

煤层气多分支水平井的最新进展及发展趋势

姜文利^{1,2}, 叶建平³, 乔德武²

- (1. 中国地质大学(北京)海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100034; 3. 中联煤层气有限责任公司, 北京 100011)

摘 要: 多分支水平井是开采煤层气的重要手段。多适用于中、高煤阶煤层, 煤层机械强度较高, 力学性质稳定; 地质条件要求埋深适中, 煤层厚度适中, 横向连续稳定分布, 煤层中夹矸不发育, 构造稳定, 避开断层和破碎带。煤层气多分支水平井技术最主要的优点表现在, 单井产气量高、采收率高、生产周期短、井场占地面积少。不同地质条件需采用不同井型多分支水平井, 其经济效益与社会效益不同。

关键词: 煤层; 煤层气; 多分支水平井

中图分类号: TD712⁺.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-4051(2010)01-0101-03

The recent process and developing tendency in CBM multi-branch horizontal well

JIANG Wen-li^{1,2} YE Jiang-ping³ QIAO De-wu²

- (1. The Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Strategic Research Center of Oil & Gas Resources, Ministry of Land & Resources, Beijing, 100034, China;
3. China United Coalbed Methane Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: CBM multi-branch horizontal well is applicable to coalbeds of the high rank CBM and mechanical property stabilization. The coalbeds should be appropriate thickness and depth, stable distribution and stable structure. The major advantage of CBM multi-branch horizontal well is high well-gas production rate, high recovery efficiency, short period of production and little floor area. The different geological conditions do correspond with the different type CBM multi-branch horizontal wells. There are different economic benefit and social benefit in the different type CBM multi-branch horizontal wells.

Key words: coalbeds; coalbed methane; Multi-branch horizontal well

1 我国多分支水平井应用现状

多分支水平井技术应用于煤层气始于 20 世纪初, 美国 CDX 公司在试验成功后迅速在美国和其他国家推广应用。煤层气多分支水平井, 又称羽状水平井, 是指一个或两个主水平井眼侧再侧钻出多个分支井, 能够穿越更多的煤层割理裂缝系统, 最大限度地沟通裂缝通道, 增加泄气面积, 使更多的气体进入主流道, 提高单井产气量。煤层其多分支水平井一般由工程井和生产井组成一个翼, 工程井包括直井段、造斜段和水平段, 水平段包括主支和分支; 生产井为直井, 在煤层段

造洞穴, 并与水平段连通。在一个工程井中可以沿不同方向布置 2~4 个翼。

2004 年, 我国正式开始引进煤层气多分支水平井以后, 中石油、中联煤等多家公司在沁水盆地、韩城区块、保德区块等地区进行试验, 成功率高钻井主要集中在沁水盆地南部地区。

过去几年多分支水平井完井数量节节上升(图 1)。2005 年、2006 年是多分支水平井技术引入中国的初期, 处于摸索期, 不成功的井较多。2007 年, 多分支水平井完井数量增加, 成功率不断增高, 如表 1。到 2008 年 10 月为止, 全国已施工多分支水平井 64 口, 正在产气 37 口, 产能达到 7 亿~8 亿 m³。在樊庄-胡底区块, 2006~2010 年度实施 191 口水平井, 直井 566 口, 最终实现 15 亿 m³ 的产量, 在 15 亿 m³ 产量中, 多分支水平

收稿日期: 2009-07-24

基金项目: 全国油气资源战略选区调查与评价专项项目资助

作者简介: 姜文利, 男, 在读博士, 主要从事石油地质、煤层气、页岩气、油气资源战略研究工作。

井将占大部分产量。在柿庄南区块、潘庄区块开发方案中, 均将多分支水平井作为开发的主要手段进行部署。柿庄南区块共部署钻井 405 口, 其中多分支水平井 20 口, 直井 385 口, 建设 4 亿 m^3 年产能。潘庄区块, 共布井 251 口, 其中多分支水平井 189 口, 直井 62 口, 建设 7 亿 m^3 年产能。

目前, 我国沁水盆地南部多分支水平井单井日产量达到 $6000 \sim 40000 \text{m}^3$, 比直井压裂方法单井产量提高 5 ~ 10 倍。我国可以完成煤层气多分支水平井钻井施工的队伍有多家, 其中以奥瑞安公司为代表, 其钻井成功率和规模均处于领先地位。我国现阶段进行多分支水平井钻井的单位主要集中在中石油、中联煤及亚美大陆三家公司 (图 2)。

