文章编号: 1001-1986(2006) 04-0030-03

煤层气系统——一种非常规含油气系统

朱志敏[1], 沈　冰[1], 闫剑飞[2], 崔洪庆[3]
(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　610040;
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: 为了更加有效地预测煤层气分布, 指出煤层气有利勘探区域, 引入了含油气系统来研究煤层气。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, 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、储集和保存等。煤层气系统的建立和研究, 为煤层气的勘探和开发提供了一种新的思维方式和研究方法, 以及一套煤层气勘探研究的程序和框架。

关　键　词: 煤层气系统; 储集; 煤化作用; 吸附; 保存
中图分类号: P618.11　　文献标识码: A

Coalbed methane system: an unconventional petroleum system

ZHU Zhi-min[1], SHEN Bing[1], YAN Jian-fei[2], CUI Hong-qing[3]
(1. *Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu* 610041, *China*;
2. *Chengdu Institute of Geological and Mineral Resource, CGS, Chengdu* 610040, *China*;
3. *College of Resource and Environment, Liaoning Technical University, Fuxin* 123000, *China*)

Abstract: To forecast the distribution of coalbed methane effectively and to point out the favorable area for coalbed methane exploration, the petroleum system is introduced to coalbed methane geology. Coal bed methane system is a natural system that encompasses coal seams and coalbed methane in them including all the geologic elements and processes. The essential elements include coal seams and surrounding rocks, and the processes are generation- reservoir- conservation of coalbed methane. The coalbed methane system is a new way of thinking and method. It offers a procedure and frame of coalbed methane exploration and research.

Key words: coalbed methane system; reservoir; coalification; adsorb; conservation

1　引言

1974 年, Dow 在 AAPG 年会上首次将“系统论”引入石油地质研究中, 并提出“石油系统”(oil system) 的概念[1]。1980 年, Perrodon 首次使用了“含油气系统”(petroleum system) 这一术语[2]。随后, Magoon 于 1988 年将这一概念应用于美国主要的含油气盆地, 并划分了美国的含油气系统[3]。在 1991 年的 AAPG 年会上, Magoon 和 Dow 主持了“含油气系统: 烃源岩到圈闭”讨论会, 对含油气系统概念重新修订并重新划分了美国的含油气系统[4]。1994 年, Magoon 出版了《含油气系统——从烃源岩到圈闭》, 精辟地概括了含油气系统的精髓[5]。近 30 a 来, 含油气系统在国内外石油、天然气地质领域的研究中取得了重要进展, 世界各国的石油、天然气地质学家对其概念、特征和作用进行了颇有创意的讨论, 目前, 已经发展成为石油天然气地质综合研究与油气勘探的重要思维方式和研究方法。

自 1992 年我国引进含油气系统概念以来, 这一理论被普遍接受并广泛应用, 并取得一些显著的成果[6-11], 但研究对象主要是常规含油气系统。随着近年来煤层气勘探开发的兴起, 部分学者和专家认识到有必要将含油气系统思想引入煤层气地质学领域, 指导煤层气这一新领域的勘探和开发, 满足不断增长的能源需求[12-16]。煤层气作为一种非常规油气, 其生—储—运—聚都有别于常规油气, 所以本文尝试煤层气系统的建立, 并提供一种煤层气系统研究的思路和框架。

2　煤层气系统概念

Magoon 指出“含油气系统是一个由一套活跃烃源岩和与其有关的所有油气及油气藏形成所必须的

收稿日期: 2005-10-17
作者简介: 朱志敏(1978—), 男, 四川绵竹人, 硕士研究生, 从事煤田地质学与煤层气地质学研究。

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

一切地质要素和作用所组成的天然系统, 基本要素包括一套烃源岩、储集层、盖层和上覆岩层, 作用是圈闭形成和油气的生成—运移—聚集[5]。‘油气’既包括赋存于常规储层、天然气水混合物、致密储集层、裂缝性页岩和煤层中的热成因及生物成因的天然气, 也包括储集在硅质碎屑岩、碳酸盐岩中的凝析油、原油、重油及固态沥青。‘地质要素’包括油气源岩、储集岩、盖层及上覆岩层, 而‘地质作用’则包括圈闭的形成及烃类的生成、运移和聚集[5]。”

