

文章编号: 1000-0550(2004)03-0425-09

柴西第三纪湖相生物礁储层特征及意义

郭泽清¹ 钟建华^{2,3} 刘卫红² 温志峰² 柳祖汉⁴ 王海侨²

1(中国石油勘探开发研究院廊坊分院 河北廊坊 065007) 2(石油大学(华东)资源与信息学院 山东东营 257061)

3(中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640) 4(湘潭工学院 湖南湘潭 411201)

摘要 最近在柴达木盆地西部干柴沟一带发现的第三纪湖相生物礁,存在于第三系的下干柴沟组下段到下油砂山组的数千米厚的地层中。在野外露头实测、大量岩石薄片和铸体薄片研究的基础上,运用毛细管压力曲线和图象分析等手段,对生物礁储层特征作了详细研究。生物礁孔隙类型复杂,主要有骨架孔隙、粒内孔隙、铸模孔隙、溶孔等 8 种孔隙类型。生物礁经历了同生成岩、早成岩、晚成岩和表生成岩四个阶段。胶结作用和溶蚀作用是孔隙的主要形成作用,真正的原生孔隙已很少,次生孔隙极其发育,是油气的优良储集层。生物礁的发现对于青海油田油气勘探与开发具有重大的现实意义。

关键词 生物礁 孔隙结构 孔隙类型 溶解作用 成岩阶段 柴西

第一作者简介 郭泽清 男 1976 年出生 硕士 石油地质学

中图分类号 P618.130.2⁺1 **文献标识码** A

1 引言

与生物礁有关的各种矿产中,油气的意义尤为重要,无论是国外还是国内,生物礁均是重要的油气勘探对象。如美国的德克萨斯、前苏联的乌拉尔、墨西哥的黄金巷及我国的川东、鄂西、济阳拗陷和珠江口盆地等地区均发现了生物礁型油气藏。尤其是 1916 年在墨西哥黄金带内打的阿苏尔 4 号井日产原油高达 35 620 吨;此外,我国济阳拗陷第三纪的平方王礁体,自 1967 年发现以来至今已打出 4 口日产超千吨的高产油井。

2000 年,钟建华等在柴达木盆地西部(简称柴西)干柴沟一带考察时发现了第三纪湖相生物礁^[1],这是在中国西部第一次发现第三纪湖相生物礁。生物礁主要发育在第三系的下干柴沟组下段到下油砂山组的数千米厚的地层中,层位有二、三十个,但有意义的生物礁层则只有 6~10 层,厚度介于 1 m 到 6 m,主要由藻叠层石礁、藻凝块礁和枝管藻礁组成。本次发现生物礁的地点在柴达木盆地西部干柴沟一带,具体位置见图 1。

礁储集层具有极其独特的孔隙空间,通常孔隙度和渗透率都高^[2]。本次野外发现的生物礁露头大都富含石油和沥青,是油气的优良储层。通过野外露头

观测描述,结合岩石薄片和铸体薄片的详细观察和鉴定及其压汞等资料的详细统计和分析,对本区生物礁的主要岩石类型、孔隙结构、储集空间类型、孔隙形成的主要作用、成岩序列和孔隙度演化史有了比较系统的了解和认识。

2 岩石学特征

生物礁是由固着生物所建造的本质上是原地沉积的碳酸盐建造^[3]。划分生物礁类型有很多方法,现在比较科学的分类方案是根据生物礁的结构组分(基质、骨架和胶结物)进行分类。这种分类方案将生物礁分为 3 大类:基质支撑的生物礁、骨架支撑的生物礁和胶结物支撑的生物礁^[3]。

本文根据上述分类方案,把该区的生物礁分为:由基质支撑的藻叠层石礁、藻凝块礁和骨架支撑的枝管藻礁三种类型。

2.1 藻叠层石礁

发育于柴达木盆地西部湖泊藻礁中的叠层石礁,无论是在形态上还是内部结构上均非常复杂,规模也变化较大。主要有两种不同的岩石类型:一种是由短柱状叠层石组成的丘形藻礁。由许多球状或半球状的藻丘组成(图版 -1),直径多为 1.2~2 m,高 2 m,多数藻团之间紧密,可侧叠。部分藻丘独立,成较大

