

中联煤层气有限责任公司 编



21世纪 中国煤层气产业 发展与展望



煤炭工业出版社

21 世纪中国煤层气产业发展与展望

The Development and Outlook for China's Coalbed
Methane Industry in the 21st Century

中联煤层气有限责任公司 编

By China United Coalbed Methane Co., Ltd.

煤炭工业出版社

China Coal Industry Publishing House

· 北 京 ·

Beijing

图书在版编目 (CIP) 数据

21 世纪中国煤层气产业发展与展望/中联煤层气有限责任公司编. —北京: 煤炭工业出版社, 2003

ISBN 7-5020-2363-1

I. 2… II. 中… III. 煤层-地下气化煤气-经济发展-研究-中国-21 世纪 IV. F426.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 089992 号

煤炭工业出版社 出版发行
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷

开本 787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$ 印张 19 $\frac{1}{2}$
字数 455 千字 印数 1—1,200
2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月第 1 次印刷
社内编号 5134 定价 50.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

科技进步推动煤层气产业

(代 序)

冯三利 张遂安

(中联煤层气有限责任公司, 北京, 100011)

回顾我国科技攻关历程, 许许多多的科技攻关项目都取得了令人瞩目的进步和重大理论突破。在这些重大科技攻关项目中, 煤层气科技攻关可谓是一个耀眼的亮点。自“六五”开展煤层气研究和“七五”开展煤层气科技攻关以来, 在国家科技攻关计划指导下, 在一批又一批优秀科研队伍和杰出人才的辛勤耕耘下, 取得了一批丰硕的成果。煤层气的攻关研究, 不仅建立了我国煤层气地质理论、煤层气勘探开发技术系列和煤生烃理论及煤成气成藏机理, 而且还有力地推动了我国煤层气产业的形成与发展。

一、煤层气基础理论探索, 推动了煤层气产业的形成

早在 20 世纪 70 年代, 美国一些高瓦斯煤矿业主为了寻求经济高效的瓦斯抽放方法, 试图利用石油天然气开发技术从地面进行了煤矿瓦斯抽放的探索性试验。大约到 20 世纪 70 年代末 80 年代初, 随着煤层气水力压裂等关键开发技术取得突破性进展和煤层气理论逐步趋于成熟, 已初步显示出煤层气商业开发的前景。70 年代出现的石油危机和因取消石油价格控制而造成的石油生产商的“意外获利”事件, 促使美国联邦政府于 1980 年出台了《原油意外获利法》(该法案第 29 条规定政府给予非常规能源开发者以税收补贴政策), 从而增强了包括煤层气在内的非常规石油天然气资源开发与常规油气开发的竞争力。在技术的进步和利益的驱动下, 一批石油公司开始将资金投入煤层气资源开发, 很快便使煤层气开发形成一个介于煤炭工业与石油天然气工业之间的新兴能源产业——煤层气产业。

国家“六五”重点科技攻关就煤成气 (Gas From Coal Seams) 生成与聚集的地质条件、煤演化生烃机理、煤成气成藏理论以及煤成气资源评价等煤成气关键理论进行了深入、系统的研究与探索, 取得了丰硕的成果, 其中最突出的成果就是我国煤成气理论的建立与应用。我国煤成气理论的建立, 有效地引导了我国天然气勘探从“一元成气论”(油型成气论)走向“二元成气论”(油型成气论和煤型成气论)。二元成气论的成熟和发展, 大大拓展了我国天然气勘探领域, 促进了我国天然气探明储量的迅速增长^[1-2]。

据“六五”攻关期间煤炭科学研究总院西安分院对煤层瓦斯赋存量的估算, 煤层中约有 32.15 万亿 m^3 的煤层瓦斯^[3], 该初步成果足以显示出我国煤层甲烷的巨大资源潜力。为深入探索赋存于煤层中的煤层甲烷(煤层气)的赋存机理和资源开发潜力, 在“七五”国家科技攻关项目——“天然气(含煤成气)资源评价及勘探测试技术研究”中设立了

“我国煤层甲烷的富集条件及资源评价”专题。该专题由煤炭科学研究总院西安分院承担(张新民、张遂安等),淮南矿业学院(唐修义等)和中国矿业大学(陆国桢等人)参加(负责华北地区)。在充分吸收美国煤层气地质理论和开发技术的基础上,在我国首次从资源角度对煤层气资源的赋存机理、富集规律和资源分布等关键问题进行了深入、系统的研究,取得了突破性进展,从而开创了我国煤层气开发研究的新纪元,并逐步培育出了我国的煤层气产业。在这次煤层气科技攻关研究过程中首次预测的我国煤层气资源量(30~35 万亿 m^3),一直被我国政府和煤层气工业界作为权威资源量数据广泛应用;基于“七五”科技攻关成果出版的我国第一部煤层气专著——《中国的煤层甲烷》^[4],我国所有从事煤层气研究和勘探开发的科技工作者几乎都曾拜读过。可以负责任地说,该书为推动我国的煤层气事业的发展起到了重要的作用。

