

文章编号: 1001-6112(2000)03-0210-05

深盆地成藏条件及其内部特征

张金川, 金之钧, 庞雄奇

(石油大学, 北京 102200)

摘要:深盆地成藏概念的提出和成藏机理研究的突破, 尤其是这类气藏通常所蕴聚的巨大天然气储量, 引起了中外地质学家的广泛关注。深盆地成藏是一类在成藏机制、成因类型和分布规律上甚为特殊的非常规类型。深盆地成藏的形成以低孔、低渗性致密储层的存在为发育条件, 以流体倒置和异常地层压力分布为表现特征, 在平面和剖面上表现出了一系列特殊性。本文对深盆地成藏的基本特征进行了讨论, 期望对我国的深盆地成藏勘探和研究提供参考依据。

关键词:深盆地成藏; 成藏条件; 内部特征

中图分类号: TE132.2

文献标识码: A

深盆地成藏是高勘探程度条件下, 对油气成藏赋存规律的又一新认识, 国外目前已发现的深盆地主要集中在加拿大西部^[1] (阿尔伯达盆地的艾尔姆华士、牛奶河、霍得利气田, 天然气总储量达到 50 万亿 m^3) 和美国中西部地区盆地 (如圣胡安盆地的布兰科气田、丹佛盆地的瓦腾伯格气田等), 深盆地成藏是致密砂岩气的主要表现形式。据认为^[2,3], 美国的致密砂岩气 (深盆地成藏) 储量介于 6.6 ~ 140 万亿 m^3 之间, 1994 年的证实储量达到 9 372.86 亿 m^3 , 年产量达到 705.65 亿 m^3 , 占美国当年非常规天然气总产量的 69% (1991 年时占到 73.1%), 这又大约是美国天然气年总产量的 13.8%。

1 深盆地成藏界定

深盆地成藏在成藏机理上非常特殊, 综合分析前人研究成果, 可将其大致作如下描述^①: 为在主要由毛细管差异排驱压力作用控制下, 赋存于具有低孔、低渗性特征储层构造下倾方向上的天然气聚集。向储层的构造上倾方向, 虽然孔渗物性变好, 但却在不要求构造、岩性或其它因素遮挡或圈闭条件下, 通过油水或气水过渡带逐渐由饱和油或气 (相对于水为低比重流体) 带转变为含水 (相对为高比重的储层流

体) 带, 为一种发育在致密储层中的流体倒置关系气藏, 其存在具有“暂时驻留”的动态特点 (图 1)。

2 深盆地成藏条件

2.1 对盆地构造的低位势要求

纵观北美深盆地成藏在盆地构造带中的趋势分布, 它们均位于低势能区的下覆层位或构造下倾部位, 可以是构造单斜的下倾侧, 也可以是盆地深部凹陷底部或向斜中心 (见图 1), 深盆地成藏在盆地中的存在表现为低位势特征。它们对盆地构造条件的要求极为简单, 无需特定类型的构造圈闭, 只要构造平缓, 断裂不太发育即有可能形成大规模深盆地成藏聚集。

2.2 气源条件充足

深盆地成藏天然气的来源可有多种途径, 源岩可以分别是海相或陆相暗色泥页岩、炭质泥岩、煤系地层、碳酸盐岩或者它们的共同组合, 可以是煤层气、常规来源气、二次来源气或碳酸盐岩过成熟气等。从北美已发现的深盆地成藏看, 煤系地层的分布对深盆地成藏致密储层的供气过程具有重要作用, 其生烃过程具有层位多、气源近、面积广、时间长等特点。如在皮申斯盆地, 估计的煤层气资源量大约为 $1.7 \times 10^{12} m^3$ (表 1), 其最大厚度分布区与深盆地成藏发

收稿日期: 1999-02-14; 修订日期: 2000-04-11.

作者简介: 张金川 (1964 -), 男 (汉族), 河南焦作人, 博士, 副研究员, 目前在博士后流动站从事成藏机理与分布规律研究工作。

① 金之钧, 张金川, 庞雄奇. 深盆地成藏原理、基本特征及勘探开发技术调查与初步研究报告. 石油大学 (北京), 1997.

