

文章编号: 0253-2697(2012)04-0533-08

新疆北部石炭系火山岩风化壳油气地质条件

侯连华 邹才能 刘磊 文百红 吴晓智 卫延召 毛治国

(中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘要:新疆北部晚石炭世处于陆-陆碰撞后的构造松弛环境,发育多个火山岩与沉积岩“间互式”充填、广泛分布的裂谷或裂陷槽,火山岩以中基性岩为主,原始物性较差。石炭纪末整体抬升遭受剥蚀,风化淋蚀形成火山岩风化壳,岩性和风化程度控制风化壳储层质量,各种岩性火山岩经长时间强风化均可形成有利储层。受断裂改善、溶蚀环境、产生裂缝等影响,风化壳储层物性更好、有效储层发育深度更大,近、远断裂区有效储层距不整合顶面埋深分别可达1100 m、550 m,孔隙度最大值分别为32%、24%。现今残留凹陷控制烃源岩分布,受火山岩强非均质储层控制,油气围绕有效烃源岩区近源成藏,石炭系上覆泥岩盖层是有效保存条件,与古构造吻合较好的现今构造高部位和斜坡区是油气运聚指向区,断裂控制油气富集。该认识改变了“石炭系为盆地基底,不具备油气生成条件”的观点,扩大了勘探领域,指导了克拉美丽气田、牛东油田等油气田的发现,对类似地区油气勘探具有重要的理论和现实指导意义。

关键词:新疆北部;石炭系;火山岩风化壳;油气地质条件;残留凹陷;油气藏

中图分类号:TE112

文献标识码:A

Geologic essential elements for hydrocarbon accumulation within Carboniferous volcanic weathered crusts in northern Xinjiang, China

HOU Lianhua ZOU Caineng LIU Lei WEN Baihong WU Xiaozhi WEI Yanzhao MAO Zhiguo

(PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: In Late Carboniferous, there occurred a tectonic-slack environment after a continent-continent collision in northern Xinjiang, under which developed various and widespread rifts or rifted troughs filled alternately by volcanic and sedimentary rocks. These volcanic rocks are primarily composed of intermediate and basic rocks with poor original properties, and a volcanic weathered crust was formed due to the uplift, erosion, weathering and leaching of strata at the end of the Carboniferous period. Generally, lithology and weathering degree control the reservoir quality of weathered crusts and all kinds of volcanic rocks could be altered to form a favorable reservoir because of long-term intensive weathering. Affected by erosion and fracture caused by faults, physical properties of the weathered crust became better and its pay zones developed even more deeply. For example, the burial depth of pay zones to the top surface of the unconformity is 1100 m and 550 m, respectively, depending on the nearest or farthest distance to faulted areas, and the maximum porosity for them is 32% and 24%, respectively. The distribution of source rocks is controlled by presently remnant depressions, hydrocarbons defined by strongly heterogeneous volcanic reservoirs have accumulated around the neighborhood of effective source rocks. The overlying mudstone is an effective cap rock and the currently structural high and slope consistent well with paleo-structures act as intended zones for hydrocarbons to migrate and accumulate, consequently, oil/gas accumulations are controlled by faults. The above acquirement has changed the conventional view that Carboniferous rocks in Xinjiang were only the basin's bedrock, not qualified for hydrocarbon accumulations. This research enlarged the exploration sphere in the study area and directed discoveries of the Karat-Meili gas field and Niudong oil field, thus, it is of theoretical and practical significance in oil/gas exploration of similar geologic regions.

Key words: northern Xinjiang; Carboniferous; volcanic weathered crust; geologic condition for hydrocarbon; remnant depression; hydrocarbon accumulation

无论是新疆北部为震旦纪后裂离的古中国大陆碎块^[1]观点,还是“双基底”的海西褶皱带内年轻地台^[2]观点,以往都认为新疆北部具备油气地质意义的盆地结构层起始于上石炭统的石钱滩组,而把个别地方出

现变质的石炭系滴水泉组、宝塔玛依内山组等归入“基底”范畴,但这些地层中除了火山岩外还存在暗色泥岩“夹层”^[3],这些认识虽然肯定了石炭系的勘探地位,但对其生烃潜力及油气成藏的贡献估计不足,以至于中

基金项目:国家重大科技专项“岩性地层油气藏成藏规律、关键技术及目标评价”(2011ZX05001)资助。

第一作者及通讯作者:侯连华,男,1970年7月生,1992年毕业于中国石油大学(华东),2003年获中国石油大学(北京)博士学位,现为中石油勘探开发研究院高级工程师,主要从事岩性地层油气藏、非常规油气地质、综合勘探等研究工作。Email:houlh@petrochina.com.cn

国石油三次资源评价时未把石炭系列为工作对象^[4]。近年来,部分学者虽然已经认识到下石炭统比上石炭统更发育海相沉积和细碎屑岩,有机质更偏腐泥型^[5],巴塔玛依内山组的火山岩是重要储层,该组中段是重要生烃层,有机质更偏腐殖型^[6-8];但对石炭系油气地质条件尚未进行系统深入研究。2007年开始,经4年系统研究,提出新疆北部石炭系具备良好油气地质条件,预测石油资源量 $22 \times 10^8 \text{ t}$,天然气资源量 $1.2 \times 10^8 \text{ tm}^3$ 。该认识改变了石炭系为盆地基底,不具备油气生成条件的认识^[9],扩大了油气勘探领域,指导了克拉美丽气田、牛东油田等油气田的发现。本文基于最新研究成果,讨论火山岩风化壳油气地质条件,为类似地区油气勘探提供参考和借鉴。

1 区域地质背景

新疆北部及邻区大地构造奠基于中—新元古代的哈萨克斯坦、西伯利亚与塔里木三大板块拼合,主体属哈萨克斯坦构造域,此后又经历了复杂大陆裂解—拼合,于早石炭世末再次拼合为统一大陆。中—新元古代至石炭纪的板块构造演化大致可分为板块拼合、大洋消减闭合、洋盆消减软碰撞、陆—陆碰撞、碰撞期后伸展裂陷—板内变形 5 个阶段^[10-11]。

