

文章编号:0253-9985(2006)01-0062-08

酒泉盆地白垩纪—新生代区域构造 演化与油气勘探

潘良云^{1,2}, 谢继来², 李明捷², 郑梦林³

Cretaceous - Cenozoic regional tectonic evolution in Jiuquan basin and petroleum exploration

Pan Liangyun^{1,2}, Xie Jielai², Li Mingjie², Zheng Menglin³

(1. College of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. Geophysical Research Institute, BGP, Zhuozhou, Hebei 072751, China; 3. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Jiuquan basin, located on the western part of the northern edge of Qilian orogenic belt, is a petroliferous basin on the western end of the Corridor basin group. According to the changes of tectonic setting, formation and evolution of Qilian orogenic belt, stratigraphic distribution in the basin and characteristics of tectonic deformation, the Cretaceous-Cenozoic regional tectonic evolution in Jiuquan basin can be divided into 3 stages, i. e. the Early Cretaceous extensional rift-faulting stage, Late Cretaceous-Paleocene compressional uplifting stage, and Eocene-Oligocene downwarping and Neogene compressing stage. The Early Cretaceous extensional rift-faulting stage controlled the distribution of Lower Cretaceous source rocks and reservoir facies belts, and the salient areas would be favorable for the formation of buried-hill reservoirs. The Late Cretaceous-Paleocene compressional uplifting led to the formation of reversed structural traps in the basin. The Eocene-Oligocene downwarping and Neogene compressing stage accelerated the maturation and evolution of the source rocks and led to the formation of many structural traps, it was also the major period for accumulation of hydrocarbons in the basin. The structural reservoirs in the piedmont thrust belt on the southern edge of the Cenozoic foreland basin and the structural-stratigraphic and lithologic reservoirs in the Early Cretaceous rifted basin would be the targets of further exploration in Jiuquan basin.

Key words: regional tectonic evolution; petroleum exploration; Cretaceous-Cenozoic; Jiuquan basin; Qilianshan orogenic belt

收稿日期:2005-12-16

第一作者简介:潘良云(1962—),男,高级工程师、博士生,含油气盆地构造研究

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB2146004)

20世纪末酒泉盆地南缘山前带青西油田的发现,使得酒泉盆地的研究倍受石油地质和勘探家所青睐,不少石油地质学家从不同角度对其构造特征^[1-4]、石油地质特征^[5-12]、油气勘探方向^[4,5,12]等方面进行重新认识。本文通过地震、非地震及地面地质露头资料的综合分析,在酒泉盆地新生代区域构造演化阶段划分的基础上,研究了盆地中新世代构造演化对油气控制作用,指出新生代前陆冲断带构造勘探领域和中生代断陷内断块—地层、岩性勘探领域是该区今后油气勘探的两大领域。

1 构造演化

酒泉盆地位于祁连造山带和华北板块西北缘的阿拉善地块之间(图1),盆地的形成、演化与祁连造山带的演化史紧密相联。前白垩纪,区内曾经历了早古生代祁连有限洋的开、合及造山带形成,石炭纪—三叠纪稳定克拉通沉积演化,侏罗纪中小盆地的形成与消亡等演化阶段。由于后期改造强烈,前白垩纪盆地的面貌已面目全非,难以识别。目前盆地结构主要表现为早白垩世拉张断陷和新生代挤压拗陷形成的叠合盆地,按区内大地构造环境变迁、祁连造山带的演化、盆地内地层分布、构造变形特征,将盆地白垩纪—新生代构造演化划分为3个阶段。

