

文章编号: 1000-0550(2010) 03-0547-09

准噶尔盆地西北缘克百地区三叠系储层溶蚀作用特征及孔隙演化

朱世发^{1,2} 朱筱敏^{1,2} 王一博³ 徐兆辉⁴ 李德江⁵ 鲜本忠^{1,2} 龚文强^{1,2}

(1 油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249; 2 中国石油大学(北京)资源与信息学院 北京 102249; 3 中国海洋石油(中国)有限公司研究中心 北京 100027; 4 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 5 中国石油勘探开发研究院廊坊分院 河北廊坊 065007)

摘要 基于岩石薄片、铸体薄片、扫描电镜等镜下特征分析,对准噶尔盆地西北缘克百地区三叠系溶蚀作用特征进行了系统的分析。三叠系溶蚀作用发育普遍、现象丰富、对储层改造作用明显,是研究区最为重要的成岩作用类型。“成分成熟度低、结构成熟度中等偏下”的岩石学特征是成岩作用的沉积基础。长石的溶蚀在该区最为常见,胶结作用弱、局部见方解石和方沸石溶蚀,碱性条件下石英弱溶蚀。溶蚀作用对储层的改造决定了克百断裂上、下盘三叠系储层的孔隙空间类型和孔隙的垂向演化。岩石类型、泥质含量和沉积微相等因素控制储层中溶蚀作用的发育程度及分布。

关键字 准噶尔盆地 三叠系 储层特征 溶蚀作用 孔隙演化

第一作者简介 朱世发 男 1982 年出生 博士研究生 沉积学与层序地层学 E-mail zhushifa_zs@163.com

中图分类号 P588.2 TE122.2⁺3 **文献标识码** A

0 引言

储集层中次生孔隙普遍存在的发现,改变了储层质量随深度增加一定变差的观点,从理论上为寻找较深部油气藏提供了依据,拓宽了勘探的领域,对油气勘探具有重要而深远的影响。自 1979 年 Schmidt 提出砂岩次生孔隙这一概念以来^[1],国内外学者对其产生的机制及应用进行了较为系统的研究。Boles 研究了加利福尼亚州南部和德克萨斯州中新世盆地,认为斜长石是形成次生孔隙的重要矿物,斜长石沿解理面比垂直解理面的溶解快 2~3 倍,溶解后析出高岭石和形成石英次生加大^[2]。Surdan 研究了美国墨西哥湾地区上侏罗统储层,认为烃类储层中硅酸盐骨架颗粒的溶解可构成孔隙的重要部分^[3]。朱国华研究了陕甘宁盆地三叠系储层,特别强调浊沸石胶结物溶蚀型次生孔隙对油气勘探具有重要意义^[4]。邱桂强研究了东营凹陷古近系成岩层序特征,探讨层序界面附近和层序内部成岩作用特别是溶蚀作用发生的一般规律,认为油气储层的物性受成岩相和成岩层序控制^[5]。钟大康和朱筱敏对塔里木盆地满加尔凹陷志留系砂岩研究发现,早期碳酸盐胶结作用对次生孔隙的形成及孔隙演化具有明显的控制作用^[6]。综上所述,

述,储层次生孔隙的形成受控于成岩作用,而其中溶蚀作用的影响处于主导地位。

三叠系是准噶尔盆地主要的油气储集层^④,油气总资源量分别为 17.524×10^8 及 $3102 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中,近一半的石油资源分布在西北缘断裂带,而克夏断阶带又占绝对优势。在西北缘,三叠系的石油发现率最高为 37%,天然气为 2%,大量的油气资源尚未发现。因此,三叠系的油气勘探潜力不容忽视。前人对西北缘克一百地区三叠系储层进行了大量的研究工作,但对孔隙类型和次生孔隙成因缺乏针对性和系统的分析。该区近源粗粒碎屑岩储层非均质性强,原生孔隙破坏严重,次生孔隙发育程度决定储层质量。本文在前人研究的基础上^[7-10],对全区 96 口井的 1163 块铸体薄片、45 口井的 310 块扫描电镜等样品镜下观察,首次深入分析研究区三叠系成岩溶蚀作用特征,明确其造成储层质量差异的成因机理和控制因素,预测次生溶蚀孔隙发育相带及优质储层分布,为西北缘在斜坡区中深层进行精细油气勘探研究,提供科学的地质依据。

1 地质背景

克一百地区位于准噶尔盆地西北部,属于盆地西

¹ 中国石油天然气股份公司重点科技攻关项目(编号:2005-2009)资助。

^④ 张义杰,王绪龙,薛新克,等.准噶尔盆地近三年油气勘探成果与后三年勘探方向.中国石油新疆油田分公司,2003:68-72

收稿日期:2009-03-20 收修修改稿日期:2009-07-03

部隆起区内的克—夏断阶带二级构造单元, 勘探面积 2 005 km²。克—夏逆掩断裂带属挤压—推覆型断裂, 形成于海西中晚期, 印支期构造格局定型, 活动终止于燕山运动中期。形成早、活动期长, 使其兼有逆掩性质和同生断裂性质, 为油气形成、储盖和运移聚集提供了良好的条件, 形成宽阔的西北缘油气富集带^[11-13]。在断裂带上盘地区, 缺失二叠系, 部分地区缺失三叠系、侏罗系。研究层段三叠系埋深 60~2 290 m, 沉积厚度 0~600 m; 在下盘地区, 地层整体发育完整, 三叠系埋深在 1 200~3 750 m 范围, 沉积厚度 500~1 000 m。上、下盘地层沉积厚度、埋藏深度差异明显(图 1)。

