中国陆上叠合盆地中下组合油气成藏条件及勘探潜力

张光亚, 赵文智, 邹才能, 李 伟, 方 向

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

Zhang Guangya, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Li Wei, Fang Xiang

Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, *China*

Zhang Guangya, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, et al. Petroleum geological conditions and exploration potential in middle and lower combinations of onshore superimposed basins in China. Earth Science Frontiers, **2008, 15(2): 120-126**

Abstract: This paper has briefly discussed the basic petroleum geological conditions, such as the source rock, reservoir and pool distribution, in the middle and lower combinations of onshore superimposed basins in China and highlights the area for future exploration. Several conclusions have been reached: Firstly, favorable source rocks with high maturity which mainly generates natural gas is extensively developed in the middle and lower combinations of onshore superimposed basin, oil and gas pools developed in this situation have a characteristic of multiple reservoir formation periods and often formed lately. Secondly, four kinds of reservoirs are developed: carbonate rock, volcanic rock, sand-gravel rock and metamorphic rock; their physical properties are slightly affected by depth, so high quality reservoir can still develop in a greater burial-depth. Thirdly, the oil and gas pools with complex phase-state are mainly composed of lithologic, stratigraphic and composite types, which are the result of multiple reservoir formation. Finally, hydrocarbon distribution is considered to have a close relationship with the development of palaeo-uplift, sedimentary facies, volcanic facies distribution, fault zone and unconformity development. Thus the middle and lower combinations are one of the most favorable regions for future exploration in onshore superimposed basins.

Key words: middle and lower combinations of superimposed basin; carbonate rock; volcanic rock; paleo-uplift

摘 要:简要阐述了中国陆上主要叠合盆地中下组合烃源岩、储层和油气藏分布等基本油气地质特征,指出了进一步勘探的领域。认为:叠合盆地中下组合普遍发育有利烃源岩,成熟度普遍较高,因而以生气为主;具有多期成藏特点,且以晚期为主;叠合盆地中下组合发育碳酸盐岩、火山岩、砂砾岩与变质岩四大类储层,它们的储集物性受埋深影响较小,在较大埋深下仍可发育优质储层;叠合盆地中下组合油气藏以岩性、地层及复合型为主,相态复杂,是多期成藏的结果;叠合盆地中下组合油气分布与古隆起发育、沉积或火山相带以及断裂带、不整合面发育密切相关;叠合盆地中下组合是中国陆上含油气盆地未来勘探的重点领域之一。

关键词:叠合盆地中下组合; 碳酸盐岩; 火山岩; 古隆起

中图分类号: P618.130 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-2321(2008)02-0120-07

收稿日期: 2007-11-20; **修回日期**: 2007-12-23

基金项目: 国家重点基础研究发展计划"973"项目(2007CB209500)

作者简介: 张光亚(1962—),男,博士,高级工程师,主要从事含油气盆地构造分析与石油地质综合研究和评价工作。E-mail: zgy@petrochina.com.cn

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

叠合盆地是指在地壳的某一负向构造单元内,多时代、多类型沉积盆地能相对集中发育而形成的一类沉积盆地,是地壳多旋回发展的产物[1-2]。叠合盆地间有构造变格运动,不同时期盆地沉积组合、热演化与成藏和油气分布均不同。中国陆上叠合盆地中下组合主要是指处在叠合盆地中下部,形成于海西晚期运动或印支运动之前的沉积-构造组合。塔里木盆地震旦系—古生界、四川盆地震旦系—中下三叠统、鄂尔多斯盆地古生界为海西晚期或印支运动之前形成的中下组合,以海相克拉通层序为主;准噶尔、吐哈盆地中下组合为石炭系—三叠系,属于较早一期前陆盆地层系;渤海湾盆地第三系裂谷盆地前的中新元古界至中生界、松辽盆地上白垩统坳陷盆地之下的上侏罗统至下白垩统登娄库组—泉头组1～2段、柴达木盆地前第三系的侏罗—白垩系、酒泉盆地前第三系的白垩系以及基岩也都属于中下组合。

