

# 柴达木盆地 第四系生物气藏的形成与模式

顾树松\*

(青海石油管理局)

**摘要** 柴达木盆地东部第四系烃源岩有机质含量低,盖层质量差,但却形成了高产生物气田,研究其成因具有重要的理论和实际意义。研究表明,气田的形成主要具备4个有利地质条件:①在区域上,由于印度板块向北挤压和青藏高原的隆升,使盆地产生西高东低的差异性升降,致使在很短的第四纪中快速沉积了3 100 m湖、沼相地层,为气田的形成提供了烃源岩和储集层;②烃源岩有机质含量低,但厚度大,且由于快速沉积于寒冷、高盐度的水体中,从而抑制了甲烷菌在浅表层的活动和生物气的早期溢散;③泥岩盖层虽有较大孔隙度和一定渗透性,但由于气层压力低,小于泥岩突破压力,因而仍具封盖性,特别是泥岩盖层富含盐水和粘土矿物易于膨胀和本身生气使烃浓度增加等,加大了盖层的突破压力,使之成为有效盖层;④随着印度板块的向北挤压,在第四系中形成了许多同沉积构造,为生物气的富集提供了场所。

**关键词** 柴达木盆地 东 第四纪 生物气 生储盖组合 气藏形成

柴达木盆地位于青藏高原的东北缘,为一中、新生代大型内陆山间盆地。盆地四周为高山环抱,西北为阿尔金山,东北为祁连山,南邻昆仑山,东侧以德令哈、香日德一带的察汗寺为界,面积 $12.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,海拔在2 600~3 600 m间。地形总体呈西北高、东南低,边缘高、中间低的面貌。

柴达木盆地东部地区是指西起落雁山和鸭湖构造一带,东至霍布逊湖,北界陵间—黄泥滩—埃南断裂,南迄格尔木—诺木洪断裂的地区,面积 $3.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ (见图1)。本区已发现第四系原生的生物气田5个,气层埋深在65~1 738 m间,天然气地质探明储量达数百亿立方米。这些气田具有较高的丰度和高产的特点,在国内外尚属少见。因此,对其成藏条件进行深入研究,在理论上和实际上均有重要意义。

## 区域构造背景

柴达木盆地位处古亚洲构造域南缘,西北与塔里木古地块接壤,其南紧邻特提斯—喜马拉雅山构造域。由于特提斯洋壳向北挤压和多次俯冲,导致第三纪始新世末印度板块与欧亚板块的碰撞和青藏

高原的大幅度崛起(相当于早期喜马拉雅山运动),致使柴达木盆地南缘的昆仑山与西北的阿尔金山随之迅速上升,盆地相对沉降而开始了第三系渐新统的拗陷性沉积。但随着青藏高原的持续隆起和盆地隆升幅度西大、东小的差异,使第三纪不同时期的沉积中心由西向东逐渐转移。进入第四纪后,沉积中心已迁移至盆地东部现今的三湖地区,形成了第四系的拗陷性沉积(见图2)。在第四纪短短的3.05 Ma的地质历史中,就快速沉积了厚达3 100 m以上的第四系。其中下更新统中上部为一套上千米富含有机质的、以暗色泥质岩为主的半深湖—浅湖相沉积,为该区第四系气藏的形成提供了物质基础。

## 成藏地质条件

油气藏的形成必须具备生、储、盖、圈、运、保等6个成藏要素的良好配置,其中生、储、盖条件主要由沉积条件所控制,圈、运、保成藏要素主要受构造运动所制约。柴达木盆地东部第四系气藏的形成,由其生、储、盖层独特的沉积条件及质量所决定。

### 1. 生储盖层沉积条件

第四系下更新统沉积初期,由于湖盆面积尚小,

\* 顾树松,1933年生,教授级高级工程师,青海石油管理局总地质师;1952年毕业于西北大学地质系;长期在柴达木盆地从事油气勘探、研究和管理工作;发表论文28篇,撰写科技报告10份,主编出版专著2本,有多项成果获省、部级一、二、三等奖;1992年批准为国家级有突出贡献的专家。地址:(214221)江苏省宜兴丁蜀镇公园路青海石油太湖疗养院。电话:(0510)7408486。

