

压回法压井技术适用性研究

孙晓峰, 闫铁, 王克林, 邵帅, 栾石柱

东北石油大学石油工程学院, 黑龙江大庆 163318

摘要 利用非常规压回法压井技术在气侵或井喷发生后, 通过压井管汇或钻具直接向井眼内泵入加重钻井液或原钻井液, 将气体和已受污染的钻井液顶回到渗透性地层, 重新平衡地层压力。针对某些类型的溢流井喷适用于压回法压井技术, 分析了适用于压回法压井的侵入流体特征, 地层物性特征等参数, 给出了压回法适用的钻井现场工况, 实施压回法压井的必要条件和所需装备, 并进行了压回法压井实例分析, 这可为现场工程技术人员选择合理的压井方法提供有益借鉴和指导。结合近几年国内出现的井涌、井喷事故特点, 分析结果表明: 压回法在应对浅层气溢流、高压气井溢流等复杂井溢流、井喷方面有着良好的适用性。

关键词 压回法; 压井; 井喷

中图分类号 TE28

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.36.005

Applicability of Bullheading Killing Technology

SUN Xiaofeng, YAN Tie, WANG Kelin, SHAO Shuai, LUAN Shizhu

College of Petroleum Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, Heilongjiang Province, China

Abstract The bullheading as an unconventional technique to kill a well is by pumping the kill fluid directly into the wellbore or the annulus during the gas kick, until all the influx is displaced into the exposed open hole formation and the wellbore is filled with a kill fluid of sufficient density to balance the reservoir pressure. For the type of blowouts applied by the bullheading technique, this paper analyzes the invasion fluid characteristics, the formation physical properties, and other parameters for the bullheading, identifies the applicable conditions, the necessary conditions and the required equipment for bullheading, and analyzes the field applications for bullheading to provide some guidelines for engineers. With considerations of the kick and blowout features in recent years, it is shown that the bullheading has a good prospect for the shallow gas well overflow, the high pressure gas well overflow, and other complex well overflows and blowouts.

Keywords bullheading; kill well; blowout

0 引言

油气井井喷失控是石油天然气工业勘探开发过程中的恶性安全事故, 井喷的前兆是溢流和井涌, 因地层气体或液体侵入井筒导致, 而气体侵入井筒导致的溢流发展迅速相对较难控制, 例如, 重庆开县“12·23”特大井喷事故, 影响石油公司的经济效益的同时严重威胁钻井员工和井场周边人民生命财产安全。近10年来, 中国深井、大位移井、高含硫气井等复杂井的钻探数量逐年增加, 这也给井喷安全控制技术提出了新的挑战, 发展与创新压井技术是石油天然气开发过程中实现安全生产的重要技术保证。近几年国内井喷失控安全事故表明在特定条件下, 常规压井方法适用的工况是有限的, 亟待深入研究非常规的压井方法。压回法是非常规压井

方法之一, 例如, 迪那22井喷是在常规压井方法无效的情况下, 应用压回法压井成功。压回法压井技术通常用于气侵压井, 或因气侵后井喷导致井内喷空的情形。在气侵发生后, 通过压井管汇泵入钻井液, 将侵入的气体顶回渗透性地层, 其压回过程可分为三个阶段, 分别为连续气相压回压缩、连续气相压回和混相压回(图1)。压回法作为非常规井喷控制技术, 通常是常规方法循环压井不可行或者是常规方法压井导致了更严重的井控事故时考虑使用, 但误用压回法同样可能会诱发地下井喷等更严重的安全事故。在许多应用压回法的案例里, 气侵流体和受污染的钻井液并没有被压回至气体侵入的地层, 而是套管鞋下方某一地层, 造成永久裂缝, 导致漏失。鉴于压回法压井技术有着较高的施工安全风险, 其

收稿日期: 2013-06-03; 修回日期: 2013-09-28

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05009-005)

作者简介: 孙晓峰, 讲师, 研究方向为井控理论、油气井流体力学等, 电子信箱: suneye@126.com; 王克林(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为井控理论、井眼清洁等, 电子信箱: wwangkelin@163.com

施工前一定要充分考虑各种因素和压井过程中可能出现的情况,需经过井控专家和现场工程师的充分讨论才可付诸实施。这种方法只有在地层物性特征、侵入流体特征、井口装备完整等条件同时满足时才可以考虑应用,所以什么类型的井涌井喷适用于压回法,什么工况下可以考虑应用压回法是每个井控安全工作者关心的问题。

