



煤层气成藏机制及经济开采基础研究丛书 · 卷六

宋岩 张新民 主编

中国煤层气 成藏地质

○ 宋岩 刘洪林 柳少波 赵孟军 苏现波 等著



科学出版社
www.sciencep.com

煤层气成藏机制及经济开采基础研究丛书·卷六

宋 岩 张新民 主编

中国煤层气成藏地质

宋 岩 刘洪林 柳少波 赵孟军 苏现波 等著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

煤层气是一种以吸附态为主储集在煤层中的非常规天然气,在成藏机理和富集规律方面与常规天然气有很大的区别。本书主要包括:煤层气成藏演化过程与成藏机制;高低煤阶煤层气成藏机理对比;煤层气富集主控因素及富集规律;煤层气富集区评价和预测。本书针对目前国内外煤层气成藏研究存在的关键问题,从煤层气藏的涵义、边界类型入手,再到富集区预测和评价,对煤层气藏的特征和成藏特点做了详尽的阐述,全书系统性强,内容丰富,是一本实用的煤层气地质理论著作。

本书适合煤层气研究人员和相关专业人员阅读,也可作为高等院校相关专业的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

中国煤层气成藏地质/宋岩等著. —北京:科学出版社,2010
(煤层气成藏机制及经济开采基础研究丛书;6/宋岩 张新民主编)
ISBN 978-7-03-025654-6

I. 中… II. 宋… III. 煤层-地下气化煤气-形成-研究
IV. P618.110.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 172308 号

责任编辑:胡晓春/责任校对:陈玉凤
责任印制:钱玉芬/封面设计:高海英

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 1 月第 一 版 开本:787×1092
2010 年 1 月第一次印刷 印张:12 1/4
印数:1—1 500 字数:290 000

定价:55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

序 一

国家 973 计划煤层气项目,将出版《煤层气成藏机制及经济开采基础研究丛书》(共 11 卷),内容包括煤层气基础研究现状、煤层气的生成与储集、煤层气成藏机制及富集规律、中国煤层气资源潜力、煤层气地震勘探技术、煤层气经济高效开采方法等诸多方面的基础理论及应用基础问题,涵盖面相当广泛,是一项很有意义的系统科学工程。项目首席科学家让我为该套丛书作序,欣然应命,特写以下文字,以示支持和祝贺。

煤层气是一种重要的非常规天然气资源。美国在 20 世纪 80 年代实现了对煤层气的商业性开发利用,建立起具有相当规模的煤层气产业。中国是个煤炭资源大国,煤层气资源也相当丰富。据最新预测结果,全国煤田埋深 2000m 以浅范围内,拥有的煤层气资源量为 $31 \times 10^{12} \text{m}^3$ (褐煤未包括在内),与我国陆上常规天然气资源量大致相当;若将褐煤中的煤层气也计算在内,数量则更加可观。从我国化石能源资源的禀赋条件和经济社会发展需求来看,煤层气是继煤炭、石油、天然气之后我国在新世纪最现实的接替能源;同时开发利用煤层气在解除煤矿瓦斯灾害隐患、保护大气环境方面也具有十分重要的作用。

我国从 20 世纪 80 年代开始进行现代煤层气技术研究及开发试验工作,截至 2004 年上半年,在全国境内已施工各类煤层气井近 250 口,建成柳林、潘庄、大城、淮南等 10 余个煤层气开发试验井组,其中阜新刘家、晋城潘庄、沁水柿庄等 3 个井组已进行商业性煤层气生产;在煤储层特征研究、煤层气资源评价等基础研究以及无烟煤煤层气开发等方面也取得了可喜的进展。但总体上说,我国煤层气产业化进程缓慢,不能满足国民经济和社会发展的需要。

煤层气不同于常规天然气。它在地球化学特征、储集性能、成藏机制、流动机理、气井产量动态等方面与常规天然气有明显差别,必须要用不同于常规油气的理论和方法来指导煤层气的勘探与开发。同时,由于中国大陆是由几大板块经多次碰撞、拼合而成,至今仍受欧亚、印度、太平洋三大板块运动的共同作用影响;中国的聚煤期多、延续时间长,煤田遭受的后期改造次数多、作用强烈,因而铸就了中国煤层气地质条件的复杂性和多样性。因此,在北美单一大陆板块环境下产生的美国煤层气理论不完全适应中国的情况。

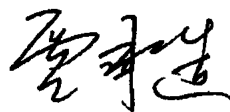
建立符合中国地质特征的煤层气基础理论,为形成中国煤层气产业提供科学技术支撑,是中国科技工作者面临的紧迫任务。经过各方面的共同努力,

