

沉积盆地构造演化对油气矿产成藏规律的控制作用分析

李玉航^{1,2}

1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150000

2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150000

DOI:10.61369/EAE.2026010002

摘 要 : 沉积盆地构造演化是控制油气成藏的核心因素, 其通过调控成藏关键要素与动态过程主导油气富集规律。本文从静态与动态两个维度展开分析, 静态上, 构造沉降控制烃源岩的富集、保存与成熟, 构造活动影响储集层物性与分布, 构造环境决定盖层封盖有效性, 构造变形主导圈闭形成与类型; 动态上, 构造应力场驱动油气运移方向与速率, 断裂活动控制输导体系有效性, 多期构造运动造就油气多期次聚集特征, 盆地改造强度影响油气藏保存与调整格局。结合松辽伸展盆地、四川压缩盆地的典型实例对比, 揭示了伸展与挤压背景下“构造演化-成藏要素匹配-油气分布”的差异化规律。

关 键 词 : 沉积盆地; 构造演化; 油气成藏; 成藏控制

Analysis of the Controlling Effect of Structural Evolution in Sedimentary Basins on the Patterns of Hydrocarbon Accumulation

Li Yuhang^{1,2}

1. Harbin Natural Resources Survey, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150086

2. Observation and Research Station of Earth Critical Zone in Black Soil, Harbin, Ministry of Natural Resources, Harbin, Heilongjiang 150086

Abstract : The structural evolution of sedimentary basins is a core factor controlling hydrocarbon accumulation, as it governs the enrichment patterns of hydrocarbons by regulating key elements and dynamic processes involved in hydrocarbon formation. This paper analyzes the issue from both static and dynamic perspectives. In the static dimension, tectonic subsidence controls the enrichment, preservation, and maturity of hydrocarbon source rocks; tectonic activities influence the physical properties and distribution of reservoirs; the tectonic environment determines the effectiveness of cap rock sealing; and tectonic deformation dictates the formation and types of traps. In the dynamic dimension, the tectonic stress field drives the direction and rate of hydrocarbon migration; faulting activities control the effectiveness of the transport system; multiple phases of tectonic movements result in the characteristics of multi-phase hydrocarbon accumulation; and the intensity of basin modification affects the preservation and adjustment patterns of hydrocarbon reservoirs. By comparing typical examples from the Songliao extensional basin and the Sichuan compressional basin, this study reveals the differentiated patterns of "structural evolution-matching of accumulation elements-hydrocarbon distribution" under extensional and compressional settings.

Keywords : sedimentary basin; structural evolution; hydrocarbon accumulation; accumulation control

引言

油气资源作为全球能源体系的核心组成部分, 其勘探开发对保障能源安全具有战略意义。沉积盆地是油气生成、运移、聚集与保存的天然载体, 而构造演化作为盆地发展的核心驱动力, 贯穿于油气成藏的全过程, 深刻控制着成藏关键要素的时空配置与动态演化。已有研究证实, 构造活动通过调控烃源岩发育、储集层改造、圈闭形成及盖层完整性等静态条件, 同时主导油气运移动力、输导体系有效性、聚集期次及藏后调整等动态过程, 直接决定油气富集程度与分布规律。然而不同构造背景(伸展、挤压)盆地的构造演化样式存在显著差异, 导致成藏要素匹配关系与油气成藏模式呈现复杂性与多样性, 给精准勘探带来挑战。基于此, 本文以沉积盆地构造演化为主线, 系统分析其对油气成藏静态要素和动态过程的控制作用, 结合松辽盆地、四川盆地等典型实例进行对比验证, 旨在揭示构造演化主导下的油气成藏核心规律, 为我国沉积盆地油气资源的高效勘探与开发提供理论参考。

一、构造演化对油气成藏静态要素的控制作用

(一) 构造沉降与烃源岩发育

据有机地球化学研究,东南亚地区的烃源岩质量受控于沉积环境(Todd et al., 1997)。一般地,海陆过渡相泥岩生烃潜力好,而海相泥岩差^[1]。构造沉降是控制烃源岩发育的关键,通过调控可容纳空间、沉积环境和地热场,全面主导了有机质的“富集-保存-成熟”过程^[2]。一方面,快速构造沉降能形成广阔的深水缺氧环境,不仅利于水生生物繁衍,其快速沉积的细粒物质还能及时埋藏并保护有机质,从而发育出优质烃源岩。另一方面,构造沉降的阶段性与周期性导致沉降中心不断迁移,使不同时期的烃源岩在不同构造单元发育,形成了“多套叠置、分布不均”的格局^[3]。此外,构造沉降带来的地层加厚和埋深增加,为有机质热演化提供了必要的热能,其沉降速率直接决定了烃源岩的成熟进程,快速沉降加速生烃,而缓慢或抬升则可能导致成熟度不足。