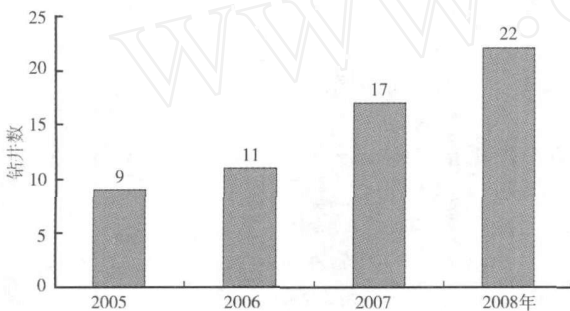


图 1 全国历年煤层气多分支水平井钻井数统计

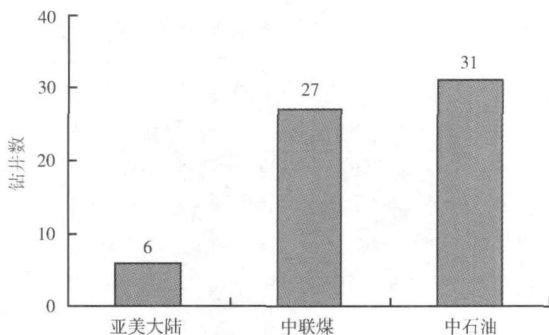


图 2 全国各单位历年煤层气多分支水平井钻井数统计

2 多分支水平井的技术优势

煤层气多分支水平井技术最直接的优点表现在, 单井产气量高、采收率高、生产周期短、井场占地面积少。

(1) 增加了有效供给范围

水平钻进几百米是比较容易的, 而要压裂这么长的裂缝几乎是不可能的, 而且, 造就一条较长的支撑裂缝要求使用大型的压裂设备。多分支水平井在煤层中呈网状分布, 将煤层分割成很多连续的狭长条带, 从而大大增加煤层气的供给范围。

(2) 提高了煤层气导流能力

压裂的裂缝无论长度多长, 流动的阻力都是相当大的, 而水平井内流体的流动阻力相对于割

理系统要小得多。分支井眼与煤层割理的相互交错, 煤层割理与裂隙更畅通, 就提高了裂隙的导流能力。

(3) 减少了对煤层的损害

常规直井钻井完钻后要固井、水力压裂改造, 每个环节都会对煤层造成不同程度的损害, 而且煤层损害很难恢复。多分支水平井钻井完井方法避免了固井和水力压裂作业, 只要在钻井时设法降低钻井液对煤层的损害, 就能满足工程要求。

(4) 提高了单井产气量

经过近几年的初步试验和排采, 表明多分支水平井单井日产气量可达 1 万 m^3 以上, 沁水盆地潘庄井组平均产量达 5 万 m^3 , 最高产量为 10 万 m^3 。

(5) 提高了采收率, 缩短了生产周期

据已实施多分支水平井的煤矿资料, 多分支水平井前 3 年生产数据, 按照 100m 分支间距布置多分支水平井, 2 ~ 3 年内煤层气采收率达到约 40 % ~ 50 %, 而达到此采收率的话, 直井需要开采 15 年 ~ 20 年。据数值模拟预测, 多分支水平井组排采 3 年时就可达到井间干扰作用, 煤层气采收率达到 40 % 以上, 排采 5 年煤层气采收率达到 55 % 以上, 排采 10 年煤层气采收率达到 75 %。

当煤层气采收率达到 40 % ~ 50 % 时, 只需 3 年左右, 而直井需要开采 15 年 ~ 20 年。

(6) 减少了井场占地面积, 增大了抽排面积

多分支水平井井场占地少是显而易见的, 初步估计, 与相同抽排面积的直井相比, 多分支水平井将少 2/3。一个多分支水平井井场占地面积约 2400 m^2 , 对应抽排面积内布 6 口直井, 6 口直井井场占地面积共需 7200 m^2 。一个单翼多分支水平井控制的抽排面积在 0.5 ~ 0.6 km^2 , 如果一个井场设计 3 ~ 4 翼多分支水平井, 将控制 2 ~ 3 km^2 的抽排面积, 相当于 20 ~ 30 口 300m × 300m 井距部署的直井抽排面积。

3 多分支水平井钻井技术的适应性分析

煤层气多分支水平井不是在任何地质条件下都能起到比较好的效果。一般适合于中高煤阶煤层, 要求煤层机械强度较高, 力学性质稳定; 地质条件要求埋深适中, 构造稳定, 避开断层和破碎带, 煤层厚度适中, 横向连续稳定分布, 煤层中夹矸不发育。通常在以下几种地质和工程情况下, 多分支水平井技术才值得大力推荐。

(1) 稳定的煤层力学性质

多分支水平井一般要求煤层演化程度高, 达到中 - 高煤阶, 煤层构造稳定, 煤体结构完整, 断层和构造煤不发育, 煤层厚度大, 横向稳定性

好，能保证水平井眼尽量保持在煤层内。我国鄂尔多斯盆地、沁水盆地、宁武盆地石炭 - 二叠系含煤区以及华南二叠系含煤区，煤层单层厚度大，横向分布稳定，大多为中 - 高煤阶，机械强度高，力学性质稳定，含气性好，这些地区，非常有利于多分支水平井施工。

