

YOUQI CHENGCANG LILUN YU KANTANKAIFA JISHU(JIU)

油气成藏理论与勘探开发技术（九）

——2016 年博士后学术论坛文集

中国石化石油勘探开发研究院
中国石化石油工程技术研究院

博士后科研工作站 编



地质出版社

油气成藏理论与勘探开发技术（九）

——2016年博士后学术论坛文集

中国石化石油勘探开发研究院 博士后科研工作站 编
中国石化石油工程技术研究院

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

油气成藏理论与勘探开发技术. 九, 2016 年博士后学术论坛文集 / 中国石化石油勘探开发研究院博士后科研工作站等编. —北京: 地质出版社, 2017. 7

ISBN 978 - 7 - 116 - 10364 - 1

I. ①油… II. ①中… III. ①油气藏形成—学术会议—文集②油气勘探—学术会议—文集 IV.

①P618. 13 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 118996 号

责任编辑: 杨 艺 孙亚芸

责任校对: 王 瑛

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 66554528 (邮购部); (010) 66554590 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554686

印 刷: 北京地大彩印有限公司

开 本: 787mm × 1092mm¹/₁₆

印 张: 28.75

字 数: 700 千字

版 次: 2017 年 7 月北京第 1 版

印 次: 2017 年 7 月北京第 1 次印刷

定 价: 88.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 10364 - 1

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

目 录

油气地质

- 暴露成岩环境与碳酸盐岩储层形成 郝运轻 金之钧 孙冬胜 等 (3)
- 深层碎屑岩储层成岩 - 成藏过程分析
——以准噶尔盆地莫西庄地区三工河组为例
..... 胡才志 罗晓容 邱桂强 等 (10)
- 塔里木盆地塔中北坡地区下奥陶统鹰山组白云岩的成因与分布
..... 赵 锐 赵佳慧 刘天甲 等 (24)
- 米兰科维奇周期在印度尼西亚 Kutei 盆地精细沉积速率恢复中的应用
..... 吴宝年 金之钧 (40)
- 混合润湿多孔介质中多相流体渗流机理研究 齐育楷 罗晓容 刘乃贵 (49)
- 中西部冲断带构造特征及其与油气关系
——物理模拟实验研究 赵 利 徐旭辉 方成名 等 (64)
- 塔里木盆地巴楚一间房地区二叠系侵入岩特征及其对储层的影响
..... 徐 康 胡文瑄 刘光祥 (77)
- Dickinson 砂岩组分分析方法在苏北盆地碎屑岩物源分析中的应用
..... 王 军 王清晨 许长海 等 (86)
- 富有机质页岩解吸气地球化学特征及其指示意义
..... 罗厚勇 范 明 胡文瑄 等 (106)
- 基于三维正演数值模拟的苏北东台坳陷阜宁组物源讨论
..... 韩元红 徐旭辉 陆建林 等 (114)
- 人工模拟环境下油气微生物数量及功能基因变化特征
..... 顾 磊 杨 帆 许科伟 等 (124)
- 塔里木盆地奥陶系深层地温 - 地压场特征与油气分布关系
——以顺南 - 古隆地区为例 万旻璐 顾 忆 庄新兵 等 (136)
- 准噶尔盆地东缘蛇绿缝合带多阶段演化特征 罗 军 (150)
- 基于多种敏感测井参数的碳酸盐岩潜山内幕储层识别
——以南堡地区储层为例 师 政 陆建林 邱隆伟 (166)

扎格斯盆地成藏组合划分与资源潜力评价	王大鹏 殷进垠 陶崇智 (177)
地质统计学反演参数优选试验研究	王 鹏 胡向阳 魏水建 (191)
巴西 Iara 油田盐下湖相微生物碳酸盐岩层序地层格架研究	姚 威 孙红军 张忠民 (199)
冲积扇沉积构型研究	喻 宸 (209)
上扬子地区下寒武统海相页岩岩相类型及沉积环境	伍 岳 樊太亮 (223)
南海北部深水区中央峡谷天然气成藏模式研究	刘静静 刘 震 熊利平 (235)

地球物理

富有机质页岩岩石物理建模及横波速度预测	钱恪然 何治亮 陈业全 等 (247)
基于岩石物理模板的储层流体识别方法	刘 倩 董 宁 季玉新 (258)
改进的质心频移法估算衰衰减近地表 Q 值	李会俭 陈世军 曹思远 (266)
基于低频软约束 - 基追踪的薄层反演方法研究	张丰麒 金之钧 盛秀杰 (277)
页岩气储层孔隙结构的测井定量表征方法及应用	金武军 李 军 武清钊 等 (287)
基于积分方程的水平井随钻电磁波电阻率正演模拟分析	胡 松 王晓畅 孔强夫 (296)

