



ZHONGGUO MEICENGQI KANTAN  
KAIFAJISHU YU CHANYEHUA

**2013** 年

煤层气学术研讨会论文集

**中国煤层气勘探开发技术与产业化**

中国煤炭学会煤层气专业委员会  
中国石油学会石油地质专业委员会

© 叶建平 傅小康 李五忠 主编

地质出版社

13年煤层气学术研讨会论文集

# 中国煤层气勘探开发 技术与产业化

中国煤炭学会煤层气专业委员会  
中国石油学会石油地质专业委员会

叶建平 傅小康 李五忠 主编

地质出版社

· 北 京 ·

## 内 容 简 介

煤层气在我国已经过了20多年大量的地质评价、技术试验、勘探开发,建立起与地质条件相适应的勘探开发技术体系,形成了沁水盆地和鄂尔多斯盆地两大产业化基地,政府建立了相关配套的激励政策,鼓励煤层气快速发展。尽管随着页岩气勘探开发热潮的兴起,煤层气的地位及其在非常规天然气中的份额常常引起讨论。但煤层气仍然是非常规天然气中最为现实的产业化开发的能源资源。本书共收集与煤层气、页岩气相关的研究论文70多篇,从煤层气地质评价与储层工程、煤层气勘探开发技术、煤矿区煤层气抽采技术、页岩气评价技术,以及煤层气集输、利用和经济评价五个方面,对近年来煤层气勘探开发实践、煤层气勘探开发理论和技术进步、煤层气产业发展等进行了有益的探讨,可供从事煤层气等非常规能源研究的科技人员、院校师生及管理人员阅读参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

中国煤层气勘探开发技术与产业化:2013年煤层气  
学术研讨会论文集 / 叶建平,傅小康,李五忠主编. —  
北京:地质出版社,2013.9

ISBN 978-7-116-08510-7

I. ①中… II. ①叶… ②傅… ③李… III. ①煤层 -  
地下气化煤气 - 地质勘探 - 学术会议 - 文集 IV.  
①P618.110.8-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第219194号

---

责任编辑:郑长胜 付庆云

责任校对:王洪强

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324575(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)82310749

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

印 张:35.5

字 数:800千字

版 次:2013年9月北京第1版

印 次:2013年9月北京第1次印刷

定 价:78.00元

书 号:ISBN 978-7-116-08510-7

---

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

中国煤炭学会煤层气专业委员会  
中国石油学会石油地质专业委员会

2013 年煤层气学术研讨会论文集

# 中国煤层气勘探开发技术与产业化

## 编辑委员会

主 编：叶建平 傅小康 李五忠

编 委：张守仁 张文忠 孟尚志 赵庆波 孙粉锦

顾娇阳 赵 军 陈仕林 于瑞琴 左景栾

房 超 吴 见 李 菲 刘 通 吴 翔

# 2013 年煤层气学术研讨会

2013 年 9 月 23—26 日

浙江·杭州

**主办：**中国煤炭学会煤层气专业委员会  
中国石油学会石油地质专业委员会  
煤层气产业技术创新战略联盟

**承办：**中联煤层气有限责任公司

**协办：**中国石油集团测井有限公司  
美中能源有限公司  
富地柳林燃气有限公司

# 前 言

煤层气在我国已经经过了 20 多年的大量的地质评价、技术试验、勘探开发，建立起与地质条件相适应的勘探开发技术体系，发现了沁水盆地南部和鄂尔多斯盆地东缘两个上千亿立方米的大型气田，形成了两大煤层气产业化基地，政府建立了相关配套的激励政策，鼓励煤层气快速发展。随着页岩气勘探开发热潮兴起，煤层气的地位及其在非常规天然气中的份额常常引起讨论。但是，煤层气仍是非常规天然气中最为现实的产业化开发的能源资源。

