

Response Relationship between Shale Gas Productivity and Structural Deformation in JD Block of Large Jiaoshiba Area

Xiaochun Yi¹, Jian Sun², Lianbo Zeng³, Cuiping Meng⁴

¹Wuhan Exploration Company, SINOPEC, Wuhan Hubei

²Sinopec Jiangnan Oilfield Company, Qianjiang Hubei

³College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing

⁴Geophysical Prospecting Research Institute, Jiangnan Oilfield Company, SINOPEC, Wuhan Hubei

Email: jh262sgz@126.com

Received: Feb. 14th, 2018; accepted: Apr. 27th, 2018; publishers: Dec. 15th, 2018

Abstract

A set of high-quality shale formation was developed in the lower segment in Wufeng Formation of the Upper Ordovician-Longmaxi Formation of Lower Silurian in Jiaoshiba Area, where the quality of shale was stable in lateral distribution. Through development practices of Fuling Shale Gas Field in recent years, it was found out that the horizontal single well production was closely related with gas buried depth, the morphology of microstructure, dip angle of formation and strata curvature. However, the main controlling factors of shale gas single well production were varied in different blocks. Based on the structural factors, the difference of single well production in JD Block was analyzed, and the main structural factors controlling production in the block were identified. It is considered that buried depth and dip angle of formation are the key factors restricting shale gas productivity, while microstructures and strata curvature only control shale gas productivity in local blocks.

Keywords

Single Well Production, Structural Deformation, Burial Depth, Formation Dip Angle, Microstructural Morphology, Jiaoshiba Structure

大焦石坝JD区块页岩气产能与构造变形的响应关系

易小春¹, 孙 健², 曾联波³, 孟翠平⁴

¹中石化武汉勘查分公司, 湖北 武汉

²中石化江汉油田分公司, 湖北 潜江

³中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京

⁴中石化江汉油田分公司物探研究院, 湖北 武汉

作者简介: 易小春(1970-), 男, 工程师, 现主要从事油气勘探方面的研究工作。

Email: jh262sgz@126.com

收稿日期: 2018年2月14日; 录用日期: 2018年4月27日; 发布日期: 2018年12月15日

摘 要

焦石坝地区上奥陶统五峰组-下志留统龙马溪组下段发育一套优质页岩层, 页岩品质横向分布较为稳定。通过近几年涪陵页岩气田的开发实践, 发现水平井单井产量与埋深、微构造形态、岩层倾角以及岩层曲率等构造因素关系密切, 但不同区块对页岩气单井产量起控制作用的主控因素存在差异。从构造因素出发对JD区块的单井产量差异进行分析, 明确了该区块控制产量的主要构造因素, 认为埋深以及岩层倾角是制约页岩气产能的关键因素, 而微构造以及岩层曲率仅在局部区块对页岩气产能起到控制作用。

关键词

单井产量, 构造变形, 埋深, 地层倾角, 微构造形态, 焦石坝构造

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

受深水陆棚相制约, 大焦石坝地区晚奥陶世五峰期-早志留世龙马溪期发育一套厚度较为稳定的富碳、高硅质优质页岩, 是页岩气“成烃控储”的基础[1] [2]。同时, 成岩、成气以来的良好保存条件使得焦石坝主体箱状构造页岩气富集且高产, 成为中国最大的页岩气田[3] [4] [5]。在焦石坝主体箱状构造获取页岩气商业开发后, 如何实现页岩气的稳产及扩大勘探领域是亟需解决的问题。

JD区块位于焦石坝箱状背斜的北西翼北段, 目前, 钻井揭示该区具有较好的页岩气勘探潜力[6] [7] [8] [9]。构造变形是制约中国海相页岩气富集的核心因素之一, 立足于构造变形的差异性, 构建页岩气产能与构造变形的响应关系, 查明构造对页岩气富集的关键控制作用, 以有效推进大焦石坝地区二期页岩气的产建发展。

2. 区域地质背景

大焦石坝位于中上扬子过渡带、齐岳山断层中段西缘, 为湘鄂西隔槽式褶皱向川东隔挡式褶皱转换

处[10][11][12]。大焦石坝地区古生代为克拉通型沉积,中生代经历了雪峰内陆拆离造山改造和内陆构造叠加。在江南雪峰陆内造山作用下,受湘鄂西-川东递进式扩展变形,焦石坝箱状构造发育[10]。垂向上,受寒武系、志留系、雷口坡组-嘉陵江组 3 套滑脱层影响,发生多层系滑脱作用,形成上、中、下 3 套构造形变层,并发生构造解体。

