文章编号: 1001-8166(2007)05-0468-12

从“构造热事件”分析阜新盆地多能源矿产共存成藏*

朱志敏[1], 闫剑飞[2], 沈 冰[1], 周家云[1]

(1. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041;
2. 中国地质调查局成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘 要: 阜新盆地煤、煤层气、石油、致密砂岩气、地热等多种能源矿产的分布和成藏受到盆地构造热演化的控制。纵向上, 煤和煤层气主要集中在盆地上部地层, 石油和致密砂岩气主要集中在盆地中部地层, 地热主要集中在盆地底部地层。平面上, 石油位于盆地中部和中南部, 致密砂岩气位于盆地中部的东梁构造带, 煤炭全盆地均有分布, 主要可采煤层位于盆地中部, 煤层气位于盆地中部, 地热位于盆地中部的东梁构造带。盆地构造热演化与能源矿产的时空配置表明, 盆地的构造热演化控制了盆地能源矿产的成藏, 煤是多能源矿产重要的物质来源, 盆地多能源矿产成藏顺序依次为: 煤→石油→致密砂岩气→煤层气→地热。综合以上特征, 阜新盆地多能源矿产的联合勘探开发应以东梁构造带、清河门—艾友构造带、王营—刘家构造带为主要勘探区域进行。

关 键 词: 多能源矿产; 同盆共存; 构造演化; 阜新盆地
中图分类号: P618.130.2 文献标识码: A

1 引 言

沉积盆地作为多种矿产的赋存场所, 其内部多种能源矿产共存事实一直受到地质学家的关注和重视[1~6]。尽管如此, 盆地多能源矿产共存成藏机制的研究仍相对薄弱, 其共存机制有待深入研究。目前研究工作主要集中于构造相对简单的鄂尔多斯盆地[4~6], 而中国东部中新生代盆地, 构造演化大致经历初始张裂—断陷发育—挤压反转 3个发展阶段[7~9], 研究和勘探证实这些盆地普遍赋存丰富的煤炭、石油、天然气和地热资源, 前人分别探讨了煤、石油、天然气和地热等单矿种的成藏特征, 但尚未将其放入统一的系统中进行综合研究。以阜新盆地为例, 综合分析盆地内煤、石油、天然气、地热等能源矿产的成藏特征及其在时空配置上的关联性, 探讨成矿的统一动力条件(构造热事件), 研究盆地多能源同盆共存成藏的构造控制作用, 并最终为勘探开发提供参考。

2 地质背景

2.1 构造格架

阜新盆地大地构造位置属华北地块燕山褶皱带东部, 位于郯庐断裂和赤峰—开原断裂夹持的三角地区(图 1), 南北长约 80 km, 东西宽约 20 km, 面积约 1 500 km^2, 呈北北东—北东向展布, 为中国东北晚中生代断陷型盆地。阜新盆地构造大致经历了 3个发育阶段[7~10], 即盆地初始张裂期——义县期; 盆地深陷期——九佛堂、沙海、阜新组沉积期; 盆地收缩反转期——孙家湾期。

如图 2, 阜新盆地在横剖面上表现为双断型地堑盆地, 垂向上由 2个不同结构特征的构造层叠置而成, 即由下部前中生界的盆地基底构造层和上部早白垩世地层组成的断阶带构成, 受盆缘两侧基底断裂控制, 由两侧向中间下掉, 呈不对称式地堑结

* 收稿日期: 2007-02-12 修回日期: 2007-03-26
* 基金项目: 国家重要基础研究发展计划项目子课题“煤矿瓦斯灾害的地质动力区划”(编号: 2005cb221501); 中国地质调查局地调项目“阜新盆地煤层气找矿及资源评价”(编号: 199910100103)资助.

作者简介: 朱志敏(1978-), 男, 四川绵竹人, 助理工程师, 主要从事矿物学、岩石学和矿床学研究. E-mail: weah0500@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

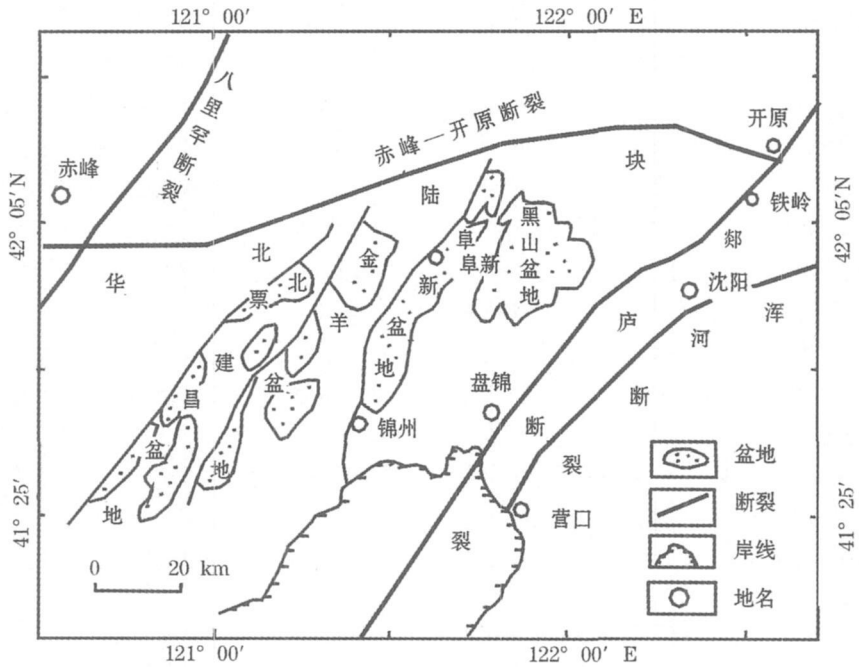


图 1　阜新盆地构造位置

Fig 1　Structural location of the Fuxin basin

构。盆地的沉积盖层充填于地堑之中,受基底断裂的影响,形成基底卷入型盖层断裂系统。平面上,盆地被松岭断裂和阎山断裂所夹持呈狭长的弧形展布,盆地内发育一系列走向近东西相间排列的向斜和背斜(隆起和洼陷)。这些背向斜大致等距分布,自身平行,与边界断裂锐角相交,推测边界断裂受盆地右侧郯庐断裂影响曾发安生过左旋走滑运动,这与张晓晖等对阜新阎山韧性剪切带和朱光等对郯庐断裂走滑运动的研究一致[11, 12]。

2 2　岩浆活动

阜新盆地的岩浆活动主要有 3期。第一期为义县组火山岩,王松山等[13]获得 K-Ar年龄 131. 2 ± 2 6Ma,彭艳东等[14]获得 $^{40}Ar/^{39}Ar$、K-Ar年龄时间大致介于 120~ 135 Ma之间,张宏等[15]根据义县组顶部层位测年并结合前人结果,认为义县组火山岩的形成期限为 132~ 119 Ma,总之,其时代应为早白垩世。该火山岩为一套基性火山岩开始,到中基性、中酸性、酸性火山岩系列组合,中间有多个湖泊相沉积夹层,厚度 2 890 m[16],沉积速率快(570 m/Ma)[17],义县组火山岩的岩性既有玄武岩、安山岩、流纹岩和各种中间过渡型火山岩,也有火山熔岩、集块岩、火山角砾岩、凝灰岩等各种类型的火山岩系,局部地区见有含砾泥岩夹层。火山岩的岩石学、地球化学特征指示义县组火山岩是幔源的[16, 18, 19],形成于陆内岩石圈的拉伸环境,是燕山板内壳幔作用的产物,与地幔上涌、大规模地壳减薄作用有关[16, 18, 20]。

第二期为阜新组顶部火山岩,中心式喷发为主,为基性火山活动,其喷发年龄约为 100. 4Ma[21]。该期火山喷发产物绝大部分皆已剥蚀殆尽,仅在局部地区残留一些火山通道相玄武岩,分布于阜新组的厚层杂色砂岩—砂砾岩中。地球化学特征显示该期玄武岩起源于亏损的软流圈地幔,中生代岩石圈地幔的这种演化规律与克拉通两侧古生代的俯冲和随后的碰撞作用有关[21]。