2012 年，我国煤层气产量达到 126 亿  $\text{m}^3$ ，其中地面开发产量 25.7 亿  $\text{m}^3$ ，煤矿区煤层气抽采 100.3 亿  $\text{m}^3$ 。地面开发产量比上一年增长 13%，煤矿区煤层气产量比上年增长 9.9%，增速同比下降。煤层气投资快速上涨，2012 年钻井 3976 多口，全国累计钻井 12547 口。已建成煤层气开发项目 7 个，包括潘庄、潘河、樊庄-郑庄、枣园、寺河-成庄、韩城南、阜新等商业性开发项目，在建开发项目 8 个，包括郑庄、马必、沁南夏店、柿庄南、长子、寿阳南燕竹、柳林、三交-碛口、保德、延川南等开发项目。地面开发煤层气产能建设达到 75 亿  $\text{m}^3$ 。

勘探工作在全国全面开展。2012 年煤层气探明储量新增 1343.6 亿  $\text{m}^3$ ，比上年增长 32.2%。全国累计探明储量达到 5518 亿  $\text{m}^3$ 。探明储量主要分布于沁水盆地，其次是鄂尔多斯盆地。勘探工作在新区、新层系、新领域均有显著突破，呈现三个趋势，一是向 800~1000m 深部延伸，二是向低阶煤进行，三是煤层气、致密砂岩气、页岩气综合勘探成为共识。

主要勘探区分布于沁水盆地柿庄北、沁源、郑庄、郑庄北、沁南夏店、沁南安泽、马必、寿阳等区块，鄂尔多斯盆地韩城、临汾、忻州、石楼西、三交北、延川南、三交北、临兴、神府、横山堡、彬长等区块，以及宁武、古交、焦作、安阳-鹤壁、宿州、淮南、丰城、恩红-老厂、织金、古蔺、淮南阜康、依兰、鸡西、珲春等区块。

柿庄北、沁源、郑庄北、延川南、焦作、淮南、丰城等区块大部分超过 800m 埋深，深煤层煤层气勘探具有巨大的挑战性。由于深煤层地应力增高，造成煤体结构易碎，渗透性显著降低，表现在钻井工程复杂、压裂工程难度增加、排采达产周期长。但是仍有一些地区的井获得了较好的单井产气量，如延川南延 23 井煤层，埋深 1497~1503m，日产气 3600  $\text{m}^3$ ；柿庄北 SX006-2 井，埋深 956~962m，日产气 960  $\text{m}^3$ ；沁水盆地郑庄区块郑 60 井 3<sup>#</sup>煤，深 1337m，日产气 2336  $\text{m}^3$ 。

低阶煤的勘探突破比较显著。淮南阜康 5 口井组，深度 660~880m，单井日产量在 1000~2100  $\text{m}^3$ ，显示了良好前景。珲春 4 口井煤层深 450~550m，煤层总厚 13m，单层厚小于 2m，排采 2 年目前单井稳产 1500~2200  $\text{m}^3$ ，日产水 5.5~14  $\text{m}^3$ ；依兰煤层深 700m 左右，厚 16m，6 口井投产 3 年稳产 1000~1200  $\text{m}^3$ 。在霍林河、彬长等低阶煤地区均取得 1000  $\text{m}^3$  以上产气量的煤层气井。

在鄂尔多斯盆地东缘深部目前以煤层气、致密砂岩气、页岩气综合勘探为主导已成为共识。延川南、石楼、三交北、临兴、神府加大煤系地层中致密砂岩气的勘探力度。石楼、临兴等区块致密砂岩为目标层的单井产量达到  $6000 \sim 50000 \text{ m}^3$ ，个别井产量更高。延川县东北吉探 1 井山 1 段 2180 ~ 2184m，射开 4m，细砂岩，日产气  $2.1 \text{ 万 m}^3$ 。石楼西 YH18 井日产气最高  $104 \text{ 万 m}^3$ ，稳产  $5.2 \text{ 万 m}^3$ ；三交北某井 5<sup>#</sup>煤层埋深 1969 ~ 1971.7m，套压 3.4MPa，瞬时产量达  $1.84 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。临兴 TB - 07 井，射孔井段：1620m ~ 1623m，气体流量： $5.28 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。

华北石炭二叠系煤层，山西组煤层气商业性开发已取得成功，太原组煤层气单井产量低，尚未进行经济开发。在鄂尔多斯盆地柳林区块，太原组煤层气产量获得了重大突破，取得了稳定单井日产量，日产量达到  $1000 \text{ m}^3$  以上，为该区多煤层开发奠定了储量基础。

