

引用格式:任泓宇,张子轶,肖重阳,等.顺北4号断裂带凝析气藏相态特征及差异富集主控因素[J].油气藏评价与开发,2025,15(1):56-63.

REN Hongyu, ZHANG Ziyi, XIAO Chongyang, et al. Phase characteristics and main controlling factors of differential enrichment of condensate gas reservoirs in the Shunbei No. 4 fault zone[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2025, 15(1): 56-63.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2025.01.007

顺北4号断裂带凝析气藏相态特征及差异富集主控因素

任泓宇^{1,3},张子轶^{1,3},肖重阳²,谭涛^{1,3},马冬晨^{1,3},黄诗文^{1,3}

(1.中国石化西北油田分公司实验检测技术中心,新疆乌鲁木齐830011;2.中国石化西北油田分公司勘探开发研究院,新疆乌鲁木齐830011;3.中国石化缝洞型油藏提高采收率重点实验室,新疆乌鲁木齐830011)

摘要:顺北4号断裂带位于顺托果勒低隆起中部,该条带油气藏类型为受断裂带控制的凝析气藏,内部凝析气藏相态特征具有明显的南北分异性,国内外同类型的油气藏较少,因此,对该条带的相态特征及造成其差异性分布的主控因素进行深入研究能为同类型凝析气藏的勘探开发提供借鉴。研究利用PVT(压力—容积—温度)高压物性实验分析、有机地球化学分析、流体包裹体分析测试等技术手段,综合研究得出相关认识。研究结果表明:顺北4号断裂带原油整体为低凝固点、低含硫、中—高含蜡的轻质油;天然气甲烷摩尔分数、气油比、天然气干燥系数、CO₂摩尔分数在段内呈现差异性分布特征;通过PVT实验分析油气藏类型为凝析气藏,地露压差较大,属于未饱和油藏,北段的临界温度、临界压力明显高于中、南段,由北向南存在递减趋势;从烃源岩和成藏的角度分析,认为顺北4号断裂带凝析气藏差异富集的主控因素为多源供烃和多期成藏。

关键词:顺北油田;油气成藏;凝析气藏;油气藏相态;烃源岩

中图分类号:TE349

文献标识码:A

Phase characteristics and main controlling factors of differential enrichment of condensate gas reservoirs in the Shunbei No. 4 fault zone

REN Hongyu^{1,3}, ZHANG Ziyi^{1,3}, XIAO Chongyang², TAN Tao^{1,3}, MA Dongchen^{1,3}, HUANG Shiwen^{1,3}

(1. Experimental Testing Technology Center, Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;
2. Research Institute of Exploration and Development, Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;
3. Sinopec Key Laboratory of Fracture-cavity Reservoir Enhanced Oil Recovery, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The Shunbei No. 4 fault zone is located in the central part of the Shuntuoguole Low Uplift. The reservoir type in this zone is a condensate gas reservoir controlled by fracture zones. This type of reservoir is rare both domestically and internationally. The phase characteristics of the condensate gas reservoir exhibit a clear north-south differentiation. In-depth research on the phase characteristics and the main controlling factors of this differentiation can provide valuable insights for the exploration and development of similar condensate gas reservoirs. This study employed various technical methods, including PVT (pressure-volume-temperature) high-pressure physical property experiments, organic geochemical analysis, and fluid inclusion analysis and testing. The results showed that the crude oil in the Shunbei No. 4 fault zone was characterized by a low freezing point, low sulfur content, and medium-to-high wax content. Within the zone, natural gas exhibited differential distribution in terms of methane molar fraction, gas-oil ratio, gas dryness coefficient, and CO₂ molar fraction. PVT experiments indicated that the reservoir was a condensate gas reservoir with a large difference between formation pressure and dew-point pressure, classifying it as an unsaturated reservoir. The critical temperature and pressure in the northern section were significantly higher than in the middle and southern sections, showing a decreasing trend from north to south. From the perspective of hydrocarbon source rocks and reservoir formation, the differential enrichment of condensate gas reservoirs in the Shunbei No. 4 fault zone is primarily controlled by multiple sources of hydrocarbon supply and multiple phases of reservoir formation.

Keywords: Shunbei oilfield; hydrocarbon accumulation; condensate gas reservoir; reservoir phase; hydrocarbon source rock

收稿日期:2024-02-04。

第一作者简介:任泓宇(1993—),男,硕士,工程师,主要从事油气田开发地质与实验技术研究工作。地址:新疆乌鲁木齐市长春南路466号,邮政编码:830011。E-mail:79910801@qq.com

通信作者简介:谭涛(1981—),男,硕士,高级工程师,主要从事油气藏提高采收率与实验技术研究工作。地址:新疆乌鲁木齐市长春南路466号,邮政编码:830011。E-mail:17928945@qq.com

基金项目:中国石化科技部项目“顺北二区断控凝析气藏注天然气相态特征及驱替实验研究”(KLP23028)。

油气藏相态是指流体在地下赋存的相态形式,主要受控于组分、温度及压力等因素^[1-3]。凝析气藏是介于油藏与气藏之间具有特殊性质的天然气藏,在地层中高温高压条件下为单一气相,随着温度压力降低,反凝析出液态烃类,形成气液两相^[4-5]。根据凝析气藏形成过程中相态的变化,凝析气藏可以分为原生凝析气藏和次生凝析气藏,原生凝析气藏是指凝析气在成藏过程中只保持气相,而次生凝析气藏是指同时具备气液两相特征,轻质油溶解于天然气中形成的凝析气藏^[6]。塔里木盆地内多个地区存在凝析气藏^[7];以库车坳陷迪那2凝析气田为代表的原生腐植型凝析气藏或煤成型凝析气藏^[8-9],以牙哈为代表的陆相油气成因的次生凝析气藏^[5],以塔中为代表的海相油气次生凝析气藏^[10-12]。

