

三塘湖盆地牛东地区石炭系卡拉岗组火山岩风化壳模式与识别

刘俊田

(中国石油吐哈油田分公司勘探开发研究院, 新疆 哈密 839009)

摘要:三塘湖盆地上石炭系卡拉岗组火山岩风化壳储层是吐哈油田近年来油气勘探的重要目标。根据该区钻井、测井和分析化验资料所揭示的火山岩风化壳剖面及其岩石学特征、物性特点,认为该风化壳在纵向上可划分为风化粘土层(沉积盖层)、强风化碎石层(风化壳上带)、弱风化块石层(风化壳下带)及未风化岩石层(致密火山岩带);有效的储集空间发育在强风化碎石层和弱风化块石层。根据火山岩储集层的孔隙成因及火山岩与烃源岩、盖层的匹配关系,认为该区火山岩风化壳模式是:火山岩之下上石炭统哈尔加乌组为烃源岩,之上为非烃源岩,风化壳内的溶蚀孔隙与洞缝为储层并与上覆的碎屑岩盖层,构成了良好的生储盖组合。指出对该区块火山岩风化壳的识别方法对下一步在三塘湖盆地寻找火山岩风化壳储层具有重要意义。

关键词:火山岩;风化壳模式;石炭系;牛东地区

中图分类号:TE122.2⁺22

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2009)01-0057-06

0 引言

人类对风化作用和风化壳的早期认识可以追溯到19世纪,Rogers等(1848)用试验研究了纯水和含碳酸的水对岩石矿物的破坏和局部溶解,Ollier(1985)对风化作用、风化壳以及大量与风化作用有关的地貌景观做了详尽的论述,基本上概括了20世纪80年代风化壳研究的各个方面的进展。进入20世纪90年代,关于风化壳及其与形成环境关系的模式、概念成了地学研究的热点(Horvath等,2000;Taylor等,2000;Wiesner,1999),对于风化壳的垂向分带,Budel(1957)提出的双面结构理论(暴露于大气下的厚层冲刷面和冲刷面底部与基岩接触的埋藏面)仍然指导着目前人们对风化壳结构的认识。

近年来,随着油气勘探的不断深入,国内外相继发现了一些火山岩油气藏^[1-7],火山岩储层逐渐引起了人们的注意。目前对火山岩储层的研究集中在火山岩储集空间,储层物性,储层岩性的识别,储层岩相的研究等几个方面,这些研究都是为了更好地了解火山岩储层的形成特点、分布规律、储集特性^[8],以便为

火山岩油气藏的勘探开发提供依据。2006年,位于三塘湖盆地马朗凹陷牛圈湖构造带上的牛东区块(图1)的M17井在上石炭统卡拉岗组玄武岩、安山岩储层中获得自喷原油24.48 m³,天然气3 735 m³的高产油气流,之后相继在M18井、M19井、ND9-10井相同层位见到了良好的油气显示。通过对该层系火山岩岩性、储集层孔隙结构、测井响应等方面的分析研究认为,该油气藏为火山岩风化壳型,并对该区块上石炭统的火山岩风化壳分布规律,火山岩风化壳孔隙成因及分布,储集层有效厚度、发育模式进行了研究,提出了该区块火山岩风化壳的识别方法,这些研究进展不仅具有理论意义,而且对于指导三塘湖盆地石炭系火山岩油气勘探具有实践意义。

1 地质概况

1.1 区域构造背景

三塘湖盆地整体位于西伯利亚板块西南缘,晚古生代,受东准噶尔—博格达、莫钦乌拉和卡拉塔格—大南湖等古陆,以及克拉美丽—大黑山和艾比湖—沙泉子2条双向俯冲缝合带控制,类似于现今

西太平洋,呈现多岛海格局,整体处于汇聚挤压构造环境、压中有张,三塘湖盆地主体为弧后盆地。早石炭世,以克拉美丽蛇绿岩为特征的准噶尔—蒙古洋已进入衰亡期,在其北侧白塔山和绵脊梁岛弧之后

发育三塘湖弧后盆地。晚石炭世,克拉美丽—大黑山缝合带已经闭合,海水由西北向东南撤退,半深海海相沉积萎缩到下马崖一带,三塘湖盆地马朗凹陷区为多火山活动的滨浅海^[9-10]。

