

石油技术

页岩气水平井井壁稳定影响因素与技术对策

刘洪^{1,2,3} 刘庆⁴ 陈乔^{5*} 王森⁵ 王莉莎⁵

(国土资源部页岩气资源勘查重点实验室¹, 重庆市页岩气资源与勘查工程技术研究中心²,

油气资源与探测国家重点实验室重庆页岩气研究中心³, 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042;

川庆钻探工程有限公司钻采工程技术研究院⁴, 广汉 618300; 中国科学院重庆绿色智能技术研究院⁵, 重庆 401122)

摘要 国内绝大多数页岩气水平井在页岩层段钻井过程都发生过坍塌, 严重影响了钻井周期及后续压裂施工。由于页岩气水平井一般较长, 普遍在 1 000 m 以上; 而且页岩地层层理发育, 产状多变, 岩石性质硬脆, 水敏性矿物含量高, 很容易发生井漏坍塌等问题。通过分析认为: 影响页岩气水平井井壁失稳的因素主要包括页岩的综合特性、地质力学因素、钻井液的综合性质及其他工程因素。解决页岩气水平井井壁失稳的首要途径是认识层理页岩的特殊力学特性, 重点研究不同钻井液体系对其力学特性的影响程度及影响规律(也是钻井液优选的重要依据之一)。再次, 需要对地应力场进行综合研究。最后, 通过采用合理的井壁稳定力学模型获得控制井壁失稳的钻井液密度范围, 配合使用快速高效钻具, 才能最大程度确保井壁稳定。

关键词 页岩气 水平井 层理面 力学特性 钻井液 井壁稳定

中图分类号 TE243; **文献标志码** A

页岩气是一种重要的非常规天然气资源。美国和加拿大已实现页岩气商业性开发。目前我国页岩气产业尚处于起步阶段。我国页岩气勘探工作主要集中在四川盆地及其周缘、鄂尔多斯盆地、西北地区主要盆地。中石油和中石化是页岩气勘探开发的主力军。中石油在四川盆地的页岩气区块主要有三个, 分别为长宁、威远以及富顺-永川区块。截至 2012 年 11 月底, 中石油西南油气田公司已生产并销售页岩气 1 125.3 万 m³。根据中石油页岩气勘探开发部署, 2013 年还将重点在西南油气田部署页岩气水平井 36 口, 当年建产能 2.73 亿 m³[1]。中石化在重庆涪陵地区的大安寨页岩气项目未来将建成 11 亿 m³ 的产能区块。预计在 2014

年产量达 3 亿 m³, 十二五期间可达 10 亿 m³[2]。页岩气在成为独立矿种后, 国土资源部为了加快和推进页岩气勘查开发, 逐步放开页岩气市场。已累计完成两批次页岩气探矿权出让招投标工作, 共有 21 个区块和 18 家中标企业, 其中一个区块为中石化中标所得。据了解, 除中石油和中石化外, 其他企业的页岩气勘查工作还处于初级阶段, 主要是对区块的地质调查, 如二维和三维地震, 有少数区块钻了参数井。

水平钻井技术和大型水力压裂技术是实现页岩气成功开发的两大关键技术。本文将重点探讨水平钻井过程中的井壁失稳问题。水平钻井技术对我们来讲其实并不陌生, 我国研究人员从 1990 年开始对水平井钻井技术开展科技攻关, 尤其在“八五”和“九五”期间取得了丰硕的成果[3-8]。在页岩气开发之前, 水平井主要位于砂岩地层或碳酸盐岩地层, 井下复杂情况相对页岩地层水平井段来讲较少。由于页岩地层层理、裂缝发育, 且具有一定的化学活性, 在水平钻井过程中, 常出现井漏和垮塌等复杂事故, 增加了钻井时间, 提高了钻井成本。

2013 年 6 月 17 日收到

重庆市科技攻关计划项目

(cstc2012ggC90002) 资助

第一作者简介: 刘洪(1981—), 博士, 研究方向: 石油工程岩石力学及井壁稳定。E-mail: liuhong_swpi@163.com。

* 通信作者简介: 陈乔(1983—), 男, 博士。助理研究员。研究方向: 岩石孔隙结构特征与声学特性。E-mail: chenqiao@cigit.ac.cn。

