

构造、沉积与成岩综合一体化模式的建立^① ——以松南梨树地区后五家户气田为例

于兴河¹ 郑浚茂¹ 宋立衡¹ 肖海燕² 张玉明²

¹ (中国地质大学,北京 100083)

² (地矿部吉林石油普查勘探指挥所,长春 130026)

提 要 石油与天然气地质勘探工作的最终目的就是对某个地区的构造、沉积及成岩进行综合评价,以便准确地寻找新的勘探靶区或油田。然而,长期以来人们在这方面的研究是各自独立的进行,这对新的勘探地区进行综合评价与预测,尤其是精确布井产生了一定的困难。因而,多学科的综合研究则是当前石油与天然气勘探的主要方法与内容。作者以松辽盆地南部梨树拗陷后五家户气田为例,从盆地的构造演化、沉积体系分布的分析入手,研究了该区的主要产气层位的成岩特征及成岩演化机理,建立了构造、沉积与成岩三者的综合一体化模式,进而对该区的储层发育、成因与展布进行了详细的分析。这一研究思路与方法或许是今后油气勘探研究的方向与主体内容之一。

关键词 储层特征 成岩作用 孔隙演化 后五家户气田 综合一体化模式

分类号 P 54, P 512. 2

第一作者简介 于兴河 男 38岁 博士 副教授 储层地质学及盆地分析

1 前 言

一个含油气盆地的成岩演化规律通常是石油与天然气勘探的主要研究内容之一,然而,影响碎屑成岩系储层成岩作用的因素很多,主要由盆地构造演化、沉积体系的分布、埋藏史、盆地的热演化史以及地下水溶液的活动等。这就要求石油地质工作者在分析某一时期或某一层位储层的孔隙演化时,要将盆地的构造、沉积与成岩三者的特征进行综合考虑,把它作为一个有机的整体进行分析和研究,并采用多学科的理论与方法来讨论孔隙随时间、空间和层位的演变而发生的一系列变化。由此笔者认为决定储层孔隙发育规律的成因或主控因素为:①构造演化的多阶段性;②沉积格局的复杂性;③成岩作用的多样性。正是基于这一技术的考虑,在此以松辽盆地梨树拗陷后五家户气田为例,开展了构造、沉积与成岩三者的综合一体化模式研究,试图探索一条研究储层次生孔隙演化分析的有效途径。

2 区域地质概况

后五家户气田位于松辽盆地南部梨树地区十屋断陷的西北侧,是个典型的背斜构造圈闭气藏,面积

约45平方公里。构造上该气田位于十屋断陷的陡翼,主要产气层位是娄类库组和泉头组,埋深在1000~2000m之间。初步可以划分出四个产气层段或气组,地理上后五家户构造位于公主岭、梨树两市县境内,南临四平、北依长春等工业城市。

松辽河盆地是一个裂谷型盆地,晚侏罗~早白垩世在裂谷期(相当火石岭组、沙河子组、营城子组沉积时期)形成了几十个相互分割的断陷,十屋断陷是其中的一个独立的箕状断陷盆地;早白垩世晚期(相当登娄库组沉积时期)~晚白垩世早期(相当泉头组沉积时期)转变为裂谷之后的拗陷期,因此中生代这一断-拗旋回是盆地发展的主要阶段。

十屋断陷的构造转变期较松辽盆地本部稍有滞后,拗-断界线在泉头组、登娄库组之间。泉头组以上的上部构造层,经过燕山晚幕(四方台组、嫩江组)和喜山幕(上第三系、下第三系)两次构造运动叠加变形,上构造层发生褶皱,形成北东向背斜、向斜,两期变形虽然也波及到下构造层,但并未造成大的改造,仍然保持了箕状断陷的形态与特征。

十屋断陷形态的大致呈菱形,断陷的发生、发展受西侧桑树台大断裂的控制。盆地的沉降中心靠近大断裂一侧,为中部深拗陷区。向东、向北抬升,断陷

① 国家自然科学基金(49302033)和“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室资助项目
收稿日期:1996-6-12

