

鄂阳页2HF井陡山沱组页岩气甜点厘定与精准导向 ——世界首口震旦系陡山沱组页岩气水平井钻探实践与方法

张家政¹, 罗卫锋¹, 王玉芳^{1*}, 杨南坤², 杨本昭²,
李娟¹, 迟焕鹏¹, 向杰³, 钟建文³, 张福杰³

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083; 2. 陕西地矿第一地质队有限公司, 陕西 安康 725000; 3. 中国石油集团长城钻探工程有限公司录井公司, 北京 100000)

摘要:为进一步落实下震旦统陡山沱组页岩产能和资源评价参数,探索页岩气产层层位下限,利用鄂阳页1井(距鄂阳页2HF井口18 m)钻探资料,综合运用地质、地球化学、地球物理和岩石力学等多学科成果,对鄂阳页2HF井陡山沱组页岩气甜点进行厘定,并对其复杂构造背景下的随钻地质导向方法进行了实践。该井陡山沱组二段优质页岩厚130.5 m,取心过程中,全烃异常值最高达10.32%,大于2%的地层累计厚达105 m;TOC含量最高达2.57%,平均超过1.5%;解析气量最高达2.21 m³/t,总含气量最高达4.82 m³/t。该段优质页岩自下而上可划分为10个小层,综合考虑含气性、水平段钻探和工程可压性要求,确定陡山沱组二段7小层为最佳甜点层段。运用二维地震资料精细解释、地质导向建模等方法,在水平井地质导向基础上,通过随钻资料及时调整,有效控制井眼轨迹,提高了甜点钻遇率。鄂阳页2HF井为震旦系陡山沱组世界首口页岩气水平井,水平段长度1410 m,分23段进行压裂试气,获测试稳产5.53万m³/d、无阻产量19.82万m³/d的高产页岩气流,有效探索了页岩气产层层位下限,开辟了页岩气勘探开发新层系、新领域。

关键词:页岩气;陡山沱组;优质页岩;甜点;水平井;随钻地质导向;鄂阳页2HF井

中图分类号:TE243;P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2026)02-0140-09

Shale gas sweet spot identification and GEO-steering drilling of Doushantuo Formation in Well Eyangye-2HF: Drilling practice and method of the world's first shale gas horizontal well in Doushantuo Formation of Sinian

ZHANG Jiazheng¹, LUO Weifeng¹, WANG Yufang^{1*}, YANG Nankun², YANG Benzha²,
LI Juan¹, CHI Huanpeng¹, XIANG Jie³, ZHONG Jianwen³, ZHANG Fujie³

(1. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China; 2. Shaanxi Geology and Mining Team No.1 Co., Ltd, Xi'an Shaanxi 725000, China; 3. Logging Company of CNPC Great Wall Drilling Engineering Co., Ltd., Beijing 100000, China)

收稿日期:2025-12-04; 修回日期:2026-01-26 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.02.016

基金项目:国家科技重大专项“页岩气资源评价方法与勘查技术攻关”项目(编号:2016ZX05034);中国地质调查局地质调查项目(编号:DD20190108、DD20179623);陕西地矿集团有限公司科研专项资金项目(编号:KY202222)

第一作者:张家政,男,汉族,1973年生,正高级工程师,石油地质专业,博士,主要从事油气勘探开发现场管理工作,北京市海淀区北四环中路267号,zhangjiazheng@mail.cgs.gov.cn。

通信作者:王玉芳,女,汉族,1977年生,正高级工程师,硕士,主要从事油气和页岩气基础地质调查及资源潜力评价等方面的研究工作,北京市海淀区北四环中路267号,wangyufang@mail.cgs.gov.cn。

引用格式:张家政,罗卫锋,王玉芳,等.鄂阳页2HF井陡山沱组页岩气甜点厘定与精准导向——世界首口震旦系陡山沱组页岩气水平井钻探实践与方法[J].钻探工程,2026,53(2):140-148.

ZHANG Jiazheng, LUO Weifeng, WANG Yufang, et al. Shale gas sweet spot identification and GEO-steering drilling of Doushantuo Formation in Well Eyangye-2HF: Drilling practice and method of the world's first shale gas horizontal well in Doushantuo Formation of Sinian[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(2): 140-148.

Abstract: To evaluate the resource potential of the Lower Sinian Doushantuo Formation shale and determine the lower limit of the shale productive horizon, this study focused on the Well Eyangye-2HF. Utilizing drilling data from the nearby Well Eyangye-1 (located 18 m from the Eyangye-2HF wellhead) and integrating multidisciplinary analyses in geology, geochemistry, geophysics, and rock mechanics, the shale gas sweet spots were identified, and geological steering methods were successfully applied within a complex structural setting. The high-quality shale thickness of the second member of the Doushantuo Formation in this well is 130.5 m. Revealed a maximum total gas anomaly of 10.32% during coring, with a cumulative thickness exceeding 2% gas content measuring 105 m. The TOC peaks at 2.57%, with an average exceeding 1.5%. The maximum desorbed gas content is 2.21 m³/t, while the maximum total gas content reaches 4.82 m³/t. This high-quality shale interval is subdivided into 10 sub-layers. Based on a comprehensive consideration of gas-bearing properties, drillability, and fracturability, the Layer 7 in the second member was identified as the optimal sweet spot. By employing precise 2D seismic interpretation and geo-steering modeling, the wellbore trajectory was effectively controlled through timely adjustments during horizontal geo-steering, significantly improving the drilling encounter rate of the sweet spot. Well Eyangye-2HF is the world's first horizontal shale gas well drilled in the Sinian Doushantuo Formation. The horizontal section spans 1410 m and was stimulated and tested in 23 stages. The well achieved a high-yield gas flow with a stable production of 55300 m³/d and an open flow potential of 198200 m³/d. This achievement effectively defines the lower limit of the shale gas production horizon and opens up new frontiers for shale gas exploration and development.