继“七五”之后,《中国的煤层甲烷》一书的广泛传播,使更多的人认识到我国拥有的巨大的煤层气资源量和良好的开发前景,并引起了中央政府、工业部门(如煤炭部、地矿部、中国石油天然气集团公司)和地方政府(如沈阳市政府)的高度重视。20 世纪 90 年代初,能源部选择地处京津塘经济三角洲的开滦矿务局唐山煤矿作为试验点,批准实施了我国第一个国家级的煤层气开发示范项目——“开滦矿区唐山矿煤层气开发示范项目”(钟亚平等);与此同时,在唐山施工之前,辽宁省沈阳市煤气公司于 1991 年自己筹资在沈阳附近的红阳煤田施工了煤层气开发试验井,美国的 ICF 公司为这两个项目提供技术咨询。联合国开发计划署利用国际环保基金,资助中国政府开展“中国煤层气资源开发”(由煤炭科学研究总院西安分院、开滦矿务局、铁法矿务局、松藻矿务局承担并完成)和“中国深层煤层气资源开发”(由原地矿部华北石油地质局承担并完成),进一步使我国的煤层气勘探开发试验工作升温,煤炭、地矿、石油等工业部门和地方政府以及外国公司开始投资开展煤层气勘探和开发试验,从而使得我国的煤层气勘探开发活动进入了历史性的第一个高潮阶段。

二、我国煤层气开发技术研究,加速了煤层气产业的发展

进入“八五”之后,我国的煤层气科技攻关研究已逐步由基础理论研究和资源评价进入煤层气勘探开发工艺技术研究层次。以煤炭科学研究总院西安分院(李明朝、张新民、张遂安等)与华北石油管理局(梁生正、赵克镜等)承担并完成的“有利区块煤层吸附气开发研究”(试验点为河北大城)和原地矿部华北石油地质局(孙万禄、梅世昕等)承担并完成的“中国深层煤层气开发技术研究”(试验点在山西柳林)为代表的“八五”国家科技攻关研究,从煤层气勘探开发实践角度,深入、系统地探索了煤层气钻井、试井、压裂和排采等关键工艺技术,并取得了实质性突破。河北大城试验区大参 1 井获得单井日产煤层气 6000m^3 的可喜产量。山西柳林煤层气试验井组,平均单井日产煤层气 $3000\sim 6000\text{m}^3$ 。

为使我国的煤层气产业能够迅速、有序地发展,1996 年国务院批准成立了由原煤炭部、中国石油天然气总公司、原地矿部联合组建的中联煤层气有限责任公司(简称中联公司),并授予中联公司计划单列(国家计划单列、财政单列、科技单列)、对外专营、税收优惠等一系列的权利和优惠政策。江泽民为推动我国的煤层气产业形成与发展,在中联公司的成立之际亲笔题词:“依靠科技进步,发展煤层气产业,造福人民”,精辟论述了我国

煤层气产业的发展道路与发展方向。中联公司的成立,标志着我国煤层气开发事业迈入了产业化的道路。

自“七五”科技攻关以来,煤层气基础理论的突破和完善以及煤层气勘探开发技术的进步,激励了我国的煤层气勘探开发活动,先后在晋城(潘庄)、大城、柳林、开滦、红阳、沈北、淮南、淮北、平顶山、焦作、安阳、鹤壁、铁法、洪山殿、冷水江等地区开展了煤层气勘探开发试验工作。至2001年底,已施工各类煤层气井210余口,并呈现出明显的逐年增长势头。在这210余口井中,其中的柳林井组、潘庄井组、枣园井组、大城井组、晋试井组、寿阳井组、三交井组、淮北井组、临兴井组等均进入了井组生产试验阶段,排采的时间多在1~2年。潘庄井组排采长达4年之久,产量基本保持稳定。沁水盆地南部平均单井煤层气日产量 $500 \sim 4000 \text{ m}^3$,最高达 16000 m^3 (TL-007井);铁法地区单井煤层气日产量可达 $3000 \sim 8000 \text{ m}^3$,最高 13555 m^3 。这批勘探成果预示着这些地区具有良好的煤层气开发前景。

