

# 冷湖地区古近系储层成岩作用特征及其对孔隙演化的影响

陈波<sup>1,2</sup>, 孙国强<sup>2</sup>, 史基安<sup>2</sup>, 郝媛媛<sup>1</sup>, 石海信<sup>1</sup>, 陈汾君<sup>3</sup>

1. 钦州学院广西高校北部湾石油天然气资源有效利用重点实验室, 广西 钦州 535000;
2. 甘肃省油气资源研究重点实验室/中国科学院油气资源研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000;
3. 中国石油青海油田分公司勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736202)

**摘要:**应用钻井取心资料、岩石薄片、铸体薄片、扫描电镜及测录井资料,同时结合分析化验数据,对冷湖地区古近系储层的成岩作用特征及其对储层孔隙的影响进行了细致研究。结果表明:冷湖地区古近系储层成熟度较低,储层中原生孔隙、次生孔隙和微裂缝均有发育,储层物性较差;成岩作用类型多样,对储层物性影响较大的主要为压实作用、胶结作用和溶蚀作用,其中压实作用是破坏储层物性的最根本原因。研究区储层整体因压实作用造成的孔隙度损失平均达21.65%,胶结作用是使储层物性进一步减少的重要因素,造成孔隙损失平均达3.34%,溶蚀作用是储层增孔的重要途径,但由于溶蚀流体的缺乏使其贡献有限,增孔约为2.26%。储层物性与成熟度成正相关性,与埋藏深度成负相关性,表现为低成熟度和深埋藏的路乐河组( $E_{1+2}$ )压实和胶结作用最强,储层物性最差,下干柴沟组下段( $E_3^1$ )次之,成熟度最高和埋藏最浅的下干柴沟组上段( $E_3^2$ )储层物性最优。

**关键词:**柴达木盆地;冷湖地区;古近系;成岩作用;孔隙演化

中图分类号:TE122 文献标识码:A

## Diagenesis of Paleogene formation in Lenghu region and its impact on porosity evolution

Chen Bo<sup>1,2</sup>, Sun Guoqiang<sup>2</sup>, Shi Ji'an<sup>2</sup>, Hao Yuanyuan<sup>1</sup>, Shi Haixin<sup>1</sup> and Chen Fenjun<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Utilization of fine Oil and Natural Gas Resource in Guangxi Province, Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi 535000, China; 2. Key Laboratory of Petroleum Resources in Gansu Province/Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China; 3. Exploration & Production Research Institute of Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu 736202, China)

**Abstract:** By using the drilling coring data, rock thin section, cast thin section, scanning electron microscope and logging data, and combined with the analysis of the test data, the diagenesis characteristics and its impact on reservoir porosity of Lenghu region of Paleogene has been carried on by the detailed study. The results showed that the maturity of the Lenghu region is low, the primary pore, secondary pore and micro cracks are both developed in the reservoir. The diagenesis types are complex, including compaction, cementation and dissolution. The compaction is the most fundamental reason for failure of reservoir. The porosity loss of the reservoirs in the study area caused of the compaction is 21.65% in average. The cementation is an important factor for further reducing the reservoir pore loss, causing an average of 3.34%. The dissolution of the reservoir is an important way to increase the hole, but due to the lack of dissolution fluid, its contribution is limited, increasing pores about 2.26%. There is a positive correlation between the reservoir properties and maturity, and a negative correlation between the properties and depth, which show that the low maturity and deep buried Lulehe formation ( $E_{1+2}$ ) has the strongest compaction and cementation, and the worst reservoir property. The property of lower Ganchaigou formation ( $E_3^1$ ) was medium, and the upper of lower Ganchaigou formation ( $E_3^2$ ), which has the highest maturity and is the most shallow buried has the optimal reservoir property.

**key words:** Qaidam basin, Lenghu region, Paleogene, diagenesis, pore evolution

收稿日期:2017-06-16。

第一作者简介:陈波(1985—),男,博士,油气储层地质学及油气藏开发。

基金项目:广西中青年教师基础能力提升项目“北部湾涠西南凹陷储层构型特征对油田含水率的影响研究”(2017KY0787);钦州学院校级重点培育项目“文昌油田储层构型及其剩余油分布特征研究”(2016PY-SJ10)。

