

文章编号:1001-6112(2012)01-0047-06

伏尔加—乌拉尔典型前陆盆地 石油地质特征及勘探前景分析

李斌^{1,2}, 朱筱敏^{1,2}

(1. 中国石油大学(北京)油气与资源探测国家重点实验室,北京 102249;

2. 中国石油大学(北京)地球科学学院,北京 102249)

摘要:伏尔加—乌拉尔盆地为东欧地台东部边缘一个典型的前陆盆地,发育前寒武里菲纪—新生代第四纪地层,其中上古生界海相碳酸盐岩地层中发育良好的生、储、盖组合,形成了巨型富油气区,具有广阔的油气资源前景。其构造演化经历了陆内裂谷碎屑岩阶段、被动陆缘碳酸盐岩台地阶段、造山带前陆盆地形成阶段以及前陆盆地碎屑岩阶段。研究表明,该盆地经历了大陆开裂—大陆碰撞整个“威尔逊旋回”的构造运动,具有典型的大型前陆盆地形成与演化特征;被动陆缘阶段发育的生物碳酸盐岩为烃源岩提供了物质基础,而在前陆盆地形成时造山带强烈的区域构造运动为油气运移提供了动力,使油气大规模聚集;盆地东部褶皱带为今后重要的勘探区。

关键词:石油地质;碳酸盐台地;被动陆缘;前陆盆地;伏尔加—乌拉尔盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Petroleum geology and exploration potential of Volga-Ural Basin: one typical foreland basin

Li Bin^{1,2}, Zhu Xiaomin^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Earth Sciences Institute, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The Volga-Ural Basin is a typical foreland basin in the eastern margin of the Eastern Europe Platform. Subsidence continued from Riphean of pre-Cambrian to Quaternary of Cenozoic. Good assemblages of source rock, reservoir and seal exist in the marine facies carbonate rocks of the middle and upper Paleozoic, resulting in giant petroliferous region which has great potential for petroleum exploration. The tectonic evolution of the basin can be divided into four stages including: 1) clastic rock in intracontinental rift; 2) carbonate tableland in passive margin; 3) foreland basin of orogenic belt; 4) clastic rock in foreland basin. Studies show that the basin has underwent a complete “Wilson Circle” from continent rift to continent collision, and is regarded as a typical giant foreland basin. Biological carbonate rocks generated during the passive margin stage contributed to hydrocarbon generation. Severe regional tectonic movements of orogenic belt when foreland basin formed provided driving force for petroleum migration and accumulation. Folds in the east of the basin are targets for future exploration.

Key words: petroleum geology; carbonate tableland; passive margin; foreland basin; Volga-Ural Basin

前陆盆地可简单定义为介于山系前缘及其相邻克拉通之间的沉积盆地,相对于造山带而言它处于前陆位置,因此前陆盆地的形成和发展与造山带的演化密切相关^[1-11]。前陆盆地与之毗邻的褶皱冲断带蕴藏着丰富的油气资源^[12-19],据统计,前陆盆地内的油气资源占全球总量的30%~50%^[1,11-12],因此研究典型前陆盆地的形成演化及其石油地质特征对指导油气勘探和油气远景预测、

评价具有重要的理论意义和指导作用^[1,5-9]。

伏尔加—乌拉尔盆地旧称“第二巴库”,在俄罗斯是仅次于西西伯利亚的第二大石油工业区。从18世纪即发现油苗,1929年开始工业开发,50年代后期起大规模开采,共发现800处油田,500处气田。20世纪70年代中,石油探明储量在30×10⁸t以上,其中1985年采原油约1.4×10⁸t。此后该区建有多座炼油厂和石油化工联合企业,并铺设

收稿日期:2011-03-28;修订日期:2011-12-13。

作者简介:李斌(1970—),男,博士后。从事沉积学及空间数据库研究。E-mail: libin9600@sohu.com。

基金项目:中石油基金项目“全球剩余油气资源研究及油气资源快速评价技术”(2008ZX05028-003)资助。

多条输油管道,向莫斯科及东欧国家供油。

伏尔加盆地的沉积演化基本受控于乌拉尔洋的开启、扩张与闭合,到中生代随着乌拉尔洋的彻底关闭,由被动陆缘海相盆地转化为前陆盆地^[20]。本文通过系统分析伏尔加—乌拉尔盆地的构造演化、沉积序列及其石油地质特征,总结其沉积模式及油气生成、聚集规律,探讨其油气资源勘探的前景与方向。

