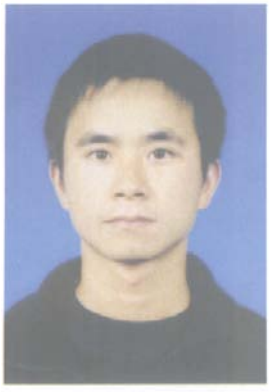
文章编号: 1001-3873(2006)06-0763-03

煤层气及煤层气系统的概念和特征

朱志敏[1], 杨 春[2], 沈 冰[1], 崔洪庆[3]
(1. 中国地质科学院 矿产综合利用研究所, 成都 610041; 2. 浙江大学 理学院 地球科学系, 杭州 310027;
3. 辽宁工程技术大学 资源与环境工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要: 进一步的煤层气地质研究需要精确的煤层气概念和系统的研究方法和思路。通过总结近年来的煤层气研究新资料和文献, 结合实际勘探开发经验, 认识到煤层气生成是多成因多来源的, 并以多种形式赋存于煤层中。煤层气是赋存于煤层中的天然气, 而煤层气系统是由煤层和其中的煤层气及煤层气藏形成所必需的一切地质要素和作用所组成的天然系统, 煤层是煤层气系统的焦点。

关键词: 煤层气; 煤层 吸附; 煤层气系统
中图分类号: TE122.2 文献标识码: A



自从 20 世纪 30 年代美国在阿巴拉契亚北部比格郎气田的匹兹堡煤层先后打出 3 口煤层气自流井和 50 年代在圣胡安盆地进行成功的煤层气开发以来, 煤层气作为一种新的能源越来越受到世界各国和地区的重视。煤层气作为一个崭新的研究领域在我国已经发展了 10 多年, 尤其是近几年随着能源紧张、环境问题、煤矿瓦斯灾害频发, 更是掀起了一个煤层气地质研究的高潮。科学地研究煤层气并指导煤层气勘探开发, 需要一个精准的煤层气概念, 然而, 关于煤层气的概念至今仍有很大分歧[1-5]。另外, 面对煤层气地质大量的信息, 近几年有研究者将广泛应用于常规油气领域的新思想——含油气系统理论引入到煤层气领域[6-10], 并取得了一些成果, 但是煤层气系统并未形成理论体系, 有待对其进一步研究。鉴于以上两点, 本文将试图厘定煤层气和煤层气系统的概念, 并指出煤层气系统之特征, 以期丰富煤层气地质理论。

1 煤层气概念及特征

(1) 煤层气概念 传统理论认为, 煤层气是自生自储于煤层中的非常规天然气。近年来的研究表明, 煤层气是叠加成因的[7,11]。煤层气的来源既有泥炭到低阶煤的原始生物成因和中高阶煤的正常热成因, 还有后期次生生物成因和煤型气-油型气混合成因。总之, 煤层气包括煤层自生的和其他气源岩中运移到煤层中的天然气, 是一种混合天然气。所以传统的煤层气概念认为煤层气仅仅是煤层自生的, 有失偏颇。另外, 对于煤层气在煤中的赋存形式, 过去认为主要以吸附状态吸附在煤孔隙中, 少量以溶解和游离状态存在煤的裂隙中。最近, 秦勇在总结大量资料后指出, 煤层气可能以固溶态形式存在煤基质中, 煤中煤层气以游离、水溶、吸附和固溶态 4 种形式存在[12,13]。而煤中固溶态甲烷甚至有可能远远超出我们现今估算的煤层气资源量。因此, 定义煤层气(coalbed gas)是赋存于煤层中的天然气。由此可见, 煤层气仅是一个描述天然气产状的词语, 不具有成因意义。煤层气主要组分是甲烷, 所以从功能属性上可将煤层气称为煤层甲烷(coalbed methane), 但需要指出煤层气的内涵包括煤层甲烷。