具有箕状断陷盆地的特点,受其构造形态的影响,下白垩统沉积呈楔形,西部厚,向东、向北变薄并尖灭。深拗陷区:是断陷的发育过程中长期下沉区,地层厚度大,发育全,各层组间呈平行不整合接触,暗色泥岩发育。断陷内断裂和局部构造较发育,最大的构造为后五家户背斜^[1]。十屋断陷东部斜坡:基底较缓,沉积层逐渐向东超覆,地层发育不全,各层组间以角度不整合或平行不整合接触。北部斜坡区:基底北翘,地层倾角陡,向北急剧收敛尖灭。各层组间多以角度不整合接触。

3 沉积构造背景与沉积体系

后五家户地区登娄库组上部至泉一段的沉积在垂向上所表现出总的韵律特征是由粗到细。构造上是盆地由断陷期向拗陷期转化的关键时期,两者的构造背景和沉积范围十分不同。登娄库组沉积时十屋断陷为一个局限盆,它与梨树拗陷并不相同,登娄库组上部的沉积背景为近源陡岸环境。而泉一段则为宽缓开阔的沉积区域,两者之间表现为断陷末期填平补齐后的短暂剥蚀。通过对后五家户气田的地质特征及岩相组合分析,可以明显的看出:登娄库组是以扇三角洲沉积体系为主,而泉头组则为三角洲~滨浅湖或滨岸的沉积体系。

3.1 扇三角洲沉积体系

在构造演化上登娄库组形成的末期属于盆地断陷的晚期阶段,它有别于断陷早期的温湿气候条件下的河道间沼泽化的成煤环境,是一种半潮湿-半干热的气候条件下形成的近源湖泊扇三角洲沉积体系。由于后五家户地区位于十屋断陷的中间拗陷区,水位相对较高,沉积物从邻近高地形成扇体后直接进入湖中,形成扇三角洲沉积体系^[2]。

自然电位曲线和视电阻率曲线均表现出多个小韵律的反韵律结构,且自下而上具有前积、加积和退积的结构。

3.2 三角洲~滨浅湖沉积体系

这一复合沉积体系主要发育在泉头组,在泉一段沉积时,盆地的断陷沉积已基本结束,后五家地区与相邻地域连通成片,盆地开始进入稳定沉积的拗陷阶段。其沉积特征与下伏登娄库组相比有很大的改变;此时盆地的东北、东南方向开始有一些小的河流注入湖盆,越近湖盆河流的分支越多,并形成三角洲沉积。其沉积规模一般较小,随着盆地的持续沉降,可容纳空间增大,其沉积规模逐渐扩大。

自然电位曲线和视电阻率曲线均表现出前积特征,即为向上变粗的反粒序结构,其形态大多为漏斗形。而三角洲分流河道沉积在测井曲线上形态为小钟状。

总之,后五家户地区登娄库组上部和泉一段的沉积环境,受十屋断陷在早白垩世登娄库期到中白垩世泉头期的构造演化影响,形成了两大沉积体系,它们之间环境的突变现象正好体现出湖盆由断陷期向拗陷期转化的关键时刻。登娄库组上部地层为近源陡岸的扇三角洲沉积体系为主,周围为浅湖沉积,扇三角洲沉积的走向为北北东,其间发育有水下砾石质河道,辫状河分流河道和漫岸沉积,其沉积特征^[3]与后期的泉一段有着明显的不同。泉一段则为三角洲~滨浅湖的沉积体系,三角洲主要发育在工区的北部和东南部,因此,此时的物源已由原来的单一物源变为多物源的沉积体,但主要物源则仍来自北北东方向,其次为东南向,两个三角洲之间发育有滨岸砂坝、滨岸砂席及滨浅湖沉积。

4 成岩演化史

储层特征的最终状态不仅是由其沉积条件,而且也是由其后来的成岩历史所决定的。因此探讨后五家户地区储层成岩演化历史是分析储层物性分布规律的基础。

盆地的断陷期向拗陷期的转化以及后期的反转对地层中砂岩的成岩作用历史发展有着很大的影响,压实、温度、化学作用是成岩作用的主要控制因素。在不同的成岩期,粘土矿物的转化、有机质的演化和碎屑颗粒的演变都是在上述综合作用下发生、发展,并表现出各自的成岩演化历史。

4.1 登娄库组上的成岩历史

后五家户地区登娄库组上部地层与泉一段成岩作用有着本质的不同。登娄库组上部地层开始为机械压实作用,压实作用产生颗粒的裂纹及破碎,在颗粒的接触部位发生轻微的压溶作用。随着断陷期的结束,构造的抬升造成登娄库组上部地层隆起剥蚀,依据 R_0 值的计算其剥蚀厚度为 140 m 左右,在地层埋藏较浅时,地表淡水的强烈渗透性,使得长石遭受淋滤作用比较强烈,造成长石的高岭石化。

