

文章编号:1009-3850(2019)02-0094-09

青海柴达木盆地北缘构造带九龙山地区 侏罗系储层特征

王猛^{1,2}, 杨永恒^{1,2}, 王晔桐^{1,2}, 蒋赞^{1,2}, 孙国强¹, 马进业³

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国石油青海油田公司勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736202)

摘要:通过对九龙山地区重点探井岩心样品的观测、薄片鉴定、扫描电镜分析,结合储层物性和压汞数据,系统研究了九龙山地区侏罗系碎屑岩储层的岩石学特征、物性特征、成岩作用及孔隙演化规律。结果表明,碎屑岩储层主要以粗砂岩、中砂岩和细砂岩为主;胶结物类型主要为碳酸盐类胶结物、硅质胶结和自生黏土矿物;孔隙类型以残余相间孔隙和溶蚀孔隙为主,孔隙与吼道匹配关系较好;储集岩成分成熟度低、结构成熟度中等-差;颗粒间主要以点-线接触为主;储集岩成岩作用较强,主要处于中成岩阶段A期。

关键词:储层特征;成岩作用;侏罗系;九龙山地区

中图分类号: P534.52

文献标识码: A

九龙山地区侏罗系中统油页岩、碳质泥岩发育,生烃指标及源储配置好,是自生自储源内组合勘探的有利目标区^[1]。近年来,在该地区布署的多口探井都有较好的油气显示,其中龙1井和龙2井均获得高产工业油气流^[2]。生产实践也表明,九龙山地区侏罗系地层油气资源丰富,具有较大的勘探开发潜力。前人对柴北缘西段的沉积物源^[3-4]、沉积体系^[5-6]及成岩作用^[7-8]进行过较多的研究,但针对九龙山地区储层认识方面的研究较少,对侏罗系储层特征、成岩作用及演化过程等认识不清,严重制约着该地区油气藏的勘探开发进程。本文利用岩心、铸体薄片、压汞等资料,从统计学和储层微观分析入手,系统地研究了该地区侏罗系储层的岩石学、储层物性、孔隙结构和成岩作用等特征,并探

索储层发育的主控因素及形成机理,以期柴达木盆地北缘九龙山地区侏罗系储层的勘探开发提供依据。

1 区域地质概况

柴达木盆地位于青藏高原东北隅,是青藏高原内部最大的内陆高原型含油气盆地^[9],南邻昆仑山、北接祁连山、西北界为阿尔金山(图1)。其基本动力学背景是受到了印度板块向北挤压、同时受到北部阿拉善地块的阻挡及东侧华北板块、西侧塔里木地块的侧滑而形成的力偶环境^[10]。九龙山地区位于柴达木盆地北缘构造带西段的赛什腾山与绿梁山之间,是北缘断块带内的一个二级构造单元,为侏罗纪以来继承发育的大型鼻状斜坡^[1]。研究区

收稿日期:2019-03-18; 改回日期:2019-04-28

作者简介:王猛(1994),男,硕士研究生,固体地球物理学专业。E-mail:1078137068@qq.com

通讯作者:孙国强(1977),男,副研究员,从事石油地质学及沉积储层研究。E-mail:sguoqiang@lzb.ac.cn

资助项目:中国科学院“西部之光”人才培养计划(Y304RC1SGQ);甘肃省自然科学基金(1308RJZA310)和甘肃省重点实验室专项(1309RTSA041)