本文将对页岩气水平井井壁失稳的影响因素进行分析,并提出有针对性的稳定井壁技术措施。

1 页岩气水平井井壁失稳表现

截至2013年一季度末的统计数据表明,全国已累计施工钻井80余口,其中水平井20余口^[9]。由于页岩气井水平段一般较长,普遍在1 000 m以上,而且页岩地层层理发育,产状多变,岩石性质硬脆,水敏性矿物含量高,很容易发生井漏坍塌等问题^[10-18]。目前的钻井情况表明,绝大多数页岩气水平井在页岩层段钻井过程都发生过坍塌,严重影响了钻井周期及后续压裂施工^[19]。

2 页岩气水平井井壁稳定影响因素分析

影响井壁失稳的因素主要有内在因素和外在因素。内在因素包括地质力学因素和地层岩石的综合性质,外在因素主要是人为的因素,比如使用钻井液的综合性质,钻井工程因素等。根据研究目的不同,国内外专家学者也提出了其它的分类方法。如将其分为力学因素、化学因素和工程因素^[20]。由于这些因素之间相互作用,相互影响,使井壁稳定问题研究变得非常复杂,这也使得基于多场耦合理论,综合考虑力学、化学、热力学等多方面的井壁稳定性研究逐渐流行^[21-31]。笔者认为,除了一些钻井工程因素外,目前针对井壁稳定问题的研究最终都可以归结到一套井壁稳定力学模型上去,模型中的参数即是这些因素的体现。下面将结合井壁稳定研究的一般思路,对影响井壁稳定的因素,包括地层岩石的综合性质、地质力学因素、钻井液的综合性质及其他工程因素等分别阐述。

2.1 地层岩石的综合性质

主要是岩石的强度和变形特征。其影响因素包括岩石的结构、矿物组成及含量、孔隙度、含水量、压实情况等。岩石的组构决定了在开展井壁稳定性研究时是应该选择均质模型、裂隙模型还是层理模型;岩石的变形特征决定了是应该选择线弹性、弹塑性还是塑性本构关系^[32-35]。

2.2 地质力学因素

主要是地应力的大小和方向^[36-40]、地层孔隙压

力、地层温度等。体现这些因素的各个参数在目前的井壁稳定力学模型中基本都有用到。

2.3 钻井液的综合性质

其最终体现是对岩石性质和应力状态的影响。钻井过程中,由于钻井液滤液的侵入(压差作用、化学势差作用等引起钻井液滤液渗流、扩散进入地层,改变地层孔隙压力,岩石的强度和变形特征(主要针对富含黏土矿物的地层岩石)、地层孔隙压力及地层温度都会受到影响^[41-54]。而对钻井液综合性质的优化,比如添加剂的优选、钻井液的选型等都是为了最终削弱这种影响。

对于其他工程因素,比如钻井液的环空返速对井壁的冲刷作用、循环波动压力、起下钻的抽汲压力和激动压力、井眼轨迹(其表征参数井斜角和方位角可体现在井壁稳定力学模型中)、井眼裸露的时间(井壁失稳的时间效应,或者叫井壁坍塌周期^[55-58])、钻柱对井壁的摩擦和碰撞等,都是可以通过人为方式调节的。

针对页岩地层水平井来讲,导致井壁失稳的原因不外乎也是上述四大类。由于页岩的独特层理结构,导致其强度特性具有极强的非均匀性,现有的强度测试方法需要改进,井壁稳定力学模型也有待优选。在地质力学因素方面,地应力是影响井壁失稳的最重要因素。除了中石油和中石化的已有页岩气区块外,国土资源部组织的两次页岩气探矿权出让区块都还处于地质调查工作阶段,对地层应力大小和方向的研究还比较欠缺。在钻井液的使用方面,在页岩地层段,为了防止页岩的水化作用,目前偏向于使用油基钻井液,但仍存在性能不稳定、使用成本高、环保压力大、钻井过程中出现井壁垮塌、漏失等现象^[11]。

3 页岩气水平井井壁稳定技术措施

3.1 加强页岩原岩及其与不同钻井液体系接触后的力学特性研究

页岩由于层理发育,其力学特性具有极强的非均匀性。常规的力学实验手段一般采用单轴或三轴岩石力学实验系统,通过压缩的方式来求取岩石的强度参数,分析其变形破坏特性。层理面法向与