在国家科学技术部的支持下,国家 973 计划“中国煤层气成藏机制及经济开采基础研究”项目,汇集我国石油、煤炭、中国科学院和高等院校等行业和部门的专家学者及精英们协同攻关,体现了多学科交叉、产学研相结合的科学研究新理念,改变了过去部门条块分割、单一学科推进的被动局面。

项目紧紧围绕国家目标和关键科学问题,组织各方面力量,就制约我国煤层气产业化的主要科学问题,如煤层气的成因、储集性能、成藏动力学、气藏成因类型、资源富集规律及潜力、煤储层特征的地球物理响应、气体流动与产出机理等,高起点地开展了广泛、深入的基础研究,这些成果对我国煤层气产业的形成和发展具有理论指导和技术导向作用,集中代表了当前我国煤层气基础研究的整体水平。

将研究成果及时整理出版,可展示我国煤层气基础研究的实力,是加强学术交流、传播煤层气知识、加快科学研究成果向现实生产力转化的重要环节。新的科学理论和技术方法,必将加快我国煤层气产业化进程,并对世界煤层气的发展做出贡献。让我们大家共同努力,早日实现我国煤层气的跨越式发展,以满足经济社会发展对洁净能源不断增长的需求。

中国科学院院士



2004 年 8 月于北京

序 二

煤层气,俗称瓦斯,是以吸附态赋存于煤层中的一种自生自储式非常规天然气。开发和利用煤层气是一举两得的事,不仅可作常规油气的补充资源,更重要的是能够大大改善煤矿安全生产条件,减少以至杜绝煤矿事故发生。

煤层气作为一种资源量巨大的非常规天然气资源,已经从研究逐渐走向开发利用。美国是最早进行煤层气开发利用的国家,煤层气工业起步于20世纪70年代,到80年代实现了大规模的商业开发,煤层气的产量增长速度快,从1980年的年产不足 $1 \times 10^8 \text{m}^3$ 到1990年年产 $100 \times 10^8 \text{m}^3$,90年代初期稳产在 $200 \times 10^8 \text{m}^3$,2002年年产 $450 \times 10^8 \text{m}^3$,约占美国天然气当年产量的7.9%,可见美国煤层气的开发是相当成功的,比较成功的盆地为科罗拉多州和新墨西哥州的圣胡安盆地和亚拉巴马州的黑勇士盆地。一般认为煤层气井低产,但也有相当高产的,例如1996年,我考察圣胡安盆地ARCO公司辖区,有110口煤层气井,日产气 $660 \times 10^4 \text{m}^3$ 多。因此研究煤层气低产中的高产规律有重要的理论与实践意义。澳大利亚借鉴美国的成功经验,也开展煤层气的勘探和试验,取得一定的成效。此外,捷克、波兰、比利时、英国、俄罗斯、加拿大等国也都开展煤层气的勘探开发试验。目前,世界上对煤层气研究日益加深,开发地域日益扩大,煤层气在能源中的地位日益提高。

我国是煤炭资源大国,拥有相当丰富的煤层气资源(据“七五”估算,埋深2000m以浅的资源量为 $31 \times 10^{12} \text{m}^3$)。我国煤层气的勘探开发明显落后于美国,从80年代开始,积极引进美国的煤层气开采技术,进行勘探开发试验,但总的来说成效不大,主要原因是我国煤层气地质条件复杂,对煤层气藏形成机理还不太清楚,煤层气的勘探和开采与常规天然气又有很大差别,缺少较为完善和成熟的理论指导。因此,在我国进行煤层气的勘探与开发基础理论研究将是推动该产业更快向前发展的前提,回顾20年前“煤成气的开发研究”国家重点科技攻关项目的进行,促进了我国目前天然气工业的大好局面就是一个实证。我曾和其他科学家一同向国家科技部呼吁过立项进行煤层气的研究,今天这一愿望终于实现,“中国煤层气成藏机制及经济开采基础研究”正式立项实施了,这是一件可喜可贺的大事,通过该项目的研究,将会解决我国煤层气勘探与开发存在的若干重大问题,深化煤层气成藏和开采机理的认识,催生煤层气勘探大好局面早日到来。