焦石坝箱状背斜形态完整,东西两侧受北东向和近南北向两组逆断层夹持围限而成,地表主要出露三叠系。JD 区块位于焦石坝箱状背斜向川东构造过渡处,构造上为焦石坝背斜西翼转折端及西倾斜坡,东侧以吊水岩断层为界,西侧和北侧为珍溪场宽缓向斜,南部被近南北向的乌江断层改造,内部主要发育西倾的天台场 1 号断层和天台场 2 号断层。

3. 构造变形特征

受江南-雪峰造山带北西-南东方向递进构造变形作用,大焦石坝地区自东向西变形逐渐变弱(图 1)。受滑脱层逐级升高,大焦石坝地区由前寒武系区域性滑脱层转变为寒武系滑脱层[13],因此在焦石坝箱状背斜西缘形成西倾斜坡构造,并发生反冲作用,西倾天台场断层发育(图 2)。

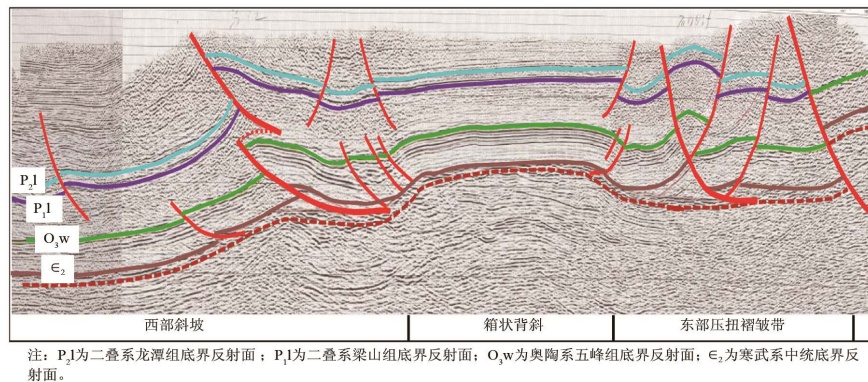


Figure 1. The sectional view of line seismic interpretation of NW-SE direction in Large Jiaoshiba Area
图 1. 大焦石坝地区北西-南东方向测线地震解释剖面图

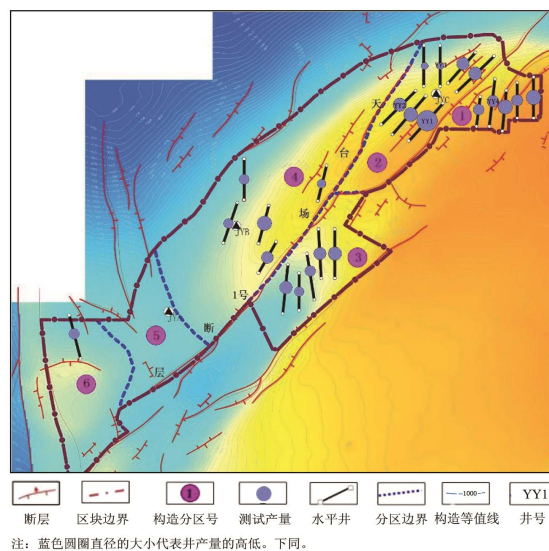


Figure 2. The superposition diagram between reflection layer structure and single well production on the bottom of Wufeng Formation of Ordovician in JD Block
图 2. JD 区块奥陶系五峰组底界反射层构造与单井产量叠合图

JD 区块构造变形总体较弱, 可以划分为 6 个局部构造区(图 2): 以北西方向倾没的天台场 1 号鼻状构造(④)为主, 另外还包括焦石坝背斜西翼(①)、天台场 2 号断鼻(②)、吊水岩北斜坡(③)、沿江鞍部(⑤)以及乌江 1 号断背斜(⑥)。各分区局部构造特征差异明显, 以断鼻、斜坡局部构造类型为主; 主控断层天台场 1、2 号断层断面较缓, 为层间断层, 伴生断层不发育, 具有活动强度较弱的特点, 平面上断距南大北小, 鼻状构造附近断距基本小于 100 m。

4. 页岩气产能与构造变形响应关系

JD 区块断层不发育, 构造保存条件好, 整体具有较好的产能。但受差异构造作用, 不同区页岩气产能亦具一定差异。

4.1. 页岩气产能特征

目前, ①~④号构造分区的高部位和翼部均有完钻试气井, 水平井轨迹方向以平行构造走向为主, 也有少量基本垂直于构造走向的。总体来看, ①号分区内单井平均产量最高, ②号分区次之, ③号和⑥号分区内单井平均产量较低。同一构造分区内的单井产量差异也较大, 如②号构造分区内单井最高测试产量是最低测试产量的 4 倍多, 并且相邻单井的产量也出现较大差异(图 2)。