中国陆上叠合盆地经过50 a来的油气勘探,其上部组合勘探程度已经较高,而其中下部组合勘探程度相对较低且勘探潜力很大,是中国陆上近期和未来相当长时期内重要的勘探领域之一。

近年来,叠合盆地中下组合油气勘探取得了一系列重要发现,成为寻找大油气田的重要领域之一。如发现了塔里木盆地塔河—轮南奥陶系碳酸盐岩风化壳油田、塔中奥陶系礁滩油气田,四川盆地铁山坡、滚子坪、七里北、黄龙场、正坝南、龙岗、普光等二叠—三叠系礁滩相气田,鄂尔多斯盆地靖边奥陶系碳酸盐岩风化壳气田,乌审旗、苏里格庙、榆林、子洲—清涧、统万城石炭—二叠系砂岩等气田,松辽盆地深层火山岩、砂砾岩气田,准噶尔盆地西北缘、陆东地区、三塘湖盆地石炭系—二叠系火山岩油气田,三塘湖盆地鲁克逊三叠系稠油油田以及渤海湾盆地前第三系潜山油田等,使该领域成为寻找大油气田与增储上产的重要领域。

但总的看来,目前对中下组合油气地质基本特征的认识程度仍然较低,由此制约了对中下组合油气富集规律认识与含油气潜力的整体评价,对有利勘探领域和区带的选择还存在不确定性。本文即是在对近期中国陆上主要叠合盆地中下组合油气勘探出现的新情况综合分析的基础上,对中下组合油气地质特征进行初步总结,以期对该领域的勘探具有启发意义。

1 中下组合烃源层

叠合盆地中下组合大多发育优质生烃岩系,且以古生界烃源岩为主,某些盆地中新生界成为中下组合的主要烃源岩(图1)。中下组合烃源岩包括海相与陆相泥岩、碳酸盐岩和煤系烃源岩。由于这些烃源岩形成较早,热演化过程较长而复杂,目前埋深较大,大多处于生气高峰。因此,中下组合主要勘探对象是天然气。

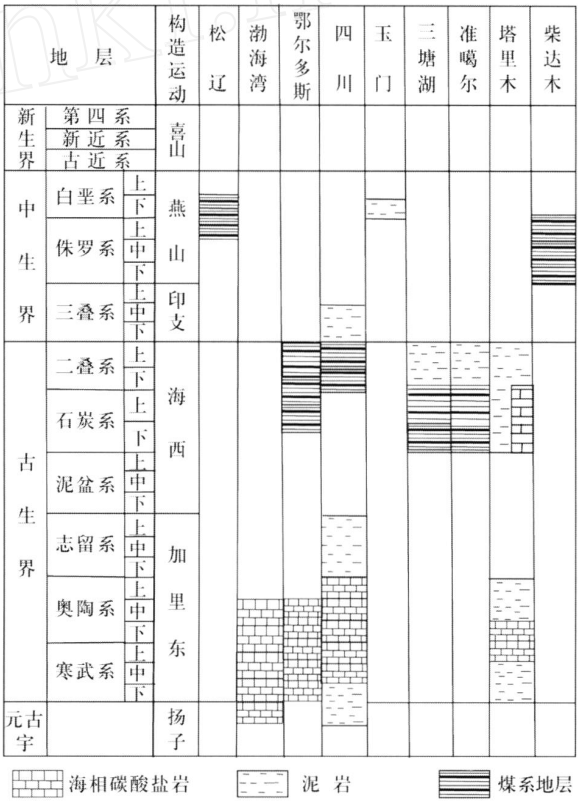


图1 中国陆上叠合盆地中下组合烃源岩层位与类型分布

Fig. 1 Horizons and types of source rocks in the middle and lower combinations of onshore superimposed basins in China