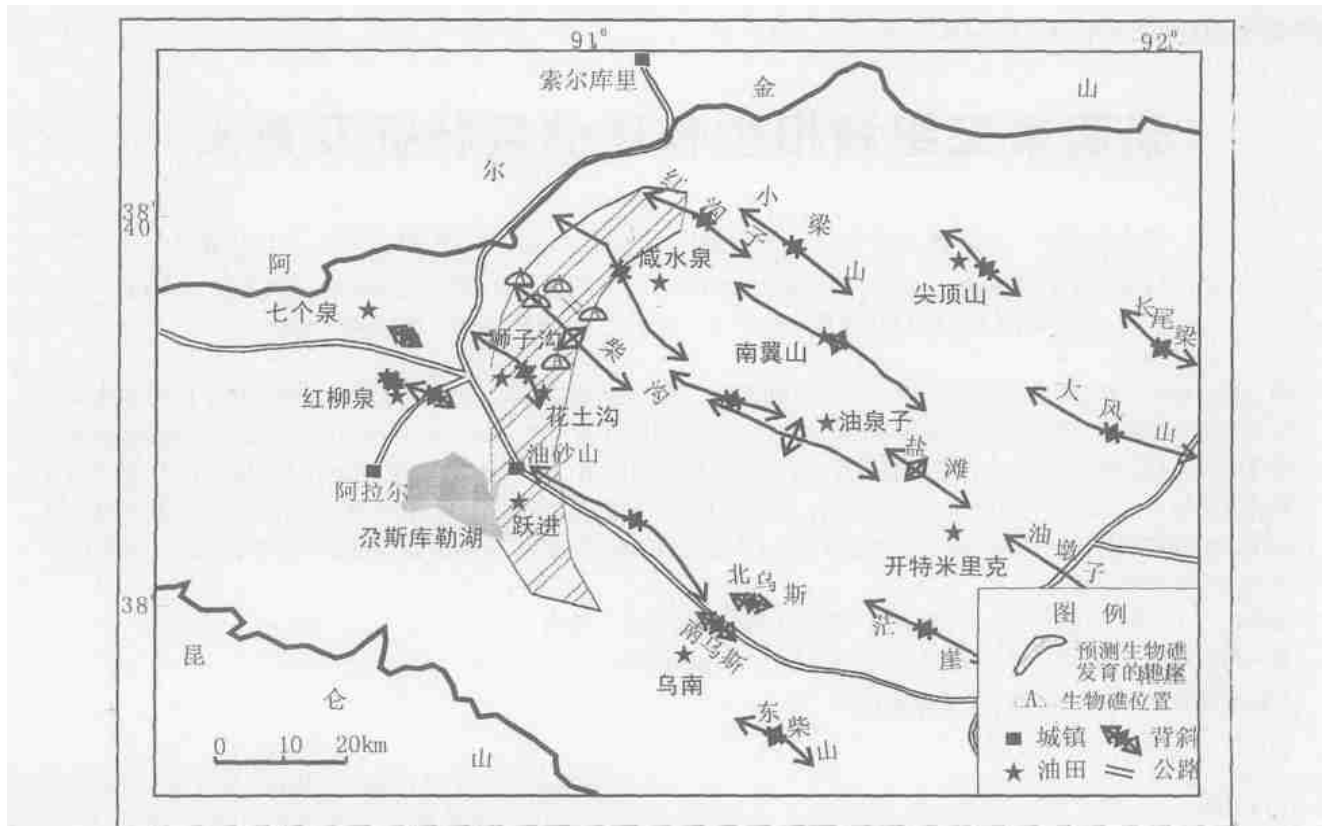


图1 柴西第三纪湖相生物礁地理位置图

Fig. 1 Location of Tertiary lacustrine reef in the western Qaidam basin

的半球形。短柱状叠层石表面呈直径1~3 cm的圆瘤(图版-2),瘤体间隙小于2 mm,充填砂屑,成分和磨圆度与藻丘两侧的砂屑灰岩相同。叠层石高为5 cm左右,有些高达12 cm,可多层叠覆,层间为泥质。藻丘直接发育在灰白色中至薄层状砂屑鲕粒灰岩之上,底部不平整,藻丘之上为灰黄色含粉砂质泥岩。

另外一种叠层石礁规模礁较大,呈塔柱状,也可以将其称为“塔柱状礁、尖头礁、微型环礁^[4]”。塔柱状礁分布成层,位于砾岩层中,柱间为含砾砂岩,顶为砾岩。塔柱状藻礁顶部钝圆,直径不等,中空,横剖面具有明显的同心圈层。例如西岔沟的塔柱状礁高2.2 m,直径2.1~2.3 m,中空部分直径40 cm,充填砾岩(图版-3);干柴沟号剖面的柱状叠层石,直立或略倾斜产于黄色泥岩中,高60 cm,直径50~80 cm,中空部分直径25~30 cm,孔洞直径接近柱的二分之一,充填泥岩(图版-4)。

2.1 藻凝块礁

Aitken 1967年引入了凝块石这一术语来描述与叠层石相关但无典型纹层的微生物礁^[5]。按照结构分类,凝块石属于微生物礁^[3],即凝块石礁,这是

一种由微生物捕获和粘结沉积物颗粒形成的生物礁。

柴达木盆地西部的凝块礁新鲜时呈浅灰或深灰色,均一致密,状如凝灰岩(图版-5),风化后呈灰白色或铁锈色。凝块礁直接发育在灰白色细粒岩之上,凝块礁之上为土黄色粉砂质泥岩。常有大量次生孔隙,孔隙富含石油或沥青。显微镜下观察,石油或沥青在透射光下呈浅黄—橙黄色(图版-6),凝块礁主要由褐色或黑褐色的凝块石组成,有少量藻碎片、鲕粒、球粒、介形虫、螺类及陆源碎屑。

