

文章编号: 0253-9985(2004)06-0703-04

花土沟油田下油砂山组-上干柴沟组藻灰岩储层特征

张振城¹, 孙建孟¹, 马建海², 霍玉雁², 苏远大¹

(1. 石油大学, 山东东营 257061; 2. 中国石油青海油田分公司, 甘肃敦煌 736202)

摘要: 花土沟油田下油砂山组-上干柴沟组藻灰岩储层主要有藻纹层灰岩、藻泥晶灰岩、亮晶鲕粒灰岩、亮晶介屑灰岩、亮晶藻团粒灰岩和陆屑泥晶灰岩等, 其中前两类的储层物性较好。藻灰岩储层的形成主要受沉积环境的稳定性、早期淋溶和晚期胶结-充填作用的控制。藻灰岩储层在测井曲线上显示出较高的自然伽马值, 在地震剖面上表现为强反射特征。利用这些特征可以进行藻灰岩储层的横向展布分析。经几口井的试油, 藻灰岩储层都有油气显示, 证实该类储层良好的油气前景。

关键词: 花土沟油田; 藻灰岩; 淡水淋溶; 次生溶孔; 横向展布

中图分类号: TE112.221

文献标识码: A

Characteristics of algal limestone reservoirs in Xiayoushashan-Shangganchaigou Formations in Huatugou oilfield, western Qaidam basin

Zang Zhencheng¹, Sun Jianmeng¹, Ma Jianhai², Huo Yuyan², Su Yuanda

(1. University of Petroleum, Dongying, Shandong; 2. Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu)

Abstract: Algal limestone reservoirs in Xiayoushashan-Shangganchaigou Formations in Huatugou oilfield in western Qaidam basin mainly consist of algal laminated limestone, algal micrite, oosparite, sparry coquina, sparry algal lump limestone and terrigenous clastic micrite, of which the former two types of limestone have relatively good reservoir properties. The formation of algal limestone reservoirs has mainly been controlled by the stability of sedimentary environment, early eluviation and late cementation-filling. Algal limestone reservoirs appear to have relatively high gamma ray value in well logs and strong reflectance signatures in seismic profiles. These characteristics can be used to determine lateral distribution of algal reservoirs. Formation testings in several wells have got oil/gas shows in algal limestone reservoirs, verifying that this type of reservoirs has good prospectiveness.

Key words: Huatugou oilfield; algal limestone; fresh water eluviation; secondary solution opening; lateral distribution

柴达木盆地是我国西部的一个大型中、新生代沉积盆地^[1]。第三系在盆地西部坳陷中较为发育, 是主要的油气储集层。花土沟油田就位于柴达木盆地西部, 狮子沟构造花土沟高点。在花土沟油田储层中, 藻灰岩约占 6.4%。而在下油砂山组下段(N₂)及上干柴沟组(N₁)上段藻灰岩的分布范围尤其广泛、厚度也比较大, 取心分析和试油结果表明该两层的藻灰岩储层含油性较好。藻灰岩储层在花土沟油田某些层位具有普遍性, 但在以往对藻灰岩储层的研究工作做得不多, 使得一些

有意义的藻灰岩储层不能得到有效开发。所以有必要对藻灰岩储层进行更深入的研究, 以提高对该地区藻灰岩的认知程度, 增加原油产量, 这对于促进该地区原油的稳产增收是大有裨益的。

1 藻灰岩类型及特征

花土沟油田几十口井中均发现了藻灰岩储层段, 通过对诸多井中藻灰岩岩心岩石薄片及铸体薄片进行分析, 发现该地区的藻灰岩主要有 5 种类型。①藻纹层灰岩、藻泥晶灰岩。在本区藻灰