中下组合下古生界海相碳酸盐岩与泥岩烃源岩在塔里木与四川盆地较发育;上古生界烃源岩在中西部盆地普遍发育,且以石炭、二叠系煤系地层为主,如鄂尔多斯盆地石炭系,四川盆地二叠系,准噶尔、三塘湖盆地石炭—二叠系,塔里木盆地石炭—二叠系等。中下组合中生界烃源岩发育在松辽、四川与柴达木盆地,且主要是煤系地层(图2)。在渤海湾盆地,由于中下组合内烃源岩不发育或遭受改造破坏,其油气主要来源于上覆第三系裂谷盆地的湖相泥岩。可见,在稳定克拉通地块上发育的叠合盆地中

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

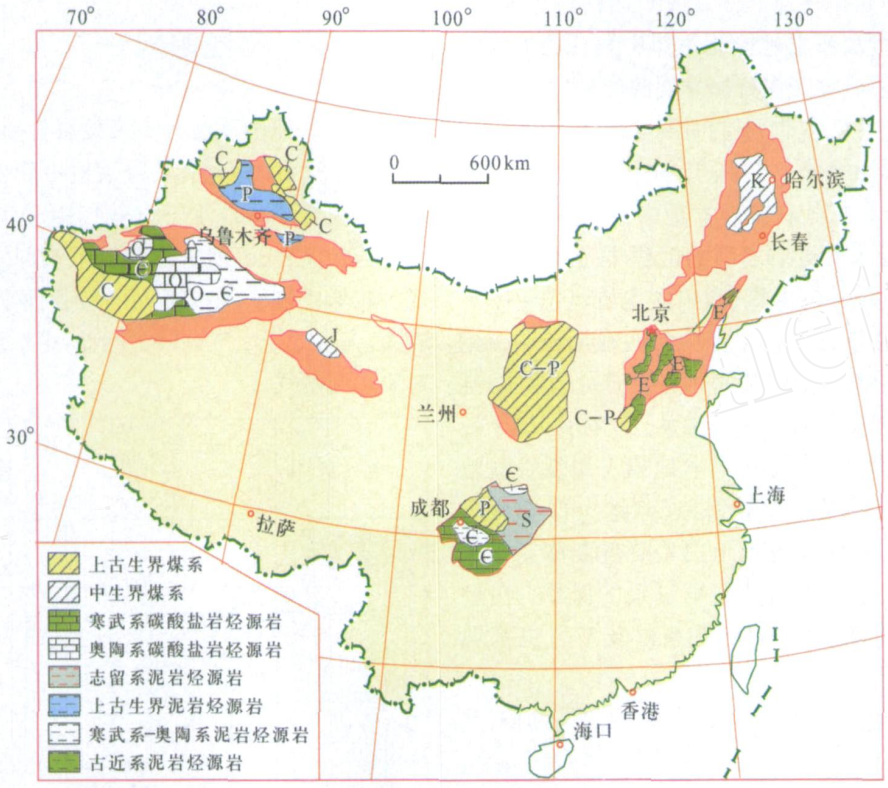


图 2 中国陆上叠合盆地中下组合烃源岩分布图

Fig. 2 Distribution of source rocks in the middle and lower combinations of onshore superimposed basins in China

