



石油高等教育“十二五”规划教材

煤层气开发与开采

• 张 洪 张遂安 主编 •



中国石化大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS



石油高等教育“十二五”规划教材

煤层气开发与开采

◎ 主编 张 洪 张遂安

图书在版编目(CIP)数据

煤层气开发与开采/张洪,张遂安主编. —东营:
中国石油大学出版社,2014.12

ISBN 978-7-5636-4288-5

I. ①煤… II. ①张… ②张… III. ①煤层—地下气
化煤气—资源开发②煤层—地下气化煤气—油气开采
IV. ①P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 098869 号

石油高等教育教材出版基金资助出版

书 名:煤层气开发与开采

作 者:张 洪 张遂安

责任编辑:穆丽娜(电话 0532—86981531)

封面设计:青岛友一广告传媒有限公司

出 版 者:中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址:<http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱:shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者:沂南县汶凤印刷有限公司

发 行 者:中国石油大学出版社(电话 0532—86981532,86983437)

开 本:185 mm×260 mm 印张:10 字数:243 千字

版 次:2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:25.00 元

内 容 提 要

本书以非常规天然气——煤层气——作为研究对象,重点阐述了煤层气开发和开采的相关理论及关键技术。本书主要内容包括煤层气储层特征、煤层气钻井技术及工程设计、煤层气钻井工程管理与质量控制、煤层气测井及试井技术、煤层气增产技术、煤层气排采理论及工艺、煤层气数值模拟理论及技术、煤层气产能评价。

本书是作为石油工程专业本科生教材而编写的,也可作为石油高校煤层气开发与开采的参考教材,同时还可作为煤层气开发与开采相关企业及研究单位的参考资料。

前言

Preface

...

本教材根据中国石油大学(北京)石油工程院所开设的专业基础课“煤层气开发与开采”的讲义改编而成。该讲义使用近10年,经过了多位教师不同程度的补充与修改。

本教材为专业基础课教材,在系统阐述煤层气储层、煤层基本特点的基础上,介绍非常规天然气煤层气开发与开采的一些重要技术,力图使学生们掌握煤层气开发与开采的基本技能,为他们从常规天然气开发转到非常规天然气开发做好准备。

本教材的特点包括:

(1) 既有关于煤层气储层、数值模拟等基础理论知识的系统阐述,又有关于大量实用型技术内涵及应用的论述。

(2) 既有数个煤层气项目的重要科研成果,也有笔者科学研究心得。

本教材由张洪负责总体框架的构建。其中,第二章和第三章由张遂安教授编写,第一章及第四至第九章由张洪编写。

在本教材编写过程中,参考了国内外大量煤层气相关文献和书籍,受到不少启发和帮助。另外,张遂安教授和宋岩教授对全书进行了审核并提出许多宝贵意见,中国石油大学(北京)石油工程学院的领导及教务处领导等都对本教材成型给予了关照,学生张广鹏、张少青参与了部分图件的清绘和文字编撰工作,在此一并表示由衷的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不足,恳请读者提出宝贵意见。

编者

2014年12月

目 录

Contents

绪 论	1
第一章 煤层气储层特征	5
第一节 非常规天然气储层特征	5
第二节 煤的形成及岩石学特征	7
第三节 煤层特征描述及煤层气赋存状态	8
第四节 煤储层的孔隙与天然裂隙	11
第五节 煤储层的渗透性	17
第六节 煤储层的吸附性和含气性	20
第七节 煤储层的孔隙压力与原地应力	25
第八节 吸附饱和度与临界解析压力	27
第九节 不同煤阶煤储层特点及开发适应性	28
第二章 煤层气钻井技术及工程设计	37
第一节 煤层气典型钻井类型及适应性	37
第二节 煤层气钻井井身结构	42
第三节 绳索取心技术及钻井液	44
第四节 煤层气井主要完井技术	45
第五节 煤层气钻井工程设计	48
第三章 煤层气钻井工程管理与质量控制	57
第一节 煤层气钻井工程项目管理	57
第二节 煤层气钻井质量控制体系	57
第四章 煤层气测井技术	61
第一节 不同煤层气测井技术概述	61
第二节 煤层气测井任务和项目	63
第三节 测井解释和处理	65

