

柴达木盆地鄂博梁Ⅲ号构造深层天然气成藏条件

陈迎宾, 胡 焯, 王彦青, 翟 怡, 何晋发

(中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

摘要:在落实构造圈闭的基础上,通过分析气源、储盖层条件以及成藏条件配置关系,研究柴达木盆地鄂博梁Ⅲ号构造深层天然气的成藏条件。结果表明,伊北凹陷是鄂博梁Ⅲ号构造主要的供气凹陷,其下侏罗统为中等—好烃源岩,热演化程度高,以生气为主,可为深层天然气成藏提供充足的气源。上、下干柴沟组以滨—浅湖和三角洲沉积为主,碎屑岩储层发育,储层物性整体表现为低孔、低渗透和特低孔、特低渗透特征,但对天然气仍具有一定的储集能力。研究区构造深层圈闭完整,干柴沟组—油砂山组均发育扩张湖相泥岩,具备良好的封盖及保存条件;其深层为下生上储式生储盖组合,成藏条件配置关系良好;下油砂山组—狮子沟组沉积末期为研究区重要的油气成藏期,与构造形成时期相匹配,具有典型的晚期成藏特征。

关键词:深层天然气 成藏条件 晚期成藏 鄂博梁Ⅲ号构造 柴达木盆地

中图分类号:TE112.31

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)05-0034-06

Research on the deep gas accumulation conditions of Eboliang-Ⅲ structure, Qaidam Basin

Chen Yingbin, Hu Ye, Wang Yanqing, Zhai Yi, He Jinfa

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Wuxi City, Jiangsu Province, 214126, China)

Abstract: Based on the ascertainment of deep traps, the deep gas accumulation conditions of Eboliang-Ⅲ structure in Qaidam Basin was analyzed comprehensively by researching on the gas sources of deep zones, the configuration of the caprock condition and hydrocarbon accumulation. The results show that the Yibei sag is the main gas source for the Eboliang-Ⅲ structure and the properties of the Lower Jurassic hydrocarbon source rocks are medium-good. The Lower Jurassic hydrocarbon source rock suffered high degree of thermal evolution, and mainly generated nature gas. The Lower Jurassic hydrocarbon source rock can supply enough natural gas for the Eboliang-Ⅲ structure deep zones. Both the upper Ganchaigou group and the lower Ganchaigou group are mainly shore-shallow lacustrine deposits and delta deposits, in which clastic reservoir rocks developed widely with low porosity and permeability. However, these clastic reservoir rocks have good conditions for deep gas accumulation. Because the deep traps are rounded and have extensional lacustrine deposits from the upper Ganchaigou group to the Youshashan group, the Eboliang-Ⅲ deep zones have good isolated intervals and preservation conditions. The Eboliang-Ⅲ deep zones are good for hydrocarbon accumulation where traps were formed in the lower and trapped hydrocarbons in the upper. There is one of the most important reservoir forming periods from the lower Youshashan group depositional stage to the last Shizigou group depositional stage, which matches the time of structure forming. The deep zones have the feature of late hydrocarbon accumulation. The Eboliang-Ⅲ structure is a favorable target for deep gas prospecting in the north of Qaidam Basin.

Key words: deep gas; hydrocarbon accumulation conditions; late hydrocarbon accumulation; Eboliang-Ⅲ structure; Qaidam Basin

收稿日期:2015-07-10。

作者简介:陈迎宾(1975—),男,内蒙古四王子旗人,高级工程师,博士,从事油气地质综合研究。联系电话:13771565030, E-mail:Chenyb.syky@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”子课题“中西部四大盆地构造演化对碎屑岩层系成藏富集的控制作用”(2011ZX05002-006-001)。

柴达木盆地北缘(简称柴北缘)深层天然气资源丰富,天然气资源量达 $2\ 976.7\times 10^8\text{ m}^3$ 。鄂博梁Ⅲ号构造位于柴北缘块断带南部伊北凹陷中央,其深层由于早期地震资料信噪比低、成像差,一直未能落实圈闭规模,制约了进一步勘探。通过对鄂博梁Ⅲ号构造二维地震资料的重新处理和解释,落实深层构造圈闭,并对天然气成藏条件进行研究,以期对柴北缘伊北凹陷周缘深层天然气勘探提供指导。

