

文章编号:1673-5005(2007)05-0007-05

济阳坳陷中生界碎屑岩储层特征及其控制作用

王艳忠¹, 操应长¹, 陈世悦¹, 王蓬², 王淑萍³

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 胜利油田分公司 物探研究院, 山东 东营 257022;
3. 胜利油田有限公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:通过岩心观察、薄片鉴定、扫描电镜分析、X-衍射分析等手段,对济阳坳陷中生界碎屑岩储层特征及其控制作用进行了分析。结果表明,济阳坳陷中生界主要发育了冲积扇、扇三角洲、河流、三角洲等储集砂体,碎屑岩储层主要经历了压实压溶、胶结、交代及溶解等成岩作用,该区储集空间主要为溶解孔隙及裂缝,储集性能主要受沉积作用、构造作用和成岩作用控制。沉积作用是最重要的控制因素,其中三角洲砂体物性最好,河流砂体次之,冲积扇、扇三角洲及滨浅湖砂体物性较差;构造作用对储集物性的改造主要表现为断层活动和不整合,断层活动使储层形成大量裂缝,不整合面之下约100 m内储层物性明显提高;溶解作用受沉积和构造作用的控制,其对储层的改造程度与沉积相带及距不整合面的距离密切相关。综合考虑储层物性的控制作用,可将济阳坳陷中生界碎屑岩储层划分为4种类型,其中,I类储层为高孔中渗型,II₁和II₂亚类储层为中孔低渗型,II₃亚类储层为低孔低渗型,III和IV类储层为特低孔特低渗型。

关键词:济阳坳陷;中生界;碎屑岩储层;储层特征;控制因素;综合评价

中图分类号:TE 122.23 **文献标识码:**A

Clastic reservoirs characteristics and its control of Mesozoic in Jiyang depression

WANG Yan-zhong¹, CAO Ying-chang¹, CHEN Shi-yue¹, WANG Peng², WANG Shu-ping³

(1. Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China;
2. Geophysical Research Institute of Shengli Oilfield, Dongying 257022, Shandong Province, China;
3. Research Institute of Geological Science, Shengli Oilfield Company Limited, Dongying 257015, Shandong Province, China)

Abstract: On the basis of core observation, thin section arbitration, scanning electron microscope and X-diffraction analysis, the reservoir characteristics and control factors of clastic reservoir of Mesozoic in Jiyang depression were researched. The reservoir sandbodies of alluvial fan, fan delta, fluvial and delta were developed. The clastic reservoirs mainly went through strong compaction and pressure solution, cementation, metasomasis and dissolution. The analysis results of reservoir characteristics and its control factors of clastic reservoirs show that solution pores and fractures are main reservoir spaces, and sedimentation, tectonization and diagenesis control the porosity and permeability of clastic reservoirs. Sedimentation is the most important control factor, among other things, the porosity and permeability of delta sandbody are the highest, of the fluvial sandbody take second place, and of the alluvial fan, fan delta and shore-shallow lake are poor. The influence of tectonization on clastic reservoirs properties includes the fault activities and unconformities. Many fractures are formed because of fault moving, and the porosity and permeability of reservoirs locating about 100 m under unconformity interfaces increase obviously. Dissolution is controlled by both sedimentation and tectonization, and the converted degree on reservoirs is closely related to sedimentary facies and the distance from unconformity interfaces. Comprehensively considering the control of sedimentation, tectonization and diagenesis on reservoirs, the clastic reservoirs are divided into four categories, of which, type I is high porosity and medium permeability reservoir, type II₁ and II₂ are medium porosity and low permeability reservoir, type II₃ is

收稿日期:2007-03-19

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET)

作者简介:王艳忠(1980-),男(汉族),河北唐山人,博士研究生,从事矿物学、岩石学、矿床学研究。

low porosity and permeability reservoir, and type III and IV are the lowest porosity and permeability reservoir.

