

## · 探矿工程 ·

文章编号:1001-1986(2001) 03-0062-03

## 煤层气井储层保护钻井工艺

符党替,崔迎春,王成彪 (中国地质大学工程技术学院,北京 100083)

**摘要:**采用合适的钻井工艺是保护煤层气储层免受伤害,从而提高煤层气井单井产量的关键环节。煤层气井储层保护钻井工艺包括低压钻井工艺、常规屏蔽暂堵钻井工艺和边钻边完井工艺。本文在介绍这些工艺的基础上,分析了煤层气储层伤害的机理,提出了相应的防护措施。

**关键词:**地层伤害;煤层气储层保护;钻井工艺

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**E

## 1 引言

据评价,我国煤层气的资源为  $30 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,有可能成为今后我国气产量的重要组成部分。在“九五”期间,煤层气的钻井工作量已明显加大。虽然煤层气储层一般埋藏较浅(在 1 000 m 之内),钻井难度较常规油气井要小,但由于煤层的特点,如煤岩脆裂易塌、高含水、易受污染、煤层压力系统变化大、煤粉多,并且煤层裂隙纵横交错,属典型的双孔隙储层,与国内已开发的砂砾性孔隙型气藏和碳酸盐岩裂缝性气藏相比有很大区别。从地层伤害的角度看,它具有强的毛细管效应(亦称水锁效应)、高的压力敏感性和渗透滞后现象等特殊<sup>[1]</sup>,更易受伤害,故需采用适合煤层特点的、有利于保护煤层不受伤害的钻井完井工艺。该工艺主要研究内容包括:煤层压力预测方法;煤层的井眼稳定工艺;煤层气储层保护工艺;煤层气井完井方式及工艺。本文仅就钻井工艺部分作一探讨。

## 2 低压钻井工艺

低压钻井工艺是一种相对于常规钻井方法来讲,其液柱压力低的钻井方法,但其值或小于(欠平衡)或等于(平衡)、或略大于(微过平衡)地层压力;钻井流体或是水、油基钻井

液,或是气基流体。其优点是:使煤层处于受低压的解放状态,从而大大降低煤层的压力敏感性;有效地降低了压差,减少了钻井液中有害物质侵入煤层的机会,有利于保护煤层。属于这种钻井工艺的钻井技术有气体和雾化钻井、泡沫钻井、欠平衡钻井和微过平衡钻井。

## 2.1 气体和雾化钻井

在地质勘探中,按惯例,气体和雾化钻井常用于干旱缺水 and 漏失地区。从保护煤层的角度来讲,气体(一般多用空气)是一种非常规流体,可以防止钻井液、化学添加剂、钻屑压进和堵塞煤的裂缝系统,可以避免煤吸收液体后基质膨胀,使煤层孔隙度和渗透率降低,所以对煤层伤害最小,尤其适于低渗透、高水敏煤层。但气体钻井的缺点是:对付复杂地层的能力差(如地层出水、井壁坍塌等),遇地下水易结“泥环”;需要空压机、增压机等投资较大的设备,此设备需要中、高压,一般依赖于进口;易引起井下着火与爆炸,造成井下钻具破坏,故限制了其应用范围。当井眼出水不能再用空气钻井,常改为雾化钻井。

据调研,出于对保护煤层不受伤害的需要,美国现大部分的煤层甲烷垂直井、水平井均采用空气或雾化空气钻井。但我国目前因设备和成本问题,一直未能采用这项先进的钻井技术。

收稿日期:2000-03-17

作者简介:符党替(1958—),男,陕西人,高级工程师,博士,从事探矿工程。

## The numerical integration of dual hankel transformation

HUA Jun, JIANG Yan-sheng, WANG Wen-bing (Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** Due to strong oscillation and slow decay of product term in dual Bessel integration, it is difficult to use ordinary numerical method for the quadrature of dual Bessel. In this paper we divide  $[0, \infty)$  into  $[0, \lambda]$  and  $[\lambda, \infty)$ ; In  $[\lambda, \infty)$ , the integration can be written as Fourier cosine and sine transformation by asymptotic expression of Hankel Function and it can be evaluated by fast algorithm. In  $[0, \lambda]$ , the integration can be computed accurately through direct quadrature. But when we calculate a quantity the related dual Bessel integration with common argument, the algorithm mentioned above seem not to be efficient enough. In this case, according to derivative relation of Bessel function, the constant transformation of the integration in  $[0, \lambda]$  can be done and the changed into the integration of the Bessel function itself which can only be calculated only once. This algorithm has improved efficiency of calculation obviously for dual Bessel integration.