1 区域地质概况

伏尔加—乌拉尔盆地位于俄罗斯地台东部,并向东延伸至哈萨克斯坦的北部地区,空间上由两部分组成,即广阔的伏尔加—乌拉尔台地及乌拉尔褶皱带西部的伏尔加—乌拉尔前陆盆地,面积为 90×10⁴ km²;南部与滨里海盆地相邻,西部与俄罗斯盆地及沃罗涅什台背斜相接,北部与蒂曼—伯朝拉盆地相连^[20-21](图1)。

盆地中沉积了元古界碎屑岩、下古生界碎屑岩及上古生界碳酸盐岩及中生界碎屑岩。从地层序列上分析,上古生界发育厚层的碳酸盐岩、膏盐,具有被动陆缘碳酸盐岩陆棚—台地的典型沉积特征^[7,10,12],该地层序列中发育了完整的生储盖组合^[20-24](图2)。

伏尔加—乌拉尔盆地的构造演化可以划分为

基底构造单元、贝加尔构造单元、加里东早期构造单元、加里东晚期构造单元、泥盆纪—石炭纪陆内期扩张单元、大洋闭合单元、乌拉尔构造挤压单元等几个阶段^[20-24]。

盆地的沉积基底为太古代—早元古代的变质岩,包括片麻岩、花岗岩、高度变质的火山岩、沉积岩及火山碎屑岩。基底被强烈的断层错断、改造,隆升处遭受了强烈的风化、剥蚀,在低洼盆地中局部沉积了厚层的盖层,局部可达 15 km。

贝加尔构造期始于里菲纪初期,当时的东欧地台已由多个古老板块碰撞、汇聚形成。在里菲纪中期,发生了大规模的陆内裂谷,形成了大型的陆相盆地,如莫斯科盆地、伏尔加—乌拉尔盆地及其它边缘海槽,局部海槽中充填了厚达 13 km 的红色页岩及火山碎屑岩。在里菲纪晚期—文德纪时期,随着裂谷体系的扩张,形成了宽阔的古乌拉尔洋,在其西侧的东欧地台上形成了广阔的被动陆缘碳酸盐岩台地。里菲纪晚期,在边缘地堑中沉积了大量的碳酸盐岩局部夹碎屑岩,在一些碳酸盐岩台地靠陆一侧形成了大量叠层石富集的生物礁白云岩,厚度可达 2 km;靠近海域的局限盆地整体下陷,由于海水的灌入,逐渐沉积了陆相碎屑岩—海相碎屑岩序列。

加里东阶段始于文德纪晚期—寒武纪的早期。文德纪发生了大规模的海侵,东欧地台沉积了广泛的海相碎屑岩及火山碎屑岩。早寒武世晚期古乌拉尔洋关闭,一系列的微型板块、岩浆岛弧与东欧地台发生碰撞,引起了大规模的海退,在陆内克拉通盆地(如波罗的拗陷)中沉积了三角洲—陆相碎屑岩。在早奥陶世,东欧地台的东部边缘整体从北向南开裂,一些微小板块脱离了东欧地台,乌拉尔洋再度扩张,在中奥陶世时扩张速度增加,东欧地台最终被动大陆边缘已经形成,此时乌拉尔洋的宽度达到 3 000 km。早奥陶世乌拉尔洋扩张并伴随着玄武质岩浆岩的喷溢,仅在被动陆缘大陆架的凹陷中发生沉积;晚奥陶世又发生海退,东欧地台陆内大部分地区隆升、剥蚀。志留—泥盆纪早期,由于加里东运动使整个东欧地台隆升,西侧与北美地台拼接,形成了加里东褶皱带,而在乌拉尔洋内,岛弧与东欧地台碰撞,形成了很多隆起区,遭受风化剥蚀。之后乌拉尔洋继续扩张,大陆上发生海侵,在东欧地台内部沉积陆相沉积,而在其东部及东南部的伏尔加—乌拉尔盆地中发育海相碎屑岩沉积。

