

页岩气开发新井型

赵万福^{1,2}

(1. 山西省煤炭地质 114 勘查院, 山西 长治 046011; 2. 山西省煤层气工程技术研究院, 山西 长治 046011)

摘要:中国缺水少地,人口众多,地形复杂,页岩气储层埋藏深、维度高、渗透率低、可改造性差。美国页岩气勘探开发常规技术——水平井加多段压裂在中国有一定的局限性,为此,提出了一种新的页岩气开发井型。它不同于传统的直井、斜井或水平井,由主井及其周围的辅助洞穴构成,其中主井用于生产排采,洞穴用于储层改造。主井完井方式为直井或斜井,辅助洞穴完井方式为分支定向井或丛式井或为两者的组合。储层改造采用低成本高效的聚能爆破等技术来代替高费用的水力压裂,采用多点建造洞穴代替多段压裂和同步压裂,以保持储层裂缝系统的连续性和有效性,进而扩大有效排采面积,降低井网密度。为模拟改造效果,在坚硬的混凝土路面进行了实验,结果表明,建造多个洞穴并震动,可以产生相互连通的裂隙,能够达到整体改善储层渗透性能的效果。

关键词:页岩气;井型;聚能爆破;整体改造;体积改造;储层改造

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)10-0009-04

New Well Type of Shale Gas Development/ZHAO Wan-fu^{1,2} (1. Shanxi No. 114 Institute of Coal Geological Exploration, Changzhi Shanxi 046011, China; 2. Shanxi CBM Engineering Research Institute, Changzhi Shanxi 046011, China)

Abstract: China has large population with insufficient water and land and varied geomorphology, shale gas reservoir has the characteristics of deep burial, high dimension, low permeability and poor alterability. The application of horizontal well and multi-interval fracturing techniques have certain limitations in China, which are conventional techniques for shale gas development in America. For this reason, a new type of development well is proposed. Being different to traditional vertical, deviated or horizontal wells, it is formed with the main shaft and the surrounding auxiliary caves. The main shaft is designed for production, the auxiliary caves are for reservoir stimulation. The completion methods of main shaft can be vertical well or deviated well, the auxiliary caves are branch directional well or cluster wells and may be the combination of the two. For the reservoir stimulation, the cost-effective cumulative blasting technology is adopted in place of the high-cost of hydraulic fracturing; taking multi-cave in place of multi-stage fracturing and simultaneous fracturing in order to keep the continuity and effectiveness of reservoir fracture system, expand the effective drainage area and reduce the spacing density. To simulate the effect of reconstruction, an experiment was carried out on the hard concrete pavement, the result shows that by a number of caves and vibration, interconnected fissures can be produced to achieve the overall improvement of reservoir permeability.

Key words: shale gas; well type; cumulative blasting; overall reconstruction; volume reconstruction; reservoir stimulation

0 引言

能源是社会和经济发展的基础,是人类的生产和生活要素。日本大地震后核电危机的影响,加剧了全球对传统能源的重视和依赖。美国在页岩气方面的成功开发不但改善了本国天然气供应格局和能源安全状况,也极大地刺激了全球范围内页岩气的开发热潮。中国境内页岩气含气面积广泛,具有巨大的资源潜力和勘探开发远景^[1-3],已经作为一种独立矿种进行管理。大规模开发可以改善中国以煤炭为主的能源结构,缓解油气资源的需求压力,实现能源供给多元化,并向清洁能源模式转变,也进一步保障国家能源战略安全。然而,页岩气为低渗透油气藏,自然产能几乎为零,必须改造才能产出。目

