

文章编号: 0253-9985(2010)05-0656-08

济阳坳陷古近系深层自生矿物及其与孔隙发育的关系

马国刚^{1,2,3}, 袁静³

(1 中国科学院 研究生院, 北京 100049 2 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640

3 中国石油大学, 山东 东营 257061)

摘要: 通过岩石薄片鉴定、粘土矿物 X-衍射分析、镜质体反射率和油层物性分析等手段, 结合区域油气地质研究成果, 对济阳坳陷古近系沙河街组三段一四段深部碎屑岩储层自生矿物演化特征与次生孔隙发育带的关系进行了研究。结果表明, 沙三段深部储层埋深 3 150~3 600 m 处次生孔隙主要与碳酸盐类等酸溶性组分的溶蚀有关, 埋深 4 250~4 500 m 处的次生孔隙主要成因于碱性溶蚀作用。沙四段次生孔隙发育带(埋深 3 350~3 600, 3 950~4 200 和 4 500~4 900 m)主要与还原条件下酸溶性矿物的溶蚀有关, 埋深 5 600~5 700 m 处次生孔隙的发育主要与碱溶性组分的溶蚀有关。车镇凹陷埋深 4 400~4 700 m 处的高岭石低值带、伊利石含量高值带与次生孔隙发育带对应。东营凹陷北带和渤南洼陷深层绿泥石高值带与孔隙带发育有较好的致性, 且与伊利石含量呈消长关系。渤南洼陷在埋深 3 500~4 800 m 处存在明显的粘土矿物转化异常带, 且伊蒙混层比高值带与绿泥石激增带及次生孔隙带具有较好的致性。

关键词: 自生矿物 孔隙 深层 沙河街组 古近系 济阳坳陷

中图分类号: TE122.2 文献标识码: A

Relationship between authigenic minerals and porosity in the deep Paleogene formations of the Jiyang Depression

Ma Guogang^{1,2,3} and Yuan Jing²

(1. CAS Guangzhou Institute of Geochemistry, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 2. CAS Graduate School,

Beijing 100049, China; 3. China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China)

Abstract Measures as thin-section analysis, clay mineral X-ray diffraction, vitrinite reflection and physical property analysis of oil layer combined with the results of a regional petroleum geological study were applied to the research of the relationship between authigenic minerals and secondary porosity of the deep clastic reservoirs in the 3rd and 4th members of the Paleogene Shahejie Formation in Jiyang Depression. The result shows that for the 3rd member, the secondary porosity of the depth interval within 3 150–3 600 m are related to the dissolution of acid-soluble components such as carbonate minerals, while that within 4 250–4 500 m are formed by dissolution of a alkali-soluble components. In contrast, for the 4th member, the secondary porosity of the depth intervals within 3 350–3 600, 3 950–4 200 and 4 500–4 900 m are formed mainly by dissolution of acid-soluble minerals, and those within 5 600–5 700 m are connected with dissolution of a alkali-soluble components. For the depth interval of 4 400–4 700 m in Chechen sag, the low content of kaolinite and high content of ledkite coincide well with high secondary porosity. For the deep layers in northern Dongying sag and Bonan sag, high content of chlorite coincide relatively well with high secondary porosity and present a mutual waning and waxing relationship with the ledkite content. For the depth interval of 3 500–4 800 m in the Bonan sag, there is an abnormal clay mineral transforming zone, and high I/S ratios coincide relatively well with an abrupt increasing of chlorite and high secondary porosity.

收稿日期: 2010-07-01

第一作者简介: 马国刚(1967-), 男, 副研究员, 石油地质。

基金项目: 国家科技重大专项(2009ZX05009-002) 山东省自然科学基金项目(2009ZRA05059)。

Keywords authigenic mineral porosity deep layer Shahejie Formation Paleogene Jiyang Depression

济阳拗陷位于渤海湾盆地东南缘、郯庐大断裂西侧, 呈北东走向, 东西长 230 km, 南北宽 120 km, 面积 29 000 km², 是晚白垩世末期在伸展裂陷作用下发育起来的断陷盆地 (图 1)。

济阳拗陷第三系沉积厚度逾 6 000 m, 主要由湖相成因的砂岩与泥岩组成, 油气资源极其丰富。随着勘探程度不断加深, 济阳拗陷古近系深层成为新的重要勘探目标, 在成岩演化、次生孔隙和物性特征等方面取得了丰硕的研究成果^[1-13], 并讨论了深层地层压力形成机制以及异常地层压力与流体性质对深部储层成岩改造的影响与控制作用^[14-17], 但较少关注深部储层成岩演化过程中自生矿物与成岩环境的关系。已有的研究表明, 济

阳拗陷深层在成岩改造过程中受介质性质的影响, 存在酸性和碱性两种成岩模式, 形成酸溶性和碱溶性两类次生孔隙^[7]。同时, 深层的异常高地层压力和特殊的流体运动方式对储层储集空间的发育造成特殊影响^[9]。本次选取济阳拗陷内钻井揭示较多的东营凹陷北部陡坡带 (以下简称东营北带)、沾化凹陷渤南洼陷和车镇凹陷埋藏深度大于 3 500m 或层位属沙 (沙河街组) 四段和孔店组的 40 余口井的岩心, 进行了薄片鉴定、扫描电镜观察、镜质体反射率、X-衍射和油层物性等分析测试 (表 1), 并结合区域油气地质研究成果, 针对碎屑岩自生矿物及其成岩环境意义开展了研究工作。