湖水较浅, 沉积岩以浅灰色砂质岩和泥岩为主, 夹少量碳质泥岩, 基本上无气源岩存在。但当进入早更

新世中期, 湖盆已进入整体稳定沉降阶段, 湖盆扩大, 水体加深, 在此期间尚有多次波状运动存在, 小

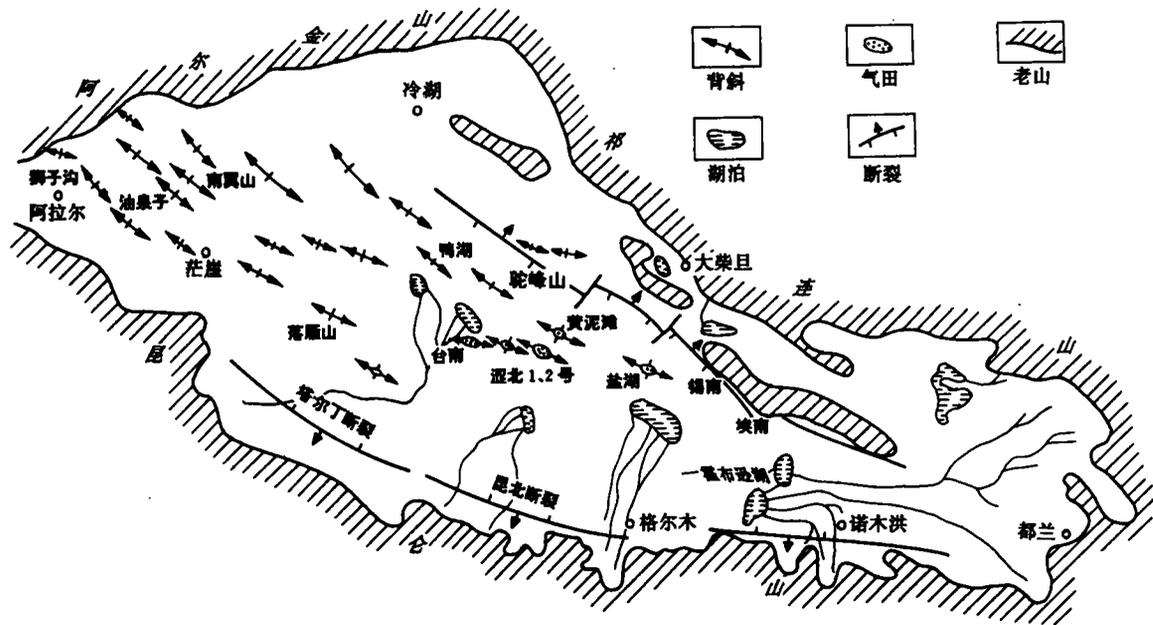


图1 柴达木盆地气田及构造分布概图  
Fig.1. Distribution of gas fields and structures in Chaidamu Basin.

