

煤层气多分支水平井技术探讨

刘志强, 胡汉月, 史兵言, 刘海翔

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:煤层气多分支水平井是集钻井、完井及增产措施为一体的煤层改造技术,近年来在国内有较大发展。结合国内当前煤层气多分支水平井的发展状况,对其技术难点和关键技术进行讨论,并得出几点认识。

关键词:煤层气;多分支井;水平井;对接连通;开采技术

中图分类号:TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)06-0006-04

Technology of CBM Multiple-lateral Horizontal Well/LIU Zhi-qiang, HU Han-yue, SHI Bing-yan, LIU Hai-xiang
(The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: CBM multiple-lateral horizontal well is a coalbed modification technique combined with well drilling, completion and stimulation, which has great development in China in the past years. According to the development situation of CBM multiple-lateral horizontal well in China, the paper discusses the technical difficulties and key technologies and presents some conclusions.

Key words: CBM; multiple-lateral well; horizontal well; butting and connecting; recovery technology

近年来,随着能源形势的日趋严峻,煤层气的开采用逐步得到国家重视,但受技术、政策、产权、并网等条件限制,到目前为止,我国煤层气产业仍处于产业化初期,开发利用远不能满足需要。“十一五”规划曾经提出,到2010年我国瓦斯利用率要达到60%以上,而目前仅达到30%左右,业内专家指出,要实现我国煤层气的大规模开发,急需对适合我国特殊地质条件的钻井、完井、排采等关键技术进行攻关,否则,我国煤层气产业化开发只能求助于国外技术,从而增加大量的开采成本。

1 国内外煤层气开发利用现状

美国是世界上开采煤层气最早的国家,也是率先实现煤层气商业化开发的国家,其煤层气的开发利用无论在技术方面还是在产业化方面处于世界领先水平。20世纪初美国就开始在井下开采煤层气,从70年代末到80年代初,美国通过采煤前预抽和采空区井抽放回收煤层气,并开始进行地面开采煤层气试验,1997年其产量达320亿 m^3 ,基本形成产业化规模。

加拿大煤层气开发比较晚,但多年来政府一直支持煤层气的发展,一些研究机构根据本国以低变质煤为主的特点,开展了一系列技术研究工作,例如

多分支水平井、连续油管压裂等技术方面取得了进展,从而降低了煤层气开采成本。

法国、德国、澳大利亚以及俄罗斯等国在煤层气开发和利用等方面均领先于我国。

我国煤层气地质研究始于20世纪80年代,经过20多年的地质研究和勘探实践,在煤层气成因、储层特性、成藏、区域展布规律、控气地质因素等方面均取得显著进展,初步形成了一套煤层气富集地质理论和选区评价技术,20世纪90年代初开始研究煤层气地面勘探开发技术,经历了十几年来对国外技术设备的引进、消化、吸收和发展,也取得了实质性的进展。由于我国在煤层气开发利用方面的研究起步比较晚,许多关键技术问题尚待解决,因此我国煤层气的开发利用仍处于初级阶段,完成煤层气产业化还有较长的路要走。

2 煤层气多分支水平井技术的优点

当前开发煤层气一般采用排水采气法,通过抽排煤层中的承压水,降低煤层压力,使煤层中吸附的甲烷气释放出来。但是煤层气井的产量一般较低,为了提高煤层气井的产量,通常都要采取一些增产措施。常用于煤层气增产的技术有:水力压裂改造技术、煤中多元气体驱替技术和多分支水平井技术

收稿日期:2010-11-19; 修回日期:2011-05-09

作者简介:刘志强(1970-),男(蒙古族),内蒙古赤峰人,中国地质科学院勘探技术研究所高级工程师,勘察工程专业,从事定向钻探技术的研究与开发工作,河北省廊坊市金光道77号,zhiqiang-liu@hotmail.com;胡汉月(1964-),男(汉族),湖北浠水人,中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师,地质工程专业,博士,从事定向钻探技术以及高精度中靶技术的研究工作。

