文章编号：1673-8926(2012)02-0021-05

柴北缘冷湖—马仙地区古近系—新近系成岩作用特征

陈　吉[1,2]，张永梅[3]，史基安[1]，张永庶[3]，孙国强[1]，王国仓[1,2]
(1.中国科学院油气资源研究重点实验室；2.中国科学院研究生院；
3.中国石油青海油田公司勘探开发研究院)

摘要：运用岩心、铸体薄片、扫描电镜和化验资料等，系统研究了柴达木盆地北缘冷湖—马仙地区古近系—新近系成岩作用特征及其对储层物性的影响。研究表明，柴北缘冷湖—马仙地区古近系—新近系储集砂岩主要为岩屑长石砂岩、长石砂岩和长石岩屑砂岩。主要成岩作用为压实作用、胶结作用和溶蚀作用。压实作用以机械压实为主；胶结作用主要为碳酸盐胶结、硫酸盐胶结、石英次生加大和黏土矿物胶结；溶蚀作用主要为碳酸盐岩和碎屑颗粒的溶蚀。压实作用和胶结作用是原生孔隙减少以及储层物性变差的主要原因。碎屑颗粒和胶结物的溶蚀是次生孔隙形成的主要原因。

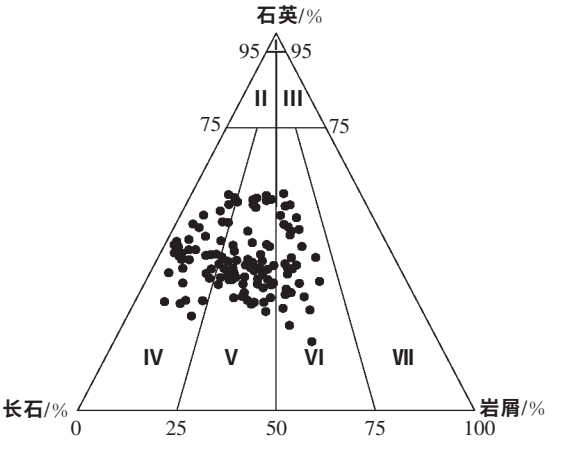
关键词：成岩作用；原生孔隙；储层物性；柴北缘
中图分类号：P618.13　　文献标志码：A

0　引言

柴达木盆地是中国西部一个大型中、新生代陆相含油气盆地[1-2]。研究区位于柴达木盆地北缘西段，主要包括昆特依凹陷、赛什腾凹陷、马海凸起及冷湖构造带，是柴达木盆地重要的油气勘探区之一[3-4]。该区古近系—新近系自下而上发育路乐河组(E_{1+2})、下干柴沟组下段(E_3^1)、下干柴沟组上段(E_3^2)、上干柴沟组(N_1)、下油砂山组(N_2^1)和上油砂山组(N_2^2)。该区古近系—新近系以碎屑岩储层为主，平面上分布于马北、马西、南八仙、冷湖、鄂博梁和德令哈等地区，纵向上主要发育在 E_{1+2}，E_3^1 和 E_3^2 地层中。前人[5-8]对该区古近系—新近系储层作了大量的研究工作，笔者重点研究该区的成岩作用特征。

1　砂体岩石学特征

柴北缘冷湖—马仙地区古近系—新近系储集砂体主要类型有：辫状河河床、边滩砂体；辫状河三角洲平原分流河道砂体；辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体；滨浅湖滩砂、滩坝砂体。该区砂岩储层碎屑组分中石英含量为 23%～59%，长石含量为 21%～63%，岩屑含量为 2%～56%。以岩屑长石砂岩、长石砂岩和长石岩屑砂岩为主(图 1)。成分成熟度低，碎屑颗粒分选差，以次圆—次棱角状为主，结构成熟度中等。



