

# 碳酸盐岩储层欠平衡钻井技术难点与对策<sup>\*</sup>

侯绪田

(中国石化勘探开发研究院德州石油钻井研究所)

侯绪田.碳酸盐岩储层欠平衡钻井技术难点与对策.天然气工业,2004;24(12):77~79

**摘要** 欠平衡钻井技术具有很强的地区适应性特点,不同的储层特性决定了不同的欠平衡钻井方式和技术特色。碳酸盐岩储层井眼溶洞、裂隙发育、置换性恶性漏失是欠平衡钻井工艺不容忽视的技术难点。文章在分析新疆塔北油田奥陶系碳酸盐岩储层特点的基础上,对碳酸盐岩储层欠平衡钻井工艺存在的设备配套的多样化要求、欠压值设计难、井底负压控制难、置换性漏失时压井难和强行完井难等技术难点进行了详细分析。根据置换性漏失、强行完井施工等要求对井口、井下设备在标准配置的基础上进行了调整,依据碳酸盐岩储层、探井施工的特点提出了循环渐进、灵活的欠压值控制方法,改进的反循环压井技术比平推压井方法减少了压井作业对储层带来的伤害,结合压力传播速度和立管压力值进行井底压力的控制方法提高了控制的精度。

**主题词** 碳酸盐岩储层 欠平衡钻井 置换性漏失 欠压值 压井 强行完井

塔里木盆地北部地区(简称塔北)的塔河油田主力油藏为奥陶系碳酸盐岩潜山型油藏。下奥陶系深5400 m左右。地层压力当量密度为 $1.08\sim 1.12\text{ g/cm}^3$ ,属碳酸盐岩,其溶孔、溶洞裂缝比较发育。由于连通性较好,地层对泥浆密度很敏感,安全窗口很小( $0.02\sim 0.04\text{ g/cm}^3$ )。在碳酸盐岩地层非欠平衡钻井中70%以上的井发生井漏,甚至严重井漏,如S48井在奥陶系施工过程中,钻井液密度为 $1.08\text{ g/cm}^3$ 时,静止就涌,循环则漏,平衡点很难掌握,奥陶系才揭开7 m,漏失泥浆和油田水超过 $2700\text{ m}^3$ ,不得不被迫提前完钻,给钻井作业和油气发现及评价造成了较大的难度,对产层也造成了一定的污染。从1998年开展欠平衡钻井技术攻关至今,该地区施工井次达40余口,井别涉及生产井、评价井、探井,在直井、定向井、水平井中都有应用。广泛的应用表明,该地区的欠平衡钻井技术较好地解决了塔北地区奥陶系碳酸盐岩储层钻井漏失等工程问题,显著地提高了油气产量和钻井机械速度,提高评价井、探井的油气发现概率。

## 一、技术难点分析

针对塔河地区奥陶系碳酸盐岩储层易漏、很可能出现喷漏同层、井深、地温高、地层压力适中等特

点,塔北欠平衡钻井技术的开展存在如下几个方面的难点:

(1)欠平衡钻井设备配套的多样性要求。奥陶系碳酸盐岩储层的风化壳层位裂缝、溶洞的发育具有很大的不均质性。钻遇风化壳时会有不漏、小漏、大漏几种不同情况发生,大型漏失一般属置换性溶洞性恶性漏失,钻时的表现是只进不出或泵入钻井液返出原油。对于溶洞性漏失一般都伴随着大的油气产出,提前、强行完井要求对欠平衡钻井井口设备的配置提出了不同的要求。另外,该地区施工时,有些井是在 $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 套管中,有些井是在 $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 的套管中实施欠平衡钻井工艺,有些井是直井,有些井是水平井或定向井,这些都对井口设备和井下工具的配置提出不同的要求。

(2)储层产能高、安全窗口小,合理欠压值设计难。另外,欠压值设计要满足探井施工的特点。欠压值是井底液柱压力与地层压力之差,若设计不当会对欠平衡钻井施工造成不利影响。设计值过小,易造成井下过平衡,失去欠平衡钻井的意义和目的;设计值过大,易造成井口设备过载甚至失控,引起重大钻井事故。而塔河地区储层的重要特点之一就是产能高、钻井液密度安全窗口小,如果欠压值较大就会有大量产液;太小易造成井下过平衡产生井漏。

<sup>\*</sup> 本文系国家科技攻关项目(编号:99-111)。

**作者简介:**侯绪田,高级工程师,1964年生;1984年毕业于原华东石油学院钻井工程专业,获硕士学位;从事钻井科研及现场技术服务工作。地址:(253000)山东省德州市东风路35号。电话:(0534)2670155。E-mail:houx@163.com

所以,设计一个合理的欠压值能最大限度地保证欠平衡钻井施工质量的关键。

另外,如何设计欠压值以满足探井施工最大可能发现油气的需要,也是在欠压值设计时必须要考虑的问题。

(3)欠平衡施工安全窗口小,井底欠压值控制难。井底压力控制是欠平衡钻井工艺得以成功实施的关键,如果井底压力控制不当,在塔河地区会造成井漏和地层产液过大现象。当施工过程中井口起压时是开大节流阀还是关小节流阀,压力的传播速度对节流阀的操作会有怎样的影响,因为施工安全窗口小,这些都应加以考虑。必须寻找欠压值与其它钻井参数的关系,建立数学模型,然后根据其互动关系,制定一套便于操作的井底压力现场控制方法。