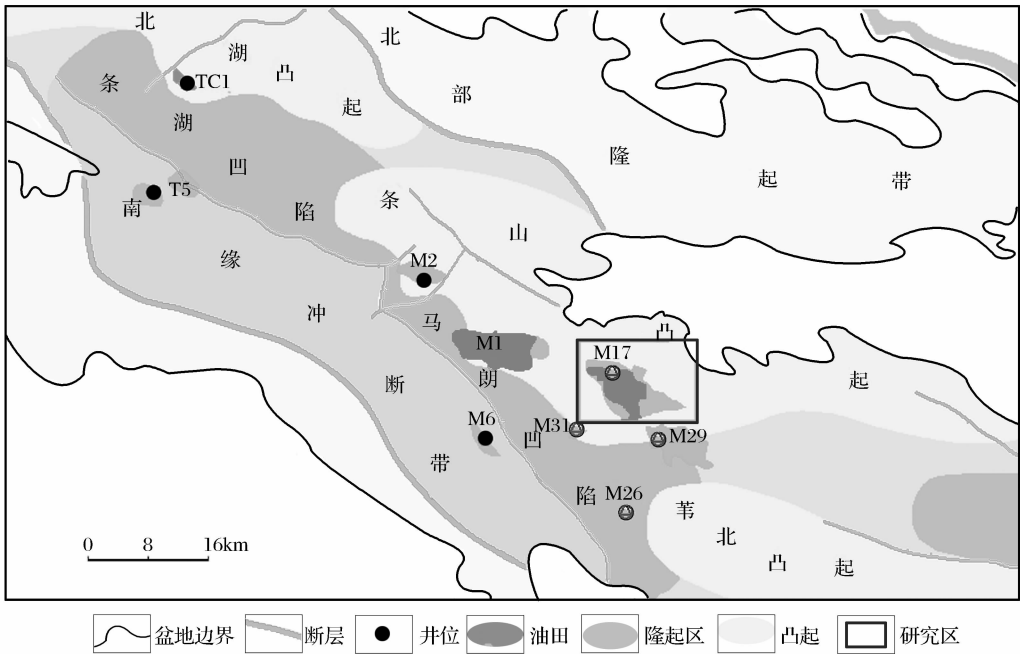


图1 研究区位置

1.2 地层发育特征

盆地石炭系发育大套海陆交互相地层与火山岩,包括火山岩、碎屑岩及碳酸盐岩,形成了较好的石油地质基础条件。下石炭统以海相和海陆交互相的火山碎屑岩沉积为主,地层厚度为 600~3 000 m;上石炭统以火山碎屑岩、碳酸盐岩、碎屑岩和火

山岩为主,巴塔玛依内山组以中基性喷发岩为主夹火山碎屑岩和炭质泥岩;哈尔加乌组下部主要为火山岩,上部发育一套海陆交互相的炭质泥岩、油页岩和凝灰质泥岩;卡拉岗组为大套陆相火山岩夹火山碎屑岩、碎屑岩组合。地层厚度介于 1 200~4 000 m 之间(表 1)。

表 1 三塘湖盆地石炭系地层划分

地层			厚度(m)	岩性简述
界	系	统		
上古生界	石炭系	上统		
		卡拉岗组	C ₂ k	棕褐色玄武岩、安山岩与灰色火山角砾岩互层
		哈尔加乌组	C ₂ h	灰、黑色泥岩与凝灰质砂岩、灰色玄武岩、安山岩互层
		巴塔玛依内山组	C ₂ b	以灰、灰绿色玄武岩、安山岩为主,夹薄层灰色砂岩、泥岩
下古生界	石炭系	下统		
		姜巴斯套组	C ₁ j	灰黑色泥岩为与深灰色、灰绿色粉砂岩、砂岩不等厚互层

2 储集层特征

2.1 岩性特征

该区块卡拉岗组主要发育一套中基性火山岩,夹有火山碎屑岩。火山岩岩性以灰色、灰白色、褐色、黄褐色安山岩、玄武岩、以及自碎角砾状安山岩为主,火山碎屑岩类以安山质火山角砾岩、凝灰岩为主。火山岩油层段的岩性主要为杏仁状安山岩、自碎角砾状安山岩,次之自碎角砾状玄武岩及杏仁状