煤层气是自生自储于煤层中的以甲烷为主的混合气体, 它是煤化过程中生成并以吸附状态富集于煤孔隙的内表面上(仅有少量以游离态存在于煤的裂隙), 形成后基本不存在运移, 这就决定了煤层气系统是一种相对简化的“含油气系统”(相对于常规含油气系统而言)。因此, 煤层气系统定义为: 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、储集和保存等。从煤层气系统的自然属性上讲, 煤层气系统的焦点应该是煤层而不是任何其他要素。因此, 在煤化过程中, 从煤层排出而运移到其他储集体中聚集的天然气, 则不属于煤层气系统范畴; 而非煤化作用来源进入煤层储集的天然气也不属于煤层气系统范畴。

3　煤层气系统划分

既然煤层气系统的焦点是煤层而不是任何其他要素, 那么煤层自然成为煤层气系统划分的唯一标准, 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, 也可以是一套有成因联系的多个煤层(煤层组)。所以, 一个煤盆地中有几套不同成因的煤层就有几个煤层气系统。例如, 我国阜新盆地具有阜新组和沙海组两套不同成因的煤层[17-18], 其煤层气系统划分为阜新组和沙海组两个。而我国沁水盆地具有两套相同成因的煤层——太原组和山系组煤层, 所以沁水盆地煤层气系统只有一个, 即上古生代煤层气系统[16]。

4　煤层气系统的表征和描述

4.1　煤层气系统地质要素的描述

煤层的生气特征　煤层的生气量主要取决于煤阶、煤岩类型和煤层的几何展布。一般来说, 低阶煤生气较高阶煤少[19]; 煤岩有机显微组分中, 壳质组生烃能力最强, 镜质组次之, 惰性组最差[20]; 煤层厚、埋藏深、面积大, 往往产生的煤层气也多。但是, 从我国主要煤系不同煤阶煤的煤气发生率来看, 生成的煤层气都远大于煤层中保存的天然气(表 1)[21], 所以煤的生气能力是毋庸置疑的, 煤的生气特征不应该是决定煤层气富集的主要因素。

表 1　我国主要煤系不同煤阶煤的煤气发生率　　m^3/t

Table 1　Coal gas incidence of coals with different ranks from different measures

褐煤	长焰煤	气煤	肥煤	焦煤	瘦煤	贫煤	无烟煤
68.0	168.0	212.0	229.0	270.0	287.0	333.01	419

煤层的储集特征　煤层气主要吸附于煤孔隙的内表面, 所以, 储集在煤层中的煤层气生成后基本没有发生初次和二次运移。影响煤层储集性的因素主要包括储层的物性和含气量。煤储层是一种双孔隙岩层, 由基质孔隙和裂隙组成。基质孔隙和裂隙的大小、形态、孔隙度和连通性等决定了煤层气的储集、运移和产出。煤中孔隙是气体储存的主要空间, 裂隙是煤层中流体(气体和水)渗流的主要通道。煤储层压力是指煤层孔隙中的流体(包括气体和水)压力。煤储层压力对煤层气含量和气体赋存状态起着重要作用。同时, 储层压力也是水和气体从煤的裂隙中流向井筒的能量。煤储层含气性主要指煤层中储存气量的多少, 通常用煤层含气量表示。

煤层顶、底板封盖特征　煤层顶底板的岩性决定了煤层气的封盖性能。盐岩、泥岩、粉砂质泥岩、致密泥灰岩和灰岩对煤层气可形成良好的封盖层; 砂质泥岩、泥质粉砂岩和粉砂岩对煤层气可形成中等封盖层; 粉砂岩、砂岩和裂隙灰岩对煤层气的封盖性较差。

4.2　煤层气系统地质作用过程的研究

煤化作用　煤层气是煤化作用过程中形成的。低成熟阶段主要是生物化学作用, 高成熟阶段主要是热解作用。据研究, 生物成因气的生气量较之热成因气要小得多, 一般为煤层总生气量的 10%[22]。从生气角度来看, 这预示了煤层气系统可包括中—高阶煤煤层气系统模式和低阶煤煤层气系统模式[15]。

煤层的吸附作用　煤层对煤层气的吸附基本满足 Langmuir 方程, 吸附能力决定了煤层的含气量[23]。目前的煤层气吸附研究均来自实验数据, 采用的吸附模型也是均质模型, 而地下深处埋藏的煤层气由于高温、高压和含水性, 必然与实验数据相差很大。煤层气吸附需要建立非均质模型来模拟地下(高温、高压、含水的)煤层气吸附作用[24]。

