

中国煤层气盆地改造作用及其类型分析

宋立军,赵靖舟

西安石油大学油气资源学院,西安,710065

内容提要:从煤层气富集成藏地质条件分析入手,在研究聚煤盆地的后期改造特征基础上,将煤层气盆地定义为“具有工业价值煤层气藏形成和保存条件含煤盆地”。煤层气盆地改造是剥蚀、埋藏、断褶、断块、热力和流体等6种改造作用单一或复合作用的结果,据改造作用可将煤层气盆地划分为单一改造作用型和复合改造作用型两大类型,又可进一步分为4种单一改造作用亚型和14种复合改造作用亚型。

关键词:煤层气盆地;改造作用;改造类型

煤层气生于煤层、储于煤层,是一种自生自储式的非常规天然气,其勘探开发对改善能源结构、减少煤矿瓦斯灾害、改善大气环境具有重要意义。国内外众多学者对煤层气的成藏富集因素进行了研究,均认为煤层气富集受煤层厚度、热演化程度、煤层物性、构造样式、煤层埋深和水文等条件的控制(崔思华等,2004;王红岩等,2004;张新民等,2005;张泓等,2005;王一兵等,2006)。聚煤盆地后期改造通过对构造变形、埋藏深度和热历史的限定,控制着现今煤层的分布、厚度、沉降,控制着成煤作用和煤层气生成过程,直接控制了煤层气的运移、聚集、保存特征,从而也控制着煤层气藏赋存的地质条件(赵庆波等,1997;秦勇,2003)。经历不同形式改造的煤层气盆地,具有不同的构造变形特征、埋藏深度和热历史,决定其具有不同类型的煤资源规模、煤化作用史、煤储层物性和煤保存条件,因而具有不同的煤层气藏赋存条件与富集程度。鉴于不同改造类型的煤层气盆地具有不同的煤层气成藏特征,迫切需要研究探索一种既能够指导煤层气勘探开发,又能够进行煤层气资源评价的煤层气盆地改造类型划分方案。

针对这一问题,笔者在盆地划分结果基础上,在系统研究聚煤期后盆地改造特征的基础上,对煤层气盆地概念、经历改造作用进行了探讨,对煤层气盆地的改造类型进行了划分。研究对我国煤层气勘探开发及煤层气资源评价具有重要意义。

1 煤层气盆地及其区域地质背景

中国大陆显生宙构造演化的过程被区域构造运动划分为多个构造体制不同的构造幕(期),相应地也孕育了早寒武世、早石炭世、晚石炭世—早二叠世、晚二叠世、晚三叠世、早中侏罗世、晚侏罗世—早白垩世和古近纪8个地质特征不同的聚煤期。我国具有工业性价值的煤层气的聚煤盆地主要形成于晚古生代的晚石炭世—早二叠世和晚二叠世、中生代的早中侏罗世和晚侏罗世—早白垩世及新生代的古近纪等5个成盆期(刘和甫,1992;张一伟等,1996)。晚古生代为中国大地构造较稳定时期,本期发育的含煤岩系主要是分布在华北板块上的上石炭统—下二叠统和扬子板块上二叠统,以海陆交互相—陆相含煤沉积建造为主;中、新生代的含煤岩系主要分布在陆内裂陷或拗陷聚煤盆地中,主要包括东北和内蒙的上白垩统、西北的中上侏罗统以及东北和西南的第三系含煤岩系(杨起,1996)。

由于我国是由一些小型地台、地块及其间的褶皱带镶嵌起来的复合大陆,中生代以来被夹持于西伯利亚、印度大陆板块和太平洋诸大洋板块之间,它们的多次分离和聚合,造就了中国聚煤盆地形成后遭受多期次构造运动改造的独有特色和盆地越老改造越强等特点(赵重远等,2000)。晚古生代聚煤盆地经受了印支、燕山和喜马拉雅期运动的改造,发生

注:本文为国家重点基础研究发展规划“973”项目(编号2002CD211706)、西安石油大学科技创新基金项目(编号206103)及陕西省教育厅专项科研计划项目(编号07JK364)资助成果。

收稿日期:2008-07-15;改回日期:2008-12-28;责任编辑:周健。

作者简介:宋立军,男,1977年生。西北大学在读博士后,主要从事盆地分析及构造地质方面的教学与科研工作。Email:slj2003150@126.com。

强烈褶皱和断裂,盆地少部分被叠加深埋,大部分隆升剥蚀,构造复杂、原始面貌不复存在。中生代聚煤盆地受成盆后构造运动改造,改造期次相对较少、改造程度相对较弱,得到了较好保存。虽然如此,但第三纪以来,中西部受西伯利亚和印度板块控制,以碰撞、挤压活动为主,多数发生隆升剥蚀;东部受环西太平洋构造体系域控制,以大陆裂解、扩张活动为主,盆地煤层多数被第四系或第三系覆盖深埋。聚煤盆地后期改造,除上述可见形态的改造外,改造引起的隐性改造,如水动力系统变化,特别是热力作用引起的变质程度增加,也十分严重。

