

国产精细控压钻井装备在塔里木盆地的应用

石林¹ 杨雄文¹ 周英操¹ 李怀仲² 王瑛¹

1. 中国石油集团钻井工程技术研究院 2. 中国石油塔里木油田公司塔中项目经理部

石林等. 国产精细控压钻井装备在塔里木盆地的应用. 天然气工业, 2012, 32(8): 6-10.

摘要 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩地层属于典型的窄密度窗口地层, 常规钻井存在诸多技术难题, 井下复杂情况频发, 水平井常常因井漏溢流而被迫提前完钻。针对该区块地层特点、钻井难点及控压钻井的应用情况, 对比分析了国产精细控压钻井与国外相关公司的装备特征, 重点介绍了国产精细控压钻井装备在塔里木盆地碳酸盐岩复杂地层实施中的适应性、对策及应用效果, 其中在 TZ26-H7 井创造了进尺 1 476 m 的新纪录(水平段进尺 1 345 m, 全井水平位移 1 647 m)。该区 3 口井水平段钻井应用的结果证明: 国产精细控压钻井装备及技术能够适应塔里木油田碳酸盐岩裂缝性储层的钻井需求, 有利于储层油气的发现和保护, 可有效控制溢流、漏失等井下复杂对钻井作业的影响, 减少非生产时间损失; 国产装备的各项性能和指标均达到或超过国际先进水平, 为常压压裂缝性窄密度窗口油气层安全钻井提供了一种技术手段, 具备投入规模化工业应用的条件。

关键词 塔里木盆地 控压钻井 装备国产化 碳酸盐岩 对策分析 适应性评价 现场应用

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2012.08.002

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩地层缝洞系统发育且分布无规律, 属于典型的窄密度窗口地层^[1], 常规钻井过程复杂情况频发, 常未钻至设计井深就被迫完钻。精细控压钻井技术^[1-2]是实现窄密度窗口安全钻井的主体技术之一, 可有效解决井下复杂情况。自 2009 年以来, 中国石油塔里木油田公司引进 Halliburton 公司的控压钻井系统在该区块进行精细控压钻井服务, 至今, 精细控压钻井技术在塔中地区应用超 30 口井, 成功地解决了窄窗口地层喷、漏、卡等复杂问题, 有效延长了水平段长度, 钻井周期明显缩短。

中国石油集团钻井工程技术研究院依托国家科技重大专项自主研制开发的 PCDS-I 精细控压钻井系统是一套全新的 MPD 系统, 以流量和压力为控制目标, 具备全自动、自适应、高精度和响应速度快等技术特点, 满足钻井工艺和井下控制的需求, 此前该装备已在川渝地区^[3-4]、华北古潜山成功进行 4 口井的现场试验, 2011 年确定在塔里木中古 105H、TZ26-H7 井和

TZ26-H9 井碳酸盐岩复杂地层进行现场试验, 以促进国产控压钻井技术与装备迅速发展和规模化现场应用, 本文重点介绍国产精细控压钻井在塔里木盆地碳酸盐岩复杂地层的对策分析、适应性评价、应用效果和评价分析。

1 地层特点和钻井难点

1.1 地层特点

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩储层, 压力系数低, 储层裂缝、洞穴十分发育, 缝洞一体, 虽然碳酸岩地层相对稳定, 但产层对作用其上的压力相当敏感, 储层压力与漏失压力相近, 实施近平衡压力钻井时的钻井液安全密度窗口小于循环附加压力, 钻井施工中经常井漏和溢流同时发生, 几乎找不到平衡窗口。

1.2 钻井难点

此前人们对本区碳酸盐岩储层的钻井难点进行了系统总结, 在储层段钻进易于出现 5 大问题^[5]。

基金项目 国家科技重大专项“窄密度窗口钻完井技术与装备”(2011ZX05021-03)部分研究内容。

作者简介 石林, 1957 年生, 教授级高级工程师; 1982 年毕业于中国石油大学(华东)钻井工程专业; 从事钻井工程技术研究及管理工作, 现任中国石油集团钻井工程技术研究院院长。地址: (100195) 北京市海淀区北坞村路甲 25 号静心园 S 座。E-mail: shilindr@cnpc.com.cn