柴达木盆地是我国西部重要的中生代含油气盆地,冷湖地区位于柴达木盆地北缘,是盆地最先发现工业油气流的地区之一<sup>[1-4]</sup>,由于技术的限制,一直未能获得大的突破。近些年来的勘探结果表明,冷湖地区地质情况复杂,但烃源岩条件发育较好,且生排烃和构造配置关系较好,已成为青海油田重点的油气勘探扩展区域<sup>[5]</sup>。前人对冷湖地区做了大量的基础研究工作,涵盖构造建模和构造分析<sup>[2]</sup>、油气成藏过程及模式<sup>[3]</sup>、油气成藏机理<sup>[6]</sup>、烃源岩评价<sup>[7]</sup>、物源分析<sup>[8]</sup>、沉积相特征<sup>[9]</sup>、储层特征研究<sup>[4]</sup>、成岩作用及成岩相研究<sup>[5]</sup>等方面,取得了一定的成果,但是前人研究工作主要针对于冷湖地区的侏罗系烃源岩或古-新近系的部分地层的沉积储层研究,缺乏对冷湖地区古近系整个地层系统的沉积或储层研究,这在很大程度上限制了冷湖地区油气勘探的进程。基于此,综合运用钻井取心资料、岩石和铸体薄片、扫描电镜及测录井资料,同时结合分析化验数据,对冷湖地区古近系储层的成岩作用特征及其对储层孔隙的影响进行细致研究,以期为该区域的储层认识提供一定的依据。

## 1 区域地质概况

柴达木盆地为一典型的中新生代含油气盆地<sup>[10]</sup>,油气勘探显示最重要含油层系位于中生界的三叠系、侏罗系和白垩系,及新生界的古近系、新近系和第四系。冷湖地区(冷湖构造带)位于东祁连山和阿尔金山交汇处,属于柴北缘赛昆断陷的一个二级背斜构造,为第三纪晚期形成的褶皱断裂构造(图1)。根据钻井及地面露头揭示,柴北缘冷湖地区古近系地层自下而上发育三套地层,分别为路乐河组( $E_{1+2}$ ),下干柴

沟组下段( $E_3^1$ )和下干柴沟组上段( $E_3^2$ ),古近系与下侏罗系呈不整合接触,中上侏罗系和白垩系缺失,侏罗系是柴北缘的生烃油源。古近系储层发育良好,油储配置关系较好,但研究区古沉积环境多变复杂,沉积相带演变快,主要发育冲积扇—辫状河—辫状河三角洲—滨浅湖沉积体系<sup>[9,11-12]</sup>,储层岩石类型多样,成分及组构特征复杂,储层非均质性强。

## 2 储层特征

### 2.1 储层岩石学特征

柴北缘冷湖地区古近系岩性类型多样,发育有砂岩、泥岩和少量的砾岩,砂岩以细砂岩、砂岩、粉砂岩为主,但不同层位岩石类型及组构特征差异较大。其中 $E_{1+2}$ 层位以长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩为主(图2a),石英含量较低,长石和岩屑含量高,砂岩的矿物成分成熟度指数 $Q/F+R$ 值低,均值为0.89; $E_3^1$ 层位以岩屑长石砂岩和长石石英砂岩为主(图2b),石英、长石及岩屑三者含量相当,成熟度指数 $Q/F+R$ 均值为1.38; $E_3^2$ 层位以岩屑长石石英砂岩、长石砂岩为主(图2c),石英含量相对较长石、岩屑含量高,成分成熟度指数 $Q/F+R$ 均值位1.58,整体而言, $E_3^2$ 层位成熟度最高, $E_3^1$ 层位次之, $E_{1+2}$ 层位成熟度最低(表1)。研究区储层填隙物以胶结物和泥质杂基为主,碎屑颗粒分选性整体中等—偏差,磨圆度也欠佳,多为次棱状,颗粒接触方式以点—线接触为主,整体表现为较低的结构成熟度。发育于冲积扇—辫状河—辫状河三角洲—湖泊沉积体系下的研究区储层具有近源快速沉积的特点,成分成熟度和结构成熟度均较低。

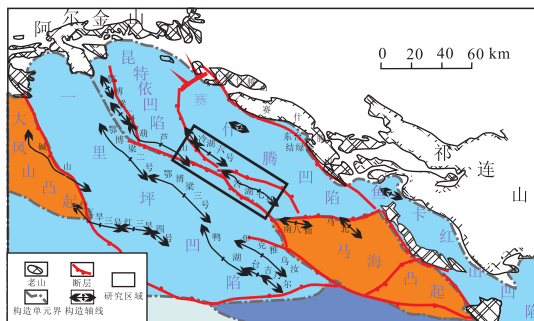


图1 研究区位置

Fig. 1 Location of research area

表1 冷湖地区古近系储层岩石成分特征  
Table 1 Characteristics of rock composition of Paleogene reservoir in Lenghu area

层位	石英,%	长石,%	岩屑,%	$Q/(F+R)$
上干柴沟组	29.31~56.82	25.80~49.46	3.81~36.43	0.41~4.45
上段 $E_3^2$	39.89	35.81	24.30	1.58
下干柴沟组	17.0~50.21	14.13~45.86	11.22~66.43	0.20~4.01
下段 $E_3^1$	35.48	34.21	30.31	1.38
路乐河组	13.20~49.36	12.10~54.16	3.55~6.63	0.15~2.76
$E_{1+2}$	27.91	28.39	43.70	0.89