在中泥盆世时期,伏尔加—乌拉尔盆地及滨里海盆地出现断裂并扩张,伏尔加—乌拉尔盆地边缘

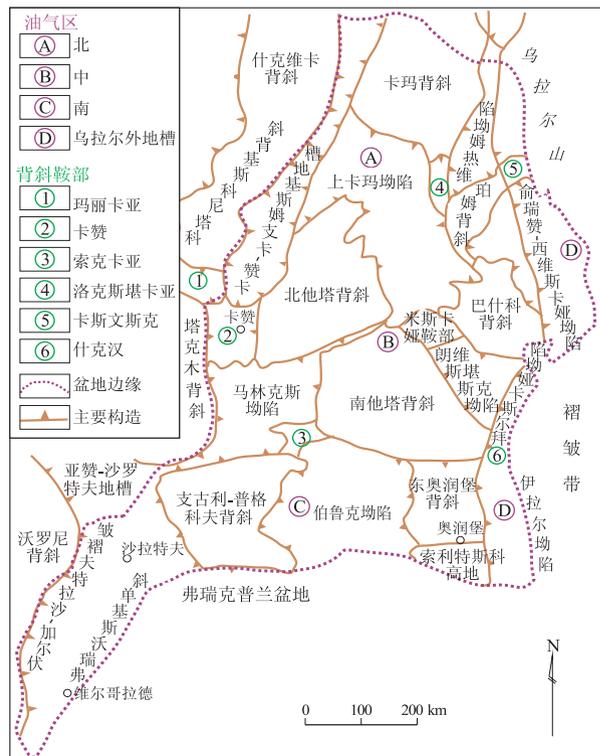


图1 伏尔加—乌拉尔盆地构造
Fig. 1 Structure of Volga-Ural Basin

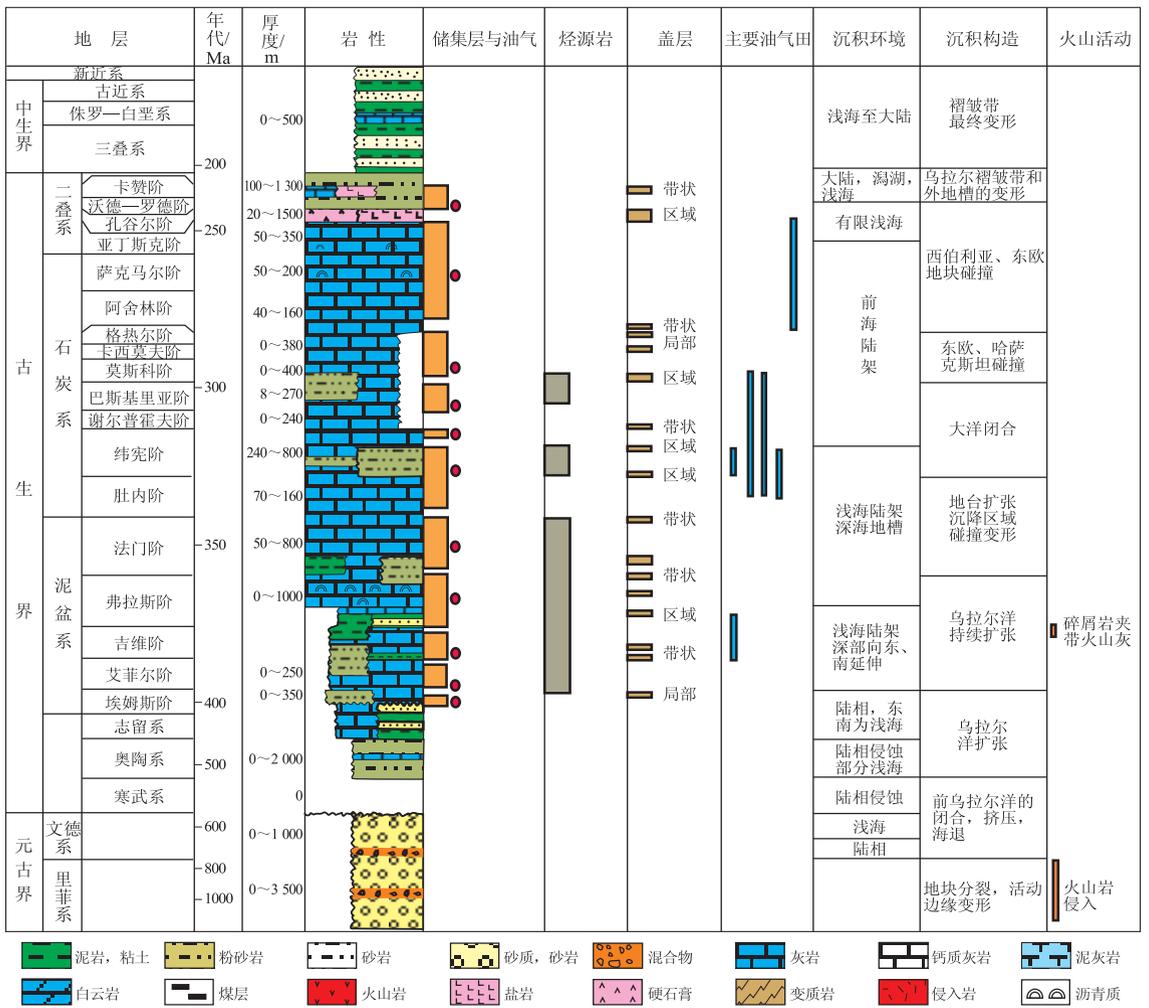


图 2 伏尔加—乌拉尔盆地地层综合柱状

Fig. 2 Integrated histogram of Volga-Ural Basin

扩大并沉陷,一些微板块与东欧地台边缘分离并漂移,形成了新的洋盆,并发育一系列裂谷。在泥盆纪吉维特期—弗拉斯期,岩浆活动加剧,北部伏尔加—乌拉尔盆地发生强烈扩张,形成一些新的地堑,伴随着大面积的海侵,沉积了海相碎屑岩。晚泥盆世,岩浆岛弧与大陆碰撞,大部分地区隆升、剥蚀,大规模海退,在乌拉尔前缘拗陷中沉积以海相复理石为主的碎屑岩序列。中弗拉斯期之后发生持续海侵,持续保持为海相沉积环境,伏尔加—乌拉尔盆地发育大规模碳酸盐岩及海相硅质页岩,在台地与生物礁隆起之间低洼地区沉积了富含有机质的暗色页岩、泥灰岩和泥晶灰岩,形成了著名的丹麦组烃源岩。