玄武岩。其杏仁体多为未充填及半充填,或杏仁体具溶蚀特征(表 2)。

2.2 储层物性特征

牛东火山岩储层物性较差,岩心分析最大孔隙度为 25.1%,最小为 0.7%,平均孔隙度为 9.16%;最大渗透率为 46.9×10⁻³ μm²,平均渗透率为 0.41×10⁻³ μm²,但受岩性岩相影响明显,分岩性看,安山岩最好:孔隙度为 2.7%~24.4%,平均孔隙度为 9.03%,渗透率为(0.05~46.9)×10⁻³ μm²,有效储

表 2 牛东区块岩性组成

井号	井段(m)	安山岩(%)	玄武岩(%)	凝灰岩(%)	火山角砾岩(%)	灰色集块岩(%)
ND9-8(岩心段)	1 489~1 690	30.1	17.1	40	9.4	1.1
ND9-8(全井段)	1 274~1 699.9	16.6	45.8	29.6	6.4	0.5
ND9-10(岩心段)	1 375.08~1 576.5	14	33.4	26.6	18.5	0
ND9-10(全井段)	1 364.9~1 759.9	7.1	46.4	17	25.7	0
M19(岩心段)	1 520.62~1 529.53	96.3	0	0	1.8	0
	1 534.92~1 568.78					
M17(岩心段)	1 531.91~1 553.59	65.3	2.7	2.5	2.3	0

层平均孔隙度为 10.51%，平均渗透率为 $2.97 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，玄武岩次之：孔隙度为 0.7%~25.1%，平均孔隙度为 7.7%，渗透率为 $(0.05 \sim 19.7) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，有效储层平均孔隙度为 10%，平均渗透率为 $1.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，凝灰岩最差，孔隙度为 3.4%~18.3%，平均孔隙度为 11.7%，渗透率为 $(0.05 \sim 2.28) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。按岩相看：溢流相顶部气孔（杏仁）安山岩和玄武岩的物性较好，源于冷凝收缩形成大量收缩孔及其风化淋滤和溶蚀作用改造。

2.3 储集空间特征

根据岩心、岩石薄片及铸体薄片的观察研究，该

区储集空间分为原生和次生 2 大类^[11-13]：原生储集空间包括原生孔隙（原生气孔、残余气孔、杏仁体内孔、收缩孔）和原生裂缝（冷凝收缩缝、收缩节理）；次生储集空间包括次生孔隙（斑晶溶蚀孔、斑晶与基质间溶孔、基质溶蚀孔、杏仁体溶蚀孔和次生裂缝（构造裂缝、风化裂缝、粒边缝），如图 2（图 2a—图 2d 是原生孔隙，图 2e—图 2f 是次生孔隙）。玄武岩、安山岩以斑状结构、杏仁构造为主，火山碎屑岩为凝灰结构或火山角砾结构、块状构造，熔岩基质结构类型则较为多样，为间隐结构、间粒结构、拉斑玄武结构、交织结构。