(2) 完整的煤体结构

多分支水平井需要完整或基本完整的煤体结构，尽量在断层分布少的区域进行钻进。当前的钻井工艺还无法克服井壁失稳的困难，而且煤体结构被完全破坏的煤层通常情况下都不具有良好的导流能力。

(3) 合适的渗透率范围

一般情况下，合适的煤层渗透率为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。太低，水平井的应力释放能力和压力传导能力无法克服煤体的固有缺陷；太高，传统的直井技术就足够使用。

(4) 储层压力不能太低

储层压力过低的情况下（小于 $0.6\text{MPa}/100\text{m}$ ），一般也不提倡选用水平井技术，这种情况下的水平井产能无法保障其开发投入的回收。

4 多分支水平井不同井型经济效益与社会效益分析

(1) 不同井型经济效益分析

我国已经进行了不同井型多分支水平井的试验，包括工程井和生产井分离的多分支水平井、工程井和生产井合一的多分支水平井、末端对接水平井，这三种井型的多分支水平井工程成本存在差异，同时产量也有所差别。其应用的对象或者说针对不同的地质条件和煤层特征有所不同。从产气效果分析，到目前为止，地下煤层段分支多、水平分支井长度大，达到较大抽排面积的多分支水平井，产气量较高，如果通过井组排采，达到区域整体压降，实现压力干扰，将会提高煤层气单井产量，提高煤层气采收率。工程井和生产井合一的多分支水平井产气效果和工程井和生产井分离的多分支水平井基本类似，差别在于节省了穿针、钻生产井等分项工程及其工程费用，但排采过程中修井次数增多，生产维护成本要增加。末端对接水平井从单井规模而言单井产量相对较低，但形成井组后，产量仍然较好。

总体而言，井型是根据钻井的地形、地质条件进行设计，如何使井型和地形、地质条件实现优化配置，将是达到工程经济合理的关键。实现设备和工具的国产化，技术队伍本土化，将减低工程成本造价、实现良好经济效益的必由之路。

(2) 社会效益分析

社会效益表现在节省井场用地和减少征地，实现环境保护、煤矿安全生产目标。

多分支水平井由于井场占地少，特别适合高差大、地形复杂的山地，适合森林保护区等林区。一方面在复杂的山区，减少道路、井场等征地面积，另一方面积极保护了林区森林植被的砍伐，保护山体、土壤的剥离，使得植被、山体、土壤等环境得到最大的保护。

多分支水平井钻井完井技术使煤矿煤层气实现快速抽采，实现煤矿安全生产，其社会效益不可估量。利用多分支水平井钻井完井技术经过 4 ~ 5 年的抽采，煤层气采收率可以达到 60 % ~ 70 % 左右，在采煤前极大地降低煤层含气量，节省煤矿建设和煤炭生产过程中通风系统和抽放系统投资，减少煤矿瓦斯爆炸。

多分支水平井是煤层气高效开发方式的发展趋势，该技术的推广应用必将为煤层气的勘探开发带来突破性进展，促进我国掀起开发煤层气的热潮。

5 结 论

(1) 多分支水平井技术应用是今后我国煤层气田开发的趋势，但其受到多种因素的控制。一般适合于中高煤阶煤层，要求煤层机械强度较高，力学性质稳定；地质条件要求埋深适中，构造稳定，避开断层和破碎带，煤层厚度适中，横向连续稳定分布，煤层中夹矸不发育。

(2) 影响多分支水平井钻井技术的客观控制因素是地层等；主观因素有分支井眼数目、分支段长、分支井眼方向及这个分支水平井眼系统的控制面积等。将各种控制因素有机结合并进行优化，才能充分发挥多分支水平井的效率。

(3) 在我国的中高煤阶、高强度和高含气量盆地选择使用多分支水平井技术不但可以实现良好经济效益，而且可以实现节省井场用地和减少征地，实现环境保护、煤矿安全生产目标的社会效益。

参考文献

- [1] 程林松, 等. 分支水平井产能的研究 [J]. 石油学报, 1995, 16 (2): 49 - 54.
- [2] 鲜保安, 等. 多分支水平井在煤层气开发中的应用机理分析 [J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33 (6).
- [3] 中国煤炭学会煤层气专业委员会. 中国石油学会石油地质专业委员会编, 2008, 2008 年煤层气学术研讨会论文集 [D]. 北京: 地质出版社.
- [4] 雷 群, 等主编. 中国石油学会石油地质专业委员会、中国煤炭学会煤层气专业委员会编, 2007, 煤层气勘探开发理论与实践 [M]. 北京: 石油出版社.