

准噶尔盆地阜康凹陷阜东斜坡齐古组储层控制因素及有利区预测

卢炳雄¹, 文华国², 淡永³, 陈洪⁴, 朱永才⁴, 于景维⁵

[1. 钦州学院 资源与环境学院, 广西 钦州 535000; 2. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程 国家重点实验室, 四川 成都 610059; 3. 中国地质科学院 岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 4. 中国石油 新疆油田公司 勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000; 5. 中国石油大学(北京)克拉玛依校区, 新疆 克拉玛依 834000]

摘要:准噶尔盆地阜康凹陷阜东斜坡上侏罗统齐古组一段是主要的勘探目的层。利用多种室内分析手段,对其岩石学、储集空间以及物性特征进行分析,并总结优质储集层控制因素。在优质储集层研究的基础上,通过分析已出油钻井资料,对齐一段成藏控制因素进行研究,最终进行有利成藏区域的预测。研究表明,齐古组一段以细粒岩屑砂岩为主,成分成熟度低但结构成熟度高,储集空间主要为原生粒间孔,属于中孔中高渗型储集层。物源为储集层的发育提供物质基础,沉积相及古地貌控制了储集层的分布,压实作用和异常压力共同控制储集层的物性,胶结作用和溶蚀作用对于储集层物性影响有限。成藏控制因素主要为油气运移通道及动力,前者涉及到不整合以及断裂发育,后者主要为异常压力差,综合研究认为阜东斜坡区齐一段发育4个成藏有利区域。

关键词:有利区;储集层;齐古组;上侏罗统;阜东斜坡;阜康凹陷;准噶尔盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Favorable accumulation region prediction and controlling factors of hydrocarbon accumulation of the Qigu Formation in the Fudong slope, Fukang Sag, Junggar Basin

Lu Bingxiong¹, Wen huaguo², Dan Yong³, Chen Hong⁴, Zhu Yongcai⁴, Yu Jingwei⁵

[1. School of Resources and Environment, Qinzhou College, Qinzhou, Guangxi 535000, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 3. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin, Guangxi 541004, China; 4. Research Institute of Exploration of Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China; 5. China University of Petroleum (Beijing) at Karamay, Karamay, Xinjiang 834000, China]

Abstract: As the main exploration target in the Fudong slope of the Junggar Basin, the first member of the Upper Jurassic Qigu Formation was investigated. Its lithology, reservoir pore space and physical property were analyzed in lab, and controlling factors of reservoir quality were summarized. Starting from high-quality reservoir analysis, we studied the controlling factors of hydrocarbon accumulation for the Qigu 1 Member based on oil-producing well data, which ultimately enable us to predict hydrocarbon accumulation areas. And the result shows that (1) lithology of the Qigu 1 Member is mainly fine-grained clastic sandstone with high structural maturity and low compositional maturity, and reservoir space is mainly primary intergranular pores, forming a medium porosity reservoir with medium-high permeability; (2) source provenances supply materials for reservoir deposition, while sedimentary facies and palaeogeomorphology control reservoir quality distribution; both compaction and abnormal pressure determine physical properties of reservoirs, while cementation and dissolution have limited impact on reservoir property; (3) the controlling factors of hydrocarbon accumulation are mainly oil and gas migration channels and driven power, with the former involving unconformity and fault development and the latter mainly caused by abnormal pressure difference. In conclusion, we predict four favorable accumulation regions in the Qigu

收稿日期:2017-09-18; 修订日期:2018-03-16。

第一作者简介:卢炳雄(1987—),男,讲师,博士,油气储层地质。E-mail:10158258@qq.com。

基金项目:钦州学院高级别培育项目(2016PY-GJ15);中国地质科学院基本科研业务费专项经费资助项目(YYWF201723);广西自然科学基金面上项目(2016GXNSFAA380185);新疆自治区青年基金项目(2016D01B012)

1 Member of the study area.

Key words: favorable accumulation region, reservoir, Qigu Formation, Upper Jurassic, Fudong slope, Fukang Sag, Junggar Basin

近年来,随着中国西部地区油气勘探不断深入,大量成果的涌现促进使勘探思路由“构造向斜坡方向”的转变,位于生烃凹陷附近的斜坡区越来越受到勘探地质工作者的重视。勘探过程中储集砂体的成因、成岩作用及其有利成藏区的预测已成为研究的主要内容。

准噶尔盆地阜康凹陷被认为是该盆地最重要的生烃区,凹陷附近的斜坡也逐渐得到关注,尤其是东部斜坡带下侏罗统三工河组、中侏罗统头屯河组已发现的高产工业油气流,为侏罗系进一步勘探增添信心^[1-10]。2012年,阜东16井首次在阜东斜坡带上侏罗统齐古组钻获工业油气流,自此齐古组被认为是接替三工河组和头屯河组的有效层系。虽然少数学者对研究区齐古组储层特征^[11-12]及高分辨层序格架内的砂体分布^[8]进行了研究,但工作仍较薄弱,对齐古组储层特征的整体认识仍很模糊,导致勘探效率低下。在前人研究基础之上,本次研究主要针对齐古组储层特征和储层控制因素进行深入分析,结合已出油井的相关资料,对齐古组有利成藏区域进行预测。

