

MEI CENG QI KAI FA DE LI LUN YU SHI JIAN

煤层气开发的 理论与实践

吴佩芳 等 编著

地质出版社

TD845
V-617

煤层气开发的理论与实践

吴佩芳 谭仲平 司淑平 侯高文 编著
刘新玲 王红艳 崔祥瑞

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书是编著者根据自己的研究实践,同时参考国外近几年发表的有关最新成果撰写的。全书共分七章,主要介绍了煤层气的生成、储集和产出的主要机理以及国外勘探开发煤层气的各种成功的技术手段与管理经验,并对开发煤层气的社会效益与经济效益作了简要介绍。本书对于新区煤层气从勘探开发到最终进户使用全过程的实施有重要的借鉴作用。

本书可供从事煤层气勘探开发与研究的生产技术人员及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤层气开发的理论与实践/吴佩芳等编著.-北京:地质出版社,2000.5
ISBN 7-116-03050-6

I. 煤… II. 吴… III. 煤成气-气田开发 IV. TE37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 14190 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:郝梓国 肖 叶 陈 磊

责任校对:王素荣

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:6.75 字数:151000

2000 年 5 月北京第一版·2000 年 5 月北京第一次印刷

印数:1—500 册 定价:16.00 元

ISBN 7-116-03050-6

P·2109

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

煤层气是一种新的替代能源。国外,尤其是美国的煤层气工业已有了很大的发展,并已形成具相当规模的洁净能源新产业。我国是一个煤炭资源大国,具有极为丰富的煤层气资源。我国政府和有关工业部门高度关注煤层气的勘探开发。近几年来,在我国政府的大力扶持下,有关部门和单位已积极开展了煤层气利用的前期研究工作和勘探或开发试验工作,并取得了一定成果。但是,煤层气的研究工作在我国毕竟起步不久,而且工作难度极大。为了使我国广大煤层气工作者对国外,尤其是美国煤层气勘探开发的成功经验有进一步的了解,作者在自己实践的基础上,参考近年来众多的国外煤层气资料编著成本书。希望本书能对我国煤层气工作起到借鉴和参考作用,从而促进我国煤层气事业的进一步发展。

作者感谢石油大学石油资源科学系王伟锋教授、中国地质大学资源学院煤层气教研室王生维教授在成书过程中给予的悉心指导,感谢中原油田的马立琴同志帮助清绘图件。最后需要说明的是,由于编著者水平有限,差错之处,敬请读者批评指正。

吴佩芳

1999年6月30日

吴佩芳

目 录

前 言

第一章 煤层气的一般地质特征	(1)
第一节 煤层气的成因与储集产出特征.....	(1)
一、煤层气的成因	(1)
二、煤层气的储集产出特征	(2)
第二节 煤层气的赋存形式及含气量.....	(7)
一、煤层气的赋存状态	(7)
二、煤层气含量	(8)
第三节 煤层气选区地质评价	(11)
一、煤层气地质综合评价的理论基础	(11)
二、煤层气选区的经济因素分析	(12)
第二章 煤层气井的钻井技术	(14)
第一节 美国煤层气井钻井概况	(14)
第二节 煤和煤层的特性	(15)
一、煤储层的机械强度弱	(15)
二、煤层压力系数变化大,规律性差	(16)
三、煤层孔隙和割理发育	(16)
第三节 煤层气井的钻井特点及对策	(16)
一、钻井密集,钻井费用高.....	(16)
二、煤储层易受损害	(16)
三、煤层取心要求高	(17)
四、中途测试	(17)
第四节 煤层气井网与井距的优化设计	(18)
一、煤层气开发井网的优化设计	(18)
二、煤层气井井距的优化设计	(18)
第五节 煤层气井钻井设计	(19)
一、钻井设计的基本要求	(19)
二、钻井设计的主要内容	(19)
三、井身结构	(19)
第六节 钻井类型及钻井方式	(20)
一、钻井类型分类.....	(20)
二、钻井方式	(20)
第三章 煤层气开采中的测井技术	(26)
第一节 常用测井方法及其在煤层中的响应	(26)
一、电阻率测井	(26)