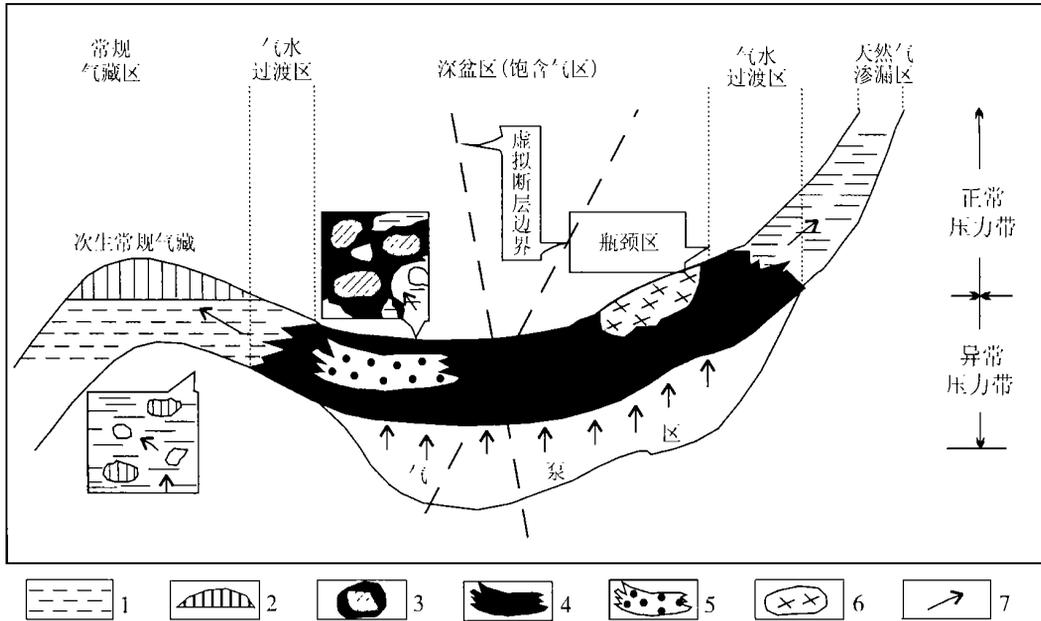


图 1 深盆地气成藏原理及基本特征示意图

- 1. 高孔渗饱含水层; 2. 常规气藏; 3. 岩石颗粒及水膜; 4. 致密饱含气层;
- 5. 局部孔隙发育带; 6. 局部裂隙发育带; 7. 天然气运移方向

Fig. 1 Formation principal and general characteristics sketch map of deep basin gas accumulation

表 1 美国西部几个主要深盆地气盆地的煤层气储量

Table 1 Reserves of Coal-bed methane in several deep gas bearing basins, Western U. S. A

盆地	面积 / km ²	煤层气地质储量 / 亿 m ³	煤层最大深度 / m
圣胡安	19 425	24 904	1 219
皮申斯	17 353	23 772	3 658
大绿河	54 390	8 773	1 829
拉 顿	5 698	8 490	914
粉 河	66 822	8 490	1 219
风 河	20 979	566	3 658
尤因塔	37 296	283	916

育区在平面上吻合,垂向上互层。

2.3 储气层位致密

在北美,深盆地气藏存在的盆地均发育着一套在成因上有相互联系,在岩性上有相似规律的中生界(以白垩系为主,部分为第三系)碎屑岩地层,在储气层段以致密的砂岩为共同特征^[1~12]。储层孔渗物性一般在垂向或构造倾向上由致密类型向上逐渐变为常规类型,在垂向上形成由致密到常规的有序性递变。储层物性的致密特征和变化特点主要受沉积环境和后期成岩条件所影响和控制。

深盆地(饱含气段)储层一般为低孔、低渗致密状。对北美 10 余个深盆地气藏的统计结果表明,深盆地气藏储层的平均孔隙度分布范围集中于 4%~12% 之间,一般小于 10%,平均渗透率介于 $0.001 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,储层平均含水饱和度通常为 35%~70%。如美国布兰科气田储层的平均孔隙度为 7%~10%;瓦腾伯格气田储层的平均渗透率小于 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;大绿河盆地气田储层的平均含水饱和度为 50%~55%;加拿大牛奶河气田储层的总体物性较好,平均孔隙度为 14%,平均渗透率为 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。艾尔姆华士气田储层的总体物性较差,平均孔隙度为 6.1%~8.6% 饱含气带的最低平均孔隙度仅为 4%,储层平均渗透率为 $0.001 \times 10^{-3} \sim 1.22 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。在美国,联邦能源管理委员会把 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的地层原始气体渗透率值作为界定“致密”储层的标准。

