

黄骅坳陷王官屯地区中—古生界 油气成藏条件与成藏模式

勾琪玮¹, 蒋有录¹, 刘景东¹, 吕雪莹¹, 姜文亚²

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石油大港油田公司 勘探开发研究院, 天津 300280)

摘要:黄骅坳陷王官屯地区中—古生界储层钻遇多口高产油气井, 勘探潜力较大。基于地质、地化、地震及测井、录井资料, 对王官屯地区的烃源岩、储盖组合等油气成藏条件进行分析, 通过流体包裹体技术和沥青显微荧光观察, 明确油气成藏期次与时间, 恢复油气成藏过程并建立油气成藏模式。研究表明:王官屯地区孔二段为主力供烃层系, 混有少量石炭系—二叠系油气源, 生烃条件好; 发育多套优质储层, 中—古生界和上覆新生界发育泥岩、膏岩及煤层等多套区域性盖层, 储、盖组合和保存条件好; 源、储间具有供烃窗口, 断层与不整合、砂体等构成复合输导体系, 输导条件优越。石炭系—二叠系烃源岩生成的油气向砂岩和下伏奥陶系碳酸盐岩中运聚成藏, 孔二段烃源岩生成的原油通过断层向中—古生界充注成藏, 整体上, 王官屯地区中—古生界潜山具有“多向供烃, 复合输导, 近源成藏”的特征。

关键词:中—古生界; 古潜山; 油气成藏条件; 成藏模式; 黄骅坳陷

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Hydrocarbon accumulation conditions and patterns of the Mesozoic and Paleozoic in Wangguantun area of Huanghua Depression

GOU Qiwei¹, JIANG Youlu¹, LIU Jingdong¹, LÜ Xueying¹, JIANG Wenya²

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao City, Shandong Province, 266580, China;

2. Exploration & Development Research Institute, Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin City, 300280, China)

Abstract: In Wangguantun area of Huanghua Depression with considerable potential of exploration, many oil and gas wells with high yield have been drilled in the Mesozoic and Paleozoic reservoirs. Based on the geological, geochemical, seismic, well logging and log data, the hydrocarbon accumulation conditions such as source rocks and reservoir-cap rock assemblages in Wangguantun area were analyzed. Through fluid inclusion technology and fluorescence microscopy of asphalt, the oil and gas accumulation stage and period were determined. Meanwhile, the hydrocarbon accumulation process was restored and its pattern was established. The results show that the Wangguantun area has good hydrocarbon generation conditions, in which E_k_2 is the main hydrocarbon supply series of strata, with a small amount of the Carboniferous and Permian oil and gas sources mixed. High-quality reservoirs and regional cap rocks are well preserved, with regional cap rocks of mudstone, gypsum, and coal seam developing in the Mesozoic and Paleozoic as well as the overlying Cenozoic. The transport conditions are superior, as the hydrocarbon supply window exists between source rocks and reservoir, which are connected by the composite hydrocarbon transporting system consisting of fault with unconformity and sand body. Oil and gas from the Carboniferous and Permian source rocks are migrating into sandstone and underlying Ordovician carbonate rocks to be entrapped, while oil and gas from E_k_2 source rocks are injected into the Mesozoic and Paleozoic through faults to be entrapped. As a whole, the buried hills of the Mesozoic and Paleozoic in Wangguantun area are featured by “multi-directional hydrocarbon supplies, composite transportation, and near-source accumulation”.

收稿日期: 2019-12-13。

作者简介: 勾琪玮(1995—), 女, 河南南阳人, 在读硕士研究生, 从事油气藏形成与分布规律方面的研究。E-mail: qjweigou@163.com。

通信作者: 蒋有录(1959—), 男, 山东章丘人, 教授, 博士。E-mail: jiangyl@upc.edu.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“渤海湾盆地深层油气地质与增储方向”(2016ZX05006-007)。

Key words: Mesozoic and Paleozoic; buried hill; hydrocarbon accumulation conditions; accumulation pattern; Huanghua Depression

渤海湾盆地自古生代以来经历了多期构造演化,古生界在多期抬升剥蚀过程中发育大量古潜山,且多与新生界优质烃源岩对接形成新生古储型油气藏^[1-2]。自冀中拗陷任丘中元古界古潜山获高产油流以来,包括潜山在内的深层油气勘探日渐成为渤海湾盆地油气勘探的重要领域,在黄骅拗陷千米桥、北大港等地区发现大量中—古生界油气藏。

近年来,黄骅拗陷王官屯地区中—古生界展现了较大的油气勘探潜力^[3],王古1、官古1601、官142等多口探井于中—古生界获工业油流或油气显示。前人对王官屯地区中生界地层发育特征等进行了细致研究^[4],明确了中—古生界油气来源^[5-7],但对其成藏条件、成藏模式的认识还不够深入。为此,笔者基于地质、地化、地震及测井、录井资料等,对王官屯地区中—古生界油气成藏条件与成藏模式进行研究,以期为该区下一步油气勘探提供借鉴。