二、伽马测井	(27)
三、声波测井	(27)
四、密度测井	(28)
五、中子测井	(28)
六、自然伽马能谱测井	(28)
七、次生伽马能谱测井	(30)
八、结论	(30)
第二节 通过测井可得到的资料	(30)
一、煤层深度与煤层厚度	(32)
二、近似分析	(33)
三、吸附等温线	(33)
四、储气量	(33)
五、割理	(33)
六、生产能力	(33)
第三节 煤层气的计算机模型	(33)
第四节 裸眼井和套管井测井仪器组合的选择	(37)
第五节 测井仪的发展前景	(37)
第四章 煤层气试井技术	(39)
第一节 试井目的	(39)
一、储层评价	(39)
二、各向异性评价	(40)
三、储层管理	(40)
第二节 试井方法的选择	(40)
第三节 试井类型	(41)
一、抽水测试	(41)
二、压力恢复测试	(41)
三、注水测试	(42)
四、压降测试	(42)
五、干扰测试	(42)
六、钻杆测试	(43)
七、水箱试验	(43)
第四节 试井的有关参数	(43)
一、表皮效应	(43)
二、井筒储集效应	(44)
三、无限作用径向流	(44)
四、储层边界响应	(45)
五、调查半径	(45)
六、压裂井	(45)
七、多孔效应	(46)
第五章 煤层气井的完井及增产措施	(48)
第一节 煤层气井的完井类型	(48)
一、直井完井技术	(48)

二、水平井完井技术	(50)
第二节 压裂增产措施	(50)
一、煤层压裂技术简况	(50)
二、美国黑勇士、圣胡安盆地的水力压裂实验	(52)
三、水力压裂过程中对煤层渗透率的伤害	(54)
第六章 煤层气的开采	(60)
第一节 煤层气的生产特征	(60)
一、对美国煤层气生产状况的统计	(60)
二、世界煤层气开采状况	(60)
三、典型的煤层气井生产状况	(61)
四、低压开采	(62)
第二节 开采设备	(63)
一、生产系统的设计	(63)
二、典型的煤层气井	(64)
三、机械排水	(65)
四、地面气-水分离器	(67)
五、集输系统的选择	(68)
六、流量计量选择	(69)
七、煤层气的处理与压缩	(70)
第三节 水处理	(73)
一、有关水处理方法的选择	(73)
二、地面处理	(73)
三、注入井	(74)
第四节 生产经营与储层管理	(74)
一、煤层气井的投产	(74)
二、修井作业	(75)
三、减少生产修井次数的措施	(75)
四、生产管理	(76)
第七章 煤层气的经济及参数分析	(77)
第一节 煤层气开采的关键因素	(78)
一、具有吸引力的煤层气产量	(78)
二、合理的投资成本和开采成本	(81)
三、可靠的高价格市场	(84)
四、规模经济	(84)
第二节 煤层气的经济可行性评估	(84)
一、黑勇士盆地	(85)
二、圣胡安盆地	(87)
第三节 煤层气与常规天然气的经济对比	(90)
一、常规天然气的替代成本	(90)
二、常规天然气与煤层气的比较	(91)
第四节 煤层气的参数分析	(91)
一、资源量	(91)

二、产能系数	(93)
三、开发策略	(94)
第五节 影响煤层气发展的各种因素	(95)
一、经济上的限制因素	(95)
二、政策上的限制因素	(96)
三、地质上的限制因素	(96)
四、工程上的限制因素	(96)
五、市场上的限制因素	(96)
附录 A 投资分析方法	(97)
一、净现值	(97)
二、内部收益率	(97)
三、回收期	(97)
附录 B 煤层气开采的税收	(98)
一、生产-开采税	(98)
二、非常规燃料赋税优惠条款	(98)

第一章 煤层气的一般地质特征

煤层气是指储集在煤层中的天然气,也称煤层吸附气、煤层甲烷或煤层瓦斯。它是成煤母质在煤化作用过程中形成的。煤层气与常规天然气不同。煤层既是生气层,又是储气层。生成的甲烷,除一部分运移出煤层聚集成煤成气藏之外,大部分残留在煤层中,并储集在煤层的孔隙、裂隙内或吸附于煤层的表面上。煤层中的甲烷,只有少量以游离状态存在,大部分以单分子层吸附于煤层的内表面上。单位质量的煤的表面积非常大。据估算,每吨煤的表面积为 $929 \times 10^5 \text{m}^2$ 以上,而且在单分子层中甲烷分子的堆积十分密集。因此,煤层中存在着大量的甲烷。