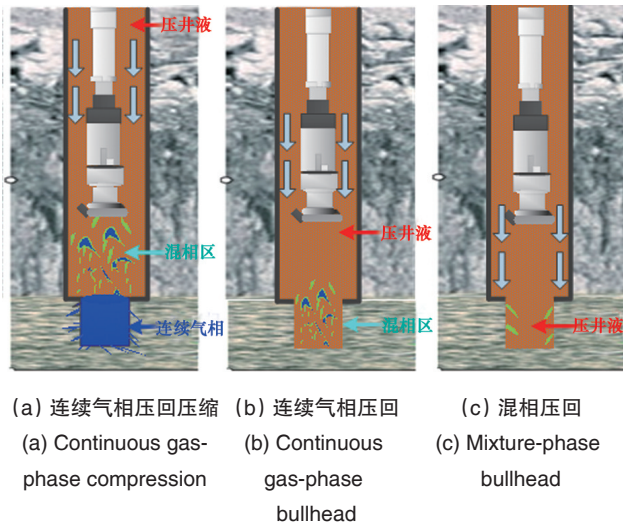


图1 压回法压井技术示意

Fig. 1 Schematic diagram of bullheading

1 适用压回法的地层物性与流体特征

1.1 侵入流体性质的影响

侵入流体的性质直接决定了压回法是否可以实施,地层油水侵入井眼造成的溢流、井喷不提倡应用该方法压井,因为在压回的过程中气体更易于被压回地层,而油水等高黏度流体压回过程阻力更大,甚至压漏地层。

1.2 地层渗透率对压回法作业的影响

应用压回法压井,需要良好的地层物性。在渗透性较好的地层,压回过程中采取相应保护措施,能够以较高的流体压回速度而不压裂地层。未知物性参数的气井溢流可通过关井套压上升速度判断地层渗透率大小,发生溢流后关井,如发现套压上升很快则表明渗透率很高^[1]。

需要注意的并不是所有类型的高渗透率地层井涌井喷都可以用压回法,应用该方法希望溢流的地层渗透率高的同时还要满足强度的要求,这是因为气体压回过程中大排量的压井液不可避免地将进入渗透性地层,导致压漏地层造成永久裂缝,因此地层强度是应该考虑的一个主要因素。另外一个问题是地表高压大排量泵入的压井液将会在渗透性地层形成泥饼降低渗透率,因此将可能产生溢流气体不是被压回至溢流层位,而是被压回至最薄弱且易压漏的层位,即使气体被压回至渗透性地层,而大排量的压井液也可能将压漏薄弱地层。这样溢流压井的同时就容易出现漏失,压回作业结束,如裂缝不能重新闭合,需要进行堵漏处理后才能继续钻进。

1.3 含硫化氢的气井溢流

实践中压回法应用于已知含有酸性气体的气井溢流显示出明显的优势,含硫气井即使有少量的硫化氢溢出井口,也很危险,例如重庆开县“12·23”特大井喷事故,因此井控设计要防止这种意外事故的发生。如果井口不能控制硫化氢的溢出或无法在井口消解有毒气体,那么在溢流后,最优的压井方案是用原钻井液将含有硫化氢气体的溢流体被迅速压回地层就,这样硫化氢气体在井下即被处理,避免了井员工和井控装备直接与硫化氢的接触,再应用常规循环压井方法加重压井液重新建立压力平衡^[2]。在居民点这样的作业方案将大大降低造成重大恶性事故的风险概率。

1.4 浅层气

浅层气在油气井钻探过程中存在着巨大的安全隐患,由于位于浅层,通常呈平面分布,气体总量小,难以提前预测,显示国内外曾有多口井因浅层气诱发溢流井喷事故,导致引起大火烧毁钻机,人员伤亡^[3-5]。

浅层气溢流过程速度快,发展迅速,但浅层气压力低,地层渗透性好且质地坚硬,表套或导管下入深度大,可应用压回法直接将浅层气顶回气层加重钻井液继续钻进,国内长城钻探公司在哈萨克的北部扎奇油田应用压回法成功控制因浅层气导致的上吐下泻型溢流问题^[6],但浅层气压井应用压回法时应当更加谨慎,要同时满足讨论的多个条件,否则应用压回法可能导致井口压力过高,威胁井口的完整性,压漏套管鞋处地层等,使井下情况更为复杂。

