

文章编号: 1000-0550(2006)06-0889-08

准噶尔盆地腹部侏罗系顶部风化壳的发育 机制及其油气成藏效应^①

李平平¹ 邹华耀¹ 郝芳^{1,2}

(1. 中国石油大学油气成藏机理教育部重点实验室 北京 102249; 2. 中国地质大学(武汉)资源学院 武汉 430074)

摘 要 准噶尔盆地腹部侏罗系顶部风化壳的风化粘土层相对富含 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 TO_2 。根据风化壳的成熟度将风化壳分为两类: I 类成熟度高, 其硅铝率 (SiO_2/Al_2O_3) 在 2.7~4 之间; II 类成熟度低, 其硅铝率在 4.0~5.0 之间。风化壳的成熟度差异由构造和时间的不同引起。受车莫古隆起的影响, 其脊部的风化壳不断向下伏地层发育, 成熟度低; 古隆起的脊部以外的地区, 风化壳发育的构造环境相对稳定, 风化壳的成熟度高; 董 1 井区由于后期发育齐古组的沉积, 风化壳的发育时间相对较短, 成熟度低。根据风化壳的成熟度发育机制和成熟度差异, 将风化壳在腹部分为 4 个区。其中, 古隆起的脊部的风化壳发育于三工河组砂体之上, 易于形成地层削截型油气藏。其余地区的风化壳主要起遮挡作用, 是油气成藏的重要界面。

关键词 准噶尔盆地 风化壳 发育机制 油气成藏

第一作者简介 李平平 男 1980 年出生 博士 油气成藏机理 E-mail: pingp_lf@163.com

中图分类号 P618.130.2 TE122.3 文献标识码 A

0 引言

与风化壳相关的油气藏是隐蔽油气藏勘探的重要领域^[1~3]。风化壳的结构、发育机制及油气成藏效应的研究是国内外研究的热点和难点^[4~6]。对于碎屑岩风化壳自下而上可以划分出三层基本结构: 半风化壳、风化粘土和底砂岩层(覆盖在风化粘土层上部, 常为砂岩和砾岩)^[7]。碎屑岩风化壳发育机制影响风化壳三层结构特性的差异, 从而导致不同的油气成藏效应。文章利用风化壳剖面上泥岩的氧化物组成的变化, 并结合风化壳发育的构造背景和气候条件等剖析了准噶尔盆地腹部侏罗系顶部风化壳的发育机制及油气成藏效应。

1 地质背景

准噶尔盆地位于新疆北部, 夹持于北天山和阿尔泰山之间, 平面形态呈南宽北窄的三角形。本文所指的腹部西起莫索湾、沙湾地区, 北至莫北、陆南地区, 东至彩南地区, 南到阜康、呼图壁和石河子地区(图 1)。

腹部地区侏罗系发育的地层自下而上有: 八道湾组(J_1b)、三工河组(J_1s)、西山窑组(J_2x)、头屯河组(J_2t)和齐古组(J_3q)。其中 J_1b 、 J_1s 、 J_2x 和 J_2t 之间为连续沉积, J_2t 和 J_3q 之间为非连续沉积, 且 J_3q 仅在

阜东斜坡地区发育。侏罗系之上是白垩系的吐谷鲁群(K_1tg)。侏罗系顶部的地层主要有 J_1s 、 J_2x 和 J_3q (图 1)。

中晚侏罗纪, 准噶尔盆地发生整体隆升^[8], 并沿车排子至莫索湾地区发育了车莫古隆起。腹部发育了区域性的角度不整合和平行不整合, 使得侏罗系顶部地层普遍发育了古风化壳。其中阜东斜坡区因后期 J_3q 的沉积, 发育了 J_3q 、 J_2t 和 K_1tg 多层风化壳, 且以 J_3q 、 J_2t 为主。晚侏罗纪, 准噶尔盆地处于亚热带半干旱—干旱气候^[9]。

2 方法与实验

风化壳剖面上的泥岩的氧化物组成具有一定特征: 风化粘土层段相对富含 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 TO_2 ^[10, 11]。本次通过测试风化壳剖面上的泥岩样品的 Al_2O_3 等 7 种主要氧化物的百分含量, 来识别风化壳的结构, 利用各结构层泥岩的氧化物含量变化及相关参数特征, 来分析风化壳的发育机制。

本次采集了准噶尔盆地腹部永 1 井、征 1 井、庄 101 井、庄 4 井、董 1 井和董 2 井侏罗系顶部风化壳剖面上的泥岩岩芯和岩屑样品共 87 个, 其中董 1 井的样品取自于 J_2t 的顶部。岩屑样品经严格挑选。样品测试在核工业新疆理化分析测试中心完成。