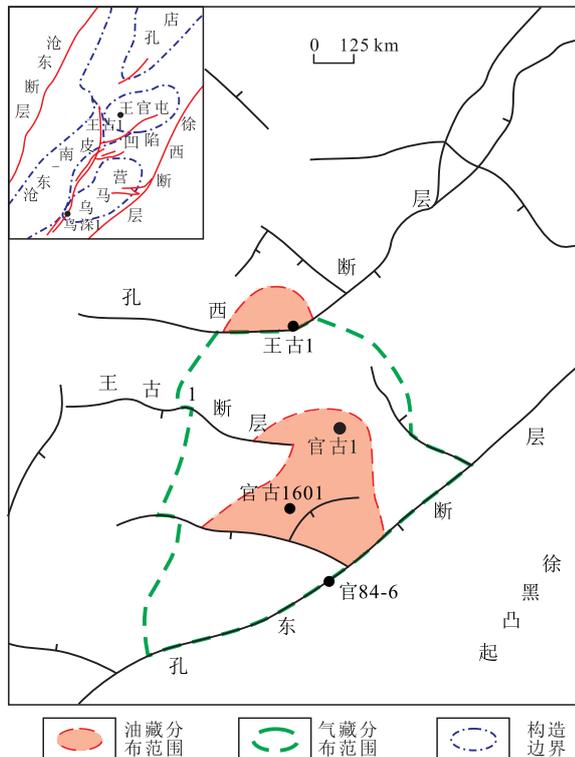
1 区域地质概况

王官屯地区位于黄骅拗陷南部,乌马营—王官屯潜山带北端,东起徐西断层,南至乌马营构造带,

西北以枣园油田沈家铺开发区为界(图1a),勘探面积达60 km²^[3,5-8],为一低位凸起,地质构造特征继承了黄骅拗陷的复杂性^[1,5]。

王官屯地区在古生代稳定的克拉通盆地,早石炭世受构造运动抬升影响造成沉积间断,早二叠世晚期由于板块挤压再次抬升剥蚀,至晚二叠世持续隆升,发育陆相沉积。中生代发育山间盆地,差异抬升使得研究区发育多期不整合,受频繁的挤压活动及火山活动影响^[4,9],早—中侏罗世发生裂谷盆地断陷运动。至新生代形成断陷盆地,古近纪孔店组沉积时期发育孔东、孔西2条断穿中—古生界的断层,同时伴生大量次级断层。

王官屯地区下古生界发育寒武系和中—下奥陶统滨浅海—台地相沉积,厚度稳定,上奥陶统和泥盆系缺失,开阔陆棚下的石炭系发育暗色砂泥岩、灰岩和煤层^[10],二叠系广泛发育暗色泥岩以及早二叠世晚期海退形成的粉砂岩、碳质泥岩等,与三叠系呈平行不整合接触(图1b)。中生界残余地层包含中—下三叠统、侏罗系和下白垩统,以砂砾岩、泥岩互层为主^[4,11],水动力较弱,侏罗系顶部砂砾岩发生溶蚀改造作用(图1b)。



a—区域构造位置及断层平面分布

地层				残余厚度 (m)	岩性	岩性描述
界	系	统(组)	代号			
新生界	古近系	孔店组	Ek ₁	750~1 050	[岩性符号]	泥岩、油页岩发育
			Ek ₂	250~400		
			Ek ₃	250~300		
中生界	白垩系	下统	K ₁	350~550	[岩性符号]	安山质火山岩和火山碎屑岩,底部发育砂砾岩
			侏罗系	中—上统		
	侏罗系	下一中统	J ₁₋₂	250~350		
	三叠系	下一中统	T ₁₋₂	200~300	[岩性符号]	红色细粒砂岩和泥岩互层
		二叠系	石千峰组	P _{2s}	80~950	[岩性符号]
古生界	二叠系	上石盒子组	P _{2sh}	60~350	[岩性符号]	灰紫色、紫灰色泥岩与灰白色砂砾岩互层,局部夹碳质泥岩、煤层
		下石盒子组	P _{1x}	60~200	[岩性符号]	
		石炭系	山西组	P _{1s}	10~150	
	石炭系	太原组	C _{3t}	20~150	[岩性符号]	
	石炭系	本溪组	C _{2b}	25~60	[岩性符号]	
	奥陶系	O	O	250~1 000	[岩性符号]	灰色、深灰色白云质灰岩及褐色灰质白云岩
寒武系						

b—地层柱状图

图1 王官屯地区区域构造位置及地层柱状图(图1a据文献[12]修改)

Fig.1 Structural location and stratigraphic column in Wangguantun area (Fig.1a was modified by Reference[12])

王官屯地区中—古生界油气藏类型主要包括古潜山气藏、岩性气藏和断块油气藏3类^[4,13]。纵向上,中—古生界油气藏由老到新依次分布于奥陶系上马家沟组—峰峰组碳酸盐岩、石炭系太原组砂岩和二叠系上、下石盒子组砂岩以及中—下侏罗统砂砾岩中。研究区奥陶系碳酸盐岩和上古生界砂岩中聚集大量油气资源,上马家沟组—峰峰组形成较大规模天然气藏^[10,14],为古生古储型气藏;上古生界发育岩性气藏和断块油气藏,原油油质较重。中生界以断块油藏为主,为中—高凝固点的中质稠油,含硫量高。平面上,气藏分布范围更广,油藏分布主要聚集于断层附近(官古1、官古1601井等),部分井段气藏发育。

2 油气成藏条件

王官屯地区毗邻生烃洼陷区,中—古生界顶面呈宽缓背斜状,是理想的油气运移指向区,具备有利的烃源、储层、盖层、储盖组合及保存等成藏条件。

2.1 烃源条件

王官屯地区临近的生油洼陷内发育石炭系—二叠系和孔二段2套主力烃源岩,烃源岩有机质剪度高、埋深较大,具备良好的油气供给条件。

石炭系—二叠系烃源岩在王官屯地区广泛分布,主要包括厚层暗色泥岩和薄煤层,有机质类型偏向于腐泥—腐殖型及腐殖型^[15]。泥岩总有机碳含量(*TOC*)为0.45%~4.34%,普遍低于1%;碳质泥岩*TOC*值普遍高于2%,镜质组反射率(R_o)超过0.89%。由煤的生烃潜力评价实验结果可知,研究区煤层处于成熟阶段,在二次生烃中达到裂解生干气阶段,*TOC*值普遍高于15%,生油气潜力大。

孔二段烃源岩主要分布在黄骅坳陷南区的沧东—南皮凹陷^[7],包括厚层湖相深灰色泥岩及黑色油页岩^[6],沉积厚度可达400~500 m,有机质类型偏腐泥型,姥植比平均值为0.84,属于还原环境下的淡水—微咸水深湖相沉积,有利于有机质的保存与后期生烃。*TOC*值平均达3.58%, R_o 值达到0.78%,以生油为主,属于优质烃源岩^[4-6,10]。

