

彭水区块页岩气水平井防漏堵漏技术探讨

杨 力

(中国石化华东石油局, 江苏南京 210019)

摘要:渝东南彭水区块上部三叠系、二叠系地层灰岩发育,易出现溶洞性漏失;下部目的层志留系龙马溪组裂隙发育,钻进中常发生渗透性漏失及间歇性严重漏失。结合彭页 HF-1 井、彭页 2HF 井、彭页 3HF 井和彭页 4HF 井的钻井实践,分析了该区块的井漏特点和漏失原因,介绍了防漏堵漏技术和具体的施工措施,探讨了防漏堵漏技术方案。分析认为,彭水区块上部地层利用气体(空气)钻井防漏堵漏效果较好;下部地层漏失层位分布广泛且无规律,宜采用随钻堵漏和分级堵漏措施。进一步分析认为,提高对地质条件的认知程度、优化井身结构、优选钻井方式、使用合理的钻井液密度,可以降低井漏发生率;优选合理的堵漏浆配方、开展堵漏剂评价、制订科学的堵漏措施、规范钻井施工操作是解决漏失的主要手段。

关键词:页岩气 水平井 防漏 堵漏 彭水区块

中图分类号: TE28⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2013)05-0016-05

Leak Prevention and Plugging Techniques for Shale Gas Horizontal Wells in Pengshui Block

Yang Li

(East China Petroleum Bureau, Sinopec, Nanjing, Jiangsu, 210019, China)

Abstract: Rich in limestones, Triassic and Permian in Pengshui Block in southeastern Chongqing are prone to circulation lost through cavities; filtrating loss and intermittent severe circulation lost are frequently encountered during drilling through the target formation, Silurian Longmaxi, which is rich in fractures. From drilling practice of Well PY HF-1, PY 2HF, PY 3HF and PY 4HF, the features and reasons of circulation lost in this block were analyzed and leak prevention and plugging techniques and specific operation procedure were presented in this paper. Analysis showed that air drilling would be favorable for leak prevention and sealing in the upper formations of Pengshui Block, while leak sealing and layered sealing were suitable for lower formations in this area which has extensive and irregular thief zones. Further analysis indicated that better understanding on the geologic conditions, optimized casing program, drilling mode, and proper mud density could lower the incidence of circulation lost. Proper plugging formula, plugging agent evaluation, scientific plugging measures, and well specified drilling operation are the major means to solve circulation loss issues.

Key words: shale gas; horizontal well; leak prevention; sealing; Pengshui Block

渝东南彭水区块构造位于四川盆地东南缘,该区块地层自上而下依次为第四系,三叠系大冶组,二叠系长兴组、吴家坪组、茅口组、栖霞组和梁山组,志留系韩家店组、小河坝组和龙马溪组,奥陶系五峰组、临湘组和宝塔组。其中,志留系龙马溪组为主要的页岩气勘探层位。彭页 HF-1 井为中国石化华东石油局部署在该区块的第一口页岩气参数/评价井(水平井),之后,为探索不同构造部位、埋深、水平段长度、方位角条件下页岩气的富集和产能特征,进一步提高改造效果,相继部署了彭页 2HF 井、彭页 3HF 井和

彭页 4HF 井。这 4 口井在钻进过程中,出现的一个共同问题是井漏频发。为此,分析总结了该区块页岩气水平井的井漏特点和漏失频发的原因,探讨了防漏堵漏技术,提出了一些针对性的建议。

收稿日期: 2013-07-20; **改回日期:** 2013-09-05。

作者简介: 杨力(1964—),男,湖南临澧人,1984年毕业于武汉地质学院钻探工程专业,高级工程师,现主要从事石油钻井技术研究及相关管理工作。

联系方式: (025)58777239, yangli95098@sohu.com。

1 井漏特点

总体而言,彭水区块钻井过程中钻井液漏失主要表现为上部三叠系、二叠系地层灰岩发育,易出现缝洞性漏失;下部目的层志留系龙马溪组裂隙发育,钻进过程中存在渗透性漏失及间歇性严重漏失^[1]。

1.1 上部灰岩缝洞性漏失

从已钻 4 口井的情况来看,上部灰岩地层以失返性、溶洞性漏失为主,并呈以下特点:1)漏失井段长、漏点多、漏失点难以准确判断;2)钻进时出现放空现象;3)漏失岩性为高硬度灰岩,采用常规堵漏材料难以有效封堵;4)由于漏失严重,难以取得准确的地质资料,已有资料可参考性差。