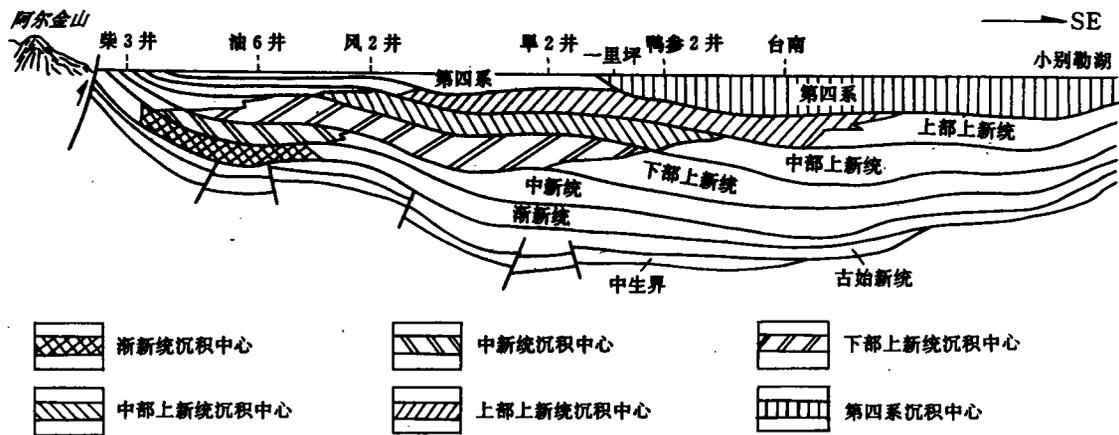


图2 柴达木盆地新生代沉积中心迁移图  
Fig.2. Migration of Cenozoic depositional center in Chaidamu Basin.

型湖退、湖进时有发生, 致使本阶段有千米左右的地层沉积于半深湖—浅湖相环境。岩性较下更新统下段为细, 其中深灰色及灰色泥岩为半深湖相沉积, 占总厚的70%; 砂质岩以浅灰色粉砂岩为主, 泥质粉砂岩和细砂岩次之, 属滩沙、坝砂和席状砂的沉积物。泥质岩为气源岩, 砂质岩为储集层, 二者形成不等厚间互层。在此互层中, 作为气源岩的泥岩, 对其下伏的储集层来说, 又是它的直接盖层。因此, 本阶段的沉积形成了多套生、储、盖层, 为气藏的形成提

供了理想的、“自生、自储”的成气组合。目前, 盆地东部的第四系气藏均分布于本段地层中。进入早更新世后期, 随着青藏高原的持续隆升和古气候的干旱, 湖盆渐趋萎缩, 湖水变浅, 陆源碎屑补给减少, 岩性进一步变细, 地层盐度增加, 向上并有较多盐层出现, 从而在总体上成为下伏气藏的区域盖层。

### 2. 生储盖层质量

#### (1) 储集层

由于第四系的时代新, 压实作用小, 尚处于岩化

初期,所以储集层虽然粒级偏细,但仍有较大的孔隙度和渗透率,可作为理想的储气层。如经过上百个岩心样的分析结果,气藏储集层的平均孔隙度达31%,渗透率一般都大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,部分可大于 $1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,储渗条件很好。

### (2)气源岩

大量的分析资料表明,本区第四系气源岩有机质含量较低,平均仅0.3%,氯仿沥青“A”平均100 mg/L,总烃平均值为292 mg/L,显然属较差的气源岩。但从目前所发现的台南和涩北1、2号气田来看,却有着较大的气储量和产能。对于这一问题通过研究认为:本区低丰度的气源岩,由于具备了一些特定的地质条件,从而形成了较大的生气潜力。其地质条件主要有下列4方面:

①有较大的气源岩厚度,在一定程度上弥补了气源岩有机质丰度的不足。因第四系成岩作用甚小,有利于烃类在纵向上作较大距离的运移和富集。

②第四系沉积时,柴达木盆地由于海拔较高和纬度偏大等原因,气候寒冷,这可由盆地边缘存在较多冰川、冰斗和冰碛石等情况,以及众多隶属干旱、寒冷气候下的孢粉属种所证实。由于气候严寒,有力地抑制了甲烷菌在沉积后浅表条件下的活动,不致使有机质过早被甲烷菌分解和溢散。这一认识可由炎热气候的海南省琼山和寒冷气候的柴达木盆地现代湖泊样品的实践所证实。

③柴达木盆地第四系沉积于咸水湖的环境下,有利于有机质的早期保存,这亦可由近代不同盐度湖泊中取样的分析结果获得证明。又如盆地东部生气凹陷北坡有代表性的第四系剖面中,岩石含盐量测定结果,驼峰山、涩北2号和台南等气田的气源岩井段,地层含盐量平均各为18.37%、16.54%和27.25%,都达到了湖泊分类的盐水标准,并与海水的盐度相近似。这对抑制有机质浅埋进入厌氧环境即可开始厌氧生化产气作用十分有利,这由盆地不同盐度样品进行模拟实验结果,随含盐量增加与生气潜量呈正相关关系获得证实。

