

中国煤层气富集成藏规律*

王红岩^{1,2} 张建博¹ 李景明¹ 刘洪林¹

(1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院 2. 中国地质大学·北京)

王红岩等. 中国煤层气富集成藏规律. 天然气工业, 2004; 24(5): 11~13

摘要 煤层气成藏研究包括煤层气从煤层气生成、储集、运移到聚集的整个过程。通过对国内外近十年来的勘探研究成果进行分析, 从煤层气资源、生成、物性、保存、解吸、地压等6个成藏基本条件进行研究, 总结出我国煤层气富集的基本规律。指出研究煤层气生成、储层非均质性、煤层气富集成藏机制、分布规律和高效勘探开发技术是我国煤层气近期研究的发展方向。

关键词 煤层气藏 富集成藏 高变质

截止到2002年11月, 全国已钻煤层气井214口, 其中生产井153口, 参数井59口, 采动区井5口, 井组11个。虽然我国煤层气开发试验已遍布全国, 但取得一定工业气流的煤层气井占钻探井的7%左右, 仅局限在沁水盆地、鄂尔多斯盆地等^[1~4]。目前煤层气成藏理论、分布规律研究都不成熟。

煤层气藏的定义

目前国内外还没有人对煤层气藏进行正式定义, 美国通常在煤层气勘探中把整个煤层气有利目标区笼统称为一个煤层气藏, 在开发当中甚至把气田的某一层位定义为一个气藏。我国学者把煤层气藏定义为在压力(主要是水压)作用下“圈闭”着一定数量气体的煤岩体^[5]。这一定义容易把煤层气藏与煤田的概念混淆。

笔者认为煤层气藏涵义与煤层气田意义相当, 煤层气藏为具有一定规模, 并含有商业性开采价值煤层气的煤岩体。这一概念, 一是强调煤层含有商业性价值的煤层气, 而不是泛指一般含气的煤岩体, 二是强调煤岩体要有一定的规模。现代技术条件下, 具有商业性开采价值的煤层甲烷气藏的煤层厚度通常1~30 m, 埋深45~2730 m, 煤阶可从褐煤到无烟煤。

煤层气成藏条件

煤层气富集成藏必须具备6个条件, 即资源、生

成、物性、保存、解吸和地层压力等条件。

1. 煤层气资源条件

中国煤层气资源量巨大, 不同的机构从不同的出发点计算出不同的资源量。全国煤层气资源总量介于 $(10.6 \sim 35) \times 10^{12} \text{ m}^3$ 之间^[2,4,6]。目前公认的数据为 $(30 \sim 35) \times 10^{12} \text{ m}^3$, 中国石油“九五”, “十五”科技攻关研究表明我国垂深2000 m以浅的煤层气总资源量为 $22.52 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 其中: 华北聚气区为 $14.80 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 华南聚气区为 $4.16 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 西北聚气区为 $3.15 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 东北聚气区为 $0.42 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

2. 煤层气生成条件

煤层气成藏的首要前提是煤层气的生成与富集, 煤层气的生成宏观上受含煤盆地沉积埋藏史、构造演化史、煤化作用史、地下水活动史和有机质生气史“五史”关系的控制。煤层气富集要求生气性和储气性共同发展。受煤中有机质大分子结构演变、煤层孔隙—裂隙系统的发生与发展、煤层气实际吸附状态和煤基质吸附能力变化、流体成分与状态变化等所控制, 体现为煤层气成藏的微观动力学机理。

很多学者受美国“次生生物气成藏”理论的影响, 把我国煤层气同位素普遍偏轻的现象笼统解释为次生生物气。其实我国煤层气同位素偏轻主要是因为煤层气发生分馏效应^[7,8]。主要源于 ^{12}C 优先解吸分馏并被重新吸附。煤层气藏不断遭到破坏, 不断恢复, ^{12}C 不断解吸、散失、吸附, 这在一定程度上反映了煤层气保存条件的好坏。我国主要煤层气

* 本成果受国家973计划项目(编号: 2002CB211705, 2002CB211704)资助。

作者简介: 王红岩, 1971年生, 中国地质大学在读博士; 长期从事天然气综合地质研究。地址: (065007) 河北省廊坊市万庄44号信箱天然气地质所。

盆地形成过程多期性和复合叠加的复杂地质条件,导致煤层气成藏条件比较复杂。另外地质时代的新旧(生烃母质和岩浆活动)同样控制着甲烷碳同位素的轻重^[9]。

3. 煤层物性条件

我国和美国的煤储层渗透率差异大^[10]。美国的煤储层渗透性普遍较好,一般为 $(0.1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,如圣胡安、黑勇士盆地煤层渗透率 $(3 \sim 20) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。我国含煤区煤层气储层渗透率普遍偏低,大多小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。目前所掌握的单井产量超过 3000 m^3 的煤层气井有潘2井、HG—6、煤柳5、TL—003、晋试1井、L7—3井,渗透率在 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上。可见渗透率小于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,很难获得高的产能。由于煤层气储层渗透率测试局限性,渗透率较小,根据华北地区的实际情况,划分为5级:大于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $(0.4 \sim 0.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $(0.3 \sim 0.4) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $(0.2 \sim 0.3) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、小于 $0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