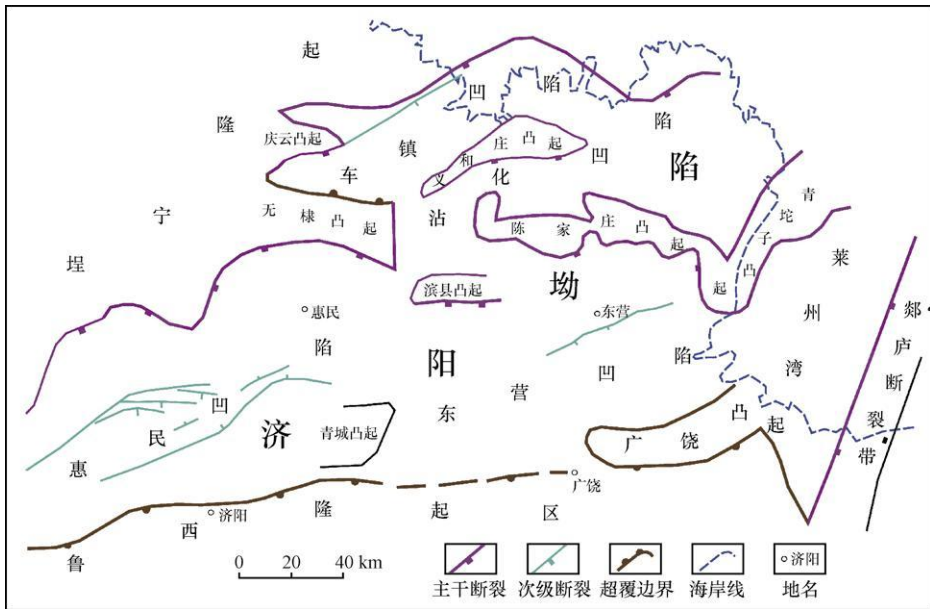


图 1 济阳拗陷构造略图

Fig 1 Structure outline map of the Jiyang Depression

表 1 济阳拗陷深层各凹陷分析测试工作量统计

Table 1 Statistics of analysis and testing workloads for the deep layers in three sags of the Jiyang Depression

序号	类别	单位	数量			
			东营凹陷	渤南洼陷	车镇凹陷	总计
1	薄片鉴定	片	478	226	176	870
2	扫描电镜观察	块	107	82	20	209
3	镜质体反射率分析	块	85	62	33	180
4	X-衍射分析	块	157	93	55	305
5	油层物性分析	块	1 725	1 765	515	4 005

1 主要成岩事件与成岩阶段划分

1.1 岩石学特征

研究区沙三一沙四段岩石成分成熟度低,砂岩储层主要为岩屑质长石砂岩,石英/(长石+岩屑)平均值为 0.57。石英平均含量为 36.3%。长石平均含量为 33.4%,以斜长石为主。岩屑含量平均为 29.8%。胜坨地区以沉积岩岩屑为主,渤南洼陷以变质岩和岩浆岩岩屑为主,沉积岩岩屑较少。

沙三段杂基含量以埕南断裂带最低,平均为 2%。胶结物含量在各区块中最高,平均达 20%。杂基含量最高者为车镇陡坡带,平均为 11.7%。该区块胶结物含量也较高,仅次于埕南断裂带,平均为 11.6%。其他区块杂基含量一般为 2.7%~8.0%,胶结物平均含量为 3.1%~11.0%。沙四段储层杂基含量以埕南断裂带为最高,平均为 13.5%。其胶结物含量以车镇陡坡带在各区块中最高,平均达 10.6%。其他各区块杂基平均含量为 4.1%~10.1%,胶结物含量为 5.8%~10.1%。

1.2 主要成岩事件

1.2.1 压实作用

1) 沙三段

对研究区部分区块沙三段储层遭受的压实作用进行量化计算,结果表明各区块遭受压实作用的程度差异较大。车镇陡坡带视压实率为 24%,储层遭受弱压实。埕南断裂带、车镇缓坡带和渤南断裂带视压实率 32.4%~46.9%,遭受中等压实。孤西断裂带、胜坨地区和渤南深洼陷视压实率为 54.4%~66.2%,遭受了较强压实。受其影响,原始孔隙度差异不大(31.20%~35.94%)的储层在压实之后孔隙度产生了较大差异(11.43%~23.70%)。

2) 沙四段

同沙三段相比,研究区主要区块沙四段储层遭受的压实程度普遍较强,仅胜坨地区和车镇陡坡带视压实率在 45.2%~47.1%,为中等压实。其余区块均遭受较强-强压实,特别是车镇缓坡带,视压实率达 72%,表明储层遭受到强压实。受压实作用影响,沙四段储层原始孔隙度从 32.59%~36.60%骤降为 9.70%~18.60%,储层物性差异性增强。

1.2.2 溶解作用

东营凹陷深部砂岩、砂砾岩储层中最常见的溶解作用是斜长石沿其解理缝形成粒内溶孔或溶缝,或颗粒边缘被溶解成阶梯状、港湾状外,其次是钾长石和长石质岩屑。深部储层中胶结物或粘土杂基的溶解现象也较为常见,可以形成沿颗粒边缘的贴粒缝或扩大的粒间溶孔。细粒碎屑岩可能由于选择性溶解而形成断续的溶缝。