在国家科技重大专项的重点支持下，经过大量勘探开发项目的实践，煤层气勘探开发理论和技术进步非常显著，由此也支撑了煤层气产业发展。

在多煤层和多系统叠置发育地区，如何协调各系统进行有序、递进开发，避免开发过程中系统间的相互干扰是尚待解决的难题，关系到煤层群发育区煤层气开发的前景。含煤层气系统的提出具有重要的指导性（秦勇，2008），本次基于黔西煤层群条件提出了“多层叠置独立含煤层气系统”是对前述理论的重要发展。

煤层气富集规律研究仍然是煤层气勘探的核心地质工作。很多地区煤层气产量低，地质因素控制作用是主要问题。我们不但要研究煤层气富集区，更要研究高渗区，低地应力分布区。因此要利用二维地震或三维地震勘探、地球物理测井以及钻探取心测试等手段充分研究地质构造、研究煤层地球物理属性，研究地应力条件和渗透性纵向垂向变化，做好勘探部署。工程技术是外因，地质问题是内因，煤层气勘探过程首先是地质勘探和地质研究过程，其次才是钻完井增产改造的技术试验过程。延川南深部、三交北深部一些井获得了  $2000 \text{ m}^3$  以上的产量，从这一点也反映了，加强煤层气地质研究尤为重要，如何在埋深较大的地区，寻找低地应力、高渗透率，同时煤层气又富集的地区是当务之急，是我们在深部勘探的重点内容。以前常说的高渗富集区，在深煤层中应该加一个低地应力，要研究低应力高渗富集区，以求寻找到深部煤层气“甜点区”。

基于煤层气储层基本地质属性参数、工程措施参数和排采参数，建立煤层气高产井构造、水文地质控制模型；形成“煤层气开发地质”研究领域，是一个重要而急迫的任务和方向。煤层气产能影响因素的分析研究方兴未艾。排采强度、排采过程地质模型等研究是一个热点和方向。近年随着生产数据的不断积累，以实际生产数据、地质、测井资料为基础的排采分析研究显著增多。

测井手段进一步加强，新手段不断探索，成像测井、微电阻率扫描、偶极、核磁等用于煤层裂隙发育程度和煤体结构识别、含气量富集趋势预测等。定量解释砂体储层水性和含气性，煤层顶板富水性等指标。测井曲线分析构造煤是一个热点，利用测井曲线划定构造煤，圈定构造煤分布，对勘探部署具有重要的指导意义。

直井套管完井仍然是国内煤层气勘探开发的主要完井方式。但沁水盆地山地地形和鄂尔多斯盆地黄土高原地形，征地困难，为了减少征地，保护环境、节省投资，丛式井成为普遍的布井方式。由于煤层结构破碎，断层发育或起伏幅度大，导致多分支水平井优势丧失，转为进行 U 型水平井或 V 型水平井等简单完井方式的水平井为主。水平井分段压裂



成为新的完井方向。不仅在煤层中完井，也在煤层顶板进行水平钻进、分段压裂完井，取得了初步的成功，在煤层顶板泥岩或砂岩中水平井完井压裂，是松软煤层煤层气开采的一条有效途径。

水力携砂压裂仍然是煤层气井增产改造的主流技术，只要煤层结构完整，泊松比等指标适宜，煤层裂隙发育，浅部深部、高阶煤低阶煤都适用，只需针对具体煤层和地质特点调整压裂工艺参数，做好施工设计。这几年对于其他压裂技术也做了很多试验探索。如清洁压裂液压裂、氮气泡沫压裂、氮气增能压裂、活性水泡沫压裂、缓速酸压裂等，取得一定效果，但尚不能形成主要技术被推广应用。井间微地震监测成为压裂裂缝监测的有效手段被业内认同。