部分学者对顺北油气藏相态做过相关研究,研究表明1、5号断裂带油气来自同一油源,1号断裂带油藏原油为挥发性原油,5号断裂带油藏原油为弱挥发性原油^[13]。4号断裂带北部的富满地区为挥发性油藏,而中部和南部为凝析气藏^[14]。对于顺北地区成藏特征,漆立新等^[15-17]、顾忆等^[18-19]、云露^[20]认为寒武系烃源岩具备二次生烃能力,海西运动晚期和燕山一喜山期为主要成藏期次,顺北地区东西部寒武系烃源岩热演化差异形成了奥陶系西油东气的分布特征。马安来等^[21]认为顺北地区奥陶系

古地温高导致原油裂解,使得奥陶系形成多类型油藏。

顺北地区油气沿走滑断裂带富集,4号断裂带位于顺北中部,表现出超深(大于8 000 m)、超高温(大于190 ℃)、超高压(大于80 MPa)的特征,油气藏类型为断控凝析气藏,试采期间多口井日产量达到千吨,油气储量较大,目前已投产井21口。相较于相邻断裂带的油藏或气藏,4号断裂带凝析气藏具有一定的差异性,表现为过渡带特征,导致其内部的油气性质存在明显差异,相态特征南北分异,油气富集主控因素复杂。针对4号断裂带凝析气藏相态特征及差异性分布特征的深入研究,分析总结了顺北4号断裂带油气性质,通过PVT实验分析结合有机地球化学分析和流体包裹体分析测试,综合分析了条带内部相态特征和油气差异富集的主控因素,相关成果可为顺北地区同类型断控凝析气藏开发技术政策的制定提供依据,同时为国内外同类型油气藏的勘探开发提供借鉴。

1 地质概况

顺北油田位于塔里木盆地顺托果勒低隆起,东西紧邻满加尔坳陷和阿瓦提坳陷,南北相接卡塔克隆起和沙雅隆起,整体呈现出“鞍状”的构造特征(图1)。顺北地区已钻井揭示,地层自上而下依次沉积新生界第四系、新

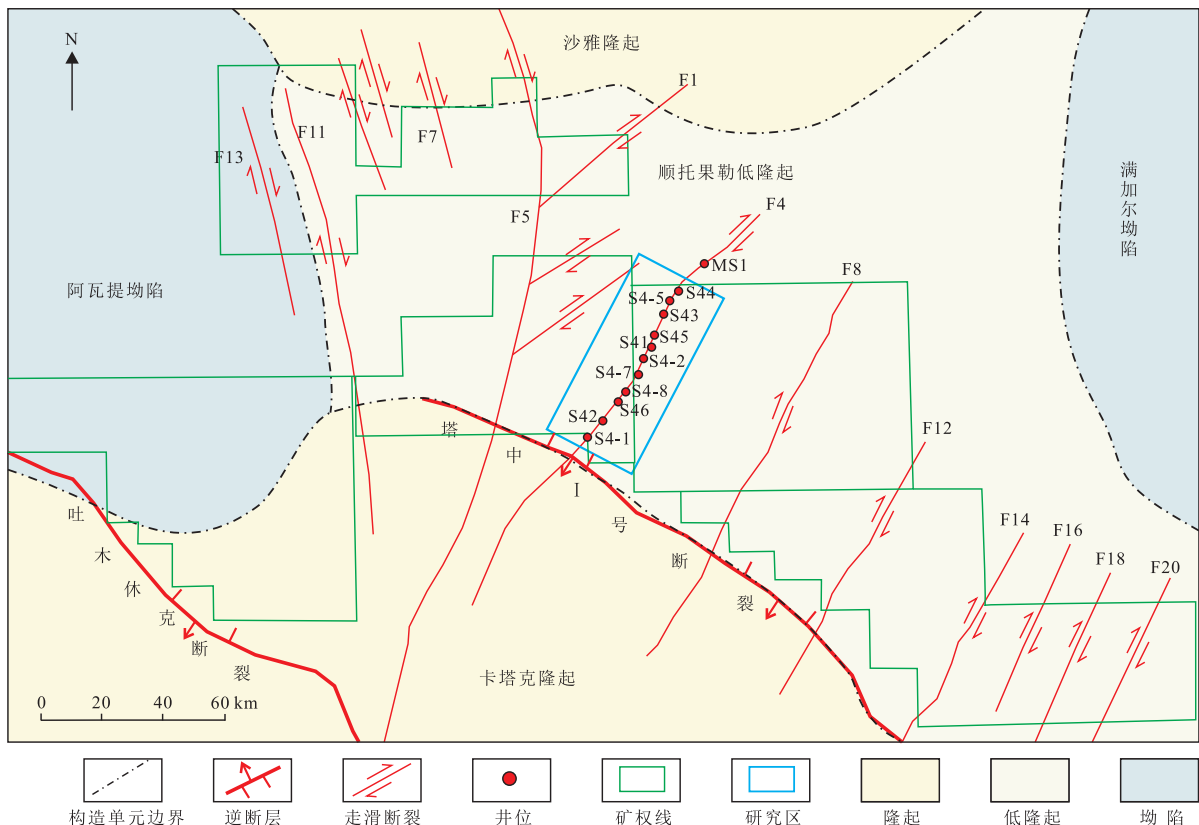


图1 顺北地区构造单元划分及断裂分布

Fig. 1 Division of tectonic units and fault distribution in the Shunbei area

近系、古近系,中生界白垩系、三叠系,古生界二叠系、石炭系、泥盆系、志留系和奥陶系,侏罗系普遍缺失。其中,奥陶系一间房组和鹰山组为主力含油层系,岩性以中厚层泥晶灰岩夹砂屑灰岩为主,钻厚介于96.5~207.0 m,厚度发育稳定。

顺北地区发育13条大型走滑断裂带,顺北4号断裂带位于顺北中部,北东走向,其中,南部、北部以挤压段为主,中部以拉分段为主,剖面上呈现典型的正花和负花构造。顺北地区奥陶系储层发育主要受控于走滑断裂,在克拉通盆地内部中小尺度走滑断裂活动期间,脆性地层破裂形成的大型洞穴、断面空腔和裂缝组成的集合体,沿走滑断裂呈条带状展布,形成断控缝洞型储层。

