

文章编号: 1000-0550(2002)03-0469-08

# 楚雄盆地上三叠统深盆气成藏条件研究<sup>①</sup>

张金亮<sup>1</sup> 常象春<sup>2</sup> 刘宝珺<sup>2</sup>

(青岛海洋大学地球科学学院 山东青岛 266003) (山东科技大学油气中心 山东青岛 266500)

**摘要** 楚雄盆地经历了多次叠加和多期改造,但仍存在深盆构造区。上三叠统为海相和海-陆交互相含煤地层,烃源岩以泥岩、页岩为主,也有部分灰岩、泥灰岩和少量碳质泥岩、页岩及煤。煤系气源岩分布广、厚度大、热演化程度高,为楚雄深盆气的形成提供了充足的气源。直接接触的生储组合广布于盆地中,储层致密,对深盆气的聚集和富集成藏十分有利。气源岩在早白垩世中期—晚白垩世中期为湿气主要生成阶段,其后进入干气大量生成时期,成为深盆气形成的重要时期。喜山运动后盆地主体仍处于地下水交替停滞带,深盆气藏存在整体封存条件。从源岩演化程度和直接接触的生储组合来看,上三叠统形成了一个几乎覆盖全盆地的特大型深盆气藏。根据深盆气藏的主控地质因素的分析,可将楚雄盆地划分为深盆气分布区、气水过渡带和上倾含水三个区带。

**关键词** 深盆气藏 致密砂岩 运聚机理 上三叠统 楚雄盆地

**第一作者简介** 张金亮 男 1962年出生 博士 教授 油气藏及深盆气藏地质

**中图分类号** TE122.3+1 **文献标识码** A

## 1 引言

传统油气地质理论认为,天然气藏多分布于盆地构造高部位的圈闭中,但天然气的勘探实践证明,位于构造高部位圈闭中的天然气储量是较为有限的,且有相当一部分圈闭不含油气。20世纪70年代,在北美许多盆地的向斜和构造的下倾部位发现了一些特大型天然气藏,Masters<sup>[1]</sup>称之为深盆气藏。其特点是分布于深盆地中,储量巨大,多超过一万亿方,具气水倒置特征<sup>[2-14]</sup>。由于深盆气藏不同于传统意义上的天然气藏,人们对其形成机理缺乏深入的了解,严重影响了这一地质概念的发展、推广和应用。近年来,我们首先根据模拟实验与典型深盆气藏解剖结果,提出了深盆气为优质烃源岩供气、近源聚集、易于保存的成藏理论,明确了深盆气藏形成的主控地质因素,建立了深盆气藏评价方法,论证了深盆气藏的形成并不需要供气平衡条件,在生气趋于停止的降温盆地中同样形成深盆气藏<sup>[15-17]</sup>。

楚雄盆地位于扬子准地台西部,康滇地轴西南,边界均为断裂所限,面积约 $3.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是未经充分勘探的含油气盆地,具有十分有利的天然气地质条件。在区域构造上楚雄盆地隶属我国中部含油气区的延伸带,即鄂尔多斯盆地—四川盆地—楚雄盆地径向含气区带,在这个带上只有它还未找到油气田。从沉积古地理上分析,楚雄盆地从三叠纪至侏罗纪为川滇原

盆地的一部分,是特提斯海与大陆沉积的过渡区域。三叠系煤系烃源岩厚度大,埋藏深,有利于裂解气、煤成气的生成和大型深盆气藏的聚集。楚雄盆地内油和沥青显示比较普遍,背斜构造发育、油气苗多,说明已有油气成藏的过程。目前已在盆内和盆缘发现了10多处油苗和沥青显示,其中以元谋芷芷上三叠统沥青的规模最大,其孔隙沥青砂岩厚8.29 m,横向延伸3 km以上,并在多层见到裂缝型沥青,是一个沥青储量超亿吨的古油藏。

楚雄盆地的油气调查工作历史悠久,早在1958年便进行1:20万石油地质普查工作,60年代一直进行石油地质调查和综合研究工作,70年代初,在会基关构造和乌浪岔河构造分别钻探了会1井和乌1井,皆钻于下侏罗统后因事故完钻。较系统的研究是“八五”国家攻关项目“大中型天然气田形成条件、分布规律和勘探技术研究”下属专题“云南楚雄盆地天然气形成条件及勘探目标评价”。通过这一系列的研究,对上三叠统的油气地质基本条件有了一定的认识,明确了上三叠统的生烃母质主要是Ⅲ型,生烃量巨大,储集层是低孔渗致密砂岩,盆地主体保存条件较好等问题,但对上三叠统油气分布规律的认识十分模糊,油气勘探仍处于“地震找圈闭,钻井探油气”的现状。