聚煤盆地后期改造使煤层或部分煤层以盆地的形式保存下来成为含煤盆地。不同地区、时代的聚煤盆地因后期改造期次、改造作用与程度的差异,使保存下来成为含煤盆地改造程度不一、改造特征与样式截然不同,造成了含煤盆地既包括原始的受到较少后期改造作用的类似聚煤盆地的含煤沉积盆地,也包括由于后期构造变动和剥蚀作用而被分割的、边界不易确定的含煤残余盆地,或称含煤构造盆地。从而造成煤层气赋存的地质条件、煤层气富集成藏的程度比较复杂,能否形成有工业价值的煤层气藏,后期的构造发展条件起着至关重要的作用。

煤层气以吸附状况赋存于煤体中,广义上讲,所有煤层都是含气煤层;推而广之所有含煤盆地也都是含煤层气盆地。显然,这种泛指的含煤层气盆地对于煤层气的评价选区和勘探开发工作无太大实际意义(张建博,2000)。因此,在此将煤层气盆地定义为“具有工业价值煤层气藏形成和保存条件,并以盆地状态赋存的煤层,即具有工业价值煤层气藏形成和保存条件的含煤盆地”。

2 盆地改造类型研究现状

2.1 盆地改造研究现状

不同地区的盆地因后期经受的改造期次、改造作用与改造程度的差异,表现出构造特征截然不同。我国许多学者对中国盆地的改造作用及其类型进行了探讨。王英民等(1996)根据盆地经受的改造期次、改造程度,将残余盆地分为单期、多期、复杂单期、简单多期、复杂多期5类;刘池阳等(刘池阳等,1999;刘池阳,2008)根据改造作用,将改造盆地划分为抬升剥蚀型、叠合理藏型、热力改造型、构造变形型、肢解残留型、反转改造型、流体改造型和复合改造型8类;刘晓祥等(1999)根据盆地改造的构造环境,将改造盆地分为逆转型改造盆地、递进型改造盆

地和走滑型改造盆地3类;张抗(2000)根据盆地改造程度,将改造盆地分为上覆基本未被剥蚀、下伏为保存大致完好的简单或复杂结构盆地,上覆层已受到轻微剥蚀破坏、下伏层受到一定程度的剥蚀分割的构造破坏盆地,上覆层受到严重剥蚀分割、下伏层受到严重破坏盆地,全盆地各沉积层系均受剥蚀和构造破坏盆地4类;王定一(2000)根据内外地质动力的作用方式将改造盆地划分为抬升改造、块断改造和冲断、褶皱改造型等3类;高长林等(2002)根据内、外动力地质作用方式将残留盆地划分为4种类型:抬升剥蚀型、再次深埋型、断块改造型和推覆变形型。

前人对于中国改造盆地的分类,虽然不同学者观察问题的角度不同,侧重点也不一样,但均突出了“改造作用和改造强度”这一主题,并将这一思想体现于各自的分类中。但多强调改造程度和单一改造作用,且多是针对油气盆地提出的。煤层气不同于油气,煤层气是一种自生自储为主的非常规天然气,几乎不存在明显的运移再聚集过程。煤层是煤层气形成的最重要的物质基础,也是煤层气聚集成藏的气体条件。煤层气的富集成藏更加明显的受煤层形态、变质程度、埋藏深度和改造历程的影响。煤层气盆地中煤层现今赋存状态是多期次、多种改造作用单一或复合改造的结果,且具有时代越老,经受的改造期次、改造作用越多,空间形态越复杂的特点。因此,强调改造程度和单一改造作用的油气盆地的改造分类方案不完全适用于煤层气。

2.2 煤层气盆地改造研究现状

煤层气盆地改造对煤层气富集与成藏具有极其重要的影响。构造运动产生的构造变形及岩浆活动,不仅不同程度地影响煤化作用的进程,还影响着煤层的埋藏深度、空间形态及应力状态,从而影响和控制煤层的储层空间分布、物性、封盖性质。然而,在以往的煤层气区划中,没有将盆地作为煤层气的一级自然单元(李明潮等,1990;张新民等,1991,2002;张德民等,1998;叶建平等,1999;高瑞祺等,2001;赵庆波等,2001;赵靖舟等,2005;张子敏等,2005)。有些虽称煤层气盆地,但其含义与聚煤盆地或煤田一致(张德民等,1998)。因此前人多依据聚煤盆地改造程度或煤田赋煤构造形态进行分类,如根据聚煤盆地改造程度,划分为改造简单的、中等、复杂的3类(张建博,2000;张新民等,2002;孙万禄,2005);依据煤田煤层现今赋存的构造式样,将煤层气盆地划分为向斜、背斜、地堑(杨起等,1979);依据