2 岩石学特征

克百地区三叠系从老山至玛湖凹陷主要发育冲

积扇、辫状河、辫状河三角洲、三角洲和滨浅湖 5 类储层^[9]。岩性总体为近物源、粗碎屑岩, 主要以不等粒砾岩、砂质砾岩和砂岩为主, 储集砂体空间展布受沉积相控制。三叠系自下而上发育百口泉组、克拉玛依组和白碱滩组, 其中百口泉组和白碱滩组上段在断裂上盘缺失, 下盘发育冲积扇、辫状河等近源沉积。其他层段上盘为粗岩相沉积; 下盘砂体搬运距离增加, 粒度略细, 岩性以(辫状河)三角洲中—细砂岩为主。

三叠系储层碎屑颗粒中含有大量各类岩屑, 包括凝灰岩、花岗岩、弱变质泥岩和弱变质砂岩岩屑等, 组分大于 50%。长石含量一般在 11% 左右。储层磨圆次棱角—次圆、分选差, 接触关系以点—线接触为主, 压实强度中等—弱。结构组分中, 填隙物含量少, 其中胶结物平均含量为 2.3%; 杂基平均含量不到 6.5%。

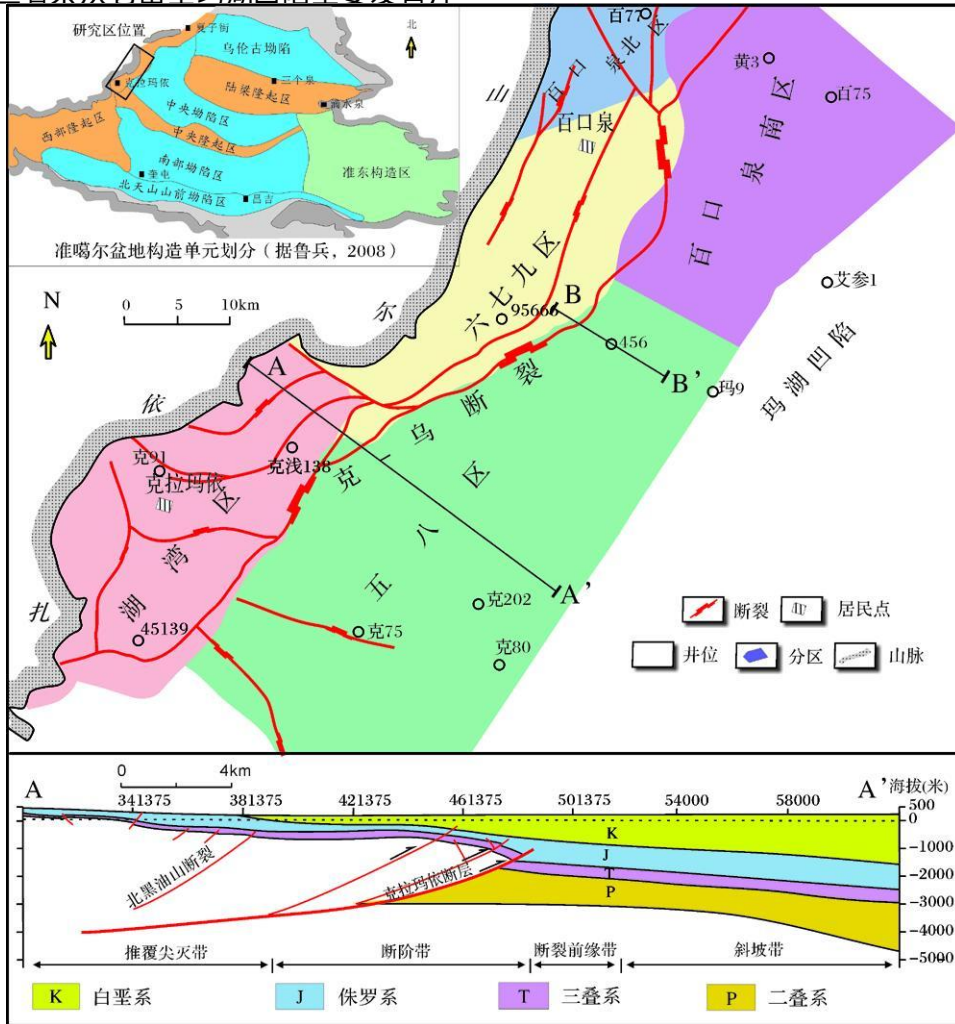


图 1 准噶尔盆地西北缘克—百地区位置图及构造剖面图

Fig 1 Geological sketch and tectonic section of NW margin, Junggar basin

下盘地层与上盘相比, 岩屑组分有所降低, 但岩性仍为岩屑砂岩, 少量为岩屑长石砂岩; 在机械分异作用和沉积微相控制下, 成熟度略有增高。总体三叠系储层具有“成分成熟度低、结构成熟度中等偏下”的岩石学特征。

3 成岩溶蚀作用特征

受工区内断裂和酸性地下水^[7, 14]的影响, 三叠系溶蚀现象普遍发育, 对储层的成分、结构、构造及次生孔隙的形成影响十分突出。其中, 对矿物成分的改造主要表现在以下两个方面: ① 不稳定组分(长石、火山岩屑、云母等)及胶结物溶蚀; ④ 自生矿物(自生石英、石英自生加大、自生粘土矿物)析出。

3.1 长石和胶结物溶蚀

1) 长石溶蚀现象普遍发育

长石的溶蚀在本区最为常见。表现为酸性地层水沿解理缝或双晶结合面开始渗透、溶解, 然后向中心扩展, 形成斑点状、蜂窝状、条纹状、长条状粒内溶孔(图 2a b)。本区的粒内溶孔大部分为长石溶蚀贡献。部分孔隙水沿颗粒边缘继续溶蚀, 形成扩大的粒间孔。长石部分溶蚀后尚见长石残晶, 而有的颗粒大部分或完全溶蚀, 最后形成铸模孔。这种铸模孔或特大溶孔的形成是因为在有机酸溶液中形成的络合物可将 Al^{3+} 带走, 使孔隙水对长石的溶解程度不断提高。长石的溶蚀常与高岭石沉淀和石英次生加大共生。

