

富县探区页岩气勘探开发的几点认识

梁月华^{1,2}, 张永春²

(1. 长江大学, 湖北 荆州 434023; 2. 中石化华北分公司, 河南 郑州 450006)

摘要:鄂尔多斯盆地中南部“定边-华池-富县”L形页岩气有利发育区,发育大套黑色页岩,有机质含量高、成熟度适中、构造破坏小。特别是富县探区除具有良好的生油条件外,还具有页岩气成藏条件,但其储集层物性差,孔隙度和渗透率极低,自然产能较低,开采难度大,页岩气的经济开采还处于探索起步阶段。针对目前中石化华北分公司在富县区块的工艺试验,在分析国外页岩气开发技术现状的基础上,提出了富县探区页岩气勘探开发的认识和建议。

关键词:页岩气;勘探开发;储层改造;钻井;压裂;鄂尔多斯;富县

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)12-0020-05

Some Understandings to Shale Gas Exploration and Development in Fuxian Exploration Area/LIANG Yue-hua¹, ZHANG Yong-chun² (1. Yangtze University, Jingzhou Hubei 434023, China; 2. Huabei Branch, Sinopec, Zhengzhou Henan 450006, China)

Abstract: “Dingbian - Huachi - Fuxian” is a favorable development zone of shale gas shaped in letter “L” in the central and southern Ordos basin, large complete set of black shale was developed there with high organic matter content, moderate maturity and slight structure destruction. In Fuxian exploration area, the economic production of shale gas is still in early stage of exploration, there is not only good oil generating condition, but also shale gas reservoir forming condition; but with poor reservoir properties, very low porosity and permeability, low natural productivity and being difficult to develop. According to the process test in Fuxian block and based on the analysis on the present situation of foreign shale gas development technique, the understandings and suggestions for shale gas exploration and development in Fuxian exploration area are put forward.

Key words: shale gas; exploration and development; reservoir reconstruction; drilling; fracturing; Ordos; Fuxian

1 页岩气的勘探前景

页岩气是一种非常规天然气资源,主要分布于我国的各海相、陆相盆地,如分布于四川、鄂尔多斯等盆地内厚度较大、分布较广的页岩烃源岩中。初步估计,我国页岩气资源量约为 $100 \times 10^{12} \text{ m}^3$,经济价值巨大,对缓解我国油气资源的接替压力有着至关重要的意义。

鄂尔多斯盆地中南部“定边-华池-富县”L形页岩气有利发育区,发育大套黑色页岩。其分布面积广、沉积厚度大、埋藏深度适中、有机质含量高、成熟度适中、构造破坏小。富县探区中生界除具有良好的生油条件外,还具有页岩气成藏的条件(图1)。目前已完钻的100余口井长₇、长₈页岩均有气显示。特别是探区中、西部含气页岩面积达1247 km²,页岩厚度大,页岩及砂岩的气显示都较好。如中陕32井长₇、长₈页岩段随钻全烃分别高达73%、64%,中富18井长₇、长₈页岩段随钻全烃分别高达65%、

50%。与中陕32井邻近的中富28井、中富26井长₈也试获工业气流,进一步印证了长₇、长₈页岩气资源丰富,勘探开发潜力很大(图2)。

2 国外页岩气开发技术现状

页岩气具有“低孔、低渗、低采收率、低产”的特点,开采难度大。国外在页岩气勘探开发方面已开展了一系列的工艺、技术研究,尤其美国在页岩气勘探开发上已步入大规模快速发展阶段,形成了许多值得借鉴的宝贵经验,水平井、储层改造已成为页岩气开发的关键技术。

2.1 水平井钻井技术

钻井作业采用常规泥浆系统、井下钻具以及定向设备等,关键技术是有效的井身设计和地质导向技术,以确保在目标区内钻井,避免断层和其他复杂构造区,水平段越长,最终采收率和初始开采速度就越高。在水平钻井过程一般采用MWD(随钻测井)

收稿日期:2012-09-19

作者简介:梁月华(1979-),女(汉族),河北唐山人,长江大学工程硕士在读,中石化华北分公司,石油与天然气工程专业,从事油气勘探工作,河南省郑州市陇海西路199号,yuehua817@126.com。