长石高岭石化的结果是产生高岭石及氧化硅,所释放出的 SiO_2 可作为石英自生的重要来源之一。在登娄库组上部地层中常见到以骨架颗粒溶孔为主的次生孔隙发育,镜下常能以此区分登娄库组上部

地层与泉一段地层,表明登娄库组次生溶孔的发育与沉积间断有着密切联系,这是由于构造抬升时地表淡水对登娄库组砂岩的淋滤溶蚀作用所致

当泉头组沉积时,登娄库组进入了再次埋藏阶段,粘土矿物转化和长石蚀变所提供的 SiO_2 形成了硅质胶结作用,随着埋深的加大逐渐形成较大的自生石英晶体,从中可以看到完整的自生石英晶体从粘土矿物中生长出来,蒙脱石已基本上转化为伊利石。

尔后是碳酸盐早期泥晶,晚期连晶胶结充填孔隙。碳酸盐的交代作用出现在石英自生之后,表现在碳酸盐充填石英增生的粒间孔隙。其成因为深部地层脱羧基作用形成 CO_2 ,随着其运移与孔隙水中的 Ca^{2+} 结合形成碳酸盐胶结物。

4.2 泉一段的成岩历史

泉一段是在经历了相对稳定的沉积后又抬升,其成岩演化特征与登娄库组上部地层有明显的不同,首先是机械压实作用使得颗粒的排列与接触较紧密,由于泉头组的上覆地层剥蚀,造成上覆地层压力减小,使得泉头组地层保持有部分原生孔隙。构造运动促使孔隙流体的运动造成了开启性地层水循环对长石的淋滤溶解作用^[4]。泉头组与登娄库组之间的不整合为这一作用提供了良好的通道,因而产生次生孔隙发育带,次生孔隙的发育促使了流体的畅通,导致化学反应作用增强。自生粘土矿物产生,粘

土矿物的转化是连续的过程。根据 X-衍射分析及电镜观察,现在砂岩中粘土矿物中 I/S 只占 1~11%,I/S 中的 I 含量为 72~80%。从扫描电镜可见到溶蚀的长石表面上的披盖着自生粘土矿物,并见有次生石英晶体破坏了粘土矿物的晶体,反映了粘土矿物生成之后硅质才沉淀。开启性地层循环水对碳酸盐的溶解作用远大于登娄库组。正是由于孔隙的流动造成了它溶解作用的加速。

5 成岩阶段的划分及成岩序列

为了使成岩事件和油气生成及储集密切联系起来,在此笔者以中国石油天然气总公司的行业标准——碎屑岩成岩阶段划分为蓝本,开展其研究工作,该方案把碎屑岩阶段与有机质演化相联系,侧重油气生成储集条件,因而更能反映热演化与成岩序列间的有机联系。

5.1 早成岩阶段 A期:

埋深 < 750 m,镜质体反射率 $R_o \approx 0.5\% \pm$,古地温 $T < 55^\circ C$,砂层孔隙流体为弱酸性,以机械压实作用为主,主要成岩作用是泥晶方解石的沉淀,未见明显的石英加大现象,粘土矿物以蒙脱石和高岭石为主,孔隙以原生为主,相对较发育(图 1) 此时有机质处于未成熟阶段,以形成生物气为主。

5.2 早成岩阶段 B期:

埋深在 750~1 000 m,镜质体反射率 R_o 为 0.5

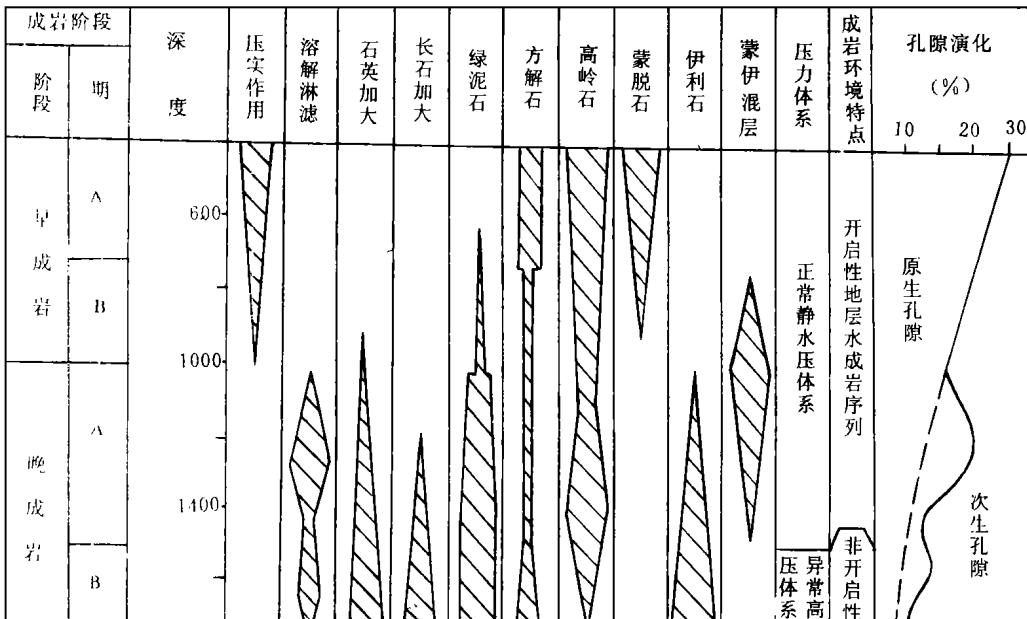


图 1 后五家户气田砂岩成岩序列与孔隙演化图

Fig. 1 The diagenetic succession and porosity evolution of sandstones in Houwujuahu gas field

~ 0.9%±, 古地温介于 55~ 75°C 之间。蒙脱石已大量消失, 混层粘土矿物开始大量出现, 属于混层矿物的渐变带。此带孔隙水以碱性或弱碱性为主, 主要证据是高岭石含量明显减小, 不利于长石的溶解与蚀变。该阶段相当有机质演化的低成熟~ 半成熟期, 开始大量生油。

5.3 晚成岩阶段 A期:

埋深在 1 000~ 1 500 m, 镜质体反射率 R_o 大致为 0.9~ 1.1%±, 古地温在 75~ 100°C。在此阶段机械压实作用对孔隙的影响已明显减弱, 随着蒙脱石向伊利石的转化, 石英加大也随之进行。由于开启性酸性地层水的活动, 对长石溶解淋滤作用大规模产生, 致使高岭石与绿泥石增多。混层矿物减少, 进入粘矿物的第一个转化带, I/S混层粘土矿物中蒙脱石层的含量由 40%± 迅速下降至 25%±^[5]。地层流体为酸性, 有利于孔隙的大量形成。方解石胶结物的含量已明显减少并趋于稳定, 其结晶形态发生了根本性的变化, 由泥晶变为亮晶。此时, 相当于有机质的成熟阶段, 是生油的高峰期, 其中含有大量油型气。

5.4 晚成岩阶段 B期:

埋深 > 1 500 m, 镜质体反射率 $R_o \geq 1.10$, 古地温 $\geq 100^\circ\text{C}$ 。此阶段是石英和长石加大边开始大规模形成的有利时期, 有机质已达成熟或高成熟; 由于异常压力带的存在和非开启性地层水的影响, pH值已由酸性变为弱酸-弱碱性, 岩石较为致密。本阶段粘土矿物进一步转化, 高岭石再次出现递减, I/S混层粘土矿物进第二、三转化带, 其中的蒙脱石层由 25% 降到 10%, 以致于消失。这就使溶液中的 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 增加; 有利于铁方解石和白云石的形成。这时的有机质已处于高成熟阶段, 并开始形成湿气。

6 次生孔隙形成机理及综合一体化模式

后五家户地区登娄库组上部地层及泉头组地层是以长石砂岩、岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩为主。由于盆地经历了拉张、抬升、拗陷以及反转等阶段, 所以储层砂岩的成岩演化也显示出其独特性。因而, 登娄库组上部地层与泉一段更是各具特色。

6.1 登三段沉积时期(图 2)