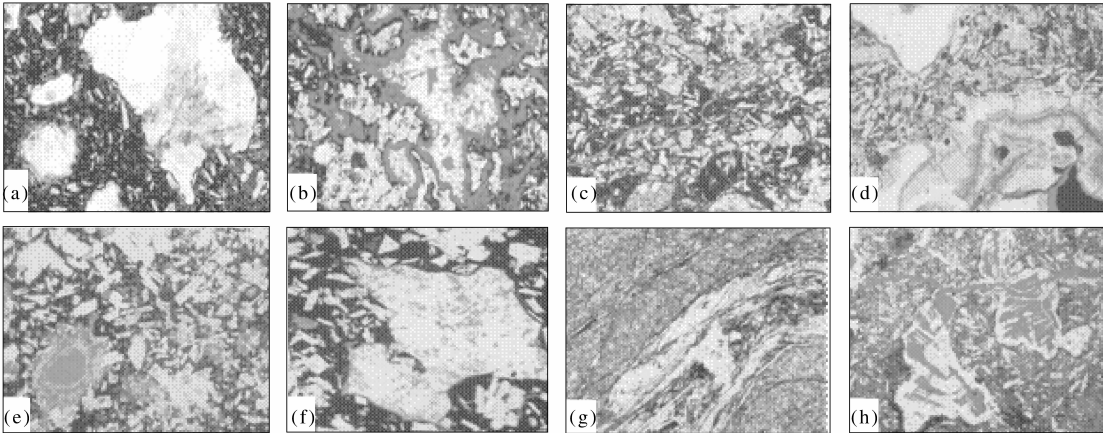


图 2 石炭系卡拉岗组火山岩油藏主要储集空间类型

- (a)杏仁状气孔(80×), M19,1 536.85m; (b)砾间孔(80×), M19,1 559.82 m;
- (c)微收缩缝(80×), ND9-10,1 421.13 m;(d)收缩缝(80×), ND9-10,1 388.06 m;
- (e)基质溶孔(80×),ND9-10,1 429.29 m;(f)杏仁状溶蚀孔(80×),ND9-10,1 430.93 m;
- (g)构造缝(80×),M17,1 539.5 m;(h)浊沸石化溶蚀孔(80×), M19,1 539.37 m

3 风化壳纵向分布模式及其识别特征

3.1 纵向分布特征

根据对牛东区块 20 多口井的石炭系火山岩岩性分析表明，火山岩风化壳纵向上自下而上可分为 4 个带^[14-16]（图 3）。

(1)风化粘土层（沉积盖层）：风化粘土层也称古

土壤，位于风化壳最上部，在不整合面以下，是在物理风化的基础上，生物化学风化作用改造下形成的细粒残积物。岩石类型为紫红色、灰色泥岩，测井曲线上表现为自然伽玛值高于正常泥岩，电阻率由低变高，其厚度较薄，风化粘土层在上覆沉积物压实成岩作用下岩性一般较致密，是一套良好的封盖层。

(2)强风化碎石层（风化壳上带）：该层岩石分为

2 部分,上部为灰褐色基性玄武岩及安山岩,成份以斜长石、辉石为主,次为隐晶质,具斑状结构,斑晶主要为斜长石及辉石矿物,气孔或杏仁构造发育,杏仁充填物为浊沸石,显微镜下具有明显的溶蚀现象;下部为灰绿色中性安山岩,成分以斜长石、角闪石为主,辉石、石英、暗色矿物次之,具斑状结构,斑晶主要为斜长石及暗色矿物,暗色矿物主要为角闪石和

辉石,气孔或杏仁构造发育,杏仁充填物同样为浊沸石。岩心观察表明微裂缝发育,裂缝纵横交错,分布杂乱,以垂直缝为主,其次为斜交缝,偶见水平缝,部分被浊沸石填充,强风化碎石层是火山岩风化壳结构中重要组成部分,其厚度存在差异,M 19 井、M 17 井、M 18 井强风化碎石层的厚度分布为 40 m、41 m和 49 m。