等。我国的煤层气藏具有低渗、高压、低饱和、构造煤发育、煤储层具有强烈的非均质性等地质特征,因此不适合采用水力压裂改造技术;而煤中多元气体驱替技术尽管效果非常好,但是成本高,从经济角度考虑不太适用。煤层气多分支水平井是一种新的煤层改造技术,优点是效果好、成本低,在一些特定煤层中可以取得其它方法无法比拟的开发效果。因此多分支水平井技术日益受到国内外专家的重视,也受到各个煤层气勘探开发公司的青睐。

3 煤层气多分支水平井开采原理

煤层气多分支水平井是集钻井、完井与增产措施于一体的综合钻井技术。所谓多分支水平井是指在一个主水平井眼两侧再侧钻出多个分支井眼作为泄气通道,同时在距主水平井井口 200 m 左右处钻一口直井与主水平井眼在煤层内连通,用于排水降压采气之需要,见图 1。

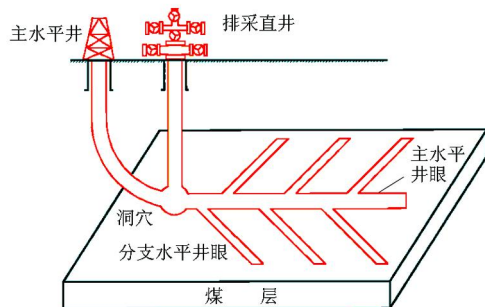


图 1 煤层气多分支水平井示意图

主水平井一般采用三开完井。一开井径 311.1 mm,并下入 $\varnothing 244.5$ mm 表层套管,封隔地表含水层和易漏失地层;二开井径 215.9 mm,钻至煤层顶板,并下入 $\varnothing 177.8$ mm 生产套管;三开主水平井眼及分支水平井眼均采用 $\varnothing 152.4$ mm 井径,并裸眼完井。与常规直井的钻井、射孔完井和水力压裂增产技术相比,多分支水平井开采煤层气的主要增产机理体现在以下几个方面:(1)扩大解吸范围,增加供给面积。多分支水平井在煤层中呈网状分布,沟通更多割理和裂隙,从而增加了煤层气的供给范围。(2)降低流动阻力,提高导流能力。受煤层割理形态和分布的影响,流体在煤层裂隙中运动,会受到非常大的流动阻力,而在水平井内流体的流动阻力要小得多。(3)减少了对煤层的伤害。采用常规直井完钻后要固井,还要进行水力压裂改造等,这些环节都会对煤层造成不同程度的伤害。采用多分支水平井钻井完井方法,避免了固井和水力压裂作业,从而避免了对煤层的伤害。

4 煤层气多分支水平井技术难点

煤层气多分支水平井集成了水平井与洞穴井的连通、钻水平分支井眼、充气欠平衡钻井和地质导向钻井技术等,是一项技术性强、施工难度高的系统工程。同时为了保持煤层的井壁稳定,煤层段一般采用 $\varnothing 152.4$ mm 的小井眼钻进,因而对钻井工具、测量仪器和设备性能等方面都提出了新的要求。煤层气多分支水平井钻井面临的主要难点可概括如下。

(1)煤层可钻性好,钻速快,但同时又存在大量的裂缝和割理,从而破坏了煤系地层的完整性。因此,在煤层中进行定向水平钻进,轨迹不易控制。

(2)裂缝和割理的存在,容易造成煤层破碎,易坍塌。而且煤层易受污染,储层保护难度大,采用常规的钻井泥浆不易维护孔壁稳定和储层。

(3)煤储层埋藏通常都比较浅,而主水平井眼和分支水平井眼都比较长,一般在几百米至上千米,因此钻具自身重力难以满足钻进要求,同时钻分支水平井眼时钻柱易发生疲劳破坏,导致井下复杂。