前人认为早石炭统为基底^[9],笔者研究认为早石炭世早期为陆—陆碰撞、碰撞间歇期伸展—残留海闭

合阶段,由泥盆纪末快速聚敛—软碰撞后,构造应力场发生间歇性松弛,导致深部热调整与岩浆活动所致;早石炭世晚期为碰撞期后伸展裂陷—板内变形阶段,聚敛—俯冲作用逐渐强化,并最终导致板块间发生强烈陆—陆碰撞,岩石强烈变形,形成早海西期褶皱带。晚石炭世发生碰撞期后伸展裂陷^[12],普遍发育火山岩与沉积岩“间互式”混杂建造^[8];主要沿前期缝合带附近发育系列大型裂陷海槽,地块内部则发育了多个陆内裂陷带,表现为含巨厚火山岩或火山—沉积岩裂陷盆地,此时已不具有大陆边缘性质,而是新生地壳的拉张作用,其拉伸程度虽未达到洋壳规模,但比大陆内裂谷程度要高。火山岩以中基性岩为主,来自亏损地幔的橄榄拉斑玄武岩或苦橄岩岩浆经分异并混杂少量地壳物质的产物,大部分属钙碱性系列,少量为碱性或拉斑玄武岩系列^[13]。

新疆北部晚石炭世末,受周缘板块挤压整体抬升,古地貌高部位和斜坡带火山岩遭受风化淋蚀形成风化壳储集层,为油气成藏提供了储集空间;区域抬升幅度和时间的不同,导致不同区域剥蚀程度差异较大,火山岩风化壳主要分布于古构造高部位和斜坡带。上石炭统、二叠系等地层厚度分布差异(现有资料下石炭统和泥盆系难分辨,作为一体考虑),可佐证抬升幅度和剥蚀程度差异,造成现今上石炭统存在多个残留凹陷(图 1)。

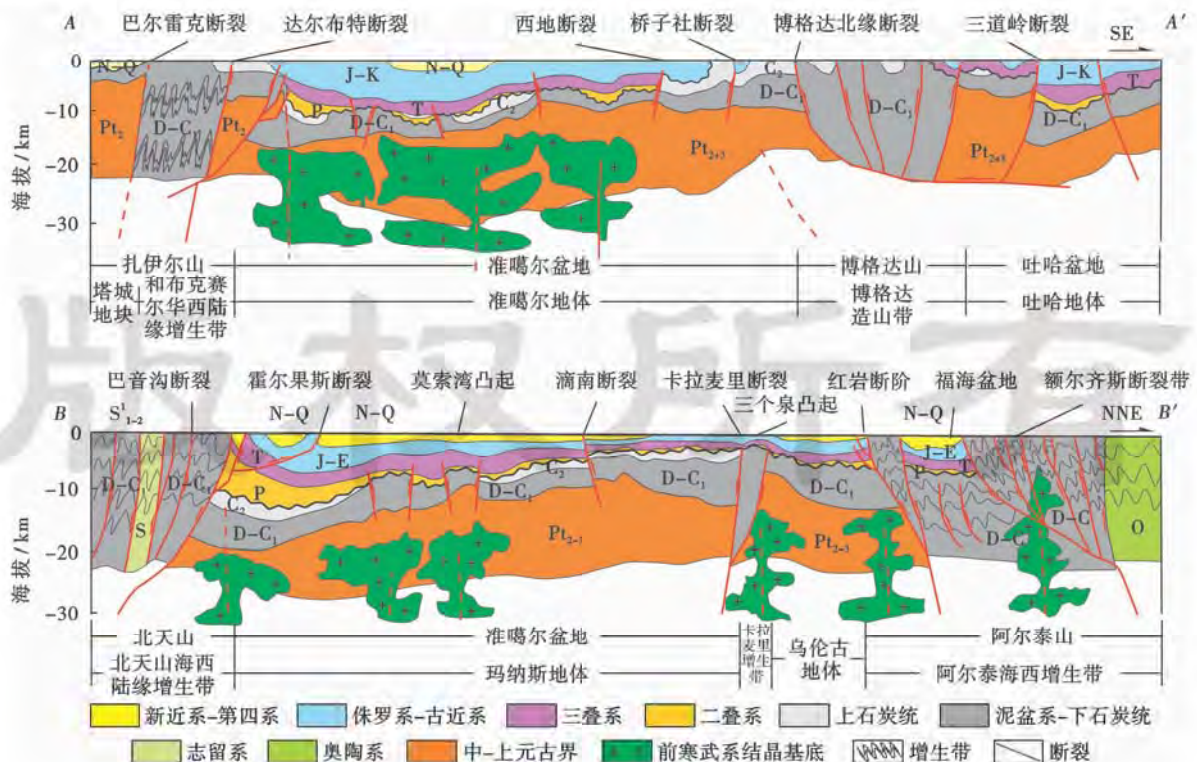


图 1 新疆北部地壳结构构造剖面(剖面位置见图 3)

Fig. 1 Geologic cross-section for the crust in northern Xinjiang(location shown in Fig. 3)

2 火山岩风化壳油气地质条件

新疆北部石炭系自生自储火山岩风化壳油气成藏,受残留凹陷内烃源岩、火山岩风化壳储层、构造部位、上覆泥岩盖层等多因素共同控制。

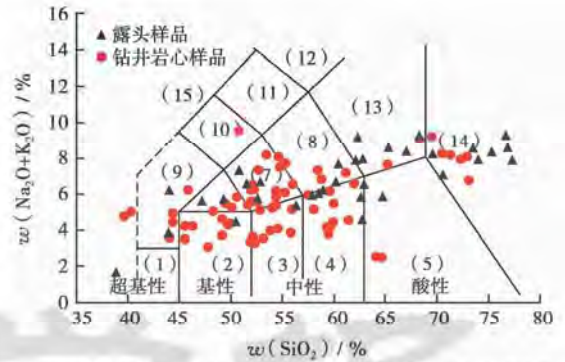
2.1 火山岩风化壳控制有利储层分布

新疆北部石炭系火山岩形成于岛弧或板内裂谷环境,大面积分布,受石炭纪末整体抬升背景控制,遭受风化淋蚀,形成大面积分布的风化壳储层,为油气成藏提供了储集空间。

2.1.1 火山岩大面积分布

石炭纪是新疆北部火山活动最强、持续时间最长、火山岩建造最广泛的时期。据 M. J. LeBas 等人的火山岩化学成分 TAS 分类标准^[14],该区火山岩主要由中—基性熔岩和火山碎屑岩类组成(图 2),以碱性系列为主,占 61.3%,说明火山喷发环境应位于岛弧近大陆一侧,或大陆内部,源于上地幔或洋壳物质选择性熔融较深岩浆源。