2.2 枝管藻礁

主要由枝管藻形成的不规则疙瘩状、块状藻礁,风化后铁锈色(图版-7)。礁的底部为青灰色薄层状粉砂岩,顶部为青灰色厚层状泥岩。礁层最大厚度5.5 m,分布不连续,厚度变化较大,有的地方仅有1 m,有的地方消失。在显微镜下观察,主要组分是以枝管藻为代表的藻类,占40%~50%。枝管藻在镜下呈褐色,直径在0.05~1.5 mm左右,中心有一空腔,被微晶状亮晶方解石充填(图版-8),直线状少分叉或树枝状分叉,以一轴两射为主。与其伴生的附礁生物主要为介形虫和螺类(腹足类),介形虫非常丰

富,完整或破碎,一般被亮晶方解石充填或包裹;螺类不如介形虫丰富,也充填在枝管藻之间,螺壳内常见碎屑矿物或鲕粒(图版 -8)。礁内充填的其它组分为是鲕粒和陆源碎屑(图版 -8),以及少量的粪球粒、藻泥球粒、碎凝块和高等植物的碎片,它们是礁发育过程中从邻近地区被搬运到礁内而形成的。生物礁体成岩后期充填物为亮晶方解石和沥青,亮晶方解石具世代结构,第一世代呈纤状或栉壳状,第二世代呈嵌晶状;沥青在透射光下浅黄—橙黄色,正交偏光下全消光。

3 孔隙结构

毛细管压力曲线(即压汞曲线)能够直观地反映生物礁孔隙的大小、偏度、渗透率及不同孔隙直径的总体分布特征。根据压汞实验结果,生物礁孔隙结构分为 4 类:

类(图 2-a),排驱压力较低,一般小于 0.04 MPa,退汞效率较高,40%~50%,孔隙半径较大,介于 5.2~20.5 μm 之间,压汞曲线呈略粗歪度,孔、渗值较高,孔隙度一般在 20%左右,最大达到 30%,渗透率在几十个毫达西,最大达 126 毫达西。以富含石油或沥青的凝块礁(图版 -5)和枝管藻礁(图版 -2)为代表。

类(图 2-b),排驱压力较低,介于 0.05~0.07 MPa 之间,退汞效率小于 30%,孔隙半径较大,介于 2.5~3.5 μm 之间,压汞曲线呈略细歪度,孔、渗值为中等,孔隙度一般小于 15%,渗透率在 $30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下。

类(图 2-c),排驱压力较高,一般大于 0.2 MPa,退汞效率小于 35%,孔隙半径较小,其平均值小 1.0 μm ,压汞曲线呈细歪度,孔、渗值较低,孔隙度小于 15%,渗透率在 4.5 个毫达西以下。以短柱状叠层石组成的丘形藻叠层石礁(图版 -1)为代表。

类(图 2-d),排驱压力更高,一般在几个 MPa 左右,退汞效率低,孔隙半径更小,孔隙半径多在 0.2 μm 以下,孔隙度一般为 3.3%,孔隙连通性差,基本上不具备渗透性。该类型以致密的凝块礁为代表。

4 孔隙类型

根据生物礁孔隙的成因,可以划分为原生孔隙和次生孔隙。前者主要类型有:粒间孔隙、骨架孔隙以及生物钻孔孔隙和潜穴孔隙;次生孔隙主要有:粒内孔隙、铸模孔隙、溶孔、溶洞和裂缝。各种孔隙的特征

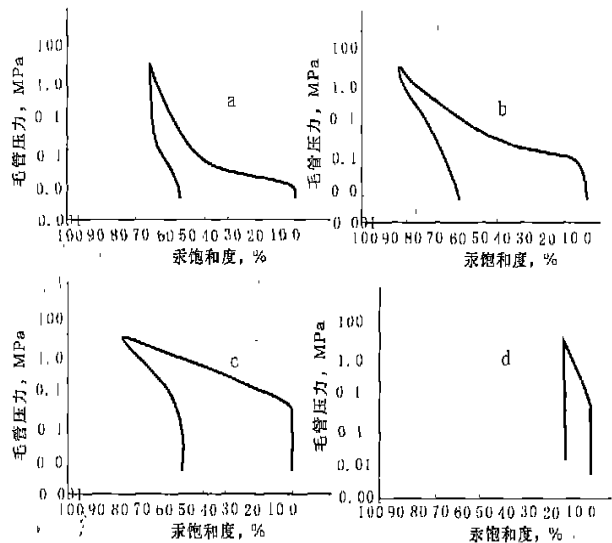


图 2 柴西生物礁毛细管压力曲线基本类型图

Fig. 2 Basic types of capillary pressure curves of the reef in the western Qaidam basin