4.2. 页岩气产能与构造变形响应关系

勘探显示, JD 区块页岩气产能与埋深、微构造形态、岩层倾角以及岩层曲率密切相关。

1) 埋深。JD 区块总体埋深变化较大, 已试气井的埋深平均在 3000~4000 m。通过对 JD 区块单井埋深与破裂压力、单井产量的交会分析表明, 单井的埋深越大, 破裂压力越大, 单井产量越低(图 3)。JD 区块①号分区内构造埋深最小, 单井的平均产量最高, ④号分区内埋深较大, 其单井的平均产量较低。YY1 井位于②号分区鼻状构造的高部位, 构造埋深为最小, 穿行地层构造平缓, 该井的测试产量为该分区的最高值。

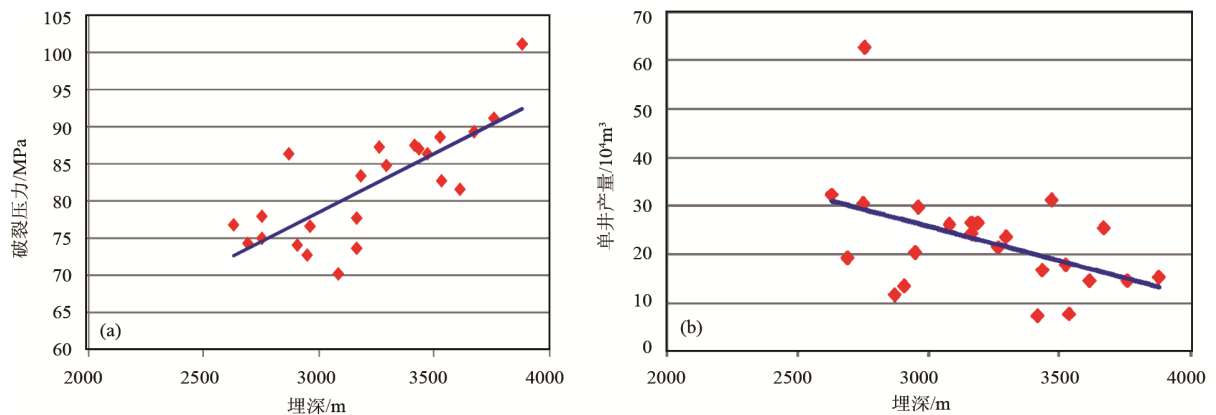


Figure 3. The intersection diagram between single well buried depth, fracturing pressure and single well production in JD Block

图 3. JD 区块单井埋深与破裂压力(a)、单井产量(b)的交会图

2) 微构造形态。在埋深基本相似的情况下, 构造形态的差异也会导致单井产量的差异。正向构造主要表现为张应力, 地应力相对较小, 负向构造以压应力为主, 叠加上构造应力后, 地应力往往较大, 压裂施工难度会明显高于正向构造, 造成单井产量偏低。YY4 井与相邻水平井产量相比出现异常低值, 该井水平段在相邻井中最长, ①~③号分区的穿行率与其他井差异不大, 分析原因认为该现象与井水平段穿

行的局部构造形态的变化有关。该井水平段 A 靶点穿行于斜坡构造, 地层具正向变形特征, 到了 B 靶点附近穿行于两条逆冲断层夹持的洼槽构造部位, 地层具负向变形特征(图 2), 局部构造形态的变化代表着应力已经发生改变, 说明井水平段从 A 靶点到 B 靶点应力的非均质性较强, 影响了压裂改造, 造成产量偏低。

3) 岩层倾角。统计分析表明, 在地质条件、埋深基本相当的情况下, 单井的产量与地层平均倾角为负相关关系, 即地层倾角越小, 垂直埋深差越小, 产量越高。在鼻状构造北东方向低部位钻探的 YY3 井其埋深相对较大, 穿行地层产状较陡, 地层倾角超过 25° , 水平段的方向基本垂直构造方向, 靶点的垂直埋深差异大, 超过了 800 m, 测试产量为该区块最低值, YY2 井与 YY3 井构造部位相同, 但垂直埋深较小, 故产能较高(图 4)。

