

缅甸睡宝盆地南部地区渐新统储层 次生孔隙形成机理分析

谢楠, 姜 烨, 朱光辉, 李爱山, 蔡文杰, 吕 栋, 聂志勤

(中海油研究总院, 北京 100027)

摘要:在对大量薄片分析鉴定的基础上, 结合区域构造运动、盆地埋藏史和有机质热演化史, 对睡宝盆地古近系储层次生孔隙类型和成因机制进行了研究。分析认为碳酸盐等组分的溶蚀、构造运动以及这两者之间的匹配是次生孔隙形成的主导因素。晚渐新世构造挤压运动导致渐新统地层抬升暴露, 酸性大气淡水在表生淋滤阶段溶解岩石颗粒之间方解石胶结物, 形成次生溶孔。始新统储层虽然存在有机质热演化过程中产生的酸性流体的溶蚀作用, 但是由于有机酸流动受阻, 并未形成广泛的次生孔隙。

关键词:古近系; 次生孔隙; 成因机制; 成岩作用; 构造运动; 缅甸

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2010)02-0289-06

0 引言

缅甸睡宝盆地是在中生界基础上发育起来的弧后走滑盆地^[1], 上覆地层为巨厚的新生界沉积, 厚度大于 20 000 m, 是主要的油气勘探目的层。白垩系及其以下地层为盆地基底, 自下而上划分为白垩系—古新统、始新统、渐新统、中新统和上新统(Irrawaddy 群)5 套地层, 睡宝盆地南部地区由于构造抬升, 部分中新统和上新统遭受剥蚀未能保存完整。古新统和始新统, 始新统和渐新统之间具明显的区域不整合, 界面下地层被削截, 其他地层界面为局部不整合, 界面下地层局部视削截或顶超, 界面上地层局部上超(表 1)。2009 年中海油缅甸睡宝盆地新钻井 A 井揭示: 睡宝盆地岩性主要为细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩等。颜色以灰色和深灰色为主, 另外还有灰绿色和褐色, 始新统顶界有暴露标志的杂色泥岩。A 井仅钻遇中下中新统(0~1 480 m)、渐新统(1 480~2 252 m)和始新统上部地层, 始新统未钻穿。

缅甸睡宝盆地古近系发育具有储集能力的碎屑岩, 为弧后陆缘海环境沉积物在辫状河三角洲及其入海的过渡环境中沉积和保存的。其中古新统和始

新统孔渗条件很差, 基本不具有储集条件, 这极大的影响了油气的聚集和商业性成藏。而同样的沉积环境, 渐新统却拥有良好的孔渗条件。本文以镜下薄片分析和测井解释的储层物性参数为依据, 从沉积条件、成岩作用和构造运动 3 方面分析睡宝盆地古近系碎屑岩储层孔隙发育规律和次生孔隙的形成机理, 以寻找优质储层。

1 岩石学特征

缅甸从西到东可分为 4 个构造单元: 印缅山脉平原、中央盆地(伊洛瓦底盆地)、中缅山脉和掸邦高原(图 1)。睡宝盆地属于中央盆地北部, 西部以岛弧带与钦敦盆地相连, 东部为分割掸邦高原和中央盆地的 Sagaing 走滑断裂, 南部以低隆与 Pegu-Yoma 盆地相隔^[2](图 2)。其南部地区古近系广泛发育有大量辫状河三角洲沉积体, 物源来自于东边的掸邦高原, 碎屑成分成熟度、结构成熟度属于中級。岩屑、薄片统计分析表明, 古近系沉积物母岩为变质岩中的云母片岩和云母石英片岩, 碎屑成分主要有石英、长石和岩屑, 其中石英含量为 53%~76%, 平均为 66.3%; 长石含量为 7.5%~21%, 平

