文章编号 :1001-3873 (2001)05-0414-03

塔里木盆地凝析气藏形成的地质-地球化学条件

陈义才[1],杨宝星[1],李延军[2],郭秀英[2]
(1. 成都理工大学石油系,四川 成都 610059;2. 西南石油学院,四川 南充 637001)

摘 要 塔里木盆地凝析气藏数量多、分布广、储量大,是我国凝析气藏最富集的盆地。在凝析气形成机理及相态成因研究基础上,综合分析了塔里木盆地的成藏特征,并与四川、鄂尔多斯和吐哈等盆地进行对比分析,认为塔里木盆地凝析气藏具有两种形成机理三类相态成因的特征。盆地内富集凝析气藏的内在地化因素是不同类型烃源岩处于有利的热演化阶段,而晚期大幅度沉降和晚期气相运移聚集为凝析气藏的形成提供了重要的温压及保存条件。此外,油气的生成和聚集异步演化有利于过成熟干气富化为凝析气藏。

关键词 塔里木盆地;凝析气藏;地球化学特征;相态;油气聚集
中图分类号 :TE112.1 文献标识码 :A

塔里木盆地已在震旦系至上第三系的 9 个层系中发现了 70 多个凝析气藏,已探明的凝析气藏(包括凝析油)的地质储量几乎为油气藏总探明储量的 50%,其中海相成因的凝析气藏约 20%,陆相成因的凝析气藏约 30%. 海相凝析气藏主要分布在塔北隆起的轮南低隆地区和塔中地区,油气来源于寒武-奥陶系成熟-过成熟烃源岩,凝析气藏中甲烷碳同位素为-30‰~-40‰,乙烷碳同位素为-22‰~-27‰.

1 凝析气藏的形成机理及相态成因

1.1 凝析气藏的形成机理

凝析气藏的组成包括气态烃和液态烃,属于多组分混合烃体系。根据多组分烃体系的热力学原理,凝析气藏中的气态烃和液态烃要成为单一气相具有两种形成机理:逆蒸发作用和正常蒸发作用。

逆蒸发作用形成凝析气要求混合烃体系中的气态烃量大于液态烃。根据有关实验研究结果,当混合烃体系中气油比大于 800~1 000 m^3/m^3 时,随着温度和压力的升高,有利于液态烃在气态烃中溶解和蒸发。此外,在组成上要遵循相似相溶原理,气态烃中还必须具有较多的重烃组分(乙烷、丙烷、丁烷等)时才有利于液态烃的溶解和蒸发。

正常蒸发作用形成凝析气的过程,主要发生在混合烃体系中液态烃数量占主要地位时,随着地层温度、压力降低,气态烃以正常蒸发方式从油相中分离出来,同时,气态烃中将溶解部分液态烃而形成凝析气。

从凝析气的形成机理来看,无论是逆蒸发作用或者正常蒸发作用,混合烃体系的组成、地层温度、压力都起着重要作用。当混合烃体系中气态烃组成偏干或液态烃组成偏重(缺乏轻质液态烃)时,都不利于凝析气的形成。地层温度、压力增加不利于正常蒸发作用,而有利逆蒸发作用,但地层温度增加太大时,超过烃体系的临界凝析温度后又形成湿气;地层温度、压力降低有利于油相正常蒸发作用形成凝析气,但是温度、压力太低时,气态烃中携带的液态烃含量将减少,从而使气相体系又可能成为湿气或干气相。因此,凝析气的形成需要一定气油比的烃体系和较高的地层温度、压力。

1.2 凝析气藏的相态成因

根据凝析气的形成机理,在油气生成、运移聚集成藏过程中,随着烃体系组成、温度、压力的变化,烃体系在适当的环境下通过逆蒸发或正常蒸发作用可以形成初始型、分异型和富化型三类相态成因的凝析气藏。初始型凝析气藏是指烃源岩中生烃产物为凝析气相,并在以凝析气相运移聚集成藏过程中,烃体系的组成、相态基本保持初始状态的凝析气藏;分异型凝析气藏是指油相运移过程中,由于地层温度、压力降低,气态烃从油相体系中分离出来形成的凝析气藏;富化型凝析气藏是由低凝析油含量的凝析气或湿气、干气中混入一定数量的液态烃而形成的混合型凝析气藏。烃体系正常蒸发作用主要形成分异型凝析气