第三期为喜马拉雅期侵入岩,是以辉绿岩为主要种属的基性浅成岩,以岩床和岩墙方式沿东西向和北东向侵入盖层顶部孙家湾组,且被新近纪更新统沉积物覆盖,埋深在 100~ 200 m,最深 600~ 800 m,全盆地均有分布。该期岩浆沿盆地内先存东西向和北东向断裂侵入沉积盖层,反映了断层控制特性,为盆地沉积期后构造运动产物。从区域构造环境看,该期侵入岩形成于岩石圈拉伸环境,与邻区古近纪裂谷盆地喜马拉雅期岩浆侵入活动(侵入年龄为 41. 5 ±2 2Ma)有可比性[22];这三期岩浆活动是阜新盆地多能源矿产成生的最主要热动力来源。

2 3　主要断裂特征

阜新盆地主要发育 3期断裂,它们的走向分别

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

是北北东、北东、北北西、近南北和近东西向[23~25]。第一期为为成盆前基底断裂(盆缘断裂),即阎山断裂(F_1)和松岭断裂(F_2),由一系列锯齿状正断层组成,控制盆地成生和发展,其中阎山断裂全长 87 km 左右,走向 30°NE,倾角 45~ 75°,断裂带内既有强烈的挤压现象,也有走向滑动现象,松岭断裂倾角 70 ~ 80°,断层上盘向盆内下滑,既有张性扭性也有压性特征,地貌上为断层崖、断层沟谷,两条断裂都表现为断面向盆地方向内倾;第二期为成盆期生长断裂,一种为张性、张扭性同沉积正断层,一种为近东西向转换断层,该期断裂控制了盆地内的沉积;第三期为成盆后断裂,走向北北西向,使盆地沉积地层遭受后期改造。以上断裂体系构成了盆地剖面和平面上各种断裂样式的基本构造格局(图 2)。

盆地断裂中,北北东向的盆缘断裂——阎山断裂和松岭断裂(F_1和 F_2)控制了盆地的成生和发展,并导致盆地长轴方向同沉积构造单元的形成,即东西两侧强烈断陷带和中央隆起带的形成。盆地内近东西向转换断裂横切盆地,该组断裂活动导致整个阜新盆地基底由南向北"掀倾",控制并划分阜新盆地短轴方向的沉积区。早白垩世初期的晚燕山运动在本区表现为北西—南东向的拉张以及右行走滑,成盆期发育的走向近南北、北北东、北东和近东西向四组主要断裂在这种应力场作用主要表现为张性或张扭性。在早白垩世末期,即孙家湾组沉积之后来自南东方向的挤压力使郯庐断裂发生左行压扭,这时阜新盆地的四组主要断层的封闭性特征又发生了变化:近东西向断裂因右行张扭活动而具开启性;北

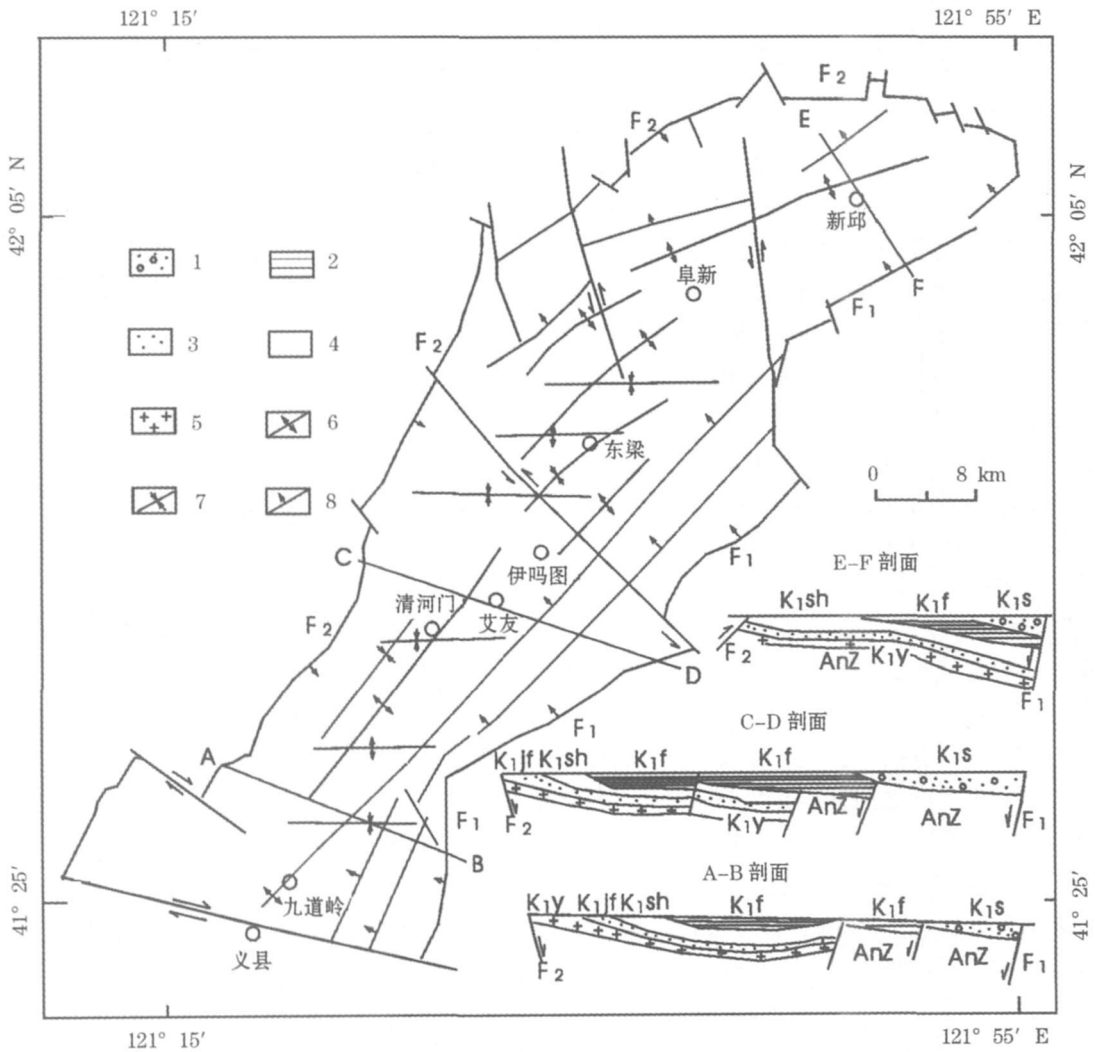


图 2 阜新盆地构造纲要(据刘志刚等及王桂梁等修改,1991, 1996)

Fig 2 The tectonic map of the Fuxin basin(Modified from Liu, *et al* and Wang, *et al*. 1991, 1996)

1. 砂砾岩; 2 煤; 3 砂岩; 4. 泥岩; 5. 火山岩; 6 背斜轴; 7 向斜轴; 8. 断层(箭头表示倾向)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

北东向的闾山断裂、松岭断裂因垂直于挤压方向成为压扭断层,而具封闭性;近南北向和北东向断层为压扭性断层而具封闭性。晚白垩世—古近纪,盆地内部近南北向、北北东向断裂为压扭性,近东西、北东向断裂为张扭性。因此,在早喜马拉雅期北东向断裂和近东西向断裂大部分时间处于开启状态,这一点也可在喜马拉雅期侵入岩分布上得到证实。新近纪到现今,主张应力轴为北北西向,断裂的开启性与封闭性也与早期类似。从盆地断裂体系特征可以看出,早期成盆前断裂控制后期断裂,后期断裂具有继承性和改造性,断裂活动具有多期性。

3　盆地内的沉积

在前寒武系变质岩基底上,阜新盆地最先充填的是白垩系义县组火山岩,继而是九佛堂组、沙海组和阜新组的煤系以及孙家湾组的紫红色碎屑岩,最后堆积新近纪更新统沉积物(图 3)。盆地内沉积受到盆地构造控制,盆地构造演化的阶段性决定了盆