(二) 构造活动与储集层形成

构造活动通过“先天沉积”和“后天改造”两个维度控制储集层性能,在伸展背景下,断裂活动控制物源,导致近源区沉积物分选差、储层物性偏低,而远源区物性优越,呈现“近源差、远源好”的特征^[4]。在挤压背景下,构造应力通过产生大量裂缝和引发地层抬升淋滤,能有效改善储层物性,显著提升渗透率并形成次生孔隙。此外,构造活动的稳定性也决定了储集层的分布形态:稳定期利于形成大面积连续分布的储层,而活动强烈期则导致储层呈“条带状”或“透镜状”零散分布。

(三) 构造环境与盖层发育

盖层作为阻止油气逸散的关键屏障,其封盖能力与有效性直接受构造环境控制。稳定的构造环境是形成优质盖层的前提,有利于发育大面积、厚层且连续的细粒沉积岩,如膏盐岩和泥岩,这类岩石致密、渗透率极低,能有效封盖油气,形成如塔里木盆地克拉苏气田等大型油气藏^[5]。相反,强烈的构造活动(如断裂、褶皱、抬升剥蚀)会严重破坏盖层的完整性,产生油气逸散的通道,导致封盖失效和油气藏破坏,准噶尔盆地西北缘的实例便证明了这一点。此外,构造演化的继承性也至关重要,长期稳定的沉降环境能形成可靠性更高的多层封盖体系,而构造频繁变化的区域则难以发育有效盖层。

(四) 构造变形与圈闭形成

圈闭作为油气聚集的“容器”,其形成与类型完全受构造变形过程控制^[6]。在盆地伸展阶段,断裂活动主导形成断鼻、断块和断背斜等断层相关圈闭,多分布于盆地边缘断裂带,如渤海湾盆地的兴隆台油田。而在盆地挤压阶段,褶皱作用则主导形成背斜、穹窿等褶皱相关圈闭,常集中在构造挤压带,例如四川盆地的卧龙河气田。此外,构造演化的多期性还会导致圈闭叠加改造,形成封闭性更强的复合圈闭,或与岩性、地层因素结合形成更多类型。圈闭的有效性取决于构造变形的强度与持续性,适度且稳定的变形利于油气长期聚集与保存,而过强的变形则会破坏圈闭的完整性。

二、构造演化对油气成藏动态过程的控制作用

(一) 构造应力场与油气运移

构造应力场是驱动油气运移的核心动力,其类型和演化直接决定了油气的运移方向、速率和聚集区。在挤压应力场中,地层受压形成高压,将油气“定向驱动”至背斜顶部、断裂带等应力释放的低压区,同时岩石致密化也迫使油气沿优势通道高效运移^[7]。而在伸展应力场下,地壳拉伸产生大量裂隙和正断层,为油气提供垂向运移的“通道”,促进跨层位运移,使其总体向裂隙密集的低压区聚集。当区域构造应力场发生演化,例如由挤压转为伸展,油气运移方向也会随之改变,从沿构造高点的水平运移转为沿新生裂隙的垂向运移,从而引发油气再分配,增加成藏的复杂性。

(二) 断裂活动与油气输导体系

断裂作为油气输导体系的核心,其有效性取决于活动期次、启闭性及发育特征的共同作用。其中,断裂活动期与烃源岩生烃高峰期相匹配至关重要,只有同期活动的“同生断裂”才能成为高效的运移通道。断裂的启闭性则控制着输导的稳定性,活动时开启利于运移,静止时因胶结而封闭,又可转为保存油气的边界。此外,断裂的分布样式决定了输导效率,多条断裂交汇形成的枢纽带是油气富集的关键区域,而孤立断裂的影响则相对有限。

