

# 不整合半风化岩石成岩作用特征

陈杰

中国石化胜利油田分公司物探研究院, 东营 257000

**摘要** 以准噶尔盆地夏9井区三叠系顶部不整合半风化岩石为例,通过定性分析与定量评价相结合的方法,对其压实作用、溶蚀作用、胶结作用、交代作用和破裂作用等多种成岩作用特征进行了研究,认为压实、胶结、溶蚀和破裂作用对研究区三叠系顶部不整合半风化岩石的物性影响作用明显,其中压实、胶结作用与孔隙度呈负相关,溶蚀、破裂作用与孔隙度呈正相关,而交代作用对半风化岩石物性的影响效果较小。基于大量岩心观察和分析化验数据,发现不整合半风化岩石各种成岩作用特征在平面上与剖面上均具有较强的非均质性。通过建立多种成岩作用强度参数的判别标准,对不同类型成岩作用的作用强度进行了定量评价,认为三叠系顶部不整合半风化岩石的压实作用对原生孔隙破坏作用较大,强度级别为强;以菱铁矿为主要类型的胶结物堵塞了大量孔隙,其胶结强度级别为弱;视相对溶蚀孔隙度较高,溶蚀强度级别为强;可见少量微裂缝,破裂作用级别弱。按照对半风化岩石孔隙度影响的强弱顺序将成岩作用进行了排序,认为研究区成岩作用对三叠系顶部半风化岩石孔隙度影响程度的先后顺序为压实作用>溶蚀作用>胶结作用>破裂作用。

**关键词** 成岩作用;不整合;半风化岩石;夏9井区;准噶尔盆地

**中图分类号** TE122.3

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.12.009

## Diagenesis Characteristics of Semi-weathered Rock of Unconformity

CHEN Jie

Shengli Geophysical Research Institute of SINOPEC, Dongying 257000, China

**Abstract** Taking the semi-weathered rock of unconformity of Xia9 wellblock in Junggar Basin as an example, several types of diagenesis are studied by combining a qualitative analysis with a quantitative evaluation, consisting of compaction, dissolution, cementation, replacement and fracture. The main diagenesis, which influences the physical character of the reservoirs, involves compaction, cementation, dissolution and fracturing. Compaction and cementation reduce pores, dissolution and fracturing increase pores. On the basis of numerous core observations and experimental data, a strong heterogeneity of the diagenesis is found both on the plane and on the section in semi-weathered rock of unconformity. After that, the standard of several diagenesis strength parameters is established for the quantitative evaluation of diagenesis strength. The impact of compaction is strong on the original pores, whose level is high. The cement, found mostly as siderite, blocks plenty of pores, and its level is low. The proportion of the type of the dissolved pore is high, and the dissolution level is high, and the fracturing level is low with few fractures. The order of diagenesis is made based on the strength of diagenesis on the impacts on the porosity of the semi-weathered rock. The sequences about the effect levels of the four kinds of diagenesis are as follows: compaction> dissolution> cementation> fracturing in study area.

**Keywords** diagenesis; unconformity; semi-weathered rock; Xia9 wellblock; Junggar Basin

随着油气勘探的深入,不整合油气藏越来越受到重视,尤其是不整合结构中的半风化岩石更是不整合成藏研究的重点。关于半风化岩石成岩作用特征方面,前人研究较少,且多集中在对成岩作用特征的定性描述,本文以准噶尔盆

地西北缘夏9井区三叠系顶部不整合为例,依据夏15、夏18、夏063等8口井的岩心观察和实验分析,从定性分析及定量评价两个方面对不整合半风化岩石成岩作用特征进行研究。

收稿日期:2013-10-13;修回日期:2014-03-15

作者简介:陈杰,工程师,研究方向为油气勘探综合研究,电子信箱:cj0543@163.com

引用格式:陈杰. 不整合半风化岩石成岩作用特征[J]. 科技导报, 2014, 32(12): 60-67.

### 1 研究区概况

夏9井区位于准噶尔盆地西北缘乌夏断裂带,是夏子街背斜的一部分。夏子街背斜形成于三叠纪末期,长轴走向为NE—SW,沿轴部发育贯穿背斜的、NW倾向的夏4井逆断裂,背斜北翼发育与夏4井断裂走向一致但倾向相反的夏9井逆断裂,两条断裂所夹持的区域即为夏9井区(图1)。

