

文章编号:1673-5005(2011)01-0040-05

湖相礁灰岩圈闭的成因类型及其对 油气成藏的控制作用

刘鑫金¹, 蒋有录¹, 宋国奇²

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 中石化 胜利油田分公司, 山东 东营 257000)

摘要:沾化凹陷四扣洼陷及周缘地区在古近系沙四上亚段沉积时期发育了一套礁灰岩。在薄片观察和岩心分析测试的基础上,结合地层对比和储层物性分析,对礁灰岩储层特征及有效圈闭形成的控制因素进行研究,划分灰岩圈闭成因类型,探讨其在油气成藏中的控制作用。研究表明:湖相礁灰岩具有发育层位相对稳定、礁体规模不一、礁滩混杂、储层非均质性强等特点;礁灰岩圈闭的发育主要受沉积相带、成岩作用和构造运动的影响,可形成控制礁灰岩油气成藏的4类圈闭;礁灰岩圈闭类型在油气成藏过程中起双重控制作用,一方面控制了礁灰岩圈闭的有效性,另一方面控制了油气成藏的时间、输导体系类型和运移充注方式。

关键词:储层特征;礁灰岩圈闭;成因类型;控藏作用;沾化凹陷

中图分类号:TE 121.1

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2011.01.007

Genetic types of lake reef limestone traps and its control over oil and gas pool formation

LIU Xin-jin¹, JIANG You-lu¹, SONG Guo-qi²

(1. College of Geo-Resources and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, China;

2. Shengli Oilfield Branch Company, SINOPEC, Dongying 257000, China)

Abstract: During the period of the upper part of the Es₄ formation of Paleogene, Sikou sag and peripheral area of Zhanhua depression developed reef limestone. Based on the slices observation and cores analysis and test, combined with the analysis of reservoir quality and strata correlation, the reef limestone reservoir characteristics and controlling factor of available traps formation were studied. And the genetic types of reef limestone traps were classified and its control over reservoir formation was discussed. The results show that the lake reefs only developed in peculiar formation, have different sizes, and reef and reef flat are chaotic, superimposed and cross connected. The reef reservoir quality is highly heterogeneous. The formation of available reservoir is affected by sedimentary facies, diagenesis and tectonic movement. Four genetic types of reef limestone traps were classified, which has double influences on the oil and gas pool formation. The types of reef limestone traps are related to tarp's validity, and play an essential role on reservoir formation time, migration pathway and the types of injection.

Key words: reservoir characteristics; reef limestone traps; genetic types; controlling reservoir; Zhanhua depression

中国各地质历史时期生物礁十分发育,第三纪为第三重要的造礁期^[1],第三系的湖相生物礁主要发育在柴西地区^[2-3]和济阳坳陷的东营和沾化凹陷内^[4]。目前国内外学者对礁灰岩油藏的研究主要集中在在礁体的一般性观察描述^[5-6]和储层的地球物理识别上^[7-8]。对我国东部断陷湖盆而言,并非见礁即见油藏,礁的规模小、非均质性强等特点严重制约

了礁灰岩油藏的勘探,因此从有效圈闭的角度出发,对礁灰岩储层更进一步地精细刻画对提高探井的成功率具有重要的实际意义。笔者以四扣洼陷及周缘地区的湖相生物礁为例,对灰岩储层特征、灰岩有效圈闭形成的控制因素等进行研究,划分礁灰岩圈闭的成因类型,探讨不同类型灰岩圈闭对油气成藏的

收稿日期:2010-05-16

基金项目:国家油气重大专项课题(2008ZX05051);国家自然科学基金项目(40972094/D0207)

作者简介:刘鑫金(1983-),男(汉族),山东青州人,博士研究生,主要研究方向为油气藏的形成与分布。

控制作用。

1 礁灰岩储层特征

我国东部陆相断陷湖盆古近系礁灰岩储层的特征与海相礁灰岩储层存在明显的差异,前人研究对济阳坳陷东营凹陷平方王地区和惠民凹陷商河地区的古近系礁灰岩均有所涉及^[9]。笔者通过对沾化凹陷湖相礁灰岩储层特征进行研究认为,该地区湖相礁灰岩储层具有以下特征:

(1)储层发育层位稳定。四扣洼陷及周缘礁灰岩主要分布在沙四段上部 and 沙一段中下部,发育层位稳定。济阳坳陷在古近系为近海湖盆,沙四段中部地层为灰色泥岩、硬石膏岩及盐岩组成的互层,次要矿物有杂卤石、天青石及钙芒硝等,这些海水蒸发浓缩形成的蒸发岩类矿物表明该沉积时期的湖盆受到了海侵的影响,海侵为湖相生物礁的发育提供了物质基础。用孢粉潮湿系数可以反映古气候特征,沙四段中、下部孢粉潮湿系数最低,分别为 80 和 40,表明气候干热,沙三段中部最高,孢粉潮湿系数为 242,沙四段沉积晚期,气候由于干旱转为湿热,沙一段地层孢粉潮湿系数为 138,气候亦较温润^[10](表 1)。根据古湖泊的盐度测定,沙四段上沉积时期湖泊盐度为 $(28 \sim 32) \times 10^{-3}$,平均值为 31×10^{-3} ,是咸水湖泊,沙三中、下沉积时期湖泊盐度为 $(10.5 \sim 17.3) \times 10^{-3}$,是微咸水湖泊,水体为中盐水(表 1)。由此可见,礁体发育时期气候温润、湖水蒸发量远远大于补给量、湖泊水体浅且物源较少,为生物礁的发育提供了浅、清、暖的环境保障。另外, Sun 曾提出过生物礁相碳酸盐岩中蒸发盐与次生孔隙发育之间的模式^[11],指出蒸发盐沉积区域与烃源岩及生物礁储层发育间存在正相关关系^[12],因此沙四段上部生物礁灰岩、膏盐层与烃源岩围绕四扣洼陷呈环带状分布的构造格局,也可以作为湖相礁灰岩储层发育层位稳定的有效指示。

表 1 沾化凹陷湖泊古环境指标

Table 1 Index data of lacustrine palaeoenvironment of Zhanhua depression

沉积时期	古湖泊盐度/‰	孢粉潮湿系数
沙一段		138
沙三中	10.5 ~ 17.3	242
沙三下	10.5 ~ 17.3	
沙四上	28 ~ 32	
沙四中		80
沙四下		40

(2)储层规模不一、礁滩混杂。受古地貌和可

容空间的影响,四扣洼陷周缘的礁体发育呈环带状,主要集中在义东断裂带东部构造台阶、南部邵 4 断阶带和义 64 等井区洼陷中的低凸起,礁体的规模一般较小。同生断层活动使义东断裂带东部构造台阶局部地区可容空间持续增大,礁灰岩出现局部规模较大的现象,宏观上表现为礁体规模大小不一的特点(如义东 301 井区钻遇礁灰岩厚度为 265.5 m,而邵 4 断阶带的礁灰岩厚度仅约 50 m)。受季节性气候的影响,湖平面周期性变化引起礁的主体迁移,礁相和滩相在垂向上叠置、横向上指状交叉、平面上不连片,礁滩混杂现象十分明显。这些特点导致探井地层对比难、邻井岩性变化大。

(3)储层非均质性强,但高孔渗带的发育存在规律性。碳酸盐岩储层物性变化大,生物礁灰岩不同亚相带受岩性的影响,物性差异更加明显。研究区礁灰岩储层由于发育规模不均匀、礁滩混杂等原因,储层的非均质性极强,如义深 4 井仅 2 m 井段内孔隙度就由 8.5% 骤变到 41.2%。地层对比和储层物性计算结果表明礁灰岩储层物性变化在空间上具有以下特点:纵向上,对于礁体规模较大的义东 301、义深 4 等井,储层物性呈现出一定的旋回性,几乎每一期生物礁都对应一个高孔渗段旋回,而礁体规模较小的义深 3、义东 25 和义东 22 井,礁体在纵向上的叠置现象不明显,高孔渗带往往位于礁灰岩层段的顶部,在礁灰岩储层内部,高孔渗带周围往往被物性封堵;平面上,储层物性主要受控于礁体相带和构造对储层的改善作用,高孔渗带主要集中在义东断裂带东部构造二台阶和南部的邵 4 断阶带,即礁体规模较大、发育较为连续且断裂体系发育的区域。