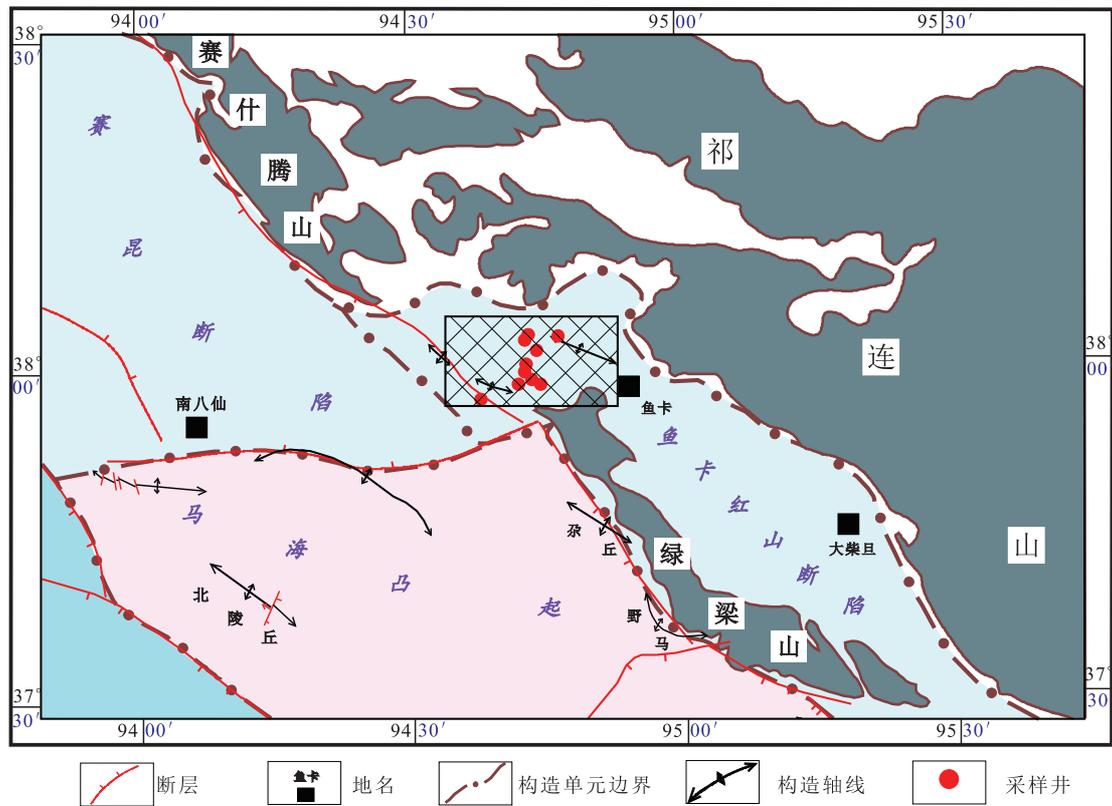


图1 柴达木盆地北缘断块带构造图

Fig.1 Tectonic map of the northern Qaidam Basin

地势西高东低,西北侧为赛什腾山,西南为赛昆断陷,东北为噶喇山和达肯大坂山,东南侧为绿梁山,为一呈NW向展布的狭长地带^[8](图1)。

中生代晚期,柴达木盆地整体由早—中侏罗世伸展构造环境,转变为晚侏罗世—早白垩世挤压构造环境^[11],在晚白垩世末期形成了大幅度的构造抬升,缺失上白垩统沉积^[12]。主要经历早—中侏罗世断陷湖盆沉积和晚侏罗世坳陷湖盆沉积两大沉积阶段^[13]。柴北缘东段在早侏罗世主要发育辫状河三角洲—湖泊沉积体系,气候条件温暖潮湿,形成一套厚层暗色泥岩^[14];中侏罗世时沉积中心东移^[15,16],沉积范围明显扩大,辫状河三角洲广泛发育、气候潮湿、沼泽广布^[14]。

2 储层基本特征

2.1 储层岩石学特征

九龙山地区储集岩岩石类型主要以灰色中粒长石岩屑砂岩和灰色粗粒岩屑砂岩为主(图2a)。成分成熟度低,结构成熟度中等—差,磨圆以次棱

角状为主。泥质杂基含量分布范围5%~15%,平均含量13.4%。胶结物以方解石为主(图3h)。

石英含量为17.81%~91.40%,平均含量为50.80%;长石含量为2.50%~54.55%,平均含量为16.91%;岩屑含量为4.11%~60.81%,平均含量为32.29%。

侏罗系储集岩粒度较粗,主要为中砂、粗砂和细砂岩(图2)。岩屑成分主要为石英岩、板岩、片岩和泥岩等,杂基含量较少、泥质胶结物和碳酸盐胶结物(图3a)发育,碎屑岩颗粒之间主要以点—线接触为主(图3c),颗粒支撑;分选中等—较差,磨圆为次棱角状为主(图3c)。

2.2 储层孔隙类型及特征

通过对九龙山地区侏罗系储层200余块样品的铸体薄片观察、统计和分析,可以看出,该地区砂砾岩的孔隙类型主要为原生残余粒间孔、粒间溶孔和粒内溶孔,其次为少量的裂隙。

2.2.1 原生残余粒间孔

研究区孔隙类型主要为原生残余粒间孔,是重

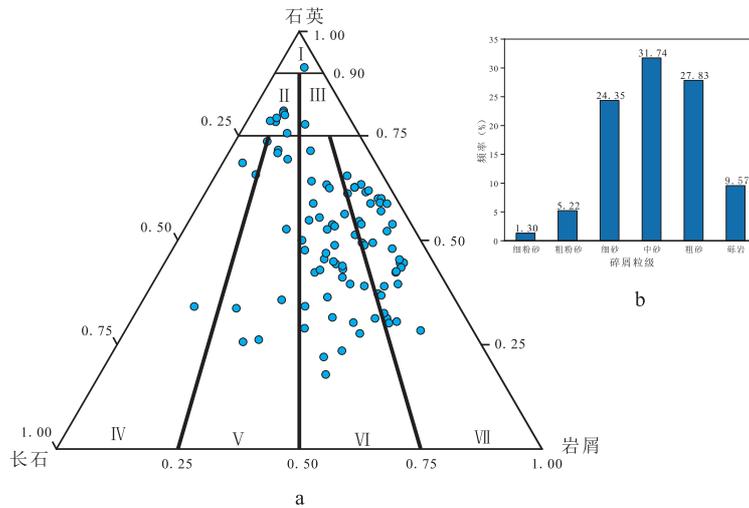


图2 九龙山地区侏罗系砂岩成分三角图和粒度分布图

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

Fig. 2 Triangular diagram and histogram of the Jurassic sandstone compositions in the Jiulongshan area

要的有效储集空间。碎屑颗粒之间以点-线接触为主(图3d)。

2.2.2 粒间溶孔

长石风化程度较深,具有普遍的淋滤溶蚀现象。长石、白云石等颗粒和碳酸盐胶结物被溶蚀后形成粒间溶孔,其边缘呈犬牙状或港湾状(图3e)。其不同于颗粒被完全溶蚀后留下的铸模孔,铸膜孔为颗粒或晶粒被完全溶解,仅保留外部的幻影,形状较为规则。