4. 煤层气保存条件

地质或采动原因打破系统的动态平衡,原已聚集的煤层气在自然条件下通过运移通道或逸失使得原有煤层气藏遭受破坏,或进一步富集而强化原有气藏,采动条件下则发生解吸而可能产出。煤层气保存受沉积动力学、构造热事件和地下水动力3种因素影响。

(1) 沉积环境控制着煤层气的储盖组合、煤层气储层的几何形态、煤层厚度。晚古生代的聚煤作用主要发生在华北和华南扬子地台区的大型碎屑陆表海拗陷内,滨海三角洲及三角洲—碎屑海岸体系是最重要的成煤环境。早—中侏罗世聚煤盆地主要分布在我国北方的大型内陆拗陷盆地,有相当一部分叠加于晚古生代聚煤拗陷之上(如四川盆地和鄂尔多斯盆地)。晚侏罗世—早白垩世、第三纪含煤岩系大多数分布在孤立、彼此割裂的中小型聚煤盆地中,但聚煤密度大,有巨厚—特厚煤层均形成于湖盆(包括近海湖盆)的湖泊淤浅阶段。同时沉积环境通过对沉积母质的控制,影响着煤储层的含气性、吸附性和物性。

(2) 构造背景是控制煤层气生成和富集的重要因素。区域构造是控制煤炭和煤层气资源形成和分布的根本地质因素。我国是一个地质构造较为复杂的地区,含煤盆地多种多样,按含煤盆地主要聚煤期盆地的稳定程度可分为稳定型、过渡型和活动型;按聚煤后的改造程度可分为弱改造型、中间型和强改

造型。构造运动的影响一方面表现在地壳的升降与剥蚀会改变地层温压条件,打破原有的动态平衡,另一方面断裂活动可使封盖层产生裂隙或使其断开形成气体运移通道,也可形成良好的侧向封堵而使煤层气得以保存,研究区域构造运动对煤层气散失的影响,特别是成煤后几期(印支期、燕山期及喜山期)主要构造运动对煤层气保存的影响,构造抬升剥蚀形成的煤层上覆有效地层厚度可以维持地层压力及相态的平衡,并阻止地层水的垂向交替。据杨起等研究我国东部晚古生代煤层气的地热场具有“多期多热源叠加”的特征^[9]。

(3) 水文地质条件对煤层气保存、富集乃至开发起着不可替代的作用,适当的水文地质条件可形成水压封闭,而交替的水动力还可以破坏煤层气的保存,不利于煤层气的富集^[11]。华北地区可分为供水、弱交替、强交替、滞缓、停滞、滞水等6种类型。沁水盆地南部水文地质单元由多个水文地质单元构成,特别是地下分水岭的存在,不仅导致若干水文地质单元并存,而且造成煤层气井气水产能动态复杂化,是煤层气富集高产条件中的关键地质环节之一。本区内部存在着4条重要的水文地质边界。其中寺头断裂是一条封闭性的断裂,导水、导气能力极差。在沁水盆地中、南部寺头断裂和晋获断裂南段之间的大宁—潘庄—樊庄地区,山西组和太原组含水层的等势面明显地要高于断裂东、西两侧地区,地下水显然以静水压力形式将煤层中的煤层气封闭起来。在寺头断裂西侧的郑庄及其附近地区,地下水迳流强度可能较弱,较有利于煤层气保存。大宁—潘庄—樊庄一带为等势面“洼地”滞流型,煤层气富集条件好。

5. 煤层气解吸条件

解吸条件是当今许多煤层气勘探最容易忽略的问题。其对产能的影响主要体现在两个方面:①含气饱和度(它反映地解压差)对产能的影响;②吸附时间是煤层气解吸以后扩散特征的重要参数,它表明煤层气井早期气产量达到高峰的速度^[12]。这一参数华北地区储层与美国圣胡安、黑勇士盆地煤储层类似。圣胡安盆地北部水果地煤组吸附时间一般小于1天,有的只有4小时左右。黑勇士盆地一般小于1~30天。我国华北地区吸附时间也较短,一般小于1天,个别矿区的煤层如焦作古汉山古2井2#煤长达27.42天。