渤南洼陷和车镇凹陷深层砂岩、砂砾岩储层中最常见斜长石、碳酸盐胶结物、钾长石、不稳定岩屑(如中性喷出岩岩屑、砂泥岩岩屑和低级变质岩岩屑等)的溶解作用。

本次在研究区各区块均发现了不同程度的石英质颗粒及石英加大边的溶蚀现象,尤其以胜坨地区沙三段下部和沙四段石英、石英加大边和石英质岩屑的溶解作用最为发育,形成了大量的粒间和粒内孔隙,为济阳拗陷深层储集空间增添了一种新的类型:碱溶性孔隙。

1.2.3 胶结作用

济阳拗陷深层常见的胶结物主要有方解石类、白云石类、石英、黄铁矿等。

1.3 成岩阶段划分

由图 2 可知,济阳拗陷各重点区块镜质组生油

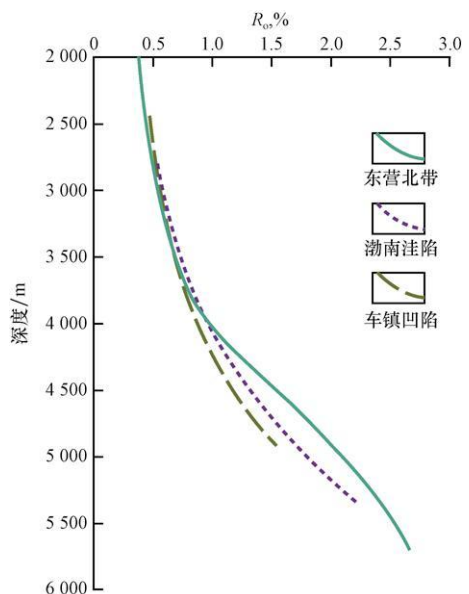


图 2 济阳拗陷各重点区块镜质体反射率(R_m)垂向演化特征

Fig. 2 R_m vs depth of the three key sags in

the Jiyang Depression

开始门限(镜质体反射率 $R_o = 0.45\%$) 深度差异不大, 基本在 2 500~ 2 700 m 附近 各区块有机质进入高成熟阶段 ($R_o = 0.70\%$) 的深度基本一致, 在 3 500~ 3 550 m 附近 生油终止门限 ($R_o = 1.30\%$) 深度平均为 4 500 m 左右, 其中以东营凹陷最浅、平均为 4 300 m, 车镇凹陷最深、平均为 4 700 m。考虑到研究区古近系深层盐湖普遍发育, 沉积水体多为咸水- 半咸水, 主要根据有机质演化特征和自生矿物演化特征, 依据碱性水介质碎屑岩成岩阶段划分规范^[18], 将济阳拗陷古近系埋深 3 500~ 5 000 m 以下的碎屑岩储层划分为中成岩 A₂, 中成岩 B 和晚成岩 3 个阶段, 埋深分别为 3 500~ 4 500 m, 4 500~ 5 000 m 和 5 000 m 以上。

2 各层段自生矿物及与孔隙发育的关系

2.1 沙三段

济阳拗陷沙三段储层埋深集中于 3 150~ 3 600 m (图 3), 取样分析也集中在该深度段。在该深度段自生石英含量较埋深 3 800~ 3 950 m 深度段明显富集, 且黄铁矿较发育, 方解石和白云石含量变化趋势与其相反。埋深 4 250~ 4 500 m 深度处, 主要胶结物为方解石, 含量可超过 10%, 未能统计自生石英含量, 反映此时成岩环境有利于碳酸盐的沉淀。

济阳拗陷深层沙三段高岭石含量高于伊利石和绿泥石含量 (图 4), 在埋深 2 900~ 3 150 m 和 3 300~ 3 500 m 有两个高值段, 但总体呈减少趋势,

伊 蒙混层比在 15% ~ 30% 间震荡, 反映该深度段储层进入中成岩阶段, 成岩环境总体为酸性。埋深 4 250~ 4 500 m 粘土矿物组合以伊利石和绿泥石为主, 表明该深度段成岩介质碱性较明显。

综上所述, 济阳拗陷沙三段深部储层埋深 3 150~ 3 600 m 处次生孔隙的发育主要与碳酸盐类等酸溶性组分的溶蚀有关, 埋深 4 250~ 4 500 m 处次生孔隙主要成因而于碱性溶蚀作用, 不利于自生石英和高岭石的沉淀。

2.2 沙四段

济阳拗陷沙四段自生石英在垂向上有 2 个较明显的高值带 (图 5), 即埋深 3 350~ 3 600 m 和 3 950~ 4 200 m 处, 黄铁矿含量变化与其类似, 但第二个高值带明显降低。方解石类含量变化趋势与自生石英相反, 且在埋深 5 550~ 5 700 m 处呈现第三个高值带。白云石类具有两个高值带, 略深于方解石前两个高值带。石膏类在埋深 4 250~ 4 500 m 深度段相对富集, 与白云石第二个含量高值带深度一致。

沙四段高岭石在埋深 3 000~ 5 650 m 深度段有 3 个高含量带 (图 6), 即 3 200~ 3 600 m, 3 950~ 4 200 m 和 4 500~ 4 900 m, 伊利石含量变化总体上与之相反 绿泥石含量由浅至深总体上呈增加趋势, 伊 蒙混层含量变化与其相反。可以认为, 埋深 3 200~ 3 600 m, 3 950~ 4 200 m, 4 500~ 4 900 m 和 5 600~ 5 650 m 处为较为明显的酸性成岩环境, 埋深 5 600~ 5 700 m 处伊利石含量出现明显峰值, 最高可达 75%, 反映较强的碱性成岩介质条件。