## 2 地质背景

三叠纪是楚雄盆地的主要成盆期,早、中三叠世盆

<sup>①</sup> “九五”国家重点科技攻关项目(编号96-110-01-04)和国家攀登项目(编号95-预-39-3)部分研究成果

地整体抬升,未接受沉积,晚三叠世沉积了巨厚的海相、海陆交互及陆相碎屑沉积,是盆地内含油气条件最佳的地层单元<sup>[18]</sup>。由于受古构造、古地貌及古水流等诸多因素的影响和控制,上三叠统发育程度和沉积特征存在着很大的差异,可划分为盆地西缘的外来系统和盆地主体的原地系统。盆地西缘的外来系统上三叠统地层最发育,可以祥云剖面为代表,自下而上由海相—海陆交互相—陆相含煤层系组成一完整的沉积序列,下部云南驿组( $T_{3y}$ )至罗家大山组( $T_{3l}$ )二段为海相,罗家大山组三段为海陆交互相,向上逐渐过渡为陆相。该区沉积厚度巨大,逾5 000 m,向东逐渐减薄,岩石类型有砂岩、粉砂岩、火山碎屑岩、碳酸盐岩以及泥质岩和煤层等,砂岩的成分成熟度和结构成熟度均较低,砂岩类型多属岩屑砂岩和富岩屑砂岩。其下部地层云南驿组为浅海陆架沉积,主要由黑色泥岩、页岩、泥晶灰岩、角砾灰岩及粉砂岩组成,见沥青泥岩和灰岩。中部罗家大山组为半深海槽盆和半封闭海湾沉积,以玄武质岩屑沉凝灰岩、凝灰岩、水云母质泥岩为主夹泥质粉砂岩、砂岩、细砾岩和煤线及薄煤层等。上部白土田组( $T_{3b}$ )系三角洲和河湖沼泽环境,为一套含砾粗砂岩、砂岩夹粉砂质泥岩及碳质页岩和煤层。盆地主体部分上三叠统发育较好,但多缺失云南驿—罗家大山早中期沉积并以不同层位超覆于前震旦系昆阳群变质岩或晋宁期花岗岩之上,厚度变化大,盆地腹部一般2 000~3 000余米,东部边缘一带不足百米。其下部的普家村组( $T_{3p}$ )相当于罗家大山组上段,为海陆交互环境的三角洲和沼泽沉积,裂缝沥青发育,岩性主要为黑灰色泥岩与砂岩、粉砂岩的互层,含薄煤层及煤线,产瓣鳃类及植物化石。普家村组之上的干海资组( $T_{3g}$ )及舍资组( $T_{3s}$ )与白土田组层位相当,干海资组为陆相三角洲和河湖沼泽沉积,主要为细砂岩、细砾岩和含沥青砂岩与泥质粉砂岩、碳质粉砂质泥岩及碳质泥页岩组成的不等厚互层,并夹煤层,煤层累计厚度近50 m,北部地区煤质较好,变质程度较低。舍资组大致相当于白土田组上段,亦为陆相三角洲和河湖沼泽沉积,其岩性为细—粉砂岩、碳质粉砂质泥岩及泥页岩夹煤线,富含植物化石,亦发育含沥青砂岩。该区砂岩的成分成熟度和结构成熟度较西部地区高,砂岩类型多属石英砂岩和长石砂岩。普家村组( $T_{3p}$ )、干海资组( $T_{3g}$ )和舍资组( $T_{3s}$ )气源岩煤层、碳质页岩及泥岩与砂岩和砂砾岩储集体具有直接接触的特征,这种直接接触的生储组合广布于盆地中,这就构成了深盆地形成的岩相古地理条件。

楚雄盆地经过早、晚白垩世之间的晚燕山运动变动后,又经更为强烈的喜山运动,对已经萎缩的盆地进

一步挤压促使盆地内盖层全面褶皱变形。总体来看,盆地西部以推覆侵位为其特点,而盆地东部及中部在强烈挤压作用下,则表现为古构造的进一步隆升。虽然楚雄盆地经历了多次叠加和多期改造的历程变得十分复杂,但仍存在由深埋区向东、东南依次抬升的深盆地构造区。上三叠统海—陆交互相含煤碎屑岩虽然在盆地边缘均有出露,但在盆地地腹广泛分布,应是盆地深盆地气勘探的主要目的层。通过与北美大型深盆地气田的对比可以看出,楚雄盆地在盆地类型和结构上都存在着可比性,但是盆地后期构造运动较强,局部隆起和断裂对深盆地气藏的影响较大。

