井壁垮塌的处理

吴甲权
中石化西南石油工程有限公司油田工程服务分公司　四川　绵阳　621000

摘　要：高庙4井三开施工过程中，因井壁失稳造成掉块严重，起下钻频繁遇卡、遇阻，划眼困难，甚至发生卡钻。针对井下复杂情况，采取了多方面的处理措施，最终井壁逐步稳定，井下情况明显好转。本研究为类似复杂的钻井施工提供了一些经验，有一定的借鉴意义与指导价值。

关键词：井壁垮塌；钻井液；工程措施；处理效果

引言

研究背景，在钻井中，井壁垮塌是一种比较常见的井下复杂情况，井壁垮塌往往跟地层、钻井液性能、工程参数有关。井壁垮塌容易造成起下钻遇卡、遇阻，甚至卡钻，影响施工顺利进行，延长工期，增加成本[1]。针对这类问题开展研究，为今后钻井施工遇到类似问题提供一些的借鉴。问题陈述，高庙4井三开以来，井壁逐渐失稳，导致大量掉块脱落并堆积在井眼内。多次起钻出现遇卡现象，特别是在停泵后上提钻具，卡钻风险较大；划眼扭矩频繁蹩钻，甚至卡钻。多次尝试注入高密度高粘度泥浆循环清除掉块，没有效果。严重延误了施工进度，需要采取有效措施解决这一问题。 研究目标，研究目标主要是通过对高庙4井井壁垮塌处理的分析，总结出一套适用于类似井下复杂情况的有效措施，为今后钻井施工提供技术支持，也为类似的施工在预防和处理井壁垮塌方面提供一些的借鉴。

1 文献综述

1.1 井壁垮塌相关理论

井壁垮塌主要涉及力学和化学两方面。从力学角度来看，地层应力分布不均、孔隙压力变化、钻井液液柱压力不足都可能导致井壁失稳[2]。从化学角度来看，钻井液与地层岩石之间的相互作用也会影响井壁的稳定。

1.2 国内外处理井壁垮塌技术发展状况

国内外科究人员近年来在井壁垮塌处理技术方面取得了一定的进展，特别是钻井液体系优化和工程措施改进这两方面。钻井液体系方面，强抑制性复合盐钻井液防塌性能好，在复杂地层钻井施工中应用很广，超分子堵漏技术在大井眼钻井中应用也取得很好的效果。工程措施方面，高水垂比大位移钻井技术的应用为复杂井钻井施工提供了新的思路。

1.3 高庙4井垮塌处理研究空白

虽然国内外在井壁垮塌处理方面取得一定的成果，但针对高庙4井这种复杂情况和垮塌形式的研究仍存在空白。结合高庙4井这种复杂情况和垮塌形式，研究出针对性的处理技术，是当前研究的难点。

2 高庙 4 井井下基本情况

2.1 三开初期情况

高庙4井三开施工以1.90g/cm^{3}的泥浆密度开始钻进，钻进至井深2918m时，泥浆密度逐渐上调至2.00g/cm^3。当钻进至3018m时，大排量循环泥浆2小时，期间活动钻具正常。然而，在停泵后，起钻中因井壁失稳导致遇卡，经过3小时才倒划眼出1根单根。随后采用高密度高粘度钻井液进行大排量循环，返出大量掉块，表明井壁垮塌问题已较为严重[3]。

2.2 后续起钻与处理情况

泥浆密度上调至2.05g/cm^{3}继续起钻。2.5小时才倒划眼出3根单根，且提放和倒划眼操作均极为困难，返出的掉块数量较少且尺寸较小。为应对这一情况，注入密度2.45g/cm^3、粘度183S的泥浆25方进行循环，返出少量小掉块。泥浆密度继续提高至2.10g/cm^3，倒划眼依然困难。倒划眼拔单根起钻至2748m时，返出少量蹩碎的小掉块。接着下钻至2818m时遇阻，大排量进行划眼，持续有1～4cm大小的掉块返出，扭矩频繁上升并伴随蹩钻现象，上提钻具有挂卡现象。为稳定井壁，采用GRL-1及井壁封固剂FGL配制高粘段塞泥浆进行循环，带出大量大掉块。划眼到底后继续钻进，期间注入密度2.35g/cm^3、粘度210S的泥浆10方，返出多块大掉块。

2.3 短程起钻及卡钻情况

钻进至井深3137.57m后，进行短程起钻至井深3092m时遇卡严重，倒划眼拔单根起钻至井深2949m后下钻。下钻至3015m时遇阻划眼，划眼至井底继续钻进。钻进至3198.12m时上提接单根发生了2次卡钻。

2.4 后期处理与井壁稳定

为解决好井壁垮塌问题，钻至3375.52m时在原井浆

基础上转化为新型聚胺钾石灰钻井液体系。通过调整泥浆性能，逐步稳定了井壁。虽然起下钻过程中仍偶尔出现遇卡、遇阻的情况，但井下复杂情况已经明显好转，说明这个处理措施取得了很好的成效。