(三) 构造运动与油气聚集期次

沉积盆地的多期构造运动决定了油气“多期次、分阶段”的聚集特征。在构造稳定期,盆地缓慢沉降,烃源岩持续生烃,油气沿通畅的输导体系运移并填充稳定的圈闭,形成规模性的原生油气藏,其分布与烃源岩和输导体系高度一致,如松辽盆地白垩纪的主要油田^[8]。而后期的强烈构造运动则会破坏原生油气藏,驱使油气沿断裂等新通道再次运移,在新的圈闭中重新聚集,形成分布与后期构造变形带密切相关的次生油气藏,如塔里木盆地的塔河油田。因此,构造运动的期次和频率直接决定了油气聚集的期次与成藏复杂性,像准噶尔盆地就因经历了多期构造运动,而形成了类型多样的复杂油气藏组合。

(四) 盆地改造与油气藏的保存与调整

轻微改造的盆地中,油气藏保存条件优越,基本维持原生成藏面貌。这类盆地后期构造运动微弱,仅发生轻微的沉降或小幅度抬升,未形成大规模的断裂和褶皱,盖层完整性好,未遭受明显剥蚀^[9]。油气藏所处的温压环境稳定,油气未发生大规模运移,原生油气藏的储量、分布范围基本保持不变。轻微改造盆地的油气勘探重点在于寻找原生圈闭与烃源岩、输导体系的匹配区域。强烈改造的盆地中,油气藏经历显著的调整与再分配,部分甚至完全破坏。构造抬升剥蚀是最常见的改造方式,若抬升幅度大,油气藏所在地层可能暴露于地表,油气因盖层剥蚀或风化作用逸散;即使未暴露地表,抬升导致的地层压力降低也会使油气发生运移调整。断裂再活动是另一重要改造方式,后期构造运动使已封闭的断裂重新开启,成为油气逸散的通道,导致原生油气藏破坏,油气沿新断裂运移至浅部地层形成次生油气藏^[10]。盆地

改造的差异性还导致油气藏分布的“分区性”，同一盆地内，构造稳定的凹陷中心区域油气藏保存完好，而盆地边缘构造活动强烈的断裂带区域，油气藏多被改造或破坏，形成“中心保藏、边缘调整”的分布格局。这种格局为油气勘探提供了重要指引，即优先勘探盆地内部构造稳定区，同时关注边缘改造区的次生油气藏潜力。

三、典型盆地实例分析

(一) 伸展盆地实例分析

松辽盆地作为典型的中生代伸展盆地，其油气成藏遵循“断陷控源、坳陷聚油”的核心规律。在断陷期，区域伸展作用形成多个独立洼槽，其中沉积了优质的深湖相烃源岩，并沿边缘发育与之紧邻的扇三角洲储集层，为“近源成藏”奠定基础。进入坳陷期，盆地整体稳定沉降，形成广覆式沉积体系，发育了盆地最优质的主力烃源岩（青山口组），其生排烃高峰与大型背斜圈闭（如大庆长垣）的形成时空匹配，同时高孔渗的三角洲砂体与区域性泥岩盖层构成优越的“源-储-盖”组合，最终促成了大庆油田等大规模油气藏的形成。在此过程中，断裂既是早期控沉积要素，也是后期油气运移的通道，而坳陷期稳定的广覆式储盖组合则是大规模成藏的关键保障。

(二) 压缩盆地实例分析

四川盆地作为典型的多期挤压改造盆地，其油气成藏经历了“构造控圈、断裂输导、多期调整”的复杂过程。早期克拉通稳定阶段为筇竹寺组、龙马溪组等多套烃源岩的发育奠定了物质基础，但油气呈分散状态。自晚三叠世起，持续的挤压作用形成了一系列背斜圈闭，天然气沿断裂运移聚集形成原生气藏。新生代喜马拉雅期的强烈改造是气藏调整的关键，不仅使原有圈闭形态变得更复杂、高陡，促使天然气向更高部位富集，也因断裂重新开启而沟通了深部烃源岩，形成了如普光气田这样的超大型气藏。因此尽管后期构造改造破坏了部分原生油气藏，但也极大地促进了天然气的再富集，而膏盐岩、厚层页岩等优质盖层的存在，则是这些气藏得以最终保存的核心保障。