**Key words:** transient electromagnetic sounding; Hankel transformation; Dual Bessel integration; numerical quadrature.

## 2.2 泡沫钻井

泡沫流体一般分为硬胶泡沫和稳定泡沫。前者是由气体、粘土、稳定剂和发泡剂配成的稳定性比较强的分散体系;稳定泡沫是指空气、流体、发泡剂和稳定剂配成的分散体系。硬泡沫用于需要泡沫寿命长,携屑能力强的场所,其成本较低,但它对电解质污染较敏感;稳定泡沫则能与各类污染物、地层水配伍,故常被优先采用。

泡沫钻井的优点是:不伤害煤层,低压差、强携岩能力、高钻速、可用于含水地层;其缺点是:返出地表的泡沫无法循环利用和回收,所以增加了钻井费用。

## 2.3 欠平衡钻井

严格来讲,当钻井液的液柱压力小于地层孔隙压力时的所有钻井工艺均叫欠平衡钻井,前文已介绍了空气、泡沫钻井工艺,这里主要介绍充气钻井和轻钻井液钻井。

充气钻井液是以气体为分散相、钻井液为连续相,加入适当化学剂使之成为气液混合的均匀而稳定的体系;轻钻井液钻井就是采用低比重钻井液进行钻井。两种工艺的目的均是降低孔内压差,从而减少对地层的损害。

60年代以来,欠平衡压力钻井工艺给钻井工程带来显著的经济效益,而且它在防止油气藏伤害、保护产能方面也起到很大的作用。它的缺点是不能完全消除外来液相和固相对地层的伤害,而且存在反身自吸、漏失等损害。

## 2.4 微过平衡钻井

采用液相钻井液进行钻井时,如果采用欠平衡钻井,或者采用平衡压力钻井,会出现钻井液无法在孔壁上形成泥饼情况,从而导致钻井液在地层内失水量的增加和固相的侵入,所以DI JIAO等人认为<sup>[3]</sup>,存在一最小过平衡压力,其定义为钻井液能在孔壁上形成泥饼时的钻井液液柱压力,其大小与钻井液的流变性和特定现场条件有关,可以利用室内所测的钻井液流变性和模拟特定现场条件下的岩心动失水试验数据确定。在这一过平衡压力下的钻井工艺称为微过平衡钻井工艺。

## 3 屏蔽暂堵钻井工艺

过平衡压力由于孔壁处高压差的存在,极易使钻井液中的固相和滤液进入煤层而造成地层伤害,所以尽量避免采用,但由于它具有实施方便、钻井液选择余地大、对地层的适用性强等优点,所以仍常被采用,并且当钻遇高压地层或瓦斯突出层时必须使用过平衡钻井工艺。

采用过平衡钻井工艺会产生严重的储层伤害问题,因此实践中除了要注意钻井液的合理选择,以保证泥饼的质量外,更应重视屏蔽暂堵工艺的应用。

屏蔽暂堵工艺是利用暂堵剂(一定尺寸的固相颗粒在打开煤层后的较短时间内堵死煤层表面)防止固相向煤层深部渗透。有效封堵层的形成需经三个步骤:架桥、填充、封堵,其中架桥是最关键的一步。一定要在很短时间,很短的距离内形成架桥,才有可能完成随后的填充和封堵。Abrams<sup>[4]</sup>等人的研究表明,在钻井液中,只有足够量粒径大于1/3平均孔隙直径的颗粒时,这些颗粒才会通过架桥作用在岩石表