2 灰岩储层圈闭发育控制因素

对于海相礁灰岩,由于礁体规模大,往往形成高产的整装大型油气田。而湖相礁灰岩油气藏更具有碎屑岩油藏的成藏特征,礁灰岩有效圈闭的研究不能仅停留在礁体亚相识别的层次上,需要把礁相和滩相作为一个整体进行研究,搞清灰岩圈闭发育的主控因素,从有效灰岩圈闭的层次对储层进行预测。笔者研究认为湖相礁灰岩有效圈闭的形成主要受控于沉积相带、溶蚀作用和构造运动。

2.1 沉积相带

生物礁的生长发育具有自身的特殊性,原生孔隙特别发育,容易形成高孔高渗的储集体,埋藏成岩作用之后,依然能保持足以储集油气的储集空间。

岩心分析资料表明孔隙度一般为 2.5% ~ 14.4% , 水平渗透率一般为 $(0.04 \sim 5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 总体上为中孔、高渗性储层。义深 4 井礁灰岩不同亚相的孔隙度关系图(图 1)表明,礁核相和礁缘相孔隙度最高,可超过 30% ,而礁前相次之,可超过 10%。礁缘相物性好是因为该井区靠近义东构造二台阶的北部,义深 8 以北沙四段为扇体沉积,礁缘相砂砾含量较高,改善了储集物性。总之,礁灰岩储层的主控因素为沉积相带,寻找礁灰岩油藏主要勘探方向是寻找厚层礁体,因此沉积相带是控制礁灰岩储层物性的首要因素。

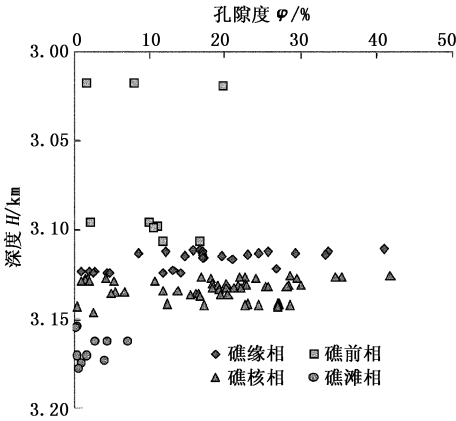


图 1 不同礁灰岩相带的孔隙度纵向分布
Fig.1 Longitudinal distribution of porosity of different surfacies tract of reef limestone

2.2 溶蚀作用

对礁灰岩储层改善作用较大的溶蚀作用是古风化壳溶蚀和埋藏溶蚀。埋藏溶蚀形成于深埋藏阶段,其形成机制可能是在盆地演化到一定阶段,由于有机质的成熟以及烃类生物降解作用,产生有机酸以及各种气体混合到孔隙水中,形成了对碳酸盐岩有溶蚀作用的流体^[13]。这些有机酸溶入地层水,在含有裂缝、缝合线和孔隙发育的渗透性地层中流动,对碳酸盐岩有强烈的溶蚀作用,而且这类溶蚀孔隙不易被胶结,与油气的生成几乎同步,有利于油气的进入和油气藏的形成^[14]。溶蚀作用使礁灰岩储层中大量原生碳酸盐岩颗粒和碳酸盐岩胶结物被溶解,形成大量粒间溶孔,溶蚀作用相当强烈,在岩心上亦可见蜂窝状溶孔和铸模孔,使得储层的孔隙度和渗透率大幅度提高,在垂相上形成 2 ~ 3 个次生孔隙发育段。义东 301 井礁灰岩和泥晶碳酸盐岩薄片

中次生溶孔、溶洞均很发育,从薄片照片(图 2)上看:3.5946 km 和 3.5963 km 骨架碳酸盐岩中粒内溶孔最为发育,生物体腔孔亦有完好保留,在体腔壁上可见马牙状和栉壳状的方解石结晶体;3.5951