1 地质概况

鄂博梁Ⅲ号构造为北西—南东走向的弧形长轴背斜,面积约为 368 km^2 ,是柴北缘西段惟一未实施钻探的大型构造(图1)。根据研究区的构造发育特征,以下油砂山组(N_2^1)底(T_2 反射层)为界,在纵向上将鄂博梁Ⅲ号构造分为深层和浅层2个构造层。浅层构造为受南倾滑脱断层控制的尖棱状背斜,其核部伴有张扭、压扭性断层,构造十分破碎。深层构造的平面走向整体与地表一致,但背斜由西向东发育3个构造高点;其中,西高点位于研究区边部,落实程度较低;中、东高点为受研究区南、北两翼发育的2条背冲式断裂控制形成的压扭性背斜,产状相对变缓,表现为尖棱—圆弧状,圈闭规模比较大;整体上,研究区上干柴沟组(N_1)顶面高点的埋深均小于 $4\ 000\text{ m}$ 。鄂博梁Ⅲ号构造深层天然气是指赋存于下干柴沟组(E_3)与上干柴沟组之间的天然气藏。

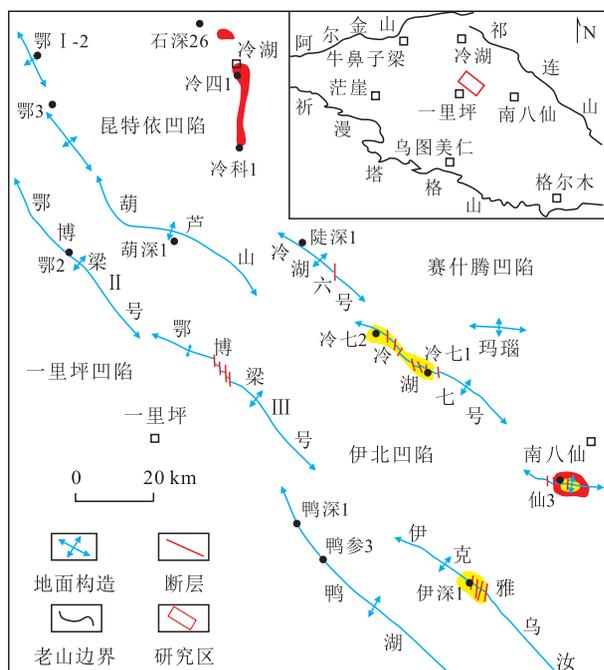


图1 柴达木盆地鄂博梁Ⅲ号构造区域位置

Fig.1 Location of the Eboliang-III structure of Qaidam Basin

2 天然气成藏条件

通过对鄂博梁Ⅲ号构造深层二维地震资料的重新处理,品质明显提高,圈闭条件进一步落实。但由于烃源岩及目的层埋深较大,且无井钻探;因此深层的气源条件和储、盖层条件,以及构造形成演化与烃源岩生、排烃期的配置条件等成为制约研究区天然气勘探的主要问题。

2.1 气源条件

研究表明,伊北凹陷是鄂博梁Ⅲ号构造主要的供气凹陷。伊北凹陷下侏罗统埋深在 $10\ 000\text{ m}$ 以下,沉积面积为 $2\ 500\sim 3\ 000\text{ km}^2$,最大沉积厚度约为 $2\ 000\text{ m}$,是主要的气源岩层系^[1-2]。

在晚三叠世末期的印支运动后期,柴达木地块处于松弛伸展状态。在较弱的南北向伸展作用下,柴北缘西段于早侏罗世开始发生块断活动,形成一些分割性较强的断陷湖盆。现今的冷湖三一五号构造(包括冷西次凹)以及伊北凹陷即为柴北缘西段相互分割的主要断陷湖盆^[3-4]。位于伊北凹陷边缘的仙3井所钻遇的下侏罗统与冷湖三一五号构造下侏罗统具有较好的可对比性,表明这2个断陷在早侏罗世具有相同的沉积环境和岩相古地理背景^[5-6],伊北凹陷下侏罗统应与冷湖三一五号构造具有相似的发育特征(表1)。

