

油气成藏流体动力系统分析原理及应用^①

康永尚 庞雄奇

(石油大学盆地与油藏研究中心 北京 102200)

提 要 阐述了油气成藏流体动力系统分析的基本原理,把油气成藏流体动力系统分为重力驱动型、压实驱动型、滞流型和封存型四种类型。结合国内外的研究实例,分析了不同类型流体动力系统油气藏形成和分布的规律,强调在不同类型的流体动力系统中,油气藏形成的机理不同,在成藏动力学研究中有不同的侧重点。加强重力驱动型和封存型流体动力系统动力条件研究对我国南方海相盆地和其它勘探程度较高的盆地深部的油气勘探具有重要意义。

关键词 流体动力系统 油气勘探 重力驱动流 压实驱动流 流体封存箱 深盆气

第一作者简介 康永尚 男 34岁 副教授 含油气盆地分析与数学地质

1 油气成藏流体动力系统分析的涵义

成盆系统、成烃系统和成藏系统是石油地质研究中的三个不同层次,其中成藏系统研究是石油地质中的一个核心问题,是油气勘探成败的关键。油气作为流体,在盆地固体格架中的动水或静水环境中运聚成藏并在合适的条件下保存下来,油、气和水共同构成流体动力系统。每个系统具有特定的功能和相对稳定的边界与相对统一的压力体系,其中的油气藏具有类似可比的成藏条件和成藏作用。

从盆地整体来看,其流体动力学背景既不是一个统一的整体,又不是各处互不相关。研究表明,在一个盆地内往往存在多个流体动力系统。根据系统动力的来源、去向和系统演化的方向等方面,油气成藏流体动力系统可分为重力驱动型、压实驱动型、封存型和滞流型四种。在一个含油气盆地内,尤其是大型复杂的含油气盆地内,往往有两种以上流体动力系统类型,多个流体动力系统共存^①。

一个流体动力系统的开放程度,既能反映系统现今的状态,也能反映系统的演化历史和演化方向,是表征系统属性的一个有效的综合指标。不同类型的流体动力系统,由于其开放程度不同,系统内部的物质流和能量流也有强弱之分和相对重要性的不同,系统演化的动力条件和油气成藏条件都是不同的,研究的侧重点也应不同。对重力驱动型流体动力

系统,要着重研究盆地边缘构造运动、水动力等对油气运移、聚集、保存和破坏条件的影响。而对压实驱动型流体动力系统,要着重研究沉积速率、沉积相、储盖组合对油气运聚条件的控制作用。对封存箱型流体动力系统,要着重研究流体封存箱的大小(聚烃面积)、温压环境、深部应力状态、岩石破裂强度以及压力封存和突破的历史等。滞流型流体动力系统在自然界中比较少见,处于动态平衡的深盆气藏与上倾方向的水所构成的系统,就上倾方向上的水而言,是一个滞流型流体动力系统,上倾方向水饱和区的常压和下倾方向气饱和区的低压组合,是识别深盆气藏的一个重要标志。

在油气勘探实践中,划分流体动力系统,并按各系统的类型分析其成藏作用,有助于搞清油气藏形成与分布规律,是指导油气勘探的一条有效途径。本文讨论了各类流体动力系统油气藏形成作用与油气藏分布规律,并给出具体的应用实例。

2 重力驱动型流体动力系统油气成藏规律

重力驱动型系统与外界有较强的物质交换,地表淡水进入系统中,系统内部的流体排出地表或排到其它系统中,伴随着这种物质交换,同样有能量(热量)的交换,属开放系统。

重力驱动型系统又可分为垂向重力驱动型和侧

① 本文分析实例引自塔里木石油勘探开发指挥部和石油大学(北京)科研协作项目《塔里木盆地构造特征与含油气远景》及中国石油天然气总公司“九五”油气勘探科技工程项目(编号:970208)的成果,对有关领导和专家的指导表示感谢。

向重力驱动型两类。

在侧向重力驱动型系统中,重力驱动流是由造山运动导致的地形高差引起的,地表淡水从盆地边缘露头区侵入,向盆地内部推进,或从盆地一侧进入

盆地,而从另一侧流出盆地。区域性的高孔渗层是侧向重力驱动系统形成的一个重要条件,水流方向和强度控制油气藏的分布,油气藏主要分布于泄流低势区。如塔里木盆地塔中隆起 CIII油组即为此类。