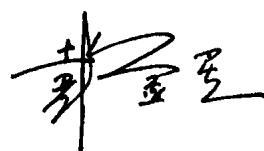
本人有幸加入该项目的跟踪专家行列,从立项到研究启动,一直在关注着

其进展和研究成果。迄今,项目前期的成果显著,不乏新发现、新认识和新观点以及创新。宋岩、张新民两位首席科学家计划在项目研究期内出版 11 卷《煤层气成藏机制及经济开采基础研究丛书》(以下简称《丛书》),《丛书》包含煤层气勘探和开发各个方面成果,主要包括前期调研论文集《煤层气成藏机制及经济开采理论基础》,和集成各个课题的和项目的研究成果。《丛书》从煤层气形成的动力学过程及资源贡献、煤储层物性非均质性及控制机理、煤层的吸附特征与储气机理、煤层气藏动力学条件研究、煤层气成藏条件和模式、我国煤层气可采资源潜力评价、煤层气藏高分辨率探测的地球物理响应、煤层气开采基础理论研究、煤层气开发技术等方面,系统全面地研究煤层气的勘探开发理论,技术、方法等诸多基础性、关键性问题,这是前人未及的一个重要举措。《丛书》总的主线是形成一套系统的、具有中国特色的煤层气勘探与开发理论,这也是我国目前所缺乏的。首席科学家所作出的努力和宗旨意在把我国煤层气研究优秀的成果充分展现给地学和煤层气领域学者,达到互相学习交流的目的。《丛书》是该领域中的知识积累、规律总结和创新结晶。这套丛书的出版将对从事煤层气工作的学者、相关专业人员和大中专院校学生大有裨益,同时,势必对煤层气产业产生重要影响和促进。

《丛书》的主编和作者主要是中青年科研骨干,项目给了他们用武之地,他们年富力强,知识广博,勤于实践,善于探索,勇于攀登,敢于创新,是一支强有力的生力军,故由他们编著的《丛书》基础扎实,知识丰富。

在此预祝《煤层气成藏机制及经济开采基础研究丛书》顺利陆续出版,并能成为煤层气理论和实践双全的文献。

中国科学院院士



2004 年 8 月 1 日

前 言

煤层气是一种以吸附态为主储集在煤层中的非常规天然气。煤层气的赋存状态和成藏过程不同于常规天然气,在赋存状态方面,常规天然气是以游离状态储集在储层的孔隙之中,流体状态一般以气相为主,存在少量束缚水,水主要以边水和底水的形式存在于气藏的底部或边部,具有统一的气-水界面;煤层气则主要以吸附状态赋存于煤层中孔隙内的表面,流体状态一般是煤储层大的孔隙空间主体被水占据,水中有一定的溶解气,部分孔隙中存在游离气,即以吸附气、游离气和水溶气三种形式存在,并以吸附气为主。在成藏方面,常规天然气藏具有明显的边界,气藏的范围及边界是由圈闭条件决定的,而煤层气藏边界不明显,难以确定,煤层气相对富集则形成煤层气藏;常规天然气由源岩生成后,经过一定距离的一次运移和二次运移在储层中聚集成藏,天然气运移方向受流体动力场控制,气源的强充注是成藏的关键,而煤层气由煤源岩生成之后直接被煤储层吸附而聚集,这种聚集不受流体动力场控制而受温压场影响,气藏的保存条件是成藏的关键。因此,煤层气成藏贯穿了煤层气从生成、储集、运移到保存和改造的整个过程,成藏过程十分复杂,成藏研究的基础较差,有待解决的科学问题很多。国家 973 计划课题“煤层气成藏条件及富集规律研究”(编号:2002CB211705)针对目前国内外煤层气成藏的三个方面的热点问题进行了研究:①煤层气藏成藏演化与成藏机制;②煤层气藏成藏主控因素和富集规律;③煤层气富集区预测和评价。本书内容主要来自该课题五年多的研究成果,核心内容包括以下几方面:

1. 科学界定了煤层气藏的涵义并揭示了五类地质边界的作用机理

根据煤层气藏的具体特征,结合前人的定义,把煤层气藏定义为“受相似地质因素控制、含有一定资源规模以吸附状态为主的煤层气、具有相对独立流体系统的煤岩体”。

通过对国内外典型煤层气藏的系统解剖,将煤层气藏地质边界系统归纳为五类,并对其封闭机理进行了系统探讨:①水动力边界,是一个间接反映含气量的边界,也是一个随地下水位变化的动态边界,可细分为地下水分水岭和水动力封堵两种类型;②风氧化带边界,是一个煤层气沿露头散失和空气混入使得煤层气组分发生变化的边界;③断层边界,可区分为封闭性断层和开放性断层,封闭性断层的封闭机制分为泥岩涂抹作用、断层两侧岩性配置、强烈的颗粒碎裂作用和成岩胶结作用四种类型,开放性断层的封闭性取决于断层的水动力条件;④物性边界,作用机制为煤体在构造应力作用下破坏为糜棱煤、物性变差、排驱压力显著增大,对煤层气的扩散运移起到阻止作用;⑤岩性边界,是指位于煤层尖灭带的边界,位于煤层尖灭带的岩性渗透率低,有利于煤层气的保存。