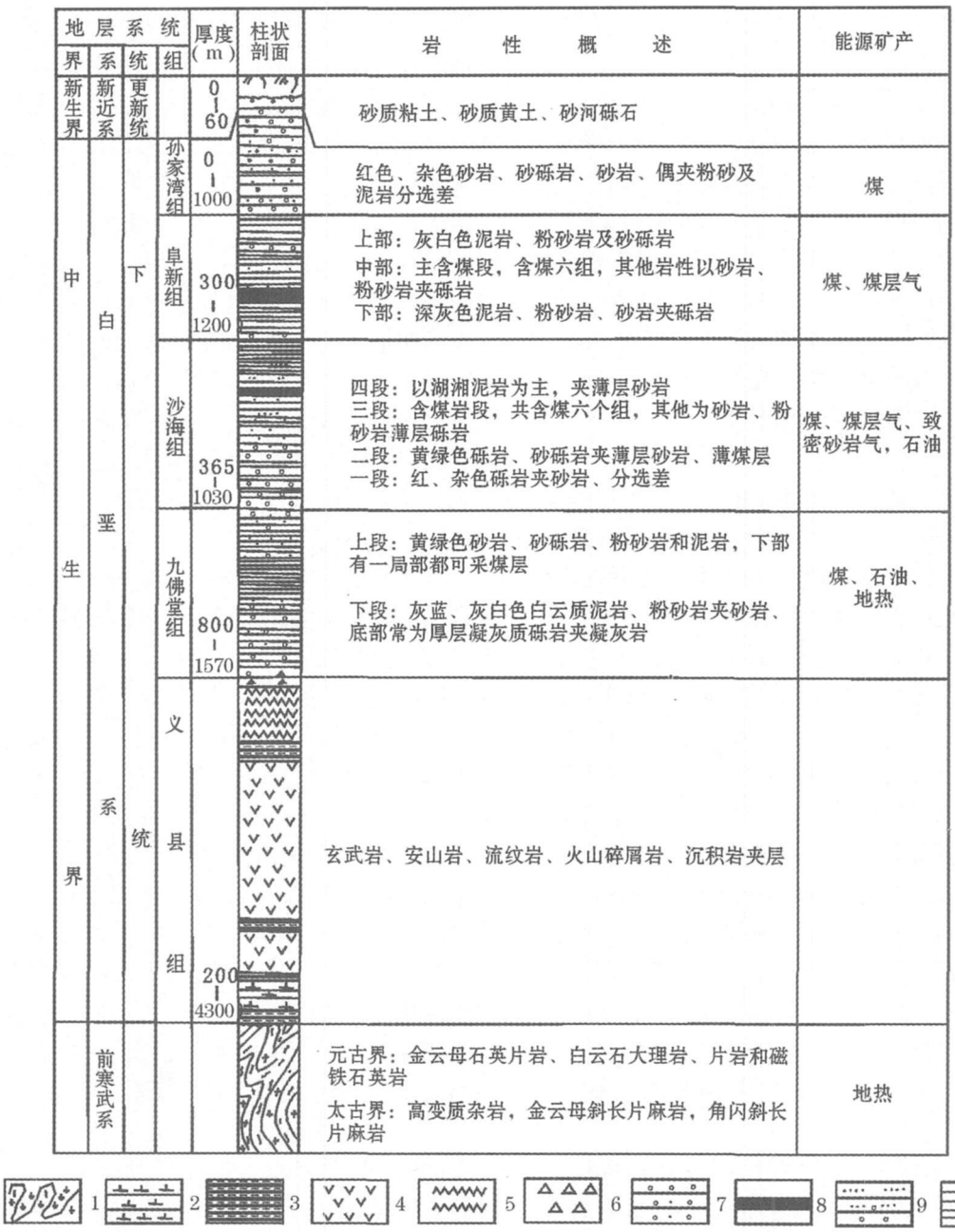


图 3　阜新盆地能源矿产赋矿层位示意

Fig 3　The sketch map of bearing sequence of multi-energy resources in the Fuxin basin

1. 前寒武系变质岩; 2. 玄武岩; 3. 沉积夹层; 4. 安山岩; 5. 流纹岩; 6. 火山角砾岩; 7. 砂砾岩; 8. 煤层; 9. 砂岩; 10. 泥岩

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

地内的沉积顺序充填, 孙家湾沉积期后盆地构造的挤压反转导致盆地沉积地层遭受抬升剥蚀, 并缺失白垩上统到新近纪上新统地层。

盆地形成的动力和演化过程, 与亚洲乃至全球的构造活动紧密相关。晚中生代早白垩世以来 (距今 133 Ma), 郯庐断裂带在内的中国东部地幔物质上涌, 热构造作用明显, 岩石圈伸展变薄, 张性裂陷作用强烈, 岩浆活动频繁, 导致一系列盆地开始裂陷[26~28]。阜新盆地即在此阶段开始迅速裂陷 (沉积速率 570 m/Ma[17]), 并堆积巨厚的义县组火山岩[16]。

随后在地壳热脆化作用基础上形成了断陷湖盆, 盆地发生沉降而总体水进, 快速沉积了浅—深湖相为主的九佛堂地层。九佛堂岩性上段为黄绿色砂岩、砂砾岩、粉砂岩和泥岩, 下部有一局部可采煤层, 下段为灰蓝、灰白色白云质泥岩、粉砂岩, 底部常为厚层凝灰质砾岩夹凝灰岩。沉积物较细, 基本以湖相泥岩和粉砂岩为主, 钙质和凝灰质含量较高, 九佛堂组是湖盆快速沉降期的产物, 沉积厚度达 774 m, 沉积速率为 101.8 m/Ma[17], 盆地沉积中心位于盆地西南部。

而后, 出现短期的干旱型冲积扇—扇前干旱地、潮湿型冲积扇—扇前和扇间冲积谷地环境, 进而沉积了沙海组一、二段砂砾岩地层。而后, 盆地两侧不断向外扩展, 盆地明显加宽, 盆缘又不断向盆内供应碎屑物质, 沉积了以扇三角洲体系为主的沙海组三段含煤地层, 并夹砂岩、粉砂岩。至沙海组晚期, 盆地扩展到最大范围, 水域最广, 水体最深, 沉积了沙海组四段湖相泥岩沉积。其中, 沙海组一、二段砂砾岩地层是盆地良好的油气储层; 沙海组三段煤层既是盆地煤层气的生储层, 又是致密砂岩气的优质气源, 而沙海组三段的砂岩、粉砂岩是该段致密砂岩气的储层; 沙海组四段的泥岩是盆地油气最为有利的源岩。整个九佛堂到沙海组沉积期, 气候温暖潮湿, 形成了对盆地油气最为有利的沉积, 并沉积了沙海组煤层。相比九佛堂组沉积, 沙海组沉积有所加快, 沉积速率为 152.9 m/Ma[17], 且盆地沉积中心向北迁移到中南部。

基于区域构造应力场由张扭阶段转化为压扭阶段, 盆地不再继续扩张, 盆缘断裂活动相对减弱, 沉降开始减速, 沉积中心继续向北向东迁移到中北部, 并逐渐水退, 湖盆开始收缩。在此条件下, 堆积了以河流沉积、扇前冲积平原为主要环境的阜新组地层, 并发育与应力场相匹配的北西向同沉积断裂, 还有一系列北东向的低级别同沉积褶皱, 致使阜新组地层沉积厚度有明显的变化, 含煤性不一。然后, 盆地深陷减速, 在阜新期末至孙家湾期之间, 发生一次基性火山活动, 以中心式喷发为主[21]。