在“七五”、“八五”科技攻关的基础上,“九五”国家科技攻关将煤层气研究提升到了示范工程试验研究的高度进行更为深入的研究。根据当时的情况,国家计委在原煤炭工业部和地质矿产部的协助下,选择安徽淮南新集和贵州六盘水为示范工程基地,设立了2个煤层气开发技术科技攻关项目。其中安徽淮南新集项目由国投新集煤电公司(刘明善等)、煤炭科学研究总院西安分院(白清昭等)等单位承担并完成;贵州六盘水项目由原地矿部西南石油地质局和华北石油地质局承担并完成。在国家“九五”重点科技攻关计划执行期间,国家科技部和原国家煤炭工业局在“新集浅层煤层气示范开发成套工艺技术及专用装备研究”项目中设立了“煤层气压裂工艺技术研究”专题。

通过“九五”煤层气开发技术科技攻关研究,不仅在安徽淮南新集这样一个煤层气含量较低($4 \sim 8 \text{ m}^3/\text{t}$)、构造煤极为发育、低压低渗的地区,获得日产煤层气 $1000 \sim 2000 \text{ m}^3$ 的稳定产量,而且在煤层气勘探开发技术方面取得一系列重要研究成果。以“煤层气压裂工艺技术研究”专题为例,该专题在科学技术部和国家煤炭工业局的领导下,经中联煤层气有限责任公司(冯三利、张遂安、胡爱梅等)以山西沁水煤层气田枣园示范工程为依托,深入系统进行了煤层气压裂伤害机理研究、压裂液优选研究、压裂施工工艺技术和压裂裂缝监测技术及压裂效果评价方法研究,并取得了重大进展。该项研究有效地指导了山西沁水煤层气田南部(简称沁南地区)的压裂等勘探开发工作。除取得产气突破外,2001年中联煤层气有限责任公司首次在山西沁水盆地南部获得了402.19亿 m^3 的煤层气探明储量,218.39亿 m^3 的煤层气可采储量。同年中国石油天然气集团公司煤层气项目经理部在山西沁水盆地南部也获得353.26亿 m^3 的探明储量,170.13亿 m^3 的煤层气可采储量。另外,山西阳泉煤业集团获得煤矿井下抽排煤层气探明储量191.34亿 m^3 ,辽宁铁法煤业集团获得煤矿井下抽排煤层气探明储量77.303亿 m^3 。煤层气储量的获得,标志着我国煤层气产业已具备进入商业性开发的储量基础^[5]。

在已勘探的区块中,国内专家普遍认为,沁水盆地南部是目前已勘探区块中最具开发潜力的煤层气高渗富集区,有望成为我国第一个煤层气开发基地。

三、“依靠科技进步,发展煤层气产业,造福人民”的目标正在逐步实现

煤层气科技攻关和勘探开发成果进一步促进了我国政府对煤层气产业的重视,首次将

开发煤层气资源纳入《中华人民共和国国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》，在第七章第三节（优化能源结构）中明确提出：“能源建设要发挥资源优势，优化能源结构，提高利用效率，加强环境保护。以煤炭为基础能源，提高优质煤比重。推进大型煤矿改造，建设高产高效矿井，开发煤层气资源。加大洁净煤技术研究开发力度，通过示范广泛推广使用。实行油气并举，加快天然气勘探、开发和利用，统筹生产基地、输送管线和用气工程建设，引进国外天然气，提高天然气消费比重。……”。与此同时，我国的《煤炭工业“十五”规划》和《石油工业“十五”规划》均将煤层气产业发展规划列为重要的组成部分，为中国煤层气产业形成与发展提供了良好的契机。

《煤炭工业“十五”规划》提出的煤层气产业发展目标是：“大力发展煤层气产业。实行地面开发和井下抽放并举的煤层气开发方针，重点加快山西沁水煤田、河东煤田、安徽两淮煤田、辽宁铁法、抚顺矿区、贵州六盘水等地区煤层气的勘探评价及开发利用。2005年，大中型煤矿瓦斯利用量达到当年抽放量的80%，建成2~3个煤层气地面开发及利用示范基地，煤层气产量达到 $30 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。积极支持煤层气产业发展，使其成为煤炭工业新的经济增长点。”

《石油工业“十五”规划》分别提出了储量目标和产量目标，其储量目标为“探明煤层气可开发地质储量约 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ”；产量目标为“天然气（含煤层气）产量达到 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上”；在“十五”发展重点中提出：“同时要加快发展煤层气产业，重点是加快沁水盆地、河东煤田、两淮地区、韩城及六盘水地区等含煤盆地的煤层气勘探开发，建成3~5个煤层气开发利用示范基地。”