岩心轴向夹角不同的页岩岩心往往具有不同的力学特性^[59-63]。尤其在水平钻井过程中,应了解清楚页岩层理的走向及与水平井筒轴向之间的关系,以在室内开展有针对性的力学实验。目前针对页岩层理强度的研究还较少。已有研究表明,沿层理面的剪切滑移是页岩地层井壁失稳的主要机理^[59,60]。所以针对层理面剪切强度的研究非常重要。可以采用直剪仪对层理面的抗剪切强度进行测试。

此外,钻井液对页岩力学特性的影响不可忽视。水基钻井液对页岩的强度具有一定的弱化效应,这种弱化程度常常可以采用对比分析页岩原岩及其与钻井液接触后的强度测试结果得到^[64-71]。页岩强度特性受钻井液的影响必须通过一系列可以重复的岩心对比实验才能看出,而对于非均质性较强的页岩来说,如何保证取心重复性是一个问题。再者,页岩强度的弱化还得考虑时间效应,在实际应用中,结合钻进速度,可以对钻井液弱化后的页岩强度进行实时预测。

在采用油基钻井液条件下,即使具有较强的化学抑制能力,但其滤液的侵入仍然可能造成层理面强度的减弱,所以仍需要对页岩层理强度的弱化进行测试评价^[72]。

3.2 加强页岩地层地应力场研究

地应力场是影响页岩气水平钻井井壁失稳的重要因素。目前的页岩气水平井倾向于沿着最小水平地应力方向钻进,这有利于压裂时裂缝与井筒垂直相交或交错^[73]。

国土资源部组织的两次页岩气探矿权出让区块,绝大部分位于山区,地层倾角较大,构造应力强。在前期地质调查直井钻井过程中,基本都开展了井下取心。应利用这些井下岩心开展地应力室内测试,再结合后续的探井小型压裂试验对地应力进行校正,如果能够结合地震资料,对研究工区整套目的层的地应力分布进行研究则最好。随着钻井数量的增多,还应该对地应力场进行修正。

目前对于地应力的定量研究基本都是基于均质各向同性地层而言的,而页岩地层属于横观各向同性体,对于页岩井壁稳定问题仍采用均质模型似乎不尽合理。目前已有学者针对这一问题开展了

研究,并提出了不同层理产状下横向各向同性地层地应力的计算模型^[10,74,75]。不过这一问题还有待深入研究,也有待更多的实钻资料验证。

3.3 优选页岩井壁失稳力学模型

以孔隙弹塑性力学为基础的均质地层井壁稳定性分析理论和计算方法基本成熟,而具有显著结构性(层理、裂缝)的井壁失稳问题仍是研究的重点和难点^[32]。目前针对页岩地层的井壁失稳问题研究,普遍采用的是层理性地层模型,即弱面失稳模型^[76-83]。对于存在较多裂隙的页岩地层,这一模型并不适用。此外,在以往针对泥页岩地层井壁失稳问题研究中,较多地采用了力学化学耦合模型,考虑了钻井液的扩散、渗流、离子运移等因素对地层孔隙压力的影响。在页岩地层井壁失稳问题研究中,怎样来考虑这些因素有待研究。

3.4 优选钻井液体系

油基钻井液的应用可以在很大程度上克服页岩地层钻井过程中的井壁失稳问题。目前的页岩气水平钻井也倾向于采用油基钻井液。但油基钻井液存在使用成本高,环保压力大等问题,且仍然可能出现井壁垮塌现象^[11]。钻井液滤液渗入地层初期对井壁稳定性影响甚为严重^[72]。在地层裂缝发育的区块,钻井液漏失会造成很大的损失,而且油基钻井液堵漏技术尚不完善,很多传统的堵漏材料在油基钻井液中无法使用。此外,油基钻井液的优选还必须考虑其对页岩层理面强度的影响程度。

为了满足安全钻井和环境保护的需要,未来页岩气水平井钻井液技术的研究应围绕高效低成本水基钻井液和低毒油基钻井液展开^[84,85]。

3.5 减少钻井工程因素对井壁失稳的影响

这里主要考虑钻柱对井壁的摩擦和碰撞以及井眼的裸露时间。前者目前最好的解决方式是采用旋转钻井导向工具。但这一工具主要靠国外技术服务商提供,技术成本较高。国内胜利油田钻井院经过多年的艰苦攻关,取得了近钻头地质导向技术的突破,获得了中石化技术发明一等奖,目前已完成 15 口井的现场应用^[86],未来有望在国内推广使用。