油气田开发

中石化天然气价格分析与建议	孟 新 荆克尧 凡哲元 (311)
基于主、客观权重气藏评价项目综合评价方法	王钊濂 史云清 周跃忠 等 (317)
页岩气藏储层动用能力及其影响因素研究	戴 城 王卫红 刘 华 等 (328)
应力敏感效应对致密气藏压裂水平井产量的影响	王 欣 张 睿 (340)
稠油解烃菌与乳化剂产生菌复配降解降黏机理	齐义彬 郑承纲 吕成远 等 (347)
油页岩原位加热数值模拟分析	郭 鹏 王益维 龙秋莲 等 (356)
一个新的表面活性剂驱油数值模拟模型	苟斐斐 黄延章 刘卫东 等 (367)
考虑流固耦合效应的页岩气储层人工裂缝参数优选	范 鑫 李根生 苏建政 等 (377)

石油工程

液体二氧化碳携砂规律数值模拟研究	肖 博 蒋廷学 张士诚 (393)
声波测井圆弧接收阵的方位接收特性实验研究	吴金平 陆黄生 张 卫 等 (402)

基于射频识别技术的井下电磁环境仿真及影响因素分析

..... 胡 亮 马开华 (410)

改进的低黏压裂液输砂模型研究 侯 磊 蒋廷学 刘红磊 (420)

塔中北坡超深侧钻水平井分段完井管柱优化设计

..... 何 同 何祖清 岳 慧 等 (429)

塔中地区高压气藏防气侵封堵技术研究 韩子轩 林永学 柴 龙 等 (440)

一种多模式声波换能器激励系统研究 李丰波 鞠晓东 陆黄生 等 (450)

油 气 地 质

暴露成岩环境与碳酸盐岩储层形成

郝运轻 金之钧 孙冬胜 李双建

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要 世界范围内勘探及开发已证实: 碳酸盐岩是分布最为普遍的石油与天然气储层, 储集体主要为礁滩型、岩溶型及裂缝型等。碳酸盐岩储集空间的形成均与暴露成岩环境密切相关, 暴露成岩环境包括大气淡水渗流环境和潜流环境, 具有广泛的溶解特征, 是次生储集空间形成的重要场所。在碳酸盐质沉积物沉积、成岩过程中, 同生成岩阶段的大气淡水成岩环境和表生成岩阶段的近地表成岩环境为主要的暴露成岩环境, 溶蚀作用广泛发育, 相应形成早期岩溶型储层和风化壳型储层, 钙结岩型储层则是干旱气候下岩溶作用的产物。同生期溶蚀作用与白云石化作用是礁滩型优质储层形成的主要机理, 同生期与表生期成岩作用相互叠加则是复合型规模性优质储层形成的主要机理。

关键词 暴露成岩 早期岩溶 古岩溶 钙结岩 碳酸盐岩储层

Carbonate Reservoir Relevant to Exposed Diagenesis Environment

HAO Yunqing, JIN Zhijun, SUN Dongsheng, LI Shuangjian

(Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract As the most commonly distributed hydrocarbon reservoir, the carbonate reservoir is mainly composed of four genetic types: reef-shoal facies dolostone, reef-shoal facies limestone, karst reservoir and the fractures type. The relevant porosity is closely related to exposed diagenesis environment including the meteoric vadose and phreatic zone where the secondly porosity is developed by extensive dissolution. The exposed diagenesis environment is developed during the eogenetic and telogenetic diagenesis process of the carbonate sediment and correspondingly eogenetic karst and telogenetic karst reservoir can be formed. The caliche reservoir is closely related to the exposed diagenesis environment in arid climate. Extensive dissolution and dolomitization are the major mechanisms of reef-shoal type of high quality reservoir, and multi-stage karst of eogenetic and telogenetic environment are the developing mechanisms of large-scale high quality reservoirs.

Key words exposed diagenesis environment; eogenetic karst; paleokarst; caliche; carbonate reservoir

0 引言

世界范围内海相碳酸盐岩是分布最为普遍的石油与天然气储层。21 世纪以来, 海相碳酸盐岩大油气田仍是全球范围内新增储量的主要领域, 碳酸盐岩储层形成机理及形成机制一直是油气勘探领域研究的热点及重点。世界范围内碳酸盐岩油气勘探及开发已证实, 碳酸盐岩储集体类型主要包括礁滩白云岩、礁滩灰岩、岩溶型及裂缝型 4 类^[1]。

暴露成岩环境包括大气淡水渗流环境和潜流环境^[2-3]，通常具有广泛的溶解特征，因此是次生储集空间形成的重要场所（图1）。碳酸盐岩成岩作用是指沉积物沉积后发生在沉积物或沉积岩内的一切物理或化学变化（不包括变质作用），可以发生在海底（同生期或早期成岩作用）、持续到深埋（深埋或埋藏成岩作用）、延续到抬升阶段（表生成岩作用），因此暴露成岩环境主要包括早期成岩阶段的大气淡水成岩环境和后期表生成岩环境。

