成为我国油气勘探的关键区域之一。然而，该地区复杂的地质构造、多样的地层特性以及特殊的钻井工艺需求，使得井漏问题在钻井作业中频繁出现，给油气勘探开发带来了巨大挑战。本文通过深入研究通南巴地区的地质背景、井漏特点及原因，系统分析了各类防漏堵漏技术，并结合实际现场案例，旨在为该地区提供更为有效的钻井防漏堵漏技术方案，从而推动油气勘探开发工作的顺利开展。

【关键词】通南巴地区；井漏；防漏堵漏技术；地质特征；现场应用

Research and application of leakage prevention and plugging technology in Nanba Block

Wu Wei

Southwest Drilling Branch of Sinopec Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd.

【Abstract】 With its unique geological conditions, the northeast Sichuan region has become one of the key areas of oil and gas exploration in China. However, the complex geological structure, diverse stratigraphic characteristics and special drilling process requirements in this area make the well leakage problem frequently appear in drilling operations, which brings great challenges to oil and gas exploration and development. This paper thoroughly studies the geological background, well leakage characteristics and causes of Tongnanba region, systematically analyzes various kinds of leakage prevention and plugging technologies, and combined with the actual field cases, aims to provide more effective drilling leakage prevention and plugging technical solutions in this region, so as to promote the smooth development of oil and gas exploration and development.

【Key words】 Tongnanba area; well leakage; leakage prevention and plugging technology; geological features; field application

引言

川东北通南巴地区在我国油气资源勘探布局中占据着重要地位。但长期以来，该地区钻井作业中的井漏问题一直是制约油气勘探效率和成本控制的关键因素。井漏不仅会影响钻井时效，造成极大经济损失，对油气层产生较大伤害，还会极大地阻碍该地区油气资源的开发。

1、通南巴地区地质特征与井漏现状

地质特征通南巴构造位于四川盆地川东北褶皱带的东北段，地质构造受推覆作用的影响，形成许多断裂带和褶皱，地层孔隙、裂缝、溶洞发育，在钻井过程中表现为地层渗透性好、微裂缝发育、地层承压能力低、压力窗口窄，易出现喷漏同层、上漏下喷或者下漏上喷的复杂局面。钻井过程中的井漏又易引发井壁失稳和掉块卡钻等次生复杂，使井下事故风险大增。

1.1 特殊的沉积环境和强烈的构造运动相互作用，使得该地区地层破碎现象十分严重，断层广泛发育。地层中裂缝和孔隙大量存在，且分布极为复杂。其地层涵盖了从侏罗纪到古老震旦系的多个地质年代，包含陆相地层和海相地层。

不同地质年代的地层在岩石特性、压力系数等方面存在显著差异。其中，陆相地层一般表现为正常压力，而海相地层整体呈现出异常高压的特征。这种压力系数的差异，进一步加剧了钻井过程中的复杂性和井漏风险。

根据完成井统计，通南巴已钻井大约90%发生过不同程度的漏失，漏失层位遂宁组、沙溪庙组至须家河组地层均有，其中上沙溪庙组、自流井组和须家河组地层漏失相对严重。漏失速度大，漏失量大，失返性漏失发生频率高。最后采用污水和轻浆强钻至井深2903.26m，下入 $\Phi 193.7\text{mm}$ 套管封隔漏层，总计漏失钻井液987.275 m^3 ，漏失堵漏浆629.32 m^3 、漏失污水约1640.1 m^3 。这充分说明了在该地区部分层位进行堵漏作业的艰巨性和复杂性。

2、通南巴地区井漏原因分析

2.1 地质构造因素：复杂的地质构造运动是引发通南巴地区井漏的关键因素之一。推覆运动使得地层中形成了大量的断裂带和褶皱。岩石结构遭到严重破坏，内部应力平衡被打破，从而产生了大量的裂缝和孔隙。这些裂缝和孔隙相互连通，形成了复杂的网络结构，为钻井液的漏失提供了便利通道。在钻井过程中，当钻遇断层时，钻井液柱压力与地层