1 地质概况

阜康凹陷是准噶尔盆地主要的生烃凹陷之一,下侏罗统八道湾组和三工河组暗色泥岩有机质丰富,类型为Ⅱ₂-Ⅲ型,属于低成熟的中等烃源岩^[13-15]。阜康凹陷东部的阜东斜坡带面积近800 km²,整体呈现鼻状构造轮廓(图1),齐古组为该斜坡带新发现的含油气层系。齐古组沉积期物源主要来自于东北部克拉美丽山,东北部北三台凸起以及南部博格达山,发育湖泊-辫状河三角洲沉积体系,厚度为100~400 m。自下而上划分为齐一段、齐二段和齐三段,其中齐一段是目前主要的勘探目标层。受燕山运动影响,研究区附近的北三台地区和南部博格达地区强烈抬升^[16],导致研究区内齐古组遭受不同程度的剥蚀。钻井显示出上部的齐三段缺失最为严重,而下部的齐一段保存相对完整,在横向分布上具有西厚东薄的特点。齐一段由西向东的厚度变化为12~200 m,主要发育辫状河三角洲沉积体系,岩性为细-中粒砂岩、砂质细砾岩夹泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩组合,砂、砾岩中常见大型交错层理、平行层理和底冲刷构造,为齐一段主要的储集岩类。

2 储层特征

2.1 岩石学特征

阜东斜坡区齐古组一段储集砂体类型主要为细-中粒和含细砾的岩屑砂岩,次为长石岩屑砂岩(图2a)。Q/(F+R)比值为0.305,稳定组分含量较低。其中,石英碎屑含量很低,平均值仅占碎屑总量的23.4%,以单晶石英为主;长石含量平均值占碎屑总量的14.4%,以正长石为主,部分为斜长石和条纹长石;岩屑含量最高,类型丰富,包括有沉积岩,占碎屑总量的12.2%,类型主要为泥岩和砂岩。变质岩,占碎屑总量15.4%,类型以千枚岩为主,少量片岩。火山岩岩屑,占碎屑总量的34.6%,类型主要为凝灰岩,少量安山岩(表1)。杂基含量较低,平均值仅占岩石总量的0.2%,主要由粘土矿物组成,伴有少量的凝灰物质。胶结物含量较高,平均值占岩石总量的11.6%,包括有高岭石、绿泥石等粘土矿物和方解石,自生矿物主要为微量黄铁矿。碎屑磨圆度较差,主要为次棱角状,分选好-中等。颗粒以点接触为主,次为线接触。胶结类型以孔隙型为主,次为孔隙-压嵌型和等厚环边薄膜型。砂岩总体表现出成分成熟度低而结构成熟度较高的特点,反映齐古组一段沉积期研究区距离物源较近,沉积物搬运介质能量较强,沉积速率较高的辫状河三角洲分流河道砂体的成因特点。

2.2 储集性特征

2.2.1 储集空间类型

据大量铸体薄片鉴定的图像分析资料,显示齐一段砂岩储层的储集空间主要为原生粒间孔和剩余原生粒间孔,约占储层所有储集空间的80%,其次为次生孔隙,约为20%,其类型较丰富,包括有粒间溶孔、岩屑和长石的粒内溶孔及铸模孔,以及仅占0.2%的碳酸盐胶结物溶孔。此外,与成岩压实破裂有关的微裂缝也较为发育。