第四节	测井技术及质量要求	66
第五节	测井解释报告及相关图件编写和绘制	68
第五章	煤层气试井技术	71
第一节	不同煤层气试井技术概述	71
第二节	注入-压降试井主要内容	74
第三节	试井资料处理及解释	77
第六章	煤层气增产技术	82
第一节	裸眼洞穴完井技术	82
第二节	水力压裂技术	86
第三节	注 CO ₂ 提高采收率技术	92
第四节	注 N ₂ 连续油管压裂技术	95
第七章	煤层气排采理论及工艺	97
第一节	排采基本理论	97
第二节	排采伤害及控制理论	99
第三节	煤层气排采工艺与工作制度	100
第八章	煤层气数值模拟理论及技术	103
第一节	煤层气数值模拟技术基本理论	103
第二节	煤层气数值模拟典型实例研究	105
第九章	煤层气产能评价——以水平井为例	124
第一节	产能影响因素研究	124
第二节	煤层气水平井产能计算方法	134
第三节	煤层气多分支水平井产能评价	141
参考文献		151

绪 论

煤层气是非常规天然气,2012年美国煤层气产量达到800多亿 m^3 ,煤层气成为其能源结构的重要组成部分。中国煤层气资源丰富,作为常规能源的重要替代和补充,开发煤层气势在必行。本书正是适应这一趋势,力图为学习煤层气开发及开采基础理论技术的学生提供一本教材,为中国煤层气工业发展储备人才。

一、课程目的及任务

1. 课程目的

本课程是为油气主干专业本科学生开设的一门拓展性选修课程。课程的主要目的是通过各教学环节,使学生掌握煤层气的储层条件、开发理论和工艺技术,使学生的知识面由常规油气田开发进一步拓展到非常规天然气开发,为今后能从事煤层气勘探、开发、生产和科研奠定良好的基础。

2. 课程任务

本课程的主要任务包括:① 熟练掌握煤层气的钻井、压裂、洞穴完井、排采、数模等关键技术;② 正确理解有关煤层气的基本概念、赋存状态、储层特征和产出机理;③ 初步了解煤层气井的测井及试井技术。

二、教材主要内容

本教材包括彼此联系且又相互独立的四个部分:第一部分为绪论部分,介绍课程的目的、任务及主要内容,煤层气基本概念及成因特征,煤层气开发的战略意义、历程和趋势等。第二部分为理论部分,包括第一章煤层气储层特征、第二章煤层气钻井技术及工程设计、第三章煤层气工程管理与质量控制。第三部分为煤层气开发技术手段部分,包括第四章煤层气测井技术、第五章煤层气试井技术、第六章煤层气增产技术、第七章煤层气排采理论及工艺、第八章煤层气数值模拟理论及技术。第四部分为第九章煤层气产能评价——以水平井为例。

三、煤层气的基本概念与成因

1. 煤层气基本概念

煤层气是赋存于煤层中并与煤炭伴生的非常规天然气资源,其主要气体组分为甲烷(CH_4),它是地史时期煤中有机质的热演化生烃产物。不同学者从不同角度给予了不同的命名,最常见的有煤层气、煤层甲烷等,英文名称有 Coalbed Methane, Coal Seams Gas 等,一般缩写为 CBM。此概念给出了煤层气的赋存载体、性质、组分及来源。

2. 煤层气成因

煤层气的基本成因有两种,即浅部(镜质体反射率低于 0.5%)有生物菌参与形成的生物成因气和深部在温度、压力环境作用下形成的热成因气。生物成因气可以细分为原生生物成因气和次生生物成因气,热成因气可以分为热降解气、热裂解气及次生热成因气。