2. 揭示了高低煤阶在气源条件、物性条件、赋存特征、水动力条件和成藏过程上的差异性,为在不同地质背景的含煤盆地煤层气富集区的预测提供了科学依据

气源条件:高煤阶煤层气以热成因气为主, $\delta^{13}\text{C}_1$ 值介于 -34.80‰ ~ -28.70‰ ;低煤阶煤层气以生物成因气为主,含有混合成因气, $\delta^{13}\text{C}_1$ 值介于 -62.00‰ ~ -55.60‰ 。

物性条件:高煤阶煤为割理裂隙型储层,抬升或严重剥蚀,使上覆静岩压力和地应力减小,造成割理裂缝开启,渗透率增强;低煤阶煤为基质孔隙型储层,抬升或严重剥蚀出露地表意味着储层压力降低,运聚压差增大,渗透率降低。

煤层气赋存特征:低煤阶煤层气赋存以吸附气和游离气为主,溶解气很少;高煤阶煤层气赋存以吸附气为主,游离气较少,几乎不含溶解气。

水动力条件:水动力条件影响到煤层气的保存,同时合适的地层水矿化度则是低煤阶煤层气生成的重要条件。

成藏过程:高煤阶煤层气成藏过程复杂,对我国多数高煤阶煤层气藏而言,都存在构造异常热事件的影响,并发生二次生烃作用,高煤阶煤层气藏的形成经过了多阶段演化,在达到最高演化程度后就不再生烃,进入气藏的调整改造阶段;低煤阶煤层气成藏过程简单,煤层形成后一般只经历了一次沉降,现今的构造格局和地下水的补给、运移、排泄和滞流是煤层气藏调整改造的主控因素。

3. 提出了煤层气向斜富集规律以及富集机制,对于认识煤层气分布规律、提高资源探明率、指导煤层气的勘探具有指导作用

沁水盆地南部和北缘都呈向斜构造形态,向斜中心部位含气量明显高于两翼。通过对沁水盆地的构造特征、水动力以及封闭条件剖析以及煤层含气量测试,提出煤层气向斜富集规律。

向斜构造富气是构造演化、水动力条件以及封闭条件等三大控藏地质因素的综合地质反映。其主要作用机制为:向斜上覆地层厚度一般较大,压力较高,有利于吸附,能有效阻止煤层气垂向散失;向斜一般具有地层水的向心流动机制,在向斜核部维持较高的地层压力系统,容易形成滞流水承压封闭;向斜核部一般断裂、裂隙不发育,煤层气难逸散,具有良好的封闭条件。

4. 建立了煤层气勘探开发目标区多层次综合递进评价方法,优选出九个煤层气勘探开发有利目标区

运用层次分析的思路建立了适合中国煤层气地质特点的多层次综合递进评价方法。采用该方法对沁水、鄂尔多斯、准噶尔盆地进行了评价,优选出九个可供近期勘探和开发的煤层气有利目标区,即沁水盆地的晋城、阳城、安泽、阳泉,鄂尔多斯盆地的大宁-吉县、韩城、吴堡,准噶尔盆地的淮南、阜康。

本书前言由宋岩、柳少波、洪峰编写;第一章由宋岩、柳少波、苏现波编写;第二章主要由苏现波、宋岩、赵孟军编写;第三章由刘洪林、王勃编写;第四章主要由宋岩、柳少波、赵孟军、秦胜飞、刘洪林、洪峰、王红岩编写;第五章主要由刘洪林、李贵中、邓泽编写,本书最终由宋岩、柳少波、洪峰统稿。

目 录

序一	贾承造 (i)
序二	戴金星 (iii)
前言	(v)
第一章 煤层气藏的涵义、边界及类型	(1)
第一节 煤层气藏的涵义及与常规气藏的差异	(1)
一、煤层气藏的涵义	(1)
二、煤层气藏与常规天然气藏的差异性对比	(1)
第二节 煤层气藏的边界及类型	(2)
一、煤层气藏边界	(2)
二、煤层气藏类型	(15)
第二章 煤层气成藏机制	(21)
第一节 煤层气成藏研究的理论基础	(21)
一、吸附势理论	(21)
二、煤层气溶解分馏机理及应用	(32)
第二节 典型煤层气藏解剖	(36)
一、沁水盆地南部煤层气成藏过程与成藏机制	(36)
二、鄂尔多斯盆地东缘柳林地区煤层气成藏过程与成藏机制	(51)
三、阜新盆地王营-刘家低煤阶煤层气成藏过程与成藏机制	(57)
第三节 煤层气的成藏过程	(68)
一、煤层气的生成和吸附阶段	(69)
二、煤层的吸附能力增加阶段	(69)
三、煤层气的保存阶段	(70)
第四节 煤层气成藏模式	(73)
一、中高煤阶富集成藏模式	(73)
二、低煤阶有利煤层气成藏模式	(76)
第三章 高低煤阶煤层气成藏机理对比及成藏有利条件分析	(78)
第一节 高低煤阶煤层气藏形成的气源条件对比	(78)
一、高煤阶煤层气成因	(78)
二、低煤阶煤层气成因	(80)
三、煤变质作用类型引起的煤层气成因差异	(83)
第二节 高低煤阶煤层气藏形成的储集条件对比	(84)
一、孔隙结构特征对比	(84)
二、渗透性特征对比	(84)
三、吸附性特征对比	(90)