1.1 早白垩世拉张断陷阶段

早白垩世,沿松辽—海拉尔—二连—银根—额济纳旗—酒泉形成了北东向的裂谷断陷带^[13,14]。

该裂谷带向南跨越了祁连造山带,在区域拉张背景条件下形成酒泉早白垩世断陷盆地。

酒泉早白垩世盆地在—组北东向正断层控制下,形成了北东向展布的酒西拗陷、嘉峪关隆起、酒东拗陷(图2;表1),构成两拗夹一隆的构造格局。拗陷内受复杂断层的控制,形成了凸起、凹陷相间的分布(表1)。由于控凹断层活动强度的差异,导致各凹陷地层沉积厚度不同,最大沉积厚度在祁连造山带山前与控制酒西、酒东拗陷北东向断裂相交的部位,显示了盆地构造活动的强度受到了先期造山带构造的控制。酒西拗陷最大沉积厚度在西部的青西凹陷(表1),厚5 000 m,表现为东断西超箕状结构(图3)。酒东拗陷的最大沉积厚度在营尔凹陷,厚4 400 m,拗陷内次级凹陷结构复杂,或为不对称断陷,或为东断西超,各凹陷沉积、沉降中心紧邻断层分布。

早白垩世赤金堡期和下沟期为酒泉盆地强烈拉张期,沉积了一套河流、三角洲、湖相碎屑岩和碳酸盐岩(白云岩)地层,岩性为白云质泥岩、泥质白云岩、灰黑色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩及灰白色含砾砂岩,下沟组顶部为一套较纯的富含黄铁矿的深灰色泥岩与页岩呈不等厚互层。在各凹陷沉积中心部位大多属半深湖—深湖相沉积,最大沉积厚度超过2 000 m,是盆地烃源岩系形成期,由沉积中心向主控断层或凹陷边缘渐变为三角洲相、河流相和冲积扇相,在隆起和凸起上基本缺失沉积。复杂的断裂活动形成了的多沉降、沉积中心(表1),构成了盆地内的多生烃中心。

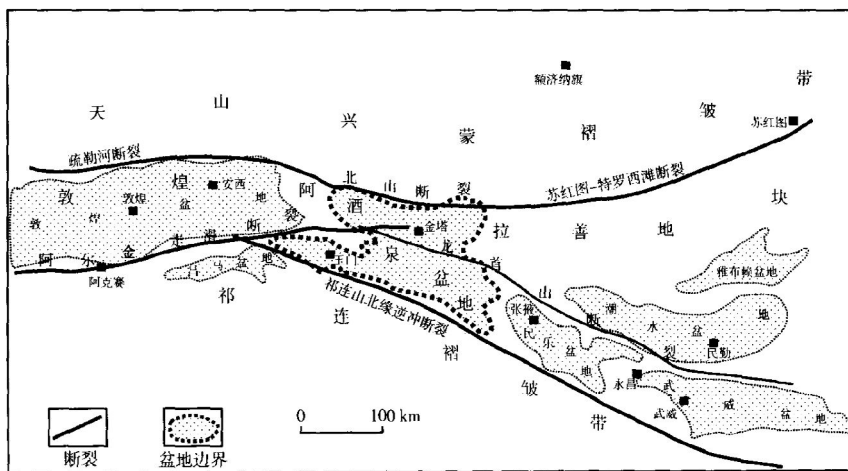
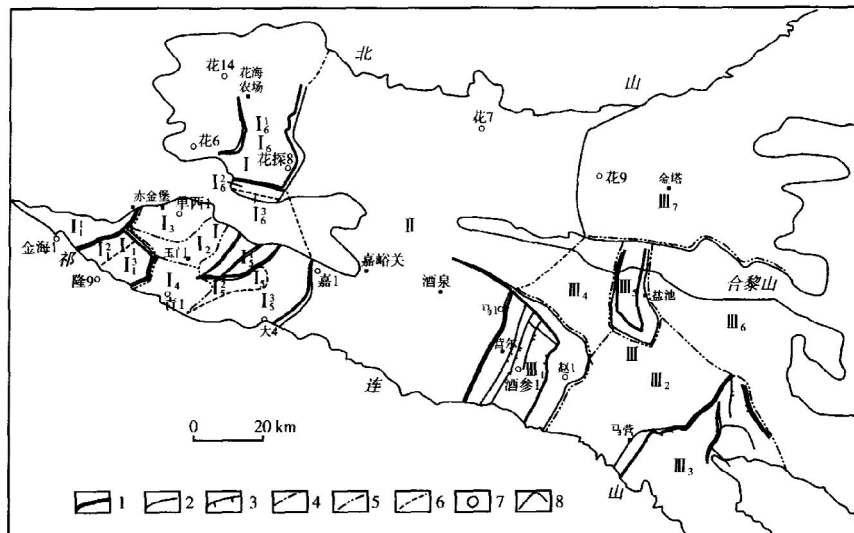