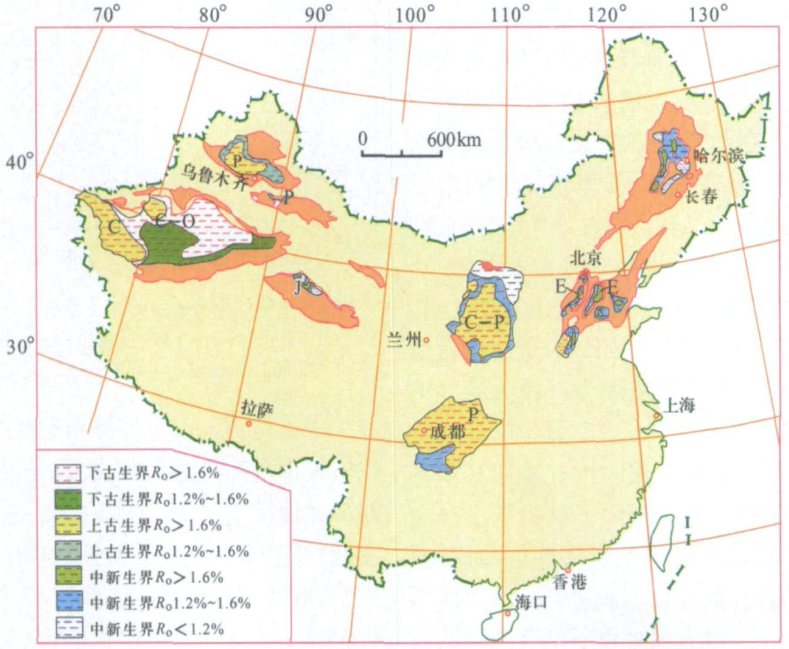


图 3 中国陆上叠合盆地中下组合烃源岩热演化程度分布图

Fig. 3 Maturity of source rocks in the middle and lower combinations of onshore superimposed basins in China

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

下组合多套烃源岩叠置,成藏复杂,成藏组合也较多。

叠合盆地中下组合烃源岩成熟度普遍较高,现今多达高—过成熟阶段,以生气为主(图 3)。松辽盆地侏罗系—下白垩统烃源岩 R_o 主要为 1.2%～1.6%;鄂尔多斯盆地石炭系—二叠系烃源岩 R_o 主要为 1.2%～2.2%;四川盆地寒武系与志留系烃源岩 R_o 主要为 2%～4%,二叠系 R_o 在 1.2%～3.2%;塔里木盆地寒武系—奥陶系烃源岩 R_o 大都在 1.2%～4.6%,其中 R_o 在 1.6%～4.6%的面积约有 17×10^4 km^2,石炭系烃源岩 R_o 大多为 1.0%～3.6%;准噶尔、三塘湖、柴达木盆地中下组合烃源岩既有处在低成熟阶段,也有处在高成熟、过成熟阶段,既生油也生气;渤海湾盆地石炭系—二叠系烃源岩 R_o 主要在 1.0%～1.35%,达高成熟阶段,古近系烃源岩主要处在生油高峰阶段。

叠合盆地中下组合多期叠合且具有差异性,导致烃源岩热演化历史复杂,出现多个生烃高峰和多个成藏期,晚期成藏为主是其显著特点[3-4]。

塔里木盆地满加尔凹陷寒武系—下奥陶统烃源岩最早在泥盆纪达到生烃高峰,而中上奥陶统烃源岩最晚到新生代才进入生油高峰。川东寒武系生排烃高峰期在泥盆纪,志留系烃源岩生排烃高峰期在侏罗纪,二叠系生排烃高峰期在侏罗纪末与白垩纪。

各叠合盆地中下组合的主要烃源岩,在新生代多进入大量生排气阶段,使得中下组合烃源岩晚期成藏现象普遍。叠合盆地地温梯度呈逐渐降低过程,而新生代以来特提斯构造域和太平洋构造域强烈活动,致使叠合盆地在晚期快速沉降。构造变形而形成一批新圈闭或使早期圈闭定型和就位,因而在距今很近的时间出现一次大规模成藏过程。如塔里木盆地台盆区与前陆盆地所发现的油藏和气藏[3,5-7],有相当多的都是晚期形成,其中前陆盆地的成藏就更晚,仅在距今 5～2 Ma 左右的时间形成。准噶尔盆地侏罗系以上各层系的成藏时间很晚。吐哈、柴达木、酒西与四川盆地中生界的成藏也都是晚成藏,主要成藏期以白垩纪末—第三纪者为多。统计资料显示,中国叠合盆地大油田形成期主要为新生代,大中型气田形成则主要在新近纪以来。

2 中下组合储集层

近年来的勘探与研究揭示,叠合盆地中下组合在深层可发育多类优质储层,其物性受埋深影响较小,但非均质性一般较强。中下组合发育四大类储层,即碳酸盐岩、火山岩、砂砾岩与变质岩,其中海相碳酸盐岩分布规模最广,火山岩在某些盆地中下组合中是主要储层,变质岩分布较为局限。