前,世界上只有少数北美国家(主要是美国)实现了页岩气的商业化开采。美国页岩气勘探开发的经验是:水平井加多段压裂。目前中国仅施工 100 多口探井和少量试采井,还没有完全掌握这项技术^[2-6]。最简单的方式就是与国外公司合作,引进、消化他们的技术。这种方式除了在能源外包方面存在的一些弊端,还存在外国现有技术对中国复杂情况的适应性问题^[2]。由于中国的页岩气地质背景比北美地区复杂:地表、地下地质条件差、维度高、可压性差,如多分布在山区,储层埋深大,多期次构造运动叠加、改造,断层、褶曲发育,杨氏模量低、泊松比高、岩石脆性指数低^[2-5]等等,美国现有技术能否适用于中国有待验证。2012 年 6 月,由于在波兰东部页岩

收稿日期:2013-11-06; 修回日期:2014-07-23

作者简介:赵万福(1969-),男(汉族),山东潍坊人,山西省煤炭地质 114 勘查院、山西省煤层气工程技术研究院工程师,地质及煤层气地质开发专业,从事煤地质、煤层气地质及地球物理工作,山西省长治市城西北路 49 号,zwfwg@163.com。

气开发中遭遇失利,石油巨头埃克森美孚公司宣布暂停波兰境内的页岩气勘探工作^[7],此前在匈牙利,该公司的一口页岩气勘探井也因开采出的几乎全是水而被迫放弃,导致超过7500万美元的投资化为乌有。这些案例说明美国页岩气勘探开发技术具有局限性,并非普适的。而且这种方法所带来的高成本、高风险、环境污染等问题也没有很好的解决^[3,4,8]。美国的页岩气井场面积和井网密度远大于常规天然气^[3,8],需要消耗大量的水和占用大量的土地。中国人均占有土地和水资源的数量远逊于美国,存在不可触碰的18亿亩耕地红线,一些页岩气赋存区如云南、贵州等地连续多年出现大旱,鄂尔多斯、阿拉善、吐哈等盆地,水资源严重短缺。总之,中国大规模开发页岩气困难重重。有没有其它更简单、更环保、更节能、更低成本、更低风险,而且不大量依赖水源、不大量占用土地的方法?开发非常规油气藏就要有非常规思维,采用非常规的技术,本文提出一种页岩气开发的新井型,供探讨。

1 体积改造与整体改造

1.1 体积改造

页岩气储层与常规天然气储层的一个重要区别就是渗透率特别低,必须通过人工制造裂缝,形成气体通道。美国通过体积压裂、同步压裂对页岩气的增产方面应用得比较多,在美国页岩气开发技术基础上中国学者提出体积改造^[9]概念,是指通过压裂的方式在井筒周围页岩储层中形成各级裂缝,构成相互交错的裂缝网络,从而增加改造体积和泄气面积,实现提高单井初始产量和最终采收率的压裂改造技术^[9-11]。水平井多段压裂也被形象的称为“拉链式”压裂。

可以看出“体积改造”这一概念是从压裂施工的角度、以压裂作用的结果来命名的。在几千米深的地下,无论是水平地应力还是垂直地应力都非常高。受地层地质条件的限制,体积改造效果会仅限于水平井筒周围(同步压裂的改造效果可能好一些),并且一部分储层被压开的同时,必然有一部分储层挤紧。因而,体积改造是局部的、被动式的改造,不是工艺技术上的创新。

1.2 整体改造

和体积改造不是一类概念,目的是在生产井周围形成一个全方位的大面积的渗流场,使储层整体由低渗透变成高渗透,由非常规变为常规,从而大大提高产量和采收率。整体改造与井网密度相联系。

其优化设计是以低渗透储层整体作为一个工作单元,充分考虑储层垂向上和平面上的非均质性,优化设计改造面积、改造方式和施工成本之间的组合,同时评价储层改造实施后实际效果与设计吻合情况,为进一步优化改造设计方案提供实践依据。要达到整体改造的效果,水力压裂不是唯一的手段,更不是最佳的手段,尤其是针对厚度大、地应力高、垂向和平面非均质性强的储层。