王官屯地区二叠系储层中原油的主峰碳数为 nC_{23} ,硫剪剪高,母源为陆源富含 II_1 和 II_2 型干酪根的腐殖质煤,与孔二段烃源岩生成的原油特征相似(图2)。中生界储层中的原油饱和烃剪剪高较高,芳烃与非烃、沥青质剪剪高相近,与石炭系—二叠系、沧东—南皮凹陷孔二段烃源岩部分抽提物样本都具有亲缘性^[4-7,10],反映为混源油。

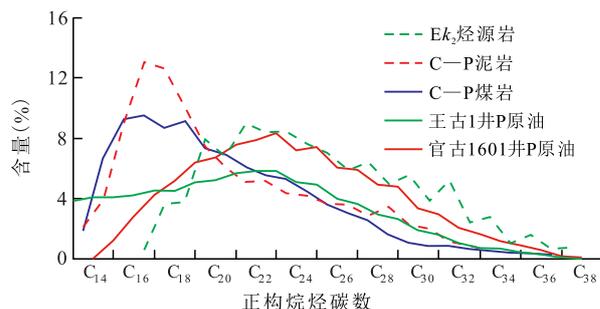


图2 王官屯地区原油与烃源岩饱和烃剪剪高分布关系

Fig.2 Distribution of saturated hydrocarbon contents of crude oil and source rocks in Wangguantun area

2.2 储层条件

王官屯地区中—古生界主力储层分别为奥陶系浅海相碳酸盐岩、石炭系—二叠系三角洲相碎屑岩和侏罗系—白垩系辫状河道碎屑岩等,其中碎屑岩储层以二叠系上、下石盒子组砂砾岩体最为发育。

奥陶系顶部碳酸盐岩储层埋深为3 000~4 000 m,圈闭面积约为11 km²,闭合高度约为500 m,发育高角度裂缝,被方解石半充填或充填。上马家沟组—峰峰组以白云质灰岩为主,受风化岩溶作用改造,次生溶孔、溶洞及高角度裂缝十分发育,溶蚀孔、洞多沿裂缝分布,颗粒内裂缝等发育,形成孔—缝—洞复合型储层^[14];上马家沟组平均孔隙度达1.8%,由于受到泥岩夹层的阻隔作用,上马家沟组上部地层水得以充分发生强白云岩化作用,形成大量次生溶孔,改善储层连通性。

王官屯地区石炭系—二叠系广泛沉积且地层发育相对稳定,山西组及上、下石盒子组发育大型三角洲、河流相砂砾岩与泥岩互层(图3)。单砂层厚度普遍为0~4 m,发育次生溶孔,砂层的孔、渗性较好,为良好的储层(图3)^[16-20]。

中生界侏罗系河道砂体展布方向与构造倾伏方向一致且连续性较强,顶部沉积了一套厚度为60~100 m的砂砾岩层,砾石粒径为1~3 cm,经次生岩溶改造后具有良好的储集性能,官古1601等多口井在该层系获工业油流(图3)。此外发育少量火成岩储层,以中低渗透原生、次生孔隙为主,孔隙度为0.14%~24.76%,平均达11.4%,渗透率为0.10~59.02 mD,平均为12.72 mD。

2.3 储盖组合及保存条件

王官屯地区发育中—古生界泥岩和新生界泥岩、膏岩等多套区域性盖层^[6,21-22],自下而上发育5套有利的储盖组合:第1套以下古生界奥陶系顶部风化壳为储层,与上覆本溪组暗色泥岩、煤层盖层直接接触;第2套以太原组碳酸盐岩为储层,石炭系山西组暗色泥岩、煤层为盖层;第3套以二叠系上、

