

Characteristics and Genetic Mechanism of Special Lithology Reservoir of Lower Member of Jiufutang Formation in Miao 31 Block of Lujiabao Concave, Liaohe Peripheral Basins

Pengchao Guo

Exploration and Development Research Institute, Liaohe Co. Ltd., PetroChina, Panjin
Email: guopc123456@163.com

Received: Oct. 29th, 2014; revised: Nov. 28th, 2014; accepted: Dec. 8th, 2014

Copyright © 2014 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Lower member of Jiufutang formation is the main oil layer of Miao31 block in Lujiabao concave of Kailu of Liaohe peripheral basins. Sedimentation is the main activity with decreased volcanic eruption, formed volcanic rocks and tuffaceous sandstone. With extremely complicated rock composition, the control factors and mechanism of the reservoir development were hardly known. Therefore, starting with basic experimental analysis, we deeply develop lithological characteristics, reservoir characteristics, genetic environment and other researches. By a comprehensive application of rock thin-section identification, X-ray diffraction analysis, casting body slice image analysis, physical property analysis and other analyses and testing technology, the characteristics and genetic mechanism of special lithology reservoir of lower member of Jiufutang formation in miao31 block of Lujiabao concave of Liaohe peripheral basins were studied. We consider that silicified tuff is the main reservoir rock of lower member of Jiufutang formation in Miao31 block, the forming mechanism of this special lithology reservoir is the joint action of volcanic activities and siliceous hydrothermal. Its reservoir space is mainly residual inter-granular pore, dissolved pore and fracture. The special lithology reservoir is ultra-low and low porosity and permeability reservoir, middle porosity and permeability reservoir takes second place. It has a few high permeability reservoirs.

Keywords

Liaohe Peripheral Basins, Miao 31 Block, Silicified Tuff, Reservoir, Genetic Mechanism

辽河外围陆家堡凹陷庙31块九佛堂组下段特殊岩性储层特征及成因机理

郭鹏超

中国石油辽河油田公司勘探开发研究院, 盘锦

Email: guopc123456@163.com

收稿日期: 2014年10月29日; 修回日期: 2014年11月28日; 录用日期: 2014年12月8日

摘要

辽河外围盆地陆家堡凹陷九佛堂组为主力出油层段, 九下段时期以沉积作用为主, 火山喷发作用相对减弱, 但仍然有一定量的火山岩喷发, 沉积岩层中形成了火山岩夹层和凝灰质砂岩层等, 岩石组成极为复杂, 储层发育的受控因素认识不清。为此, 本研究从基础的实验分析测试入手, 深入开展岩性、储层、成因环境等相关研究。本文综合运用了岩石薄片鉴定、X-衍射全岩分析、铸体图像薄片分析、物性分析等分析测试技术, 对辽河外围陆家堡凹陷庙31块九下段特殊岩性储层特征及成因机理进行研究, 认为: 庙31块九下段主要储集岩为硅化凝灰岩, 是火山期后硅质热液改造形成的一类特殊储层; 该类岩石储集空间类型以硅质热液、火山活动共同改造的残余孔、溶孔、裂缝为主; 为以特低-低孔、特低-低渗为主, 次为中孔、中渗, 少量高渗储层。

关键词

辽河外围盆地, 庙31块, 硅化凝灰岩, 储层, 成因机理

1. 引言

庙31块位于开鲁盆地陆家堡凹陷五十家子庙洼陷北部, 是在义县组构造背景下形成的继承性断裂背斜构造[1]。从庙31块九佛堂组下段顶界构造图看, 构造形态为庙31块东、西两条断层所夹持的断裂背斜构造(图1)。2012年庙31井在九佛堂组下段凝灰质砂岩、硅化凝灰岩中获得百吨高产油气流, 库2井在流纹斑岩中获工业油气流。其中庙31井、庙31-新3井分别在2012年12月、2013年8月投产, 截止2014年10月10日, 日产油还在20t/d以上。显示了外围陆家堡凹陷勘探的良好形式。辽河外围盆地是中生代盆地, 在中生代时期中国东北地区火山活动强烈[2], 义县组主要为一套火山岩, 到了九佛堂组时期以沉积作用为主[3], 火山喷发作用相对减弱, 但仍然有一定量的火山岩喷发, 沉积岩层中形成了火山岩夹层和凝灰质砂岩层等, 岩石组成极为复杂, 储层发育的受控因素认识不清。为此, 通过对庙31块储层特征及成因机理的研究, 可指导陆家堡凹陷的进一步勘探和同类储层的开发。