注:表中分式含义:  $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}}$

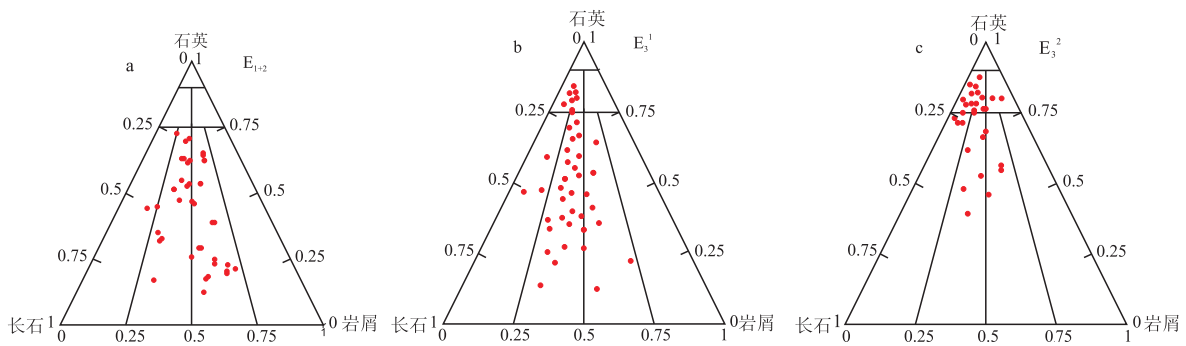


图2 冷湖地区古近系不同层位岩石类型特征

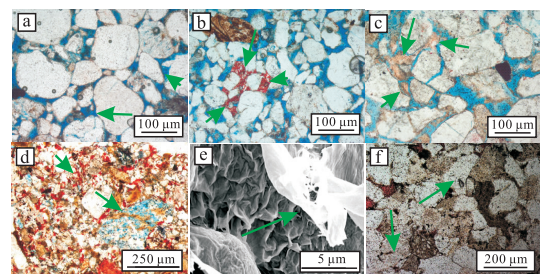
Fig. 2 Characteristics of rock types in different strata of Paleogene in Lenghu area

## 2.2 储层孔渗特征

根据对冷湖地区古近系储层样品铸体薄片和扫描电镜的观察分析,对研究区储层孔隙类进行了划分,储层中原生、次生孔隙和微裂缝均有发育,原生孔隙主要包括因压实和胶结作用而形成的压实残余粒间孔和胶结残余粒间孔,次生孔隙主要为溶蚀孔隙,根据成因不同可分为粒间和粒内溶孔,微裂缝可分为构造微裂缝和成岩微裂缝。

压实残余粒间孔隙主要是碎屑颗粒受到压实应力作用影响而挤压形成,形态多呈不规则状(图3a),胶结残余粒间孔主要由于胶结物、黏土矿物充填在粒间孔隙而形成,压实和胶结残余粒间孔在研究区古近系各个层位均有发育(图3a、b、c)。粒间和粒内溶孔多发育于有机酸生成释放阶段,储层中不稳定颗粒如长石、碳酸盐胶结物、易溶杂基等遇酸发生溶蚀形成溶蚀孔隙,大多呈锯齿状(图3d),粒内溶孔以长石和岩屑碎屑颗粒内部发生溶蚀为主,常呈港湾状(图3e),溶蚀孔隙多见于 $E_3^1$ 、 $E_{1+2}$ 层位, $E_3^2$ 层位相对少见。研究区微裂缝多以成岩微裂缝为主,强压实作用和溶蚀作用都有可能使得碎屑颗粒内部产生微裂缝(图3f),研究区储层微裂缝数量较少且对孔隙度影响不大,但对渗透率影响较大。

通过对冷湖地区古近系储层近400个样品的实测物性资料统计分析,表明研究区 $E_{1+2}$ 层位平均孔隙度为8.34%,平均渗透率为 $4.48 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , $E_3^1$ 层位平均孔隙度为10.26%,渗透率为 $7.35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , $E_3^2$ 层位平均孔隙度为13.68%,平均渗透率为 $9.67 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,整体而言,冷湖地区古近系储层表现为低孔低渗的特征,具体到各个层位,表现出孔渗值与储层埋深成反比,与成熟度值成正比。