采用重、磁、电、震结合预测技术^[15]。首先,利用 1:5 万和 1:10 万重磁资料预测火山岩区域分布;在此基础上利用二维、三维地震资料识别火山岩体,结合 256 口井测井划分的火山岩岩相,通过岩心、露头标定建立



(1) 橄辉玄武岩; (2) 玄武岩; (3) 玄武安山岩; (4) 安山岩; (5) 英安岩; (6) 粗面玄武岩; (7) 玄武质粗面安山岩; (8) 粗安岩; (9) 碧玄岩、碱玄岩; (10) 响石质碱玄岩; (11) 碱玄质响岩; (12) 响岩; (13) 粗面岩; (14) 流纹岩; (15) 副长石岩

图 2 新疆北部石炭系火山岩化学成分 TAS 分类 (西北大学国家重点实验室测试样品)

Fig. 2 TAS classification for the chemical composition of Carboniferous volcanic rocks in northern Xinjiang (samples analyzed by the State Key Laboratory of Northwest University, China)

火山岩岩性、岩相识别图版,综合预测火山岩分布(图 3),可见研究区火山岩大面积分布,为火山岩风化壳储层的大面积形成提供了原始物质基础。

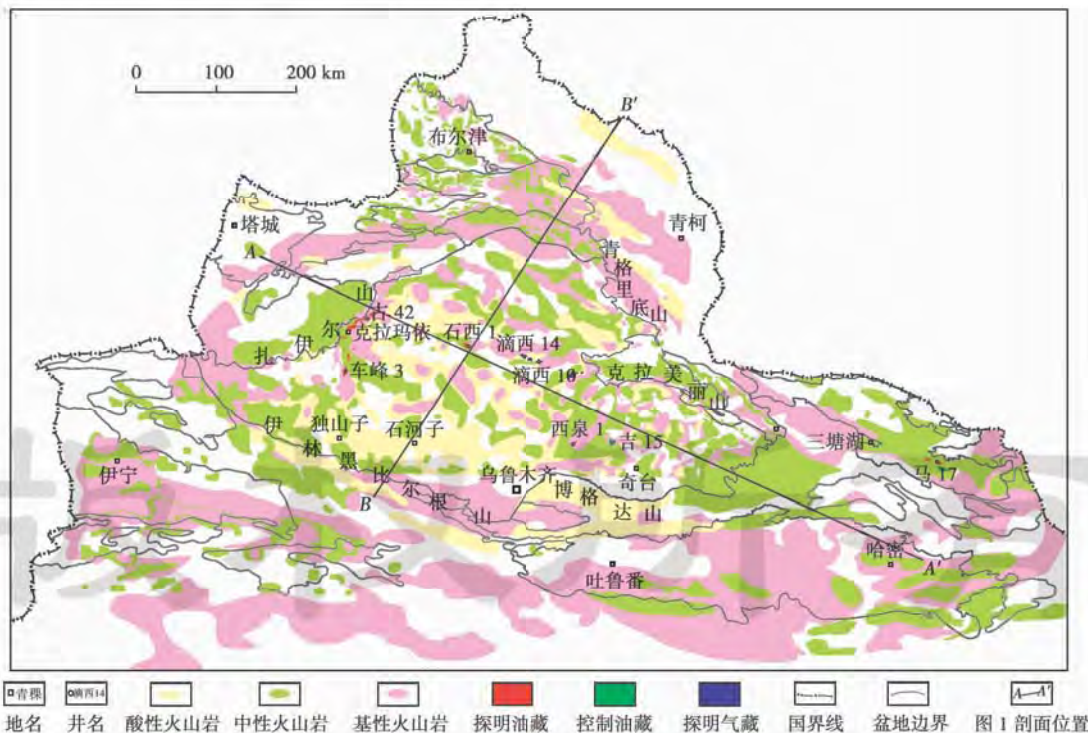


图 3 新疆北部石炭系火山岩区域分布预测

Fig. 3 Predicted regional distribution of Carboniferous volcanic rocks in northern Xinjiang

2.1.2 风化淋蚀和断裂控制有利储层分布

原生型火山岩中的中基性岩与酸性岩相比,储层物性更差^[16-19]。前人对火山岩储层研究主要侧重于岩性、岩相控制^[20-24],对风化淋蚀重视不够。该区构造演

化和火山岩成岩过程复杂,风化淋蚀作用是形成火山岩风化壳有利储层的主控因素。

火山岩风化壳储层物性受岩性和风化淋蚀时间控制。在相同表生环境下,由于岩石强度、脆性及可溶性

矿物等的差异,形成的风化壳储集性能差别较大。风化淋蚀时间差异造成火山岩风化壳储层物性不同,对不同火山岩岩性、不同风化程度的 1241 块孔隙度样品研究表明:未风化时,只有火山角砾岩能形成有效储层,平均孔隙度 8.3%(该区有效孔隙度下限 6%),其他火山岩岩性为非有效储层;弱风化时,火山角砾岩、安山岩和玄武岩平均孔隙度大于 6%,均能形成有效储层,而凝灰岩不能形成有效储层,孔隙度 3.6%;强风化时,不同火山岩岩性均能形成有效储层,但孔隙度存在差异,火山角砾岩、玄武岩、安山岩、凝灰岩的平均孔隙度分别为 15.7%、15.4%、14.2%、8.7%,即强风化时,各种火山岩岩性孔隙度均好于同时代、同岩性的原生型火山岩孔隙度(图 4)。