如下。

4.1 粒间孔隙

鲕粒、生物屑和球粒之间的孔隙,是沉积时期形成的原生孔隙,这类孔隙大多以胶结物充填的形式出现(图版 -9),完全充填时则失去其有效性。

4.2 生物钻孔孔隙和潜穴孔隙

前者是钻孔生物对硬的底质进行钻蚀形成的孔隙,后者是附礁生物在未固结沉积物中挖掘形成的孔隙。这类孔隙并不多见,而且通常被其它沉积物充填并且容易压实变形(图版 -10),因此经济意义不大。

4.3 骨架孔隙

是由造礁生物生态发展而形成的一种原生孔隙,是生物礁储层重要的一种孔隙类型。骨架孔隙在礁体发育早期,往往很快被不同粒度的沉积物充填,从而形成复杂的孔隙系统^[6]。在成岩过程中往往被胶结物部分或全部充填。例如由造礁生物(藻化石)形成的骨架孔隙(图版 -1),其间充填了沥青和亮晶方解石;由枝管藻形成的细枝状骨架之间的孔隙(图版 -2),孔隙度可达 30%以上。

4.4 粒内孔隙

以介形虫的体腔孔隙和鲕粒内孔隙为代表。介形虫壳内的碳酸盐胶结物被溶蚀后形成的次生孔隙,镜下可见溶蚀残留物(图版 -3);鲕粒内孔隙指鲕粒内的某一同心层被溶蚀后形成的孔隙,一般富屑层易被溶解,而富藻层因含有机质不易被溶解(图版 -

9)。这类孔隙往往呈孤立孔洞群状分布,当缺乏其它类型的孔隙伴生时,即使具有很高的孔隙度,渗透率不一定很高。

4.5 铸模孔隙

是一种特殊类型的孔隙,由于选择性溶解颗粒而形成的具有原颗粒外形的孔隙,是粒内孔隙进一步溶解、发展形成的,因此其孔隙度及渗透性特征与粒内孔隙相似。例如鲕粒完全溶解形成的孔隙(图版-4)和碎屑颗粒完全溶解时形成的孔隙(图版-5)。

4.6 溶孔

是生物礁最主要的孔隙类型,大小不均匀,形状不规则,多见港湾状,常成群出现。包括生物礁骨架溶孔和胶结物溶孔2种类型:骨架溶孔边缘常见零星的或马牙状亮晶方解石胶结物,代表骨架溶蚀后的早期方解石胶结物,胶结物进一步发展则填满整个孔隙,(图版-6);胶结物溶孔是早期胶结物部分被溶蚀后形成的,边缘可见残留胶结物(图版-7)。

4.7 溶洞

由溶孔进一步溶解发展而来的。以枝管藻为主形成的不规则层状、块状枝管藻礁中发育了大小不等的溶洞。溶洞直径一般为3~5cm,最大十几厘米,溶洞内可发育石英晶簇(图版-8)。

4.8 裂缝

裂缝是由构造应力作用形成的。裂缝往往先被亮晶方解石充填,充填物后又受到溶解作用。裂缝大小一般在0.15~1.00mm,裂缝能够连通各类孔隙,因此能够有效的改善储层的渗透率。

5 生物礁孔隙的主要形成作用

5.1 沉积作用

沉积作用及沉积环境是影响生物礁孔隙的一个重要因素,不同沉积作用可产生不同的原生孔隙类型。生物礁中的原生粒内孔隙主要是生物体腔孔,如介形虫、螺类等。某些非生物颗粒,如鲕粒、球粒等,是由文石针堆积起来的,可具有超微孔隙^[7],这些孔隙明显的受沉积环境控制。生物礁中的骨架孔是沉积作用控制的另一类原生孔隙。当礁发育时,某些造礁生物,如枝管藻形成的纤维状、细枝状骨架,可产生巨大的开放孔隙系统,孔隙度可以达到50%以上。此外生物钻孔、潜穴孔隙也受沉积环境控制,但这类孔隙易受压实作用影响,很难保存下来。

5.2 胶结作用

包括准同生胶结作用和埋藏胶结作用。前者主

要见于枝管藻礁、凝块礁中,沿颗粒(鲕粒、生屑、藻粒等)周边形成等厚环边马牙状亮晶方解石胶结(图版-9),具有固结作用。纤维状亮晶方解石胶结物是典型的湖水潜流带准同生期的产物^[8]。而形成与埋藏成岩环境中的亮晶胶结物较粗大,呈晶簇状,完全充填生物礁骨架孔或其它孔隙,世代现象不明显,晶体大小表现为向孔隙中心方向逐渐增加(图版-10)。胶结作用导致孔隙减少,物性降低。