综合分析下侏罗统区域沉积特征认为,伊北凹陷下侏罗统烃源岩主要为一套湖相、扇三角洲相和沼泽相的泥岩、碳质泥岩和煤,最大厚度在 $1\ 000\text{ m}$ 以上,有机碳含量较高,以Ⅱ₂—Ⅲ型干酪根为主,为中等—好烃源岩。根据冷科1井的钻探资料,其下侏罗统烃源岩的有机质成熟度变化较大,镜质组反射率(R_o)为 $0.48\%\sim 1.37\%$,但多数烃源岩处于成熟阶段。与冷湖三一五号构造不同,在燕山运动末期伊北凹陷的构造运动微弱,抬升较小,且在古近纪和新近纪的沉降速率较大,致使下侏罗统快速埋深,整体表现为连续型的埋藏史和生烃史。伊北凹陷下侏罗统烃源岩在古新世和始新世的埋深超过 $3\ 000\text{ m}$,大部分已进入早成熟阶段;至渐新世,其 R_o 值已达 0.8% ;在中新世末期进入生气阶段,现今已演化为高一过成熟阶段烃源岩,处于生干气阶段^[7-8](图2)。

柴北缘煤型气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 $-39\%\sim -22\%$,一般重于 -35% ;油型气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 一般轻于 -40% ;生物气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 一般轻于 -60% ^[9]。鄂博梁Ⅲ号构造周边钻井(气藏)天然气组分分析结果(表2)表明,上油砂山组(N_2^2)、

表1 冷湖次凹—伊北凹陷周缘部分钻井下侏罗统烃源岩统计

Table1 Statistics data of wells drilled through the Lower Jurassic hydrocarbon source rocks around Cold Lake-Yibei sag

井号	埋深/m	岩性	沉积相类型	钻遇烃源岩总厚度/m	总有机碳含量,%	生烃潜量/(mg·g ⁻¹)	氯仿沥青“A”含量,%	总烃含量/10 ⁻⁶	氢指数/(mg·g ⁻¹)	有机质类型	综合评价
石深25	1 255 ~ 1 280	泥岩	扇三角洲相、辫状河三角洲相	116	2.12	0.67	0.013	54	32	II ₂ -III	非常差—差
石地22	475 ~ 1 181	泥岩	扇三角洲相、辫状河三角洲相	114	1.65	0.98	0.028 8	125	43	II ₂ -III	非常差—差
		煤和碳质泥岩			24.32	14.53	0.221 2	909	14	III	差—中等
深85	2 979 ~ 4 002	泥岩	沼泽相、扇三角洲相	404	2.41	6.85	0.104	673	271	II ₁ -II ₂	好
	3 201 ~ 3 320	泥岩			0.66	0.57	0.035 4	247	60	II ₂ -III	中等
深86	3 320 ~ 4 000	泥岩	扇三角洲相、湖相	726	3.62	5.88	0.081	409	146	II ₁ -II ₂	好
	4 000 ~ 4 461	碳质泥岩			31.07	42.14				II ₂ -III	中等
	4 461 ~ 4 473	泥岩			0.74	0.9	0.034 9	235	67	II ₂ -III	差—中等
	3 473 ~ 4 112	泥岩			3.71	12.08	0.185	623	236	II ₁ -II ₂	好
冷科1	4 112 ~ 4 740	泥岩	湖相、扇三角洲相、湖沼相	1 278	3.59	11.23	0.264	1 175	213	II ₁ -II ₂	好
	4 740 ~ 5 200	碳质泥岩			18.27	47.38	0.775 6	2 776	225	II ₂ -III	中等—好
		煤			44.35	101.74	1.034 3	2 081	207	III	中等—好
仙3	3 535 ~ 3 637.5	泥岩	扇三角洲相	45	1.24	1.79	0.074 3	451	89	II ₂ -III	中等