1.2 下部页岩裂缝性漏失

彭水区块龙马溪组页岩具有很明显的层理结构特征(如彭页 HF-1 井龙马溪组岩心形貌见图 1),导致在地层被钻开后,很容易因应力的释放而产生裂缝、剥落掉块等现象,钻进中易漏失。具体来讲,漏失主要呈以下特点:

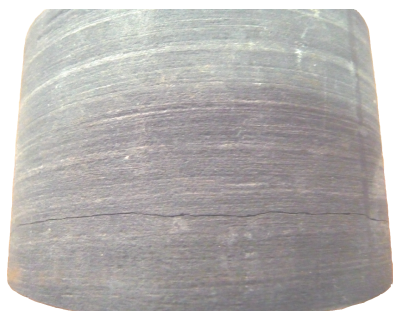


图 1 彭页 HF-1 井龙马溪组岩心

Fig. 1 Core from Longmaxi Formation in Well PY HF-1

1)漏失呈不规则性。该区块所钻 4 口井之间的地理位置均较近,但漏失层位和大小的差异却非常大。如彭页 3HF 井的漏失主要发生在井深 4 000 m 左右,漏速和漏失量均不大,而处于临近的彭页 4HF 井从井深 1 800 m 开始到 3 500 m 几乎连续漏失,2 000~3 000 m 井段出现了高漏速、大漏失量漏失,漏失量总计达 440 m³,占整口井漏失量的 88%。

2)主要漏失深度集中。从漏失量较大的彭页 HF-1 井、彭页 2HF 井和彭页 4HF 井的统计数据得知,这 3 口井的主要漏失都发生在井深 1 800~3 300 m 间,垂深为 1 900~2 300 m,均处于主要目的层龙马溪组地层内及附近,地层裂缝发育。

3)重复性漏失。一方面,由于需要做承压试验,有时不可避免地会将上部已堵或未漏薄弱地层压漏;另一方面,由于堵漏剂或堵漏工艺问题,导致 2 次漏失。如彭页 2HF 井,在水平段短起通井过程中出现多次微量漏失。

4)微小漏失频繁,大型漏失较少。4 口已钻井的主要漏失漏速都在 15 m³/h 以下,且频繁发生,漏失地层分布广泛,可见该区块的微裂缝发育良好。其中,彭页 HF-1 井在龙马溪组地层发生漏失 19 次,漏速小于 15 m³/h 的有 12 次;彭页 2HF 井发生漏失 15 次,漏速小于 15 m³/h 的有 11 次;彭页 4HF 井发生漏失 12 次,漏速小于 15 m³/h 的有 6 次。漏速超过 20 m³/h 的漏失,4 口井仅发生 8 次。

2 防漏堵漏技术及应用效果分析

2.1 上部灰岩地层防漏堵漏技术

与常规钻井随钻堵漏相比,气体钻井防漏堵漏效果十分明显。同时,气体钻井可大大提高机械钻速、缩短井漏处理时间、提高井眼质量、降低钻井成本。另外,采用气体钻井防漏还可节省钻井液材料、减小漏失对环境的影响。

针对彭水区块浅表地层易发生溶洞性漏失而上部地层易发生裂缝性漏失的特点,认为宜采用空气钻井方式。采用该方式不仅能很好地解决井漏问题,还在防斜打直、提速提效方面有很大的技术优势。因此,彭页 2HF 井、彭页 3HF 井和彭页 4HF 井在一开、二开井段均采用了空气钻井方式,其井身结构设计如图 2 所示。

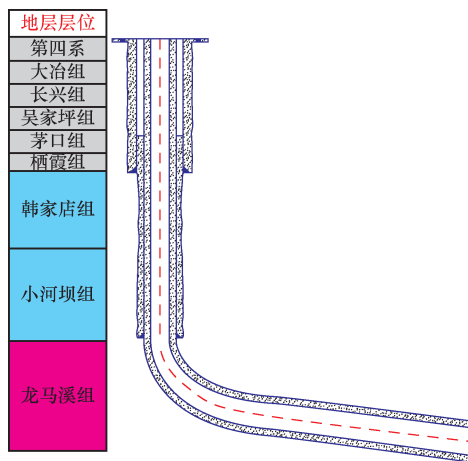


图 2 彭页 2HF 井、彭页 3HF 井和彭页 4HF 井的井身结构
Fig. 2 Casing program of Well PY 2HF, PY 3HF and PY 4HF