2. 区域地质背景

陆家堡凹陷是在海西期褶皱基底上发育起来的中生代凹陷, 受北北东向区域性断裂控制, 构造走向呈北东向, 具有东南陡西北缓、断拗式结构的构造背景, 即早白垩世以断陷为主, 而晚白垩世则为一地层平缓的广阔拗陷[4]。陆家堡凹陷基底岩性由石炭、二叠系浅变质粉砂岩、结晶灰岩组成, 其上依次覆

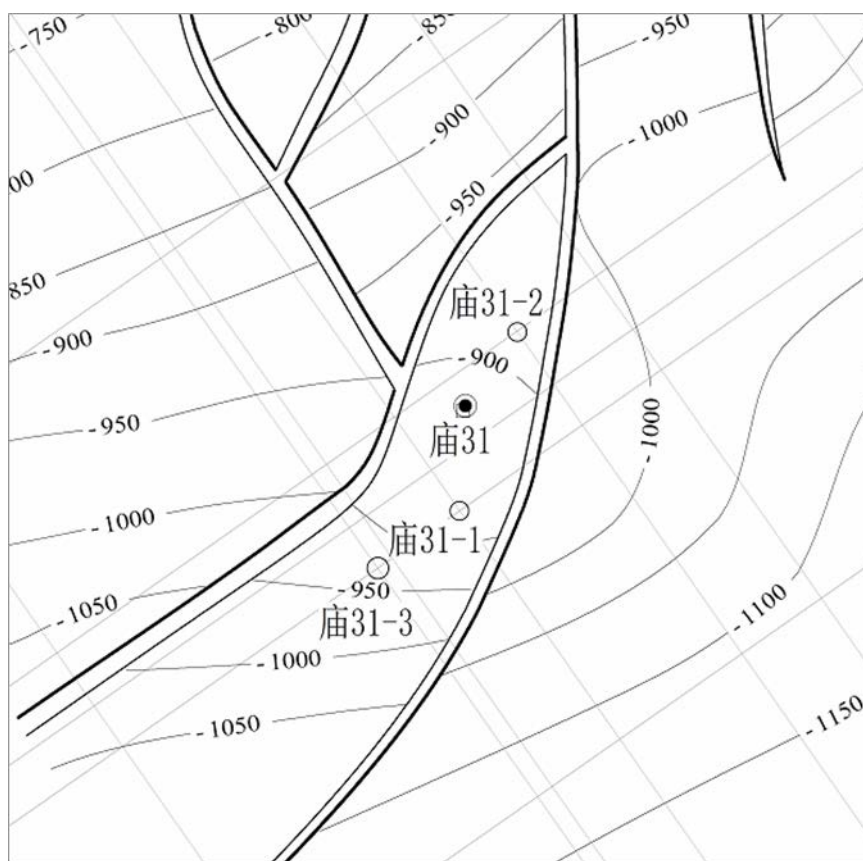


Figure 1. The structural map of miao31 block(K_{1j2})
图 1. 庙 31 区块构造图(K_{1j2})

盖下白垩统义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组、上白垩统及新生界等。研究层段九佛堂组为半深湖 - 深湖相沉积[5]，由下到上构成完整的正旋回。九佛堂组上段为大套的油页岩夹砂岩。与下伏地层呈平行不整合接触，地层厚度相对稳定；下段主要为含凝灰质的砂岩、砂砾岩沉积，但由于下段沉积岩性及厚度受义县组构造控制，平面上差别大[3] [4]。

3. 储层特征

3.1. 储层岩石学特征

庙 31 - 新 3 井九下段井深为 1169~1238 m，在井深 1173.87~1192.12 m、井深 1196.8~1237 m 分别进行了钻井取心与旋转井壁取心；庙 31 井九下段井深为 1184~1280 m、庙 31-3 井九下段井深为 1265~1400 m，分别进行了系统的岩屑及井壁取心。岩石薄片鉴定 92 块，根据岩心及岩石薄片观察结果，研究区九下段主要岩石类型为次生硅质岩[6](包括硅化泥球凝灰岩、硅化尘屑凝灰岩、硅化层状凝灰岩等)，次为凝灰质砂岩、尘屑凝灰岩，少量硅质岩等。庙 31 - 新 3 井九下段主要岩石类型为次生硅质岩，X-衍射全岩分析(表 1，图 2)，平均硅质含量达到 88.52%，斜长石平均 0.24%，钾长石平均 2.7%，粘土总量 4.6%(包括一些蚀变火山灰等)，赤铁矿平均 0.84%，菱铁矿平均 1.26%，黄铁矿平均 0.56%，白云石平均 1.27%，其中的菱铁矿、白云石为后期交代成因或裂缝充填物。庙 31 井九下段以凝灰质砂岩为主，硅化。庙 31-3 井九下段为比较细粒的凝灰岩。