第三节	高、低煤阶煤层气藏形成的赋存状态对比	(92)
一、	吸附煤层气	(92)
二、	游离煤层气	(94)
三、	溶解煤层气	(94)
四、	储集气量	(96)
五、	煤层气三态平衡	(97)
第四节	高、低煤阶煤层气藏水文地质条件对比	(98)
一、	水动力物理模拟实验研究	(98)
二、	高、低煤阶煤层气地下水地球化学特征	(103)
第五节	高、低煤阶煤层气成藏过程对比	(108)
第四章	煤层气富集主控因素及富集规律	(110)
第一节	构造演化对煤层气成藏的控制作用	(110)
一、	构造演化对煤层气成藏的控制机理和控制模式	(110)
二、	构造演化对煤层气成藏控制实例分析与应用	(115)
第二节	水动力对煤层气成藏的控制作用	(125)
一、	滞流区富气机制与应用	(125)
二、	径流区水对煤层气的破坏机制与应用	(130)
第三节	封闭条件对煤层气富集的控制作用	(134)
一、	顶、底板及上覆有效厚度的封闭性	(135)
二、	煤层气藏封闭条件实例分析	(137)
第四节	煤层气向斜富集规律	(141)
一、	煤层气向斜富集的实例	(141)
二、	煤层气向斜富集的机理	(144)
三、	煤层气向斜富集规律的地质意义	(146)
第五章	煤层气富集区评价和预测	(149)
第一节	煤层气富集区评价指标体系	(149)
一、	煤层气富集区关键因素分析	(149)
二、	煤层气富集区评价指标体系的建立	(158)
第二节	煤层气富集区优选评价方法体系	(161)
一、	煤层气富集区优选评价思路	(161)
二、	煤层气富集区优选评价方法体系的建立	(167)
第三节	煤层气富集区优选评价系统的应用	(174)
一、	典型含煤层气盆地地质概况	(175)
二、	典型实例——以鄂尔多斯盆地为例	(179)
三、	典型盆地煤层气富集区优选结果	(181)
参考文献		(182)

第一章 煤层气藏的涵义、边界及类型

煤层气藏是一种非常规天然气藏,具有与常规天然气藏不同的特征,特别是成藏条件和成藏过程有着自身独特的一面,直接将天然气藏的概念应用于煤层气藏显然不妥。本章主要讨论煤层气藏的涵义及分类,并总结分析煤层气藏的边界类型。

第一节 煤层气藏的涵义及与常规气藏的差异

鉴于煤层气藏的非常规性,许多学者在煤层气地质研究中也对煤层气藏赋予了一定的定义。李明潮等(1996)认为煤层气藏是煤中甲烷在具备适当外界条件时相对集中在一定的围限内,围限内的气体富集程度、压力一般都高于围限之外,也就是说一个煤层气田也可形成一个或多个煤层气藏。钱凯等(1997)指出,煤层甲烷气藏是指在压力(主要是水压)作用下“圈闭”着一定数量气体的煤岩体。同时对广义的煤层甲烷气藏概念加以限制,提出了有效煤层甲烷气藏或经济煤层甲烷气藏的概念,即具有商业开采价值的煤层气藏。张新民等(2002)则将煤层气藏定义为:煤层气藏是指在地层压力(水压和气压)作用下保有一定数量气体的同一含煤层的煤岩体,并且有独立的构造形态。尽管一些学者用各种术语来描述煤层气藏,但普遍认为煤层气藏不仅难以给出确切的定义,而且在地质空间也难以界定。

一、煤层气藏的涵义

根据煤层气的特点及与常规天然气藏的差异性,将煤层气藏定义为:受相似地质因素控制、含有一定资源规模以吸附状态为主的煤层气、具有相对独立流体系统的煤岩体称为煤层气藏。