3 高庙 4 井井壁垮塌难点分析

3.1 地层特性影响

高庙4井沙溪庙组及千佛崖组的砂泥岩软硬交错变化很大，砂泥岩地层中的泥岩在钻遇钻井液时容易发生水化，使其强度降低，并逐渐剥蚀掉块。软硬交错的地层结构应力分布不均，也增加了井壁失稳的风险。在钻井中，泥岩的水化膨胀会改变井周地应力的平衡，而且砂岩与泥岩之间的弹性模量差异，容易引发应力集中，促使井壁发生坍塌。这种地层特性，使高庙4井在钻井施工中存在很大的井壁垮塌风险。

3.2 垮塌掉块影响

地层垮塌产生的大小不一的掉块对高庙4井的起下钻造成了很大的影响。在起钻中，经常出现因掉块卡住钻具的情况，导致起钻困难甚至卡钻。在下钻中，因为井眼内存在大量掉块，钻具无法顺利通过，需要进行反复划眼。划眼中由于掉块的存在，很容易造成蹩钻、卡钻。

4 解决思路

4.1 泥浆方面思路

针对高庙4井井壁垮塌，优化泥浆性能是解决井下复杂最关键的一步。根据以往的经验，提高泥浆密度能为井壁提供更强的物理支撑，减少因地层应力集中而垮塌的风险。采用抑制性好的泥浆体系，可以降低地层中泥页岩的水化剥蚀，维持井壁稳定。严格控制泥浆失水，优化泥浆造壁性能，能减少滤液进入地层，防止泥岩膨胀、分散。调整好泥浆的粘切和动切力，可以提升泥浆的携砂能力，避免因钻屑堆积造成井下复杂。

4.2 工程方面思路

针对井下复杂情况，制定科学合理的操作规范是处理井下复杂非常重要的辅助手段。根据井下情况，调整好钻井参数，可以避免因操作不当造成井下进一步复杂化。开泵操作要平稳，可以避免泵压过高对井壁造成冲击。转盘转速不能过高，免得钻具转动时甩打井壁，造成井壁失稳，出现更多的掉块。针对起下钻遇卡、遇阻的情况，应该准备好预案，确保在发生卡钻时能迅速采取有效措施，及时解卡。

5 处理技术措施

5.1 泥浆调整措施

采用新型钻井液体系，针对性地采用新型聚胺钾石灰钻井液体系是关键措施之一。通过增大石灰加入量，增强钙离子的抑制作用，有效降低泥页岩水化剥蚀的风险。根据以往经验，钙离子能与泥页岩中的黏土矿物发生离子交换反应，形成更稳定的结构，减少因水化作用造成井壁失稳。新型聚胺钾石灰钻井液体系抑制性和抗高温性能也很好，在高温高压环境下，能保持稳定的流变性，为处理井下复杂提供了可靠保障。

5.2 加强封堵防卡

为增强钻井液的封堵性能，采用多种不同粒径的封堵材料搭配使用，将封堵防卡剂加到高限浓度，能有效填补地层微裂缝和孔隙，形成致密的泥饼，降低钻井液滤液侵入地层，以提高井壁的稳定性。

5.3 提高钻井液密度

为增强物理支撑作用，逐步把钻井液密度提高到2.20g/cm^3，提升了液柱压力，为井壁提供了更加稳固的支撑。适当提高密度能有效减少井壁垮塌的发生，特别是在软硬交错变化较大的砂泥岩地层中效果更好。但是，密度提升要逐渐上调，避免因密度过高造成井漏。

5.4 控制失水及造壁性

控制好钻井液的失水和造壁性对井壁稳定也非常重要。设计要求钻井液失水控制在6ml以下，现场实际施工中失水降低到了3ml以内，泥饼厚度也控制在0.5mm左右。低失水和高造壁性的钻井液能在井壁形成薄而坚韧的泥饼，有效阻止滤液进入地层，减少泥页岩的水化膨胀和分散作用。

5.5 调整泥浆性能

把钻井液的PH值提高到10以上，充分发挥了各种泥浆处理剂的协同作用。PH值高一些，可以促进泥浆中膨润土分散和水化，提高钻井液的悬浮能力和携砂能力。另外，调整钻井液的粘切性能，将钻井液动切力提高到20以上，确保钻井液的携砂能力。起下钻困难时，使用携砂性能较好的钻井液进行洗井，清除井底和环空的掉块，确保井眼畅通。

5.6 工程措施

钻头选择与钻井参数，井下情况不稳定时，优先采用牙轮钻头，牙轮钻头划眼和处理井下复杂效果比较好，能够在复杂井段中有效破碎掉块清理井眼。井壁逐步稳定后，就选用倒角缓、划眼功能好、刀翼间距较大的PDC钻头钻进，以提高钻速，偶尔有掉块也可以通过较大的刀翼间距让掉块落入井底，避免卡钻。采用双泵大排量钻进，排量控制在42L/S以上，确保泥浆的携砂效率。转盘转速要适当，避免转速过高造成井壁失稳或者掉块增多。