表 1 睡宝盆地地层简要

地层系统			岩性描述
系	统	组	
新近系	全新统	Q	整体遭受剥蚀
	更新统	Irrawaddy	整体遭受剥蚀
	上新统		西北部地层保留一部分,主要为灰色细砂岩
古近系	中新统	Kaungton	西北部地层保留一部分,主要为灰色细砂岩
		Shaunknan(1)	黄色厚层的细砂岩,视厚度为 0~60 m
		Shaunknan(2)	灰色中砂岩,中间有 20~30 m 厚的细砂岩,底部夹薄层泥岩,视厚度 250~500 m
		Nandawbee	灰色中砂岩夹灰色薄层泥岩 330~500 m
		Inga	大段灰色泥岩偶夹灰色细砂岩、粗砂岩和薄层泥质粉砂岩。下部为灰色中砂岩夹不等厚的灰色泥岩和细砂岩,粒度下粗上细。视厚度为 530~700 m
	渐新统	Ok	巨厚的灰色泥岩,偶夹灰色粉砂岩和细砂岩。视厚度为 200~300 m
		Padaung	深灰色泥岩,夹灰色粉砂岩和细砂岩。视厚度为 200~300 m
		Shwezetaw	灰色细砂岩,夹深灰色泥岩。视厚度为 300~500 m
	始新统	Yaw	顶部有 50 m 厚的杂色泥岩,主要为灰色泥岩夹灰色泥质粉砂岩,视厚度为 200~400 m
		Pondaung	灰绿色泥岩和深灰色泥岩夹薄层灰色砂岩,见云母片岩等变质岩。视厚度为 100~200 m
	古新统		局部地层缺失,南部与白垩系一同并为基底
白垩系			基底

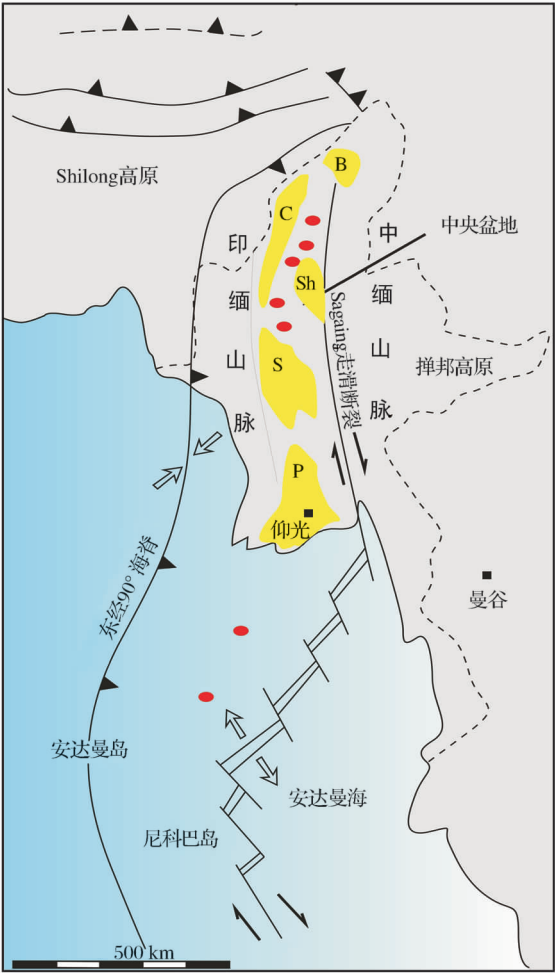


图 1 缅甸及临区地质构造纲要平面特征
缅甸次盆: H 为 Hukawng; C 为 Chindwin; Sh 为 Shwebo; S 为 Salin; P 为 Prpme; I 为 Irrawaddy

均为 16.7%; 岩屑含量为 2%~11.5%, 平均为 6.5%。胶结物主要为碳酸盐和二氧化硅等, 石英次生加大现象在该区古近系砂岩储层中都极为常见, 常见石英的Ⅰ级次生加大现象。石英颗粒的自生加大在其四周均有发育(图 3a), 即碎屑石英与其他颗粒和胶结物之间都有加大, 这表明石英自生加大早于机械压实作用或者同时进行, 渐新统地层方解石胶结物占优势, 见铁方解石胶结, 含量为 2%~30%。刚性颗粒含量并不是非常高, 因此储层受后期的压实作用影响大, 原生孔隙容易被破坏。