2 油气性质及相态特征

原油、天然气性质能够反映出油气的基本特性,结合相态特征分析,综合反映出4号断裂带凝析气藏南北的差异性。

2.1 原油性质

顺北4号断裂带原油密度呈现出由北往南逐渐减小的特征(图2a):北段原油密度(20℃)介于0.783 8~0.797 1 g/cm³,硫摩尔分数介于0.046 7%~0.076 6%,蜡摩尔分数介于3.5%~4.8%,凝固点为-5.0℃左右;中段原油密度(20℃)介于0.775 5~0.792 2 g/cm³,硫摩尔分数介于0.072 4%~0.125 0%,蜡摩尔分数介于0.80%~5.30%,凝固点约-7.0℃左右;南段原油密度(20℃)介于0.771 0~0.785 4 g/cm³,硫摩尔分数介于0.064 7%~0.184 0%,蜡摩尔分数介于2.9%~3.2%,凝固点为-10.0℃左右。研究成果说明顺北4号断裂带原油整体表现为低凝固点、低含硫、含蜡—高含蜡的轻质油。

2.2 天然气性质

沿顺北4号断裂带气油比、甲烷摩尔分数、中间烃及重烃摩尔分数、CO₂摩尔分数、天然气干燥系数均呈现差异性分布特征。气油比自南、北段向中段增加(图2b),在S4-7井达到最大值4 361.87 m³/m³;甲烷摩尔分数中段高,南、北段相对降低(图2c),中段甲烷摩尔分数介于79.54%~81.77%,北段降低至74.32%;中间烃(C₂—C₆)及重烃(C₇+)摩尔分数整体呈现由南向北逐渐递增的特征(图2d);CO₂摩尔分数整体上自南向北逐渐降低(图2e),S4-1、S4-8井呈现高值,CO₂摩尔分数大于12%;天然气干燥系数自南向北逐渐减小(图2f),由南段的0.93向北降低至0.885。

2.3 相态特征

顺北4号断裂带中、南段整体具有中—高液态烃含量凝析气藏的典型特征。地层流体相态特征表现为:临界温度介于-134.13~-52.41℃,临界压力介于1.74~18.39 MPa,露点压力介于36.53~52.08 MPa,地露压差介于29.86~55.66 MPa。流体以轻组分为主,含少量重烃,临界凝析压力介于42.61~52.23 MPa,临界凝析温度介于282.30~398.01℃。定容衰竭实验测得最大反凝析液量介于2.65%~8.05%,最大凝析压力介于12.00~23.96 MPa,以S46井相图为代表(图3a),地层温度位于临界温度右侧,远离临界点,油藏压力位于凝析包络线的上方,露点压力为52.07 MPa,地层压力与露点压力相差为36.12 MPa,地露压差大,属于未饱和油藏。

顺北4号断裂带北段整体具有高液态烃含量凝析气藏的典型特征。地层流体相态特征表现为:临界温度介于11.22~41.31℃,临界压力介于30.40~43.80 MPa,露点压力介于37.17~47.65 MPa,地露压差介于37.62~53.38 MPa,流体以轻组分为主,含少量重烃,临界凝析压力介于39.57~49.86 MPa,临界凝析温度介于321.32~376.00℃。定容衰竭实验测得最大反凝析液量介于11.61%~20.91%,最大凝析压力介于19.00~34.53 MPa,以S43井相图为代表(图3b),地层温度位于临界温度右侧,远离临界点,油藏压力位于凝析包络线的上方,露点压力为40.72 MPa,地层压力与露点压力相差为51.25 MPa,地露压差大,属于未饱和油藏。

通过对比顺北4号断裂带北、中、南3段的PVT实验数据(表1),结果表明:条带3段均为凝析气藏,但各段的凝析气藏物性特征存在差异。北段的临界温度、临界压力明显高于中段和南段,由北向南存在递减趋势,但露点压力和地露压差相近;定容衰竭实验表明北段最大反凝析液量和最大反凝析压力相对较高,中段和南段相近。气藏相态在平面上沿走滑断裂呈现差异性分布特征,反映出复杂的成因关系。

3 差异富集主控因素

油气差异富集主要受烃源岩热演化差异、成藏过程中油气多源多期的混合充注及油气疏导体系因素的影响。本次研究借助有机地球化学分析和流体包裹体分析测试手段,从烃源岩、成藏特征方面对顺北4号断裂带油气差异富集的主控因素进行研究。