基金项目: 中国石油天然气集团公司勘探开发项目

第一作者简介: 张振城, 男, 27 岁, 博士生, 地质资源与地质工程

收稿日期: 2004-12-02

岩储层中,藻纹层灰岩的分布范围最为广泛,物性最好,溶孔最为发育(图1A)。该类藻灰岩具有纹层状或波状分布特征^[2]。填充物主要是藻泥晶灰岩、陆屑泥晶砂岩及颗粒灰岩等。藻纹层灰岩白云化程度较高,溶蚀作用也较强烈,造成次生溶孔十分发育,因此其物性较好,是该区的主力储层。藻泥晶灰岩的次生溶孔也较为发育,物性较好。当藻泥晶灰岩成层状或叠状分布时,就成为储集物性较好的藻纹层灰岩。②亮晶鲕粒灰岩的组分主要为泥粒岩、内碎屑、藻屑及表鲕等,颗粒支撑,亮晶方解石含量较多。对花土沟S3-2井一块岩心进行的分析表明(图1B),在湖水潜流时期,亮晶鲕粒灰岩往往被亮晶方解石充填,亮晶方解石遭受了后期的淡水淋溶,但溶解不彻底。该块岩心的压汞分析表明,亮晶鲕粒灰岩的储集物性较低,孔隙度为4.3%,渗透率仅为 $0.009 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,储集性能较差。③亮晶藻团粒灰岩。藻团粒是由藻粘结灰岩而形成的,由大小不同的藻团粒相互粘结,最后形成了规模不一的藻团粒灰岩(图1C)。藻团粒灰岩的团块粒径大小不一,从0.2 mm到2 mm不等。此类灰岩在发生淋溶作用时,藻团粒本身发生溶解作用的程度很小,主要是藻团粒之间的成分发生淡水淋溶,形成次生溶孔,所以储集层的溶蚀空间较小,储层产能较低。④陆屑泥晶灰岩(图1D)的组分为陆屑、亮晶方解石、灰泥及藻屑等。其中陆屑含量不等,最高可达50%,主要分布于灰泥中,陆屑粒径大小不一,骨架矿物主要有石英、长石及花岗岩屑等。陆屑矿物含量多少直接决定了储层的物性高低,陆屑含量低,则储层的物性较好;相反物性变差。⑤亮晶介屑灰岩的组分为亮晶方解石、内碎屑、藻屑及生屑等。亮晶方解石的含量较大,此类藻灰岩储层的亮晶方解石在淡水淋溶过程中溶解不彻底,次生溶孔的发育不完善,储集物性较低。不足以形成具有产能意义的油气储层。

在花土沟油田的藻灰岩储层中,藻纹层灰岩和藻泥晶灰岩的储集物性最好,可以作为较好的储层。而亮晶鲕粒灰岩、亮晶介屑灰岩、亮晶藻团粒灰岩及陆屑泥晶灰岩等物性较物差,孔隙度平均为4%~8%,渗透率大多小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大连通孔喉半径不足1 μm ,作为油气储层比较困难。