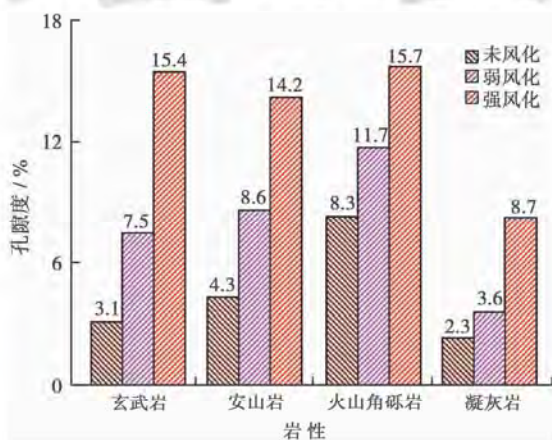


图 4 不同岩性、风化程度的火山岩平均孔隙度分布

Fig. 4 Distribution of the average porosity in different lithology and weathering degree of volcanic rocks

火山岩风化壳发育土壤层、水解带、淋蚀带、崩解带和母岩 5 层结构^[25-27],其中淋蚀带和崩解带储层物性最好,是主要储层发育段。统计研究区 22 口系统取心井的 2671 个物性样品,建立了火山岩风化壳孔隙度与风化壳顶面埋深关系,发现远离断裂区域风化壳有效储层发育处距不整合顶面埋深可达 550 m,取心已证实的最大孔隙度 24%;近断裂区域裂缝发育,同时受地表水沿断裂和裂缝下渗淋蚀影响,储层物性更好,取心已证实的最大孔隙度 32%,有效储层发育处距不整合面埋深更大,钻井已证实不整合面之下 1100 m 仍可发育有效储层(图 5)。

2.2 受烃源岩控制油气近源成藏

新疆北部石炭系烃源岩以上石炭统为主,不同区域烃源岩存在差别。准噶尔地区主要发育于巴塔玛依内山组中段和石钱滩组,以炭质泥岩、暗色泥岩为主,其中炭质泥岩最好;有机碳含量 0.30%~29.32%,平均值 1.98%。三塘湖地区主要发育于哈尔加乌组上段、卡拉岗组中段和巴塔玛依内山组中段,以炭质泥岩、黑色泥岩为主,其中泥质烃源岩最好;有机碳含量

0.08%~31.76%,平均值 4.32%。吐哈地区主要发育于白鱼山组、底坎尔组和苏穆克组,以暗色泥岩和炭质泥岩为主,有机碳含量 0.06%~6.13%,平均值 0.79%,生烃潜力较差。烃源岩均已成熟,但成熟度差异较大,如准噶尔盆地东部 R_o 为 1.25%~1.83%,三塘湖盆地马郎凹陷 R_o 为 1.35%~2.45%;吐哈地区 R_o 为 1.40%~2.45%。利用钻遇石炭系烃源岩的 78 口井、34 条野外剖面 and 地震资料,预测现今残存的上石炭统烃源岩广泛分布,厚度 10~300 m(图 6)。

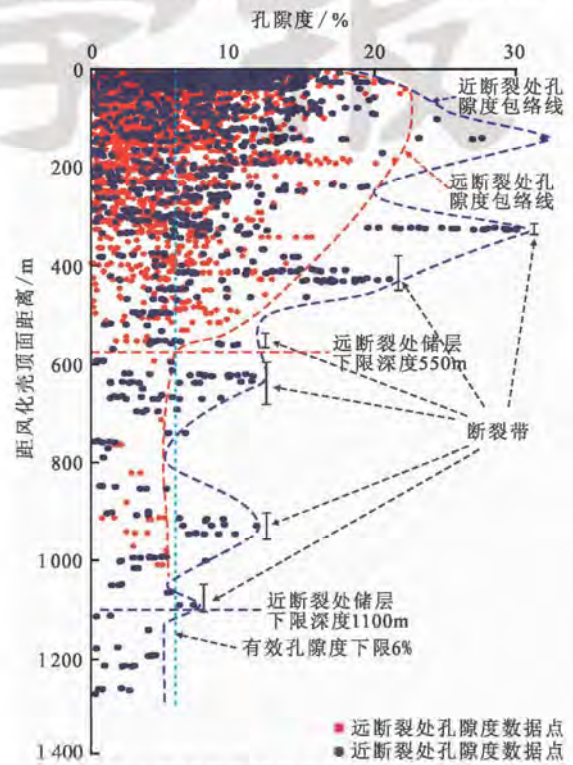


图 5 火山岩风化壳储层孔隙度随深度变化关系

Fig. 5 Porosity of weathered volcanic reservoir versus depth

研究区单个火山岩体规模较小,岩性、岩相平面变化大,与沉积岩“间互式”分布等特点,决定了风化壳储层平面非均质性强,油气在其中横向运移距离较短,主要围绕有效烃源岩区近源成藏,各残留凹陷具有相对独立含油气系统。断裂是纵向主要输导体系,沟通油源形成多套含油气层系,烃源岩区附近断裂带发育处风化壳是油气成藏有利区。马朗凹陷附近的牛东油田、滴水泉凹陷附近的克拉美丽气田、五彩湾凹陷附近的五彩湾气田均位于上石炭统有效烃源岩区附近。目前钻遇下石炭统井较少,其资源潜力和勘探前景有待进一步评价。