由于页岩气水平井水平段一般较长,普遍在 1 000 m 以上,所以钻井时间相对较长。页岩井壁坍塌具有一定的时间效应。一般来讲,随着时间的延长,井壁的稳定性逐渐减弱。钻井周期过长,即使钻井过程中没有出现复杂问题,在后期通井时也可能面临大量页岩掉块^[60]。为了避免页岩地层与钻井液接触时间过长,首先要做好前期室内分析工作,在现场钻井液条件下研究其对页岩强度弱化及对地层孔隙压力影响的时间效应,预测钻井过程中坍塌压力随钻井时间的变化规律,再者,通过优选钻头及其他钻具,加快钻井速度,尽量减少页岩地层在钻井液中的浸泡时间。

4 结论

(1)影响页岩气水平井井壁失稳的原因与常规地层相同,主要有页岩的综合特性,地质力学因素,钻井液的综合性质及其他工程因素。

(2)解决页岩气水平井井壁失稳的首要途径是认识层理页岩的特殊力学特性,重点研究不同钻井液体系对其力学特性的影响程度及影响规律(也是钻井液优选的重要依据之一);再次需要对地应力场进行综合研究;最后通过采用合理的井壁稳定力学模型获得控制井壁失稳的钻井液密度范围,配合使用快速高效钻具,才能最大程度确保井壁稳定。

参 考 文 献

- 石化双雄加大在四川页岩气开发力度. <http://biz.xinmin.cn/2012/12/27/17858364.html>, 2012-12-27
- 中石化:四川页岩气产量明年可达 3 亿立方米. http://finance.sina.com.cn/chanjing/yjsy/20130122/00001435764_5.shtml, 2013-01-22
- 范志军,李玉城. 水平井随钻地质跟踪导向技术应用实践. 录井工程, 2007;18(4):22—25
- 向冬梅,张文波. 新疆油田水平井开发应用现状及前景展望. 西部探矿工程, 2003;2:60—62
- 王忠生,陈作,万俊峰,等. 四川定向水平井工艺技术的现状及发展方向. 天然气工业, 2000;20(6):60—62
- 吴敬涛,胡文,魏文忠,等. 滨古 14-侧平 1 侧钻短半径水平井钻井技术. 石油钻采工艺, 2000;22(2):24—26
- 苏义脑,孙宁. 我国水平井钻井技术的现状与展望. 石油钻采工艺, 1996;18(6):14—20
- 赵子仁,张文波,吕新忠. 我局水平井钻井技术首次在塔里木油田成功应用. 新疆石油科技, 1996;6(1):1—6
- 车长波. 正视中美差异 探索我国的页岩气发展之路. <http://www.chinabidding.com/zxzx-detail-218562395.html>, 2013-03-20
- 袁俊亮,邓金根,蔚宝华,等. 页岩气藏水平井井壁稳定性研究. 天然气工业, 2012;32(9):66—70
- 刘伟,伍贤柱,韩烈祥,等. 水平井钻井技术在四川长宁—威远页岩气井的应用. 钻采工艺, 2013;36(1):114—115
- 王金磊,黑国兴,赵洪学. 昭通 YSH1—1 页岩气水平井钻井完井技术. 石油钻探技术, 2012;40(4):23—27
- 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. 石油钻探技术, 2012;40(4):28—31
- 崔思华,班凡生,袁光杰. 页岩气钻完井技术现状及难点分析. 天然气工业, 2011;31(4):72—75
- 王华平,张铎. 威远构造页岩气钻井技术探讨. 钻采工艺, 2012;35(2):9—11
- 李功玉,王华平. 泥浆盖帽强钻技术在威远页岩地层的应用. 钻采工艺, 2012;35(1):1—2
- 沈建中. 宣页 1 井钻井技术难点及对策. 石油钻探技术, 2011;39(3):41—45
- 赵峰,唐洪明,孟英峰,等. 微观地质特征对硬脆性泥页岩井壁稳定性影响与对策研究. 钻采工艺, 2007;30(6):16—18
- 陈平. 美国页岩气开发已化为水平井开发. <http://xianhuo.hexun.com/2012-12-03/148638507.html>, 2012-12-03
- 邓虎. 裂缝性泥页岩的水化稳定性研究及其应用. 西南石油大学, 2004
- 王炳印,邓金根,宋念友. 力学温度和化学耦合作用下泥页岩地层井壁失稳研究. 钻采工艺, 2006;29(6):1—4
- 王倩,周颖曹,王刚,等. 泥页岩井壁稳定流固耦合模型. 石油勘探与开发, 2012;39(4):475—480
- 王京印,程远方,赵益忠,等. 多场耦合作用下泥页岩地层钻井液安全密度窗口预测. 钻井液与完井液, 2007;24(6):1—3
- 邓金根,郭东旭,周建良,等. 泥页岩井壁应力的力学-化学耦合计算模式及数值求解方法. 岩石力学与工程学报, 2003;22(增 1):2250—2253
- 徐加放,邱正松. 泥页岩水化-力学耦合模拟实验装置的研制. 中国石油大学学报(自然科学版), 2006;30(3):63—66
- 邓虎,孟英峰. 泥页岩稳定性的化学与力学耦合研究. 石油钻探技术, 2003;31(1):33—35
- 姜志强. 基于力-化耦合的泥页岩井壁稳定性研究. 内蒙古石油化工, 2009;10:205—206
- 王倩,王刚,蒋宏伟,等. 泥页岩井壁稳定耦合研究. 断块油气田, 2012;19(4):517—521
- 袁俊亮,邓金根,谭强,等. 硬脆性泥页岩渗流-应力耦合井壁坍塌压力计算方法. 科学技术与工程, 2013;13(8):2053—2056
- Chen Guizhong, Chenevert M E, Sharma M M, et al. A study of wellbore stability in shales including poroelastic, chemical, and thermal effects. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2003;38:167—176
- Ghassemi A, Diek A. Linear chemo-poroelasticity for swelling shales: theory and application. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2003;38:199—212