2.2.2 储集层物性

据大量物性分析资料统计,研究区齐一段砂岩孔

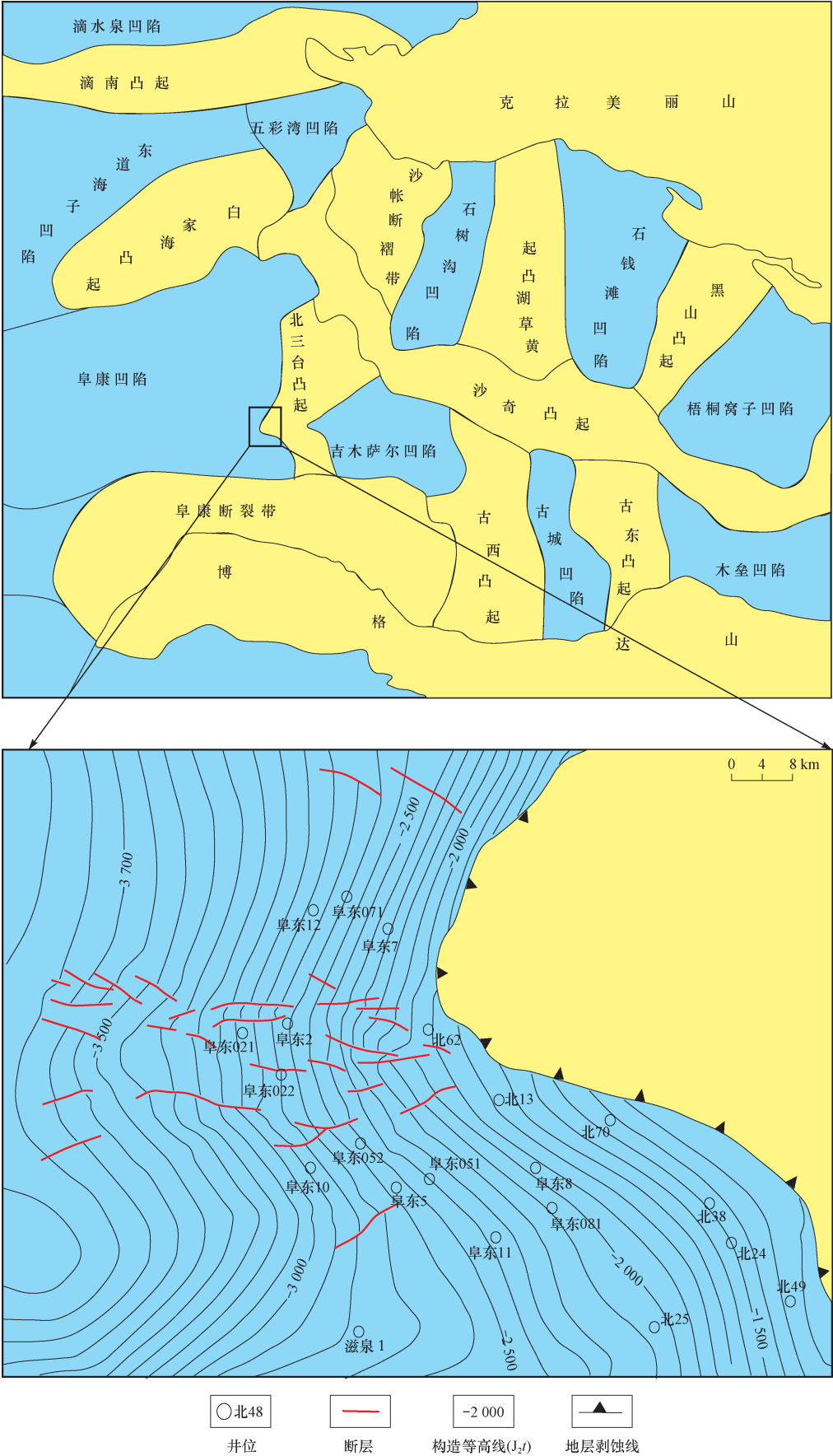


图 1 准噶尔盆地阜康凹陷阜东斜坡构造位置
Fig. 1 Tectonic location of the Fudong slope, Fukang Sag, Junggar Basin

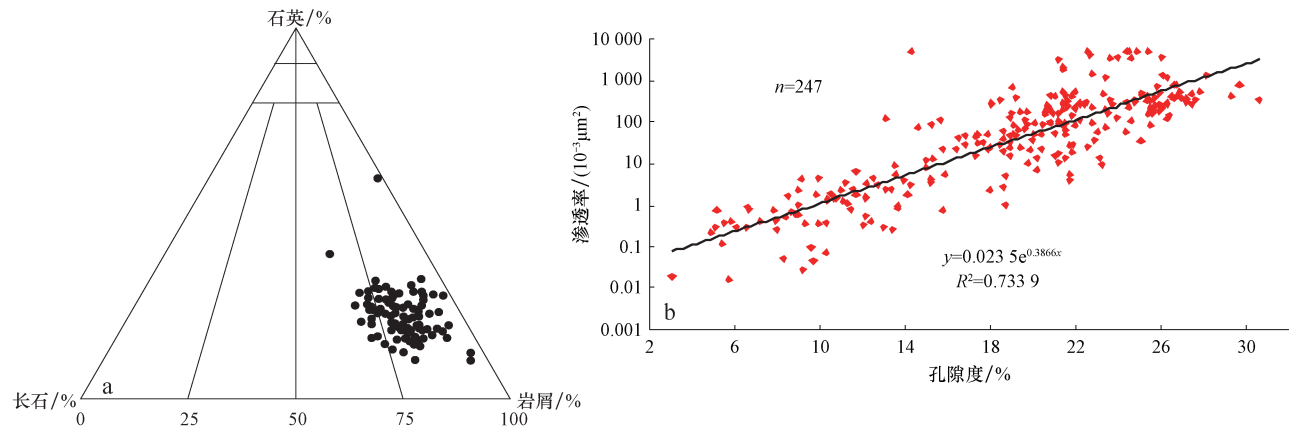


图 2 准噶尔盆地阜东斜坡齐一段储层砂岩三角投点图(a)及孔隙度与渗透率相关性(b)
Fig. 2 Ternary diagram of reservoir sandstone classification in the Qigu 1 Member, Fudong slope, Juggar Basin (a), and the correlation of its porosity and permeability (b)

表 1 准噶尔盆地阜东斜坡齐一段储层砂岩碎屑组分含量

层位	占岩屑含量百分数/%							胶结物含量/%					
	石英/%	长石/%	岩屑/%	沉积岩岩屑	变质岩岩屑	岩浆岩岩屑 (包括凝灰岩屑)	杂基/%	高岭石	绿泥石	凝灰质	方解石	黄铁矿	方沸石
J ₂ q ¹	10.2 ~ 62.5	0 ~ 25	36.2 ~ 85.5	0 ~ 43.4	3.6 ~ 31.9	13.4 ~ 60.5	0.2	0.3	3.7	0.6	6.9	0.7	0.4

隙度分布范围为 3.1% ~ 31.3%, 主要分布于 15% ~ 25%, 平均值为渗透率在 18.7%; 渗透率分布范围为 $0.02 \times 10^{-3} \sim 5\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $369.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 渗透率在 $50 \times 10^{-3} \sim 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。孔隙度与渗透率相关性较好(图 2b), 相关系数 0.733 9。表明渗透性主要依赖基质孔隙与喉道, 总体反映中孔 - 中、高渗孔隙型储层性质。

2.2.3 孔隙结构特征

压汞曲线的形态可在一定程度上表征孔喉的分选性、分布歪度及平均孔喉半径的影响, 是孔隙结构最直观的反映(表 2)。研究区齐一段砂岩储层的中值半径(R_{50})平均值为 $0.16 \mu\text{m}$, 反映喉道总体偏细, 以细管喉道为主; 分选系数平均值为 2.9, 反映孔隙大小较均匀; 变异系数平均值为 0.3, 反映出孔隙结构较好。综上所述, 齐一段砂岩储层具有孔喉分选性较好的中、小孔细喉结构。

3 储集层控制因素

3.1 物源和物质组分

中 - 晚侏罗世燕山运动使克拉美丽山、北三台凸起及博格达山持续隆升为研究区齐古组沉积提供直接的物质来源。通过砂岩储层的碎屑组分特征、稀土元素及 Sr 同位素地球化学特征的分析, 确定研究区齐一段沉积物母岩性质为具有大陆岛弧性质的岩浆岩, 与野外和钻井岩心中看到砂岩储层中含有大量长石碎屑和火山岩与千枚岩为代表的岩浆岩和变质岩岩屑组分相吻合。此外, 砂岩储层中普遍含有少量的凝灰质组分, 成因与燕山运动期间伴随有多次火山喷发有关。