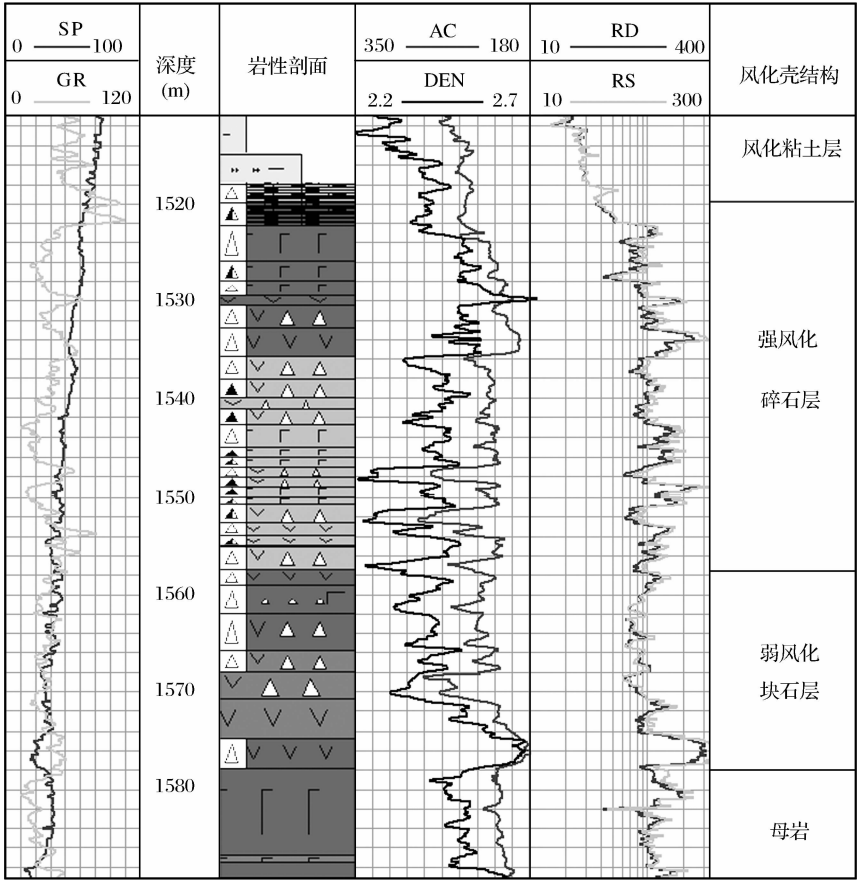


图 3 M19 井风化壳储层测井响应特征

(3)弱风化块石层(风化壳下带):该层岩石为灰褐色基性玄武岩及安山岩,成份以斜长石、辉石为主,其次为隐晶质,具斑状结构,斑晶主要为斜长石及辉石矿物,岩心局部可见少量气孔,微裂缝较发育,裂缝和气孔被浊沸石充填或半充填,裂缝发育程度明显弱于上部地层,弱风化碎石层也是火山岩风化壳结构中重要组成部分,也具有较好的储集性能。M19 井弱风化块石层厚度为 21 m,M 17 井、M 18 井分别为 23 m 和 33 m。

(4)未风化岩石层(致密火山岩带):该层岩石为灰褐色基性玄武岩。由于距离风化壳地表较深,岩石未受或轻微风化,岩石裂缝不发育。

3.2 风化壳模式

根据对该区 20 多口井的研究,结合区域构造背

景、沉积相、风化壳质量、火山岩与烃源岩的配置关系,认为三塘湖盆地牛东区块上石炭系卡拉岗组火山岩风化壳模式如图 4 所示。火山岩之下为烃源岩层,之上为非烃源岩层。风化壳上部以风化淋滤溶蚀孔隙为主,下部以次生溶蚀孔为主。风化壳上覆的风化粘土层为局域性盖层,构成了下生上储的成藏模式。

3.3 风化壳特点及其识别方法

对于该区风化壳的识别,通过原始录井剖面或经过常规测井校正后的岩性及测井响应容易识别,主要表现为:风化壳顶部存在一套红色或紫红色泥岩段,厚度为 10~20 m;测井曲线上表现为自然伽玛值高于正常泥岩,电阻率由低变高,风化面之下的岩层颜色往往发红、发紫,强风化碎石层岩性主要为

杏仁状玄武岩、安山岩、角砾岩及自碎角砾岩,储层物性好,而弱风化块石层岩性中,自碎角砾岩及角砾岩所占比例明显偏低,储层物性相对上部较差;未风化岩石层岩性主要为玄武岩及安山岩,不含角砾岩,储层物性差,岩石的化学成分也发生变化:这主要由于岩石基质和斑晶经过风化蚀变作用以后,易活动组分如 FeO、MnO 和 Na₂O 和 K₂O 发生一定的迁移,惰性成分如 TiO₂、Fe₂O₃、MgO 和 P₂O₅ 等发生富集;此外,在风化过程中,由于放射性物质吸附能

力强,往往在测井曲线上表现为高自然伽玛、低电阻、低密度特征。由于风化壳疏松,风化带常常发育网状缝,易碎,钻井取心收获率低,井径有扩径,密度低,声波时差大或跳跃,岩心或镜下可见溶蚀洞缝等。根所钻探井及开发井已证实,该区主要产层都集中在强风化碎石层,其次是弱风化块石层(图 5)。此外,有时也存在由于喷发停止期较短,岩性受随继之而来的上覆炽热岩浆的烘烤作用而轻微变质,风化壳的特征可能不明显。