收稿日期 :2001-02-27
作者简介 :陈义才(1963-),男,四川彭州人,讲师,博士,主要从事石油地质研究与教学工作。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

藏，而逆蒸发作用主要形成初始型和富化型凝析气藏（图 1）。

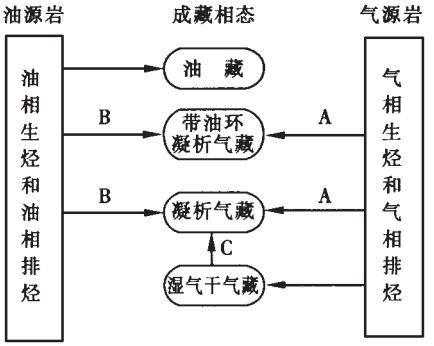


图 1　凝析气藏形成机理及相态成因示意

A—地层、温压变化较小，形成初始型凝析气藏
B—相体系正常蒸发形成分异型凝析气藏
C—干气混入液态烃逆蒸发形成富化型凝析气藏

综上所述，凝析气藏具有两种形成机理三类相态成因。因此，凝析气藏并非一定是烃源岩在凝析气阶段的形成产物。在适当的温压和成藏条件下，从低成熟到过成熟阶段中都可能形成不同机理、相态成因的凝气藏。塔里木盆地凝析气藏主要为初始型和富化型。初始型凝析气藏分布库车前陆和塔西南坳陷三叠系和侏罗系的腐殖型油气区；富化型凝析气藏分布在轮南低隆地区；塔中地区的凝析气主要是中上奥陶统烃源岩形成的腐殖型初始型凝析气藏和下古生界海相油型气形成的分异型凝析气藏。

2　塔里木盆地凝析气藏形成的地质–地球化学条件

2.1　有利的生烃阶段是凝析气形成的内在地球化学因素

从理论上讲，任何烃体系都可以成为凝析气相，但是在一般油气藏的地层温度、压力条件下，只有适当数量的液态烃和气态烃所组成的烃体系才能形成凝析气。塔里木盆地凝析气具有两种形成机理和三种相态成因，其中烃体系中液态烃和气态的相对数量关系仍然起着决定作用。当烃体系中液态烃数量太少时，烃体系的临界温度和临界凝析温度亦逐渐增加，一般正常油藏烃体系的临界温度为 300~450℃，挥发油藏、轻质油藏的临界温度为 200~300℃. 从热力学方面来看，随着温度增加可以使油相烃体系转变为凝析气，但一般钻井深度达不到相应的温度条件，而且地层温度太高又会使气态烃裂解。因此，从油气生成、演化机理来看，烃源岩母质类型和热演化程度是控制凝析油气生成的重要内在因素。

在烃源岩中，有机质类型的不同，凝析油气体系的生成阶段也不同。陈义才等[3]（999）对Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型有机质热模拟产物 PVT 相图计算分析，Ⅰ型（约旦灰岩样品）凝析油气生成的成熟度区间的镜质体反射率为 1.5%~2.0%，Ⅱ型（胜利通 23 井泥岩样品）为 0.9%~1.8%，Ⅲ型（四川褐煤）为 0.5%~1.8%. 塔里木盆地的下古生界烃源岩虽然大部分地区进入过成熟阶段，但中–上奥陶统和陆相侏罗系、三叠系烃源岩仍然在成熟–高成熟阶段，正处于凝析油气生成的有利阶段。