^①教育部科学技术重大项目(N0.10419)资助。
收稿日期: 2006-01-29 收修改稿日期: 2006-03-28

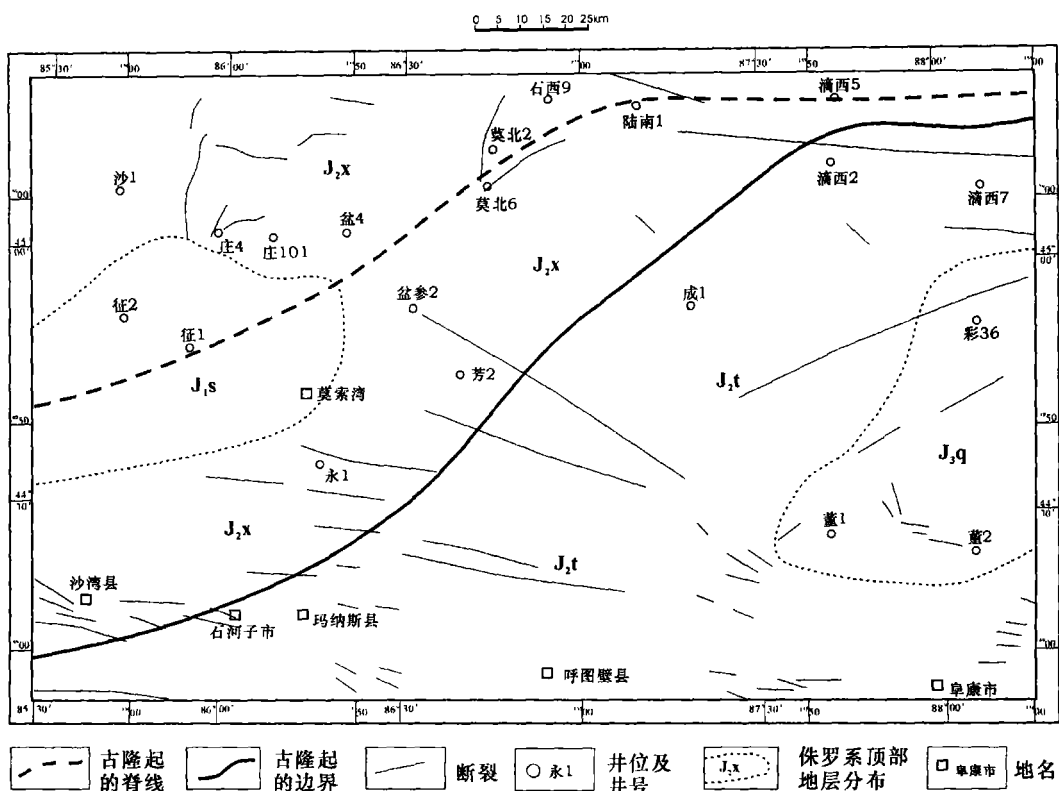


图 1 准噶尔盆地腹部主要井位、断裂和侏罗系顶部地层分布图

Fig 1 Main wells, fractures and strata distribution at the top of Jurassic hinterland of Junggar Basin

样品经初碎和细磨至 160 目以上, 低温烘干。 Fe_2O_3 和 CaO 用 EDTA 滴定, Al_2O_3 用 Cu_2SO_4 滴定, SO_2 用 $NaOH$ 滴定, TD_3 用比色法, K_2O 和 Na_2O 用原子吸收法分别测得其百分含量。

3 实验结果

测试分析结果显示, 氧化物的百分含量在风化壳

的纵向剖面上具有如下特征: 风化粘土层段相对富含 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 TiO_2 , 而缺少 SO_2 、 CaO 和 Na_2O 。以永 1 井的风化壳剖面最为典型 (图 2)。根据这些氧化物在剖面上的这种特征, 对各氧化物在剖面上的含量进行了总结 (表 1)。与永 1 井、庄 101 井和庄 4 井不同的是, 董 1 井、董 2 井和征 1 井的 SO_2 的含量在风化粘土层段较下部半风化岩石层段的泥岩富集。

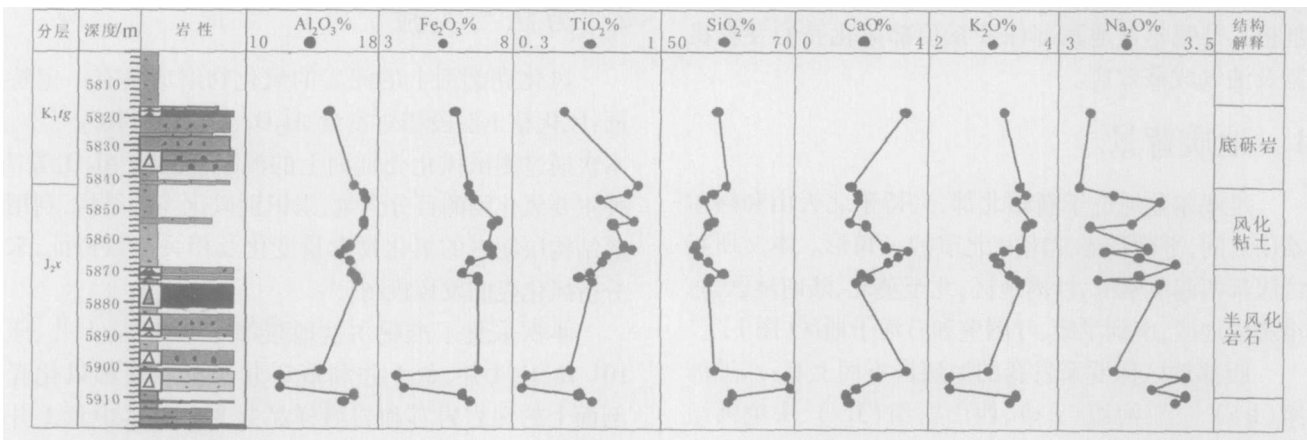


图 2 准噶尔盆地腹部永 1 井 K₁/J₂ 不整合剖面泥岩的典型氧化物组成 (%)