图1 酒泉盆地大地构造位置

Fig. 1 Map showing the geotectonic location of Jiuquan basin

早白垩世中沟期是断、拗转换期,盆地区域沉降,断裂活动较弱,地层沉积范围较赤金堡期和下沟期广泛。青西低凸起、鸭北低凸起及控制凹陷断裂的上盘地区普遍沉降接受沉积。中沟组与下

沟组主要为平行不整合接触,在酒东、花海地区可明显见到中沟组和下沟组之间的角度不整合。中沟组底部为紫红色砾岩,向上为灰绿色砾岩、砂岩及泥岩互层,属滨浅湖-河流相沉积。



酒西坳陷(I)	青南次凹(I_1^2)		170	4 000
	鸭北凸起(I_2)		485	
	赤金凹陷(I_3)		230	800
	南部凸起(I_4)		450	
	石大凹陷(I_5)	石北次凹(I_5^1)	430	2 500
		石北低凸起(I_5^2)	120	200
		大红圈次凹(I_5^3)	480	3 200
嘉峪关隆起(II)	花海凹陷(I_6)	花海北部次凹(I_6^1)	850	2 600
		花深2低凸起(I_6^2)	80	
		花海南部次凹(I_6^3)	120	
			5 400	
酒东坳陷(III)	营尔凹陷(III_1)		1 920	4 400
	清水凸起(III_2)		4 020	
	马营凹陷(III_3)		1 290	2 400
	天泉寺凸起(III_4)		1 080	
	盐池凹陷(III_5)		410	2 600
	潘家湾凸起(III_6)		850	
	金塔凹陷(III_7)		2 000	1 200

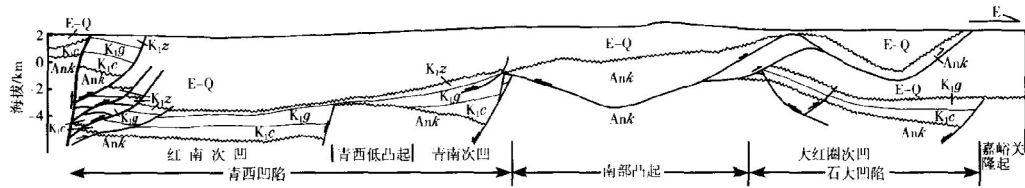


图3 酒泉盆地酒西坳陷东西向盆地结构剖面(示早白垩世盆地结构)

Fig. 3 E-W profile showing basin configuration in Jiuxi depression, Jiuquan basin (showing the Early Cretaceous basin configuration)

1.2 晚白垩世—古新世挤压隆升阶段

晚白垩世,新特提斯洋关闭,受印度板块向北与欧亚板块拼贴挤压的影响,中国中西部盆地由拉张构造环境转为挤压构造环境,导致了酒泉盆地晚白垩世—古新世的区域隆升和盆地反转,全盆地缺失该时期地层沉积。地震剖面上渐新统与下伏下白垩统呈不整合接触,一些早期的正断层发生反向活动,形成了下正上逆的构造特征。下白垩统遭受了强烈的隆升剥蚀,中沟组在部分凹陷靠近边界断层部位被剥蚀甚至缺失,造成断层下盘中沟组厚度大于上盘中沟组的厚度。