Ⅰ.石英砂岩；Ⅱ.次长石砂岩；Ⅲ.次岩屑砂岩；Ⅳ.长石砂岩；Ⅴ.岩屑长石砂岩；Ⅵ.长石岩屑砂岩；Ⅶ.岩屑砂岩

图 1　岩石类型图

Fig. 1　Triangular diagram of the rock types

收稿日期：2011-06-27；修回日期：2011-08-28
基金项目：国家重点基础研究发展规划“973”项目“中国西部叠合盆地深部有效碎屑岩储层成因机制与发育模式”(编号：2011CB201104)和中国科学院知识创新工程青年人才类重要方向项目“阿尔金断裂东段左旋走滑构造转换及其控油研究”(编号：KZCX2-EW-QN112)联合资助。
第一作者简介：陈吉(1986-)，男，中国科学院在读博士研究生，研究方向为含油气盆地石油地质学及沉积储层研究。地址：(730000)甘肃省兰州市东岗西路 382 号中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心。E-mail：47764621@qq.com
通信作者：史基安(1958-)，男，研究员，博士生导师，主要从事石油地质方面的研究工作。E-mail：jashi@lzb.ac.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2 主要成岩作用类型

柴北缘冷湖—马仙地区古近系—新近系储层成岩作用类型主要有压实作用、胶结作用、交代作用和溶蚀作用等。

2.1 压实作用

总体来看,柴北缘马仙地区古近系—新近系压实作用不明显,这主要是由半咸水—盐湖盆地沉积及成岩特征决定的。冷湖地区属于深埋藏后抬升,压实作用中等。在该类盆地中,早期胶结作用比较发育,主要为同生和准同生的石膏和泥晶方解石,这些早期胶结物的存在可以缓解压实作用的进行[9-12]。浅层储层中原生粒间孔隙非常发育,碎屑颗粒呈点—线接触(图版Ⅰ-1),粒间孔与孔隙喉道具有较好的匹配关系。深层碎屑颗粒以凹凸接触为主,可见云母、杂基和塑性岩屑挤压变形(图版Ⅰ-2)。

2.2 胶结作用

胶结作用是影响研究区储层物性好坏的主要因素之一。该区胶结作用以碳酸盐胶结和硫酸盐胶结为主,其次为硅质胶结和黏土矿物胶结(图版Ⅰ-3、图版Ⅰ-4)。

2.2.1 碳酸盐胶结作用

碳酸盐胶结物类型主要有方解石、铁方解石、白云石和铁白云石等(图版Ⅰ-5)。早期形成的泥晶或微晶方解石胶结物有利于砂体固结成岩,抵御压实作用对孔隙的破坏,并为溶蚀作用奠定了物质基础;晚期形成的铁方解石、铁白云石和微晶或细晶方解石胶结物充填原生孔隙和次生孔隙,致使储层物性变差(图版Ⅰ-6)。

2.2.2 硫酸盐胶结作用

硫酸盐胶结物类型主要为硬石膏(图版Ⅰ-7),其次为石膏、天青石等。常见硬石膏以嵌晶状胶结物形式出现,由早期石膏脱水而成。

2.2.3 硅质胶结作用

研究区比较常见的硅质胶结为自形石英小晶体,其主要产出于碎屑颗粒边缘的粒间孔隙表面、粒间孔壁或粒内溶孔中。硅质胶结物主要通过碎屑石英颗粒表面同轴生长的石英次生加大边和碎屑颗粒表面的自形晶体形式来破坏粒间孔和粒内溶孔(图版Ⅰ-8)。

2.2.4 自生黏土矿物

柴北缘冷湖—马仙地区古近系—新近系时期以咸水湖泊沉积为主,富含 K^+,Ga^{2+},SO_4^{2-} 等,在水介质呈碱性的环境下高岭石不稳定,并向伊利石和绿泥石转化[13],在转化过程中析出 Ga^{2+},Na^+,Mg^{2+},Fe^{3+} 和 Si^{4+} 等,使孔隙水向酸性转化,为碳酸盐胶结物的溶解提供了条件[14-15]。该区砂岩储层中黏土矿物以蒙脱石、伊利石、绿泥石和伊蒙混层黏土矿物为主。蒙脱石呈蜂窝状分布于颗粒表面,伊利石在碎屑岩胶结物中常呈片状、蜂窝状和丝缕状。随着埋藏深度的增加,伊利石含量逐渐增加,结晶程度变好,最后转化成绢云母。绿泥石单体形态为针叶片状,集合体形态为鳞片状、玫瑰花朵状以及绒球状。针叶片状绿泥石多以孔隙衬垫式包裹在颗粒外部,而玫瑰花朵状及绒球状绿泥石则常以孔隙充填形式存在于粒间,并常与自生石英共生[16-17]。该区绿泥石含量相对较少,但随着深度的增加,绿泥石含量略有增加,伊/蒙混层含量也有所改变(图2)。