(2) 煤层气地球化学特征 甲烷通常是煤层气的主要组分, 并含少量其它烃类组分、CO_2 和 N_2, 气体中烃的组成表现出明显的干气特征[14]。煤层气的同位素组成有较大差异(表 1)。这表现了煤层气的多成因来源, 正是这种煤层气成因差别导致煤层气同位素特征

表 1 煤层气同位素丰度 ‰

地区	煤层气同位素组成 $\delta^{13}C_1$	$\delta^{13}C_2$	$\delta^{13}CO_2$	资料来源
世界各地	-80.0~-16.8	-32.9~-22.8	-26~+18.6	文献[15]
澳大利亚	-78.9~-18.0		-15.5~+16.7	文献[16]
波兰	-67.3~-52.5			文献[17]
黑海西部	-51.1~-48.3	-37.9~-25.3	-29.4~-19.2	文献[18]
中国	-73.0~-10.0			文献[19]

收稿日期: 2006-03-14 修订日期: 2006-07-27
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
作者简介: 朱志敏(1978-), 男, 四川绵竹人, 硕士, 矿产普查与勘探专业, (Tel) 028-66196091, (E-mail) weah0500@163.com

的差异。此外，即使在同一盆地中，变质程度相同的煤，由于同位素分馏作用和次生生物化学作用也导致其中的煤层气的组分和同位素组成也有变化[20,21]。总之，煤层气是经过漫长的演化过程形成的，其组分和同位素组成受各种复杂因素的影响而不断发生变化，从而造成煤层气的组分和同位素组成千差万别。

2 煤层气系统

2.1 煤层气系统概念

煤层气作为一种非常规天然气，有其自身的特点。煤层具有很大的生气能力，生成的煤层气都远大于煤层中保存的天然气[3]；而煤层以外其他气源岩对煤层气的贡献也是毋庸置疑的[2,7,11]。从生气角度看，气源不是煤层气富集的主要因素，煤层气系统的焦点不是气源岩。“没有煤就没有煤层气”；从另一方面，自然界的煤层中均存在煤层气，只是量的差异，煤层储集能力对于煤层气的富集是决定性的。此外，由于煤层对煤层气有很大的吸附能力，所以往往不特别强调圈闭在煤层气藏形成中的作用。正是因为煤层气的这些特点，决定了煤层气系统必然不同于常规含油气系统概念。因此，定义煤层气系统为：由煤层和其中的煤层气及煤层气藏形成所必需的一切地质要素和作用所组成的天然系统，其中的地质要素包括煤层及其顶底板，作用是煤层气的生成、储集、运移和保存等。煤层气系统的焦点是煤层而不是任何其他要素。

在煤层气系统的地质要素中，首要的是煤储层研究。主要包括煤层的几何形态、孔渗性、吸附性和储层压力等，也是目前煤层气领域做工作比较多的一个方向。而煤层顶底板决定了现今保存在煤层中的煤层气量的多少（煤层气含量），是煤层气系统不应忽视的因素。例如北京西山煤田，虽然煤变质程度很高，有大量气体生成，但是煤层顶部多为透气性砂岩，且煤系遭受剥蚀，煤层气仅少量残存，经过地质时期的长期逸散，使得煤层气含量很低，有的煤矿仅为抚顺的 1/7 左右。

在煤层气系统的地质作用过程中，煤层对煤层气的吸附作用是重点研究内容，而构造岩浆活动和水动力作用影响煤层气的保存。地下水总是由高水位向低水位流动，引起煤层裂隙系统中水头场与压力场的变化。压力的降低，导致煤层甲烷在煤基质微孔隙表面解吸，并通过扩散由煤基质的微孔隙扩散至裂隙割理系统，然后随地下水的流动，产生运移、逸散（或再吸附）这样一个循环过程。水动力封闭及地层水超压都有利于煤层气的吸附与富集；而交替的强水动力条件将打破吸附与溶解和游离气之间的平衡，使吸附气逐渐减少，造成煤层气的散失。构造升降运动可以改变地层的温压条件，打破原有煤层气吸附平衡，使吸附气与游离气相互转化，从而影响煤层气的保存。一般情况下，随着煤层埋深的增加，含气量也增加，这主要是因为随着煤层埋深增大，煤的演化程度增高，生气条件变好，同时随着埋深增大，煤层压力增大，封闭条件相对变好，煤的吸附量随之增加。另一方面，由于构造抬升，上覆地层，特别是有效地层厚度变薄，导致煤层气的散失。另外，成煤后的岩浆侵入活动作用于含煤岩系，其高温烘烤、高压挤压，改变了煤层气的原始地质因素，直接影响煤层气的生成、运移和赋存。