5.3 溶解作用

在沉积期后作用过程中,由于孔隙流体压力、温度、盐度、pH值的变化,可使生物礁发生不同方式的溶解。溶解作用是生物礁孔隙的最主要的形成作用,包括早期淡水溶解作用、埋藏溶蚀作用和晚期暴露地表的淋溶作用,表现为藻骨架、颗粒的溶解或藻骨架之间、体腔孔隙亮晶胶结物的溶解。溶解作用的结果是形成大小不一,形态不规则的次生溶蚀孔隙(图版-1,3~8),使得孔隙与喉道无明显的分别,增强了连通性,提高了储集性能,孔隙度达到10%~15%,渗透率达几十个毫达西。

5.4 白云岩化作用

随相对湖平面的升降变化,生物礁很容易处于混合水作用带而发生混合水白云化^[9],该作用的结果是使白云石的含量增加,白云石为泥粉晶它形。生物礁被埋藏以后,发生埋藏白云化作用,往往表现为生物选择性或组构选择性白云化,与早期混合水白云化相比,出现了铁白云石,而且白云石的晶粒变大,晶形变好,呈半自形或自形,零星分布于生物礁之中。白云岩化作用对储层的孔渗贡献不大。

5.5 裂缝作用

裂缝作用可以在浅埋藏到深埋藏的任何阶段发生,由地层压力作用产生。柴西多次强烈的构造运动是产生裂缝作用的直接原因。裂缝作用可以明显改善岩石的渗透性。

6 成岩序列与孔隙演化

湖相生物礁沉积环境多变,研究区礁体形成之后,经历了复杂的成岩演化历史^[10],成岩作用的演化历史就是一部孔隙的演化历史,是一部原生孔隙不断消失,次生孔隙形成和演化的历史^[11]。

以下干柴沟组下段的生物礁为例,来说明成岩序列与孔隙演化。根据沉积埋藏史研究结果,本区下干柴沟组下段的生物礁经历的最大埋深达5000m以上,经历了同生成岩、早成岩、晚成岩和表生成岩四个

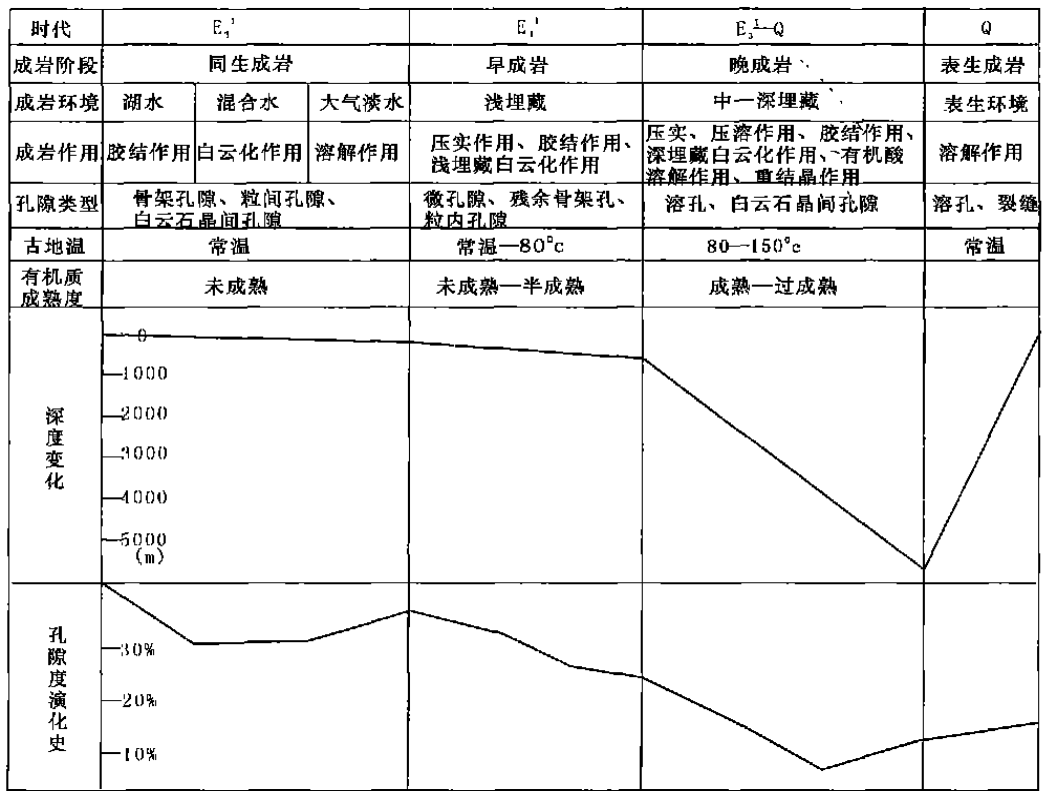


图 3 干柴沟地区下干柴沟组下段生物礁成岩—孔隙演化史

Fig. 3 Diagenesis and porosity evolution of the lower member reef, lower Ganchaigou formation in Ganchaigou area