Fig 2 Variation of typical oxides content of mudstone in vertical section of K₁/J₂ unconformity Yong 1 well in the hinterland of Junggar Basin

SD₂的含量在风化壳剖面上展布的差异是由氧化物在风化淋滤过程中的迁移特性决定的。刁桂仪、文启忠总结出黄土风化成土过程中主要元素的迁移序列: CaCO₃ > FeO > MgO > Na₂O > K₂O > SiO₂ > Al₂O₃ > TD₂ > Fe₂O₃^[12]。董 1 井、董 2 井和征 1 井的风化壳的粘土层段其 SD₂表现为富集状态,表明其 SD₂还没有来得及向下迁移。这反映了风化壳在演化程度上的差异。

风化壳(古土壤)的演化程度一般用成熟度来描述。硅铝率(SD₂/Al₂O₃)是刻画古土壤的成熟度的重要参数^[13~15]。土壤的成熟度是指土壤个体的发育程度或演化阶段,即土壤接近于环境条件达到平衡的程度。它是气候、母质、地形、生物、时间各种因素的综合作用的结果,是古土壤的高度综合的描述词。它是针对整个土壤剖面而言的,而不是指剖面上某一个

点的土壤成熟度。因 SD₂较 Al₂O₃容易迁移,故随着古土壤的成熟度的增加,硅铝率降低。

从腹部几个单井的风化壳的硅铝率(表 2)来看,腹部 K/J 不整合古风化壳的硅铝率在 2.7~4.8 之间,变化范围比较大,反应了古风化壳发育的程度的不均一性。大部分的井揭示的该风化壳古土壤的硅铝率在 3~5 之间,反映了该古土壤的成熟度比较高。需要指出的是,董 1 井、董 2 井和征 1 井的风化壳的硅铝率大于 4.0 而庄 101 井、庄 4 井和永 1 井的硅铝率小于 4.0。这说明董 1 井等风化壳的成熟度相对要低,与 SD₂的含量在剖面上的分布是相吻合的。由此,可以将准噶尔盆地腹部侏罗系顶部风化壳分为两类:

I 类成熟度高,其硅铝率在 2.7~4 之间;

II 类成熟度低,其硅铝率在 4.0~5.0 之间。

表 1 准噶尔盆地腹部单井侏罗系顶部风化壳的氧化物含量在纵向剖面上的变化

Table 1 The content of oxides in weathering crust sections top of Jurassic hinterland of Junggar Basin

井号	剖面结构	氧化物的重量百分含量 %						
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SD ₂	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TD ₂
庄 101	A	6.2~6.29	15.15~15.55	56.97~58.4	2.83~3.93	3.11~3.25	2.45~2.72	0.62~0.67
	B	6.13~6.69	15.68~16.78	59.64~61.7	1.25~1.53	3.25~4	2.67~3.05	0.63~0.68
	C	6.52~7.26	16.61~17.35	59.75~60.48	0.78~1.27	3.87~4	2.55~2.7	0.7~0.72
庄 4	A	2.34~5.6	12.49~15.89	64.8~74.7	0.69~1.41	2.42~3	3.02~3.57	0.45~0.6
	B	6.86~7.73	16.65~18.72	58.62~62.13	0.41~1.3	3.11~3.19	0.72~3.91	0.63~0.82
	C	6.45~7.02	16.57~17.04	56.54~61.1	1.25~3.12	3.95~4.11	1.94~2.9	0.63~0.73
永 1	A	4.36~6.45	13.85~15.53	55.77~62.64	3.36~4.16	2.6~3.32	3.07~3.72	0.48~0.78
	B	6.38~7.51	15.72~17.33	55.26~60.09	1.72~3.44	3.01~3.6	3.07~3.38	0.72~0.9
	C	3.7~7.46	12.04~20.41	57.25~69.57	1.15~3.4	2.35~4.11	3.09~3.41	0.35~0.77
董 2	A	5.16~5.6	14.59~15.34	60.11~60.52	3.13~3.5	2.72~2.84	3.26~3.34	0.57~0.6
	B	4.27~4.52	13.66~15.04	63.41~65.25	2.31~2.38	2.51~2.94	3.65~3.76	0.53~0.58
	C	5.1~5.16	15.02~15.81	63.82~64.22	1.46~1.87	3.18~3.6	3.3~3.49	0.6~0.62
董 1	A	5.68~6.13	15.93~16.59	62.42~63.47	1.34~1.47	3.57~3.64	2.98~3.18	0.68~0.75
	B	5.16~5.98	14.98~15.61	63.69~65.57	1.08~2.04	3.28~3.72	3.13~3.18	0.67~0.68
	C	5.48~6.61	14.78~15.61	60.73~64.74	0.92~1.36	3.08~3.72	2.84~3.38	0.67~0.88
征 1	A	5.73~7.35	14.74~16.97	57.35~60.09	1.96~3.51	2.6~3.48	2.58~2.87	0.62~1.08
	B	4.10	16.27	65.01	0.45	3.11	3.30	0.77
	C	5.65	14.98	62.72	2.04	2.72	2.75	0.73