与局部的、被动式的体积改造相比,整体改造是从储层整体的角度全面的、主动式的,不仅在平面上的,而且在垂向上进行全方位改造。

从体积改造到整体改造变被动为主动,是理念上的转变。要达到整体改造的效果必须建立新的技术体系。

2 新井型技术体系

2.1 井型结构和完井方式

新井型不同于传统的直井、斜井或水平井,由主井和主井周围储层内的若干个辅助洞穴(见图1)构成。其中,主井用于生产排采,洞穴用于储层改造,洞穴改造完成后保留洞穴并封井。储层改造方式主要为聚能爆破(见图2)。

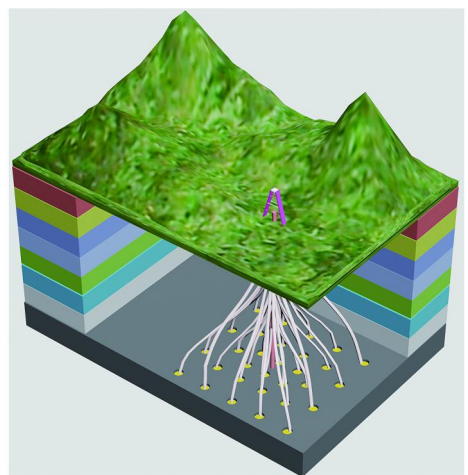


图1 新井型示意

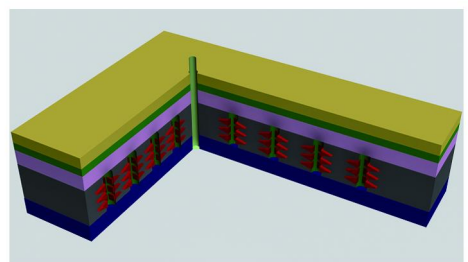


图2 储层改造示意

主井的完井方式可为直井或斜井。辅助洞穴的

完井方式可为分支定向井或丛式井或为两者的组合。洞穴的分布样式为矩形、菱形、圆形、椭圆形以及其它不规则形等。辅助洞穴直径要达到一定的范围,洞穴之间以及洞穴与主井之间设计一定的水平位移,以利于储层整体改造和扩大改造范围。储层改造还包括设计洞穴个数、洞穴靶区范围、爆破药量、重复爆破以及裂隙的监测与评估。不同的地区,应根据地质、地应力方位及储层情况进行优化,确定最佳的洞穴直径、洞穴水平位移、洞穴间距、靶区范围、爆破药量和洞穴分部样式、个数、改造洞穴的施工顺序等等。

2.2 工艺流程

主要工艺有:直井和定向斜井设计、钻井、建造洞穴、爆破、架桥、斜井固井、裂隙监测与评估、主井完井及固井、射孔及压裂等。爆破方式主要为聚能爆破,聚能方向为储层延伸方向;对于厚层储层采用自下而上方式依次进行;对于多储层,先完成下部储层改造并固井后,再对上部储层完成建造洞穴及聚能爆破;对于不易垮塌的储层进行两次或两次以上重复爆破。聚能爆破可通过油管或电缆进行。聚能爆破的同时,根据洞穴情况、爆破效果及储层物理化学性质,确定是否需要高能气体压裂、层内爆破、水力压裂、酸化压裂等其它改造方式。裂隙的监测与评估方面可采用示踪剂或其它方式。钻井技术方面,开展井身结构优化、钻井液优化,随钻测量等技术。

新井型结合了中国复杂的地形地质条件,集钻井设计、钻井、完井、整体改造、井网优化于一体。主要改造工序为:分支定向钻井(侧钻)→测井→建造洞穴→聚能爆破→监测→架桥→固井,集约化流水线作业。分支定向钻井都直接固井,不下套管。

2.3 储层整体改造机理

(1)聚能爆破过程能产生平行于储层延伸方向的拉张裂隙,这些裂隙可以有效地沟通所通过的原生裂隙,而破裂的岩石裂隙一般具有自支撑功能,它们共同形成复杂的裂隙网络。自下而上爆破和重复爆破能使裂隙发育更加全面,且不具有方向性。