1.3 古近纪始新世—渐新世坳陷和新近纪挤压盆地演化阶段

始新世至渐新世,是新生代盆地初始沉降期,沉降缓慢,地层沉积逐渐扩大,沉积厚度数百米到近千米。盆地自下而上沉积了柳沟庄组(E_2l)、火烧沟组(E_3h)和白杨河组(E_3b)。柳沟庄组主要分布于酒西盆地的西部红南、青南一带,为一套干旱环境的膏泥岩建造,夹灰色薄层泥岩。火烧沟组主要分布在花海凹陷和红柳峡、火烧沟一带,岩性为棕红色泥岩及砖红色中细砂岩、含砾砂岩,与下伏地层为不整合接触。火烧沟组是单北油田和

白杨河油田的主要储层。白杨河组在酒泉盆地广泛分布,主要属于河流相沉积,自下而上分为间泉子段、石油沟段和干油泉段。间泉子段岩性为棕红色含砾砂岩,中、细砂岩,是老君庙油田、石油沟油田的主要产层;石油沟段岩性为暗棕红色泥岩、富含石膏,是盆地内重要的盖层;干油泉段中、下部为棕红色中细砂岩,含砾砂岩夹深棕红色泥岩,上部为深棕红色泥岩。

新近纪,印度板块与欧亚板块的碰撞加剧,导致青藏高原剧烈抬升,强烈的碰撞挤压作用使祁连山造山带重新活动,发生强烈隆升,并向盆地逆冲,下古生界浅变质岩长距离逆掩在新生界之上。北西侧阿尔金断裂新生代的左行走滑,加强了区内构造变形作用。祁连山造山带北缘的酒泉、民乐等盆地演化为挤压型的前陆盆地,其中,酒泉盆地具有较典型的前陆盆地结构特征,可划分为南缘山前冲断带、前陆坳陷、前陆斜坡、黑山—合黎山前缘隆起和花海—金塔隆后坳陷及阿尔金走滑带东南缘6个一级构造单元和10个二级构造单元(图4,图5;表2)。前陆坳陷沉积了厚达4 500 m的新近系,沉积厚度由前陆坳陷向前陆冲断带和前缘隆起超覆减薄,剖面上表现为楔形分布,自下而上为弓形山组(N_1g)、牛膝套及路塘沟组($N_1t + N_2n$)。弓形山组中、下部为杂色含砾砂岩,中粗砂

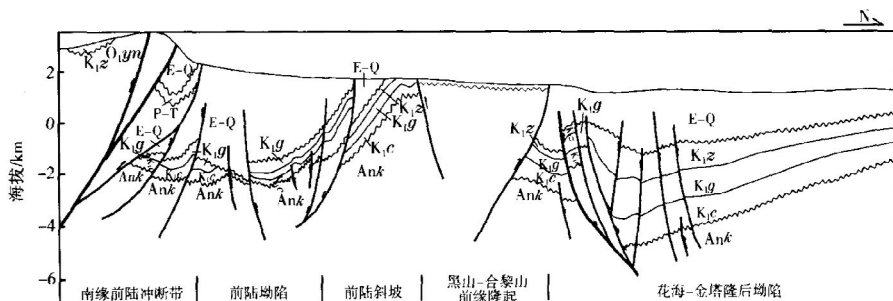


图4 酒泉盆地酒西坳陷南北向盆地结构剖面(示新生代盆地结构)

Fig. 4 N-S profile showing basin configuration in Jiuxi depression, Jiuquan basin (showing the Cenozoic basin configuration)