注: A. 不整合面之上泥岩 B. 风化粘土 C. 半风化泥岩

表 2 准噶尔盆地腹部单井侏罗系顶部风化壳的 SD₂/Al₂O₃在纵向剖面上的变化

Table 2 The value of SD₂/Al₂O₃ in weathering crust sections top of Jurassic hinterland of Junggar Basin

井号	剖面结构	SD ₂ /Al ₂ O ₃ %		井号	剖面结构	SD ₂ /Al ₂ O ₃ %		井号	剖面结构	SD ₂ /Al ₂ O ₃ %	
		范围	均值			范围	均值			范围	均值
庄 101	A	3.7~3.85	3.75	庄 4	A	4.08~5.95	5.19	永 1	A	3.59~4.52	3.98
	B	3.55~3.93	3.75		B	3.13~3.73	3.41		B	3.27~3.63	3.42
	C	3.45~3.64	3.57		C	3.37~3.75	3.55		C	2.75~3.79	3.87
董 2	A	3.94~4.12	4.03	董 1	A	3.83~3.92	3.87	征 1	A	3.44~4.08	3.69
	B	4.22~4.78	4.48		B	4.08~4.38	4.22		B	4	4
	C	4.06~4.25	4.15		C	4.04~4.46	4.17		C	4.19	4.19

注: A. 不整合面之上泥岩 B. 风化粘土 C. 半风化泥岩

4 风化壳的发育机制

准噶尔盆地腹部侏罗系顶部风化壳的成熟度的差异与风化壳特定的发育机制有关的。风化壳的发育主要与构造背景、时间和气候条件等因素有关^[16]。

4.1 气候条件及风化作用的类型

头屯河期由温湿气候变为干热的过渡时期, 表现为亚热带半干旱—干旱气候。腹部头屯河地层中的孢粉化石的种类和丰度较下部地层明显减少, 但是反映干旱气候的克拉梭粉 (*Classopollis*) 是显著增加

的^[9]。腹部侏罗系顶部普遍发育表现为棕红色、红褐色、黄色的碎屑岩沉积; 另外, 从风化壳和半风化壳的粘土矿物组成以伊—蒙混层为主, 次为伊利石和绿泥石, 而高岭石的含量很低(图 3), 这进一步表明了当时半干旱—干旱炎热的气候环境^[17-18]。

在这种干旱炎热的气候条件下, 风化壳的发育过程是以物理风化作用为主。永 1 井的风化粘土层不含高岭石、征 1 井的风化粘土层的高岭石的含量低于下部地层以及风化壳的粘土矿物以伊—蒙混层为主(图 3), 就证明了以物理风化作用为主。

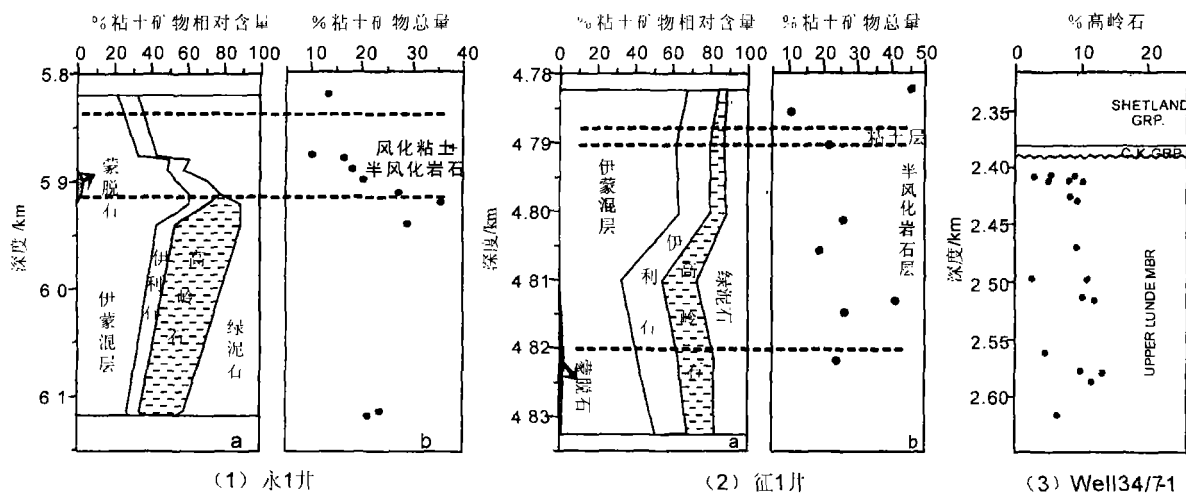


图 3 准噶尔盆地永 1 井 (1) 和征 1 井 (2) 风化壳剖面砂岩粘土矿物相对含量和总量的分布及北海油田 34/7-1 井的风化壳剖面的砂岩的高岭石的含量的分布