进入孙家湾期, 盆地收缩反转, 气候变干燥, 出现以泛滥平原相, 沉积红色造山后期的“类磨拉石”建造。正是此阶段盆地闭合时的构造使盆地内油气运聚成藏, 但也应注意到, 此阶段盆地最大隆升超过 1 000 m, 平均在 500~1 000 m 之间, 沉积地层遭受剥蚀, 东梁构造带内, 阜新组煤层也遭受剥蚀, 煤层气甚至散失殆尽。但是, 这次构造反转盆地抬升, 使得地下水渗入煤层, 带入细菌, 生成大量次生生物气, 补充了盆地天然气资源, 这可能也是盆地天然气甲烷稳定碳同位素值普遍偏轻 ($\delta^{13}C_1$ 值为 −58.89‰~−58.82‰)的一个重要原因[29]。与此同时, 盆地构造抬升, 断裂活动剧烈, 导致岩层中大量的构造裂隙产生, 为盆地能源矿产的储集提供了巨大的储集空间。孙家湾期以后, 盆地抬升处于剥蚀状态, 缺失上白垩到新近纪上新统地层。古近纪发生大规模的辉绿岩侵入, 侵入岩带入大量能量, 烘烤热储层中的地下水, 为地热资源提供主要的热量, 并对其他能源矿产产生影响。之后, 盆地接受更新统沉积, 完成其演化历史。

阜新盆地的生烃层为九佛堂组、沙海组三、四段和阜新组。从义县期开始, 随着盆缘断裂的持续活动, 盆地沉积层迅速深埋, 盆地九佛堂组大致在沙海组三段沉积期开始生烃, 阜新组沉积期达到生烃高峰; 沙海组在阜新期开始生烃, 到阜新末期由于深埋作用和岩浆活动的影响生烃达到一个高潮。同时, 阜新组煤层在形成过程中产生煤层气。由于古近纪辉绿岩的侵入活动, 辉绿岩侵入盆地沉积层, 导致整个生烃层成熟度提高, 盆地生烃层迎来了又一个生烃高潮, 此次岩浆侵入对于阜新组煤层气的生成尤为重要。另外, 构造应力使煤中有机质直链化合物和侧链化合物基团断裂和脱落、导致分子量降低, 直接改变煤大分子的化学组成, 在低、中级煤化阶段作用明显, 表现为“动力生烃”, 曹代勇等称之为应力降解[30]。所以应力降解也是盆地浅埋条件下生烃的可能机制。伴随着盆地烃源岩的生烃, 各烃源岩排烃与生烃大致相当。九佛堂组和沙海组烃源岩在沙海组开始排烃, 高峰期在阜新期, 古近纪辉绿岩侵入导致盆地烃源岩烃类生成而排出; 盆地后期反转构造导致的挤压构造应力也是盆地煤系烃源岩可能的排烃动力。盆地储层普遍为低—极低孔渗性储

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

层[31], 油气难以通过储层做水平方向长距离运移, 主要通过断层做垂向和侧向短距离运移。沙海期, 九佛堂组油气主要向东梁构造带运移, 沙海组油气主要向清河门—艾友构造带、东梁构造带运移; 阜新期, 油气主要向东梁、市北斜坡带、清河门—艾友构造带运移; 阜新末至现今, 油气主要向东梁构造带、市北斜坡带运移。总之, 盆地构造—热变革事件, 导致不同烃源岩层系和煤矿层达到最高热演化阶段及其相应的高强度生烃和地热成矿作用的发生, 所以盆地烃源岩的生排烃主要发生在阜新期和古近纪, 而地热主要形成于古近纪, 显示与阜新期和古近纪的构造—热变革具有良好的耦合关系。

4　盆地多能源矿产共存规律

4.1　盆地能源矿产空间分布

如图 3所示, 纵向层位上, 煤和煤层气主要集中在白垩系阜新组和沙海组, 石油主要集中在白垩系沙海组和九佛堂组, 致密砂岩气主要集中在白垩系沙海组、阜新组, 地热资源主要集中在太古界、元古界和白垩系九佛堂组; 如图 4, 平面上, 石油位于盆地中部和中南部, 致密砂岩气位于盆地中部的东梁构造带, 煤炭全盆地均有分布, 主要可采煤层位于盆地中部, 煤层气位于盆地中部, 地热位于盆地中部的东梁构造带。

4.1.1　煤

阜新盆地有白垩系阜新组和沙海组两套含煤岩系, 截止 2001年, 保有地质储量 A + B + C + D共 10.6558 × 10^8 t, 如表 2, 阜新组有 5大可采煤层, 由上而下为: 水泉层、孙家湾层、中间层、太平层及高德层, 其中孙家湾、中间、太平为主要可采煤层组, 煤层厚度大, 煤层埋深均在 1 000 m以内, 全盆地均有分布, 受盆地沉积中心控制, 主要可采煤层分布于盆地中北部的阜新构造带、海州洼陷、新邱洼陷; 沙海组煤层与阜新组相比层数少、厚度薄, 但比较稳定, 埋深 1 000 m以内, 主要分布于盆地中南部东梁构造带、清河门—艾友构造带。表 2可以看出, 盆地主要可采沙海组煤层主要分布于中南部, 阜新组煤层主要分布于中北部, 反映了盆地沉积中心在横切盆地的逆冲断裂控制下由南向北的迁移, 同时, 由于盆地中南部断裂发育, 喜马拉雅期辉绿岩沿断裂侵入导致盆地煤变质程度中南部高于中北部。

表 2　阜新盆地煤层对比

Table 2　The comparison of coal seam in the Fuxin basin

	阜新组	沙海组
可采煤层组 /个	5	3
平均累厚 /m	30~ 40	10~ 15
埋深 /m	< 1 000	< 1 000
煤类	长焰煤、气煤	长焰煤、气煤、局部有肥煤、焦煤
分布区域	王营—刘家构造带、海州、新邱洼陷	东梁构造带、清河门—艾友构造带

4.1.2　石油

盆地石油主要分布在紧邻海州、伊吗图、民家屯3个生油洼陷的东梁构造带、清河门—艾友构造带和市北斜坡带内 (王伟锋等, 1997), 总资源量为 45.28 × 10^6 t[32]。盆地主要生油层为沙海组三段煤层、沙海组四段泥岩和九佛堂组泥岩, 盆地石油的分布表现出明显的源控特征。清河门—艾友构造带位于伊吗图、民家屯两个生油洼陷之间, 该区九佛堂组上段和沙海组下段扇三角洲相储层物性较好, 厚度大于 200 m, 同时, 沙海组上段泥岩盖层条件好, 厚度 200 m以上。东梁构造带位于海州洼陷和伊吗图洼陷之间, 储层主要为沙海组下段的扇三角洲相储层, 物性较差, 厚度 100 m以上, 盖层为沙四段的泥岩, 但本区成油后的构造活动较为强烈, 对石油的保存不太有利。市北斜坡带紧临海州洼陷, 储层为沙海组下段的扇三角洲相, 物性较好, 但封盖条件较差。

4.1.3　天然气

阜新盆地天然气包括煤层气和致密砂岩气, 截止 2001年, 盆地煤层气有效资源量 86.61 × 10^8 m^3, 致密砂岩气 17.29 × 10^8 m^3。盆地煤层气地质研究比较深入[29, 33], 归结起来有如下特征: 主要分布于王营—刘家构造带阜新组和东梁构造带、清河门—艾友构造带的沙海组煤层中, 煤层层数多, 厚度大, 煤层裂隙发育, 且孔隙连通性好, 煤层气含量较高, 解吸数据平均为 9.5 m^3 / t, 围岩条件好, 水文地质条件简单, 储层临界解吸压力在 5~ 6.6 MPa之间, 甲烷含量大于 97%。

致密砂岩气目前仅在东梁构造带沙三段致密砂岩储层中发现[31]。该致密砂岩气气源岩为白垩系沙海组四段泥岩和沙海组三段煤层, 巨厚的泥岩和煤层有强大的生烃能力; 储层为低孔低渗的沙海组三段砂岩; 沙四段泥岩、粉砂岩是区域性良好盖层; 沙四段泥岩、沙三段煤层和沙三段砂岩由于对天然气渗透率的不同形成了完整的岩性圈闭, 同时, 东梁背斜对沙海组的圈闭面积达 10 km^2, 且向东南延伸呈穹隆构造, 封闭良好, 对天然气形成了一个良好的