物源对于储层砂体的影响, 主要表现在碎屑组分的抗压实性和易溶性两个方面。首先是石英和长石含

表 2 准噶尔盆地阜东斜坡一段砂岩储集层压汞特征

层位	均值系数	分选系数	偏态	峰态	变异系数	中值压力/ MPa	中值半径/ μm	排驱压力/ MPa	最大孔喉 半径/ μm	退汞效率/ %	孔喉 体积比	平均毛管 半径/ μm	均值 系数	孔隙体积 百分数/%
J ₃ q ¹	9.6	2.9	0.1	1.8	0.3	1.9	1.6	0.2	17.7	24.2	3.9	4.9	0.2	20.7

量,因为石英和长石颗粒能在压实背景下起到支撑作用,可为原生孔隙的保存提供抗压实的骨架组分^[17-18]。研究区内齐一段砂体储层的石英含量有顺主物源方向自北向南明显增多的变化趋势($15\% \pm 3\%$ 增至 $22\% \pm 5\%$),长石含量也有类似的增多变化趋势,而塑性岩屑则具有减少的变化趋势($68\% \pm 5\%$ 减小至 $40\% \pm 5\%$),此特征被被认为是顺物源方向砂体的抗压实性增强和物性变好的原因之一。其次是岩屑含量,虽然岩屑的可塑性在早成岩期的压实过程中不利于原生孔隙的保存,对于孔隙之间的喉道也有一定程度的破坏,但它为溶蚀作用提供了易溶组分,为次生孔隙的发育提供了物质基础,约有65%的次生孔隙为岩屑被溶蚀而形成;长石也是有利于次生孔隙发育的易溶组分,约有34%的次生孔隙为长石被溶蚀形成的溶孔。从总体上看,岩屑和长石的溶蚀不仅有利于孔隙的增加,对渗透率的改善也有贡献。

3.2 古地貌及沉积相

古地貌控制着沉积相的分布^[9],而沉积相直接控制着储层的展布和储集性能。利用地震资料对研究区齐一段的古地貌进行恢复,结合由野外剖面、钻井岩心及测井资料对沉积相展布特征进行分析,发现靠近剥蚀线附近,暖色调面积逐渐增大,反映砂体分布面积逐渐增大^[20-21],为后续有利储集层的预测提供依据。

研究区齐一段发育辫状河三角洲沉积体系,包括辫状河三角洲平原和辫状河三角洲前缘,储集砂体主要为水上和水下分流河道及天然堤砂体。通过对各沉积微相和岩石类型与储集层物性的相关性分析,可确定以水上和水下分流河道砂体的物性为最好(图3)。

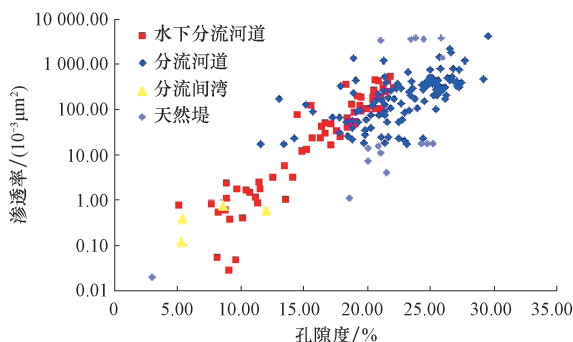


图3 准噶尔盆地阜东斜坡齐一段不同沉积相孔渗特征

Fig. 3 Porosity and permeability for different sedimentary facies in the Qigu 1 Member, Fudong slope, Juggar Basin

3.3 成岩作用

前人对研究区齐一段的成岩作用已十分详尽,依据齐一段干酪根镜质体反射率、粘土矿物的转化、自生粘土矿物组合及岩石结构构造等证据,结合齐一段孔隙型储层的胶结类型、埋藏深度及压实强度等背景,确定齐一段仅处于中成岩阶段A期^[11-12]。同时认为压实作用是砂岩储层物性变差的主要因素,其次是胶结作用。绿泥石薄膜还边胶结的抗压性虽然非常有利于原生孔隙的保存,但因其占据了部分孔隙和喉道,对降低储层的孔、渗性仍有较强的影响^[22];但由于绿泥石的含量不高,对砂岩储层物性的总体影响有限。基于齐一段成岩作用仅处于中成岩阶段A期,压实和胶结作用总体不强,因而大部分原生粒间孔和剩余原生粒间孔得以较好的保存。对改善齐一段砂岩储层物性最有意义的成岩作用,是发生在成岩阶段A期较完时齐的、来自生烃凹陷的酸性热液溶蚀作用^[3,11],由长石和岩屑等不稳定组分的溶蚀形成的各类次生孔隙占据孔隙总量的20%,其中包括了由碳酸盐胶结物溶解形成的仅为0.2%的胶结物溶孔,以及不甚发育的微裂缝,此二者对改善齐一段储层物性的贡献是非常有限的。

3.4 异常压力

利用多口井实测压力资料,发现研究区齐一段普遍存在异常高压(图4a),压力系数分布于1.4~1.9(图4b),异常高压的存在对原生粒间孔隙具有重要的保护性^[23],其机理主要是减慢机械压实作用的速率^[24]。同时,异常高压带也使流体活动性变弱,限制了胶结作用范围,为原生孔隙创造良好的保存条件。

