

储集体是致密碎屑岩气的重要储集型式

尹凤岭 刘纪常 李贵学 郭东晓^①

(地矿部西南石油地质局地质综合研究大队, 成都 610081)

本文据四川盆地西部致密碎屑岩储层特征, 建立了储集体的概念。储集体是一个具备有效孔间和渗滤通道、不受岩性和层界严格限制的三度空间的地质块体, 是致密碎屑岩气的重要储集形式。文中结合了川西拗陷的地质情况, 划分了储集体类型, 探讨了储集体的识别方法及形成条件。

关键词 储集体 致密碎屑岩气 储集形式 有效空间 渗滤通道

第一作者简介 尹凤岭 男 57岁 高级工程师 石油地质

四川盆地西部上三叠统一侏罗系存在着三个含气组合, 自下而上分别为: 上三叠统下部及上部、侏罗系上沙溪庙组—遂宁组下部含气组合, 都属于致密碎屑岩含气领域。与国内外已知致密砂岩气相比, 本区储集岩具有密度高、孔渗低、非层状及非均质性强等特点, 因而其储集形式也有别于均质层状储层。笔者在生产实践中逐步建立的储集体概念更能表述这类储层的基本特征, 并经受了勘探实践的初步检验。

1 问题的提出

早在70年代末期, 于川北石龙场构造上所钻的第一口勘探井内在侏罗系千佛崖组获得良好油气显示, 获原油5~6m³, 岩性为细粒长石岩屑砂岩与灰黑色泥页岩不等厚互层。其后钻遇千佛崖组油气层的岩性也往往是砂、泥岩互层。据物性资料统计, 油气层段内砂岩的平均孔隙度为1.49%, 泥岩的平均孔隙度为1.53%, 渗透率均以小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 者居多。当时把这种物性条件近似、并有良好显示的砂、泥岩互层段均看作为有效储集岩, 并把这种层段所占据的地质空间称为储集实体^②。

近年来, 对盆地西部致密储层的研究过程中, 发现侏罗系上沙溪庙组与遂宁组下部气层的岩性也往往是砂、泥岩互层, 有些并于泥质岩段内获得工业气流。物性资料同样表明, 泥质岩类的孔、渗值不亚于砂岩, 有的还高于砂岩, 如108井泥岩煤油法平均孔隙度为5.42%, 氦气法平均孔隙度为5.65%, 相同层段内砂岩的平均孔隙度为3.52%, 基质渗透率二者相近, 以小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 为主。

基于上述事实, 根据油气在运聚过程中首先占据大孔隙的属性, 这种泥质岩也应视为有

① 参加本项研究的还有高玉良、文健同志

② 尹凤岭、刘纪常等, 1980, 储层研究, 内部小结

效储集岩。随着勘探工作的进展和资料的积累,在原储集实体概念的基础上,逐步确立储集体为本区致密砂岩气的重要储集形式。

2 储集体定义

储集体是一个具备有效空间和渗滤通道、不受岩性和层界严格限制、为不同性质的边界条件所封闭的孔喉-裂缝网络系统所组成的富含油气的地质块体。

所谓有效空间,包括原生与次生(主要的)孔隙及裂缝,其大小是指储集体内的空间所赋存的油气数量具工业价值。

所谓渗滤通道,是指由孔喉及裂缝组成的渗滤网络系统,其大小应是聚集时允许油气进入,勘探时允许油气排出。

所谓不受岩性和层界的控制,是指不论砂岩或泥岩,只要具备有效的孔、渗条件,均可作为储集岩,裂缝所及范围均是储集体的组成部分,而裂缝的发育并不受层界的严格限制。之所以形成有效储集体,在大多数情况下,往往表现为非破裂系统对破裂系统的有效封闭,这可从储、盖层基质孔、渗值相差无几得到证实(表 1),其次,还可见岩性和成岩等圈闭形式。