研究区九下段多已被硅质改造，但从岩石薄片观察结果可以识别次生硅质岩的原岩成分，为泥球凝

灰岩, 尘屑凝灰岩等(图2、图3)。其中硅化泥球凝灰岩主要成分为火山泥球。火山泥球圆状、椭圆状, 部分具同心纹层结构, 大小0.20~4.80 mm, 硅化强烈, 火山泥球间硅质沿壁生长, 具残余孔隙, 图2a和图2b。硅化层状凝灰岩原岩成分为层状尘屑凝灰岩, 晚期硅质热液渗透, 交代、硅化, 硅质呈层状分布, 图2c。泥晶粒屑硅质岩主要由粒屑和泥晶硅质组成, 部分粒屑可能为火山泥球、陆源碎屑交代而来, 图2d、图3b。该区的凝灰质砂岩, 碎屑成分以中、酸性喷出岩岩屑为主, 次为长石, 少量长石、硅质岩岩屑, 粒间硅质胶结, 具残余孔隙, 图3c。

3.2. 储集空间特征

根据铸体薄片(35块样品)观察结果, 庙31块九下段储集空间类型为残余粒间孔、次生孔、残余缝(图4、图5)。次生硅质岩主要储集空间为硅质交代残余粒间孔、残余缝。凝灰质砂岩以机械作用形成的粒间孔以及粒间、粒内、碎屑溶蚀形成的溶蚀孔为主。

1) 残余粒间孔[7][8]

Table 1. X-ray diffraction analysis (25 pieces)

表1. X-衍射全岩分析(25块)

矿物%	粘土总量	石英	钾长石	斜长石	赤铁矿	菱铁矿	黄铁矿	白云石
区间	2.1~8.8	58.0~95.1	0~9.9	0~5	0~11.9	0~18.4	0~8.1	0~5.1
平均	4.6	88.52	2.7	0.24	0.84	1.26	0.56	1.27

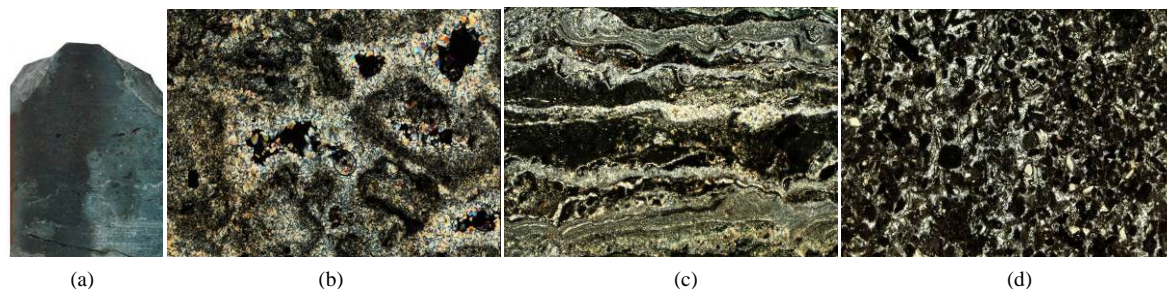


Figure 2. The well of miao31-xin3; (a) (b) Silicified mud ball tuff, 1187.9 m ((a) core photo, (b) micro photo, perpendicular polarized light 25×); (c) Silicified layered tuff, 1184.92 m (micro photo, perpendicular polarized light 50×); (d) Micrite pelolithic siliceous rock, 1179.82 m (micro photo, perpendicular polarized light 50×)

图2. 庙31-新3井, (a) (b) 硅化泥球凝灰岩, 1187.9 m ((a)岩心照片, (b)微观照片、正交偏光 25×); (c) 硅化层状凝灰岩, 1184.92 m (微观照片, 正交偏光 50×); (d) 泥晶粒屑硅质岩, 1179.82 m (微观照片, 正交偏光 50×)

