

煤化度对煤层气成藏特性影响规律的研究

付才国,张振红,郝春建

(河南煤业化工集团 永城煤电集团股份有限公司 河南 永城 476600)

摘要: 综述了煤层气的成因类型和成气过程的研究现状,说明生物成因和热成因是煤层气的2种主要成因类型,且煤层气生成过程以热成因为主,生物成因为辅。通过分析不同煤化度煤层气的生成过程,说明在整个煤化作用过程中煤层气的生成大致经历了4个阶段,即由植物遗体转化为泥炭阶段、褐煤转型阶段、长焰煤~瘦煤转化阶段以及贫煤~无烟煤阶段。从煤化度角度阐述了不同煤化度煤层气的贮藏特性,即不同煤化度煤层气存在较大差异,特别是不同煤层气吸附、解吸特征的差异影响了其吸附成藏、解吸、渗流及产出的整个过程;煤吸附 CH_4 的能力随着煤化度的增加呈现先急剧增加后缓慢减小的趋势。最后分析了不同煤化度煤层气存在成藏差异的原因,说明煤化学结构、煤物理结构以及成煤过程中地质条件的差异是导致不同煤化度煤层气富集成藏差异性的主要原因。

关键词: 煤层气;成藏特性;煤化度;生物成因;热成因;吸附;解吸

中图分类号: TD849; P618. 11

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2012)04-0026-04

Influence law of coalification degree on coal bed methane characteristics

FU Cai-guo, ZHANG Zhen-hong, HAO Chun-jian

(Yongcheng Coal Electricity Group Co., Ltd., Henan Coal and Chemistry Industry Group Co., Ltd., Yongcheng 476600, China)

Abstract: The research of genetic types and formation of coal bed methane indicates that there are two main genetic types, biogenesis and hydrothermal origin, the former is dominant while the second one is minor. The formation process of coal bed methane with different coalification degree show that it's composed of about four steps, such as the plants remains translate into peat stage, the lignite transition stage, from long flame coal to lean coal conversion stage and the lean coal to anthracite stage. The storage characteristics of different coalification degree coal bed methane is elaborated from the coalification degree, that means there are large differences among coal bed methane with different coalification degree. Especially the adsorption, desorption characteristics of coal bed methane effect the adsorption, desorption, reservoir seepage and the outputs of the whole process. The capacity of coal adsorption methane first increase dramatically, then decrease slowly with the increase of coalification degree. analyse the cause of accumulation difference of different coalification degree coal bed methane, which illustrate that the difference of the coal chemistry structural, coal physical structure and the geological conditions in the form of process of coal are the main reason to lead to the accumulation difference of different coalification degree.

Key words: coal bed methane; formation and reservoiring characteristics; coalification degree; biogenesis; hydrothermal origin; absorption; desorption

煤层气的主要成分是 CH_4 ,是煤中有机物经埋藏而发生一系列物理化学变化,通过细菌、热成因及

地下水等多种因素共同作用产生的。煤的生成条件不同,其 CH_4 含量也各不相同^[1-3]。国内外研究表

收稿日期: 2010-06-20 责任编辑: 白娅娜

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41072153)

作者简介: 付才国(1956—),男,重庆人,高级工程师,本科,1982年毕业于中国矿业大学选煤专业,现在河南煤业化工集团永城煤电集团股份有限公司分管选煤工作。

引用格式: 付才国,张振红,郝春建.煤化度对煤层气成藏特性影响规律的研究[J].洁净煤技术,2012,18(4):26-29.

明,不同煤化度煤层气的储层特性、煤层气成因及成藏过程等存在较大差异,为煤炭开采带来较大困难^[4-7]。因此,研究不同煤化度煤层气成藏的差异性,对于研究煤层气的勘探、开发及减少采煤安全隐患都有重要的指导意义。

1 煤层气的生成

1.1 成因类型

生物成因和热成因是煤层气的2种主要成因类型。

(1) 生物成因

生物成因煤层气是在相对较低的温度(一般小于50℃)下,通过细菌的作用而产生气体。其生成过程有CO₂的还原作用和有机酸(一般为乙酸)的发酵作用2种机制^[3]。此过程主要靠甲烷菌来完成,所以只有在适合甲烷菌生长的较强还原环境,适宜的温度、pH等条件下甲烷菌才能大量繁殖,才能使煤层气大量富集成藏^[8-11]。

(2) 热成因

当温度较高(超过50℃)时,煤化作用不断增强,碳含量增加,进而释放出大量含氢量和含氧量均较高的挥发分,其主要成分是CH₄、CO₂和H₂O等。在温度较高时,CH₄和CO₂也会通过有机酸的脱羧基作用而生成^[8]。热成因煤层气的生成一般分为早期阶段和晚期阶段。侯宝申^[12]指出,早期热成因煤层气主要由富烃煤产生,其乙烷、丙烷和其它湿气等含量较大;而晚期阶段热成因煤层气是煤层在一定的温度、压力条件下裂解、芳构化、异构化之后释放出来的气体。