钻完井液、压裂液进行了广泛而大量的研究，取得了丰硕成果，并在钻完井压裂中进行了试验，效果良好。

大家都认识到，提高煤层气单井产量是煤层气勘探开发的核心。由于一些区块投入了大量钻井工作量，投产井要么产量低，要么达产周期长，严重动摇了领导的投资信心和决策速度。2013年有关煤层气公司投资明显减少，我们从2012年、2013年产量、钻井数量同比增速放缓的现象，可以明显看到今后几年煤层气的形势比较严峻，必须引起高度警觉。800m以浅的区块少了，深部的勘探难度很大，沁水、鄂尔多斯盆地以外的全国其他地区勘探潜力较差。由此推断，煤层气经过了2005~2011年快速发展，目前可能进入调整周期，或者说“十二五”后期是调整期。总结低产原因，研究勘探潜力，积蓄技术力量，为完成2020年规划目标，实现煤层气产业新的飞跃，奠定基础。

叶建平

于北京

2013年8月17日



# 目 录

## 第一篇 煤层气地质评价与储层工程

|  |       |
|--|-------|
| 中国含煤层气系统研究综述与展望 .....                          | (3)   |
| 准噶尔南缘煤层气资源勘探前景及开发建议 .....                      | (11)  |
| 四川省古蔺县石宝矿段煤层气勘探开发对策研究 .....                    | (18)  |
| 云南老厂区块煤层气勘探前景分析 .....                          | (25)  |
| 从经济效益看转变煤层气勘探开发技术模式 .....                      | (30)  |
| 精细地质研究在煤层气勘探开发中的作用 .....                       | (41)  |
| 山西白壁关区块煤层气地质特征及勘探开发建议 .....                    | (46)  |
| 煤层气有利区评价方法研究 .....                             | (51)  |
| 利用图件确定煤层气有利区域 .....                            | (60)  |
| 基于 GIS 的煤层气勘探开发信息管理系统研究 .....                  | (71)  |
| 水公河向斜多层叠置含煤层气系统形成机理及演化过程 .....                 | (77)  |
| 柳林地区太原组灰岩含水层富水性研究 .....                        | (84)  |
| 沁水盆地南部潘庄区块煤层气赋存特征及控气地质因素 .....                 | (94)  |
| 筠连矿区煤层气及煤岩特征评价 .....                           | (103) |
| 沁南盆地柿庄南区块 3 <sup>#</sup> 煤层干扰试井及储层评价 .....     | (110) |
| 深部煤层含气量的预测方法 .....                             | (118) |
| 阳泉新景煤矿构造煤变形及孔隙结构特征 .....                       | (127) |
| 煤层气解吸阶段划分理论的建立与应用 .....                        | (136) |
| 煤岩割理压缩系数及其影响因素实验分析 .....                       | (145) |
| 黔中隆起煤岩渗透率与有效应力关系实验研究 .....                     | (154) |
| 煤层气井产量预测动态统计方法 .....                           | (160) |
| 韩城煤层气田气井合采产能特征及其影响因素探析 .....                   | (169) |
| 沁水盆地南部煤储层渗流物理过程及其对煤层气井产气量的控制 .....             | (178) |
| 沁水盆地樊庄区块煤层气直井高产参数分析 .....                      | (188) |
| 煤层气田排采主控地质因素权重评价及地质意义 .....                    | (196) |
| 利用煤层气田生产数据计算相渗的新方法 .....                       | (206) |
| CO <sub>2</sub> 注入提高煤层气采收率过程产出水化学特征及变化机理 ..... | (215) |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 基于混沌时间序列与 RBF 神经网络的煤层气产能预测 ..... | (221) |
| 煤层气产水因素测井分析 .....                | (229) |
| 煤储层吸附能力影响因素研究 .....              | (236) |
| 使用 AVO 技术评价煤层气井 .....            | (247) |
| 地震相在煤层气富集区预测中的应用 .....           | (258) |
| 珲春煤田低阶煤煤层气开发储层改造关键技术研究 .....     | (264) |