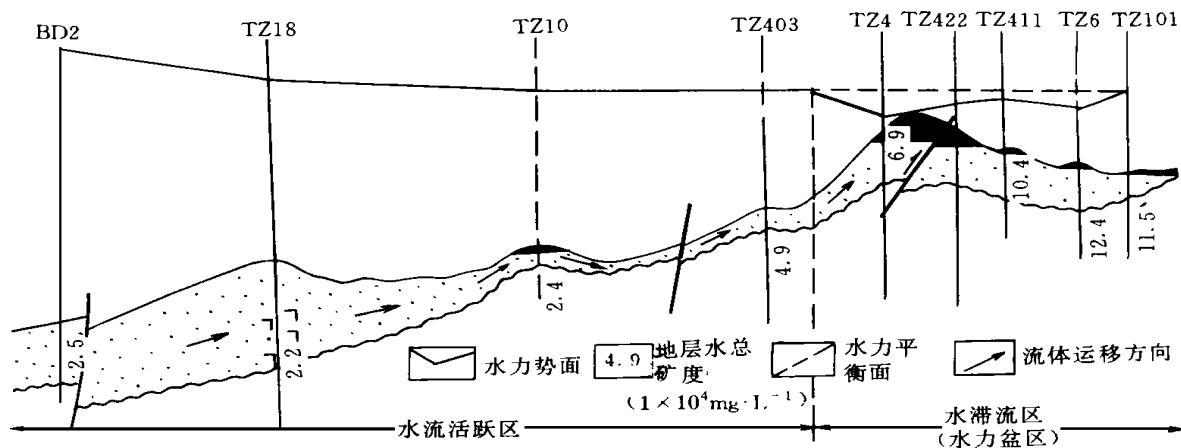


图 1 塔中 CIII油组重力驱动型流体动力系统油气成藏模式^[2]

Fig. 1 Oil and gas forming model of CIII oil bearing layer in Tazhong Uplift, Tarim Basin^[2]

在层序格架 构造演化、水动力、水化学、原油物性分布和卞唑类化合物分析等综合研究的基础上提出塔里木盆地塔中隆起 CIII油组为重力驱动型流体动力系统这一认识^[2],该认识不断得到勘探实践的证实。CIII油组是地表水自巴楚水力天窗进入到盆地腹部的重要通道, CIII油组流体构成一个统一的系统,流体自西向东运动(图 1)。在塔中 403井和塔中 4井之间有一条水力分界线,在该线以西地层流体活跃,不利于油气的保存,为水力活跃区;而在该线以东地层流体不活跃,有利于油气的保存,为滞流区或“水力盆区”。“水力盆区”位于水力分界线与塔中 101井之间的水力平衡区。东移的油气在塔中 4构造—塔中 101构造区聚集,塔中 4构造油水界面在-2 610 m,与塔中 101构造今油水界面一致。新生代塔中隆起西南地区进入前陆盆地阶段,中新世早期塔西南前陆拗陷冲断发生并对塔中隆起产生一定的影响,造成早期逆断裂一度开启^①,原断层封闭性和早期油气藏的油气水系统遭到破坏,塔中 4构造 CIII油组中的油气在 TZ4—TZ402井之间向上运移至 CII油组,使塔中 4构造今油水界面比古油

水界面高出近百米。在这一调整过程中,原在塔中 4构造—塔中 101构造区聚集的油气,向 TZ4—TZ402井之间的高点运移,故油气的运移自塔中 4构造东西两侧指向塔中 4构造区。

3 压实驱动型流体动力系统油气成藏规律

压实驱动型系统与外界有一定的物质交换,压实流流动方向自盆地中心指向盆地边缘,系统内部的流体排到其它系统中或排出地表,也同样伴随着能量(热量)的交换,属弱开放系统。该类系统在垂向上呈封闭态,而在侧向上连通性较好,与其它系统或外界具有弱的联系,地层压力呈弱超高压状态。

压实驱动型流体动力系统受后期构造运动改造较小,压实驱动是流体动力系统的主要动力源,地应力和热动力在流体动力系统中的作用占据次要地位,在压实流体作用下,油气自生烃凹陷向四周运移,油气藏围绕生烃凹陷呈环状分布。