2) 胶结作用弱, 局部见方解石和方沸石溶蚀

研究区胶结物含量较少, 平均含量小于 2.3%。其中以碳酸盐胶结物为主, 相对含量大于 85%, 包括方解石, 菱铁矿, 其次为黄铁矿胶结物、沸石类胶结物和硅质胶结物。沸石类胶结物出现在富火山物质及长石的五八区和七区东部, 见方沸石和浊沸石, 以方沸石较为常见。沸石形成于低温、强碱性环境中, 在火山岩气孔中常可见到沸石^[15]。本区火山凝灰岩受蚀变时可大规模形成沸石, 因为火山凝灰岩粒度细, 并含有大量低温时不稳定的矿物, 在受溶液作用迅速分解后可放出大量 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子, 使溶液呈强碱性, 很有利于沸石的形成。在本区二叠系含火山岩层系, 沸石及沸石溶蚀现象更为常见。

方解石和方沸石胶结物在本区酸性水作用下, 发生溶蚀, 溶蚀量受胶结物含量限制而较少(图 2c d)^[16]。

3) 碱性条件下石英弱溶蚀

在溶蚀作用的后期, 流体由酸性转化为碱性^[7],

稳定的石英颗粒也被选择性溶蚀, 其特征表现为晶体具有不规则的外缘, 边脊磨钝; 表面有溶蚀凹坑, 呈桔皮状(图 2e, f)。一般酸性溶蚀作用发生在前期, 碱性溶蚀作用发生在晚期; 酸性溶蚀为进一步碱性溶蚀提供了良好的“通道”。

本区孔隙水以酸性溶液为主, 局部地区转为弱碱性, 因此, 石英的溶蚀对孔隙空间的贡献较小, 只是一定程度上改造了喉道的大小。

3.2 自生矿物的形成

在次生溶蚀孔隙发育带附近, 高岭石的含量有增高趋势, 这是因为伴随颗粒、杂基等不稳定组分的溶蚀, 释放出大量化学组分加入孔隙水中, 如 Si^{4+} 、 Al^{3+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 等离子, 孔隙水性质发生明显的改变, 形成如高岭石等一系列的自生矿物。在薄片上主要根据附近存在有充填孔隙的高岭石以及自生石英或石英加大边来说明有铝硅酸盐颗粒(包括长石和多种岩屑)溶解。长石溶蚀后向高岭石转变现象在本区十分常见(图 2g)。

由铝硅酸盐溶解产生的次生孔隙, 很大程度上改善了储层储集空间, 但局部地区增孔较少, 可以认为是原有孔隙的“重新分布”。这是因为自生矿物的形成常对储层起破坏作用, 新生的粘土矿物可能阻塞喉道, 使渗透率大为降低^[17]; 自生石英晶体和石英的次生加大抢占了新增或原有的孔隙空间(图 2h)。本区石英次生加大和自生石英虽然分布广泛, 形成时间也延续较长, 但是含量甚低, 发育不完整, 因此, 它们对储层孔隙空间影响不是很大。

4 次生溶蚀孔隙及孔隙演化

4.1 次生溶蚀孔隙

克百地区三叠系储层以中孔中渗为主要特征, 孔隙度平均值为 14%, 渗透率平均为 $140 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。孔隙空间按成因可划分为原生孔隙和次生孔隙两种类型。次生孔隙又可细分为溶蚀型次生孔隙和非溶蚀型次生孔隙, 后者主要为构造、成岩或粘土矿物脱水而成。

通过对全区 96 口井 1163 块铸体薄片孔隙类型的研究, 认为三叠系整体以次生溶蚀孔隙为主, 其中粒间溶孔、粒内溶孔占储集空间的比例最大, 累计近 70%; 而原生孔隙(包括晶间孔)相对含量较少, 不足 20%。非溶蚀型次生孔隙类型如界面孔、收缩孔、微裂缝等, 所占比例为 14.3%(图 3)。这里主要讨论与溶蚀作用相关的次生溶蚀孔隙。