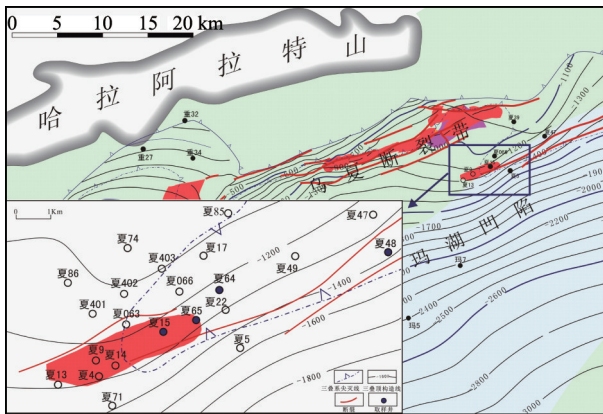


图1 夏9井区三叠系油藏平面分布  
Fig. 1 Location of oil reservoir in Xia 9 wellblock

研究区自上而下钻遇吐鲁鲁群、齐古组、头屯河组、西山窑组、三工河组、八道湾组、白碱滩组、克上组、克下组、百口泉组和上乌尔禾组,侏罗系顶部、三叠系顶部和二叠系顶部均发育区域性不整合。基于不整合的三层结构认识<sup>[1,2]</sup>,对研究区17口井位进行了统计,结合分层数据分析发现克拉玛依组是三叠顶不整合半风化岩石带的主体,具有较好的油气显示,其岩性以砂岩为主,厚度范围为42~116 m,平均厚度76.3 m(表1)。

### 2 半风化岩石成岩作用特征定性分析

基于对研究区45个样品的普通薄片、铸体薄片及扫描电镜分析结果,认为夏9井区三叠系顶部不整合半风化岩石带内成岩作用存在压实、胶结、溶蚀、交代及破裂5种类型。

#### 2.1 压实作用

夏9井区三叠顶不整合半风化岩石埋深范围在1427.5~1835 m之间,埋深偏大;且多发育岩屑砂岩、砾岩及含砾砂岩,颗粒多呈次圆状,成分组成上无论是砂质成分还是砾质成分均含有大量泥岩、千枚岩、片岩和云母等塑性岩屑颗粒以及凝灰岩、流纹岩、安山岩等半塑性岩屑颗粒,整体表现出低成分成熟度和中结构成熟度的特点;分析认为较大的埋深

表1 研究区三叠系顶部不整合数据统计

Table 1 Statistics of unconformity above Triassic in study area

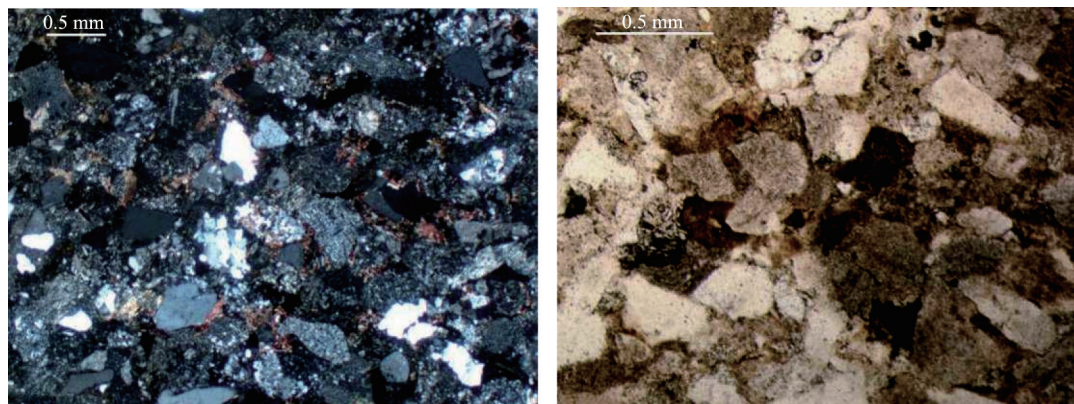
井名	不整合深度/m	厚度/m			岩性配置			油气显示	
		不整合之上	风化黏土层	半风化岩石带	不整合之上	风化黏土层	半风化岩石带	不整合之上	半风化岩石带
夏063	1517.5	7	14	—	砂砾岩	泥岩	砂砾岩	有	—
夏066	1515	11	15	—	含砾砂岩	泥岩	含砾砂岩	有	有
夏13	1708.5	13	10	55	砂砾岩	泥岩	砂岩	有	无
夏15	1485	—	—	97	—	—	—	有	—
夏22	1504	9	18	—	砂砾岩	泥岩	砂砾岩	有	有
夏48	1525	9	0	116	砂砾岩	缺失	砾岩	有	有
夏49	1438.5	5	2	70	砂岩	泥岩	含砾砂岩	有	有
夏64	1457	1	5	>48	砾岩	泥岩	砂岩	有	有
夏65	1482.9	1.6	0	80	砂砾岩	缺失	砂岩	有	有
夏71	1777	15	12	58	砾岩	泥岩	泥岩	有	无
夏74	1605	15	9	42	砂砾岩	泥岩	粉砂岩	有	有
夏85	1529	4	7	—	含砾砂岩	泥岩	泥岩	有	—
夏86	1656	12	10	—	砂砾岩	泥岩	砂质泥岩	有	—
夏9	1592	—	—	92	—	—	—	有	—
夏401	1654	2	4	—	砂砾岩	泥岩	粉砂岩	有	—
夏402	1618	14	10	—	砂砾岩	泥岩	泥岩	有	—
夏403	1572	12	—	—	砂砾岩	—	—	有	—