2 次生孔隙类型及特征

次生孔隙是岩石在埋藏过程中由于各种成岩作用或其他地质因素如构造作用、脱水收缩作用等形成的孔隙, 其主要类型是溶蚀作用形成的各种溶蚀孔隙、压实作用形成的压裂缝以及构造作用形成的裂缝^[3]。通过精细岩屑、壁心、薄片观察, 结合测井资料, 发现古近系储集层孔隙类型以原生孔隙为主(图 3b), 基本不发育次生孔隙。但是渐新统储集层孔隙类型以次生孔隙为主, 也有原生孔隙。原生孔隙主要为原生粒间孔隙, 多为自生石英、粘土等填隙物未完全充填满颗粒之间的原生孔隙所残留的部分(图 3c); 次生孔隙主要是粒间溶孔, 亦可见少量的铸模溶孔和粒内溶孔等。粒间溶孔为粒间胶结物及颗粒边缘被溶解而形成的港湾状等不规则形状, 镜下观察被溶蚀的胶结物为方解石, 可见其溶蚀残余(图 3d); 而

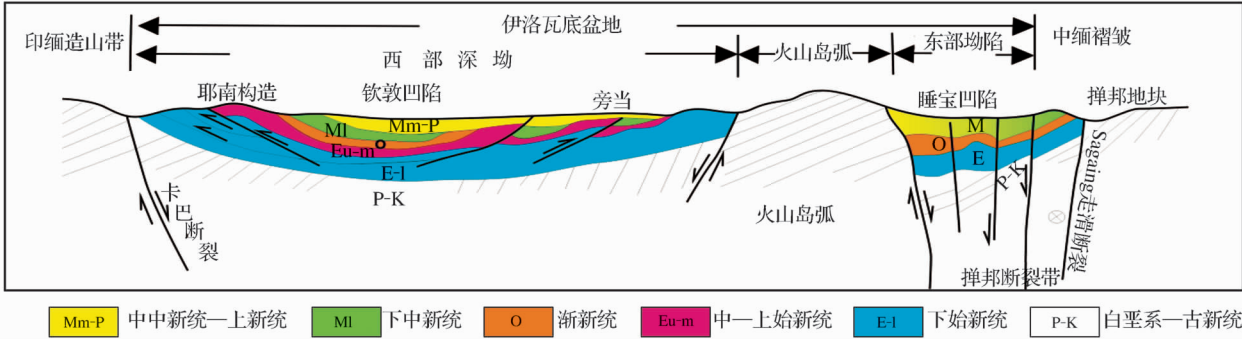


图2 睡宝盆地在中央盆地中的地质剖面特征

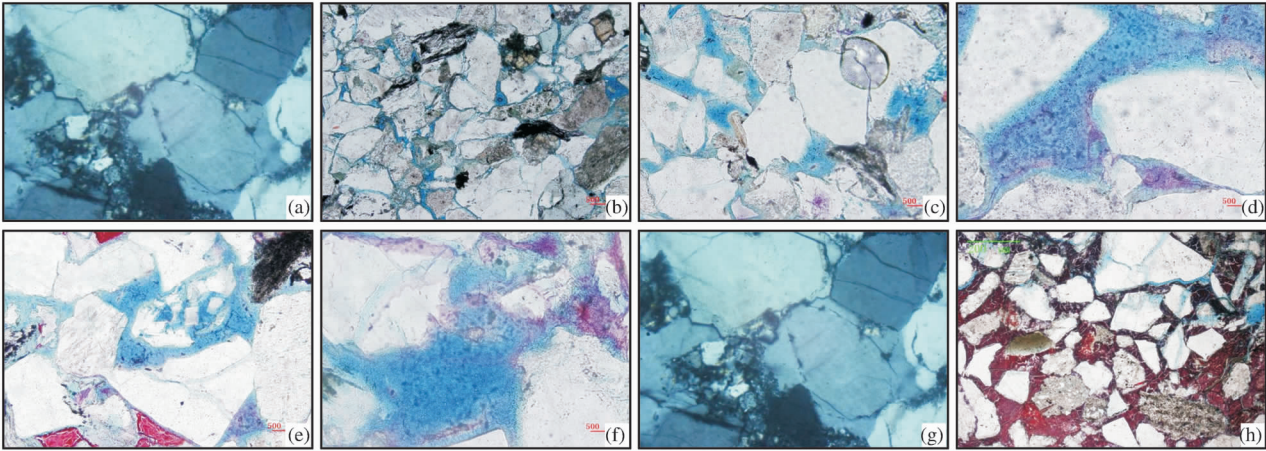


图3 睡宝盆地储层显微特征

(a) A 井, 2 622 m, 正交偏光下石英加大胶结, 20×10; (b) A 井, 2 709 m, 始新统地层受到强烈的压实作用, 原生孔隙遭到破坏, 10×10; (c) A 井, 1 922 m, 渐新统地层原始孔隙特征, 20×10; (d) A 井, 1 922 m, 早期碳酸盐胶结物部分溶蚀, 形成次生孔隙, 40×10; (e) A 井, 1 922 m, 