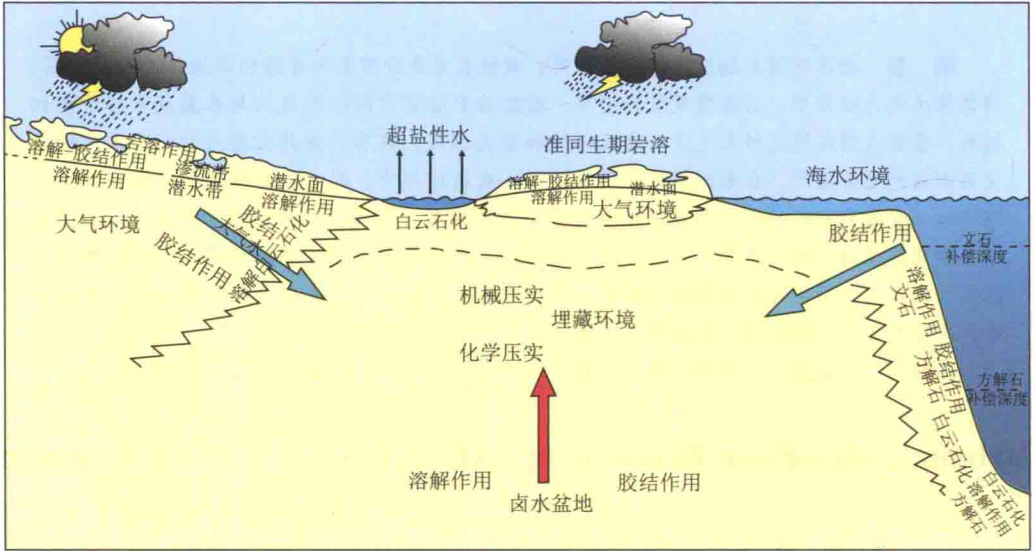


图1 碳酸盐岩成岩环境
(据文献 [3], 有改动)

Fig. 1 Diagenesis environment of carbonate sediment

本文在中国西部四川盆地、中国东部济阳拗陷及伊朗 Kashan 地区碳酸盐岩油气勘探实践基础上，结合前人研究成果^[4-17]，总结了主要的碳酸盐岩储集体类型与暴露成岩环境之间的成因联系，明确了暴露成岩环境对于优质碳酸盐岩储层形成的重要意义。暴露成岩环境成岩作用类型以溶解作用、胶结作用、交代作用和破裂作用为主，一方面，溶解作用和破裂作用能够形成丰富的孔、洞、缝，成为油气保存的有效储集空间；另一方面，胶结作用和交代特征又独具特色，例如渗流带的重力胶结物及渗流鲕粒发育、潜流带等厚环边胶结物的发育等。大气淡水成岩环境白云石化作用是储层质量变优的重要机制，表生成岩环境去白云石化作用是古岩溶识别的重要标志。暴露成岩环境是次生储集空间形成的重要场所，和暴露成岩环境相关的储层成因类型主要包括风化壳型储层和早期岩溶型储层，干旱气候下暴露成岩环境还能够形成钙结岩型储层。

1 风化壳型储层

风化壳型储层即古岩溶型储层，是碳酸盐岩埋藏成岩之后再次抬升到地表，在湿热气候条件下发生岩溶作用形成的储层。在中国海相沉积中，经历了风化壳古岩溶作用的碳酸

盐岩地层分布广泛，其中四川盆地震旦系灯影组、寒武系龙王庙组、石炭系黄龙组，华北地台震旦系雾迷山组、奥陶系马家沟组都极具代表性。古岩溶型储层分布面积广、厚度大、溶蚀孔洞发育，常发育大的洞穴及角砾状充填物；受物理风化作用强度、断裂带分布、古地形和岩溶地貌、岩性及分布、暴露时间长短等因素影响，古岩溶型储层储集空间孔、洞、缝并存，非均质性强。

以济阳拗陷下古生界潜山为例，寒武系、奥陶系碳酸盐岩地层受加里东运动影响抬升至地表和近地表，遭受了100Ma的风化剥蚀和岩溶改造，古风化壳储层发育，是胜利油气区重要的储层成因类型。潜山顶部以垂向溶蚀为主，发育风化壳型储层；在断层附近以侧向溶蚀为主，发育断裂岩溶带型储层。风化壳型储层多分布在距潜山顶面100m范围之内^[4]，以裂缝-孔洞型储层为主，其次为孔隙-裂缝型，主要是在古岩溶作用形成的各类孔、缝和角砾岩带基础上叠加深层溶解作用形成的。济阳拗陷在孤北和义和庄潜山带均钻遇有洞穴堆积型高产储集岩^[5]；孤北10井距古风化壳顶面12m的马家沟组灰岩钻遇洞穴堆积型高产储集岩（图2a），据古生物分析，该洞穴堆积物产早侏罗世孢粉化石，古溶洞形成于早侏罗世之前；桩古10井洞穴硅化泥岩受洞壁保护免受压实，孔隙性好，孔隙度为12%~24%，电镜观察微孔隙发育（图2b），自生石英呈支撑状，白云石有溶孔，泥质矿物为伊利石。