3.1 多源供烃

前期研究表明:顺北地区供烃条件优越,东部满加尔

坳陷下寒武统西大山组、西山布拉克组、中下奥陶统黑土凹组具备多期生烃供烃条件^[22-25],下部寒武统玉尔吐斯

组烃源岩分布范围广且热演化程度高,多期生烃潜力良好(图4)。通过顺北地区凝析油、烃源岩中的伽马蜡烷/

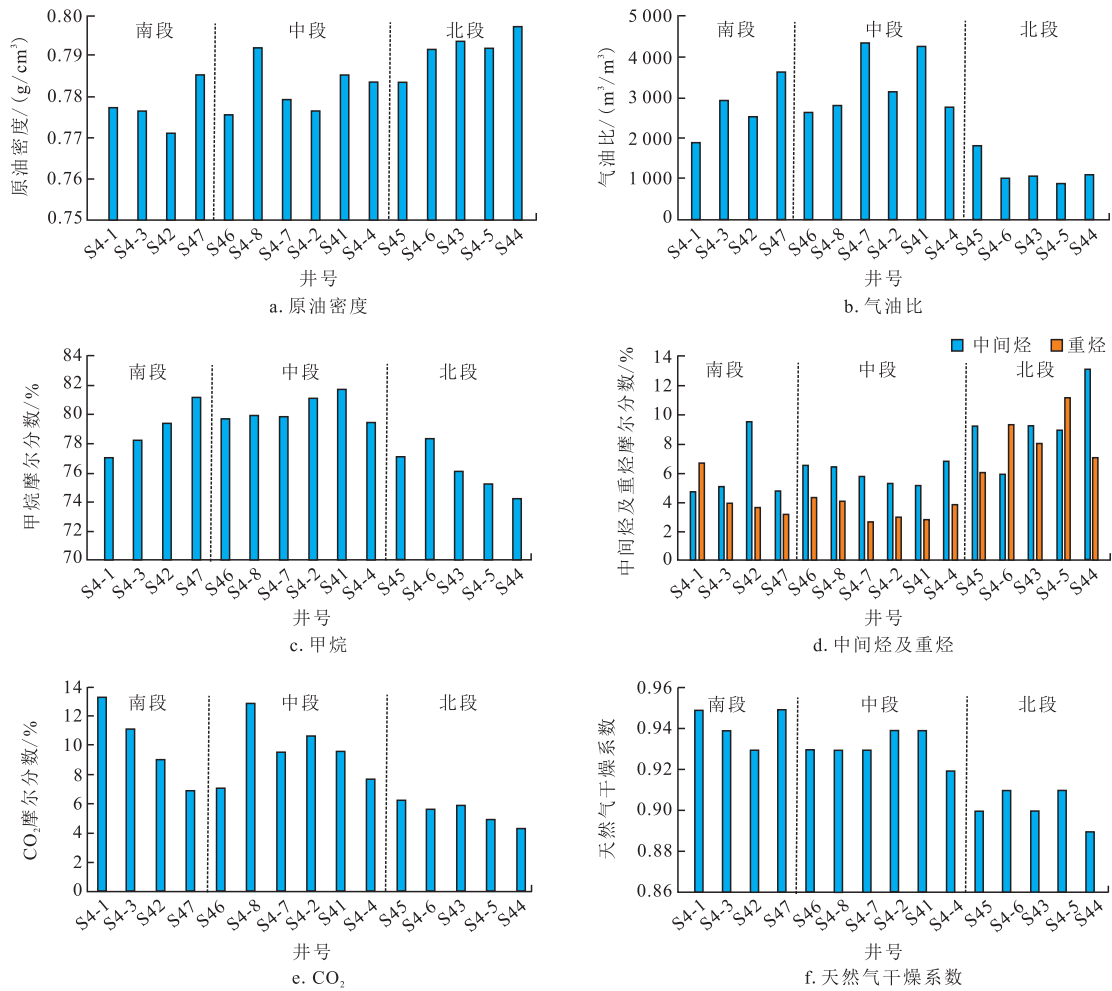
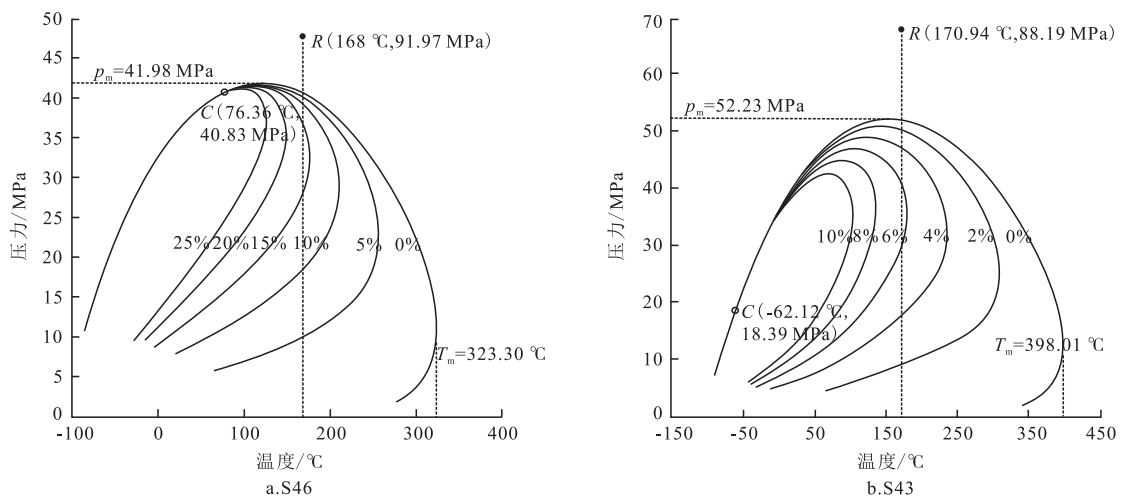


图2 顺北4号断裂带原油和天然气性质

Fig. 2 Properties of crude oil and natural gas in the Shunbei No. 4 fault zone



注: p_m 为临界凝析压力, 单位MPa; T_m 为临界凝析温度, 单位°C; C为临界温度和临界压力, 单位°C、MPa; R为油层条件下地层温度和地层压力, 单位°C、MPa。

图3 顺北4号断裂带油气藏流体PVT相图

Fig. 3 PVT phase diagram of reservoir fluids in the Shunbei No. 4 fault zone

表1 顺北4号断裂带凝析气藏相态数据

Table 1 Phase data of condensate gas reservoir in the Shunbei No. 4 fault zone

分段	露点压力/ MPa	地露压差/ MPa	临界温度/ °C	临界压力/ MPa	临界凝析温度/ °C	临界凝析压力/ MPa	最大反凝析液量/ %	最大反凝析压力/ MPa
南段	41.90~50.08	29.86~43.73	-102.38~-134.13	3.49~13.72	283.03~355.89	45.34~51.18	5.31~8.05	14.00~23.96
中段	36.53~52.07	37.12~55.66	-117.37~-52.41	1.74~18.39	282.30~398.01	42.61~52.23	2.65~7.71	12.00~21.85
北段	37.17~47.65	37.62~53.38	11.22~41.31	30.40~43.80	321.32~376.00	39.57~49.86	11.61~20.91	19.61~34.53

藿烷与C₂₄-四环萜烷/C₂₆-三环萜烷图版分析,可判别出4号断裂带凝析油与玉尔吐斯组、黑土凹组烃源岩具有较好的同源性(图5)。天然气甲烷碳同位素表明顺北4号断裂带相比顺北1号、5号中、北段原油成熟度高,但甲烷碳同位素出现反转,推断4号断裂带以高成熟原油裂解气为主(图6a)。根据李剑等^[20]建立的判识干酪根裂解气和原油裂解气图版,顺北4号断裂带天然气为原油裂解气与干酪根裂解气的混合气,中、南段原油裂解气占比更