1)地层压力敏感,钻井液密度窗口窄。当钻遇裂缝、溶洞时,即使钻井液密度与裂缝、溶洞内充填的地层流体当量密度相当,甚至还低,由于裂缝、溶洞通道大,在循环压耗、下钻激动压力等作用下,也会发生钻井液与地层流体的置换,在实钻过程中就会表现出既喷又漏的现象,严重时会有进无出。

2)气井井控难以掌握。常规压井方法不适用,一旦提高密度,就会陷入恶性循环,越压越漏,井控难以控制掌握。

3)含 H_2S 地层安全钻井难度大。为了控制 H_2S 气体的溢出,只能采取过平衡钻进,造成钻井液的大量漏失。在钻进过程中又喷又漏,钻井液漏失量大,对储层造成伤害,对于水平井,安全问题更为严峻。

4)稠油储层钻井复杂事故多。常规钻井也可能伴随井漏,此时若使用欠平衡钻井技术,稠油将上返到井口附近结块、堵塞环空,导致钻进困难。

5)堵漏难度大,胜算少。实践证明,有些缝洞发育尤其是较大溶洞的储层,堵漏的路基本是行不通的。如果地层具有较强漏失能力(如钻遇中大裂缝),则可能需要较大欠平衡压差方可制漏,较大的欠平衡压差将会导致较多的气体涌入量,这将增加井控安全的风险。

2 装备对比与适应性分析

2.1 精细控压钻井的特点

国际钻井承包商协会(IADC)定义控压钻井MPD技术为“用于更好地在全井精确控制环空压力的一种钻井流程”,MPD的目标在于确定井下压力范围,从而控制环空压力剖面,减少井漏和井壁失稳风险,是对付恶劣钻井环境的关键技术^[6-9]。

精细控压钻井使用低密度钻井液,通过井底PWD测压工具给地面提供实时的井底压力^[10],通过节流管汇提供合理的井口回压,在起下钻和接单根过程中利用回压泵配合自动节流阀保持井底处于微过平衡状态(图1)。

控压钻井力图控制井底压力不压漏地层,同时又不发生过大的和不可控的溢流,介于平衡钻井与欠平衡钻井之间,其优点为:在井漏情况下能够迅速降低井底压力;能够更早的检测到井漏、井涌;能够在井口迅速提供回压,阻止进一步井侵;能够降低井底压力,减少压差卡钻的风险;在井控状况下能够更好地控制井底压力,能够更好地保障钻井作业安全。