以四川盆地灯影组为例，灯二段和灯四段沉积之后分别受桐湾运动I、II幕抬升运动的影响，从而在顶部发育了两套古风化壳型储层^[6-8]。灯影组白云岩经过漫长的成岩演化，在表生岩溶、准同生期岩溶、裂缝、重结晶和深部溶解等增孔作用下，仍可发育有利储层（图2c, d, e, f），是四川盆地深部最重要的储层成因类型。先存孔隙结构及暴露成岩环境对于碳酸盐岩储层形成起着最为决定性的作用，具体可表现在3个方面：①受矿物组成及先存孔隙结构影响，白云岩不易形成大的缝洞型储集空间，因此潜水面附近的强烈溶蚀特别重要；②藻白云岩顺层窗格孔是重要的储集空间，相对较高的孔渗性也是后期遭受溶蚀形成储层的有利物质基础；③具颗粒结构的白云岩和藻白云岩在埋藏过程中由于相对较高的原始孔渗性容易发生重结晶作用，形成砂糖状白云岩储层。

2 早期岩溶型储层

碳酸盐质沉积物同生沉积阶段，可能的成岩环境包括海底成岩环境、湖底成岩环境、潮上成岩环境、大气淡水成岩环境和混合水成岩环境。无论是海相环境，还是湖相环境，浅水碳酸盐质沉积物在构造沉降或海平面下降时，先成碳酸盐质沉积物可能出露水面，因此常常受到淡水成岩作用的影响，是为大气淡水成岩环境。

大气淡水成岩作用一般是溶解-沉淀转换作用^[2]，即不稳定物质溶解后会和其他位置沉淀起胶结作用。因此，随着淡水成岩作用的不断进行，会出现组构完全被置换的现象，例如之前的颗粒成为次生孔隙，而之前的原生孔隙则被胶结物所充填。礁、滩类等多孔性沉积经过大气淡水溶蚀改造后储层质量更优。

另一方面，浅水蒸发环境利于白云化作用进行。浅水礁滩沉积物在出露水面经受大气淡水溶蚀改造的同时，产生了发生白云石化作用的环境条件，云化机制可能有潮坪蒸发泵准同生白云化作用、回流渗透白云化作用及混合白云化作用。白云石化一般对储层物性起

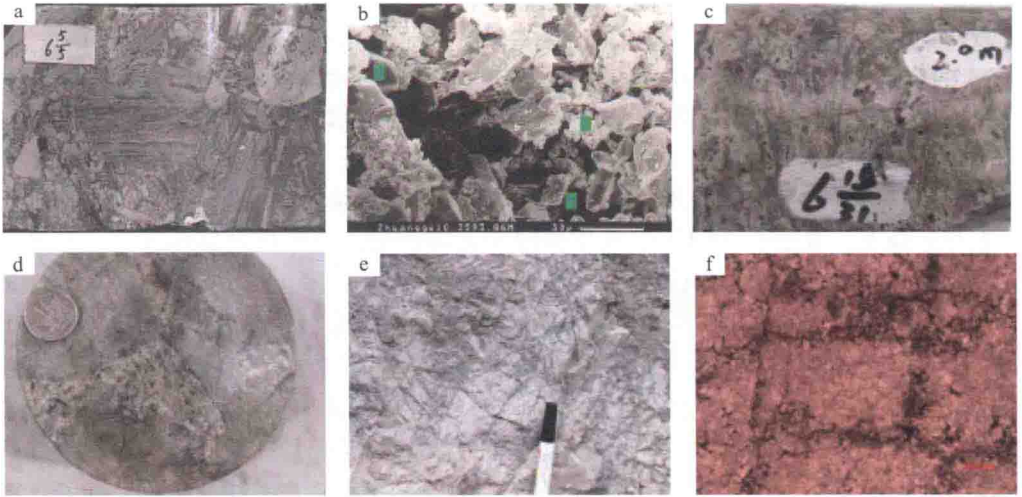


图2 风化壳型储层储集空间

Fig. 2 Reservoir porosity of telogenetic karst reservoir

a—济阳拗陷，孤北10井，奥陶系，洞穴角砾岩，角砾间及角砾内溶孔发育；b—济阳拗陷，桩古10井，奥陶系，洞穴泥岩，微孔隙发育；c—四川盆地，天星1井，灯二段，藻白云岩，溶蚀孔洞发育，充填沥青；d—四川盆地，焦石1井，灯二段，角砾状白云岩，角砾间溶蚀孔洞发育；e—四川南江，杨坝剖面，灯四段，角砾状泥晶白云岩，角砾间充填沥青；f—四川南江，桥亭剖面，灯四段，微晶白云岩，裂缝发育，见沥青充填