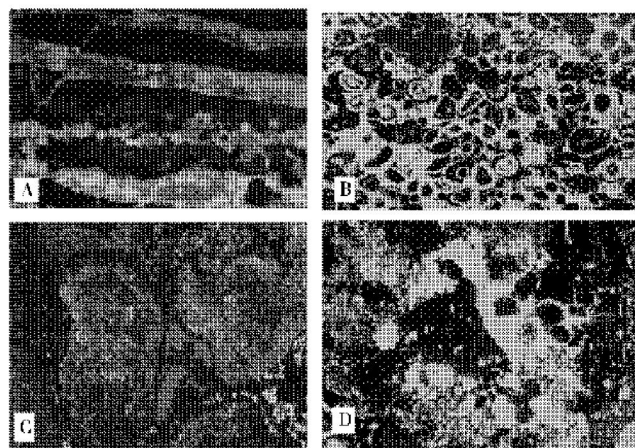


图1 不同类型的藻灰岩

Fig. 1 Various types of algal limestone

A—藻纹层灰岩; B—亮晶鲕粒灰岩; C—亮晶藻团粒灰岩;
D—陆屑泥晶灰岩

2 藻灰岩形成机理

对柴达木西部地区的化石研究表明,柴西地区上干柴沟组上段及下油砂山组中轮藻极为丰富,含量比较多的轮藻类属种有:柴达木似轮藻、察尔汗粒轮藻、梅氏有盖轮藻、球形有盖轮藻、黄氏有盖轮藻、瑞士有盖轮藻、侯氏有盖轮藻、朱氏有盖轮藻、亚卵形有盖轮藻等。这些轮藻可以形成不同的组合,同时与硅藻及颗石藻等其他藻类交互生长,这对于上干柴沟组及下油砂山组藻灰岩的形成和沉积具有重要意义。研究表明这些藻类的生长与藻类的“勃发”^[3~5]密切相关。所谓“勃发”,是指藻类在一定的条件下,在一定的时期内某一区域内可以形成某一单属种藻类的极度生长和富集。藻类“勃发”一般以单属种生长为主,并且藻类的“勃发”具有季节性,因而在某一时期具有极高的生产力。“勃发”作用生产力极大时,这种富集和生长会使得其生长的水域出现“红水”、“白水”或“赤潮”等“勃发”藻类的颜色。最典型的是利用卫星拍下的北大西洋美国外缅因湾的“白水”,由于海水含有高浓度的颗石藻,所以整个海面呈现白色,可见其生产能力不容忽视。花土沟油区自早第三纪开始,其相对湖水面逐渐上升,至中新世早期(K₈-K₇)上升至最高点,此期间广泛发育浅湖-深湖环境。此后相对湖水面整体处于下降状态,至中新世中期到上新世早期下油砂组下段和上干柴沟组上段沉积时期,基本处于半深湖-滨浅湖环境。在这个时期,水体适宜且动力不大,是

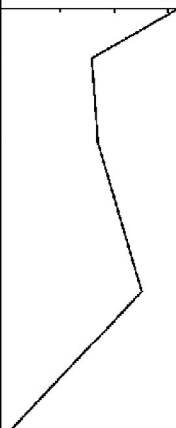
适宜于浮游藻类生长的时期,也是各种藻类交替“勃发”的时期,这可由藻纹层灰岩的存在得到验证,也可以由岩层中细粒方解石的纹层得到核实。

3 藻灰岩储层的形成及演化

研究表明,藻灰岩储层的形成主要受沉积环境的稳定性、早期淋溶和晚期胶结-充填的控制。花土沟上第三系碳酸盐储层早期淋溶作用较弱^[6,7],而晚期胶结填隙作用较强。成岩作用主要有:①压实作用;②胶结作用:早期或准同生期的纤维状碳酸盐和晚期晶粒状碳酸盐胶结,胶结作用较强;③溶蚀作用:由于该区的微环境变化频繁,主要为早期和准同生期的大气水淋滤作用。具体的成岩阶段及成岩演化史划分见表 1。

表 1 花土沟油田下油砂山组 and 上干柴沟组成岩阶段划分及成岩演化(据文献[2])

Table 1 Division of diagenetic stages and analysis of diagenetic evolution of Xiayoushashan Shanggancaigou Fms in Huatugou oilfield area

成岩阶段	成岩序列	成岩作用	成岩环境	孔隙类型	成岩孔隙演化/% 10 20 30
准同生 成岩阶段(N ₁ 或 N ₂)	湖水 潜流带	胶结 作用	湖水成 岩环境	藻架孔、粒间孔、 微孔隙	
	混合水 作用带	白云 化作用	混合水 成岩环境	藻架孔、粒间孔、 微孔隙、白云石 晶间孔	
	大气淡 水渗流 带	溶解 作用	大气淡 水成岩 环境	藻架孔、粒间孔、 微孔隙、白云石 晶间孔、次生溶 孔	
浅埋藏 成岩环境(N ₁ 或 N ₂ -Q)	区域 地下水 作用	胶结 作用	浅埋藏 成岩环境	微孔隙、次生 溶孔、残余藻 架孔	

3.1 湖水潜流作用阶段

该阶段主要发生于湖水成岩环境中,易发生胶结作用。此阶段生成的孔隙主要是原生孔隙:藻架孔、粒间孔隙及许多的微孔隙,并且孔隙度较大,储层的物性较好。但随着胶结作用的进行,湖水潜流带亮晶方解石充填藻骨架孔,造成储层孔隙度下降。对岩心薄片进行的分析证实了这个过程。