四、煤层气开发战略意义

我国石油天然气年需求量远大于供给量,且缺口日益增大,要解决这一矛盾,保证经济持续稳定发展,必须增加油气供给量。而增加油气供给量的途径有两种:一种途径是找到更多的常规油气储量。目前我国浅层石油储层基本上已经找到,而寻找深层的岩性或隐蔽油气藏存在技术难度,因此在现有的情况下找到可以满足缺口的新储量基本不可行。另一种途径就是寻找现实中的替代能源,而煤层气、页岩气是最适合开发的选择。在我国,大力发展煤层气产业具有如下重大战略意义:

(1) 改善煤矿安全。煤层甲烷是煤矿中伴生的煤层气资源,同时也是引起很多瓦斯爆炸的罪魁祸首。在 1950—1990 年间,我国瓦斯爆炸事件有 15 000 余次,共死亡 2 326 人,其中死亡百人以上事故达 14 起。瓦斯爆炸已经成为煤矿生产中最大的隐患之一,若在采煤之前先开发煤层气,则可以有效缓解和解决这一隐患。

(2) 促进经济发展,改善经济结构。通过发展煤层气产业,扩大就业,同时在经济结构中引入新的增长点,推动我国经济健康且可持续地发展。

(3) 减排温室效应。甲烷是“温室气体”,其温室效应是 CO_2 的 20~24 倍,而我国每年因采煤向大气排放的甲烷量达 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$,引起了巨大的环境污染。有效开发煤层气可以大大减少这种污染。

五、煤层气产业发展历程及发展趋势

1. 美国煤层气产业发展历程

目前,美国是开发煤层气最成功的国家之一,其发展经历了逐步成熟的过程:早在 20 世纪 70 年代,美国的一些煤矿业主为了减少煤矿瓦斯灾害,试图利用石油天然气开采技术进行瓦斯抽放,通过一段时间的试验获得了成功。随着国民经济的迅速发展,社会对优质能源的需求迅猛增长。因此,寻找和开发新的油气替代资源迫在眉睫,尤其是 20 世

纪70代的石油危机,更加促进了新能源的发展。煤层气则是最理想、最现实的接替资源。1970年美国煤层气开发之所以取得如此辉煌的成就,除具有良好的煤层气资源条件外,在很大程度上得益于开发初期政府给予的财政支持和政策激励,特别是《原油意外获利法》中的第29条税收补贴政策,使得开发煤层气的收益超过了天然气,极大地增强了煤层气工业的竞争能力,激励了石油公司积极投资于煤层气的开发。经过长时间的探索、试验,特别是裸眼洞穴完井技术及多分支水平井、压裂技术的出现和日趋成熟,在美国形成了几大煤层气生产基地,分别是以中阶煤为主的圣胡安、黑勇士含煤盆地,以低阶煤为主的粉河、尤因塔、拉顿盆地。

2. 世界煤层气产业发展现状

从世界范围来看,除美国外,加拿大、澳大利亚、中国实现了对煤层气的商业化开采。其中,加拿大的煤层气年产量达到上百亿立方米,中国和澳大利亚目前的年产量达几十亿立方米。其他国家都处于探索和试验阶段。

3. 中国煤层气产业发展历程

中国的煤层气开发经历了一个艰难而曲折的历程:

(1) 煤矿瓦斯井下抽采(20世纪50年代至今)。1952年,辽宁省的抚顺矿务局龙凤煤矿进行了井下瓦斯抽放试验并获得成功。通过50多年的发展,我国煤矿井下瓦斯抽放已由最初为保障煤矿安全生产抽放发展到安全-能源-环保综合开发型抽采。

(2) 煤矿瓦斯的地面抽采尝试(20世纪70年代末—80年代初)。20世纪70年代末,原煤炭部煤炭科学研究院抚顺煤研所曾在抚顺、阳泉、包头等高瓦斯矿区以解决煤矿瓦斯突出为主要目的施工了20余口地面瓦斯抽排试验井。这批地面瓦斯抽排试验井可谓是我国采用地面垂直井进行煤层气开采的最先尝试。但由于当时井位选择和技术、设备等条件的限制,试验未达到预期的效果。