### 3 深盆地气源岩条件

楚雄盆地上三叠统烃源岩为一套海相和海—陆交互相含煤地层,以灰黑、深灰、灰绿色的泥岩、页岩为主,同时也有部分灰色、灰黑色灰岩、泥灰岩和少量碳质泥岩、页岩及煤。上三叠统烃源岩分布在盆地的不同区块。云南驿组和罗家大山组一、二段的碳酸盐岩类和泥质岩类烃源岩,主要位于西部逆掩推覆构造带,目前深埋于地腹。云南驿组烃源岩厚约200~600 m,罗家大山组一、二段厚约数百米。干海资—舍资组的烃源岩在盆地东部发育,西部冲断带没有沉积,厚度约10~1 037 m。总的来看,楚雄盆地上三叠统烃源岩在全盆呈现出以乌龙口和楚雄为中心向四周呈环带状变薄的特点(图1)。上三叠统烃源岩干海资—舍资组有机碳介于0.30%~4.16%,多数样品低于0.8%,氯仿沥青“A”介于 $13 \times 10^{-6}$ ~ $116 \times 10^{-6}$ ,罗家大山组源岩有机碳0.41%~5.32%,氯仿沥青“A”介于 $13 \times 10^{-6}$ ~ $137 \times 10^{-6}$ ,云南驿组源岩有机碳为0.55%,氯仿沥青“A”为 $27 \times 10^{-6}$ ,有机质丰度相对较高,但各组段差别较大,反映出晚三叠世各地生物的发育程度不同、沉积相带不同和后期热演化程度不同。上三叠统煤系有机质母质来源主要以高等植物为主,灰岩、泥岩的有机质既有高等植物来源,也有大量水生生物输入,呈现出多种类型有机质共存的特征。

从盆地上三叠统镜煤反射率分布来看(图1),盆地上三叠统烃源岩的热演化整体上具有西高东低,南高北低的特点,呈现出以乌龙口—楚雄一带为中心,向四周呈环带状变小。 $R_o$ 值介于0.65%~5.0%之间, $T_{max}$ 高达470~600℃,说明烃源岩整体上热演化程度较高。具体来说,现今云南驿组烃源岩 $R_o$ 值高2.07%~5.86%之间,有机质已经处于过成熟大量生成气阶段;罗家大山组烃源岩在西部逆冲推覆区和南部次坳区, $R_o$ 值介于1.12%~2.09%之间,有机质处于成熟—高成熟油气生成高峰阶段;干海资—舍资



烷18.88 m/t,二氧化碳 10.8 m/t。东部一平浪煤矿相对瓦斯涌出量为 4.78~11.99 m/t,西部弥渡栗子园煤矿相对瓦斯涌出量为 15m/t。

可见楚雄盆地上三叠统烃源岩分布广、厚度大,有机质丰度高,类型多样,热演化程度高,为深盆气藏的形成提供了充足的气源基础。

#### 4 深盆气的储集条件

楚雄盆地上三叠统储层以砂岩为主,尤其是河道砂体和三角洲前缘砂体可成为好的储集砂体,目前所见的含沥青砂岩多为分选较好的细粒砂岩和粉砂岩,沥青充填于粒间孔隙中。上三叠统砂岩厚度分布基本表现为西厚而东薄的特征,祥云—三街地区砂岩厚度 1 000~2 600 m,盆地主体厚度 600~1 000 m,东部边缘厚度 100~600 m。干海资—舍资组砂岩在西部地区厚度 200~900 m,盆地主体厚度 200~400 m,东部边缘厚度 100~600 m。砂岩成分成熟度和结构成熟度基本表现为西低东高的特征,西部岩性以岩屑砂岩和富岩屑砂岩为主,分选中—差,而东部岩性以长石砂岩和石英砂岩为主,分选中等—较好。砂岩物性变化较大,基本表现为西高东低的特征,西部露头砂岩孔隙度平均一般 3%~18%,渗透率 $(0.01\sim 19)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ;东部露头砂岩孔隙度平均一般 3%~8%,渗透率 $(0.01\sim 10)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

盆地主体北部乌龙口构造乌龙 1 井三叠系钻遇砂岩层 87 层,累计厚度达 375 m,砂岩百分比为 25%。乌龙 1 井取心 14 次,砂岩心长 18.98 m,据 23 块无裂缝样品物性分析,孔隙度最大值为 2.55%,最小值为 0.11%,平均值为 1.08%;渗透率最大值为  $0.011\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,最小值为  $0.0016\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均值为  $0.0054\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。乌龙 1 井上三叠统舍资组和干海子组砂岩可能储集空间类型为溶蚀孔、洞、缝。钻井取心见某些致密砂岩的岩心十分破碎,发育多组不同方向的半充填裂缝,缝宽 0.3~1.2 cm。裂缝充填物为石英、方解石、闪锌矿和菱铁矿等,裂缝孔隙度估计 1%~3%。

盆地主体上三叠统储层以河流三角洲相沉积为主,预测深盆地孔隙度一般 1%~3%,渗透率 $(0.01\sim 0.1)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,储集空间以裂缝为主,砂岩孔隙次之。可见该区砂岩均属致密砂岩储层,可与四川盆地上三叠统产气致密砂岩储层相比<sup>[19]</sup>。该区储层孔隙类型有粒间剩余孔、粒间孔及裂缝,包括构造缝、成岩缝及溶蚀缝。另有杂基内微孔、岩屑内微孔。孔隙结构变化大,以小孔喉为主。虽然盆地主体储层已进入超致密阶段,但对于深盆气仍是十分有效的储层。