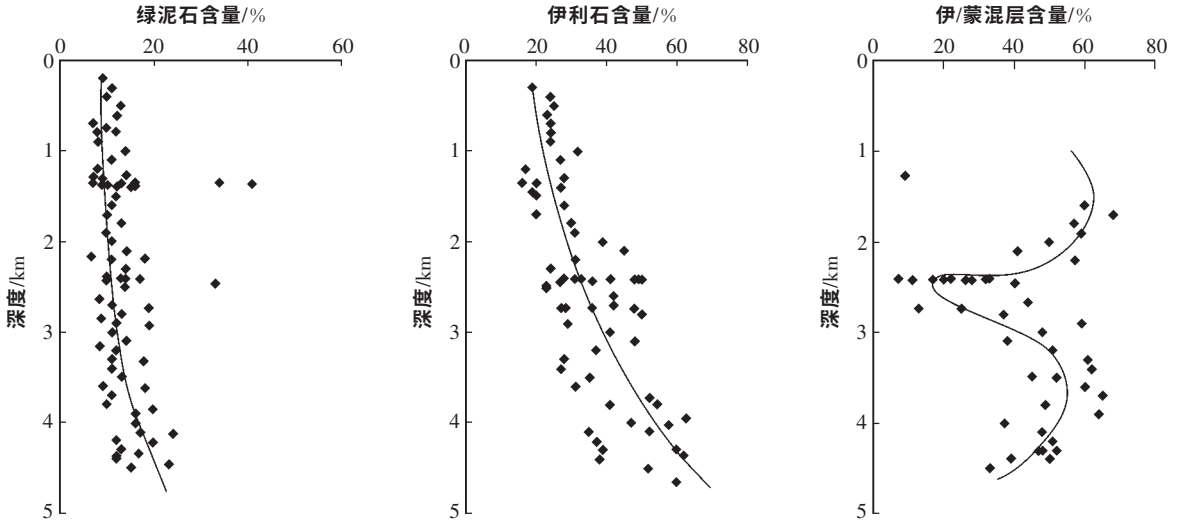


图2 黏土矿物含量与深度关系图

Fig. 2 Relationship between depth and clay mineral content

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.3　交代作用

该区古近系—新近系砂岩储层的交代作用主要为成岩中、晚期的次生碳酸盐对长石等骨架颗粒的交代。交代作用的结果是对粒间孔、粒间溶孔和粒内溶孔等孔隙进行充填,从而对储层起破坏性作用。

2.4　溶蚀作用

由于碎屑岩物质组成以及孔隙水性质等方面存在的差异,在溶蚀作用过程中各种成分都可以被溶解,包括碎屑颗粒、胶结物、杂基或者它们的任意组合[18-19]。溶蚀作用对该区储层中各种组分的溶解程度存在差异,主要表现为碳酸盐胶结物溶蚀、长石颗粒溶蚀、岩屑溶蚀和杂基溶蚀(图版Ⅰ-1),形成了多种类型的次生孔隙,因而对储集性能有较大的改善作用。

3　成岩阶段划分

按我国石油天然气行业现行的《碎屑岩成岩阶段划分》标准[20],将该区成岩作用划分为早成岩阶段 A 期、早成岩阶段 B 期、中成岩阶段 A 期和中成岩阶段 B 期。