参 考 文 献

- 1 钱凯，马新华，李景明，魏国齐，等．中国天然气资源．北京：石油工业出版社，1999
- 2 夏新宇，秦胜飞，卫延召，陶士振．煤成气研究促进中国天然气储量迅速增加．石油勘探与开发，2002，29（2）：17~19
- 3 李明朝，张五侨，等．中国主要煤田的浅层煤成气．北京：科学出版社，1990
- 4 张新民，张遂安，等．中国的煤层甲烷．西安：陕西科学技术出版社，1991
- 5 孙茂远，张遂安，等．中国煤层气产业政策研究．北京：煤炭工业出版社，2003

目 录

科技进步推动煤层气产业 (代序)	冯三利、张遂安
------------------------	---------

第一篇 中国煤层气资源条件与开发潜力分析

中国煤层气基础理论研究的关键科学

问题	杨陆武 胡爱梅 李明宅 秦 勇 方爱民 (3)
关于中国煤层气资源分布区划的初步认识	张新民 郑玉柱 武彩英 庄 军 (8)
中国低阶煤煤层气勘探开发前景初探	霍永忠 (15)
浅议我国西北低煤阶含煤盆地煤层气的勘探对策	刘洪林 张建博 王红岩 (21)
华北煤层气可采性评价指标体系探讨	唐书恒 史保生 (26)
沁水盆地高阶煤地质特征与煤层气勘探开发	
潜力	胡爱梅 杨陆武 雷加锦 方爱民 (30)
沁水盆地构造演化与煤层气的生成	李明宅 杨陆武 胡爱梅 徐文军 (36)
寿阳地区影响煤层气勘探开发地质因素分析	徐文军 (40)
山西省煤层气资源及开发前景评价	沈 勇 (44)
山西南河东地区煤层气勘探历史及前景	丁健春 王楚峰 辛文杰 殷八斤 (51)
鄂尔多斯盆地东缘北段煤层气地质分析及潜能预测	杜 明 贾高龙 张国良 (60)
韩城地区煤层气资源评价	马东民 赵星海 葛 毓 (68)
山西石楼地区煤层气地质评价及开发前景研究	刘贻军 辛文杰 (72)
淮南煤田煤层气赋存特点及开发	陈鸿春 (77)
恩洪矿区煤层气开发利用前景分析	邓明国 罗启亮 王巨民 (80)
煤层气储量管理	杨陆武 李明宅 (84)
煤层气高产富集主控因素及预测方法	王红岩 刘洪林 张建博 (90)
配制等温吸附实验用高压混合气的方法	崔永君 马建民 (94)
陷落柱对煤层含气性的影响	王生朗 卢福长 武晓玲 高 枫 彭 君 (99)
山西省沁水县柿庄煤层气项目综述	郭本广 (103)
煤层顶板含水层对煤层气井产能的影响研究	叶建平 武 强 (108)

第二篇 中国煤层气开发利用工艺技术探索

淮南矿区煤层气资源地质特征及煤、气一体化开采技术探讨	饶孟余 (115)
利用地震、地质、测井信息定量预测煤层气储层参数方法研究	胡朝元 (120)
地震勘探在煤层气勘探中的应用	张秉铭 滕吉文 张中杰 (125)
新集煤层气钻井完井技术	宋生印 陈 纬 陈鸿春 (130)
利用多分支水平井开发煤层气技术探讨	黄洪春 申瑞臣 王 玺 (135)

钻井液对煤储层伤害的分析及解决方案	郭丙政	郭本广	(143)
山西、淮北反承包煤层气钻井技术简介		王延恒	(147)
低渗透煤层钻井完井工艺技术研究	潘 军	杨陆武	孟英峰 (153)
煤层气录井技术评价	华学理	程洪生	王恩树 岳淑娟 (157)
中国煤层气井压裂工艺技术发展现状及			
趋势	李玉魁	刘长延	黄圣祥 谢振甫 (162)
煤层气井水力压裂裂缝探讨	李安启	刘舟波	王 欣 王凤江 (166)
山西沁水盆地煤层水力压裂		马方明	刘海滨 (172)
辽河油田煤层气井压裂施工工艺			
技术	王 成	王红霞	戴凤春 钟寿鹤 董得忠 (177)
压裂液对煤层伤害的研究	丛连铸	梁 利	李安启 卢拥军 (182)
煤层气井压裂效果的分析与评价		马方明	刘海滨 (186)
沁水盆地南部煤层气产出特征			
研究	吴建光	范 华	周俊峰 马银起 李国富 (192)
煤层气排采工艺技术的应用		任源峰	刘文旗 盛江庆 (197)
煤层气井排采成本初步分析			李国富 (203)
沁水盆地典型煤层气井的数值模拟		孙晗森	骆祖江 (208)
煤层气产能预测随机动态模型及应用研究		杨永国	秦 勇 (213)
煤层气开发项目经济评价中投入与产出预算及其			
模型		李艳红	张遂安 王炳山 (218)
低浓度煤层气利用解决方案初探		柏芹水	朱恒银 马晓钟 (225)
燃气发动机在煤层气利用方面的推广应用		陈宜亮	杨佳忠 (232)
煤层气综合利用技术评价		徐会军	顾大钊 (238)