层 位	火山岩与烃源岩配置关系	孔隙度 (%)			渗透率 (× 10 ⁻³ μ.m ²)			孔隙类型	代表井位
		5	10	15	1	2	3		
上覆地层	非烃源岩							原生孔、溶孔	
C _{2k}	火山岩							上部以风化溶孔为主 下部以次生溶蚀孔为主 气孔、裂缝发育	M17 M18 M19 ND9-10
C _{2h}	烃源岩							以有机酸溶孔为主	

图 4 牛东地区火山岩风化壳模式

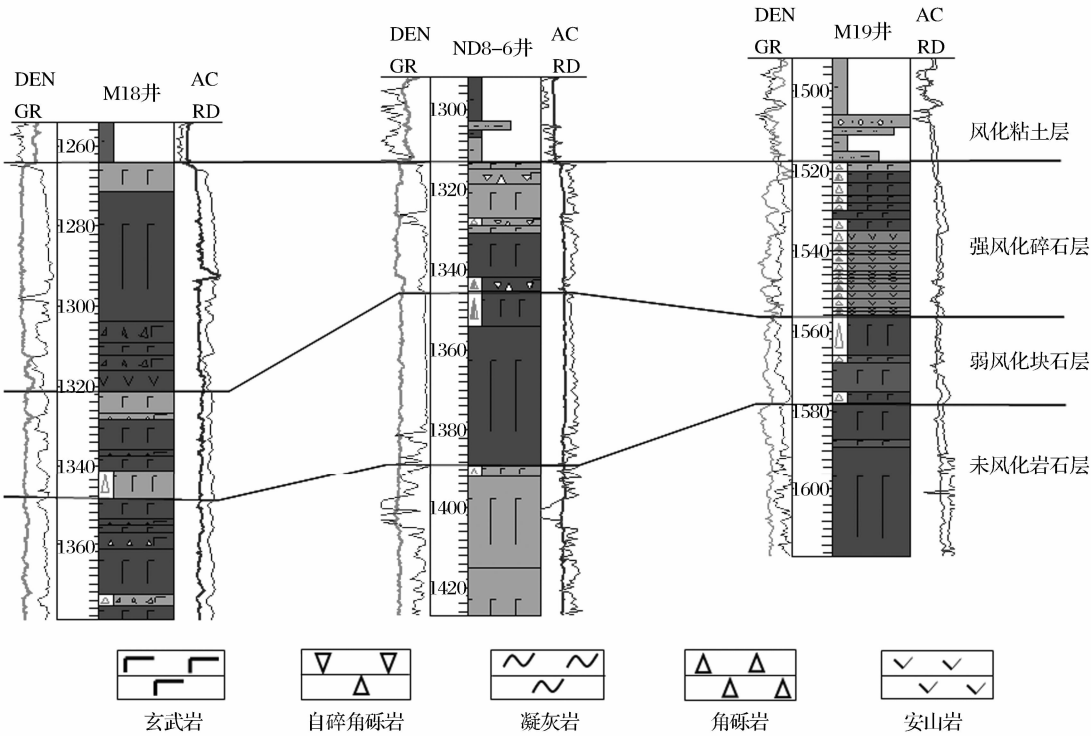


图 5 牛东地区井间火山岩风化壳对比

4 结 论

(1)三塘湖盆地牛东地区卡拉岗组火山岩风化壳纵向上由上向下可以划分为4个层:风化粘土层(沉积盖层)、强风化碎石层(风化壳上带)、弱风化块石层(风化壳下带)及未风化岩石层(致密火山岩带),有利的储集层位于强风化碎石层和弱风化块石层,通过钻井也证实了这一点。

(2)该层系火山岩风化壳储层的勘探成功,火山岩风化壳模式的建立和风化壳的特点及其识别方法,为下一步寻找三塘湖盆地石炭系火山岩优质储层提供了研究方向,即优质储层的形成与岩浆性质、火山岩岩相以及后期风化淋滤作用密切相关,位于火山喷发旋回的上部、存在着明显的渗流带,风化面的部位就是火山岩优质储层的分布区域。