表 1 孝泉构造气井储、盖层物性统计表

储、盖层	平均孔隙度(%)	平均渗透率($10^{-3}\mu\text{m}^2$)
储层	3.56	0.11
盖层	3.33	0.108

3 储集体形成条件与地质因素的关系

致密碎屑岩储层与常规砂岩储层的主要区别(除孔渗值低而外)在于它不受岩性和层界的严格限制,从这一基本事实出发,来探讨有效储集体的形成条件与主要地质因素的关系。

3.1 储集体与岩性的关系

随着致密碎屑岩含气领域勘探的进展,国内外对泥岩可作储层也时有报道,苏联学者在这方面有所研究。

И. B. 维索斯基指出(1979):在深埋沉积盆地中,泥岩的塑性不断消失,脆性不断增加,微裂隙发育,封盖的密闭性丧失,并使其具储渗能力。而砂岩随着埋深增大和成岩作用加强变得异常致密,储集性渐趋丧失,并向盖层方向发展。

A. 克里沃什娃等认为(1980):泥岩储集层的形成是在深成阶段,在一定温度压力下发生泥岩松化作用所决定的。他们还指出,一个重要的事实是已知所有具储集性的泥岩,不论它们的时代、成份、结构及其所处的构造和地理位置如何,都分布在同一温度带($60\sim 120^\circ\text{C}$)和一定埋深(1.7~3km)范围内。实验结果表明,封闭于泥岩中的水,随着温度升高,赋存状态及性质发生变化,当温度升高至 $95\sim 120^\circ\text{C}$ 时,束缚水将转化为自由水,这种转化而来的水具有较强的溶蚀性,致使一些较难溶的矿物发生溶解,并使泥岩质点的定向排列遭到破

坏, 因而使得通常随深度增加而减小的泥岩孔隙度反而增大了。这就在一定温度和深度范围内产生泥岩松化层, 它比相邻的围岩具有偏高的渗透率和更高的孔隙度, 可以成为油气的赋存场所。

国外泥质岩油气藏的典型例子是苏联西西伯利亚的萨累姆油田和美国东部泥盆纪的页岩气, 二者均有相当可观的储量规模。

我国汉江盆地的潜江组储层, 也是裂缝发育的泥质岩, 已在若干口井获得工业油流。

四川盆地西部侏罗系气层段内的泥岩, 其物性参数值与相邻砂岩近似, 有的还高于砂岩 (图 1, 表 2), 其温度和深度与松化层出现的范围十分接近。不仅如此, 本区侏罗系气层段中的泥岩在结构上还有其特殊性, 据薄片鉴定资料, 这种泥质岩有含量不等的“泥粒”(类似于碳酸盐岩中的内碎屑) 存在, 形成粗结构泥岩, “泥粒”间有微裂隙及粒间微孔发育, 在裂缝的串通下, 这种微缝和微孔对储集天然气来说是有效的, 是储集体不可分割的组成部分。

从储量计算结果来看, 孝泉侏罗系气层段内的泥质岩亦应作为储集岩。笔者曾计算过一些气井供应边界范围内砂岩和泥岩的孔隙体积, 单靠砂岩的孔隙体积只能容可采储量的 1/2~1/3 左右, 若用砂、泥岩孔隙体积之和, 则能容纳可采储量, 从而也表明气层段内的泥质岩应视为有效储集岩。实际勘探结果也证实泥质岩为有效储集岩。孝泉构造钻遇侏罗系的某井, 就是在泥质岩段获得工业气流的, 并已稳产了数年。