大洋闭合阶段始于石炭纪晚期。在泥盆纪时期西伯利亚板块开始向东欧地台方向运动,至于石炭—二叠纪,移动速度明显增快。此后伏尔加—乌拉尔盆地北部地区受控于西伯利亚与东欧地台的汇聚运动,而南部则受控于哈萨克斯坦与东欧地台的

闭合。哈萨克斯坦地块与东欧地台在中石炭世时即开始碰撞,在维宪期早期已形成隆升剥蚀区,伏尔加—乌拉尔盆地内发生海退,在低洼地区沉积了三角洲—湖泊相沉积。到维宪期晚期,碎屑岩注入量减少,在乌拉尔洋浅海陆架上主要沉积了灰岩与白云岩,此后沉积了巨厚的海相复理石^[20-21,25-27]。

乌拉尔洋关闭阶段主要发生在晚石炭世莫斯科期—三叠纪。在中石炭世—二叠纪西伯利亚板块、哈萨克斯坦板块与东欧地台开始碰撞,在伏尔加—乌拉尔盆地的南部及中部出现褶皱带。在伏尔加—乌拉尔盆地的东部,被动大陆边缘挤压褶皱,并向西俯冲,在乌拉尔造山带的西侧则形成前陆盆地雏形,沉积物序列由陆架环境逐渐向滨岸环境转化,到晚石炭—二叠纪,伏尔加—乌拉尔盆地的东侧发育绿色磨拉石沉积序列,而西侧则仍然发育生物礁,向西、北方向碳酸盐岩厚度减薄,其南侧变化较小。到二叠纪孔谷期,乌拉尔褶皱带隆升显著,伏尔加—乌拉尔盆地与大洋隔离,海水循环不

畅,沉积了厚层蒸发岩及陆相碎屑岩。

乌拉尔构造挤压阶段发生在晚二叠世—三叠纪,该时期哈萨克斯坦板块、西伯利亚板块与东欧地台发生第二次碰撞,最终形成高大的乌拉尔山脉,在乌拉尔山的西侧形成前陆盆地,并沉积了陆相磨拉石。

