

文章编号:0253-9985(2010)06-0865-06

中国海相残留盆地油气资源潜力评价技术探索

徐旭辉¹,朱建辉²,金晓辉¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083; 2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所,江苏 无锡 214151)

摘要:从活动论构造历史观出发,应用“原型控源、叠加控藏”的研究思路,分析了古中国陆、古亚洲陆和新亚洲陆3个地史阶段中陆缘与陆内盆地的形成演化,探索了中国古生界海相残留盆地TSM盆地模拟资源评价技术。研究认为中国古生代海相盆地在纵向上主要发育下寒武统、中上奥陶统一志留统和二叠系3套烃源岩。下寒武统烃源岩分布于被动大陆边缘靠陆一侧,中上奥陶统一志留统烃源岩分布于台内坳陷,二叠系烃源岩分布于陆内裂陷-坳陷盆地,被动边缘坳陷是烃源岩最有利发育区。烃源岩主要包括碳酸盐岩和泥质岩两类。通过原型盆地约束下的地质作用-油气响应确定性数学模拟方法进行网络整合,提供油气资源评估和位置预测,从而评价了古生代海相盆地原型的发育和后期叠加改造演化的过程及其油气意义。该方法在华北地区上古生界烃源岩潜力的评价应用中,取得了较好的效果。

关键词:叠加改造;TSM盆地模拟资源评价技术;原型盆地;海相残留盆地;中国

中图分类号:TE122.3 **文献标识码:**A

Method for appraising hydrocarbon resource potential in relict marine basins in China

Xu Xuhui¹, Zhu Jianhui² and Jin Xiaohui¹

(1. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: According to the theory of mobilism and the idea of “prototype basin controlling hydrocarbon sources and superimposition of basins controlling hydrocarbon accumulation”, we studied the formation and evolution of continental marginal and intra-continental basins during the geological histories of the ancient Chinese Continent, the ancient Asian Continent and the new Asian Continent, and probed the TSM basin modeling method for resource evaluation in Chinese relict Paleozoic marine basins. Vertically, 3 sets of source rocks including the Lower Cambrian, the Middle-to-Upper Ordovician-Lower Silurian and the Permian were developed in Chinese Paleozoic marine basins. The Lower Cambrian source rocks were developed on the land-side of passive continental margin, the Middle-to-Upper Ordovician-Lower Silurian ones in intra-platform depression and the Permian ones in intra-continental rifted-downwarping basins. Depressions on passive continental margin were the most favorable for development of source rocks. There are mainly two types of source rocks, namely carbonates and argillites. Through prototype basin-constrained quantitative mathematical modeling of geologic process-hydrocarbon responses, we performed network integration and appraisal of petroleum resource potential. The development of the Paleozoic marine prototype basins and their later superimposition and evolution as well as their petroleum significances are discussed. This method has been successfully applied to the appraisal of the Upper Paleozoic source rock potential in North China.

收稿日期:2010-11-05。

第一作者简介:徐旭辉(1964—),男,博士、教授级高级工程师,盆地分析与盆地模拟。

Key words: superimposition and modification, resource appraisal through TSM basin modeling, prototype basin, relict marine basin, China

前中生界海相层系肩负着中国油气资源战略接替的重大使命,是中国石油工业“二次创业”的重要领域^[1]。中国海相残留盆地在古生代陆块聚合过程中生成、发展,在中、新生代陆块边缘增生、陆块挤榨和排斥过程中翻天覆地改造,其独具风格的成盆、成烃、成藏特征对科学、客观地评价油气资源潜力提出了更高的理论与技术要求。本文着重分析古生代海相盆地原型的发育和后期叠加改造演化的过程,针对其特点分析了资源评价方法的适用性,提出了中国古生界海相残留盆地TSM盆地模拟资源评价技术方法和思路。

1 中国古生代海相盆地发育与烃源岩分布

在中国油气盆地形成的3个地史阶段中,古中国陆形成阶段(青白口纪—志留纪),在离散陆块会聚过程中发育大洋旋回陆缘盆地序列;古亚洲陆形成阶段(泥盆纪—中三叠世),由于增生大陆间远距离聚合,北聚南离,发育大陆旋回陆内盆地序列^[2,3]。