#### 5 深盆气的生成、运移与聚集

陆源有机质在整个热演化过程中均有天然气生成,而且煤系源岩在热演化过程中以产气为主。楚雄盆地乌龙口构造上三叠统时温埋藏史研究表明,三叠系烃源岩在晚侏罗世中期达到生油高峰(主要是泥质类源岩),早白垩世中期至晚白垩世中期主要为湿气生成阶段,其后进入干气大量生成时期(图 2)。不同层位不同地区的生烃演化程度存在一些差异,进入生烃高峰时期不尽相同,因此楚雄盆地上三叠统源岩可能发生过多期烃类大量生成。

燕山期前,绝大部分地区烃源岩早已进入生烃高峰,有效源岩的有机质以 II~III 型为主,生成大量烃类气体。楚雄盆地由于地温梯度低,烃源岩进入生油期是在埋深达 3 000 m 以后,在进入生油期前烃源岩集中分布的上三叠统及上覆下侏罗统(泥岩为主)已基本压实,泥质岩已具备较好的封盖条件。气源岩中最初含有大量的水,随着气源岩的逐渐成熟,生成的天然气不断在源岩中富集,并在压实作用下将水慢慢排出。早白垩世末烃源岩进入生烃高峰,烃源岩中的油气由于受热膨胀作用、压实作用和粘土矿物转化释放水的作用,进入储集岩,完成油气的初次运移。上三叠统源岩至燕山期后生烃潜力大部分被消耗,干海资—舍资组演化程度总体相对要低,成为其后主力气源岩。但之前生成的大量烃类(天然气)有部分溶解于水中,喜山运动使盆地抬升时,溶解有大量天然气的地下水减压脱气,也可进一步供气。

燕山期各构造圈闭充注情况存在差异。牟定、果纳及会基关离主要供烃区远,供气充足程度较差,帽台山、乌龙口离主要供烃区较近,供气较足,充注较好,大姚构造落在主力供烃区,供气非常充足,充注最好。

在三叠系砂岩中含有较多的有机包裹体,主要为有机气体和沥青包裹体,分布于石英颗粒的自生加大边和微裂隙中。在新钻的乌龙 1 井三叠系舍资组顶部的裂缝石英脉中,包裹体较少且较小,最大为 20  $\mu\text{m}$ ,最小的小于 3  $\mu\text{m}$ ,形态有椭圆形、矩形和不规则状等,以气液水包裹体为主,气液比为 2%~5%,其次为液相水包裹体。均一温度分为两组,一组均一温度平均为 185.9  $^{\circ}\text{C}$ ,变化范围在 174~199  $^{\circ}\text{C}$  之间,另一组均一温度平均为 165  $^{\circ}\text{C}$ ,变化范围在 161~167  $^{\circ}\text{C}$  之间。同时在井深 3 855 m 的舍资组石英加大边中也见有包裹体,主要为液相包裹体,次为气液包裹体。包裹体形态多为蠕虫状和不规则状,大小为小于 3  $\mu\text{m}$  到 20  $\mu\text{m}$ ,气液比为 1%~3%。均一温度平均为 126.9  $^{\circ}\text{C}$ ,变化范围在 108~157  $^{\circ}\text{C}$  之间。从烃类流体包裹体的

产状及均一温度范围可以看出,三叠系源岩至少有过三期为主的烃类注入储层过程。

结合时温埋藏史分析,第一期油气充注持续整个晚侏罗世,由于三叠系舍资组顶部烃源岩中侏罗世中期开始生油,早白垩世早期达到生油高峰,晚白垩世中期生油基本结束,这阶段源岩生成以油为主的烃类,同时由于早期南北向构造圈闭的形成较晚,不利于油气聚集,该期天然气充注程度不足,故在流体包裹体中见以液相包裹体为主,气液包裹体为次的特征。第二期充注发生在早白垩世末—晚白垩世早期,这阶段源岩正处于高成熟生成大量湿气阶段,早期形成的构造圈闭此时均可成为有利聚集场所,油气充注程度高,是深盆气藏形成的重要时期。第三期充注发生与第二期后不久,持续时间大约相当于晚白垩世中期—早第三纪中期,此阶段跨越了源岩高成熟大量生成湿气及过成熟大量生成干气阶段,也是深盆气藏的重要充注成藏期(图 2)。