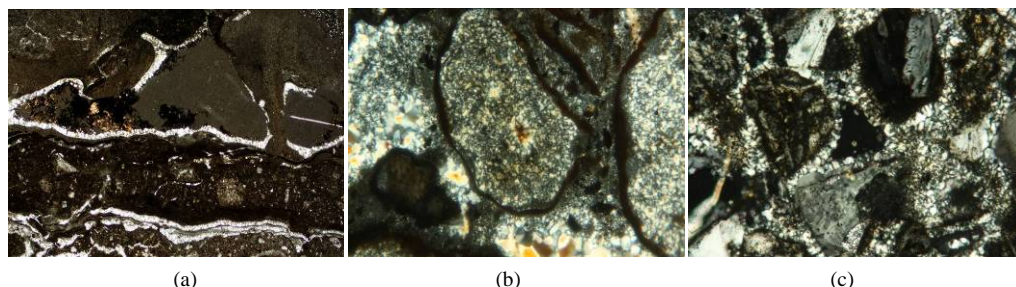


Figure 3. (a) Silicified volcanic ash tuff, the well of miao31-xin3, 1182.02 m (micro photo, perpendicular polarized light 25×); (b) Micrite pelolithic siliceous rock, the well of miao31, 1190 m (micro photo, Perpendicular polarized light 50×); (c) Medium-fine lithic sandstone with tuffaceous, the well of miao31, 1218 m (micro photo, perpendicular polarized light 50×)

图3. (a) 硅化尘屑凝灰岩, 庙31-新3井, 1182.02 m (微观照片, 正交偏光 25×); (b) 泥晶粒屑硅质岩, 庙31井, 1190 m (微观照片、正交偏光 50×); (c) 中-细粒岩屑凝灰质砂岩, 庙31井, 1218 m (微观照片、正交偏光 50×)

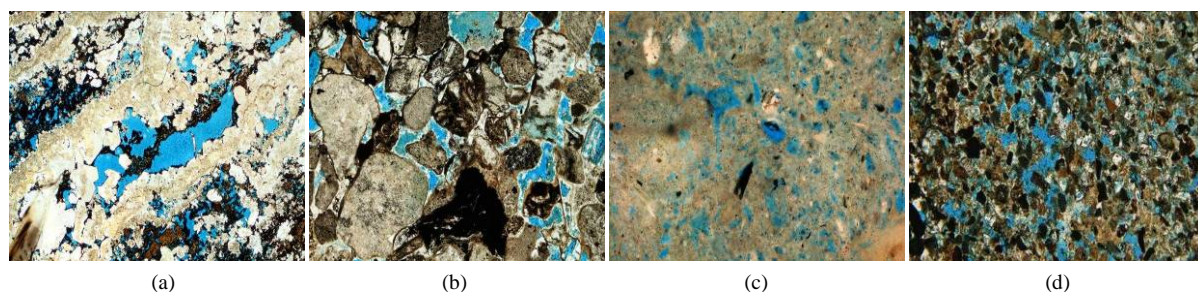


Figure 4. (a) Residual intergranular pore, secondary quartzite layered tuff, the well of miao31-xin3, 1217.8 m (micro photo, plane polarized light 50×); (b) Residual intergranular pore, fine-medium lithic sandstone, the well of miao31, 1188.5 m (micro photo, plane polarized light 50×); (c) Secondary denudation pore, volcanic ash sedimentary tuff, the well of miao31, 1236 m (micro photo, plane polarized light 100×); (d) The major pore is intergranular pore, and the minor pore is innergranular pore, sparry pelolithic siliceous rock, the well of miao31-xin3, 1179.02 m (micro photo, plane polarized light 50×)

图 4. (a) 残余粒间孔, 次生石英化层状凝灰岩, 庙 31 - 新 3 井, 1217.8 m (微观照片, 单偏光 50×); (b) 残余粒间孔, 细 - 中粒岩屑砂岩, 庙 31 井, 1188.5 m (微观照片, 单偏光 50×); (c) 次生溶蚀孔隙, 尘屑沉凝灰岩, 庙 31 井, 1236 m (微观照片、单偏光 100×); (d) 粒间孔为主, 少量粒内孔, 亮晶粒屑硅质岩, 庙 31 - 新 3 井, 1179.02 m (微观照片、单偏光 50×)