Key words: shale gas; Doushantuo Formation; high quality shale; sweet spot; horizontal well; geo-steering while drilling; Well Eyangye-2HF

0 引言

页岩气是一种重要的非常规油气资源,它是指赋存于富含有机质且处于成熟阶段的暗色泥页岩或高碳泥页岩中的天然气,其成因涵盖生物成因、热解成因或二者的混合成因。这类天然气通过有机质吸附作用,或以游离状态赋存于岩石裂缝和基质孔隙中,并具备商业开采价值^[1]。20世纪90年代以来,美国页岩气工业迅猛发展,2016年其页岩气产量达到4820亿m³,占天然气总产量的64.3%,2021年产量为7721亿m³,占全年天然气总产量的80%。随着世界能源消费的不断攀升,尤其北美页岩气的成功开发,我国对页岩气资源越来越重视,2022年页岩气产量达到240亿m³,居于世界第二位(2023年1月20日,国家能源局)。我国南方古生界及前寒武纪海相地层的非常规油气勘探已持续了10余年,自2010年第一口页岩气勘探评价井威201井在五峰组-龙马溪组海相页岩获工业气流后,陆续在鄂西、渝东、滇黔北、湘西等地区的五峰组-龙马溪组发现页岩气,并迅速在四川盆地实现了商业性开发^[2-5]。随着页岩气水平井开发及分段压裂技术的进步,页岩气勘探层位越来越广^[6-8]。2017年中国地质调查局在湖北宜昌部署实施鄂阳页1井页岩气参数井,在下寒武统牛蹄塘组、震旦系陡山沱组钻遇良好页岩气显示^[9-12],直井压裂在震旦系陡山

沱组获5460 m³/d页岩气流,首次在最古老层系获得迄今全球最古老页岩气藏^[13]。

相较于五峰组-龙马溪组和牛蹄塘组页岩,鄂阳页1井陡山沱组页岩呈现出白云质含量高,伽马值低且幅度变化小,对于页岩气甜点选定和地质导向存在较大困难。本文利用鄂阳页1井(距鄂阳页2HF井口18 m)钻探资料,综合运用地质、地球化学、地球物理和岩石力学等多学科成果,结合在黄陵背斜南翼部署实施的鄂阳页2HF井钻探实践,重点分析震旦系陡山沱组二亚段7小层优质页岩储集层特征,厘定甜点层位,优化钻探层位,运用随钻地质导向技术及时跟踪调整,提高甜点钻遇率,实现页岩气勘查获得重大突破。

1 研究区概况

鄂阳页2HF井位于湘鄂西褶皱带中的宜都-鹤峰复背斜,黄陵背斜南翼。基于前人研究成果,鄂阳页2HF井所在区域的构造演化历程可划分为8个阶段,依次为:震旦纪早期的裂谷拉张阶段、震旦纪晚期至早奥陶世的克拉通盆地阶段、中奥陶世至志留纪的前陆盆地阶段、泥盆纪至石炭纪的差异沉降阶段、二叠纪至三叠纪中期的克拉通稳定沉降阶段、晚三叠世至中侏罗世的前陆盆地阶段、白垩纪至新近纪的断陷-坳陷盆地阶段,以及喜山晚期的

隆升-剥蚀阶段。受此多期构造演化影响,该区地层发育齐全,自元古宇至新生界地层均有出露^[14-15]。前人研究认为,鄂阳页2HF井井区属扬子陆块北缘中扬子区,北邻秦岭-大别造山带,南接江南陆内造山带,处于两大造山带之间的相对稳定区,具有埋藏深度适中、抬升较早、构造变形较弱的特点,有利于页岩气的富集和保存^[10-11,16]。因此,鄂阳页2HF井区陡山沱组页岩具有较好的区域地质成藏、保存条件。