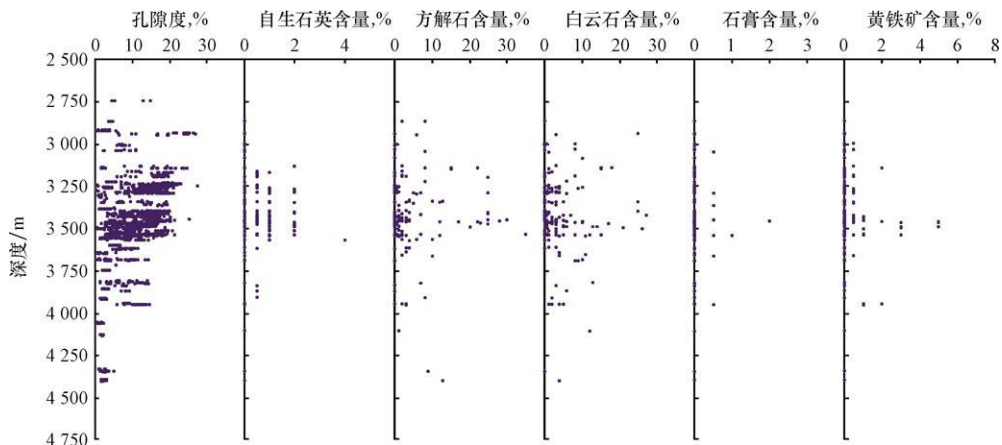


图 3 济阳拗陷深层古近系沙三段主要胶结物含量与孔隙度垂向演化特征

Fig 3 Main cement content and porosity vs depth for the 3rd member of the Paleogene Shahejie

Formation in the deep layers of the Jiyang Depression

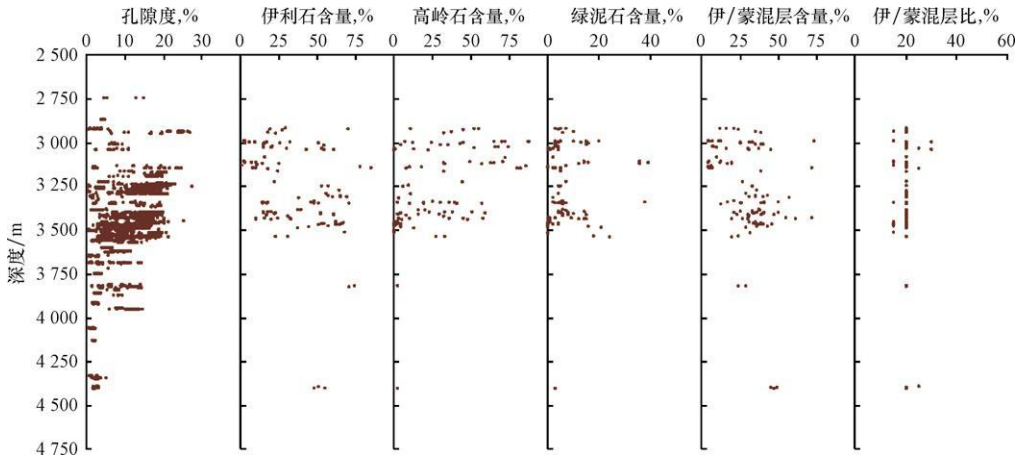


图 4 济阳坳陷深层古近系沙三段粘土矿物含量与孔隙度垂向演化特征

Fig. 4 Clay mineral content and porosity vs depth for the 3rd member of the Paleogene Shahejie Formation in the deep layers of the Jiyang Depression

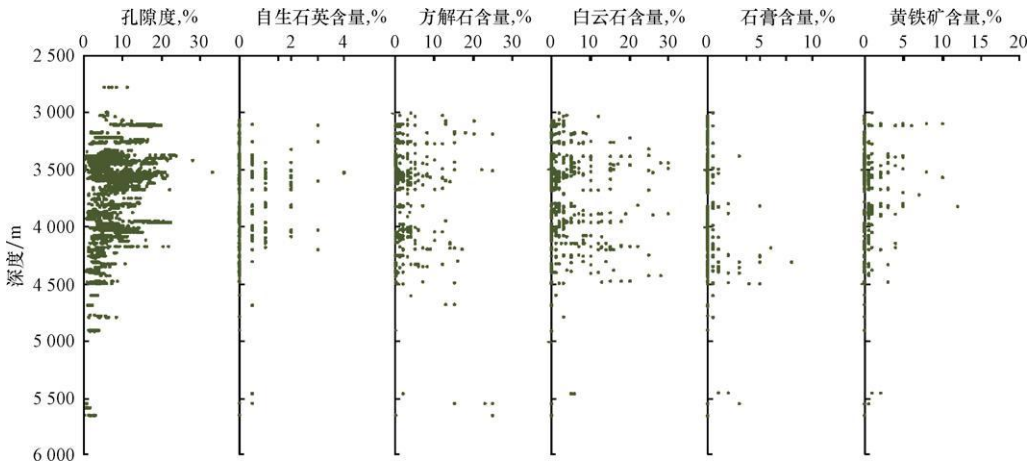


图 5 济阳坳陷深层古近系沙四段主要胶结物含量与孔隙度垂向演化特征

Fig. 5 Main cement content and porosity vs depth for the 4th member of the Paleogene Shahejie Formation in the deep layers of the Jiyang Depression