不同历史时期、不同演化阶段的原型盆地发育和其沉积充填序列控制着古生代海相盆地烃源岩的发育与展布。在纵向上主要发育下寒武统、中上奥陶统一志留统、二叠系3套烃源岩。其中,下寒武统烃源岩分布于被动大陆边缘靠陆一侧,中上奥陶统一志留统烃源岩分布于台内坳陷,二叠系烃源岩分布于陆内裂陷—坳陷盆地。发育特征表现为台缘区以泥质、泥灰岩烃源岩为主;克拉通台地内部,早古生代时期以碳酸盐岩或蒸发岩碳酸盐岩为主,晚古生代时期,由于海相往陆相过渡以及古气候条件的影响,以煤系烃源岩(煤系暗色泥岩和煤岩)为主;同时受离散作用的控制,并列的裂谷(或坳拉槽)和断陷盆地内普遍发育深水泥质岩,富含有机质。

2 海相盆地的改造与烃源岩演化特点

新亚洲陆形成阶段(晚三叠世以来),中国及

邻区处于大陆边缘会聚增生和陆内挤榨—排斥形变,陆缘盆地序列与陆内变格盆地序列发展。根据陆缘和陆内构造互相呼应关系,中—新生代变格盆地可分为3期,即第一变格期(T_3-K_1);第二变格期(K_2-E)和第三变格期($N-Q$)。第一变格期可以细分为早期(T_3-J_2)和晚期(J_3-K_1)。例如塔里木盆地,在晚三叠世—中侏罗世(T_3-J_2)由于天山复苏形成了塔北前渊、随后又经历了晚侏罗世—早白垩世(J_3-K_1)阿尔金排拆带、晚白垩世—古近纪(K_2-E)陆内挤榨—排斥和新近纪—第四纪($N-Q$)天山、昆仑挤榨,塔北和塔南区持续发育前渊盆地。这些改造变化决定了塔里木盆地寒武系—奥陶系烃源岩的演化特点。有机质演化程度研究表明,中—下寒武统主体处于高成熟晚期至过成熟早期演化阶段,推测在埋深更大的满加尔坳陷和阿瓦提断陷演化程度更高,局部已达生烃“死亡线”;中奥陶统烃源岩主体也处于高成熟—过成熟早期演化阶段,推测满加尔坳陷及阿瓦提断陷处于过成熟演化阶段,上奥陶统烃源岩主体仍处于生油窗之内。不同世代的原型盆地彼此并列叠加形成了中国现今展布的中—新生代盆地及构造格局,而受中—新生代盆地叠加的变格作用制约,造就了下古生界两套主力烃源岩演化程度普遍较高,主体处于高过成熟演化阶段。由于面上迭加的差异性,使得二叠系烃源岩演化程度横向变化较大,而且不同盆地内烃源岩有其特有的生烃历程。从机理分析看,原型盆地的叠加改造导致中国古生界海相烃源岩具有从I—II₁型干酪根母质、再生烃源岩、II₂—III型干酪根母质等演化的一次成烃、再次成烃和多期成烃的多种模式^[4]。

3 海相油气资源潜力评价技术探索

3.1 评价方法

目前,常用的油气资源评价方法可归纳为类比法、统计法和成因法3大类。在每一类评价方法中,都包括多种具体评价方法(表1)。

从方法的特点看,由于我国海相领域勘探

和研究程度普遍较低,在很多地区的成油地质条件尚不清楚,加之海相领域的类比标准区目前还基本不具备或不完备。因此,应用类比法对海相油气资源潜力进行评价具有相当的难度。根据统计法的方法原理,统计法仅适用于勘探程度较高的地区,并且评价区内应有能形成一定统计规律的多个油(气)藏的发现。因此,就目前情况而言,对于勘探程度普遍较低的海相领域(尤其是勘探新区)的油气资源评价,统计法尚不适用。成因法在实际应用过程中,对评价区的油气生成、运移、聚集、保存等各项基础地质进行充分研究的基础上准确、客观地确定一系列重要参数是一项难度很大的工作。但近些年从内涵到外延均取得较大发展,涵盖了埋藏史、热史、生烃史、运聚史等方面模拟,是成盆、成烃、成藏的确定性模拟评价方法,适用于石油勘探的各个阶段,当资料少时可从系统角度,综合分析评价潜力,做出早期预测。当资料较为丰富时,可定量分析有利区带,评价有利目标。

3.2 TSM 盆地模拟资源评价技术

TSM 盆地模拟资源评价技术是建立在朱夏^[5]提出的 3T-4S-4M 盆地研究工作程式基础上,将油气盆地作为一个系统,按理论建模—实例校

验—动态模拟的程序来进行系统研究。TSM 盆地模拟方法^[6~7]是设定在原型盆地约束下进行的地质作用与油气响应确定性数学模拟。它强调以盆地原型并列叠加分析作为模拟的前提,以针对性的模拟方法模拟不同盆地类型的地质作用过程,从而更加逼近盆地地质演化的实际情况、突出其演化特点。同时 TSM 盆地模拟强调地质作用是油气物质演化的边界条件,强调了对油气的生、排、运的控制作用和动态系统的整合,对控制油气演化的各项因素及其相互关系进行动态的模拟,对模拟油气的分布情况与实际发现进行拟合,预测未知地区,从而合理地对油气资源进行评价。