煤田煤层赋存构造型式,将煤层气盆地划分为多字型、山字型、人字型(杨起等,1979)。分类不是针对煤层气盆地提出的,不具针对性。此外,不同的构造样式虽对煤层气藏具有一定的控制作用,但其不能确切反映盆地经历的改造作用;根据改造程度的分类,不能确切反映盆地经历的改造作用和指明盆地赋存的煤层气藏类型。

煤层气盆地是具有工业价值煤层气藏形成和保存条件的以盆地形式赋存的含煤盆地,煤层气盆地改造分类不应是针对聚煤盆地改造类型的探讨,而是针对现今有煤层气工业价值的赋煤盆地所经历改造作用的划分。煤层气盆地改造受其经历的改造作用的控制,经受不同的改造作用改造,煤层具有不同的空间形态、变质程度、埋藏深度,从而具有不同的煤层气的富集成藏规律。煤层气盆地分类应是建立在改造作用之上的分类,改造作用划分也应考虑构造变形结果。因此,前人对聚煤盆地或煤田以改造程度或赋煤构造形态的分类也不完全适合于煤层气盆地。

3 煤层气盆地改造作用

早期形成的聚煤盆地经过后期的改造,可能改造强烈,而分离解体、岩浆侵入、褶皱冲断或消减蚀尽;也可能改造较弱,而保存完好无缺;或是继续沉降被晚期形成的沉积盆地所叠置(周玉琦等,2004)。参考前人对中国盆地的改造作用类型探讨(刘池洋,1996;王英民等,1996;刘池阳等,1999;刘晓祥等,1999;王定一,2000;高长林等,2002),考虑煤层气富集成藏受煤层的赋存空间形态、埋藏深度、变质程度和水文等条件影响的特点,笔者认为煤层气盆地经受的改造作用,主要有剥蚀改造、埋藏改造、断褶改造、断块改造、热力改造、流体改造等6种类型。

(1)埋藏改造作用:含煤岩系受到后期盆地的叠加改造,被新的沉积盆地叠加覆盖,而深埋其下。煤层上覆地层发育,随着煤层埋深增大,上覆地层厚度增大,重力负荷增加,煤层孔隙减少,煤储层物性变差。但随着温度、压力增加,煤的演化程度增高,生气条件变好,煤层气的吸附量随之增加,封闭条件相对变好。此外,在重力负荷造成的差异压实作用下,煤层气盆地内的隆、拗变迁或易位常会打破原有的物质平衡,形成重力不稳定,煤层间滑动构造发育,构造煤发育。

(2)剥蚀改造作用:含煤岩系由于后期构造抬升,而遭受一定程度剥蚀改造,抬升剥蚀使煤层变浅,上覆重力负荷得到释放、煤层压力降低,煤储层

中原有的平衡条件被破坏,部分煤层气散失,从而影响着煤层气的保存,对煤层气成藏有一定破坏作用。

(3)断褶改造作用:含煤岩系受区域构造应力影响,而产生褶皱和断层的作用。煤层褶皱弯曲呈向斜、背斜构造样式。背斜顶部因裂隙密集发育,形成气体容易逸散运移,含气性往往较差,而向两翼及倾伏端方向至向斜部位含气性变好。褶皱两翼地层倾角越大,背斜处张性裂隙越发育,煤层气就越易逸散;反之,倾角越缓,断裂不发育或发育逆断层,就越有利于煤层气的保存。适中的褶皱和断层,对盆地内煤层气的生成、运移、聚集、保存是有利的;而强烈的褶皱和断层对煤层气藏保存则不利。

(4)断块改造作用:断块改造作用是指煤层气盆地中的含煤岩系形成后受到后期构造应力影响,而产生的断层切割改造作用。断裂将煤层切割成大小不一的块体,含煤断块后期产生差异升降,煤层在地垒、地堑、半地堑式内呈水平或单斜断块产出,上覆地层厚度差异巨大。煤层的连续性很差,煤层气存在不均一性。若断块的块段面积较小,单井有效抽排面积小,则煤层气前景不太好。

(5)热力改造作用:煤层气盆地中的含煤岩系受到后期岩浆烘烤或热液活动的改造。受高温异常热力变质影响,煤层变质程度增加迅速,变质程度变化大。适度的岩浆热液改造有利于煤层气的生成、成藏富集;但过度的岩浆热液改造则容易造成煤层气散失、煤层气成藏破坏。