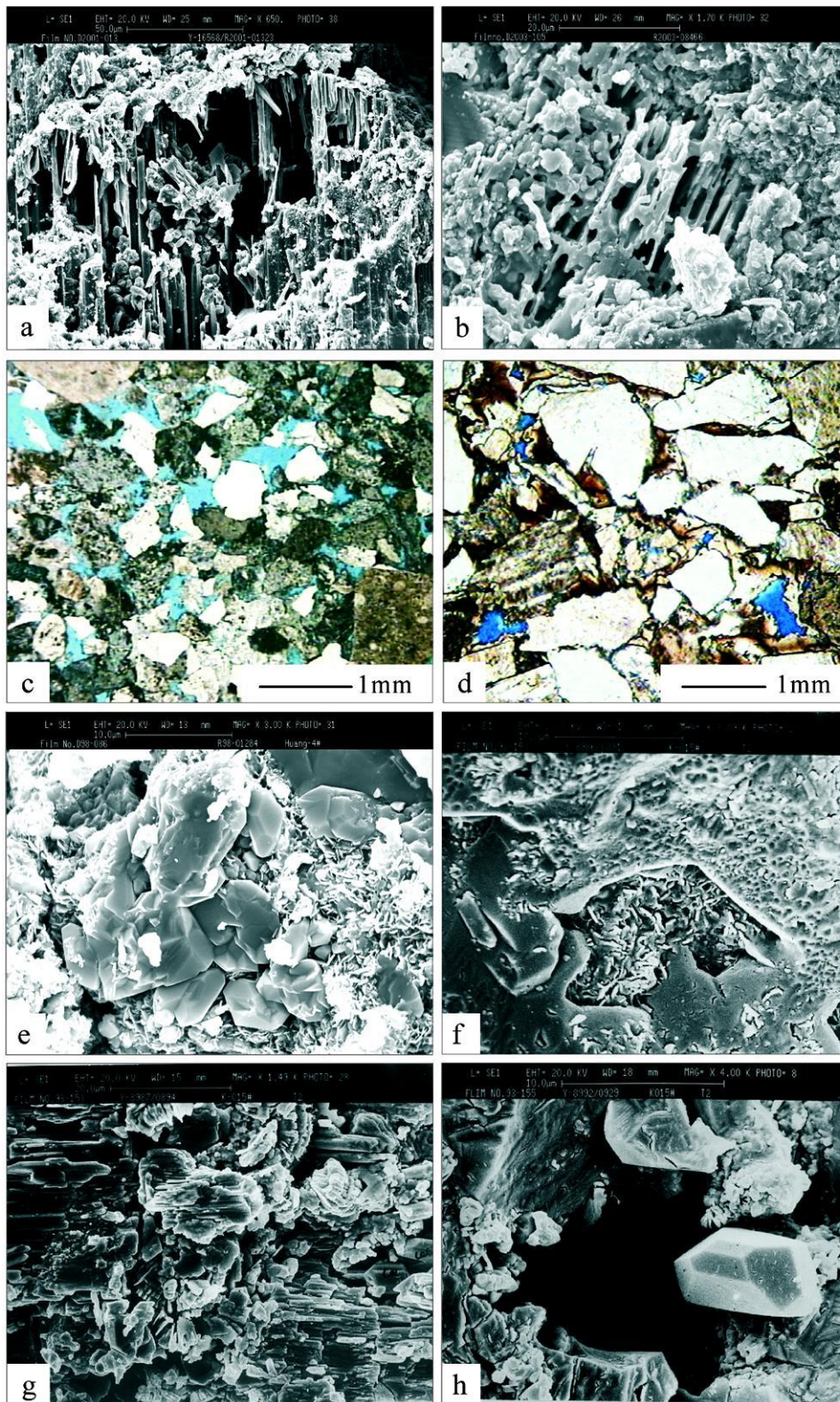


图 2 西北缘克百地区三叠系储层典型溶蚀作用镜下照片

a 长石溶蚀, 538井, 1 339. 61m, $\times 650$; b 长石溶蚀, 克 88井, 2 930. 93m, $\times 1 700$ c 方解石溶孔, 克 91井, 72 04m, $\times 25(-)$; d 方沸石溶孔, T8084井, 2251 81m, $\times 40(-)$; e 石英晶体遭受溶蚀, 黄 4井, 1 579. 62m, $\times 3 000$ f 石英表面溶蚀与叶片状绿泥石, 克 015井, 1 949. 78m, $\times 3 090$ g 长石 \rightarrow 高岭石转化, 克 015井, 1 986. 97m, $\times 1 490$ h 粒间孔及自生石英, 克 015, 2 035 1m, $\times 4 000$

Fig. 2 Typical microscope photographs of Triassic dissolution in Ke-Bai area (northwestern margin of Junggar Basin)

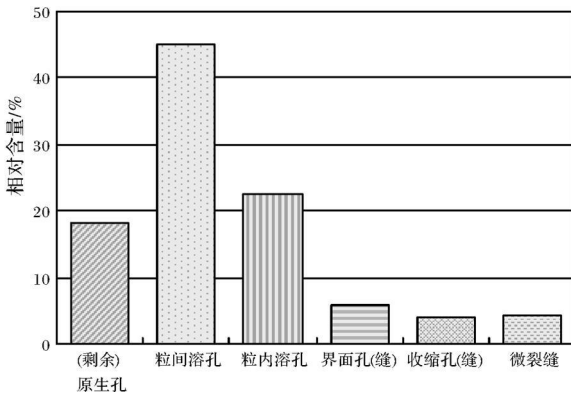


图 3 克百地区三叠系孔隙类型及相对含量

Fig 3 Classification and relative content of reservoir pores in the Triassic reservoir in Ke-Bai area

1) 粒间溶孔

由三部分储集空间组成, 包括溶蚀扩大孔、基质溶孔和碳酸盐胶结物溶孔。

溶蚀扩大孔又称改造粒间孔隙, 主要指在原生粒间孔基础上, 铝硅酸盐组分被部分溶蚀而形成的孔隙, 见明显的溶蚀边界, 是混合成因的孔隙类型(图 4a)。又因这种孔隙主体为原生粒间孔, 只是边缘溶蚀了部分颗粒而使其扩大, 也有人将其划为原生孔一类^[7]。溶蚀扩大孔是本区最主要和最重要的孔隙类型, 对提高储层孔隙度和渗透率具有重要的作用。

基质溶孔或杂基溶孔, 一般为一些较为细小的微孔, 在铸体薄片上基质显示为不均匀的浅蓝色, 主要见于填隙物高含量层, 对于储集空间贡献不大。

胶结物溶孔, 在本区不发育, 仅部分地区和层段出现, 这与胶结物含量少且碳酸盐类矿物相对长石等硅酸盐矿物难溶蚀有关。

2) 粒内溶孔

本区粒内溶蚀主要表现为岩屑的筛状溶蚀和长

石沿解理缝的溶蚀; 其中, 长石的沿其解理缝溶解、残余现象最为普遍(图 4b)。因此, 长石的粒内溶孔也是本区发育最为重要的孔隙类型。但粒内溶孔发育地区局限, 其对孔隙空间的贡献小于粒间溶孔。镜下观察, 本区铸模孔少见。