4 成藏有利区预测

研究发现,阜东斜坡齐一段油气藏类型主要为透镜状岩性油气藏,油气来源主要为二叠系以及侏罗系烃源岩;储层主要为齐一段水上-水下分流河道砂体;盖层为分流间湾泥岩,局部为钙质泥岩隔层。有效储层的确定对成藏有利区的预测十分重要,因而了解储层的控制因素是必要的。基于储层发育控制因素的分析,是建立在仅从储层方面所考虑的各项单因素前提下,仅有好的“储层仓库”,而缺乏可进入“储层仓库”的烃源和运移通道,“储层仓库”就成了摆设。因此,对于成藏作用最主要的控制因素还是在于烃源能否进入“储层仓库”的问题。

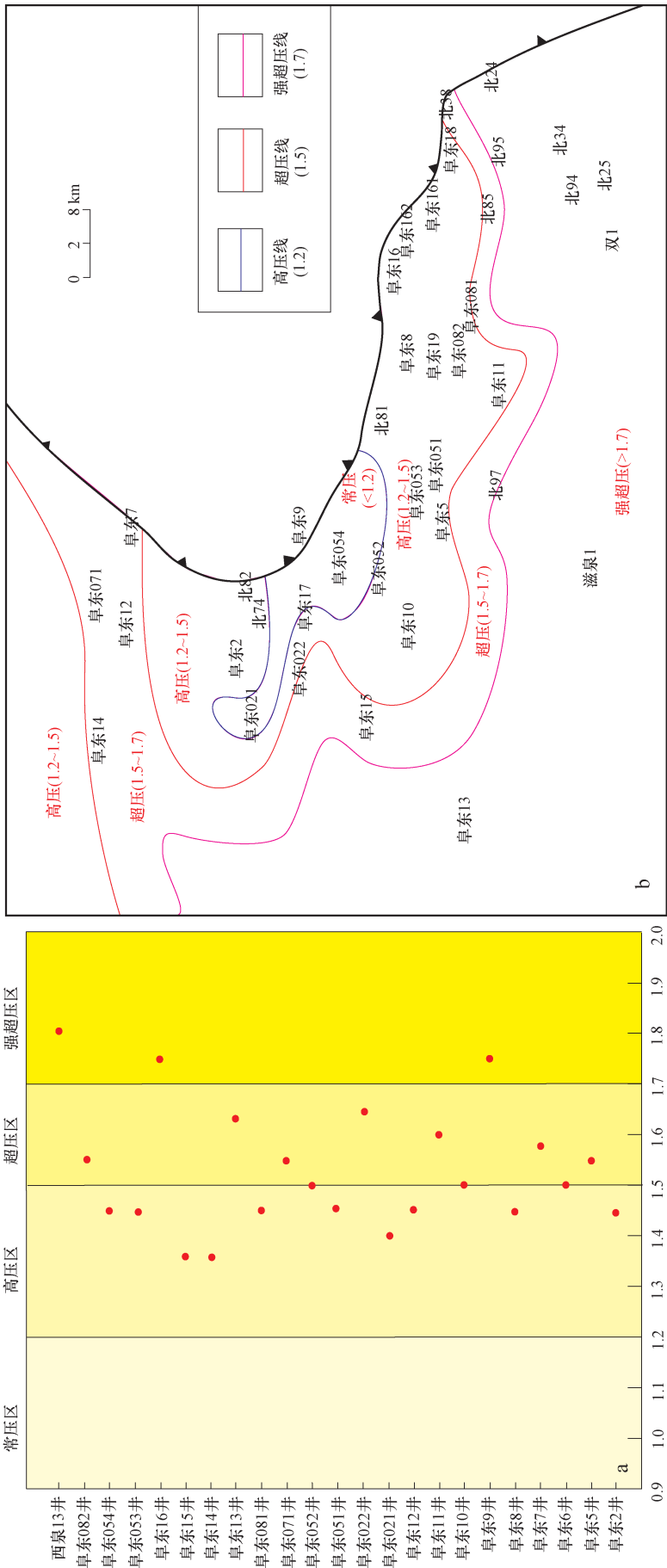


图4 准噶尔盆地阜东斜坡齐一段异常压力特征
Fig. 4 Abnormal pressure characteristics of the Qigu 1 Member, Fudong slope, Juggar Basin
a. 研究区部分井压力系数分布; b. 研究区压力系数平面分布

通过对研究区内出油井分析,发现储层物性好,储集砂体质量好只是成藏的一个条件,关键还是在于油源与储层的接触关系。以阜东13井为例,该井通过井震标定显示,发现齐一段有一套规模较大、物性很好的分流河道砂体,可试油结果却是全井段无油气显示,究其原因砂体无运移通道沟通烃源,使油气运不进“储层仓库”。而其附近的阜东022井,由于砂体与构造断裂为主的运移通道匹配良好,使油气可直接运到“储层仓库”里。因此,油源、油气运移和储层是油气富集成藏缺一不可的前提,尤其是砂体与不整合、断裂构成的有效疏导体系,在研究区起到连接油源及运输油气的作用^[25-26],更是控制成藏的一个综合因素。

阜东054井齐一段的砂体储层质量好,同时又有断裂构造连通了砂体与油源,但试油结果还是无油气显示,究其原因发现该井区缺乏油气注入动力——压

力差。压力差的大小可直接影响油气的运移方向及油气藏的分布。理论上,油气从高势区向低势区运移,因此,编制齐古组与下伏头屯河组地层压力差平面图显得必要(图5a)。编图结果表明,研究区中上侏罗统的地层压力差都在4 MPa以上,局部压力差达到8 MPa以上,压力差等值线与剥蚀线和区域物源搬运方向近似^[27-28],结合研究区试油资料发现,出油井的中上侏罗统压力差均在8 MPa以上。

根据上述分析,主要利用齐一段砂岩储层孔、渗分布图(图5b,c)、断裂和不整合的发育程度(见图1)以及压力差分布图(图5a),对成藏有利区进行预测(图5d)。结果发现,研究区东部靠近剥蚀线的顺物源方向为最有利成藏区,该区运移通道主要为不整合与砂体的匹配体系,砂体厚度较大,孔隙度在15%以上,渗透率大于 $30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;在研究区中部也发育有一个较大的有利成藏区,断裂构造发育,为主要的油气运