Key words: Jiyang depression; Mesozoic; elastic reservoirs; reservoir characteristics; control factors; comprehensive evaluation

济阳拗陷位于渤海湾盆地的西南部,中生代盆地经历了印支运动、燕山运动及喜马拉雅运动的多期次构造运动改造,原型盆地已经被完全肢解,地层遭受多期强烈剥蚀,发育多个区域不整合,属于典型的残余盆地^[1-3]。目前,济阳拗陷中生界已探明含油面积 15.0 km²,储量 1.671 × 10⁷ t,具有广阔的勘探前景。但是,碎屑岩储层经历多期复杂的构造作用和成岩作用的强烈改造后,原生储集空间消失殆尽,次生储集空间受沉积、构造和成岩作用等多因素的综合控制,分布规律极其复杂,导致中生界碎屑岩油气藏的发现更多地依靠兼探来实现。笔者在对济阳拗陷中生界碎屑岩储层的沉积特征、成岩特征、储集空间特征研究的基础上,总结沉积作用、构造作用、成岩作用对储层物性的控制,探讨储层综合分类评价方法,为济阳拗陷中生界油气勘探提供理论指导,同时也为残余盆地碎屑岩储层研究提供一套较为完善的研究思路。

1 储层特征

1.1 储层沉积特征

济阳拗陷中生代主要发育冲积扇、扇三角洲、河流、三角洲及湖泊 5 种沉积相类型^①。冲积扇相主要保存了扇中和扇缘沉积,扇中沉积物主要为杂色厚层砂砾岩和中粗粒砂岩,扇缘沉积物主要为含砾不等粒砂岩及紫红色泥岩。扇三角洲相主要保存了前缘沉积,岩性主要为灰色含砾砂岩及灰绿色泥质粉砂岩。河流沉积包括下部的河道沉积和上部的泛滥平原沉积,河道沉积物以杂色含砾粗砂岩及粗、中、细粒砂岩,含砾砂岩中砾石粒径多为 0.2 ~ 3 cm,最大为 5 cm,多为岩屑;泛滥平原沉积物以紫色、紫红色泥岩和粉砂岩为主。三角洲平原沉积物主要为灰色含砾砂岩、中细砂岩,含砾砂岩中砾石较少,砾石为次棱角状到次圆状,砾石直径为 0.3 ~ 1 cm;三角洲前缘水下分流河道沉积以浅灰色中粗砂岩为主;河口坝沉积以灰白色细砂岩为主,分选、磨圆较好;远砂坝沉积以灰色粉砂岩夹少量粉砂质泥岩为主。湖泊相主要为滨浅湖沉积,沉积物主要为灰色、紫杂色泥岩及暗紫色砂质泥岩、杂色泥质粉砂岩等,局部夹细砂岩薄层。

1.2 成岩作用特征

济阳拗陷中生界碎屑岩储层埋深跨度较大,如青城凸起顶面埋深为 1000 m 左右,孤北、桩海地区顶面埋深 3000 m 左右,机械压实作用差异性较强,在埋藏较浅的凸起区压实作用较弱,颗粒间以点接触和线接触为主。在埋藏较深的斜坡区和凹陷区压实程度较强,颗粒间以线接触和凹凸接触为主,长石、石英等刚性颗粒的脆裂以及云母、岩屑等塑性颗粒的弯曲和假杂基化等现象较常见,但在不整合面附近的砂岩以及杂基含量少的砂岩中,压实程度相对较弱,研究认为,是早期的胶结作用和流体的注入抑制了压实作用。

胶结作用包括硅质胶结、碳酸盐胶结、粘土矿物胶结等。硅质胶结主要表现为石英的次生加大,加大程度较强,局部可见石英的二次加大。长石也具有加大现象,并且常与石英次生加大现象共生。石英和长石的次生加大现象分布局限,对储层影响较小。碳酸盐胶结物以方解石和铁白云石为主,分布广泛,含量高(最高可达 25%)。总体上,方解石含量随埋深增加而减少,铁白云石随埋深增加变化不大。粘土矿物胶结主要表现为鳞片状高岭石胶结和栉壳状绿泥石胶结,高岭石胶结可以形成晶间孔隙,但其渗透性较差;绿泥石胶结物增多可减小孔隙半径,大大降低储层的渗透率。黄铁矿胶结常呈团块状出现,分布局限。