2.2.3 粒内溶孔

主要为长石、岩屑等颗粒发生交代、蚀变或溶蚀后形成的粒内溶孔(图3f),这类孔隙较常见,但连通性较差。

2.2.4 裂缝

主要系受到沉积作用、构造应力和机械压实等成岩作用而形成(图3b)。其排列方向受构造应力控制,宽度受残余构造水平应力场的控制。

2.3 储层物性特征

储层物性特征是评价储层的重要因素。通过对研究区内取心段岩心样品统计分析可以得出,九龙山地区侏罗系储层孔隙度为5.1%~28.7%,平均为9.4%。从频率分布直方图(图4)可以看出,样品孔隙度在5%~10%的最多,约占34.12%,属于特低孔;其次为孔隙度<5%的样品,约占26.11%,属于超低孔;孔隙度在10%~15%的低孔样品约占21.46%;孔隙度>15%的中孔样品约占

18.30%。总体上看,九龙山地区侏罗系储层样品呈现出以特低孔为主,超低孔-低孔为辅的特征。

研究区侏罗系储层的渗透率为 $0.2 \times 10^{-3} \sim 218.71 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $24.82 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。频率分布直方图(图4)显示,渗透率分布在 $<1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 样品数量最多,约占59.87%,属于超低渗;渗透率在 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品约占27.88%,属于特低渗;渗透率 $>10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的低渗样品仅占约12.92%。这些数据表明,九龙山地区侏罗系储层总体上表现为超低渗为主,特低渗为辅的特征。

通过对九龙山地区侏罗系储集岩样品孔隙度和渗透率的相关性分析可以看出(图4),孔隙度和渗透率在对数坐标系中显示相关性较好, R^2 值为0.6799,说明九龙山地区侏罗系储集砂岩的孔隙类型以原生孔隙为主,溶蚀孔隙发育,物性受沉积环境影响明显。渗滤通道主要是与孔隙有关的残余粒间孔,而不是裂缝等其他通道,总体上属于孔隙型储层^[17]。

压汞曲线可以用来评价储层的孔隙结构,压汞曲线形态主要受孔隙分布的歪度以及分选性两个因素控制,因此压汞曲线的形态在一定程度上反应孔喉的分选性、分布歪度及平均孔喉半径的影响,更全面地反映了储层的储集性能,直观地体现了孔隙结构特征^[18]。根据九龙山地区侏罗系储集岩样品的压汞数据统计分析可以看出,排驱压力分布在0.12~0.97mPa,平均值为0.37mPa;最大连通孔喉