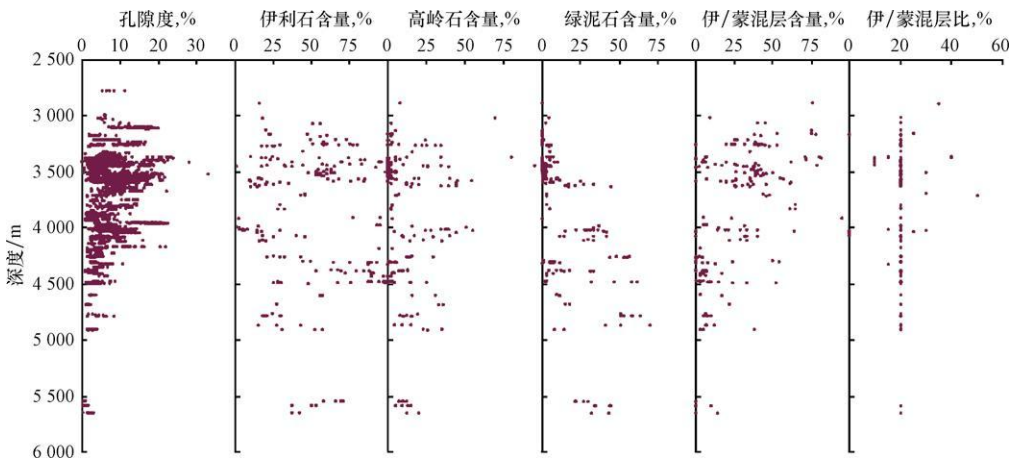


图 6 济阳坳陷深层古近系沙四段粘土矿物含量与孔隙度垂向演化特征

Fig. 6 Clay mineral content and porosity vs depth for the 4th member of the Paleogene Shahejie Formation in the deep layers of the Jiyang Depression

结合孔隙度垂向演化趋势,可以认为济阳拗陷沙四段深层前 3 个次生孔隙发育带(埋深 3 350~3 600, 3 950~4 200和 4 500~4 900 m)主要与还原条件下酸溶性矿物的溶蚀有关,埋深 5 600~5 700 m 处次生孔隙的发育则主要与碱性溶蚀有关。

3 各凹陷自生矿物及与孔隙发育的关系

3.1 方解石类

济阳拗陷各凹陷分别发育 3~4 个方解石胶结物高值带。前 3 个高值带深度分布具有统一性,分别位于 3 200, 3 500和 4 200 m 附近。其中,渤南洼陷第一个方解石高含量带深度比东营北带和车镇凹陷略深,最高值位于埋深 3 300 m 附近。车镇凹陷第二个方解石高值带深度比另两个凹陷略浅,最高值位于埋深 3 450 m 附近。该凹陷第三个方解石高值带从埋深 4 200 m 持续延伸至 4 700 m (图 7)。东营凹陷发育 4 个方解石高值带,第 4 个高值带深度在 4 900~5 100 m,为中央隆起带孔一段间歇性盐湖粉细砂岩地层。

在图 3 中还可看出 3 700~4 000 m 深度段各凹陷均存在一方解石低值带,该深度带孔隙发育较差。车镇凹陷方解石类胶结物含量在埋深 4 000 m 以上比渤南洼陷和东营北带略高,应与其物源多为古生界碳酸盐岩有关。

3.2 白云石

各凹陷白云石胶结物含量以东营北带最高,渤南洼陷白云石类胶结物含量相对最低(图 7)。各凹陷白云石类胶结物演化趋势总体上与方解石胶结物负相关,一般发育 3~4 个高值带,深度分布差别较大,其中 3 300~3 600 m 的高值带与孔隙度发育带在深度上具有一致性。东营凹陷和渤南洼陷在埋深大于 4 400 m 以及车镇凹陷在埋深大于 3 800 m 处存在较为明显的去白云化作用。研究区深层白云石类自生矿物靠近蚀变云母片产出或顺解理交代云母片产出的现象很普遍,并且在云母含量较高的深度段白云石类自生矿物含量也较高(图 8),表明云母、岩浆岩岩屑等富铁镁颗粒的蚀变可能为自生白云石的产出提供可观数量的铁、镁离子。