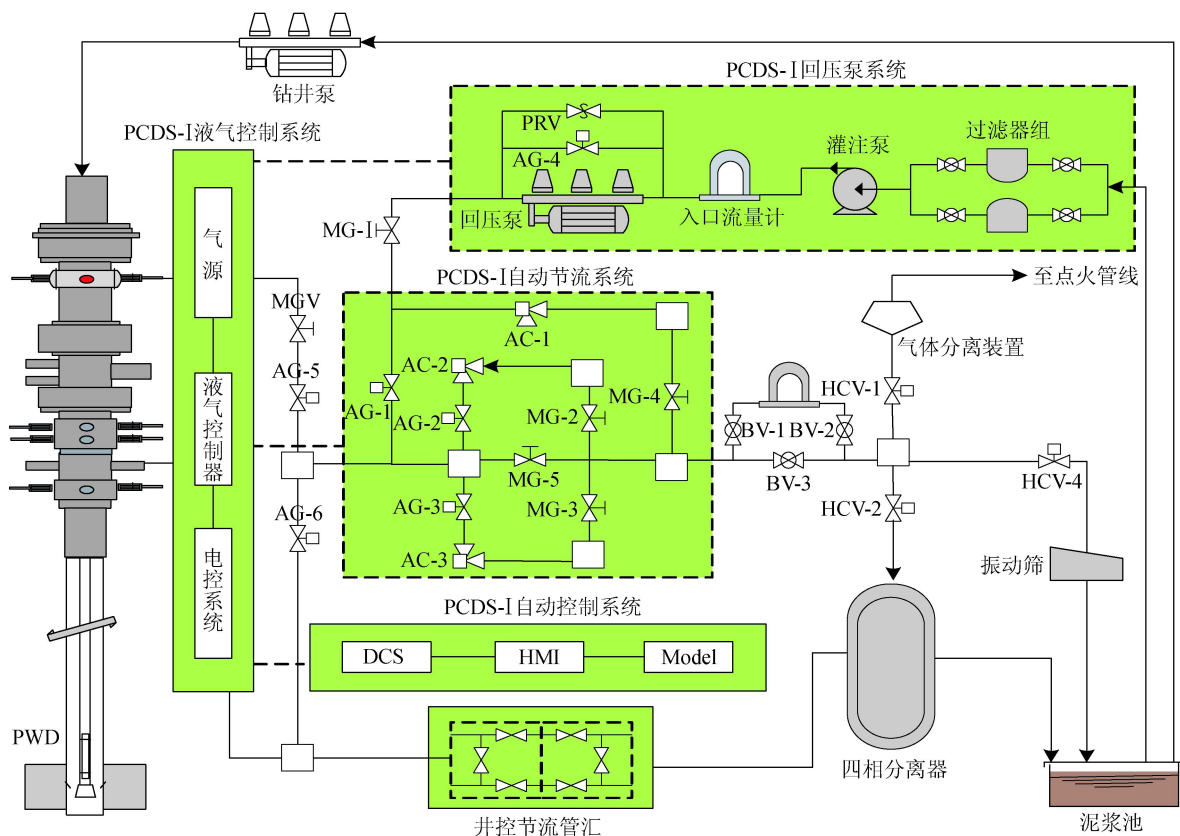


图1 PCDS-I 精细控压钻井系统流程图

2.2 精细控压钻井系统装备对比

以哈里伯顿控压钻井技术为例,与常规钻井相比,该技术增加井底随钻测压仪器、自动节流管汇及回压补偿循环系统等。对井下溢、漏现象监测更加精确,精度可达 0.05 m³,对井底压力控制更加稳定,基本接近

地层压力,能实现真正意义上的控压钻井。

目前国际上成功应用于控压钻井实践的装备主要有 3 大类:Weatherford 的 MFC 系统,Schlumberger 的 DAPC 系统和 Halliburton 公司的 MPD 系统。表 1 为不同控压钻井系统的技术特点。

表 1 不同控压钻井系统的技术特点表

装备系统	控压方式	实现方式	技术特征
Weatherford MFC	微流量控制	通过对进出口钻井液的微小压力、质量流量、当量循环密度、流速等参数实时监测,来快速改变井口回压以满足钻井要求	强调微流量监测控制,能在小于 80 L 时检测到溢流,并可在 2 min 内控制溢流,使总溢流体积小于 800 L
Schlumberger DAPC	井底恒压	节流管汇、回压泵、水力学模型和综合压力控制器协同工作,提供不间断的、精确压力控制,使井底压力控制在允许范围内	强调自动调节回压、动态控制,保持井底压力稳定性,追求自适应控制
Halliburton MPD	井底恒压	和 DAPC 的功能类似,并具备微流量监测控制功能	自动化、反应迅速、控制精度高,对井口回压自动控制达到 0.35 MPa 的精度
PCDS- I 精细控压钻井系统	井底恒压和微流量控制	具备恒定井底压力和微流量控制功能,能提前预知和处理微溢微漏,自动化、快速响应、精确控制和自适应控制是其特点	工况自适应、个性化控制模型,响应速度、控压精度和压力等级都达到国际先进水平

2.3 国产精细控压钻井系统适应性分析

基于自动化、快速响应、精确控制的技术目标,中国石油集团钻井工程技术研究院开发了以流量和压力控制目标的 PCDS- I 精细控压钻井系统(图 2、3)。通过在川渝蓬莱地区、华北牛东古潜山等不同地层的 4 口井的前期功能试验,证明 PCDS 试验要求和指标均达到设计指标,最大工作压力 7 MPa,额定压力 35 MPa,