压力难以保持平衡，容易引发喷漏共存等复杂情况。此外，断层还可能导致地层的连通性增强，使得漏失区域进一步扩大，给钻井作业带来了极大的风险。

2.2 地层特性因素：不同地层的特性差异也是导致井漏

的重要原因。如表1通南巴地层压力系数表分析所示，陆相地层如沙溪庙组、须家河组，岩石胶结程度较低，孔隙和裂缝发育。

表1 通南巴地层压力系数表

组	岩性	压力系数	漏失因素
蓬莱镇组 - 遂宁组	泥岩、粉砂质泥岩	1.00-1.05	裂缝、孔洞发育，渗透性漏失
沙溪庙组	泥岩、砂岩互层夹页岩	1.05-1.15	
千佛崖组	泥岩、粉质砂岩	1.10-1.30	
自流井组	泥岩与砂岩互层	1.20-1.45	
须家河组	泥岩与粉砂岩互层	1.35-1.50	裂缝裂隙发育，存在垂直裂缝
小塘子组	泥岩	1.35-1.50	层理微裂缝漏失
雷口坡组	白云岩、灰岩、盐膏层互层	1.50-1.55	
嘉陵江组	石膏岩、灰岩	1.55-1.75	

这些地层中的岩石颗粒之间的结合力较弱，在钻井液的冲刷和压力作用下，容易发生破碎和剥落，导致漏失通道的形成。而且，这些地层的承压能力较弱，无法承受过高的钻井液柱压力，一旦压力超过其承受范围，就会发生井漏。海相地层如雷口坡组、嘉陵江组，存在溶洞和裂缝，且地层压力较高。溶洞的存在使得地层的空间结构变得复杂，钻井液容易在溶洞中大量漏失。同时，裂缝的发育也为钻井液的漏失提供了通道。此外，地层中的泥页岩遇水后会膨胀，导致井壁失稳，进而引发井漏。泥页岩膨胀后会挤压周围的岩石，使裂缝和孔隙进一步扩大，增加了漏失的风险。

2.3 钻井工艺因素：钻井过程中的一些工艺参数不合理同样可能导致井漏。例如，钻井液密度选择不当，当钻井液密度过高时，会对地层产生过大的压力，可能会压裂地层，引发漏失；当钻井液密度过低时，无法有效平衡地层压力，也会导致井漏。起下钻速度过快会产生压力激动，破坏井壁稳定性。钻井液的流变性能不佳，如粘度、切力不合适，会影响其在井眼中的流动特性和对井壁的保护作用。黏度较低的钻井液无法有效地携带岩屑，岩屑容易在井壁附近堆积，对井壁产生冲刷作用，破坏井壁稳定性；切力不合适会导致钻井液在静止时无法有效地悬浮岩屑，岩屑沉淀会堵塞井眼，增加循环压力，进而引发井漏。

3、通南巴地区防漏堵漏技术研究

3.1 堵漏材料概述

3.1.1 常见堵漏材料类型：常见的钻井液堵漏材料种类繁多，主要包括高滤失堵漏材料、桥接堵漏材料以及聚合物凝胶堵漏材料等。膨润土是一种常见的高滤失堵漏材料，具有优异的吸附性和膨胀性，能够迅速吸收钻井液中的液相，在吸收水分后，会发生膨胀，形成胶体颗粒，能够有效地堵塞地层中的孔隙和裂缝，阻止钻井液的进一步漏失。木质纤

维则具有良好的柔韧性和分散性，能够在裂缝中形成纤维网络，增强堵漏效果。合成聚合物则具有更好的耐温性、耐化学性和堵漏性能，能够根据不同的地层条件进行设计和合成。橡胶颗粒通常用于堵塞较大的孔隙或裂缝。它们具有高弹性和柔韧性，能够适应井孔的不规则形状，在压力作用下，橡胶颗粒能够发生变形，紧密地贴合在孔隙和裂缝的壁面上，形成有效的堵漏屏障。碳酸钙颗粒是一种常见的桥接堵漏材料，其颗粒大小适中，能够有效地封堵井孔中的大孔隙。水泥是主要的固化材料，常见的有普通硅酸盐水泥、油井水泥等。不同类型的水泥具有不同的性能特点，例如油井水泥能够适应高温高压的井下环境。水用于形成浆状状态，使水泥能够均匀分散并便于输送到漏失部位。添加剂则用于调整水泥浆的性质，如缓凝剂可以延长水泥浆的凝结时间，防止在输送过程中过早硬化；促凝剂则能加快水泥浆的凝固速度，使其在到达漏失层后迅速形成封堵。水泥浆具有较强的固化性能，能够在井孔中形成坚固的封堵层。它通常是一种快速硬化的材料，能够在短时间内形成固体封堵体，有效阻止钻井液的漏失。