交代作用较为常见,主要有:(1)碳酸盐矿物交代石英、长石、岩屑等碎屑颗粒;(2)晚期碳酸盐矿物交代早期碳酸盐矿物,如铁方解石交代方解石;(3)粘土矿物交代碎屑颗粒,局部可见碎屑颗粒边缘呈港湾状。

济阳拗陷中生界碎屑岩储层经历了多期抬升,遭受剥蚀,在大气淡水和有机酸的作用下发生多期溶解作用,如埕北 30 井 2978.8 m 长石溶解孔隙中充填的方解石有二次溶解现象。溶解组分主要有长石、酸性喷出岩岩屑、安山岩及碱性喷出岩岩屑中的长石斑晶、碳酸盐矿物等。在凸起区,原生孔隙多被溶解作用改造成扩大的次生孔隙;在埋深较大的斜坡区或凹陷内部,不整合面附近以及原始储集性较好的砂岩中溶解作用强烈,次生孔隙发育。

①陈世悦,操应长,徐振忠,等. 济阳拗陷中生界沉积特征与储层研究. 中国石油大学(华东),2005.

1.3 储集空间特征

在岩心观察、薄片分析的基础上,将济阳拗陷中生界碎屑岩储层储集空间归纳为孔隙和裂缝两种类型。

1.3.1 孔隙特征

(1)原生孔隙。是指沉积物原始沉积时形成并保存至今的粒间孔隙。在压实程度较弱的凸起区原生粒间孔隙多被溶解作用改造成扩大的次生孔隙,如青城凸起高41-1井900~1350 m砂岩储层;而埋藏较深、压实作用强烈的凹陷区原生孔隙主要为杂基内微孔隙,原生粒间孔隙几乎消失殆尽。

(2)次生孔隙。是指岩石在埋藏过程中发生各种成岩作用(如溶解作用、矿物沉淀、重结晶作用等)所形成的储集空间,按成因可将其分为溶解孔隙和矿物晶间孔隙。

溶解孔隙是济阳拗陷中生界碎屑岩储层中最主要的储集空间,主要指在酸性地层水条件下,岩石中长石、岩屑以及碳酸盐矿物等易溶组分发生溶解作用形成的孔隙。长石颗粒常被溶解为港湾状、蚕食边状、蜂窝状或残余状,形成部分溶解孔隙、粒内孔隙、残余孔隙和铸模孔隙;酸性喷出岩岩屑常被溶解为蜂窝状;安山岩岩屑和碱性喷出岩岩屑中的长石微晶及基质均有溶解现象;方解石和菱铁矿常被溶解为蜂窝状、斑状或残余状,形成粒间溶解孔隙和超大孔隙。在埋藏较浅的凸起区主要为原生孔隙溶解扩大形成的次生孔隙;而在深埋藏区,次生孔隙较为复杂,各种类型均可见。

矿物晶间孔隙是由地层水中沉淀出的自生矿物在较大空间内自由结晶或矿物重结晶形成的微孔隙,孔径一般很小,如自生高岭石晶间孔隙和方解石晶间孔隙。

1.3.2 裂缝特征

济阳拗陷中生界碎屑岩储层主要发育构造裂缝、压实裂缝和解理缝。构造裂缝以高角度裂缝为主,一般延伸较长,沿裂缝常伴有溶解现象,显微镜下常见切穿颗粒的开启裂缝,不整合面附近的岩心中常见网状风化裂缝。压实裂缝指脆性颗粒在上覆地层压力或构造应力作用下破碎而形成的裂缝,多切穿颗粒,形态多为一端宽一端窄,裂缝面较规则,沿裂缝的溶解作用可使裂缝面变得凹凸曲折。解理缝指当压力与矿物解理方向呈一定的角度或沿解理方向时,解理缝扩大形成的有效储集空间,显微镜下常见平行分布的长石解理缝,沿缝有溶解现象;云母矿物的解理缝多呈弯曲状,与云母颗粒的弯曲形态一致。