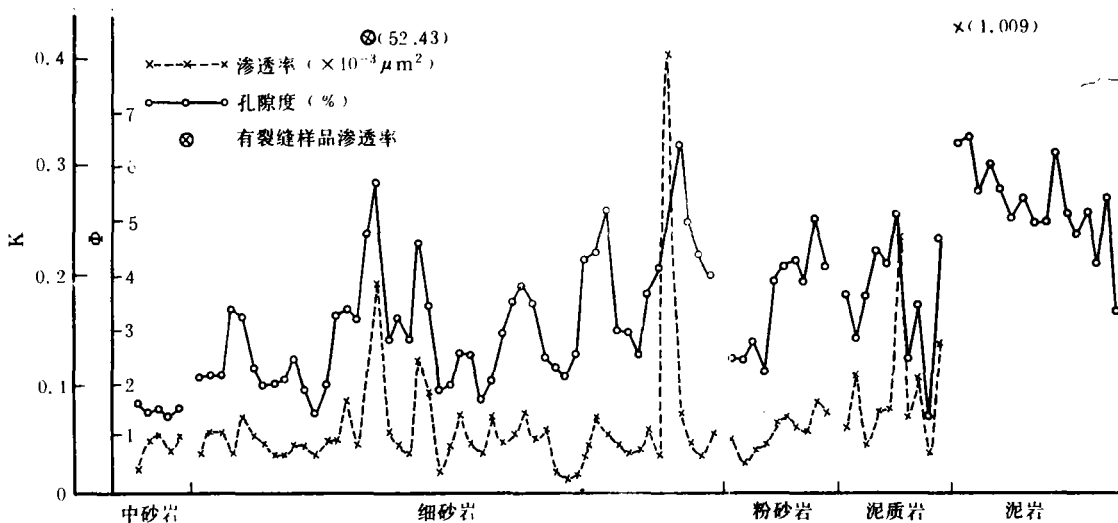


图 1 川孝 108 井取心井段 ϕ -K-岩性关系图

表 2 孝泉地区侏罗系孔、渗与岩性的关系表

岩 性	纯泥岩	粉砂质泥岩	泥(钙)质砂岩	纯砂岩
孔隙度(%)	5.01	4.44	2.78	3.96
渗透率($10^{-3}\mu\text{m}^2$)	0.742	0.308	0.112	0.072

上述表明,泥质岩在一定的条件下,只要能产生有效空间和渗滤通道,就能成为有效储集岩,这是因为油气在运移聚集过程中,只选择空间和通道,而对岩性没有特殊偏爱。

3.2 裂缝在储集体形成中的作用

从储集体定义可知,孔喉-裂缝渗滤网络系统是致密砂岩储集体不可或缺的组成部分。国内外均把基质渗透率作为划分致密储层的主要依据,罗蛰潭教授依据基质渗透率的大小将致密储层划分为4级^①:

1级 $(10^2 \sim 10^{-1}) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$

2级 $(10^{-1} \sim 10^{-3}) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$

3级 $(10^{-3} \sim 10^{-5}) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$

4级 $(10^{-5} \sim 10^{-9}) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$

川西地区的致密储层,大致相当于罗教授划分的2级范围,如此低的渗透率,显然需要裂缝改善储层的渗滤能力,方能产生有效储集岩。本区致密储层,裂缝相当发育,据不完全统计,有裂缝的储集岩样品的平均孔隙度为4.80%。平均渗透率为 $16.67 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,无裂缝样品的平均孔隙度为3.93%,平均渗透率为 $0.152 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,上述两组数据的差值大致反映了裂缝对孔隙度和渗透率的贡献。不难看出,裂缝对孔隙度的贡献并不显著,仅为0.87%,对增长值高孔储层来说是微不足道的,但对低孔储层,却可使孔隙度增加20%~30%,而且裂缝还是高质量的储集空间,其内的油气几乎可以全部采出。裂缝对渗透率的贡献甚大,可使基质渗透率增大两个数量级,且其运输油气的能力远大于孔隙喉道,并能把致密储层内的基质游离气和基质吸附气汇集起来,这就是致密碎屑岩气能持续稳产的原因之一。

研究区内的致密储层,均有不同程度的裂缝发育,总的来看,有泥岩优于砂岩之势(图2)。这是由于本区属深埋沉积盆地的一部分,此环境中的泥质岩塑性丧失,脆性增加,在一定构造力的作用下,产生大小不等、性质各异的裂缝,与孔隙喉道一起组成储集体内的渗滤网络系统。