3.1.2 通南巴地区堵漏材料选择依据：在通南巴地区，堵漏材料的选择必须紧密结合其独特的地质条件和井漏特点。该地区裂缝性漏失较为常见，由于裂缝的宽度和长度变化较大，单一的堵漏材料难以达到理想的封堵效果。因此，通常选用核桃壳、橡胶粒等颗粒状材料与锯末、棉纤维等纤维状材料配合使用。颗粒状材料凭借其不同的粒径，能够在裂缝中形成初步的架桥结构，而纤维状材料则可以填充颗粒之间的空隙，进一步增强封堵的密实性，从而在裂缝中形成有效的架桥和堵塞结构。

3.2 防漏技术

3.2.1 优化钻井液性能：根据不同地层的具体特点精准选择合适的钻井液类型和配方是优化钻井液性能的关键。在易失稳地层，如富含泥页岩的地层，采用强抑制钻井液是有

效的措施。同时，加强钻井液的封堵性能也不可或缺。通过添加超细碳酸钙、沥青类封堵剂、纤维状材料等合适的封堵剂，可以对地层孔隙和裂缝进行有效封堵。此外，调整钻井液的流变性能也十分重要。通过合理调整钻井液的黏度、切力等参数，使其具备良好的携岩能力，确保钻井过程中岩屑能够及时被带出井眼，同时降低循环压耗，减少对井壁的冲

刷，从而降低井漏风险。

3.2.2 提高地层承压能力：对低压渗透性地层，采用随钻防漏技术是一种有效的手段。在钻井液中添加电解质、聚合物以及沥青类材料提高井壁稳定性。如表2 泥页岩稳定机理和应用所示。

表2 泥页岩稳定机理和应用

种类	稳定机理	应用
电解质	阳离子交换，交换顺序： Li^+ ， Na^+ ， K^+ ， Mg^{2+} ， Ca^{2+} ， Al^{3+}	软、高分散的水化泥页岩，蒙脱石含量高的泥页岩，含较多水化倾向大的混合层
聚合物	包被机理	软、高分散泥页岩，高含蒙脱石和伊利石富含水化膨胀混层的页岩；结合使用电解质来增强抑制性。
沥青类	充填和封堵微裂缝，减少滤液在沉积层间的侵入。	中硬、有剥落倾向中等分散的页岩，黏土层间高含页岩有时伊利石和盐层间高含页岩。

对于长裸眼段多压力系统的地层，采用承压堵漏技术。在钻进前，需要根据地层压力和井眼实际情况，精确确定承压堵漏施工的当量密度和配浆量。通过将堵漏浆挤入地层，使其在近井地带形成有效的封堵层。在确定当量密度时，需要综合考虑地层孔隙压力、坍塌压力以及破裂压力等因素，确保堵漏浆既能有效封堵漏失层，又不会对地层造成过度破坏。配浆量则需要根据漏失层的厚度、孔隙度等参数进行计算，以保证封堵层具有足够的强度和厚度，提高地层的承压能力。

胶状屏障能够有效地减缓液体在井孔中的运动和渗透，进一步增强了防漏堵漏的效果。

3.2.3 优化工程措施：合理设计井身结构是降低井漏风险的重要工程措施。尽量避免不同压力体系的地层处于同一裸眼井段，因为不同压力体系的地层在钻井过程中容易导致压力失衡，引发井漏。若无法避免，应采取有效的封隔措施，如使用套管封固易漏层。通过在易漏层下入套管，并进行固井作业，可以将不同压力体系的地层隔离开来，确保钻井过程的安全。在钻进易漏层时，严格控制钻进参数至关重要。适当降低机械钻速，减少单位时间内产生的岩屑量，从而降低岩屑浓度，避免岩屑在井眼内堆积导致环空钻井液当量密度升高。同时，控制起下钻速度，避免产生过高的压力激动。起下钻速度过快会引起井内压力的剧烈波动，可能导致井壁失稳和漏失。此外，加强固相控制，及时清除无用固相，防止其导致密度和静切力增大，引发井漏。在钻进易漏层前，还需要充分做好各项准备工作，包括储备足够的钻井液，以应对可能出现的漏失情况；调整好钻井液性能，确保其满足易漏层的钻进要求；准备好堵漏材料，以便在发生漏失时能够及时进行处理。