2 剖面甜点优选及评价

2.1 沉积特征

通过大量地质调查和地震勘探,结合鄂西地区震旦系陡山沱组系统资料厘定和区域编图,揭示了富有机质页岩为裂陷槽(或拉张槽)背景下的深水

槽盆-斜坡相沉积,初步查明鄂西震旦-寒武系裂陷海槽沉积环境特征(图1)。从早震旦世开始,鄂西裂陷海槽进入一个相对稳定构造背景下的碳酸盐岩台地相发展阶段,其中陡二段优质页岩沉积期发育台内盆地相,处于贫氧-缺氧的还原环境下,以泥质沉积为主。鄂西地区页岩气调查证实震旦系陡山沱组和寒武系牛蹄塘组主要发育于长约400 km、宽约160 km、呈条带状分布的裂陷海槽内,该裂陷海槽东部和西部均为扬子地块,北接大陆边缘,南临华南洋盆。由于鄂西裂陷海槽南部紧临华南洋盆,因此受到大洋火山喷发热液的影响相对明显,其页岩中硅质含量较高,一般在80%左右。而鄂西裂陷海槽中北部由于远离大洋,其页岩的沉积主要受到生物作用的影响,因此页岩中的硅质主要为生物成因。

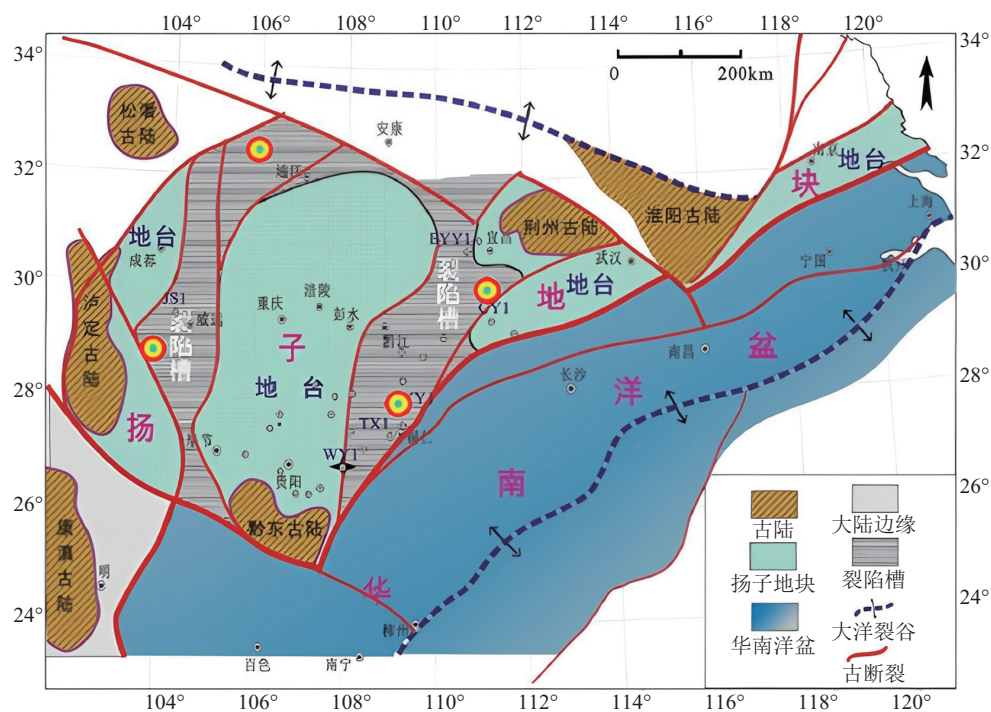


图1 扬子地区震旦-寒武系沉积岩相古地理

Fig.1 Sedimentary lithofacies and paleogeography of Sinian Cambrian in Yangtze area

实钻资料分析表明,鄂阳页1井、鄂阳页2HF井钻遇的陡山沱组二段地层属于局限台内盆地相裂陷海槽沉积环境,属于较深水的闭塞沉积环境,上升流带来了丰富的营养物质,低等水生生物发育,底部水体形成缺氧环境,其岩石类型主要为灰黑色云质泥岩、碳质泥岩、泥质云岩、泥灰岩组成,岩相变化较快。

鄂阳页1井陡山沱组岩性主要分为4段,三、四段厚度53.70 m,四段主要为深灰、灰、浅灰色白云岩,三段主要为灰色灰质白云岩;陡山沱组二段厚度141.45 m,顶部为深灰色灰质白云岩与灰黑色含碳白云质泥岩不等厚互层,中下部为灰黑色含碳白云质泥岩、黑色页岩、黑色含云碳质泥岩不等厚互

层,局部夹薄层深灰色含碳泥质白云岩;陡山沱组一段厚度 32 m,上部为灰、浅灰色泥岩,下部为灰色泥质白云岩夹薄层灰黑色含碳云质泥岩。对主要目的层陡山沱组二段划分出 2 个三级层序 SQ1 和 SQ2,每个三级层序均由海侵体系域(TST)和高位体系域(HST)组成^[17],进一步划分出 13 个准层序组。其中 Dsq2 的海侵体系域 1~4 号层为最优质页

岩甜点段(图 2),主要为深水-半深水沉积环境。综合各种数据将陡山沱组二段精细划分 10 个小段,结合气体显示等其他资料,最终选定确定 7 小层为水平井轨迹穿行层;由于本井陡山沱组自然伽马值偏低,各小段间差值较小,7 小层电阻率特征明显,提出通过随钻伽马成像和电阻率作为地质导向依据,确保井轨迹在 7 小层间穿行。

