

文章编号: 1001-6112(2007)06-0535-06

盆山体系与油气成藏作用

沈传波¹, 梅廉夫^{1,2}

(1. 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074; 2. 油气勘探开发理论与技术湖北省重点实验室, 武汉 430074)

摘要:盆山体系与油气成藏作用的综合研究是当前大陆能源和盆地动力学探索的热门,也是中国油气勘探取得突破的一个关键性问题。文章从系统思维的角度分析了盆山体系与油气成藏作用体系的组成及其研究方法,探讨了盆山体系结构、演化和构造作用对油气成藏作用的制约及其它它们之间的相互响应关系。给出了四川盆地及其周边造山带组成的复合盆山体系与油气成藏作用的研究实例,认为盆山体系与油气成藏作用的研究应遵循系统科学的思维与方法。盆山体系结构、演化及其动力学机制的研究是油气成藏作用研究的前提。盆山体系结构的差异决定了烃源岩属性、油气圈闭类型和成藏模式的差异。多期次的盆山构造活动制约了烃源岩演化、油气充注期次、输导体系的变化、聚集成藏过程及其后期的改造。盆山构造作用对油气成藏作用的影响具有建造和改造双重作用。

关键词:造山带;盆地;盆山耦合;盆山体系;油气成藏;四川盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

BASIN-MOUNTAIN SYSTEM AND OIL AND GAS POOL FORMING PROCESS

Shen Chuanbo¹, Mei Lianfu^{1,2}

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. Key Laboratory of Theory and Technology of Petroleum Exploration and Development in Hubei Province, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: Integrating study the relationship between basin-mountain system and oil and gas pool forming process is one of the frontier research fields in the study of continental geodynamics, and also is a key problem of petroleum exploration in China. Based on the system thoughts, this paper analyzed the form of basin-mountain system and oil and gas pool forming process and its research methodology firstly. Secondly, the paper also discussed the response relationship of basin-mountain system architecture, evolution, and tectonic function and petroleum reservoir forming process. Finally, the paper gave a case study about Sichuan composite basin-mountain system and oil and gas pool forming process. The research results indicate that studying basin-mountain system and oil and gas pool forming process should keep to thoughts and methods of system science. The prerequisite of oil and gas pool forming process research are studying basin-mountain system architecture, evolution and dynamics mechanisms. Different basin-mountain system architecture has different source rock attribute, trap type and hydrocarbon accumulation model. Multi-stage tectonic activities control the source rock evolution, hydrocarbon charging histories, conductor system change, hydrocarbon accumulation and its later adjustment and reconstruction. Basin-mountain tectonic actions have constructed and rebuild two effects on oil and gas pool forming process.

Key words: orogenic belt; basin; basin-mountain coupling; basin-mountain system; oil and gas pool forming process; the Sichuan Basin

盆山体系的研究是石油和天然气等能源、大地构造理论与模式以及其它地质理论发展的关键^[1],也是当前大陆动力学探索的热门和今后若干年甚至长期研究的前沿科学思想的生长点^[2]。近年来,

关于盆山体系及其大陆动力学的研究成果不断涌现^[3~9],但对于蕴藏在盆地及造山带中的石油和天然气等矿产的形成演化与盆山体系演化之间的耦合关系还缺乏深入的了解。中国是一个多山的国

收稿日期:2006-07-31;修订日期:2007-10-08。

作者简介:沈传波(1979—),男(汉族),湖北监利人,博士,讲师,主要从事盆山构造演化与油气成藏关系的研究。

基金项目:湖北省重点实验室基金项目(YQ2006KF-10)。

家,盆山体系是中生代以来中国大陆构造的基本格局^[10],并直接控制或影响了石油和天然气等能源矿产形成演化的各种过程,因此可以说,加强盆山体系及其油气成藏作用的综合研究是中国油气勘探取得突破的一个关键性问题。这个问题不仅仅是一个理论问题,更重要的在于它潜在的经济效益。本文期望从系统思维的角度分析盆山体系与油气成藏作用,并以四川盆地及其周边造山带为例探讨盆山体系演化对油气成藏作用的制约及其它们之间的耦合关系,以推动我国盆山体系的综合研究及其应用于指导油气勘探的思路和方法的完善。