1.2 不同煤化度煤层气的生成过程

有学者认为,煤层气的产生是煤化作用的重新激活,是在成煤阶段由于物理化学条件的不断变化而导致的物质平衡关系的再调整^[13-18]。CH₄的生成贯穿于煤化作用的全过程,先后经历了生物气、热解气和热裂解气3个成气高峰。

杨孟达、Palmer^[19-20]研究表明:在整个煤化作用过程中煤层气的生成大致经历了4个阶段:由植物遗体转化为泥炭阶段,死亡了的植物失去原有的形态结构,发生脱水、脱羧基等作用,释放出CH₄、H₂O和CO₂,变得更稳定、更均匀;褐煤转型阶段,在较低温度(小于75℃)的还原环境下,沉积的有机质被厌氧菌降解而生成CH₄气体,在此阶段气体产

量最少;长焰煤~瘦煤转化阶段,在此阶段发生较多的热催化作用,导致侧链脱落,CH₄的生成量增加,并在焦煤阶段达到最大值;贫煤~无烟煤阶段,大部分氢侧链脱落,芳香稠环等缩合程度增大,同时重烃裂解,促使了CH₄的生成,在贫煤阶段再次出现CH₄增量的相对高峰。

从上述4个阶段可知,整个煤变质过程中,在肥煤、焦煤时期出现了第一次CH₄增量的高峰值,这一时期主要是热解作用形成了大量的CH₄;在贫煤时期出现了第二次CH₄增量的高峰值,此时CH₄主要由裂解形成。

2 不同煤化度煤层气的贮藏特性

文献[11-15]表明,不同煤化度煤层气存在较大差异,特别是不同煤层气吸附、解吸特征的差异影响了其吸附成藏、解吸、渗流及产出的整个过程。因此,煤化度与煤层气成藏特性的关系最终又归结于不同煤化度煤的吸附、解吸特征。

吸附是煤层气在煤层中赋存的主要形式,煤的吸附能力受多种因素影响,这些因素包括煤岩微观结构、温度压力条件、煤化程度等,其中煤化程度是最主要的因素之一^[21-24]。煤化作用对煤吸附能力的影响存在于3个方面:①煤的基质孔隙和比表面积;②煤的化学成分、分子结构影响煤的亲甲烷能力;③煤的平衡水分含量影响煤层气赋存空间^[25]。

煤的吸附能力随着煤化度的增加呈规律性变化,苏现波、陈昌国等^[25-26]通过实测和收集的数据发现,煤吸附CH₄的能力随着煤化度的增加呈现先急剧增加后缓慢减小的趋势,大体可分为4个阶段,这4个阶段与4次煤化作用跃变相对应,具体如图1所示。不同煤化度煤层吸附能力的不同是由于煤化作用引起的煤的孔隙、结构、表面物理化学性质变化的结果。

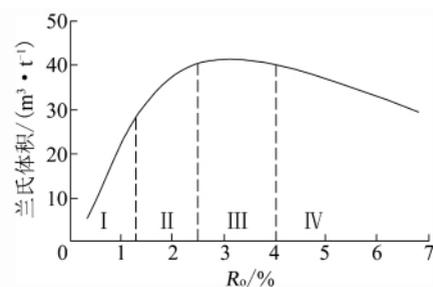


图1 煤化度与煤吸附能力的关系

对于解吸过程,低煤化度煤心解吸时间较短,相对解吸速率大;高煤化度煤心解吸时间长,相对解吸速率小;高煤化度煤层气藏含气性较好,但解吸效率不高,相对解吸速率小,开发难度较高;低煤化度煤层气藏解吸效率较高,且相对解吸速率较大,开发难度较低^[27]。

3 不同煤化度煤层气存在成藏差异的原因

不同煤化度的成藏差异性是在煤质变化过程中内外因素共同作用的结果,导致其差异性的根本原因可归结于煤化学结构、煤物理结构以及成煤过程中地质条件的差异。

3.1 煤岩化学结构的差异

低煤化度煤的结构较为松散,芳香片层间距较大、无序性强、侧链较长,会形成比较疏松的空间立体结构,孔隙率较大,因此低煤化度煤亲甲烷能力低,单位内表面上的碳原子密度小。随着煤化度的提高,侧链和官能团都有所减少,缩合芳香环明显增加,煤分子的各向异性和定向排列明显提高;芳香片层间距减小,孔隙率降低,比表面积增大,排列更加紧密,同时,由于羟基、羧基官能团的大量脱落,煤的亲甲烷能力也显著增加^[1]。