3口井的现场应用表明,平均机械钻速达到4~15 m/h,与常规钻井(1.0~3.6 m/h)相比提速明显;直井段最大井斜角由彭页1井的 15.84° 降至小于 4.00° 。可见,空气钻井不仅很好地解决了上部灰岩地层的缝洞性漏失问题,也大幅度提高了钻井效率和井眼质量。

但是,气体钻井也存在很多不足。如气体钻井中,往往会遇到地层出水的情况,地层出水后水将岩屑粘结在一起在钻杆上形成泥包,引起井眼缩小、循环阻力增大,严重时发生卡钻等复杂情况,限制气体钻井优势的发挥^[2]。当出现该情况时,不得不改为常规钻井,在该钻进条件且地层压力较低的情况下,可采取低密度膨胀型堵漏浆来解决缝洞性漏失。低密度膨胀型堵漏浆由特殊的化学处理剂和多种化学堵漏剂、惰性堵漏剂组成,采用不同类型、不同相对分子质量的聚合物作为增黏降滤失剂,并采用一种或多种有机材料做为悬浮载体,利用不同粒径的无机成分及凝结成分作为填充加固剂,以低分子聚合物为膨胀剂。另外,在堵漏浆中加入流性调节剂,并引入密度调节剂,使堵漏浆具有很宽的密度范围,能根据漏失程度加入不同量、不同粒径的桥堵剂,进一步提高堵漏浆在漏失通道中的流动阻力。当堵漏浆进入漏失通道以后,在地层温度和地层压力的作用下,各组分之间不同程度地发生物理和化学反应,充分发挥各组分之间的协同效应,堵漏浆在进入漏失通道一定深度后首先发生滞留、堆积、架桥、填充加固,并形成封堵率高、填充加固能力强的承压封堵带,从而提高漏失地层的胶结能力及封堵承压能力,达到承压堵漏的目的^[3]。彭页3HF井现场使用低密度膨胀型堵漏浆进行了2次堵漏施工,使该井严重漏失井段成功封堵,并较快地恢复正常钻进,取得了良好的应用效果。

2.2 下部龙马溪组地层防漏堵漏技术

2.2.1 防漏堵漏基本措施^[4]

1) 钻井过程中,要求钻井液具备足够的防漏特性,保证钻井液中具有一定浓度的堵漏材料,并做好钻井液体积监测工作。

2) 发生漏失后,根据漏失量大小确定堵漏剂浓度,当需要泵入高浓度堵漏剂时,有必要起钻下入光杆钻具泵入堵漏剂,如果使用螺杆钻具(旋转导向系统)可能会使堵漏剂中的堵漏材料损坏仪器。在漏速较小的情况下,可以在原有钻具组合

中泵入堵漏剂。

3) 下钻到漏失段上部,开始低泵冲循环,这就是先利用液柱压力进行静堵的方式。

4) 无漏失情况下,缓慢提高泵速,使堵漏浆进入裂缝。

5) 关井,按一定压力挤压,增强井筒强度。若所钻地层的承压能力较弱,则为了防止憋压而压破地层,可采用不关井静压堵漏的方式。

2.2.2 随钻防漏措施

为了充分保护页岩气储层,使井壁稳定,强化钻井液的抑制性、造壁性、流变性和润滑性,防止泥页岩水化垮塌和发生卡钻事故,页岩气水平井一般多选用高密度油基钻井液;为了防止钻进中的裂缝性漏失,宜采用随钻防漏措施。

但是,钻进过程中要特别注意油基钻井液的防漏特性,减少钻井液的损耗,保证钻井液中具有一定浓度的堵漏材料。与此同时,要实时监测钻井液体积,以及时发现钻井液体积的变化。当钻遇较大裂缝而随钻防漏不能满足需要时,可通过架桥材料在近井壁或进入地层内部一定深度的喉道处堆积、桥接,使纤维材料构成拉筋,小颗粒材料填充其中,逐渐形成泥饼,阻止漏失浆液的进一步进入。一般可采用的随钻堵漏浆配方为:井浆+3%刚性封堵剂+5%纤维封堵剂+5%复核堵漏剂+6%橡胶颗粒+3%棉籽壳+3%核桃壳(C)+3%云母片+2%降滤失剂。