在本区见交代物溶蚀现象, 表现为早期易溶矿物交代了颗粒后被溶解形成粒内溶孔。这种溶蚀主要是对碳酸盐交代物的溶蚀。粒间的方解石或白云石交代石英和长石颗粒, 将颗粒边缘溶蚀成锯齿状或鸡冠状的不规则外形。后期这些交代物被酸性孔隙水部分或全部溶解, 形成粒内溶孔。

4.2 储层孔隙演化

克一百逆掩断裂带上、下盘三叠系因埋藏史不同, 其现今所处的成岩阶段也有差异(图 1)。上盘地层长期遭受风化剥蚀, 埋深一般小于 2 200 m, 伊蒙混层比多介于 15% ~ 50%, 现今处于早成岩 B 亚期; 下盘地层发育完整, 埋深在 1 200 ~ 3 600 m 之间, 由镜质体反射率 R_o 值多介于 0.5% ~ 1.3% 判断, 下盘地层现今大部分处于中成岩 A 亚期。

随着埋深的增加, 压实作用增强, 原生孔隙空间损失量越来越多。克百地区三叠系储集层中发育的强烈的溶蚀作用, 改变了储层质量随深度增加逐渐变差的趋势, 使储集空间在垂向上由原生孔隙过渡为原生一次生混合孔隙, 再到以次生孔隙为主。由于断裂带上下盘地层沉积环境、埋藏史、储层成岩作用的差异, 造成储层孔隙垂向演化及其分布规律在断裂带上、下盘之间存在较大差异。

1) 断裂上盘孔隙演化特征

断裂上盘埋深浅, 压实作用强度弱, 原生粒间孔保存相对完整, 溶蚀孔隙多以溶蚀扩大孔形式出现。在断裂上盘以原生孔隙为主的储层主要分布在 500 m 以上(图 5)。储集空间以压实剩余原生孔隙为特

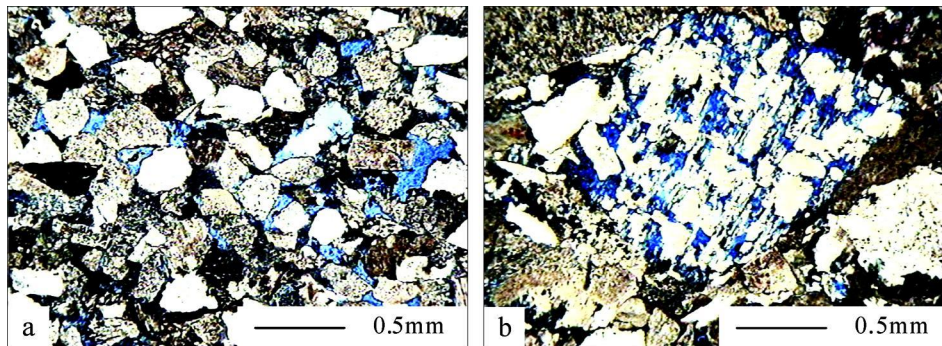


图 4 克百地区三叠系储层溶蚀孔隙铸体照片

a 粒间溶孔, 克 801 井, 1 844.92 m, $\times 40(-)$; b 粒内溶孔, 克 303 井, 3 532.99 m, $\times 40(-)$

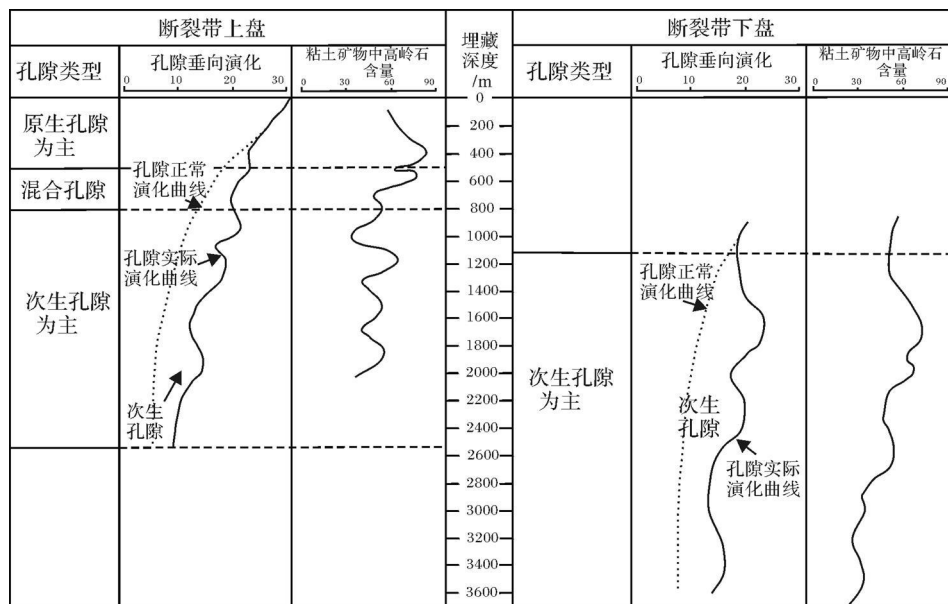


图 5 克百地区断裂带上、下盘三叠系储层孔隙垂向演化与分布特征

Fig 5 Vertical distribution and evolution of pores on different walks of the fault belt of Triassic in Ke-Bai area