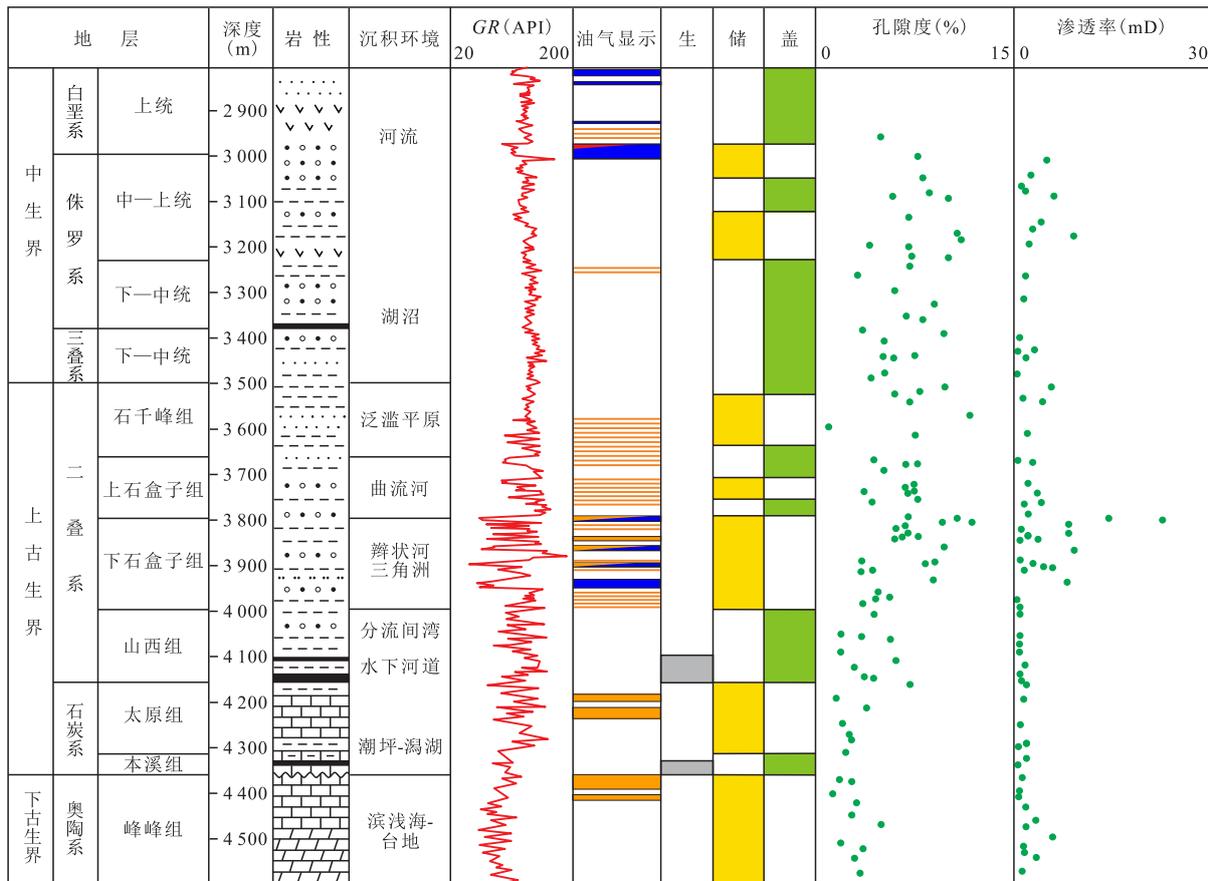


图3 官古1601井中生界及上古生界生储盖组合及储层物性特征

Fig.3 Reservoir-cap rock assemblage and reservoir's physical properties of the Mesozoic and the Upper Paleozoic in Well GG1601

下石盒子组砂岩为储层,上石盒子组、石千峰组及中生界泥岩作为盖层;第4套以石千峰组砂岩为储层,中生界泥岩为盖层;第5套以侏罗系顶部砂砾岩体为储层,中生界泥岩段以及新生界泥岩、膏岩作为中—古生界良好的区域性盖层(图3)。

王官屯地区构造形态近似为一个宽缓的背斜,储、盖层发育稳定且在空间展布上与地层倾伏方向较为统一,后期的断层错切使得储层与泥岩对置,圈闭条件好。此外,圈闭形成时期与生排烃时期良好的匹配关系为原生油气藏的形成提供了较为有利的条件。油气主要赋存于二叠系下石盒子组,其次在中生界等其他层系内富集^[14],地层水类型主要为NaHCO₃型和CaCl₂型(表1),指示研究区中—古生界油气藏形成于还原性陆相沉积环境,圈闭保存条件较好且后期未被破坏,有利于油气持续充注。

3 油气成藏期与成藏模式

3.1 油气成藏期

通过烃源岩热演化史和生烃史分析,石炭系—二叠系烃源岩埋深较大,在高温流值背景下于中三

表1 王官屯地区中—古生界部分井地层水特征及油藏封闭性评价

Table1 Formation water characteristics and reservoir sealing evaluation of some Mesozoic and Paleozoic wells in Wangguantun area

井号	地层	水型	矿化度 (mg/L)	油藏封闭性评价
王6	下白垩统	NaHCO ₃	1 220	较好
王17-1	中—下侏罗统	NaHCO ₃	12 790	较好
官古1	中—下侏罗统	NaHCO ₃	24 899	较好
王11-1	上侏罗统—下白垩统	CaCl ₂	9 504	好
官144	上侏罗统—下白垩统	CaCl ₂	15 587	好
王10	中生界	CaCl ₂	21 066	好
官142	中生界	CaCl ₂	33 314	好
官177	中生界	CaCl ₂	36 290	好
官142-1	中生界	CaCl ₂	38 658	好
王古1	二叠系	NaHCO ₃	21 345	较好

叠世第1次进入生烃门限($R_0=0.5\%$),此时地层温度超过70℃,于早侏罗世发生大规模生、排烃($R_0=0.7\%$),地层温度为90℃,在早白垩世的后期构造运动下烃源岩发生抬升并停止生烃,于新近纪再次开始大规模生、排烃,并于馆陶组沉积时期达到高成熟阶段($R_0=1.3\%$),地层温度达140℃,产生大量原

油和热解干气;在新近纪,孔二段烃源进入生烃门限大量生烃(图4)。结合黄骅坳陷中—古生界油气成藏期研究成果^[23],可以推断,王官屯地区中—古生界主要存在早侏罗世—早白垩世和新近纪—第四纪2期油气充注。

沥青显微荧光观察发现,王官屯地区以油质沥青、胶质沥青和沥青质沥青为主(图5a—5d)。对样品中的烃类流体包裹体进行岩相学及显微测温,王

古1井二叠系储层中的烃类流体包裹体呈现黄色—黄绿色—绿色荧光的变化,多分布在颗粒内裂缝中,黄色荧光包裹体尺寸较大,形状为规则的椭球状;绿色荧光包裹体尺寸较小,形状随内裂缝发育呈现较为规则的椭球状(图5e—5h)。二叠系储层烃类包裹体伴生的盐水包裹体均一温度测试结果显示,盐水包裹体具有2个峰值温度,分别为105~120和130~145℃,由图4对应早白垩世和新近纪—第四纪