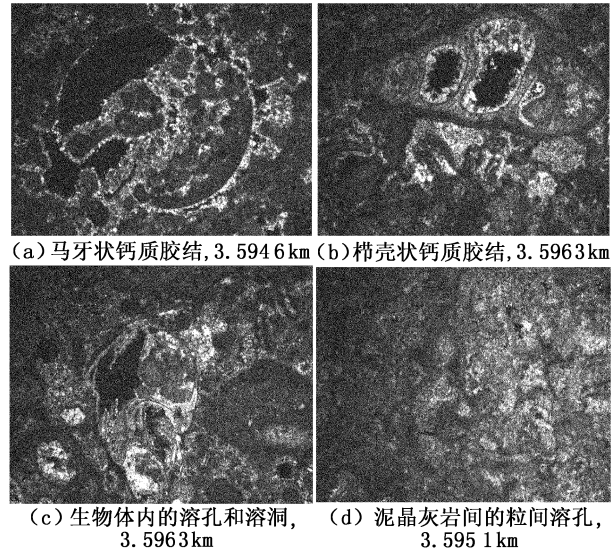


图 2 义东 301 井礁灰岩溶蚀孔隙薄片
Fig.2 Sections photos of reef limestone emposieu of well Yd301

2.3 构造运动

碳酸盐岩中活动的断层不仅可构成油气运移通道,同时由于碳酸盐岩的岩性较脆,可以沿断层形成破碎带,而沿断层上涌的热液对断层附近的储层则具有建设性改造作用^[14]。构造运动引起的破裂作用也可大大改善灰岩储层的物性,破裂作用的表现是裂缝^[15-16]。礁灰岩储层岩心中可见大量裂缝,义东断阶及邵 4 断阶为礁灰岩发育区,孔隙度和渗透率高(孔隙度大于 10% ,渗透率大于 $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),但邵 4 断阶以西到邵 5 井区为斜坡带,是粒屑灰岩发育区,储层物性好坏与裂缝密切相关,断层越发育,储层改造程度越大,孔隙度和渗透率也较好(距断层小于 500 m 时,孔隙度大于 10% ,渗透率大于 $8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),因此裂缝发育区的礁灰岩更易成为有效储层。研究区主要发育北东、北西和近东西向 3 组断裂,整体上断裂都比较发育,有利于礁灰岩储层的改造。

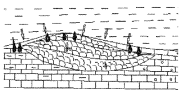
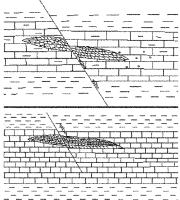
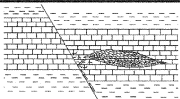
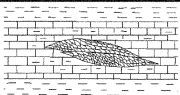
3 礁灰岩圈闭的成因类型

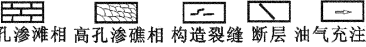
笔者在以上研究的基础上,从圈闭的成因及其有效性的角度把礁灰岩圈闭成因类型划分为 4 类,即顶部溶蚀型、断层切割型、裂缝沟通型和封闭远源型,其中前 3 类为有效圈闭,第 4 类为无效圈闭(表

2)。

表 2 礁灰岩储层圈闭成因类型分类

Table 2 Classification of reef limestone reservoir genetic types

圈闭类型	形成控制因素	圈闭类型示意图	圈闭有效性
顶部溶蚀型	沉积相带 溶蚀作用		有效圈闭
断层切割型	沉积相带 构造运动		有效圈闭
裂缝沟通型	构造运动 沉积相带		有效圈闭
封闭远源型	沉积相带		无效圈闭

注:  泥岩 低孔渗滩相 高孔渗礁相 构造裂缝 断层 油气充注方向

(1)顶部溶蚀型圈闭。其形成主要受控于沉积相带和溶蚀作用,该类圈闭一般紧邻上覆沙三下有效烃源岩。圈闭顶部受源岩生烃作用产生的有机酸溶蚀作用强烈,物性改善明显;内部一般为礁核相或含砂砾较多的礁前相;灰岩侧向及底部相变、物性变差,被物性或岩性封堵;顶部烃源岩既可提供油气来源,又可作为盖层,封堵油气。该类圈闭为研究区主要的有效圈闭类型。

(2)断层切割型。其形成受控于沉积相带及构造运动,断层直接断开礁核或礁前相高孔渗礁灰岩相。断层不仅作为沟通灰岩内部有效储层与源岩的桥梁,而且其伴生裂缝也大大改善了灰岩储层物性。在断层上盘沿礁体上倾方向,圈闭物性封堵,较下盘更易成藏。在义 64 井区,源内断层断开了灰岩储层连通上覆有效烃源岩,但未断开整套烃源岩,这种特殊的圈闭也可归为此类,该类圈闭也是有效圈闭。