2 储层物性的控制因素

济阳拗陷中生界碎屑岩储层沉积相类型多样且保存不完整,经历了多期构造抬升剥蚀以及强烈的成岩作用的改造,储层的储集性能主要受沉积作用、构造作用和成岩作用的控制。

2.1 沉积作用

在不同沉积环境下形成的砂体,其沉积碎屑成分、结构、粒度、分选、单层厚度等均有明显差异,导致其原始储集条件存在很大差异。原始储集条件越优越,越容易受后期地质作用的改造而形成高孔隙发育带^[4]。济阳拗陷中生界储层物性与沉积环境有明显的对应关系,如三角洲相砂体物性好于河流相砂体,河流相砂体物性好于冲积扇相、扇三角洲相及滨浅湖相砂体。同一类型沉积相中,三角洲平原分流河道微相砂体物性好于三角洲前缘河口坝微相砂体(表1)。

表1 沉积相与储集物性的关系

沉积相	深度 H/m	孔隙度 φ /%			渗透率 $k/10^{-3} \mu\text{m}^2$			距不整合面距离 l/m	代表井
		最大	最小	平均	最大	最小	平均		
三角洲前缘河口坝	3018~3034	18.64	13.10	15.57	17.83	1.241	7.99	44~60	桩181
三角洲平原	3096~3112	23.48	14.15	18.07	78.78	1.484	26.09	122~138	桩181
分流河道	1915~1920	23.10	9.40	15.53	26.00	1.300	8.37	205~210	大43-35
河流	2450~2455	16.38	9.49	12.67	15.36	1.040	6.61	100~108	埕北11B-1
滨浅湖	1740~1750	12.29	6.29	8.78	7.29	0.580	2.62	30~40	大43-35
扇三角洲前缘	3319~3321	9.10	4.40	6.44	6.27	0.144	1.705	180~182	埕北306
冲积扇扇中	2420~2428	9.80	4.90	6.67	1.471	0.065	0.575	204~212	王100
冲积扇扇中	3233~3245	10.40	3.10	5.58	8.30	0.150	1.717	145~157	义136

2.2 成岩作用

有利的沉积相带为优质储层的形成与分布提供了良好的先天条件,但后期成岩作用对砂体储集性能会产生很大的影响。压实压溶作用和晚期胶结作用使储层物性变差;早期方解石胶结作用在使储层物性

变差的同时,也抑制了压实作用,并为后期的溶解作用提供了物质基础;长石、方解石及岩屑等酸溶性组分的溶解作用控制了次生孔隙的形成与分布,极大地改善了储层的储集性能。研究发现,济阳拗陷中生界储层高孔隙发育带与成岩阶段有良好的对应关系。

济阳坳陷中生界顶面遭受过强烈剥蚀,因而推测某些地区地层的原始最大埋藏深度大于现今埋藏深度,如青城凸起中生界顶面剥蚀量为1500~2500 m,现今埋藏深度多为800~1500 m^[5],在这些地区,综合利用地层对比法、沉积速率法、声波时差法、镜质组反射率法等,计算单井地层剥蚀厚度,即可恢复地层的原始最大埋深。在最大埋深大于现今埋深的地区,根据中生代地表温度、地温梯度、 R_o 值、粘土矿物及成岩作用特征等成岩标志,将其成岩作用阶段划分为早成岩B期、晚成岩A₁与A₂亚期;而在中生界地层最大埋藏深度等于现今埋藏深度,并且古地温、 R_o 值、粘土矿物等成岩标志在新生代均被改造的地区(简称最大埋深等于现今埋深地区),根据现今地温、实测 R_o 值、粘土矿物及成岩作用特征等成岩标志将其成岩作用阶段划分为早成岩B期、晚成岩A₁与A₂亚期、晚成岩B期^①。在最大埋深大于现今埋深地区,地层多处于早成岩B期,只有少量地层已进入晚成岩A₁亚期,地层压实程度较弱,砂体孔隙度多为10%~20%,最高可达30%,但由于剥蚀期大气淡水淋滤作用和后期有机酸的溶解作用,原生孔隙几乎全部被改造而成为次生孔隙;在最大埋深等于现今埋深的地区,地层有多个次生孔隙发育带,其中早成岩B期和晚成岩A₁亚期对应最大的次生孔隙发育带,其次为晚成岩A₂亚期,晚成岩B期对应的次生孔隙发育带较差(图1)。