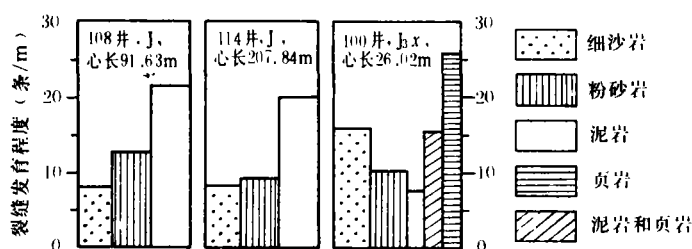


图2 裂缝发育程度与岩石类型关系图

3.3 储集体与成藏模式

据已取得的勘探成果分析,区内侏罗系气藏无一不受局部构造控制或与局部构造密切相关,基于此,在其它油气地质条件具备的前提下,局部构造的形成与发展就起着决定性的

① 罗蛰潭,1985,在“西北六省区低渗透油田勘探开发学术会”上的发言

作用。

现以孝泉侏罗系气藏为例, 探讨成藏模式与储集体形成之间的关系。据地化资料, 侏罗系自身可作气源岩的岩石数量少, 且有机碳含量均在生油岩下限指标以下, 因此侏罗系不具生气能力。从天然气分析资料可知, 侏罗系的气与上三叠统须家河组上组合的气同源。据新的古地温资料, 地温梯度较以前提高了, 为 $4.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 这样, 须家河组上组合的气源岩于侏罗系沙溪庙组沉积之后已进入生气高峰, 而此时区内的局部构造圈闭尚未形成, 成熟的天然气具有较大的自由度, 我们称此阶段为气源成熟期(A)(图 3)。接踵而来的是初始运移期(B), 生成的天然气以扩散和渗滤的方式向上逸散, 在区域封盖层(遂宁组 J_3h) 之下形成相对高浓度带, 此时, 赋存油气的“容器”尚未形成, 天然气仍处于相对分散状态, 直至喜山期的四川运动局部构造圈闭才最终形成, 天然气进入成藏运移阶段(C)。伴随这次运动, 在局部构造受力最强部位产生不同性质、不同大小的裂缝, 为天然气的成藏运移创造了条件, 分散的天然气才有可能形成连续相, 发育的裂缝将其所及范围内的天然气聚集成藏, 有效储集体才得以形成。因此, 可以说储集体形成与天然气成藏大体同步, 裂缝系统的大小在一定程度上控制着储集体的大小, 而储集体的大小又控制着储量规模, 在相同地质背景下, 储集体越大, 控制储量越大。

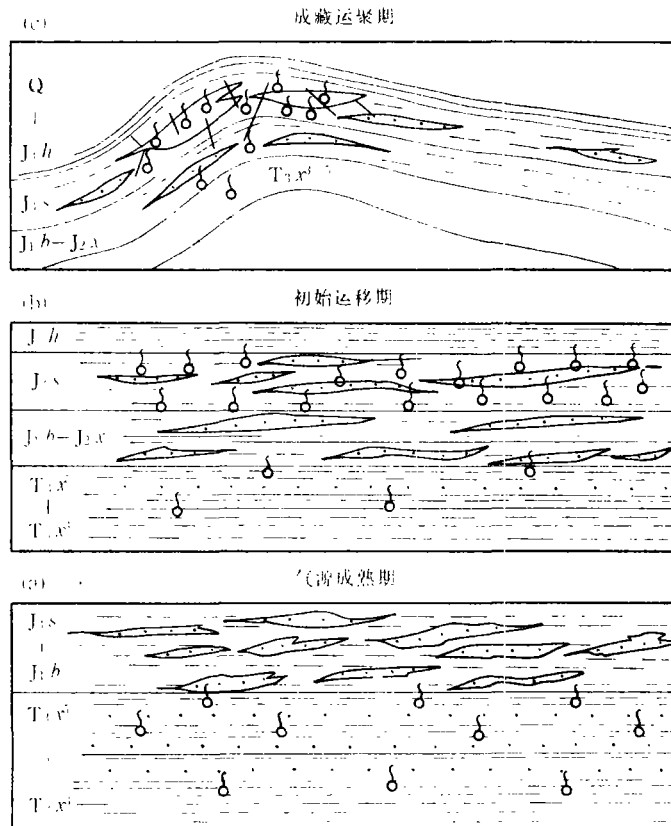


图 3 孝泉侏罗系气藏成藏模式与储集体关系

4 储集体类型

有效储集体的形成受沉积、成岩、构造、油气运聚等地质因素的影响,这些因素在地史发展过程中相互间的配置形式不同,形成不同类型的储集体,研究区内目前发现有以下几种类型:

4.1 受沉积因素控制的储集体

它可由单个砂岩透镜体组成,也可以在一个大的透镜体内,包容有层间缝发育的泥质岩共同组成一个储集体。须家河组上部及侏罗系可见这种类型(图4)。

4.2 由于成岩作用的差异形成的储集体

成岩作用是造成本区储层致密化的重要因素,由于岩性、水介质等条件的差异,成岩作用的表现形式也不尽一致,即使同一种岩性也会因所处位置不同,成岩作用的表现形式也不一样,突出的表现是造成渗透率的变化,常常出现低渗透岩石对高渗透岩石的有效封闭,使本来连通的砂体被分割成若干块体,每一个高渗透块体即可能是一个储集体。即使像须家河组二段那种似层状的储层内也有这种类型的储集体(图5)。