2.2.3 分级堵漏措施

彭页HF-1井在垂深1800 m以浅,地层以窄裂缝为主,易发生渗透性漏失(漏速 $<3\text{ m}^3/\text{h}$),进入造斜段后就将随钻堵漏材料(主要采用BARACARB 25、BARACARB 50、BARACARB 150、BAROFIBRE和BAROFIBRE O等)加入油基钻井液中。在发生渗透性漏失时,加入清扫-堵漏一体化浆液(其在油基钻井液中的质量浓度为 $114\sim 456\text{ kg}/\text{m}^3$)进行随钻堵漏,其基本配方为 $22.8\text{ kg}/\text{m}^3$ BARACARB 150 + $22.8\text{ kg}/\text{m}^3$ BARACARB 5 + $22.8\text{ kg}/\text{m}^3$ BARSA。堵漏剂进入环空后,观察漏失情况,如果不漏失则继续钻进,堵漏失效则换用更大颗粒的堵漏材料。微漏地层使用该细颗粒堵漏材料堵漏效果较好。

彭页HF-1井在井深1800 m以深,裂缝较宽,发生5次漏失(漏速 $10\sim 60\text{ m}^3/\text{h}$),普通细颗粒堵漏材料已不能起到很好的堵漏效果,因此选用颗粒较大的

BARACARB 600、BARACARB 1200 和 BAROFIBRE COARSE 等进行封堵。例如,该井钻至井深 2 441 m 时出现漏失,漏速 40 m³/h,配制 14 m³ 较低浓度的堵漏浆泵送到井底,其配方为 82.65 kg/m³ BRAOFIBRE+19.95 kg/m³ BARACARB 50+19.95 kg/m³ BARACARB 150+96.90 kg/m³ BARACARB 600+85.50 kg/m³ BAROFIBRE O,提钻至堵漏浆柱上方后,静止 30 min 让堵漏浆进入漏层,后小排量开泵循环后分步提高排量至钻进排量,仍存在漏失,于是将堵漏浆中大颗粒堵漏材料 BARACARB 600 的质量浓度提高至 167.01 kg/m³、BAROFIBRE O 的质量浓度提高至 361.95 kg/m³,在没有漏失显示的情况下做挤压试验,压力维持在 1.5 MPa 左右,堵漏成功。另外几次中大型漏失,均通过提高堵漏浆中堵漏材料的质量浓度而得以成功封堵,可见堵漏材料质量浓度高的堵漏浆对于较宽裂缝地层堵漏效果明显。

彭页 2HF 井在井深 2 081、2 092 和 2 094 m 处出现 20~44 m³/h 的裂缝性漏失,也采用了分级堵漏措施:根据漏失程度不同,首先采用核桃壳、云母片等大颗粒刚性堵漏材料配制质量分数 15%~30% 的堵漏浆并注入井内,上提立柱静止堵漏,小排量循环观察漏失情况;然后根据漏失情况,在油基钻井液中加入刚性封堵剂与页岩封堵剂等随钻堵漏材料,很好地控制了页岩层的裂缝性漏失。

3 防漏堵漏技术方案优化探讨

对于彭水区块上部三叠系、二叠系地层缝洞性漏失,目前主要的解决办法是气体(空气)钻井。但在常规钻井条件下堵漏效果不太理想,因为现有套管层次有限,不能及时封固复杂地层,漏失多与井壁坍塌、井喷、卡钻同时发生,不利于堵漏施工。下部龙马溪组地层裂隙发育,漏失层段多,缺乏有效的预测漏层位置的手段,即使发生漏失亦很难确定漏层的准确位置,往往造成堵漏周期长、反复漏失、喷漏同存等复杂情况^[5]。因此,笔者建议采取以下方法加以改善。

3.1 优化井身结构

彭页区块已钻 4 口井均采用三级井身结构:一开采用空气钻井方式,钻穿二叠系、三叠系灰岩地层,解决浅表地层及上部灰岩地层存在的井漏问题;二开钻至造斜点上部 30 m,为降低施工风险,避开大尺寸造斜井段,采用空气钻井治理漏失,同时提高