第三篇 中国煤层气产业发展面临的机遇与挑战

中国煤层气资源及勘探开发现状	冯三利	张新民	张培河	雷崇利	郑玉柱	(247)
中国煤层气现状及存在问题分析					李安启	(254)
中国煤层气形成产业的基础条件分析				张延庆	李鸿飞	(261)
从美国煤层气产业的崛起谈中国煤层气产业面临的机遇						
与挑战				黄稚达	胡爱梅	(266)
压裂液对煤层的伤害机理研究					张遂安	(273)
山西煤层气产业面临的机遇与挑战		王明寿	朱 峰		宋 儒	(277)
山西省煤层气输气管网规划建议			张 伟		孟宪建	(282)
山东省煤层气概况及开发前景			范士彦		李献水	(287)
对我国煤层气勘探若干问题的思考		王生维	段连秀	陈钟惠	张 明	(291)
矿井煤层气综合性开发的探讨			刘子龙		梁爱堂	(295)

第 一 篇

中国煤层气资源条件与开发
潜 力 分 析

中国煤层气基础理论研究的关键科学问题*

杨陆武¹⁾ 胡爱梅¹⁾ 李明宅¹⁾ 秦勇²⁾ 方爱民³⁾

(1. 中联煤层气有限责任公司, 北京, 100011; 2. 中国矿业大学, 徐州, 221008;
3. 中国科学院地质研究所, 北京, 100000)

摘 要 我国煤层气基础理论研究的滞后已经成为制约中国煤层气产业形成和发展的关键因素。“五史”、“四场”、“三相”、“二性”、“一模型”是中国煤层气基础理论研究的五大关键科学问题, 解决这五大问题必须首先关注四个方面的研究内容, 包括①中国煤层气成藏动力学基础理论研究; ②中国煤层气可采性基础理论研究; ③煤层气产出动态平衡过程与地质控制理论研究; ④煤层气有效资源潜力与煤层气开发系统决策理论研究。“煤层气成藏地质历史重建”、“煤-水-气聚散行为本质的数值模拟”和“煤层气基础理论系统集成”是中国煤层气基础理论研究必须正视并且必须攻克三大难题。

关键词 煤层气 基础理论 科学问题

1 前 言

以美国现有的理论体系作为评判标准, 我国大部分含煤区都不具备开发煤层气的条件; 但我们的勘探与开发试验在山西晋城和河东、陕西韩城、河北大城、辽宁铁法等地取得了非常可喜的产气突破, 表明中国煤层气良好的开发潜力。这一方面说明在“不利背景”中仍可找到有利区块; 另一方面也说明, 中国煤层气成藏有自身特殊的成藏条件和成藏规律, 受这个规律支配的煤层气勘探开发不受现有理论的局限, 必须建立一个适合中国特殊地质条件的理论体系。显然, 由于研究力度不够, 我们的理论认识远远不能满足煤层气勘探开发的实际需要, 中国的煤层气科学研究处在了一个需要深入、呼唤深入的关键时期。

(1) 中国煤盆地变形演化历史复杂, 盆地原形及构造样式多变, 煤的多阶段演化和多热源叠加变质作用明显, 煤层气勘探目标极不明确, 亟待建立反映中国特殊地质条件的煤层气成藏理论体系。

(2) 中国煤储层煤层气流动机制和可采机理是多年来煤层气工作者一直在努力却收效甚微的研究领域, 但其对中国煤层气开发的重要影响作用却并不因为人们认识不足而稍有减轻, 相反却成为制约实现中国煤层气开发技术国产化的重要理论瓶颈, 组织进行煤层气持续可采评判理论的研究势在必行。