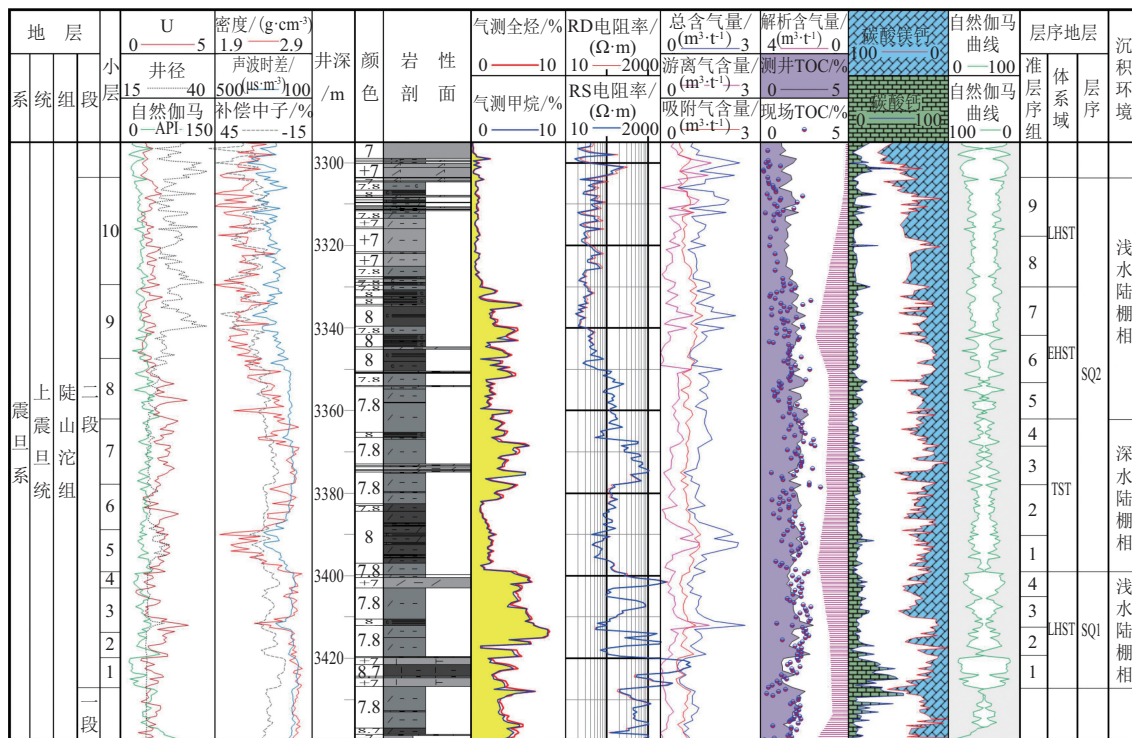


图 2 鄂阳页 1 井陡山沱组二段沉积岩相综合柱状图

Fig.2 Comprehensive histogram of sedimentary lithofacies of the second member of Doushantuo Formation of Well Eyangye-1

鄂阳页 1 井陡山沱组二段岩心 X 衍射矿物分析结果表明,该段脆性矿物以白云石、石英为主,白云石含量在 32%~66% 之间,石英 9%~39%,黏土矿物含量低。其中 3336~3411 m 段石英含量较高,基本不含方解石;而在 3420.35、3423.39 m 方解石含量高,多为后期方解石充填裂缝所致,石英含量降低(图 3)。

结合薄片鉴定及场发射扫描电镜,整个层段岩石成分以硅质及白云石为主,次为黏土矿物,不同深度组分变化较大,3367.7 m 以浅自生硅质、黏土矿物含量较高,3368 m 以深云质含量更高,自生硅质及黏土矿物减少,同时见大量生屑及硅质结核,陆源碎屑也有所增加;分析检测的整个深度段分布

大量黄铁矿,黄铁矿可见草莓状集合体或单体粒状;场发射扫描电镜揭示,在 3367.9 m 开始出现大量磷灰石集合体并与有机质共生,集合体呈团粒状,不规则或近圆形、椭圆形,部分分散条带状、填隙状,长轴 0.05~0.2 mm;手标本及普通薄片检测到的黑色结核,经电镜能谱检测,结果为硅质结核。

2.2 地球化学特征

陡山沱组二段是鄂阳页 1 井陡山沱组有机质丰度较好层段。TOC 分布集中段在 1.74%~3.42%,平均为 1.68%,有机碳含量总体达到较好页岩气层标准,TOC>1% 的样品所占比率达 80.0%,TOC>2% 的占 34.2%,TOC>3% 的占 1.5%,绝大部分 TOC 样品满足最低下限值。有机质主要类型为 I