2 油气地质特征

2.1 烃源岩

伏尔加—乌拉尔盆地从前寒武里菲系—上古生界二叠系中发育多组烃源岩,其中最重要的烃源岩是泥盆系弗拉斯阶丹麦组的页岩和碳酸盐岩,其腐泥型有机质含量高达 2% ~ 5%,其烃源岩占整个盆地的 90% 以上^[21],主要广布在东欧地台的边缘地区。二叠系阿瑟尔阶、萨克马尔阶和亚丁斯克阶页岩是另一种重要的烃源岩,有机质含量 4% ~ 10%,有机碳含量 1.4% ~ 3.2%。前寒武系的大陆裂谷内碎屑岩中也发育部分烃源岩^[21]。在里菲纪中期—文德纪时期,由于海平面的上升,形成了缺氧环境,其有机碳含量可达 0.1% ~ 9.9%,但由于缺乏有效的封闭体系,油气无法运移到新地层中聚集。泥盆系的烃源岩生烃时期一般始于石炭纪,在二叠纪达到高峰;二叠系烃源岩生烃则始于早二叠世,而在晚二叠世达到高峰^[21]。

2.2 储层

储层发育在中泥盆统一二叠统,但主要集中在上泥盆—下石炭统的生物礁灰岩、石炭系韦宪阶中下部碎屑岩及上石炭统巴什基尔阶的碳酸盐岩中。此外,下二叠统的生物碳酸盐岩主要为天然气的储集层,而前寒武文典系的碎屑岩也是一类潜在的储集岩。

泥盆系埃姆斯阶—下弗拉斯阶储层主要为碎屑岩和碳酸盐岩,目前探明的基本为碎屑岩,其侧向常不连续,孔隙度一般为 5% ~ 7%,最高可达 13%,渗透率一般小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

中弗拉斯阶—石炭系杜内阶储层主要为硅质或粘土质灰岩夹白云岩及泥灰岩,在台地边缘常形成生物礁灰岩,其孔隙度一般不超过 10%,局部地区可达到 15% ~ 20%,一般为生物礁灰岩。石炭系维宪阶的储层孔隙度为 11% ~ 18%,渗透率为 $129 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。石炭系谢尔普霍夫阶及巴什基尔阶碳酸盐岩储层孔隙度为 3% ~ 24%,平均为 10.8%,渗透率为 $306 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。石炭系莫斯科阶灰岩储层孔隙度为 10%,渗透率为 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

二叠系储层主要发育在萨克马尔阶与亚丁斯

克阶,也有部分发育在孔谷阶中,岩性主要为生物碎屑碳酸盐岩,其中礁灰岩的孔隙度为 1% ~ 20%,渗透率最大可达 $400 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要受控于裂隙构造^[21]。

2.3 盖层

区域性盖层主要发育在泥盆系弗拉斯阶下部、石炭系维宪阶、巴什基尔阶、莫斯科阶上部以及上石炭统,岩性主要为页岩和碳酸盐岩。此外,二叠系孔谷阶的盐岩也是一类重要的盖层。其盖层的分布规律为:Kynovskiy 组和 Domanik 组页岩及灰岩主要为埃姆斯阶—下弗拉斯阶储层的盖层,维宪阶页岩主要为中弗拉斯阶及杜内阶储层的盖层;巴什基尔阶上部致密的碳酸盐岩为巴什基尔阶储层的盖层,在其南部盖层为二叠系阿瑟尔阶页岩;上石炭统储层为石炭系格色尔阶泥质碳酸盐岩及下二叠统片岩所封闭;孔谷阶的蒸发岩为区域性下二叠统储层的盖层^[21]。

2.4 成藏组合

盆地中共发育 6 套成藏组合,主要集中在中泥盆统一早二叠统中,其中最为重要的成藏组合为泥盆系弗拉斯阶中部—石炭系杜内阶碳酸盐岩、石炭系维宪阶碎屑岩和下二叠统碳酸盐岩。