3 深盆地气藏内部特征

由于深盆地气藏的底部通常与源岩层位相邻或直接过渡,在剖面上形成了由饱含气带、气水过渡带和饱含水带所构成的“三层楼”基本结构。因此深盆地

藏以无底水和无边水为基本的流体分布特征,在剖面上,由下向上就依次形成了深盆气藏的供气源岩带、致密储层饱含气带(两者有时较难以严格区分)、气水混合过渡带和上部(上方)常规储层饱含水带 4 个结构组合变化带。

3.1 流体关系倒置

与常规类型天然气藏相反,深盆气藏中的流体分布表现为下气上水的流体倒置关系,即下部致密储层段饱含天然气而上部常规储层段饱含地层水。这一特征与深盆气藏储层物性的递变关系相对应,形成了相对低密度流体(油或气)和相对高密度流体(水)不按重力分异规律展布的气水倒置关系,两种流体之间为渐变的过渡特点。

造成这一特殊现象的原因是深盆气藏的形成主要受毛细管压力的作用控制,储层内流体的重力分异作用失去意义,来自底部源岩区的天然气无法完全摆脱毛细管力的约束而向上部逸散,从而可以造成相当大范围的气水过渡带。如在艾尔姆华士气田,深盆气藏的气水过渡带平面宽度可以达到 10km 左右,这与其储层岩相和物性条件的变化不无关系。

3.2 地层压力异常

从已发现的深盆气藏地层压力变化趋势分析,深盆气藏的地层流体压力在含气层段附近均由正常静水压力与异常地层压力两种趋势所构成,异常地层压力有时以高异常为主(如大绿河盆地深盆气田),有时又以低异常为主(如艾尔姆华士气田)。它们在地层流体压力与埋藏深度关系图上表现为以正常压力梯度和异常压力梯度为基本特征的变化组合。压力分布的一般特征是正常压力梯度出现于气水过渡带及其以上地层中,分布趋势可以继续向下延伸,异常压力梯度与饱含气储层段对应。3 种压力梯度可以在同一气藏中同时出现于相同的深度范围内。

导致地层压力异常分布的因素很多,最主要的影响因素还是深盆气成藏的储层特点及由此控制的特殊成藏过程,归因于大区域范围内的毛细管力作用。因为从微观上分析,深盆气藏内部虽有较高比例的地层水含量,但它们绝大部分均为孔隙壁上的束缚水,不具有可流动性,也不具有流体压力的传导性,这就在深盆气藏发育的区域范围内形成了主体上的异常地层压力特征。

3.3 气藏存在的动态性特征较强

由于深盆气储层发育的特征之一就是物性条件

和流体存在的向上开放性,因此储层下部聚集的天然气便不可避免地向上扩散和逃逸,具体表现为大规模的气水过渡带。这一过程的发生伴随深盆气藏存在的始终,故深盆气藏中的流体存在为一动态过程,即深盆气藏的保存过程一方面表现为底部或下覆层位烃源岩的持续充供气,同时在另一方面又表现为顶部或沿构造上倾方向上不断的气体逸散。虽然常规气藏中也有天然气的不断扩散作用,但深盆气藏表现更为特征和明显。由于实际发生的逸散量远远小于充注量,所以深盆气藏的含气范围通常规模巨大。Ges(1984)^[10]和 Welte(1984)^[5]分别通过地质、物理与化学分析方法证明了艾尔姆华士气田存在的动态性。据推测,艾尔姆华士深盆区 Cadomin 组深盆气藏的动态过程已持续了数百万年^[10]。