(6)流体改造作用:流体改造作用是指以水为主体的各类流体,在重力或差异压实造成的势能作用下,由补给区或煤层顶底板补给煤层,在流经煤层孔隙或裂隙时,流体冲刷煤层孔隙,造成煤层中煤层气被带出,从而造成煤层气中煤层气含量降低。

4 煤层气盆地改造划分原则与方案

4.1 煤层气盆地改造类型划分原则

盆地改造是内外动力地质作用的综合结果,受地球动力学因素的控制,可分为重力、热力与应力3种基本类型(叶连俊等,1980;赵重远,1988;黄怀曾等,1994;刘池洋,2005)。煤层气盆地改造也是重力、热力与应力3种动力作用改造的结果,改造的动力作用不同,其对应的改造作用不同,盆内形成不同的后期改造特征,呈不同的构造样式产出,并具有不同的埋藏深度,因而具有不同的煤层气藏类型(张泓等,2005;刘池洋,2008)。盆地改造作用相互影响,有机相联。煤层气盆地形成时代越早,经受改造次数与改

造作用越多,越容易表现出多种改造作用复合改造的特点;煤层气盆地形成时代越晚,经受改造次数与改造作用越少,越容易表现出单一改造作用的特点。因此,考虑改造作用的煤层气盆地改造分类方案,可分为单一改造和复合改造两大类。由于煤层流体改造研究的薄弱,煤层的流体改造在各种盆地类型中均可能存在。在此,将其作为每一类型的煤层气盆地均可能发生的一种改造作用,不参与分类,举例时也不对其流体改造的特征进行深入探讨。

4.2 煤层气盆地改造类型

4.2.1 单一改造型(I)

热力改造作用中,无论是挤压环境或拉张环境下的岩浆侵入,还是岩浆的主动或被动侵入,其发育总是与断褶改造或断块改造相伴生。因此,经受单一改造作用的煤层气盆地,主要有以下 4 种类型(表 1):

表 1 中国煤层气盆地理论改造类型

Table 1 Classification of coalbed methane basin

大类	编号	亚类	改造作用
单一改造型	I-1	埋藏改造型	C
	I-2	剥蚀改造型	B
	I-3	断褶改造型	E
	I-4	断块改造型	D
复合改造型	II-1	剥蚀断块埋藏热力复合改造型	ABCD
	II-2	埋藏剥蚀断褶热力复合改造型	ABCE
	II-3	剥蚀断块热力复合改造型	A B D
	II-4	剥蚀断块埋藏复合改造型	B C D
	II-5	断块埋藏热力复合改造型	A C D
	II-6	断褶埋藏热力复合改造型	A C E
	II-7	断褶剥蚀热力复合改造型	A B E
	II-8	断褶埋藏剥蚀复合改造型	B C E
	II-9	断褶剥蚀复合改造型	B E
	II-10	断褶热力复合改造型	A E
	II-11	断褶埋藏复合改造型	C E
	II-12	断块热力复合改造型	A D
	II-13	断块剥蚀复合改造型	B D
	II-14	断块埋藏复合改造型	C D

注: A—热力改造作用;B—剥蚀改造作用;C—埋藏改造作用;D—断块改造作用;E—断褶改造作用。

(1)埋藏改造型(I-1):受埋藏改造作用影响,盆内煤层被后期新地层叠加深埋,盆地煤层仍基本保持形成时的构造形态,后期变形微弱,受深成变质作用影响,煤变质程度增加,深埋对煤层气生成与保存具有良好控制作用。以滇西陇川盆地为代表,盆内第三纪煤层,上覆被第四纪地层覆盖深埋,煤层后期变形微弱(毛节毕等,1999)。

(2)剥蚀改造型(I-2):煤层气盆地中的含煤岩系因抬升而遭受一定程度剥蚀改造,抬升剥蚀使煤

层变浅,煤层中原有的平衡条件被破坏,从而影响着煤层气的保存,对煤层气成藏有一定破坏作用。该类型以二连地区的霍林河盆地为代表,盆内早白垩世煤系,遭受一定程度抬升剥蚀,但煤层保留比较完整,以近水平宽缓褶皱变形为主(莽东鸿等,1994),盆内岩浆侵入活动极微弱(杨起,1996;毛节毕等,1999)。

(3)断褶改造型(I-3):指煤层气盆地中的含煤岩系曾遭受断褶改造,产生褶皱和断层。盆内煤层产生褶皱变形,盆缘构造变形较强,煤层上覆地层不发育,煤层埋深增加较小,煤层呈褶皱、向斜、背斜或逆断块构造样式产出。该类型以先锋盆地为代表,盆内煤层呈不对称向斜产出,向斜陡翼发育逆冲断层,盆内上覆地层不发育(莽东鸿等,1994)。