Fig. 3 The relative content and content of clay minerals in the sandstone of the weathering crust section of Yong 1 well (1), Zheng 1 well (2) of Junggar Basin and the content of kaolinite in the sandstone of the weathering crust section of 34/7-1 well of North Sea, England

CI (Chemical Index of Alteration) 是用来刻画风化程度的参数^[15-19, 20]。实际上, CI 值反映的是原生矿物和次生矿物的比例, 从而提供一个化学风化程度的量度。一般, 没有风化的长石、花岗质岩石的 CI (式①) 值为 50 左右, 而次生的粘土矿物 (如高岭石、三水铝石和绿泥石等) 的 CI 值达 100 蒙脱石和伊利石的 CI 值在 70~85 之间^[21]。

准噶尔盆地永 1 井等的侏罗系顶部风化壳的 CI 值均在 60~70 之间, 反映了风化作用的程度很低。同样证实了该风化壳发育的过程以物理风化为主。

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100 \quad (1)$$

4.2 构造和时间联合控制的风化壳的发育机制

在气候条件相同的情况下, 构造背景和时间的差异就决定了风化壳发育机制的差异性。腹部风化壳

的发育受车莫古隆起发育和演化的影响。车莫古隆起在 J_1s 时期开始发育, 在 J_2t 时期剧烈隆升, 地层遭受剥蚀、风化, 形成了侏罗系顶部的风化壳。因此, 受车莫古隆起影响的地区, 特别是其脊部, 受地层不断剥蚀的影响, 风化壳不断向下发育, 剥蚀速率大于风化速率 (风化壳向下发展的速率), 使得风化壳的成熟度低。该类风化壳以征 1 井为代表。永 1 井、庄 101 井和庄 4 井位于车莫古隆起的翼部, 风化壳向下发育的速率相对要慢, 使得风化壳经历的稳定物理风化的时间要长, 故风化壳的成熟度要高。征 1 井和永 1 井的风化壳剖面上的砂岩的粘土矿物的总量以及高岭石的含量与风化壳的发育没有亲密的空间关系 (图 3), 反而在下部地层的含量增加, 暗示了剥蚀速率大于风化速率, 这与英国的北海油田 (图 3(3)) 和 Gullfaks 油田是相同的^[22-23]。

对于董 1 井和董 2 井, 其风化壳的发育基本不受车莫古隆起的影响, 处于一种相对稳定的环境。其风化壳的成熟度主要受时间的控制。董 1 井的 J_2 顶部风化壳之上沉积了 J_3q 地层, 同样, 董 2 井的 J_3q 顶部的风化壳之上沉积了 K_1tg 地层。因此董 1 井和董 2 井的风化壳的发育时间较永 1 井等要短, 导致了风化壳的成熟度较低。虽然董 1 井、董 2 井和征 1 井的风化壳的成熟度都比较低, 但是风化壳的发育机制是不同的。

4.3 风化壳的几种类型的分布

综上, 可以把腹部侏罗系顶部的风化壳按照发育

机制和控制因素的不同, 分为四个区域 (图 4): A 区, 位于车莫古隆起的脊部, 风化壳的发育受古隆起的影响, 处于一种动态的发育环境, 不断向下发育, 剥蚀速率大于风化速率, 风化壳的成熟度低; B 区, 车莫古隆起的翼部, 风化壳的发育受古隆起的影响相对较小, 风化壳的发育相对稳定, 成熟度高; C 区, 董 1 井的西部, 风化壳的发育基本不受车莫古隆起的影响, 处于一种相对稳定的环境, 风化的时间长, 其成熟度高; D 区, 董 1 井区有 J_3q 地层沉积的区域, 其风化壳的发育虽处于相对稳定的环境, 但风化的时间相对短, 风化壳的成熟度低。