第一节 煤层气的成因与储集产出特征

一、煤层气的成因

煤岩学中将成煤的原始物质分为两类,即高等植物在成煤过程中形成的腐殖质和低等植物在成煤过程中形成的腐泥质;前者形成腐殖煤,后者形成腐泥煤。高等植物在成煤过程中要经过漫长的化学作用和热演化作用过程,即所谓的煤化作用过程。煤层气是一种有机成因的天然气,是在煤化作用过程中形成的,其形成过程与煤同步,而且贯穿于成煤的全过程(图 1-1)。根据气体生成作用的不同,煤层气的生成可分为生物成因和热成因两种。

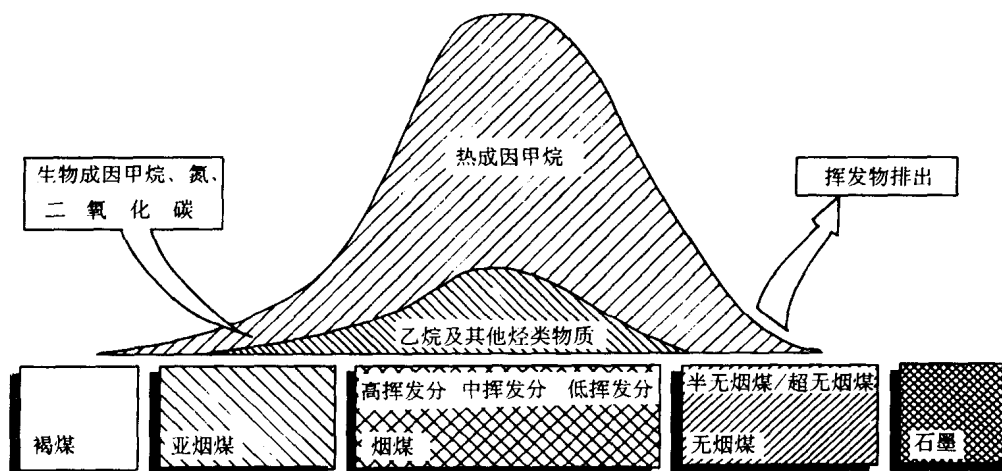


图 1-1 煤层气的生成过程

1. 生物成因

生物气主要包括甲烷和二氧化碳,它是有机质在微生物作用下分解形成的,一般产生于

泥炭沼泽环境。有机质分解生成甲烷的过程,是由种类繁多的微生物经过一系列复杂的作用过程完成的,其中的每个过程都会造成有机质的部分氧化。产甲烷的微生物只有在有机质缺氧分解的最后阶段才会起作用,而且它还依赖于能将复杂的有机化合物转变为简单的甲烷母体的其他细菌。

大量生物气的生成,必须具备以下条件:①缺氧环境;②低的硫酸盐浓度;③低温;④丰富的有机质;⑤高pH值;⑥充足的孔隙空间;⑦快速的沉积。如果能够满足这些条件,则经过数万年的演变,就可以生成大量的生物甲烷。

生物气的形成有两种途径:一是通过二氧化碳还原,二是通过甲基型物质发酵。大多数物质通过二氧化碳还原都具有生成甲烷的能力。二氧化碳可以来自早期的细菌作用和有机质的热脱羧作用。发酵作用是少数几种细菌通过几种作用物(通常是醋酸纤维素)的脱羧作用产生的。在作用过程中,甲基转化为甲烷,羧基则转化为二氧化碳。

尽管这两种作用在近地表现现代沉积环境中均能发挥作用,然而根据化学和同位素组分分析发现,绝大多数古代生物气都是通过二氧化碳还原产生的。据研究,生物气的生成以哪种途径为主,取决于沉积有机质的埋深和年代。当埋藏时间短、埋深较浅时,这两种反应过程都可能会发生,只是早期形成的气体可能会逸散到大气中;如果埋藏较深,则甲烷的生成主要靠二氧化碳还原,并能被较好地保存下来。