### 6 深盆气保存成藏条件

深盆气经历了聚气排水与运移聚集形成原生深盆气藏后,便进入了改造与保存成藏期。改造深盆气藏的主要方式有三种,其一是气藏压力若超过储层和气源岩的破裂强度,就会产生裂缝,如果再加上断裂作用,深盆气就会沿着这些裂缝或断裂垂向运移,并在更浅地层中聚集;其二是深盆区的构造形变和整体抬升,构造格局的变化一般不会对深盆气的保存产生较大影响,只有当扩散作用十分强烈,深盆气藏才会破坏;其三水动力环境对深盆气藏的保存至关重要,活跃的水动力环境可导致原生深盆气藏的破坏。

该区深盆气藏的形成与印支—燕山期和喜山期构造运动密切相关。当西部上三叠统烃源岩成熟时,上覆层位都已沉积了巨厚的下侏罗统泥岩作区域盖层。随着上覆地层加厚封盖性逐渐增强。自晚三叠世晚期至早白垩世晚期,盆地基本上持续沉降。盆地主要受

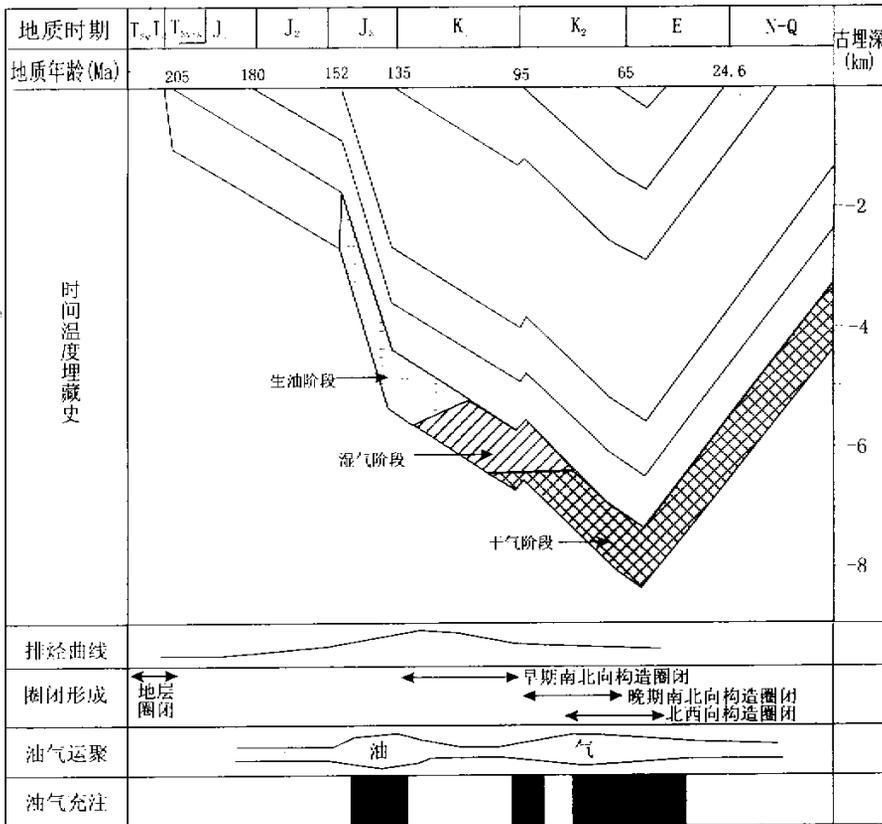


图 2 楚雄盆地上三叠统深盆气成藏条件演化图

Fig. 2 Comprehensive chart showing the forming conditions of deep basin gas reservoirs

到向东挤压应力控制,西部上三叠统油气有向东运移的趋势,盆地主体上三叠统已深埋地腹,有利于油气富集成藏。燕山早期区域构造应力有短期逆转,并产生由东向西的挤压造成地层褶皱抬升,侏罗系遭受部分剥蚀。燕山晚幕盆地整体沉降,接受了晚白垩世—古新世砂泥岩夹膏盐沉积。由于上三叠统未抬升到地表,其上尚有大套泥岩作封盖层,并未对油气藏构成明显的破坏作用。可见印支—燕山期上三叠统由于区域构造应力主要为由西向东挤压,有利于深盆区油气的保存。

喜山早期由西向东的挤压加剧,前缘发生冲断,并使盆地主体部分发生褶皱和断裂,但此时上三叠统和侏罗系仍被深埋,具有较好的封盖性,仅在断裂发育区,上三叠统中的油气有突破下侏罗统封盖层,在上部地层中重新聚集或成藏的可能。从盆地整体来看,由西向东的强烈挤压既有利于西部生烃拗陷的油气向盆地主体部位运移,更可使深盆区油气的储集条件得到改善,特别是深部次生孔隙的形成和裂缝系统的发育。喜山运动晚期,盆地整体抬升遭受剥蚀,但盆地主体仍大面积保留了三叠、侏罗系地层,北部尚有白垩系及下第三系地层。这说明楚雄盆地上三叠统在喜山运动改造后仍存在深盆气藏的保存条件。