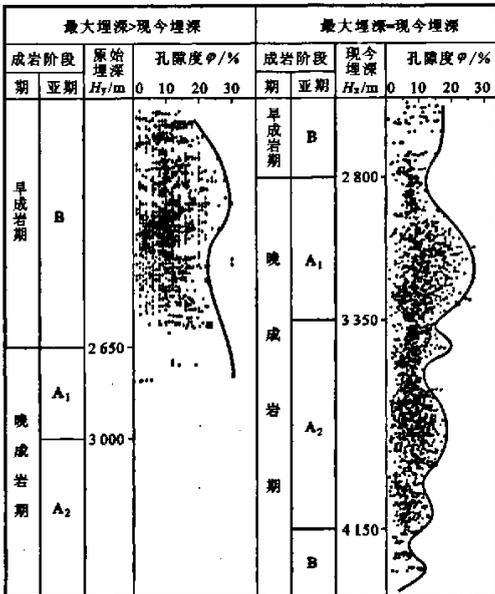


图1 成岩阶段与储层孔隙度的关系

2.3 构造作用

构造作用对储层的控制主要表现在以下3方面:(1)构造运动(如断裂、褶皱等活动)可使储层形成裂缝,提高储层储集性能;(2)构造运动可使地层抬升,地表遭受剥蚀,形成不整合,不整合面之下的地层遭受了大气淡水的风化淋滤,形成了次生孔隙发育的半风化岩石,提高了储层的储集性能^[6];(3)断层和半风化岩石是地下流体运移的良好通道,为后期溶解作用提供酸性介质。济阳坳陷中生界储层储集物性与不整合或断层有密切关系。靠近不整合面或断层的储层孔隙度明显增大;反之,孔隙度则逐渐降低。如埕北305、埕北306井在距不整合面50 m或100 m内储层孔隙度多为10%~20%,而100 m以外孔隙度多小于10%,埕北古6井断层附近孔隙度也明显增大到10%~20%(图2)。

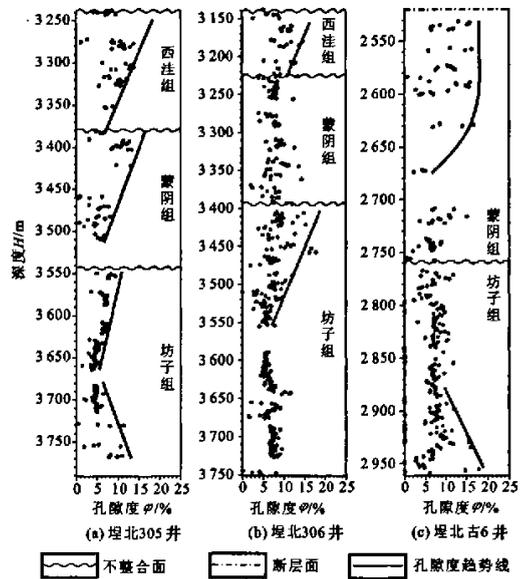


图2 储层物性与不整合、断层的关系

3 储层综合评价

构造作用能够提高储层的储集性能,其对储层的影响深度约为100 m(图2)。有利的沉积相带是形成优质储层的基础,其对储集性能的控制作用明显强于构造作用,如桩181井3096~3112 m的三角洲平原分流河道微相砂体距离不整合面为122~138 m,其实测孔隙度仍为14.15%~23.48%,而大43-35井滨浅湖砂体虽然在不整合的影响深度范围内,但由于沉积相带差,其物性较差(表1)。溶解作用控制了次生孔隙的形成与分布,但溶解作用能够

- Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 1-9.
- [10] 姜素华,查明,张善文. 网毯式油气成藏体系的动态平衡研究[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2004, 28(4): 16-20.
JIANG Su-hua, ZHA Ming, ZHANG Shan-wen. Dynamic balance analysis of meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(4): 16-20.
- [11] 胡贤根,姜素华,高平. 东营凹陷网毯式成藏体系结构研究[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(4): 478-481.
HU Xian-gen, JIANG Su-hua, GAO Ping. Structural study of meshwork-and carpet-like oil-gas-reservoir-forming system in Dongying[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(4): 478-481.
- [12] 姜素华,张善文,王永诗,等. 网毯式油气成藏体系的仓储层定量评价探讨——以东营凹陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(3): 22-24.
JIANG Su-hua, ZHANG Shan-wen, WANG Yong-shi, et al. Discussion of quantitative evaluation on the storage layer in meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system—taking Dongying sag as example[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(3): 22-24.
- [13] 姜素华,姜雨,李涛. 用油气运移痕迹的统计结果确定仓储层厚度——以东营凹陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(1): 66-68.
JIANG Su-hua, JIANG Yu, LI Tao. Estimating storage-layer thickness according to migrating trace study of hydrocarbon—taking Dongying depression as an example[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(1): 66-68.
- [14] STEVEN Losh. Vertical and lateral fluid flow related to a large growth fault, south Eugene Island Block 330 Field, Offshore Louisiana[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(2): 244-276.
- [15] 华保钦. 构造应力场、地震泵和油气运移[J]. 沉积学报, 1995, 13(2): 78-85.
HUA Bao-qin. Stress field, seismic pumping and oil-gas migration[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13(2): 78-85.
- [16] 曾溅辉,金之钧. 油气二次运移和聚集物理模拟[M]. 北京:石油工业出版社, 2000: 72-80.

(编辑 陈淑娟)

(上接第11页)

孔低渗型, II, 亚类储层为低孔低渗型, III 和 IV 类储层为特低孔特低渗型。

参考文献:

- [1] 蔡雄飞,王德辉,章泽军. 陆相残余盆地的主要类型、特点及研究方法[J]. 世界地质, 2004, 23(3): 222-226.
CAI Xiong-fei, WANG De-hui, ZHANG Ze-jun. Types, features and studying method of continental relict basins[J]. Global Geology, 2004, 23(3): 222-226.
- [2] 王连进,叶加仁. 残余盆地特征及研究方法[J]. 天然气地球科学, 2000, 11(3): 8-12.
WANG Lian-jin, YE Jia-ren. Characteristics and studying method of relict basins[J]. Natural Gas Geoscience, 2000, 11(3): 8-12.
- [3] 吴智平,李伟,任拥军,等. 济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 280-286.
WU Zhi-ping, LI Wei, Ren Yong-jun, et al. Basin evolution in the Mesozoic and Superposition of cenozoic basin in the area of the Jiyang depression[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(2): 280-286.
- [4] 陈纯芳,赵澄林,李会军. 板桥和歧北凹陷沙河街组深层碎屑岩储层物性特征及其影响因素[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2002, 26(1): 4-7.
CHEN Chun-fang, ZHAO Cheng-lin, LI Hui-jun. Physical properties of reservoir and influencing factors of deep burial clastic rocks in Banqiao-Qibei sag[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002, 26(1): 4-7.
- [5] 李伟,吴智平,周瑶琪. 济阳拗陷中生代地层剥蚀厚度、原始厚度恢复及原型盆地研究[J]. 地质论评, 2005, 51(5): 507-516.
LI Wei, WU Zhi-ping, ZHOU Yao-qi. Reconstruction of the Mesozoic strata and Mesozoic proto-type basin in the Jiyang depression[J]. Geological Review, 2005, 51(5): 507-516.
- [6] 吴孔友,查明,柳广弟. 准噶尔盆地二叠系不整合面及其油气运聚特征[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 53-57.
WU Kong-you, ZHA Ming, LIU Guang-di. The unconformity surface in the Permian of Junggar Basin and the characters of oil-gas migration and accumulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(2): 53-57.
- [7] 应凤祥,王衍奇,王克玉,等. 中国油气储层研究图集(卷一):碎屑岩[M]. 北京:石油工业出版社, 1994: 38.

(编辑 刘艳荣)