阶段。各个阶段的成岩环境、成岩作用、孔隙类型、古地温、有机质成熟度、深度变化和孔隙度演化史见图 3。

同生成岩阶段,原生孔隙发育,孔隙度达 30% 以上。湖水胶结作用使得孔隙度降低,而混合水白云化对孔隙的贡献并不大,大气淡水溶解作用所形成的次生溶孔使得孔隙度有所增加。早、晚成岩阶段,由于压实作用、胶结作用占主导因素,孔隙度随着埋藏深度的增加而降低,但不是简单的线性关系^[12],孔隙度最低达到 10% 以下。当埋深达到 4 000 m 左右时,生油、排烃达到高峰,这一时期是储层内埋藏溶解作用的发育时期。有机质热成熟期间产生的 CO₂ 所形成的酸性流体^[13] 和有机质在热成熟期间产生的羧酸^[14] 等酸性流体的溶蚀作用很强烈,孔隙度迅速增加。到第四纪,强烈的构造运动将生物礁部分抬升到地表,长期遭受淋滤溶蚀,产生大量溶孔溶洞,孔隙度继续增高,最终达到现今平均孔隙度 15% 左右。同时这一时期形成的构造裂缝改善了生物礁的渗透性。

7 储层综合评价与预测

(1) 生物礁主要由叠层石礁、凝块礁、枝管藻礁

组成,其中枝管藻礁分布范围最广、厚度最大、溶孔发育、物性最好,孔隙度大都在 10% ~ 30% 之间,渗透率一般为几十个毫达西,是本区最好的生物礁储层。

(2) 生物礁层位有二、三十个,但有意义层位则只有 6 ~ 10 层,单层最厚 5 ~ 6 m,平均累积厚度 10 余米。而且厚度不稳定,多呈透镜体状产在互层的泥岩与砾岩中。一般的规律是砾岩或(含砾)砂岩常作为生物礁的“基底”,而泥岩多作为盖层,表明了生物礁容易发育在水侵体系域中。

(3) 礁储集层以明显的非均质性为特征,而且不同储集性能带在礁块的平面上及剖面上都是不均匀的分布。通常生物礁的底部(礁基)和顶部(礁盖)孔渗性较差,而生物礁的中部即发育鼎盛时期形成的礁体(礁核)具有良好的孔渗性。

(4) 前人报道的柴达木盆地花土沟油田上干柴沟组—下油砂山组^[8]和跃进地区下干柴沟组上段^[15]的藻丘灰岩及藻叠层灰岩,经进一步研究,发现其特征与干柴沟生物礁特征基本一致,其实就是生物礁。这样,根据生物礁发育的环境推测,生物礁就围绕湖

泊边缘构成了在平面上连续,在垂向迭叠的半环带状展布特征(图1)。

8 结论

(1) 生物礁总体上孔隙度高,平均15%;渗透性好,一般为几十个毫达西;孔隙类型异常复杂,其中溶蚀孔隙是最主要的孔隙类型,占储集空间的90%以上。野外露头可见大量石油和沥青,因此生物礁是优良的非常规性储集层。

(2) 生物礁一般经历了同生成岩、早成岩、晚成岩和表生成岩四个成岩阶段。在其成岩过程中,对储层具有重大影响的成岩作用主要为胶结作用及溶蚀作用。所以,真正的原生孔隙已很少,次生孔隙极其发育,其储集空间基本上是由溶解作用形成的。孔隙和吼道没有明显区别,而且孔吼分布不均匀,分选性差。

(3) 生物礁顶部覆盖的泥岩、砂质泥岩是良好的盖层,而且生物礁往往靠近半深湖—深湖相烃源岩,油源丰富,所以生物礁具有良好的生、储、盖配置。因此生物礁往往形成储量大、产量高的岩性油气藏,所以生物礁的发现对于指导青海油田的油气勘探具有重大的现实意义。

(4) 生物礁是特定地质条件下的产物,柴西第三纪生物礁的发现对柴达木盆地西部的古气候、古构造以及青藏高原的隆升的研究都有重要的意义。

致谢 本论文是在中国石油天然气集团公司创新基金资助下完成的;青海油田公司提供了野外考察车辆;青海油田公司勘探开发研究院的江波副总地质师提出了宝贵的修改意见,借此机会一并致谢。

参考文献(References)