改善作用的观点，目前在业界已形成共识。

早期岩溶型储层岩性以白云岩类为主，孔隙以组构性溶孔为特征，分布层位多、范围广；受各种原因导致的海平面及湖平面变化影响，海相沉积和湖相沉积均可发育早期岩溶型储层。例如，中国四川盆地龙王庙组鲕粒白云岩（图3a，b）、飞仙关组礁白云岩（图3c）和伊朗Kashan地区古近系库姆组礁白云岩（图3d）等海相碳酸盐岩储层，以及中国东部济阳拗陷沙一段粒屑白云岩（图3e）、沙四段藻云岩等湖相碳酸盐岩储层（图3f）。

3 钙结岩型储层

钙结岩型储层即古土壤型储层。土壤相和喀斯特相是暴露环境碳酸盐岩成岩相的两个端员^[13]，其中喀斯特相（Karst facies）易于保存，而土壤相（Edaphic or Soil facies）则很少在地层中保存。土壤产物被碳酸盐胶结形成钙结岩（Caliche）后才较易保存^[14]。

钙结岩是半干燥气候暴露环境的产物，存在于岩层内部者为钙结古土壤^[13]。钙结岩次生孔隙常常比较发育，能够形成良好的油气储层。世界范围内钙结岩的研究成果^[13-18]表明，铸模孔发育是其重要特征之一；钙结岩层不均匀发育各类粒间孔、粒间溶孔、生物溶孔及根孔等多种储集空间类型，甚至钙结团块的方解石包覆层亦可溶蚀形成次生孔隙^[18]。

济阳拗陷钙质古土壤首次发现于义东301井^[19]，从而确定了胜利油区一类新的储层

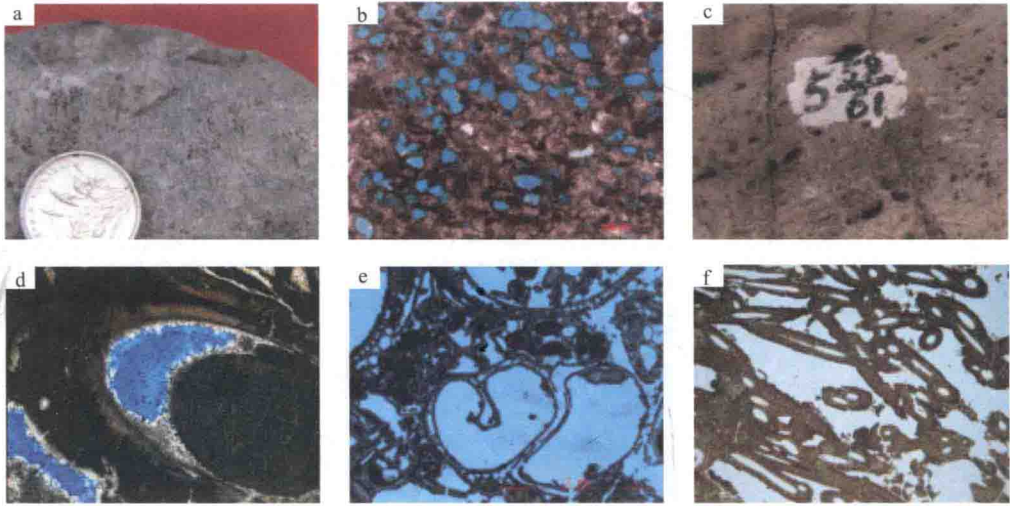


图3 早期岩溶型储层储集空间

Fig. 3 Reservoir porosity of eogenetic karst reservoir

a—四川盆地, 资阳1井, 龙王庙组, 鲕粒白云岩鲕粒铸模孔发育; b—贵州岩孔, 龙王庙组, 亮晶晶屑白云岩, 鲕粒铸模孔发育; c—四川盆地, 金溪2井, 飞仙关组, 礁白云岩, 溶孔顺层发育; d—伊朗 Kashan 地区, 库姆组, 生物礁白云岩; e—济阳拗陷, 2-2-观18井, 1784.25m, 沙一段, 螺白云岩, 螺铸模孔发育; f—济阳拗陷, 义深4井, 3112m, 沙四段, 藻白云岩, 生物孔发育