煤层气藏具备如下三个条件:煤层气藏是煤层气聚集的基本单元,具有明显的边界与周围地质体分隔;独立的流体系统是指经历了相同的演化过程和相似的地质作用下的基本流体单元;煤岩体是受顶、底板控制连续分布的煤层。在现有的开发技术条件下能够实现商业性开发的煤层气藏称为工业性煤层气藏;反之,称为非工业性煤层气藏。工业性与非工业性是相对概念,取决于国家对资源丰度的要求、经济政策和工艺技术进步等外部条件。

二、煤层气藏与常规天然气藏的差异性对比

煤层气是一种非常规天然气。所谓非常规,是因为煤层气在地下的赋存形式和状态不同于常规天然气,主要表现在:

1. 储集机理不同

常规天然气是以游离状态储集在储层的孔隙空间之中,在气源充足的情况下,其聚集量主要与孔隙空间的大小有关,煤层气则以吸附状态赋存在孔隙内的表面之上(Ruppel *et al.*, 1972; Yang and Saunders, 1985; 刘洪林等,2000),其聚集量与煤层的吸附性密切相关(关德师等,1996;钱凯等,1997;苏现波等,2001)。

2. 成藏过程不同

常规天然气由源岩生成后,经过一定距离的一次运移和二次运移在储层中聚集成藏(李明诚,1987),运移方向受流体动力场控制,即天然气主要是在浮力和流体压力的驱使下进行运移(郝石生等,1994;宋岩等,2002);煤层气由煤源岩生成之后直接被煤储层吸附而聚集,这种聚集不受流体动力场的控制而受温压场的影响(Jolly *et al.*, 1968; Ruppel *et al.*, 1972)。相同煤质和煤阶的煤,随压力增大含气量增大,随温度升高含气量降低。

3. 气藏边界不同

常规天然气藏有明显的气藏边界,气藏的范围及边界是由圈闭条件决定的,并且气藏内外天然气含气是具有“有”和“无”质的变化;而煤层气藏与常规天然气藏最大的区别之一就是气藏边界不是很确定,只要有煤层就有煤层气的存在,在某些地质条件下,煤层气相对富集则形成煤层气藏,因此煤层气藏内外有时是含气丰度的差别,而不是有气和无气的差别。煤层气藏的边界类型将在下节讨论,可以看出,水动力边界是煤层气藏与常规天然气藏不同的重要边界类型之一。

4. 流体状态不同

常规天然气藏和煤层气藏都有气、水两相存在,但二者所处的状态不同:常规天然气藏主体一般是以气相为主,即储层孔隙空间被游离的气相所占据,存在少量束缚水,水主要以边水和底水的形式存在于气藏的底部或边部,具有统一的气-水界面;而煤储层大的孔隙空间主体是被水所占据,水中含有一定量的溶解气,部分孔隙中存在游离气相,气藏中的大部分气体以吸附相存在,占80%以上(苏现波、刘保民,1999),即煤层气藏中有吸附气、游离气和溶解气三种存在形式。

第二节 煤层气藏的边界及类型

煤层气藏的边界研究仍是一个涉足者甚少的领域。但边界是煤层气藏划分的前提,是煤层气勘探开发工艺选择的依据,对其进行研究具有重要的理论意义和实际意义。

一、煤层气藏边界

依据上述煤层气藏的定义,将煤层气藏的边界区分为六类:经济边界、水动力边界、风

氧化带边界、物性边界、断层边界及岩性边界。不同地区的煤层气藏具有不同的主导边界。

(一) 经济边界

经济边界仅适用于工业性煤层气藏,以该煤层气藏具备商业开发价值的最低含气量表达,取决于煤层气的含量、资源丰度、储层物性、地下水动力条件、开发技术条件、经济政策等。不同煤层气藏的经济边界不同,而且差别显著。一是浅部的经济边界,主要以具备商业开发价值的最低含气量表达。如沁水盆地南部煤层气含量普遍较高、煤层厚度不大、储层的渗透性较差,因此其煤层气藏的经济边界以含气量 $8\text{m}^3/\text{t}$ 为界;阜新刘家、王营地区煤层因含气量普遍较低,但煤层层数多、厚度大、资源丰度高,煤层气藏则以 $5\text{m}^3/\text{t}$ 为界;美国的粉河盆地的经济边界以含气量 $1\text{m}^3/\text{t}$ 为界,甚至更低,主要是因为煤层层数多、厚度大、资源丰度高、储层渗透性好。二是深部的经济边界,主要取决于开发的技术条件。在目前开发的技术条件下,煤层气的开发很少超过 1000m ,即是随着资源需求的增加、技术的进步,超过 1500m 深度的煤层气开发也将困难重重,所以取 1500m 埋深为煤层气藏的深部经济边界。