大(图6b)。原油族群差异及油源对比指示顺北中部存在多源供烃的特征,表明满加尔坳陷下寒武统多套烃源岩参与供烃。

3.2 多期成藏

针对顺北多类型、多期次、多相态的断控油气藏,利用油气包裹体测试分析技术,揭示顺北4号断裂带存在加里东运动晚期、海西运动晚期和喜山运动3期液态烃充注。通过对S43井包裹体研究分析,奥陶系鹰山组岩心早期孔隙被方解石胶结,微裂缝发育。晚期裂缝切割早期溶孔方解石,发育大量裂缝,在裂缝充填方解石中发育有原生盐水包裹体。镜下观察的包裹体以液相为主,呈椭圆、方形或者不规则形状,大小介于3~9 μm,大多孤立产出,小部分呈2~3个串珠连片。对S43井样品伴生的盐水包裹体进行了均一温度的测定,峰值温度分别为85~90 °C、95~100 °C、115~120 °C、160~165 °C。从岩石样品的包裹体岩相学、成岩作用关系和烃类包裹体特征,结合样品均一温度分布可知,样品至少经历了三期油气充注,第一期为加里东运动晚期,第二期为海西运动晚期,第三期为喜山运动期,其中主要成藏期为海西运动晚期(图7)。

加里东运动晚期,顺北4号断裂带下部的寒武统玉尔吐斯组烃源岩及满加尔坳陷寒武统-中下奥陶统烃源

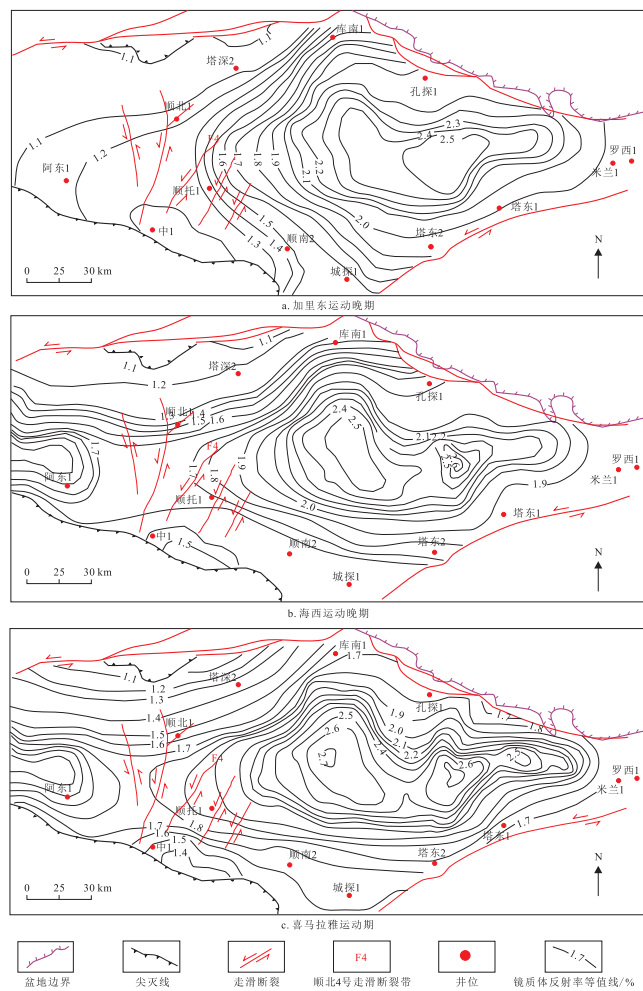
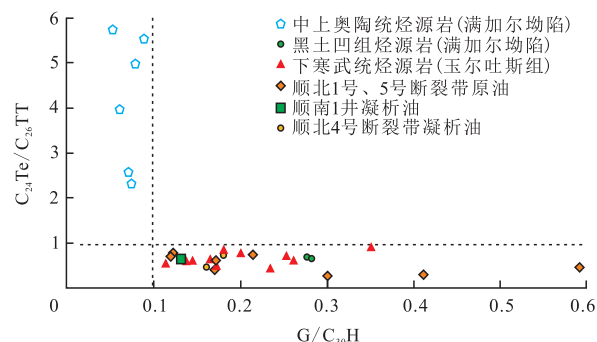


图4 塔里木盆地寒武系玉尔吐斯组烃源岩不同时期热演化程度(据参考文献[21]修编)

Fig. 4 Thermal evolution stages of the hydrocarbon source rocks of the Cambrian Yurtus Formation in the Tarim Basin at different periods (modified from reference [21])



注:G/C₃₀H为伽马蜡烷/藿烷;C₂₄Te/C₂₆TT为C₂₄-四环萜烷/C₂₆-三环萜烷。

图5 顺北地区凝析油、烃源岩中G/C₃₀H与C₂₄Te/C₂₆TT关系
Fig. 5 Relationship between G/C₃₀H and C₂₄Te/C₂₆TT in condensate oil and hydrocarbon source rocks in the Shunbei area

岩均已达到生油高峰阶段。顺北4号断裂带深大走滑断裂向下通源,二套烃源岩生成的油气运移至断控缝洞型储集体中,形成早期的“古油藏”。海西运动晚期,寒武统及满加尔拗陷持续沉降,烃源岩达到生高熟油和凝析油气阶段,受断裂活动强度及古构造形态影响,油气沿断裂带向北部构造高部位调整。喜山运动期,中下奥陶统储层及烃源岩层系深埋过程中,地层温度升高,烃源岩达到生成裂解气阶段,且早期生成的原油随着温度升高处于原油裂解阶段。烃源岩形成大量的原油裂解气和干酪根裂解气,通过断裂带向早期形成的高成熟油藏及低气油比凝析气藏中运移,混合形成凝析气藏(图8)。在此情况下,受充注强度及早期油气藏规模差异、流体分

布性质的影响,形成顺北4号断裂带气油比北低南高的差异性展布规律。

4 结论

1) 顺北4号断裂带原油为低凝固点、低含硫、中—高含蜡的轻质油;天然气甲烷摩尔分数、气油比、天然气干燥系数、CO₂摩尔分数在段内呈现差异性分布特征;通过PVT实验分析油气藏性质为凝析气藏,地露压差较大,属于未饱和油藏,北段的临界温度、临界压力明显高于中段和南段,由北向南存在递减趋势。