2.3 构造和断裂控制油气运聚和富集

风化壳有利储层主要分布于古构造高部位,现今构造高部位和古构造一致,临近烃源岩区域是油气运聚有利区,断裂控制油气富集。

2.3.1 构造高部位控制油气运聚

烃源岩生成的油气沿断裂纵向运移,沿风化壳横

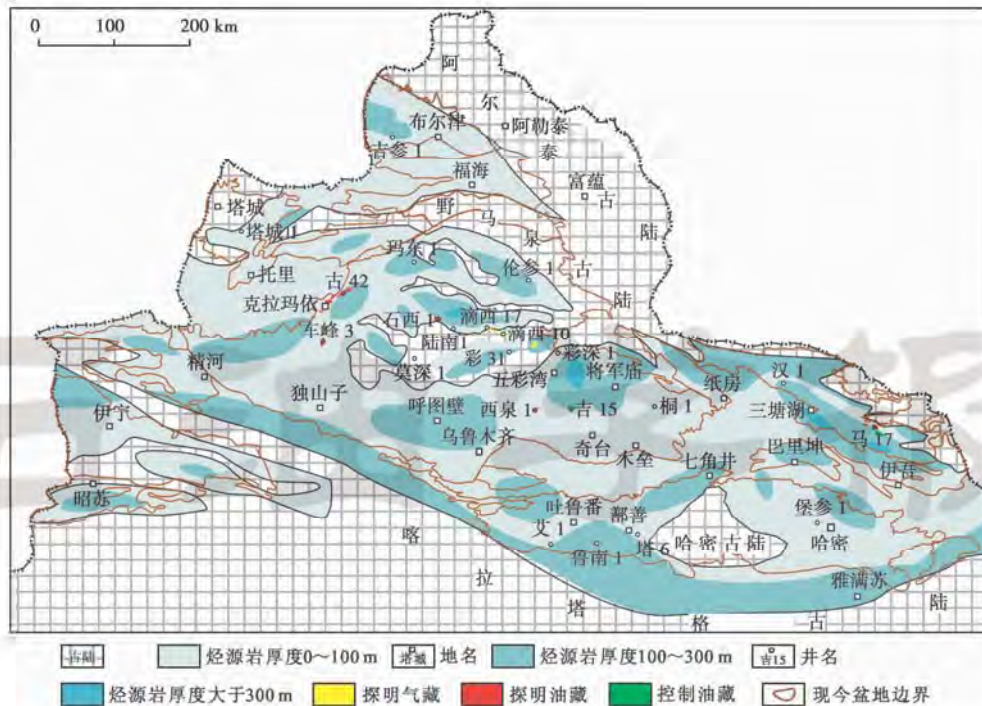


图 6 新疆北部上石炭统烃源岩分布

Fig. 6 Distribution of the Upper Carboniferous source rock in northern Xinjiang

向运移,有效烃源岩区周缘相对高部位是油气成藏主要区域,已发现油气藏均位于现今构造高部位、斜坡带等与古构造耦合较好区域,斜坡带和背斜构造最有利。

如准噶尔盆地西北缘上盘、滴南凸起、牛东凸起等均有该特点,如克拉美丽气田主要聚集于滴南凸起的斜坡带附近(图 7)。

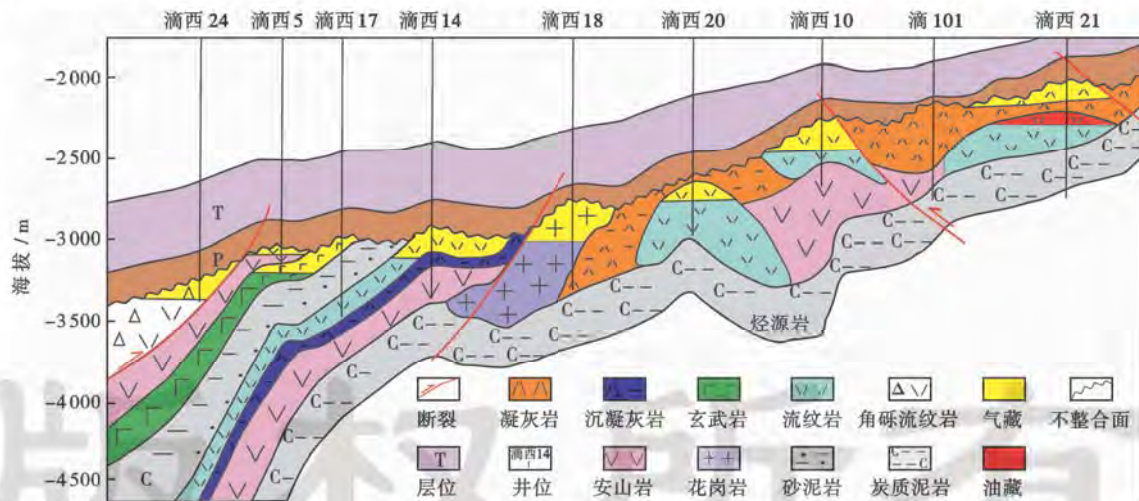


图 7 滴南凸起克拉美丽气田气藏剖面

Fig. 7 Profile of Karat-Meili gas field in Dinan bulge

2.3.2 断裂控制油气富集

新疆北部自石炭纪以来历经多次构造运动,发育多期断裂^[28-30]。围绕断裂带附近的火山岩风化壳可发育裂缝—溶蚀孔有利储层;在烃源岩区断裂纵向上沟通烃源岩和上部风化壳储层,对油气运聚起输导作用。因此,近源断裂带为油气聚集的有利区,围绕断裂带附近富集高产。如牛东油田高产和相对高产井基本上分布于断裂带附近就是很好的印证。在水平挤压应

力下,牛东油田石炭系卡拉岗组火山岩风化壳产生以中—低角度为主的微裂缝,裂缝沟通孔隙使储层渗流能力更好。储层裂缝密度与油井产能呈正相关,裂缝密度越大区域油井产能越高,高产井主要分布于距主断裂较近的 8 排、89 排和 9 排,如 8 排裂缝密度约 171 条/10 cm,油井平均产能 20.3 t/d,8 排的牛东 8-8 井原油产能 99.28 t/d;910 排虽离断裂较近,但油层厚度较薄,产能较低;而距断裂较远的 3

排、5排、6排、7排、78排油井产能较低,如6排的牛东6-12井产油1.12 t/d;低部位断裂发育处也可形成高产,如4排距主断裂较远,但发育2条次级断裂,断裂附近油井也能形成高产,如牛东4-13井产油70.11 t/d(图8)。