注:“—”表示无数据。

和偏低的成分成熟度均在一定程度上加大了压实作用的作用强度。

另外,通过薄片观察发现,半风化岩石颗粒间基本为线

接触(图2),颗粒之间接触较为紧密,结合对半风化岩石孔隙类型中剩余原生孔隙所占比例普遍偏小的统计结果分析(表2),认为研究区压实作用对原生粒间孔隙的破坏作用较大。



(a) 夏48井,1529 m,颗粒线接触,正交光

(b) 夏48井,1568.5 m,颗粒线接触,单偏光

图2 三叠系顶部不整合半风化岩石压实作用镜下特征

Fig. 2 Compaction features of semi-weathered rock of unconformity above Triassic under the microscope

表2 三叠系顶部不整合半风化岩石孔隙类型

Table 2 Statistics of pore types of semi-weathered rock of unconformity above Triassic

井名	深度/m	剩余原生 粒间孔/%	粒间 溶孔/%	粒内 溶孔/%	晶间溶孔/%		微裂缝/%
					高岭石	白云石	
夏64	1478.65	0	66	1	0	0	33
夏64	1479.60	29	70	0	0	1	0
夏64	1481.73	48	10	32	0	0	10
夏65	1488.72	49	39	11	1	0	0
夏65	1490.70	57	39	3	1	0	0
夏063	1522.22	20	64	1	15	0	0
夏65	1523.62	54	46	0	0	0	0
夏063	1524.16	0	15	39	1	0	45
夏65	1526.43	47	49	3	1	0	0
夏65	1527.65	0	45	1	1	0	53
夏063	1529.67	0	25	10	0	0	65
夏65	1561.03	61	38	0	1	0	0
夏65	1562.33	53	39	7	1	0	0

## 2.2 溶蚀作用

### 2.2.1 溶蚀期次

半风化岩石样品薄片显微镜下特征表明,夏9井区三叠系顶部不整合半风化岩石溶蚀作用较强(图3),溶蚀孔隙所占孔隙空间的比例较大,且存在两期比较明显的溶蚀作用:早期发生在高岭石化之后,石英加大之前;晚期则发生在菱铁矿胶结之后,可见较多剩余原生粒间孔隙及溶蚀孔隙被后期铁泥质充填侵染。

### 2.2.2 溶孔特征

基于岩石薄片观察结果,统计发现研究区三叠顶不整合半风化岩石孔隙类型以溶蚀孔隙为主。溶蚀孔隙存在粒间溶孔、粒内溶孔及晶间溶孔3种类型,其中以粒间溶孔为主,其次为粒内溶孔,晶间溶孔最少(表2)。颗粒溶蚀以长石溶蚀现象较多,平均占6%~20%,可形成多种类型粒间及粒内溶蚀孔隙,大大增加了半风化岩石带的输导性<sup>[3-6]</sup>;胶结物的溶蚀主要表现为形成高岭石的晶间溶孔,但因其孔隙较小,连通性通常较差(图3)。