2) 顺北中部凝析气藏区位于满加尔富烃拗陷与下

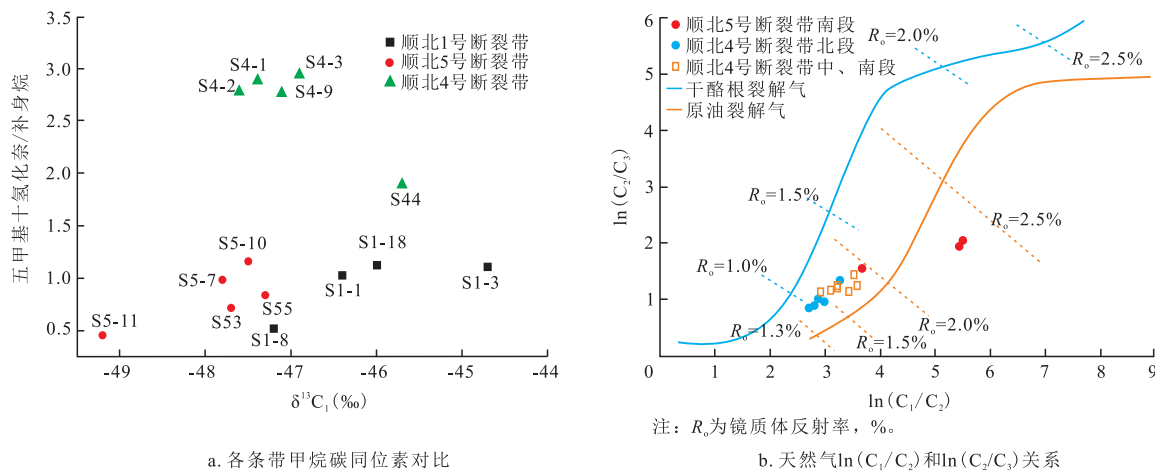


图6 顺北地区地球化学特征
Fig. 6 Geochemical characteristics of the Shunbei area

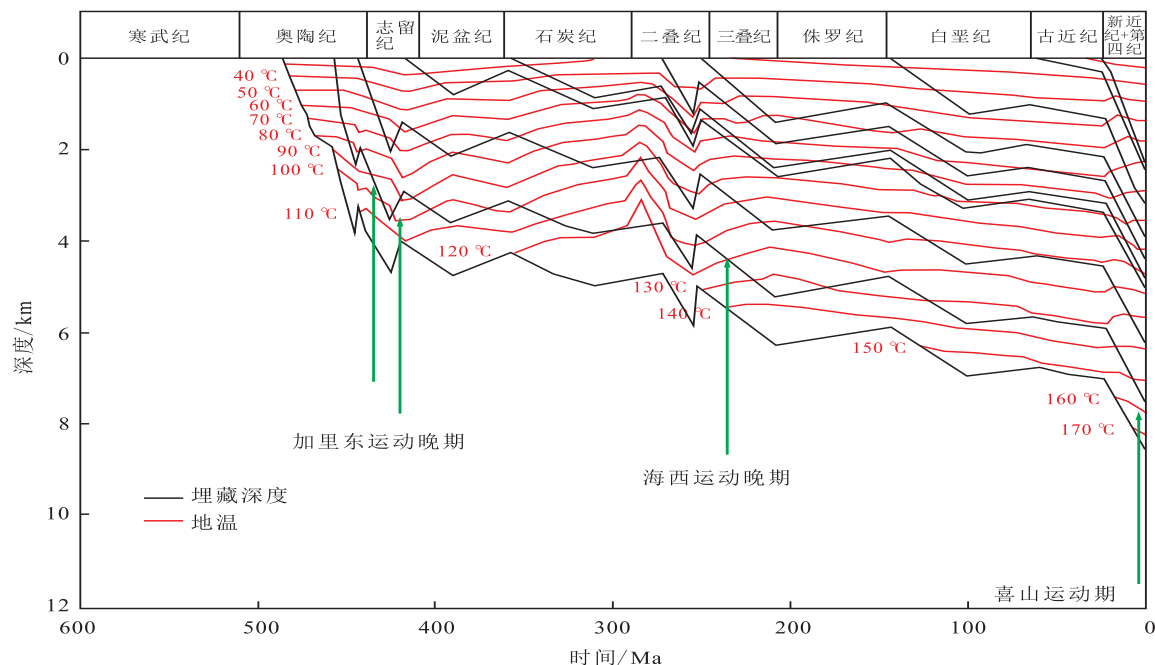


图7 S43井热史及油气成藏期次
Fig. 7 Thermal history and hydrocarbon formation stages of well S43