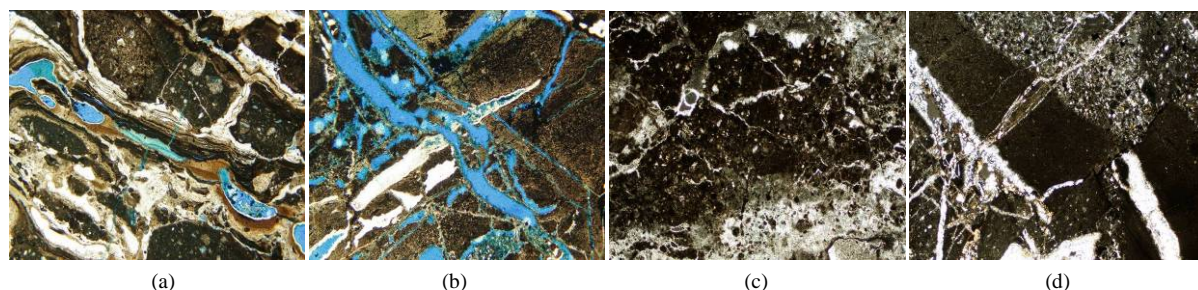


Figure 5. (a) Remaining fractures, silicified volcanic ash tuff, the well of miao31-xin3, 1182.02 m (micro photo, perpendicular polarized light 25×); (b) Structural fractures, remaining fractures, silicified volcanic ash tuff, the well of miao31-xin3, 1182.02 m (micro photo, perpendicular polarized light 25×); (c) Silicified volcanic ash tuff, the well of miao31-xin3, 1182.52 m (micro photo, perpendicular polarized light 25×); (d) Silicified cataclasite volcanic ash tuff, the well of miao31-xin3, 1175.82 m (micro photo, perpendicular polarized light 25×)

图 5. (a) 残余缝, 硅化尘屑凝灰岩, 庙 31 - 新 3 井, 1182.02 m (微观照片, 正交偏光 25×); (b) 构造缝、残余缝, 硅化尘屑凝灰岩, 庙 31 - 新 3 井, 1182.02 m (微观照片、正交偏光 25×); (c) 硅化尘屑凝灰岩, 庙 31 - 新 3 井, 1182.52 m (微观照片, 正交偏光 25×); (d) 硅化角砾状尘屑凝灰岩, 庙 31 - 新 3 井, 1175.82 m (微观照片, 正交偏光 25×)

该区的残余粒间孔指原生或次生孔隙被硅质热液改造后形成的孔隙, 孔内洁净。此类孔隙呈不规则多边形, 或长条形, 孔隙分布较为均匀, 该区此类孔隙最为常见, 孔隙多呈孤立状分布, 相互连通性差(图 4a 和图 4b)。

2) 次生孔[8]

次生孔包括粒内溶孔、粒间溶蚀扩大孔和铸模孔。该区整体上次生孔也较为发育, 主要为颗粒边缘及粒内的溶蚀孔隙。粒间溶孔表现为孔隙边缘有明显的溶蚀痕迹, 多呈不规则状, 港湾状, 长条状等。长石及岩屑是粒内溶孔的主要颗粒, 孔隙呈网格状、残骸状, 常见溶解残余, 孔隙多呈孤立状分布, 相互连通性差(图 4c 和图 4d)。

3) 残余缝

该区的残余缝指原生或次生裂缝被硅质热液改造后形成的裂缝, 缝内洁净, 缝壁光滑(图 5a 和图 5b)。

3.3. 孔隙结构特征

从毛管压力曲线形态可以定性分析储层岩石孔隙结构特征, 研究区压汞样品分析 25 块, 孔隙结构类型主要有三类:

I 类孔隙结构储层的排驱压力低, 进汞饱和度高, 渗流特征最好(图 6a); 孔隙结构为粗孔喉、好分选型, 岩性为硅化泥球尘屑凝灰岩, 分选好, 孔隙组合类型为残余粒间孔 + 残余裂缝型, 此类型孔隙结构储层为中孔, 高 - 中渗储层。

II 类孔隙结构储层的排驱压力较低, 进汞饱和度较高, 渗流特征较好(图 6b)。孔隙结构为粗孔喉、好 - 中分选型, 岩性为硅化尘屑凝灰岩, 分选较好, 孔隙组合类型为残余粒间孔 + 残余裂缝型, 该类型孔隙结构储层为中 - 低孔, 中 - 低渗储层。