(3) 煤层气资源的认识与评价(20世纪80年代)。通过国家“六五”科技攻关项目,运用常规石油天然气理论对全国“煤成气”资源进行了预测,其中包括煤层气;通过国家“七五”科技攻关项目,首次从资源的角度对全国煤层气资源进行了评价;通过原煤炭部瓦斯地质编图,对全国瓦斯资源进行了预测。

(4) 煤层气资源勘探与地面开发试验(20世纪90年代)。进入20世纪90年代后,随着美国地面开发煤层气成功技术的传入,我国的煤层气(瓦斯)地面开发逐步进入了产业化,有关单位先后在山西沁水盆地(包括南部潘庄、樊庄、柿庄等地区 and 北部的寿阳地区)、河东煤田(大宁—吉县、柳林等地区),陕西韩城地区,河南安阳煤田、焦作煤田、平顶山煤田,以及新疆吐哈盆地等开展了煤层气勘探和开发试验工作。经过十余年的煤层气勘探和开发试验,我国的煤层气地面开发取得了重大突破。

经过上述发展阶段,目前我国已经形成了两大年产量 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上的煤层气生产基地,即沁水盆地和鄂尔多斯盆地。

4. 煤层气产业的发展趋势

在煤层气开发过程中,“先采气,后采煤,采煤采气一体化”的观念已经深入人心并获得

广泛认可,未来煤层气产业发展的模式是:具有资金、技术及管理优势的大型国有企业及外企(如中石油、中石化、中联煤、壳牌等)进入煤层气开发主战场,与拥有资源优势且希望解决企业问题的大型煤炭企业携起手来共同开发煤层气资源;而一些中小型民营企业也会进入煤层气开发领域,成为一些关键技术试验和完善的先行者。

第一章

煤层气储层特征

作为典型的非常规天然气储层,煤层气储层(即煤层)有其特殊性,主要表现为:① 双孔隙系统,既有包括微孔隙在内的孔隙系统,也有以割理为特征的裂隙系统;② 独特的赋存状态,即以吸附态为主;③ 储层非常致密,通常需要辅之以压裂等增产措施。这些特点使煤层气具有自身独特的开采方式,即排水降压解析采气的过程。

第一节 非常规天然气储层特征

一、主要非常规天然气的概念

非常规天然气作为常规天然气的重要补充越来越受到人们的重视,其不仅可以补充替代常规天然气,改善能源结构,而且可以大大促进国家经济的发展。非常规天然气主要包括煤层气、页岩气、致密气和固态气水合物。

煤层气:赋存在煤层中、由生煤有机质热演化生成的以甲烷为主的天然气,其储层是煤层。

页岩气:地层中暗色泥岩或黑色碳质泥岩及其粉砂岩夹层中赋存的天然气,是泥质有机烃源岩生烃后未排出的天然气,其储层为各种泥页岩。

致密气:砂岩中的常规天然气,但其渗透率极低,正常条件下渗透率小于 0.1 mD ($1 \text{ mD} = 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)。

固态气水合物:在高压和低温条件下,甲烷被封存在水分子冰格中,又叫冰冻甲烷或天然气水合物(Natural Gas Hydrate,简称 Gas Hydrate),因其外观像冰并且遇火即可燃烧,所以又被称为“可燃冰”、“固体瓦斯”和“气冰”。

二、非常规天然气主要特点

上述 4 种气体都属于非常规天然气范畴,与常规天然气相比,它们具有特殊的储层、独特的赋存状态及开采方式。非常规天然气与常规天然气区别如下:

(1) 非常规天然气具有特殊的致密储层,储层渗透率极低,如页岩气层渗透率在 0.001 mD

以下,煤层气渗透率多在 0.01~0.001 mD 之间,而致密气渗透率在常规条件下低于 0.1 mD,因此它们都属于致密储层。

(2) 非常规天然气具有特殊的赋存状态。例如,煤层气以吸附态为主;页岩气兼有吸附态和游离态两种相态,不同页岩的吸附态和游离态含量呈现消长关系;致密气特点是气下水上,呈现连续型致密气整体排替水的状态。

(3) 特殊的致密储层决定了煤层气、页岩气和致密气具有独特的开发方式。煤层气具有特有的排水—降压—解析—扩散—渗流的生产方式,而页岩气和致密气需要压裂等增产措施。