（）陆相侏罗系、三叠系烃源岩　塔里木盆地陆相烃源岩主要分布在库车坳陷和塔西南坳陷的侏罗系和三叠系，其中库车坳陷三叠系主要为湖相泥岩，侏罗系则以沼泽相煤系烃源岩为主。库车坳陷东部的阳霞凹陷主要发育侏罗系沼泽相煤系烃源岩，母质类型以Ⅲ型为主，富含富氢镜质体，镜质体反射率为0.7%~0.9%；坳陷西部的拜城凹陷既有侏罗系沼泽相煤系烃源岩，又有三叠系湖相泥岩，镜质体反射率一般为 1.0%~1.3%. 根据该区油气源对比研究结果，库车坳陷除依奇克里克原油属于典型煤成油外，其余大部地区都属于侏罗系、三叠系湖沼相成因，既有煤岩烃源岩的贡献，又有煤系泥岩以及湖相泥岩的贡献。

塔西南坳陷陆相烃源岩主要发育在中、下侏罗统，以沼泽–湖泊相泥岩为主，平面上主要分布在喀什凹陷、叶城凹陷、和田凹陷。喀什凹陷中、下侏罗统母质类型以$Ⅱ_1$为主，在叶城与和田凹陷母质类型变得稍差，为$Ⅱ_1$—Ⅲ型。塔西南坳陷中、下侏罗统烃源岩总体上都处于成熟阶段。根据油气分析结果，柯克亚凝析气田的油气来源主要与中、下侏罗统烃源岩有关。

（）塔中地区中、上奥陶统烃源岩　根据古生物学和有机岩石学研究结果[1)]，塔中地区中–上奥陶统泥灰质烃源岩中存在两类光性不同的有机显微组分亚相：一类是具明显黄色和褐黄色荧光的有机显微组分，主要由结构藻类体、层状藻类体和隐孢子组成；另一类是无或弱荧光的类似于镜质体的有机显微组分，主要由宏观藻类组成。核磁共振谱和热解色谱分析，证实前者为富氢有机组分，仍残留有大量脂肪碳；后者为贫氢有机组分，有机碳主体为芳构碳和短链脂肪碳，为腐殖型有机质。塔中北斜坡中、上奥陶统泥灰岩镜质体反射率为 0.98% ~1.05%，处于凝析油气大量生成阶段。油气源分析结果表明，塔中地区塔中 101

1）赵孟军，等. 塔里木盆地天然气分布规律及勘探方向，九五国家科技攻关项目（96-111-01-06）

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

井 (C$_{Ⅲ}$)凝析气藏的油气主要来源于中–上奥陶统宏观藻亚相质烃源岩,塔中 6 井 (C$_{Ⅲ}$)、塔中 401 井 (C$_{Ⅲ}$)等的凝析气为中–上奥陶统宏观藻亚相质烃源岩生成的天然气与油型伴生气的混合气。

2.2 温度、压力的升高是凝析气藏形成的重要条件

地层温度、压力是凝析气形成的重要外部因素。塔里木盆地在喜马拉雅运动期普遍接受了2 000~4 000 m 的康村组 (N$_1$k)、吉迪克 (N$_1$j)组沉积,地层温度随之而增加了 40~80℃,地层压力增加了 20~40 MPa,下伏油气储集层的地层温度和压力普遍升高了 1~1.5 倍。造成了目前塔里木盆地凝析气藏的上露点压力普遍较高,一般为 35~45 MPa,临界凝析压力一般为 40~50 MPa,现今地层压力为 40~65 MPa. 如果没有康村组、吉迪克组大幅度的沉降充填,那么现今凝析气藏的地层压力将会明显低于凝析油气体系的上露点压力 图 2)。因此,塔里木盆地晚期大幅度的沉降充填对凝析油气体系中液态烃的蒸发提供了重要的温度、压力条件。