2 使用压回法必要条件

2.1 气侵流体上升高度的准确评估

应用压回法压井的必要条件之一是准确评估计算侵入气体上升的高度。如果气体侵入井筒后分布在很长的井段内,在压回过程中除了气体外将有大量的钻井液被压回渗透性地层,混有的液体过多压回阻力将会很高。最理想的状态是气侵后气体在井下没有运移,也即意味着关井后越早实施压回作业成功概率越高。另一种情形是常规循环后出现了更严重的井控问题,如井筒内的钻井液已经被喷空,渗透性地层渗透率很高,地层强度足够大,压回过程就可以高效实施。

2.2 套管鞋位置与井底的距离

应用压回法的另一必要条件是套管鞋位置,通常希望已下的套管越接近井底越好,这就意味着裸露的井段短,有更大的概率将气体压回溢流的地层,而不压裂套管鞋处的裸露地层。如果裸露的井段较长,气侵后,与钻井液充分混合,受污染的钻井液量大,则考虑应用压回法就要慎重,因压回气体过程混有大量钻井液时,钻井液中的膨润土、岩屑等成分会大大降低地层的渗透率,作业一段时间后流体就可能不被压回至气体溢出的地层,而是套管鞋下方某段最松软段,形成地下井喷,并与临井连通造成更加恶性的事故,如果套管下深浅则可能导致浅表塌陷。这样对于较长的裸眼井段,地

层强度试验(地漏试验)数据就尤为重要,最好能够进行分段试压的方式准确掌握地层强度,用以评估压回过程井内最大压力是否能够压漏地层。

2.3 套管抗内压强度及堵漏材料

套管的抗内压强度是压回法作业需要考虑的另一个必要条件,可以避免在压回作业过程中胀爆套管,具体数值可根据已下套管抗内压强度和压回参数设计结果对比来决定是否可以施工,参照井控标准井口最大压力不允许超过套管抗内压强度的80%^[3]。现场实践表明应用压回法时,即使做了最充分的准备,大排量的压井作业仍有压漏地层的可能,所以在应用压回法作业之前需要准备好堵漏材料以应对可能出现的漏失。

3 适用压回法的工况

3.1 修井作业及中途测试

压回法可用于修井作业过程中的压井,相比较常规压井方法及其他压井方法而言,压回法工艺相对简单,不需要太多的压井施工方案,准备时间短。而修井作业过程中的溢流井其地层物性参数和动态生产数据全面,容易评估地层物性是否适合应用压回法。若井内没有油管,应用套管进行生产的气井,由于没有循环通道,修井作业过程中如发生溢流,可直接将气体压回产层,应用压回法简捷,高效,安全。

中途测试过程中,环空坐封有封隔器,与套管生产井类似,钻杆和环空之间没有循环通道,溢流将发生在钻具内,可应用压回法直接将流体顶回地层,如图2所示。

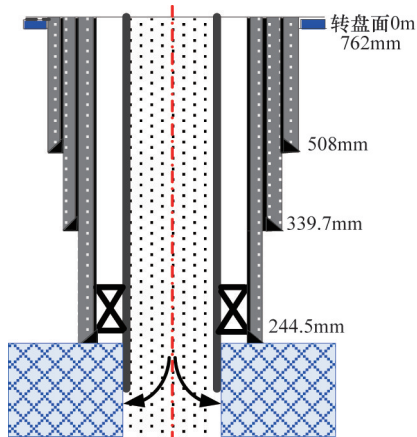


图2 环空有封隔器
Fig. 2 A packer in the annulus

3.2 喷漏同存及起钻过程的轻微气侵

钻遇上高下低差异较大的两套压力层系,应用较高当量循环密度的钻井液以保证高压层段不发生溢流,但钻进至低压层系,因地层破裂压力低而易发生漏失,降低循环压力将导致溢流、井喷甚至上吐下泻等复杂情况,增加了实现高效