(2)多点建造洞穴、重复爆破能保持裂缝系统的连续性和连通性。相邻穴之间易形成干扰裂隙,以波及更大的范围。

(3)由于洞穴顶部被封闭,内部存在一定空间,后期应力均衡和储层岩石流变过程中,会继续发生张性与剪切破坏、错断、滑移。张性和剪切破坏可以横切多组裂隙系统,增大了储层的裂隙网络和比表面积,最终在主井眼周围形成大面积全方位渗流通道,并使裂隙与主井相互沟通,达到整体改造储层的效果。

(4)多点建造洞穴形成大面积卸压区,储层地应力得以释放有利于吸附气的解吸、扩散和渗流。

3 模拟实验

为验证地下岩层通过建造洞穴、爆破产生裂隙、改造储层的效果,选用液压凿岩机在坚硬的混凝土路面进行试验。该实验通过准备维修的路面,由道路维修人员操作。液压凿岩机采用高压油作为动力,工作原理是冲击破碎。工作时高压油推动活塞,高频往复运动,不断冲击钎尾。图3为在坚硬混凝土路面的冲击试验情况。图3(a)为单孔冲击试验,机械振动在孔的周围产生裂隙;图3(b)为双孔冲击试验,两孔之间产生了相互连通的裂隙;图3(c)为多孔冲击试验,路面被整体改造。



(a) 单孔冲击试验



(b) 双孔冲击试验



(c) 多孔冲击试验

图3 坚硬混凝土路面的冲击试验

实验结果表明,多点建造洞穴、震动可以产生相互联通的裂隙,进而改变储层的渗流特性。

本实验的优势是可视化,实际的储层深埋于地

下,地应力高,改造过程极复杂,改造效果只能通过检测手段来评估。

4 新井型的优势与不足

如果采用美国水平井加多段压裂技术,由于单井体积改造范围有限,只有靠多打井,增加生产井数^[2,3],才能扩大改造体积。更多的生产井数则意味着更高的作业成本、工程风险和环境污染等问题。

4.1 新井型的优势

(1)工程风险低,且具有可控性。上天容易,入地难。水平井技术本身风险较高。相对于砂岩、碳酸盐岩储层,煤层、页岩层等非常规储层的抗压、抗剪强度低,长水平井段钻井过程中井壁易垮塌。中国已施工的水平段常遭遇钻井液漏失,缩径、憋泵、糊钻、卡钻、埋钻等工程事故^[3,6,12],影响钻井周期和增产改造效果,若处理不好会导致价值不菲的水平井钻具埋葬于地下。同时,压裂本身属于大型工程,使用车辆、人员较多,风险、成本高。在一些水平井钻、完井设备还不能完全国产化的背景下,采用现有成熟工艺,常规设备,能大大降低工程风险;不必在页岩层段进行水平钻进,避免了很多工程事故。即使某处洞穴改造失败,也不会影响其它洞穴改造效果,更不会造成全井报废。聚能爆破施工是在距离主井眼一定范围内进行,避免主井眼受伤害,保障后期生产排采。

(2)克服技术偏见,改变储层改造理念。常规水力压裂的过程中,压裂裂隙的扩展方向受岩石地层主应力方向影响比较严重^[11],在主应力垂直方向则裂隙少,分布不均匀。从下往上以及多次重复聚能爆破,可以使裂隙发育更全面,更广泛,改造更彻底,避免了压裂裂隙发育的片面性;克服了水平段固井、压裂对储层的损害;采用多点建造洞穴,造成地层的缺失,洞穴周围形成应力集中区,有利于裂缝的扩展,避开了水力压裂过程中局部储层被压开,相邻区块却被挤紧的伤害,避开了水平井固井、完井、射孔的技术难题,也避免了水平段固井、完井对储层的损害;由于较少采用水力压裂,避免了一些岩层遇水膨胀堵塞油气通道的问题;由于储层改造是在距离主井眼一定距离的范围内进行,能避免主井坍塌影响排采,可以保护主井眼,减少主井维修。在储层改造理念上变被动为主动,克服了开发低渗透油气藏必须打水平井、多段压裂等现有技术偏见。