(3)裂缝沟通型。其形成也受控于构造运动及沉积相带,与断层切割型的最大差异在于无断层直接切割有效灰岩储层。断层产生的构造裂缝有效连通了高孔渗的礁核、礁前相储层,使断层和微裂缝成为有效的输导要素,因此该类圈闭也是有效圈闭。

(4)封闭远源型。其形成主要受控于沉积相带,类似于透镜体岩性圈闭,周围被物性或岩性封堵。该类圈闭上下距离有效烃源岩都较远,且距离断层较远,断层伴生微裂缝也无法沟通高孔渗的礁

核相带,是一种不能成藏的圈闭类型,因此并非所有的湖相礁灰岩圈闭都能成藏。

4 礁灰岩圈闭类型对油气成藏的控制作用

圈闭类型对礁灰岩油气成藏控制作用明显,在成藏动力满足的条件下,不同类型的有效圈闭在输导路径、充注方式和成藏时间上均有差异。

顶部溶蚀型圈闭的输导体系类型一般为微裂缝油气输导体系,从烃源岩进入低成熟阶段开始即可发生油气充注。随着埋深的增加,温度的升高,生烃作用增强,当泥岩孔隙流体压力超过泥岩突破压力时,泥岩产生微裂缝,油气开始大量充注到礁灰岩储层中,因此该类圈闭油气充注一般以油气下排为主,且多为早期成藏。

断层切割型圈闭的输导体系类型一般为断层-微裂缝油气输导体系或断层-灰岩-微裂缝油气输导体系,该类圈闭断层直接切割有效礁灰岩储层,其成藏机制与碎屑岩油气藏最为接近,油气主要通过断层垂向输导,借助碳酸盐岩裂缝的辅助作用,在礁核、礁前等高孔渗灰岩中侧向运移成藏。排烃方式一般为正常排烃。在义 64 井区,由于这种源内断层的存在,沙三下生成的油气不能及时向上排除,亦可通过“倒灌”的方式向下排烃成藏,相比顶部溶蚀型圈闭而言,该类圈闭的成藏期较晚。

裂缝沟通型圈闭的输导体系类型一般为断层-微裂缝输导体系,此类圈闭的成藏过程与第 2 类圈闭类似,最大区别在于该类油气藏更多的以独立成藏为主,成藏期一般要早于构造高部位断层-灰岩-微裂缝油气输导体系油气藏,可以是早期成藏,亦可以为晚期成藏,这主要取决于圈闭位置与源岩的配置关系。

5 结 论

(1)湖相生物礁储层发育层位稳定,礁体的规模往往大小不一,空间上礁相和滩相混杂展布,储层物性非均质性强,但高孔渗段的发育存在规律性:四扣洼陷沙四段灰岩顶部普遍发育一套有效储层,内部有效储层多对应于断层伴生裂缝富集的高孔渗灰岩相带。

(2)礁灰岩圈闭的形成受沉积相带的控制以及溶蚀作用和构造运动的影响,3 种因素相互配置,形成了控制湖相礁灰岩油气成藏的 4 类成因圈闭,即顶部溶蚀型、断层切割型、裂缝沟通型和封闭远源

型。

(3) 圈闭类型在礁灰岩油气成藏过程中起到了双重控制作用:一方面控制了礁灰岩圈闭的有效性,即并非所有的礁灰岩圈闭都能成藏;另一方面,控制了礁灰岩油藏的油气成藏时间、输导体系类型和运移充注方式。

参考文献:

- [1] 刘春燕,林畅松,吴茂炳,等. 中国生物礁时空分布特征及其地质意义[J]. 世界地质,2007,26(3):44-50.
LIU Chun-yan, LIN Chang-song, WU Mao-bing, et al. Characteristics of spatiotemporal distributions of reefs in China and their geological significance [J]. Global Geology,2007,26(3):44-50.
- [2] 温志峰,钟建华,郭泽清,等. 柴西地区第三纪叠层石岩石学特点与油气储集特征[J]. 石油勘探与开发,2004,31(3):49-53.
WEN Zhi-feng, ZHONG Jian-hua, GUO Ze-qing, et al. Reservoir and lithology of Tertiary stromatolites in the West Qaidam Basin, Northwest China [J]. Petroleum Exploration and Development,2004,31(3):49-53.
- [3] 温志峰,钟建华,刘卫红,等. 柴西第三纪湖相生物礁储层特征及意义[J]. 沉积学报,2004,22(3):425-431.
WEN Zhi-feng, ZHONG Jian-hua, LIU Wei-hong, et al. Reservoir characteristics and significance of tertiary lacustrine reef in Western Qaidam [J]. Acta Sedimentologica Sinica,2004,22(3):425-431.
- [4] 钱凯,王淑芬. 济阳坳陷下第三系礁灰岩及礁灰岩油气藏[J]. 石油勘探与开发,1986,13(5):1-7.
QIAN Kai, WANG Shu-fen. Low Tertiary reef limestone and the oil pool of such reef in JiYang depression [J]. Petroleum Exploration and Development,1986,13(5):1-7.
- [5] 钟建华,温志峰,李勇,等. 生物礁的研究现状与发展趋势[J]. 地质论评,2005,51(3):288-300.
ZHONG Jian-hua, WEN Zhi-feng, LI Yong, et al. Organic reefs study: concept, classification, characteristics, history and development [J]. Geological Review, 2005,51(3):288-300.
- [6] FLÜGEL E, KIESSLING W. A new look at ancient reefs [C]//KIESSLING W, FLÜGEL E, GOLONKA J. Phanerozoic reef patterns. Tulsa: SEPM Special Publication, 2002,72:1-50.
- [7] 信广林,倪立灯. 济阳坳陷礁灰岩地震地质研究[J]. 石油勘探与开发,1989,16(1):7-13.
- XIN Guang-lin, NI Li-deng. The seismic and geological study of reef reservoirs in Jiyang depression [J]. Petroleum Exploration and Development,1989,16(1):7-13
- [8] HU Guang-yi, HUANG Xu-ri, MEI Ming-xiang. Characterization of a reef reservoir permeability using well and seismic data [C]. California: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 2007.
- [9] 王冠民,鹿洪友,姜在兴,等. 惠民凹陷商河地区沙一段碳酸盐岩沉积特征[J]. 石油大学学报:自然科学版,2002,26(4):1-4.
WANG Guan-min, LU Hong-you, JIANG Zai-xing, et al. Sedimentary characters of carbonate rock of Shahejie formation in Shanghe area of Huimin sag [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science),2002,26(4):1-4.
- [10] 杜韞华. 中国生物礁与油气 [C]//范嘉松. 山东第三纪藻礁. 北京:海洋出版社,1996:275-293.
- [11] SUN S Q. Skeletal aragonite dissolution from hypersaline sea water: a hypothesis [J]. Sedimentary Geology, 1992,77(3/4):249-257.
- [12] BLUTH G J S, KUMP L R. Phanerozoic paleogeology [J]. American Journal of Science,1991,291(3):284-308.
- [13] RIDING R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories [J]. Earth-Science Reviews, 2002, 58 (1/2): 163-231.
- [14] 吕修祥,金之钧. 碳酸盐岩油气田分布规律[J]. 石油学报,2000,21(3):8-12.
LÜ Xiu-xiang, JIN Zhi-jun. The distribution of carbonate oil and gas field [J]. Acta Petrolei Sinica,2000,21(3):8-12.
- [15] 杨威,魏国齐,王清华,等. 和田河气田奥陶系碳酸盐岩储层特征及建设性成岩作用[J]. 天然气地球科学,2003,14(3):191-195.
YANG Wei, WEI Guo-qi, WANG Qing-hua, et al. Carbonate rock reservoir and constructive diagenesis of Ordovician in Hetianhe gas field [J]. Natural Gas Geoscience,2003,14(3):91-195.
- [16] 陆先亮,段新民,李琴,等. 覆盖区碳酸盐岩缝洞定量研究的一种新方法[J]. 石油大学学报:自然科学版,2002,26(5):12-14.
LU Xian-liang, DUAN Xin-min, LI Qin. A new method for quantitative study of carbonate fracture-cavity system [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science),2002,26(5):12-14.

(编辑 徐会永)