(4)断块改造型(I-4):在断块改造作用下,煤层受到后期断层切割,呈块断发育,断陷块体埋藏深度不大,上覆盖新地层不甚发育,煤层埋深增加较小。断块内煤层呈水平或宽缓单斜形式产出,盆内岩浆活动微弱。该类型以百色盆地为代表,百色盆地那读组含煤岩系,上覆百岗组由泥岩、砂岩、粉砂岩及砂炭组成,煤系后期没有岩浆侵入与火山活动,但受拉张作用控制,煤层被高角度正断层切割,呈地堑、地垒和阶梯状断块产出(莽东鸿等,1994)。

4.2.2 复合改造型(II)

我国发育时代较早的煤层气盆地经历多期次、多种类型的改造作用,呈现出多种改造作用同时存在或以一种为主,其他为辅的复合改造作用特征。根据煤层气盆地改造演化历史,在中新生代煤层气盆地的复合改造作用中,热力改造作用、剥蚀改造作用、埋藏改造作用多与断块改造作用、断褶改造作用单独或共同配合才能存在的特点,根据排列组合原理,经计算得出理论上的改造类型应有 22 种。由断块改造作用、断褶改造共同作用时,改造结果显示一种改造作用为主,盆内煤层空间形态显示主要改造作用的煤层变形特征。避免分类的复杂化,去除两者共同作用的 8 种类型,煤层气盆地类型有 14 种(表 1)。

(1)剥蚀断块埋藏热力复合改造型(II-1):煤层气盆地曾经历过剥蚀、埋藏、断块和热力 4 种改造作用改造。含煤岩层遭受剥蚀改造作用,部分煤系地层缺失,然后经受断块改造和埋藏改造作用,上覆新时代沉积岩层发育,煤层呈断块样式产出,经过再次埋藏改造和热力改造作用,煤层气可二次生烃。该类型以渤海湾煤层气盆地为代表,盆地的石炭系—

二叠系含煤岩系经历中生代的剥蚀改造后,新生代进入弧后拉张断陷沉降阶段,煤层呈单斜断块产出,并遭受埋藏,上覆第三系、第四系发育。部分煤层受深成变质和岩浆热力作用影响,二次生烃。这可由冀中北部石炭纪—二叠纪煤系镜质组反射率 R 。随现今埋藏深度的变化规律上可以证明,现今埋深小于 3000 m 的石煤系镜质组反射率 R 。几乎不随埋深而变化,稳定在 0.5%~0.7% 左右;埋深大于 3000 m 时, R 值就随埋深增大呈半对数线性关系增加。此外,盆地岩浆侵入烘烤,造成各处地温梯度不一,苏桥—文安地区为 2.85°C/100 m;廊坊地区为 3.2°C/100 m(煤成气地质研究编委会,1987)。

(2)埋藏剥蚀断褶热力复合改造型(II-2):煤层气盆地曾经历过剥蚀、埋藏、断褶和热力 4 种改造作用改造。含煤岩层上覆新时代沉积岩层发育,受断褶和剥蚀改造作用,部分煤系地层缺失,煤层呈多个向斜、褶皱或叠加褶皱样式产出。闽西南盆地二叠纪煤系,上覆三叠纪沉积岩层发育,后期遭受构造运动影响,煤系变形强烈,呈复式褶皱样式,经过岩浆热力改造影响,煤层变质程度较高,以无烟煤为主。(毛节毕等,1999)。

(3)剥蚀断块热力复合改造型(II-3):受剥蚀改造、断块改造和热力改造作用型影响,煤层受断层切割断裂成块,在地垒、地堑或阶梯状断块构造内产出,隆升断块内煤系地层抬升遭受剥蚀,下陷断块煤系地层保存较好,但上覆新时代地层不发育。受岩浆侵入导致的热力变质影响,煤层变质程度增大,有利于煤层气生成。鲁中盆地属于此种类型代表,盆地石炭系—二叠系煤层被正断层切割成断块,煤层分布在断陷较深的断块内,煤层内有燕山期岩浆侵入(莽东鸿等,1994;杨起,1996)。

(4)剥蚀断块埋藏复合改造型(II-4):受剥蚀改造、断块改造和埋藏改造作用影响,煤层遭受剥蚀,部分缺失;煤层断裂成块,呈断块构造样式产出,后期盆地叠加埋藏使煤层埋深加大,受深成变质作用影响,煤变质程度增加,对煤层气生成与保存具有良好作用。以南华北盆地为代表,盆地石炭系—二叠系煤层形成后遭受一定剥蚀,随后受正断层切割,煤层以小型地垒—地堑断块产出,并被厚达千米的第三系、第四系广泛覆盖。盆内除局部地段外,少有岩浆侵入和火山活动(莽东鸿等,1994)。