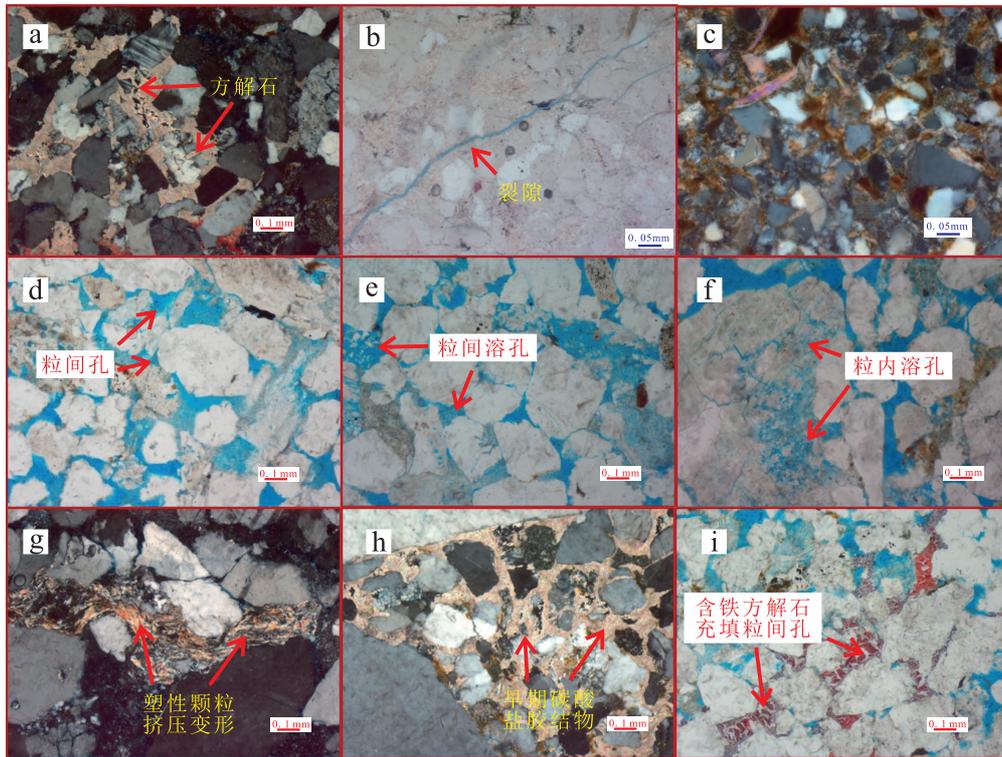


图3 九龙山地区储集岩显微特征

a. 细粒长石石英砂岩,长石为斜长石,方解石胶结,龙3井,1098.55m,×100(+);b. 变质砂岩,无可见孔,见一条裂隙,宽约0.01mm,×100(-);c. 粉砂质细粒砂岩,分选中等-差,次棱角状,颗粒间以点-线接触为主,龙3井,1076.83m,×100(+);d. 中粒长石岩屑砂岩,长石为斜长石,原生残余粒间孔发育,龙3井,1074.64m,×100(-);e. 中细粒长石石英砂岩,长石为斜长石,粒间残余孔和粒间溶蚀孔发育,龙3井,1073.25m,×100(-);f. 不等粒长石岩屑砂岩,长石为斜长石,粒间孔及粒内溶孔发育,龙3井,1098.55m,×100(-);g. 不等粒岩屑砂岩,塑性颗粒挤压变形明显,龙3井,1594.78m,×100(+);h. 含砾砂岩,颗粒周围充填早期碳酸盐胶结物,龙3井,1097.73m,×100(+);i. 中粒岩屑长石砂岩,长石为斜长石,颗粒之间充填含铁方解石胶结物,龙3井,1078.72m,×100(+)

Fig. 3 Photomicrographs of the reservoir rocks in the Jiulongshan area

半径主要集中在 $0.76 \sim 6.27 \mu\text{m}$ 之间,平均值 $2.71 \mu\text{m}$ 。压汞曲线出现近似的平台,喉道分选性较好,曲线形态以略细歪度为主(图4)。

3 成岩作用特征

狭义的碎屑岩成岩作用主要有压实和压溶作用、胶结作用、交代作用、重结晶作用、溶解作用、矿物多形转变作用等,这些作用相互联系、相互影响,共同影响和控制着碎屑沉积物(岩)的发育历史^[19]。成岩作用会对储集岩内的孔隙进行建设性或破坏性作用,通常情况下,压实和胶结作用使储集岩孔隙度降低、储集空间减小,为破坏性成岩作用。溶蚀作用的结果形成了储集岩中的次生孔隙,改善了储层的物性,为建设性成岩作用^[20]。

3.1 压实作用

压实作用(或物理成岩作用)是指沉积物沉积

后在其上覆水体或沉积层的重荷下,或在构造形变应力的作用下,发生水分排出、孔隙度降低、体积缩小的作用^[19]。在成岩阶段早期,压实作用可以大量排出碎屑沉积物中的水、降低原生空隙。在正常的压实作用下,埋深每增加1000m,孔隙度将下降4%~8%^[19]。从铸体薄片可以看出,九龙山地区侏罗系储层在成岩过程中经历了较强的压实作用,塑性颗粒被挤压弯曲变形(图3g),部分刚性颗粒因压实作用破碎剧烈。储集岩中颗粒间接触较为紧密,接触方式以点-线接触为主,塑性颗粒挤压变形,对储层物性的破坏较为严重。

3.2 胶结作用

胶结作用是指从孔隙溶液中沉淀出的矿物质(胶结物将松散的沉积物固结起来形成岩石的作用。胶结作用是沉积物转变成沉积岩的重要作用,也是使沉积层中孔隙度和渗透率降低的主要原因之