(3) 煤层气勘探和生产具有很大的地质风险性和经济风险性, 中国煤层气刚刚起步, 抗风险能力很低, 亟待建立符合中国地质条件的煤层气有效资源潜力评价和开发系统决策

* 本研究项目受国家自然科学基金资助, 批准号 49872055。

体系。

正视并努力解决这些问题是中国煤层气理论研究发展的必然趋势。

2 中国煤层气基础理论研究必须首先关注的研究内容

2.1 中国煤层气成藏动力学基础理论研究

从含煤盆地这个层次上来说,煤层气成藏是一个宏观的地质变动过程,实际上是沉积埋藏史、构造演化史、煤化作用史、地下水活动史和有机质生气史等“五史”的时空配置过程;而从煤层煤体这个层次上来说,煤层气成藏又是一个微观的物理化学转化过程,它体现了煤体生气性和储气性“二性共生”相互依赖的煤化作用实质。构造、沉积、气候、岩浆、地下水、地热、地应力等多种因素共同作用于成煤有机质并相互影响,通过自然的地质选择过程和协同发展过程,形成了不同类型的煤层气藏。中国的地壳运动复杂多样,成煤期后构造活动频繁,煤层变质的多阶段演化和多热源叠加效应明显,地质流体也表现了很强的热敏感性,因此煤层气藏在地应力场、地热场、流体化学场和流体动力场“四场互动”的复杂背景下,表现了明显的多样性,研究煤层气成藏的动力学条件并进行综合动态模拟将揭示在中国特殊地质条件下煤层气藏的类型和成因机理。主要包括以下几个方面的研究:

- (1) 含煤盆地“五史配置”的地质选择过程与煤层气成藏的宏观动力学机制。
- (2) 煤层“二性共生”的协同发展过程与煤层气的微观成藏条件。
- (3) 含煤区“四场互动”的动力学原理与煤层气成藏的综合动态模拟。

2.2 中国煤层气可采性基础理论研究

煤层气可采性是近年来国内外煤层气研究的核心领域。由于美国煤层气地质环境的相对简单,煤层气可采性显然没有得到足够深入的认识。中国煤层气地质条件复杂,煤层气藏具有多种不同的类型和成因条件,深入研究煤层气可采性的基础理论问题将从根本上解释制约煤层气可采性的各种因素并有利于制定相应的开发技术和战略。煤层气可采性的核心实际上是煤层气藏中煤-水-气三个相态物质的结合关系和作用规律及其影响因素,直接地表现为不同地质背景的气藏中气体吸附-解吸-扩散-渗流的过程实现和气(水)饱和的热力学边界条件界定。如何提高煤层气采收率,实际上是如何最大程度地破坏三相耦合、保证解吸-扩散-渗流过程的连续进行。煤储层的不均质性也是制约煤层气可采性的一个重要条件。孔渗不均质性和含气不均质性实际上是多种地质作用过程的结果表现,需要深入认识其地质控制机理。煤层气可采性的煤-水-气聚散行为基础理论研究包括以下四个方面:

- (1) 煤-水-气“三相耦合”的物理化学机制。
- (2) 吸附-解吸-扩散-渗流的地质-物理学数值模型。
- (3) 气(水)饱和的热力学边界条件。
- (4) 煤层气藏非均质性的地质控制机制。

2.3 煤层气产出动态平衡过程与地质控制理论

开采煤层气实际上是一个打破旧平衡建立新平衡的过程,整个动态平衡的中心是压力要素的转变和能量源汇的传导。如何实现两个平衡的有效过渡和联结需要充分考查煤层气藏的客观地质条件,必须保证有效压力系统和能量传递的定向发展。与常规天然气不同,

由于煤层气依靠地层压力和煤体本身的吸附力吸附在有机储层中，这种复杂而特殊的赋存方式使得煤层气藏对任何外界因素的干扰都表现得比常规气藏更为敏感和脆弱。必须防止外来力量对能量体系和能量载体的损伤，其中最突出的表现就是储层损伤。在保证煤层气藏能量体系定向、高效传导的同时，还有一个重要的理论问题影响产出过程的顺利进行，那就是受控于地质条件和产出强度的储层孔渗动态变化。对不同类型的煤层气藏，由于地质控制条件不同，为保证孔渗有序正向变化，必须对产出方式和产出强度提出相应要求。煤层气的产出方式包括地面开发和井下抽放，两种产出过程的动态平衡原理和地质控制机制是指导开发活动的重要理论原则。这方面的研究可以包括如下四个内容：