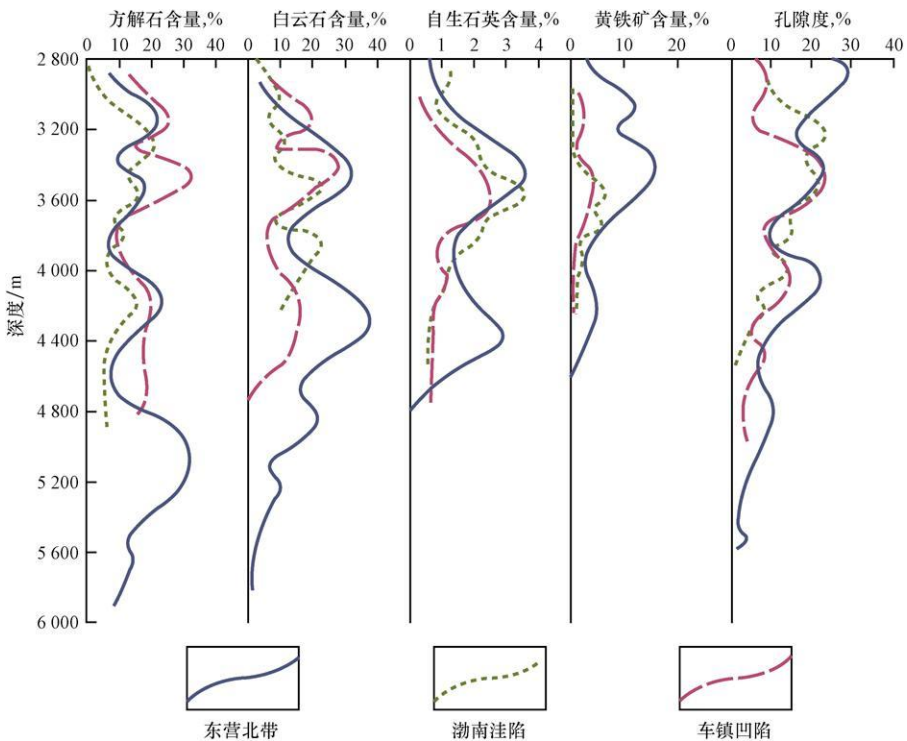


图 7 济阳拗陷深层古近系常见胶结物含量与孔隙度垂向演化特征

Fig. 7 Common cement content and porosity vs. depth for the Paleogene in the deep layers of the Jiyang Depression

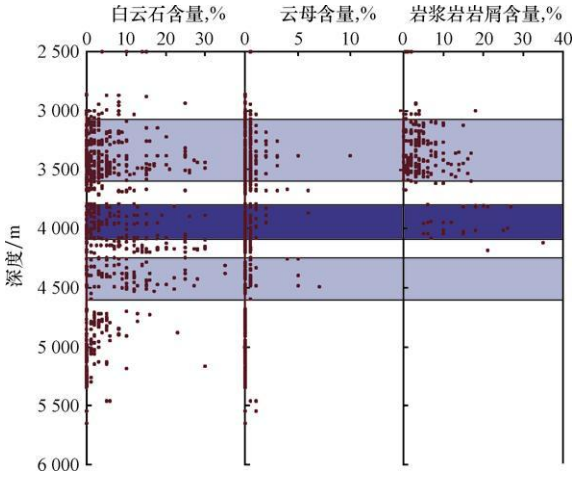


图 8 济阳坳陷深层古近系白云石与富铁镁碎屑含量垂向分布及关系

Fig 8 Contents of dolomite, mica and magmatic rock detritus vs depth for the Paleogene in the deep layers of the Jiyang Depression

3.3 石英

自生石英在各凹陷 3 400~ 3 600 m 深度段普遍较发育, 含量可达 4%, 与各凹陷均较发育的孔隙带在深度上一致 (图 7), 反映该孔隙发育带的形成与酸性介质下不稳定组分的溶解有关。同时可以看出车镇凹陷自生石英高值带发育深度最

大, 其次是渤南洼陷, 东营北带自生石英高值带埋深最浅, 这种现象应与济阳坳陷沉降中心由南至北的迁移过程有关。

3.4 黄铁矿

黄铁矿在各凹陷 3 400~ 3 600 m 深度段相对较发育, 在东营凹陷含量可达 10% 以上, 与各凹陷均较发育的孔隙带在深度上也有一致性, 反映该孔隙发育带的形成与还原条件下的溶解作用有关。另外, 从图 7 中可以看出, 东营凹陷在埋深 4 200 m 附近有一幅度较小的高值带, 与孔隙发育带深度分布较一致, 可能与硫酸盐热化学还原反应有关。

3.5 粘土矿物

3.5.1 伊/蒙混层

东营北带与渤南洼陷深层伊/蒙混层含量在垂向上时有起伏 (图 9), 但总体随埋深增大呈含量降低趋势。渤南洼陷伊/蒙混层含量高值带与孔隙发育带在深度上具有一致性。车镇凹陷埋深 4 500 m 附近伊/蒙混层含量出现一高值带, 明显高于浅部含量。同时高值带在深度上与伊利石含量和孔隙度高值带一致。

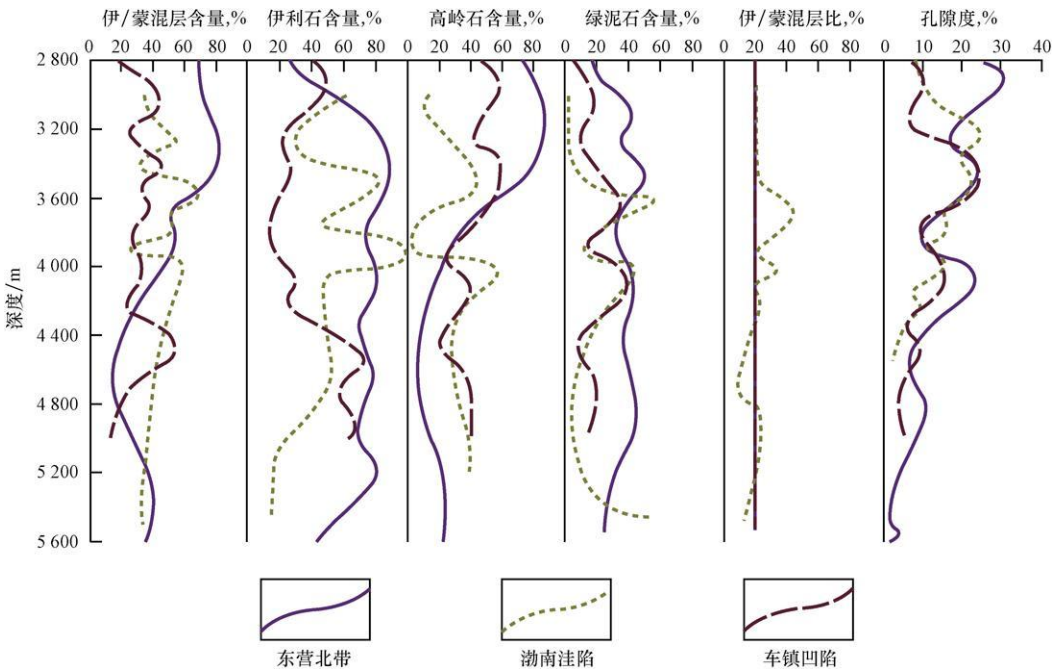


图 9 济阳坳陷深层古近系粘土矿物含量与孔隙度垂向演化特征

Fig. 9 Clay mineral content and porosity vs depth for the Paleogene in the deep layers of the Jiyang Depression