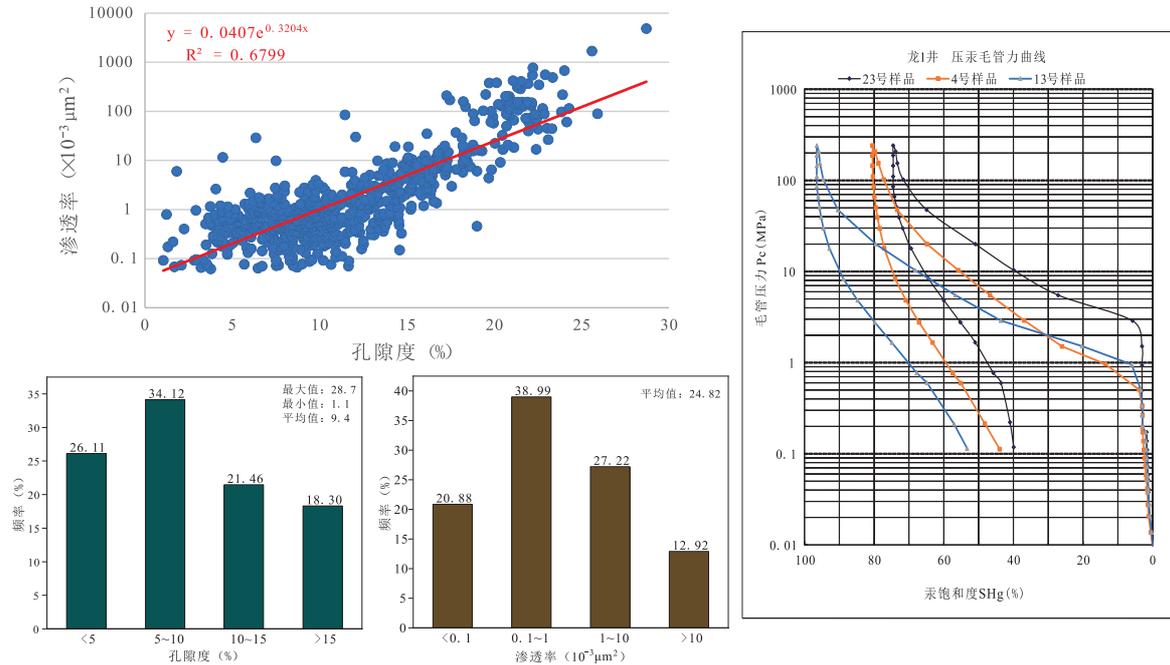


图4 九龙山地区侏罗系孔隙度、渗透率特征图

Fig. 4 Diagrams showing the distribution of the porosity and permeability of the Jurassic reservoir rocks in the Jiulongshan area

—^[19]。九龙山地区侏罗系储集岩的胶结作用主要有碳酸盐胶结、黏土胶结和硅质胶结等。

研究区侏罗系储层的碳酸盐胶结物类型有方解石、铁方解石、白云石和铁白云石,胶结物常以粒状或镶嵌状的结构形式出现,主要填充于岩屑颗粒周围(图3h)及其粒间孔内(图3i),对储层物性影响较大。黏土矿物主要包括高岭石、绿泥石、伊利石一些混层黏土矿物等,其含量变化范围较大,以高岭石含量最高。其中高岭石多以孔隙充填或交代其他矿物产出(图8b),伊利石呈不规则的细小晶片产出,绿泥石多呈颗粒包膜或孔隙衬边形式产出^[19](图8c)。硅质胶结物主要包括石英次生加大和氧化硅充填,石英是碎屑岩中最常见的硅质胶结物,其含量约占45.3%。硅质胶结主要为自形石英小晶体胶结,多出于碎屑颗粒边缘的粒间孔隙表面、粒内溶孔或紧密接触的碎屑颗粒孔隙之中。研究区中长石风化程度较深,黏土矿物中高岭石含量最高,而长石风化转变为高岭石时可产生 SiO_2 ,因此推断 SiO_2 主要来源于长石风化。

3.3 溶蚀作用

溶蚀作用是指矿物在成岩过程中由于成岩环境的变化而发生溶解,从而达到新的物理、化学平衡的一种作用^[21]。次生孔隙是储层中重要的油气

储集空间,而形成次生孔隙的一个重要作用便是溶蚀作用。溶蚀作用根据产生原因可分为有机酸溶蚀和碳酸溶蚀。铝硅酸盐、碳酸盐和二氧化硅均可被有机酸溶蚀,碳酸主要对碳酸盐产生溶蚀作用^[19]。储层内的碎屑颗粒、杂基、胶结物和交代矿物,甚至稳定的石英和硅质胶结物,在一定的成岩环境中都可以发生不同程度的溶蚀作用,从而形成次生溶蚀孔隙。通过对九龙山地区侏罗系储层砂岩的铸体薄片观察和统计分析可以发现,储层中岩屑、杂基、长石颗粒和碳酸盐胶结物都发生了不同程度的溶蚀作用,形成了粒间溶蚀孔隙、粒内溶蚀孔隙、粒缘溶蚀孔隙等多种类型的次生溶蚀孔隙。溶蚀作用是重要的建设性成岩作用,它提高了储集岩的孔隙度,有效地改善了储层的物性条件。

4 成岩阶段划分和成岩演化序列

碎屑岩的成岩阶段可以划分为同生成岩阶段、早成岩阶段、中成岩阶段、晚成岩阶段和表生成岩阶段。各阶段的划分依据不同,如:自生矿物分布、形成顺序、黏土矿物组合、有机质成熟度等^[19]。

压实作用、胶结作用和溶蚀作用基本控制了九龙山地区侏罗系砂砾岩的储集条件,结合在扫描电镜下和镜下对自生矿物的形成特征及其之间相互

关系,分析结果见图 5 和图 7。碎屑颗粒间的接触类型主要为点-线接触,次生孔隙较为发育。黏土矿物主要以书页状高岭石为主,含伊蒙混层和伊利石、绿泥石等高成熟度黏土矿物, $S < 20\%$, 可见石

英加大 II-III 级,可判定该地区古地温超过 100°C [8]。因此,根据碎屑岩成岩阶段划分标准 [19], 可初步判定九龙山地区侏罗系储层所处成岩阶段为中成岩阶段 A 期。