在柴达木盆地西部地区,根据地层格架、压力特征、温度特征、温—压关系和流体化学特征的分析,

① 贾承造. 塔北隆起北部中新世张性断裂系统特征与油气聚集及有关问题探讨. 石油勘探开发科学研究院(内部报告), 1994

在纵向上划分出三个油气成藏流体动力系统^①：一是 $N_2^3-N_2^2-N_2^1$ 垂向开放-弱开放系统；二是 $N_1^1-N_1^2-E_3^2$ 侧向连通弱开放系统；三是 $E_2^2-E_3^2$ 封闭系统。其中 $N_1^1-N_1^2-E_3^2$ 为压实驱动型流体动力系统，该系统以 N_1^1 为主体构成流体流动和油气储集空间。 N_1^1 层系基本上无异常压力存在，仅在绿参 1 井、柴 3 井和油泉子可见压力系数为 1.35~1.37 的分布区（图 2），且在上部层系出现压力异常的地方，在 N_1^1 层系中压力基本上仍处于正常压力状态，表明该

层系在侧向上连通性好，存在侧向泄压机制。已发现的油气藏集中分布于压力系数在 1.1~1.2 之间的环形带的西半环上，呈“有序”结构，在压力系数大于 1.2 的区域内，没有发现油气藏，这主要是受本系统流体动力条件控制的。由于本系统侧向连通性好，油气在侧向上从高势（压）区向低势（压）区运移并在低势（压）区聚集。预测在该环形带的东半环上，是有油气远景的地区。

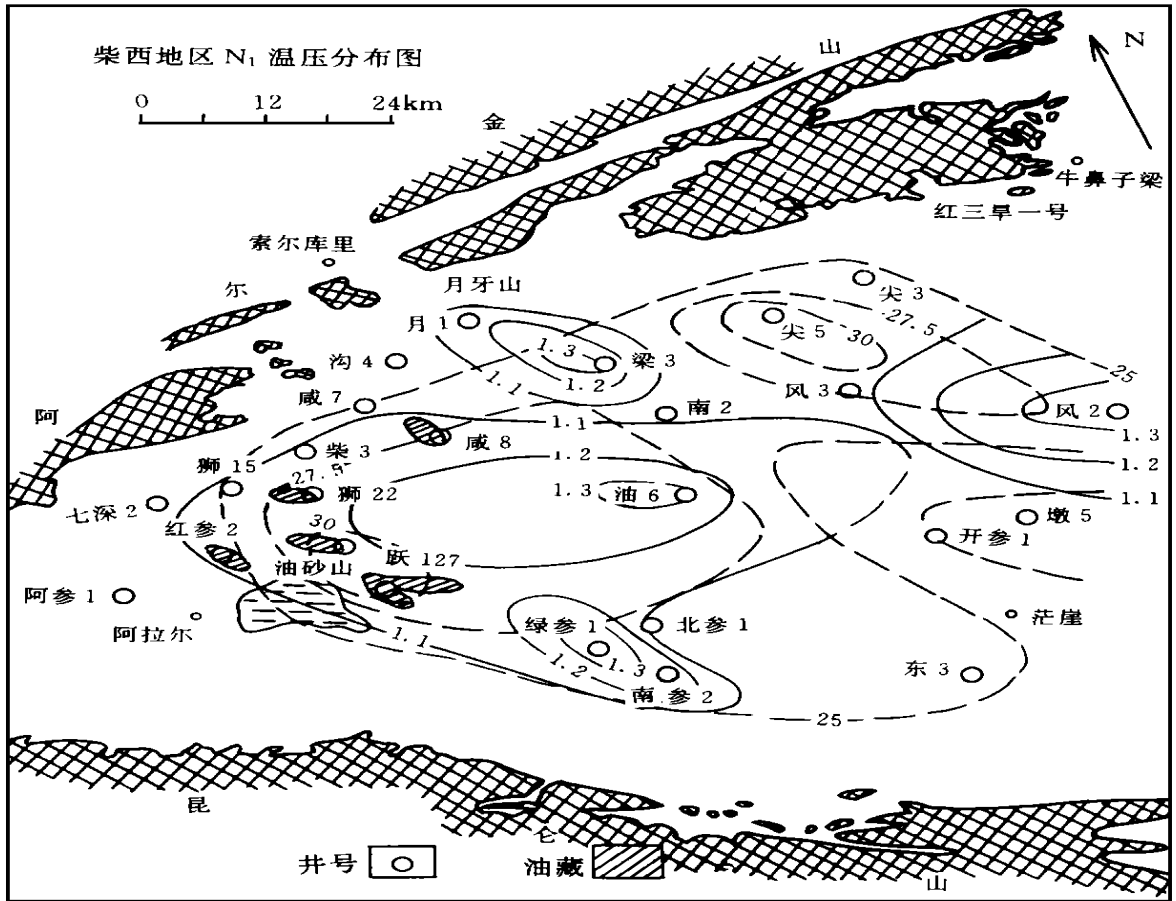


图 2 柴达木盆地西部 $N_2^3-N_2^2-N_2^1-E_3^2$ 压实驱动型系统 N_1^1 层系温度-压力场分布及其对油气藏的控制^①

Fig. 2 Temperature and pressure distributions and their control on petroleum occurrence in N_1^1 layer within the $N_2^3-N_2^2-N_2^1-E_3^2$ compaction-driven fluid flow system in western Qaidam Basin^①