2.5 含油气系统分析

乌拉尔—伏尔加盆地中总体发育 3 个含油气系统(泥盆系丹麦组—下弗拉斯阶含油气系统,泥盆系丹麦组—石炭系维宪阶含油气系统,下二叠统一亚丁斯克阶含油气系统),前 2 个含油气系统与泥盆系丹麦组烃源岩有关,后 1 个与下二叠统烃源岩有关^[21]。

2.6 圈闭类型

伏尔加—乌拉尔盆地的圈闭类型主要为地层—构造圈闭,如中弗拉斯阶—杜内阶的地层—构造圈闭、巴什基尔阶—莫斯科阶的地层—构造圈闭、石炭系 Malinovskiy 组—Yasnopolyanskiy 组的构造圈闭以及上石炭统一二叠系的地层—构造圈闭(图 3)。

2.7 油气生成与运移

经研究,姆斯阶—下弗拉斯阶烃源岩 R_o 为 0.65% ~ 1.15%,有的高达 1.15% ~ 1.55%,其生烃及运移的时间一般开始于晚石炭世,结束于中生代。中弗拉斯阶—杜内阶烃源岩 R_o 为 0.65% ~ 1.55%,其生烃及运移开始于晚石炭世。下石炭统烃源岩 R_o 为 0.50% ~ 1.15%,生烃及运移开始于二叠纪孔谷期。下二叠统烃源岩 R_o 为 0.8% ~ 3.7%,说明其岩石为成熟—过成熟,其生烃和运移开始于

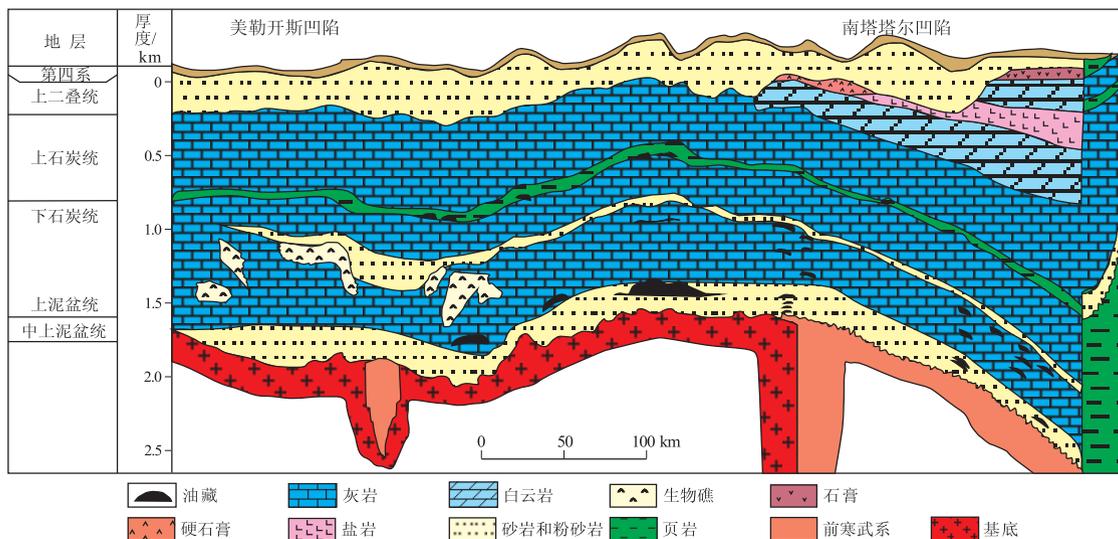


图 3 伏尔加—乌拉尔盆地地层构造圈闭

Fig. 3 Stratigraphic-structural traps in Volga-Ural Basin

晚二叠世,一直延续到三叠纪,说明伏尔加—乌拉尔盆地中下二叠统的烃源岩已被充分掩埋。泥盆系之前的烃源岩一般达到成熟—过成熟,其生烃和运移开始于早石炭世。据称^[22-24],里菲纪—寒武纪的烃源岩已过生油门限,已达到生气门限,在某些地区已超过生气门限。

除维宪阶—下二叠统的沉积岩层中,烃类一般来自于东欧台地边缘的烃源岩,一般达到生烃及生气门限后,逐渐向东运移到台地东部边缘隆升处,在前陆盆地中形成圈闭,或在台地边缘也形成圈闭。