钻进难度,也增加了常规井控方法循环控制溢流的难度,常规循环压井因井漏无法建立有效液柱,任何常规方法均无效。针对此种特点的溢流,可考虑相对简捷易行的压回法压井技术,中国长城钻探公司在哈萨克的北部扎奇油田应用该技术成功控制上吐下泻喷漏同存的问题,实现高效钻进^[2]。针对此类溢流,通常要求是两套压力层系压力系数均不是高压,若高压则要求有井口装备完整,套管抗内压强度高,溢流或井喷已经发生,井内因循环漏失不能建立液柱,使用压回法可迅速将溢流气体和受污染的钻井液顶回地层,顶回后由于受污染的钻井液也进入了漏失层,可能已经将裂缝堵塞,关井后裂缝自然关闭,观察记录立压套压是否为零。开井循环若仍漏失,可堵漏后继续钻进,应用这种方法简单易行,不需要过多的压井设计,施工程序高效简捷。

起钻过程中仅是由于抽吸作用而导致气体侵入井眼,如关井后通过观察套压变化判断出气侵量很小,可立即应用原泥浆压回法将气体顶回渗透性地层。若原泥浆即可平衡地层压力可继续起钻作业。

3.3 钻具不在井底

当起钻过程中发生气侵导致溢流或井喷,甚至井内喷空,此时钻具不在井底甚至距离井底较远,此种情况选择压井方法需要慎重,因为常规压井方法的U型管原理是无效的,常规压井方法被误用将引发更为复杂的井控安全问题。由于钻头不在井底,此时的U型管模型应变为Y型管^[7]模型(图3),常规循环的循环压耗和低泵冲实验所记录的立压都不能直接作为压井参数设计直接应用,按照横立压原则循环钻井液也将失效,无法通过循环排除涌入井筒的流体,简言之就是不存在钻头不在井底的常规压井方法(司钻法和工程师法)。此种情形可选择非常压井方法,包括压回法和体积控制法,压回法和体积控制法的适用工况的差异见表1。

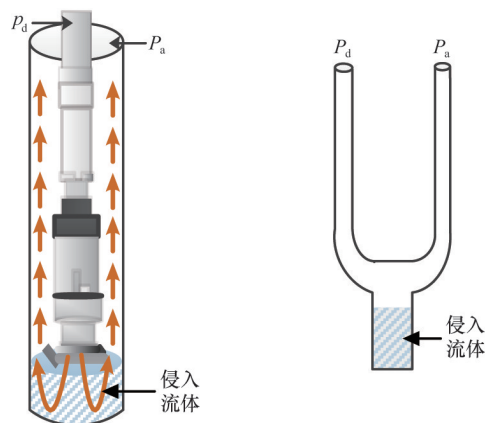


图3 Y型管模型示意
Fig. 3 Schematic diagram of Y-tube model

表1 体积控制法和压回法适用工况对比

Table 1 Comparisons of applicable conditions of the volume control method and the bullheading

压井方法	适用钻井工况	井口条件	气侵类型、地层物性等限制条件	压井控制难点及风险
体积控制法	钻具不在井底、空井、钻具堵塞等	不能读取立压	一般气侵后气体在井眼内上窜了一定高度,套压接近井口允许最大压力,需要排气泄压替换压井液	需要精确计算每次套管放出的钻井液体积 需要精确评估气体在环空上升高度、膨胀规律和压力变化情况,难度较大
		可以关井,压井液能通过压井管汇注入井内	一般裸眼井段较长 如气井含硫化氢气体,应用该方法需在井口加喷淋消解装置,防止人员中毒	手动调节节流阀控制套压略大于井底压力,但难度大 如气体沿井眼上升速度慢,则作业时间较长,易发生其他井下事故
压回法	钻具不在井底、井内喷空、钻具堵塞等	井口装置完整性未损坏,可以关井	可用于含硫化氢气井气侵压井	井队人员不能全面理解何时采用压回法压井
		井口装备压力等级高 通过压井管线向井内注入压井液	气侵后气体在井眼内上窜高度小 裸眼井段短、套管下得较深、只有一个产层且渗透率高	当裸眼井段较长时,气体有可能被压入薄弱地层而非渗透性地层,存在诱发地下井喷的风险 井口装备完整性存在较高的安全风险 井筒承受较大内压力,套管存在胀爆安全风险

3.4 水眼及旁通阀堵塞

溢流压井时由于压井液混有重晶石等加重固相,钻头水眼和旁通阀易发生堵塞,导致排量达不到压井要求,在堵塞段进行射孔可以提供有效通道循环压井,如果射孔不可行,就无法通过常规循环压井,此情况类似钻具不在井底,可行的方法之一就是通环空实施压回法,将溢流气体压回地层。