(1) 早成岩阶段 A 期:碎屑颗粒以悬浮接触—点接触为主,粒间体积大,压实作用较弱,颗粒间多被早期泥晶碳酸盐矿物充填。岩石疏松,呈未固结—半固结状,以原生粒间孔为主,其次为填隙物内微孔隙。黏土矿物中蒙脱石含量较高,蒙脱石层在伊/蒙混层中占 70% 以上。埋藏温度 14～70 ℃,镜质体反射率(R_o)<0.4%。有机质未成熟,处于生化甲烷阶段。孔隙水与大气降水相通,孔隙水中 CO_2 的分压较高,加之有机质很快腐烂分解,可生成腐殖酸,成岩环境以酸性特征为主。

(2) 早成岩阶段 B 期:颗粒间仍以点接触为主,出现部分线接触,压实作用逐渐增强。岩石呈半固结状,粒间被部分泥晶方解石或泥晶白云石充填,并出现溶蚀现象,形成原生粒间孔、粒间溶孔和填隙物内溶孔组合。该期原生粒间孔受压实作用和胶结作用影响,孔隙体积减小,次生溶蚀孔隙增加。R_o 为 0.4%～0.7%,有机质半成熟,成岩环境为酸性,开始出现混层黏土矿物,蒙脱石含量为 50%～70%,属无序混层带。此外,在局部地区可见少量自生硅质胶结物或石英次生加大。

(3) 中成岩阶段 A 期:颗粒间以线接触为主,压实作用较强,岩石多已固结,开始出现铁白云石,石英和长石自生加大增多。原生孔隙基本定型,次生孔隙大量出现(由碳酸盐胶结物、长石或岩屑溶蚀而成),形成了混合孔隙组合特征。伊/蒙混层矿物普遍出现,蒙脱石含量为 20%～50%,属有序混层带。处于中成岩 A 期上部的地层 R_o 达 0.7%～1.3%,有机质处于低成熟阶段,大量有机酸生成,并进入孔隙水体中,对岩石中化学性质不稳定的长石、沸石类、火山岩岩屑和碳酸盐矿物等易溶组分进行溶蚀,并生成大量的次生溶蚀孔隙。

(4) 中成岩阶段 B 期:该期碎屑颗粒以线接触、凹凸接触为主,粒间体积较小。R_o 为 1.3%～2.0%。自生矿物中开始出现大量的晚期铁方解石、铁白云石,并交代石英颗粒,使其边缘呈港湾状,交代强烈时石英呈残余状,漂浮在碳酸盐交代物中。

综上所述,柴北缘冷湖—马仙地区古近系—新近系碎屑岩储层的成岩阶段已达到中成岩 B 期,主要集中在早成岩 A 期至中成岩 A 期,少量可达中成岩 B 期(图 3)。