楚雄盆地源岩热演化程度较高,现今全盆地 $R_o$ 均大于1.3%,煤系源岩产烃能力多数在5 kg/t岩石以上。从原始深盆气的成藏观点来看,楚雄盆地上三叠统形成了一个几乎覆盖全区的特大型深盆气藏。原始深盆气形成以后,便进入了深盆气的改造阶段。影响深盆气分布的主控地质因素有源岩条件、供气充足程度及构造运动和水动力条件等,综合这些因素可将楚雄盆地分为深盆气分布区、气水过渡带和上倾含水区等三个区带(图3)。

预测上倾含水区主要是盆地周缘,三叠系出露的地区。这些地区水文地质开启程度较高,处于地下水的自由交替带,地表水的扰动使原生深盆气发生破坏,不利于深盆气保存。从温泉的分布和水化学性质也可反映水文地质开启程度。盆地南部上三叠统产出的低—中温温泉主要集中分布于祥云至三街一带和大红山凸起,该带的温泉水循环深度达千米,水型以重碳酸钠型为主,盆地北部上三叠统有零星的低温温泉,分布宾川和元谋周边地区,水型也多为重碳酸钠型,属自由交替带淡水。水文地质开启程度较高的区块还有西部平川推复带,三街断褶带、大红山凸起及北部和东部上三叠统出露区。气水过渡带主要分布于盆地侏罗系覆盖地区,该区温泉不发育,水文地质开启程度低,推测水型为氯化镁型。而预测深盆气区主要是盆地腹部上三

叠统覆盖区,源岩最大产烃能力可达7 kg/t岩石以上,是气态烃的主力分布区。盆地西南部上三叠统地层中方解石脉(早期)中见盐水包裹体,盐度达19.7~21.2wt%(NaCl),石英脉(晚期)中的盐水包裹体,盐度为5.7~6.0wt%(NaCl)。两期盐水包裹体中均有有机包裹体伴生,包裹体盐度说明盆地在最大埋深期时具备优良的整体封存条件。在喜山早期强烈形变的盆地南缘上新世末地层水矿化度降至60g/l,但对比同期的永仁侏罗系和永胜泥盆系矿化度(分别为71~81g/l,52~75g/l),纵横向上都相当稳定,说明边缘虽有水的交替,但在大的区域为交替停滞带,仍保存完整的封闭体系。现今泄水区新平嘎洒江边温泉,水矿化度6.19g/l,Cl<sup>-</sup>含量为2442mg/l,虽然出水处有地表水的强烈干扰,但矿化度仍然属于交替停滞带范围,说明楚雄盆中部仍有较完整的整体封存条件。总体上盆地大范围仍处于交替停滞带,弱的水动力条件加上致密的砂岩储层等因素有利于深盆气藏的保存,即使在喜山运动改造后仍大面积存在整体封存条件。

## 7 结论

(1) 楚雄盆地上三叠统烃源岩为一套海相和海—陆交互相含煤地层,在盆地中广泛分布,厚度大,源岩有机质丰度相对较高,呈现出多种类型有机质共存的特征,烃源岩整体上热演化程度较高,现今全盆地 $R_o > 1.3%$ ,各组段源岩在不同地区演化程度虽有差异,但总体上都于高成熟—过成熟大量生气阶段。上三叠统主体为河流三角洲相沉积,储层以砂岩为主,砂岩厚度大,物性变化较大,以低孔隙度、低渗透率、高含水饱和度和细小喉道为特征,储集空间以裂缝为主,孔隙次之。源岩处于储层之中,对深盆气的聚集和富集成藏十分有利。

(2) 三叠系气烃源岩在晚侏罗世中期达到生油高峰,早白垩世中期至晚白垩世中期为湿气主要生成阶段,其后为干气生成期。三期主要的深盆气充注分别为晚侏罗世、早白垩世末—晚白垩世早期和晚白垩世中期—E中期,其中后两次是深盆气藏的重要充注成藏期。

(3) 印支—燕山期的挤压未将上三叠统抬升到地表,加上大套泥岩封盖,未对深盆气藏构成明显破坏。喜山早期的强烈挤压使深盆区油气的储集条件得到改善,喜山运动晚期,盆地主体仍大面积保留了三叠、侏罗系地层,北部尚有白垩系及下第三系地层。晚三叠世—燕山晚期盆地处于构造活动相对稳定环境,水文地质开启程度低。喜山运动早幕形成盆地周边大范围供水区,但此时上三叠统一侏罗系地层已十分致