3.2 煤岩物理结构的差异

随着煤化度的提高,煤的物理结构发生较大变化,其中孔容积及孔径分布的变化对煤层气的成藏产生较大影响。褐煤阶段,大孔发育且孔隙度大,渗透率高,因此,煤层气易转移扩散;烟煤阶段,微孔和中孔比较发育,孔隙率相对较低,渗透率也较低,有利于煤层气的保存;无烟煤阶段,微孔较发育,孔隙率较高,有利于煤层气的保存。因此,在褐煤、无烟煤中煤层气吸附量较少,在中高阶煤中煤层气吸附量较多,尤其在肥煤~半无烟煤阶段最多^[28-30]。

3.3 煤岩地质条件的差异

地质条件对煤层气的成藏起着至关重要的作用^[31-33]。煤层气藏的形成不但与自身条件(如气源、储集等)有关,还与后期保存条件有关。不同的地质构造条件、封闭情况和力学性质等,导致了煤层气被保存或被逸散排放^[34]。在密闭不透气的情况下,从理论上讲,随着煤化度的提高煤层气含量只增不减,而各煤阶煤层含气量却出现较大差异,究其原因还是要归结于煤层的保气性问题。褐煤阶段煤层气的生成量最少,只占总产气量的10%左右,并且褐煤埋藏较浅、结构疏松、透气性好,所以 CH_4 不易

保存;在烟煤~半无烟煤阶段, CH_4 产出量较大,且随着煤阶的提高,埋藏深度增加,上部压力增大,有利于煤层气的保存^[28]。

4 结 论

(1) 煤层气生成过程以热成因为主,生物成因为辅,低煤化度煤层气藏多以原生生物成因煤层气为主,高煤化度煤层气藏主要为原生与次生热成因煤层气。

(2) 随着煤化度的升高,煤层气的含量出现了先增加后减少的趋势,在肥煤~半无烟煤阶段含量最高。

(3) 不同煤化度煤产气量和保存条件的差异是导致不同煤化度煤层气富集成藏差异性的根本原因。

参考文献:

- [1] 雷小乔. 煤层气成分影响因素分析[J]. 中国煤田地质, 2002, 14(4): 25-27.
- [2] 王许涛, 刘文斌, 张百良. 煤层气开发利用的制约因素及对策[J]. 洁净煤技术, 2006, 12(4): 27-30.
- [3] Petr Henza, Martin Sivek, Jakub Jirásek. Factors influencing the methane content of coal beds of the Czech part of the Upper Silesian Coal Basin, Czech Republic[J]. International Journal of Coal Geology, 2009, 79(1-2): 29-39.
- [4] 陈振宏, 王一兵, 宋岩, 等. 不同煤阶煤层气吸附、解吸特征差异对比[J]. 天然气工业, 2008, 28(3): 30-32.
- [5] 王乐平, 张国华, 王现强. 煤层气的储层特征及其对煤层气解吸的影响[J]. 煤炭技术, 2009, 28(1): 156-158.
- [6] 都海龙. 煤与煤层气共采技术在晋煤集团的应用研究[J]. 洁净煤技术, 2007, 13(6): 32-34, 69.
- [7] 邹义怀, 江成玉, 李春辉. 煤矿绿色开采技术的研究[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(5): 106-108.
- [8] 李晶莹, 陶明信. 国际煤层气组成和成因研究[J]. 地球科学进展, 1998, 13(5): 467-473.
- [9] 张小军, 陶明信, 王万春, 等. 生物成因煤层气的生成及其资源意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(2): 166-171.
- [10] 吴鲜, 廖冲, 叶玉娟, 等. 水文地质条件对煤层气富集的影响[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2011, 13(5): 78-81.
- [11] Law B E, Rice D D. Hydrocarbons from Coal[M]. Oklahoma: The American Association of Petroleum Geologists, 1993.