煤层气系统中气体的运移包括两种情况：当煤层中的煤层气全部来自煤层自生（生物化学和热作用）气体时，煤层气基本不发生初次和二次运移就直接赋存在煤中，此时可不考虑煤层气的运移；当煤层中的煤层气全部来自其他源岩，则存在初次和二次运移，这与常规天然气的运移并无差别。但现今保存下来的煤层气往往都是以上两个端元来源气体的混合产物，既有自生的也有他源运移的，此时煤层气的运移问题成为一个研究难题，有待做进一步的研究工作。

煤层气系统研究的一个显著特点就是通过地质作用过程的研究将各地质要素连结成一个有机的整体。在这方面，关键时刻作为一个重要的环节实现了这一联系。关键时刻是地质要素和作用关系最密切的时刻[22]，是煤层气系统中生气和成藏的最佳匹配期。煤层气系统的关键时刻是煤层气大量生成、聚集（散失）的时刻。相比于美国含煤层气盆地，我国含煤层气盆地多具有复杂的构造演化变形史和“多期多热源叠加”古热场，所以我国煤层气系统往往具有多个关键时刻，即有煤层气大量生成的关键时刻，又有煤层气大量聚集（散失）的关键时刻。煤层气系统关键时刻可以通过如下图件刻画：煤层气系统埋藏史图，包括所有地质要素和关键时刻；关键时刻各地质要素的平面分布图；关键时刻各地质要素的剖面分布图；煤层气系统事件图，包括一个煤层气系统的所有要素、作用和关键时刻。

2.2 煤层气系统命名

煤层气系统一个重要的特征是系统的独立性，即系统与系统之间以及系统与环境之间基本上不发生能量交换。所以，一个煤层气系统必然具有相对独立的水动力系统。煤层气系统的焦点落在煤层而不是任何其他要素，煤层气系统的命名也应以煤层来命名。一个煤层气系统中的煤层既可以是一个煤层，也可以是一套有相同水动力联系的多个煤层（煤层组）。所以一个富含煤盆地中有几套相对独立水动力系统的煤层就有几个煤层气系统。例如我国阜新盆地具有两套不同水动力联系的煤层——阜新组煤层和沙海组煤

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

层, 阜新盆地煤层气系统即划分为 2 个煤层气系统——阜新组煤层气系统和沙海组煤层气系统[10]; 而我国沁水盆地具有相同水动力联系的两套煤层——太原组和山西组煤层, 所以沁水盆地煤层气系统只有一个煤层气系统——上古生界煤层气系统[9]。

3 结 论

通过总结和归纳最新的煤层气勘探开发和研究成果, 重新修正了煤层气的概念, 定义煤层气是赋存在煤层中的天然气, 其来源是多成因的, 其赋存是多形式的。煤层气系统作为一种定性和定量结合的思想, 为煤层气地质研究提供了新的思路和方法, 将煤层气的勘探开发焦点直接落在了煤层上, 提供了一套煤层气勘探研究的程序和框架, 并将煤层气系统的基本地质因素和作用有机联系起来, 使这些单独事件及其相互关系的动态演化成为可能, 可以重新评价勘探区域和准确估算系统内煤层气资源量, 并且有可能从大尺度煤层气成藏‘域’和小尺度煤层气高产富集‘甜点’上预测煤层气资源及富集规律。

致谢: 论文写作中得到四川煤田地质局谢晓东教授级高工的指导, 东北煤田地质局路爱平教授级高工在研究中提出建设性的意见, 在此表示诚挚的谢意。

参考文献:

[1] 杨 起, 韩德馨. 中国煤田地质学, 上册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1979.