钻井效率;三开钻至完钻井深。但 4 口井在龙马溪组均存在井漏现象,而且漏失量大、漏点多、堵漏时间长,导致钻井成本增加。彭页 2HF 井漏速较大的 3 个点,主要在龙马溪组中上部造斜井段,井深分别为 1 903.39、2 048.77 和 2 101.85 m,从地层岩性上分析,为灰质泥岩、粉砂质泥岩地层。彭页 3HF 井的漏失点处于水平段,井深分别为 2 991.54、2 993.22 和 2 993.54 m,主要为龙马溪组中下部优质页岩层段(从该井的地层岩性看,在龙马溪组中部同样存在一段灰质泥岩、泥岩及粉砂质泥岩地层,只是该井相对彭页 2HF 井、彭页 4HF 井,地层埋深加深,压实程度更好,因此在该井没有出现漏失现象)。彭页 4HF 井漏速较大的 3 个点,其中 2 个点在井深 1 959.35 和 1 992.90 m 处,为灰质泥岩、泥岩及粉砂质泥岩地层;另外 1 个点位于水平井段。

通过分析以上漏失点的情况,为了更好地解决造斜段和水平段的漏失问题,可考虑将技术套管下至二开造斜段(井斜角 60°左右),以封固龙马溪组中部灰质泥岩、泥岩及粉砂质泥岩漏失层。优化后的井身结构如图 3 所示。

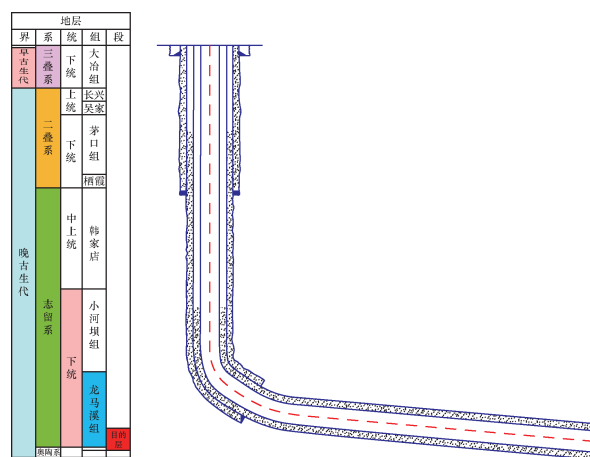


图 3 优化后的井身结构

Fig. 3 Optimized casing program

3.2 合理调整钻井液性能

在确定钻井液密度时,应使作用于井壁上的压力小于该井段地层的最小破裂压力和漏失压力,大于地层坍塌压力和孔隙压力。孔隙、裂缝、溶洞十分发育的地层,由于钻井液进入地层的阻力很小,地层的漏失压力与孔隙压力十分接近;易破碎地层,地层的破裂压力、漏失压力、孔隙压力三者十分接近。因此,为防止井漏的发生,应选用合适的钻井液密度,使其所产生的液柱压力尽可能接近地层孔隙压力,

实现近平衡钻井。

钻井液具有合理的黏度、切力同样可有效预防井漏的发生。对于地层松软、压力低的浅井段,采用大直径钻头钻进时,应选用低密度高黏切钻井液,以增大漏失阻力、防止井漏;对于深井的高压小井眼井段或深井压力敏感层段,应选用低黏切钻井液,以尽可能降低环空循环压耗,防止井漏^[6]。

3.3 规范钻井施工操作

钻井中施工操作不当,如起下钻速度过快,引起抽汲压力较大,影响井壁稳定性,可能导致井底压力失衡、发生漏失等复杂情况。因此,建议在钻井施工过程中注意以下问题^[7]:

1) 控制起下钻速度。钻井过程中,严格控制起下钻速度,防止抽汲、激动压力过大导致复杂情况,建议将起下钻速度控制在 5 m/min 以内,特别进入水平段以后起下钻要根据指重表的变化调整起下钻速度,防止压力变化造成井壁不稳定。