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

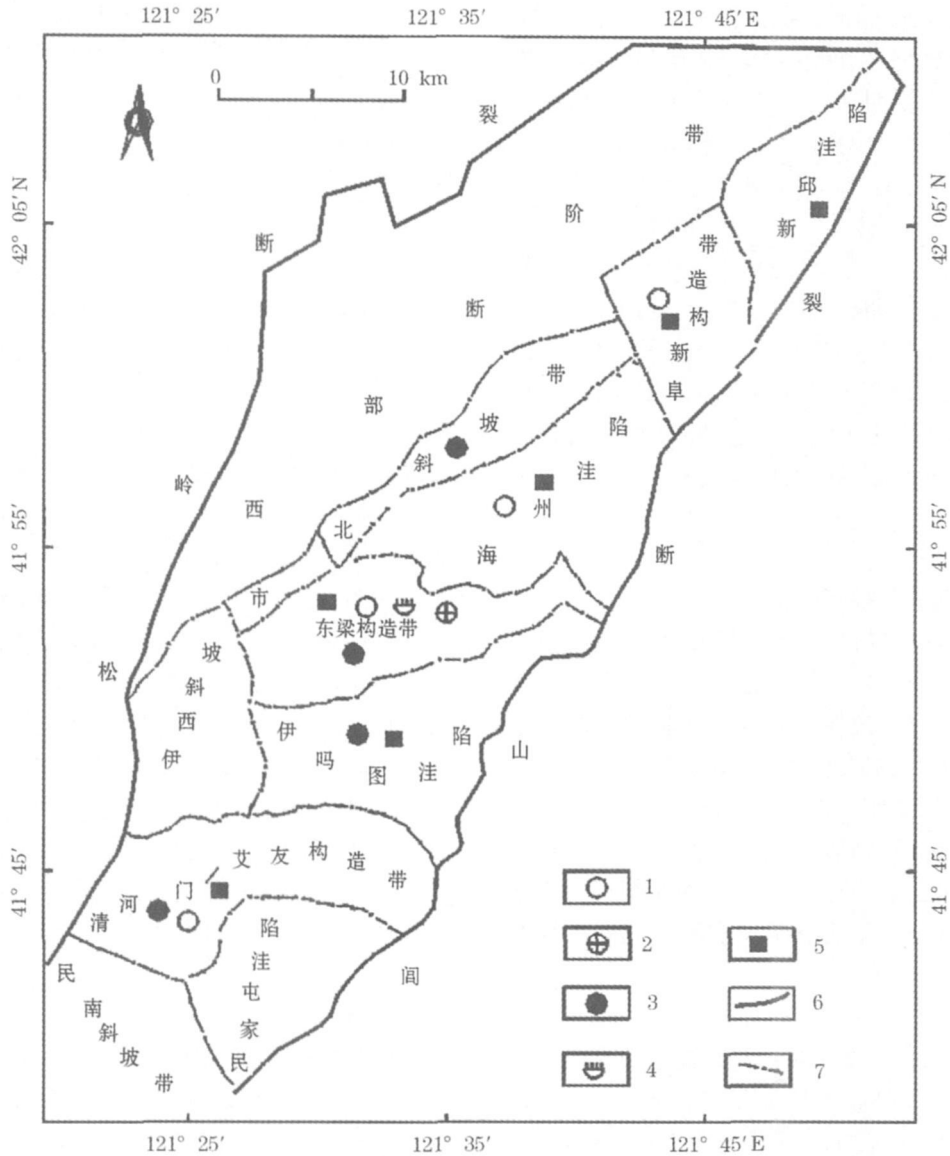


图 4 阜新盆地能源矿产分布

Fig 4 Distribution of energy mineral resources in the Fuxin basin

1. 煤层气田; 2. 天然气田; 3. 石油; 4. 地下热水田; 5. 煤矿; 6. 盆缘断裂; 7. 构造单元界线

局部背斜圈闭。同时, 沙三段砂岩储层紧邻气源岩, 聚集了具有“上生下储型”和“自生自储型”的小型浅层致密砂岩气藏。

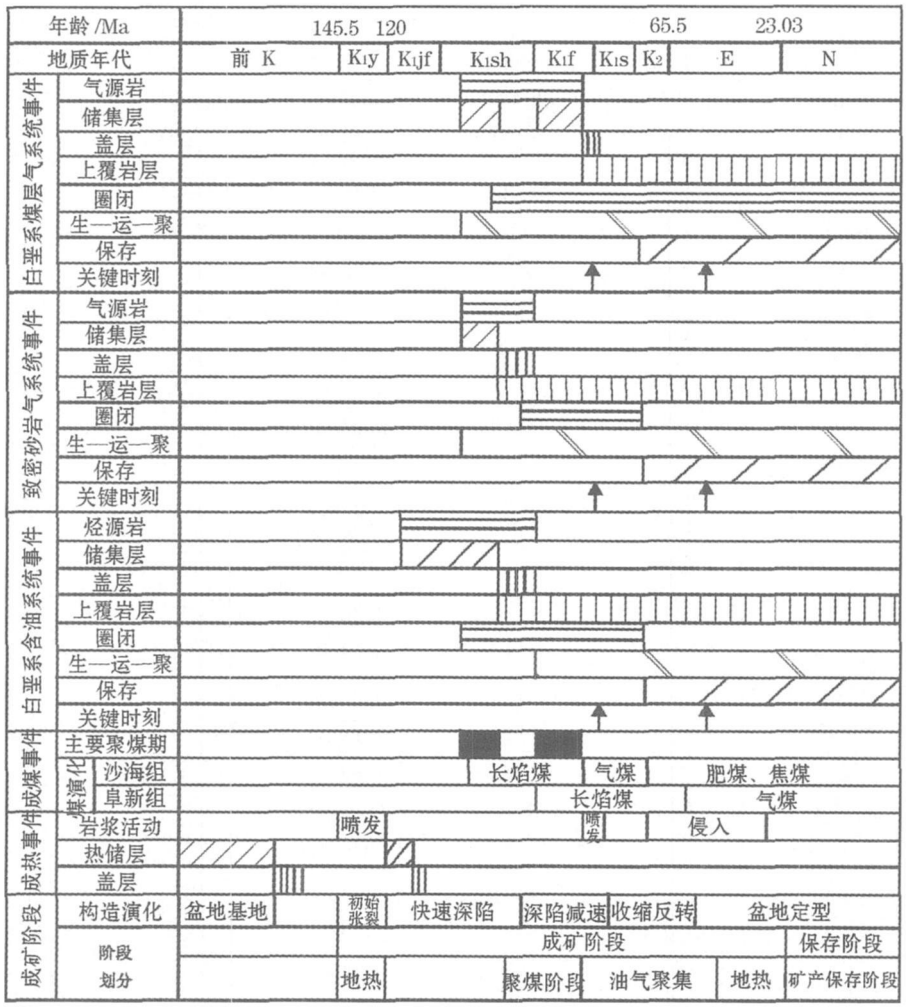
4.1.4 地热

近年来, 东煤 107勘探队在盆地中部的东梁构造带施工 2口地热参数井, 测得地下热水水温达 71℃, 单井日产水量 1 280 m^3, 出口温度 68℃, 预示该区具有丰富的地热资源[34]。东梁构造带热储层有 3层, 包括太古界变质岩系、元古界的白云岩和中生界白垩系九佛堂组下部的白云质泥岩。从这 3个热储层的岩石结构来看, 多致密、坚硬, 不具备孔隙含水层的条件。因此构造裂隙的发育程度决定了热储层的赋水条件, 也决定了地热井的潜能。另外, 东梁区沙海组厚层状泥岩、粉砂岩是该区地热资源理想的盖层。

4.2 多种能源共存成藏规律

盆地的构造热演化决定了多能源矿产的富集成藏, 尤其是变革时期的构造—热事件是盆地多种矿产耦合成矿的关键因素和先决条件。阜新盆地的形成和演化具有阶段性, 盆地演化多阶段决定了多能源矿产成藏的先后顺序。如图 5, 阜新盆地地热资源各阶段均有产生, 但主要形成于晚白垩到古近纪