④快速沉积有利于生物气的保存。柴达木盆地东部在第四纪短短的3.05 Ma地质历史时间内,迅速沉积了厚度大于3100 m的地层,年沉积速率达1 mm左右。由其快速沉积所造成的还原环境,即可减少有机质被氧化破坏的机会,有利于有机质在气源岩中保存,这在国外亦有较好的实例。例如由加拿大的大马南海盆地浅层取心表明,同为埋深2 m的岩心,在其他条件基本相同的情况下,沉积速度为134厘米/千年的岩心中,甲烷含量可达21800

mg/L;而另一沉积速度为20厘米/千年的岩心中,甲烷含量仅为30~40 mg/L,前者含量较后者高500倍,充分说明高的沉积速率,有利于甲烷在浅表层条件下的保存。

综上所述,以上论证即可为柴达木盆地东部第四系气源岩有机质丰度虽然偏低,但仍能形成丰度较高的气田提供了依据。

### (3)盖层质量评价

气体较油具有更大的流动性,因此,从成藏角度考虑,气藏的盖层质量更为油气地质工作者所重视。作为盆地东部第四系气藏盖层的泥质岩,据分析结果,其孔隙度一般为24%~32%,在主要气藏分布井段泥质岩的平均孔隙度在26%左右,干样渗透率一般在 $0.5 \times 10^{-3} \sim 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 间。主要孔径集中在 $0.015 \sim 0.16 \mu\text{m}$ ,比表面参数较小,平均 $16.3 \text{ cm}^2/\text{g}$ ,说明在第四系高孔隙度的泥岩盖层中,又以偏大的孔隙为主。以上实测资料表明,第四系泥岩盖层对天然气只有很弱的封盖能力,属于质量很差的盖层。这一结论亦为排替压力的测量资料所证实。如对多块盖层岩样测量结果,排替压力一般只有0.29~2.45 MPa,平均仅1.02 MPa,很难封盖下伏气藏较高的剩余压力,但盆地东部气藏又是客观存在的。对此,通过研究认为,第四系泥岩可作有效盖层的原因主要有以下3方面:

①盖层对储层的封盖性是一相对概念,盖层排替压力虽小,但对其下伏具更小剩余压力的气层来说,也可成为有效盖层。因盆地第四系气藏属正常压力系数,剩余压力一般都小于1 MPa。因此,泥岩盖层只要有大于1 MPa的排替压力,对这些低压气藏来说,就是有效盖层。特别需要强调的是,在实际地层条件下,盖层的排替压力还远大于1 MPa。

②第四系中饱含 $15 \times 10^4 \sim 26 \times 10^4 \text{ mg/L}$ 的高矿化度地层水,这对增强盖层的封盖能力有3方面积极作用:一是增强泥岩的可塑性,抑制了裂缝的发生;二是由于亲合作用,造成粘土矿物体积的膨胀,致使孔隙变小,渗透率降低,增加了排替压力;三是增强毛细管的排替强度,从而减缓和抑制了天然气的溢散。

③本区作为第四系气藏直接盖层的暗色泥岩,同时又是气藏的气源岩,模拟实验证明,泥岩有机质的平均天然气发生率约为 $300 \text{ m}^3/\text{t}$ ,最大可达 $630 \text{ m}^3/\text{t}$ 。因此,作为盖层中的生物气,当其随烃浓度的增加而膨胀和扩散时,无疑又对下伏储层中天然气的向上运移和溢散产生相应的阻力,增强了泥岩盖层的封盖能力。

以上论述,为柴达木盆地东部第四系具有高孔隙度和一定渗透性的泥岩能成为有效盖层的问题,提出了可信的依据。

## 2. 圈运保条件

由于柴达木盆地所处的区域构造背景,决定了盆地东部第四系沉积处于南南西向的挤压应力场条件下,为此,在沉积同时即形成了较多的同沉积构造。如目前盆地东部所有第四系气田和构造,无不属于同生型背斜圈闭。同生构造的存在为天然气的运移和富集提供了理想的场所。因构造低部位较高部位具有较大的承压,为构造低部位高压区的烃类向高部位低压区的运移提供了指向与富集场所。