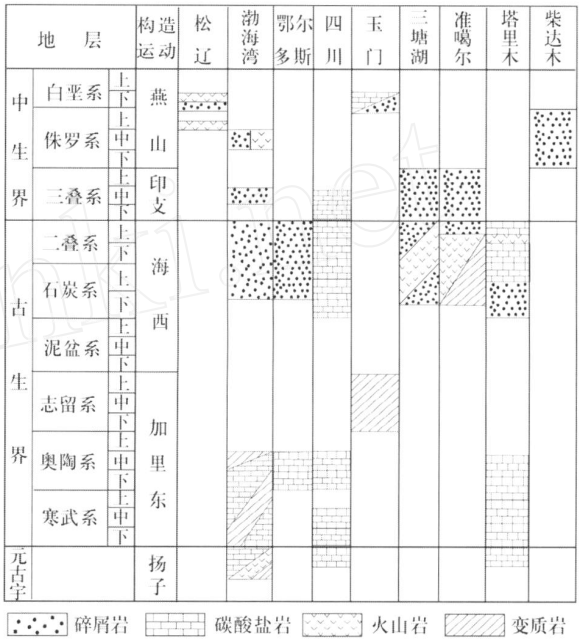


图 4 中国陆上叠合盆地中下组合储层类型与层位分布

Fig. 4 Types and horizons of reservoir rocks in the middle and lower combinations of onshore superimposed basins in China

海相碳酸盐岩储层主要发育在下古生界,上古生界和中生界碳酸盐岩在四川盆地和塔里木盆地部分地区有分布(图 4、5)。碳酸盐岩主要发育礁滩、风化壳、岩溶、白云岩 4 类有利储层,主要分布在塔里木、鄂尔多斯、四川和渤海湾盆地。主要由于晚古生代天山—兴蒙海槽发育,古特提斯洋俯冲引起的弧后裂谷作用,中生代太平洋板块俯冲引起的弧后大陆裂谷作用,在北疆、塔里木及东北、华北、下扬子等地区发育了火山岩-沉积盆地,火山岩储层与沉积岩系烃源岩构成有利组合,使得油气勘探具有现实性,储层可分为熔岩、火山碎屑岩、溶蚀火山岩和裂缝型 4 类,储层发育受岩性、岩相、成岩和后期溶蚀及裂缝作用控制,一般中酸性熔岩和火山角砾岩是最有利的储层。深层碎屑岩储层物性一般较差,但低地温、超压、早成藏、晚埋藏、裂缝有助于碎屑岩储层孔隙的保持,可导致优质储层的发育[1-2,4],如松辽盆地深部断陷边缘的砂砾岩、酒泉盆地窟窿山前的白垩系砾岩等。