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



注:白垩上统到新近纪上新统缺失

图 5　阜新盆地多种能源成矿系统

Fig. 5　Minereogenic system of multi-energy resources in the Fuxin basin

喜马拉雅期辉绿岩侵入时期,地热资源主要赋存于太古界、元古界和白垩系九佛堂组;而石油主要的成藏期是阜新期,主要赋存于白垩系沙海组和九佛堂组;煤主要形成于沙海期和阜新期,赋存于白垩系阜新组和沙海组;煤层气形成于阜新期和古近纪及现今;致密砂岩气主要形成于阜新期和古近纪,赋存于沙海组。总之,盆地能源矿产的成藏顺序为:煤→石油→致密砂岩气→煤层气→地热。从成藏时间上还可看出,盆地能源矿产成藏的主峰值为阜新期(110 Ma±)和古近纪(40 Ma±)两期,此阶段盆地分别经历了伸展—挤压,挤压—伸展的构造—热变革转换,构造与成矿显示良好的耦合性。

4.2.1　*岩浆活动与多能源矿产成藏*

岩浆活动对于盆地能源矿产的成藏具有双重作用。在盆地演化过程中,发生过三期岩浆活动,分别为义县期、阜新期末岩浆喷发和古近纪辉绿岩侵入。首先,这三期岩浆活动尤其是古近纪岩浆的侵入导致盆地的热异常,岩浆带入大量岩浆热水,沿途进入太古界变质岩系、元古界的白云岩和九佛堂组白云质泥岩而储集起来,形成地热资源;同时岩浆烘烤了太古界变质岩系、元古界的白云岩和九佛堂组白云质泥岩中的地下水,形成地热资源。另外,从盆地王营—刘家构造带内王营矿井下某辉绿岩墙附近气样化学分析数据看,天然气中$^{3}He/^{4}He$值在 2.66×10^{-6} ~ 4.78×10^{-6}之间,CO_2碳同位素值在 −13.60‰~ −4.10‰之间,分析可能是幔源岩浆带入的无机气体混入导致[35]。由于经历漫长的地质演化(133 Ma),义县期岩浆活动带来的热量大量散失,带来的无机天然气也多已不复存在,现今的地热资源和可能的无机气大多是后两期岩浆活动的

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

产物。

其二, 由火山岩风化形成的土壤及其析出的某些养分为植物的大量繁殖创造了优越的条件[36]。所以往往在火山喷发后由于植物养料充分而导致植物大量生长, 义县组火山岩喷发后从九佛堂到阜新组沉积期植物大量繁殖, 也证明了阜新盆地义县组火山岩风化物适合植物生长; 我国各断陷盆地围绕喷溢体也发现了较多的广盐性变异生物化石和优质生油岩, 表明火山喷溢一喷流活动是有利于油气形成的因素, 义县组内有多个湖相沉积夹层, 推测也可能有优质烃源存在。

其三, 岩浆活动提高有机质的成熟度, 阜新期末玄武岩喷发和古近纪辉绿岩侵入提高盆地烃源岩成熟度 (或煤变质程度提高), 所以盆地主要烃源的生排烃也与这两期岩浆活动时间上有较好的耦合性, 大致同时发生; 另外, 岩浆、火山活动的高温无机气液对有机质成烃具有加氢催化作用[36]。总之, 岩浆活动增强有机质的生烃能力, 对于油气的生成是比较有利的。盆地东梁构造带岩浆活动最为强烈, 所以该区煤变质程度较盆地其他区域高, 既有长焰煤、气煤, 又有肥煤、焦煤, 而且该区地热资源和致密砂岩气资源也较为丰富, 同时还是石油、煤层气的有利聚集区。据研究[37], 油气是活泼物质, 其成矿物质在沉积作用和火山—沉积作用中可能分散于沉积物中尚未富集成矿, 在后期岩浆活动中, 这些元素或化合物能够大量溶于岩浆流体, 被搬运到圈闭中成藏。

其四, 油气成藏后, 岩浆侵入油气藏导致油气藏破坏; 岩浆侵入煤层, 煤层受到烘烤变成天然焦, 减少煤炭储量, 这在东梁和王营井下普遍可见。盆地古近纪喜马拉雅期辉绿岩侵入活动, 发生在油气成藏和煤层聚集以后, 对油气藏和煤层均产生破坏作用。

由此看来, 盆地阜新期末和古近纪的岩浆活动对于盆地能源矿产成藏最为重要, 有利的一面集中表现为加快煤化作用、烃类生成和地热资源形成, 不利的一面表现为油气藏和煤层的破坏; 而义县期岩浆活动则为后期植物繁殖提供养分和物质基础。需要注意的是, 盆地义县组喷发岩具有良好的孔渗性, 少量钻孔揭示有油气显示, 表明该期火山岩有一定勘探价值; 从区域上, 邻区辽河盆地大量火山岩油气藏的发现[38], 也预示阜新盆地义县组火山岩有望获得油气勘探突破。

4 2 2 *断裂构造与多能源矿产成藏*

首先, 盆缘阎山和松岭断裂控制盆地长轴方向构造单元的形成, 即东西两侧的强烈断陷带和中央断隆带 (图 2)。两侧断陷带由于毗邻剥蚀区沉积物补给充分而导致正地形——山前坡地, 部分储集条件好的区域可形成油气有利聚集区, 如市北斜坡带; 中央断隆带由于沉积物补给有限而出现水体覆盖的负地形——湖盆和沼泽, 有利于泥炭沉积, 从而为煤的聚集提供条件, 同时也成为盆地其他化石能源矿产提供物质来源; 而东西两侧盆缘断裂活动性的差异——东缘阎山断裂活动强于西侧松岭断裂导致沉积中心由西向东迁移。盆缘阎山和松岭断裂作为深达地幔的断裂[7], 是地幔岩浆上涌的通道, 带来了大量的岩浆热液, 成为地热资源和无机成因天然气的来源。研究表明阜新盆地内存在地幔来源的天然气, 深大断裂成为了地幔气的上涌通道[35]。同时, 深大断裂可以作为盆地常规油气运移的通道, 既可将盆地下部九佛堂组的油气运移到沙海组和阜新组聚集成藏, 也可以将盆地阜新组和沙海组的油气运移到九佛堂组成藏。

其二, 盆地内的转换断裂“南抬北降”活动控制和划分盆地中央的沉积区, 并导致盆地沉积中心从义县期到孙家湾期由南向北的迁移, 表现为盆地九佛堂组烃源岩 (包括煤层)主要分布于盆地南部; 沙海组烃源岩 (包括煤层)主要分布于盆地中南部; 阜新组烃源岩 (包括煤层)主要分布于盆地中北部; 孙家湾组煤层主要分布于盆地北部。

其三, 断裂构造的发生, 使断裂附近产生了大量的次级构造裂隙, 而正是这些裂隙把各种类型的孔隙、裂隙联系起来, 形成统一的孔隙——裂隙体系, 把原来相互隔绝的裂隙、孔隙、晶洞、溶洞等储集空间沟通起来, 与断裂构造共同形成统一的储集空间网络, 这种空间网络对于油气、地下热水是一种畅通的渗流系统, 为其提供了良好的储藏空间。我们知道, 热储层储藏地下水的能力, 主要取决于裂隙的发育程度和断裂构造的水力联系, 对于地热资源如此, 对于油气也是如此。阜新盆地油气储层孔隙度普遍较低, 但是在断裂构造周围, 裂隙异常发育, 成为油气良好的储层。盆地沙海组三段的砂岩储层岩心测定为低孔低渗储层 (孔隙度平均 5% ~ 15%之间, 渗透率小于 0. 01 × 10^{-3} μm^2的占 85%)[31], 但在钻井过程中经常发生漏失、放空和井喷现象; 同样的情况发生在盆地刘家区的煤储层, 煤层实测平均孔隙率为 4. 7%, 平均渗透率为 0. 323 × 10^{-3} ~ 0. 469 × 10^{-3} μm^2[33], 但从煤层气井实际开采情况看, 煤层气井的平均产量在 4 000 m^3/d 以上表明构造裂缝发育大大增加储层孔隙度和渗透率, 对于砂岩和白