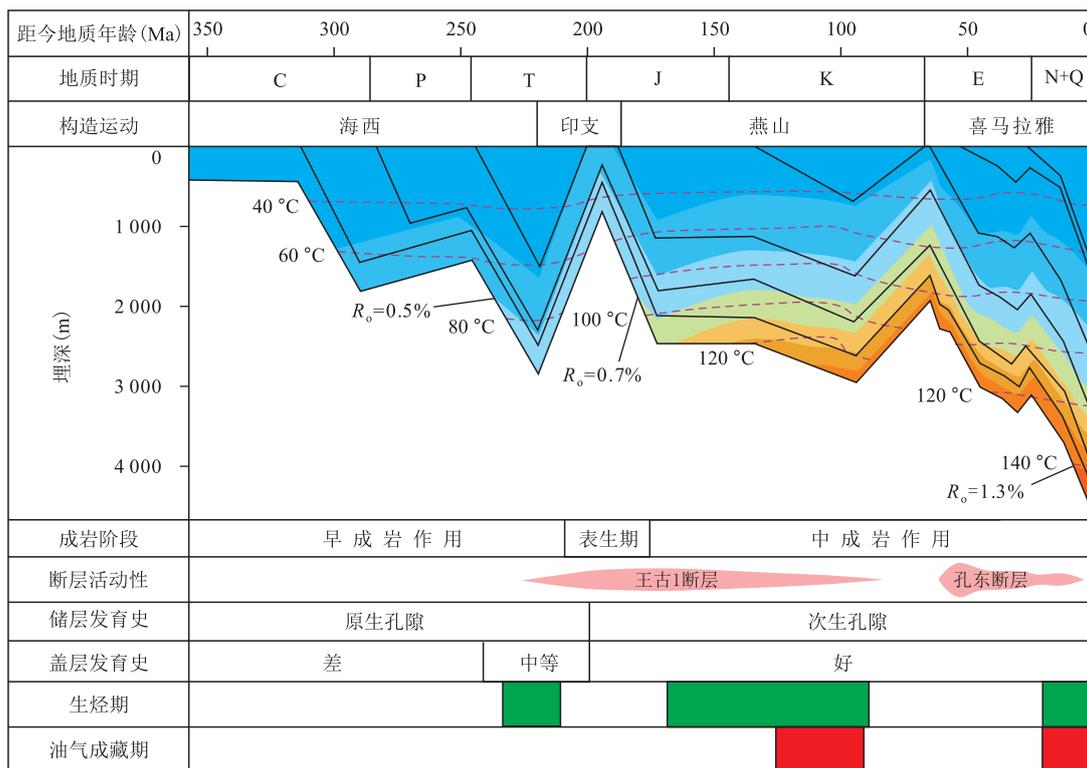
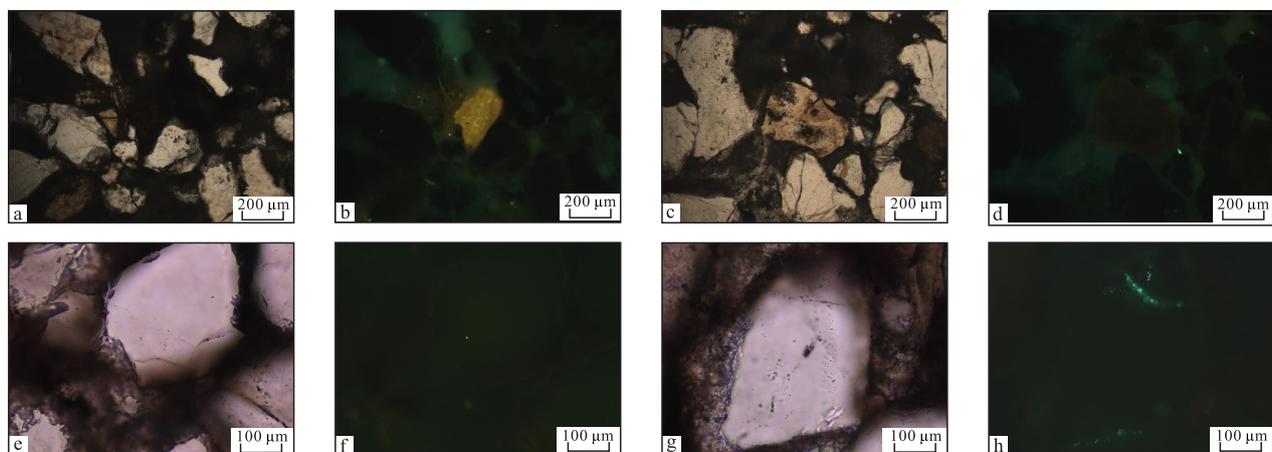


图4 王官屯地区油气成藏综合事件

Fig.4 Comprehensive event map of hydrocarbon accumulation in Wangguantun area



a—官古1601井,3691.63 m,二叠系,透射光;b—官古1601井,3691.63 m,二叠系,荧光;c—官古1601井,3689.62 m,二叠系,透射光;d—官古1601井,3689.62 m,二叠系,荧光;e—王古1井,3950.51 m,二叠系,透射光;f—王古1井,3950.51 m,二叠系,荧光;g—王古1井,3995.25 m,二叠系,透射光;h—王古1井,3995.25 m,二叠系,荧光

图5 王官屯地区中—古生界二叠系沥青样品透射光及荧光照片

Fig.5 Transmitted light and fluorescence of the Mesozoic and Paleozoic Permian asphalt samples in Wangguantun area

2期成藏;中生界对应新近纪—第四纪1期成藏。

结合上述分析及周边地区的油气成藏期调研判断,王官屯地区古生界原油存在早白垩世和新近纪—第四纪2期成藏,中生界则仅存在新近纪—第四纪1期成藏,以新近纪—第四纪成藏为主^[23]。

3.2 油气成藏模式

王官屯地区储、盖条件及其相互配置关系好,为混源、近源成藏,为进一步总结油气成藏模式,需明确油气运移路径及油气成藏过程。

孔东、孔西为2条NE—NNE走向的二级断层,平面展布约为25~27 km^[5](图6),在孔店组沉积时期活动性最强,最大断层活动速率分别达到22.8和34.2 m/Ma,王古1断层发育于中三叠世—晚白垩世,最大断层活动速率达到19.7 m/Ma,均可作为油气输导的通道^[13];奥陶系顶部GR值较低(图3),风化淋滤作用对顶部风化壳物性有所改善^[2,14],孔、渗性较好,不整合面输导性能良好;中生界及上古生界砂、泥互层段的纵向非均质性较强,侧向连通性强,在输导和储集性能方面对形成层状油气藏具有较大贡献^[16,18]。