- 32 蔚宝华,王治中,郭 彬. 泥页岩地层井壁失稳理论研究及其进展. 钻采工艺,2007;30(3):16—20
- 33 Gallant C, Zhang Jianguo, Wolfe C A, *et al.* Wellbore stability considerations for drilling high-angle wells through finely laminated shale; a case study from terra nova. Paper SPE 110742, 2007
- 34 Abass H, Shebatalhamd A, Khan M, *et al.* Wellbore instability of shale formation; Zuluf field, Saudi Arabia. Paper SPE 106345, 2006
- 35 Nguyen V, Abousleiman Y, Hoang S. Analyses of wellbore instability in drilling through chemically active fractured rock formations; nahr Umr Shale. Paper SPE 105383, 2007
- 36 张文波,周鹏高,李亚双,等. 不同地应力场对大斜度井井壁稳定规律的影响. 天然气技术,2010;4(1):58—60
- 37 李玉飞,付永强,唐 庚,等. 地应力类型影响定向井井壁稳定的规律. 天然气工业,2012;32(3):78—80
- 38 刘向君,罗平亚,孟英峰. 地应力场对井眼轨迹及稳定性的影响研究. 天然气工业,2004;24(9):57—59
- 39 智慧文. 元坝地应力方向与水平井井壁稳定性关系分析. 新建石油天然气,2012;8(2):25—27
- 40 秦黎明,李永杰,吴海燕,等. 川东北元坝地区元坝 11 井地应力建模和井壁稳定性分析. 科技导报,2012;30(34):45—50
- 41 蔚宝华,卢晓峰,王炳印. 高温井地层温度变化对井壁稳定性影响规律研究. 钻井液与完井液,2004;21(6):15—18
- 42 Yu Mengjiao, Chenevert M E, Sharma M M. Chemical-mechanical wellbore instability model for shales; accounting for solute diffusion. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2003; 38: 131—143
- 43 Rahman M K, Naseby D, Rahman S S. Borehole collapse analysis incorporating time-dependent pore pressure due to mud penetration in shales. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2000;28: 13—31
- 44 Chenevert M E. Adsorptive pressure of argillaceous rocks. Proc. 11th Symposium on Rock Mechanics, June 16—19, 1969
- 45 Chenevert M E. Shale alteration by water adsorption. J. P. T. Sept. 1970
- 46 Wong R C K. Swelling and softening behavior of La Biche shale. Canadian Geotechnical J,1998; 35:206—221
- 47 Horsrud P, Bostrom B, Holt R M. Interaction between shale and water-based drilling fluids; laboratory exposure tests give new insight into mechanisms and filed consequences of kci contents. SPE 48986, 1998
- 48 Chenevert M E, Pernot V. Control of shale swelling pressures using inhibitive water-base muds. Paper SPE 49263, 1998
- 49 Cheng Yuanfang, Yan Jienian, Wang Guihua. A comprehensive study of wellbore stability in shale formation and its application to horizontal drilling operations. Paper SPE 37080, 1998
- 50 罗健生,鄢捷年. 页岩水化对其力学性质和井壁稳定性的影响. 石油钻采工艺,1999;21(2):7—13
- 51 黄荣樽,陈 勉,邓金根,等. 泥页岩井壁稳定力学与化学的耦合研究. 钻井液与完井液,1995;12(3):15—21
- 52 刘向君,罗平亚. 水敏性泥页岩地层与钻井液接触时水化能力的实验研究. 西南石油学院学报,1996;18(3):31—37