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

云岩形成构造裂缝, 对于煤储层则形成构造成因割理。

其四, 盆地断裂周期性开启, 将盆地内已经成藏的地热和油气资源运移破坏甚至散失殆尽。晚燕山运动使盆地内北北东、北东和近南北向断裂开启, 喜马拉雅运动使盆地内北东和近东西向断裂开启[25]。这两次周期性断裂的开启, 也是盆地未能形成大油气藏的因素之一。从盆地煤层气地质条件及现今煤层气开发情况来看, 王营—刘家区的煤层气 2002年即已实现商业利用, 而东梁和清河门—艾友区煤层气勘探突破不大, 原因主要在于虽然区域断层均为张性正断层, 但前者断层内普遍为糜棱岩、断层泥等泥质充填, 后者断层内主要为砂砾岩和砂泥岩充填, 所以前者的煤层气保存条件当然优于后者。总之, 断裂是控制盆地多能源富集的主要因素。

5　结论和建议

从阜新盆地构造热事件与多能源矿产时空配置来看, 煤—油—气—地热虽然分布于盆地不同构造单元和地层, 但其成藏时空上有明显的共存统一规律: 构造是多能源矿产共存富集的控制因素和先决条件, 岩浆活动是多能源矿产成藏过程中贯穿始终的热动力来源; 从盆地成矿时间上, 成矿主要发生于阜新期 (110 Ma ±)和古近纪 (40 Ma ±)盆地构造重大变革时期, 该变革时期的构造热事件有可能是导致多能源矿产耦合成矿的关键因素。总之, 强烈的构造—热作用下, 由于外来流体 (岩浆热液、大气降水)和能量 (构造动力、热动力) 的加入能使多能源成矿系统转变成开发体系, 导致多能源矿藏的形成。

在进行能源矿产的勘探开发时, 建议将多种能源矿产综合考虑, 联合勘探开发。根据盆地能源矿产的分布和富集规律, 东梁构造带应该作为地热、煤、煤层气、致密砂岩气、石油多能源矿产联合勘探和开发的首选区域, 清河门—艾友构造带应作为煤、煤层气、石油的联合勘探区, 王营—刘家构造带应作为煤层气、煤联合勘探开发区域。

我国东北地区存在一系列具有相似构造和沉积条件的晚中—新生代断陷煤盆地, 这些盆地与阜新盆地一样, 往往蕴藏着丰富的煤炭、石油、天然气、地热资源, 这些能源矿产有机共存, 关系紧密。以上能源矿产的勘探开发, 能够为东北老工业区的可持续发展提供能源保障, 保持东北老工业城市的稳定发展。阜新作为东北老工业区的典型代表, 能源矿产勘探开发应该考虑阜新盆地的代表意义, 指导在其他煤盆地寻找具有类似特征的多能源矿产。

致谢: 论文写作过程中多次与辽宁工程技术大学韩军博士、浙江大学杨春博士的讨论对于论文的完成帮助很大, 审稿人和本文编辑提出诸多建设性意见, 在此| 并表示诚挚的谢意。

参考文献 (References):

[1] Zhang Wenyou. An Introduction to Fault-block Tectonics[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984. [张文佑. 断块构造导论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.]

[2] Tu Guangzhi. Relationship among coal formation, oil formation, gas formation, salt formation and metallic ore formtion[J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 1994, 3 (1): 1-3. [涂光炽. 成煤、成油、成气、成盐和成金属矿之间的关系[J]. 有色金属矿产与勘查, 1994, 13(1): 1-3.]

[3] Zhai Yusheng. On the metallogenic system [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(1): 13-28. [翟裕生. 论成矿系统 [J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 13-28.]

[4] Wei Yongpei, Wang Yi. Comparison of enrichment patterns of various energy resources in Ordos basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(4): 385-392. [魏永佩, 王毅. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产富集规律的比较 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25 (4): 385-392.]

[5] Chen Gang, Li Xiangping, Zhou Lifa, *et al*. Ordos basin tectonic relative to the coupling coexistence of multiple energy resources [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(4): 535-541. [陈刚, 李向平, 周立发, 等. 鄂尔多斯盆地构造与多种矿产的耦合成矿特征 [J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 535-541.]

[6] Deng Jun, Wang Qinghan, Gao Bangfei, *et al*. Distribution and Tectonic Background of Various Energy Resources in Ordos Basin [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2006, 31(3): 330-336. [邓军, 王庆汉, 高帮飞, 等. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产分布及其构造背景 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(3): 330-336.]

[7] Wang Guiliang, Ma Xingyuan, Yun Wu, *et al*. Intermittently lateral transferred rifting and progressive leaping inversion: A case study from the Fuxin basin[J]. *Geological Journal of China Universities*, 1996, 2(3): 284-294. [王桂梁, 马杏垣, 云武. 间歇侧移式的裂陷与递进跳跃式的反转: 以阜新煤盆地为例 [J]. 高校地质学报, 1996, 2(3): 284-294.]

[8] Wu Chonglong, Wang Xinqing, Liu Gang, *et al*. Tectonic evolution and dynamics of the Fushun Basin[J]. *Science in China (Series D)*, 2002, 45(4): 311-324.

[9] Hu Wangshui, Lü Bingquan, Zhang Wenjun, *et al*. An approach to tectonic evolution and dynamics of the Songliao basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2005, 40(1): 16-31. [胡望水, 吕炳全, 张文军, 等. 松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨 [J]. 地质科学, 2005, 40(1): 16-31.]

[10] Wang Weifeng, Lu Shikuo, Sun Yueping. Tectonic evolution of the sedimentary basins in western Liaoning province and their

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

genesis type[J]. *Journal of Geomechanics*, 1997, 3(3): 81-89. [王伟锋, 陆诗阔, 孙月平. 辽西地区构造演化与盆地成因类型研究[J]. 地质力学学报, 1997, 3(3): 81-89.]

[11] Zhang Xiaohui, Li Tiesheng, Pu Zhiping. The $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages of two ductile shear zones in Yiwulushan Mountains in western Liaoning-the resaiction of ages of tectono-magma event in Mesozoic [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(9): 697-701. [张晓晖, 李铁胜, 蒲志平. 辽西医巫闾山两条韧性箭切带的^{40}Ar-^{39}Ar年龄:中生代构造热事件的年代学约束[J]. 科学通报, 2002, 47(9): 697-701.]

[12] Zhu Guang, Liu Guosheng, Dunlap W J, *et al*. $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronological constraints on syn-orogenic strike-slip movement of Tan-Lu fault zone[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(2): 190-198. [朱光, 刘国生, Dunlap W J, 等. 郯庐断裂带同造山走滑运动的$^{40}Ar/^{39}Ar$年代学证据[J]. 科学通报, 2004, 49(2): 190-198.]

[13] Wang Songshan, Hu Huaguang, Li Peixian. Geological age of Yixian Formation of western Liaoning[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(4): 289-291. [王松山, 胡华光, 李佩贤. 辽西义县组的地质时代[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(4): 289-291.]

[14] Peng Yandong, Zhang Lidong, Chen Wen, *et al*. K-Ar and $^{40}Ar/^{39}Ar$ Ages Determination of volcanic rocks of Yixian Formation, western Liaoning[J]. *Geochimica*, 2003, 32(5): 427-435. [彭艳东, 张立东, 陈文, 等. 辽西义县组火山岩$^{40}Ar/^{39}Ar$, K-Ar法年龄测定[J]. 地球化学, 2003, 32(5): 427-435.]

[15] Zhang Hong, Liu Xiaoming, Chen Wen, *et al*. The age of the top of the Yixan formation in the Beipiao-Yixian areas, western Liaoning, and its importance[J]. *Geology in China*, 2005, 32(4): 596-603. [张宏, 柳小明, 陈文, 等. 辽西北票—义县地区义县组顶部层位的年龄及其意义[J]. 中国地质, 2005, 32(4): 596-603.]

[16] Zhang Hong, Liu Xiaoming, Li Zhitong, *et al*. Early cretaceous large-scale crustal thinning in the Fuxin-Yixian basin and adjacent area in western Liaoning[J]. *Geological Review*, 2005, 51(4): 360-372. [张宏, 柳小明, 李之彤, 等. 辽西阜新—义县盆地及附近地区早白垩世地壳大规模减薄及成因探讨[J]. 地质论评, 2005, 51(4): 360-372.]