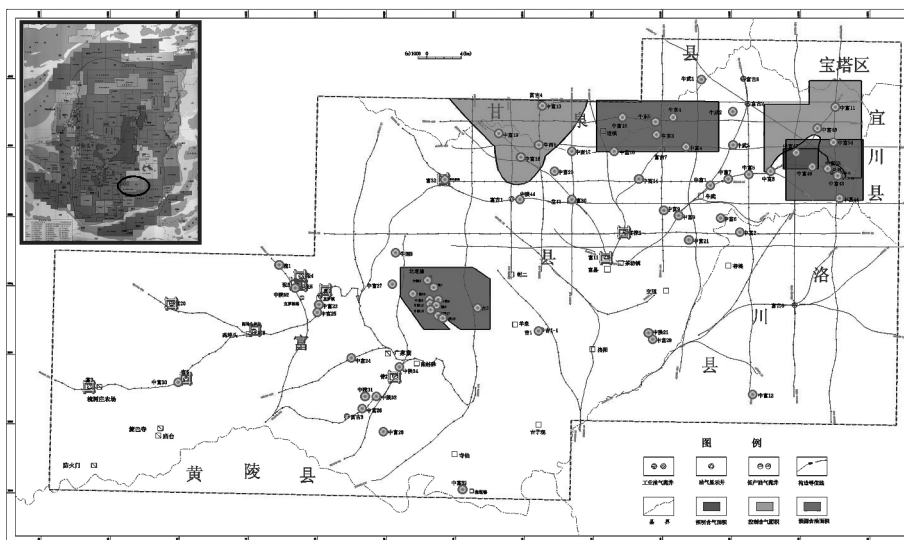


图1 富县探区研究范围

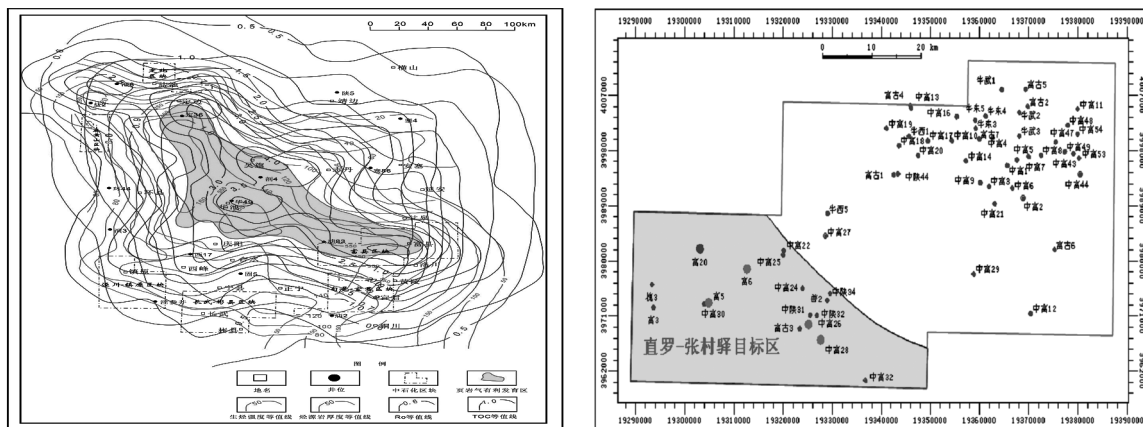


图2 富县探区含气页岩有利发育区

和自然伽马在页岩段内定向控制和定位,应用对比井和地震数据避开已知有井漏问题和断层的区域(见图3),否则会导致钻穿目标区,或者发生井漏等复杂情况。

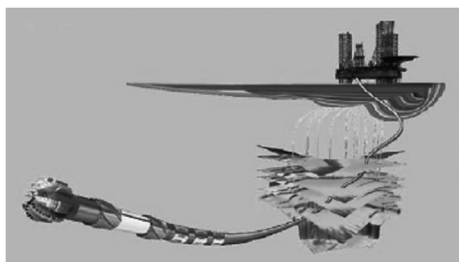


图3 应用随钻测井系统优化完井设计图

与直井相比,水平井在页岩气开发中具有无可比拟的优势。一般水平井选择与主要裂缝网络系统大致平行的方位钻井,以穿越有机质与硅质富集、裂缝发育程度高的页岩区及层位,能够生成众多横向诱导裂缝,使天然或诱导裂缝网络彼此联通,可增大