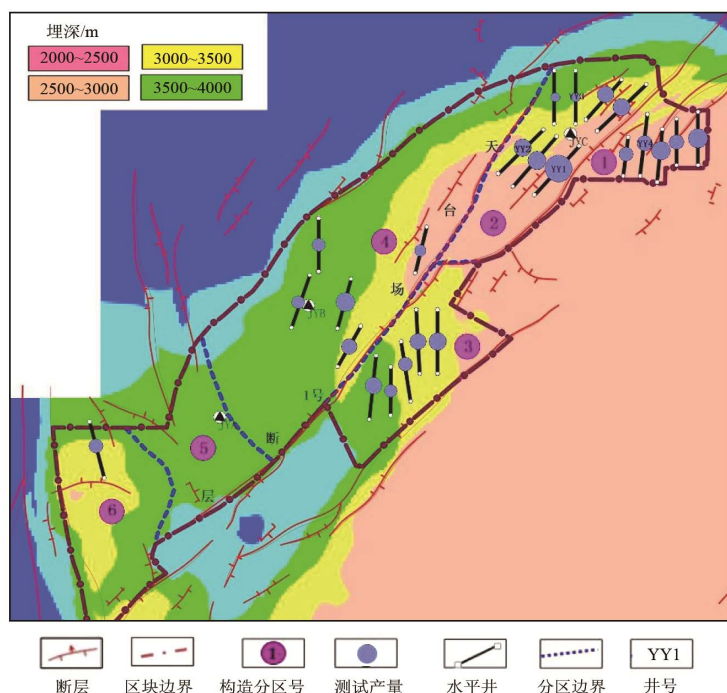


Figure 4. The superposed plane diagram between buried depth and single well production on the bottom of Wufeng Formation of Ordovician in JD Block

图 4. JD 区块奥陶系五峰组底埋深与单井产量叠合平面图

4) 岩层曲率。构造大尺度裂缝的发育不利于页岩气保存, 还会造成钻井的泥浆漏失及压裂改造效果差。实际中采用叠后岩层曲率属性值的大小及平面展布特征来表征构造裂缝的发育程度。统计分析表明, 单井产量与岩层曲率呈负相关关系, 但不是主要控制因素, 仅在局部区域控制单井产能。

5. 结论

1) JD 区块位于焦石坝箱状背斜西翼向川东构造过渡处, 构造上表现为向西倾斜的单斜构造, 仅受西倾的天台场断层局部改造, 局部发生低幅挠曲, 整体构造改造弱, 为较为稳定的西倾斜坡。

2) 埋深与岩层倾角是制约 JD 区块单井产能的主要控制因素, 埋深大、岩层倾角小, 有利于页岩气的保存, 因此产量高。微构造形态以及岩层曲率是该区单井产量差异的非主控因素, 在埋深相当的情况下, 宽缓的正向构造形态有利于压裂改造, 该部位井的测试产量高, 同时岩层曲率在局部区域控制单元产能。

参考文献

- [1] 金之钧, 郑和荣, 蔡立国, 等. 中国前中生代海相烃源岩发育的构造-沉积条件[J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 875-883.
- [2] 郭旭升. 南方海相页岩气“二元富集”规律——四川盆地及周缘龙马溪组页岩气勘探实践认识[J]. 地质学报, 2014, 88(7): 1209-1218.
- [3] 郭旭升, 郭彤楼, 魏志红, 等. 中国南方页岩气勘探评价的几点思考[J]. 中国工程科学, 2012, 14(6): 101-106.
- [4] 郭彤楼. 中国式页岩气关键地质问题与成藏富集主控因素[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(3): 317-326.
- [5] 郭彤楼. 涪陵页岩气田发现的启示与思考[J]. 地学前缘, 2016, 23(1): 29-43.
- [6] 孙健, 罗兵. 四川盆地涪陵页岩气田构造变形特征及对含气性的影响[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(6): 809-818.
- [7] 罗兵, 郁飞, 陈亚琳, 等. 四川盆地涪陵地区页岩气层构造特征与保存评价[J]. 石油实验地质, 2018, 40(1): 103-117.
- [8] 刘鹏. 焦石坝地区构造演化及其对页岩气成藏的控制[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2017.
- [9] 余晓宇, 陈洁, 张士万, 等. 焦石坝地区中、古生界构造特征及其页岩气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(6): 828-837.
- [10] 刘重庆, 周建勋, 郎建. 多层滑脱条件下褶皱—冲断带形成制约因素研究:以川东—雪峰构造带为例[J]. 地球科学与环境学报, 2013, 35(2): 45-55.
- [11] 梅康夫, 刘昭茜, 汤济广, 等. 湘鄂西-川东中生代陆内递进扩展变形: 来自裂变径迹和平衡剖面的证据[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2010, 35(2): 161-174.
- [12] 颜丹平, 金哲龙, 张维宸, 等. 川渝湘鄂薄皮构造带多层拆离滑脱系的岩石力学性质及其对构造变形样式的控制[J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1687-1697.
- [13] 李皎, 何登发. 四川盆地及邻区寒武纪古地理与构造-沉积环境演化[J]. 古地理学报, 2014, 16(4): 441-460.

[编辑] 邓磊

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org