a. 冷东1井,3088.4 m,  $E_{1+2}$ ,发育不规则多角状的压实残余粒间孔,由于埋藏较深,孔隙空间较小(铸体); b. 冷东1井,3083.87 m,  $E_{1+2}$ ,方解石胶结物占据于孔隙中形成胶结残余粒间孔,(-) $\times 100$ ; c. 冷北15井,1453.73 m,  $E_3^1$ ,发育少量压实残余粒间孔和因方解石充填而形成的胶结残余粒间孔(-) $\times 100$ ; d. 冷95井,1114.15 m,  $E_3^2$ ,发育大量的方解石胶结物和少量的粒间和粒内溶孔(-) $\times 100$ ; e. 冷112井,2702.18 m,  $E_{1+2}$ ,砂岩颗粒表面见少量蜂窝状伊蒙混层,并发育少量晶间微孔; f. 冷七1井,4690 m,  $E_{1+2}$ ,发育少量的压实微裂缝(-) $\times 100$

图3 冷湖地区古近系发育孔隙类型

Fig. 3 Pore types of Paleogene in Lenghu area

## 3 成岩作用类型及特征

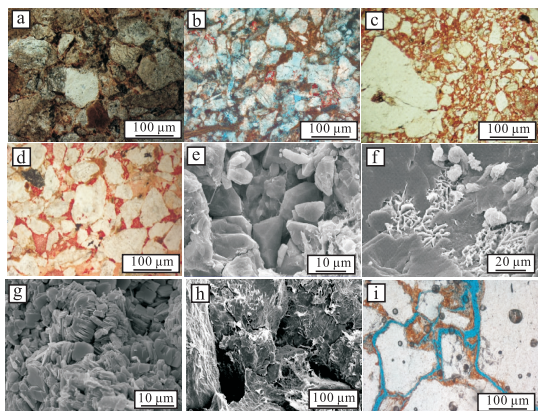
沉积物进入成岩期后接受成岩作用的改造,会对储层孔隙的形成、演化及孔喉的配置关系起到重要作用,进而影响储层的物性<sup>[13-14]</sup>。柴北缘冷湖地区古近系储层的成岩作用类型较为多样且复杂,对储层物性影响较大的主要包括压实作用、胶结作用和溶蚀作用。

### 3.1 压实作用

压实作用在研究区各个层位均有发生(图4),是研究区最为普遍的成岩现象,在显微镜下,可见泥质碎屑和云母等可塑颗粒在压实作用下发生形变,部

分颗粒扭曲变形会挤入孔隙中呈现出假杂基现象(图4a、b),随着地层埋深的增加,压实作用作用力变强,镜下易观察到部分颗粒呈定向排列,石英和长石等脆性颗粒在强压实作用下发生脆裂产生脆性裂纹(图3f),颗粒之间接触关系由点接触转变为点—线接触或线接触。冷湖地区古近系储层镜下观察以机械压实作用为主,压溶作用相对少见。

前文已述及, $E_3^2$ 层位成分成熟度最高, $E_3^1$ 层位次之, $E_{1+2}$ 层位成分成熟度最低,成分成熟度较低储层中的砂岩颗粒间缺乏硬度较大的石英颗粒支撑,更容易被压实,机械压实作用表现相对较强烈,从 $E_3^2-E_3^1-E_{1+2}$ 碎屑颗粒接触方式从以点接触→点—线接触→线接触为主,压实作用呈逐渐加强的趋势,可见压实作用的强度主要受到埋深的控制。



a. 冷四1井, 1 816.2 m,  $E_{1+2}$ , 塑性颗粒在强压实应力下发生变形而呈假杂基(+) $\times 100$ ; b. 冷96井,  $E_3^2$ , 可见粒间孔隙, 并发育泥质胶结和少量的钙质胶结; c. 冷111井, 2 739.04 m,  $E_{1+2}$ , 绿泥石沿着颗粒边缘呈薄膜状分布, 方解石胶结物大量充填于孔隙中(-) $\times 30$ ; d. 冷四1井, 1 423.6 m,  $E_3^1$ , 粒间孔隙间发育斑块状的含铁方解石胶结物(+) $\times 100$ ; e. 冷111井, 2 958.12 m,  $E_{1+2}$ , 砂岩中发育自生粒状石英及伊/蒙混层胶结物; f. 冷111井, 2 959.2 m,  $E_{1+2}$ , 自生石英次生加大边形态多样, 蒙脱呈棉絮状包覆于颗粒表面; g. 冷111井, 2 959.6 m,  $E_{1+2}$ , 扫描电镜下, 高岭石呈书页状特征; h. 冷112井, 2 719.66 m,  $E_{1+2}$ , 长石颗粒溶蚀作用强烈呈蜂窝状, 且在扫描电镜下可见颗粒间充填丝状伊利石; i. 冷95井, 3 016 m,  $E_{1+2}$ , 碎屑颗粒边缘发生溶蚀呈港湾状, 贴粒缝发育(-) $\times 100$