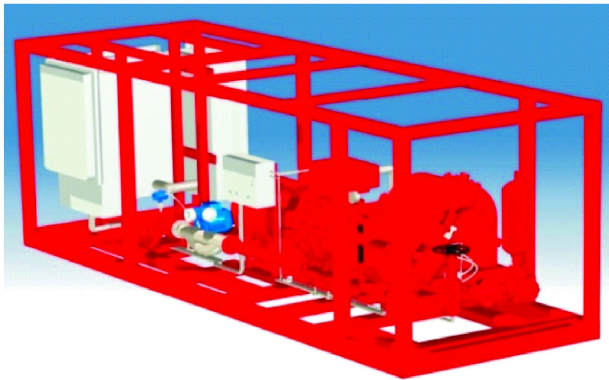


图 3 PCDS- I 回压泵系统总装图

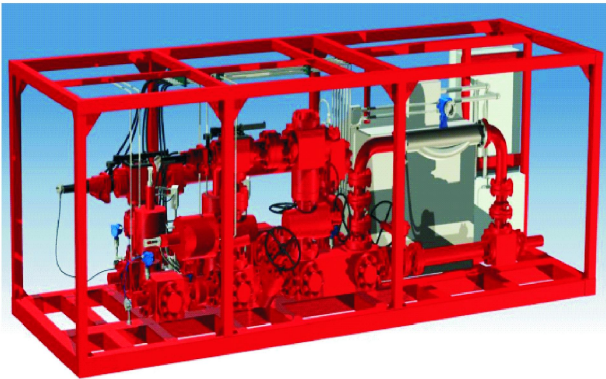


图 2 PCDS- I 自动节流系统总装图

回压泵流量 12 L/s,节流精度实现了钻进±0.2 MPa,起下钻、接单根±0.5 MPa 控压精度,同时,基于 FF 数字总线的控压钻井自动控制软件,能实现钻进、起钻、下钻、接单根等不同工况的自适应,并且能实现在线自诊断功能,各项性能和指标均达到和超过国际先进水平,具备进入工业化、规模化应用水平。表 2 为不

表 2 不同控压钻井系统的指标对比表

对比性能		Halliburton MPD	Weatherford MFC	PCDS- I
技术参数	额定压力	35 MPa	35 MPa	35 MPa
	工作压力	10 MPa	10 MPa	10 MPa
	节流精度	±0.35 MPa	±0.5 MPa	±0.35 MPa
结构		三通道	双通道	三通道
系统		PLC 控制器,不具备在线监测功能	PLC 控制器,需参数整定	FF 数字总线,工况自适应,在线自诊断
功能		近平衡钻井,过平衡钻井	近平衡钻井,过平衡钻井	近平衡、过平衡和欠平衡钻井

同控压钻井系统的指标对比。

3 现场应用分析

3.1 试验阶段

中古 105H 井是 PCDS-I 精细控压钻井系统在塔中碳酸盐岩地层现场试验的第一口评价井。中古 105H 设计完钻井深 6 813 m, 设计造斜点在 5 932.5 m, 井眼采用直—增—稳结构, 设计水平段长 495.33 m, 最大井斜角 85.95°, 设计第二次开钻完钻井深 5 902 m。第三次开钻的 168.3 mm 井段先钻直导眼, 回填后完成水平井眼段钻进。

PCDS-I 精细控压钻井系统在中古 105H 井(井段 6 285.29~6 829.28 m)进行现场试验, 根据实际工况的需要完成了正常钻进控压、接单根控压、控压起下钻、高密度钻井液驱替以及溢流监测与控制等试验内容, 试验要求和指标均达到设计指标, 最大工作压力 7 MPa, 额定压力 35 MPa, 回压泵流量 12 L/s, 节流精度实现了钻进 ± 0.2 MPa, 起下钻、接单根 ± 0.5 MPa 控压精度, 达到和超过国际先进水平。试验期间, 发现气层 11 个, 监测和控制溢流多次, 总烃最高达 99.98%, 点火时间超过 5 h, 火焰高度超过 5 m, 有效减少关井、压井造成的时间延误, 保证了正常钻进。而且, 通过精确控制井底压力, 有效控制了钻井液漏失, 减少非生产时间, 节约成本, 提高了钻井效率。系统累计工作超过 650 h, 各部件工作正常, 运行平稳, 保证了连续长时间控压钻井的需要。

3.2 应用阶段

TZ26-H7 井、TZ26-H9 井位于塔中 I 号坡折带 TZ26 井区, 易漏易喷, 且存在多套压力层系, 普遍含 H_2S , 施工安全风险大。储层裂缝、洞穴十分发育, 缝洞一体, 一旦与大型缝洞单元沟通, 将无法实施后续水平段钻进, 此前, 哈里伯顿在该区域 TZ26-4H、TZ26-2H 等控压钻进过程中就因钻遇溶洞失返被迫提前完钻。