长石和岩屑溶蚀形成粒内溶孔, 可见残留的板条状长石微晶, 40×10; (f) A 井, 1 922 m, 长石溶蚀残余, 能见长石基本被溶蚀成铸模溶孔, 40×10; (g) A 井, 2 622 m, 始新统地层在浅埋藏时期, 胶结物以硅质胶结为主, 见石英具有窄一较窄的加大边或者自行晶面, 40×10; (h) A 井, 2 422 m, 早期石英加大形成之后有大量的碳酸盐胶结来源, 可见石英加大边往孔隙中心方向碳酸盐胶结成基底式胶结, 20×10

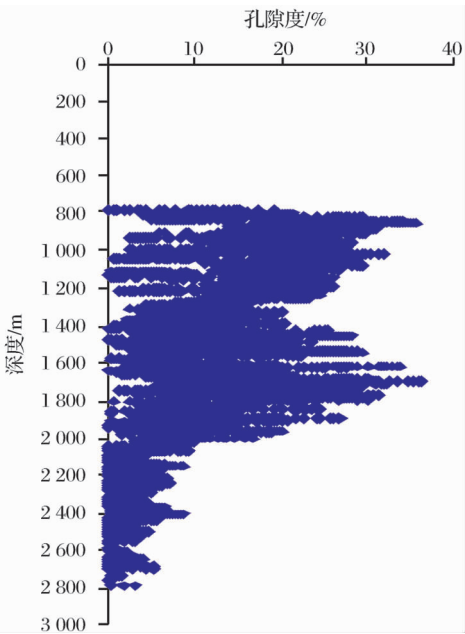


图4 睡宝盆地 A 井孔隙度随深度变化特征
(800 m 以上地层未作电测孔隙度解释)

粒内溶孔, 主要是在长石和岩屑颗粒的内部发育(图 3e); 铸模溶孔是溶解了整个颗粒之后形成的孔隙, 依然能见其颗粒边缘轮廓(图 3f)。大量次生孔隙的形成不但使储层的储集空间增大, 而且使储层的喉道增大, 大大改善了储层的储集性能和输导性能^[4]。新钻井揭示睡宝盆地南部地区渐新统地层次生孔隙极发育, 综合测井解释结果表明, 孔隙度为 35%(图 4), 由次生孔隙垂向分布可看出, 次生孔隙不仅增加了储集空间, 更重要的是改变了储集孔隙结构, 使储层连通性增大, 大大提高了储层的渗透性。

3 次生孔隙形成机理

研究认为, 睡宝盆地古近系渐新统储层次生孔隙是溶蚀作用造成的。渐新世中期开始, 由于喜马拉雅造山运动的影响, 盆地构造抬升使得渐新统地层遭受剥蚀, 大气淡水表生淋滤作用形成次生孔隙。