页岩气泄流面积,提高采收率。据美国页岩气井统计表明,最有效的水平井进尺一般914~1219 m(包括造斜井段),水平井的方位角及进尺对页岩气产量产生重要的影响。

2.2 水平井完井技术

页岩气井的完井方式主要包括组合式桥塞完井、水力喷砂射孔完井和机械式组合完井。

组合式桥塞完井是在套管井中,用组合式桥塞封隔各段,分别进行射孔或压裂,这是页岩气水平井最常用的完井方法,但因需要在施工中射孔、坐封桥塞、钻桥塞,也是最耗时的一种方法。

水力喷砂射孔完井适用于直井或水平套管井。从工具喷嘴喷射出的高速流体可射穿套管和岩石,达到射孔的目的。通过拖动管柱可进行多层作业,免去下封隔器或桥塞,缩短完井时间。

机械式组合完井采用特殊的滑套机构和膨胀封隔器,适用于水平裸眼井段限流压裂,一趟管柱即可

完成固井和分段压裂施工。目前主要有 Halliburton 公司的 Delta Stim 完井技术,施工时将完井工具串下入水平井段,悬挂器坐封后,注入酸溶性水泥固井。井口泵入压裂液,先对水平井段最末端段实施压裂,然后通过井口投球系统操控滑套,依次逐段进行分段压裂。最后放喷洗井,将球回收后即可投产。膨胀封隔器的橡胶在遇到油气时会自动发生膨胀,封隔环空、隔离生产层,膨胀时间也可控制。

2.3 压裂增产改造技术

页岩是一种裂缝型储层,物性差,孔隙度和渗透率极低,自然产能较低。美国页岩气平均单井 1000 m^3/d ,曾先后采用裸眼完井、硝化甘油爆炸增产技术、高能气体压裂、氮气泡沫压裂、水力压裂、重复压裂及同步压裂等增产改造技术,极大地改善了页岩气井的生产动态与增产作业效果,页岩气单井产量增长显著,极大地促进了页岩气的快速发展。

页岩气压裂产能贡献主要来自于水力裂缝网络和地层中的微裂缝微孔隙,页岩气主要通过水力压裂裂缝以及天然裂缝相互交错组成的网络通道从地层流入井内(图4)。页岩气短期产量依赖于主裂缝,而长期产量依赖于裂缝网络。对于页岩储层压裂改造要力求利用天然裂缝,大量的微地震监测发现页岩压裂多数是吹气球的裂缝形态,即水锤效应(图5)。