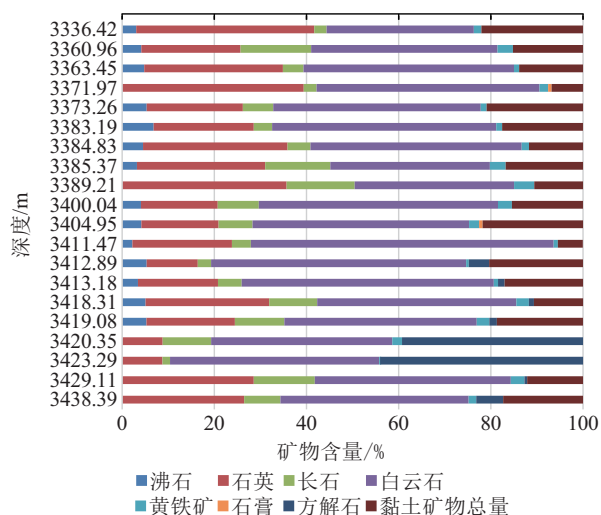


图3 鄂阳页1井陡山沱组岩心X衍射矿物分析结果
Fig.3 Mineral analysis results of core X-ray diffraction in the Doushantuo Formation of Well Eyangye-1

型(腐泥型)^[17],具有较好生烃潜力。有机质成熟度分布在3.0%~3.5%之间,平均值3.3%,整体均呈过成熟阶段。

根据薄片鉴定及场发射扫描电镜结果,从3367~3368.4 m有机质,含量较为稳定,面积百分比约5%,大部分呈分散状分布于基质矿物晶间,与自生硅质、纤片状黏土矿物交互共生,或填隙状分布于白云石晶间;常见富有机质磷灰石集合体团粒或团块;少量有机质呈条带状、团块状;从3368.6 m以深,有机质含量减少。电镜能谱检测揭示,陡山沱组有机质成分较杂,其中填隙状有机质C%一般在

20%~30%,通常富含硅质或黏土质,与磷灰石共生的有机质其C%一般大于40%。

2.3 物性特征

2.3.1 孔-渗特征

岩心实验测试孔隙度在0.6%~2.1%之间,渗透率在0.008~0.545 mD之间(表1)。扫描电镜检测,除3346 m及3368.5 m等个别深度外,岩石有机质孔隙及基质孔隙发育较好,总体看以矿物基质孔为主要储集空间。基质孔隙多为黏土矿物晶间孔、白云石晶内孔或成岩收缩缝,基质孔缝的孔径变化较大,10~500 nm不等,一般>50 nm。有机质孔隙多发育于填隙状有机质及与磷灰石^[17]、黄铁矿共生的有机质中,孔径一般10~50 nm。井段3367.9~3368.4 m处扫描电镜观察发现储层基质孔缝及有机质孔隙均发育较好,基质孔主要为白云石晶间孔缝及晶内孔,黏土矿物层间孔缝。大量磷灰石结合体,与有机质交互共生,其内有机孔发育好;大量自生硅质。

2.3.2 裂缝发育特征

从鄂阳页1井陡山沱组二段10个小层的岩心裂缝统计结果来看(图4),陡二段储层整体裂缝发育,裂缝纵横交错,大多数为开启缝,部分裂缝为方解石或石英充填。9、10小层岩心出筒破碎严重,在测井曲线上呈现为严重扩径层段。5~8小层中,7小层下裂缝最为发育,为27.7条/m(图5)。从岩心上看以7小层为界,上部裂缝以纵裂缝为主,下部裂缝以横裂缝为主^[17]。



(a)未充填水平层理缝;(b)黄铁矿充填水平层理缝;(c)方解石充填斜交剪切缝;(d)未充填斜交剪切缝;(e)方解石充填垂直张裂缝;(f)未充填水平滑脱缝,具有镜面特征;(g)方解石充填斜交剪切缝和方解石充填水平层理缝所形成的裂缝网络

图4 鄂阳页1井陡山沱组典型裂缝照片

Fig.4 Photos of typical fractures in Doushantuo Formation of Well Eyangye-1

表1 鄂阳页1井岩心实验室孔渗测试结果数据
Table 1 Core porosity and permeability analysis results of Well Eyangye-1

样品编号	层位	深度/m	样品长度/cm	围压/MPa	孔隙度/%	渗透率/mD
135	陡山沱组	3360.96	14	3.0	1.5	0.017
136	陡山沱组	3363.45	12	3.0	1.1	0.061
148	陡山沱组	3384.83	15	3.0	2.1	5.45
149	陡山沱组	3385.37	20	3.0	1.7	0.008
153	陡山沱组	3389.21	15	3.0	1.7	0.996
159	陡山沱组	3400.04	14	3.0	2.7	4.83
179	陡山沱组	3420.35	14	3.0	1.2	0.01
181	陡山沱组	3423.29	12	3.0	1.1	0.012
192	陡山沱组	3438.39	11	3.0	1.1	0.015

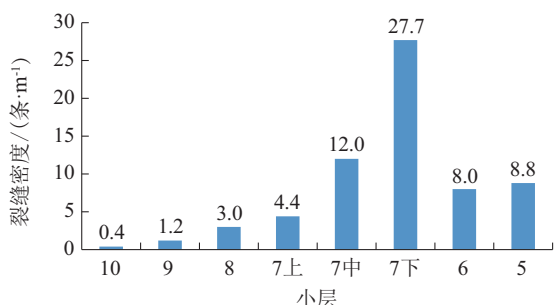


图5 鄂阳页1井岩心裂缝统计

Fig.5 Core fractures analysis results of Well Eyangye-1

2.4 含气性

现场完成陡山沱组岩心解析样45个,现场解析气含量范围0.02~2.21 m³/t,损失气含量范围0.07~2.73 m³/t,总含气量范围0.12~4.8 m³/t,收集气体可燃,火焰呈淡蓝色,表明甲烷含量较高。鄂阳页2HF井水平段测井解释总含气量0.76~4.5 m³/t,云质泥岩相含气量集中在2~3 m³/t,泥质云岩相含气量集中在1.0 m³/t。