- (1) 煤层气有效压力系统与能量传导过程的地质与物理化学描述。
- (2) 气体产出时煤储层孔渗动态变化过程的地质与物理化学描述。
- (3) 煤储层损伤机理。
- (4) 煤层气地面开发与地下抽放过程的地质控制理论。

2.4 煤层气有效资源潜力与煤层气开发系统决策理论

中国煤层气资源非常丰富，而煤层气藏又复杂多样，正确评价煤层气有效资源潜力是资源管理和开发战略优选的现实需要。因此，应当建立煤层气有效资源潜力的地质风险和经济风险综合评价体系，同时将煤层气与煤炭、常规气及其他能源资源统筹考虑，使环境、经济、能源协调发展，建立煤层气开发与可持续发展的系统决策理论。为此，需要进行以下两个方面的基础理论研究：

- (1) 煤层气藏有效资源潜力的地质学与技术经济学评价理论。
- (2) 煤层气开发与可持续发展的系统决策理论。

3 需要重点解决的五个关键科学问题

煤层气基础理论研究的关键科学问题是煤层气成藏动力学基础理论和煤层气持续可采的地质与物理化学原理及其控制机制，具体表现为煤层气成藏的“五四三二一”控气因素体系，即“五史”、“四场”、“三相”、“二性”、“一模型”。

3.1 “五史”——解决煤层气成藏的宏观动力学问题

“五史”是指含煤盆地的沉积埋藏史、构造演化史、煤化作用史、地下水活动史和有机质生气史。中国地质作用过程复杂多样，不同地区具有不同的五史配置关系，必须研究这“五史”时空配置关系的地质选择过程和动力学机制及其对煤层气成藏的控制作用。

3.2 “二性”——解决煤层气成藏的微观动力学问题

“二性”是指煤层的生气性和储气性，这两重属性是同步发展、互为依赖的。煤体在生气的同时储气的能力和空间也在发生变化，表现为煤体三维大分子结构演变、孔隙割理系统的发生与发展、煤基质颗粒的吸附能力变化、流体成分与状态变化等，通过研究“二性”协同发展关系认识煤层气成藏的微观动力学机制。

3.3 “四场”——划分煤层气成藏类型并进行综合动态模拟

“四场”是指含煤区的地应力场、地热场、流体化学场和流体动力场。煤层气能否成藏实际上取决于这四场互动的过程和结果，通过研究“四场互动”的动力条件和表现形式，可以划分煤层气成藏类型并进行相应的综合动态模拟。

3.4 “三相”——揭示不同气藏煤层气可采性的基本控制条件

“三相”是指煤层气藏中煤-水-气三相物质,这三相物质耦合形式和影响因素是决定煤层气赋存稳定性和可采性的基本条件。研究将从三相物质的电、磁、力学、物理化学性质对外在地质环境的敏感性分析开始,确定不同气藏三相物质耦合及耦合强度的主导因素,为可采性评价提供理论依据,进一步也为选择开采技术手段提供理论指导。

3.5 “一模型”——建立煤层气持续可采的理论评判一体化模型

煤层气是否可采实际上就是煤-水-气的耦合能否打破、煤层气的吸附-解吸-扩散-渗流过程能否持续进行。不同的煤层气藏解吸-扩散-渗流过程具有不同的时间效应和强度效应,过程所依托的“三相耦合”本质亦可能不同,而且地质环境作用方式不同,因此需要建立一个具有普遍意义的吸附-解吸-扩散-渗流地质物理模型,这个模型能够真实地反映“三相耦合”和气体吸附-解吸-扩散-渗流本质,能够描述有效压力系统与能量传导以及煤储层孔渗动态变化的地质与物理化学过程,以此为依据可以对不同煤层气藏的持续可采性作出正确评价并实施合理的强化措施。

4 中国煤层气基础理论研究的难点分析

4.1 煤层气成藏地质历史重建

煤层气成藏是一个非常复杂的地质选择过程,要重建煤层气成藏地质历史必须深入考查影响煤层气成藏的各项条件,实际上是一个用有限的已知认识去构筑无限的未知空间的过程,难度是相当大的,国际上目前还没有类似的成果报道;特别是地下水活动史、流体化学场、流体动力场的再现,必须在研究方法和技术路线上做深入详细的论证。

4.2 煤-水-气聚、散行为本质的数值模拟

目前国际上主要进行了煤基质颗粒与甲烷气的吸附解吸、扩散和渗流理论研究,而实际上煤层气藏是煤-水-气三相耦合的,其中任何一相的任何变动都会造成其余两相的状态或性质变化,地质条件可以在任何时间、任何状态下对其中的任何一相进行影响和作用,其复杂性是显而易见的,而要将这种复杂的变化过程和机理通过地质物理数值模型表达出来,必须做大量的基础理论和实验研究工作。