(4) 按照邹才能等人的研究成果,煤层气、页岩气、致密气皆属于连续型油气聚集,在成藏条件、圈闭、运移方式、存储构造条件等方面与常规油气有着本质区别:非常规天然气通常位于凹陷及斜坡部位,大面积连续分布,资源量大但产量低,缺少常规意义上的圈闭;以储层为聚集单位,缺少二次运移但可有短距离的初次运移。而常规油气通常位于构造高点,储量受圈闭控制,以圈闭为聚集单位,不仅有初次运移还有二次运移(图 1-1、表 1-1)。

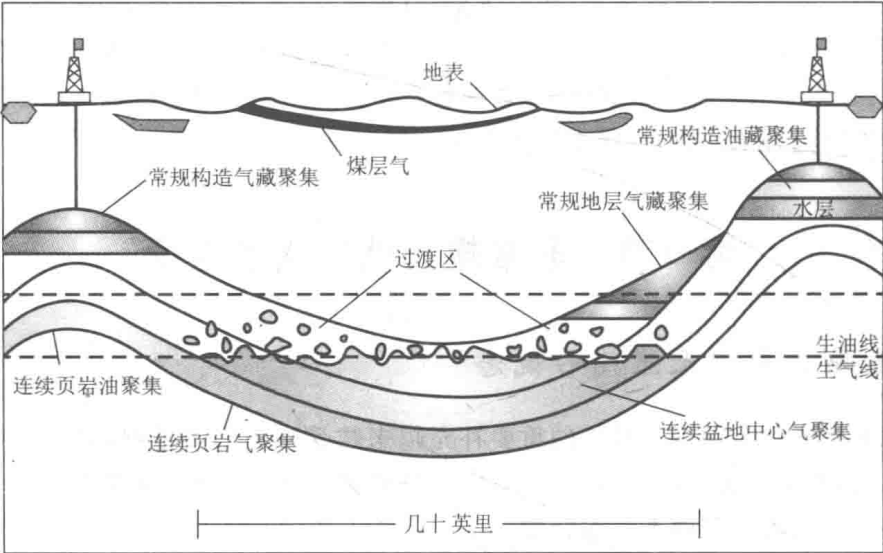


图 1-1 地层中不同连续型油气分布模式图(据邹才能等,2009)
(1 mile = 1.609 km)

表 1-1 “连续型”非常规油气藏与常规油气藏主要区别

油气藏类型	“连续型”非常规油气藏	常规圈闭油气藏
分布特征	盆地中心、斜坡等大范围“连续”分布,局部富集	圈闭相对独立,非连续分布
储集层特征	大规模非常规储集层为主	常规储集层
源储特征	自生自储为主	多种源储关系
圈闭特征	无明显界限的非闭合圈闭	界限明显的常规闭合圈闭
运移方式	多为一次运移	二次运移
聚集作用	主要靠扩散方式聚集,浮力作用受限	靠浮力聚集
渗流特征	非达西渗流为主	达西渗流
液体特征	液体分异差,饱和度差异大,油、气、水与干层易共存,无统一油气水界面与压力系统	上油(气)下水,界面明显

续表

油气藏类型	“连续型”非常规油气藏	常规圈闭油气藏
资源特征	资源丰富但产量较低,储量按井控区块计算	储量圈闭要素计算
开采工艺	开采工艺特殊,需针对性技术	常规技术为主,易开采

三、煤层气储层主要特点

区别于其他常规及非常规天然气储层,煤层气储层具有以下 3 个特点:

- (1) 独特的双孔介质储层,既有由割理及外生裂隙组成的裂隙系统,又有由纳米孔和微米孔组成的孔隙系统。
- (2) 特殊的赋存状态,85%以上的煤层气以吸附态存在于煤层微孔隙内表面,只有少量以游离态和溶解态存在。
- (3) 煤层气的独特赋存状态决定了其开发方式,排水—降压—解析—扩散—渗流是煤层气最为特别的生产开发方式。