## 第二篇 煤层气勘探开发技术

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| 煤层气测井地层评价技术发展及对测井装备的需求分析 .....      | (275) |
| 基于遗传算法的煤层多矿物测井评价方法 .....            | (283) |
| 利用测井曲线揭示大宁-吉县区块构造煤分布 .....          | (289) |
| 山西柳林区块煤层气多分支水平井钻完井及排采技术的应用实践 .....  | (294) |
| 不同井型煤层气多分支水平井方案比较——以柳林区块为例 .....    | (303) |
| 煤层气多分支水平井结构优化设计 .....               | (317) |
| 钻井液对煤层气储层损害室内评价技术研究 .....           | (324) |
| SN-015 煤层气 U 型水平井钻井液技术 .....        | (333) |
| 煤层气钻井过程中应力集中作用下煤粉产出力学机理分析 .....     | (338) |
| 煤层气井固井技术现状与展望 .....                 | (343) |
| 煤层气泡沫水泥浆固井技术研究 .....                | (348) |
| 压裂液对煤岩气体解吸能力的影响 .....               | (358) |
| 不同类型表面活性剂对煤岩润湿性能影响研究 .....          | (365) |
| 利用煤层气采出水配制表面活性剂压裂液的研究与应用 .....      | (370) |
| 煤层气井压裂裂缝井下微地震监测技术应用分析 .....         | (376) |
| 注 CO <sub>2</sub> 开采煤层气置换效率评价 ..... | (384) |
| 关于新疆阜康矿区低阶煤煤层气排采技术研究 .....          | (391) |
| 柳林地区某井组控制下的煤层气井开发动态研究 .....         | (397) |
| 煤层气排采过程中不同地质模型水压传播数学模型 .....        | (404) |
| 多压裂层煤层气井合层排采工艺控制指标体系研究 .....        | (411) |
| 低压煤储层注入/压降试井存在的问题及分析方法研究 .....      | (420) |

## 第三篇 煤矿区煤层气抽采技术

|  |       |
|--|-------|
| 井下梳状定向孔技术与装备在煤层气抽采中应用 .....                  | (431) |
| Φ219.1/168.3 mm 气举反循环双壁钻具在大直径工程井中的成功应用 ..... | (440) |

## 第四篇 页岩气评价技术

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 四川盆地南部志留系页岩气成藏地质特征研究 .....   | (451) |
| 蜀南含气页岩组构与岩石力学特性 .....        | (459) |
| 贵州下寒武统牛蹄塘组页岩气资源评价 .....      | (467) |
| 黔北地区下寒武统牛蹄塘组页岩气有利目标区预测 ..... | (474) |
| 常规取心过程中页岩含气量解吸测定分析及建议 .....  | (481) |
| 页岩有机质特性参数测井计算方法及适用性分析 .....  | (487) |
| 四川盆地上三叠统须家河组页岩气资源评价与选区 ..... | (495) |

## 第五篇 煤层气集输、利用和经济评价

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 沁水盆地煤层气地面集输工艺管网对比 .....       | (505) |
| 山西煤层气开发地面集输与利用 .....          | (511) |
| PE管在煤层气地面建设工程的应用 .....        | (516) |
| 液态水对低浓度瓦斯气发电效果的影响 .....       | (521) |
| 安全生产标准化在煤层气钻井作业安全管理中的应用 ..... | (526) |
| 煤层气企业的承包商安全监管 .....           | (531) |
| 煤层气开采过程中的土地复垦问题探究 .....       | (536) |
| 沁水盆地煤层气开发经济效益分析 .....         | (540) |
| 柳林区块双煤层水平井排采工艺 .....          | (547) |





# 中国含煤层气系统研究综述与展望

郭 晨 秦 勇 卢 玲 玲

(煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室 中国矿业大学 徐州 221116)

**摘 要:** 论述了含煤层气系统理论在中国的产生、发展与不断深化的过程。含煤层气系统是煤层气领域借鉴含油气系统理论并结合煤层气自身特点而产生的理论成果,并在其发展过程中,针对特定地质条件,不断完善丰富。“多层叠置独立含煤层气系统”是基于黔西煤层群条件对含煤层气系统理论重要的发展,“层序控气”是其中标志性的研究成果,并区分了具有统一压力含气系统与无统一压力含气系统。重新厘定了含煤层气系统的概念,并认为含煤层气系统理论今后将在服务煤层气开发方面发挥更大的作用,在多煤层和多系统叠置发育地区,如何协调各系统进行有序、递进开发,避免开发过程中系统间的相互干扰是尚待解决的难题,关系到煤层群发育区煤层气开发的前景。