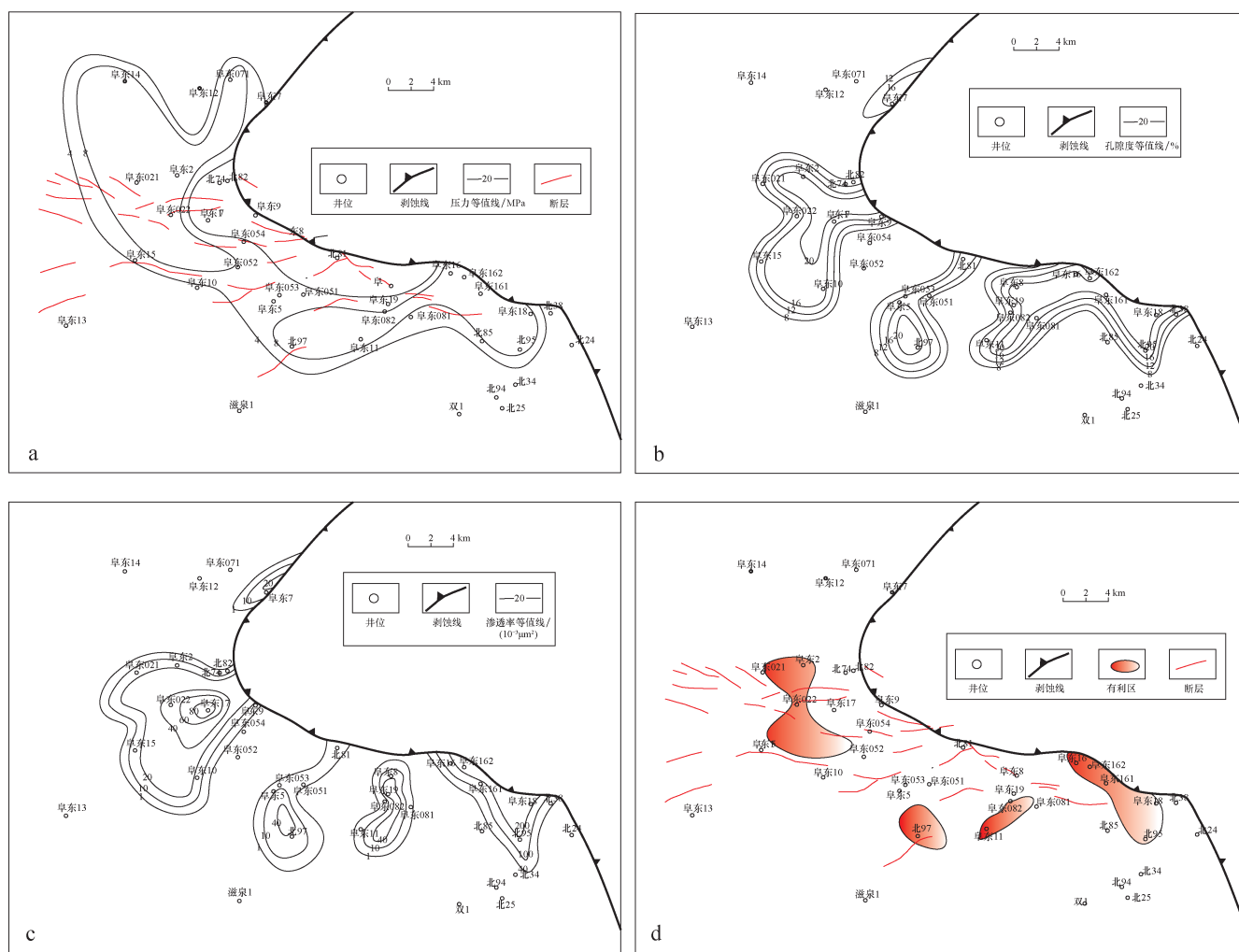


图5 准噶尔盆地阜东斜坡齐一段成藏有利区预测

Fig. 5 Prediction of favorable accumulation regions in the Qigu 1 Member, Fudong slope, Juggar Basin
a. 中-上侏罗统压力差平面分布; b. 齐一段孔隙度平面分布; c. 齐一段渗透率平面分布; d. 齐一段有利区分布

移通道,砂体厚度较大,孔隙度在8%以上,渗透率大于 $30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。以上两个有利成藏区都具备较大的地层压力差,可为油气运移提供动力,结合储集砂体物性,认为是研究区最有利的2个勘探区域。此外,在研究区中南部还发育有两个面积较小的有利成藏区,砂体厚度虽然很大,但储集物性相对较差,孔隙度在5%左右,渗透率大于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,断裂构造相对不发育,运移通道主要为较远深大断裂与渗透性较好砂体匹配体系,为勘探风险较大的区域。

5 结论

1) 准噶尔盆地阜东斜坡区齐一段储层主要为细-中粒和含细砾的岩屑砂岩,具有成分成熟度低但结构成熟度高的特点,储集空间主要为原生粒间孔,孔喉结构以细喉为主,总体上属于中孔-中、高渗孔隙型储层。

2) 物源、古地貌和沉积相、成岩作用及异常压力共同控制了储层发育及质量。物源为储层发育提供了物质基础;古地貌和沉积相共同控制了储层的分布;仅处于中成岩阶段A期的压实和胶结作用虽然对储层有一定的破坏性,但溶蚀作用对改善储层物性有主要意义;异常压力不仅对原生孔隙的保存起到至关重要的作用,而且也是油气运移、聚集、成藏的主要驱动力。另外砂体与断裂和不整合组合的输导体系匹配关系及压力差大小也是研究区有利成藏控制因素。