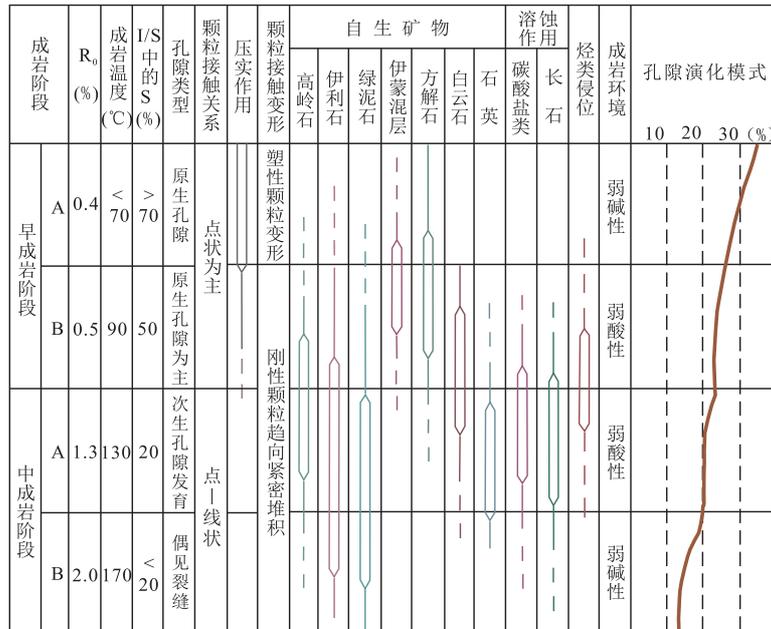


图 5 九龙山地区侏罗系成岩序列图

Fig. 5 Diagenetic sequences of the Jurassic reservoir rocks in the Jiulongshan area

九龙山地区侏罗系储层的成岩序列为:少量黏土杂基沉淀→早期方解石胶结→机械压实→少量硅质胶结→酸性流体侵入→方解石等强烈溶蚀→大量油气侵入→少量晚期方解石胶结(图 5)。沉积环境具有水动力强且变化大的特点,早期少量黏土杂基发生沉淀,碎屑岩结构成熟度低。咸水湖盆环境使得水介质主要呈弱碱性,有利于早期方解石胶结物形成。机械压实在成岩阶段早期作用明显,研究区砂岩储层压实作用是孔隙度减少的主要因素,其对原始孔隙造成的损失约为 50% (图 6),胶结作用对原始孔隙的损失约为 22% (图 6)。由于碳酸盐胶结物的抗压实作用,在早成岩阶段晚期仍有 20% 左右的原生孔隙得以保存(图 5)。随着长石、石英等胶结作用的发育,其粒间孔隙有所减少;但是随着酸性流体的侵入,方解石等碳酸盐类胶结物发生大量溶蚀、蚀变作用,其溶蚀作用所增加的孔隙度可达 40% 以上。因此在油气大量侵入期间(中成岩阶段 A 期)该类砂岩储层的孔隙度仍可达到 20% ~ 23% (图 7)。

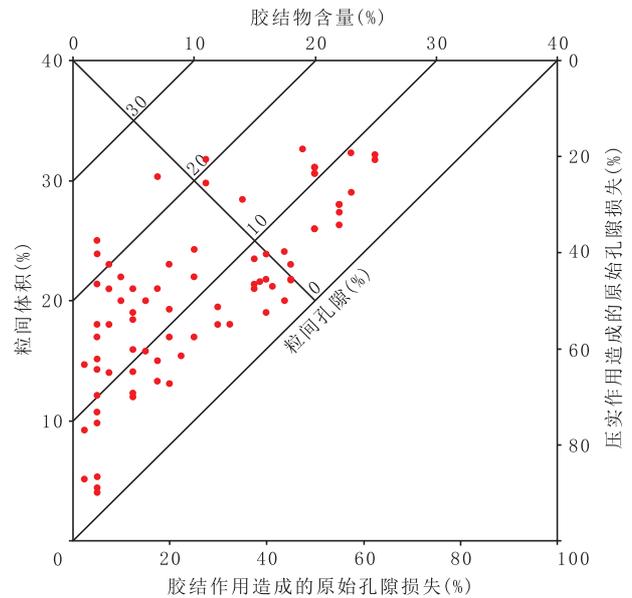


图 6 九龙山地区侏罗系砂岩胶结作用和压实作用与孔隙度关系

Fig. 6 Diagram showing the relationship between the cementation, compaction and porosity of the Jurassic reservoir rocks in the Jiulongshan area