煤层气的保存　煤层气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。处于吸附

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

状态的气体,如果没有外界的影响则不易解吸和散失,对于煤层气的保存非常有利;游离气逸散能力最强,可以气相或气—水相方式散失;溶解气介于二者之间,只能以水溶方式运移。煤层气要形成煤层气藏,必须具有良好的保存条件维持三者的平衡,使气体以吸附状态存在,并减少游离气和溶解气的散失(图 1)。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[25]。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[16-26]。

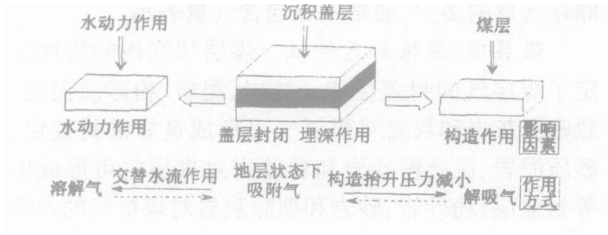


图 1 煤层气保存示意图

Fig. 1 Sketch map showing preservation of coalbed methane

4.3 地质要素与作用相互关系的研究

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参数实现了这一联系。关键时刻就是地质要素和作用关系最密切的时刻,是煤层气系统中煤层生气和成藏的最佳匹配期。一个煤层气系统关键时刻可以通过以下图件刻画: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,包括一个含油气系统的所有要素、作用和关键时刻。

5 煤层气系统的评价

煤层气系统的评价,是在煤层气系统的划分、表征与描述研究基础上,对煤层气系统进行区域煤层气资源预测,包括比较不同的煤层气系统,指出对勘探开发有利的煤层气系统及有利区带在该系统中的位置。例如,通过评价阜新盆地煤层气系统,最后得出阜新组是目前优选的煤层气系统,而该系统中的刘家区是有利勘探区带[27];沁水盆地煤层气系统中的 A2 和 B2 区带是有利勘探区带[16]。

6 结论

煤层气系统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;煤层气系统既可以是一个煤盆地,也可以是煤盆地内的一个区域,作为一个单独的煤层气勘探评价单元出现;煤层气系统将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;煤层气系统可以重新评价勘探区域和准确估算系统内煤层气资源量。总之,煤层气系统的提出,要求研究者要用历史的、动态的观点研究煤层气的生成与富集。对于一个勘探目标区,既要对煤层和盖层作静态分析,也应对研究区的埋藏史、古应力场和水文条件等动态因素加以研究,更应对静态因素和动态因素之间的关系进行分析,这样,才能预测未发现的煤层气开发区域,对煤层气资源作出正确客观的评价。

致谢 论文的思路来源于与东北煤田地质局路爱平教授级高工的交谈,辽宁工程技术大学王宇林教授的意见和建议对于论文的帮助很大,在此表示诚挚的谢意。

参考文献

[1] Dow W G. Application of oil correlation and source-rock data to exploration in the Williston Basin[J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(7): 1253-1262.

[2] Perrodon A. Geodynamique Petroliere. Genese et repartition des gisements d' hydrocarbures[C]. Paris, Masson-Elf Aquitaine, 1980.

[3] Magoon, L. B. The Petroleum System: A Classification Scheme for Research1 Exploration and Resource Assessment[C]// Petroleum Systems of the United States (Edited by L. B. Magoon), U. S. Geological Survey Bulletin. 1988, 1870: 2-15.

[4] Magoon L B, Dow W G. The Petroleum system-from source to trap [C]. AAPG, Association Round Table, 1991, 587.

[5] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system[G]// Magoon L B, Dow W G, *et al*. The petroleum system-from source to trap: AAPG Memoir. 1994, 60: 3-24.

[6] Magoon L B. 含油气系统及其研究方法[M]. 杨瑞召等译. 北京:地质出版社, 1992.

[7] 吴元燕, 吕修祥. 利用含油气系统认识油气分布[J]. 石油学报, 1995, 16(4): 17-22.

[8] 窦立荣, 李 伟. 中国陆相含油气系统的成因类型及分布特征[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(1): 1-6.