图4 冷湖地区古近系成岩作用特征

Fig. 4 Characteristics of Paleogene diagenesis in Lenghu area

## 3.2 胶结作用

### 3.2.1 碳酸盐胶结作用

碳酸盐胶结作用是研究区储层中分布最普遍,

也是最主要的胶结作用类型之一。研究区碳酸盐胶结物主要由方解石、含铁方解石组成,同时发育少量白云石和含铁白云石。根据碳酸盐胶结物的成分、晶形及结构特征,胶结物分为早晚两期。早期形成的碳酸盐胶结物未经过强烈的成岩作用改造,通常自形程度较好,多以泥晶、微晶状围绕于颗粒间或充填于粒间孔隙中(图4c)。随着成岩作用的进行,成岩流体pH值会发生变化,随着温压的升高,在高温高压的缺氧环境下,孔隙水中的黏土矿物发生转化从而产生大量的 $Fe^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ ,它们易进入碳酸盐矿物的晶格中,从而形成晚期阶段的含铁碳酸盐胶结物,其晶形一般较大,在显微镜下呈紫红色<sup>[15-16]</sup>。研究区储层中方解石胶结物分布广泛,方解石胶结状态多呈连晶式,而铁方解石多呈分散式或衬边状充填孔隙中(图4d)。

### 3.2.2 石英胶结

冷湖地区古近系储层中石英胶结物以石英次生加大生长和自生石英的形式的赋存于孔隙中,自生石英常呈微细粒状或六方双锥晶体状生长于孔隙壁或充填于孔隙中(图4e),研究区储层中石英次生加大总体属于II-III级,加大边厚约0.01~0.03 m,形态规则多样(图4f),同时在扫描电镜下可见出现长石颗粒被溶蚀时,常伴随自生石英或石英次生加大现象(图4h),依次可推断 $SiO_2$ 可能源于长石颗粒的溶蚀。

### 3.2.3 黏土矿物胶结

利用X衍射手段对储层样品进行分析,可知研究区储层中常见的黏土矿物包括高岭石、伊利石、蒙脱石及绿泥石等。绿泥石多分布于扇三角洲前缘的水下分流河道中<sup>[17]</sup>,常呈薄膜式分布于碎屑颗粒表面或以孔隙衬垫形成充填于孔隙喉道中。高岭石来源多样,通常形成于成岩过程中酸性流体对长石颗粒及黏土杂基淋滤,亦可从孔隙溶液中直接沉淀形成。扫描电镜下,研究区储层中高岭石一般以假六方片状或不规则板状出现,集合体则以书页状或者蠕虫状的形式产出(图4g)。黏土矿物在一定成岩流体环境下会发生转化,如在 $Ca^{2+}$ 离子含量较高的成岩流体环境下,高岭石会转化为蒙脱石,而在富含 $K^+$ 离子的成岩流体环境下,高岭石会转变为呈针丝絮状的伊利石(图4h),从而使储层中出现伊蒙混层。

### 3.3 溶蚀作用

研究区储层溶蚀现象相对不发育,虽然冷湖地区古近系储层成熟度偏低,含有较多可被溶蚀的碳酸盐胶结物、杂基等物质,但溶蚀作用的发生往往需要具备三个条件<sup>[8]</sup>:可溶物质、溶蚀流体和流体流通孔道,三者缺一不可。研究区由于缺乏充分的溶蚀流体使得溶蚀现象只在部分地区出现。在冷湖地区新生界古近系储层中,按溶蚀作用对象可分为:碎屑颗粒的溶蚀,以长石颗粒被溶蚀为代表,镜下常见颗粒沿长石的解理缝发生溶蚀,或长石颗粒边缘发生溶蚀,形成不规则状的粒间溶孔,也存在长石颗粒内部溶蚀现象,从而形成粒内溶孔,长石颗粒在被强烈溶蚀的情况下,扫描电镜观察会呈蜂窝状(图4h);碳酸盐胶结物的溶蚀,以方解石胶结物的溶蚀作用为主,溶蚀作用使方解石胶结物边缘呈扭曲的不规则状,形成粒间溶孔或贴粒缝(图4i)。