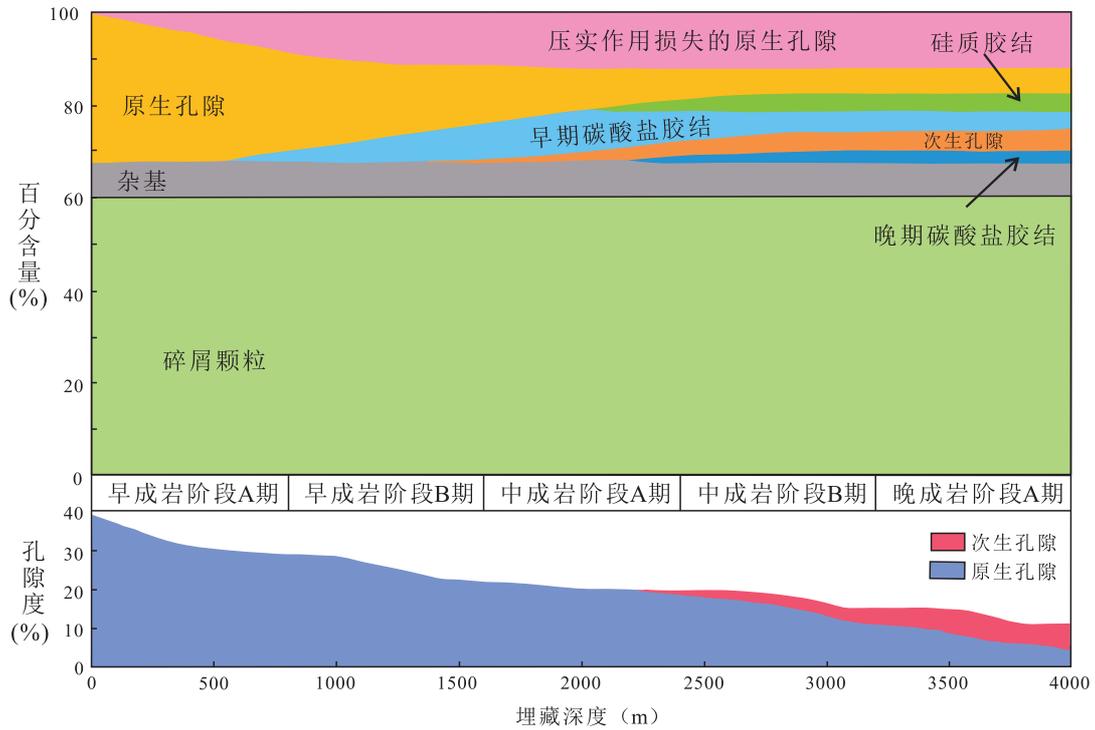


图7 九龙山地区侏罗系成岩模式图

Fig. 7 Diagenetic model for the Jurassic reservoir rocks in the Jiulongshan area

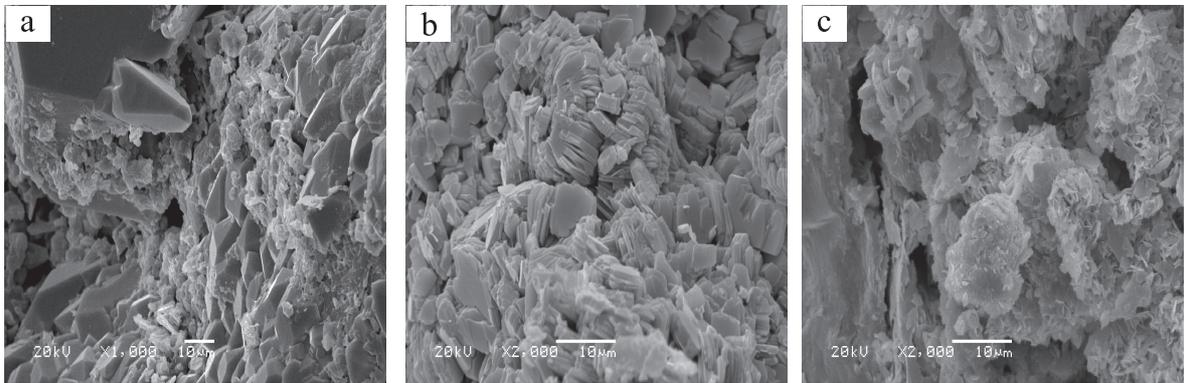


图8 九龙山地区侏罗系储集岩的胶结作用特征

a. 龙6井, J₂, 1656.8m, 砂岩中粒间自生石英; b. 龙6井, J₃, 1080.3m, 砂岩粒间孔隙中发育大量的书页状自生高岭石; c. 龙6井, J₂, 1653.6m, 砂岩孔隙发育绿泥石, 以颗粒包膜形式产出。

Fig. 8 Photomicrographs showing the characteristics of the cementation of the Jurassic reservoir rocks in the Jiulongshan area

5 成岩作用对储层物性的影响

碎屑岩成岩过程中所经历的一系列成岩变化, 对孔隙形成、演化、保存和破坏起着极为重要的作用, 同时会对原生的和次生的裂缝产生重要的影响, 进而对碎屑岩储层的物性产生决定性的影响^[19]。因此, 成岩作用的研究也是储层控制因素研究的重要组成部分。通过对九龙山地区侏罗系储

层物性与成岩作用关系的综合分析, 认为对砂岩储层物性和孔隙演化影响最大的成岩作用主要是压实作用、胶结作用和溶蚀作用。

储层孔隙度与埋藏深度关系密切, 压实作用对砂砾岩储层物性影响较大, 压实作用减少了50%左右的原生孔隙(图6)。胶结物类型对储层物性有着重要的影响作用, 胶结作用减少了20%左右的原生孔隙(图6)。储集岩在埋藏过程中, 达到一定埋深

后,在合适的孔隙流体和一定的环境条件下,胶结物发生溶蚀、蚀变作用,产生次生孔隙,有效地提高了岩石的孔隙度。研究区储层的胶结物种类多样,溶蚀作用对象以碳酸盐类矿物和长石类矿物为主(图8)。镜下可见部分胶结物及碎屑颗粒被溶蚀形成次生溶蚀孔隙,对储层物性有一定程度的改善。碎屑岩储层粒间溶蚀孔隙和粒内溶蚀孔隙发育,溶蚀孔隙是其主要的储集空间。

6 结论

(1)九龙山地区侏罗系碎屑岩储层主要为灰色中粒长石岩屑砂岩和灰色粗粒岩屑砂岩,成分成熟度低、结构成熟度中等-差。碎屑颗粒接触类型主要为点-线接触。

(2)碳酸盐胶结物是研究区储层最主要的胶结物类型,以方解石、铁方解石、白云石和铁白云石为主,常以粒状或镶嵌状填充于岩屑颗粒周围。镜下可见石英次生加大现象,自生黏土矿物以伊利石和高岭石为主,其次为蒙脱石及伊-蒙混层。