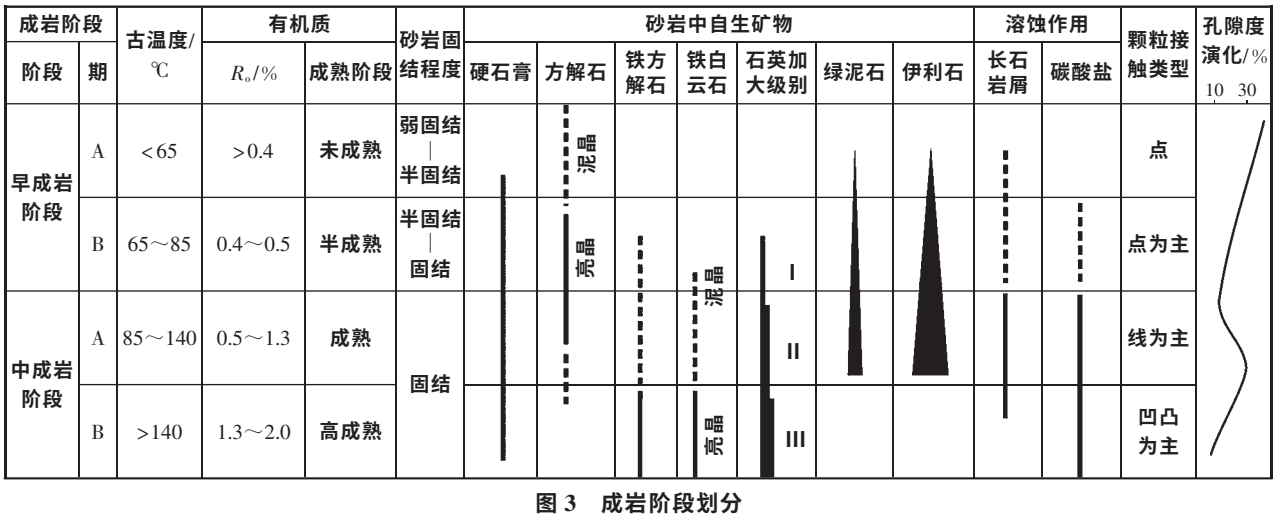


图 3　成岩阶段划分

Fig. 3　Diagenetic stage division

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 成岩作用对储层物性的影响

研究区的成岩作用主要有机械压实作用、胶结作用、交代作用和溶蚀作用。储层孔隙类型主要为原生孔隙、次生孔隙和构造微裂缝。储层物性除了受沉积微相控制外，还受成岩作用的影响。早期由于泥晶方解石抗压作用，有效缓解了压实作用的进行，并以原生孔隙为主。到了晚期，随着埋深的增加，早期泥晶方解石溶蚀，并被微晶或细晶方解石充填，压实作用逐渐增强，碎屑颗粒由点接触变为线接触和凹凸接触，原生孔隙大量减少，储层物性变差。当埋深达 3 000～4 000 m 时，孔隙度又开始增加[21]。这是由于该深度的古近系地温＞80℃，有机质成熟，干酪根热解、裂解形成有机酸和无机酸融入孔隙流体中，造成碎屑颗粒和碳酸盐胶结物的大量溶蚀，并形成了次生孔隙(图 4)。

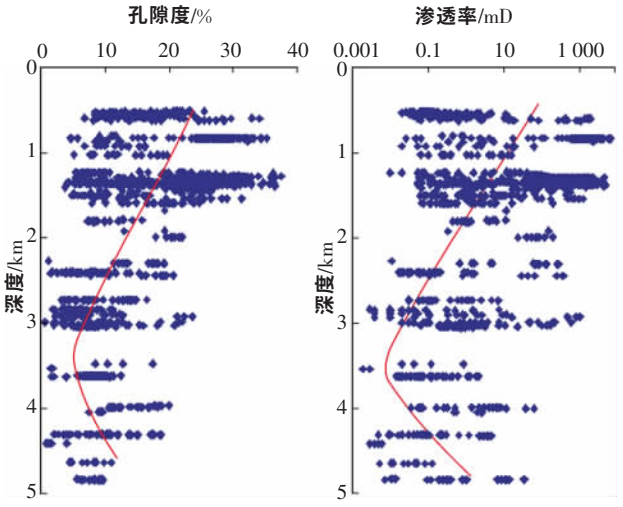


图 4 孔隙度、渗透率与深度关系图

Fig. 4 Relations of depth with porosity and permeability

5 结论

(1) 柴北缘冷湖—马仙地区古近系—新近系储集砂岩岩石类型主要为岩屑长石砂岩、长石砂岩和长石岩屑砂岩，成分成熟度低，结构成熟度中等。

(2) 柴北缘冷湖—马仙地区古近系—新近系储层成岩阶段已达中成岩阶段 B 期，并主要集中在早成岩 A 期至中成岩 A 期，少量可达中成岩 B 期。

(3) 柴北缘冷湖—马仙地区古近系—新近系储层主要成岩作用为压实作用、胶结作用、交代作用和溶蚀作用。压实作用和胶结作用减少原生孔隙，致使储层物性变差。后期碎屑颗粒和胶结物的大量溶蚀是次生孔隙形成、储层物性变好的主要原因。

参考文献：

[1] 孙国强，赵明君，郭建明，等.昆特依凹陷中生界、新生界发育特征及构造演化分析[J].天然气地球科学，2011，22(1)：102-107.

[2] 张景廉，石兰亭，陈启林，等.柴达木盆地地壳深部构造特征及油气勘探新领域[J].岩性油气藏，2008，20(2)：29-36.

[3] 刘琪，李凤杰，郑荣才，等.柴达木盆地北缘西段新近系上干柴沟组高分辨率层序地层学研究[J].岩性油气藏，2010，22(1)：65-75.