位处第四纪沉积中心的台南、涩北1、2号等气田,其构造两翼倾角均较平缓,一般小于 $3^\circ$ ,隆起幅度较小,构造完整,又无断层存在,且气藏上覆区域盖层厚达千米,具有很好的构造和保存条件,因而这些气田都有较大的储量和产能。但位于沉积中心北缘的驼峰山及盐湖气田,由于隆升幅度过高,区域盖层较薄或被剥蚀殆尽,且有较多断层存在,致使气藏后期遭受破坏,缺乏应有的保存条件,因而闭合面积各为 $151\text{ km}^2$ 和 $26.1\text{ km}^2$ 的盐湖和驼峰山气田,天然气地质储量仅 $1.87 \times 10^8\text{ m}^3$ 和 $0.55 \times 10^8\text{ m}^3$ 。说明一个气田的规模除取决于气源岩等条件外,后期的保存条件也是至关重要的。

## 第四系气藏模式

油气藏模式决定于成藏条件,盆地东部第四系气藏的模式主要受生、储、盖3个因素所制约,其中尤以封盖性较差的泥岩盖层起主导作用。

具有生储盖“自生、自储”式成气组合的第四系

下更新统中部地层,沉积于寒冷、高矿化度水体和快速沉积的条件下,受区域挤压应力场的影响,在沉积同时就存在着一系列的同生型背斜,气源岩内的有机质因具气候寒冷、含高矿化度地层水和快速掩埋等有利条件,在浅表层中因具上述有利因素而抑制了甲烷菌的活动、生物气的生成和溢散。只有当气源岩上覆沉积层达到一定厚度时,由于温度增加和高矿化度地层水的部分排出,甲烷菌才开始活跃和大量繁殖,并有较多生物气形成。其时同生型构造亦已形成,恰为生物气的运移与富集成藏提供了指向和场所。

作为盖层的泥质岩,由于压实作用和成岩性较差,存在着较大孔隙度和一定的渗透性,因而排替压力较小,无法承受气藏较高的剩余压力。当下伏气藏达到一定的高度和剩余压力大于上覆盖层的排替压力时,气藏内生物气又可通过盖层向上部的储层运移和富集,形成新的气藏。因此,这些质量较差的盖层,只有在其排替压力与下伏气藏剩余压力暂时获得平衡时才起作用,所以我们在此引入了动态平衡下相对盖层的概念。

由上盖层质量分析,由于地层压实和岩化作用在纵向上由下而上逐渐变小,因此,盖层也必然存在着由下而上排替压力逐渐变小的规律。由此导致盆地东部第四系生物气藏在纵向上下部具有相对较大的气柱高度和含气面积,向上气柱高度和含气面积逐渐变小的规律,形成天然气分布面积、地质储量由下而上呈宝塔状分布的特点。

(收稿日期 1995—11—10 编辑 李登湘)

## 四川石油地调处

### 裂缝性气藏转换波勘探方法研究达国际先进水平

由四川石油地调处所担负的《裂缝性气藏转换波勘探方法研究》项目,6月18日在成都通过中国石油天然气总公司专家组的评审。评审组认为,该项目课题组通过三年研究,已初步形成了一套适合山地地震转换波资料采集、处理、解释的方法和解释技术。并利用多波资料对碳酸盐岩裂缝性储层的各向异性进行研究,为今后山地多波多分量勘探奠定了基础。在软件开发研制和应用效果上总体达到国际先进水平。

裂缝性油气藏是四川探区的勘探重点。转换波(多波)勘探方法研究,是为其高难领域的勘探提供新的判别方法和手段。在四川探区,“六五”、“七五”期间已进行了卓有成效的研究。作为中国石油天然气总公司“八五”重点科技攻关项目,四川石油地调处研究所在上级和本单位的支持下,借助清华大学、西南石油学院等高校的科研力量,结合四川裂缝性油气藏的特点,在转换波的野外资料采集、资料处理、解释等方面都取得新的进展,为今后四川的裂缝勘探开辟了新的方向。

“九五”期间,这一研究将向纵深发展,可望在四川裂缝性油气藏勘探中取得较大的经济效益。

(屈永志)