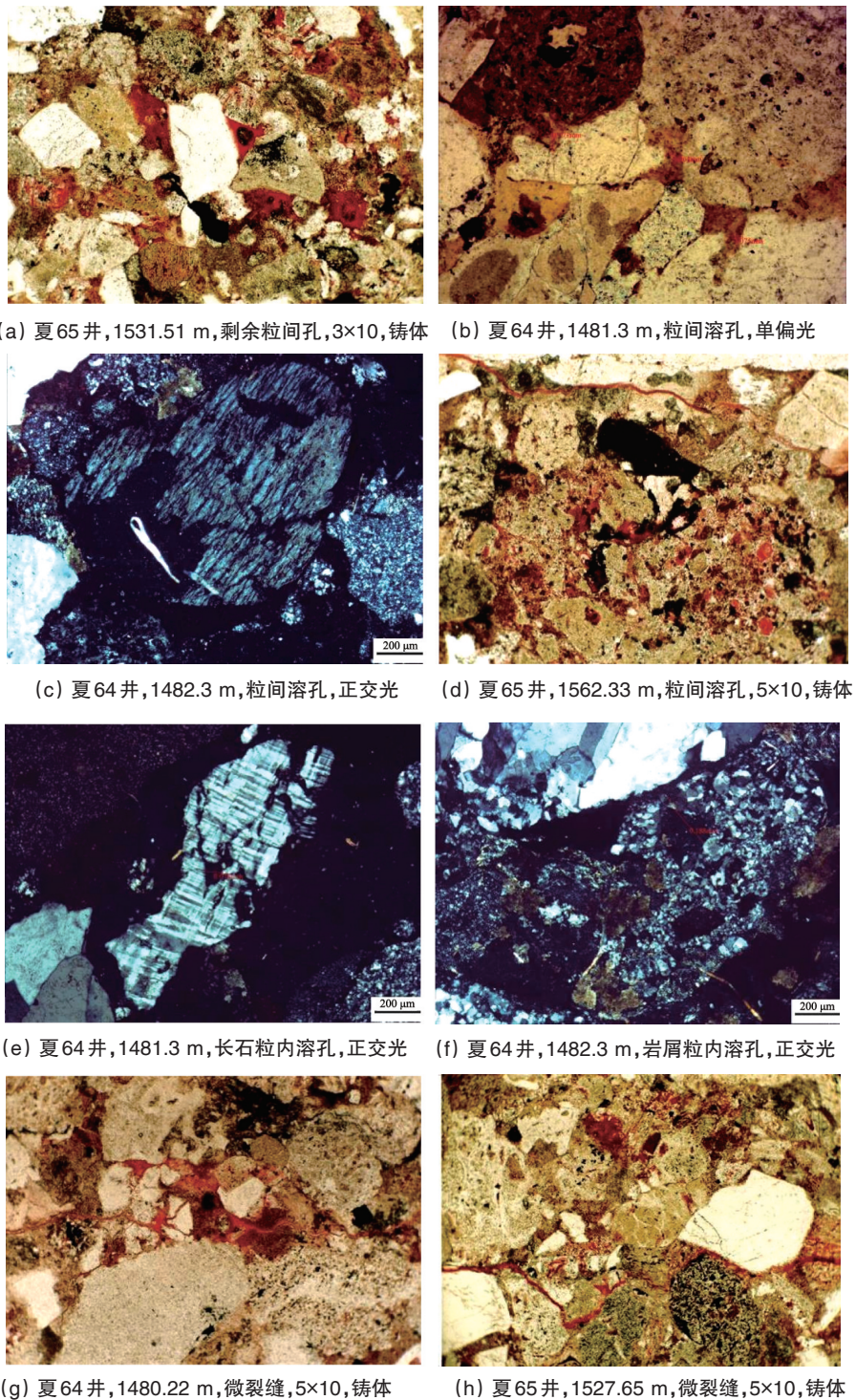


图3 三叠系顶部不整合半风化岩石溶蚀作用镜下特征

Fig. 3 Dissolution features of semi-weathered rock of unconformity above Triassic under the microscope

### 2.3 胶结作用

对薄片观察结果及其他实验数据进行统计,发现夏9井区三叠系顶部不整合半风化岩石胶结物类型主要有菱铁矿(49%)、方解石(13%)、高岭石(35%)、绿泥石(2%)及其他微量成分(图4)。

菱铁矿发育普遍是夏9井区三叠系顶部不整合半风化岩石的重要特征,几乎所有样品都可见菱铁矿呈簇状或零星

状胶结于颗粒之间,堵塞了大量的孔隙。高岭石含量的特征随着深度的增加是先升后降,且常与石英次生加大伴生(推断为高岭石溶蚀释放出的 $\text{SiO}_2$ 引起了石英的次生加大),因此,高岭石和石英的伴生出现一定程度上代表着一次大规模溶蚀作用的发生。高岭石的大量出现会堵塞孔隙,同时期晶间孔也是溶孔的重要类型。绿泥石在扫描电镜下常呈叶片状和针叶状充填于孔隙中,降低了储层的渗透率<sup>[3]</sup>。

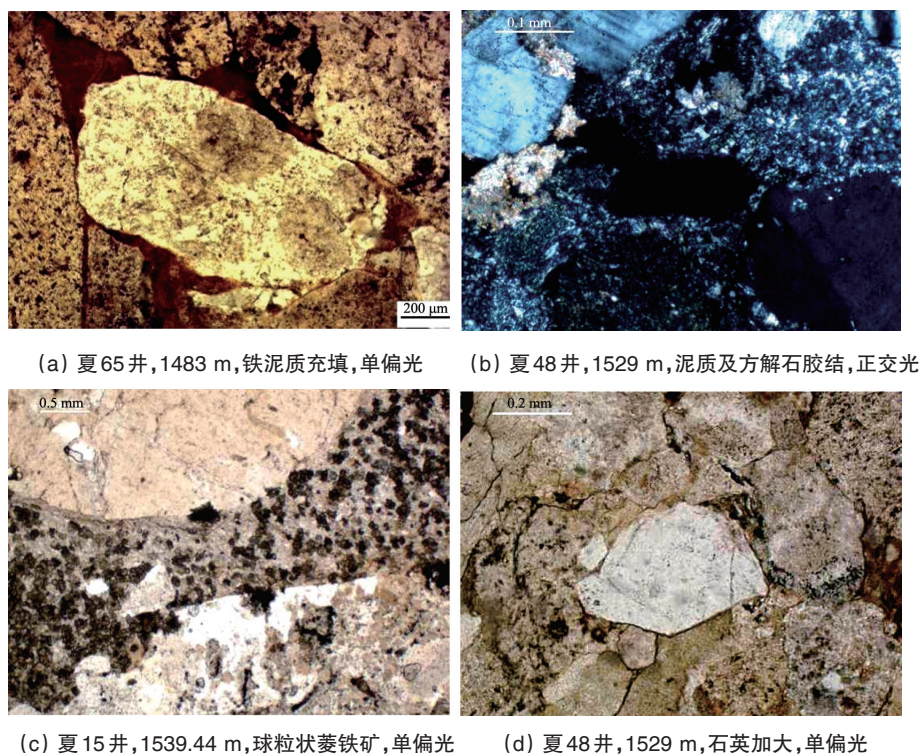


图4 三叠系顶部不整合半风化岩石胶结作用镜下特征

Fig. 4 Cementation features of semi-weathered rock of unconformity above Triassic under the microscope