3 勘探前景分析

到目前,伏尔加—乌拉尔盆地已经研究成熟,从岩性上看,其中泥盆系碎屑岩已探明 83.4%,泥盆系中弗拉斯阶—杜内阶碳酸盐岩已探明 41.3%,下石炭统地层已探明 92.6%,下二叠统已探明 77.7%。目前新发现的储层,基本上集中在下、中石炭统及下二叠统中。下中石炭统的储层依然潜力很大,但向东部潜力增加,一直延伸到乌拉尔褶皱带,尤其是生物礁类型的圈闭。由于阿尔卑斯运动使碳酸盐岩和碎屑岩形成了很多裂缝,可形成构造类型的圈闭,尤其在褶皱带地区。此外,前寒武系的碎屑岩及碳酸盐岩可能具有较好的勘探前景。

4 前陆盆地的沉积模式

根据以上石油地质特征分析可知,伏尔加—乌拉尔盆地的主要含油气组合主要分布在泥盆系—二叠系被动陆缘碳酸盐岩中,符合前陆盆地的石油地质特征^[5-6,22-24],该盆地为一典型的前陆

地^[20]。其先后经历了古生代被动陆缘阶段和中—新代前陆盆地形成、定型阶段,发育典型的二元结构。下部为被动陆缘碳酸盐岩台地阶段,沉积了厚层的灰岩、泥灰岩及生物礁,生物发育,具有生烃的良好条件;上部为前陆盆地复理石—磨拉石阶段。晚古生代末期,由于乌拉尔洋的闭合,西伯利亚板块与东欧地台碰撞,形成了乌拉尔褶皱带。在其西侧,逐渐发展为前陆盆地,沉积了来自乌拉尔隆起剥蚀区的碎屑岩。前陆盆地形成过程中,由于构造运动剧烈,为油气的运移及聚集成藏提供了重要的动力来源(图 4)。

5 结论

1) 伏尔加—乌拉尔前陆盆地是典型的前陆盆地,具有被动陆缘碳酸盐岩—前陆盆地碎屑岩二元结构。典型的前陆盆地具有广阔的油气资源远景,可以形成特大型油气田。一般地,前陆盆地所经历的被动陆缘阶段,生物繁盛、有机质丰度高、分布范

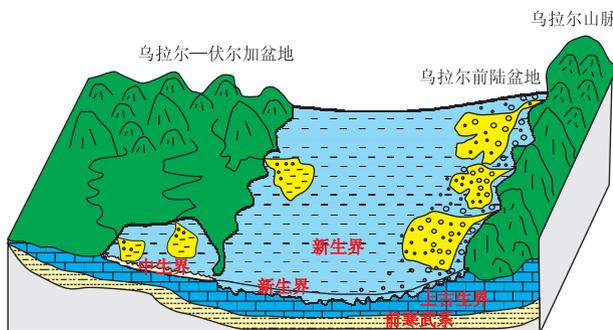


图 4 伏尔加—乌拉尔前陆盆地沉积模式

Fig. 4 Deposition model of Volga-Ural Foreland Basin

围广,可形成优质的烃源岩;陆架上广阔的碳酸盐岩台地及陆坡下的浊积岩可形成良好的储层;而被动陆缘阶段的浅海陆棚泥岩及致密的碳酸盐岩可形成良好的盖层。前陆盆地阶段构造活动强烈,下伏碳酸盐岩中产生大量裂隙,为油气运移、聚集提供动力,且后期海相复理石的大规模沉积,也会形成一类重要的储层。

2) 被动陆缘阶段的沉积地层为前陆盆地勘探的主要方向,不仅在盆地中可以形成地层—构造圈闭,而在褶皱带地区也可形成良好构造型圈闭,有必要扩展前陆盆地的勘探范围,褶皱带局部地区可以成为今后重要的勘探方向。

3) 前陆盆地被动陆缘阶段之前的陆内裂谷地堑阶段(如伏尔加前寒武系地层)往往也发育海相碎屑岩及碳酸盐岩,可能具有油气资源前景,该类盆地也应予以重视。

参考文献:

[1] 陈昭国,曾凝.前陆盆地概述及其与油气关系:兼论四川前陆盆地的形成[J].四川地质学报,1996(3):219-223.

[2] 何辉,樊太亮,林琳,等.巴西亚马逊盆地石油地质特征及勘探前景分析[J].西南石油大学学报(自然科学版),2010,32(3):61-66.