3.5 节流管汇冲蚀严重

溢流后应用常规方法压井,加重的钻井液可能含有重晶石、铁矿粉等,在节流循环的过程中就可能出现节流阀控制套压能力差,出现冲蚀,环空液柱无法保证井底压力恒定而不再溢流,无法实现压力控制。此时,若溢流井为低压,可考虑应用压回法,应充分估计压回过程井口压力的大小,不对井口完整性构成威胁。若溢流井压力高,节流阀因冲蚀失效满足不了高压井需要高套压大排量的压井要求,可考虑压回法。

3.6 高压气井压井失效后的抢险

高压气藏探井,初探井因钻遇地层压力不清楚发生溢流或井涌,压井参数设计困难导致应用常规压井方法无法重新建立压力平衡,出现一次或多次压井失效后,井下压力体系更加混乱复杂,甚至威胁井口安全,这样的井在压井失败井喷后可考虑应用压回法。例如川东北地区的高压气藏,由于具有三高(酸性气体含量高、压力高、产量高)特点,地层渗透率高,溢流发生后初始涌流又大大降低了地层污染,可以在满足必要条件的情况下,应用压回法先将高压气体顶回地层,消除对井口完整性的影响。

需要强调的是对于抢险作业应用压回法首要考虑的是对井的安全控制,在压回过程中,造成地层破裂或地层伤害都不是需要考虑的要点,最重要的是套管鞋的位置、气体运移后井底液体滞留量和井口压力,套管鞋位置越接近溢流层位越好,需要有效地估计压回过程中的井口压力,不对井口安全造成威胁,也可从钻杆与环空两路同时压回控制溢流,如清溪1井第三次抢险压井作业时先后通过钻杆正注清水、压井液后,环空注入水泥浆最终封井成功。

4 压回法地面装备分析

4.1 高压大排量作业装备

对于井内钻井液喷空或井喷抢险等情况,应用压回法压井时,需要高压大排量泵入压井液及压裂车等联合作业,以达到压井泵速和泵压的要求,尤其是最内层套管直径较大的井。当作业装备或场地水源条件等限制时,压井作业失败将会引起更复杂的井控问题,不推荐应用该方法压井。

4.2 防喷器组合方式及压力等级

基于压回法压井技术井口安全考虑,井下四通下方需配有闸板防喷器,以备通过压井管汇压回作业失败后封闭环空。按行业标准^[9]推荐压力级别分别为14MPa、21~35MPa、70~105MPa的防喷器组合方式(图4)。如四通下没有配备闸板防喷器时,则需要更换井口装配四通下防喷器应用压回法压井,但对于已经溢流的井更换井口的作业会面临更大的安全风险,显然该压井方法已经不适用。

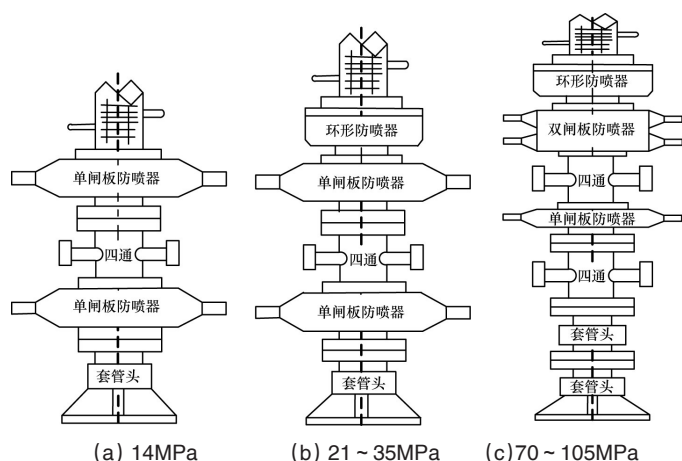


图4 不同压力等级防喷器组合方式推荐

Fig. 4 Recommended BOP stacks for different pressure ranks

4.3 远程控制单向阀

鉴于压回法施工过程中可能出现气体和钻井液倒灌刺漏管线等复杂情况,所以用于压回作业的压井管汇应配有远程控制单向阀,用以保护地面装备和施工人员免受可能溢出的烃类或有毒气体侵害。如井口没有配备,应在关闭防喷器后加装以保障装备和人员的安全。