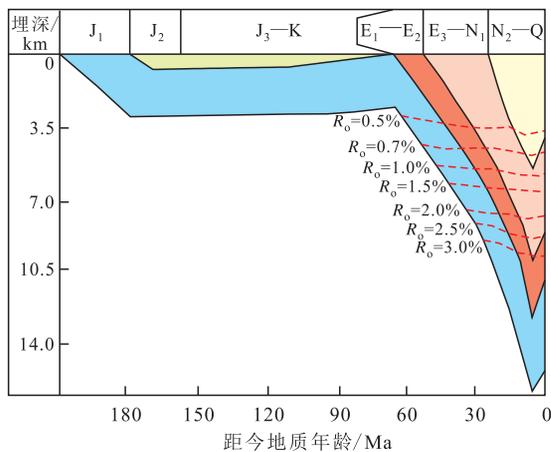


图2 伊北凹陷埋藏史与热演化史

Fig.2 Burial history and thermal evolution history of the Yibei sag

下油砂山组及上干柴沟组的天然气主要为非生物成因气;但从天然气碳同位素值来看,具有典型的煤型气特征(表3)。柴北缘西段古近系和新近系主要为—套干旱、半干旱环境下的滨、浅湖及河流、三角洲相沉积,基本无生烃条件。因此,综合有机质类型、烃源岩热演化及周边钻井天然气特征的分析

表2 鄂博梁Ⅲ号构造周边部分钻井天然气组分分析
Table2 Gas components analysis for wells around the Eboliang-Ⅲ structure

井号	层位	甲烷含量,%	乙烷含量,%	氮气含量,%	二氧化碳含量,%	天然气成因类型
葫2	N ₂ ²	66.08	0.21	32.79	0.78	非生物成因气
	N ₂ ²	44.14	0.08	53.52	2.28	非生物成因气
伊深1	N ₂ ²	92.18	0.09	6.68	0.91	非生物成因气
	N ₂ ²	90.44	0.06	6.39	2.9	非生物成因气
仙3	N ₂ ¹	91.51	0.059	6.57	1.73	非生物成因气
	N ₁	89.77				非生物成因气
冷七1	N ₂ ¹	80.81				非生物成因气
	N ₁	72.34				非生物成因气
鸭深1	N ₁	96.11		1.56	2.34	非生物成因气

结果表明,伊北凹陷目前应以生气为主,可为鄂博梁Ⅲ号构造深层天然气成藏提供充足的气源,且鄂博梁Ⅲ号构造具煤型气特征的天然气应来自伊北凹陷下侏罗统煤系烃源岩。

2.2 储、盖层条件

随着埋深增大,在压实和成岩作用的影响下,

表3 鄂博梁Ⅲ号构造周边部分钻井天然气碳同位素分析数据

Table3 Natural gas carbon isotope analysis for wells around the Eboliang-Ⅲ structure

井号	层位	$\delta^{13}C_1$, ‰	$\delta^{13}C_2$, ‰	$\delta^{13}C_3$, ‰	$\delta^{13}C_{CO_2}$, ‰	天然气 成因类型
伊深1	N ₂ ²	-22.5 ~ -18.3	-35.2 ~ -12.5		-8.0 ~ -5.4	煤型气
	N ₂ ¹	-20.7	-17.6		-8.1	煤型气
仙3	N ₁	-30.6	-24.6		-24.0	煤型气
马中1	N ₁	-29.4	-22.8	-22.0		煤型气
葫2-14	N ₂ ²	-20.1	-22.7	-26.0	-11.9	混合型气
葫2-15	N ₂ ²	-19.7	-22.4	-24.5	-13.7	混合型气
鸭参3	N ₁	-22.0			-17.0	煤型气
鸭深1	N ₁	-22.0			-5.1	煤型气

岩石的原生孔隙逐渐减少,一般埋深大于4 000 m即进入成岩作用后期,岩石原生孔隙已很少存在。同时,由于地温高、异常高压、气体粘度高以及烃类分子质量小等特点,致使深部气藏比中、浅部气藏需要更好的封闭条件。因此,储、盖层发育及保存条件是深层天然气成藏的重要影响因素。

在渐新世—上新世,鄂博梁Ⅲ号构造的主要物源来自东部的马海一大红沟古凸起,区域上表现为退积充填模式。其西部的渐新统主要为滨、浅湖亚相沉积,东部临近物源,以泛滥平原亚相沉积为主,以及一些小型的三角洲相沉积。研究区发育的中新统基本继承渐新统的沉积格局,湖盆范围有所扩大,但水体较浅,为弱氧化环境;其中,西部依然为滨、浅湖亚相沉积,东部则以三角洲相沉积为主。至上新世,随着沉积中心的不断向东迁移,鄂博梁Ⅲ号构造整体被湖水所淹没,为滨、浅湖亚相沉积;其深层可发育三角洲相、河流相以及滨、浅湖亚相等多种碎屑岩储集体。统计结果表明,鄂博梁Ⅲ号构造周边地区E₃和N₁砂岩单层厚度主要为1 m至数米,砂地比约为0.2~0.3,累积厚度可达数百米。