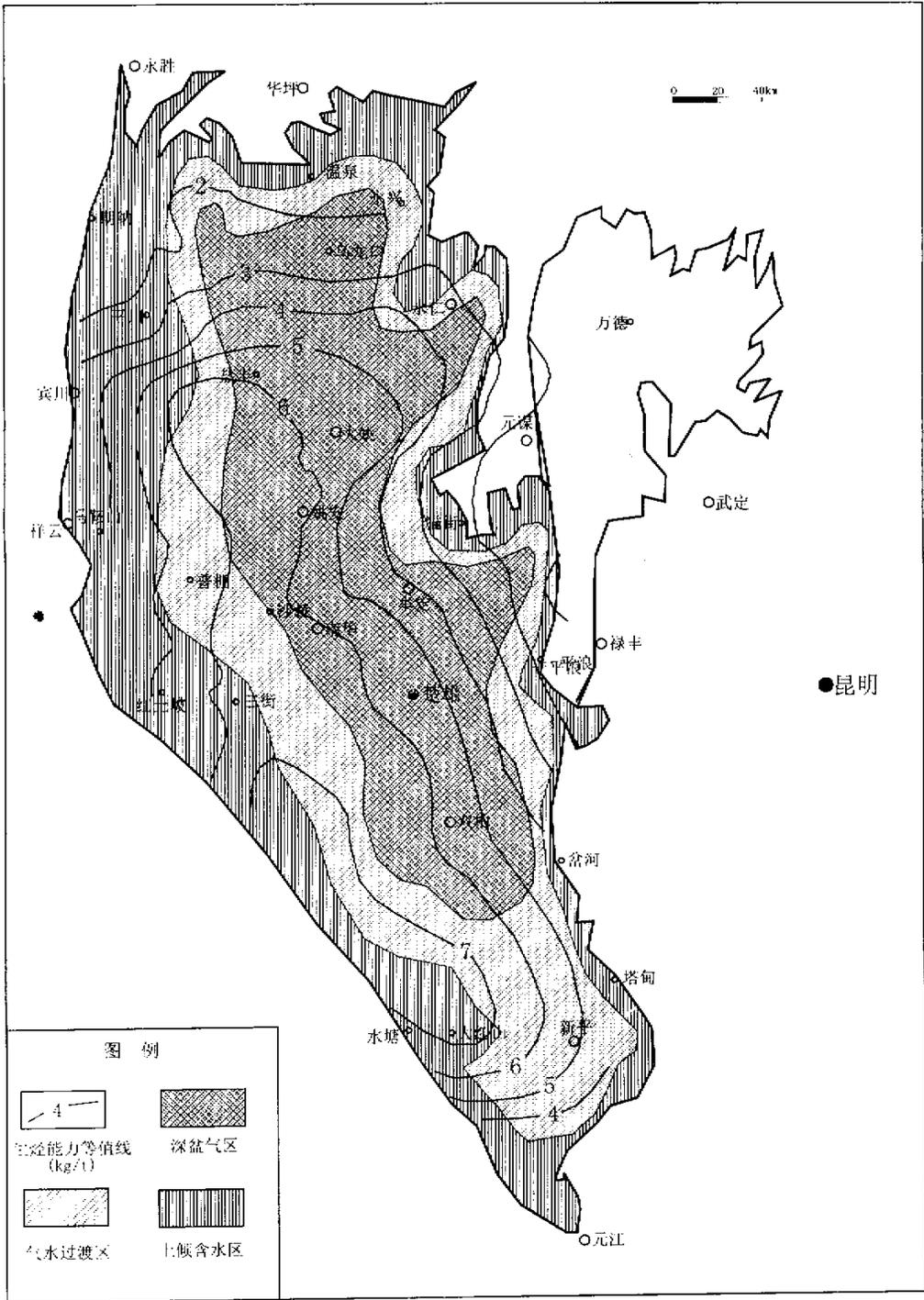


图 3 楚雄盆地上三叠统深盆地气分布预测图

Fig.3 General distribution of possible deep basin gas accumulation in the Upper Triassic Reservoirs of Chuxiong Basin