[4] 张正刚，袁剑英，阎存凤，等.柴北缘地区冷湖 3-5 号构造带成藏控制因素分析[J].岩性油气藏，2009，21(2)：42-44.

[5] 蒋斌，李凤杰，郑荣才，等.柴达木盆地北缘西段古近系路乐河组沉积相特征研究[J].岩性油气藏，2010，22(1)：48-52.

[6] 李凤杰，刘琪，刘殿鹤，等.柴达木盆地北缘下干柴沟组储层特征及影响因素分析[J].天然气地球科学，2009，20(1)：44-49.

[7] 高云峰，彭苏萍，何宏，等.柴达木盆地北缘第三系碎屑岩储集层特征及评价[J].石油勘探与开发，2003，30(4)：40-42.

[8] 王鹏，赵澄林.柴达木盆地北缘地区第三系成岩作用研究[J].西安石油学院学报：自然科学版，2002，17(4)：1-4.

[9] 杨永剑，刘家铎，孟万斌，等.柴达木盆地北缘潜西地区古近系储层发育特征及主控因素[J].岩性油气藏，2010，22(增刊)：60-65.

[10] 姜在兴.沉积学[M].北京：石油工业出版社，2003：36-38.

[11] Chuhan F A，Bjorlykke K，Lowrey C. The role of provenance in illitization of deeply buried reservoirsandstones from Haltenbanken and north Viking Graben，off shore Norway[J]. Marine and Petroleum Geology，2000，17：673-689.

[12] 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.

[13] 杜红权，朱如凯，何幼斌，等.柴西南地区古近系—新近系砂岩储层成岩作用及其对储层物性的影响[J].中国地质，2010，37(1)：152-158.

[14] 王凤琴，王宝清.柴达木盆地北缘下侏罗统储集岩成岩作用及其对孔隙演化的影响[J].兰州大学学报：自然科学版，2006，42(5)：1-6.

[15] Bloch S，Lander R H，Bonnell L. Anomalously high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs：Origin and predictability[J]. AAPG Bulletin，2002，86(2)：301-328.

[16] 吴丽荣，黄成刚，黄昌武.柴达木盆地德令哈地区侏罗系成岩作用研究[J].断块油气田，2007，14(3)：12-17.

[17] 黄思静，谢连文，张萌，等.中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系[J].成都理工大学学报：自然科学版，2004，31(3)：273-281.

[18] 李嵘，吕正祥，叶素娟.川西拗陷须家河组致密砂岩成岩作用特征及其对储层的影响[J].成都理工大学学报：自然科学版，2011，38(2)：147-155.

[19] 王卓卓，梁江平，李国会，等.成岩作用对储层物性的影响及与沉积环境的关系——以鄂尔多斯盆地劳山地区为例[J].天然气地球科学，2008，19(2)：171-177.

[20] 应凤祥，何东博，龙玉梅，等.中华人民共和国石油天然气行业

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

标准——SY/T5477–2003 碎屑岩成岩阶段划分[S].北京：石油工业出版社，2003.

[21] 连小翠，王振奇，叶春，等.准噶尔盆地白家海地区三工河组储层孔隙结构及影响因素[J].岩性油气藏，2011，23(2)：35–40.

Diagenesis of Paleogene-Neogene sandstone reservoirs in Lenghu-Maxian area, northern Qaidam Basin