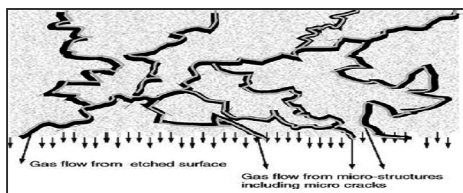


图4 裂缝网络中页岩气的流动模拟图

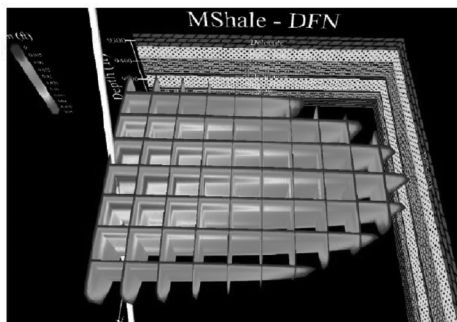


图5 基于 DFN 模型模拟的页岩裂缝模型图

2.3.1 水力压裂

水力压裂以清水为压裂液,支撑剂较凝胶压裂少 90%,并且不需要粘土稳定剂与表面活性剂,大部分地区完全可以不用泵增压,较之美国 20 世纪

90 年代实施的凝胶压裂技术可以节约成本 50% ~ 60%,并能提高最终估计采收率,目前已成为美国页岩气井最主要的增产措施(见图6)。

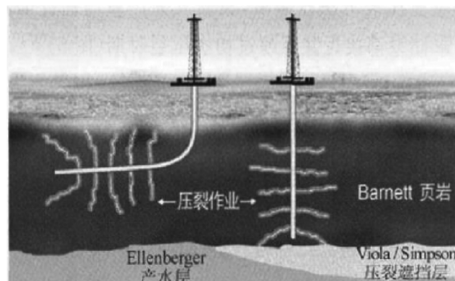


图6 水力压裂增产示意图

2.3.2 水平井分段压裂技术

最初水平井的压裂阶段一般采用单段或 2 段,目前已增至 7 段甚至更多。如美国新田公司位于阿科马盆地 Woodford 页岩气聚集带的 Tipton - 1H - 23 井经过 7 段水力压裂措施改造后,增产效果显著,页岩气产量高达 $14.16 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ (见表1)。水平井水力分段压裂技术的广泛运用,使原本低产或无气流的页岩气井获得工业价值成为可能,极大地延伸了页岩气在横向与纵向的开采范围,是目前美国页岩气快速发展最关键的技术。

表1 新田公司阿科马盆地 Woodford 页岩气水平井压后产能统计

井名	压裂段数	初始产量 $/(\times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	最终产量 $/(\times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
Tollett - 1H - 22	5	28.32	16.99
Bullock - 1H - 15	5	14.16	11.61
Tipton - 1H - 23	7	19.82	14.16

2.3.3 重复压裂

当页岩气井初始压裂处理失效或现有的支撑剂因时间关系损坏或质量下降,导致产量大幅下降时,重复压裂可重建储层到井眼的线性流,恢复或增加生产产能,可使估计最终采收率提高 8% ~ 10%,可采储量增加 60%,是一种低成本增产方法。

2.3.4 同步压裂

2006 年,同步压裂技术开始在 Barnett 页岩气井完井中实施,在相隔 152 ~ 305 m 范围内钻 2 口平行的水平井同时进行压裂,显示出广阔的发展前景。同步压裂采用的是使压裂液及支撑剂在高压下从一口井向另一口井运移距离最短的方法,来增加水力压裂裂缝网络的密度及表面积。目前已发展成 3 口井同时压裂,甚至 4 口井同时压裂。采用该技术的页岩气井短期内增产非常明显。

2.3.5 裂缝综合监测技术

页岩气井实施压裂改造措施后,需要有效的方法来 确定压裂作业效果,获取压裂诱导裂缝导流能力、几何形态、复杂性及其方位等诸多信息,改善页岩气藏压裂增产作业效果以及气井产能,并提高天然气采收率。

推断压裂裂缝几何形态和产能的常规方法主要包括利用净压力分析进行裂缝模拟,试井以及生产动态分析等间接的井响应方法。利用地面、井下测斜仪与微地震监测技术结合的裂缝综合诊断技术,

可直接地测量因裂缝间距超过裂缝长度而造成的变形来表征所产生裂缝网络,评价压裂作业效果,实现页岩气藏管理的最佳化。

3 富县页岩气探索

富县区块在中生界目前已完钻 100 余口。其中长₇、长₈页岩均有气显示(见表 2),但储集层物性差,其孔隙度和渗透率极低,自然产能较低,开采难度大,所有的井都需要实施储层改造才能开采出来。

表 2 富县探区部分探井页岩气显示特征

井名	层位	井深/m		视厚/m	岩性	气测全烃/%		
		顶深	底深			最高值	基值	净增值
中陕 31 井	长 ₇	856	924	68	页岩、泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩	20	7	13
	长 ₇	797	828	31	页岩、泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩	73	30	43
中陕 32 井	长 ₇	848	890	42	页岩、泥岩、粉砂质泥岩、细砂岩	73	30	43
	长 ₈	910	959	49	泥质粉砂岩、粉砂岩	64	28	36
中富 18 井	长 ₇	922	945	23	页岩、细砂岩	64.765	1.5	63.265
	长 ₈	945	959	14	泥岩、细砂岩	49.919	1	48.919
中富 25 井	长 ₇	846	880	34	页岩、细砂岩	5.5	0.5	5
	长 ₈	933	994	61	页岩、泥岩	5.5	2.5	3
	长 ₈	1067	1095	28	页岩、泥岩、细砂岩	6	3	3
牛武 1	长 ₇	1100.2	1111.8	11.6	页岩	9.1	0.2	8.9
牛武 2	长 ₇	795.7	810.5	14.8	页岩	12.5	0.3	12.2
牛武 3	长 ₇	729.6	754.8	25.2	页岩	5.1	0.1	5