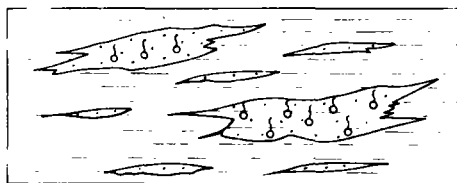


图4 受沉积因素控制的储集体

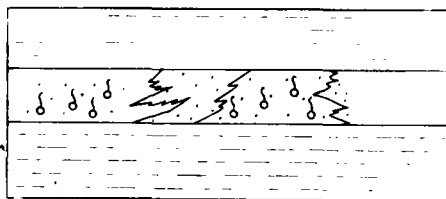


图5 成岩圈闭型储集体

4.3 被封闭的破裂系统组成的储集体

它有两种基本型式:其一是由砂、泥岩互层段或砂岩夹泥岩组成储集层段,两种岩性均具相近的有效空间,由孔喉和裂缝组成渗滤网络系统,裂缝所及范围都是有效储集体的组成部分。其二,以泥质岩为储集层段,裂缝为主要渗滤通道,由裂缝孔隙及裂缝所串通的泥质岩微孔隙组成有效空间。这类储集体均由非破裂的致密岩石(泥岩、砂岩)所封闭,侏罗系内常见这类储集体(图6)。

4.4 复合型储集体

由上述两种以上的储集体复合而成的一种储集类型,它可由厚大砂岩和裂缝发育的泥岩共同组成一个储集体,有效空间及渗滤通道均较好,钻遇这类储集体往往能获得较高的产量,稳产时间也长,是致密砂岩气勘探中应当特别重视的现象,侏罗系的高产井多分布于这类储集体中(图7)。

5 储集体识别

储集体概念的建立对认识非常规致密储层的性质是有实际意义的,但如何识别储集体

仍是难度较大有待进一步研究的课题,笔者在生产实践中,根据地质、物探、钻井等方面的资料,初步建立了识别储集体的方法。

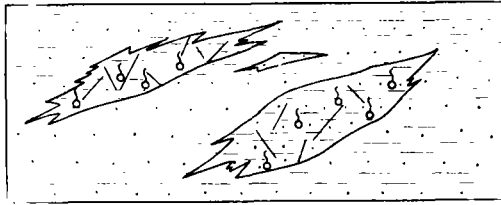


图6 被封闭的裂缝系统组成的储集体



图7 复合型储集体

5.1 利用地震资料了解储集体可能的分布范围

以孝泉侏罗系气藏为例,利用地震速度谱资料,选择沿构造东南陡翼的一条地震测线,作气层组与上复盖层的沿层速度分析^①,气层的分布与速度关系密切(图8),从图中看出:

(1)工业气井的分布范围与低速带范围大体一致,要寻找储集体就需到低速带内去找,这就圈定了储集体可能存在的范围和层段。但是,由于已发现的储集体厚度仅几米—数十米,平面展布一般 $<2\text{km}^2$,目前的地震精度还难以圈定单个储集体的几何形态。

(2)由于侏罗系气藏均受局部构造控制或与局部构造关系密切,因此,只有那些构造圈闭有利位置的低速带才可能为天然气聚集的场所,远离圈闭有利区的低速带可能为其它非烃流体的场所。

5.2 构造应力集中区是储集体发育区

裂缝是致密碎屑岩储集体的重要组成部分,因此,研究裂缝的成因及发育状况是致密储层工作不可缺少的内容。一般说来,构造受力最强的部位最易产生裂缝,从孝泉构造来看,有效储集体均分布于受力最强的东南陡翼转折部位,这一现象提示人们,在构造应力集中的部位发现储集体的机率要高得多。