类型。据取心井普查, 胜利油区沙四段上亚段钙结岩识别标志(图4a—c)主要包括钙结团块、凝块、渗流砂、渗流豆、渗流鲕、植物根、钙化微海松、流水石、滴水石、结壳等。储集空间有3种成因: ①岩石风化碎块和各类团块、豆粒经钙结作用后可保留一定数量的粒间孔隙(图4d); ②淡水淋滤形成次生溶蚀孔隙(图4e); ③植物活动形成的根孔或其他孔隙(图4f)。东营凹陷滨南地区和沾化凹陷义深4井区古近系沙四段碳酸盐岩见多层钙结岩, 说明沉积期水下隆起区发育的礁相或浅滩相碳酸盐岩曾多次出露水面, 成为潮上环境, 植物相对繁盛; 母岩在物理风化、化学风化和生物风化作用下, 或形成干裂缝, 或逐渐破碎; 大气降水溶解部分 CaCO_3 , 母岩表面残留黏土矿物等不易溶组分, 混合有机质形成黏土胶膜; 富含 CaCO_3 的地下水在半干旱气候条件下, 因蒸发作用及植物的蒸腾作用运移到地表沉淀, 包覆于母岩碎块表面, 形成钙结团块; 随着钙结程度增强, 形成纹层状钙质壳; 植物根附近营养物质丰富, 是微生物活跃地带, 相应形成各类生物成因组构, 例如根构造、肺泡结构、钙化丝质体等; 受水进等因素影响, 暴露环境下形成的钙结岩可再次被水体淹没, 接收正常碳酸盐岩沉积。济阳拗陷古近系沙四段钙结岩为多次暴露和淹没的结果, 是多次暴露成岩和接收正常沉积的产物。

4 结论与讨论

碳酸盐岩成岩作用类型多样, 不同成岩环境的成岩作用类型相互叠加常常使岩石原始组构变化较大; 碳酸盐岩储层是沉积、成岩及构造改造等多地质因素、多期改造的结果,

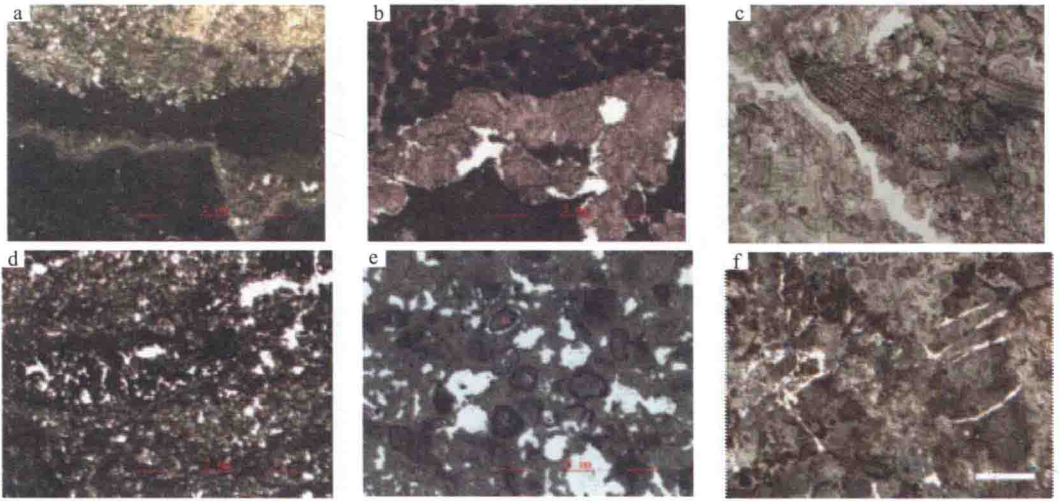


图4 济阳拗陷沙四段钙结岩型识别标志及主要储集空间类型

Fig. 4 Identification marks and reservoir of Es₄⁺ Formation, Jiyang Depression

a—滨226井, 1565.65m, 纹层状钙结壳似叠层石结构和似碟状构造; b—滨226井, 1562m, 微海松沿裂缝分布; c—桩34井, 2817.76m, 钙化植物碎片及潜流带胶结物破碎; d—滨西3-12井, 1575.5m, 层状钙结壳中夹有粪球粒透镜体层, 见粒间孔; e—滨76井, 1486.2m, 粒屑铸模孔及基质溶孔发育, 见小豆粒; f—义东301井, 3592.35m, 未充填根模孔

因此储层发育过程及成因机制研究需要多手段、多因素综合分析。

溶蚀作用是暴露成岩环境相关碳酸盐岩储层形成的核心机制, 不同成因储层类型受控因素及分布规律又各具特色: 风化壳型储层主要受构造和风化作用控制, 缝、洞、孔并存, 规模较大, 非均质性强; 早期溶蚀型储层主要受海平面变化、沉积相和溶蚀作用控制, 储集空间以孔洞为主, 储集体成层性较好; 钙结岩型储层受干旱气候风化作用控制, 储集空间以孔洞为主, 储集体成层性较好。

暴露成岩环境是碳酸盐岩次生储集空间形成的主要场所, 那么深部碳酸盐岩储层形成机制研究必须考虑两个问题: ①相对于油气充注时间, 暴露环境形成的次生储集空间形成早, 深部保存机制如何? ②目前多数学者通过研究已经形成开放体系是规模性孔洞型储层形成的根本原因的共识, 那么埋藏成岩环境中溶蚀作用发生的机理、规模及超深层—深层储集空间的保持机制如何?