3.4 地质储量巨大但平均密度较低

深盆气藏主体聚集于孔隙度和渗透率平均值很低的致密储层中,天然气充注源源不断,它不需要特定的常规圈闭,因此盆地中的整个含气区可以是一个深盆气藏。布兰科气田即有“盆地型气田”之称,故深盆气藏的天然气储量巨大。但也正因为如此,天然气的分布较为分散,平均储量密度很低,单井产率往往有限。在阿尔伯达深盆区,饱含气层分布在 900~3 000m 之间,所形成的单体气藏高度可达 915m,在 6.2 km² 的平面含气范围内,天然气资源量达到 42.45 万亿 m³,但以目前的经济技术条件计算,可采储量只有 1.27 万亿 m³,不足计算资源量的 3%。

3.5 深盆气藏甜点类型

“甜点”(sweet spot)是深盆气藏内部孔、渗物性相对发育处的天然气浓集区带,而“黄油层”(butter)又表现为甜点的成层分布,因而它们成为深盆气藏的勘探目标。深盆气藏致密储层中发育的甜点以较局限分布的相对高孔隙度或渗透率为基本特征,在美国的深盆气研究中分别以 $>8\%$ 和 $K > 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 作为标准进行界定。因为深盆气藏内部的孔渗发育区带在天然气运移扩散过程中具有“近水楼台先得月”之优势,易被天然气所充满,故其规模大小和出现频次在很大程度上左右着深盆气藏的含气丰度,制约着深盆气藏的勘探和开发效益。

从发育层位分析,甜点可有层内和层外两种(图 2),层内类型甜点的聚气优势明显高于层外类型,4 种类型的甜点均可形成可观的局部天然气富集。布

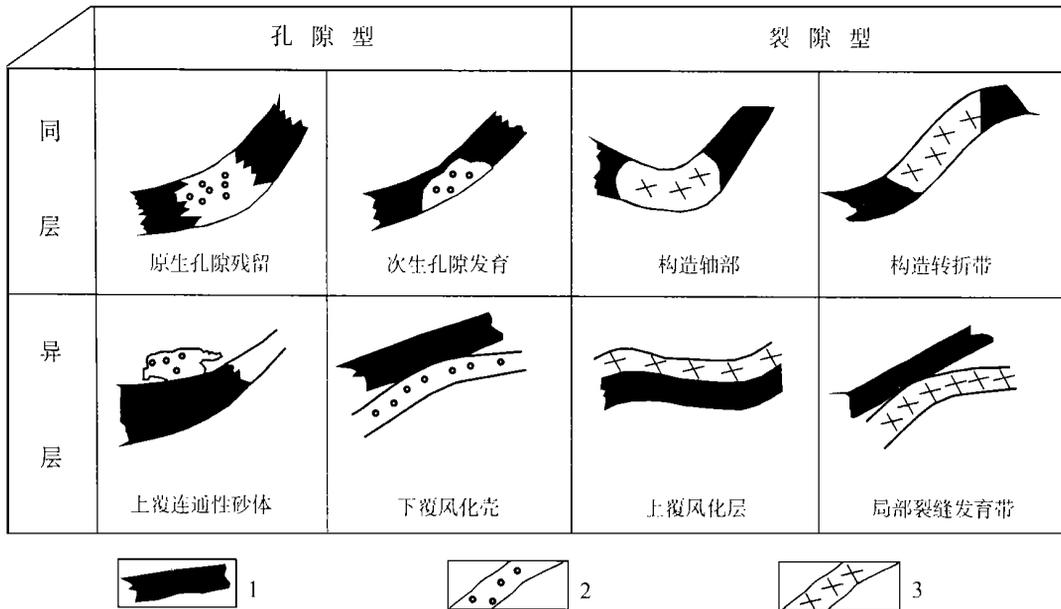


图 2 深盆地气藏甜点分类图

1. 致密含气带; 2. 局部孔隙发育带; 3. 局部裂缝发育带

Fig. 2 Sweet spots classification of deep basin gas accumulation

兰科和瓦腾伯格气田的天然气储量在很大程度上归功于储层内裂缝(隙)型甜点的发育,而阿尔伯达盆地天然气的聚集在很大程度上取决于致密储层中相对高孔渗带的发育,海滩相粗粒砂岩与砾岩的孔隙度(主要为原生类型)可达到 15%,渗透率达到 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,成为目前的主要产层。