抬升之后渐新统地层持续被埋藏,大气淡水与碳酸盐胶结物达到热动力平衡,同时由于抬升造成的成岩阶段滞后对次生孔隙起到保护作用。

3.1 构造挤压与地层暴露

构造挤压与地层暴露。从区域构造演化看,古新世—早始新世洋陆俯冲和始新世以来的印—缅板块的陆陆俯冲造成了缅甸板块与亚欧板块的分离,并沿着边界走滑断裂向北漂移,缅甸睡宝盆地内呈拉张环境,沉积巨厚的碎屑岩。由于缅甸板块向北运动碰撞到亚洲板块喜马拉雅断裂而受到阻挡,睡

宝盆地于渐新世构造第一期抬升,之后继续沉降接受沉积^[5]。地震剖面上清楚的反映出渐新统为区域的不整合面,表现为界面之下的地层削截(图 5)。这次构造抬升使得上渐新统 Ok 组普遍遭受剥蚀,即使在构造高部位渐新统 Padaung 组也部分遭受剥蚀。利用趋势法对比未剥蚀地区的地层厚度,认为渐新统剥蚀厚度在 200~300 m 之间。晚渐新世构造挤压使得沉积间断,中途开启地层,形成非持续成岩演化序列,为基于地层暴露的大气淡水表生淋滤作用的发生奠定了基础。

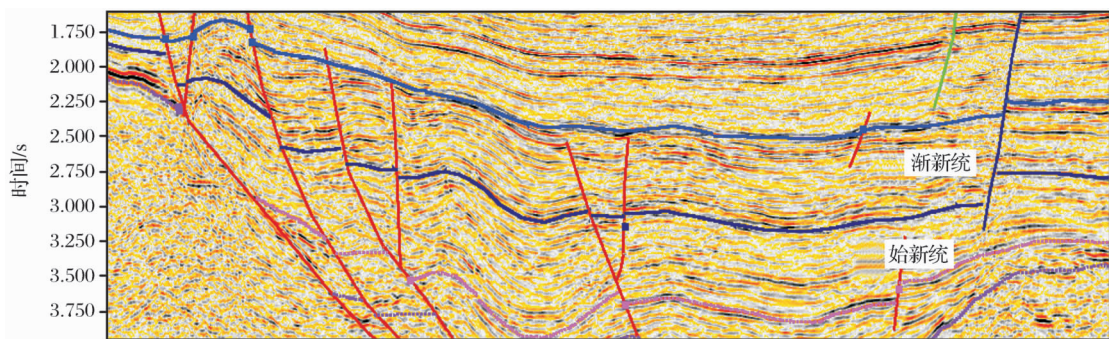


图 5 晚渐新世构造挤压导致地层剥蚀削截

3.2 大气淡水淋滤作用

不整合面附近大气淡水淋滤作用能改善下伏地层的孔隙度和渗透率,大气淡水的淋滤作用,通常发育于地表和埋藏较浅的部位及不整合面处^[8]。由于渐新世构造挤压的影响,Ok 组在晚渐新世暴露至地表或地表附近,大气酸性淡水沿着地面垂直向下渗透或顺着小断层向下淋滤,酸性水溶解了早期碳酸盐胶结物,形成港湾状等不规则外形的粒间溶孔,单偏光显微镜下可见方解石溶蚀残余(图 3d),亦可见长石的高岭石化,其后被溶解产生铸模孔和粒内溶孔(图 3e)。颗粒之间的早期方解石胶结物被溶解,形成大量次生孔隙,原来被这些早期碳酸盐胶结物所充填的孔隙释放出来。早期的碳酸盐胶结物溶蚀作用越强烈,其胶结物保留越少,物性更好,孔隙度就更高,反之亦然。通过镜下观察和电测孔隙解释发现次生溶孔发育段基本在 1 280~2 000 m 之间,该深度区间的孔隙度和渗透率也表现为非正常压实的异常高值。研究认为次生溶孔的分布与渐新统顶界面不整合面分布趋势图吻合,基本在渐新统顶界面之下 0~400 m 的深度范围,说明渐新统次生孔隙形成机制主要是大气淡水淋滤溶解。显微镜下研究发现始新统碳酸盐胶结作用强烈的样品,其碳酸盐含量也高,保存也比较好,溶蚀作用不发育;而孔隙度较高、碳酸盐含量低的样品都是属于渐新统碳酸盐胶结物强烈