岩心资料分析结果表明,鄂博梁Ⅲ号构造E₃和N₁已进入晚成岩A期,碎屑岩原生粒间孔隙不发育,其样品的储层物性主要表现为特低孔、特低渗透和低孔、低渗透特征。但作为鄂博梁Ⅲ号构造深层主要碎屑岩类型的长石岩屑(粉)砂岩和岩屑长石(粉)砂岩中的长石颗粒的溶解作用十分发育。如冷七1井3 059.5和4 251.5 m的砂岩样品,由于长石粒间孔隙的溶蚀作用扩大化,其碎屑边缘被溶蚀后形成港湾状的粒间溶孔,发育超大孔隙。此外,研究区深层还发育泥质脱水收缩形成的收缩缝和构造应力作用形成的构造缝,溶解作用和裂缝的存在

很大程度地改善了储层的物性条件。研究区鸭参3井在埋深5 204.55 m处曾发生严重的井漏和出水等,可以推断鄂博梁Ⅲ号构造深层应具有较好的天然气储集条件。

在渐新世—上新世,鄂博梁Ⅲ号构造处于湖泊扩大、水体变深的过程,纵向上形成自E₃至N₂¹向上变细的沉积序列,构成了良好的储盖组合。鄂博梁Ⅲ号构造上、下干柴沟组发育泥岩、粉砂质泥岩及少量浅灰色、灰白色泥晶灰岩、泥灰岩等扩张湖亚相沉积,其单层厚度一般为10~77 m,最大厚度为139 m,具有较好的封盖能力。泥岩中的粘土矿物以水敏性矿物伊利石和伊/蒙混层为主,其平均含量分别为37.0%和40.4%,进一步增强了岩石的封闭性。研究区深层圈闭整体完整,虽然在近背斜核部发育一些规模较大的断裂,但均为盲冲断层或被浅层滑脱断层所切割,对于天然气的保存不会产生影响;且由于这些断裂的活动,可以形成裂缝,改善深层的储层物性条件,亦可作为天然气垂向运移通道,形成圈闭内的多层系成藏。

2.3 成藏条件配置关系

鄂博梁Ⅲ号构造深层以下侏罗统为烃源岩,古近系和新近系为储、盖层,构成下生上储式生储盖组合;发育于鄂博梁Ⅲ号构造与伊北凹陷之间的大型断裂可以起到沟通油源的作用,整体具有较好的成藏配置条件。同时,研究区有机质具有接力式成气的成藏机制^[10],主力生排烃期与构造深层形成时期也具有良好的配置关系。

伊北凹陷下侏罗统烃源岩主要为一套煤系湖相泥岩。其中,煤系地层的微孔隙十分发育,对于烃类分子具有较强的吸附性,而冷湖三一五号构造下侏罗统烃源岩的排烃率仅为30%左右。因此,下侏罗统烃源岩生烃早期是集生烃与储烃为一体,富含大量的可溶有机质;随着热演化程度的增高,至高一过成熟阶段,烃源岩层中的可溶有机质可裂解成气;且这种可溶有机质裂解成气与Ⅲ型干酪根降解对煤型气的贡献比例大致为2:1,而裂解成气的时机也明显晚于Ⅲ型干酪根降解生气的时机^[11-12]。对于鄂博梁Ⅲ号构造,可溶有机质裂解成气的过程主要发生于N₂¹沉积之后,其生排烃过程明显晚于深层N₁沉积末期的构造定型期。

伊北凹陷下侏罗统烃源岩以Ⅲ型干酪根为主、Ⅱ型干酪根为辅。研究结果表明,Ⅲ型干酪根主生气期对应的R₁值为0.7%~2.0%,而原油的大量裂解生气又明显滞后于干酪根降解生气。鄂博梁Ⅲ号构造的Ⅲ型干酪根有利于生成未成熟油,且生成的