第二节 煤的形成及岩石学特征

一、煤的形成

1. 煤及煤层相关概念

煤层气赋存于煤中,因此研究煤层气储层性质就是研究煤的特性。煤是由高等植物及其衍生物、浮游生物经过复杂的物理化学作用形成的固体可燃矿产,包括有机和无机化合物。由于生物化学作用的不同和地质化学因素的差异,煤成为含有几十种煤岩显微组分的复杂混合物,其组成、结构非常复杂且不均一。

在煤的形成演化过程中,形成了煤层。煤层是指在特定环境下由植物遗体转变并沉积成层的可燃矿产。由煤到煤层,体现了煤层具有横向延伸特性和成层性的特点。

当煤层作为煤层气载体时,被称为“煤储层”,以与煤层区别。同时又以煤这种特殊固体矿产作为储层,显示了与常规油气储层的区别。

2. 成煤物质及聚煤作用

成煤原始物质包括 3 种:陆生高等植物;稳定组分,包括孢子及角质层等;海洋浮游生物。它们可形成不同类型的煤,其中高等植物演化形成腐植煤,高等植物稳定组分(孢子、角质层等)经演化形成残植煤,而湖泊和海洋中的浮游生物经演化形成腐泥煤。原始成煤物质在合适的环境中,具备合适条件即可演化成煤,完成聚煤作用,即在古气候、古植物、古地理和古构造诸因素综合作用下,由高等植物及浮游生物经过复杂物理化学变化聚集成煤的过程。

聚煤作用发生在一定的沉积环境中,需具备一系列条件:

- (1) 气候条件。气候潮湿是形成煤层的首要条件。

(2) 古植物条件。该环境必须能提供大量的古植物以满足漫长古地史时期的成煤需要。

(3) 古地理和古构造条件。常年积水的缓慢下沉的洼地是成煤的最佳环境。

满足上述条件的古环境包括河流相、冲积相以及它们生成的沼泽相、湖泊和滨海相(图 1-2)。

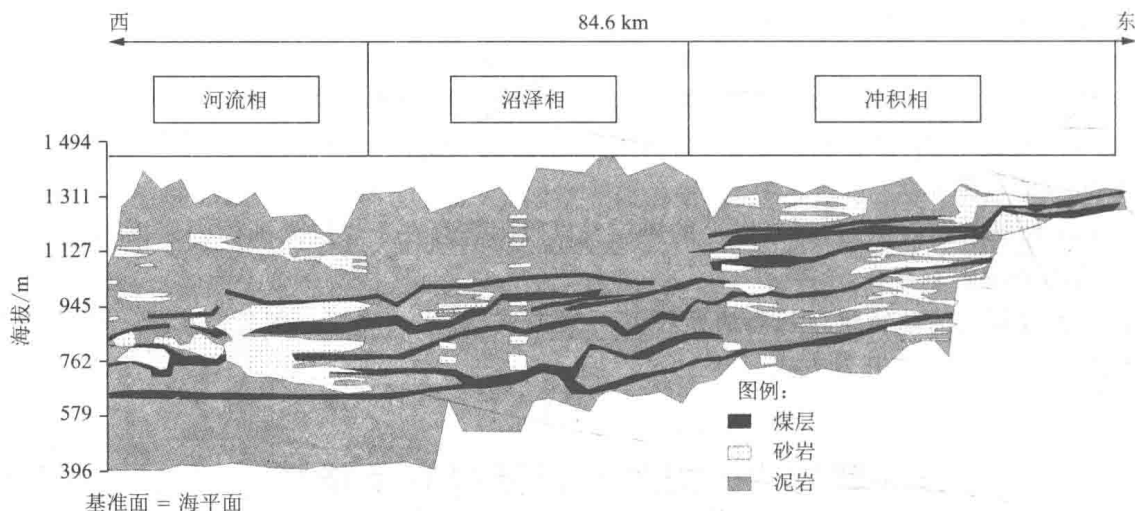


图 1-2 成煤环境示意图

二、煤的岩石学特征

煤是一种有机岩,利用研究岩石的方法来研究煤的学科称为煤岩学。作为岩石,煤具有其物理性质,主要包括 5 个方面:① 光学性质,如颜色、光泽、反射率、折射率、吸收率;② 机械性质,如硬度、脆度、可磨性、断口;③ 空间结构性性质,如相对密度、表面积、孔隙度、压缩性;④ 电磁性质,如介电常数、导电性、磁性;⑤ 热性质,如比热、导热性等。