据此,地质概念建模强调了“原型控源,叠加控藏”理念,即在原型盆地地质作用约束下的油气预测模拟,要求与实际地质条件进行互动的模拟分析,取得适应实际的数学模型配置,着重于模拟演绎原型系统确定性地质作用-油气响应关系的合理性。把盆地分析和地质数据的采集以及模拟结果与实际勘探评价的不断反馈作为一个整体的系统来加以考虑(图 1),不断反馈模拟结果,不断修正地质模型,最终为用户提供资源评价和勘探部署意见,使模拟评价结果对实际勘探人员更具有可检验性和说服力。

表 1 油气资源评价方法特点对比
Table 1 Comparison of different petroleum resource appraisal methods

评价方法	类比法	统计法	成因法
基本概念	根据评价区与类比区油气成藏条件的相似性,并由已知区(类比区)的油气资源丰度估算未知区(评价区)资源丰度和资源量的资源评价方法	通过对评价区已发现油气田的规模、发现过程等方面的统计分析,建立油气田规模分布模型,预测探区内的剩余油气资源的评价方法	成因法从油气生成的物质基础——烃源岩出发,通过对其演化过程中油气生成量、排出量和聚集量的估算,从而进行油气资源评价
基本方法	某一评价盆地(预测区)和某一高勘探程度盆地(标准区或刻度区)有类似的成油气地质条件,那么它们将会有大致相同的含油气丰度(面积丰度、体积丰度)	有多种具体方法,如:油田规模序列法、广义帕莱托分布法等、统计趋势预测法(包括年发现率法、探井进尺发现率法等)、发现过程模型法等	常用方法包括有机碳法、氯仿沥青“A”法、干酪根热降解法、盆地模拟法等,其中以盆地模拟法最具代表性
应用条件	适用于评价区的成油气地质条件基本清楚;类比标准区已进行了系统的油气资源评价研究,且已发现油气田或油气藏	仅适用于勘探程度较高的地区,并且评价区内应有能形成一定统计规律的多个油(气)藏的发现	适用于石油勘探的各个阶段。理论上具有广泛的适用性,但在实际应用过程中,在对评价区的油气生成、运移、聚集、保存等各项基础地质进行充分研究的基础上准确、客观地确定一系列重要参数是一项难度很大的工作

生代断陷作用上古生界烃源岩再次生烃的差异,以及合理揭示不同地区上古生界烃源岩生烃演化史。这样可以客观、“理应如此”地评价渤海湾地区上古生界生烃潜力和资源前景(图3)。

4.3 上古生界烃源岩成烃演化特征

中三叠世末上古生界烃源岩已基本进入生烃门限,源岩成熟度(R_o)大多在0.7%~0.8%范围内变化,此时源岩演化程度不高,供烃能力没有被充分发挥。后期盆地演化差异使各地区上古生界源岩呈现出不同的热演化史,从而导致各地区上古生界生烃贡献大小不一。

模拟结果表明,燕山期和喜马拉雅期埋藏情况的相互交错形成了上古生界源岩热演化程度差异(图4)。燕山期沉积厚度大,上古生界埋藏深,将导致燕山期末上古生界烃源岩热演化程度高,早期生烃贡献大;反之,早期生烃贡献小,给喜马拉雅期断陷作用时期保留了生烃能力。临清拗陷燕山期埋藏深,上古生界源岩演化程度相对较高,而喜马拉雅期断陷作用相对较弱,因而源岩在古近纪时期生烃能力比较差;东濮地区由于燕山期埋藏停滞或者上古生界没有达到进一步演化的条件,而是在古近纪期间强烈断陷完成了“二次生

烃”;济阳拗陷地区由于燕山期沉积和剥蚀的横向差异较大,造成了断陷内喜马拉雅期生烃过程的横向差异。古近纪断陷深凹部位由于侏罗—白垩系厚度大,上古生界烃源岩在燕山期提供了较大的生烃贡献,而断陷斜坡部位燕山期埋深浅,相反在喜马拉雅期提供了较大的生烃贡献,模拟结果揭示出上古生界烃源岩燕山期以来的生烃强度存在由深凹往斜坡迁移的变化特征(图5)。