2.4 有效保存条件是油气成藏的关键

石炭系顶面是火山岩风化壳储层最发育和油气聚集的主要层段,石炭系上覆盖层保存条件是火山岩风化壳油气成藏的关键。利用368口井和地震资料,预测石炭系上覆直接泥岩盖层分布(图9),已发现的牛

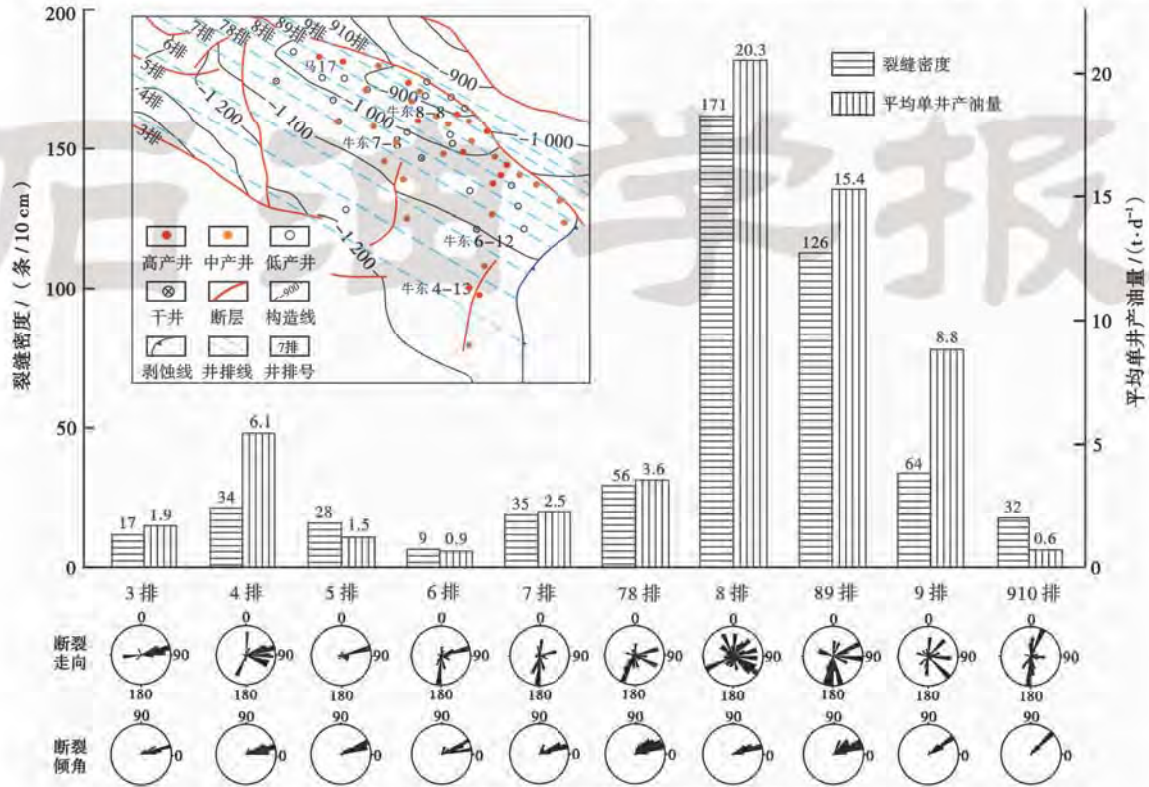


图8 马朗凹陷牛东油田断裂与油井产能关系

Fig. 8 Niudong oil field faults in Malang depression and its relationship with oil production

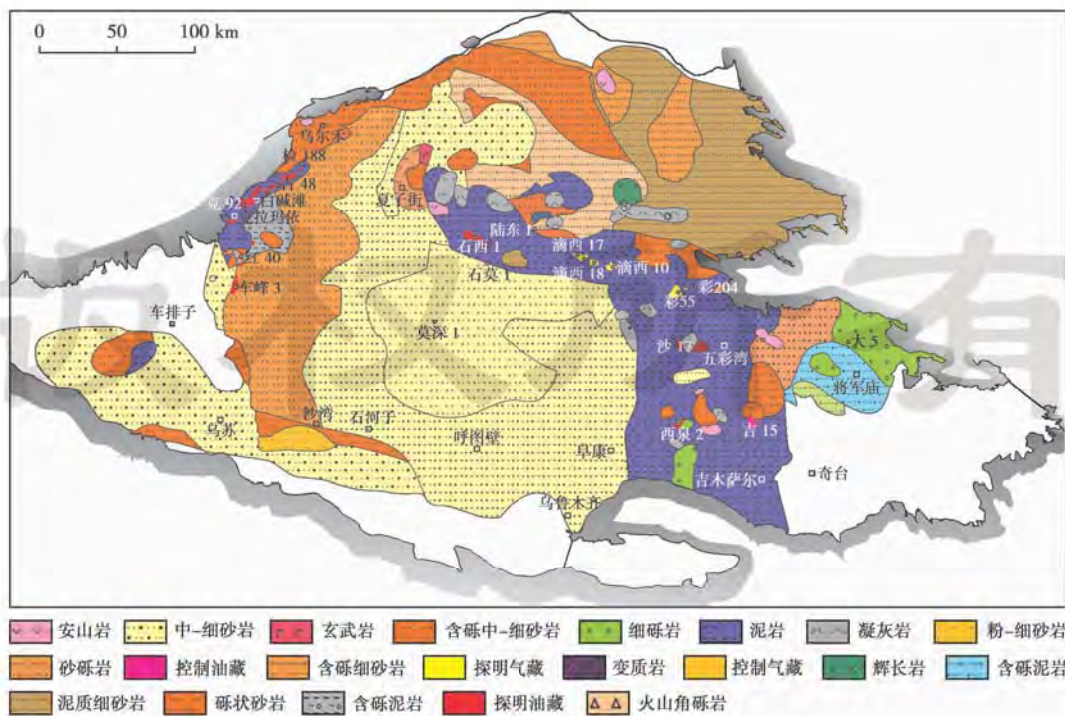


图9 新疆北部石炭系上覆直接盖层岩性分布

Fig. 9 Lithologic distribution of the cap rock immediately overlying on the Carboniferous rocks in northern Xinjiang