是十屋断陷处于盆地拉张-裂陷期, 沉积了一套粗碎屑的扇三角洲沉积。盆地的北缘和西缘明显

较东部要粗, 东南部是以滨湖积为主。

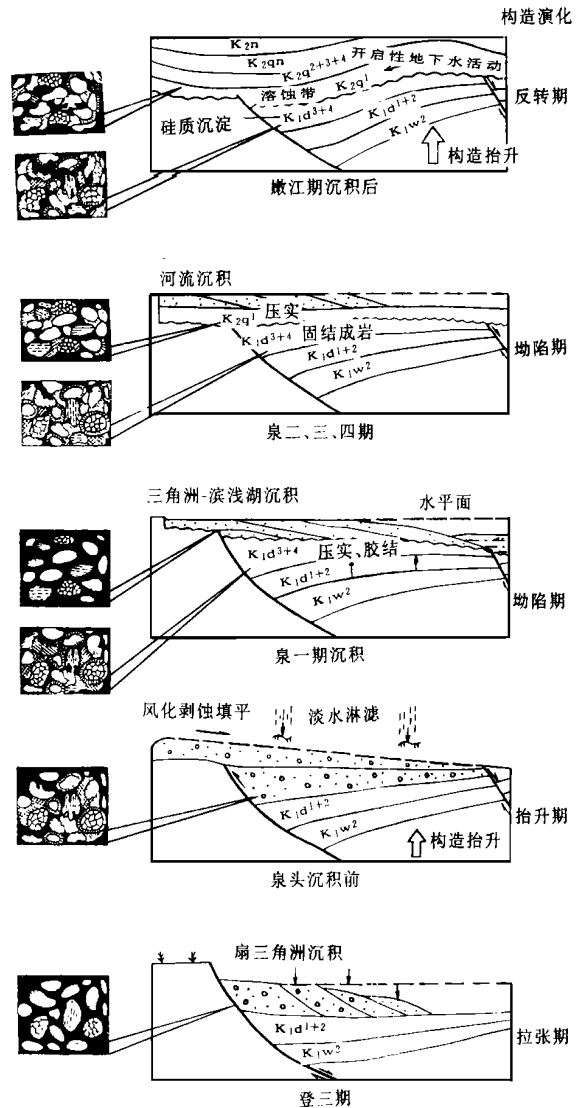


图 2 后五家户气田构造、沉积与成岩综合一体化模式
Fig. 2 The comprehensive integrated model of structure, deposition and diagenesis in Houwujahu gas field

6.2 泉头组沉积之前

盆地开始由断陷向拗陷转化, 即结束了拉张作用, 随之而来的是构造抬升, 并且出现了局部的构造反转。这就造成了登娄库组顶部被剥蚀, 盆地的地层出现了短暂的间断及填平补齐作用, 而且, 登三段地层在早期成岩阶段的机械压实作用进行之初, 伴随有淡水淋滤作用的发生, 致使长石的部分溶蚀, 产生了一些粒间溶孔。

6.3 泉一段沉积时期

盆地已有断陷, 抬升转化为拗陷期, 开始接受泉

一段的沉积,形成了一套三角洲-滨浅湖沉积。而登娄库组上部地层则处于浅埋阶段,压实和胶结作用进一步加深,水介质由酸性转变为中性-弱碱性, pH 值约等于7。孔隙开始大量减少,粘土矿物的转化已在登娄库组地层中发生,并且方解石胶结也开始大规模形成。

6.4 泉一段沉积后至嫩江组沉积时期

盆地仍旧处在拗陷期,泉二段主要为一套河流沉积。此时登娄库组地层已进入晚成阶段的A期,开始出现了硅质胶结,随着上覆地层的增厚与埋深的不断加大,压力进一步上升,与此同时方解石开始部分溶解。而泉一段地层,则处在早期成岩阶段的机械压实、胶结期,孔隙大量减少,同时出现方解石胶结及粘土矿物的转化。

6.5 嫩江组沉积后

盆地开始发生了重大变化,即进入了反转期,此时造成上覆地层的大量剥蚀,剥蚀厚度约达800 m \pm ,地层压力出现了较大的变化,因此,泉头组地层所经受的压实作用远较登库组要弱。正是由于这一构造作用,造成研究层段内流体势能的变化,并出现异常低压区。

在泉头组-登娄库组之间的不整合面产生了较大的压力变化,这就使得泉一段地层的呈现出开启性酸性水的流动,因此不整合面附近是次生孔隙的主要发育带。不整合面上的物质交换远大于其下,故泉一段地层的溶蚀作用较为强烈。