3.5.2 伊利石

东营北带伊利石含量明显高于另两个区块, 在埋深 3 200~5 300 m 虽深度变化略有起伏, 但含量均在 70% 以上 (图 9)。渤南洼陷伊利石在埋深 3 500 和 3 900 m 附近发育两个明显高值带, 含量高达 80% 以上, 与绿泥石含量及孔隙度呈反比。车镇凹陷伊利石含量在 3 个凹陷中最低, 一般不高于 30%, 但在埋深 4 400~4 900 m 出现高值带, 含量可达 70%, 该高值带由两个次级高值带组成, 前一个位于埋深 4 400~4 700 m, 与孔隙发育带在深度上一致, 反映在该深度段碱性介质对孔隙发育的积极影响。

3.5.3 高岭石

东营凹陷北带高岭石含量变化较为简单, 埋深 2 800~3 550 m 含量高达 80% 以上, 埋深大于 3 500 m 迅速降低, 至 5 200 m 略有增加, 但含量一般不超过 20%。埋深 2 800~3 550 m 高含量带在深度上与东营北带深层前 2 个次生孔隙带对应, 在埋深 5 200 m 处开始的略高含量带在深度上与次生孔隙带也有较好的对应关系 (图 9)。渤南洼陷深层高岭石含量有两个高值带, 第一个位于埋深 3 300~3 600 m 处, 与该凹陷深层第二个次生孔隙带发育深度相对应。第二个位于埋深 4 000~4 300 m 处, 与该凹陷第四、第五个次生孔隙带在深度大致对应。车镇凹陷深层高岭石前 3 个高含量带与孔隙度在深度上有较好的一致性, 分别位于埋深 2 800~3 100、3 300~3 700 和 4 100~4 250 m。埋深 4 400~4 700 m 的高岭石低值带与孔隙发育带在深度上对应。

3.5.4 绿泥石

东营凹陷深层绿泥石含量比其他两个凹陷略高, 含量一般在 30%~45%, 大致有埋深 3 000~3 300、4 000~4 200 和 4 600~5 000 m 4 个相对高值带, 与该凹陷深层孔隙带发育深度有较好的一致性 (图 9)。渤南洼陷古近系深层绿泥石普遍较低, 一般不超过 20%, 但在埋深 3 600~4 000 m 和 5 500 m 3 个明显的含量高峰, 含量可达 50% 以上, 且与孔隙带发育深度明显对应。车镇凹陷深层绿泥石含量一般在 10%~30%, 有埋深 2 900~3 600、4 100 和 4 700 m 4 个相对高值带, 与该凹陷深层伊利石含量呈消长关系, 而与孔隙带发育深度有较好的一致性。

3.5.5 伊蒙混层比

东营北带和车镇凹陷深层埋深 2 800 m 以下伊蒙混层比大多为 20%, 异常点不多 (图 9)。渤南洼陷在埋深 3 500~4 800 m 存在明显的粘土矿物转化异常带, 且伊蒙混层比高值带在深度上与绿泥石激增带及次生孔隙带多有较好的一致性, 可能与深部热液侵入引起地层压力异常^[6], 抑制粘土矿物转化, 从而利于保持较多粒间体积有关。

4 结论

济阳拗陷古近系埋深 3 500~6 000 m 碎屑岩储层处于中成岩 A₂ 亚期至晚成岩期, 在不同深度和区块分别发生酸性与碱性溶蚀作用主要受原始沉积物性质、地层压力和深部流体的影响, 且在溶蚀过程中伴有相应自生矿物的产出。

济阳拗陷沙三段深部储层埋深 3 150~3 600 m 处次生孔隙的发育主要与碳酸盐类等酸溶性组分的溶蚀有关, 埋深 4 250~4 500 m 处的次生孔隙主要成因而于碱性溶蚀作用, 不利于自生石英和高岭石的沉淀。沙四段深层前 3 个次生孔隙发育带 (埋深 3 350~3 600、3 950~4 200 和 4 500~4 900 m) 主要与还原条件下酸溶性矿物的溶蚀有关, 埋深 5 600~5 700 m 处次生孔隙的发育则主要与碱溶性组分的溶蚀有关。总体上看, 随深度增加, 碱性成岩环境对储层孔隙度演化和自生矿物产出的影响愈加明显。

各凹陷白云石类自生矿物演化趋势总体上与方解石类负相关, 埋深 3 300~3 600 m 的高值带与孔隙度发育带在深度上具有一致性。自生石英、黄铁矿和高岭石在各凹陷 3 400~3 600 m 深度段较发育, 与各凹陷均较发育的孔隙带在深度上一致。