- 53 Zhang Jianguo, Chenevert M E, Sharma M M. A new gravimetric-swelling test for evaluating water and ion uptake in shales. SPE 89831, 2004
- 54 Zhang Jianguo, Clark D E, Al-Bazdi T M, *et al.* Ion movement and laboratory technique to control wellbore stability. Paper AADE-06-DF-HO-37, 2006
- 55 王炳印,邓金根,邹灵战,等. 物理-化学耦合作用下泥页岩坍塌周期应用研究. 石油学报,2006;27(3):130—132
- 56 程远方,张 锋,王京印,等. 泥页岩井壁坍塌周期分析. 中国石油大学学报(自然科学版),2007;31(1):63—66
- 57 李洪乾. 缅甸 D 区块井壁稳定性周期浅析. 钻采工艺,2012;35(1):17—20
- 58 Hodge M, Valencia K L, Chen Z, *et al.* Analysis of time-dependent wellbore stability of underbalanced wells using a fully coupled poroelastic model. Paper SPE 102873, 2006
- 59 蔚宝华,邓金根,闫 伟. 层理性泥页岩地层井壁坍塌控制方法研究. 石油钻探技术,2010;38(1):56—59
- 60 赵 凯,袁俊量,邓金根,等. 层理产状对页岩气水平井井壁稳定性的影响. 科学技术与工程,2013;13(3):580—583
- 61 Chenevert M E, Gatlin C. Mechanical anisotropies of laminated sedimentary rocks. SPE Journal, 1965
- 62 Niandou H, Shao J F, Henry J P, *et al.* Laboratory investigation of the mechanical behaviour of tournemire shale. Int Rock Mech Min Sci, 1997;34(1):3—15
- 63 Ajalloeian R, Lashkaripour G. R. Strength anisotropies in mudrocks. Bull Eng Geol Env,2000;59: 195—199
- 64 Gomez S, He Wenwu. Fighting wellbore instability customizing drilling fluids based on laboratory studies of shale-fluid interactions. IADC/SPE 155536, 9—11 July, 2012
- 65 Liu Xiangjun, Luo Pingya, Liu Hong, *et al.* Keeping shale formation stability by optimizing drilling fluids, In: Yangta Oil Field, Western China. IPTC 13313, 7—9 December, 2009
- 66 Friedheim J, Gruo Q, Young S, *et al.* Testing and evaluation techniques for drilling fluids shale interaction and shale stability. ARMA 11—502, 26—29 June, 2011
- 67 Zhang Jianguo, Al-Bazali T M, Chenevert M E, *et al.* Compressive strength and acoustic properties changes in shale with exposure to water-based fluids. ARMA/USRMS 06—900, 17—21 June, 2006
- 68 Al-Bazali T, Zhang Jianguo, Chenevert M E, *et al.* Factors controlling the compressive strength and acoustic properties of shales when interacting with water-based fluids. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 45(2008): 729—738
- 69 Ewy R T, Bowberg C A, Stankovich R J. Shale triaxial strength alteration due to brine exposure. ARMA 08—304, 2008
- 70 Hemphill T, Abousleiman Y, Tran M, *et al.* Direct strength measurements of shale interaction with drilling fluids. SPE 117851, 2008
- 71 Abousleiman, Younane N, Tran, *et al.* Laboratory characterization of anisotropy and fluid effects on shale mechanical properties using