3) 结合试油资料,对研究区齐一段有利成藏控制因素进行汇总,预测了4个有利成藏区域,其中断裂发育的斜坡中部和靠近剥蚀线的斜坡东北部为最有利勘探区域。

参 考 文 献

- [1] 庞秋维,王振奇,覃毅,等.准噶尔盆地白家海凸起-阜北斜坡区油气运移示踪分析[J].长江大学学报(自然科学版),2011,8(12):40-42.
Pang Qiuwei, Wang Zhenqi, Tan Yi, et al. Tracer analysis of hydrocarbon migration in Baijiahai Arch-Fubei Slope of Junggar Basin [J]. Journal of Yangtze University (Nat Sci Edit), 2011, 8(12): 40-42.
- [2] 连小翠,王振奇,叶春,等.准噶尔盆地白家海地区三工河组储层孔隙结构及影响因素[J].岩性油气藏,2011,23(2):35-40.
Lian Xiaocui, Wang Zhenqi, Ye Chun, et al. Pore structure and influencing factors of reservoir of Sangonghe Formation in Baijiahai area, Junggar Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(2): 35-40.
- [3] 况昊,王振奇,瞿建华,等.白家海凸起-阜北斜坡中下侏罗统成岩演化特征[J].新疆石油地质,2012,33(2):159-161.
Kuang Hao, Wang Zhenqi, Qu Jianhua, et al. Diagenesis evolution features in Middle and Lower Jurassic in Baijiahai salient to Fudong slope area [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(2): 159-161.
- [4] 于景维,任伟,王武学,等.阜东斜坡中侏罗统头屯河组异常高压形成机理[J].新疆石油地质,2015a,36(5):521-525.
Yu Jingwei, Ren Wei, Wang Wuxue, et al. Formation mechanism of Toutunhe abnormal pressure of Middle Jurassic in Fudong Slope area, Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2015a, 36(5): 521-525.
- [5] 于景维,吴俊军,李龙,等.阜东斜坡区侏罗系头屯河组地震沉积特征及有利区预测[J].新疆地质,2015b,32(3):368-372.
Yu Jingwei, Wu Junjun, Li Long, et al. Sedimentary seismic characters and favorable area prediction of Toutunhe Formation in East of Fudong Slope Zone [J]. Xinjiang Geology, 2015b, 32(3): 368-372.
- [6] 于景维,郑荣才,柳妮,等.准噶尔盆地东部阜东斜坡区头屯河组粘土矿物特征[J].石油与天然气地质,2015,36(6):945-954.
Yu Jingwei, Zheng Rongcai, Liu Ni, et al. The comprehensive search on clay minerals in Toutunhe Formation of Fudong slope area in east of Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(6): 945-954.
- [7] 于景维.准噶尔盆地阜东斜坡带头屯河组层序分析与地震沉积学研究[D].四川成都:成都理工大学,2015.
Yu Jingwei. Analysis on sequence and seismic sedimentology in Toutunhe Formation in Fudong slope area of Junggar Basin [D]. Chengdu: Chengdu University of technology, 2015.
- [8] 于景维,柳妮,文华国,等.准噶尔盆地阜东斜坡区上侏罗统齐古组高分辨率层序分析及砂体预测[J].古地理学报,2016,18(2):265-274.
Yu Jingwei, Liu Ni, Wen Huaguo, et al. Analysis of high-resolution sequence stratigraphic and prediction of favorable sandbodies in the Upper Jurassic Qigu Formation in Fudong slope area, Junggar Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2016, 18(2): 265-274.
- [9] 柳妮,文华国,于景维,等.准噶尔阜康东部斜坡区中侏罗统头屯河组高分辨率层序地层格架内储集层宏观非均质性研究[J].地质论评,2014,60(5):1158-1166.
Liu Ni, Wen Huaguo, Yu Jingwei, et al. Analysis of macroscopic heterogeneity within high resolution sequence stratigraphic framework in Toutunhe Formation of middle Jurassic in East of Fukang Slope Zone, Junggar Basin [J]. Geological Review, 2014, 60(5): 1158-1166.
- [10] 柳妮,吴丛文,严世帮,等.阜东斜坡区头屯河组产能特征及其影响因素分析[J].新疆大学学报(自然科学版),2016,33(1):109-114.
Liu Ni, Wu Congwen, Yan Shibang, et al. Analysis on characters and affecting factors of productivity in Toutunhe Formation in Fudong Slope Zone [J]. Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition), 2016, 33(1): 109-114.
- [11] 况昊,祁利祺,谭先锋,等.准东阜东斜坡区上侏罗统齐古组砂岩成岩作用及孔隙演化分析[J].新疆地质,2015,33(4):493-497.