1 盆山体系与油气成藏作用的系统思维方法

贝塔朗菲是最早使用系统科学概念的学者之一,他认为:系统是相互联系、相互作用的诸元素的综合体^[11],其基本思想是将事物看成多层次、多要素、多方面相互联系而组成的有机体系。盆地和造山带在统一的动力学背景下组成盆山体系,烃源岩生排烃作用与油气运聚作用组成油气成藏作用体系(图 1)。作为一个系统,盆山体系与油气成藏作用体系的研究也应该遵循系统科学的思维与方法。由于系统结构的复杂性,系统思维方法一般分为系统分析和系统综合,即先分解后综合的研究思路:首先对系统进行分尺度、分要素、分层次、分阶段的分类

研究和动态解析,然后在此基础上将相互作用的诸要素在宏观的背景下作为一个有机的整体进行归纳和综合,强调系统的整体行为与变化及其效应。

1.1 盆山体系的系统思维方法

盆山体系可分为盆地子系统和造山带子系统(图 1)。盆地子系统主要研究成盆作用,其主要内容集中在盆地的沉降与沉积充填、构造变形及演化、盆地的类型及成因、热体制及热演化过程、流体活动等方面。造山带子系统主要研究造山作用,要解决的主要问题包括:造山作用过程的建立与构造隆升及蚀顶作用;造山过程中岩浆—热作用;深层的俯冲、碰撞作用与浅层构造的关系;流体活动等。按照系统思维的方法,首先应该分尺度、分要素、分层次、分阶段地分别研究盆地子系统和造山带子系统所要解决的主要问题,然后将他们纳入统一形成的动力学机制中,进行相互作用的分析,即盆山耦合分析,充分认识时间序列过程与空间状态格局的动态关系以及变化过程中的驱动机制,从而建立起格局—过程—机制的时空动态分析的系统思维。关于盆山耦合分析,国内外众多的专家学者进行过系统的论述^[3~20]。总的来说,盆山耦合可归纳为以下几个方面:1)物质(浅部沉积物和深部地幔物质)、能量(温压场和热作用)和信息(流体)的交换;2)构造的成因与时空紧密相关,是指构造变形特征在时间和空间上的统一和构造应力场的统一性;

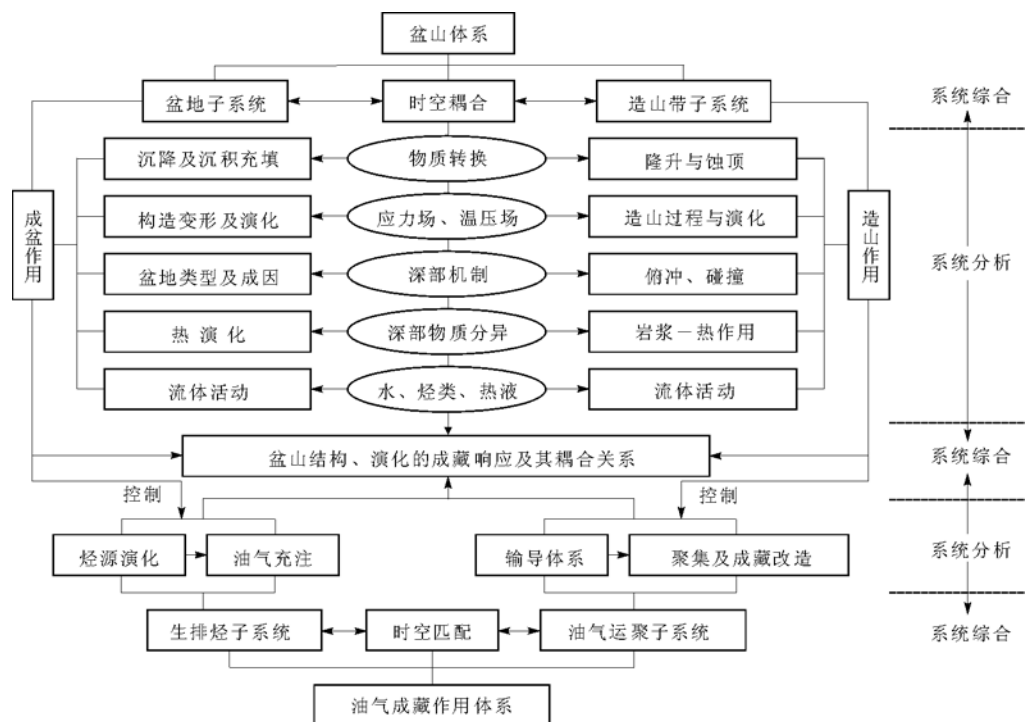


图 1 盆山体系与油气成藏作用体系综合研究框架^[21]