征,溶蚀孔隙所占比例小于 30%。储层平均孔隙度为 22%,平均渗透率为 $639 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;在断裂上盘埋深 500~800 m,次生溶蚀孔隙含量增加,形成混合孔隙类型即溶蚀孔隙含量为 30%~50%的孔隙类型。在埋深大于 800 m,随着溶蚀作用增强,次生孔隙含量大于 50%,以粒间溶蚀和粒内溶孔组合的形式出现,表现为中等溶蚀强度。

在断裂上盘储层埋深 500~2500 m 深度范围,发育三期明显的次生孔隙发育带:900~1100 m、1200~1350 m、1800~2150 m,平均孔隙度分别为 16%、14.4%和 12.1%,整体比正常压实高出 3%~10%。次生孔隙发育程度与碳酸盐含量不存在明显的消长关系,而与高岭石含量呈较好的正相关关系。高岭石含量总体随埋深增加而减少,但局部层段含量增多,一定程度上反映了长石的大量溶蚀。

次生溶蚀孔隙为主的储层出现在埋深浅 (<800 m)的地层中,是由于本区浅层受断裂沟通,易接受大气淡水的淋滤;同时下伏二叠系泥岩内有机质开始成熟并形成有机酸,沿断裂、不整合向上和侧向运移,加之储层组分中粘土矿物少,孔喉结构好,便于流体流动,遇长石等不稳定矿物,次生溶蚀孔随之出现^[18]。

2) 断裂下盘孔隙演化特征

断裂下盘埋深较深,压实作用强,原生孔隙所占比例减少,次生溶蚀孔隙为主要孔隙类型。

在断裂下盘埋深 1200~3600 m 深度范围,也发

育三期明显的次生孔隙发育带:1500~1800 m、2100~2500 m和 3050~3500 m,平均孔隙度分别为 13.8%、11.5%和 9.2%,总体比正常压实高出 5%~10%。次生孔隙发育程度与碳酸盐含量不存在明显的消长关系,而与高岭石含量呈较好的正相关关系,说明断裂下盘溶蚀作用的主要对象也非碳酸盐胶结物而是长石。高岭石随埋深增加向伊利石转化,但局部层段含量增多,一定程度上反映了长石的大量溶蚀。

通过镜下观察发现,三期次生孔隙发育带中前两期除了与溶蚀作用有关外,还与构造、成岩及粘土矿物脱水作用形成的微裂缝、界面孔和收缩孔有关。

5 溶蚀作用影响因素初探

克百地区三叠系储层中的溶蚀作用发育程度及分布除受断裂和流体性质控制外,还受岩石类型、泥质含量和沉积微相等因素影响。

1) 岩石类型的影响

通过对全区 96口井 1163块铸体薄片观察、分析发现,岩性对溶蚀作用具有明显控制作用。在单因素分析的情况下,三叠系粒度细(如细砂岩和粉砂岩)的储层中,溶蚀作用难以大规模发育,孔隙空间中其溶蚀孔隙比重小于 35%。分析原因是因为粒度细,抗压实能力差,岩石原生孔隙保存不完整,酸性流体不易于进入储层,使溶蚀作用难以进展。相比之下,

中砂岩或分选较好的砂砾岩, 溶蚀孔隙较为发育, 溶蚀孔隙含量可大于 60%。

2) 泥质含量的影响

在水动力条件较弱的地带, 由于砂岩分选往往较差, 含大量外源杂基, 不但砂岩的孔隙度很低, 孔隙之间的连通性也很差, 使孔隙中流体很难大量通过, 因此, 这类砂岩中次生孔隙常常不发育。由溶蚀孔隙含量与杂基含量交汇图可知, 数据分布在三个区 (图 6): iv区数据点占总数据近一半, 溶蚀孔隙含量大于 40%, 杂基一般少于 7%; ㊦区溶蚀孔隙含量小于 40%, 杂基含量介于 3% ~ 16%; ㊧区溶蚀孔隙含量大于 60%, 杂基含量介于 7% ~ 15%。通过分析我们发现, 溶蚀孔隙含量高, (外源) 杂基含量通常较少 (图 6 见 iv区), 随着溶蚀量的增加, 能够产生一定量的自生高岭石, 使杂基总量增加 (图 6 见 ㊧区)。这里的杂基含量为原杂基和淀杂基含量之和。

3) 沉积相带的影响

沉积提供了溶蚀作用发生的地质环境和溶蚀孔隙得以产生的物质基础。通常在水动力作用较强较稳定的河道沉积, 如六七九区、湖湾区和五区辫状河道及 (辫状河) 三角洲前缘水下分支河道沉积, 其砂岩分选好, 杂基含量低, 沉积构造规律性明显, 长石、岩屑等骨架颗粒中次生溶孔比较发育 (图 2a b 和图 4), 溶孔类型多以溶蚀扩大孔和粒内溶蚀为主。以克 91 井辫状河沉积为例 (构造位置及相带参见图 7, 以虚线示出, 井位见图 1), 镜下观察 9 块铸体薄片发现, 在平均孔隙度为 20.2% 的砂岩储层中, 57% 的储集空间为溶蚀孔隙贡献。

在水动力条件并不是很弱但稳定性较差的地带, 如五八区和百口泉南区冲积扇、扇三角洲和滨浅湖砂体等, 砂岩分选性相对较差, 高含量的杂基制约了酸性流通的流动性和溶蚀强度, 溶蚀孔隙发育规模相对