溶蚀的样品,这些碳酸盐胶结物呈基底胶结,大气淡水将其溶蚀后,在镜下表现为碎屑颗粒呈漂浮状分布于大量次生溶孔之中。因而造成当碳酸盐含量大于 8% 时,总孔隙度与碳酸盐含量呈良好的负相关关系(图 6),即渐新统碳酸盐胶结物发生溶蚀作用越强烈的地方,储层孔隙度越高,反之亦然^[6]。因此渐新统的次生孔隙其成因机制主要是大气淡水在表生作用阶段对碳酸盐胶结物的溶解。

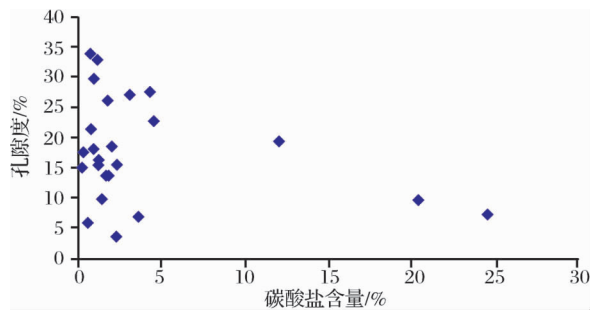


图 6 睡宝盆地 A 井渐新统储层碳酸盐含量与孔隙度的关系

3.3 有机酸的溶解作用

盆地模拟分析表明:中白垩统烃源岩在中渐新世开始成熟,释放出有机酸,在晚渐新世进入排烃高峰,高峰期一直持续到早中新世;始新统烃源岩在晚渐新世开始成熟,在早中新世也进入成熟排烃高峰阶段,持续到中新世末期,随着烃类的排出,产生大

量的有机酸和CO₂。理论上孔隙水中的羧酸是导致碳酸盐、特别是硅酸盐溶解的重要物质之一^[7-8]。但是根据电测孔隙解释次生孔隙在始新统不发育。研究其原因有2点:一是根据成岩演化分析,在始新统早成岩时期,胶结作用以硅质胶结为主(图3g),抑制碳酸盐胶结,但是有机酸易溶解碳酸盐和铝硅酸盐,而不是硅质胶结,因此也不能形成大规模的粒间溶孔;二是始新统接受成岩压实作用、后期碳酸盐胶结作用以及构造挤压造成原生孔隙减到5%以下,喉道基本被堵^[9],镜下可见颗粒漂浮于基底式胶结的碳酸盐胶结物之上(图3h),在这种情况下,即使有机酸成熟,其流动也会受到强烈的阻碍,因此不能更多的溶解长石等铝硅酸盐矿物和碳酸盐胶结物形成次生溶孔,仅仅在镜下看到始新统地层零星的

次生孔隙。根据断层封堵性研究,睡宝盆地南部地区新钻井构造渐新统及其以上地层断层面两侧主要是砂泥对接和泥泥对接,且断距小,断层不能沟通来自于深部的油源,并且始新统顶部厚达90 m的稳定泥岩(现今未成熟)盖层使得油气垂向上也无法运移至渐新统储层,亦证明渐新统储层的次生孔隙并不是由于有机酸的溶解造成的。

4 成岩演化阶段与次生孔隙发育规律

依据有机质热演化特征、自生矿物、颗粒接触关系、粘土矿物转化序列、古地温分析以及成岩事件等多方面研究成果来划分睡宝盆地古近系储层所处的成岩阶段。研究结果表明,缅甸睡宝盆地古近系储层处于中成岩A1—A2期(图7)。