III 类孔隙结构储层进汞饱和度低, 为细 - 微孔喉型, 分选差, 岩性为硅化层状尘屑凝灰岩(图 6c), 孔隙组合类型为残余粒间孔 + 残余裂缝型, 该类型孔隙结构储层为特低孔, 低、特低渗储层。

研究区以 II、III 类储层为主。

3.4. 物性特征

根据该区岩心常规物性分析数据(孔隙度、渗透率样品各 42 块)结果, 表明: 九下段样品最大孔隙度为 13.9%, 平均孔隙度为 6.18%, 孔隙度主要集中在 4% 附近, 孔隙度小于 4% 的样品占 42%, 在 4% 到 12% 之间的占 37%, 按碳酸盐孔隙度评价指标[9](高孔隙度 $\Phi \geq 20\%$, 中孔隙度 $12\% \leq \Phi < 20\%$, 低孔隙度 $4\% \leq \Phi < 12\%$, 特低孔隙度 $\Phi < 4\%$), 九下段储层属于特低孔、低孔、中孔储层。九下段样品最大渗透率 $145 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均渗透率为 $26.77 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 样品渗透率分布不均匀, 按碳酸盐渗透率评价指标[9](高渗透率 $K \geq 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 中渗透率 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \leq K < 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 低渗透率 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \leq K < 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 特低渗透率 $K < 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$), 九下段储层属于与中、低渗透储层(图 7)。

4. 特殊岩性储层成因机理

4.1. 岩石成因机理

火山喷发和气液活动往往存在于火山活动的各个阶段, 但以火山晚期为主。也有一部分火山的喷发作用和气液作用同时或者交替发生。这是由于火山作用和岩浆深成作用不同的原因。火山晚期气液活动时间长而剧烈, 气液不仅局限于受火山机构控制, 而还有一部分受远离火山喷发中心区域构造的控制[10]。根据地震分析显示, 本区庙 31 块 3 口井离火山口由近及远的顺序为庙 31 - 新 3 井、庙 31 井、庙 31-3 井(图 8); 根据岩心及岩石薄片分析结果, 在近火山口处的庙 31 - 新 3 井硅化程度强烈, 而离火山口稍远的庙 31 井硅化相对变弱, 远离火山口的庙 31-3 井未硅化, 说明本区的次生硅质岩受火山机构控制, 与火山活动期后的热液活动有关(图 9)。

由岩心、岩石铸体薄片观察及地震分析显示, 在九佛堂组沉积时期, 由富硅质的热液沿着前期火山活动形成的裂隙上涌, 热液对围岩作用, 发生硅化。在岩石的形成过程中, 由于热液通道被先期富硅质的热液充填胶结而封闭, 致使后期热液的内压力逐渐增大, 当压力积聚到一定程度时, 就诱发爆裂作用, 炸碎热液通道, 重新开放, 然后又被热液充填而封闭。这样开放 - 封闭 - 再开放 - 再封闭, 后期次生硅质岩胶结先期被炸碎的次生硅质岩, 如此多次反复, 便形成了具有特殊成因的次生硅质岩(图 5)。

次生硅质岩绝大部分由凝灰岩强烈硅化而形成, 在次生硅质岩中常可见到凝灰岩的残留体, 硅化强烈处就不见残留物, 只见石英。另外, 硅化不彻底, 见凝灰岩残留体, 并被网脉状硅质脉所切割, 构成似角砾状、网格状硅化凝灰岩(图 5)。

4.2. 储集空间成因机理

火山碎屑岩是火山岩与沉积岩的过渡类型, 一般具有孔、缝双重介质特征, 按成因可将储集空间划分为原生和次生两大类。原生储集空间主要形成于成岩作用阶段。次生储集空间是后期成岩作用改造形成的, 且绝大多数是在原生储集空间的基础上改造而成。因此, 原生储集空间作为次生储集空间的载体,