(4)涉及许多新的钻井工艺和钻井器具,例如用于实现两井对接连通的磁中靶系统、小尺寸的地质导向工具和高效减阻短节(AG-imator)等,所以先进的钻井技术以及完善的钻井方案是安全实施煤层气多分支水平井的基础和保证。

5 煤层气多分支水平井钻井关键技术

5.1 井身结构和井眼剖面优化设计

煤层气多分支井的井身结构设计不同于常规油气井的设计,进行井身结构设计和井眼剖面设计时,需要考虑以下几点因素。

(1)尽可能选择轨迹长度短的轨道,减少无效进尺,既可以降低钻井成本,也可以减少施工风险,同时应尽量缩小可钻性较差的地层进尺,尽量避开研磨性较强的地层和破碎易坍塌的地层;

(2)由于煤层气多分支水平井垂直井段短,而水平段较长,一般在 800 m 以上,钻柱能提供的钻压是有限的,所以在多分支水平井井身剖面设计中,要使所设计的井眼轨迹满足滑动钻进时的工况要求;

(3)由于煤层抗压强度较低,所以技术套管一定不能下到煤层中,防止固井时将煤层压裂,导致后续钻进过程中的井壁坍塌;

(4)为了在洞穴井井底造洞穴,井底必须留有合理容量的“口袋”,“口袋”留深以不揭开下部含水层为基本原则,应优先考虑增大“口袋”留深。

5.2 井眼轨迹控制技术

多分支水平井的井眼轨迹参数主要为:井深、井斜角、方位角、垂深。垂直井段重点是控制井斜,一般采用塔式钻具组合,如果出现井斜则采用钟摆钻具进行纠斜。造斜井段一般采用“导向钻具+MWD”的定向造斜钻具组合,通过连续滑动钻进的方式实现增斜、降斜,通过旋转钻进方式实现稳斜。水平段及分支井采用“导向钻具+LWD”的地质导向钻具组合,利用LWD随钻监测到的自然伽玛、电阻率参数对钻遇地层实时监测,并调整钻孔轨迹始终沿煤层钻进。为提高钻进速度,在导向钻具组合中经常使用高效减阻接头(见图2)等辅助器具,减阻接头由本体、上下挡环和防磨套组成,本体随钻柱旋转而防磨套不转,本体和防磨套之间、防磨套和上下挡环之间设有摩擦副。高效抗磨减阻接头可解决大位移井、深井或大斜度井套管磨损和扭矩过高的技术难题。



图2 高效减阻接头

由于煤层可钻性好,钻速快,单层厚度薄(3~6 m),所以井眼轨迹控制难度较大。煤层气分支水平井钻井施工过程中,既要实现连续钻井连续控制,提高井眼轨迹控制的精度,使井眼轨迹圆滑,加快钻井速度,同时又要避免井眼轨迹出现较大的曲率波动。钻进中尽量避免大幅度变动下部钻具组合结构、尺寸和钻进参数,并控制机械钻速在一定范围内变化,防止井眼出现小台肩现象。从而避免井下坍塌、起钻困难、键槽卡钻等复杂工况。

5.3 煤层造洞穴技术

为了实现水平井与洞穴井在煤层中成功对接并且建立气液通道,需要在洞穴井的煤层部位造一洞穴,洞穴的直径一般为0.7~1.6 m,高为2~4 m。目前主要有水力造穴方式、机械工具造穴方式和爆破造穴方式。

水力射流造穴法利用了高压水射流破碎岩石的能力,施工中用钻具把特殊设计的水力射流装置送入造穴井段,开泵循环,使循环钻井液在经过小喷嘴时产生高压水力射流,破坏煤储层,形成洞穴。机械工具造穴利用机械切削的原理,用钻具把特殊设计的机械装置送入造穴井段,然后通过液压控制方式使造穴工具的刀杆张开,并在钻具的带动下旋转,切削储层,形成满足实际需要的洞穴。