5.7 起下钻操作规范

为减少起下钻中的复杂情况，制定合理的起下钻操

作规范。起下钻前对设备进行全面的检查，确保所有设备状态良好，避免起下钻中因设备检修造成井下复杂，甚至卡钻。起钻前要充分循环干净井眼，严格控制起钻速度，避免因抽汲作用造成井壁失稳，起钻遇卡以下放为主，避免上提吨位过大直接卡死钻具。下钻控制好下放速度，遇阻不能超过50KN,下钻遇卡以上提为主，必要时在钻机能力和钻具允许条件下尽量上提钻具解卡，避免硬压导致卡钻。起下钻要及时灌浆，并核对灌浆量，确保井内液柱压力稳定。

6 处理效果

6.1 井壁稳定性提升

通过上调钻井液密度和把钻井液体系转化为新型聚胺钾石灰钻井液体系等措施，井壁稳定性得到了明显提升。泥浆密度从1.90 g/cm^{3}逐步上调至2.20g/cm^3，还引入了抑制性更强的钻井液体系，并严格控制失水及造壁性，这些措施增强了井壁的物理支撑与化学稳定性。密度上调后液柱压力增大了，减少了井壁垮塌的发生，起钻中未再出现严重的卡钻，说明井壁稳定性已明显好转。下钻遇阻划眼，能顺利通过原复杂井段，返出的掉块数量明显减少，验证了井壁逐步趋于稳定的效果。

6.2 施工困难降低

随着井壁稳定性提升，起下钻遇卡、遇阻情况明显减少，施工难度明显降低。采用新型钻井液体系和优化工程措施后，起钻遇卡现象大幅缓解，特别是在三开后期，起钻基本能够顺利完成，不用进行频繁划眼处理。由于钻井液封堵性能提高和物理支撑加强，井下掉块少了很多，这不仅减少了划眼，还降低了卡钻风险，保证了施工的连续性与安全性。总体来说，上述这些措施的应用明显改善了施工条件，为后面钻井施工的顺利开展奠定了良好的基础。

7 认识体会

7.1 垮塌形式与处理

井壁垮塌，掉块多，掉块大小不一，对钻井施工造成了很大的困难。在处理中，通过合理的提放吨位，避免了上提或下放吨位过大，造成严重卡钻。遇卡、遇阻不硬提硬压，通过划眼慢慢通过复杂井段。

7.2 划眼操作要点

划眼操作非常关键，通常要求正、副司钻操作，转盘扭矩要控制好，防止因扭矩过高造成卡钻。应以小扭矩慢慢破碎掉块的操作方法，划眼中遇到较大掉块时，应避免强行通过，应上提钻具，让大掉块落下，把大掉块赶到井底，在井底慢慢破碎并循环出去。这个方法不仅提高了划眼效率，还降低了卡钻风险。

7.3 泥浆性能调整

泥浆性能的调整对井壁稳定性具有很大的影响，调整泥浆性能要避免大起大落。在处理中，特别强调了对泥浆密度、失水及粘切的精细控制。

7.4 钻进转速控制

在井壁未稳定或刚稳定的情况下，钻进转速的控制也很重要。高转速会加剧钻具对井壁的扰动，可能会引发新一轮的垮塌。

7.5 遇阻划眼处理

针对沙溪庙组及千佛崖组井段遇阻的情况，总结出一条重要经验，即尽量避免反复划眼。由于这些地层软硬交错变化大，反复划眼可能导致井壁进一步失稳，形成更大的“大肚子”井段，增加处理难度。

7.6 顶驱安装作用

三开阶段安装顶驱对处理井下遇阻、遇卡问题发挥了重要作用。顶驱的使用不仅提高了起下钻操作的灵活性，还能在遇到复杂情况时迅速建立循环，避免因无法及时循环泥浆而导致的井下事故。

结论

高庙4井在施工中发生严重的井壁垮塌，造成起下钻经常遇卡、遇阻，划眼困难，甚至卡钻。针对井下复杂情况，现场采取了一系列综合性措施。泥浆方面，采用抑制性较好的新型聚胺钾石灰钻井液体系；使用不同粒径封堵材料搭配，提高钻井液的封堵性；逐步提升钻井液密度到2.20g/cm^{3}加强物理支撑；严格控制失水及造壁性。工程措施上，根据井下情况选择钻头、调整钻井参数，规范起下钻、划眼操作，避免因操作不当造成卡钻。成功解决了井壁垮塌的问题。

参考文献

[1]吴国超.D油田AN区块水平井钻井技术应用[J].西部探矿工程,2021,33(5):92-94.

[2]金晶;谢鑫.钻井工程质量评价体系及其应用[J].精细石油化工进展,2023,24(2):25-30.

[3]张勤.长庆气田储气库井大井眼钻井液技术[J].钻探工程,2023,50(2):71-78.