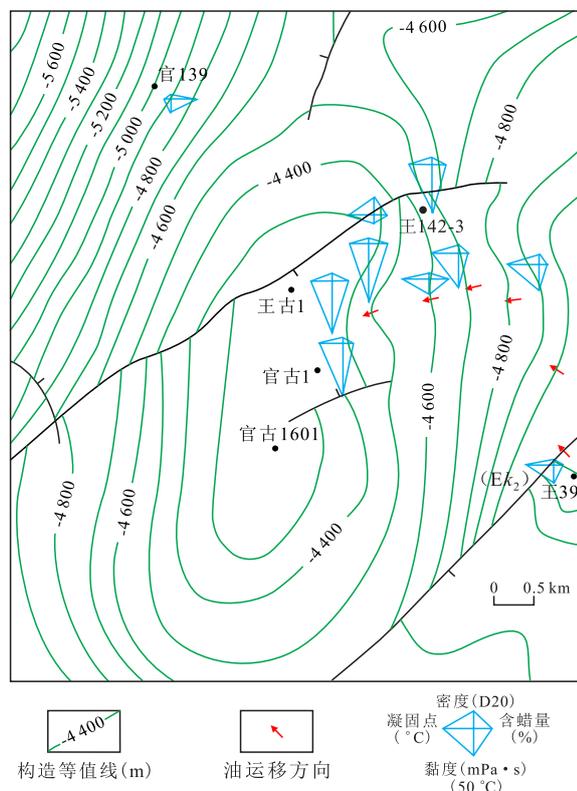


图6 王官屯地区中生界原油物性菱形分布

Fig.6 Rhomboidal diagram of physical properties of Mesozoic crude oil in Wangguantun area

由于构造活动的持续作用,断层将沧东—南皮凹陷烃源岩与王官屯地区古生界储层完全错开形成供烃窗口,垂向上沟通中生界与烃源岩^[1,24],与不

整合、砂体等构成复合输导体系^[25],在油气成藏期具有良好的输导条件(图7);此外,二叠系上、下石盒子组砂岩储层内裂缝发育,为油气在储层内侧向运聚提供有利条件。在原油向中生界储层充注成藏的过程中,随着原油运移距离的增大,黏度逐渐增大,指示原油由烃源岩生成后穿过孔东断层沿垂直于构造等值线的方向在下盘潜山中聚集成藏(图6)。

结合油气成藏期分析,石炭系—二叠系烃源岩于早侏罗世进入生烃高峰^[12,18],生成的油气沿不整合进入下伏奥陶系顶部碳酸盐岩储层,同时沿内部裂缝充注到石炭系—二叠系砂岩中,此时中生界储层未形成油气藏,随着王古1断层的活动性减小,于早白垩世油气大量运聚成藏,白垩纪末期发生挤压和逆冲作用导致部分油气散失^[12,25](图4)。石炭系—二叠系烃源岩于新近纪进入二次生烃阶段,热演化程度较高,生成的天然气在生烃增压作用下向砂岩和下伏奥陶系碳酸盐岩中运聚成藏;沧东—南皮凹陷孔二段烃源岩进入生烃门限,孔东断层及一系列次级断层的活动性与油气主要成藏期的匹配关系良好,断层成为油气成藏的优势运移通道,此时烃源岩与下盘石炭系—二叠系砂岩储层对置,形成侧向供烃窗口,沟通中生界储层与孔二段烃源岩,凹陷中的油气可以穿过断层进入下盘古生界储层中,受浮力作用沿断层充注于中生界砂体中(图7)。

根据上述分析,奥陶系顶部风化壳发育古生古储型的古潜山气藏,石炭系—二叠系烃源岩生成的天然气沿不整合面充注成藏;上古生界部分岩性气藏为自生自储型,油气进入临近砂体中,裂缝和内幕小断裂可作为优势运移通道;中—古生界的断块油气藏为孔二段供烃,发育侧向供烃窗口,断层、不整合为主要的油气运移通道。整体上,王官屯地区中—古生界油气藏具有“多向供烃,复合输导,近源成藏”的特征(图7)。

4 结论

王官屯地区中—古生界油气藏发育孔二段和石炭系—二叠系2套主力烃源岩,生烃条件好;中生界及上古生界砂砾岩中次生溶孔发育,下古生界碳酸盐岩发育孔缝洞复合型储集空间,储集性能好;多套泥岩、膏岩及煤层盖层在全区稳定分布,形成5套主要的储盖组合,为中—古生界油气藏提供良好的保存条件。

王官屯地区发育孔东、孔西、王古1断层及一系列次级断层,沟通源—储关系,与上古生界储层直接

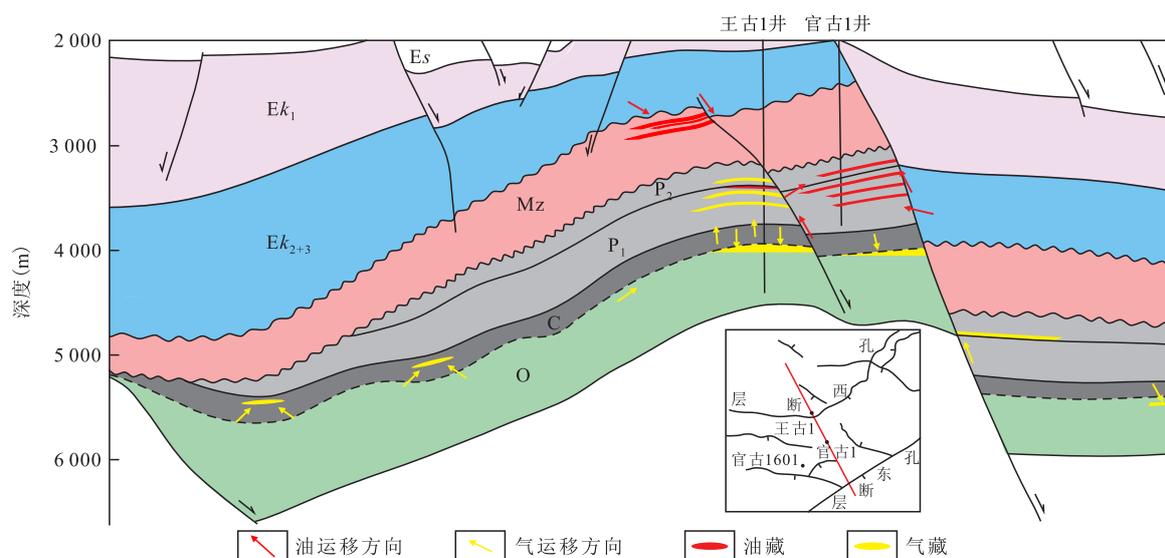


图7 王官屯地区中—古生界潜山油气成藏模式

Fig.7 Hydrocarbon accumulation patterns of Mesozoic and Paleozoic buried hills in Wangguantun area