参考文献:

- [1] 王璞珺,吴河勇,庞颜明,等.松辽盆地火山岩相:相序、相模式与储层物性的定量关系[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,36(5):805-812.
- [2] 王璞珺,迟元林,刘万洙,等.松辽盆地火山岩相:类型、特征和储层意义[J].吉林大学学报:地球科学版,2003,33(4):449-456.
- [3] 蔡国钢,张坤,刘立,等.辽河盆地东部凹陷中部火山岩储层特征研究[J].海洋石油,2003,23(2):32-37.
- [4] 曹宝军,刘德华.浅析火山岩油气藏分布与勘探、开发特征

- [J].特种油气藏,2004,11(1):18-20.
- [5] 陶奎员.火山岩相构造学[M].南京:江苏科学技术出版社,1994.
- [6] 何国貌,张峰,王文霞.三塘湖盆地火山岩油气藏特征及有利成藏条件[J].吐哈油气,2004,9(4):309-311.
- [7] 戴金星,秦胜飞,陶士振,等.中国天然气工业发展趋势和天然气地质理论重要进展[J].天然气地球科学,2005,16(2):127-142.
- [8] 张艳,舒萍,王璞珺,等.陆上与水下喷发火山岩的区别及其对储层的影响[J].吉林大学学报:地球科学版,2007,37(6):1259-1264.
- [9] 袁明生,张映红,韩宝福,等.三塘湖盆地火山岩地球化学特征及晚古生代大地构造环境[J].石油勘探与开发,2002,29(6):32-34.
- [10] 林克湘,李艺斌,龚文平,等.新疆三塘湖盆地晚古生代火山岩地球化学特征及构造环境[J].高校地质学报,1997,3(2):202-211.
- [11] 翟淳.岩石学简明教程[M].北京:地质出版社,1987.
- [12] 文志刚,王振奇,陈永峤,等.准噶尔盆地南缘东段储层评价[J].天然气地球科学,2005,16(2):178-180.
- [13] 文玲.靖安油田延长组低孔低渗储层的扫描电镜研究[J].电子显微学报,2003,22(4):352-357.
- [14] 张年富,曹耀华,况军,等.准噶尔盆地腹部石炭系火山岩风化壳模式[J].新疆石油地质,1998,19(6):450-453.
- [15] 李德文,崔之久,刘耕年,等.风化壳研究的现状与展望[J].地球学报,2002,23(3):283-288.
- [16] 李森明,陈凤来,漆万珍,等.马朗凹陷下二叠统风化壳特征与油气成藏关系[J].新疆石油地质,2007,28(5):554-556.

Weathering Crust Model and Recognition of Carboniferous Kalagang Formation (C_2k) Volcanic Rocks in Niudong Block, Santanghu Basin

LIU Jun-tian

(Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Tuha Oilfield Company, Hami 839009, China)

Abstract: Weathering crust reservoir of C_2k volcanic rock was the significant target of oil and gas exploration in recent years in the Santanghu Basin of Tuha Oilfield. According to its petrology and the natural characteristics revealed by drilling and logging data, this crust of weathering can be divided in vertical into weathered clay layer (sedimentary cover), highly weathered detritus, (the upper belt of weathering crust), weakly weathered block layer (the bottom belt of weathering crust) and non-weathering rock (dense volcanic belt). Effective reservoir space is developed in highly weathered detritus and weakly weathered block layer. According to the pore origin of the volcanic rock reservoir and the relations of the hydrocarbon source rock and the volcanic rock, the pattern of the volcanic rock crust of weathering is that the group hydrocarbon source rock for the volcanic rock is in C_2h , the upper of which is non-hydrocarbon source rock, reservoirs are dissolved pores and fissures, and the upper part of the rocks is caprock, which constitute a good source-reservoir-cap association. The recognition of the volcanic rock crust of weathering is significant for seeking volcanic rock crust of weathering reservoir in the Santanghu Basin.

Key words: Volcanic rock; Weathering crust model; Carboniferous; Niudong block.