- Kuang Hao, Qi Liqi, Tan Xianfeng, et al. Analysis of pore evolution and diagenesis in sandstones of Qigu Formation of Upper Jurassic, East of Fukang Sag, East of Junggar Basin [J]. Xinjiang Geology, 2015, 33(4): 493–497.
- [12] 蒋艳霞, 文华国, 张航等. 准东阜东斜坡区齐古组砂岩成岩作用研究[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(6): 78–86.
- Jiang Yanxia, Wen Huaguo, Zhang Hang, et al. Diagenesis of sandstone reservoirs of Qigu Formation in Fudong slope area, eastern Junggar Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2015, 27(6): 78–86.
- [13] 范光华, 李建新. 准噶尔盆地南缘油源探讨[J]. 新疆石油地质, 1985, 6(4): 11–18.
- Fan Guanghua, Li Jianxin. Discussion on oil source in South of Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1985, 6(4): 11–18.
- [14] 丁安娜, 惠荣耀, 孟仟祥, 等. 准噶尔盆地侏罗系烃源岩及油气形成特征[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(3): 11–18.
- Ding Anna, Hui Rongyao, Meng Qianxiang, et al. Hydrocarbon and source rock forming characters of Jurassic in Junggar Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1996, 23(3): 11–18.
- [15] 潘虹. 白家海凸起—阜北斜坡区中上侏罗统油源对比及油气运聚条件分析[D]. 湖北 武汉: 长江大学, 2013.
- Pan Hong. Analysis on the oil-source correlations and the migration and accumulation conditions of Middle-Upper Jurassic in Baijiahai Arch-Fubei Slope Area [D]. Wuhan: Yangtze University, 2013.
- [16] 张琴, 朱筱敏, 张满郎, 等. 准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系层序地层格架的建立[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 575–580.
- Zhang Qin, Zhu Xiaomin, Zhang Manlang, et al. Sequence stratigraphic frame of Jurassic in East Fukang Slope, Junggar Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 575–580.
- [17] 付玲, 关平, 赵为永, 等. 柴达木盆地古近系路乐河组重矿物特征与物源分析[J]. 岩石学报, 2013, 29(8): 2867–2875.
- Fu Ling, Guang Ping, Zhao Weiyong, et al. Heavy mineral feature and provenance analysis of Paleogene Lulehe Formation in Qaidam Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(8): 2867–2875.
- [18] 李俊武, 杨承锦, 李凤杰, 等. 柴达木盆地鄂博梁地区新近系物源分析[J]. 古地理学报, 2015, 17(2): 186–197.
- Li Junwu, Yang Chengji, Li Fengjie, et al. Provenance analysis of the Neogene in Eboliang area, qaidam Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2015, 17(2): 186–197.
- [19] 李桂范, 李建平, 王根照, 等. 渤海凹陷青东凹陷古近系沙三下亚段构造—古地貌对沉积的控制[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 425–430.
- Li Guifan, Li Jianping, Wang Genzhao, et al. Control of structure-paleogeomorphology in the deposition of the lower part of the third member of the Paleogene Shahejie Formation in the Qingdong Sag of the Bozhong Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 425–430.
- [20] 赵继龙, 王俊鹏, 张先龙, 等. 基于地震多属性融合与地质统计学反演的薄层砂岩预测[J]. 地质科技情报, 2014, 33(5): 93–99.
- Zhao Jilong, Wang Junpeng, Zhang xianlong, et al. Thinsandstone prediction on multi-seismic attribute information fusion and geostatistical inversion [J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33(5): 93–99.
- [21] 吴海波, 王江, 李军辉. 地震多属性融合技术在贝尔凹陷储层预测中的应用[J]. 岩性油气藏, 2014, 26(2): 96–101.
- Wu Haibo, Wang Jiang, Li Junhui. Application of seismic multi-attribute fusion technique to the reservoir prediction in Beier Depression [J]. Lithologic Reservoirs, 2014, 26(2): 96–101.
- [22] 兰叶芳, 黄思静, 梁瑞, 等. 自生绿泥石对砂岩储层孔隙度—渗透率关系的影响——以鄂尔多斯盆地姬塬—华庆地区三叠系长8油层组为例[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011, 38(3): 313–320.
- Lan Yefang, Huang Sijing, Liang Rui, et al. Influence of authigenic chlorite on the relationship of porosity to permeability in the sandstone reservoir: A case study from Chang-8 oil-bearing formation of Triassic in Jiyuan-Huaqing area, Ordos Basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2011, 38(3): 313–320.
- [23] 胡作维, 李云, 黄思静, 等. 砂岩储层中原生孔隙的破坏与保存机制研究进展[J]. 地球科学进展, 2012, 27(1): 14–25.
- Hu Zuowei, Li Yun, Huang Sijing, et al. Reviews of the destruction and preservation of primary porosity in the sandstone reservoirs [J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(1): 14–25.
- [24] Taylor T R, Giles M R, Hathon L A, et al. Sandstone diagenesis and reservoir quality prediction: Models, myths, and reality [J]. AAPG Bulletin, 2010, 94(8): 1093–1132.
- [25] 孟繁有, 德勒达尔, 石新璞, 等. 阜康断裂带侏罗系地层层序及砂层组划分[J]. 新疆石油天然气, 2006, 3(2): 1–5.
- Meng Fanyou, Dele Daer, Shi Xinpu, et al. Division of sand group and sequence of Jurassic in Fukang fault zone [J]. Oil & Gas of Xinjiang, 2006, 3(2): 1–5.
- [26] 史建南, 邹华耀. 准噶尔盆地油气输导体系类型与成藏规律研究[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(3): 7–12.
- Shi Jiannan, Zou Huayao. Study on the conduit system types and hydrocarbon accumulation rules in Junggar Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(3): 7–12.
- [27] 傅恒, 罗安屏, 谢渊, 等. 准噶尔盆地侏罗系含油气远景评价[J]. 特提斯地质, 1995, 19: 106–116.
- Fu Heng, Luo Anping, Xie Yuan, et al. Oil and gas exploration potential of the Jurassic strata in the Junggar Basin [J]. Tethyan Geology, 1995, 19: 106–116.
- [28] 冯乔, 李海斌, 周涨到峰, 等. 准噶尔盆地东南缘西大龙口梧桐沟组——锅底坑组烃源岩地球化学特征[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2017(2): 1–10. DOI:10.16452/j.cnki.sdkjzk.2017.02.008.
- Feng Qiao, Li Haibin, Zhou Haifeng, et al. Geochemical characteristics of hydrocarbon source rock in Wutonggou Guodikeng Formation of West Dalongkou, Southeast of Junggar Basin [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2017(2): 1–10. DOI:10.16452/j.cnki.sdkjzk.2017.02.008.