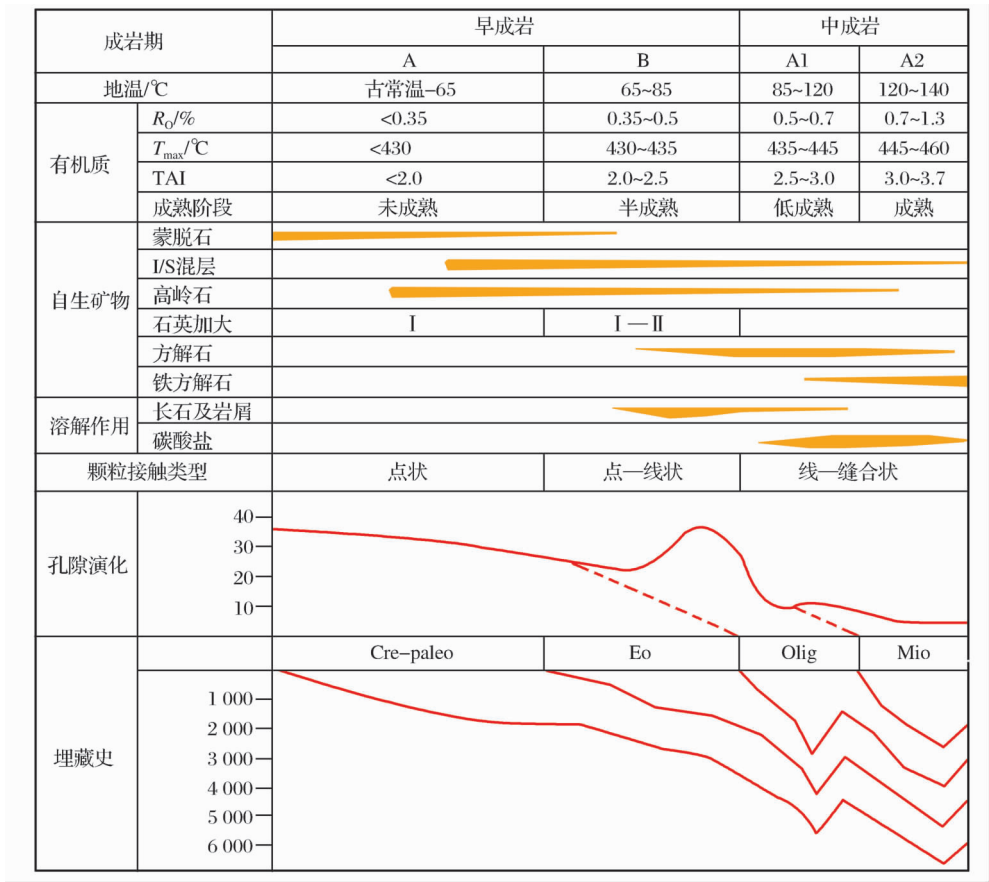


图7 睡宝盆地古近系储层成岩作用与孔隙演化模式

睡宝盆地古近系储层成岩演化复杂性和特殊性,控制了储层孔隙演化规律及储集性能。不同构造位置由于储层所经历的深埋时间不同,使得成岩环境和成岩演化序列都呈现出不同的区域范围内的特征,同时也是储集性能好坏的根本原因。睡宝盆地古近系储层成岩环境随着盆地的埋藏史发生多次变化,在早成岩A阶段,首先发生胶结作用或者说

胶结作用与压实作用同时进行,以硅质胶结为主,原生孔隙遭到初步破坏,储层进入早成岩A阶段。紧接机械压实作用占主导地位,岩石颗粒之间接触关系变为点和线接触,原生孔隙遭到第二次破坏,孔隙度降低。见石英颗粒接触处的压溶作用,岩石颗粒间的接触关系变为线线接触和凹凸接触,原生孔隙几乎完全消失,孔隙度减少13%~30%。始新统储

层进入中成岩 A1—A2 期。渐新世时期由于长石等铝硅酸盐的溶解使得孔隙水中的碳酸盐含量增加,在颗粒之间大规模的沉淀,形成碳酸盐胶结物。渐新世盆地构造抬升,接受大气水的表生淋滤作用,碳酸盐胶结物溶解,形成次生孔隙发育带,孔隙度增加到 35% 左右。睡宝盆地古近系所处的成岩阶段有利于对次生孔隙的保护。

5 结论

(1) 缅甸睡宝盆地始新统,由于石英仅占 66.3%,塑性成分含量高,地层抗压性差,原始孔隙受压实作用的影响大。始新统储层虽然存在有机质热演化过程中产生的酸性流体的溶蚀作用,但是由于有机酸流动受阻,并未形成广泛的次生孔隙。