2010 年,中富 53 井长₇泥页岩进行了伴注液氮压裂作业,考虑到目的层埋深较浅,地层温度较低,压裂液中加入了低温激活剂,共加砂 26.75 m³,以求取泥岩闭合应力,滤失系数,裂缝延伸压力,摩阻系数等作业参数,测试期间未取得产量。洛河 3 井长₆泥页岩(视深度 1090 m)进行伴注液氮压裂作业,目压裂液中加入了低温激活剂,共加砂 1.5 + 26.5 m³,测试未取得产量(表 3)。

表 3 2010 年富县区块施工参数

井号	井段/m	规模/m ³	前置液百分比/%	平均砂比/%	排量/(m ³ ·min ⁻¹)	最高砂比/%	试气成果
中富 53	740~763	26.75	40	9.66	4.1~4.2	10	无产量
洛河 3	1069.5~1072	28	33.6	22.6	2.0~2.1	35	无产量

从表 4 可以看出,目前富县区块的开采与国外的开发历程进行对比,富县区块还处于页岩气开采的第一阶段,钻井方式采用直井,储层改造方式采用羟丙级压裂+液氮助排。目前的改造方式存在以下几个问题:

(1)储层低孔低渗致密、埋藏浅(500~800 m)、温度低,容易造成压裂液体体系破胶不彻底从而导致压后液体的返排困难,需要进行低温条件下的胍胶压裂液体体系研究和优化。

表 4 国外页岩气开采方式和富县对比

参数	国外	富县
沉积环境	海相沉积	陆相
岩性	页岩	泥岩和砂岩
储层厚度/m	48.5~54.5	10~17
渗透率/md	2.5 × 10 ⁻⁴	0.01~0.5
改造方式	同步压裂	水力压裂
钻井方式	水平井	直井
同步压裂井数	2~4	
裂缝形态	垂直	水平或斜交
水平段间距/m	152~305	
水平段长/m	600	
每段液量/m ³	1600	
压裂液体体系	滑溜水	羟丙级胍胶液体体系
每段(层)加砂量/m ³	100 目 30 t, 30/50 目 90 t(75 m ³)	26~27
液砂比	21:1	(7~10):1
压裂段数	5~7	1

(2)钻井方式采用直井钻进,与储层的接触面积小,改造程度低,仅能改造井筒周围的储层,不易获得产量。

(3)储层埋深浅,压裂改造的裂缝形态复杂,人工裂缝形态是进行压裂施工设计的基础,由于对人工裂缝形态认识不清,造成压裂施工工艺无法取得突破。因此,需要通过对已有压裂资料及区块岩石力学资料进行分析,确定富县页岩气压裂施工形成

的人工裂缝形态,从而为压裂设计优化提供技术基础支持。

(4)目前的压裂液体系,由于破胶不彻底,易对地层造成伤害,且页岩地层微裂缝发育,返排率不高,这对于页岩气地层造成的伤害将会是致命的,因为页岩储层均存在水锁现象。

4 认识和建议

4.1 认识

(1)裂缝的形态在富县页岩气的勘探开发中占重要地位,裂缝的形态直接关系井的钻进方式、完钻形式和储层改造方式,直接决定富县页岩气的开发方式。

(2)目前我们对于富县页岩气的开采还处于探索阶段,处于页岩气开采的第一阶段。

(3)页岩气的开采,目前的压裂液体系需要优化、压裂液工艺需要探索。

4.2 建议

(1)富县探区钻进方式采用丛式井钻进或水平井,在裂缝形态清楚的情况下实现多段压裂,以扩大储层的渗流面积。

(2)优化施工工艺,液体采用滑溜水压裂液体系,并对压裂液进行优化,尽可能的降低施工摩阻,并实现对储层伤害低,避免水锁伤害,实现页岩气开采的突破。

(3)通过优化选区,进行水平井或直井的同步

压裂试验,探索富县工区的页岩气的压裂工艺。

(4)在进行工艺试验的同时,开展各种监测,通过检测优化施工工艺,评价施工效果。

参考文献:

- [1] 黎红胜,等.美国页岩气勘探开发关键技术[J].石油机械,2011,(9).
- [2] 张金川,等.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,(7).
- [3] 李新景,等.北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J].石油勘探与开发,2007,(4).
- [4] 李大荣,等.美国页岩气资源及勘探历史[J].石油知识,2004,(1).
- [5] 张卫东,等.页岩气钻采技术综述[J].中外能源,2010,(6).
- [6] 李世臻,等.世界页岩气勘探开发现状及对中国的启示[J].地质通报,2010,(6).
- [7] 董大忠,等.页岩气资源潜力与勘探开发前景[J].地质通报,2011,(2).
- [8] 罗佐县,等.美国页岩气勘探开发现状及其影响[J].中外能源,2012,(1).
- [9] 赵勇,等.页岩气开发现状及成功开发页岩气的关键因素[J].中外能源,2011,(7).
- [10] 郑军卫,等.页岩气勘探开发技术进展[J].天然气地球科学,2011,(3).
- [11] 江怀友,等.世界页岩气资源与勘探开发技术综述[J].天然气技术,2008,2(6).
- [12] 唐代绪,等.美国 Barnett 页岩气开发中应用的钻井工程技术分析与启示[J].中外能源,2011,(4).
- [13] 杜林麟,等.页岩储层水力压裂优化设计[J].石油钻采工艺,2010,(B11).

山东省出台找矿突破战略行动实施方案

新华网消息 日前,由山东省国土资源厅会同有关部门编制的《山东省找矿突破战略行动组织实施方案》(以下简称《实施方案》)已通过相关部门审查,经山东省发改委、科技厅、财政厅会签,并联合行文下发到各市国土资源局、发改委、财政局、科技局。

据了解,《实施方案》是根据国家《找矿突破战略行动纲要(2011~2020年)》的总体部署,以科学发展观为指导,围绕实现找矿重大突破及“资源山东建设,缓解资源瓶颈制约”的目标,结合山东省经济社会发展特点和地质找矿工作现状及形势,经省内外有关专家反复研讨、论证,并征求省地勘局、煤田地质局、中国冶金地质局山东局等多个地勘部门的意见的基础上出台的。

《实施方案》分别从山东省成矿地质背景与资源潜力、矿产资源勘查开发利用现状、总体思路与目标任务、基础地质调查与研究、重要矿产勘查、矿产资源节约与综合利用、找矿突破科技支撑、主要实物工作量和经费来源、组织实施、保障措施等十个方面进行认真分析研究,全面部署了山东省地质找矿突破战略行动。

《实施方案》共突出4个方面的内容,一是加强基础地质调查与研究;二是开展金、铁、煤、金刚石、铜、铅锌及页岩气等重要矿产勘查;三是实施矿产资源节约与综合利用示范、试点项目,建立矿产资

源综合利用示范基地;四是加强找矿突破科技支撑,研究解决重大基础地质问题、关系找矿突破的关键理论和技术问题和矿产资源难利用及综合利用问题。重点安排6个方面的任务:基础性地质调查、矿产资源远景调查、重要固体矿产勘查、老矿山找矿、矿产资源节约与综合利用、地质科技支撑。

山东省找矿突破战略行动总体目标为通过实施找矿突破战略行动,提高基础地质调查程度,引进、利用地质找矿新理论、新技术、新方法和综合勘查技术,提高科技支撑能力,实现找矿重大突破,新增一批重要矿产资源储量,形成一批大中型矿产资源基地,提升全省重要矿产资源保障能力。同时,培育壮大勘查开发市场主体,创新地质勘查体制机制,构建资源安全供应的长效机制;推进技术与资本的结合,促进地勘单位、矿业企业向探采一体化方向改革发展;推进矿产资源节约与综合利用,促进资源与环境协调发展和矿产可持续利用,为经济平稳较快发展提供有力的资源保障和产业支撑。到2020年,力争全省新增(333)及以上类别资源量:金矿660t,铁矿30亿t,煤矿50亿t。找矿突破战略行动实施周期为2011~2020年,根据阶段工作进展,拟定于2014年和2016年分别滚动修编。