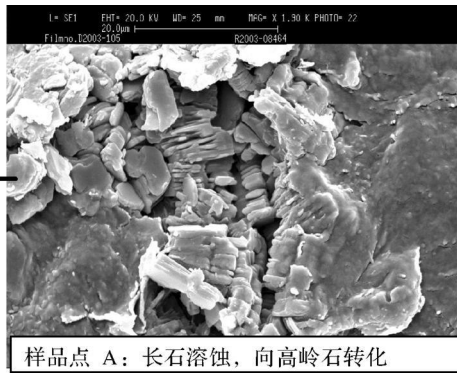
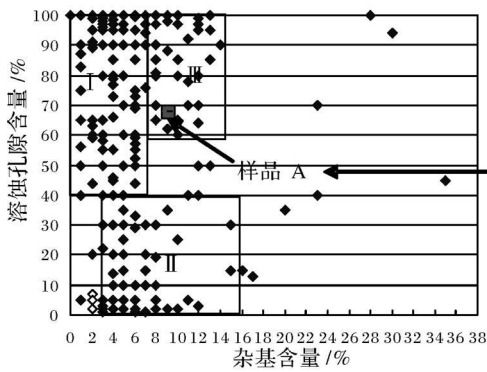


图 6 克百地区三叠系储层次生溶蚀孔隙与杂基含量关系图

Fig 6 The plot of Triassic dissolved pores content and matrix content in Ke-Bai area

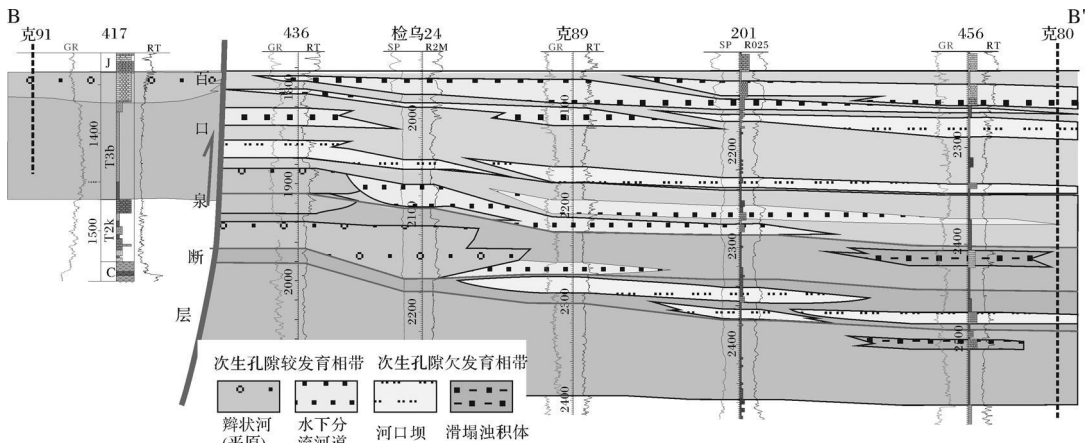


图 7 克百地区三叠系典型沉积剖面及储层溶蚀作用发育相带 (引自参考文献 [9], 有修改; 剖面位置见图 1 中 BB')

Fig 7 Typical sedimentary sections and facies of dissolution in the Triassic reservoir in Ke-Bai area (modified after references [9]; (BB' section location see Fig 1)

较小。除发育部分粒内溶孔外,可见方解石等胶结物被溶蚀后形成的粒间溶孔。以克80井滨浅湖砂体为例,孔隙类型主要为微裂缝、界面孔及少量压实胶结剩余原生孔,偶见基质溶孔,未见较大规模溶蚀孔发育。

综上,本区辫状河河道及(辫状河)三角洲前缘水下分支河道砂体中,泥质含量低、岩性为中砂岩或分选好的砂砾岩其溶蚀作用和次生溶孔最为发育,冲积扇、扇三角洲和滨浅湖砂体次之。在本区近源粗粒碎屑岩储层非均质性强、原生孔隙破坏严重的情况下,次生孔隙发育带即为有利储层发育带,次生孔隙的发现对本区中深层的油气精细勘探具有指导意义。

参考文献 (References)