中下组合碎屑岩储层发育最广,以上古生界与中生界为主。

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

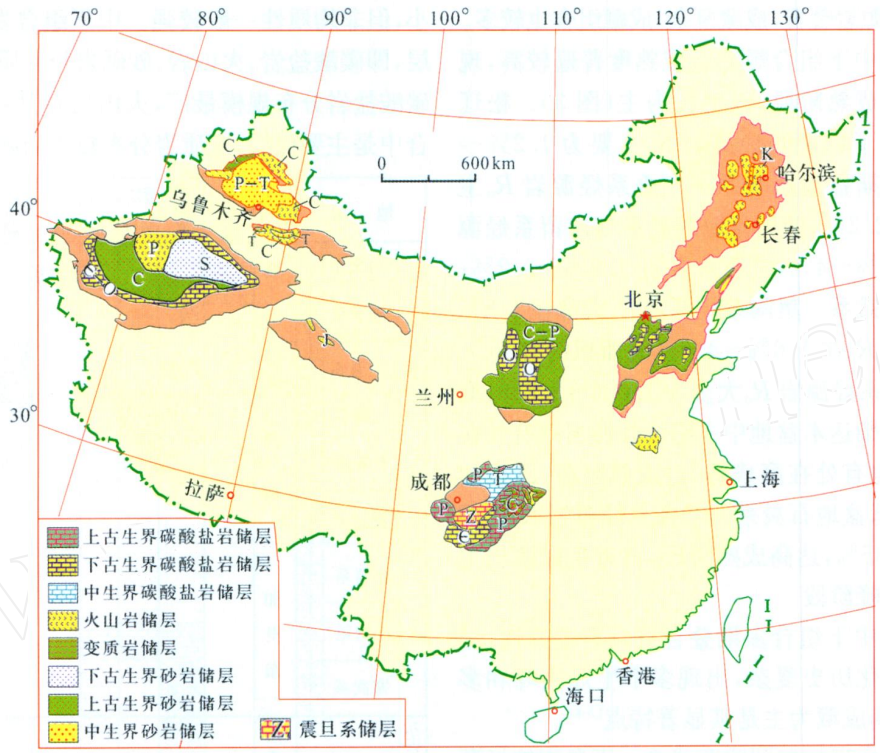


图 5 中国陆上叠合盆地中下组合储层分布图

Fig. 5 Distribution of reservoir rocks in the middle and lower combinations of onshore superimposed basins in China

中下组合深层储集体的主要孔隙类型是溶孔、溶洞、裂缝、火山岩气孔、砾间孔缝等。其中碳酸盐岩有利沉积相带有利于原生孔隙发育,风化淋滤、构造裂缝作用等控制次生孔洞形成,储集体以溶蚀孔洞与裂缝为主要储集空间;火山岩储层成岩过程中可发育气孔、成岩缝等,其骨架强度大,抗压实性好,其中的不稳定矿物易溶蚀形成次生溶孔,构造活动也能产生大量的构造裂缝,由此形成良好的储集体;中下组合深层砂砾岩以次生孔、砾间孔、裂缝为主要孔隙类型,而变质岩以次生溶蚀孔隙与裂缝为主要孔隙类型。由上述可见储层储集空间发育受次生作用影响大,受埋深压实作用影响相对较小,因此,在深层仍然可发育好储层但储层非均质性较普遍,因而形成多种类型的岩性地层油气藏。

3 中下组合油气分布

叠合盆地中下组合油气藏以岩性、地层及复合型为主;油气相态复杂,既有正常天然气、正常油,也有凝析气、稠油等。轮南—塔河奥陶系风化壳油田包括正常油藏、气藏和稠油油藏及凝析气藏,塔中凸起奥陶系礁滩体有正常油藏、气藏以及凝析气藏,鄂尔多斯盆地靖边气田,松辽盆地深层火山岩气藏,它们均属于岩性地层油气藏。塔里木盆地和田河气田、准噶尔盆地石西石炭系油田等属于地层-构造油气藏。

叠合盆地中下组合油气分布与古隆起发育、沉积或火山相带以及断裂带、不整合面发育密切相关。古隆起下倾部位常常发育优质烃源岩,有效生烃灶与古隆起时空上的良好匹配关系,为油气向古隆起长期运移聚集提供丰富来源,使得古隆起成为"吸纳"油气的有利场所;古隆起高部位及其斜坡是礁滩等原始高能沉积相带和风化壳等次生储集体发育的有利地带;经长期风化剥蚀后的古隆起,再次海侵后,其上常为铝土质页岩、泥页岩等覆盖,构成良好的储盖组合,油气主要聚集在区域盖层之下,如塔中古隆起、川中古隆起与鄂尔多斯中央古隆起的油气藏分别位于石炭系中部泥岩—二叠系超压泥岩、二叠系下部页岩、上二叠统泥岩之下;断裂带控制有利沉积相带、火山岩有利相带发育,输导油气,改善储层;不整合面溶蚀改善储层,输导油气,岩性地层圈闭集中发育;由于上述多种作用单独或复合作用,往