参考文献

- [1] 范嘉松. 世界碳酸盐岩油气田的储层特征及其成藏的主要控制因素 [J]. 地学前缘, 2005, 12 (3): 23~30.
- [2] Scholle P A, Ulmer-Scholle D S. A color guide to the Petrography of Carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis [J]. AAPG Mem., 77. 2003. Published by the American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Oklahoma, U. S. A.
- [3] Moore C H. Carbonate diagenesis and porosity (Developments in Sedimentology, 46): New York,

Elsevier, 1989, 3389.

- [4] 宋国奇, 等. 胜利油区古生界地质特征及油气潜力 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 2000.
- [5] 杜韞华, 刘守义. 济阳拗陷洞穴堆积型高产储集岩 [J]. 石油与天然气地质, 1986, (2): 116 ~ 123.
- [6] 韩克猷, 孙玮. 四川盆地海相大气田和气田群成藏条件 [J]. 石油天然气地质, 2014, 35 (1): 10 ~ 18.
- [7] 朱东亚, 金之钧, 张荣强, 等. 震旦系灯影组白云岩多级次岩溶储层叠合发育特征及机制 [J]. 地学前缘, 2014, (6): 335 ~ 345.
- [8] 赵文智, 沈安江, 胡安平, 等. 塔里木、四川和鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩规模储层发育地质背景初探 [J]. 岩石学报, 2015, 31 (11): 3495 ~ 3508.
- [9] 谭秀成, 肖笛, 陈景山, 等. 早成岩期喀斯特化研究新进展及意义 [J]. 古地理学报, 2015, (4): 441 ~ 455.
- [10] 杨威, 魏国齐, 金惠, 等. 碳酸盐岩成岩相研究方法及其应用——以扬子地块北缘飞仙关组鲕滩储层为例 [J]. 岩石学报, 2011, 27 (3): 749 ~ 756.
- [11] 姜秀芳. 济阳拗陷沙四段湖相碳酸盐岩分布规律及沉积模式 [J]. 油气地质与采收率, 2010, 17 (6): 12 ~ 15.
- [12] 武刚, 邢正岩, 彭寿英, 等. 济阳拗陷湖相碳酸盐岩储层分布特征及综合评价 [J]. 特种油气藏, 2004, 11 (2): 26 ~ 28.
- [13] Esteban M, Klappa C F. Subaerial exposure environment; in Carbonate depositional environment [J]. AAPG Mem., 1983, 33: 1 ~ 54.
- [14] 范嘉松, 吴亚生. 贵州中三叠统上部垄头组的沉积性质——再论其钙结壳的成因 [J]. 地质学报, 2004, 78 (2): 149 ~ 155.
- [15] Alonso-Zarza A M. Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record [J]. Earth-Science Reviews, 2003, 60: 261 ~ 298.
- [16] Zhou J, Chafetz H S. Biogenic caliches in Texas: The role of organisms and effect of climate [J]. Sedimentary Geology, 2009, 222: 207 ~ 225.
- [17] Rong L, Brian J. Calcareous crusts on exposed Pleistocene limestones: A case study from Grand Cayman, British West Indies [J]. Sedimentary Geology, 2014, 299: 88 ~ 105.
- [18] Nash D J, Smith R F. Properties and development of channel calcretes in a mountain catchment, Tabernas Basin, southeast Spain [J]. Geomorphology, 2003, 50: 227 ~ 250.
- [19] 周自立, 郝运轻, 滕建彬, 等. 古土壤储层在胜利油区沙四段的发现 [J]. 油气地质与采收率, 2009, 16 (5): 1 ~ 3.

深层碎屑岩储层成岩 - 成藏过程分析

——以准噶尔盆地莫西庄地区三工河组为例

胡才志^{1,2} 罗晓容² 邱桂强¹ 张立宽² 杨彬³

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

3. 中国石化胜利油田分公司海洋采油厂, 东营 257200)

摘要 以准噶尔盆地莫西庄地区侏罗系三工河组低渗砂岩为例, 通过联合利用多种分析测试手段, 以石油充注作为划分成岩演化阶段的标志, 讨论了莫西庄地区三工河组低渗储层成岩演化与石油充注的动态历史。研究表明, 三工河组低渗储层发生了3期成岩与石油充注过程, 分别发生于晚侏罗世末期(150~140Ma)、晚白垩世早期(100~70Ma)、古新世至今(62~0Ma)。浅埋时储层只发生了很少的方解石和绿泥石胶结, 其后充注的第一期烃类因盆地抬升剥蚀遭到破坏形成炭质沥青。盆地再次沉降过程中, 发生较大规模的硅质、高岭石、方解石等胶结作用, 到晚白垩世早期发生第二期烃类充注。充注高峰过后, 孔隙流体环境再次转换, 硅质、绿泥石、高岭石、方解石胶结作用再次发生, 但成岩强度减弱。到第三期充注时已变为低渗致密储层, 每一期流体活动表现出由碱性向酸性转变的特点。

关键词 成藏过程 成岩非均质性 深层碎屑岩 三工河组 莫西庄地区 准噶尔盆地

Diagenesis History and Hydrocarbon Accumulation of Deep Clastic Sandstones: A Case Study from the Sangonghe Formation, Lower Jurassic, in Moxizhuang Area, Central Junggar Basin