(2) 渐新统储层发育次生孔隙,早期广泛发育的方解石等碳酸盐胶结物是次生孔隙形成的基础。成因机制受构造运动和成岩作用的控制,晚渐新世构造挤压运动导致渐新统抬升暴露,酸性大气淡水溶解岩石颗粒之间的方解石胶结物,形成次生溶孔。次生孔隙主要是粒间溶孔,见少量的铸模溶孔和粒内溶孔。粒间溶孔为粒间胶结物及颗粒边缘被溶解而形成的港湾状等不规则形状,镜下观察被溶蚀的胶结物为方解石,可见其溶蚀残余。

(3) 综合分析,睡宝盆地古近系处于中成岩 A1—A2 期,其成岩阶段有利于对次生孔隙的保护。

参考文献:

[1] Pivnik D A, Nabm J, Tucker R S, *et al.* Polyphase deformation in a fore-arc/back-arc basin, Salin subbasin, Myanmar (Burma)[J]. AAPG Bulletin, 1998, 82(10): 1837-1856.

[2] Morley C K. A tectonic model for the Tertiary evolution of strike-slip faults and rift basins in SE Asia [J]. Tectonophysics, 2002, 347(1): 189-215.

[3] Ying Fengxiang, Luo Ping, He Dongbo, *et al.* Clastic Reservoir Diagenesis and Numerical Simulation of Oil and Gas Basins in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 91-99. [应凤祥, 罗平, 何东博, 等. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 91-99.]

[4] Liu Menghui, Zhao Chenglin. Clastic Reservoir Diagenesis Evolution Model [M]. Dongying: Petroleum University Press, 1993: 52-77. [刘孟慧, 赵澄林. 碎屑岩储层成岩演化模式[M]. 东营: 石油大学出版社, 1993: 52-77.]

[5] Wandrey C J. Eocene to Miocene composite total petroleum system, Irrawaddy -Andaman and north Burma geologic provinces, Myanmar [J]. U S Geological Survey Bulletin, 2006, 2208-E(1): 1-24.

[6] Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Li Shujing, *et al.* Influence of early carbonate cementation on the evolution of sandstones: A case study from Silurian sandstones of Manjiaer depression, Tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(6): 885-890. [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.]

[7] Surdam R C, Crossley L J, Hagen E S, *et al.* Organic-in-organic interaction and sandstone diagenesis [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73: 1-23.

[8] Boles J R, Fronks S G. Clay diagenesis in Wilcox sandstone of southwest Texas, implications of smectite diagenesis on sandstone cementation [J]. Sedimentary Petrology, 1979, 49: 55-77.

[9] Lian Chengbo, Zhong Jianhua, Yang Yufang, *et al.* Influence of Quan 4 Formation sandstone diagenesis on reservoir properties in Longxi region, Songliao basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(5): 691-694. [连承波, 钟建华, 杨玉芳, 等. 松辽盆地龙西地区泉四段砂岩成岩作用对储层物性的影响[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(5): 691-694.]

The Mechanism of Secondary Porosity in Oligocene Reservoir in Southern Shwebo Basin, Myanmar

XIE Nan, JIANG Ye, ZHU Guang-hui, LI Ai-shan, CAI Wen-jie, LÜ Dong, NIE Zhi-meng
(CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract: Based on petrographic microscope examinations, regional tectonic evolution and basin burial history in Shwebo basin, Myanmar, type and mechanism of secondary pores of Paleogene reservoir is discussed. The major factors controlling development of secondary porosity included dissolution of acidic components (such as carbonate), tectonic activity and matching of them. The structural compression in late Oligocene caused the uplift of the Oligocene strata and explore, then the calcite cement between grains was dissolved through supergene leaching of acidic atmospheric water, and the secondary porosity was formed. Although the acidic fluid was generated during thermal evolution of organic matter, the secondary porosity in Eocene reservoir can not be generated because of block of organic acid flow.

Key words: Paleogene; Secondary porosity; Mechanism; Diagenesis; Tectonic activity; Myanmar.