inclined direct shear testing device IDSTD. ARMA 08—256, 2008

72 何 涛,李茂森,杨兰平,等. 油基钻井液在威远地区页岩气水平井中的应用. 钻井液与完井液,2012;29(3):1—5

73 陈安明,张 辉,宋占伟. 页岩气水平井钻完井关键技术分析. 石油天然气学报,2012;34(11):98—103

74 谭 强,邓金根,张 勇,等. 各向异性地层定向井井壁坍塌压力计算方法. 断块油气田,2010;17(5):608—610

75 王越之,李自俊. 横向各向同性地层地应力的研究. 石油学报,1999;20(1):34—37

76 Willson S M, Last N C, Zoback M D, *et al.* Drilling in south america: a wellbore stability approach for complex geologic conditions. SPE53940, 1999

77 Russell K A, Ayan C, Hart N J, *et al.* Predicting and preventing wellbore instability using the latest drilling and logging technologies: tullich filed development, north sea. SPE 84269, 2003

78 Willson S M, Edwards S T, Crook A, *et al.* Assuring stability in extended-reach wells-analyses, practices, and mitigations. SPE 105405, 2007

79 金 衍,陈 勉,陈治喜,等. 弱面地层的直井井壁稳定力学模型. 钻采工艺,1999;22(3):13—14

80 金 衍,陈 勉,柳贡慧,等. 弱面地层斜井井壁稳定性分析. 石油大学学报,1999;23(4):33—35

81 刘向君,叶仲斌,陈一健. 岩石弱面结构对井壁稳定性的影响. 天然气工业,2002;22(2):41—42

82 刘向君,陈一健,肖 勇. 岩石软弱面产状对井壁稳定性的影响. 西南石油学院学报,2001;23(6):12—13

83 张东旭,金 衍,陈 勉. 弱面地层井壁稳定性分析方法在塔里木油田中的应用. 江汉石油学院学报,2002;24(3):48—49

84 王中华. 页岩气水平井钻井液技术的难点及选用原则. 中外能源,2012;17(4):43—47

85 王 森,刘 洪,陈 乔,等. 页岩地层水基钻井液研究进展. 科学技术与工程,2013;13(16):4597—4602

86 李江辉,杨全进. 近钻头地质导向技术获中石化发明奖. 科技日报. 2013—04—01

Influence Factors and Technical Countermeasures of Shale Gas Horizontal Well Stability

LIU Hong^{1,2,3}, LIU Qing⁴, CHEN Qiao^{5*}, WANG Sen⁵, WANG Li-sha⁵

(Key Laboratory of Shale Gas Exploration, Ministry of Land and Resources, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources¹, Chongqing 400042, P. R. China;
Chongqing Engineering Research Center for Shale Gas Resource & Exploration, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources², Chongqing 400042, P. R. China;
Chongqing Shale gas Research Center of State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources³, Chongqing 400042, P. R. China;
CCDC Drilling & Production Engineering Technology Research Institute⁴, Guanghan Sichuan 618300, P. R. China;
Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences⁵, Chongqing, 401122, P. R. China)

[Abstract] Wellbore collapse which has been found in most of the horizontal wells in shale gas reservoirs inland affects drilling cycle and subsequent fracturing. Since shale gas wells have horizontal section as long as 1 000 m or more in general, and shale has properties such as rich bedding planes, occurrence varied, hard and brittle, high water sensitive mineral content, wellbore collapse or leakage often happens. Influence factors of shale gas horizontal well stability include shale integrated features, geomechanical factors, the integrated nature of the drilling fluid and other engineering factors. The primary pathway to alleviate wellbore collapse is to recognize the special mechanical properties of shale, focusing on the impact of different drilling fluids on shale mechanical properties. This understanding could be one of the most important bases for drilling fluid optimization. The next work is compressive study of earth stress. Finally, getting drilling fluid density range calculated by reasonable mechanical model and using of fast and efficient drilling tools could ensure shale gas horizontal well stability most effectively.

[Key words] shale gas horizontal well bedding plane mechanical property drilling fluid wellbore stability