(5)断块埋藏热力复合改造型(II-5):受断块改造、埋藏改造和热力改造作用影响,煤层深埋,上覆新生代地层发育,岩浆侵入,煤变质程度也增大,随

着煤层埋深增加,煤储层物性也变差。该类型以松辽盆地为代表。松辽盆地晚侏罗世—早白垩世煤系上覆新时代地层发育较厚,煤层呈断块构造样式产出,并受岩浆侵入影响,煤层变质程度较深(莽东鸿等,1994;杨起,1996)。

(6)断褶埋藏热力复合改造型(II-6):受断褶改造、埋藏改造和热力 3 种改造作用改造,盆内煤层整体坳陷,煤层上覆新时代地层发育,盆缘小规模逆冲推覆构造发育,盆内煤层产生褶皱变形,呈向斜或复向斜构造样式,盆内大规模岩浆侵入,煤变质程度较高,常以无烟煤为主。深埋使煤层气保存条件较好,但埋藏过深不利于煤层气开采,煤储层物性也较差。如沁水盆地,盆内石炭纪—二叠纪含煤层系,受后期挤压呈南北向的大型复式向斜,盆内上覆三叠纪地层发育,盆缘发育一些较大规模的断裂,内部以次级褶皱为主。在盆地南北两端受岩浆侵入热力改造,南北两端煤的变质程度最高,以无烟煤和贫煤为主,盆地中西部煤阶以气煤为主(张新民等,2002)。

(7)断褶剥蚀热力复合改造型(II-7):受断褶改造、剥蚀改造和热力改造作用影响,盆内煤层产生褶皱变形,盆缘逆冲推覆构造发育,并有岩浆侵入,盆内部分煤层被剥露地表,煤层呈多个向斜、褶皱或叠加褶皱等构造样式产出。如黔南盆地,盆内石炭纪—二叠纪含煤岩系,遭受印支、燕山和喜马拉雅运动影响,全区褶皱隆升,遭受剥蚀,煤层仅在盆内向斜部位得以保存,并伴有多处燕山期花岗岩体和辉绿岩体(莽东鸿等,1994;杨起等,1996;张新民等,2002)。

(8)断褶埋藏剥蚀复合改造型(II-8):受断褶改造、埋藏改造和剥蚀改造作用影响,盆内部分煤层剥露,煤层上覆新时代地层发育,煤层呈复向斜、褶皱或叠加褶皱等构造样式产出。伊宁盆地早中侏罗世煤系上覆新生代地层发育,盆缘逆冲推覆构造发育,盆内煤层呈复式褶皱样式,受剥蚀影响,盆内部分地区煤层出露地表(毛节毕等,1999)。

(9)断褶剥蚀复合改造型(II-9):受断褶改造和剥蚀改造作用影响,盆内煤层产生褶皱变形,盆缘产生小规模逆冲推覆构造,煤层上覆地层遭受剥蚀,甚至部分煤层剥露地表,煤层呈复向斜、褶皱或叠加褶皱等构造样式产出。该类型盆地以吐哈盆地为代表。受博格达山向盆内逆掩影响,盆缘煤系变形强烈,逆断层较发育;盆内含煤岩系局部挤压隆升遭受剥蚀,盆内煤层呈多个孤立向斜产出(莽东鸿等,1994)。

(10)断褶热力复合改造型(II-10):受断褶改造

和热力改造作用影响,盆缘冲断推覆改造强烈,盆内煤层改造相对较弱,以褶皱变形为主,成向斜或褶皱构造样式产出。煤层上覆新时代地层不发育,盆内有大规模岩浆侵入,煤层变质程度较高。如抚顺盆地,抚顺地区古近系煤层,受断褶改造影响,呈不对称向斜,南翼缓,北翼太古宇与白垩系逆掩于煤系之上,产状陡;煤层内发育有多层玄武岩、凝灰岩,受岩浆侵入造成的热力改造,煤化程度较高,以长焰煤及气煤为主(莽东鸿等,1994;杨起,1996)。

(11)断褶埋藏复合改造型(II-11):受断褶改造和埋藏改造作用影响,盆内煤层被叠加深埋,上覆新时代地层发育,盆缘逆冲推覆构造发育,盆内煤层产生褶皱变形,煤层呈向斜、单斜、褶皱等构造样式产出。该类型盆地以鄂尔多斯盆地为代表,盆内侏罗系以及下伏三叠系、石炭系一二叠系煤层,上覆被白垩纪—第三纪、第四纪地层覆盖。盆缘逆冲推覆构造发育,盆内煤层受后期改造较弱,大面积稳定,呈近水平或低缓角度单斜产状,盆内没有或极少岩浆侵入及火山活动(莽东鸿等,1994)。