生物气的产生可分为早期和晚期两个阶段。早期的生物气形成于低阶煤(泥煤阶至亚烟煤阶, $R_o < 0.5\%$),大部分古生物气可能都是在这一时期形成的。晚期的生物气形成于近代(数十万年至几百万年以前),其形成与活跃的地下水系有关。煤层一般是区域含水层,为细菌的活动和甲烷的生成,提供了有利的环境。只要条件具备,晚期生物气可在任何煤阶生成。含水层中最初的微生物作用是需氧的氧化作用,这一作用过程为后来的厌氧菌群提供了营养源。因此,后期生物甲烷的生成主要是还原其前期氧化作用阶段生成的二氧化碳的结果。

生物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%左右。

2. 热成因

随着地层埋深的加大,地温梯度升高,煤层温度不断上升,压力不断增大,煤化作用增强,大量富氢的挥发性物质和氧被释放,有机质在深成热解作用下,形成热成因甲烷(同时还包括二氧化碳、氮和水)(图1-2)。气体开始形成时的温度大致相当于高挥发性C级烟煤阶段($R_o = 0.5\% \sim 0.77\%$)。当温度达到 $100 \sim 150^\circ\text{C}$ 左右时($R_o = 1.0\% \sim 2.0\%$),生气量达到高峰,约为褐煤至无烟煤总生气量的70%。

二、煤层气的储集产出特征

煤层与常规油气层有所不同。煤层既是生气层,又是储集层。煤层气以吸附状态储集于煤层中,少量以游离状态存在于煤的裂隙中。煤层气产出是煤层降压、气体解吸、扩散和流动等因素的综合结果。

1. 煤层气的储集特征

(1) 煤的孔隙结构

煤是一种固态胶体,其孔隙结构包括基质孔隙和裂隙孔隙两部分。

基质孔隙 所谓基质孔隙,指的是煤的原生孔隙,它是煤层气的主要储集空间。根据岩心分析得到的煤平均孔隙度是基质孔隙度。其数值,除低煤阶煤以外,一般均小于10%,中低挥发性烟煤的孔隙度只有6%或更少。

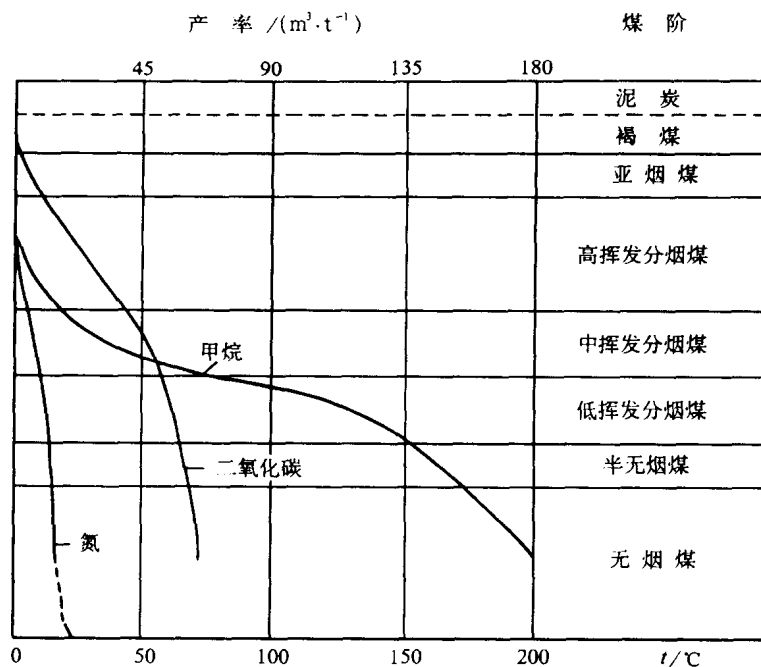


图 1-2 煤化过程中生成的甲烷气

按照煤层气工业的习惯,煤的基质孔隙分为大、中、小三类:

大孔 $>5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$

中孔 $5 \times 10^{-2} \sim 0.2 \times 10^{-2} \mu\text{m}$

微孔 $<0.2 \times 10^{-2} \mu\text{m}$

对煤的孔隙喉道大小的研究表明,孔隙容积主要与中孔有关,而孔隙的表面积主要与微孔有关。基质孔隙中小于 $0.12 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 的微孔占有很大的比例。由于煤层中甲烷储集的主要机理是吸附在孔隙的表面,因此,煤层中大部分气体储集在微孔隙中,并在压力作用下呈吸附状态。