未成熟油数量及对总液态烃的贡献比 I 型和 II 型干酪根要高。伊北凹陷下侏罗统沉积早期生成的原油(未成熟油)从烃源岩排出,可以在早期形成的圈闭中富集成藏。随着埋深增大,热演化程度增高,在 N_2^1 沉积之后逐渐进入高一过成熟阶段,早期生成的原油发生裂解生气,也可为鄂博梁 III 号构造深层天然气成藏提供一定的气源。

戴金星等认为,晚期成藏是中国大型气田形成的普遍规律^[13-14]。这主要是因为天然气的分子小、质量轻、难以被吸附且易扩散;后期旋回往往损害或降低先期旋回已形成气藏的保存条件,因此晚期成藏有利于大型气田的形成。鄂博梁 III 号构造深层天然气成藏期发生于 N_2^1 沉积之后,具有明显的晚期成藏特征,可避开更新世之后新构造运动造成的强烈改造和破坏,有利于形成规模型的天然气藏。

3 目标评价及优选

鄂博梁 III 号构造延伸长、跨度大,其不同构造部位的沉积相类型、距油源距离以及圈闭特征等不同,造成成藏条件存在差异。受湖岸线展布及马海—南八仙物源的控制,鄂博梁 III 号构造深层东段和西段的沉积相类型具有较大差异。西段(西倾伏端—西高点—中高点大部分区域)随着湖盆范围由西向东扩张,在古近纪—新近纪持续发育滨、浅湖亚相沉积,且水体逐渐加深;滨、浅湖亚相沉积的泥岩含量较高,碎屑岩储层相对不发育。东段(中高点东倾伏端—东高点—东倾伏端)下干柴沟组上段(E_3^2)主要为河流相、泛滥平原亚相沉积,在 N_1 沉积早期,随着湖盆范围扩大,发育三角洲相及滨湖亚相沉积; N_1 沉积晚期— N_2^1 沉积时期,湖盆范围进一步扩大,主要以滨、浅湖亚相泥岩夹粉砂岩沉积为主(图3)。因此,研究区东高点 E_3^2 和 N_1 碎屑岩的沉积类型较好^[15-17],储层发育条件优于中、西高点。

伊北凹陷主体位于鄂博梁 III 号构造东倾伏端的北翼,紧邻东高点,但距中、西高点相对较远,因此东高点具有近源优先成藏的可利条件。从鄂博梁 III 号构造周缘的钻探结果来看,邻近构造东段的钻井大多获得工业气流,如伊深 1 井、鸭参 3 井、冷七 1 井和冷七 2 井;西段的钻井虽有不同程度的天然气显示,如葫深 1 井、鄂 2 井和鄂 3 井等,但显示级别远不如东段。在对重新处理二维地震资料的解释过程中发现,鄂博梁 III 号构造深层东高点具有地震同相轴下拉的异常现象(图4)。通过对地震采集、处理及解释的复查,可以排除地表高差、低降速

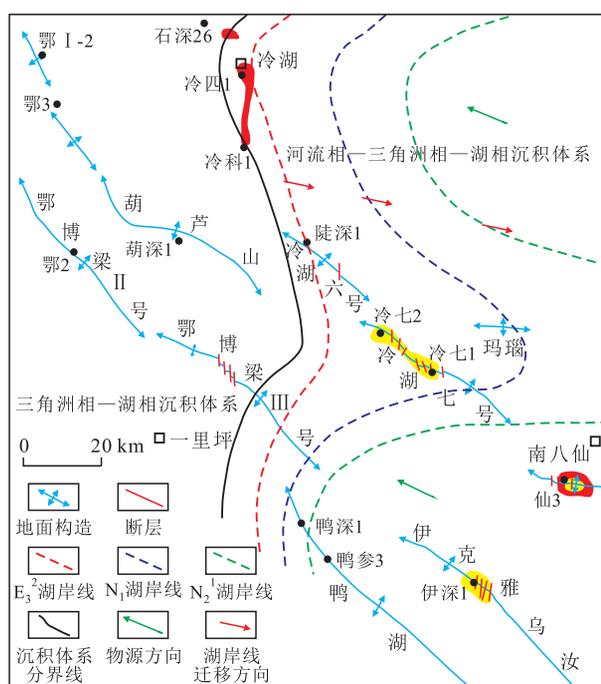


图3 鄂博梁 III 号构造 $E_3^2-N_2^1$ 沉积时期湖岸线迁移示意
Fig.3 Schematic diagram of $E_3^2-N_2^1$ lake shoreline migration in the Eboliang-III structure