生烃史模拟表明,印支运动前渤海湾盆地各拗陷上古生界源岩的演化过程和演化程度基本一致;印支运动后,济阳拗陷经历了燕山期、喜马拉雅期两个“二次生烃”阶段,其中根据阶段生烃量对比,早喜马拉雅期生烃量最大,其次是燕山期;临清拗陷也经历了这两个阶段,但生烃量最大是燕山期,早喜马拉雅期较小;东濮凹陷仅经历了喜马拉雅期一个二次生烃阶段,其中87.7%以上的生烃量集中在早喜马拉雅期。

5 结论

中国古生代海相残留盆地的烃源岩具有发育早、演化时间长、经历改造多且风格不一等特点,针对目前勘探程度较低且各具风格的海相残留盆

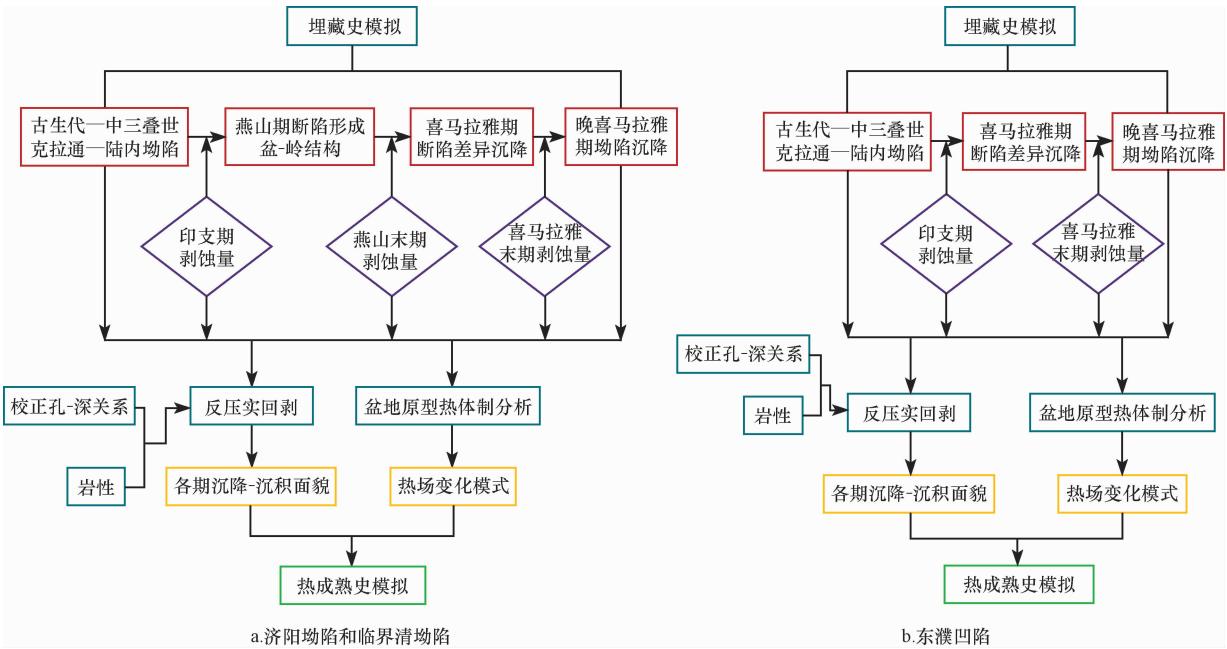


图3 渤海湾探区埋藏-热-生烃史模拟流程^[10]

Fig. 3 Flowcharts for simulation of burial history, geothermal history and hydrocarbon generating history