4 封存型流体动力系统油气成藏规律

流体封存箱型系统，无论是高压封存还是低压封存，系统与外界不存在物质交换或仅有周期性的

物质交换^[3]，但能量交换（包括热传递和应力传递）始终进行着，构成一个封闭系统。

在封闭的流体封存箱型系统中，水流滞缓，水动力不是成藏动力中的重要影响因素，而热力和地应

① 康永尚, 邱楠生, 樊洪海. 柴西地区温度-流体场分布及其石油地质意义. 石油大学 (内部报告), 1997

力对封闭系统的增压和泄压起关键作用。在封存箱内水热增压、生烃扩张等因素影响下,使封存箱内流体压力高而又不能及时地排出即可形成超高压现象,当流体封存箱内压力聚集到一定程度后,高压流体可冲破封存盖,形成微裂缝,使箱内流体泄压,油气可沿微裂缝与水一起进入上覆地层,当箱内压力降低至一定程度,封存盖微裂缝闭合,开始下一个压力聚集与破坏过程的孕育。压力聚集过程中的主要动力是压实动力和热动力,而封存箱的破坏,受压力的大小和由上覆地层与构造应力共同引起的地应力及岩石的破裂强度的控制。受封存箱破裂历史与油气生成史的匹配及封存盖的结构等条件的影响,可出现箱内成藏、箱缘成藏和箱外成藏的不同情况^[4]。

流体封存箱是三维封闭体,其纵向上的封闭性有利于油气的保存,但其横向上的封闭性阻碍着流体的侧向流动,不利于油气的长距离运移,但在大规模的流体封存箱内,仍可有大规模的油气聚集。

随着勘探目的层位深度的增加,深部流体封存箱将是越来越常见的现象,在我国东部、中部和西部诸盆地的油气勘探中,近几年在超压封存型流体动力系统中取得了一定的突破^[5-6],如酒东盆地酒参 1 井在下白垩统和中下侏罗统发现了总厚度为 50 多米的油气层,并于中下侏罗统喜获工业油流,而下白垩统下部和中下侏罗统正位于异常高压流体封存系统中(图 3)。

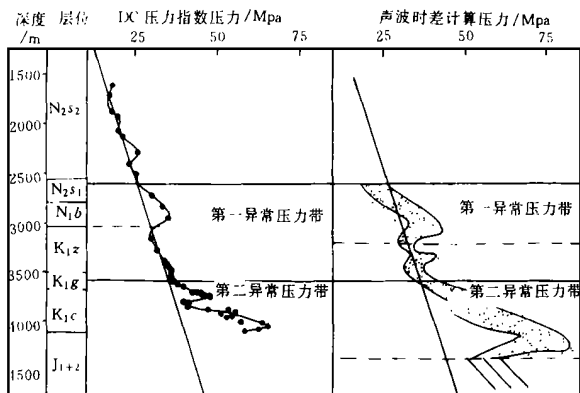


图 3 酒东盆地酒参 1 井孔隙流体压力剖面^[6]
Fig. 3 Pore fluid pressure profile for well Jucan 1, Jidong Basin, western China^[6]

5 滞流型流体动力系统油气成藏规律

滞流型流体动力系统在自然界中少见,可以认

为是低压深盆气藏构成开放的滞流系统。低压深盆气藏赋存于盆地凹陷中心或构造斜坡部位,具有气在下水在上、气水关系倒置的特点(图 4)。在上倾方向的含水区具正常压力环境,地层水与外界连通,呈滞流状态。在下倾方向含气区,气占据了储集层中有效的孔隙空间,成为唯一可动的流体相,流体压力的传递是通过气相进行的,由于气的密度低于水的密度,故在饱和气区,出现异常低压流体环境。在北美阿尔伯达和圣胡安等盆地发现了这类油气藏^[7],我国目前也正在有关研究,以探求低压深盆气藏存在的可能性。