渤南洼陷的伊蒙混层含量高值带与孔隙发育带在深度上具有一致性。车镇凹陷埋深 4 400~4 700 m 处高岭石低值带、伊利石含量高值带与孔隙发育带深度一致。东营凹陷北带和渤南洼陷深层绿泥石高值带与孔隙带发育在深度上有较好的一致性, 且普遍与伊利石含量呈消长关系。渤南洼陷受异常高压和深部热流的影响, 在埋深 3 500~4 800 m 存在明显的粘土矿物转化异常带, 且伊蒙混层比高值带在深度上与绿泥石激增带及次生孔隙带常具有较好的一致性。

(下转第 670 页)

参 考 文 献

- 1 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用 [J]. 石油学报, 2007, 28(4): 1~10
- 2 杨桥, 魏刚, 马宝军, 等. 郯庐断裂带辽东湾段新生代右旋走滑变形及其模拟实验 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 483~489
- 3 吕丁友, 杨明慧, 周心怀, 等. 辽东湾坳陷辽西低凸起潜山构造特征与油气聚集 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 490~495
- 4 陈国风. 锦州 20-2 凝析气田油气藏评价工作的主要特点 [J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(4): 268~273
- 5 陈国风, 冯国智. JZ20-2 凝析气田的水驱能量 [J]. 中国海上油气(地质), 1998, 12(4): 273~276
- 6 项华, 周心怀, 魏刚, 等. 渤海海域锦州 25-1 南基岩古潜山油气成藏特征分析 [J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2007, 29(5): 32~35
- 7 薛永安, 项华, 李思田, 等. 锦州 25-1S 大型混合花岗岩潜山油气藏发现的启示 [J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2006, 28(3): 29~31
- 8 邓津辉, 黄晓波, 李慧勇, 等. 辽东湾海域 JZ25 地区流体包裹体与油气运移 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 420~424
- 9 张文昭. 中国陆相大油田 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 52~103
- 10 周心怀, 项华, 于水, 等. 渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征与发育控制因素 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 32(6): 17~20
- 11 刘乐, 杨明慧, 李春霞, 等. 辽西低凸起变质岩潜山裂缝储层及成藏条件 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(2): 188~194
- 12 李潍莲, 刘震, 代春萌, 等. 辽东湾 JZ5 油气田西侧边界断层输导性能分析 [J]. 现代地质, 2009, 23(2): 292~298
- 13 李潍莲, 刘震, 夏庆龙, 等. 辽东湾凝析气田超压成因及侧向传递机制初探 [J]. 地质科学, 2008, 43(2): 377~388
- 14 徐长贵, 朱秀香, 史翠娥, 等. 辽东湾坳陷古近系东营组泥岩对油气藏分布的控制作用 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 431~437
- 15 李潍莲, 刘震, 于水, 等. 地温—地压场特征与油气分布的关系——以辽东湾地区为例 [J]. 天然气工业, 2006, 26(9): 17~20

(编辑 高 岩)

(上接第 663 页)

参 考 文 献

- 1 蔡进功, 谢忠怀, 田芳, 等. 济阳坳陷深层砂岩成岩作用及孔隙演化 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 23(1): 84~88
- 2 蔡进功, 谢忠怀, 刘宝军, 等. 胜利油区深部砂岩储集层类型及特征 [J]. 石油学报, 2001, 22(5): 34~37
- 3 胡宗全, 周新科, 张玉兰. 济阳坳陷前第三系油气勘探前景 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 655~660
- 4 李军亮. 民丰洼陷盐下深层天然气储层特征 [J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(4): 48~49
- 5 钱铮, 李淳, 李跃, 等. 济阳坳陷深层砂岩储层成岩作用及其阶段划分 [J]. 石油大学学报(自然科学版), 1996, 20(2): 6~11
- 6 宋国奇, 卓勤功, 孙莉. 济阳坳陷第三系不整合油气藏运聚成藏模式 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(6): 716~720, 732
- 7 吕慧, 陈致林, 王忠, 等. 济阳坳陷东营凹陷南斜坡高蜡原油高分子量烃类分布及高蜡成因 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(3): 355~360
- 8 张善文, 袁静, 隋风贵, 等. 东营凹陷北部沙河街组四段深部储层多重成岩环境及演化模式 [J]. 地质科学, 2008, 43(3): 576~587
- 9 吴光华, 王红亮, 林会喜, 等. 渤海湾盆地埕岛地区东营组沉积特征及其油气地质意义 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 33~41
- 10 王勇, 钟建华, 马锋, 等. 济阳坳陷陡坡带深层砂砾岩体次生孔隙成因机制探讨 [J]. 地质学报, 2008, 82(8): 1152~1159
- 11 许晓明, 刘震, 谢启超, 等. 渤海湾盆地济阳坳陷异常高压特征分析 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 345~349
- 12 张善文. 济阳坳陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 731~740, 761
- 13 蔡李梅, 陈红汉, 李纯泉, 等. 济阳坳陷东营凹陷沙三中亚段流体包裹体古流体势场恢复 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 17~24
- 14 袁静, 赵澄林. 水介质的化学性质和流动方式对深部碎屑岩储层成岩作用的影响 [J]. 石油大学学报, 2000, 24(1): 60~63
- 15 王效美, 张立强, 罗晓容, 等. 沾化凹陷沙河街组异常高压分布及形成机制探讨 [J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(3): 37~39
- 16 高建岗, 高树新, 王风华, 等. 东营凹陷胜坨地区沙四段地层压力特征及其对储层的影响 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(1): 35~38
- 17 刘延莉, 邱春光, 邓宏文, 等. 冀东南堡凹陷古近系东营组构造对扇三角洲的控制作用 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 95~101
- 18 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, 2003: 98

(编辑 董 立)