Fig. 1 Frame diagram of the relationship between basin-mountain system and oil and gas pool forming process

3)深部机制的统一,即山脉的俯冲、碰撞与盆地类型及成因的统一。

1.2 油气成藏作用的系统思维方法

油气是易于流动的流体矿产,往往经过多次的运移过程才能够聚集成藏。除了必然的生、储、盖、运、圈、保等石油地质基本条件,在油气运移过程中各个条件在时间和空间上的相互配合、发生演化和相互耦合关系至关重要,也是必须研究的内容。它体现了与油气藏形成有关的物质、运动、时间、空间、形成、改变的统一性、整体观与历史观,这正是系统论的基本观点。由此,人们开始运用系统论的方法进行油气聚集过程的研究,如含油气系统、成藏体系以及成藏动力学的思想和方法等。对一个地质系统而言,作用是其核心,各种作用都发生在特定的系统时空四维架构之中,系统因发生作用而存在,作用消失系统即瓦解^[22]。对油气系统而言,油气生—运—聚作用过程被认为是其核心作用,即油气成藏作用,油气系统则是油气成藏作用的物质依托。于是,油气成藏作用系统^[22,23]随即产生。

油气成藏作用系统可定义为:在一定的时空域内,具有成生联系的油气生成、初次和二次运移、聚集成藏以及成藏后的调整、破坏所构成的完整的成藏作用动力过程。在这个过程中烃类不仅有空间位置的运移,还会发生一系列多阶段、多期次的物理和化学变化^[22]。油气成藏作用系统可划分为生排烃子系统和油气运聚子系统。其中生排烃子系统主要分析烃源岩的演化与油气运移充注过程,油气运聚子系统主要研究油气的输导路径和聚集成藏及改造过程。按照系统的思维方法,油气成藏作用系统研究同样分为系统分析和系统综合,并且油气成藏的各种作用过程无不受到盆山体系中的成盆作用和造山作用的制约(图1)。

2 盆山体系与油气成藏作用关系

2.1 盆山体系结构与油气成藏作用

盆山体系对油气成藏的制约主要表现在空间和时间2个方面。空间上主要是指盆山体系结构的差异。首先表现在盆山体系所处的地理位置的差异,包括盆地位置和造山带的大地构造位置。如挤压造山带与前陆盆地组成的压缩型盆山体系主要分布于我国中西部地区,伸展造山带与裂陷盆地组成的伸展型盆山体系主要分布于我国的东部地区,走滑造山带与走滑盆地组成的走滑型盆山体系主要分布于我国的横断山区^[4]。盆山体系特定的地理位置和大地构造背景的差异,决定了油气成藏作用中烃源岩属性、沉降和沉积中心、输导体系、聚集成藏结构类型的差异。其次,盆山体系结构的差异还表现在从造山带到盆地不同构造带的类型及其变形样式的差异上,如对于压缩型的盆山体系而言,垂直于造山带方向,由造山带向盆地盆山体系结构可划分为造山带、前陆冲断褶皱带、前陆拗陷、前陆斜坡和前陆隆起。对油气勘探而言,造山带由于强烈的变质、岩浆作用不存在油气勘探潜力,对油气控制起作用的主要是前陆冲断褶皱带和前陆拗陷—斜坡带。从造山带到盆地不同构造带油气藏的类型差异较大(图2)。

2.2 盆山体系演化的成藏作用响应

我国的造山带大多经历了多期造山作用,其前缘盆地的形成、构造叠加改造以及油气成藏作用与造山带构造演化息息相关。盆缘造山带的形成、抬升、逆冲推进的过程,也是其前缘盆地形成、迁移、改造变形以及油气形成、聚集和再分配的过程。盆山体系的演化发展作为一种外界驱动因素,制约了烃源岩的演化、油气充注期次、输导体系的变化、聚集成藏过程及其后期的改造(图1)。