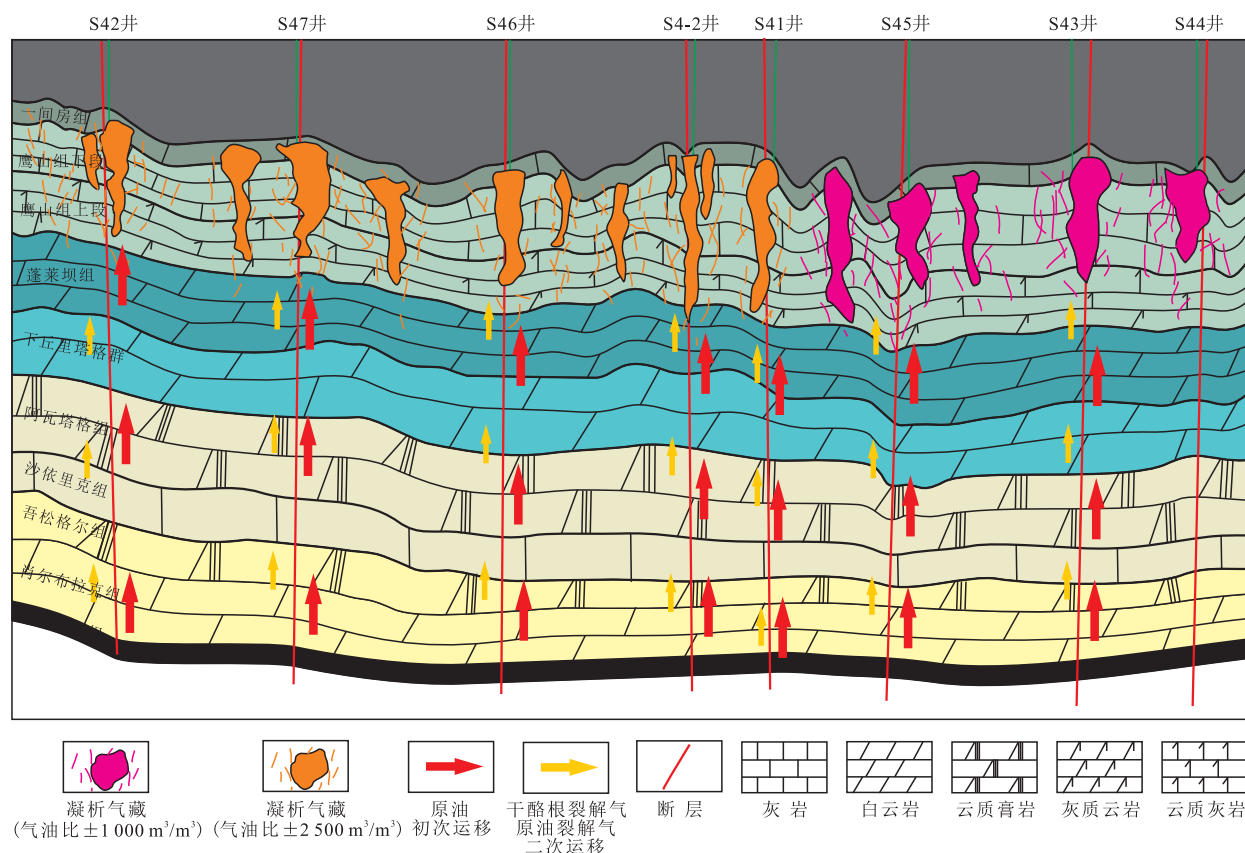


图8 顺北4号断裂带差异富集成藏模式

Fig. 8 Differential enrichment and accumulation mode in the Shunbei No. 4 fault zone

寒武统玉尔吐斯组两大含油气系统内,原油族群差异及油源对比指示顺北地区存在多源供烃的特征,表明满加尔坳陷下寒武统多套烃源岩参与供烃。

3) 通过对顺北S43井流体包裹体及热史的综合分析研究表明:该区经历了三期油气充注,第一期为加里东运动晚期,第二期为海西运动晚期,第三期为喜山运动期,其中,主要成藏期为海西晚期。

4) 顺北4号带油气差异性富集受烃源岩热演化差异和多期成藏过程中油气混合充注两方面因素综合控制。满加尔富烃坳陷与下寒武统玉尔吐斯组多期供烃,加里东运动晚期形成“古油藏”,海西运动晚期油气沿断裂带向构造高部位调整,喜山运动期,烃源岩达到生成裂解气阶段,形成大量的原油裂解气和干酪根裂解气,通过断裂带向早期形成的油藏中运移,混合形成现今的凝析气藏。

参考文献

- [1] 孙龙德. 塔里木盆地凝析气田开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
SUN Longde. Development of gas condensate field in Tarim Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [2] 王奥, 李菊花, 郑斌, 等. 多孔介质中凝析气相态特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2021, 40(1): 61-67.

- WANG Ao, LI Juhua, ZHENG Bin, et al. Study on the phase behaviors of the condensate gas in porous media[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2021, 40(1): 61-67.
- [3] 王金铎, 曾治平, 徐冰冰, 等. 准噶尔盆地沙湾凹陷二叠系上乌尔禾组流体相态及油气藏类型[J]. 岩性油气藏, 2024, 36(1): 23-31.
WANG Jinduo, ZENG Zhiping, XU Bingbing, et al. Fluid phase and hydrocarbon reservoir types of Permian Upper Urho Formation in Shawan Sag, Junggar Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2024, 36(1): 23-31.
- [4] 任战利, 崔军平, 祁凯, 等. 深层、超深层温度及热演化历史对油气相态与生烃历史的控制作用[J]. 天然气工业, 2020, 40(2): 22-30.
REN Zhanli, CUI Junping, QI Kai, et al. Control effects of temperature and thermal evolution history of deep and ultra-deep layers on hydrocarbon phase state and hydrocarbon generation history [J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(2): 22-30.
- [5] 张水昌, 朱光有, 杨海军, 等. 塔里木盆地北部奥陶系油气相态及其成因分析[J]. 岩石学报, 2011, 27(8): 2447-2460.
ZHANG Shuichang, ZHU Guangyou, YANG Haijun, et al. The phases of Ordovician hydrocarbon and their origin in the Tabei uplift, Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(8): 2447-2460.
- [6] 赵腾, 赵锐, 肖重阳, 等. 凝析气藏相态特征及开发方式研究进展[J]. 科技通报, 2023, 39(3): 1-7.
ZHAO Teng, ZHAO Rui, XIAO Chongyang, et al. Research progress on phase behavior characteristics and development mode of condensate gas reservoir[J]. Bulletin of Science and Technology,