**关键词:** 含煤层气系统 多层叠置独立含煤层气系统 层序地层 煤层气开发

## Review and Expectation of Coalbed Methane System Research in China

Guo Chen Qin Yong Lu Lingling

(Key Laboratory of CBM Resource and Reservoir Formation Process,  
Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** The generation, development, and deepening process of the theory of Coalbed methane system in China is discussed in this article. Together with the theory of petroleum system and CBM's own characteristic, the theory of Coalbed methane system is proposed, and it is improved and enriched constantly by the research of different geology conditions during its developing process. “Unattached multiple superposed CBM-bearing system” is an important evolution for CBM system based on the condition of coal seam groups in western Guizhou. And “Sequence stratigraphy controlling gas” is one of the symbolic research achievements. CBM system is distinguished into the unified pressure CBM system and the discrete pressure CBM system. The conception of CBM system is redefined. It is considered that the theory of CBM system will exert a more significant effect on CBM development. Under the condition of multi-coalbeds and unattached multiple superposed CBM-bearing systems, how to coordinate each system to achieve orderly development and avoid mutual interference with the different systems still

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40730422), 国家科技重大专项项目(2011ZX05034), 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室(中国矿业大学)开放基金资助项目(2013-009)

第一作者简介: 郭晨, 1988年生, 男, 博士研究生, 煤层气地质研究。E-mail: makaay\_@126.com。



need to be solved, which will greatly influence the CBM development prospect in multi-coalbeds area.

**Keywords:** CBM system; Unattached multiple superposed CBM-bearing system; Sequence stratigraphy; Multi-coalbed methane development

含煤层气系统是煤层气地质理论不断发展过程中为更好地指导煤层气资源勘探、有利区预测以及探索科学、系统的研究方法应运而生的概念,该概念的提出源自于对含油气系统的参照,含煤层气系统是含油气系统概念在煤层气领域的推广和延伸,是一种特殊的非常规含油气系统。所以要研究含煤层气系统的发展历程,离不开对含油气系统发展历史和主要思想的了解。

## 1 含油气系统

经典含油气系统理论的奠基人是 W. G. Dow 和 L. B. Magoon, 他们指出含油气系统是一个包括有效烃源岩、与该源岩有关的油气以及油气聚集成藏所必需的一切地质要素和作用的天然系统 (W. G. Dow, 1974; L. B. Magoon et al., 1988, 1994)。地质要素是静态的,包括烃源岩、储集层、盖层、圈闭、运移通道等;地质作用是动态的,包括生烃、排烃、运移、聚集以及圈闭形成等过程。这些要素与作用必须在时间和空间上配套,才能形成现今的油气藏 (赵文智等, 1996)。一个含油气系统即为一个完整、独立的油气生、运、聚单元,是沉积盆地中一个自然的流体烃类系统,不同含油气系统之间被封闭层或界面限定,缺乏流体交换。

经典的含油气系统概念的局限在于其仅表示油气从烃源岩排出,经过运移通道运移到圈闭中聚集的一次过程,而该模式只适合一期成藏的简单含油气系统。我国油气藏多数经过多期构造旋回演化,后期改造强烈,发育叠合型盆地,具有多期成藏、油气混源、多油储类型等特点,针对这些特点,我国学者将含油气系统的概念进一步推广、延伸。张厚福等 (1999) 根据中国海相地层发育区经历多旋回构造变动的地质特点,将含油气系统的定义修正为:油气系统是一个或一系列烃源岩生成的油气相关、在地质历史时期中经历了相似的演化史、包含油气成藏所必不可少的一切地质要素和作用的天然系统。这一概念强调了同一含气系统具有相同的地质演化史。赵文智、何登发 (2000, 2001) 提出了复合含油气系统的概念,定义为两个或两个以上含油气系统共享某些成藏条件而形成的相对独立的烃类流动系统。一个复合含油气系统中包含多个含油气系统,各含油气系统满足 Magoon 的经典定义,相互间即有独立性又有联系性,这种联系性体现在系统间发生了流体交换或者共用某些成藏要素。各含油气系统间的关系主要包括共盖、贯通与叠置。复合含油气系统与我国的油气藏条件具有更好的适应性,能更有效地指导我国油气田的勘探。我国含油气系统几个主要的发展方向包括精细含油气系统描述、古生界碳酸盐岩含油气系统研究、非常规含油气系统研究等 (窦立荣, 1996), 而含煤层气系统正是一种非常规含油气系统。