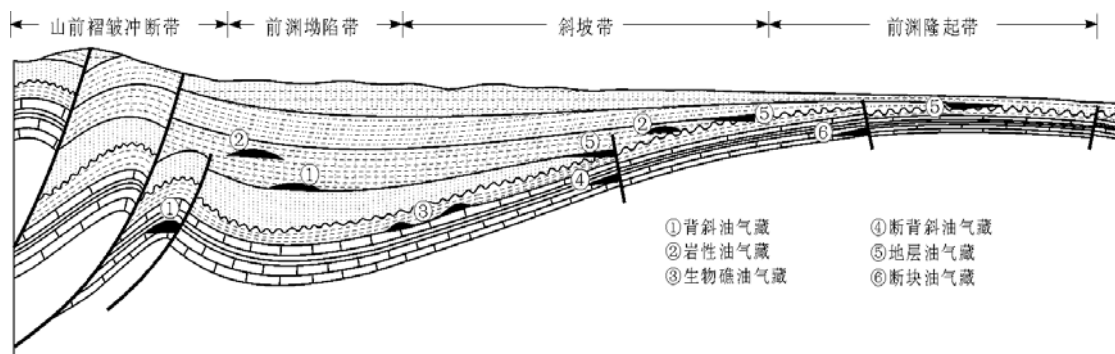


图2 从造山带到盆地不同构造带油气藏类型分布^[24]

Fig. 2 Distribution of reservoir types in different tectonic zones from orogenic belts to basin

盆山体系的物质转换决定了沉降中心和沉积中心的迁移,从而导致不同时代主力烃源岩的热演化及生油坳陷的迁移,进而导致油气运聚方向的时空转换。如塔里木盆地古生代主力烃源岩主要分布在克拉通内坳陷,油气主要往克拉通隆起和斜坡方向运聚;中生代主力烃源岩迁移至前陆坳陷发育,油气主要往前陆褶皱—冲断带和前隆方向运聚^[25]。

造山作用过程及演化导致了盆地边缘及内部的构造活动和应力的变化,沉积地层被埋藏或者被剥蚀,从而不仅提供了储集空间(如不整合面、裂隙或缝洞等),而且直接影响到油气的充注过程及其期次。

盆山体系的构造变动及其构造格局决定了断裂、剥蚀不整合或角度不整合、沉积体系的展布,进而控制了断层型、裂隙型、不整合型及输导层型 4 种类型油气输导体系^[26]的发育、复合及其有效性。而油气在输导体系中如何运移,什么样的输导体系最有效,这些都是研究油气成藏作用的关键问题。

盆山体系的构造变形及演化控制了形成的各类有效圈闭及其空间发育特征,如压缩型盆山体系在逆冲推覆构造的上盘生成的一系列断层扩展褶皱,这些褶皱不但成为褶皱山,而且成为油气储存的有利构造,同时逆冲断裂活动时也成为了地幔或下地壳的流体和气体的通道,为油气提供有利的迁移空间和动力^[27]。

油气唯其流动才能成藏,盆山体系的形成和演化过程中流体活动十分强烈,对油气的运聚规律也有着重要的影响,同时也制约着油气成藏过程及其后期的调整和改造,特别是对于叠合盆地或改造型

盆地或残留盆地的油气成藏更是如此。在造山带,流体以侧向迁移为主,在盆山结合部位,流体从造山带内部向盆地迁移^[28]。

2.3 盆山构造作用对油气成藏作用的建造与改造

根据造山作用的阶段性和期次性,结合盆山体系构造演化,可以将盆山构造作用对油气成藏作用的影响划分为建造作用和改造作用 2 个方面(图 3)。

建造与改造是具有辩证统一性的,建造同时伴有改造,改造同时伴有建造,二者是你中有我,我中有你,建造与改造作用始终贯穿盆地演化之中。但是,在盆山不同演化时期,二者所占比例不同。

在同造山期,以板块的俯冲碰撞作用为主,是沉积盆地性质发生重大变革的转换阶段,有利于形成多种缺氧环境,从而出现并保存丰富的有机质,有利于海相古生界烃源岩系的形成和发育^[29,30]。

晚造山期以强烈的逆冲推覆或伸展塌陷变形为特征,盆地沉降充填,烃源岩处于生排烃阶段,盆山作用影响油气的生成、运移和聚集的全过程,主要体现在加速烃源岩的热演化及生排烃作用、形成构造圈闭及断裂、不整合等运移通道、改善储集体的孔渗条件等几个方面(图 3)。从而促进油气藏的形成,可认为是盆地改造中的油气成藏建造期。

后造山期造山带和盆地均以强烈的隆升剥蚀为特征,此时烃源岩生排烃作用趋于停止,盆山构造作用主要影响已聚集的油气,促使油气再分配和重新调整运移再分布,同时部分油气资源遭受破坏,形成新的改造再分配油气藏或被破坏,可认为是盆地改造中的油气调整改造期,也是油气成藏、定位的关键时刻,最终决定了现今油气藏的分布状