(12)断块热力复合改造型(II-12):经断块改造和热力改造作用影响,煤层断裂成块,并有岩浆侵入,但上覆新生盆地不发育,煤层变质程度较深,且变质变化大。煤层断块呈水平或单斜构造样式产出。如阜新盆地,盆内辉绿岩床、岩墙侵入第三纪煤系(张虎权等,2007),煤层整体呈向南东倾斜单斜构造,但北西、北北西正断层发育,将煤层切割成单斜断块产出(莽东鸿等,1994;杨起,1996)。

(13)断块剥蚀复合改造型(II-13):受断块改造和剥蚀改造作用影响,盆内煤层断裂成块,部分隆升块体内煤层遭受剥蚀,下降块体内煤层保存较好,呈水平断块或单斜断块构造样式产出。如滇东老厂盆地,盆内晚二叠世煤层被走滑断层切割呈断块产出,隆升断块煤层遭受剥蚀(毛节毕等,1999)。

(14)断块埋藏复合改造型(II-14):受断块改造和埋藏改造作用影响,煤层断裂成块,呈断块构造样式产出,后期盆地叠加埋藏使煤层埋深加大,受深成变质作用影响,煤变质程度增加,对煤层气生成与保存具有良好作用。该类型以塔里木盆地为代表,盆内早中侏罗世煤层受后期盆地叠加埋藏使煤层埋深加大,盆缘煤层变形较强,盆内煤层整体呈断块产出(莽东鸿等,1994)。

5 结论

从煤层气富集成藏地质条件分析入手,在研究

聚煤盆地的后期改造特征基础上,将煤层气盆地定义为“具有工业价值煤层气藏形成和保存条件的含煤盆地”。煤层气盆地煤层气富集成藏条件受其所经历的改造作用类型的控制,是剥蚀、埋藏、断褶、断块、热力和流体等6种改造作用单一或复合作用的结果,据煤层气盆地经受改造作用数量可将煤层气盆地划分为单一改造作用型和复合改造作用型两大类,又可进一步分为埋藏改造型(I-1)、剥蚀改造型(I-2)、断褶改造型(I-3)、断块改造型(I-4)等4种单一改造亚型和剥蚀断块埋藏热力复合改造型(II-1)、埋藏剥蚀断褶热力复合改造型(II-2)、剥蚀断块热力复合改造型(II-3)、剥蚀断块埋藏复合改造型(II-4)、断块埋藏热力复合改造型(II-5)、断褶埋藏热力复合改造型(II-6)、断褶剥蚀热力复合改造型(II-7)、埋藏断褶剥蚀复合改造型(II-8)、断褶剥蚀复合改造型(II-9)、断褶热力复合改造型(II-10)、断褶埋藏复合改造型(II-11)、断块热力复合改造型(II-12)、断块剥蚀复合改造型(II-13)、断块埋藏复合改造型(II-14)等14种复合改造亚型。该煤层气盆地改造类型的划分方案反映了煤层气盆地经历的改造作用及结果,能够更加合理的反映盆地的煤层气富集成藏特征,对中国煤层气的战略选区评价、勘探成功率提高以及科学的煤层气勘探程序的建立、发展和完善也具有重要意义。

致谢: 本文曾经得到吴冲龙、刘池洋、李增学、张新民教授的指点,特致衷心的感谢。由于笔者的水平及认识所限,文中必有很多不合理的歧义之处,衷心希望读者给以批评指教。

注 释

① 西安石油大学,西安煤炭科学研究院. 2007. 国家重点基础研究发展规划“973项目‘中国煤层气成藏机制及经济开采基础研究’”报告。

参 考 文 献

- 崔思华,彭秀丽,鲜保安,等. 2004. 沁水煤层气田煤层气成藏条件分析. 天然气工业, 24(5): 14~16.
- 高长林,叶德燎,钱一雄. 2002. 残余盆地和残留盆地及其油气前景. 油气盆地研究新进展, 1: 143~146.
- 高瑞祺,赵政璋. 2001. 中国油气新区勘探,第七卷: 中国煤层气勘探. 北京: 石油工业出版社.
- 黄怀曾,朱英. 1994. 岩石圈动力学研究. 北京: 地质出版社.
- 李明潮,张五济. 1990. 中国主要煤田浅层煤层气. 北京: 科学出版社.
- 刘池洋. 1996. 后期改造强烈——中国沉积盆地的重要特点之一. 石油与天然气地质, 17(4): 255~261.
- 刘池洋,孙海山. 1999. 改造型盆地类型划分. 新疆石油地质, 20(2):