## 4 成岩作用对孔隙演化的影响

孔隙演化过程是影响储层物性最为重要参数之一,而成岩作用又直接决定孔隙演化的途径,是砂体能否成为有效储集体的决定因素,不同的成岩作用对储层孔隙演化的影响相去甚远。

### 4.1 压实作用对孔隙的影响

压实作用是研究区储层物性变差的主要成岩作用类型。碎屑颗粒在压实应力作用下发生扭曲变形,颗粒排列趋于紧密,岩石骨架密度变大,镜下可见碎屑颗粒呈点一线排列形式,原生孔隙空间迅速减少;研究区储层成分成熟度低,含有较多的杂基,而塑性杂基易在压实应力作用下弯曲变形挤入孔隙中(图4a),使得孔隙体积进一步减小。通过对30口井和260余张薄片的统计分析,结合分选系数,可知研究区储层原始孔隙度大约在33.62%~41.56%,平均为37.16%。利用Houseknecht DW提出的压实和胶结作用与粒间孔隙体积损失的关系图,可定量评价压实作用对储层孔隙破坏量值(图5),研究区储层整体因压实作用造成的孔隙度损失可达6.69%~33.44%,平均21.65%,其中 $E_3^1$ 、 $E_{1+2}$ 层位, $E_3^2$ 层位因压实造成的孔隙度损失平均值分别为24.15%、16.72%和14.86%(图5),可见储层孔隙因

压实作用引起的损失具有随着埋深的增加而变大的特征,与前文述及的薄片镜下观察的颗粒排列关系结果一致。同时不难发现冷湖地区古近系储层孔隙损失主要集中于压实作用效应区(图5),说明压实作用是造成研究储层孔隙减小最根本的原因。

### 4.2 胶结作用对孔隙的影响

胶结作用发生在成岩的各个阶段,且具有世代性。研究区胶结作用类型主要有碳酸盐胶结、石英胶结及自生黏土矿物胶结。在成岩作用阶段早期形成的碳酸盐胶结物可以在一定程度上抵御压力应力对储层孔隙的破坏,而碳酸盐胶结物又占据了孔隙的空间,因此,碳酸盐胶结物对储层孔隙的影响具有双面性。陈国俊等人<sup>[19]</sup>研究认为,碳酸盐胶结物含量以5%为界。含量小于5%时,碳酸盐胶结物可起到抵御压实应力,而当含量大于5%时,碳酸盐胶结物主要起到破坏孔隙的作用,据统计分析研究区储层孔隙胶结物含量约在8%左右,因此,研究区储层中的碳酸盐胶结物对孔隙具有负面作用。

研究区石英胶结物以石英次生加大边产出,或者以自生石英的形式占据于孔隙中,不论以哪种方式产出都减少了孔隙空间(图4e、4f、4h)。自生黏土矿物对储层孔隙的贡献不尽相同,如绿泥石环边利用抑制石英次生加大及胶结物的形成,高岭石一般是酸性环境的指示剂,因此,绿泥石和高岭石一般与孔隙度正向相关性,而伊蒙混层、伊利石等黏土矿物

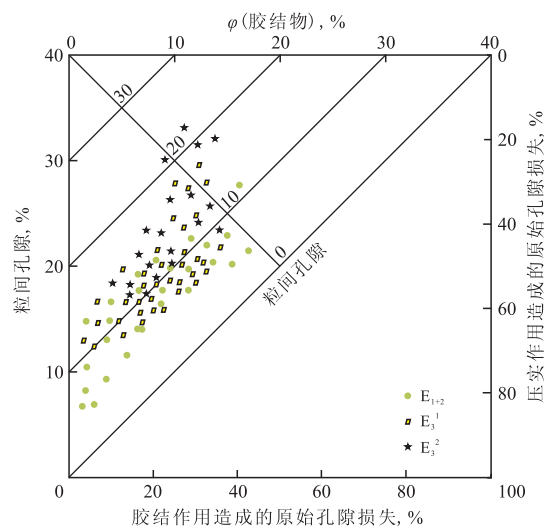


图5 压实及胶结作用对粒间孔隙损失关系

Fig. 5 Relation between compaction with cementation and intergranular pore loss

一般都占据于孔喉中,与孔隙度呈负相关性。研究区因胶结作用造成的孔隙度损失可达0.74%~7.06%,平均3.34%(图5),可见胶结作用是冷湖地区古近系储层孔隙减小的重要因素。

### 4.3 溶蚀作用对孔隙的影响

压实和胶结作用对储层孔隙起到破坏作用,随着成岩作用的加急,储层中原生孔隙消失殆尽,孔隙度迅速减少,而溶蚀孔隙是储层形成次生孔隙,增加孔隙度最为重要的途径。根据前人研究结果可知<sup>[20]</sup>,研究区储层成岩阶段主要处于早成岩阶段B期或中成岩阶段A期(图6),成岩场的温度不足以使烃源岩大量分解有机酸,即使冷湖地区古近系E<sub>1+2</sub>层位和E<sub>3</sub><sup>1</sup>层位含有较多的杂基、碳酸盐胶结物以及自生黏土矿物,具备了较多的溶蚀对象,但由于溶蚀流体(有机酸)的相对匮乏,因此,冷湖地区古近系储层中因溶蚀作用产生的次生孔隙增孔较为有限。通过镜下