5 压回法压井实例分析

某井取心钻进后,起钻过程中两次发生气侵溢流,此时钻具不在井底,该井基础数据如下。

套管层次:表层套管外径339.7mm,下深203.29m;中间套管外径244.5mm,下深3496.41m。油层套管外径177.8mm,下深4649.18m。裸眼井段:4722.00~4926.22m。岩性:粉砂岩、砂砾岩、细砂岩。

取心钻进至井深4926.22m,起钻至井深2014.49m,溢流0.7 m³,抢接旋塞关井,套压由0上升至5.5MPa。配置压井液后,采用压回法压井。关井正挤相对密度2.30的钻井液30m³,压井泵压6.0~17.5MPa,套压5.5~14.5MPa,排量6~9L/s,压井作业持续245min停泵关井观察,套压为0,压井成功。

该井溢流的特点是发现及时,溢流量小,气体上窜高度小,地层岩性为渗透性地层且渗透率高,满足压回法压井的限制条件,且钻具在井内中部且没有发生堵塞情况,故通过钻具直接正注压井液实施压回法压井作业,取得压井成功。与控制体积法相比,压回法施工压力小,压井作业时间短。

6 结论

(1) 压回法作为一种非常规压井技术,在浅层气、高压气井溢流、井涌井喷及抢险等均有成功应用的案例,同时在非常规工况下显示了良好的适用性,可用于喷漏同存溢流压井,处理钻具不在井底时的溢流问题和多次压井失败后的抢

险作业等。

(2) 与常规压井方法不同的是压井设计应考虑溢流地层渗透率等物性参数,计算压回过程井内压力与地层强度关系,用以评估是否可以应用压回法,低渗、中低渗气藏不建议应用。

(3) 对于适用于压回法的溢流类型且在常规压井无法实施的情况下,应考虑气侵后气体运移的高度等必要条件,依据尽快压井的原则组织压井;如关井时间较长,气体上升高度大,气液混合充分,通常压回过程阻力很大,不建议应用压回法;如井内喷空且满足文中论述的必要条件时,压回法则应是现场工程师考虑的压井方案之一。

(4) 对于高压探井、初探井这类地层压力无法准确预测的高危井,在做井喷控制设计时应明确规定每钻进一定井段就应用下部地层钻井液试压,详细记录地层强度测试数据,以备出现井涌井喷后的评估及考虑可否应用压回法等非常规的井喷控制技术。

参考文献 (References)

- [1] 李相方,庄湘琦. 关井压力恢复和读取时机分析[J]. 石油学报, 2002, 23(5): 110-113.
Li Xiangfang, Zhuang Xiangqi. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(5): 110-113.
- [2] 集团公司井控培训教材编写组. 钻井井控工艺技术[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2008.
Teaching materials writing group for group company well control training. Drilling well control technology[M]. Dongying: China Petroleum University, 2008.
- [3] 杨鸿波,齐恒之. 渤海油田浅层气井喷预防及控制技术[J]. 中国海上油气, 2004, 16(1): 43-46.
Yang Hongbo, Qi Hengzhi. China Offshore Oil and Gas, 2004, 16(1): 43-46.
- [4] 潘登. 施工井事故的地质因素分析与风险预测[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
Pan Deng. The geological complication and venture's forecast in oil well's accident[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [5] 范兆祥,袁新平. 胜利油田浅层气井喷原因分析及预防技术[J]. 石油钻采工艺, 2002, 24(2): 22-24.
Fan Zhaoxiang, Yuan Xinping. Oil Drilling & Production Technology, 2002, 24(2): 22-24.
- [6] 陈华,李志豪,黄建刚. 压回法压井技术在北部扎奇油田的运用[J]. 西部探矿工程, 2008, 10: 96-98.
Chen Hua, Li Zhihao, Huang Jiangang. West China Exploration Engineering, 2008, 10: 96-98.
- [7] 罗伯特 D 格雷. 井喷与井控手册[M]. 高振果,王胜启,高志强,等译. 北京: 石油工业出版社, 2006.
Robert D G. Blowout and well control handbook[M]. Gao Zhengguo, Wang Shengqi, Gao Zhiqiang, ed al, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.
- [8] 石油钻井工程专业标委会. SY/T6426—2005. 钻井井控技术规程[S]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
Petroleum Drilling Engineering Standards Committee. SY/T6426—2005. Specification for well control technology of drilling[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005.

(责任编辑 赵业玲)