- 79~82.
- 刘池洋. 2005. 盆地构造动力学研究的弱点、难点及重点. 地质前缘, 12(3):113~124.
- 刘池洋. 2008. 沉积盆地动力学与盆地成藏(矿)系统. 地球科学与环境, 1(30):1~23.
- 刘和甫. 1992. 中国沉积盆地演化与联合古陆的形成和裂解. 现代地质, 6(4):480~493.
- 刘晓祥, 刘池阳, 赵重远, 等. 1999. 盆地后期改造阶段与应力场演化. 石油与天然气地质, (3):194~202.
- 莽东鸿, 杨丙中, 林增品. 1994. 中国煤炭资源丛书之三: 中国煤盆地构造. 北京: 地质出版社.
- 毛节毕, 许惠龙. 1999. 中国煤炭资源预测与评价. 北京: 科学出版社.
- 煤成气地质研究编委会. 1987. 煤成气地质研究. 北京: 石油工业出版社.
- 秦勇. 2003. 中国煤层气地质研究进展与述评. 高校地质学报, 9(3):339~358.
- 孙万禄. 2005. 中国煤层气盆地. 北京: 地质出版社, 1~362.
- 王定一. 2000. 改造型含油气盆地类型及研究思路. 石油与天然气地质, 21(1):19~23.
- 王红岩, 张建博, 李景明, 等. 2004. 中国煤层气富集成藏规律. 天然气工业, 24(5):11~13.
- 王一兵, 田文广, 李五忠, 等. 2006. 中国煤层气选区评价标准探讨. 地质通报, 25(9~10):1104~1107.
- 王英民, 钱奕中. 1996. 残余盆地的特征及其油气资源评价方法的发展方向. 海相油气地质, 1(1):15~21.
- 杨起, 韩德馨. 1979. 中国煤田地质学. 北京: 煤炭工业出版社.
- 杨起. 1996. 中国煤变质作用. 北京: 地质出版社.
- 叶建平, 岳魏, 秦勇, 等. 1999. 中国煤层气聚集区带划分. 天然气工业, 20(6):9~12.
- 叶连俊, 孙枢. 1980. 沉积盆地的分类. 石油学报, 1(3):1~6.
- 张德民, 林大杨. 1998. 我国煤盆地构造特征与煤层气开发潜力. 中国煤田地质, 1(增):37~40.
- 张泓, 王绳祖, 彭格林, 等. 2005. 淮南煤田煤层气成藏动力学系统的机制与地质模型研究. 煤田地质与勘探, 33(4):29~34.
- 张虎权, 王廷栋, 卫平生, 张景廉. 2007. 煤层气成因研究. 石油学报, 28(2):29~34.
- 张建博. 2000. 中国煤层气地质. 北京: 地质出版社.
- 张抗. 2000. 盆地的改造及其油气的地质意义. 石油与天然气地质, 21(1):38~45.
- 张新民, 张遂安, 钟灵文, 等. 1991. 中国的煤层甲烷. 西安: 陕西科学技术出版社.
- 张新民, 李建武, 韩保山, 等. 2005. 淮南煤田煤层气藏划分及形成机制. 科学通报, 50(增刊1):6~13.
- 张新民, 庄军, 张遂安. 2002. 中国煤层气地质与资源评价. 北京: 科学出版社.
- 张一伟, 陈发景, 陆克政, 等. 1996. 中国含气(油)盆地的构造格架和成因类型. 中国科学(D辑), 26(6):493~498.
- 张子敏, 张玉贵. 2005. 瓦斯地质规律与瓦斯预测. 北京: 煤炭工业出版社.
- 赵靖舟, 时保宏. 2005. 中国煤层气富集单元序列划分初探. 天然气工业, 25(1):22~25.
- 赵庆波, 李五忠, 孙粉锦. 1997. 中国煤层气分布特征及高产富集因素. 石油学报, 18(4):1~6.
- 赵庆波, 李五忠, 王一兵, 等. 2001. 中国煤层气勘探. 北京: 石油工业出版社.
- 赵重远. 1988. 沉积盆地的成因和演化及其赋存的大地构造环境和油气资源. 见: 赵重远主编. 石油地质学进展. 北京: 地质出版社, 241~262.
- 赵重远, 周立发. 2000. 成盆期后改造与中国含油气盆地地质特征. 石油与天然气地质, 21(1):7~10.
- 周玉琦, 易荣龙, 舒文培, 等. 2004. 中国石油与天然气资源. 武汉: 中国地质大学出版社.

Alteration of Coalbed Methane Basin in China and Their Classification

SONG Lijun, ZHAO Jingzhou

Oil Resources Faculty, Xi'an Petroleum University, Xi'an, 710065

Abstract

Based on the geological features of coalbed methane accumulation and the late reformation of coal-forming basins, this paper confirmed that coalbed methane basin can be defined as coal-bearing basin with industry value and conservation conditions. The coalbed methane basin is the compound product by erosion, burial, faulting and folding, thermal power and hydromechanics. Based on the reformation types, the paper divided coalbed methane basin into single reformation type and compound reformation type, both of which can be further classified into four subtypes for the former and fourteen subtypes for the latter.

Key words: CBM-bearing basin; reworking process; basin classification