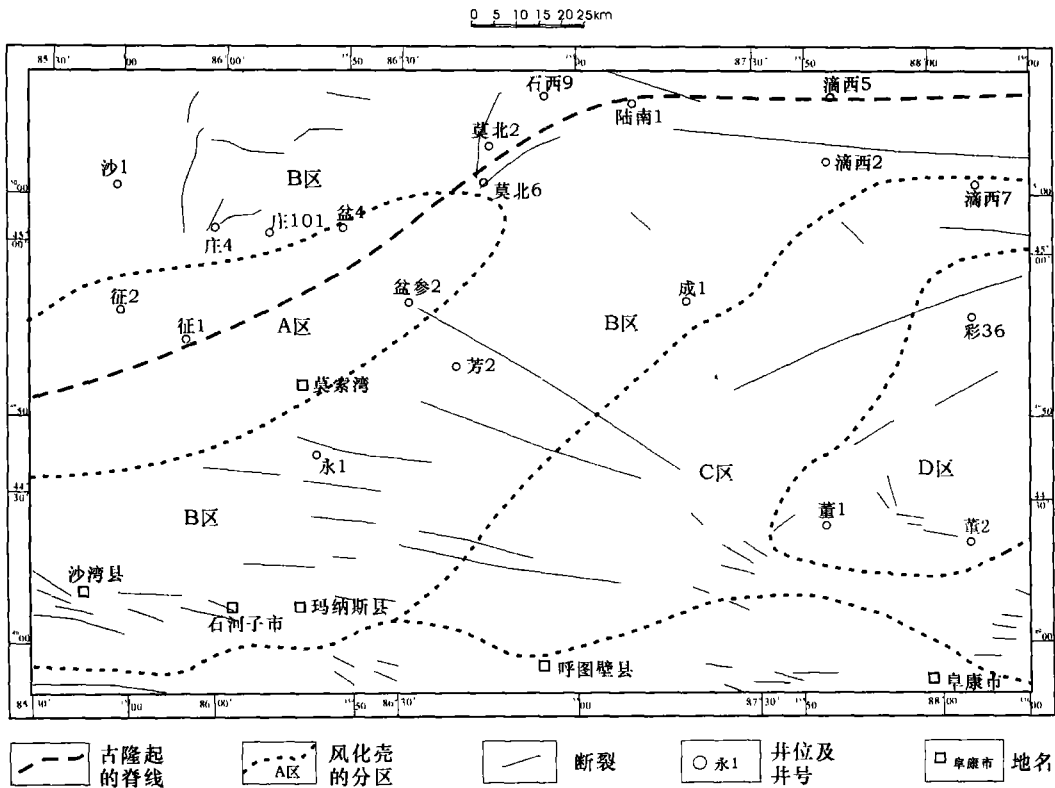


图 4 准噶尔盆地腹部侏罗系顶部风化壳的几种类型分布

Fig 4 Weathering crusts distribution at the top of Jurassic hinterland of Junggar Basin

5 风化壳的油气成藏效应

风化壳经历大幅度埋藏之后, 由于强烈的压实作用, 其在地表经风化淋滤作用形成的较高的孔隙度会大幅度减少^[3]。对于碳酸盐岩风化壳由于其裂隙、溶孔和溶洞发育, 在埋藏之后虽有垮塌等导致压实, 但是总有孔隙保存下来。导致了碳酸盐岩风化壳储集层强的非均质性和相对孤立的储集体^[24]。与碳酸盐岩风化壳不同, 碎屑岩风化壳在经历埋藏之后, 其表生的较疏松风化粘土层会被强烈压实, 孔隙度急剧

减小, 更多的是充当盖层的作用。Jiao认为风化粘土层(古土壤)是一个潜在的封闭层, 其孔隙度在 5% ~ 15% 之间, 渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu m^2$, 甚至小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu m^2$; 驱替压力表明古土壤层具有高封闭能力^[25-29]。

对于准噶尔盆地腹部侏罗系顶部风化壳来说, 以物理风化为主, 风化淋滤作用较弱, 使得下部半风化岩石层段成为储集层的可能性降低。该风化壳更多的起着遮挡的作用, 如征 1 井的风化粘土层孔隙度明显低于底砂岩和半风化岩石层 (图 5)。因此, 该风化

壳是油气成藏的重要界面, 除非有断裂的发育, 否则油气很难在白垩系地层聚集成藏。征 1 井和永 1 井在风化粘土层之下直接发育的油气藏已经被油气勘探实践所证实。

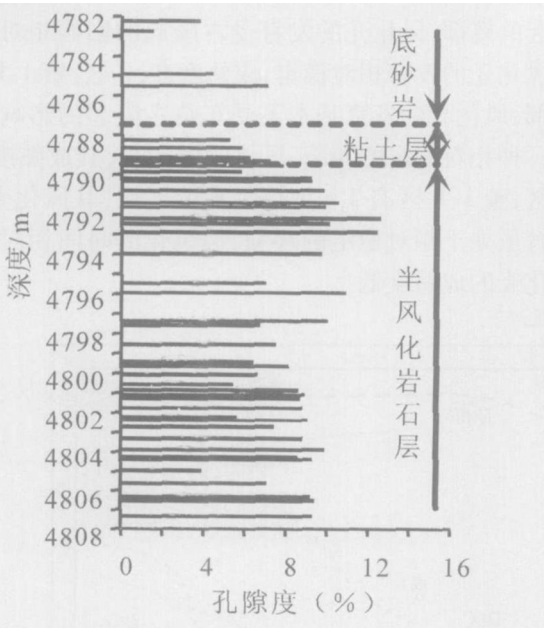


图 5 征 1 井风化壳剖面上孔隙度的变化

Fig 5 Variation of porosity in the weathered section
Well Zheng 1 Junggar Basin

对于风化壳的发育机制不同而划分出的四个区域, 其油气成藏效应也是不一样的。A 区, 地层的剥蚀量大, 风化壳多发育在砂地比高的 J_1s 之上, 容易形成由风化壳封闭的地层削截型油气藏。另外, 该区是应力集中的区域, 小断层较容易产生, 故其在风化壳之上的白垩系成藏的可能性也比较大。B 区, 地层剥蚀量相对 A 区要小, 风化多发育在 J_2x 之上, 形成由风化壳封闭的地层圈闭的可能小, 对油气成藏起着遮挡作用。因此, 该区的油气藏多发育在风化壳之下的 J_1s 中。C 区, 地层剥蚀量小, 风化壳的成熟度高, 是重要的油气成藏的遮挡界面。D 区, 地层剥蚀量小, 风化壳的成熟度低, 但是发育了多重风化壳, 同样是重要的遮挡界面。但是, C 区和 D 区在燕山期发育了近东西向的断裂, 使得在油气在风化壳之上的白垩系成藏成为可能。