- 2023, 39(3): 1-7.
- [7] 杨海军, 朱光有. 塔里木盆地凝析气田的地质特征及其形成机制[J]. 岩石学报, 2013, 29(9): 3233-3250.
YANG Haijun, ZHU Guangyou. The condensate gas field geological characteristics and its formation mechanism in Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(9): 3233-3250.
- [8] 孙冬胜, 金之钧, 吕修祥, 等. 库车前陆盆地迪那2气田成藏机理及成藏年代[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5): 559-591.
SUN Dongsheng, JIN Zhijun, LYU Xiuxiang, et al. Reservoiring mechanism and finalization period of Dina 2 gas field in Kuqa Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(5): 559-591.
- [9] 李贤庆, 肖中尧, 胡国艺, 等. 库车坳陷天然气地球化学特征和成因[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(5): 489-492.
LI Xianqing, XIAO Zhongyao, HU Guoyi, et al. Origin and geochemistry of natural gas in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 26(5): 489-492.
- [10] 赵星星, 李斌, 郭光辉, 等. 塔里木盆地塔中Ⅲ区奥陶系多相态油气藏成因及富集模式[J]. 天然气地球科学, 2022, 33(1): 36-48.
ZHAO Xingxing, LI Bin, WU Guanghui, et al. Genesis and enrichment model of Ordovician multi-phase oil and gas reservoirs in Tazhong III block, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(1): 36-48.
- [11] 孙东, 潘建国, 胡再元, 等. 塔里木盆地塔中Ⅲ区奥陶系碳酸盐岩油气藏主控因素及有利区带[J]. 沉积学报, 2019, 37(4): 868-877.
SUN Dong, PAN Jianguo, HU Zaiyuan, et al. Main factors controlling carbonate reservoir formation: Case study of Tazhong block III, Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2019, 37(4): 868-877.
- [12] 朱光有, 杨海军, 张斌, 等. 塔里木盆地迪那2大型凝析气田的地质特征及其成藏机制[J]. 岩石学报, 2012, 28(8): 2479-2492.
ZHU Guangyou, YANG Haijun, ZHANG Bin, et al. The geological feature and origin of Dina 2 large gas field in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(8): 2479-2492.
- [13] 刘学利, 解慧, 陈勇, 等. 顺北高温超高压缝洞型油藏原油相态性质测定及分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(31): 13361-13366.
LIU Xueli, XIE Hui, CHEN Yong, et al. Determining and analysis for phase behavior of crude oil from high-temperature ultra-high-pressure seam-hole type reservoirs in Shunbei[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(31): 13361-13366.
- [14] 马安来, 漆立新. 顺北地区四号断裂带奥陶系超深层油气地球化学特征与相态差异性成因[J]. 地学前缘, 2023, 30(6): 247-262.
MA Anlai, QI Lixin. Geochemical characteristics of oil and gas and difference in fluid phase in the ultra-deep ordovician reservoirs from No.4 fault of north Shuntuoguole Area of Tarim Basin, NW China[J]. Earth Science Frontiers, 2023, 30(6): 247-262.
- [15] 漆立新. 塔里木盆地顺北超深断溶体油藏特征与启示[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(1): 102-111.
QI Lixin. Characteristics and inspiration of ultra-deep fault-karst reservoir in the Shunbei area of the Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(1): 102-111.
- [16] 漆立新. 塔里木盆地顺托果勒隆起奥陶系碳酸盐岩超深层油气突破及其意义[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(3): 38-51.
QI Lixin. Oil and gas breakthrough in ultra-deep Ordovician carbonate formations in Shuntuoguole uplift, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3): 38-51.
- [17] 漆立新, 丁勇. 塔里木盆地顺北地区东西部海相油气成藏差异[J]. 石油实验地质, 2023, 45(1): 20-28.
QI Lixin, DING Yong. Differences in marine hydrocarbon accumulation between the eastern and western parts of Shunbei area, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2023, 45(1): 20-28.
- [18] 顾忆, 万畅露, 黄继文, 等. “大埋深、高压力”条件下塔里木盆地超深层油气勘探前景[J]. 石油实验地质, 2019, 41(2): 157-164.
GU Yi, WAN Yanglu, HUANG Jiwen, et al. Prospects for ultra-deep oil and gas in the “deep burial and high pressure” Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(2): 157-164.
- [19] 顾忆, 黄继文, 贾存善, 等. 塔里木盆地海相油气成藏研究进展[J]. 石油实验地质, 2020, 42(1): 1-12.
GU Yi, HUANG Jiwen, JIA Cunshan, et al. Research progress on marine oil and gas accumulation in Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1): 1-12.
- [20] 云露. 顺北地区奥陶系超深断溶体油气成藏条件[J]. 新疆石油地质, 2021, 42(2): 136-142.
YUN Lu. Hydrocarbon accumulation of ultra-deep ordovician fault-karst reservoirs in Shunbei Area[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(2): 136-142.
- [21] 马安来, 金之钧, 李慧莉, 等. 塔里木盆地顺北地区奥陶系超深层油藏蚀变作用及保存[J]. 地球科学, 2020, 45(5): 1737-1753.
MA Anlai, JIN Zhijun, LI Huili, et al. Secondary alteration and preservation of ultra-deep ordovician oil reservoirs of north Shuntuoguole Area of Tarim Basin, NW China[J]. Earth Science, 2020, 45(5): 1737-1753.
- [22] 丁勇, 晏银华, 顾忆, 等. 塔里木盆地塔河油田成藏史与成藏机制[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(6): 478-479.
DING Yong, YAN Yinhua, GU Yi, et al. The reservoir-formed history and mechanism of Tahe Oilfield in Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22(6): 478-479.
- [23] 卜旭强, 王来源, 朱莲花, 等. 塔里木盆地顺北油气田奥陶系断控缝洞型储层特征及成藏模式[J]. 岩性油气藏, 2023, 35(3): 152-160.
BU Xuqiang, WANG Laiyuan, ZHU Lianhua, et al. Characteristics and reservoir accumulation model of Ordovician fault-controlled fractured-vuggy reservoirs in Shunbei oil and gas field, Tarim Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2023, 35(3): 152-160.
- [24] 陈红汉, 吴悠, 丰勇, 等. 塔河油田奥陶系油气成藏期次及年代学[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 806-819.
CHEN Honghan, WU You, FENG Yong, et al. Timing and chronology of hydrocarbon charging in the ordovician of Tahe Oilfield, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 806-819.
- [25] 李萌, 汤良杰, 漆立新, 等. 塔北隆起南坡差异构造演化及其对油气成藏的控制[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(2): 218-228.
LI Meng, TANG Liangjie, QI Lixin, et al. Differential tectonic evolution and its controlling on hydrocarbon accumulation in the south slope of Tabei uplift[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(2): 218-228.
- [26] 李剑, 李志生, 王晓波, 等. 多元天然气成因判识新指标及图版[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(4): 503-512.
LI Jian, LI Zhisheng, WANG Xiaobo, et al. New indexes and charts for genesis identification of multiple natural gases[J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(4): 503-512.