从岩石角度来看,煤的基本组成单位为煤岩成分,即肉眼可以区分的煤的基本组成单位,可分为镜煤、亮煤、暗煤、丝炭 4 种类型。根据其组合及煤表现出的光泽亮度,又可将煤分为 4 种宏观煤岩类型:光亮型煤、半亮型煤、半暗型煤、暗淡型煤。不同煤岩成分和煤岩类型的煤表现出不同的特性:通常镜煤及光亮型煤系统的割理系统比较发育;暗煤、丝炭及暗型煤系统的割理系统不发育,但可以发育外生裂隙系统。割理发育程度对煤层气运移及开发意义较为重大,亮煤系统中割理系统发育使其成为极佳的煤层气勘探对象。

第三节 煤层特征描述及煤层气赋存状态

一、煤层特征描述

煤层基本特征包括其发育特征和几何特征。发育特征是指含煤层时代归属、含煤层数、煤层及煤层组关系、煤层稳定性、煤层结构、煤层分叉与尖灭、夹矸等。几何特征包括煤层厚

度、煤层底板标高、煤层埋深等。煤层厚度是一个非常重要的煤层特征,煤层厚度不同,则煤具有不同的含气量、割理发育特征及渗透率。从产能角度考虑,薄煤层通常需要具有复杂结构的井型(如羽状水平井)开发才具有经济价值;但从工程钻井角度考虑,厚煤层更容易钻进而不致偏离煤层。因此,以煤层厚度作为储层特征参数考虑合适钻井类型时,必须综合各因素进行选择。

二、煤体结构分类

瓦斯地质学中对煤体结构进行的宏观分类是根据煤体破坏程度进行的,可分为原生结构煤、碎裂煤、碎粒煤和糜棱煤。

原生结构煤未受到构造破坏,保持了煤层的原始结构,煤岩类型清晰可见;碎裂煤受到构造破坏,但仍然保持了煤的原始结构,可辨认煤岩类型,基质块体可见相对位移,煤体被裂隙切割,可捻搓成煤粉;碎粒煤受构造运动影响较大,原始结构遭到破坏,色泽暗淡,见构造镜面,可揉碎形成 1 mm 以上的颗粒;糜棱煤遭到完全破坏,揉碎颗粒粒径在 1 mm 以下(表 1-2)。

表 1-2 煤结构分类

类型号	类 型	赋存状态和 分层特点	光泽和层理	煤体的破碎 程度	裂隙、揉皱发育 程度	手试强度
I	原生结构煤	层状、似层状,与上下分层呈整合接触	煤岩类型界限清晰,原生条带状结构明显	呈现较大的保持棱角状的块体,块体间无相对位移	裂隙可辨认,未见揉皱镜面	捏不动或成厘米级块
II	碎裂煤	层状、似层状或透镜状,与上下分层呈整合接触	煤岩类型界限清晰,原生条带结构断续可见	呈现棱角状块体,但块体间已有相对位移	煤体被多组互相交切的裂隙切割,未见揉皱镜面	可捻搓成厘米、毫米级块或煤粉
III	碎粒煤	透镜状、团块状,与上下分层呈构造不整合接触	光泽暗淡,原生结构遭到破坏	煤被揉搓捻碎,主要粒级在 1 mm 以上	构造镜面发育	易捻搓成毫米级碎粒或煤粉
IV	糜棱煤	透镜状、团块状,与上下分层呈构造不整合接触	光泽暗淡,原生结构遭到破坏	煤被揉搓捻碎得更小,主要粒级在 1 mm 以下	构造、揉皱镜面发育	极易捻搓成粉末或粉尘