3.3.2 无固相钻井液技术是一种特殊的钻井液配方技术，其特点是在液体中不含固体颗粒。该技术旨在降低钻井液对地层的侵害，减小对孔隙结构的影响，从而减少井漏风险。无固相钻井液通过避免固相颗粒的存在，有效降低了这种风险。

3.3.3 随钻防漏堵漏技术是在钻井过程中随着钻头深度增加而实施的防漏堵漏方法。该技术涵盖漏失损失预测、地层强壁、钻井液优化等方面，是一种综合性的防漏堵漏技术。通过实时监测钻井液漏失情况，结合地层信息和岩心分析，预测井漏可能发生的深度和位置。在钻进过程中，利用传感器实时监测钻井液的流量、压力等参数，一旦发现参数异常变化，就可以判断可能存在漏失情况。同时，结合地质勘探获取的地层信息，如地层岩性、孔隙度、渗透率等，以及岩心分析得到的岩石力学性质，对漏失风险进行评估，提前采取措施减缓漏失速度。在通南巴地区，部分井应用随钻防漏堵漏技术取得了较好的效果。例如，某井在钻进至易漏失的须家河组地层时，采用随钻防漏堵漏技术，实时监测钻井液漏失情况，及时调整钻井液配方，添加合适的堵漏剂。通过优化钻井参数，如降低机械钻速、控制起下钻速度等，有效降低了井漏风险，保证了钻井作业的顺利进行，相比以往在该地层采用常规钻井方式，大幅减少了因井漏导致的非生产时间。

3.3 堵漏技术

3.3.4 超低渗透钻井液技术是专门用于防漏堵漏的钻井液配方技术，其核心目标是通过调整钻井液性质，使其在地层中的渗透性极低，从而降低井漏发生风险。该技术通常采用特殊的液相配方和添加剂，以增强钻井液的抗渗透性。

3.3.1 微泡钻井液技术是一种针对井漏问题的防漏堵漏技术，它通过在钻井液中引入微小气泡，形成微泡钻井液。微泡具有较好的分散性，能够均匀地分散在钻井液中，以确保在井孔中形成均匀的微泡层。这一均匀的微泡层可以提高整体的抗渗透性，防止钻井液在局部区域集中漏失。这种凝

3.3.5 井眼强化“应力笼”技术井眼强化“应力笼”技术是一种先进的防漏堵漏钻井技术，其原理是在井眼周围构建一种被称为“应力笼”的强化屏障，以此提高井眼的稳定性和抗漏性。这项技术重点在于增强井眼壁的稳定性和抗漏性。

性,从而降低井漏风险。例如,与随钻防漏堵漏技术配合使用,在钻进过程中实时监测并眼状况,当发现并眼周围应力变化异常时,及时启动“应力笼”强化措施,进一步保障并眼的安全。

4、现场应用案例分析

4.1 马 105 井在钻进过程中面临着严峻的井漏问题,同时井控风险较大。当钻进至 3449m 时钻遇产层裂缝,每次起钻后均需关井排气,这表明井内压力异常,存在较大的安全隐患。为有效降低井控风险,下部井段采用随钻防漏堵漏措施。全井钻井液携带 12% 左右以细颗粒为主的堵漏材料,并在钻进过程中适时补充。这些细颗粒堵漏材料能够在钻进过程中及时封堵微小的漏失通道,防止漏失进一步扩大。在钻进过程中,适时补充堵漏材料可以确保钻井液始终保持良好的防漏性能。随后钻进直至完钻,未发生失返性漏失,这说明随钻防漏堵漏措施取得了显著成效。当钻进至 3783m (层位:须家河组)时,返出排量减小,这是井漏的一个重要迹象。此时强钻至 3789m,停泵起钻至 3309m 静止配制堵漏浆。配制堵漏浆 52.6m³、替浆 34.2m³,注堵漏剂 45.3m³后返出,漏失 68.8m³,循环一周后关井挤堵,最高套压 3.4MPa,稳压至 3.1MPa。该井堵漏浆配方为井浆+5%FD-1+1%FD-2+5%QS-2+4%沥青粉+6%承压堵漏剂+6%改性竹纤维+5%微裂缝+3%核桃壳(0.5—1mm)。其中,FD-1 和 FD-2 能够增强堵漏浆的黏结性和封堵效果, QS-2 有助于提高堵漏浆的悬浮性能,确保各种堵漏材料均匀分散;沥青粉填充裂缝和孔隙,提高地层的承压能力;承压堵漏剂可以有效提高地层的承压强度;改性竹纤维和微裂缝材料能够在裂缝中形成复杂的网络结构,增强封堵的稳定性;通过合理的堵漏浆配方和有效的施工措施,成功解决了马 105 井的井漏问题,保障了钻井作业的顺利进行。