3.2 混合水作用阶段

由于构造运动的影响,湖水深度会发生变化,湖平面随之发生改变。在混合水的作用下,藻灰岩不断地被混合水白云化。但是白云化对藻灰岩储

层的物性影响较小,孔隙度只是略有升高,孔隙类型为藻架孔、粒间孔隙、微孔隙及白云石晶间孔等。

3.3 大气淡水渗流阶段

大气淡水对于藻灰岩具有程度不一的淋溶作用。其一表现为对藻骨架的溶解作用。这种溶解作用不是很强烈,但对次生孔隙的形成不容忽视。其二是对亮晶方解石的溶解作用。在镜下观察发现,这种作用较为普遍,程度比较高,对溶孔的形成是主要的。在第一阶段和第二阶段中藻纹层灰岩及藻泥晶灰岩的藻间孔中充填了大量的亮晶方解石,在淡水淋溶的作用下,亮晶方解石溶解,形成了大小不一、各种各样的溶孔,这也是藻纹层灰岩和藻泥晶灰岩储集物性较好的原因之一。这个时期内,由于粒间溶孔、粒内溶孔及其他形式次生溶孔的出现,使得藻灰岩储层孔隙度变大。

3.4 浅埋藏成岩阶段

在该阶段主要受区域地下水作用,白云岩化现象明显。浅埋藏有机溶蚀作用和浅埋藏白云化作用对孔隙的贡献不大。相反,由于胶结作用强烈,使得孔隙度明显降低,孔隙度降至 10% 左右^[8],岩心分析结果验证了这种结论。

综上所述,整个成岩过程中藻灰岩储层的成岩作用依次是:湖水潜流带胶结作用-混合水作用带的白云化作用-大气淡水渗流带的溶解作用-浅埋藏环境下胶结作用。湖水潜流时期的胶结作用较强,使得孔隙度下降幅度较大。在随后的混合水白云化阶段中,孔隙度略有上升,次生溶孔加大。淡水淋溶作用对孔隙度的影响较大,在这几个阶段中,它对于藻灰岩储层的储集物性无疑起到了建设性作用^[9,10]。在浅埋藏环境下,胶结作用的增强使得孔隙度降低,物性下降。

4 储集性能评价及识别

藻灰岩作为一种特殊的碳酸盐储层,在岩石物性、沉积特征、地震剖面以及测井曲线特征方面,均不同于常规砂岩储层和其他碳酸盐岩储层。

岩心分析表明,在这几类藻灰岩储层中,溶孔藻纹层灰岩的储集物性最好,分布范围最广,溶孔较发育,其厚度为 8~10 m,孔隙度平均为 8%~10%,渗透率多大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大的孔喉半径为 5 μm 。综合来看,藻纹层灰岩具有细喉小孔特征。虽然藻纹层灰岩的物性参数不理想,但藻纹层灰岩却是优质的储层,这可由以下两方面得到

验证。一是对几口井进行试油分析, 结果证实都有油气显示。例如, 对 N10-2 斜井 1 246.4~1 249.6 m 井段藻纹层灰岩储层所进行的试油结果显示, 日产油 4.43 m³, 日产水 0.92 m³。二是对地下储层中的藻纹层灰岩进行取心分析, 发现含油气级别为油浸。根据试油结论、岩心取样及综合分析, 对藻灰岩储层进行了电性特征标准分析, 建立了藻灰岩储层油层、油水同层、水层及干层的电性图版(图 2)及如下划分标准。

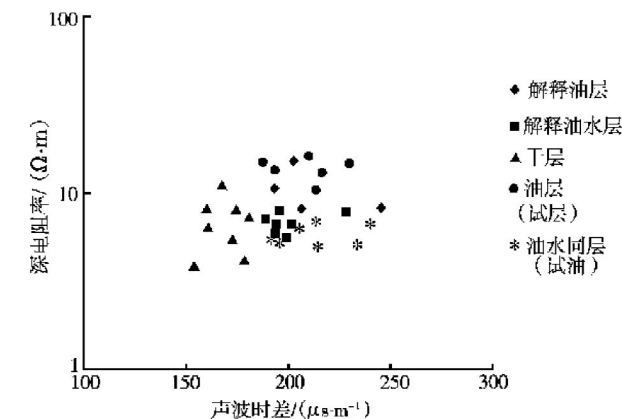


图 2 藻灰岩储层的电性图版

Fig. 2 Resistivity vs. interval transit time of algal limestone reservoirs

油层、油水同层、水层及干层的划分标准为: 油层: 声波时差大于 185 μs/m 而小于 250 μs/m, 地层电阻率大于 8 Ω·m; 油水同层: 声波时差大于 185 μs/m 而小于 250 μs/m, 地层电阻率大于 4.5 Ω·m, 小于 8 Ω·m; 水层: 声波时差大于 185 μs/m 而小于 250 μs/m, 地层电阻率小于 4.5 Ω·m; 干层: 声波时差小于 185 μs/m。