在上述例证分析的基础上暂将吸附时间大于3天定为较差级别为与较好级别的界线。

6. 地层压力条件

煤层气进需要足够的压力将气从储层内部排驱到井孔中。美国圣胡安和黑勇士盆地的原始储层压力梯度大多为 1.0 MPa/100 m 左右,接近静水压力梯度。圣胡安盆地东北部为超压条件^[1]。正常压力和超压梯度对煤层气井产能是有利的。从已了解的勘探试验成果看,华北地区原始储层压力梯度小于 1.0 MPa/100 m 的矿区占大半,压力梯度大于 1.21 MPa/100 m 的仅在韩城矿区(1.22~1.31 MPa/100 m)见到。因此将 1.0 MPa/100 m 压力梯度作为高值的底界。当煤层压力梯度低于 0.4 MPa/100 m 表明煤层已受到卸压作用的强烈影响,煤层气井不可能具有高的产能。如峰峰矿区龙 1 井 2 号煤储层压力梯度为 0.223 MPa/100 m,欠压严重可能与九龙矿排水降压采煤有关。

我国煤层气藏分布的基本规律

(1)高变质无烟煤煤层气富集成藏;中国晚古生代煤层,受燕山期异常构造热事件的影响,煤阶较高,煤的吸附能力和含气性较大,煤层气富集条件有利,沁水盆地地温梯度为 5.25~7.54℃,燕山中期明显存在异常热事件。

(2)煤层气高产富集区多位于盆地斜坡,呈带状展布;高产富集区在我国华北地区多呈南北向带状组合,富集区与贫气区相间分布,如太行山东麓、沁水盆地和鄂尔多斯盆地。

(3)我国煤层气资源的富集和保存受控于构造背景为主导的区域地质动力条件的匹配;构造格局控制煤层、煤阶的展布,保存条件(构造运动、局部构造和上覆地层有效厚度)控制着煤层气的散失与聚集。

(4)煤层气高产取决于影响煤层渗透性的诸多因素;美国的煤储层渗透性普遍较好,一般为 $(0.1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,如圣胡安、黑勇士盆地煤层渗透率 $(3 \sim 20) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。我国煤层气储层渗透率普遍偏低,大多小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。渗透率小于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,很难获得高的产能。

(5)汇水、滞水的区域有利于形成煤层气藏。水文地质条件处于汇水、滞水区,含气量高,煤层气易于产出。

结 束 语

(1)美国的煤层气理论与开发技术处于国际领先地位。但不能完全适合各国不同情况的需要。因

为美国煤层气理论与技术体系建立在稳定构造环境和简单煤储层条件基础上,而其他国家包括中国在内地地质构造和发展历史往往复杂的多。仅仅加拿大由于与北美大陆地质条件具有一致性,证实了美国煤层气理论的适用。澳大利亚结合本国煤储层的低渗特点发展了地应力评价理论,并在开发出水平井高压水射流改造技术后获得产气突破,其余各国均暂未获得商业性开发的成功。

(2)以我国煤层气地质特殊性为突破点,深入开展本项基础性研究,不仅会获得一批具有前瞻性的科学概念和结果,而且无疑将发展甚至改变现行的煤层气理论,导致独具我国特色的新的煤层气理论和开发技术的产生,并由此带动与我国地质条件类似的世界其他国家或地区煤层气产业的发展。其重点方向是开展煤层气生成及储层非均质性研究、煤层气富集成藏机制分布规律和高效勘探开发技术机理。

参 考 文 献

- 姜波. 淮北地区煤储层物性及煤层气勘探前景. 中国矿业大学学报, 2001;30(5):443~437
- 叶建平, 秦勇, 林大杨. 中国煤层气资源. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999:2~140
- 张建博, 王红岩. 沁水煤层气有利区预测. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999:5~89
- 赵庆波等. 中国煤层气研究与勘探进展勘探. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001:1~95
- 钱凯, 汪泽成, 赵庆波. 煤层气勘探开发理论与实验技术. 北京: 石油工业出版社, 1997:37~62
- 张建博, 王红岩, 赵庆波. 中国煤层气地质. 北京: 地质出版社, 2000:1~96
- 秦勇. 中国煤层甲烷碳同位素特征及成因探讨. 中国矿业大学学报, 2000;29(2):113~119
- 张建博, 陶明信. 煤层甲烷碳同位素在煤层气勘探中的地质意义. 沉积学报, 2000;18(4):611~614
- 杨起, 汤达祯. 华北煤变质作用对煤层含气量和渗透率的影响. 地球科学, 2000;25(3):273~278
- 王洪林, 唐书恒, 林建法. 华北煤层气储层研究与评价. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002:20~140
- 王红岩, 张建博, 刘洪林. 沁水盆地南部煤层气藏水文地质特征. 煤田地质与勘探, 2001;29(5)
- 王红岩等. 煤层气吸附特征研究. 天然气工业, 1997;17(增刊):44~46

(收稿日期 2003-10-12 编辑 黄君权)