后五家户地区成岩作用的最大特点就是,在拉张、抬升及持续拗陷的稳定沉积后,盆地出现反转的上升剥蚀背景,完成了一种温度从热向冷、压力从高向低、埋藏从深向浅的转化。由于有这种转化而伴随的剥蚀作用造成了地层压力的变化。其一是上伏地层压力减少,造成机械压实作用750以上的泉头组地层压实程度不高,轻度压实。进入到泉一段750~1000 m时压实作用影响较大,压实强度为中等压实,表现为含有一定数量的原生孔隙。其次压力的减小使得流体势能显著横向变化,引起开启性酸性水溶液的横向运移,流体运移溶解不稳定岩石组分和胶结物,产生了大量的次生孔隙,使得压实作用对泉一段砂岩储层的影响程度相对较弱。另外,登娄库组

沉积末期的剥蚀所产生的淋滤作用,是促成另一个次生孔隙发育在登娄库组上部地层中形成的主要因素,其压实强度较高,原生孔隙比较少。登娄库组上部地层颗粒内经常可见溶蚀孔隙,以至镜下形成区别泉一段与登娄库组孔隙类型最直接的体验是发育原生孔隙加部分次生孔隙的是泉一段地层,而颗粒内溶孔发育的一定是登娄库组上部地层。

7 结 论

1) 后五家户气田登娄库组上部地层和泉一段属于非正常埋藏成岩序列,成岩作用的演化随着盆地构造的发展演变而经历了四个时期。在拉张、抬升及持续拗陷的稳定沉积后,盆地出现了反转上升剥蚀。造成了一种温度从热向冷,压力从高向低,埋藏从深向浅的转化。

2) 形成次生孔隙发育带的机理主要有两点:(1)是泉头组-登娄库组之间的不整合面的存在,这是造成地表水溶解的先决条件;(2)是开启性酸性地下水的活动。后者的作用大于前者,有利于次生孔隙发育带的深度为1250~1750 m之间。

3) 建立构造、沉积与成岩三者的综合一体化模式是分析和预测次生孔隙带发育和层位的重要理论基础,但它的建立必须与沉积埋藏史、沉积体系的分布、热史及成岩史的演化密切结合,才能充分反映碎屑岩系储集层的成岩变化机制,并做到全面的评价与准确的预测。

参 考 文 献

- [1] 张玉明. 松辽盆地南部梨树凹陷后五家户含气构造储层条件及其影响因素. 吉林石油地质科技情报, 1992, 1: 2.
- [2] Orton, G. J. J, A spectrum of Middle Ordovician fan deltas and braidplain deltas, North Wales: a consequence of varying fluvial clastic input. Fan Deltas Sedimentology and Tectonic Settings. Eds, W. Nemecek and R. J. Steel, 1988: 23~49.
- [3] 于兴河, 王德发, 孙志华. 湖泊辫状河三角洲岩相、层序特征及储层地质模型. 沉积学报, 1995, 13(1): 48~58.
- [4] 郑凌茂, 庞明. 碎屑储集岩的成岩作用研究. 中国地质大学出版社, 1989.
- [5] 朱陆忠. 十屋断陷储集层孔隙结构特征及在油藏评价中的应用. 吉林石油地质科技情报, 1992, 1: 2.

The Establishment of Integrated Model on Structure, Deposition and Diagenesis

*Yu Xinghe*¹ *Zheng Junmao*¹ *Song Liheng*¹
*Xiao Haiyan*² *Zhang Yuming*²

1 (China University of Geosciences, Beijing 100083)

2 (Jilin Headquarters of Petroleum Prospecting, MGMR, Changchun 130062)

Abstract

The final purpose of exploration work in petroleum geology is synthetically to appraise a certain field on its structure, deposition and diagenesis in order to find new area and oilfield for next exploring step. However, this study in petroleum geology has been carried out independently for a long time. If we used this method of thinking, it would be very difficult for us to appraise and predict new field of exploration, especially to determine the location of exploration well synthetically. Today the main method and content of petroleum exploration are to integrate knowledge of multidiscipline for studying a certain question. The author took the Houwujiahu gas field as the example exposed the diagenesis characteristic of this area had set up an integrated model through the study of structure and deposition features. Furthermore, the author made the detailed research on reservoir development, genesis and distribution of this area. The way and method of established integrated model may be one of the main study content and direction of hydrocarbon exploration in the future.

Key Words reservoir characteristic diagenesis porosity evolution Houwujiahu gas field integrated model