利用该图版(图 2)进行藻灰岩储层的解释分析, 与试油结果相对比, 图版符合率达到 88.7%, 证明划分结论是可靠的。

在测井曲线上, 藻灰岩储层的明显特征是自然伽马值(GR)较高, 高于围岩, 甚至高于泥岩值; 因为具有渗透性, 所以自然电位(SP)负异常, 但是幅度明显小于砂岩幅度; 同时井径为缩径; 深、中电阻率值(RD、RS、ILD、JLM 等)较高, 其幅度明显大于围岩; 声波时差(AC)低值, 补偿中子(CNL)为明显中低值, 补偿密度(DEN)为中高值。在 N10-2 斜井 1 195.6~1 197 m 和 1 245.5~1 248 m 两井段藻灰岩储层测井曲线(图 3)中, 发现藻灰

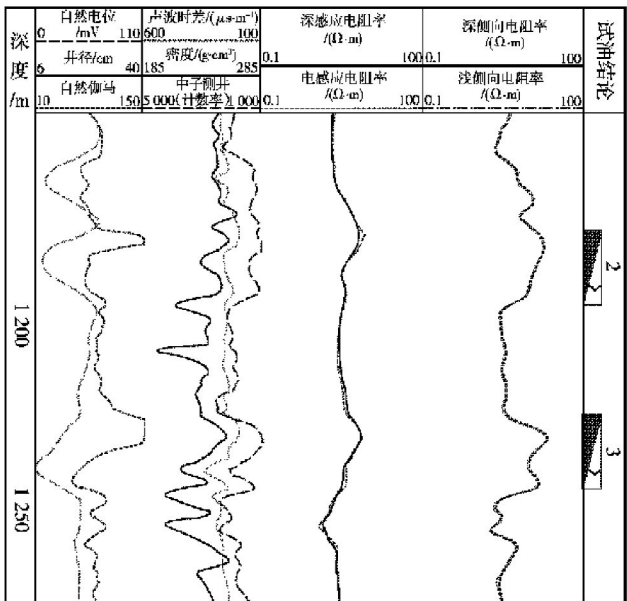


图 3 N10-2 斜井藻灰岩储层测井特征

Fig. 3 Characteristics of algal limestone reservoirs in well logs in N10-2 deviated well

岩往往与砂岩储层交互沉积, 在横向上形成交互层, 测井曲线表现为上段是藻灰岩, 而下段为砂岩段, 这与其形成机理有关。孙岩^[1]通过研究指出, 碳酸盐岩在地震剖面上表现为一套同相连续性好的、低频、低幅、低能的弱反射, 当一遇到含油的藻灰岩时则反射能量增强, 甚至达到强反射。根据这一特点利用三维地震资料对藻灰岩的平面展布进行预测, 再利用钻井、测井资料进行层位标定(图 4)^[1], 这样可以有效确定藻灰岩储层的展布情况。

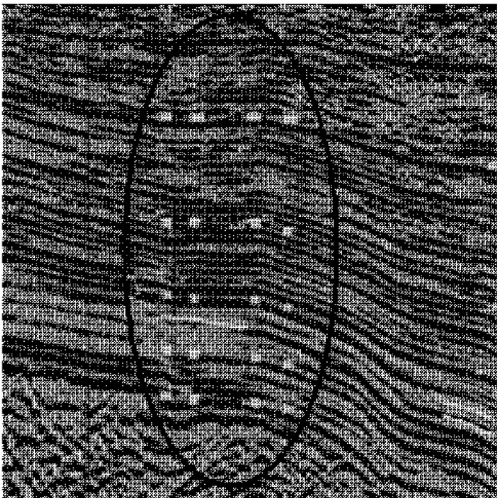


图 4 藻灰岩的地震特征

Fig. 4 Characteristics of algal limestone reservoirs in seismic profile

(下转第 712 页)