HU Caizhi^{1,2}, LUO Xiaorong², QIU Guiqiang¹, ZHANG Likuan², YANG Bin³

(1. Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China;

3. Shengli Oil Field, SINOPEC, Dongying 257200, China)

Abstract The dynamic history between diagenesis and hydrocarbon charging of the low-permeable sandstones has been discussed, with multi-techniques and with a sign of hydrocarbon charging from the case of the Lower Jurassic, Sangonghe Formation, Moxizhuang Area, Central Junggar Basin, China. Three stages of oil charging evidence, occurred in the low permeable sandstone of Sangonghe Formation, has been detected, responding to the geological time of Late Jurassic (150~140Ma), Late Cretaceous (100~70Ma) and Paleocene to present (62~0Ma) respectively. Few calcite and chlorite cements precipitated in shallow burying sandstones. The 1st phase oil charging thereafter come into being carbonaceous bitumen resulting from basin uplifting. Large amounts of

国家科技重大专项“深层油气非常规天然气成藏规律与有利勘探区评价技术”(2011ZX05008-004)“中西部重点碎屑岩领域油气富集规律与分布预测”(2016ZX05002-006)资助。

quartz overgrowth, kaolinite and calcite cements cemented the pores during the re-sedimenting process and the largest scale (2nd phase) oil charged the remnant pores thereafter in the earlier stage of Late Cretaceous. Pore fluid environment re-transformed from acidity to alkalescence after the hydrocarbon charging summit and abundance of silicon, chlorite, kaolinite, calcite cementation re-precipitated just weaken strength. The reservoir turned tight sandstones when the 3rd oil charging occurred. Acidity changing to alkalescence is the marked character between two phase fluid conversions.

Key words hydrocarbon charging process; diagenesis heterogeneity; deep clastic reservoir; Sangonghe Formation; Moxizhuang Area; Junggar Basin

0 引言

在含油气盆地内, 储层内的有机/无机流体-岩石相互作用贯穿于油气运移、聚集成藏乃至逸散的全过程, 不仅控制了储层物性的发展和演化, 同时对油气藏的形成和分布具有重要影响^[1]。特别是对于盆地深层的低渗透砂岩, 在盆地埋藏和演化过程中, 储层成岩作用与油气充注往往是多期交互发生, 彼此影响和制约^[2]。因此, 探究地质历史中成岩演化和油气充注之间的关系, 已成为低渗储层有效性评价和油气成藏机理研究的关键问题^[2,3]。

实际上, 自 20 世纪 80 年代以来, 国内外学者逐渐认识到原油充注会延缓或阻滞成岩作用的进行^[4-7], 但对于储层成岩演化与原油充注之间的动态关系与相互作用机理至今仍未认识清楚^[8]。近年来, 罗晓容等^[2]通过成岩作用与石油充注过程的研究, 提出了鄂尔多斯盆地延长组超低渗砂岩石油成藏机理的新认识, 认为早期高孔渗阶段石油充注改变了储层的润湿性, 亲油矿物形成的孔喉毛细管力不再表现为阻力, 在持续压实和胶结作用使储层致密化以后, 晚期的原油充注和调整只在具有亲油性的残留路径网络聚集成藏, 这为客观揭示致密砂岩油气成藏过程和机制提供了切实可行的思路和方法。同时, 也证实盆地深层低渗砂岩油气成藏机制研究, 必须理清成岩作用与油气充注的时间序次及关键成藏时期的储层性质。

准噶尔盆地莫西庄地区是胜利油田在西部盆地的重点探区, 自 2002 年发现工业油流以来, 莫西庄地区完钻的 16 口探井均在侏罗系获得了丰富的油气显示, 探明了千万吨的地质储量, 具有良好的油气勘探前景^[9]。然而, 由于主要勘探层系下侏罗统三工河组埋深大(一般为 4000~4500m), 储层成岩作用强^[10,11], 总体为低孔低渗储层(平均孔隙度为 13.8%, 平均渗透率为 $31.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$); 同时, 储层在深埋致密化过程中曾发生了多期油气充注^[12-15]。如何准确认识储层成岩演化与油气成藏之间的关系, 是目前该地区油气分布规律和勘探目标评价亟待解决的关键地质问题之一。本文通过细致的岩石薄片观察和多种岩矿测试, 尝试从有机/无机流体-岩石作用角度, 分析储层成岩作用与油气充注的序次关系, 以原油充注作为划分储层成岩过程的节点, 讨论莫西庄地区 J_1s^2 储层成岩演化与原油充注的动态过程。

1 地质背景

莫西庄地区构造上位于准噶尔盆地腹部, 处在盆地二叠系构造单元的盆 1 井西凹陷和马桥凸起西部倾没端, 侏罗系总体表现为自北东向南西倾伏的斜坡构造, 勘探面积约