我所经过多年的技术研究,开发了一种具有自

主知识产权的机械式造洞穴钻头(见图3),基本原理如下:钻头在使用时,通过压缩空气或高压水推动杆件的上盘,杆件上盘压缩弹簧向下运动,而杆件上的齿条带动扩孔刀翼上的齿轮转动,使扩孔刀翼张开,实现扩孔钻进;当钻进结束后,停止送空气或水,在回位弹簧的作用下带动杆向上运动,扩孔刀翼收拢,可进行加尺或提钻。

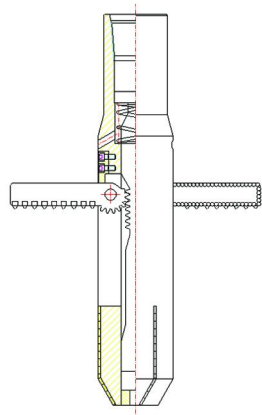


图3 机械式造穴工具

5.4 水平井与洞穴连通技术

两井连通过程中采用的技术为近钻头电磁测距法,国外通常称为Rotating Magnet Ranging Service,英文缩写为RMRS,目前RMRS技术在CBM井、SAGD、控制井喷等领域得到广泛应用。

基本原理:在垂直井中下入磁信号接收装置,在水平井的导向钻具组合中加入磁信号接收装置(磁接头),磁接头与钻头一起旋转时将发射磁信号,这时垂直井内的接收器就能接收到来自水平井磁发生装置发出的磁信号,并将信号通过连接线缆传至地表,经信号解调后输出至电脑,由电脑进行参数分析计算,最终计算出磁发生装置与接收装置两点间的连线方位、垂直深度差和两点当前距离。获取当前钻进参数后,可利用水平井中置于无磁钻杆中的MWD系统,及时纠正方向,使其靠近靶点目标,并使水平井与洞穴井最终连通。

由我所自主研发的“慧磁”钻井中靶引导系统(见图4),已成功应用于生产实践中。由我所承揽的土耳其贝帕扎里天然碱矿三期工程,有23组井使用“慧磁”引导水平井中。

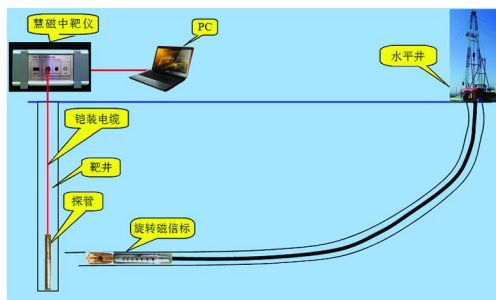


图4 近钻头电磁测距示意图

5.5 欠平衡钻井技术

国内煤层普遍具有低压、低渗特点,为了保护储

层,不宜采用常规的过平衡钻井技术。目前适合煤储层的钻井液体系主要有充空气钻井液、泡沫流体、地层水和空气。煤层气多分支水平井采用的注气方法主要有洞穴井井筒注气法和油管注气法(图5)。

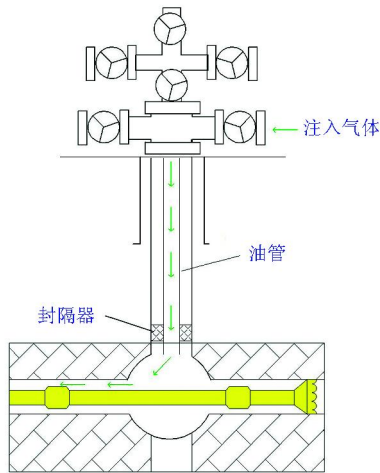


图5 油管注气法

洞穴井井筒注气法工艺简单,成本低,适用于浅层煤层气的开发,对于深层煤层气的开发,由于洞穴井井筒体积较大,小的注气量难以形成稳定的气液两相流,最后导致欠平衡工艺效果较差。所以垂深 $>600\text{ m}$ 的井很少使用。