(3)成本低。新井型单井有效排采面积大,能减少生产井眼,不采用大型压裂及众多的压裂车,从而减少井场和占地面积,降低井网密度,降低钻前工程(如修路、占地等)、设备搬迁、地面管线等,也便于后期管理;不受环境地形影响,能避开有地质问题

的地层钻进;工艺简单,建造洞穴中靶精度要求低;不大量依赖水源,无压裂返排废水的处理费用;炸药成本远比压裂成本低,如百吨炸药的成本仅五六十万元人民币,而且高效;不用大量消耗水力压裂用的陶粒、石英砂等资源。

(4)有利于环境保护,提高综合效益。井网密度低,占地面积少,修路少,对地表环境破坏少;压裂规模小,压裂次数少,甚至不需要,减少了对地下水的污染、压裂返排的废水和环境噪声污染;避免大量人造液体进入地层;钻井及完井过程中,不像水平井多段压裂那样造成大量天然气泄漏,对大气污染少。

(5)应用范围广。新井型除了可用于提高低渗透的页岩气藏的渗透率,从而提高采收率外,还可用于其它诸如致密砂岩气、碳酸盐岩气、盆地中心气、煤层气、水源井、地热井和低渗透油藏;可用于改造一些已完工但产能比较低或不产油气的生产井;不仅能显著提高低渗透油气藏的采收率,还有可能把一些目前还不可采的低渗透油气藏改造成可采资源;不仅可用于陆面,更可用于水上;可用于井场范围受限,水平井大规模“工厂化”作业难以施工的地区。

4.2 存在的不足

(1)新井型缺乏小型化钻井工程实验研究,如优先在储层埋深较浅的地区实施小面积整体改造工程实验,验证其效果。

(2)新井型虽然避开了美国页岩气技术所产生的大部分气体、液体以及压裂噪声的污染,但整体改造对固体地层的破坏会加重。虽可避免大量人造液体进入地层,但该生产井需用大量炸药,会产生一些新的风险。

(3)大位移斜井会多次穿越上部含水层段,应注意评估钻井液对上部含水层的伤害。

只有通过有效的手段,降低勘探开发费用,实现效益开发,走向市场化,页岩气开发才有出路。

5 结语

(1)中国缺水少地、人口众多的现实和复杂的地表、地下地质条件确定了不能全盘照抄、照搬北美的页岩气开发技术。从原理上推演创新,建立全新的低成本、低污染、低风险、少占地、少用水的开发技术,是必由之路。

(2)提出了页岩气开发的新井型,储层改造机理、工艺流程、现场实现途径。新井型克服了开发

(下转第25页)

此应选用 175 ℃ 的抗高温螺杆,普通螺杆易脱胶。

(4) 选用 175 ℃ 的抗高温 MWD。该井由于温度高导致出现 3 次仪器故障,损失钻井工期 6.38 天,如果该井除去仪器故障损失时间,实际钻井周期为 12 天。

(5) 套管以上井段使用 $\varnothing 127$ mm 钻杆,下部井段使用 $\varnothing 88.9$ mm 钻杆,增加水力性能,有利于携岩,减少井下复杂事故的发生。

6 结语

(1) 五段制侧钻水平井由于稳斜段的存在,有效延伸了井眼轨迹的水平位移,实现了地质避水的目标,适合于因出水严重而报废的老井进行二次开发。

(2) 通过井眼轨道优化设计,可以减少钻井起下钻次数,提高钻井时效,降低钻井成本。

(3) 在塔河油田高温区块,抗高温螺杆、抗高温 MWD 仪器及抗高温钻井液体系是保证超深侧钻水平井优快钻井的基础。

(上接第 12 页)