基质孔隙的发育直接受煤化程度的影响。随着变质程度的加深,微孔隙(主要是 $0.07 \times 10^{-2} \sim 0.08 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 的孔隙)所占比例不断增加,而大于 $3 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 的大孔隙不断减少。

裂隙孔隙 裂隙孔隙是指煤层中的裂缝,按其成因分为两大类,即内生裂隙和外生裂隙。图 1-3 是一煤样示意图。不难看出,煤样中有许许多多的裂隙存在,它们将煤体切割成许多块体,如果作一剖面,则如图 1-4 所示。

煤中的裂隙,国外采矿业一般称为割理。割理的形成是煤化作用的结果(内生裂隙),局部也可由构造力引起(外生裂隙)。割理的间距从几毫米到几厘米不等,通常发育为近乎垂直的两组。占优势的一组称为面割理,可以延伸很远,甚至达几百米。另一组称为端割理,它只发育于两条面割理之间。两组割理与层理面正交或陡角相交,将煤体分割成一个个斜方形的基岩块体。据研究,面割理在褶皱轴呈直角拐弯的地方最为发育。以煤阶而论,焦煤的内生裂隙最发育,在 5cm 内面割理就有 30~40 条。

由局部构造应力作用产生的裂隙称为外生裂隙。外生裂隙以各种角度与层理面相交,发

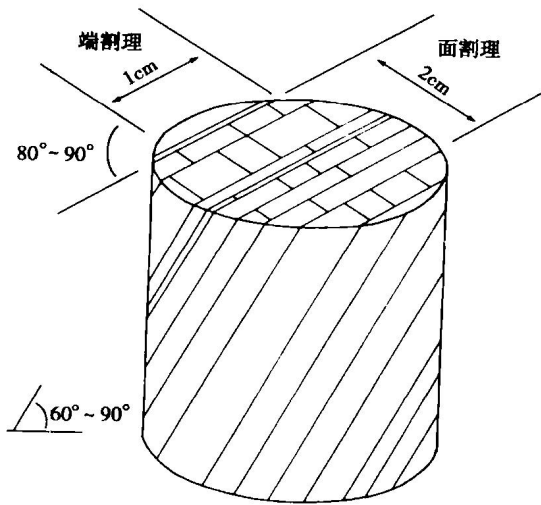


图 1-3 圣胡安盆地水果地组煤层中的割理系统

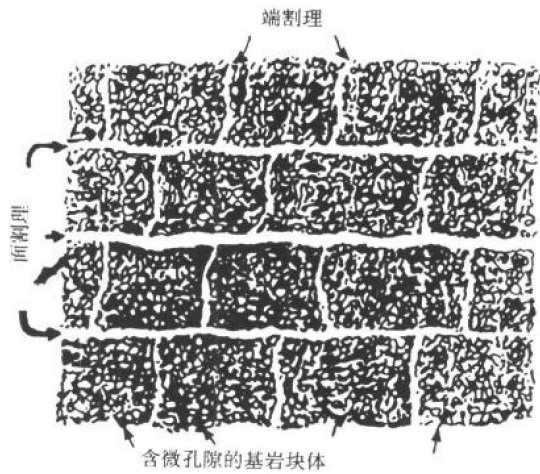


图 1-4 煤层气储存和流动的孔隙系统

育不规则,数量较少。

煤的孔隙性质和数量的变化是煤吸附能力强弱的主导因素。资料表明,大孔隙随变质程度增加而减少,微孔隙随变质程度加深而增加。成煤初期,煤结构疏松,孔隙率大,褐煤吸附能力较大。在变质作用初期,由于压力的作用,煤的孔隙率减小,长焰煤吸附能力下降。随着变质作用的加深,在高温高压作用下,煤体内部生成许多微孔隙,使吸附表面积增加,到无烟煤阶段达到最大值。无烟煤阶段之后,由于强大的静压作用,微孔隙收缩减少,到石墨阶段为零,吸附能力完全消失。