关于含油气系统的划分, Magoon 认为含油气系统的划分标准是成熟烃源岩体,即有一个成熟烃源岩体存在,就有一个含油气系统,强调源控论,划分时多采用“油源对比”的方法,刘华等 (2009) 依据此方法将东营凹陷划分为三个含油气系统。这种划分方法的局限性在于如果一个储集层的油源可能来自多套烃源岩,那么在含油气系统划分时一套



储集层可能分属不同的含油气系统,有的学者基于多油源油藏往往具有一个主要来源,采用“主源定型”的划分方法(雷振宇等,1998)。姜振学等(1997)运用流体势能理论来指导含油气系统的划分,因为油气在运移过程中遵循流体运动规律,即由高势区沿梯度负方向向低势区运移,最终聚集于封闭的低势区内成藏。故可利用流体高势面来作为划分含油气系统的边界,而流体超压层和致密岩层多为高势面分布的层位。雷振宇等(1998)在对鄂尔多斯含油气系统进行划分时主要依据储集层其上是否有盖层分布,以构成相对独立或封闭的体系。该方法弱化了烃源岩的控制,强调储集层的独立性、封闭性,这种方法可能具有更强的实用性。

## 2 含煤层气系统的提出

随着煤层气研究的不断深入,为了给煤层气资源的勘探与预测提供更为有效的理论指导,发展煤层气地质理论,煤层气领域的学者们将含油气系统的概念、思想引入到了煤层气的研究中,提出了含煤层气系统。吴世祥(1998)参考含油气系统的概念模式,认为煤层气系统是一个具有一定埋深的含煤体系,包括形成煤层气富集的各种静态因素和动态因素。将煤层气系统划分为生成子系统和聚集子系统,强调要用历史的、动态的观点研究煤层气的生成与聚集。随后,朱志敏(2006a; 2006b)、倪晓明(2009)等进一步结合煤层气自身特点,完善了含煤层气系统的概念。煤层气是一种煤层自生自储的非常规天然气,煤层既是气源岩又是储集层,故相比于常规油气的生、运、聚过程,煤层气从形成到成藏所经历的过程相对简单,自生自储加之煤层气以吸附状态赋存于煤储层中,圈闭在煤层气系统中的作用被弱化了。可见,含煤层气系统与含油气系统存在着较大的差异。基于以上考虑,含煤层气系统被重新定义为: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储层和保存条件,保存条件又包括顶底板、断层、水动力条件、侧向封闭等,作用是煤层气的生成、运移、聚集和保存等。朱志敏(2006b)强调含煤层气系统的研究焦点应是煤层本身,而并不是其他任何要素。朱志敏和倪晓明的主要分歧在于煤层气的运移,朱志敏认为煤层气基本没有发生运移,只有在它源的情况下才存在运移,而倪晓明则认为即使是自生自储,煤层气的运移仍是一种普遍现象,从如今的观点来看,倪晓明的观点更加被认可,但这种运移相比于常规油气要小的多。

在含煤层气系统划分方面,吴世祥(1998)认为由于煤层气主要以吸附态富集,加之没有大规模运移,含煤层气系统的平面分布为煤层分布范围,垂向分布夹于顶底板之间,可概括为在顶底板的封隔之下,一个煤层构成一个含煤层气系统,这种划分方法过于片面。朱志敏(2006a; 2006b)先后提出了两种划分标准,较早的一篇文献中指出成因是划分含煤层气系统的标准,即有几套不同成因的煤层,就有几个煤层气系统,而在其随后的文章中指出,水动力系统是划分含煤层气系统的依据,即有几套相对独立的水动力系统,就有几套含煤层气系统。从实用性的角度以及后人的研究中发现,依据水动力系统的划分方案更为确切。而倪晓明(2009)则强调煤层气系统边界的确定方法应是横向以同一烃源岩或者有成因联系的一组烃源岩为界,纵向上以下伏封闭层为下界、上覆盖层为上界。