(4)奥陶系储层井温高、原油多是稠油不利分离,钻井液、压井体系选择难。尽管奥陶系地层稳定性好,但是井温高不利于泥浆处理剂的选择,如何把很粘稠的原油及时分离出来也是一个难点。由于潜水泵等常规工具不能有效地把稠油抽走,置换性漏失发生时,大量随钻产油如何处理也是必须考虑的。

(5)置换性漏失时压井作业难。当恶性漏失发生时,因安全窗口小,找不到平衡点。从理论上讲,避免置换性漏失的方法是使用比产液密度更低的钻井液,这在欠平衡钻井施工时是可行的,但起下钻时无疑是一个矛盾,因为需要压井。因此,置换性漏失发生时井漏是不可避免的事情。常规压井作业压井液不会在环空建立液柱,或者建立压井液柱的代价太大,不仅会花费大量的金钱,也会对储层造成严重污染。置换性漏失发生时,如何以较小的代价而以最快的速度完成压井作业是该地区欠平衡作业中的又一难点。

(6)置换性漏失时强行完井作业难。置换性漏失时常伴随着大量的油气产出,这时一般都提前完钻,甚至不测井而裸眼完井。即使当时压稳的井,由于置换性漏失的存在,又会出现井涌。因此,作业过程中交互地发生井涌与压井,如何安全顺利地提出钻具又将完井管柱下到井底也是需考虑的问题。

## 二、技术对策

液相欠平衡钻井技术尽管在我国已是成熟技术,但其区域性特点又使该项技术具有一定的针对性。经过多次技术攻关和现场实践,基本解决了施工中出现的以上问题,形成了本地区欠平衡钻井的技术特色。具体的解决方案如下:

(1)灵活的地面设备和井下工具配置方案以满足特殊施工工艺要求。在给出碳酸盐岩欠平衡钻井施工有关设备标准配置的基础上,根据不同的施工要求设备的配置进行如下变化:A.为满足置换性漏失情况下强行完井要求设备配置的变化:①把钻井四通换成采油四通,并配置相应的转换法兰以便与上部的防喷器相连,是否采用采油四通进行欠平衡钻井施工,要在安装设备时就做出决定,这主要由地质人员提出的钻遇大溶洞的概率来决定;②把旋转防喷器胶心换成 $\varnothing 88.9$  mm 胶心,以便密封 $\varnothing 88.9$  mm 油管;③地面把 $\varnothing 88.9$  mm 油管接成双根;④地面循环设备可以进行反循环压井。B.第四次开钻中途施工时强上欠平衡钻井工艺情况下井口设备可能出现的变化。由于安装井口时没有考虑安装旋转防喷器的空间,因此,井口设备的安装可能受到限制。一般的解决办法是去掉上部的万能防喷器,然后再安装旋转防喷器。由于这是一种非标准的解决方案,就要求施工工艺方面有具体技术措施,保证在没有万能防喷器的情况下也能安全施工。如保证旋转防喷器胶心是新的,尽量避免换胶心,制定没有万能防喷器下的换胶心方案等等。C.定向井、水平井工艺导致的井下欠平衡工具的变化。定向井、水平井时由于MWD工具的使用必须对欠平衡钻井井下工具进行调整。把两个单流阀都要接在MWD的下部,为了保证MWD的可打捞,钻具中不能接入投入式止流阀、投入式旁通阀等。

(2)利用科学方法合理设计欠压值,对探井施工以满足发现为主要出发点。欠压值的设计要考虑随钻的产量和施工时不能出现正压现象。对于生产井,如果施工者的操作水平高,压力的波动小,在考虑计算误差下欠压值应尽量小,以避免有大量产液产出,因为在钻井现场不便于把稠油运走。钻遇溶洞时一般压力窗口都很低,且都会有较大的随钻产量,因此,设计的欠压值应尽量的小,又要能保证负压施工,以免井漏。另外,欠压值的设计还受井的深度、井队技术素质、操作水平、软件计算误差的影响等。通过对各因素的综合分析,塔河地区一般把钻进时的欠压值设计为 $0.5$  MPa,经多口井的实践证明,这一欠压值是合理的。

对于探井,由于地层压力、能否钻遇裂隙等都具有一定的不确定性。为满足发现油气层的需要,欠压值应具有较大的调节空间,设计原则是在钻井液密度允许、井口设备条件较好的情况下欠压值要大些,塔河地区探井设计欠压值推荐为 $2\sim 3$  MPa。施

工时采用如下控制方法:开始负压钻进时井口加压 1.5~2.5 MPa,这时井底欠压值约 0.5 MPa。如果几个循环周后没有油气显示,把套压减压到 1.0~2 MPa,这时井底欠压值约 1.0 MPa。这样反复多次,直到有油气产出或井口套压为 0 MPa。