(二) 水动力边界

水动力边界可分为地下水分水岭边界和水动力封堵边界两类。

地下水分水岭边界的存在使其两侧的煤层气藏处于不同的流体单元。这类边界在国内外都存在。美国犹他州的中东部煤层气藏,地下水位等值线显示在 Price 和 Gastle Dale 之间,以及 Ferron 和 Emery 之间都存在一地下水分水岭(图 1.1)。我国的沁水盆地南部煤层气藏的北部边界为地下水分水岭,该分水岭呈东西向展布,东部至露头,西部至寺头断层。在太原组地下水水位等值线图上有清晰反映(图 1.2)。其形成受构造控制,位于东西向展布的褶皱高部位。

水动力封堵边界是最常见的煤层气藏边界,几乎所有的煤层气藏都存在。水动力封堵的机理为:要使储层内保存一定量的煤层气,就必须具备一定的储层压力,即地下水静水位面(对应于储层压力)具有一定的高程。这一高程可通过经济边界对应的含气量和 Langmuir 方程计算的储层压力换算。沁水盆地南部煤层气藏的东部和南部为水动力封堵边界,对于 15 号煤而言,最大吸附容量为 $39.91\sim 46.84\text{m}^3/\text{t}$,平均为 $43.37\text{m}^3/\text{t}$; Langmuir 压力为 $3.034\sim 3.184\text{MPa}$,平均为 3.109MPa 。如果取最大吸附量 $46.84\text{m}^3/\text{t}$, Langmuir 压力 3.184MPa ,以 $8\text{m}^3/\text{t}$ 为经济边界,则对应的极限储层压力在 1.3MPa 左右,即地下水的水位高差最低应为 130m 左右。

(三) 风氧化带边界

由于煤层气沿露头散失和空气混入使得煤层气中甲烷含量降低,二氧化碳、氮气等增加。水动力条件变化引起风氧化带的形成机理如图 1.3 所示。假设初始状态,地下水位

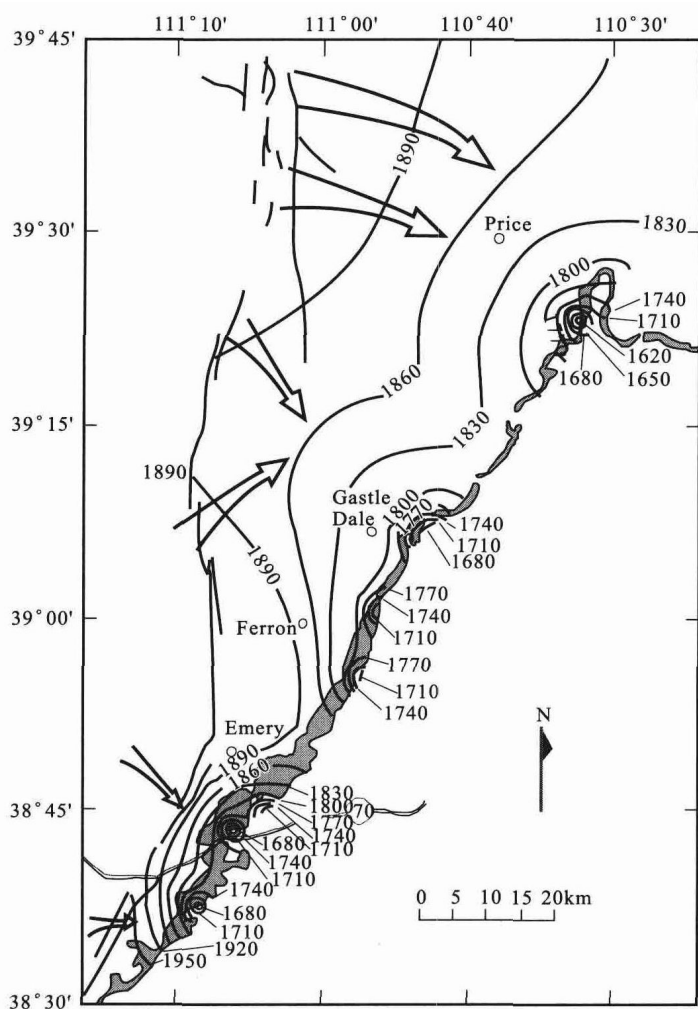


图 1.1 犹他州中东部 Ferron 砂岩段煤层地下水位等值线(m)(Anna, 2003)

位于 C 点,此时,B 点为水动力封堵边界点,煤层的极限含气量为

$$V_B = \frac{P_B V_{LB}}{P_{LB} + P_B}, \quad P_B = \overline{BC} \rho_w g \quad (1.1)$$