东油田、克拉美丽气田、准噶尔西北缘克一百断裂带上盘石炭系油藏等均位于上覆直接泥岩盖层分布区,石炭系上覆直接泥岩盖层分布区是油气保存的有利区,同时是下一步勘探的重点区域。

在以上认识指导下,通过勘探发现了多个油气藏,其中克拉美丽气田探明天然气地质储量 $1\ 053 \times 10^8 \text{ m}^3$,牛东油田探明石油地质储量 $4\ 355 \times 10^4 \text{ t}$,勘探成效显著。

3 结 论

(1) 新疆北部石炭系发育多个沉积岩与火山岩“间互式”充填的残留凹陷,具备良好的油气地质条件,是重要的油气勘探新领域。

(2) 石炭纪末新疆北部整体抬升遭受剥蚀,火山岩遭受风化淋蚀形成储层,受岩性、风化时间和断裂控制,火山岩风化壳储层物性存在差异,但长时间强风化的各种岩性火山岩均能形成有效储层。

(3) 现今残留凹陷控制烃源岩分布,受纵向断裂输导和平面火山岩风化壳强非均质性储层控制,油气围绕有效烃源岩区近源成藏,上覆直接泥岩盖层保存条件是油气成藏关键,现今构造高部位与古构造吻合区是油气运聚指向区,断裂发育区油气富集高产。

(4) 新疆北部石炭系火山岩风化壳油气藏地质条件新认识,有效指导了勘探部署和油气发现。

参 考 文 献

- [1] 张文佑,钱祥麟,张抗,等. 中国及邻区海陆大地构造[M]. 北京: 科学出版社,1993:651-662.
Zhang Wenyu, Qian Xianglin, Zhang Kang, et al. China and its adjacent area tectonic of sea-land[M]. Beijing: Science Press, 1993:651-662.
- [2] 邱中建,龚再升. 中国油气勘探:第二卷:西部油气区[M]. 北京: 石油工业出版社,1999:304-361.
Qiu Zhongjian, Gong Zaisheng. Oil and gas exploration in China: second volumes: the western oil and gas area[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999:304-361.
- [3] 新疆油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志:卷十五:上[M]. 北京:石油工业出版社,1993:37-210.
Xinjiang Oil and Gas Province Petroleum Geology Compilation Group. Petroleum geology of China: fifteen Volume[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993:37-210.
- [4] 高瑞祺,赵政璋. 中国油气新区勘探:第二卷:中国陆上天然气勘探新领域[M]. 北京:石油工业出版社,2001:222-287.
Gao Ruiqi, Zhao Zhengzhang. Oil and gas exploration of new developed area in China: second volumes: China onshore natural gas exploration field[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 222-287.
- [5] 张抗. 中国大北方古生界油气勘探新领域[J]. 地质通报,2011, 30(6):803-811.
Zhang Kang. New domain of Upper Paleozoic hydrocarbon exploration in "Large North" of China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(6):803-810.
- [6] 杨斌,李建新. 准噶尔盆地东部油区石炭系原油探讨[J]. 新疆石油地质,1992,13(2):171-178.
Yang Bin, Li Jianxin. An approach to the Carboniferous crude oil from eastern petroliferous area in Junggar basin[J]. Xinjiang Petroleum geology, 1992, 13(2):171-178.
- [7] 达江,胡咏,赵孟军,等. 准噶尔盆地克拉美丽气田油气源特征及成藏分析[J]. 石油与天然气地质,2010,31(2):187-192.
Da Jiang, Hu Yong, Zhao Mengjun, et al. Features of source rocks and hydrocarbon pooling in the Kelameili gasfield, the Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2):187-192.
- [8] 何登发,陈新发,况军,等. 准噶尔盆地石炭系油气成藏组合特征及勘探前景[J]. 石油学报,2010,31(1):1-11.
He Dengfa, Chen Xinfu, Kuang Jun, et al. Characteristics and exploration potential of Carboniferous hydrocarbon plays in Junggar Basin[J]. Acta Petroli Sinica, 2010, 31(1):1-11.
- [9] 赵俊猛,黄英,马宗晋,等. 准噶尔盆地北部基底结构与属性问题探讨[J]. 地球物理学报,2008,51(6):1767-1775.
Zhao Junmeng, Huang Ying, Ma Zongjin, et al. Discussion on the basement structure and property of northern Junggar basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2008, 51(6):1767-1775.
- [10] 吴小奇,刘德良,魏国齐,等. 准噶尔盆地陆东—五彩湾地区石炭系火山岩地球化学特征及其构造背景[J]. 岩石学报,2009,25(1):55-66.
Wu Xiaoqi, Liu Deliang, Wei Guoqi, et al. Geochemical characteristics and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks from Ludong-Wucuiwan area, Junggar basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(1):55-66.
- [11] 李锦轶,何国琦,徐新,等. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. 地质学报,2006,80(1):148-165.
Li Jinyi, He Guoqi, Xu Xin, et al. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(1):148-165.
- [12] 郝建荣,周鼎武,柳益群,等. 新疆二塘湖盆地二叠纪火山岩岩石地球化学及其构造环境分析[J]. 岩石学报,2006,22(1):189-198.
Hao Jianrong, Zhou Dingwu, Liu Yiqun, et al. Geochemistry and tectonic settings of Permian volcanic rocks in Santanghu basin, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(1):189-198.
- [13] 梁浩,苟红光. 三塘湖盆地卡拉岗组火山岩岩石化学特征及构造环境[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2009,24(5):23-28.
Liang Hao, Gou Hongguang. Geochemistry and tectonic setting of Kalagang volcanic rocks in Santanghu basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2009, 24(5):23-28.
- [14] LeBas M J, Streckeisen A L. The IUGS systematics of igneous rocks[J]. Journal of the Geological Society, 1991, 148:825-833.
- [15] 邹才能,侯连华,王京红,等. 火山岩风化壳地层型油气藏评价预测方法研究——以新疆石炭系为例[J]. 地球物理学报,2011, 54(2):388-400.
Zou Caineng, Hou Lianhua, Wang Jinghong, et al. Evaluation and forecast methods of stratigraphic reservoir of volcanic weathering