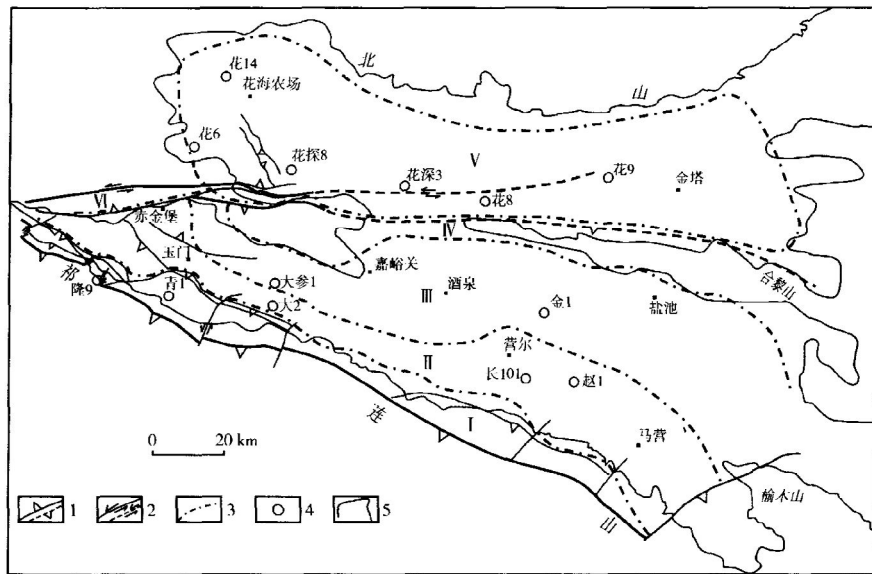


图5 酒泉盆地新生代构造单元划分

Fig. 5 Diagram showing the Cenozoic structural units in Jiuquan basin

1 - 逆冲断裂; 2 - 走滑断裂; 3 - 一级构造区划; 4 - 钻井; 5 - 盆地边界

I - 南缘山前冲断带; II - 前陆拗陷; III - 前陆斜坡; IV - 黑山-合黎山前缘隆起;

V - 花海-金塔隆后拗陷; VI - 阿尔金走滑带东南缘

表2 酒泉盆地新生代构造单元划分

Table 2 Division of the Cenozoic structural units in Jiuquan basin

一级构造单元	二级构造单元	构造单元面积 / km ²	
		一级构造单元	二级构造单元
南缘山前冲断带 (I)	窟窿山构造带	2 000	225
	老君庙构造带		450
	老君庙-青头山掩伏构造带		200
	金佛寺构造带		250
前陆拗陷 (II)	鸭儿峡-隆北构造带	4 000	120
	长沙岭-丰乐构造带		130
前陆斜坡 (III)	白杨河构造带	3 500	100
黑山-合黎山前缘隆起 (IV)		3 000	
花海-金塔隆后拗陷 (V)	花海中央构造带	8 000	160
	花海南缘构造带		250
阿尔金走滑带东南缘 (VI)	红柳峡构造带	600	350

岩与棕红色泥岩互层,上部为黄白色中细砂岩、含砾砂岩与浅棕红色粉砂质泥岩互层。牛胳膊及胳膊塘沟组岩性为土黄色、棕黄色砂质泥岩及棕黄色、黄白色中细砂岩、含砾砂岩组合,更新世—全新世沉积了一套洪积、冲积相的杂色砂砾岩及细砾岩。地层的沉积特征反映了盆地快速沉降、快速沉积的活动性强的构造环境。

2 构造演化对油气的控制作用

酒泉盆地是河西走廊盆地群西端的一个富油气盆地,白垩纪—新生代构造演化对油气生成、运

移、聚集具有明显的控制作用。

2.1 拉张断陷期

拉张断陷期断陷控制了烃源岩及储集相带的分布,凸起区有利于形成潜山油气藏。

酒泉盆地发育下白垩统赤金堡组(K_1c)、下沟组(K_1g)与中沟组(K_1z)3套生油岩,其中,主力烃源岩为赤金堡组、下沟组,中沟组为次要烃源岩,主要分布于早白垩世断陷中。被证实的生油凹陷有青西凹陷、石大凹陷、营尔凹陷和花海凹陷^[3,5,7,12]。烃源岩在各凹陷中的发育特征见表3。其中,青西、营尔凹陷是盆地断陷最深、地层沉积