- 钟建华,温志峰,郭泽清,等. 柴达木盆地西部古近纪—新近纪早期湖泊生物礁研究. 地质学报(英文版),2004,78(3):736~743 [Zhong Jianhua, Wen Zhifeng, Guo Zeqing, *et al.* Paleogene and early Neogene lacustrine reefs in the western Qaidam Basin, China. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2004, 78(3): 736~743.]
- 库兹涅佐夫 B. 礁地质学及礁的含油气性. 北京:石油工业出版社,1983. 111~114 [B. . . . Beijing: Petroleum Industry Press, 1983. 111~114.]
- Riding R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories. *Earth-Science Reviews*, 2002, 58(1-2): 163~231
- Dill R F, Shinn E A, Jones A T, Kelly K, Steinen R P. Giant subtidal stromatolites forming in normal alinity waters. *Nature*, 1986, 324(6): 55~58
- Aitken J D. Classification and environmental significance of cryptalgal limestone and dolomites, with illustration from the Cambrian and Ordovician of Southwestern Alberta. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1967, 37: 1163~1178
- James N P, Chopuette P W. Diagenesis of limestone: introduction. *Geoscience Canada*, 1983, 10: 159~161
- 强子同. 碳酸盐岩储层地质学. 山东东营:石油大学出版社, 1989. 46~49 [Qiang Zitong. *Reservoir geology of carbonate*. Dongying Shandong: University of Petroleum Press, 1989, 46~49]
- 陈子焯,寿建峰,斯春松,等. 柴达木盆地花土沟油区上干柴沟组—下油砂山组碳酸盐岩储层特征. 成都理工学院学报, 2001, 28(1): 53~58 [Chen Ziliao, Shou Jianfeng, Si Chunsong, *et al.* Carbonate rock reservoir of Shangganhaigou formation and Xiayoushashan formation in neogene Huatugou oil field, Western Qaidam basin. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2001, 28(1): 53~58]
- Badiozamani K. The diagenetic dolomitization model-application to the Middle Ordovician of Wisconsin. *Journal Sedimentary Petrology*, 1973, 43: 965~984
- 胡明毅,朱忠德,杨威,等. 湖北宜昌早奥陶世生物礁储层特征及控制因素. 江汉石油学院学报, 1998, 20(4): 7~11 [Hu Mingyi, Zhu Zhongde, Yang Wei, *et al.* Reservoir characteristics and genesis of lower Ordovician reefs in Yichang, Hubei province. *Journal of Jianhan Petroleum Institute*, 1998, 20(4): 7~11]
- 马永生,梅冥相,陈小兵,等. 碳酸盐岩储层沉积学. 北京:地质出版社, 1999. 215~217 [Ma Yongsheng, Mei Mingxiang, Cheng Xiaobing, *et al.* *Sedimentology of carbonate reservoirs*. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 215~217]
- Chopuette P W, James N P. Diagenesis in limestone-3, the deep burial environment. *Geoscience Canada*, 1987, 14: 3~35
- Schmidt V, McDonald D A. The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. *SEPM Spec. pub.*, 1979, 26: 175~207
- Surdam R C, Boese S W, Crossey L J. The chemistry of secondary porosity. *AAPG Memoir*, 1984, 37: 127~149
- 孙岩,沈安江,徐洋,等. 柴达木盆地跃进地区下干柴沟组上段藻丘灰岩储层特征. 沉积学报, 2002, 20(1): 61~69 [Sun Yan, Shen Anjiang, Xu Yang, *et al.* A research on E_2^3 algal reef reservoir in Yuejin area, Qaidam basin, northwestern China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(1): 61~69]

Reservoir Characteristics and Significance of Tertiary Lacustrine Reef in Western Qaidam

GUO Ze-qing¹ ZHONG Jian-hua^{2,3} LIU Wei-hong² WEN Zhi-feng²
LIU Zu-han⁴ WANG Hai-qiao¹

1(Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Langfang Hebei 065007)

2(Earth Resource and Information College of University of Petroleum (East China), Dongying Shandong 257061)

3(Guanzhou Geochemistry Institute, Chinese Academy of Sciences, Guanzhou 510640)

4(Xiangtan Industry college, Xiangtan Hunan 411201)

Abstract In the western Qaidam basin, Tertiary lacustrine reef has been discovered recently in several kilometers strata from the lower member of lower Ganchaigou formation to lower Youshashan formation in Ganchaigou area. On the basis of numerous observations on outcrop, thin sections and casting sections of the reef, and the application of various analytical techniques including analysis of capillary pressure curve and pattern analysis of pore structure, reservoir characteristics of reef have been thoroughly studied. The reef has complex types of pores, such as skeletal pores, intraparticle pores, moldic pores and corroded cavities, and so on. The reef underwent four diagenetic period, such as syngenetic, eogenetic, telogenetic, and hypergene diagenetic period. The formation of the pores are mainly affected by the cementation and dissolution with few primary pores, however, the secondary pores are abundant and form excellent reservoir for oil and gas. The discovery of the Tertiary lacustrine reef in the Qaidam Basin is of important practical significance for the exploration and development of the Qinghai oilfield.