#### 2.4 交代作用

研究区半风化岩石交代作用现象较为明显,其交代作用类型主要表现为菱铁矿交代高岭石、泥岩及硅化泥岩等岩屑

(图5)。虽然随着深度增加,显微镜下因交代作用(蚀变)而引起的“模糊感”愈发明显,但总体上因为交代作用发育范围比较集中,认为其对不整合半风化岩石物性的影响不明显。

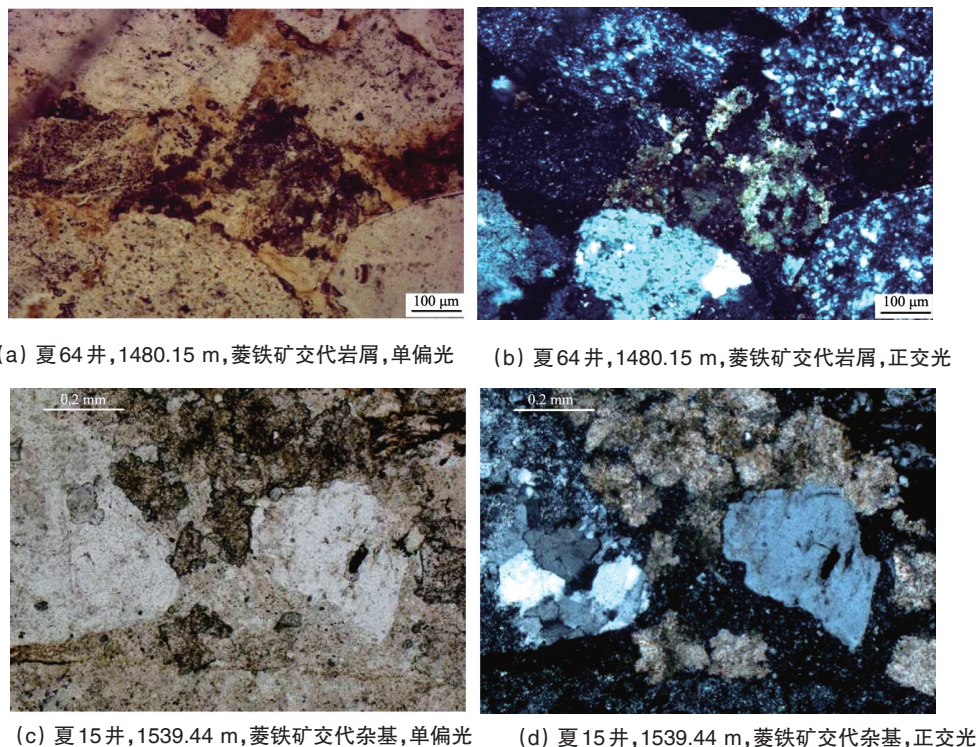


图5 三叠系顶部不整合半风化岩石溶蚀作用镜下特征

Fig. 5 Replacement features of semi-weathered rock above Triassic under the microscope

### 2.5 破裂作用

研究过程中,在薄片及扫描电镜下也发现了少量的由于破裂作用而形成的一些微裂缝。这些微裂缝有的尚未充填,有的被铁泥质、硅质等半充填或充填(图3(g)、(h))。观察发现,破裂作用形成的微裂缝较少单独存在,在目的层较强的溶蚀作用背景下,其常常会与贴粒缝和一些较长孔隙三者发展成连通的较长的溶蚀型微裂缝。微裂缝的存在大大增加了半风化岩石带的渗流能力,是不整合半风化岩石带遭受风化淋滤的重要反映特征。

综上所述,通过对研究区三叠系顶部不整合半风化岩石成岩特征的描述,发现不整合半风化岩石的成岩作用非均质性较强,不仅平面上不同井之间差异性明显,而且剖面上也同样显著。如图6所示,随着深度增加,夏64井三叠系顶部半风化岩石压实作用不断增加,溶蚀作用则一直减弱。