三、煤层气赋存状态

认识和了解煤层气在储层中的赋存状态,是地质评价的主要内容,也是勘探开发的必要工作。目前人们普遍接受的观点是煤层气以吸附态、溶解态和游离态三种形式储集在煤储层中,且以吸附态为主。

煤层中煤层气的含量远远超过其自身孔隙的容积,用溶解态和游离态难以解释这一现

象,因此必定存在其他赋存状态——吸附态。吸附量与煤的比表面积、温度和压力有关。这种吸附是通过分子间的引力实现的,是可逆的,属物理吸附。

煤具有大量纳米级微孔,这些微孔内表面碳原子在向内一端未被饱和,产生强烈吸引,另外这些微孔的比表面积相当大,采用 CO_2 做介质测得煤的比表面积为 $50\sim 200\text{ cm}^2/\text{g}$,这也正是煤对煤层气有着强烈吸附能力的原因所在。吸附态总量达到煤层气含量的 90% 以上。

煤层气储集层多数情况下是饱含水的,在一定温度、压力条件下必定有一部分煤层气溶解于其中,但量比较少,在 1%~5% 之间。

煤的孔隙或裂隙中有一部分自由气体,称游离态气体。这种赋存状态的气体符合气体状态方程,其运移动力是压力,在高温高压下会溶解于水,存在于不被水占据的割理和裂缝孔隙中,但量很少,为 1%~5%。

吸附态煤层气可用吸附状态方程来描述,但最直观的是吸附等温线,即状态方程的图示形式,它反映了特定煤层等温条件下吸附量与压力变化的关系,即一定压力下煤层吸附最大量。吸附等温线包括 I 型、II 型、III 型、IV 型及 V 型,其中最常见的是 I 型和 II 型(图 1-3)。不同类型等温线具有不同的特点,其类型与气体吸附状态方程密切相关。

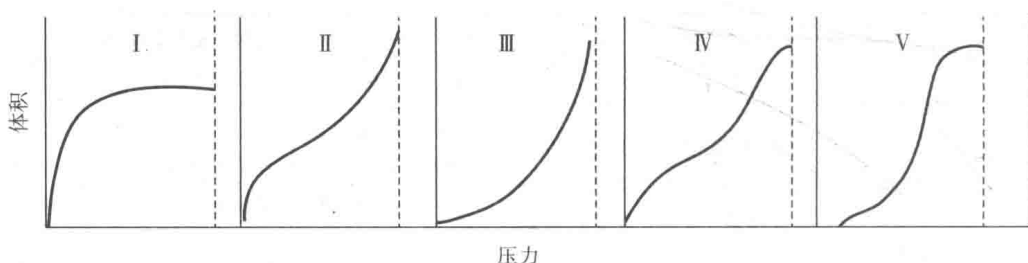


图 1-3 吸附等温线的 5 种类型

吸附等温线在煤层气研究中的应用主要表现在以下 4 个方面:

(1) 评价煤层对气体的最大吸附能力,实测值往往偏低。吸附等温线读出的是一定煤层在确定压力下的理论最大吸附量,因此可以判断煤层的最大吸附能力。但对一定煤层来说,最大吸附能力是有固定数值的,即煤层本身的最大吸附量与温度及压力无关,是煤本身的固有属性(此最大吸附量也叫朗格缪尔体积)。随着压力的升高,煤层理论吸附量向这一数值靠近,但不会超过该数值。

(2) 预测生产过程中储层压力降低时释放出气体的最大值。对于不饱和煤层气藏,理论上随着煤层气开发过程的进行,储层压力降低,煤层气开始解析,煤层中的最大解析量应该是实际含气量,但由于种种因素的限制,煤层气通常无法完全解析,而有一定的残余量。我们可以将实际含气量作为解析最大量。对于饱和煤层气藏,吸附等温线理论吸附量即为解析最大量。

(3) 确定临界解析压力。临界解析压力的确定将在本章第八节进行详细论述。

(4) 确定含气饱和度。特别是在气体处于未饱和状态,即所含气体量未达到最大吸附能力时,这一测试相当重要。