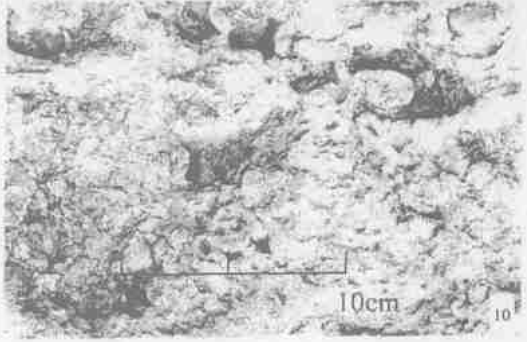
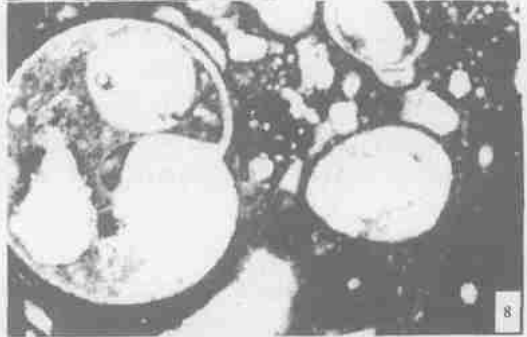
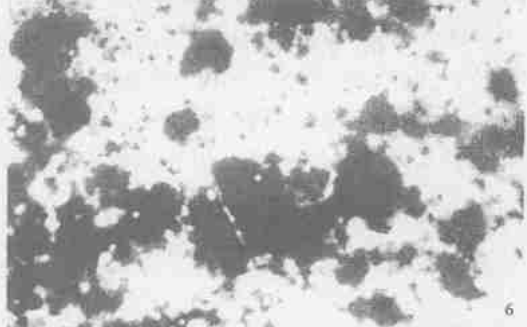
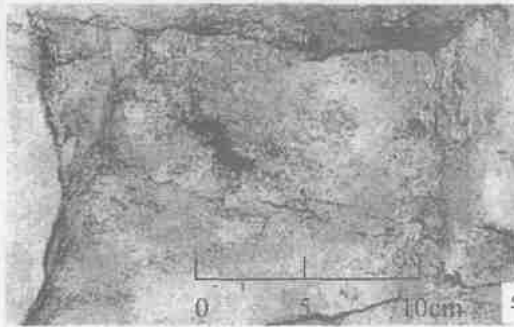
Key words reef, pore structure, pore type, dissolution, diagenetic period, western Qaidam

图版 说明 1. 藻叠层石礁。下干柴沟组上段。摄于干柴沟。2. 图版 F3 的局部近照。由短柱状叠层石组成。3. 藻叠层石礁。塔柱状,已倒卧,与细砾岩一道产出。下干柴沟组上段。摄于西岔沟。4. 藻叠层石礁。塔柱状,中心的空腔充填泥岩。下干柴沟组上段。摄于西岔沟。5. 凝块礁。黑色部分为石油,油味浓烈。下干柴沟组下段上部。摄于干柴沟。6. 图版 F1 的显微照片。黄色部分为沥青,礁体被沥青浸染成黑色。×50。7. 枝管藻礁。外观呈疙瘩状,风化后铁锈色,下油砂山组底部。摄于干柴沟。8. 图版 F7 的显微照片。枝管藻间为腹足类、鲕粒、陆源碎屑等。×100。9. 粒间孔隙和粒内孔隙。黄色部分为沥青,×100。10. 生物钻孔、潜穴孔隙。偶见,常被其它沉积物充填且容易压实变形。摄于干柴沟。

图版 说明 1. 骨架孔隙。黄色部分为沥青,×100。2. 骨架孔隙。枝管藻形成的细枝状骨架之间的孔隙,透射光,×100。3. 粒内孔隙。介形虫壳内的胶结物被溶蚀后形成的孔隙。蓝色铸体薄片,×100。4. 铸模孔隙。选择性溶解鲕粒形成。蓝色铸体薄片,×50。5. 铸模孔隙。选择性溶解碎屑颗粒形成。黄色部分为沥青,×50。6. 骨架溶孔。蓝色铸体薄片,×50。7. 胶结物溶孔。蓝色铸体薄片,×100。8. 溶洞。洞内可发育石英晶簇。下油砂山组底部。摄于干柴沟。9. 胶结作用。颗粒周边为马牙状亮晶方解石。蓝色铸体薄片,×50。10. 胶结作用。呈晶簇状,晶体大小向孔隙中心方向逐渐增加。×100。

郭泽清

图版 I



郭泽清

图版 II