表3 酒泉盆地烃源岩概况

Table 3 Summary of the source rocks in Jiuquan basin

凹陷	层位	厚度/m	有机碳含量/%	总烃含量/ 10^{-6}	有机质类型	有机质成熟度
石大凹陷	K ₁ z	1 400	0.11~2.99	37~165	Ⅲ型为主	未成熟
	K ₁ g		0.17~5.61		Ⅱ型为主	成熟—低成熟
	K ₁ c		0.12~7.18	24~2 108		成熟—高成熟
	大红圈		0.05~4.16	97~2 034	Ⅲ型为主	成熟—低成熟

酒泉盆地下白垩统发育碎屑岩和碳酸盐岩两类储集岩。碎屑岩储层主要受控于凹陷内沉积相带的展布,早白垩世断陷由凹陷周缘向凹陷中心沉积相往往呈规律性变化,在控凹断层一侧为冲积扇,向凹陷中心依次发育扇三角洲相、湖相,储集层主要发育于三角洲前缘相。碳酸盐岩储集层主要分布于青西凹陷和营尔凹陷,为湖相白云岩或泥质白云岩,该套地层在山前带因受后期的裂缝改造,也为一套好的储集层。

此外,早白垩世凸起区因长期遭受剥蚀,区内形成志留系古潜山,并发育有潜山风化壳储集层。如南部凸起即为志留系古潜山,位于南部凸起的鸭儿峡油田,其主力油层就是志留系潜山风化壳储集层。另外,石北、青西低凸起等也有可能是志留系古潜山。

2.2 挤压隆升与盆地反转期

晚白垩世—古新世挤压隆升一方面导致了烃源岩的埋藏变浅,终止了生烃的过程。另一方面,盆地反转作用又往往在断层上盘形成宽缓的反转背斜构造,又为油气聚集提供了有利的圈闭条件。同时,始新世—渐新世,盆地沉降缓慢,形成了火

2.3 挤压拗陷期

始新世以来,盆地的沉积促进了下白垩统烃源岩热演化,形成了良好的储盖组合,强烈的逆冲推覆构造形成了众多的构造圈闭,改造了储层性能,是酒泉盆地油气成藏的主要时期。

新近纪,酒泉盆地进入前陆盆地发展阶段,祁连山带急剧隆升和前陆拗陷的持续快速沉降,沉积了厚达4 500 m的新近系,使下白垩统烃源岩埋深加大,由于盆地古、今地温梯度低(今地温为每百米2.42℃,古地温为每百米2.87℃)^①,新近纪地层的沉积对下白垩统烃源岩的埋藏就非常重要。青西拗陷有机质成熟门限深度3 800~3 900 m,中沟组存在未成熟、低成熟两个阶段,下沟组存在未成熟、低成熟、成熟3个阶段,赤金堡组处于成熟阶段^①。

新近纪是中国西部盆地油气成藏的重要时期^[15,16],酒泉前陆盆地在该时期受南北挤压应力作用,形成北西西向窟窿山、老君庙、金佛寺等多个逆冲推覆构造带^[4]和北北东向走滑构造等众多的构造圈闭。同时,北西西向和北北东向两组断裂又是沟通深部生油层与储层的重要通道,青西、

①张群伟,等. 酒西盆地地震地质成果和勘探部署建议,石油物探局地质研究中心,2000

鸭儿峡、老君庙、石油沟等油田就是通过上述断裂沟通赤金堡组和下沟组烃源岩与上部的下沟组、中沟组及下第三系储集层而聚集成藏的。此外,新近纪的构造活动对储层改造又具有一定的促进作用,青西油田勘探开发研究表明,构造裂缝是油藏的主要储集空间之一,而北西西向的逆冲断层和北北东向的走滑调节断层是裂缝发育区,尤其是北北东向的走滑调节断层附近构造裂缝发育,储层物性好,是油气富集带^[4]。