密而且断裂以压性和压扭性为主,水自由交替带和交替缓慢带不可能很宽,盆地主体侏罗系覆盖区上三叠统乃至下侏罗统地层仍处于地下水交替停滞带,有利

于深盆地气保存。

致谢 研究工作得到河南石油勘探局袁政文教授的大力支持和帮助。参加研究工作的还有中国石油勘

探开发研究院天然气室洪峰同志和西北大学地质系张金功副教授等多位同志,在此表示衷心感谢。

### 参考文献 (References)

- Masters John A. Deep Basin Gas Traps, Western Canada [J]. AAPG Bulletin, 1979, 34(2):152~181
- Berkenpas P G. The Milk River shallow gas pool: role of the updip water trap and connate water in gas production from the pool [J]. SPE, 1991, 229(22):19
- Cant D J, Ethier V G. Lithology - dependent diagenetic control of reservoir properties of conglomerates, Falher Member, Elmworth field, Alberta [J]. AAPG Bulletin, 1984, 68:1045~1054
- Cant D J. Spirit River Formation-a stratigraphic-diagenetic gas trap in the Deep Basin of Alberta [J]. AAPG Bulletin, 1983, 67:577~587
- Cant D J. Diagenetic trap in sandstones [J]. AAPG Bulletin, 1986, 70(2):155~166
- Law B E, Dickinson W W. Conceptual model or origin, of abnormally pressured gas accumulation in low-permeability reservoirs [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(8):1295~1304
- Law B E. Thermal Maturity patterns of Cretaceous and Tertiary rock, San Juan basin, Colorado and New Mexico [J]. The Geological Society of America Bulletin, 1992, 104(2):192~207
- McMasters G E. Gas reservoirs, Deep Basin, Western Canada [J]. The Journal of Canadian Petroleum Technology, 1981, 20(3):52~66
- Rice D D, et al. Nonassociated gas potential of San Juan Basin: considerable [J]. Oil & Gas Journal, 1990, 88(33):50~61
- Rose P R, et al. Possible basin centered gas accumulation, Raton basin, Southern Colorado [J]. Oil & Gas Journal, 1984, 82(October):190~197
- Spencer C W. Hydrocarbon generation as a mechanism for overpressuring in Rocky mountain region [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(4):368~388
- Masters J A, ed. Elmworth-Case study of a Deep Basin gas field [C]. AAPG Memoir 38, 1984
- 林子子, 张金亮. 深盆地——天然气勘探的新领域, 石油科技理论与应用新进展 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996. 1~5 [Lin Renzi, and Zhang Jinliang, Deep basin gas trap-a new realm for prospecting for natural gas, in Developments in Petroleum Science [M]. Xi'an Shaanxi Science and Technology Press, 1996. 1~5]
- 袁政文等. 阿尔伯达深盆地研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 1~14 [Yuan Zhengwen, et al. Study on deep basin gas accumulations in the Alberta basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. 1~14]
- 张金亮, 常象春, 张金功. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆地气藏研究 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4):30~35 [Zhang Jinliang, Chang Xiangchun and Zhang Jingong, Deep basin gas trap in Ordos basin [J]. Petroleum Exploration and Development 2000, 27(4):30~35]
- 张金亮, 张金功, 洪峰等. 中国中部深盆地气成藏机制及潜力评价 [A]. 见: 宋岩等主编. 天然气地质理论及应用 [C]. 北京: 石油工业出版社, 2000. 17~30 [Zhang Jinliang, Zhang Jingong, Hong Feng, Formation mechanism and resource potential of deep basin gas in central China [A]. In: Geological Theory of Natural Gas and Its Application [C]. Beijing: Petroleum Industry Press 2000. 17~30]
- 张金亮, 张金功. 深盆地气藏主要特征及形成机制 [J]. 西安石油学院学报, 2001, 16(1):1~7 [Zhang Jinliang, Zhang Jingong. Basic characteristics of deep basin gas trap [J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute 2001, 16(1):1~7]
- 吴崇筠, 薛叔浩等. 中国含油气盆地沉积学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992. 328~333 [Wu Chongyun, Xue Shunao. Sedimentology of petroliferous basins in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992. 328~333]
- 罗启后, 王世谦. 四川盆地中西部三叠系重点含气层系天然气富集条件研究 [J]. 天然气工业, 1996, 16(增刊):40~54 [Luo Qihou, Wang Shiqian. Research on natural gas enrichment conditions of the main coal-bearing strata of Triassic in the center-west part of Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, supplementary issue, 1996, 16(Suppl.):40~54]

## Deep Basin Gas Accumulation in the Upper Triassic of Chuxiong Basin

ZHANG Jin-liang<sup>1</sup> CHANG Xiang-chun<sup>2</sup> LIU Bao-jun<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Ocean University of Qingdao, Qingdao Shandong 266003)

(<sup>2</sup>Shandong University of Science and Technology Qingdao Shandong 266500)

**Abstract** Depositional settings of the upper Triassic of Chuxiong basin are favorable for the deep basin gas accumulation. The fluvial and deltaic deposits constitute the dominated reservoir in the deep basin. The numerous and mature coal beds and organic-rich shales associated intimately with reservoir rocks throughout the deep basin provide a prerequisite for deep basin gas accumulation. Gas has the tendency to be trapped in the deepest part of the basin and probably occupies low permeability reservoirs extensively. Gas generated in source rocks, moved into the adjacent sand layer and then slowly migrated updip. The filling process of deep basin gas lasted from the late Cretaceous to mid-Tertiary time. Gas may be located downdip of an aquifer which outcrops in basin margins. The gas accumulation of the upper Triassic of Chuxiong basin is predicted and interpreted based on the trapping mechanism of deep basin gas reservoir. The distribution of deep basin gas accumulation in the basin is described according to the key parameters controlling the ultimate trapping.

**Key words** deep basin trap, tight sand, trapping mechanisms, Upper Triassic, Chuxiong basin