6 结论

准噶尔盆地腹部侏罗系顶部风化壳从成熟度可分为两类: I 类成熟度高, 其硅铝率在 2.7~4 之间。主要分布在车莫古隆起的翼部和董 1 井西部不受车

莫古隆起影响的区域。II 类成熟度低, 其硅铝率在 4.0~5.0 之间。主要分布在车莫古隆起的脊部和董 1 井区发育 J_2q 地层的区域。

车莫古隆起脊部的风化壳发育一种动态的环境, 地层剥蚀量大, 是形成由风化壳封闭的下部地层削截圈闭的有利区域。同时易于发育小断层, 使得风化壳上部形成油气聚集的可能性较大。车莫古隆起的翼部和不受车莫古隆起影响的区域, 风化壳更多的起着油气成藏的遮挡面。限制了油气在风化壳之上的白垩系成藏。但是, 燕山期近东西向断裂的发育使得董 1 井区及其西部地区的白垩系的油气成藏的可能性增大。

参考文献 (References)

- Martinsen R.S. Depositional remnants part 1: Common components of the stratigraphic record with important implications for hydrocarbon exploration and production. *AAFG Bulletin* 2003 87(12): 1869~1882
- Martinsen R.S. Depositional remnants part 2: Examples from the Western Interior Cretaceous basin of North America. *AAFG Bulletin* 2003 87(12): 1883~1909
- Saller A.H., Budd D.A. and Harris P.M. Unconformities and porosity development in carbonate stratigraphies from a Hedberg Conference. *AAFG Bulletin* 1994 78(6): 857~872
- Hopkins J.C. Characterization of reservoir lithologies with in subconformity pools. *Pekisko Formation, Medicine River Field, Alberta, Canada*. *AAFG Bulletin* 1999 83(11): 1855~1870
- Stanley D.J., Wame A.G. and Dunbar J.B. Eastern Mississippi delta later Wisconsin unconformity overlying transgressive facies: sea level and subsidence. *Engineering Geology* 1996 45: 359~381
- 张克银, 艾华国, 吴亚军. 碳酸盐岩顶部不整合面结构层及控油意义. *石油勘探与开发*, 1996 23(5): 16~19 [Zhang Keyin, Ai Huaguo and Wu Yajun. Characteristics and oil controlling significance of unconformity structure layer on the top of carbonate rock. *Petroleum Exploration and Development* 1996 23(5): 16~19]
- 吴孔友, 查明, 洪梅. 准噶尔盆地不整合结构模式及半风化岩石的再成岩作用. *大地构造与成矿学*, 2003 27(3): 270~275 [Wu Kongyou, Chaming and Hongmei. Structural models of unconformity and recurrent diagenesis of semiweathering rock in Junggar Basin. *Geotectonica et Metallogenia* 2003 27(3): 270~275]
- 吴庆福. 准噶尔盆地发育阶段、构造单元划分及局部构造成因概论. *新疆石油地质*, 1986 7(1): 29~37 [Wu Qingfu. Development stage, tectonic units and origin of local structure of Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology* 1986 7(1): 29~37]
- 张满郎, 顾新元, 张琴, 等. 准噶尔盆地彩参 2 井侏罗纪孢粉化石及层序地层分析. *石油大学学报(自然科学版)*, 2001 25(1): 16~21 [Zhang Manlang, Gu Xinyuan, Zhang Qin, et al. Analyses of spore-pollen fossils and sequences stratigraphy of well Caican-2 in the