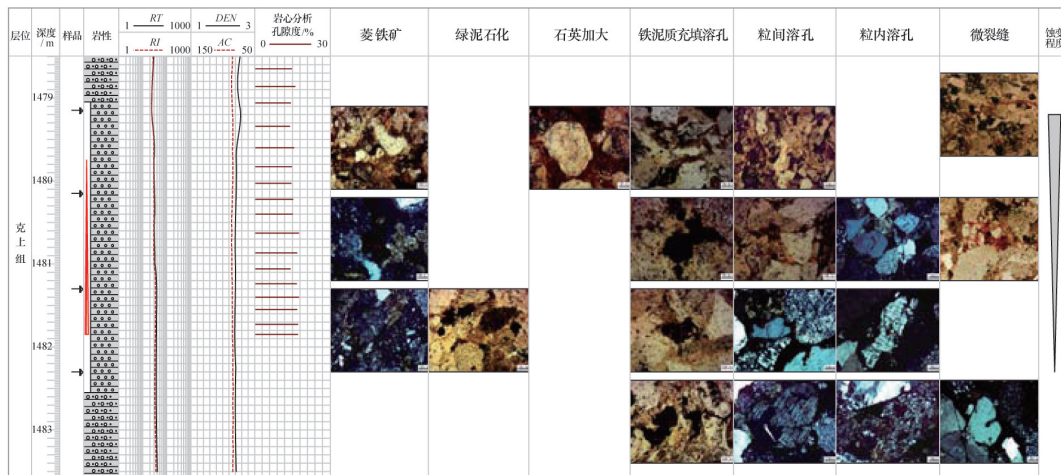


图6 夏64井三叠系顶部半风化岩石成岩特征随深度的变化特征

Fig. 6 Diagenesis characteristics of of semi-weathered rock of well Xia 64 above Triassic against the depth

## 3 半风化岩石成岩作用特征定量评价

### 3.1 评价参数及标准

本文对成岩作用强度的评价是在对研究区夏15、夏18、夏063等8口井98个样品(包括新采集岩心样品16个)实验数据的基础上,通过对碎屑岩初始孔隙度和压实后粒间剩余孔

隙度进行恢复,利用视压实率、视相对溶蚀孔隙度和视胶结率等参数分别定量评价压实作用、溶蚀作用和胶结作用的作用强度<sup>[7-9]</sup>。在前人认识的基础上,结合本次研究成果,首先确定了研究区半风化岩石成岩作用强度的划分指标(表3)。

表3 夏9井区三叠系顶部不整合半风化岩石成岩作用强度评价标准

Table 3 Standard of diagenesis strength of semi-weathered rock of unconformity above Triassic in Xia 9 wellblock

压实强度		溶蚀强度		胶结强度	
视压实率/%	压实程度	视相对溶蚀孔隙度/%	溶蚀程度	视胶结率/%	胶结程度
<30	弱	<30	弱	<30	弱
30~50	中	30~60	中	30~50	中
>50	强	>60	强	>50	强

### 3.2 定量评价结果

在上述统计和实验数据分析基础上,本文研究了不同成岩作用与半风化岩石孔隙度的相关性,并得到其相关拟合公式。

从不整合半风化岩石成岩作用与深度、孔隙度关系图(图7)可以看出,压实作用随深度增而增加,且孔隙度也随着压实作用强度的增加呈较明显的下降趋势,说明不整合半风化岩石带孔隙度受压实作用的控制明显,且压实作用越强烈,孔隙度越低。与压实强度趋势类似,胶结作用强度和孔隙度也呈显著负相关性,表明研究区三叠系顶部不整合半风化岩石胶结作用的影响主要是体现在使孔隙度降低而不是

有助于颗粒支撑保存原生孔隙;不同于压实和胶结作用趋势,随着溶蚀作用强度的增加孔隙度呈显著递增趋势,说明溶蚀作用是孔隙增加的重要因素,同时也体现出溶蚀孔隙在孔隙类型中的重要比例。

根据以上多种成岩作用强度与孔隙度相关性的定量分析,结合前面对不整合半风化岩石颗粒性质、孔隙组成及充填物组成的统计,参照表3划分标准,对研究区三叠系顶部不整合半风化岩石的不同类型成岩作用强度进行了定量判定(表4)。分析认为,研究层段压实作用和溶蚀作用的作用强度级别为强,胶结作用强度级别为中等。