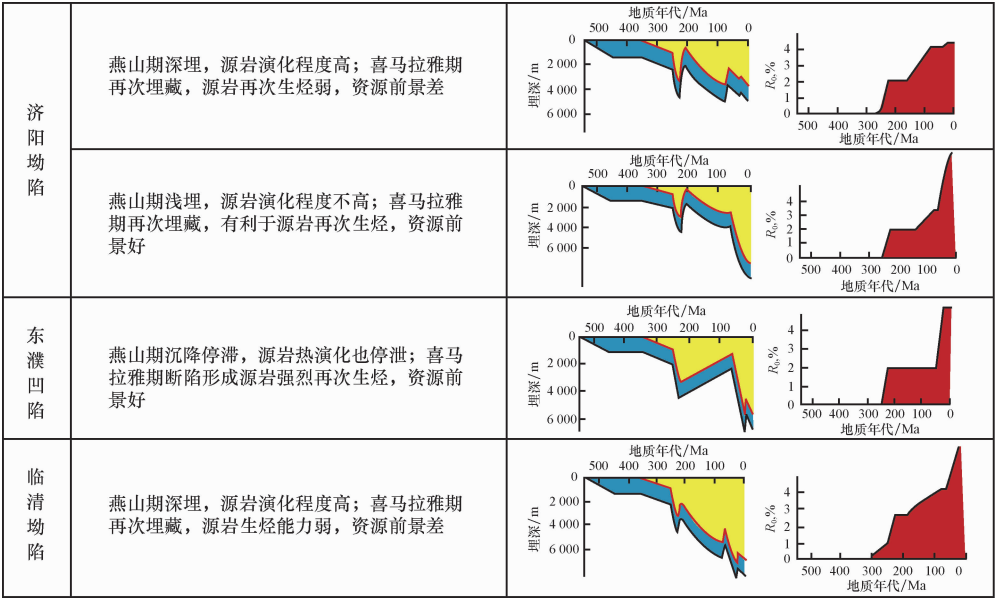


图 4 渤海湾地区不同坳陷埋藏史和热史特征差异

Fig. 4 Comparison of burial history and geothermal history among different depressions in Bohai Bay area

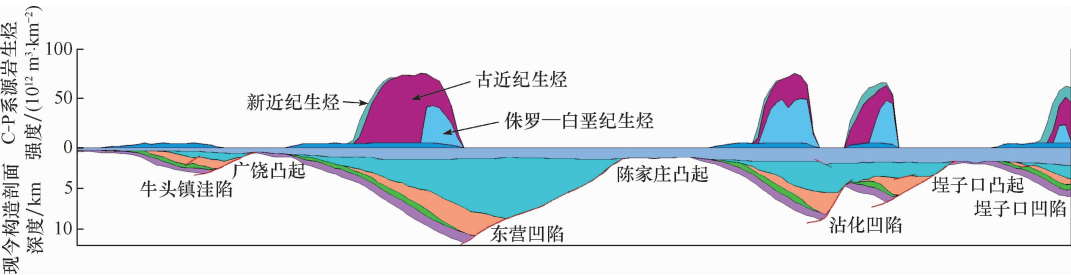


图 5 济阳坳陷上古生界不同时期生烃演化(616 测线生烃强度)

Fig. 5 Hydrocarbon generation evolution in different periods of the Late Paleozoic in the Jiyang Depression

地资源评价中,类比法、统计法应用受到很大的制约。只有在“原型控源,叠加控藏”分析理念指导下建模,系统、动态模拟,才能更加客观地认识古生界海相烃源岩成烃过程及资源前景。

应用表明,TSM 盆地模拟资源评价方法技术,正是着眼于盆地形成动力机制分析,通过盆地原型并列迭加建模体现风格,系统动态定量表现成盆成烃过程,是一个合理评价与预测中国海相残留盆地油气资源潜力的良好手段。

参 考 文 献

1 刘光鼎,郝天珧,祝靛谊. 环渤海地区油气资源探查的思考[J]. 地球物理学进展,2002,17(4):559~563

2 徐旭辉,高长林,黄泽光,等. 中国盆地形成的三大活动构造历史阶段[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):155~163

3 张渝昌. 中国含油气盆地原型分析[M]. 江苏南京:南京大学出版社,1997. 44~80

4 秦建中,李志明,腾格尔. 中国南方高演化海相层系的古温标

[J]. 石油与天然气地质,2009,30(5):608

5 朱夏. 论中国含油气盆地构造[M]. 北京:石油工业出版社,1986. 94~121

6 徐旭辉,江兴歌,朱建辉. TSM 盆地模拟——在苏北溱潼凹陷的应用[M]. 北京:地质出版社,1997. 1~5

7 张渝昌,徐旭辉,江兴歌,等. 展望盆地模拟[J]. 石油与天然气地质,2005,26(1):29~36

8 胡宗全. 华北东部地区盆地叠合特征与古生界生烃史[J]. 现代地质,2006,20(4):585~591

9 金之钧,蔡立国. 中国海相油气勘探前景、主要问题与对策[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):722~730

10 朱建辉,胡宗全,吕剑虹,等. 渤海湾济阳、临清坳陷上古生界烃源岩生烃史分析[J]. 石油实验地质,2010,32(1):58~63

11 郑和荣,胡宗全,周小进,等. 中国前中生代海相储层发育的构造-沉积条件[J]. 石油天然气地质,2008,29(5):574~581

12 胡宗全,朱建辉. 渤海湾盆地中南部-新生代盆地叠合特征及上古生界生烃规律[J]. 石油实验地质,2008,30(5):439~444

13 许化政,周新科. 华北早中三叠世盆地恢复与古生界生烃[J]. 石油与天然气地质,2005,26(3):329~336