4 结语

相对于常规气藏,深盆地气藏的存在不要求高孔渗性储层的大面积分布(气并不聚集于其中),也不要求常规意义上构造、岩性、地层等圈闭类型的存在,但却要求致密储层在大区域内的广泛展布,要求储层构造下倾方向上的渗透率低于构造上倾方向上的渗透率,要求储层在盆地内的倾斜抬升。从具有持续性生、供气能力的源岩或煤系地层中运移来的气广泛充注于大面积分布的储层中,深盆地气藏的含气面积大致可以与生气面积持平。

深盆地气藏中天然气的聚集是从储层的下倾部位开始的,在气源的不断供应过程中,含气面积逐渐向上扩大。由此特征所决定,深盆地气藏的出现多见于盆地的深部凹陷,盆地向斜中心或构造斜坡带上,为流体倒置规律且发育异常低地层压力。深盆地气藏的

存在为一动态平衡过程,下部层位或构造下倾方向上致密性低孔、低渗储层中所饱和的天然气将按正常扩散作用源源不断地向上扩散,当其穿越致密储层区后即受地层水的浮力作用推动按常规天然气的运动方式进行成藏运移,因此深盆地气藏上部或构造上倾方向上发育的各类常规圈闭构成了逸散性次生天然气聚集的理想目标。

参考文献:

- [1] Masters J A. Deep basin gas trap, Western Canada[J]. AAPG, 1979, 63(2): 152 - 181.
- [2] Kuuskraa V A. Tight sands gas as U. S. gas source[J]. Oil Gas Journal, 1996, 94(12): 102 - 107.
- [3] Kuuskraa V A. Advances benefit tight gas sands development[J]. Oil & Gas Journal, 1996, 94(15): 103 - 104.
- [4] Spencer C W. Review of characteristics of low - permeability gas reservoirs in Western United States[J]. AAPG, 1989, 73(5): 613 - 629.
- [5] Welte D H. Gas generation and migration in the Deep Basin of Western Canada[M]. AAPG Memoir 38. 1984.
- [6] Cant D J. Diagenetic trap in sandstones[J]. AAPG, 1986, 70(2): 155 - 160.
- [7] Schmoker J W. Gas in the Uinta Basin, Utah - Resources in continuous accumulations[J]. Mountain Geology, 1996, 33(4): 95

- 104.
- [8] Haas M R, Crist T E. The impact of improved technology on potential tight gas reserves in the San Juan Basin: A case study[J]. SPE 21484, 1991.
- [9] 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 22922, 1991.
- [10] Ges R M. Case history for a major Alberta Deep Basin gas trap: the Cadomin Formation[M]. AAPG Memoir 38, 1984.
- [11] Creaney S, Allan J. Petroleum system in the foreland basin of Western Canada, foreland fold belts[M]. AAPG Memoir 55, 1992.
- [12] Kerr W C. A geological explanation for the variation in fluid properties across the Pembina Cardium Field[J]. Journal of Canadian Petroleum Technology. 1980, 19(2): 76 - 84.

FORMATION CONDITIONS AND INTERNAL FEATURES OF DEEP BASIN GAS ACCUMULATIONS

ZHANG Jin-chuan, JIN Zhi-jun, PANG Xiong-qi

(*University of Petroleum, Beijing 102200, China*)

Abstract : Deep basin gas accumulation (DB GA) has been followed with wind interests by petroleum geologists since the being put forward of the concept DB GA (deep basin gas trap by J. A. Masters) and the breakthrough of accumulation mechanism, especially its enormous reserves. Deep basin gas accumulations are distinct from normal ones in origin mechanism, genetic features and distribution rules. The formation and distribution of DB GAs are restricted by tight sand reservoirs with low porosity, low permeability and high saturation of water. The fundamental features of DB GAs are the overturning of formation fluids and occurring of abnormal pressures. DB GAs are distinguished from normal ones in their basic principles, general characteristics and genetic sequences. DB GA is discussed thoroughly in the paper to expect to be useful for the exploration of DB GA in China.

Key words : deep basin gas accumulations; formation conditions; internal features

本刊重要启事

因邮发费用急剧攀升,本刊从 2001 年起终止邮局发行,改为自办发行。请广大新老读者直接与本刊联系,办理订阅手续。