- crust; an example from Carboniferous Formation in Northern Xinjiang[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(2): 388-400.
- [16] 黄薇, 邵红梅, 赵海玲, 等. 松辽盆地北部徐深气田营城组火山岩储层特征[J]. 石油学报, 2006, 27(增刊): 47-52.
Huang Wei, Shao Hongmei, Zhao Hailing, et al. Characteristics of Yingcheng Formation's volcanic reservoir in Xushen Gas Field in northern Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(Supplement): 47-52.
- [17] 赵文智, 邹才能, 冯志强, 等. 松辽盆地深层火山岩气藏地质特征及评价技术[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(2): 129-142.
Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Feng Zhiqiang, et al. Geological features and evaluation techniques of deep-seated volcanic gas reservoirs, Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration & Development, 2008, 35(2): 129-142.
- [18] 邹才能, 赵文智, 贾承造, 等. 中国沉积盆地火山岩油气藏形成与分布[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3): 257-272.
Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Jia Chengzao, et al. Formation and distribution of volcanic hydrocarbon reservoirs in sedimentary basins of China[J]. Petroleum Exploration & Development, 2008, 35(3): 257-272.
- [19] 冯子辉, 邵红梅, 童英. 松辽盆地庆深气田深层火山岩储集层控制因素研究[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 760-768.
Feng Zihui, Shao Hongmei, Tong Ying. Controlling factors of volcanic gas reservoir property in Qingshen Gas Field, Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6): 760-768.
- [20] 蔡东梅, 孙立东, 齐景顺, 等. 徐家围子断陷火山岩储层特征及演化规律[J]. 石油学报, 2010, 31(3): 400-407.
Cai Dongmei, Sun Lidong, Qi Jingshun, et al. Reservoir characteristics and evolution of volcanic rocks in Xujiaweizi fault depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(3): 400-407.
- [21] 唐华凤, 庞彦明, 边伟华, 等. 松辽盆地白垩系营城组火山机构储层定量分析[J]. 石油学报, 2008, 29(6): 841-845.
Tang Huafeng, Pang Yanming, Bian Weihua, et al. Quantitative analysis on reservoirs in volcanic edifice of Early Cretaceous Yingcheng Formation in Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(6): 841-845.
- [22] 杨正明, 郭和坤, 姜汉桥, 等. 火山岩气藏不同岩性核磁共振实验研究[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 400-403.
Yang Zhengming, Guo Hekun, Jiang Hanqiao, et al. Experimental study on different lithologic rock of volcanic gas reservoir using nuclear magnetic resonance technique[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 400-403.
- [23] 王仁冲, 徐怀民, 邵雨, 等. 准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩储层特征[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 35-41.
Wang Renchong, Xu Huaimin, Shao Yu, et al. Reservoir characteristics of Carboniferous volcanic rocks in Ludong area of Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(3): 35-41.
- [24] 李军, 薛培华, 张爱卿, 等. 准噶尔盆地西北缘中段石炭系火山岩油藏储层特征及其控制因素[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 327-336.
Li Jun, Xue Peihua, Zhang Aiqing, et al. Characteristics and controlling factors of Carboniferous volcanic reservoir in the middle section of the northwestern margin of Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(3): 327-336.
- [25] 侯连华, 王京红, 邹才能, 等. 火山岩风化体储层控制因素研究——以三塘湖盆地石炭系卡拉岗组为例[J]. 地质学报, 2011, 85(4): 557-568.
Hou Lianhua, Wang Jinghong, Zou Caineng, et al. Controlling factors of weathering volcanic reservoir; an example in Kalagang Formation of Carboniferous, Santanghu basin[J]. Acta Geological Sinica, 2011, 85(4): 557-568.
- [26] 王京红, 靳久强, 朱如凯, 等. 新疆北部石炭系火山岩风化壳有效储层特征及分布规律[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 757-766.
Wang Jinghong, Jin Jiuqiang, Zhu Rukai, et al. Characters and distribution patterns of effective reservoirs in the Carboniferous volcanic weathering crust in northern Xinjiang[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 757-766.
- [27] 邹才能, 侯连华, 陶士振, 等. 新疆北部石炭系大型火山岩风化体结构与地层油气成藏机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(11): 1613-1626.
Zou Caineng, Hou Lianhua, Tao Shizhen, et al. Hydrocarbon accumulation mechanism and structure of largescale volcanic weathering crust of the Carboniferous in northern Xinjiang, China[J]. Science China(Earth Sciences), 2012, 55(2): 221-235.
- [28] 侯连华, 邹才能, 匡立春, 等. 准噶尔盆地西北缘克-百断裂带石炭系油气成藏控制因素新认识[J]. 石油学报, 2009, 30(4): 513-517.
Hou Lianhua, Zou Caineng, Kuang Lichun, et al. Discussion on controlling factors for Carboniferous hydrocarbon accumulation in the Ke-Bai fractured zone of the northwestern margin in Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(4): 513-517.
- [29] 王京红, 邹才能, 靳久强, 等. 火成岩储集层裂缝特征及成缝控制因素[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(6): 708-715.
Wang Jinghong, Zou Caineng, Jin Jiuqiang, et al. Characteristics and controlling factors of fractures in igneous rock reservoirs[J]. Petroleum Exploration & Development, 2011, 38(6): 708-715.
- [30] 匡立春, 薛新克, 邹才能, 等. 火山岩岩性地层油藏成藏条件与富集规律——以准噶尔盆地克-百断裂带上盘石炭系为例[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 285-290.
Kuang Lichun, Xue Xinke, Zou Caineng, et al. Oil accumulation and concentration regularity of volcanic lithostratigraphic oil reservoir; a case from upper-plate Carboniferous of KA-BAI fracture zone, Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(3): 285-290.

(收稿日期 2012-01-27 改回日期 2012-05-26 责任编辑 张怡)