2) 防止钻柱与井壁碰撞。钻进中,钻柱常常和井壁发生碰撞,从而导致井壁掉块现象,但要尽量避免该现象的发生,因为良好的井眼条件是处理漏失的保障。

3) 控制钻井泵排量。如果钻井液排量过大,高速冲击井壁,则容易引起井下故障的发生。实钻过程中,排量应控制在 27~28 L/s 之间。

3.4 优化防漏堵漏措施

从彭水区块 4 口井的堵漏实践看,随钻堵漏是最节省堵漏时间的技术措施,而选择合适的随钻堵漏材料能够降低漏失发生的概率。当然,应积极开展不同堵漏措施的适用性研究,施工中结合单次漏失特点,优选最合适的堵漏措施,以达到减少堵漏量、缩短堵漏时间的目的^[8]。总而言之,应该做到以下几点:1) 全力开动固控设备清除有害固相,防止施工过程中钻井液密度自然升高,因压差过大导致漏失;2) 适当提高钻井液黏度,增大钻井液在地层孔隙中的流动阻力,达到易渗地层中的止漏效果;3) 钻进预计的漏层前,加入粒径小的随钻堵漏剂,发现漏失时增大复合堵漏剂的加量。

4 结 论

1) 彭水区块页岩气水平井井漏的主要特点是,上部三叠系、二叠系灰岩地层为缝洞性漏失;下部龙马溪组地层为裂缝性漏失,漏失层位分布广泛且无

规律。上部地层利用气体(空气)钻井防漏堵漏效果较好,下部地层应采用随钻堵漏和分级堵漏措施。

2) 处理井漏的根本在于预防。因此,提高对地质条件的认知程度、优化井身结构、优选钻井方式、使用合理的钻井液密度,降低井漏概率,是减少彭水区块井漏的基本措施。

3) 优选合理的堵漏浆配方、开展堵漏剂评价、制定科学的堵漏措施、规范施工操作是解决漏失的主要手段。

参 考 文 献

References

- [1] 姜政华,童胜宝,丁锦鹤,彭页 HF-1 页岩气水平井钻井关键技术[J]. 石油钻探技术,2012,40(4):28-31.
Jiang Zhenghua, Tong Shengbao, Ding Jinhe. Key technologies adopted for shale gas horizontal Well Pengye HF-1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(4): 28-31.
- [2] 侯树刚,刘新义,杨玉坤. 气体钻井技术在川东北地区的应用[J]. 石油钻探技术,2008,36(3):24-28.
Hou Shugang, Liu Xinyi, Yang Yukun. Application of gas drilling technology in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 24-28.
- [3] 王宏超. 低密度膨胀型堵漏浆在湘页 1 井的应用[J]. 石油钻探技术,2012,40(4):43-46.
Wang Hongchao. Application of expandable low-density slurry plugging technique in Well Xiangye 1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(4): 43-46.
- [4] 闫丰明,康毅力,孙凯,等. 裂缝-孔洞型碳酸盐岩储层暂堵性堵漏机理研究[J]. 石油钻探技术,2011,39(2):81-85.
Yan Fengming, Kang Yili, Sun Kai, et al. Mechanism of temporary sealing for fractured-vuggy carbonate reservoir[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 81-85.
- [5] 臧艳彬,王瑞和,张锐. 川东北地区钻井漏失及堵漏措施现状分析[J]. 石油钻探技术,2011,39(2):60-64.
Zang Yanbin, Wang Ruihe, Zhang Rui. Current situation analysis of circulation lost and measures in Northeast Sichuan Basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 60-64.
- [6] 徐同台,刘玉杰. 钻井工程防漏堵漏技术[M]. 北京:石油工业出版社,1997:6-7.
Xu Tongtai, Liu Yujie. Drilling engineering lost circulation resistance and control technology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 6-7.
- [7] 任茂,苏俊霖,房舟,等. 钻井防漏堵漏技术分析与建议[J]. 钻采工艺,2009,32(3):29-30.
Ren Mao, Su Junlin, Fang Zhou, et al. Analysis of antileak and sealing technology[J]. Drilling & Production Technology, 2009, 32(3): 29-30.
- [8] 张希文,李爽,张洁,等. 钻井液堵漏材料及防漏堵漏技术研究进展[J]. 钻井液与完井液,2009,26(6):74-76,79.
Zhang Xiwen, Li Shuang, Zhang Jie, et al. Research progress on lost circulation materials and lost circulation control technology[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2009, 26(6): 74-76, 79.