- Junggar Basin in Jurassic. *Journal of the University of Petroleum (Natural Science Edition)*, 2001, 25(1): 16~21]
- 10 Maravelaki B, Biscontin G. Origin characteristics and morphology of weathering crusts on Istria stone in Venice. *Atmospheric Environment*, 1999, 33: 1699~1709
 - 11 刘宝柱, 李从先, 业治铮. 长江三角洲地区晚第四纪古土壤地球化学特征. *青岛海洋大学学报*, 1998, 28(1): 129~133 [Liu Baozhu, Li Congxian and Ye Zhizheng. Geochemical characteristics of the Late Quaternary paleosols in the Yangtze River delta area. *Journal of Ocean University of Qindao*, 1998, 28(1): 129~133]
 - 12 刁桂仪, 文启忠. 黄土风化成土过程中主要元素迁移序列. *地质地球化学*, 1999, 27(1): 21~25 [Diao Guiyi, Wen Qizhong. The migration series of major elements during loess pedogenesis. *Geology Geochemistry*, 1999, 27(1): 21~25]
 - 13 高全洲, 崔之久, 刘耕年, 等. 青藏高原风化壳红土的沉积地球化学和矿物学特征及环境意义. *中山大学学报 (自然科学版)*, 2000, 39(5): 97~101 [Gao Quanzhou, Cui Zhihui, Liu Gengnian, *et al*. The sedimentary geochemistry and mineral characteristics and environmental significance of the laterites on Plateau of Tibet. *Acta of Sun Yat sun University (Natural Science Edition)*, 2000, 39(5): 97~101]
 - 14 黄成敏, 王成善. 古土壤发育与青藏高原隆升研究综述. *地质科技情报*, 2001, 20(4): 1~4 [Huang Chengmin, Wang Chengshan. A review on paleosols and uplift of Qinghai-Xizang Plateau. *Geological Sciences and Technology Information*, 2001, 20(4): 1~4]
 - 15 Singh M, Shama M, and Tobschall H J. Weathering of the Ganga alluvial plain north India: implication from fluvial geochemistry of the Gomati River. *Applied Geochemistry*, 2005, 20: 1~21
 - 16 李德文, 崔之久, 刘耕年. 风化壳研究的现状与展望. *地球学报*, 2002, 23(3): 283~288 [Li Dewen, Cui Zhihui and Liu Gengnian. Present situation and prospects of researches on weathering crust. *Acta Geoscientia Sinica*, 2002, 23(3): 283~288]
 - 17 曹家欣, 严润鹤, 王欢. 山东庙岛群岛的红色风化壳与棕红土及其古气候意义. *中国科学 (B辑)*, 1994, 24(2): 216~224 [Cao Jiayin, Yan Run'e and Wang Huan. Red weathering crust and brown red soil and implication for paleoclimate in Miaodao islands, Shandong provinces. *Science in China (Series B)*, 1994, 24(2): 216~224]
 - 18 张云翔, 陈丹玲, 薛祥照. 陕西北部三趾马红粘土的形成环境. *沉积学报*, 1998, 16(4): 50~54 [Zhang Yunxiang, Chen Danling and Xue Xiangu. The paleoenvironment of Hipparion red clay in North part of Shanxi province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(4): 50~54]
 - 19 Gallet S, Jahn B, Lané B V, *et al*. Loess geochemistry and its implications for Particle origin and composition of the upper continental crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 156: 157~172
 - 20 Nesbitt H W, Marković G. Weathering of granodioritic crust: long term storage of elements in weathering profiles and petrogenesis of siliclastic sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61(8): 1653~1670
 - 21 Nesbitt H W, and Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, 299: 715~717
 - 22 Björkum P A, Knud R, and Began M. How important is the late Cimmerian Unconformity in the controlling formation of Kaolinite in sandstone of the North Sea? *AAPG Memoir*, 1994, 61: 261~269
 - 23 Björkum P A, Møller R, Wallehaug O, and Hurst. The role of the late Cimmerian unconformity for the distribution of kaolinite in the Gullfaks Field, Northern North Sea. *Sedimentology*, 1990, 37: 395~406
 - 24 贾振远, 蔡忠贤. 碳酸盐岩古风化壳储集层(体)研究. *地质科技情报*, 2004, 23(4): 95~104 [Jia Zhenyuan, Cai Zhongxian. Carbonate paleo weathered crust reservoirs (body). *Geological Sciences and Technology Information*, 2004, 23(4): 95~104]
 - 25 Martinsen R S. Stratigraphic compartmentation of reservoir sandstone. Example from the Muddy Sandstone, Powder River Basin, Wyoming. *AAPG Memoir*, 1994, 61: 273~296
 - 26 Jiao Z S, Surdan R C. Stratigraphic diagenetic pressure seals in the muddy sandstone, Powder River Basin, Wyoming. *AAPG Memoir*, 1994, 61: 297~312

Formation Mechanism and Effect on Petroleum Accumulation of the Weathering Crust Top of Jurassic in the Hinterland of Junggar Basin

LIPing ping¹ ZOU Hua yao² HAO Fang^{1,2}

(1. Key Laboratory of the Ministry of Education for the Mechanism of Petroleum Accumulation China University of Petroleum Beijing 102249)

2. Faculty of Resources China University of Geosciences Wuhan 430074)

Abstract Clay layer of the weathering crust top of Jurassic in the hinterland of Junggar Basin is characterized by enriched Al_2O_3 , Fe_2O_3 and TiO_2 . The weathering crust can be classified into two types according to maturity index (SiO_2 / Al_2O_3). Type I shows high maturity with SiO_2 / Al_2O_3 between 2.7~4.0 and type II shows low maturity with SiO_2 / Al_2O_3 between 4.0~5.0. Difference of the maturity of weathering crust (MWC) is mainly caused by tectonic environment and geological time. In the ridge area of the Paleohigh, MWC is low, as weathering crust developed progressively down into underlying strata during uplift of the Paleohigh in Late Jurassic. In the flank area of the paleohigh and the area unaffected by the paleohigh, MWC is high, as weathered crust developed in relatively stable environment and experienced longer time. MWC is low in the area of Dong 1 well, as weathered time is much shorter caused by the deposit of lsq in Late Jurassic. Truncate reservoirs can be formed in the ridge of the paleohigh as weathering crust developed upon sandbody of ls directly. In other area, weathering crust is an important seal for petroleum migration and accumulation.

Key words Junggar Basin, weathering crust, formation mechanism, petroleum accumulation