式中, V_B 为煤层的极限含气量; P_B 为极限储层压力; V_{LB} 为 Langmuir 体积; P_{LB} 为 Langmuir 压力; $\overline{BC}$ 为 BC 段高度; ρ_w 为水的密度; g 为重力加速度。

随着地下水水位的下降,水动力封堵边界降低,浅部的煤层(BC 段)中的煤层气大部分逸散,煤层孔隙被空气所占据。此时,煤层的极限含气量为

$$V_A = \frac{P_A V_{LA}}{P_{LA} + P_A}, \quad P_A = \overline{AB} \rho_w g \quad (1.2)$$

地下水水位上升,此时,水动力边界不变,浅部煤层不仅赋存了残留的煤层气和来自空气中的氮气和二氧化碳,而且赋存了地下水从异地运移而来的煤层气和本地生成的次生物气。地下水也携带溶解的或游离态的氮气和二氧化碳向深部运移,并被煤层吸附,

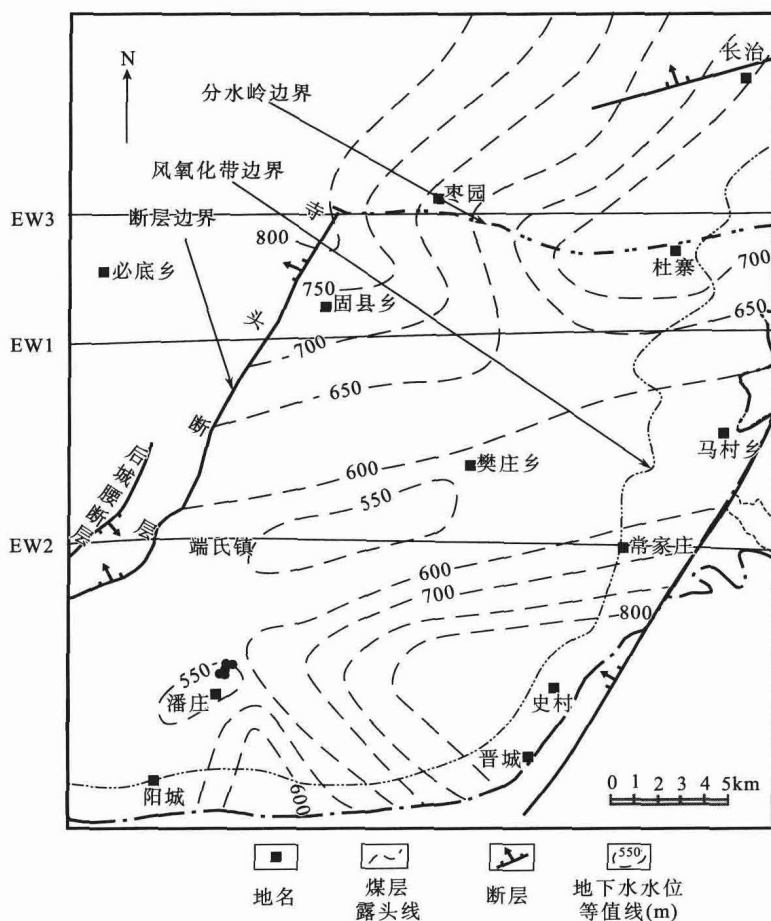


图 1.2 沁水盆地南部太原组地下水水位等值线

造成风氧化带深度的增加。煤层的极限含气量为

$$V_A = \frac{P_A V_{LA}}{P_{LA} + P_A}, \quad P_A = \overline{AC} \rho_w g \quad (1.3)$$

在地下水不断下降、上升的过程中,风氧化带的深度也不断的变化。

一般取甲烷浓度 80% 为风氧化带的底界,通过用不同埋深或不同煤层上覆有效厚度的钻孔、煤层气井或煤矿抽放出的煤层气进行气体组分分析,然后将分析结果统计作图,得出风氧化带的深度。如沁水盆地南部煤层气藏甲烷组分含量随煤层埋藏深度的加大而增加,甲烷组分含量大于 80% 对应的煤层埋深为 180m,即可确定风氧化带的深度为 180m 左右(图 1.4)。

水动力封堵、风氧化带与经济边界的共同作用分三种情况: ①水动力封堵的底界在风氧化带之下,煤层气藏的边界以水动力封堵为界; ②水动力封堵的底界在风氧化带之上,这时煤层气藏的边界以风氧化带底界为界,沁水盆地南部煤层气藏一般属于这种情况,应以风氧化带底界作为煤层气藏的边界,即埋深 180m; ③当经济边界在风氧化带之下时,煤层气藏的边界以经济边界为准,沁水盆地南部个别地区存在此类情形。