3 酒泉盆地油气勘探领域分析

通过对酒泉盆地白垩纪—新生代构造演化特征及对油气控制作用的分析,结合酒泉盆地的油气勘探实践,认为应加强以下领域的勘探。

3.1 南缘山前冲断带构造油气藏勘探领域

南缘山前冲断带形成于晚第三纪以来的前陆

和油气勘探工作。

致谢:感谢夏义平、徐礼贵、郑良合、陈建军、范铭涛、韩永科等先生的指导。参加研究的还有张群伟、孙志国、孙庭斌、周晶、王泽权、张宏伟等。

参 考 文 献

- 1 李相博,郭彦如,王新民,等. 酒泉盆地南缘推覆构造特征及油气勘探方向[J]. 新疆石油地质,2002,23(4):299~231
Li Xiangbo, Guo Yanru, Wang Xinmin, et al. Nappe structural characteristics in southern margin of Jiuquan basin and its orientation for hydrocarbon prospecting[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002,23(4):299~231
- 2 贾承造,何登发,雷振宇,等. 前陆冲断带油气勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2002
Jia Chengzao, He Dengfa, Lei Zhenyu, et al. Oil and gas exploration in foreland thrust belt[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000
- 3 陈建平,赵文智,黄第藩. 酒东、酒西盆地的异同与油气勘探[J]. 石油勘探与开发,1997,24(6):12~16
Chen Jianping, Zhao Wenzhi, Huang Difan. Similarity and difference between Jiuquan and Jiujiu basins[J]. Petroleum Exploration and Development, 1997,24(6):12~16
- 6 任战利,刘池阳,张小会,等. 酒泉盆地群热演化史恢复及其对比研究[J]. 地球物理学报,2000,43(5):635~645
Ren Zhanli, Liu Chiayang, Zhang Xiaohui, et al. Recovery and comparative research of thermal history on Jiuquan basin group[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2000,43(5):635~645
- 7 霍永录,谭试典. 酒泉盆地陆相石油地质特征及勘探实践[M]. 北京:石油工业出版社,1995
Huo Yonglu, Tan Shidian. Exploration case history and petroleum geology in Jiuquan continental basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995
- 8 高波,程克明,张大江,等. 酒西坳陷南次凹烃源岩的热演化及生烃史[J]. 石油与天然气地质,2004,25(3):288~293
Gao Bo, Cheng Keming, Zhang Dajiang, et al. Analysis of thermal evolution and hydrocarbon-generating history of source rocks in Qingshan sub-sag in Jiujiu depression. Oil & Gas Geology, 2004, 25

性、地层等圈闭及背压。在冲断带一侧为冲积扇,向坳陷方向依次发育扇三角洲相、冲积扇、湖相和浊积相,如下河清断层下降盘的冲积扇及白南3井区的浊积扇等,发育有砂岩岩性圈闭,另外,早白垩世断陷由陡坡带往缓坡带地层的超覆尖灭带,利于形成地层圈闭。众多张性正断层形成的断块圈闭,还可形成滚动背斜等构造圈闭,如营尔凹陷丰乐地区发育的滚动背斜等。预测酒东营尔凹陷长沙岭构造带是早白垩世断陷内自生自储的构造-地层、岩性油气藏的有利勘探区。目前,酒泉盆地早白垩世断陷内构造-地层、岩性油气藏勘探领域勘探研究程度低,应借鉴中国东部断陷盆地成功的勘探经验,进一步加强综合研究