(2) 煤的渗透性

煤的渗透性是影响甲烷分子在孔隙裂隙中渗流过程的重要因素。

煤的渗透性用渗透率来表示,它包括绝对渗透率和相对渗透率。煤的渗透率通常小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。延伸较长的面割理具有较高的渗透性,常比端割理方向的渗透率高几倍。另外,煤的渗透率随压力或深度的增加而减少。美国利用对数坐标图成功地绘制出渗透率与深度的关系,证实渗透率值随深度的增加而显著降低。图 1-5 是美国皮申斯盆地、圣胡安盆地和黑勇士盆地煤层渗透率与深度的关系图。由于圣胡安盆地的煤层浅,故其大部分地区的渗透率高出皮申斯盆地至少 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。而皮申斯盆地的煤层埋深较大,在超过 1500m 的大部分地区,渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

煤脱水时孔隙压力下降,使煤的孔隙度、渗透率、压缩性有明显的下降。原始水饱和度很高的煤层,脱水时应力急剧上升,渗透率下降。实验室样品分析表明,有效应力增加到大约 13800kPa 时,将使渗透率下降 1~2 个数量级。预计深煤层甲烷井开采时的压力降可达到这样的程度。通过对煤样的多次加压、卸压的周期性试验,测定了其在不同压力下的渗透率。结果发现,加压可使渗透率降低;卸压时,渗透率只能得到一定程度的恢复,造成了渗透率损失。这种现象称渗透率滞后现象。钻井过程可使煤层发生这种现象。如在欠平衡钻井时就会引起渗透率下降。如果用过平衡钻井,则会加剧钻井液对煤层的侵害。这说明煤层不同于常规储集层,其渗透性强烈地取决于孔隙流体压力的变化。压裂时煤层压缩,压裂液渗入割

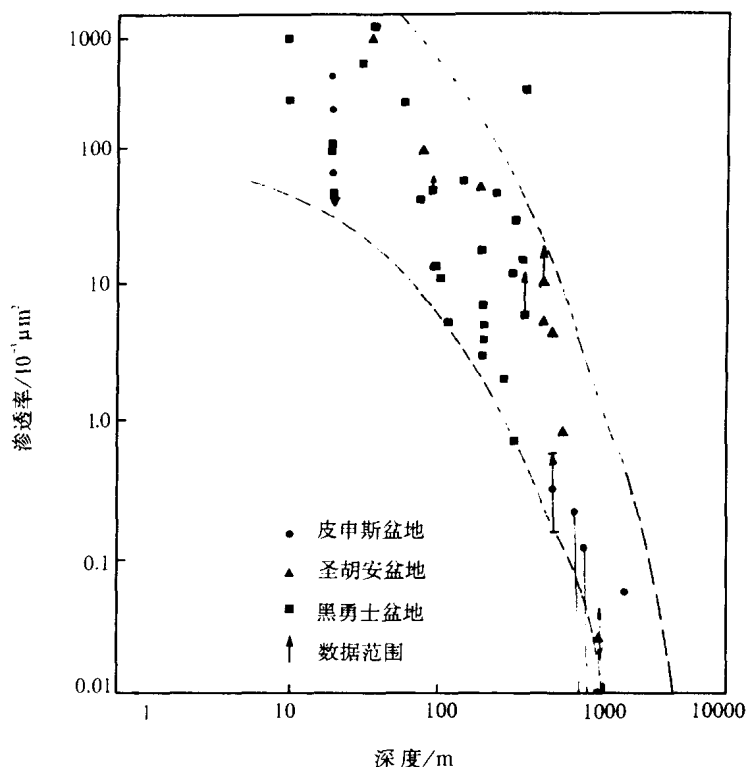


图 1-5 煤层渗透率与深度的关系

理构造而不能有效地产生新的裂缝。由于煤层存在渗透性滞后现象，故测试时用注入测试法求得的表皮因子比压降法求得的表皮因子更合理些。这些现象表明，煤层受应力影响而产生的渗透性滞后现象有着广泛的影响。

在饱和水的煤层中开采甲烷，所处的环境是气、水两相流动状态，气、水产量会受到相对渗透率的影响。煤层甲烷气井，必须首先进行排水，降低含水饱和度，使气体开始流动。由于煤层的大部分孔隙空间是半径小于 $0.02\mu\text{m}$ 的微孔隙，比常规砂岩具有更高的毛细管压力，从而使煤层具有很高的束缚水饱和度，同时也使水的相对渗透率急剧下降。由于水饱和度总是保持在较高的水平，所以气的相对渗透率也处于较低的水平。即使煤层的绝对渗透率较高，其性质也只不过和致密的砂岩储层相当。这也说明，需要对煤层压裂才能获得更好的效益。