低渗透油气藏必须打水平井、多段压裂等技术偏见,改变了储层改造理念,降低了工程风险,为全面推进低渗透油气的产业化,提供了一种施工简单,对技术设备要求低,不大量依赖水源,占地面积小,应用面广的新方法。具有原理性、原型性、原创性的特征。

(3) 应开展页岩气新井型优化设计、药量设计与实施工艺技术、改造裂缝监测与评估技术等研究。优先在储层埋深较浅的地区实施小面积整体改造工程实验,最终建立匹配客观条件的高效低成本开发技术体系,实现跨越式发展。

参考文献:

- [1] 邹才能,董大忠,王社教,等. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发,2010,37(6):641-653.
- [2] 胡文瑞,鲍敬伟. 探索中国式的页岩气发展之路[J]. 天然气工业,2011,33(5):1-7.

参考文献:

- [1] 余福春. 塔河油田超深侧钻水平井钻井技术研究与应用[J]. 石油天然气学报,2009,31(5):312-317.
- [2] 马朝俊,王鸿新,范学礼,等. 塔河油田超深井小井眼短半径侧钻水平井钻井技术[J]. 石油地质与工程,2007,21(1):66-68.
- [3] 周伟,耿云鹏,石媛媛. 塔河油田超深井侧钻技术探讨[J]. 钻采工艺,2010,33(4):108-111.
- [4] 刘仕银,王龙,毛鑫. 塔河油田 6 区小井眼侧钻短半径水平井钻井技术探讨[J]. 钻采工艺,2013,36(3):21-23.
- [5] 符俊昌,刘匡晓,刘明国,等. 侧钻水平井钻井技术在塔河油田的应用研究[J]. 石油天然气学报,2005,27(4):622-623.
- [6] 夏宏南,王小建,杨明合,等. 加快侧钻中短半径水平井技术的研究与应用[J]. 西部探矿工程,2005,(4):82-84.
- [7] 郭建国. 塔河油田托普台地区钻井液技术[J]. 山东化工,2010,39(2):35-37.
- [8] 陈涛,乔东宇,郑义平. 塔河油田小井眼侧钻水平井钻井液技术[J]. 钻井液与完井液,2011,28(4):44-46.
- [9] 孟祥波,陈春雷,孙长青. 徐深 21-平 1 井轨迹控制技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):30-32.
- [10] 陈小元,王绪鹏,刘波,等. TP4CH 超深侧钻水平井钻探技术[J]. 复杂油气藏,2011,4(2):72-75.

- [3] 王道富,高世葵,董大忠,等. 中国页岩气资源勘探开发挑战初论[J]. 天然气工业,2013,33(1):1-10.
- [4] 王兰生,廖仕孟,陈更生,等. 中国页岩气勘探开发面临的问题与对策[J]. 天然气工业,2011,31(12):1-4.
- [5] 杜金虎,杨华,徐春春,等. 关于中国页岩气勘探开发工作的思考[J]. 天然气工业,2011,31(5):1-3.
- [6] 蒋国盛,王荣璟. 页岩气勘探开发关键技术综述[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):3-8.
- [7] 李北陵. 波兰页岩气开发失利的警示[N]. 中国煤炭报,2012-2-17(3).
- [8] 李佳,王驰,田慧颖. 页岩气开发中应关注的环境问题[J]. 油气田环境保护,2012,22(6):42-43,68.
- [9] 吴奇,胥云,王腾飞,等. 增产改造理念的重大变革——体积改造技术概论[J]. 天然气工业,2011,31(4):1-7.
- [10] 陈作,薛承瑾,蒋廷学,等. 页岩气井体积压裂技术在我国的应用建议[J]. 天然气工业,2010,30(10):1-3.
- [11] 雷群,胥云,蒋廷学,等. 用于提高低-特低渗透油气藏改造效果的缝网压裂技术[J]. 石油学报,2009,30(2):1-7.
- [12] 崔思华,班凡生,袁光杰. 页岩气钻完井技术现状及难点分析[J]. 天然气工业,2011,31(4):1-4.