- (3):288-293
- 9 马国福,魏军,汪满福. 酒西盆地青西地区油气藏裂缝研究[J]. 新疆石油地质,2002,23(1):44-45
Ma Guofu, Wei Jun, Wang Manfu. The study on petroleum reservoir fractures in Qingxi area of Jiuxi basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology. 2002, 23(1): 44-45
 - 10 安作相. 老君庙油田形成的新观点[J]. 新疆石油地质,1998,19(4):265-269
An Zuoxiang. New viewpoint of forming Laojunmiao oilfield [J]. Xinjiang Petroleum Geology. 1998, 19(4): 265-269
 - 11 李伟,刘宝珺,吕涛,等. 酒西盆地老君庙构造带油气来源的探讨[J]. 石油勘探与开发,1998,30(2):30-32
Li Wei, Liu Baojun, Lu Tao, et al. Oil and gas sources of Laojunmiao structural belt in Jiuxi basin, northwest China [J]. Petroleum Exploration and Development. 1998, 30(2): 30-32
 - 12 陈建平,陈建军,张立平. 酒西盆地油气形成与勘探方向新认识(一)——基本石油地质条件及生油潜力[J]. 石油勘探与开发,2001,28(1):19-22
Chen Jianping, Chen Jianjun, Zhang Liping. New opinions on oil and gas generation and exploration in Jiuxi basin (I)—basic petroleum and geological condition and oil-generating potential [J]. Petroleum Exploration and Development. 2001, 28(1): 19-22
 - 13 Meng Qingren, Hu Jianmin, Jin Jiuqiang, et al. Tectonics of the late Mesozoic wide extensional basin system in the China-Mongolia border region [J]. Basin Research, 2003, 15: 397-415
 - 14 李明杰,郑孟林,曹春潮,等. 北山-阿拉善地区侏罗纪—白垩纪盆地的叠合演化[J]. 石油与天然气地质,2004,25(1):54-57
Li Mingjie, Zheng Menglin, Cao Chunchao, et al. Superposed evolution of Jurassic and Cretaceous basins in Beishan-Alaxa area [J]. Oil & Gas Geology. 2004, 25(1): 54-57
 - 15 王庭斌. 中国气藏主要形成、定型于新近纪以来的构造运动[J]. 石油与天然气地质,2005,26(1):126-132
Wang Tingbin. Gas pools in China have mainly been formed and finalized during tectonic movements since Neogene [J]. Oil & Gas Geology. 2005, 25(1): 54-57
 - 16 郑和荣,李铁军,蔡立国,等. 中国中西部前陆冲断褶皱带油气地质条件及勘探建议[J]. 石油与天然气地质,2005,26(1):156-161
Zheng Herong, Li Tiejun, Cai Liguang, et al. Petroleum geologic conditions in foreland thrust-fold belts in west-central China and proposals for exploration [J]. Oil & Gas Geology. 2005, 25(1): 156-161
- (编辑 李树森)
-
- Liu Dehan, Zhang Huizhi, Dai Jinxing, et al. Pyrolytic-simulation and evaluation of organic macerals of coal [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(4): 346-352
- 18 杨斌,马孝祥,周松源,等. 南鄱阳坳陷乐探1井原油树皮煤成油的地球化学特征[J]. 海相油气地质,2005,10(3):31-35
Yang Bin, Ma Xiaoxiang, Zhou Songyuan, et al. Geochemistry of bark coal-originating oil from well Letan-1 in Nanpoyang depression, Poyang basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2005, 10(3): 31-35
 - 19 胡社荣,郎东升,潘景刚,等. 煤和含煤岩系成油理论研究和演变历史[J]. 煤田地质与勘探,2003,31(4):19-22
Hu Sherong, Lang Dongsheng, Pan Jinggu, et al. Review on theory study and evolution history of the oil from coal and coal-bearing formations [J]. Coal Geology & Exploration, 2003, 31(4): 19-22
 - 22 赵孟军,肖中尧,彭燕,等. 煤系泥岩和煤岩生成原油的地球化学特征[J]. 石油勘探与开发,1998,25(5):8-10
Zhao Mengjun, Xiao Zhongyao, Peng Yan, et al. Geochemistry of oil from coal & from the shale in coal measures [J]. Petroleum Exploration & Development, 1998, 25(5): 8-10
 - 23 翟爱军,邓宏文,邓祖佑. 鄂尔多斯盆地上古生界煤层在层序中的位置及对比特征[J]. 中国海上油气(地质),2000,14(3):178-181
Zhai Aijun, Deng Hongwen, Deng Zuyou. Sequence stratigraphy and correlation of Upper Paleozoic coal-bearing formations in Ordos basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(3): 178-181
- (编辑 李 军)