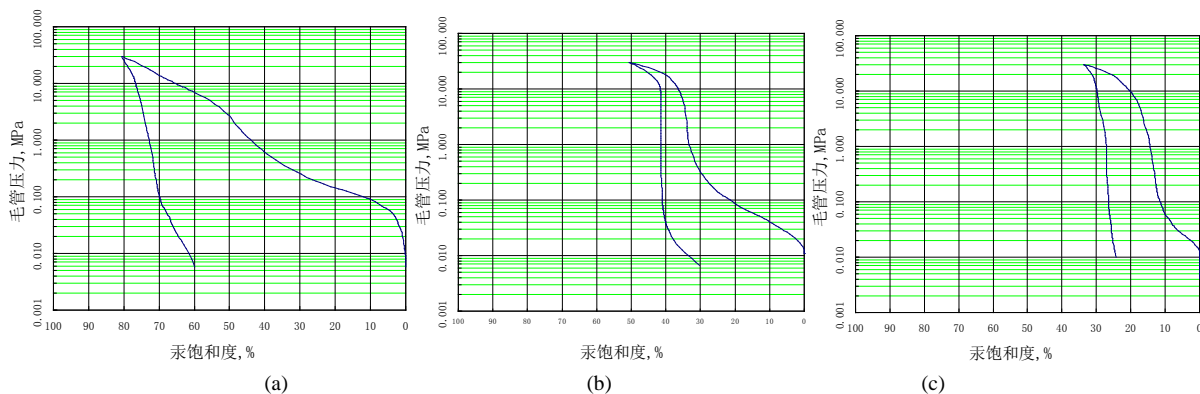


Figure 6. (a) Depth 1175.82 m, (b) Depth 1176.07 m, (c) Depth 1175.55 m
图 6. (a) 深度 1175.82 m, (b) 深度 1176.07 m, (c) 深度 1175.55 m

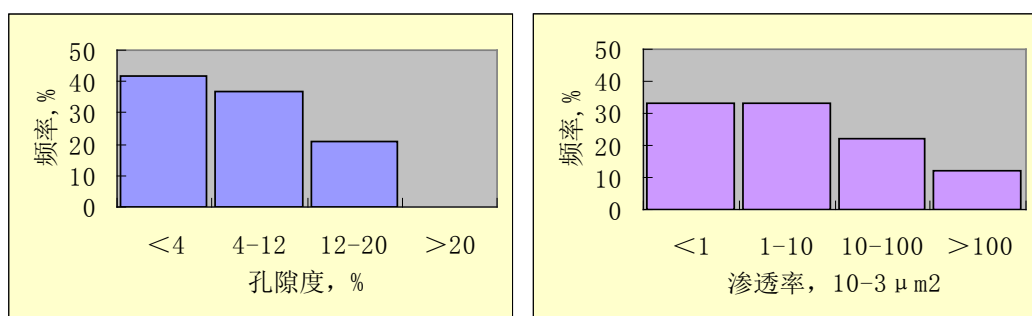


Figure 7. Core physical property analysis of lower member of Jiufutang formation of miao31 block
图 7. 庙 31 块九佛堂组下段岩心物性分析直方图

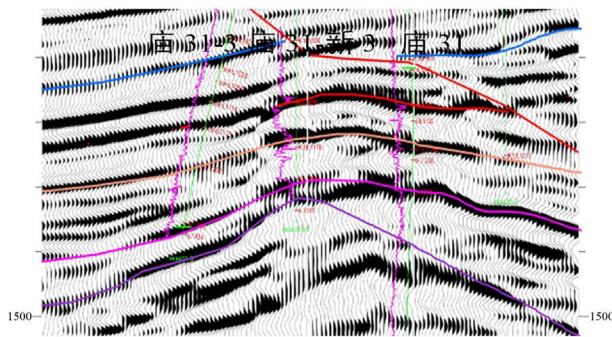


Figure 8. Seismic section chart of the well of miao31-3, miao31-xin3 and miao31
图 8. 庙 31-3、庙 31 - 新 3、庙 31 井地震剖面图

其成因及演化将确定次生储集空间发育位置[11]。

该区的次生硅质岩为其主要的岩石类型，其原岩为泥球凝灰岩、尘屑凝灰岩、角砾-凝灰岩等，原岩的储集空间类型为粒间孔、构造缝为主。火山活动和硅质热液活动会引起大规模的热液流体活动[12]。流体对火山岩的直接影响是引起物质的带入和带出，使火山岩体处于开放体系下。热液活动的直接后果是导致原有矿物发生蚀变、溶蚀，同时硅质热液及新的矿物导致次生胶结和充填、交代作用发生。铸体薄片分析显示，硅质沿孔隙壁生长具有残余孔隙(图 3a)，蚀变和溶蚀使原岩的孔隙度增大，胶结和充填、交代使孔隙度、尤其是渗透率降低。但后期硅质热液炸碎先期形成的次生硅质岩，使得裂缝发育，硅质热液充填具有残余裂缝(图 5)。