面对地层的复杂和压力的不确定性, 依靠中国石油钻井工程技术研究院 PCDS-I 精细控压钻井系统的技术、设备优势, 提出“控压欠平衡”理念, 应用突破性的“控压欠平衡”理念, 在 TZ26-H7 井的缝洞系统控压选用地层压力低限(1.15~1.20), 允许少量溢流实现有效防漏, 通过自动节流系统实时调整回压, 控制溢流量在 $1 m^3$ 以内, 实现微溢流状况下的安全作业。

控压期间有效监测和控制溢流 23 次, 共点火 67 次, 火焰高度 2~10 m, 最高超过 15 m; 单次点火时长最高达到 34.67 h, 累计点火持续时间 213.71 h, 占控

压钻进时间 80.4%, 保证既不发生严重溢流, 又能及时控制井底压力的持续升高而诱发井漏, 规避高密度钻井液井导致井漏的风险, 避免关井、压井带来的失效损失, 实现了“点着火炬打进尺”。PCDS-I 精细控压钻井系统的各项指标都达到或超过了国际先进水平, 并在该区域创造了多项纪录指标。

3.2.1 大幅度提高水平段延伸能力, 超额完成水平段设计任务

TZ26-H7 井 168.3 mm 井眼水平段设计 998 m, 延长水平段至 1 345 m(水平位移 1 647 m)(图 4), 打破了 TZ26-H6 井创下的 1 129 m 水平段最长纪录, 超额完成水平段设计任务, 该井完井试油获气 $5.77 \times 10^4 m^3$, 油 $0.43 m^3$ 。而此前 2008 年塔中碳酸盐岩水平井设计的水平段完成率仅为 28.11%。

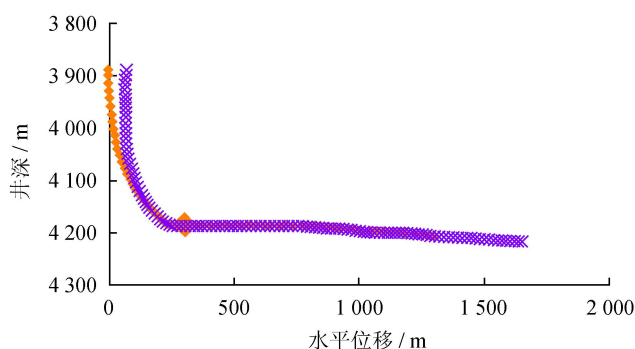


图 4 TZ26-H7 井水平段投影位移图

3.2.2 平均日进尺大幅度提高, 创单日进尺最高纪录

创造目的层钻进单日进尺 134 m 最高纪录, 与常规钻井相比平均日进尺提高 103.7%, 且连续多日进尺超过 100 m, 机械钻速大幅提高, 平均钻速为 4.23 m/h(图 5)。

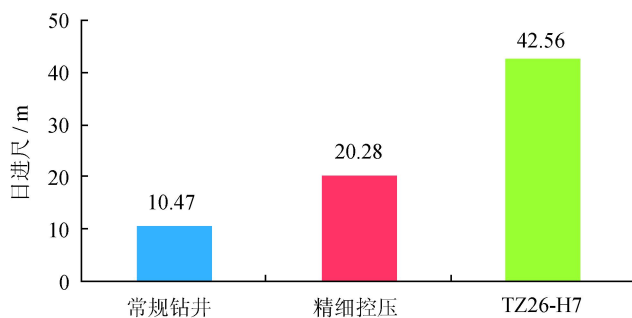


图 5 TZ26-H7 井国产精细控压与常规钻井、精细控压日进尺对比图

3.2.3 目的层全程控压欠平衡, 实现“点着火炬钻进”

应用“控压欠平衡”理念, 目的层全程控压欠平衡, 有利于发现储层, 最大限度地保护了油气层, 提高了储

层能力;点火总时间超过 213.71 h,占控压钻进总时间的 80.4%,实现了“点着火炬钻进”。

3.2.4 水平钻进穿越多套缝洞单元,实现零漏失、零复杂

在缝洞系统保证井下安全条件下选用低限,允许微溢实现有效防漏,成功实现长水平段钻进穿越多套缝洞单元,全程实现零漏失、零复杂。

4 应用效果与评价分析

PCDS-I 精细控压钻井系统在中古 105H 井、TZ26-H7 井、TZ26-H9 井的成功应用证明国产精细控压钻井装备及技术能够适应塔里木油田碳酸盐岩、裂缝性储层的钻井需求,有利于储层油气发现和保护,可有效控制溢流、漏失等井下复杂对钻井作业的影响,减少非生产时间损失。针对塔里木碳酸盐岩地层特点,可以总结为以下几点:

4.1 允许少量溢流、实现有效防漏

发挥精细控压设备的优势,当大量气体后效返出时,要适时加压,通过自动节流阀,控制溢流量在 1 m^3 以内,实现有效排出,避免关井、压井,人工节流所带来的井下复杂的发生。既保证不发生严重溢流,也及时控制井底压力的持续升高而诱发井漏,实现了小溢流量状况下的安全作业,规避了高密度钻井液压井导致井漏的风险。

4.2 尽量在缝洞系统选用低限,保持边点火边控压钻进

塔中 I 号坡折带,缝洞发育,典型窄密度窗口地层,易漏易喷,井口控压变化 0.5 MPa 就会造成井底压力波动和液面变化,实际钻井地层压力极其敏感,根据设计原则,尽量在缝洞系统选用低限,实现边点火边控压钻进。

4.3 及时微量的井口回压调整,有利于发现油气层

通过及时调整井口控压,为很好地发现油气层井段发挥作用。按照设计要求,在保证井下安全的条件下,适时调整井口控压,特别是通过摸索,利用出入口流量变化、综合录井气测值等变化,调整井口回压,当新油气层出现时气测值升高,待钻穿后及时加压,使之降低,一旦再次升高,说明新的油气层出现,体现了精细控压在地质发现方面的价值。

4.4 调整井口控压,寻找压力平衡点,顺利穿越薄弱层

通过调整井口控压,观察井底 PWD 压力和井口出入口流量变化,寻找压力平衡点,并且通过井口压力

变化和钻井液的溢漏情况顺利通过多个薄弱层。同时调整井口回压,要保证一定的观察周期,避免人为造成井下复杂。

4.5 实施控压欠平衡作业,有利于发现油气层,提高钻速

在保证井下安全条件下,正常钻进基本保持在边点火边钻进的欠平衡状态,有利于发现油气层,提高钻速,同时也为下部钻进过程中发现油气层创造条件。

5 结论

1)塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩地层属于典型的窄密度窗口地层,应用控压钻井技术可以解决诸多钻井复杂问题。

2)通过对国际 3 大石油公司的装备对比和 PCDS-I 系统前期功能试验证明,PCDS-I 各项性能和指标均达到或超过国际先进水平,具备进入规模化工业应用水平。

3)PCDS-I 精细控压钻井系统在中古 105H 井、TZ26-H7 井、TZ26-H9 井的成功应用证明国产精细控压钻井技术能够适应塔里木油田碳酸盐岩、裂缝性储层的钻井需求。

参 考 文 献

- [1] 杨雄文,周英操,方世良,等.国内窄窗口钻井技术应用对策分析与实践[J].石油矿场机械,2010,39(8):7-11.
- [2] MARTIN M D.Managed pressure drilling techniques and tools[D].Texas A&M University,2006.
- [3] 杨雄文,周英操,方世良,等.控压欠平衡钻井工艺实现方法与现场试验[J].天然气工业,2012,32(1):75-80.
- [4] 周英操,杨雄文,方世良,等.PCDS-I 精细控压钻井系统研制与现场试验[J].石油钻探技术,2011,39(4):1-6.
- [5] 石希天,肖铁,雷万能,等.塔里木奥陶系碳酸盐岩敏感性储层控压钻井技术应用[J].钻采工艺,2010(6):130-132.
- [6] 姜智博,周英操,王倩,等.实现窄密度窗口安全钻井的控压钻井系统工程[J].天然气工业,2011,31(8):76-79.
- [7] 杨雄文,周英操,方世良,等.控压钻井分级智能控制系统设计与室内试验[J].石油钻探技术,2011,39(4):7-12.
- [8] 严新新,陈永明,燕修.MPD 技术及其在钻井中的应用[J].天然气勘探与开发,2007,30(2):62-66.
- [9] 王果,樊洪海,刘刚,等.控制压力钻井技术应用研究[J].石油钻探技术,2009,37(1):34-38.
- [10] 姜智博,周英操,刘伟,等.精细控压钻井井底压力自动控制技术初探[J].天然气工业,2012,32(7):48-51.