薄片分析研究,因溶蚀增孔量约为2.26%左右,且溶蚀孔隙主要发育于E<sub>1+2</sub>层位和E<sub>3</sub><sup>1</sup>层位,E<sub>3</sub><sup>2</sup>层位成熟度相对较高且埋藏浅,几乎难觅溶蚀孔隙。

综合前文分析,可知冷湖地区古近系储层压实作用是破坏储层孔隙的最根本原因,胶结作用是使孔隙进一步减少的重要因素,溶蚀孔隙是储层增孔的重要途径,但贡献有限,据此,可建立研究区储层的孔隙演化模式(图6)。冷湖地区古近系储层物性与成熟度成正相关性,与埋藏深度成负相关性,表现为低成熟度和深埋藏的路乐河组(E<sub>1+2</sub>)压实和胶结作用最强,储层物性最差,下干柴沟组下段(E<sub>3</sub><sup>1</sup>)次之,成熟度最高和埋藏最浅的下干柴沟组上段(E<sub>3</sub><sup>2</sup>)储层物性最优,究其原因,是由于埋藏越深,地层上覆岩石压力也越大,压实作用对储层孔隙的破坏性自然表现的就越强;而成熟度低,则表现为储层中刚性颗粒石英含量较低,塑性颗粒长石或者杂基的含量高,这些塑性颗粒不仅抗压实应力的能力弱,且易

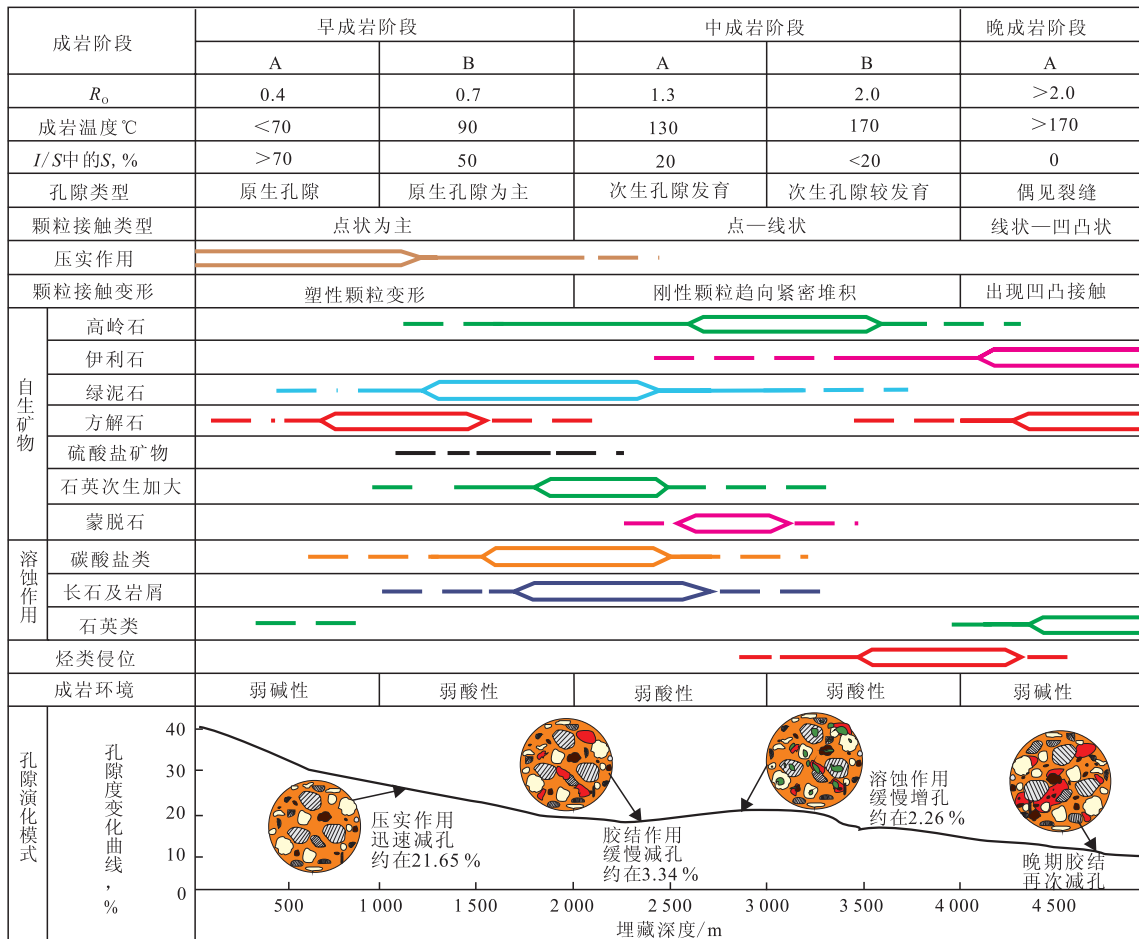


图6 冷湖地区古近系储层成岩序列及孔隙演化模式

Fig. 6 Diagenetic sequence and pore evolution of Paleogene reservoir in Lenghu area