接触,断层、不整合面、砂体构成复合输导体系。古生界油气藏具有早白垩世和新近纪—第四纪2个主要的成藏期,中生界仅发生第2期成藏。

王官屯地区具有“多向供烃,复合输导,近源成藏”的特征。石炭系—二叠系烃源岩在早白垩世发生第1期成藏,油气沿不整合进入下伏奥陶系顶部储层,此时中生界未形成油气藏。石炭系—二叠系烃源岩在新近纪进入二次生烃阶段,油气沿不整合进入奥陶系顶部及中生界;沧东—南皮凹陷孔二段烃源岩与下盘石炭系—二叠系侧向对接,凹陷中的油气可以穿过断层进入古生界储层,在浮力作用下中生界断块充注成藏。

参考文献

- [1] 赵凯,蒋有录,胡洪瑾,等.济阳拗陷潜山油气分布规律及富集样式[J].断块油气田,2018,25(2):137-140.
ZHAO Kai,JIANG Youlu,HU Hongjin,et al.Distribution regularities and enrichment styles of buried-hill reservoirs in Jiyang Depression[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2018,25(2):137-140.
- [2] 金凤鸣,王鑫,李宏军,等.渤海湾盆地黄骅拗陷乌马营潜山内幕原生油气藏形成特征[J].石油勘探与开发,2019,46(3):521-529.
JIN Fengming,WANG Xin,LI Hongjun,et al.Formation of the primary petroleum reservoir in Wumaying inner buried-hill of Huanghua Depression, Bohai Bay Basin, China[J].Petroleum Exploration and Development,2019,46(3):521-529.
- [3] 王文庆,李岳桐,卢刚臣,等.黄骅拗陷中部潜山地质特征及油气勘探方向[J].断块油气田,2017,24(5):613-617.
WANG Wenqing,LI Yuetong,LU Gangchen,et al.Geological characteristics and hydrocarbon exploration direction in buried-hill, central Huanghua Depression [J].Fault-Block Oil and Gas Field,2017,24(5):613-617.
- [4] 孙建.王官屯油田官142地区中生界地层特征[J].中外能源,2014,19(9):51-55.
SUN Jian.Formation characteristics of Mesozoic in Guan142 area of Wangguantun Oilfield [J].Sino-Global Energy,2014,19(9):51-55.
- [5] 张飞鹏,吴智平,李伟,等.黄骅拗陷印支—燕山期构造特征及其演化过程[J].中国矿业大学学报,2019,48(4):842-857.
ZHANG Feipeng,WU Zhiping,LI Wei,et al.Structural characteristics and its tectonic evolution of Huanghua depression during the Indosinian-Yanshanian [J].Journal of China University of Mining & Technology,2019,48(4):842-857.
- [6] 郑庆华,尤继元.黄骅拗陷王官屯构造带白垩系火山岩油气成藏特征[J].岩性油气藏,2019,31(5):44-51.
ZHENG Qinghua,YOU Jiyuan.Hydrocarbon accumulation characteristics of Cretaceous volcanic rocks in Wangguantun tectonic zone, Huanghua Depression [J].Lithologic Reservoirs,2019,31(5):44-51.
- [7] 吕雪莹,蒋有录,姜文亚,等.黄骅拗陷中—古生界原油成因类型与来源[J].中国矿业大学学报,2019,48(6):1290-1300.
LÜ Xueying,JIANG Youlu,JIANG Wenya,et al.Genetic types and source of Meso-Paleozoic crude oil in the Huanghua Sub-basin [J].Journal of China University of Mining & Technology,2019,48(6):1290-1300.
- [8] 王钊,邱军利.鄂尔多斯盆地长8储层碳酸盐胶结物成分组成与碳氧同位素特征研究[J].油气藏评价与开发,2018,8(2):14-21,46.
WANG Zhao,QIU Junli.Study on composition, carbon and oxygen isotopic characteristics of carbonate cements in Chang-8 reservoir, Ordos Basin [J].Reservoir Evaluation and Development,2018,8(2):14-21,46.
- [9] 金小燕,杜晓峰,王清斌,等.渤海海域火山热流体及其对碳酸盐岩优质储层的控制作用[J].石油实验地质,2018,40(6):800-807,842.