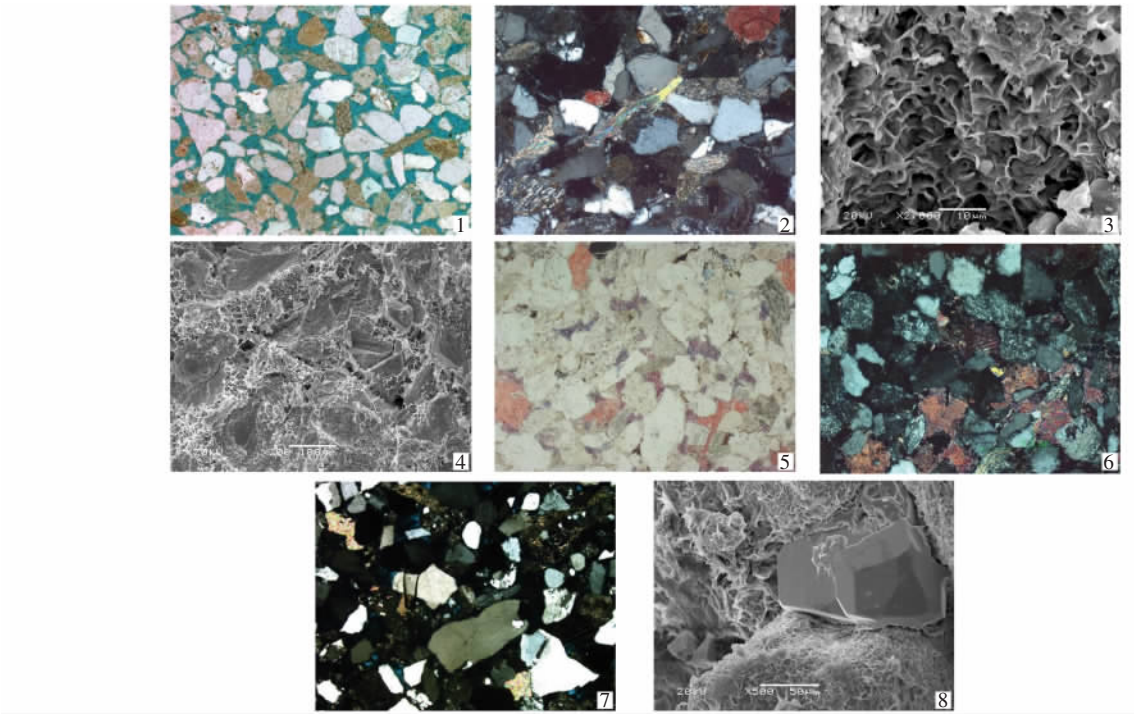
CHEN Ji[1,2], ZHANG Yongmei[3], SHI Ji'an[1], ZHANG Yongshu[3], SUN Guoqiang[1], WANG Guocang[1,2]

(1. *Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 730000, *China*; 2. *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*; 3. *Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang* 736202, *China*)

Abstract: Based on cores, cast thin sections, scanning electron microscope and testing data, this paper studied the diagenesis of Paleogene-Neogene sandstone reservoirs and its influence on reservoir properties in Lenghu-Maxian area in north Qaidam Basin. The result shows that the sandstone reservoirs in this area are mainly composed of lithic arkose, arkose and feldspar lithic sandstone, and mainly experienced such actions as compaction, cementation and dissolution. Mechanical compaction is the main compaction, cementations are mainly carbonate cementation, sulfate cementation, quartz overgrowth and clay minerals cementation, and dissolution comprises carbonate cementation content and detrital dissolution. Compaction and cementation caused the destruction of primary pores and made the reservoir properties poor. Dissolution of the lithic and cement was the main reason for generating secondary pores. According to the characteristics of vitrinite reflectance and clay minerals, it is ascertained that the evolution have reached the early diagenetic stage A, and the minor part reached the middle diagenetic stage B.

Key words: diagenesis; primary pore; reservoir properties; northern Qaidam Basin

图版 Ⅰ



图版 Ⅰ 说明：研究区砂岩显微特征。1.马西 101 井，830.28 m，点—线接触，原生粒间孔和溶蚀粒间孔(–)×25；2.马西 101 井，836.13 m，云母发生塑性变形(+)×200；3.马北 103 井，911.2 m，蒙脱石，扫描电镜；4.马北 17 井，1 432.3 m，伊/蒙混层，扫描电镜；5.马西 2 井，1 355 m，方解石、铁方解石、铁白云石胶结物；6.马西 1 井，223.6 m，方解石交代长石(+)×100；7.马西 101 井，830.28 m，硬石膏胶结物(+)×25；8.马北 18 井，1 533.4 m，石英次生加大，扫描电镜

(本文编辑：杨琦)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net