在压力作用下变形挤入孔喉中,破坏储层的物性。

## 5 结论

1) 冷湖地区古近系储层岩石类型多样,长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩、长石石英砂岩和长石砂岩均有发育,储层的成熟度较低,反映了近源快速沉积的特点,具体到各个层位, $E_3^2$ 层位成熟度最高, $E_3^1$ 层位次之, $E_{1+2}$ 层位成熟度最低。

2) 研究区储层孔隙类型多样,原生孔隙、次生孔隙和微裂缝均有发育,但以残余粒间孔隙为主,溶蚀孔隙在 $E_{1+2}$ 和 $E_3^1$ 层位少量发育,储层孔隙度和渗透率值偏低,且表现出孔渗值与储层埋深成反比,与成熟度值成正比。

3) 对研究区储层物性影响较大的成岩作用主要包括压实作用、胶结作用和溶蚀作用。其中压实作用是破坏储层物性的最根本原因,胶结作用是使储层物性进一步减少的重要因素,溶蚀作用是储层增孔的重要途径,但由于溶蚀流体的缺乏使其贡献有限。

### 参考文献

- [1] 穆剑,汪立群.论柴达木盆地冷湖—南八仙构造带的含油气远景[J].石油学报,1999,20(2):18-22.
- [2] 王步清,王清华,陈汉林,等.柴北缘冷湖地区构造建模和构造分析[J].大地构造与成矿学,2006,30(4):430-43.
- [3] 李宏义,汤良杰,姜振学,等.柴达木盆地北缘冷湖七号构造油气成藏过程与模式[J].地质学报,2007,81(2):271-276.
- [4] 贾艳艳,史基安,申玉山,等.柴北缘冷湖五号构造上干柴沟组储层特征研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2013,35(4):43-50.
- [5] 陈波,陈汾君,吴志雄,等.柴北缘冷湖地区古近系路乐河组成岩作用及有利成岩相研究[J].地质科技情报,2015,34(4):20-27.
- [6] 孙德强,刘海涛,余辉龙,等.柴达木盆地冷湖5号构造油气藏成藏机理[J].新疆石油地质,2006,27(4):435-439.
- [7] 徐文,包建平,刘婷,等.柴达木盆地北缘冷湖地区下侏罗统烃源岩评价[J].天然气地球科学,2008,19(5):707-712.
- [8] 付玲,关平,赵为永,等.柴达木盆地古近系路乐河组重矿物特征与物源分析[J].岩石学报,2013,29(8):2867-2875.
- [9] 蒋斌,李凤杰,郑荣才,等.柴达木盆地北缘西段古近系路乐河组沉积相特征研究[J].岩性油气藏,2010,22(1):48-52.
- [10] 王桂宏,马达德,张启全,等.柴达木盆地北缘盆山构造关系与油气勘探方向[J].石油勘探与开发,2008,35(6):668-673.
- [11] 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.
- [12] 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):16-21.
- [13] Williamson R B, T M Hume, J Mol-Krijnen. A comparison of the early diagenetic environment in intertidal sands and muds of the Manukau Harbour, New Zealand[J]. Environmental Geology, 1994, 24(4): 254-266.
- [14] 于波,崔智林,刘学刚,等.西峰油田长8储层砂岩成岩作用及对孔隙影响[J].吉林大学学报(地球科学版),2008,38(3):405-410.
- [15] 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):1358-1365.
- [16] 郭佳,曾濂辉,宋国奇,等.东营凹陷中央隆起带沙河街组碳酸盐胶结物发育特征及其形成机制[J].地球科学(中国地质大学学报),2014,39(5):565-576.
- [17] 田建锋,陈振林,杨友运.自生绿泥石对砂岩储层孔隙的保护机理[J].地质科技情报,2008,27(4):49-54.
- [18] 陈波,王子天,康莉,等.准噶尔盆地玛北地区三叠系百口泉组储层成岩作用及孔隙演化[J].吉林大学学报(地球科学版),2016,46(1):23-25.
- [19] 陈国俊,吕成福,王琪,等.珠江口盆地深水白云凹陷储层孔隙特征及影响因素[J].石油学报,2010,31(4):50-56.
- [20] 陈波,王波,管斌,等.柴北缘西段古近系优质储层孔隙成因类型及其控制因素[J].天然气地球科学,2016,27(8):1454-1465.

(编辑 杨友胜)