- [12] 侯宝申. 浅析煤层气的成因[J]. 科技信息, 2004 (7): 132.
- [13] 白翠花. 浅谈煤层瓦斯生成和聚集的规律[J]. 科技情报开发与经济, 2007, 17(27): 159-160.
- [14] 马帅, 李绍泉, 秦震东, 等. 贵州煤与瓦斯突出事故规律性研究[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(6): 89-91.
- [15] 桑树勋, 范炳恒, 秦勇. 煤层气的封存与富集条件[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 104-107.
- [16] Clayton J L. Geochemistry of coalbed gas—A review[J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 35(1-4): 159-173.
- [17] 陈振宏, 贾承造, 宋岩, 等. 高煤阶与低煤阶煤层气藏物性差异及其成因[J]. 石油学报, 2008, 29(2): 179-184.
- [18] 王红岩, 李景明, 刘洪林, 等. 中国高煤阶煤层气成藏特征[J]. 天然气工业, 2005, 25(12): 31-33.
- [19] 杨孟达. 煤矿地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [20] Palmer I D. 煤层甲烷储层评价及生产技术[M]. 秦勇, 曾勇译. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
- [21] 王红岩, 张建博, 李景明, 等. 中国煤层气富集成藏规律[J]. 天然气工业, 2004, 24(5): 11-13.
- [22] 马京长, 王勃, 刘飞, 等. 高煤阶煤的吸附特征分析[J]. 天然气技术, 2008, 2(6): 31-34.
- [23] Andreas Busch, Yves Gensterblum. CBM and CO₂—ECBM related sorption processes in coal: A review[J]. International Journal of Coal Geology, 2011, 87(2): 49-71.
- [24] 甘华军, 王华, 严德天. 高、低煤阶煤层气富集主控因素的差异性分析[J]. 地质科技情报, 2010, 29(1): 56-60.
- [25] 苏现波, 张丽萍, 林晓英. 煤阶对煤的吸附能力的影响[J]. 天然气工业, 2005, 25(1): 19-21.
- [26] 陈昌国, 辜敏, 鲜学福. 煤的原子分子结构及吸附甲烷机理研究进展[J]. 煤炭转化, 2003, 26(4): 5-9.
- [27] Li Jing-ming, Liu Fei, Wang Hong-yan, et al. Desorption characteristics of coalbed methane reservoirs and affecting factors[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(1): 52-58.
- [28] 魏思民. 煤阶与煤层含气性关系研究[J]. 中州煤炭, 2009(11): 17-19.
- [29] 张飞燕, 程伟, 季璐, 等. 煤岩显微组成对煤储层吸附能力的影响分析[J]. 中国煤层气, 2011, 8(2): 28-31.
- [30] Wang Bo, Li Jingming, Zhang Yi, et al. Geological characteristics of low rank coalbed methane, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 30-34.
- [31] 宋岩, 秦胜飞, 赵孟军. 中国煤层气成藏的两大关键地质因素[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(4): 545-553.
- [32] 邓春苗, 汤达祯, 许浩, 等. 彬长地区延安组沉积作用对煤层气赋存的影响[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(2): 82-84, 87.
- [33] 陈同刚, 宋金星, 汤达祯, 等. 贺西矿4号煤层瓦斯地质规律分析[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(4): 101-103.
- [34] 张国辉, 韩军, 宋卫华. 地质构造形式对瓦斯赋存状态的影响分析[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(1): 19-22.

(上接第15页)

TY001与仲辛醇起泡剂总体性能相当,但价格相对较高,在选煤厂使用优势不明显。在 $A_j \leq 11\%$ 的条件下,以仲辛醇为起泡剂(用量45 g/t)时,捕收剂煤油的最佳用量为300 g/t,浮选药剂总的药剂耗量明显低于煤油与其他2种起泡剂的组合。因此,选煤厂最终确定的浮选药剂组合为:煤油300 g/t,仲辛醇45 g/t。

4 结 论

起泡剂的种类和用量对曙光煤业选煤厂煤泥浮选效果影响显著,以煤油为捕收剂时,3种起泡剂以GF油的浮选效果最差,仲辛醇和TY001性能相当,但后者价格相对较高。在要求精煤灰分 $A_j \leq 11\%$ 的条件下,煤油与仲辛醇组合的最佳药剂用量为煤油300 g/t,仲辛醇45 g/t;煤油与TY001组合的最佳药剂用量为煤油400 g/t,仲辛醇45 g/t。因此,使用仲

辛醇为起泡剂,可以适当降低煤油用量,减少总的药剂消耗量。

参考文献:

- [1] 安茂燕, 焦小莉, 周璐, 等. 低阶煤可浮性及浮选速率模型研究[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(1): 9-12.
- [2] 夏灵勇, 佟顺增, 桂夏辉. 高灰细泥对煤泥浮选影响的试验研究[J]. 选煤技术, 2010(5): 15-18.
- [3] 侯晓博, 徐初阳. 起泡剂组分对浮选效果的影响研究[J]. 选煤技术, 2010(6): 8-11.
- [4] 沈笑君, 刘元晖. 浮选捕收剂与起泡剂的相互作用研究[J]. 洁净煤技术, 2009, 15(1): 14-16.
- [5] 李焕宇, 成志红. 药剂优化对焦煤煤泥浮选影响的研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2011, 34(4): 642-645.
- [6] 陈强. 高灰氧化煤的浮选试验研究[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(2): 10-12, 22.