(三) 实例对比与启示

松辽伸展盆地与四川压缩盆地的成藏差异，本质是构造演化方式与强度的差异导致的成藏要素与过程的分异，通过对比可提炼出两类盆地的核心成藏规律与勘探方向启示，构造演化阶段决定成藏要素匹配关系。伸展盆地的“断陷-坳陷”演化序列，形成了“早期控源、晚期聚藏”的匹配模式，勘探重点应聚焦断陷洼槽与坳陷期大型圈闭的叠合区域；压缩盆地的“稳定-挤压-改造”序列，则需关注挤压期圈闭与烃源岩生排烃期的匹配，以及后期改造中盖层的保存完整性。断裂作用的功能存在本质差异，伸展盆地的正断层以“控沉积、控储集”为主，同时作为油气垂向输导通道，断裂带与沉积中心的叠合区是优质勘探目标；压缩盆地的逆冲断层以“控圈闭、控调整”为主，断裂的启闭性是关键，需优先选择静止期封闭的断裂所控制的圈闭。油气藏类型与分布规律不同。伸展盆地以原生油气藏为主，分布范围广，多层位含油，易形成大规模油田；压缩盆地受多期改造影响，次生油气藏占比高，天然气藏为主，分布集中于构造高部位，勘探需注重构造精细解释以识别改造后的有效圈闭。两类盆地的实例共同印证，无论构造背景如何，“构造演化控制成藏要素时空匹配”是核心规律，油气勘探需以构造演化史为纲，结合烃源岩、储集层、盖层及圈闭的发育特征，实现精准勘探。

四、结束语

本文以沉积盆地构造演化为主线，系统剖析了其对于油气成藏静态要素与动态过程的全方位控制作用，结合典型盆地实例验证了核心成藏规律。本研究的核心价值在于厘清了构造演化与油气成藏的内在关联，为油气勘探提供了“以构造演化史为纲，匹配成藏要素与过程”的精准勘探思路。实践中，可通过追溯盆地构造演化序列，明确成藏关键期与优势区带，提高勘探成功率。未来研究可进一步聚焦深层-超深层盆地、多期叠加改造盆地的构造演化细节，结合高精度地球物理探测与数值模拟技术，深化复杂条件下油气成藏机制的认知，为油气资源的可持续勘探开发提供更坚实的理论支撑。

参考文献

- [1] 杨明慧, 张厚和, 廖宗宝, 等. 南海南沙海域沉积盆地构造演化与油气成藏规律 [J]. 大地构造与成矿学, 2017, 41(4): 710-720. DOI: 10.16539/j.ddgzycxk.2017.04.007.
- [2] 李荣西, 张锡云, 金奎励. 用镜质体反射率重建沉积盆地构造演化特征 [J]. 矿物学报, 2001, 21(4): 708-712. DOI: 10.3321/j.issn: 1000-4734.2001.04.023.
- [3] 黄学光. 燕山中、新元古代沉积盆地构造演化 [J]. 地质调查与研究, 2006, 29(4): 263-270. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4135.2006.04.005.
- [4] 姚伯初, 万玲, 刘振湖. 南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源 [J]. 地球科学 (中国地质大学学报), 2004, 29(5): 543-549. DOI: 10.3321/j.issn: 1000-2383.2004.05.007.
- [5] 姚永坚, 夏斌, 徐行. 南海南部海域主要沉积盆地构造演化特征 [J]. 南海地质研究, 2005, (0): 1-11.
- [6] Yu. K. Burlin Yu. V. Shipel' kevich 李学杰, 杨丽娟. 西楚科奇陆架沉积盆地构造演化特征及其油气资源潜力 [J]. 海洋地质, 2011, (1): 20-33.
- [7] 余心起. 浙闽赣粤地区中生代沉积盆地构造演化特征 [D]. 江苏: 南京大学, 2004.
- [8] 阳怀忠, 刘新颖, 黄健良. 西非陆缘中段含盐盆地地下构造与沉积演化特征 [J]. 石化技术, 2025, 32(3): 278-280. DOI: 10.3969/j.issn.1006-0235.2025.03.095.
- [9] 张敏, 李海龙, 唐灵, 等. 粤东河源盆地的深部构造、沉积序列与盆地演化 [J]. 地球学报, 2024, 45(3): 291-308. DOI: 10.3975/cagsb.2023.110601.
- [10] 吴浩武, 黄峰. 珠江口盆地 AD15 洼槽构造演化控制下的油气运聚模式 [J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(5): 72-79. DOI: 10.16028/j.1009-2722.2023.146.