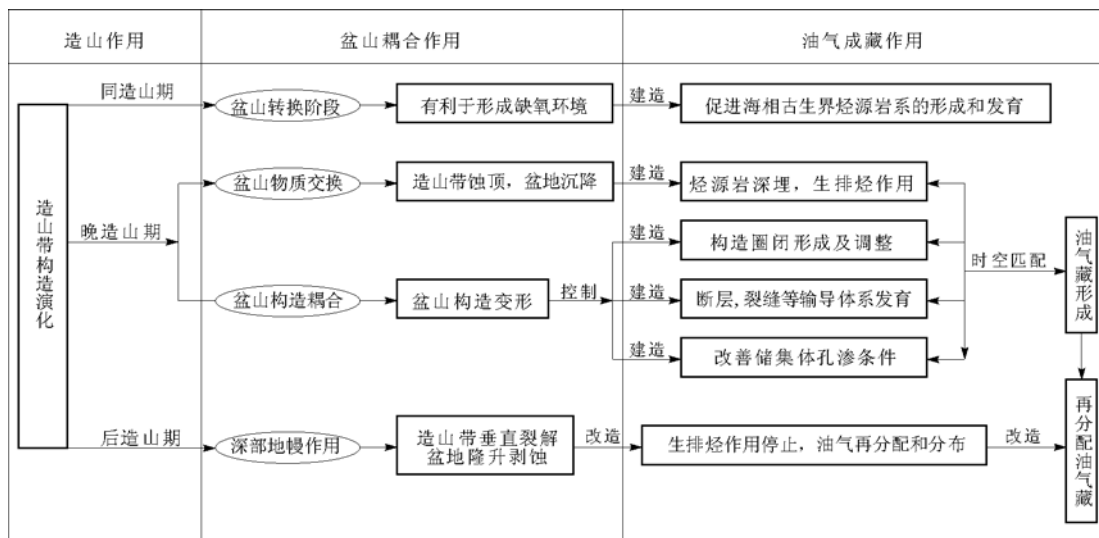


图 3 盆山体系演化与油气成藏作用相互关系模型

Fig. 3 Relationship model of basin-mountain system evolution and oil and gas pool forming process

态和面貌。

因此,对油气成藏作用而言应特别重视最后一次造山作用及其造山后控制形成的各类有效圈闭及其空间发育特征,围绕这一构造体制下的盆山体系中新的有效成藏来考虑有效油气源、有效储层、有效圈闭、有效保存区块及其它们的有效时空匹配关系的重新组合配套,分析晚期油气成藏的可能性和规律,这是油气勘探取得突破的关键^[13~15]。

3 研究实例

四川盆地位于扬子地块西北缘,是一个在古生代克拉通沉积盆地基础上叠加了中生代陆相盆地组成的叠合盆地。“多山一盆”、周缘造山带围绕其边缘分布是现今四川盆地地貌上的一个显著特点,北为秦岭—大巴山、西为龙门山、东南部为江南—雪峰山、南为大娄山等。周缘造山带为四川盆地提供了重要物源,控制着盆地的沉积作用,造山作用形成的强烈构造变形在山前及盆内形成特有的构造样式,与四川盆地存在耦合关系。

区别于单一的造山带和盆地组成的盆山体系,四川盆地这种受控于周缘多个造山带活动所形成的盆地与周缘造山带组成的盆山体系可称为复合盆山体系,周缘各造山带及其山前盆地组成的盆山体系则称为次一级盆山体系,按照系统论的观点可称为亚盆山体系或子盆山体系。依据这一原则,我们在复合盆山体系的基础上便可以划分出多个次一级亚盆山体系(表1)。受控于周边多个造山带的多期活动,区内多组构造叠加与复合、多级多期次的盆山构造活动导致了四川盆地构造的复杂形变,也决定了四川盆地油气的多期次聚集、改造与重建,使油气形成、分布和定位复杂。