[3] 高小惠,唐波,李锦华.哥伦比亚上马格达莱纳盆地油气地质特征[J].断块油气田,2010,17(3):262-265.

[4] 吴因业,邹才能,胡素云,等.全球前陆盆地层序沉积学新进展[J].石油与天然气地质,2011,32(4):606-614.

[5] Dickinson W R. Sedimentary basin developed during evolution of the Mesozoic; Cenozoic [J]. Can J Earth Sci, 1976, 13: 1268-1288.

[6] Moss S T, McCarthy A J. Foreland basin systems (discussion)[J]. Basin Research, 1997, 9: 171-176.

[7] Flemmings P B, Jordan T E. Stratigraphic modelling of foreland basin; interpreting thrust deformation and lithospheric rheology [J]. Geology, 1990, 18: 430-434.

[8] Flemmings P B, Jordan T E. A synthetic stratigraphic model of foreland basin development [J]. Journal of Geophysical Research, 1989, 94 (B4): 3851-3866.

[9] Houseknecht D W. Evolution from passive margin to foreland basin; the atoka formation of the Arkoma Basin, South central U. S. A. [M]//Allen P A, Homewood P. eds. Foreland Basin. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1986: 327-345.

[10] Watts A B, Kaner G, Steckler M. Lithosphere flexure and the

evolution of sedimentary basin [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London (Series A), 1982, 305: 249-281.

[11] Dickinson W R. 板块构造与油气聚集 [M]. 郝石生, 刘和甫, 译. 北京: 石油工业出版社, 1981: 1-42.

[12] Klein G D. Current aspects of basin analysis [J]. Sedimentary Geology, 1987, 50: 90-118.

[13] Dickinson W R. Plate tectonics and hydrocarbon accumulation [C]//AAPG continuing education course note series. New Orleans: AAPG, 1976: 1-56.

[14] Bally A W. Basin and subsidence: a summary [C]//Bally A W, ed. Dynamics of plate interiors. American Geophysical Union and Geological Society of Geo-dynamics Series 1, 1980: 5-20.

[15] Klein G D. Current aspects of basin analysis [J]. Sedimentary Geology, 1987, 50: 90-118.

[16] 牟琨, 云金表. 准噶尔盆地腹部隐蔽油气藏类型与成藏主控因素 [J]. 石油实验地质, 2010, 32(2): 154-158.

[17] 潘春孚, 纪友亮, 高志勇, 等. 准噶尔盆地南缘新近系层序类型与发育模式研究 [J]. 断块油气田, 2011, 18(1): 34-37.

[18] 张渝昌. 中国含油气盆地原型分析 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1997: 50-60.

[19] 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): 155-162.

[20] Brown D, Spadea P, Puchkov V, et al. Arc-continent collision in the Southern Urals [J]. Earth-Science Reviews, 2006, 79: 61-287.

[21] IHS. IHS Basin Mortor urals foredeep province Basin (Volga-Urals) [R]. [S. l.]: IHS, 2008: 1217.

[22] Aliyev M M, Morozov S G, Postnikova I Y, et al. Geology and oil and gas occurrence in Riphean and Vendian deposits in the Volga Urals province. 1977: 156.

[23] Bogdanov M M, Rile Y B. Some paleotectonic characteristics of the formation of hydrocarbon pools in Devonian sub reef structures of the north of the Volga Ural Province [J]. Petroleum Geology, 1984, 20(9): 427-429.

[24] Nartov G V. Tectonic and facies criteria for the distribution of Upper Devonian Tournaisian organic buildups in the south of the Ural Volga region [J]. Petroleum Geology, 1986, 21 (10): 465-468.

[25] Mart Y, Ryan W B F, Lunina O V. Review of the tectonics of the Levant Rift system: the structural significance of oblique continental breakup [J]. Tectonophysics, 2005, 395: 209-232.

[26] Morgan W J. Hot tracks and the opening of the Atlantic and Indian Oceans [M]//Emiliani C. The sea. New York: Wiley Interscience, 1981: 443-487.

[27] Lister G S, Etheridge M A, Symonds P A. Detachment faulting and the evolution of passive continental margins [J]. Geology, 1986, 14: 246-250.

(编辑 徐文明)