2. 煤层气的产出特征

为了使吸附在煤表面的甲烷气进入井眼，必须使甲烷分子在煤层中产生流动。具体地讲，首先必须使其从煤的内表面上解吸，然后通过煤的基质和微孔进行扩散，最后才能穿过割理系统流动。因此，煤层气的流动机理包括解吸、扩散、渗流三个过程。

(1) 解吸过程

煤层气要通过微孔进行扩散，首先必须从孔隙表面分离开来，这一过程称为解吸。甲烷的解吸量受高度非线性解吸等温线控制。一般说来，地层压力降至 10^5Pa 时，甲烷才能充分

释放。

(2) 扩散过程

甲烷解吸后必须通过煤基质扩散。解吸的甲烷分子在煤基质微孔隙中扩散、流入裂隙的过程称为扩散过程。扩散作用主要受甲烷浓度、扩散距离、煤基质特征和微孔隙特征等的影响。

甲烷穿过固体颗粒间的扩散是借助自身的浓度梯度实现的。因为甲烷的浓度在解吸面附近高,在煤的割理面附近低,所以,甲烷向浓度低的割理面扩散。

甲烷通过煤基质微孔隙扩散到割理系统的时间一般用天(d)表示。据报道,所需时间短至1d,最长可达100d以上。美国通过煤岩心试验取得的时间值,最短的是圣胡安盆地,仅为1~5d,而北阿巴拉契亚盆地长达100d。

(3) 渗流过程

甲烷分子通过扩散作用到达割理系统再流至井底的过程称为渗流过程。甲烷和水一起按达西定律与煤的有效相对渗透率流动。影响渗透率的重要因素是煤层裂隙孔隙系统的渗透性。

通过以上分析可以看出,煤层气是经过解吸、扩散后通过自然裂缝网络流动而到达井底的(图1-6)。也就是说,煤层气的产出存在三个阶段:第一阶段,随着井筒压力下降,首先只有水产出。这时,因为压力下降得比较少,只有单相流动。第二阶段,压力进一步下降,有一定数量的甲烷从煤的表面解吸,形成气泡,阻碍水的流动,水的相对渗透率下降。但气不能流动,无论在基质孔隙中还是在割理中,气泡都是孤立的,没有相互连接。这一阶段叫做非饱和单相流阶段。虽然出现气、水两相,但只有水相可以流动。第三阶段,储层压力进一步下降,水中含气量已达到饱和,气泡互相连接,形成连续的流线,气的相对渗透率大于零,气体不断解吸,形成气-水两相流动阶段(图1-7)。

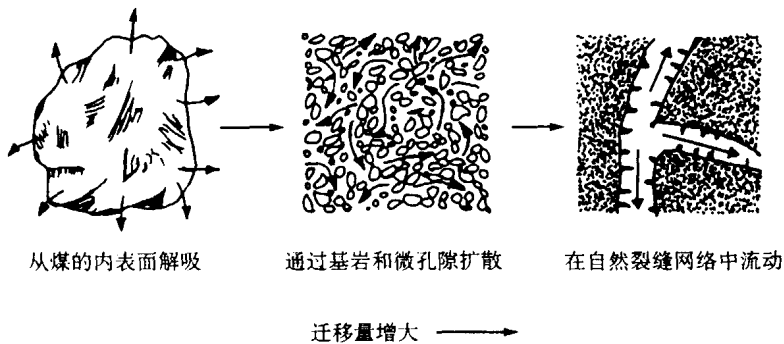


图1-6 煤层甲烷气迁移过程

这三个阶段是连续的过程,随着时间的延长,它们由井眼沿径向逐渐向四周的煤层中推进。这也是一个递进过程。如果脱水降压时间越长,受影响的面积就越大,甲烷解吸和排放的面积也就越来越大。煤层中甲烷的产量逐年增加,通常在3~5a内产量达到最高,然后逐渐下降,且持续很长时间,开采期可达10~20a不等,甚至有开采30a以上仍在产气的井。