可见,含煤层气系统的定义与含油气系统非常相似,是含油气系统在煤层气领域的应

用与发展,是建立在含油气系统理论和研究方法基础上的。含煤层气系统的提出对于煤层气成藏研究、煤层气资源勘探、富集高产带预测等方面具有重要的意义。

### 3 含煤层气系统的发展

秦勇(2008)通过对黔西煤层群条件下煤层气藏发育特征的研究,发现含气量、含气量梯度、储层压力梯度在垂向上呈现波动变化,结合水动力条件,层序地层格架,沉积环境等因素,认为由于含煤地层内部致密碎屑岩的发育,使得垂向上不同煤层(组)之间缺乏流体联系,提出了“多层叠置独立含煤层气系统”的学术观点,并且各含气系统的发育受到了层序地层格架的控制,在以三角洲-潟湖-潮坪沉积体系为主的多煤层含煤地层中,可能具有普遍性。多层叠置独立含煤层气系统的形成,其实质在于不同的流体压力系统在地层垂向上的叠合,不同压力系统之间因层序格架的封闭性而无动力联系。可见,独立的流体压力系统是独立含煤层气系统形成的前提条件,这一点与前人的认识相一致,并得到进一步强调,封闭性界面或者层域是构成各含气系统的边界。“多层叠置独立含煤层气系统”的提出是基于煤层群条件对含煤层气系统概念的发展,更加强调整垂向上系统间的相互封闭性和独立性,并且将层序地层学引入到了含煤层气系统的研究中,在多煤层地区具有更广泛的适用性。该理论对于完善多煤层地区煤层气成藏理论,建立基于层序地层的煤层气藏预测方法等具有重要意义。

含煤层气系统具有独立性,不同含煤层气系统间不存在流体或者能量交换,这是目前一致的认识,也是含煤层气系统理论发展过程中被逐渐强化的思想,含油气系统理论也同样强调系统间的相互封闭性。因缺乏流体交换,一套含煤层气系统受控于一个独立的流体压力系统。朱志敏(2006b)认为一个煤层气系统具有相对独立的水动力系统,一个含煤层气系统中的煤层既可以是一个煤层,也可以是一套有水动力联系的多个煤层;李志强等(2008)发现在涪陵峡背斜含煤地层中,各含水层之间浅部水力联系明显,深部水力联系弱,形成相对独立的水力系统,地下水对煤层气富集进行分段、分块控制;张延庆等(2001)发现韩城矿区3号煤层与11号煤层的直接充水含水层不同,且两个含水层之间无水力联系,具有相互独立的补排系统。这些都是独立水动力系统控制含煤层气系统的直观显现。

### 4 理论深化

经过含煤层气系统理论的提出和发展阶段,后人逐渐将研究重点转移到多层叠置独立含煤层气系统的形成机理、成藏特征和划分方法上来。杨兆彪(2011)、沈玉林等(2012)继续以黔西晚二叠世含煤地层为研究对象,结合层序地层格架,进一步阐明了多层叠置独立含煤层气系统的发育特点,深化了层序控气的思想,即层序地层格架控制着各系统之间的独立性,但具体控制机理存在差异。杨兆彪(2011b)基于储层物性、含气性在垂向上的非连续性变化,认为三级层序中海侵体系域为相对封闭层,高位体系域为相对开放层,正是在相对封闭层的控制下,一个完整的三级层序可构成一个相对独立的流体单元,进而在垂向上形成了可与三级层序相对应的独立含气系统,并且含气量、储层物性、吸附性等均随层序格架呈现旋回性变化(图1)。同时杨兆彪(2011a)认为独立含气系统发育程度取决于含煤地层封闭性的好坏,而沉积环境是这种封闭性的主要影响因素。以细