号断块油藏出露地表遭受破坏,而在保存条件较好的II,III断块,油气藏得以保存。

由此可见,冷湖三号油田的形成具有深层油源、晚期充注、局部破坏的特点,保存条件是制约油气大规模成藏的主要因素。

4 结论

(1) 柴北缘油气成藏时期,明显与中生代以来发生的三次较强的构造运动时期有关,通过油气藏充注历史分析,从微观上验证了构造运动对油气成藏的控制作用。

(2) 在渐新世时期,由于基底卷入断层沟通了侏罗系烃源岩,断层起到了重要的油气运移通道的作用;上新世以来形成的逆断层对下第三系油气藏的调整、上第三系次生油气藏的形成起到重要作用。

(3) 根据柴北缘油气藏形成特点,最有利的勘探目标应该是那些有深达侏罗系烃源岩断层存在,同时其上覆的上第三系又有很好的封闭条件的下第三系圈闭。

参考文献

- 王永卓,孙德君,徐景祯. 柴达木盆地北缘地区含油气系统划分与成藏历史分析[J]. 石油学报, 2003, 24(5): 21~ 25
- 陈蟒蛟,白淑艳. 柴达木盆地北缘油气藏类型、特征及其控制因素探讨[J]. 江汉石油学院学报, 2002, 24(2): 8~ 12
- Murray R C. Hydrocarbon fluid inclusions in quartz[J]. AAPG Bull, 1957, 41: 950~ 952
- 卢焕章,郭迪江. 流体包裹体研究的进展和方向[J]. 地质论评, 2000, 46(4): 385~ 392
- 王飞宇,金之钧,吕修祥,等. 含油气盆地成藏期分析理论和新方法[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 754~ 762
- 柳少波,顾家裕. 包裹体在石油地质研究中的应用与问题讨论[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 326~ 332
- 覃建雄,张长俊,李天生,等. 西昌盆地流体包裹体及其在油气勘探中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(3): 216~ 225
- 郑有业,李晓菊,马丽娟,等. 有机包裹体在生油盆地中的应用[J]. 地学前缘, 1998, 5(1~ 2): 325~ 331
- 谢奕汉,范宏瑞,王英兰. 流体包裹体与盆地油气的生成和演化[J]. 地质科技情报, 1998, 17(增刊): 100~ 104
- 施继锡,李本超,傅家谟,等. 有机包裹体及其与油气的关系[J]. 中国科学(B), 1987(3): 318~ 325
- Karlsen D A, Nedkvitne T, Larter S R, et al. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application to elucidation of petroleum reservoir filling history[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta 1993, 57: 3 641~ 3 659
- 高先志,陈发景. 应用包裹体确定油气成藏期次——以柴达木盆地南八仙油田第三系储层为例[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 548~ 554
- 温献德. 地史学[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1998
- 陈子河,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[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(1): 53~ 58
- 刘传联,徐金鲤,汪品先,等. 藻类勃发——湖相油源岩形成的一种重要机制[J]. 地质论评, 2001, 47(2): 207~ 209
- 吴国瑄,朱伟林,黄正吉,等. 湖相沉积浮游藻类及有机质类型与烃源研究[J]. 同济大学学报, 1998, 26(2): 176~ 179
- 刘传联,徐金鲤. 济阳坳陷下第三系颗石藻类化石的分布及与油气的关系[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(3): 73~ 77
- 孙岩,沈安江,徐洋,等. 柴达木盆地跃进地区下干柴沟组上段

(上接第706页)

参考文献

- 藻丘灰岩储层特征[J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 62~ 67
- 钟筱春,钟石兰. 渤海湾盆地沙河街组一段颗石藻类化石及其沉积环境[J]. 微体古生物学报, 1988, 5(2): 145~ 151
- 吴庆余,王睿勇,戴俊彪,等. 探讨海相油气成因的一种超微浮游藻类成烃实验系统[J]. 科学通报, 1998, 43(20): 2 239~ 2 240
- Ackledon S, Balch W M, Holligan P M. White waters of the Gulf of Marine [J]. Oceanography, 1988, 18~ 22
- 刘云田,杨少勇. 柴达木盆地北缘侏罗系砂岩孔隙发育特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 267~ 269
- 彭立才,杨慧珠,刘兰桂,等. 柴达木盆地北缘侏罗系烃源岩沉积有机相划分及评价[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 178~ 181