四川盆地的油气勘探包括陆相和海相2个领

域,其中陆相油气藏主要分布于川西前陆盆地和川中前隆地区,并以川西前陆盆地为主,主要目的层为三叠系须家河组和侏罗系。对于川西的陆相油气成藏作用与盆山体系的相互关系,刘树根等^[31]进行了系统的研究,认为主要表现在2个方面:1)龙门山造山带—川西前陆盆地系统形成和演化产生的挤压环境和使川西前陆盆地的被动沉降作用控制了上三叠统烃源岩的成熟、异常地层压力的形成和演化、天然气初次运移和聚集;2)60 Ma以来,龙门山造山带—川西前陆盆地系统的整体抬升和剥蚀作用决定了裂缝系统的发育和上三叠统气藏的调整及侏罗系气藏的形成。

四川盆地海相油气藏主要分布于川东、川东北地区,以石炭系黄龙组、二叠系长兴组、三叠系飞仙关组和嘉陵江组碳酸盐岩为主要目的层。由于四川盆地四周为山脉所环绕,盆山构造演化势必影响到盆内的海相油气成藏作用,这里以普光飞仙关组气藏为例加以说明。油/源、气/源、沥青/源对比以及沥青热模拟实验综合分析表明^[32,33],普光古油藏的油源主要来自下志留统以及二叠系有效烃源岩,现今气藏气源主要来自古油藏原油的二次裂解、干酪根的热裂解及现存沥青的生气,经历了古油藏—古气藏—气藏调整和改造定型的成藏过程,具“多源混合、多期成藏、油气转化、晚期定位”的特征。其中,盆山构造的演化起了决定性的作用^[34],主要表现在:1)早期中三叠世末—早侏罗世形成的开江古隆起控制了油气的早期运聚作用,形成飞仙关组鲕滩原生岩性圈闭油藏;2)晚侏罗世—白垩纪江南雪峰山褶皱冲断带强烈活动波及盆内,晚白垩世盆内构造形成,与生气高峰期匹配,形成构造—岩性复合型古气藏;3)喜山期,大巴山强烈隆升,盆内NW向构造形成,对燕山期构造叠加改造,使气藏圈闭形态改变、高点迁移,从而造成气藏的调整、改造,最终晚期定型为现今的气藏。可见,盆山体系构造演化及其动力学机制的研究是油气成藏作用研究的前提。

4 结论

1)作为一个系统,盆山体系与油气成藏作用体系的研究遵循系统科学的思维与方法。对盆山体系首先应该分尺度、分要素、分层次、分阶段地分别研究盆地子系统和造山带子系统所要解决的主要问题,然后将他们纳入统一形成的动力学机制中,进行相互作用的分析,即盆山耦合分析,充分认识时间序列过程与空间状态格局的动态关系以及变

表1 四川盆地与周缘造山带多级盆山体系划分
Table 1 Basin-mountain system architecture of the Sichuan Basin and peripheral orogenic zones

复合盆山体系	亚盆山体系	子系统
四川盆地— 周缘造山带 复合盆山体系	川东北—大巴山 盆山体系	川东北盆地子系统 大巴山造山带子系统
	川西—龙门山 盆山体系	川西盆地子系统 龙门山造山带子系统
	川东—雪峰山 盆山体系	川东盆地子系统 雪峰山造山带子系统

化过程中的驱动机制,从而建立起格局—过程—机制的时空动态分析的系统思维。对油气成藏作用体系首先应该分析生排烃子系统和油气运聚子系统,然后进行两者时空匹配关系的研究,综合分析油气的成藏过程。油气成藏的各种作用过程无不受到盆山体系中的成盆作用和造山作用的制约。

2)盆山体系结构、演化与油气成藏作用具有相互响应关系。在空间结构上,不同构造单元油气圈闭类型不同、烃源岩热演化存在差异、具有不同的油气成藏模式和分布特征。在时间演化上,不同的盆山构造事件具有不同的油气成藏作用响应,多期次的盆山构造活动导致了油气混源、多期成藏和改造、晚期保存定位复杂的特征。盆山构造作用对油气成藏作用的影响具有建造和改造双重作用。盆山体系结构、构造演化及其动力学机制的研究是油气成藏作用研究的前提。

参考文献:

- 张国伟,董云鹏,姚安平. 关于中国大陆动力学与造山带研究的几点思考[J]. 中国地质,2002,29(1):7~13
- 李德威. 地球系统动力学纲要[J]. 大地构造与成矿学,2005,29(3):285~294
- 刘和甫. 盆山耦合类型[J]. 地学前缘,2000,7(4):469
- 刘和甫. 盆地—山岭耦合体系与地球动力学机制[J]. 地球科学,2001,26(6):581~596
- 李继亮,肖文交,闫臻. 盆山耦合与沉积作用[J]. 沉积学报,2003,21(1):52~60
- 李勇,王成善,曾允孚. 造山作用与沉积响应[J]. 矿物岩石,2000,20(2):49~56
- 吴冲龙,杜远生,梅廉夫等. 中国南方印支—燕山期复合盆山体系与盆地原型改造[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3):305~315
- 王清晨,李忠. 盆山耦合与沉积盆地成因[J]. 沉积学报,2003,21(1):24~30
- 郭战峰,刘新民,陈红. 江汉平原印支期以来的盆山耦合关系及下古生界油气响应[J]. 油气地质与采收率,2007,14(3):49~51
- 翟光明,宋建国,靳久强等. 板块构造演化与含油气盆地形成和评价[M]. 北京:石油工业出版社,2002. 393~404
- 许国志,吴义生,李建华等. 系统科学大词典[M]. 昆明:云南科技出版社,1994. 540~567
- 刘少峰,张国伟. 盆山关系研究的基本思路、内容和方法[J]. 地学前缘,2005,12(3):101~113
- 吴根耀,马力. 盆山耦合和脱耦在含油气盆地分析中的应用[J]. 石油实验地质,2003,25(6):533~545
- 吴根耀,马力. “盆”“山”耦合和脱耦:进展、现状和努力方向[J]. 大地构造与成矿学,2004,28(1):81~97
- 吴根耀,马力. “盆”“山”耦合和脱耦的反转点和切入点研究[J]. 石油实验地质,2005,27(1):8~17
- Sherkati S, Letouzey J. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran [J]. Marine and Petroleum Geology, 2004, 21: 535~554
- Cloetingh S, Fernandez M, Munoz J A, et al. Structural control on sedimentary basin evolution: introduction [J]. Tectonophysics, 1997, 282: 10~18
- Arenas C, Millan H, Pardo G. Ebro basin continental sedimentation associated with late compressional Pyrenean tectonics: Controls on basin margin fans and fluvial system [J]. Basin Research, 2001, 13(1): 65~89
- Cloetingh S, Marzo M, Munoz J A. Tectonics of sedimentary basins: from crustal structure to basin fill [J]. Tectonophysics, 2003, 340: 1~135
- 吴根耀,马力. 试论“盆”“山”耦合和脱耦研究的方法学[J]. 石油与天然气地质,2004,25(3):239~246
- 何登发,赵文智. 中国西北地区沉积盆地动力学演化与含油气系统旋回[M]. 北京:石油工业出版社,1999. 140~152
- 周兴熙. 油气成藏作用与系统论[J]. 石油勘探与开发,2004,31(4):5~10
- 徐思煌. 油气成藏作用系统研究[D]:[博士学位论文]. 武汉:中国地质大学,2000. 1~15
- 汤济广,梅廉夫,沈传波等. 前陆盆地结构单元与油气成藏响应[J]. 新疆石油地质,2006,27(2):242~246
- 汤良杰,金之钧,贾承造等. 叠合盆地构造解析几点思考[J]. 石油实验地质,2001,23(3):251~256
- 张卫海,查明,曲江秀. 油气输导体系的类型及配置关系[J]. 新疆石油地质,2003,24(2):118~120
- 许志琴,曾令森,杨经绥等. 走滑断裂、“挤压性盆—山构造”与油气资源关系的探讨[J]. 地球科学,2004,29(4):641~643
- 牛树银,孙爱群,白文吉. 造山带与相邻盆地间物质的横向迁移[J]. 地学前缘,1995,2(1-2):85~92
- 何治亮,顾忆,高山林. 中国西部多旋回演化与油气聚集[J]. 石油实验地质,2005,27(5):433~438
- 许效松,刘宝珺,徐强等. 中国西部大型盆地分析及动力学[M]. 北京:地质出版社,1997
- 刘树根,徐国盛,李巨初等. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统的成山成盆成藏动力学[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(6):559~566
- 马永生,傅强,郭彤楼等. 川东北地区普光气田长兴—飞仙关气藏成藏模式与成藏过程[J]. 石油实验地质,2005,27(5):455~461
- 蔡立国,饶丹,潘文蕾等. 川东北地区普光气田成藏模式研究[J]. 石油实验地质,2005,27(5):462~467
- 沈传波. 川东北一大巴山地区中、新生代盆山体系与海相油气成藏作用[D]:[博士学位论文]. 武汉:中国地质大学,2006. 78~90