2.5 可压性

2.5.1 页岩脆性矿物特征

根据元素扫描测井解释成果,陡山沱组三、四段矿物成分以白云石为主,平均含量80%;其次是石英,含量平均11%,其它矿物含量非常低,不到5%;有机碳含量主要分布在0~2%之间,平均0.4%。二段矿物成分以白云石为主,平均含量54%;其次是石英,平均含量21%;再次是黏土矿物,平均含量13%,其它矿物含量一般不超过5%;有机碳含量主要分布在0~3%之间,平均1.0%。

鄂阳页2HF井7小层白云石含量平均46%,石英30%,黏土矿物14%。

2.5.2 地应力场特征

鄂阳页2HF井测井解释水平方向最大最小主应力差为11.55~13.0 MPa,平均12.3 MPa,水平应力差异系数为0.17~0.19,平均为0.18,水平应力差异较大,不利于压裂形成复杂裂缝网络。测井解释岩石破裂压力为56.68~93.83 MPa,7小层平均60~70 MPa,破裂压力较高。

2.5.3 岩石力学特征

根据鄂阳页1井陡山沱组取心实验室测量,陡二段页岩弹性模量23.32~41.32 GPa,泊松比0.22~0.33;7小层弹性模量31.5~37 GPa,泊松比0.22~0.23。初步反映储层杨氏模量高,泊松比小,岩石脆性好。

3 随钻地质导向

鄂阳页2HF井将新元古界震旦系陡山沱组作为目的层进行水平段钻进施工,在世界范围内尚属首次,不确定因素较多,且公益性陆域油气地质调查工作区具有构造复杂、工作程度低、工程实践少、资料相对缺乏的特点^[18-20]。本井在水平段钻进前进行了详细的地质交底,让相关工作者对目的层区域的岩性、地层有清晰了解,对旋转导向工具的特性及使用过程中的注意事项有清晰的理解与认识,并采取以下技术方法进行精细水平井地质导向。

3.1 稀疏二维地震条件下精准地质导向技术

鄂阳页2HF井周围勘探程度低,可以利用的资料少,无三维地震资料,二维地震测网密度低,仅有一条斜交于轨迹中部的二维测线,且二维地震资料信噪比和分辨率整体较低。

针对以上情况,项目组精细做好合成记录,定义好时深关系,将设计轨迹精准投影到地震测线上,井震结合,根据地震同相轴的连续性和连续同相轴的起伏变化情况判断地层是否会有破碎或地层倾角的变化,从而有效指导地质导向工作。本井沿设计轨迹方向可识别3个特征段(图6),第1段反射同相轴连续性较差,总体地层倾角大致稳定;第2段开始同相轴连续性较好,地层倾角有变小趋势,后段地层倾角开始增大;第3段同相轴连续性较好,但地层倾角较前二段明显增大,对地质导向工作有很好的指示作用。实钻过程中动态跟踪钻井轨迹

表2 鄂阳页1井陡山沱组二段7小层各小段特征参数统计
Table 2 Statistical of characteristic parameters of each sub section of layer 7 in
the second section of Doushantuo Formation of Well Eyangye-1

标志层	顶深/m	底深/m	厚度/m	GR/API			电阻/($\Omega \cdot m$)			全烃/%			钻时/($\min \cdot m^{-1}$)		
				最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
高伽1	3365.01	3366.93	1.93	48.7	40.9	45.1	106.2	50.3	72.9	3.9	2.4	3.3	29.0	21.0	26.0
高阻1	3366.93	3368.06	1.13	43.5	28.5	33.4	644.2	79.9	413.6	3.5	3.5	3.5	15.4	15.4	15.4
高伽2	3368.06	3370.32	2.26	49.8	35.1	45.7	435.7	220.2	281.9	5.7	4.8	5.1	30.0	16.3	22.3
高阻2	3370.32	3371.26	0.94	47.6	38.4	41.5	733.5	354.7	596.9	4.1	4.1	4.1	57.0	57.0	57.0
高伽3	3371.26	3372.21	0.95	52.2	45.4	49.3	515.8	366.8	411.4	3.2	3.2	3.2	39.7	39.7	39.7
高阻3	3372.21	3373.25	1.04	44.4	37.8	40.5	811.1	520.2	706.9	3.7	3.7	3.7	27.8	27.8	27.8
高伽4	3373.25	3374.19	0.94	47.4	41.2	45.9	833.2	591.0	662.1	3.4	3.4	3.4	29.3	29.3	29.3
高阻4	3374.19	3375.14	0.95	39.2	29.0	32.9	1101.4	889.3	1014.0	4.7	4.7	4.7	36.8	32.5	34.7
高伽5	3375.14	3376.27	1.13	45.7	29.1	38.5	719.7	358.6	447.0	3.9	3.9	3.9	63.6	63.6	63.6
高阻5	3376.27	3377.69	1.42	40	25.4	32.6	634.0	241.5	508.3	3.7	2.5	3.1	80.9	47.8	64.4