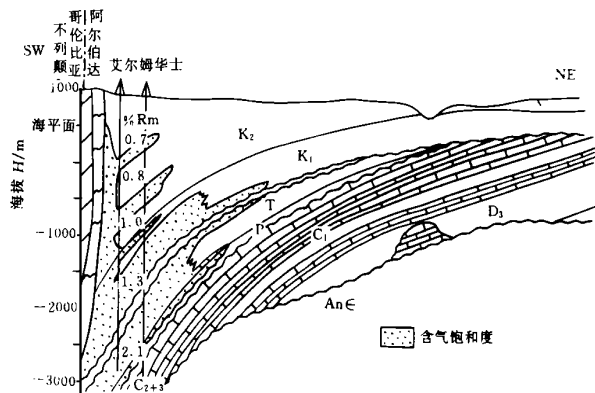


图 4 阿尔伯达深盆含气饱和带示意剖面^[7]
Fig. 4 Profile showing gas-saturated zone in the deep part of Alberta basin^[7]

在低压深盆气藏勘探中,有一点需要强调的是,在上倾方向饱和水区的常压和下倾方向饱和气区的低压组合,才是典型的深盆气藏的特征。

6 结论与建议

由于我国东部、中部和西部的含油气盆地构造类型不同,东部属拉张型,中部属克拉通内部拗陷盆地,而西部属造山带型挤压盆地(有些具压扭型),盆地的演化的机制不同,盆地内的流体动力系统也各具特色。在盆地地球动力学背景、盆地构造演化分析的基础上,划分盆地内的流体动力系统并根据流体动力系统的类型研究系统内油气成藏的动力学机制,是进行油气藏定量模式研究和指导油气勘探的一条重要途径。

压实驱动型流体动力系统在国内外的研究程度相对较高,重力驱动型流体动力系统的研究在国外(主要是北美)研究程度较高,而在国内研究程度较低,今后应加强重力驱动型流体动力系统形成演化

以及油气成藏条件的研究,这对我国南方海相含油气盆地的勘探尤其具有重要意义。

封存型流体动力系统在国内外研究程度还比较低,关于压力封存箱顶底封闭和侧向封闭形成的机制还没有统一的认识,专门针对不同岩石流体压力封闭能力的研究尚很少见,毛管力在异常地层压力形成中的作用在很大程度上被忽视了。今后应在异常地层压力的形成机制、温度场—应力场—流体场三场耦合、成岩作用对压力封存箱顶底封闭和侧向封闭形成的控制和天然水力破裂与异常地层压力的消散机制等方面加强研究工作,进一步认识盆地深部油气藏形成和分布的规律,为深部勘探提供科学依据。

参 考 文 献

1 康永尚,郭黔杰.盆地流体动力系统研究——指导油气勘探的一

条有效途径.见:高德利主编.中国科协第 21 次“青年科学家论坛”报告文集.北京:石油工业出版社,1997.230-235

2 康永尚,刘洛夫,金之钧等.塔里木盆地塔中隆起地质流体分析与油气成藏模式研究.“96”油气成藏机理及油气资源评价国际研讨会文集.北京:石油工业出版社,1997.158-162

3 Hunt J. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments. AAPG Bulletin, 1990, 74: 1-12

4 张义纲.天然气的生成聚集和保存.南京:河海大学出版社,1991.152-154

5 范光华.准噶尔盆地腹部马桥突起油气成藏模式.新疆石油地质,1994,15(4):302-308

6 陈建平,黄第藩,陈建军.酒东盆地油气生成和运移.北京:石油工业出版社,1996.236-264

7 袁政文,许化政编译.阿尔伯达深盆地研究.北京:石油工业出版社,1997.64-65

Principles of Oil and Gas Formation Fluid Dynamic System Analysis and Their Applications

Kang Yongshang Pang Xiongqi

(Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing, 102200)

Abstract

Principles of oil and gas formation fluid dynamic system analysis are briefly described. Fluid dynamic systems are classified into four types, including gravity-driven flow, compaction-driven flow, fluid compartment and no-flow ones. Oil and gas pools formation and occurrence for each type are analyzed, along with case studies. It is emphasized that for different types of fluid dynamic systems, the mechanism of oil and gas pools' formation is different, and then, studies on these different types of fluid dynamic systems should have different focus. Finally, it is indicated that the studies on gravity-driven flow and fluid compartment system types are respectively important for petroleum exploration in the marine basins of southern China and in the deep parts of the basins relatively maturely explored in China.

Key words fluid dynamic systems oil and gas exploration gravity-driven flow compaction-driven flow fluid compartment deep basin gas