5.3 录井地质资料提供的储集体信息

钻井过程中直接或间接显示可作为识别储集体的依据之一。通过岩心、岩屑的观察,可判断储层物性的好坏及裂缝发育状况;通过直接显示的观察,如气浸、井涌、泥浆性能变化、气测值变化等,可判断气层能量的大小。相邻的井,在大致相当的层段内,若有近似的显示程度,并在动态上有某些联系,则可认为二者同处于一个储集体内。

5.4 利用动态资料推测储集体大小

据压力恢复曲线上的边界反映,可计算气层边界距离的下限值,进而推测所钻遇的储集体的大小。井间干扰现象也可作为识别储集体大小的依据,相邻井的气层间有干扰现象,表明二者是连通的,储集体的边界应向外延伸。

① 据何鲤同志研究成果,1989

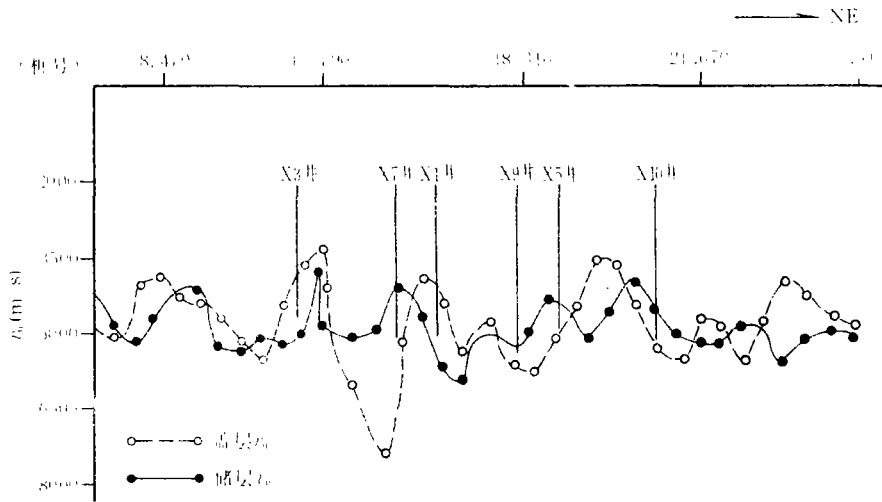


图8 孝泉构造3线,遂宁组-沙溪庙组含气层沿层速度分析

6 结 语

建立储集体概念的意义在于:

(1)突破了碎屑岩储层非砂岩莫属的传统认识,泥质岩在一定条件下,孔渗状况得到改善,同样能成为有效储集岩,这就拓宽了储层范围,勘探中可不过分拘泥于岩性,只要具备良好的孔渗条件,泥质岩也可视为有效储层。

(2)突破了层状储层的认识,储集体是一个富含油气的三度空间不规则的块体,它不受层界的严格控制,而与圈闭部位和受力状况有关,在一个含气圈闭内,受力最强的部位裂缝发育,富集油气能力强,往往能钻遇良好的储集体,可获得相对较高的产量。

(3)由于储层致密,连通情况差,单个储集体可构成气藏,勘探证实,孝泉侏罗系气藏就是由多个储集体组成的,因此,可以把储集体作为致密碎屑岩气控制储量的计算单元。

在撰写本文过程中,得到教授级高级工程师王晓君同志的指点,在此表示感谢。

(收稿日期:1990年5月12日)

参 考 文 献

- 1 W. B. 维索斯基,戴金星等译. 天然气地质学. 北京:石油工业出版社,1979
- 2 A. 克里沃什娃等,陈香平译. 由于松化作用而在泥岩中形成油藏的讨论. 四川石油普查,1982,(1)

RESERVOIR SYSTEM—AN IMPORTANT RESERVOIR PATTERN FOR GAS ACCUMULATION IN TIGHT CLASTIC ROCKS

Yin Fengling Liu Jichang Li Guixue Guo Dongxiao

(Southwest China Bureau of Petroleum Geology, MGMR)

Abstract

In this paper, a reservoir system is proposed based on the characteristics of the tight clastic rocks in the western Sichuan Basin. Such a reservoir system is defined as a geological body with effective pores and permeable channels of three-dimensional space, but without limitation on lithology and formational boundary. It is an important reservoir pattern for gas accumulation in tight clastic rocks. With combination of the geological settings of the west Sichuan Depression, the authors discuss the identification and the formative conditions of the reservoir systems in the paper.