- JIN Xiaoyan, DU Xiaofeng, WANG Qingbin, et al. Volcanic hydrothermal fluid activity and its influence on carbonate reservoirs in Bohai Sea area [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2018, 40(6): 800-807, 842.
- [10] 王文广, 林承焰, 郑民, 等. 致密油/页岩油富集模式及资源潜力——以黄骅坳陷沧东凹陷孔二段为例 [J]. *中国矿业大学学报*, 2018, 47(2): 332-344.
- WANG Wenguang, LIN Chengyan, ZHENG Min, et al. Enrichment patterns and resource prospects of tight oil and shale oil: A case study of the second member of Kongdian formation in the Cangdong sag, Huanghua depression [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2018, 47(2): 332-344.
- [11] 李岳桐, 王文庆, 卢刚臣, 等. 黄骅坳陷潜山成因分类及其意义 [J]. *东北石油大学学报*, 2018, 42(3): 75-83.
- LI Yuetong, WANG Wenqing, LU Gangchen, et al. Genetic classification of buried hills and its significance of Huanghua depression [J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2018, 42(3): 75-83.
- [12] 董政, 余晓宇, 许辉群, 等. 大港王官屯-乌马营地区中、古生界逆冲推覆构造特征与演化 [J]. *地球物理学进展*, 2018, 33(5): 1 773-1 782.
- DONG Zheng, SHE Xiaoyu, XU Huiqun, et al. Thrust nappe tectonic characteristics and evolution during Indosinian-Yanshanian period, in Dagang Wangguantun-Wumaying region [J]. *Progress in Geophysics*, 2018, 33(5): 1 773-1 782.
- [13] 蒲秀刚, 时战楠, 韩文中, 等. 陆相湖盆细粒沉积区页岩层系石油地质特征与油气发现——以黄骅坳陷沧东凹陷孔二段为例 [J]. *油气地质与采收率*, 2019, 26(1): 46-58.
- PU Xiugang, SHI Zhannan, HAN Wenzhong, et al. Petroleum geological characteristics and hydrocarbon discovery of shale system in fine-grained sedimentary area of lacustrine basin: A case study of Kong2 Member in Cangdong Sag, Huanghua Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2019, 26(1): 46-58.
- [14] 黄臣军, 刘格云, 张林炎, 等. 黄骅坳陷深层油气成藏潜力与勘探方向 [J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(5): 683-690.
- HUANG Chenjun, LIU Geyun, ZHANG Linyan, et al. Deep oil-gas reservoir-forming potential and exploration direction in Huanghua Depression [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(5): 683-690.
- [15] 张善文, 王永诗, 张林晔, 等. 济阳坳陷渤南洼陷页岩油气形成条件研究 [J]. *中国工程科学*, 2012, 14(6): 49-55, 63.
- ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, ZHANG Linye, et al. Formation conditions of shale oil and gas in Bonan sub-sag, Jiyang Depression [J]. *Engineering Sciences*, 2012, 14(6): 49-55, 63.
- [16] 黄远鑫, 鱼占文, 张鹭, 等. 束鹿凹陷西斜坡潜山成藏主控因素与成藏模式 [J]. *特种油气藏*, 2018, 25(6): 60-64.
- HUANG Yuanxin, YU Zhanwen, ZHANG Ao, et al. Main-controlling factors and hydrocarbon accumulation patterns of the buried-hill reservoirs in the western slope of Shulu Sag [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2018, 25(6): 60-64.
- [17] HOOPER E C D. Fluid migration along growth fault in compacting sediments [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1991, 14(S1): 161-180.
- [18] 韩国猛, 吴雪松, 崔宇, 等. 渤海湾盆地黄骅坳陷二叠系致密砂岩储层特征、主控因素及发育模式 [J]. *中国石油勘探*, 2019, 24(4): 509-519.
- HAN Guomeng, WU Xuesong, CUI Yu, et al. Characteristics, control factors and development models of Permian tight sandstone reservoirs in Huanghua depression, Bohai Bay Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2019, 24(4): 509-519.
- [19] 靳子濠, 周立宏, 操应长, 等. 渤海湾盆地黄骅坳陷二叠系砂岩储层储集特征及成岩作用 [J]. *天然气地球科学*, 2018, 29(11): 1 595-1 607.
- JIN Zihao, ZHOU Lihong, CAO Yingchang, et al. Reservoir properties and diagenesis of Permian sandstones in Huanghua Depression, Bohai Bay Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2018, 29(11): 1 595-1 607.
- [20] 王凤娇, 刘义坤, 于苏浩. 苏里格气田东区致密砂岩储层特征 [J]. *油气地质与采收率*, 2017, 24(6): 43-47, 53.
- WANG Fengjiao, LIU Yikun, YU Suhao. Reservoir characteristics of tight sandstone in the eastern Sulige Gas Field [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2017, 24(6): 43-47, 53.
- [21] 金凤鸣, 张凯逊, 王权, 等. 断陷盆地深层优质碎屑岩储集层发育机理——以渤海湾盆地饶阳凹陷为例 [J]. *石油勘探与开发*, 2018, 45(2): 247-256.
- JIN Fengming, ZHANG Kaixun, WANG Quan, et al. Formation mechanisms of good-quality clastic reservoirs in deep formations in rifted basin: A case study of Raoyang sag in Bohai Bay Basin, East China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2018, 45(2): 247-256.
- [22] 蒋有录, 查明. 石油天然气地质与勘探 [M]. 2版. 北京: 石油工业出版社, 2016.
- JIANG Youlu, ZHA Ming. *Petroleum and gas geology and exploration* [M]. 2nd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016.
- [23] 蒋有录, 刘学嘉, 赵贤正, 等. 根据储层沥青和流体包裹体综合判识油气成藏期: 以黄骅坳陷北大港古生界潜山为例 [J]. *地球科学*, 2020, 45(3): 980-988.
- JIANG Youlu, LIU Xuejia, ZHAO Xianzheng, et al. Comprehensive identification of oil and gas accumulation period by fluid inclusion technique and reservoir bitumen characteristics: a case study of the Paleozoic buried hill in Beidagang, Huanghua depression [J]. *Earth Science*, 2020, 45(3): 980-988.
- [24] 伊硕, 黄文辉, 王一刚, 等. 延安以南地区奥陶系碳酸盐岩储层中流体包裹体及烃类物质的油气指示意义 [J]. *油气地质与采收率*, 2018, 25(6): 38-44.
- YI Shuo, HUANG Wenhui, WANG Yigang, et al. Fluid inclusions and hydrocarbons in Ordovician carbonate reservoirs in the South of Yan'an and its implication for oil and gas [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2018, 25(6): 38-44.
- [25] 冯子辉, 李强, 张亚金, 等. 古城低凸起奥陶系油气成藏条件与分布规律 [J]. *大庆石油地质与开发*, 2019, 38(5): 87-93.
- FENG Zihui, LI Qiang, ZHANG Yajin, et al. Accumulating conditions and distribution laws of Ordovician hydrocarbon in Gucheng Low Uplift [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2019, 38(5): 87-93.