(3)压实作用和胶结作用在不同程度上都对原生孔隙起到了破坏作用,压实作用减少了大约50%左右的原生孔隙,而胶结作用大约减少了20%原生孔隙,成岩作用后期的溶蚀作用对储层物性改善明显。九龙山地区侏罗系储层孔隙类型以溶蚀孔和残余的原生粒间孔为主,孔渗相关性较高。

参考文献:

- [1] 王牧. 柴达木盆地九龙山地区石油地质特征研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2013.
- [2] 孙国强, 王海峰, 邹开真, 等. 柴北缘九龙山地区侏罗系砂岩中碳酸盐胶结物特征及意义[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(9): 257-265.
- [3] 刘伟明, 孙国强, 郭佳佳, 等. 柴北缘西段古近纪物源体系分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2018, 38(1): 53-61.
- [4] 林洪, 李凤杰, 李磊, 等. 柴达木盆地北缘古近系重矿物特征及无缘分析[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(4): 532-541.
- [5] 陈吉, 史基安, 龙国徽, 等. 柴北缘古近系-新近系沉积相特征及沉积模式[J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(3): 16-26.
- [6] 孙国强, 杜忠明, 贾艳艳, 等. 柴达木盆地北缘西段古近纪以来沉积模式研究[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(4): 13-18.
- [7] 仵宗涛, 孙国强, 王锋, 等. 柴北缘平台地区下干柴沟组下段碳酸盐胶结物特征及意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2016, 36(4): 30-36.
- [8] 张杰, 夏维民, 徐丽, 等. 柴北缘九龙山地区侏罗系致密砂岩储层成因分析[J]. 天然气地球科学, 2014, (s1): 71-78.
- [9] 付锁堂. 柴达木盆地油气资源战略调查及评价[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [10] 吕宝凤, 张越青, 杨书逸. 柴达木盆地构造体系特征及其成盆动力学意义[J]. 地质论评, 2011, 57(2): 167-174.
- [11] 李猛. 柴达木盆地北缘侏罗系沉积体系与页岩气富集规律[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2014.
- [12] 王信国, 曹代勇, 占文锋, 等. 柴达木盆地北缘中、新生代盆地性质及构造演化[J]. 现代地质, 2006, 20(4): 592-596.
- [13] 孙洪杰, 雷敏, 王大华, 等. 柴达木盆地北缘东部侏罗系发育特征[J]. 世界地质, 2013, 32(3): 531-538.
- [14] 金振奎, 齐聪伟, 薛建勤, 等. 柴达木盆地北缘侏罗系沉积相[J]. 古地理学报, 2006, 8(2): 199-210.
- [15] 薛光华, 杨永泰. 柴达木盆地北缘中新生代构造演化与油气的关系[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(1): 35-37.
- [16] 高先志, 陈发景, 马达德, 等. 中、新生代柴达木北缘的盆地类型与构造演化[J]. 西北地质, 2003, 36(4): 16-24.
- [17] 胡明毅, 沈娇, 胡蝶. 西湖凹陷平湖构造带平湖组砂岩储层特征及其主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 185-191.
- [18] 张满郎, 李熙喆, 谢武仁. 鄂尔多斯盆地山2段砂岩储层的孔隙类型与孔隙结构[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(4): 480-486.
- [19] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [20] 吴志雄, 张永庶, 邹开真, 等. 柴北缘鱼卡-九龙山地区侏罗系储层特征分析[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(1): 63-68.
- [21] 陈登钱, 龙安林, 赵国忠, 等. 柴达木盆地九龙山地区侏罗系储层特征研究[J]. 青海石油, 2014, (2): 20-27.

The Jurassic clastic reservoirs in the Jiulongshan area, northern Qaidam Basin, Qinghai

WANG Meng^{1,2}, YANG Yongheng^{1,2}, WANG Yetong^{1,2}, JIANG Yun^{1,2}, SUN Guoqiang¹, MA Jinye³

(1. *Northwest Institute of Eco-Environments and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China*; 2. *University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Qinghai Oil Field Company, CNPC, Dunhuang 736202, Gansu, China*)

Abstract: The petrological, physical and diagenetic characteristics and porosity evolution of the Jurassic clastic reservoirs are based on the examination of the representative core samples and thin sections, scanning electron photomicrographs, physical properties and mercury-injection data on the Jurassic clastic reservoirs in the Jiulongshan area, northern Qaidam Basin, Qinghai. The Jurassic clastic reservoirs consist mainly of coarse-grained sandstones, medium-grained sandstones and fine-grained sandstones. The cement types contain the carbonate cements, siliceous cements and authigenic clay minerals. The porosity types include the residual primary intergranular pores and solution openings, and the porosity and permeability are well correlated. The reservoir rocks have low compositional maturity and moderate to poor textural maturity, with the point-line contact types. At present, the reservoir rocks are tentative to be in Phase A of the anadiagenetic stages.

Key words: reservoir rock; diagenesis; Jurassic; Jiulongshan area