面附近形成滤饼,从而不使颗粒和钻井液相渗入深部地层,石油部门一般据此来选择暂堵剂的粒度。目前油气田常用的屏蔽剂有颗粒状和纤维状两种,对于像煤层这样以裂缝型为主的煤层,应采用纤维状的颗粒来作为暂堵剂,另外还应选择钻井后完井时解堵比较容易的暂堵剂,如酸溶性暂堵剂。

## 4 边钻边完井工艺

这是一种人为地诱导煤层坍塌和形变来提高煤层渗透性的钻井方法。也是一种外国在煤层气开发中总结出来的、充满逆向思维的新方法。如果煤层或煤系地层由于严重漏失、严重坍塌,应力敏感性很强或孔内煤屑过多常导致砾石层(当采用砾石完井工艺)堵塞时,可以采用这种钻井完井合二为一的工艺。这类煤层往往连通性极好,无需后期酸化压裂,所以在钻井中可故意诱导煤层坍塌,并捞出坍塌物,在煤层中形成一个大的洞穴。这种方法在美国圣胡安盆地的Fairway地区被普遍采用。

## 5 低压钻井储层伤害机理及防止措施

过平衡钻井对地层伤害已被人们认识,不再详述。低压钻井能有效减少地层伤害,但亦不可避免地存在地层伤害问题。

### 5.1 正压差伤害

微过平衡钻井的持续正压差和欠平衡钻井中的脉冲正压差均会成为钻井液中固相和滤液进入地层的动力。在压差一定的条件下,采用低失水,特别是低初失水的钻井液,必要时辅以有效的屏蔽暂堵工艺,是减少这种伤害的有效办法。

### 5.2 反向自吸作用引起的伤害

采用水基钻井液进行欠平衡钻井时,地层被打开后,由于存在“原始”和“束缚”水饱和度之间的差异,产生很大的毛细管压力差,会导致水基钻井液滤液和固相逆流吸入近井带地层,导致煤层伤害。在一常规设计的过平衡钻进中,由于应用了合适的架桥和降滤失剂,可以在地层表面形成一渗透率近于零的滤饼来阻止自吸入发生,而在欠平衡钻井过程中,由于井内液柱压力低于地层压力,因此没有形成起架桥和密封作用的滤饼动力,这相当于在与井眼相连处使气—水直接接触。另外,在欠平衡作业中,不相容流体及其悬浮的钻屑侵入近井带地层造成地层伤害的可能性明显减少了,但因没有滤饼充当防止伤害性流体和固体颗粒深深地侵入地层的屏障而使地层丧失保护能力。因此,如果欠平衡状态遭到破坏,即使是短时间遭到破坏,伤害性流体及其中的固体颗粒会非常迅速地侵入地层。

合理选择非润性流体是消除或减少反向自吸效应的有效方法,绝大多数煤层是水湿的,所以应选择油基(或混油)钻井液,而这无疑增加了钻井费用,这时可以考虑微过平衡钻井工艺;另外在钻井液中加入表面活性剂或使用与地层配伍性好的钻井液,都可降低反向自吸对地层的伤害程度。

### 5.3 漏失性伤害

煤的机械强度要远小于常规砂岩和碳酸盐岩储层,并且煤系地层中往往存在断层、破碎带等构造,有时尚很发育,在

钻井中,常导致孔壁坍塌和漏失问题。在采用低压欠平衡钻井工艺时,特别是采用液相钻井液钻井时,应特别注意堵漏问题。当然也可采用气基、泡沫、含气钻井液来消除这一问题。对于完钻后无法正常完井的煤层(如严重漏失、严重坍塌),可考虑采用边钻边完井工艺,完井后可免去后期压裂。

5.4 磨光现象和压碎现象

当用纯空气作为钻井介质时,由于气体传热能力很弱,如果在循环介质中无液体存在,岩石—钻头之间将产生十分高的温度。在钻进中,由于岩粉和水的存在,加之钻头的磨光作用,会在孔壁表面形成一层很薄,但是渗透率很低,象陶瓷一样的东西,这就是磨光或称钻孔抛光现象。抛光面在取出岩心的侧面和岩心的表面能够观察到。改用泡沫钻井,可以有效地消除这种“表面釉化”现象。