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

往形成不同类型的复合圈闭。因此在古隆起斜坡、断裂带附近、不整合面上下油气最富集,区域盖层控制油气分布的层位。如四川盆地加里东期乐山—龙女寺古隆起,塔里木盆地塔北、中央古隆起,鄂尔多斯盆地中央古隆起,准噶尔盆地车莫古隆起均控制了油气的分布,而有利储集相带、断裂带、不整合面等控制油气的富集。

叠合盆地类型及其地质结构不同,造成中下组合油气成藏组合类型多样,油气藏分布各异。叠合盆地中下组合多类型圈闭(群)可构成复式油气富集带。如在古隆起范围内,除发育与断裂伴生或潜山构造有关的构造或低幅度构造圈闭外,还发育大量与碳酸盐岩缝洞储集体、砂岩体以及地层尖灭有关的岩性、地层圈闭,构成复式油气聚集带。如在塔中凸起北坡除发育构造油气藏外,还发育地层尖灭型、缝洞体岩性油气藏、潮坪砂岩体岩性油气藏。

4 中下组合勘探潜力

叠合盆地中下组合是中国陆上含油气盆地未来重点勘探领域之一。勘探的现实地区包括松辽盆地深层火山岩和砂砾岩,鄂尔多斯盆地古生界,四川盆地二叠—三叠系礁滩储集体,塔里木盆地台盆区腹部下古生界东河砂岩,准噶尔盆地石炭系—三叠系和渤海湾盆地前第三系潜山;待突破和接替地区包括渤海湾盆地前新生界,吐哈盆地的前侏罗系油气成藏组合,柴达木盆地的侏罗系油气成藏组合,四川盆地震旦系—下古生界以及塔里木盆地塔东、阿瓦提地区。

松辽盆地中下组合主要是指上侏罗统至下白垩统登娄库组—泉头组1～2段沉积。天然气成藏主要与主断陷中烃源岩发育、沿断裂火山岩储层形成有关。靠近大断裂的爆发相与溢流相火山岩及砂砾岩是最有利的储集体。烃源岩、断裂、火山岩(砂砾岩)储层与构造高部位等的有效配置是高产富集的主要因素。

鄂尔多斯盆地上古生界与下古生界天然气藏的发育主要控制因素存在明显的差异。上古生界天然气成藏主要受山西—太原组煤系地层近源供烃、河道砂体发育、侧向与上倾方向泥岩和致密层的封堵及顶部厚层泥岩封盖控制。而下古生界天然气藏的发育主要受岩溶古地貌背景下的储层发育、上覆与上倾遮挡等控制。

四川盆地二叠系长兴组—下三叠统飞仙关组天然气聚集主要受沉积相带发育和白云岩化等成岩作用的控制,如川东北飞仙关组大中型气藏主要分布在开江—梁平海槽两侧的台地边缘鲕滩及台内礁滩发育区。由于这些储层的发育非均质性强,横向变化快,容易形成构造背景上的岩性气藏。

塔里木盆地下古生界油气聚集主要受古隆起控制,古隆起不仅控制油气长期运移与聚集的指向,而且控制古生界沉积时期岩相古地理以及后期岩溶作用,从而控制有利储集体发育。如处于塔北隆起斜坡部位的轮南低凸起,奥陶系高能滩相带发育,后期经历多期抬升剥蚀与岩溶作用改造,风化壳储集体发育;塔中低凸起沿Ⅰ号断裂带发育奥陶系台缘礁滩相带,经后期溶蚀改造形成优质储集体。由于这些储集体的非均质性,形成了分布面积很大的岩性地层油气藏。

准噶尔盆地前侏罗系油气成藏组合勘探近期主要在西北缘、陆东与准东取得一系列发现。其油气成藏的主要控制因素包括不整合面、断裂、扇体及火山岩发育与古隆起控制,形成的油气藏以岩性地层型为主,油气成藏既有以二叠系、石炭系为烃源的自生自储型,也有以二叠系为烃源的新生古储型。