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

文章编号: 1001-1986(2006)04-0033-04

迭代法在现代地下水年龄估算中的应用
——以银川平原为例

苏小四, 董维红, 林学钰
(吉林大学 水资源与环境研究所/环境与资源学院, 教育部城市环境与可持续发展联合研究中心吉林大学分中心, 吉林 长春 130026)

摘要: 为克服应用氚同位素方法确定现代地下水年龄过程中存在的, 需确定地下水系统输入项的历史背景浓度问题, 本文根据地下水同位素数学物理方程, 以全混模型为例, 利用不同时期地下水同位素的测试结果, 通过数学迭代运算, 推导出计算现代地下水年龄的计算公式。该方法不仅可以很好地解决地下水系统输入项氚背景浓度恢复时间序列较长的问题, 而且对于提高地下水的定年精度具有十分重要的意义。该方法应用到银川平原取得良好的效果, 研究表明银川平原浅层地下水的周转时间为 30 a。

关 键 词: 现代地下水年龄; 氚同位素; 迭代法
中图分类号: P641 文献标识码: A

Application of iterative method in modern groundwater dating: A case study from Yinchuan Plain

SU Xiao-si, DONG Wei-hong, LIN Xue-yu
(*Institute of Water Resources and Environment / College of Environment and Resources, Jilin University, Joint Research Center (Branch of Jilin University) of Urban Environment and Sustainable Development, Ministry of Education, Changchun* 130026, *China*)

Abstract: In order to overcome difficulties in the recovery of historical tritium concentration in the determination of shallow groundwater age by the method of mathematical physical model, this paper, just taking the expolatianal model as the example, deduces a new formula to calculate the groundwater age based on the equation of the tritium mathematical physical and the tritium analysis results in different times. This method is of significance both to overcome the difficulties in the recovery of the historical tritium concentration and to enhance the accuracy of age-dating. A case study from Yinchuan basin shows a good result and the mean age of shallow groundwater in Yinchan basin is about 30 years.

Key words: modern groundwater age; tritium isotope; iterative method

收稿日期: 2005-09-01
基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043606)与英国皇家协会研究项目(No. Q778)
作者简介: 苏小四(1971—), 男, 安徽巢湖人, 吉林大学副教授, 从事水文学及水资源方面的教学与研究.

[9] 吴冲龙, 王燮培, 周江羽. 含油气系统概念与研究方法[J]. 地质科技情报, 1997, 16(2): 43-50.
[10] 瞿 辉, 赵文智, 张明利. 中国陆相复杂含油气系统的特征[J]. 地质力学学报, 2000, 6(2): 11-16.
[11] 陈建渝, 熊书权, 毕研鹏, 等. 断陷盆地中含油气系统的特征[J]. 石油学报, 2000, 21(2): 36-41.
[12] 吴世祥. 试论煤层气系统[J]. 中国海上油气(地质), 1998, 12(6): 390-393.
[13] Law B E, J B Curtis. Introduction to unconventional petroleum systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1851-1852.
[14] 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.
[15] 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(11): 1853-1890.
[16] 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.
[17] 孟庆山, 印晓冬, 王宇林. 阜新盆地聚煤规律与控煤因素分析(Ⅰ)[J]. 辽宁工程技术大学学报, 1998, 17(3): 254-257.
[18] 孟庆山, 王宇林. 阜新盆地聚煤规律与控煤因素分析(Ⅱ)[J]. 辽宁工程技术大学学报, 1998, 17(4): 363-366.
[19] 高 波, 马玉贞, 陶明信, 等. 煤层气富集高产的主控因素[J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 345-349.
[20] 傅家谟, 刘德汉, 盛国英. 煤成烃地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
[21] 张厚福, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
[22] 吴佩芳, 谭仲平, 司淑平, 等. 煤层气开发的理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
[23] Anbarci K, Ertekin T A. A simplified for in-situ characterization of desorption properties of coal seams[C]. SPE, 21808, 1991.
[24] 欧成华, 李士伦, 杜建芬, 等. 煤层气吸附机理研究的发展与展望[J]. 西南石油学院学报, 2003, 25(5): 34-38.
[25] 叶建平, 武 强, 王子和. 水文地质条件对煤层气赋存的控制作用[J]. 煤炭学报, 2001, 26(5): 459-462.
[26] 张振文, 蒋福兴, 王慧敏. 岩浆活动对煤层气的成藏作用[J]. 中国煤炭, 2002, 28(8): 35-37.
[27] 朱志敏. 阜新盆地中部煤层气地质特征研究[D]. 辽宁工程技术大学硕士学位论文, 2004.

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