[2] 邵震杰, 任文忠, 陈家良. 煤田地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.

[3] 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.

[4] 张 泓, 彭格林. 简评《地质辞典》中的‘煤层气’词条[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(2): 21-24.

[5] 张新民, 庄 军, 张遂安. 中国煤层气地质与资源评价[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[6] 吴世祥. 试论煤层气系统[J]. 中国海上油气(地质), 1998, 12(6): 390-393.

[7] Ayers W B Jr. Coalbed gas systems, reservoirs, and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basin[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86:1 853-1 890.

[8] 陈建渝, 唐大卿, 杨楚鹏. 非常规含气系统的研究和勘探进展[J]. 地质科技情报, 2003, 22(4): 55-59.

[9] Su Xianbo, Lin Xiaoying, Zhao Mengjun, et al. The Upper Paleozoic coalbed methane system in the Qinshui basin, China [J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(1): 81-100.

[10] 朱志敏, 沈 冰, 闫剑飞, 等. 煤层气系统——一种非常规含油气系统[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(4)(待刊).

[11] 秦 勇. 中国煤层气地质研究进展与述评[J]. 高校地质学报, 2003, 9(3): 339-358.

[12] 秦 勇. 国外煤层气成因与储层物性研究进展与分析[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 289-298.

[13] 秦 勇. 中国煤层气勘探面临的形势与挑战(II): 关键科学技术问题[J]. 天然气工业, 2006, 26(2): 1-5.

[14] 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.

[15] Rice D D. Composition and origins of coalbed gas[A]. In: Law B E, Rice D D. Hydrocarbons from coal[C]. AAPG Studies in geology Series 39, Okbahoma, Tulsa, 1993: 159-184.

[16] Smith J W. Microbial origin of Australian coalbed methane [J]. AAPG Bulletin, 1996, 80(6): 891-897.

[17] Kotarba M J. Composition and origin of coalbed gases in the Upper Silestan and Lubbin basin, Poland[J]. Organic Geochemistry, 2001, 32: 163-180.

[18] Hakan H, Narmik M, Cramer B, et al. Isotope and molecular composition of coal-bed gas in the Amasra region(Zonguldak basin-western Black Sea) [J]. Organic Geochemistry, 2002, 33: 1 429-1 439.

[19] 陶明信. 煤层气地球化学研究现状及趋势[J]. 自然科学进展, 2005, 15(6): 648-652.

[20] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学(卷一)[M]. 北京: 石油地质出版社, 1992.

[21] 张义纲, 章复康, 胡惕麟, 等. 天然气的生成聚集和保存[M]. 南京: 河海大学出版社, 1991.

[22] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system——from source to trap[J]. AAPG Memoir, 1994, 60: 3-24.

The Definition and Characteristics of Coalbed Methane and Coalbed Methane System

ZHU Zhi-min[1], YANG Chun[2], SHEN Bing[1], CUI Hong-qing[3]

(1.Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2.Department of Earth Science, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China; 3.Institute of Resources and Environment Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China)

Abstract: The precise definition, systematic method and thought of coalbed methane redound to in-depth coalbed methane study. The origin of coalbed methane is multi-original and it has multi-occurrence in coalbed based on summing up the latest information and literatures, combined with the experience and practice of coalbed methane exploration. The coalbe methane is natural gas in coalbed and the coalbed methane system is a natural system that encompasses coal beds and coalbed methane in them as well as all the geologic elements and processes as required for forming a coalbed gas pool. The coalbed is the focus of the coalbed methane system.

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

Key words: coalbed methane; coal bed; adsorption; coalbed methane system