渤海湾盆地的下组合主要是潜山勘探领域,如冀中坳陷的元古宇—古生界潜山、黄骅坳陷的石炭系—中生界潜山与辽河坳陷的元古宇—古生界低幅度潜山。其油气成藏主要受烃源岩与储层配置关系控制。储层主要是发育在风化壳上的构造裂缝、溶孔溶洞,而烃源岩主要受古近系主断裂控制。

5 结论

中国大陆由多陆块经多期拼合而成,在周边板块构造环境控制下经多旋回构造演化形成了众多的叠合盆地。叠合盆地中下组合多为形成于海西期或印支期构造运动之前的沉积层系,其中烃源岩普遍发育,但多经历了多期长期演化,成熟度普遍较高,因而以生气为主。多期构造运动造成烃源岩生烃具有多期性、差异性,由此造成油气藏具有多期成藏特点,且由于喜山期新构造运动影响,晚期成藏较为普遍。叠合盆地中下组合主要有碳酸盐岩、火山岩、砂砾岩与变质岩四大类储层,这些储层储集空间的发育受风化溶蚀、裂缝等次生作用影响大,因此它们的储集物性受埋深影响较小,在较大埋深下仍然可发

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

育优质储层。叠合盆地中下组合油气分布与古隆起发育、沉积或火山相带以及断裂带、不整合面发育密切相关,油气藏以岩性、地层及复合型为主,相态复杂,是多期成藏的结果。叠合盆地中下组合勘探潜力巨大,是中国陆上含油气盆地未来重点勘探领域之一。

References:

[1] Zhao W Z, Zhang G Y, He H Q, et al. Marine petroleum geology and the composite petroliferous basin of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 45-53 (in Chinese).

[2] Zhao W Z, Zhang G Y, Wang H J, et al. Basic features of petroleum geology in the superimposed petroliferous basins of China and their research methodologies[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(2): 1-8(in Chinese).

[3] Zhang G Y, Wang H J, Li H H. The main control factors of reservoir formation and hydrocarbon distribution in craton region of Tarim basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 77 (Suppl): 24-29(in Chinese).

[4] Zhao W Z, Zhang G Y, Wang Z C. On the concept of composite petroleum systems and its application to the prediction of oil and gas resources in superimposed basins[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4): 458-467(in Chinese).

[5] Zhang G Y, Song J G. Control of basin reworking on hydrocarbon accumulation and preservation in the Tarim cratonic basin, Northwest China[J]. Geological Review, 1998, 44 (5): 511-521(in Chinese).

[6] Zhang G Y. The evolution and petroleum of Paleozoic craton basin in Tarim[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000:103-109(in Chinese).

[7] Zhang G Y, Wang H J, Song J G, et al. The identification of Manxi Cambrian - Lower Ordovician petroleum system of Tarim basin and its application to oil and gas exploration[J]. China Petroleum Exploration, 2002, 7 (4): 18-24 (in Chinese).

参考文献:

[1] 赵文智,张光亚,何海清,等. 中国海相石油地质与叠合含油气盆地[M]. 北京:地质出版社,2002: 45-53.

[2] 赵文智,张光亚,王红军,等. 中国叠合含油气盆地石油地质基本特征与研究方法[J]. 石油勘探与开发,2003,30(2):1-8.

[3] 张光亚,王红军,李洪辉. 塔里木盆地克拉通区油气藏形成主控因素与油气分布[J]. 科学通报,2002,77(增刊): 24-29.

[4] 赵文智,张光亚,汪泽成. 复合含油气系统的提出及其在叠合盆地油气资源预测中的作用[J]. 地学前缘,2005,12(4): 458-467.

[5] 张光亚,宋建国. 塔里木克拉通盆地改造对油气聚集和保存的控制[J]. 地质论评, 1998, 44(5):511-521.

[6] 张光亚. 塔里木古生代克拉通盆地形成演化与油气[M]. 北京:地质出版社, 2000:103-109.

[7] 张光亚,王红军,宋建国,等. 塔里木盆地满西寒武系—下奥陶统油气系统的确定及其在勘探上的应用[J]. 中国石油勘探,2002,7(4): 18-24.

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