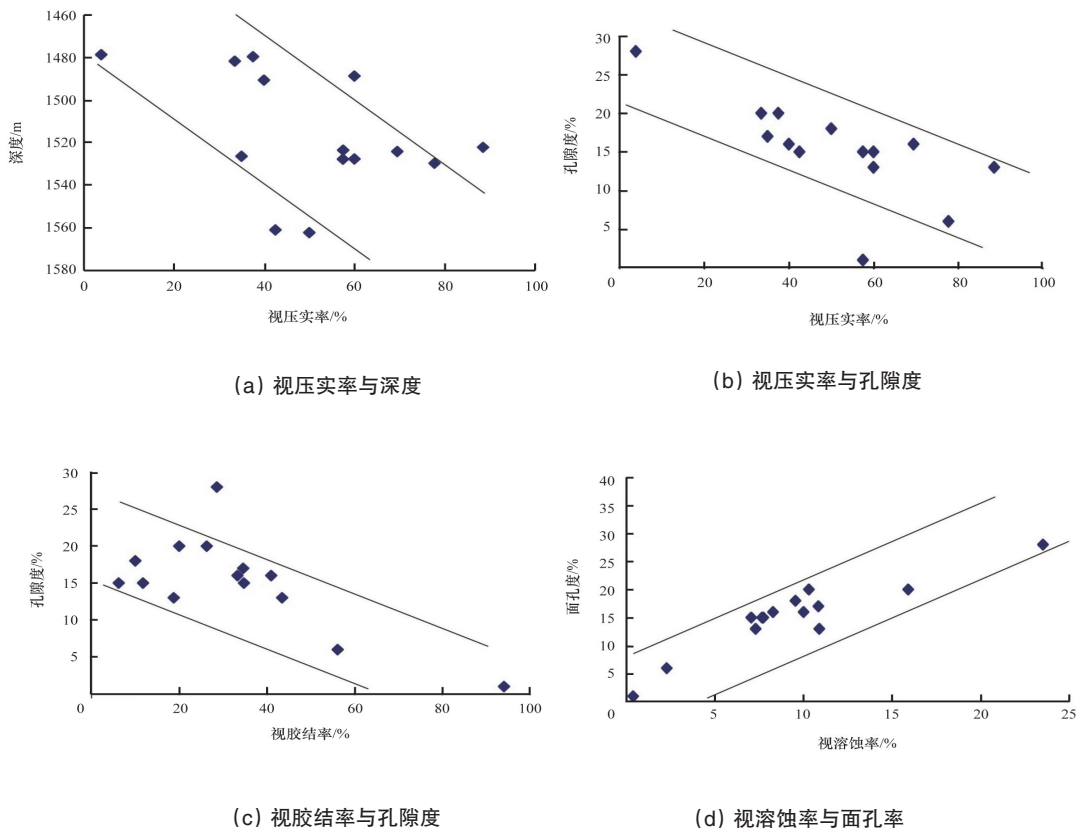


图7 不整合半风化岩石成岩作用与深度、孔隙度关系

Fig. 7 Diagram of correlation among diagenesis strength, depth and porosity of semi-weathered rock of unconformity

注：“---”为趋势线

表4 三叠系顶部不整合半风化岩石成岩强度定量判定统计表

Table 4 Statistics of diagenesis strength of semi-weathered rock of unconformity above Triassic

视压实率/%		视胶结率/%		视相对溶蚀孔隙度/%	
平均值	强度	平均值	强度	平均值	强度
67.28	强	42.97	中	65	强

### 3.3 成岩作用强度对比

#### 3.3.1 胶结作用与压实作用

通过上述分析,虽然明确了压实强度和胶结强度与孔隙度均呈负相关性,但两者对于研究层段减孔量之间的对比孰强孰弱还不清楚,需要进行进一步的分析。研究过程中,使用了压实减孔量和胶结减孔量两个参数来分别衡量两者对孔隙度的降低程度,而以上两参数的数值是可通过原始孔隙度恢复和估算胶结物含量来得到的<sup>[7]</sup>。

经过计算与分析,得到压实作用与胶结作用对比图(图8(a))。对比图中以左上-右下对角线为界,如果样品点落在对角线下方说明压实作用强度大于胶结作用强度,而若样品点落在对角线上方结果则相反。研究表明,夏9井区三叠系

顶部不整合半风化岩石样品投点后全部落在对角线下方,表示压实减孔量大于胶结减孔量,说明压实作用是使储层物性变差的首要成岩作用。

#### 3.3.2 溶蚀作用与胶结作用

在明确压实减孔量大于胶结减孔量的基础上,进一步分析溶蚀增孔量与胶结减孔量的作用强弱。研究过程以溶蚀面孔率来衡量溶蚀作用,以胶结物含量来衡量胶结作用,经过计算得到胶结作用与溶蚀作用对比图(图8(b))。如图8(b)所示,使用溶孔面积与胶结物的面积对比来衡量溶蚀作用与胶结作用的强弱,对比分析后认为夏9井区三叠系顶部不整合半风化岩石溶蚀作用的增孔作用强于胶结作用的减孔作用。