- Schmidt V, MacDonald D A. Secondary reservoir porosity in the course of sandstone diagenesis. AAPG, continuing education course Note Series No. 12. 1979. 1-65
- Boles JR. Plagioclase dissolution related to diagenesis in the Northcocks Levee field, California [J]. AAPG Bulletin. 1991. 75(3): 544
- Surdan R C, Boese S W, Crossley L J. The chemistry of secondary porosity [C]// MacDonald D A, Surdan R C, eds. Clastic Diagenesis. AAPG Memoir. 1984. 37. 127-151
- 朱国华. 陕北油沸石次生孔隙砂体的形成与油气关系 [J]. 石油学报, 1985, (01): 1-8 [Zhu Guohua. Lithology characteristics and meaning of the Yanchang Formation in the Majiatan Area of the Ordos Basin [J]. Acta Petrologica Sinica. 1985. (01): 1-8]
- 邱桂强. 东营凹陷古近系成岩层序特征与储集差异性分析 [J]. 沉积学报, 2007, 25(6): 915-922 [Qiu Guiqiang. Analysis on Lower Tertiary diagenetic sequence characteristics and their differences of reservoirs in Dongying Sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica. 2007. 25(6): 915-922]
- 钟大康, 朱筱敏, 李树静, 等. 早期碳酸盐胶结作用对砂岩孔隙演化的影响——以塔里木盆地满加尔凹陷志留系砂岩为例 [J]. 沉积学报, 2007, 25(6): 885-890 [Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Li Shujing, et al. Influence of early carbonate cementation on the Evolution of sandstone—a case study from Silurian sandstones of Manjiaer depression Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica. 2007. 25(6): 885-890]
- 丘东洲, 张继庆, 王熙林, 等. 准噶尔盆地西北缘三叠—侏罗系储层沉积成岩与评价 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994. 1-107 [Qiu Dongzhou, Zhang Jiqing, Wang Xilin, et al. Triassic-Jurassic Reservoir Deposition and Diagenesis in Northwestern Margin Junggar Basin [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press. 1994. 1-107]
- 邹才能, 侯连华, 匡立春, 等. 准噶尔盆地西缘二叠—三叠系扇控成岩储集相成因机理 [J]. 地质科学, 2007, 42(3): 587-601 [Zou Caineng, Hou Lianhua, Kuang Lichun, et al. Genetic mechanism of diagenesis-reservoir facies of the fan-controlled Permian-Triassic in the western marginal area Junggar Basin [J]. Chinese Journal of Geology. 2007. 42(3): 587-601]
- 鲜本忠, 徐怀宝, 金振奎, 等. 准噶尔盆地西北缘三叠系层序地层与隐蔽油气藏勘探 [J]. 高校地质学报, 2008. 14(2): 139-146 [Xian Benzhong, Xu Huabao, Jin Zhenkui, et al. Sequence stratigraphy and subtle reservoir exploration of Triassic system in northwestern margin Junggar Basin [J]. Geological Journal of China Universities. 2008. 14(2): 172-180]
- 陈建平, 查明, 刘传虎. 准噶尔盆地西北缘克—乌断裂带油气分布控制因素分析 [J]. 地质找矿论丛, 2003. 18(1): 19-22 [Chen Jianping, Zha Ming, Liu Chuanhu. Controlling factors of petroleum occurrence in Ke-Wu fault belt in Northwestern Margin of Junggar Basin [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research. 2003. 18(1): 19-22]
- 谭开俊, 张帆, 吴晓智, 等. 准噶尔盆地西北缘缘山耦合与油气成藏 [J]. 天然气工业, 2008, 28(5): 10-13 [Tan Kaijun, Zhang Fan, Wu Xiaozhi, et al. Basin-range coupling and hydrocarbon accumulation at the northwestern margin of the Junggar Basin [J]. Natural Gas Industry. 2008. 28(5): 10-13]
- 况军, 张越迁, 侯连华. 准噶尔盆地西北缘克百掩伏带勘探领域分析 [J]. 新疆石油地质, 2008. 29(4): 431-434 [Kuang Jun, Zhang Yueqian, Hou Lianhua. Exploratory targets of Karamay-Bakouquan buried structural belt in northwestern margin of Junggar basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology. 2008. 29(4): 431-434]
- 鲁兵, 张进, 李涛, 等. 准噶尔盆地构造格架分析 [J]. 新疆石油地质, 2008. 29(3): 283-289 [Lu Bing, Zhang Jin, Li Tao, et al. Analysis of tectonic framework in Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology. 2008. 29(3): 283-289]
- 金爱民, 楼章华, 朱蓉, 等. 准噶尔盆地西北缘地下水化学分布特征 [J]. 天然气工业, 2006. 26(11): 14-17 [Jin Amin, Lou Zhanghua, Zhu Rong, et al. Distribution features of groundwater mineralization parameters at NW margin of the Junggar basin [J]. Natural Gas Industry. 2006. 26(11): 14-17]
- 戈定夷, 田慧新, 曾若谷. 矿物学简明教程 [M]. 北京: 地质出版社, 2006. 197-198 [Ge Dingyi, Tian Huixin, Zeng Ruogu. Concise Textbook of Mineralogy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006. 197-198]
- Shirley P Dutton. Calcite cement in Permian deep-water sandstones Delaware Basin, west Texas. Origin, distribution and effect on reservoir properties [J]. AAPG Bulletin, 2008. 92(6): 765-787
- Bloch S, Lander R H, Bornell L. Anomalous high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs. Origin and predictability [J]. AAPG Bulletin, 2002. 86(2): 301-328
- 闫建萍, 刘池阳, 马艳萍. 成岩作用与油气侵位对松辽盆地齐家—古龙凹陷扶杨油层物性的影响 [J]. 沉积学报, 2009. 27(2): 212-220 [Yan Jianping, Liu Chi yang, Ma Yan ping. Influence of diagenesis and hydrocarbon emplacement on the quality of the Fuyang reservoir in Songliao basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica. 2009. 27(2): 212-220]

Dissolution Characteristics and Pore Evolution of Triassic Reservoir in Ke-Bai Area, Northwestern Margin of Junggar Basin

ZHU Shi-fa^{1,2} ZHU Xiao-min^{1,2} WANG Yi-bo³ XU Zhao-hui⁴

LI De-jiang⁵ XIAN Ben-zhong^{1,2} GONG Wen-qiang^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting Beijing 102249;

2. Faculty of Natural Resource and Information Technology, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249;

3. Beijing Research Center, CNOOC Ltd(China), Beijing 100027;

4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083;

5. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Langfang Branch, PetroChina, Langfang Hebei 065007)

Abstract Based on a large number of thin-sections, casting thin-sections and scanning electron photomicrographs observation, the characteristics of Triassic dissolution in Ke-Bai area, northwestern margin of Junggar Basin are systematically studied. Triassic dissolution is generally developed in Ke-Bai area with abundant typical phenomena and reservoir is obviously re-formed, so dissolution is the most important type of diagenesis in the study area. The lithology characteristics of "low compositional maturity, low-middle textural maturity" provide a sedimentary basis for diagenesis. The dissolution of feldspar is the most common in the area and cementation is weak, with little calcite and analcime dissolution, quartz is slightly dissolved under a alkaline condition. The type of pore space and the vertical evolution of porosity on different walls of the fault belt are determined by dissolution. The intensity and distribution of dissolution was affected by the rock type, matrix content, microfacies and other factors.

Key words Junggar basin; Triassic; reservoir characteristics; dissolution; pore evolution