4.3 理论系统集成

煤层气成藏基础理论研究是一个非常复杂的系统工程,从各个不同的角度利用各种不同的研究方法得到的认识仅仅反映了煤层气成藏综合动态变化过程和煤层气持续可采机理的一个侧面,没有最后理论系统集成的分散成果只能是“盲人摸象”;但要将各种不同的理论综合在一起形成一个集成系统需要有坚实的理论基础、全面的知识结构、敏锐的洞察能力和系统的升华意识,这个任务既重大又艰巨。

5 结 论

(1) 煤层气成藏的“五四三二一”控气因素体系是中国煤层气基础理论研究的五大关键科学问题,“五四三二一”即“五史”、“四场”、“三相”、“二性”、“一模型”。

(2) 中国煤层气基础理论研究必须首先关注四大研究内容:①中国煤层气成藏动力学基础理论研究;②中国煤层气可采性基础理论研究;③煤层气产出动态平衡过程与地质控制理论;④煤层气有效资源潜力与煤层气开发系统决策理论。

(3) 煤层气成藏地质历史重建、煤-水-气聚散行为本质的数值模拟和煤层气基础理论系统集成是中国煤层气基础理论研究必须正视并且必须克服的三大难题。

参 考 文 献

- 1 叶建平, 秦勇, 林大洋. 中国煤层气资源. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999
- 2 穆青, 杨陆武. 重视煤层气基础研究, 加速煤层气产业发展. 中国能源, 1999, (4)
- 3 赵舒等. 煤层气评价选区的地质学原理及方法. 成都: 四川科学技术出版社, 1998
- 4 Harris, I and Gayer, R. Coalbed Methane and Coal Geology. London: London Geological Society, 1996

关于中国煤层气资源分布区划的初步认识

张新民 郑玉柱 武彩英 庄 军

(煤炭科学研究总院西安分院, 西安, 710054)

摘 要 从对煤层气的保存、含气性和可采性控制作用出发, 按照板块构造观点, 结合煤田地质特征, 将我国煤层气区划为4个煤层气大区、10个含气区、59个含气带。不同的区划单元, 其煤层气资源潜力、煤储层特征以及勘探开发活动各具特色。

关键词 中国 煤层气资源 区划 含气区 含气带

1 前 言

我国煤储层的发育状况、煤层的含气特征、煤层的渗透性等, 在地域上的分布是很不均衡的, 其根本原因是由于我国地质背景、煤盆地沉积、煤聚集规律和煤系后期改造特征等因素综合作用的结果。煤层气分布的不均衡性, 加上区域经济因素, 造成了当前我国煤层气勘探开发工作在地域上的不平衡发展。因此, 研究和总结我国煤层气区域分布的规律性, 合理进行煤层气资源分布区划, 对于从宏观上阐明资源分布特征, 分析煤层气勘探开发态势, 指导煤层气勘探开发等, 都将具有重要意义。

2 煤层气区划基本原则

我国煤田地质界根据昆仑—秦岭、阴山东西向巨型构造带和贺兰—龙门山—哀牢山近南北向巨型构造带纵横交错的关系, 以及区域变形特征等因素, 将全国煤炭资源分布划分为6个聚煤区、85个含煤区。^{*} 需要指出的是, 对聚煤区的划分是依据主要成煤地质时代的聚煤沉积构造条件, 它们大致相当于原始聚煤盆地或聚煤盆地群, 其主要聚煤构造条件定格于早中生代以前。而对于煤层气来说, 聚煤沉积的构造条件固然重要, 但后期构造改造对煤层气的保存、含气量和可采性的控制十分明显, 特别是现代地质结构和地壳应力特征对煤层气的可采性的影响更为突出和重要。因此, 煤层气资源区划应不同于煤炭资源区划。

石油地质工作者对全国油气区划分的工作也十分重视。张恺从板块构造区划的角度出发, 提出将我国划分为以大陆裂解、扩张活动为主的中国东部含油气区和以碰撞、挤压活动为主的中国西部含油气区的中国含油气区构造区划方案^[1]。吴奇之等根据中国中、新生代含油气盆地形成的地球动力学背景和基底结构, 划分为东、中、西部3类盆地, 进而根据地质背景、盆地类型及构造变形等因素, 将我国含油气盆地划分为八大油气区^[2]。戴金

^{*} 据煤炭工业部第二次全国煤田预测, 1981; 中国煤田地质总局第三次全国煤田预测, 1997。