[17] Ma Yinsheng, Cui Shengqin, Wu Ganguo, *et al*. Uplift history of the Yiwulushan mountains in west Liaoning[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2000, 21(3): 245-253. [马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 等. 辽西医巫闾山的隆升历史[J]. 地球学报, 2000, 21(3): 245-253.]

[18] Li Wuping, Li Xianhua, Lu Fengxiang, *et al*. Geological characteristics and its setting for volcanic rocks of early cretacous Yixian formation in western Liaoning province, Eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(2): 193-204. [李伍平, 李献华, 路凤香, 等. 辽西早白垩世义县组火山岩的地质特征及其构造背景[J]. 岩石学报, 2002, 18(2): 193-204.]

[19] Shao Jian, Li Zhitong, Zhang Lüqiao. Symmetric spatiotemporal distribution of the meso-cenozoic volcanic rocks in west Liaoning and environs and its implications[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2004, 39(1): 98-106. [邵济安, 李之彤, 张履桥. 辽西及邻区中-新生代火山岩的时空对称分布及其启示[J]. 地质科学, 2004, 39(1): 98-106.]

[20] Lu Fengxiang, Zhen Jianping, Zhang ruisheng, *et al*. Interaction betwenn crust and weakening lithospheric Mantale: Taking the Yanshan Orogenic belts as an example[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2006, 31(1): 1-7. [路凤香, 郑建平, 张瑞生, 等. 地壳与弱化岩石圈地幔的相互作用:以燕山造山带为例[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(1): 1-7.]

[21] Zhang Hongfu, Zhen Jianping. Geochemical characteristics and petrogenesis of Mesozoic basalts from the North China Craton: A case study in Fuxin, Liaoning Province[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 48(9): 924-930.

[22] Wu Changzhi, Gu Lianxing, Ren Zuowei, *et al*. Geochemistry and petrogenesis of Eocene volcanic-intrusive rocks in Liaohe basin, northeastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(3): 545-556. [吴昌志, 顾连兴, 任作伟, 等. 辽河盆地沙三期火山——侵入岩地球化学与岩石成因[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 545-556.]

[23] Liu Zhigang, Cui Hongqing, Sun Dianqing. A geomechanical analysis of the Fuxin basin[J]. *Geological Review*, 1991, 37(6): 529-536. [刘志刚, 崔洪庆, 孙殿卿. 阜新盆地地质力学分析[J]. 地质论评, 1991, 37(6): 529-536.]

[24] Liu Zhigang, Chen Jianping. Coal-controlling structures in the Fuxin basin[J]. *Geological Review*, 1995, 41(6): 499-501. [刘志刚, 陈建平. 阜新盆地的控煤构造[J]. 地质论评, 1995, 41(6): 499-501.]

[25] Wang Weifeng, Lu Shikuo, Xie Xiangyang, *et al*. Evaluation of hydrocarbon perservation conditions in fuxin basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1998, 19(3): 202-206. [王伟锋, 陆诗阔, 谢向阳, 等. 阜新盆地的油气保存条件[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(3): 202-206.]

[26] Zhu Rixiang, Shao Jian, Pan Yongxin, *et al*. Paleomagnetic data from early Cretaceous volcanic rocks of West Liaoning: Evidence for intracontinental rotation[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(21): 1 832-1 837.

[27] Wu Fuyuan, Ge Wenchun, Sun Deyou, *et al*. Discussions on the lithospheric in eastern China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(3): 51-60. [吴福元, 葛文春, 孙德有, 等. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 51-60.]

[28] Hong Dawei, Wang Tao, Tong Ying, *et al*. Mesozoic granitoids from north China block and Qingling-Dabie-Sulu orogenic belt and their deep dynamic process[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(3): 231-256. [洪大卫, 王涛, 童英, 等. 华北地台和秦岭—大别—苏鲁造山带的中生代花岗岩与深部地球动力学过程[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 231-256.]

[29] Zhu Zhimin, Shen bing, Lu Aiping, *et al*. The Fuxin Formation coalbed methane system in cretaceous in the Fuxin basin[J]. *Petroleum exploration and development*, 2007, 34(2): 181-186. [朱

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

志敏, 沈冰, 路爱平, 等. 阜新盆地白垩系阜新组煤层气系统[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 181–186.]

[30] Cao Daiyong, Li Xiaoming, Zhang Shouren. Influence of tectonic stress on coalification: Stress degradation mechanism and stress polycondensation mechanism[J]. *Science in China (Series D)*, 2007, 50(1): 43–54.

[31] Zhu Zhimin, Cui Hongqing, Song Wenjie. The reservoiring characteristics of shallow gas in Dongliang area in Fuxin Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(4): 18-20. [朱志敏, 崔洪庆, 宋文杰. 阜新盆地东梁区浅层天然气成藏特征[J]. 天然气工业, 2006, 26(4): 18-20.]

[32] Zhao Ru. Exploration decision in Fuxin basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2003, 23(6): 58-61. [赵儒. 阜新盆地勘探决策分析[J]. 天然气工业, 2003, 23(6): 58-61.]

[33] An Zhen. Properties of target coal reservoirs and conditions of coalbed methane development in Liujia CBM-prospecting district[J]. *Journal of Chinese Mining University*, 2003, 32(2): 183-185. [安震. 刘家勘探区煤储层特征及煤层气开发条件研究[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(2): 183–185.]

[34] Zhang Junbao. Geothermal resource hosting condition analysis, Dongliang district, Fuxin basin[J]. *Coal Geology of China*, 2003, 15(6): 37–39. [张俊宝. 阜新盆地东梁区地热资源赋存条件分析[J]. 中国煤田地质, 2003, 15(6): 37–39.]

[35] Zhu Zhimin, Shen bing, Yan Jianfei. Discuss on Anorganic natural gas in the Fuxin basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(3): 418-421. [朱志敏, 沈冰, 闫剑飞. 阜新盆地无机成因气探讨[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 418-421.]

[36] Jin Qiang, Zhai Qinglong. Volcanic and thermal-water activities and hydrocarbon generations in the rift basins, eastern China[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(3): 413-424. [金强, 翟庆龙. 裂谷盆地的火山热液活动和油气生成[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 413–424.]

[37] Xu Changfang. The study of lithospheric tectonics and basin formation of Chinese mainland and migration of oil and gas[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(3): 113-127. [徐常芳. 中国大陆岩石圈结构、盆地构造和油气运移探讨[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 113-127.]

[38] Changzhi Wu, Lianxing Gu, Zunzhong Zhang, *et al*. Formation mechanisms of hydrocarbon reservoirs associated with volcanic and subvolcanic intrusive rocks: Examples in Mesozoic-Cenozoic basins of eastern China[J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(1): 137–147.

Co-existing Formation of Multi-energy Resources in the Fuxin Basin: Analysis from Tectonic-thermal Events

ZHU Zhi-min[1], YAN Jian-fei[2], SHEN Bing[1], ZHOU Jia-yun[1]

(1. *Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu 610041, China*;
2. *Chengdu Institute of Geological and Mineral Resource, CGS, Chengdu 610082, China*)

Abstract: To prospect for the energy resources in the Fuxin basin, the distribution and formation of energy resources including coal, coalbed methane, oil, tight gas sand and geothermal resources were studied. Vertically, the coal and coalbed methane mainly distribute in up layer of stratum; oil and tight gas sand mainly distribute in middle layer of stratum; geothermal resources mainly distribute in substratum. Laterally, oil mainly distributes in the center of the basin; tight gas sand and geothermal resources distribute in Dongliang tectonic zone; coal distribute in all parts of the basin but the available coal seams and coalbed methane mainly distribute in the center of the basin. Though analyzing the relationship between these resources and tectonic evolution, it shows that The tectonic evolution controls the formation of the energy resources and the coal is the most important source of hydrocarbon. Therefore, these resources accumulate in a sequence of coal→ oil→ tight gas sand→ coalbed methane→ geothermal resources. In sum, The Dongliang, Qinghemen-Aiyou and Wangying-Liujia tectonic zone are favorable for joint exploration of the multi-energy resources.

Key words: Multi-energy resources; Co-existing in one basin; Tectonic evolution; Fuxin basin

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net