4.2 马 108 井在施工过程中遇到了复杂的井漏问题。一开未封完上沙溪庙组,导致上沙溪庙组低压层与须家河组处于同一裸眼井段。这种不合理的井身结构使得在二开钻至须家河地层后,施工密度达到 1.60g/cm³时,上部易漏层多次被压漏。由于 1400m—1750m 井段承压能力极低,几次桥接堵漏均未成功,这给堵漏工作带来了极大的挑战。最终,该井采用桥接-水泥浆双液法进行堵漏。桥接浆与水泥浆经不同流程在高压管汇混合后注入地层。桥接浆中的桥接材料,如颗粒状和纤维状材料,能够在漏失通道中形成初步的架桥

结构,为水泥浆的进入提供支撑;水泥浆则在桥接结构的基础上,进一步填充孔隙和裂缝,形成坚固的封堵层。起钻至混浆以上安全井段关井挤堵,成功封堵低压层裂隙。侯凝后扫塞循环不漏,直至二开下套管固井均未再发生漏失,这表明桥接-水泥浆双液法有效地解决了马 108 井的井漏问题。马 108 井嘉陵江组设计密度 1.90g/cm³,而上部雷口坡承压,这要求在钻井过程中必须谨慎调整钻井液密度,平衡不同地层的压力,防止再次发生井漏。通过合理的堵漏技术选择和施工,马 108 井顺利完成了钻井任务,为后续的储层评价工作奠定了基础。

5、结论总结

5.1 通南巴地区钻井作业中的井漏问题是由地质构造、地层特性以及钻井工艺等多方面复杂因素共同作用导致的。复杂的地质构造运动形成了大量断裂带和褶皱,破坏了地层岩石结构,增加了裂缝和孔隙,为井漏创造了通道;不同地层的特性差异,如陆相地层胶结程度低、海相地层存在溶洞和裂缝,以及泥页岩遇水膨胀等,加大了井漏风险;

5.2 钻井过程中钻井液密度选择不当、起下钻速度过快、流变性能不佳等工艺问题,也会引发井漏。针对通南巴地区的地质特点,选择堵漏材料时,充分考虑裂缝性漏失和溶洞性漏失的差异,合理搭配颗粒状、纤维状材料以及软塞类材料,并依据地层压力和温度变化选用合适材料,对提高堵漏效果至关重要。在防漏技术方面,优化钻井液性能,根据地层特性选用强抑制钻井液并添加合适封堵剂;提高地层承压能力,采用随钻防漏和承压堵漏技术;

5.3 优化工程措施,合理设计井身结构、控制钻进参数等,这些措施对降低井漏风险意义重大。在堵漏技术上,微泡钻井液技术、无固相钻井液技术、随钻防漏堵漏技术、超低渗透钻井液技术和井眼强化“应力笼”技术各有优缺点。在实际应用中,需综合考虑井漏类型、地层条件以及成本等因素,选择最适宜的技术。现场应用案例表明,采用合理的防漏堵漏技术和措施,能够有效减少井漏发生,降低井控风险,保障钻井作业顺利进行。

5.4 未来,随着技术的不断发展和创新,有望通过研发新型堵漏材料、改进现有技术工艺以及利用先进的监测和控制手段,进一步提高通南巴地区钻井防漏堵漏的效率和成功率,为该地区的油气勘探开发提供更有力的技术支持,推动油气资源的高效开发。

参考文献

- [1]陈祖红,尚旺涛,王信,等.钻井液堵漏材料分析与防漏堵漏技术探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(11):207-208.
- [2]鲁政权.钻井液堵漏材料分析与防漏堵漏技术探讨[J].科技创新与应用,2019(28):157-158.