(3)结合压力传播速度依据立压值精确控制井底欠压值。根据  $p_{\text{欠压值}} = p_{\text{地层压力}} + p_{\text{喷嘴压降}} + p_{\text{管内摩阻}} - p_{\text{管内液压}} - p_{\text{立压}}$ ,当排量不变和泥浆入口性能不变时, $p_{\text{喷嘴压降}}$ 、 $p_{\text{管内摩阻}}$ 、 $p_{\text{管内液压}}$ 、 $p_{\text{地层压力}}$ 等4个参数为常量,设  $K = p_{\text{地层压力}} + p_{\text{喷嘴压降}} + p_{\text{管内摩阻}} - p_{\text{管内液压}}$ ,则等式为: $p_{\text{欠压值}} = K - p_{\text{立压}}$ 。也就是说,排量不变时如果泵压下降,则井底欠压值按同值增加;反之如果泵压上升,则井底欠压值按同值减少。因此,当随钻油气产量变化或气体滑脱上升时,靠调节节流阀使泵压保持不变即可保持井底欠压值不变。

(4)使用无固相钻井液作为欠平衡钻井液、油田盐水作为压井液。欠平衡钻井液配方为:淡水+1.0%~2.0% PAC-141+0.1%~0.3% NaOH(密度用 NaCl 调整)。该钻井液有以下特点:①钻井液密度调整范围大。②要有较强的携岩能力,能够以一种有效的方式将岩屑输送到地面并有效分离清除。③要有良好的抗盐、抗气侵及抗污染能力,保证流变性能稳定。④钻井液与原油分离效果要好,能够安全地将产出的地层流体输送到地面并有效分离。塔河油田原油质稠、密度高(0.94~0.98 g/cm<sup>3</sup>)、粘度高、流动性差,油液分离效果至关重要。起下钻压井使用油田的地层盐水密度 1.14 g/cm<sup>3</sup>,不加重就可用来压井,且与地层的配伍性好。

(5)使用改进的反循环压井技术或平推法进行置换性漏失条件下的压井作业。在塔北碳酸盐岩储层,对于大溶洞、大裂缝,极易发生钻井液与原油的置换性大漏失。在这种情况下,即使使用稠化处理过的清水压井也会发生大漏失,使用正循环法压井时,压井液会在钻头处漏入地层,从而无法在环空建立高压液柱。使用反循环压井,可以很快在环空中建立高压液柱,当压井液柱从井口移动到井底后会漏入地层,不会从钻头进入钻杆形成高压液柱。但是,由于此时钻杆内几乎都是地层产液,使用平推法用压井液把钻杆内的地层产液推入地层从而在钻杆内也形成高压液柱。这样可把压井作业对地层的污染降到最低。平推法压井技术在该地区置换性漏失压井时也常用,但对储层污染要严重些,只有在无法进行改进的反循环压井时才采用。

(6)利用旋转防喷器进行置换性漏失下的强行

完井作业。置换性漏失时常伴随着大量的油气产出,这时一般都提前完钻,甚至不测井而裸眼完井。这时的完井主要考虑的是安全顺利地提出钻具又将完井管住下到井底。由于井口安装了旋转防喷器,起钻、下油管途中这种作业要安全一些。起完钻、拆换井口时和刚开始下油管时是应该关注的危险期。

### 三、塔河欠平衡钻井部分井施工情况

塔北塔河油田已完成 40 余口欠平衡钻井施工,其中 S66 井是塔河欠平衡施工的第一口探井,TK412 是欠平衡施工的第一口生产井,TK430 是第一口欠平衡水平井,TK425 是国内第一口按全过程欠平衡钻井工艺设计、施工的生产井,对国内全过程欠平衡钻井工艺的应用起到了积极的推动作用,S88 井是首次使用边漏边钻进行钻井的欠平衡施工井。

### 四、结 论

(1)欠平衡钻井技术有其鲜明的储层特性或地区性特色,必须根据不同的储层特点分别对待。

(2)采用灵活的设备配置方案,可满足现场可能出现的各种施工要求,例如用采油四通代替钻井四通进行欠平衡钻井施工,可以最大限度地满足强行完井作业的需要。

(3)结合压力传播速度依据立压值精确控制井底欠压值,使欠平衡钻井施工具有了较大的科学性。这种井底压力控制方法,不仅可以最大限度地控制置换性漏失的速度,而且对其它欠平衡作业也具有很大的指导意义。

(4)改进的反循环压井技术或平推法进行置换性漏失条件下的压井作业最大限度地减少了压井过程中的钻井液漏失,缩短了压井时间。

### 参 考 文 献

- 1 陈武等.钻井工作量及钻速分析.天然气工业,2003;23(1)
- 2 李福德等.川东地区固井技术.天然气工业,2003;23(1)
- 3 刘崇建等.提高小井眼水泥浆顶替效率的研究.天然气工业,2003;23(2)
- 4 刘孝良等.应用漏斗粘度计测定幂律流体的流变参数.天然气工业,2003;23(4)
- 5 熊继有等.井下增压研究新进展.天然气工业,2003;23(6)

(收稿日期 2004-06-19 编辑 钟水清)