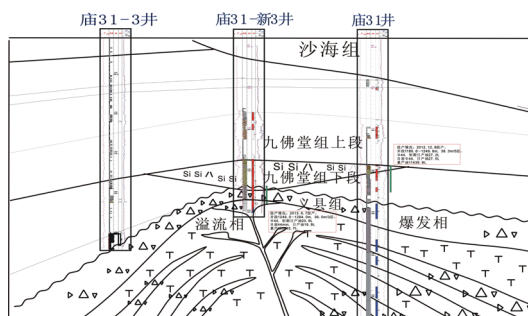


Figure 9. Rock genesis mode chart of the well of miao31-3, miao31-xin3 and miao31

图 9. 庙 31-3 井、庙 31 - 新 3 井、庙 31 井岩石成因模式图

5. 结论

1) 庙 31 块九佛堂组下段岩石类型主要为次生硅质岩，储集空间类型以残余粒间孔、残余缝为主，为以特低 - 低孔、特低 - 低渗为主，次为中孔、中渗储层储层。

2) 火山活动期后的热液活动是形成次生硅质岩的主要原因，岩石形成过程中，热液通道被先期富硅质的热液充填胶结而封闭，致使后期热液的内压力逐渐增大，当压力积聚到一定程度，诱发爆裂作用，炸碎热液通道，重新开放，然后又被热液充填而封闭。这样开放 - 封闭 - 再开放 - 再封闭，后期次生硅质岩胶结先期被炸碎的次生硅质岩，如此多次反复，便形成了具有特殊成因的次生硅质岩。

3) 火山活动期后硅质热液活动、排烃作用等引起大规模的热液流体活动，使原有矿物发生蚀变、溶蚀，同时硅质热液及新的矿物导致次生胶结和充填、交代作用发生。蚀变和溶蚀使原岩的孔隙度增大，胶结和充填、交代使孔隙度、尤其是渗透率降低。但后期硅质热液炸碎先期形成的次生硅质岩，使得孔、缝发育，硅质热液充填后具有残余孔缝。

参考文献 (References)

- [1] 殷敬红, 雷安贵, 方炳钟等 (2008) 辽河外围中生代盆地“下洼找油气”理念. *石油勘探与开发*, **1**, 7-10.
- [2] 陈义贤, 陈文寄等 (1997) 辽西及邻区中生代火山岩. 地震出版社, 北京.
- [3] 朱筱敏, 王贵文, 马立驰等 (2002) 内蒙古东部陆西凹陷中北部上侏罗统层序地层格架及体系域特征分析. *古地理学报*, **3**, 34-38.
- [4] 刘明洁, 谢庆宾, 刘震等 (2012) 内蒙古开鲁盆地陆东凹陷下白垩统九佛堂组 - 沙海组层序地层格架及沉积相预测. *古地理学报*, **6**, 735-745.
- [5] 雷安贵, 王贵迎, 方炳钟 (2007) 陆家堡凹陷油藏分布规律探讨. *特种油气藏*, **2**, 32-36.
- [6] 路凤香, 桑隆健 (2002) 岩石学. 地质出版社, 北京.
- [7] 张江华, 刘传虎, 朱桂林等 (2014) 莫西庄油田低渗透储层特征及成因. *特种油气藏*, **3**, 59-61.
- [8] 王来斌, 刘太勋, 徐怀民等 (2004) 陆东凹陷后河地区下白垩统储层特征研究. *安徽理工大学学报(自然科学版)*, **1**, 7-10.
- [9] 任延光等 (2011) 油气储层评价方法-SY/T6285-2011. 国家能源局发布.
- [10] 那福超 (2012) 内蒙古索伦地区火山机构及其孔矿特征. *中国地质大学(北京)*, 北京, 1-54.
- [11] 熊益学, 郗爱华, 冉启全等 (2012) 火山岩原生储集空间成因及其四阶段演化——以准格尔盆地滴西地区石炭系为例. *中国地质*, **1**, 148-153.
- [12] 杨双玲, 刘万洙, 于世泉等 (2007) 松辽盆地火山岩储层储集空间特征及其成因. *吉林大学学报(地球科学版)*, **3**, 507-512.