差,互层严重,轨迹控制困难。面对诸多困难,利用优质工具加强地层对比,准确入窗,确保轨迹在陡二段页岩储层甜点段穿行,水平段长度1410 m,甜点段穿行率为100%。通过该井水平井23段分段压裂试气,在震旦系陡山沱组获测试稳产5.53万 m^3/d 、无阻产量19.82万 m^3/d 高产,探索了中国页岩气产层层位下限,开辟了页岩气勘探开发新层系、新领域。针对鄂西地区震旦系陡山沱组页岩气水平井甜点厘定和井轨迹地质导向主要总结以下经验做法:

(1)利用鄂阳页1井钻探资料,分析工区构造、沉积、储层、地球化学、含气性及岩石力学特征,优选陡山沱组二段7小层为最佳甜点层段,但7小层自然伽马值低,电阻率特征明显,增加随钻感应电导率测井与随钻方位伽马成像作为综合地质导向依据。

(2)精细划分陡山沱组二段7小层为10小段,总结标志层、目标层、AB靶点的特征,建立合适的地质模型,充分论证可能会遇到的各种地质问题,提出相应的对策措施。

(3)着陆前和水平段钻进过程中,采用多井对比方法、感应电导率曲线特征和伽马成像技术实时计算地层倾角,判断井轨迹与地层的上切、下切关系,利用元素分析、地化分析、气测分析等结果,实时判断钻头在甜点层段中的相应位置,结合地震资料精细刻画构造的细微变化,从而及时调整地质模型和井轨迹。

(4)优选 Smith PDC 钻头和造斜能力强的

Archer 旋转导向工具以克服可钻行差及井斜方位难控制的问题,成功控制井眼轨迹,实现震旦系陡山沱组首口页岩气水平井——鄂阳页2HF井甜点层段轨迹穿行率达100%。

(5)多专业人员协同工作,充分发挥井场数据一体化平台的优势,做好数据远程传输、实时监控,及时分析判断随钻资料,得到实时、准确的地质认识。

参考文献(References):

- [1] 王祥,刘玉华,张敏,等.页岩气形成条件及成藏影响因素研究[J].天然气地球科学,2010,21(2):350-356.
WANG Xiang, LIU Yuhua, ZHANG Min, et al. Conditions of formation and accumulation for shale gas[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(2): 350-356.
- [2] 周文,王浩,谢润成,等.中上扬子地区下古生界海相页岩气储层特征及勘探潜力[J].成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(5): 569-576.
ZHOU Wen, WANG Hao, XIE Runcheng, et al. Characteristics and exploration potential of Lower Paleozoic Marine shale gas reservoir in middle-upper Yangtze area, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2013, 40(5): 569-576.
- [3] 董大忠,邹才能,李建忠,等.页岩气资源潜力与勘探开发前景[J].地质通报,2011,30(2):324-336.
DONG Dazhong, ZOU Caineng, LI Jianzhong, et al. Resource potential, exploration and development prospect of shale gas in the whole world[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2): 324-336.
- [4] 郭旭升.南海海相页岩气“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.
GUO Xusheng. Rules of two-factor enrichment for marine shale