油管注气法是一种实用的注气方法,洞穴井完钻后下入注气油管和井下封隔器,然后压缩气体通过油管进入到水平井的环空,这种注气方式适合在煤储层较深的洞穴井中使用。即使在近平衡注气的情况下(注气量很小),由于注气油管直径较小,压缩空气能在短时间内进入水平井环空,从而改善了气液两相流的均匀性,使欠平衡工艺更容易控制。另外油管注气法容易实现欠值很小时的欠平衡作业,这样对于煤层井壁的稳定性的具有相当大的益处,从而实现了既保护煤层又安全钻进的目的。

5.6 侧钻分支井眼技术

钻分支井眼需要进行侧钻,石油钻井进行侧钻通常有3种方式:水泥架桥侧钻;使用可回收式斜向器侧钻;悬空侧钻。

在煤系地层打水泥塞容易封堵煤层裂隙,使煤储层遭到破坏,最重要的是水泥塞使主井眼和分支井眼丧失连通性。由于煤系地层比较松散破碎,可回收式斜向器在煤层中不容易固定,如果在钻进分支井眼时需要提钻,当钻具再次下入时则不易找回分支井眼。因此前两种侧钻方式不适用于煤层气多分支井。而悬空侧钻方式工艺简单,易于实现,还能节省大量辅助时间,因此它是煤层气多分支水平井

侧钻的首选,但必须注意以下几点。

(1)进行侧钻之前要充分活动钻具,目的就是为将钻柱中的扭力全部释放,有利于井下动力钻具在侧钻时保持工具面的稳定;

(2)侧钻时采用滑动钻进方式,钻速一般控制在 $0.5\sim 1.0\text{ m/h}$ 之间,较慢的钻速有利于先在孔壁形成台阶,进一步磨出分支井眼;

(3)侧钻时通常将工具面摆在以降井斜为主的位置,使井底钻具在出新孔过程中始终能够与井壁接触,钻具工具面摆在 $150^\circ\sim 210^\circ$ 为宜,根据分支要求可同时增加或减少方位;

(4)分支成功并钻完一个单根后,需要反复划眼几次,以利于后续钻进施工。

6 认识与建议

(1)应用多分支水平井开发煤层气资源,受到煤层地质条件和分支井眼几何形态等主控因素的制约,只有将二者有机结合并进行井身结构优化,才能发挥出多分支水平井的效率。

(2)加强煤层气开发数值模拟技术的研究,开发数值模拟软件。煤层气数值模拟软件刻画了煤层气解析、扩散、渗流的过程,通过数值模拟对煤层气产能做出预测,为煤层气开发方案设计提供参考。

(3)建立完善的煤层气多分支水平支井风险评估体系,包括煤层井壁稳定力学评价,断层、煤阶和地层倾角等储层特性的影响评估等方法。

(4)进一步研发配套的煤层气多分支水平井设计软件和井下工具,包括煤层造洞穴工具、高效减阻接头和电磁测距装置等。

参考文献:

- [1] 胡汉月,向军文,刘海翔,等. SmartMag定向中靶系统工业试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(4):6-10.
- [2] 陈剑奎,胡汉月. SmartMag定向钻进高精度中靶系统及其应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):10-12.
- [3] 隆东,张新刚,岳刚,等. H024U井施工工艺及精确中靶技术措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):5-8,12.
- [4] 饶孟余. 煤层气多分支水平井钻井关键技术研究[J]. 天然气工业,2007,27(7):53-55.
- [5] 饶孟余,张遂安,等. 提高我国煤层气采收率的主要技术分析[J]. 中国煤层气,2007,4(2):15-16.
- [6] 黄国耀. 韩城地区煤层气水平井钻井工艺技术研究[D]. 陕西西安:西安科技大学,2009.
- [7] 乔磊,申瑞臣,等. 煤层气多分支水平井钻井工艺研究[J]. 石油学报,2007,28(3):112-114.
- [8] 刘海翔,刘汪威,陈剑奎,等. 土耳其贝帕扎里采集卤钻井三期工程井组布置的优化设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):9-11.