带以及处理过程中人为降低速度及断层响应等影响因素,综合判断认为可能为圈闭含气后速度降低导致地震同相轴出现异常下拉,而不是真实构造形态的反映。根据柴达木盆地天然气勘探经验,这种由于圈闭含气导致的低速异常所造成的地震同相轴异常下拉是寻找天然气藏重要且有效的地震信息^[18-20];因此,出现在鄂博梁 III 号构造深层东高点的地震低速异常是寻找天然气藏的重要指示信息。

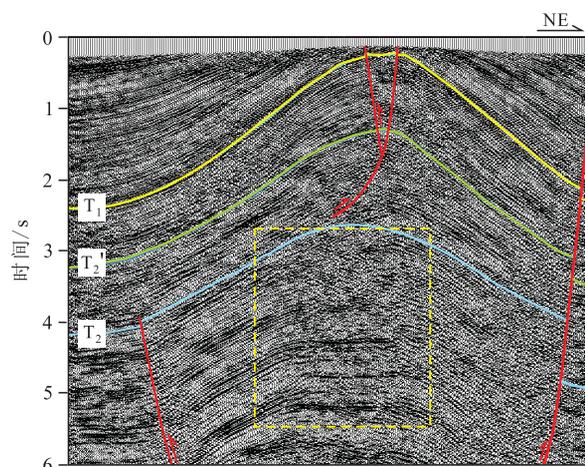


图4 鄂博梁 III 号构造 99hy204 剖面深层地震低速异常特征
Fig.4 Low velocity anomaly in deep formations of profile 99hy204 in the Eboliang-III structure

4 结论

伊北凹陷下侏罗统烃源岩发育,热演化程度

高,目前以生干气为主,具有接力式成气的成藏机制,是鄂博梁Ⅲ号构造深层的主要烃源岩层和供气凹陷。鄂博梁Ⅲ号构造深层发育滨、浅湖、三角洲及河流相等多种沉积类型的砂体,碎屑岩储层发育。储层物性整体表现为特低孔、特低渗透和低孔、低渗透特征,且发育次生溶孔和裂缝,具有较好的储集天然气的能力。在 $E_3^2-N_2^1$ 沉积时期,研究区发育扩张湖相泥岩,圈闭发育完整,对深层天然气成藏具有良好的封盖及保存条件。鄂博梁Ⅲ号构造深层发育下生上储式的生储盖组合,具有充足的气源和良好的储盖条件,且成藏条件配置关系良好,具有典型的晚期成藏特征。伊北凹陷周缘构造深层的钻探已获得工业气流,显示出较好的勘探前景;但由于其烃源岩及目的层的埋深较大,且受深层地震资料品质等因素影响,近年来一直未发现新的有利目标。综合鄂博梁Ⅲ号构造深层3个构造高点的成藏条件和地震低速异常发育范围,建议可以东高点为勘探目标,进一步开拓伊北凹陷周缘构造深层天然气的勘探。

参考文献:

- [1] 杨平,杨玉芹,马立协,等.柴达木盆地北缘侏罗系沉积环境演变及其石油地质意义[J].石油勘探与开发,2007,34(2):160-164.
Yang Ping, Yang Yuqin, Ma Lixie, et al. Evolution of the Jurassic sedimentary environment in northern margin of Qaidam Basin and its significance in petroleum geology [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(2): 160-164.
- [2] 谢宗奎,谭万金,周苏平,等.柴达木盆地北部块断带圈闭特征与油气分布的有序性[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2006,28(5):13-15.
Xie Zongkui, Tan Wanjin, Zhou Suping, et al. Characteristics of fault block traps and sequence property of oil and gas distribution in north Qidam Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jianghan Petroleum Institute), 2006, 28(5): 13-15.
- [3] 胡受权,曹运江,黄继祥,等.柴达木盆地侏罗纪盆地原型及其形成与演化探讨[J].石油实验地质,1999,21(3):189-195.
Hu Shouquan, Cao Yunjiang, Huang Jixiang, et al. Discussion on formation and evolution of Jurassic basin prototype of Qaidam Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 1999, 21(3): 189-195.
- [4] 夏文臣,张宁,袁晓萍,等.柴达木侏罗系的构造层序及前陆盆地演化[J].石油与天然气地质,1998,19(3):173-195.
Xia Wenchen, Zhang Ning, Yuan Xiaoping, et al. Jurassic tectonic sequences of Qaidam and foreland basin evolution [J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(3): 173-195.
- [5] 黄曼,邵龙义,鲁静,等.柴北缘老高泉地区侏罗纪含煤岩系层序地层特征[J].煤炭学报,2007,32(5):485-489.
Huang Man, Shao Longyi, Lu Jing, et al. The sequence stratigraphy of the middle Jurassic coal measures in the Laogaoquan region of the northern Qaidam basin [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(5): 485-489.
- [6] 吴因业,宋岩,贾承造,等.柴北缘地区层序格架下的沉积特征[J].地学前缘,2005,12(3):195-203.
Wu Yinye, Song Yan, Jia Chengzao, et al. Sedimentary features in a sequence stratigraphic framework in the north area of Qaidam Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 195-203.
- [7] 门相勇,赵文智,余辉龙.柴达木盆地北缘冷湖地区油气成藏条件研究与勘探建议[J].石油勘探与开发,2001,28(4):4-7.
Men Xiangyong, Zhao Wenzhi, Yu Huihong, et al. A study on oil and gas accumulation in Lenghu area of the northern margin of Qaidam basin and some relevant exploration suggestions [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(4): 4-7.
- [8] 胡雄,李延钧,付晓文,等.柴达木盆地马海气田高演化天然气源研究[J].新疆石油地质,2006,27(4):432-434.
Hu Xiong, Li Yanjun, Fu Xiaowen, et al. A study on origin of highly evolutionary natural gas in Mahai gas field, Qaidam basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(4): 432-434.
- [9] 赵东升,李文厚,吴清雅,等.柴达木盆地天然气的碳同位素地球化学特征及成因分析[J].沉积学报,2006,24(1):135-140.
Zhao Dongsheng, Li Wenhou, Wu Qingya, et al. Characteristics of carbon isotope and origin of natural gas in Qaidam basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1): 135-140.
- [10] 赵文智,王兆云,张水昌,等.有机质“接力成气”模式的提出及其在勘探中的意义[J].石油勘探与开发,2005,32(2):1-7.
Zhao Wenzhi, Wang Zhaoyun, Zhang Shuichang, et al. Successive generation of natural gas from organic materials and its significance in future exploration [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 1-7.
- [11] 姜瑞忠,汪洋,刘海成,等.页岩气生产机理及影响因素分析[J].特种油气藏,2014,21(1):84-87.
Jiang Ruizhong, Wang Yang, Liu Haicheng, et al. Shale gas production mechanism and analysis of affecting factors [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(1): 84-87.
- [12] 郑伦举,马中良,王强,等.烃源岩有限空间热解生油气潜力定量评价研究[J].石油实验地质,2011,33(5):452-459.
Zheng Lunju, Ma Zhongliang, Wang Qiang, et al. Quantitative evaluation of hydrocarbon yielding potential of source rock: application of pyrolysis in finite space [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5): 452-459.
- [13] 戴金星,邹才能,陶士振,等.中国大气田形成条件和主控因素[J].天然气地球科学,2007,18(4):473-483.
Dai Jinxing, Zou Caineng, Tao Shizhen, et al. Formation conditions and main controlling factors of lager gas fields in China [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(4): 473-483.
- [14] 贾承造,何登发,石昕,等.中国油气晚期成藏特征[J].中国科学: D辑 地球科学,2006,36(5):412-420.
Jia Chenzao, He Dengfa, Shi Xin, et al. Late hydrocarbon accumulation characteristics of China [J]. Science in China: Series D Earth Sciences, 2006, 36(5): 412-420.
- [15] 王升兰,姜在兴,邱隆伟,等.现代滩砂沉积特征及其对油气勘探的启示[J].油气地质与采收率,2014,21(1):16-19.