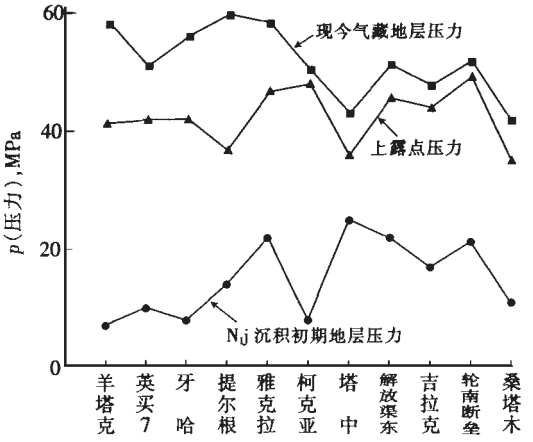


图 2 塔里木盆地凝析气藏露点压力与地层压力的对比

2.3 晚期气相运移、聚集有利于凝析气藏的保存

塔里木盆地油气经历了四个主要成藏时期[1,2],早期在晚志留世至泥盆纪,以形成中高密度原油的油藏为主,中期在二叠纪至三叠纪,以形成中密度原油的油藏为主,晚期的晚侏罗世到中新世和近期的上新世以形成轻质油、凝析气藏为主。在凝析油气体系中,甲烷、乙烷等气态烃的摩尔含量可高达 80%~90%以上,气态烃的分子半径较小,其扩散作用不仅影响凝析气藏的规模,而且也影响凝析油气体系的相态。由于塔里木盆地陆相和海相地层中的烃类以气相大规模运移都发生燕山运动晚期—喜马拉雅运动期,气态烃的扩散作用时间相对较短,而且储集层埋深相对较大,一般已超过 2 000~3 000 m,在压实作用下,盖层封闭性进一步加强,有利于凝析气藏的保存。

2.4 生聚异步演化有利于过成熟干气富化为凝析气

塔里木盆地下古生界烃源岩除中、上奥陶统部分地区处于成熟–高成熟阶段外,大部分烃源岩已进入过成熟阶段的湿气、干气阶段,但是上古生界的三叠、侏罗、石炭系及中、上奥陶统等储集层的热演化程度较低,一般处于成熟–高成熟阶段,因此下古生界早期油气沿断层向上运移到成熟度较低的储集层聚集成藏时,它们在后期的热演化过程中烃体系的液态烃部分并未大规模地裂解,而仍被保留下来并与后期的干气叠加混合,使干气富化为凝析气。我们将这种油气生成的烃源岩与其油气聚集的储集层之间热演化程度差异较大的成藏演化模式,称为“生聚异步演化模式”。轮南低隆地区在三叠、石炭和奥陶系储集层已发现的十六个凝析气藏中甲烷达 88%~96%,干燥系数为 0.94~0.98,凝析油含量在 40~480 g/m^3 之间。它们的形成与干气运移、混合叠加有关。

综合以上分析,认为塔里木盆地的库车坳陷、塔中地区除不具备干气混入的富化作用外,在母质类型与热演化程度、地层温度和压力、凝析气的保存及油气生聚演化模式各方面都是有利的;轮南低隆地区在母质类型与热演化程度方面虽然并不是凝析气生成的有利区带,但由于其油气藏演化受生聚异步演化模式所控制,而且其余各方面条件都是有利的,因此该区仍然是凝析气形成的有利地区。

参考文献:

[1] 周兴熙,等. 塔里木盆地油气[M]. 北京:石油工业出版社,1995.

[2] 陈义才,李绍基,等. 塔里木盆地凝析气藏成藏期研究—应用 PVT 相图计算论证[A]. 塔里木盆地石油地质研究新进展论文集[C]. 北京:科学出版社,1996. 492–495.

[3] 陈义才,李延均,等. 应用热压模拟实验资料研究油气生成相态[J]. 西南石油学院学报,1999,21(4):11–14.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

secondary migration and accumulation.