- gas in southern China: Understanding from the Longmaxi Formation shale gas in Sichuan Basin and its surrounding area[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(7): 1209-1218.
- [5] 董大忠, 王玉满, 李登华, 等. 全球页岩气发展启示与中国未来发展前景展望[J]. *中国工程科学*, 2012, 14(6): 69-76.
- DONG Dazhong, WANG Yuman, LI Denghua, et al. Global shale gas development revelation and prospect of shale gas in China[J]. *Engineering Science*, 2012, 14(6): 69-76.
- [6] 董大忠, 王玉满, 李新景, 等. 中国页岩气勘探开发新突破及发展前景思考[J]. *天然气工业*, 2016, 36(1): 19-32.
- DONG Dazhong, WANG Yuman, LI Xinjing, et al. Break-through and prospect of shale gas exploration and development in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2016, 36(1): 19-32.
- [7] 邹才能, 董大忠, 王玉满, 等. 中国页岩气特征、挑战及前景(一)[J]. *石油勘探与开发*, 2015, 42(6): 689-701.
- ZOU Caineng, DONG Dazhong, WANG Yuman, et al. Shale gas in China: Characteristics, challenges and prospects (1)[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2015, 42(6): 689-701.
- [8] 董大忠, 高世葵, 黄金亮, 等. 论四川盆地页岩气资源勘探开发前景[J]. *天然气工业*, 2014, 34(12): 1-15.
- DONG Dazhong, GAO Shikui, HUANG Jinliang, et al. A discussion on the shale gas exploration & development prospect in the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2014, 34(12): 1-15.
- [9] 陈孝红, 张保民, 张国涛, 等. 湖北宜昌地区奥陶系五峰组一志留系龙马溪组页岩气高产工业气流[J]. *中国地质*, 2018, 45(1): 199-200.
- CHEN Xiaohong, ZHANG Baomin, ZHANG Guotao, et al. High shale gas industry flow obtained from the Ordovician Wufeng Formation and the Silurian Longmaxi Formation of Yichang area, Hubei Province[J]. *Geology in China*, 2018, 45(1): 199-200.
- [10] 陈孝红, 王传尚, 刘安, 等. 湖北宜昌地区寒武系水井沱组探获页岩气[J]. *中国地质*, 2017, 44(1): 188-189.
- CHEN Xiaohong, WANG Chuanshang, LIU An, et al. The discovery of the shale gas in the Cambrian Shuijingtuo Formation of Yichang area, Hubei Province[J]. *Geology in China*, 2017, 44(1): 188-189.
- [11] 李浩涵, 宋腾, 陈科, 等. 鄂西地区(秭地2井)震旦纪地层发现页岩气[J]. *中国地质*, 2017, 44(4): 812-813.
- LI Haohan, SONG Teng, CHEN Ke, et al. The discovery of shale gas from Sinian Formation at ZD-2 well in western Hubei[J]. *Geology in China*, 2017, 44(4): 812-813.
- [12] 王鹏, 宋腾, 陈科, 等. 鄂西宜昌地区震旦系灯影组藻丘灰岩钻获油气显示[J]. *中国地质*, 2018, 45(1): 203-204.
- WANG Peng, SONG Teng, CHEN Ke, et al. The discovery of algal and bioherm reservoir in Sinian Dengying Formation, Yichang area, western Hubei Province[J]. *Geology in China*, 2018, 45(1): 203-204.
- [13] 翟刚毅, 包书景, 王玉芳, 等. 古隆起边缘成藏模式与湖北宜昌页岩气重大发现[J]. *地球学报*, 2017, 38(4): 441-447.
- ZHAI Gangyi, BAO Shujing, WANG Yufang, et al. Reservoir accumulation model at the edge of palaeohigh and significant discovery of shale gas in Yichang area, Hubei Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2017, 38(4): 441-447.
- [14] 万天丰. 中国大陆早古生代构造演化[J]. *地质前缘*, 2006, 13(6): 30-42.
- WAN Tianfeng. Tectonic evolution in the Chinese continent from Middle Cambrian to Early Devonian[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(6): 30-42.
- [15] 单长安, 张廷山, 郭军杰, 等. 中扬子北部震旦统陡山沱组地质特征及页岩气资源潜力分析[J]. *中国地质*, 2015, 42(6): 1944-1958.
- SHAN Chang'an, ZHANG Tingshan, GUO Junjie, et al. Geological characteristics and resource potential of the Upper Sinian Doushantuo Formation shale gas in the North of middle Yangtze region[J]. *Geology in China*, 2015, 42(6): 1944-1958.
- [16] 王玉芳, 翟刚毅, 包书景, 等. 鄂阳页1井陡山沱组页岩储层含气性及可压性评价[J]. *中国矿业*, 2017, 26(6): 166-172.
- WANG Yufang, ZHAI Gangyi, BAO Shujing, et al. Evaluation of sinian doushantuo formation shale gas content and fracturing property of Eyangye 1 well in Hubei province[J]. *China Mining Magazine*, 2017, 26(6): 166-172.
- [17] 王玉芳, 翟刚毅, 胡志方, 等. 湖北宜昌震旦系陡山沱组储层特征及复杂体积压裂效果评价[J]. *地质学报*, 2022, 96(4): 1447-1459.
- WANG Yufang, ZHAI Gangyi, HU Zhifang, et al. Reservoir characteristics of the Sinian Doushantuo Formation and the effect evaluation of complex fracturing in Yichang, Hubei Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2022, 96(4): 1447-1459.
- [18] 何远信, 胡志方, 单衍胜, 等. 公益性陆域油气地质调查钻探工程技术进展与攻关建议[J]. *钻探工程*, 2022, 49(5): 3-10.
- HE Yuanxin, HU Zhifang, SHAN Yansheng, et al. Advances and research suggestions for onshore oil & gas survey drilling engineering for the public benefit[J]. *Drilling Engineering*, 2022, 49(5): 3-10.
- [19] 朱迪斯, 赵洪波, 刘恩然, 等. 长江下游(安徽)地区页岩气钻井工程难点及对策分析[J]. *钻探工程*, 2022, 49(5): 11-21.
- ZHU Disi, ZHAO Hongbo, LIU Enran, et al. Shale gas drilling difficulties and their solutions in the lower reach of the Yangtze River (Anhui)[J]. *Drilling Engineering*, 2022, 49(5): 11-21.
- [20] 赵洪波, 张龙, 沈立娜, 等. 三门峡盆地油气调查优快钻井技术[J]. *钻探工程*, 2024, 51(6): 111-118.
- ZHAO Hongbo, ZHANG Long, SHEN Lina, et al. Efficient drilling technology for oil and gas survey in Sanmenxia Basin[J]. *Drilling Engineering*, 2024, 51(6): 111-118.

(编辑 王文)