压碎现象是由于钻具偏心和扫孔引起的,也是由于钻具、扶正器和钻铤等和井壁之间的直接摩擦引起的机械破坏,可导致像浆糊一样的微粒层直接进入煤层。消除的方法是采用润滑性好的钻井液。

6 结束语

在实际进行钻井工艺选择时,应该根据地层的具体情况选择钻井工艺。美国能源部曾以 Morgan 研究为协调单位,组

织规划了全美大型示范工程项目——DCS 计划<sup>[2]</sup>,对煤层的伤害最小的钻井、完井、增产进行了研究。在钻井方法中,对地层伤害由小到大依次排列的钻井工艺为:气体钻井、雾化钻井、泡沫钻井、充气液钻井、欠平衡优质钻井液钻井;完井新方法中重点突出了层隔离裸眼完井、可增产改造裸眼完井、洞穴改造完井等新方法。

中国煤层开发尚处于起步阶段,目前的重点应是提高单井的成功率。研究使用合理的钻井工艺,注意钻井过程中的煤层气储层保护。加之合理的完井方法和增产改造措施以及合理的排采方法和排采作业制度是成功的关键。

参考文献

[1] 崔迎春·煤层气储层钻井过程中的地层损害及保护[J]·探矿工程,1998,4.  
[2] 罗平亚等·国外低压钻井工艺调研分析[M]·北京:电子科大出版社,1996.  
[3] Di Jiao et·Investigation of Dynamic Mud Cake Formation:The Concept of Minimum Overbalance Pressure [M]·SPE26323, 1993.  
[4] Abrams A et·Mud Design to Minimize Rock Impairment Due to Particle Invasion[M]·JPT, 1977.

Study on drilling technology beneficial to coalbed protection

FU Dang-ti, CUI Ying-chun, WANG Cheng-biao

(Engineering technolgy institute, China university of geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:**To select an appropriate drilling technology beneficial to reservoir protection is a key step to increase the production capability of single CBM well. Some of these drilling technologies, including low~presseure drilling, temporary plugging, completing while drilling operation, are studied, as well as the properties of them are analyzed.

**Key words:**formation damage; coalbed gas reservoir protection; drilling technology

固 体 不 极 化 电 极

LGB 型固体不极化电极是中国地震局兰州地震研究所研制成功的高新科技产品,于 1997 年 11 月在北京通过了专家评审。鉴定结果认为:“固体不极化电极的载体选择、配方研究、技术性能都具有创新性,经与国内外同类电极相比,达到了国际先进水平。”

1 性能特点

- a. 极差电位小、稳定性能好、噪声低、频带宽、轻便耐用、易于保存、携带和使用方便。
- b. 电解质为固体,一次装配,长期使用,勿需更换。
- c. 电极外壳为全 PVC 材料,在使用和运输过程中不怕跌落和碰撞。

2 技术指标

两个电极间的极差电位: $<1.0\text{ mV}$  短周期(30 min)噪声: $<0.01\text{ mV}$

24 小时稳定性: $<0.1\text{ mV}$  30 天稳定性: $<1.0\text{ mV}$   
频率范围:DC~10 kHz 温度范围: $-10\sim40^{\circ}\text{C}$   
内阻: $<500\ \Omega$  直径:50 mm  
长度:160 mm 重量:500 g  
使用期限:1、3、5 年(系列型)

3 应用范围

固体不极化电极既可用于野外流动测量,又能埋入地下长期观测,还可用于深井、钻孔、海洋、水上等各种电法勘探。目前,该产品已广泛用于地矿部门、地震系统、工程物探、水文物探、石油物探、煤田物探、大地电磁测深、大型建设项目场地勘测和规划设计以及军工、科研等各个领域,明显提高了电法勘探的质量和工作效率,取得了十分可喜的社会经济效益。

(中国地震局兰州地震研究所 陆阳泉)