Key words: Tarim basin; oilfield water; heavy hydrocarbon; hydrocarbon composition; oil and gas reservoir

CHEN Chuan-ping(1956–), Male, Associate Professor, Geochemistry, Jianghan Petroleum Institute, Jinzhou, Hubei, 434102, China

ZUO Long-ping, LI Tie, CAO Yang. Structural Characteristics of Bachu Arch and Its Petroliferous Prospects in Tarim Basin. XJPG, 2001, 22(5): 411–413

Abstract: The more complicated seismic geologic conditions of Bachu arch in Tarim basin keep its low degrees of exploration so far. This paper, based on interpretation of seismic geologic data from Bachu arch area, presents some new structural traps, and shows band or belted distribution of faults and local structures in this area. Furthermore, following classifying these structural belts and describing structural configuration and trap types, the paper proposed some new knowledge for hydrocarbon controls and the petroliferous prospects in each structural belt, which provide useful basis for continuous exploration of them in future.

Key words: Tarim basin; Bachu arch; structural belt; structural trap; fault; oil and gas resource evaluation

ZUO Long-ping(1966–), Female, Senior Engineer, Geophysical Prospecting, Planning and Designing Institute, Northwest Petroleum Bureau, Urumuqi, Xinjiang 830011, China

CHEN Yi-cai, YANG Bao-xing, LI Yan-jun, GUO Xiu-ying. The Geologic and Geochemical Conditions of Condensate-Gas Reservoir Accumulation in Tarim Basin. XJPG, 2001, 22(5): 414–416

Abstract: The condensate gas reservoirs in Tarim basin are characterized by great numbers, wide distribution and lots of reserves, being the most enriched area in condensate gas reservoirs of China mainland. In this paper, based on the mechanism of condensate-gas reservoirs´ formation and genesis of phase state, the authors analyzed the properties of reservoirs´ formation in Tarim basin, and made a comparison with Sichuan, Erdos and Turpan-Hami basins, then pointed out that the condensate-gas reservoirs have two mechanism of formation and three types of phase state geneses. The key factor of condensate-gas reservoirs accumulation is that diversified hydrocarbon source rocks are in advantage stage of thermal evolution, and the late-stage heavily subsidence as well as late-stage gas migration accumulation provides important conditions of temperature, pressure, preservation for the condensate-gas reservoirs formation. Furthermore, the asynchronous evolution of hydrocarbon generation and accumulation makes for over-mature dry gas wet into condensate-gas reservoirs.

Key words: Tarim basin; condensate-gas reservoir; geochemistry characteristics; phase state; oil and gas accumulation

CHEN Yi-cai(1963–), Male, Doctor, Petroleum Geology, Petroleum Department, Chengdu Institute of Technology, Chengdu, Sichuan, 610059, China

WU Ming-rong, JIANG Zai-xing, CHAO Ying-chang, ZHU Zhi-guo. Prospectiveness of Lithologic Reservoir in Yanqi Basin. XJPG, 2001, 22(5): 417–420

Abstract: The result of structural recover shows that Yanqi basin is extensional rift-subsidence basin during middle and early Jurassic, it is characterized from the tectonic evolution by firstly compressed and then extend. The evolution feature determined the types and distribution of sediment systems in Jurassic basin. Synthetical studies of depositional system, depositional models and petroleum geological conditions showed that the lower and middle Jurassic in this basin is a suite of coal measures strata, and they have favorable conditions to the formation of lithologic reservoir. Especially, widely developed fan delta system in north abrupt slope and braided delta in south gentle slope and discovery of Zhongmachang and Baolang coarse-grain channel system provided a bright prospect for lithologic reservoir exploration. This paper summarized several possible distribution models of lithologic reservoir in this area, it will provide an important reference for oil and gas exploration.

Key words: Yanqi basin; Jurassic; coal bearing beds; lithologic reservoir

WU Ming-rong(1972–), Male, Doctorate Candidate, Petroleum Geology, University of Petroleum, Dongying, Shangdong 257061, China

HE Kai, LI Pei-jun, HE Xian-ying, WANG Jian-gao. The Reservoir-Formed Conditions and Exploration Target of Carboniferous in Beisantai Area. XJPG, 2001, 22(5): 421–423

Abstract: The oil-source correlation shows that Carboniferous hydrocarbon in Beisantai area mainly came from Pingdiquan formation in Fukang depression and Lucaogou formation in Bogeda foreland depression. The north slope of

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net