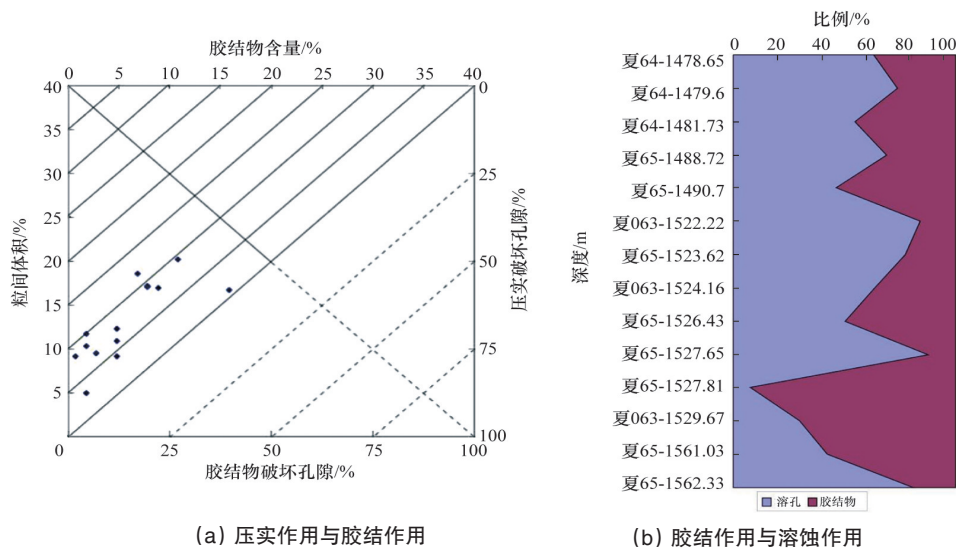


图8 半风化岩石成岩作用强弱对比评价

Fig. 8 Evaluation map of diagenesis strength in semi-weathered rock

#### 4 结论

1) 压实、胶结、溶蚀和破裂作用对研究区三叠系顶部不整合半风化岩石的物性影响作用明显,其中压实、胶结作用与孔隙度呈负相关,溶蚀、破裂作用与孔隙度呈正相关;而交代作用对半风化岩石物性的影响效果较小。

2) 根据研究区成岩作用强度定量判定标准,三叠系顶部不整合半风化岩石的压实作用对原生孔隙破坏作用较大,强度级别为强;以菱铁矿为主要类型的胶结物堵塞了大量孔隙,其胶结强度级别为中等;视相对溶蚀孔隙度较高,溶蚀强度级别为强;可见少量微裂缝,破裂作用级别弱。

3) 综合多种成岩作用的定性分析与定量分析对比结果,认为研究区成岩作用对三叠系顶部半风化岩石孔隙度影响程度的先后顺序为:压实作用>溶蚀作用>胶结作用>破裂作用。

#### 参考文献(References)

[1] 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[J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(3): 270-276.  
Wu Kongyou, Zha Ming, Hong Mei. Structural models of unconformity and recurrent diagenesis of semi-weathering rock in Junggar basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27(3): 270-276.

[2] 杨勇, 查明. 准噶尔盆地乌尔禾-夏子街地区不整合发育特征及其在油气成藏中的作用[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 304-309.  
Yang Yong, Zha Ming. Development of unconformity and its effect on the migration and accumulation of hydrocarbon in Wu'erhe- Xiazijie area, Junggar basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 304-309.

[3] 程晓玲. 粘土矿物成岩作用对油气储集性和产能的影响——以苏北盆地台兴油田阜三段储层为例[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 164-168.  
Cheng Xiaoling. Influence of the diagenesis of clay minerals on

reservoirs and productivity - A case study on the fu-3 reservoirs of taixin oilfield, the north Jiangsu basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2003, 25(2): 164-168.

[4] 李汶国, 张晓鹏, 钟玉梅. 长石砂岩次生溶孔的形成机理[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 220-229.  
Li Wenguo, Zhang Xiaopeng, Zhong Yumei. Formation mechanism of secondary dissolved pores in arcose[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2): 220-229.

[5] Kupecz J A, Gluyas J, Bloch S. Reservoir quality prediction in sandstones and carbonates: An overview[M]//AAPG Memoir 69: Reservoir Quality Prediction in Sandstones and Carbonates. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, 1997: 7-24.

[6] 刘林玉, 陈刚, 柳益群, 等. 碎屑岩储集层溶蚀型次生孔隙发育的影响因素分析[J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 97-101.  
Liu Linyu, Chen Gang, Liu Yiqun, et al. Analysis on influencing factors of solution-type secondary pore-evolution in clastic reservoirs[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2): 97-101.

[7] 陈杰. 准噶尔盆地克夏断裂带成岩作用对不整合输导性能的影响[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2011.  
Chen Jie. The Impacts of diagenesis on carrying capability of unconformity of Kexia fault belt in Junggar basin [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2011.

[8] 李德江, 杨威, 谢增业, 等. 准噶尔盆地克百地区三叠系成岩相定量研究[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(4): 468-473.  
Li Dejiang, Yang Wei, Xie Zengye, et al. Quantitative study on Triassic diagenetic facies in the Kebai region, northwest Junggar basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(4): 468-473.

[9] 金振奎, 刘春慧. 黄骅坳陷北大港构造带储集层成岩作用定量研究[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(5): 581-587.  
Jin Zhenkui, Liu Chunhui. Quantitative study on reservoir diagenesis in northern Dagang structural belt, Huanghua depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(5): 581-587.

(责任编辑 侯澄芝)