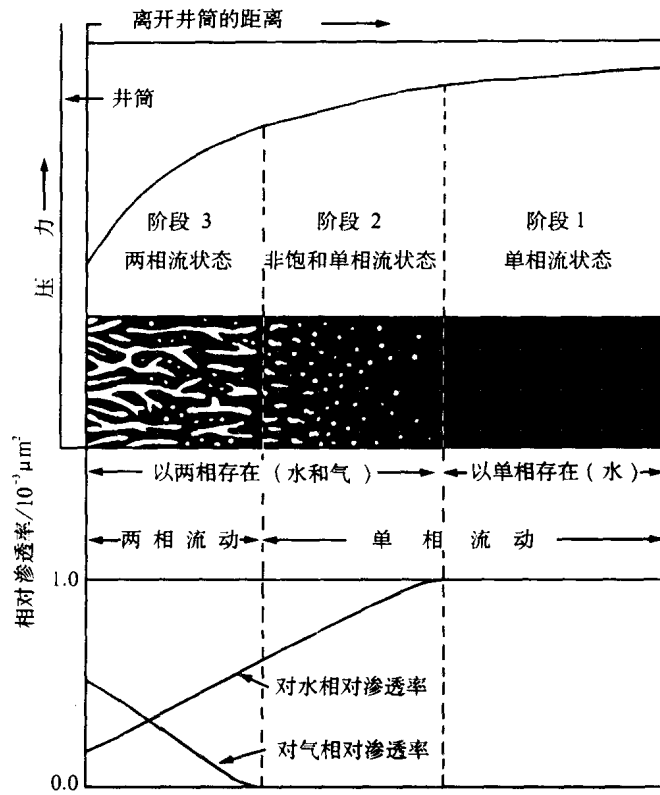


图 1-7 煤层甲烷产出的三个阶段

第二节 煤层气的赋存形式及含气量

煤层中的甲烷大部分(70%~95%)呈吸附状态保存在煤的基质孔隙内表面上。甲烷在煤层中的储集依赖于吸附作用,而不是依赖于是否有储集气体的圈闭存在,因而与常规砂岩中的天然气储集有本质的区别。除了风化带,煤层中都会含有相当数量的天然气,因而含煤地区都应列入必须加以研究和评价的范围。

一、煤层气的赋存状态

煤层气的赋存状态有三种基本形式:游离状态、吸附状态和溶解状态;但以吸附状态为主,约占总量的 90%。

在游离状态下,煤层气以自由气体状态存在于煤的割理和其他裂隙孔隙中,可以自由运动,其运移的动力是压力。当气体迁移进入裂隙网络中呈游离状态后,可按常规气体研究。游离状态的煤层甲烷数量较少。

在吸附状态下,煤的内表面上分子的吸引力,一部分指向煤的内部,已达到饱和;另一部分指向空间,没有饱和,从而在煤的表面产生吸附场,吸附周围的气体分子。这种吸附是一种物理现象,是 100%的可逆过程。在一定条件下,被吸附的气体分子与煤的内表面脱离(解

吸),进入游离相。

煤中的甲烷还可以溶解于煤层中的地下水中,成为溶解气,但其数量较少。

随着煤化作用的加深,甲烷在压力的作用下以单分子形成的单分子层越来越紧密地吸附在煤的内表面上。这种吸附的甲烷分子层还可以扩大孔隙;有的甲烷分子进入煤基质后可形成新的孔隙。

吸附是煤层的独特性质,是煤层甲烷的主要赋存形式。归纳起来,煤层气的赋存有以下几个特点:

(1) 煤层中甲烷处于被吸附状态,在孔隙水中呈溶解状态;

(2) 煤层中被吸附的甲烷和被溶解的甲烷处于动态平衡状态,故被煤吸附的甲烷数量与溶液的甲烷浓度成正比;

(3) 因为能渗透的孔隙容积内充满了地下水,所以在潜水面以下的煤层中没有游离气态甲烷存在。

制约煤吸附能力的因素很多,诸如煤质、煤阶、孔隙结构、水分、灰分及压力等。随着压力降低,甲烷解吸,并释放出来。释放的气量受非线性等温吸附线的控制。利用恒温下的吸附试验作出的等温吸附线可直观地反映出煤的吸附特性。

二、煤层气含量

煤层甲烷为自生自储式天然气资源,其富集特点与常规天然气有所不同,它基本上没有大规模的二次运移和聚集过程。煤层甲烷的含量主要取决于煤的成分、成熟度、埋藏深度、煤层厚度及煤层储集空间的发育程度,以及地质构造和顶底板条件的优劣等。

1. 煤的成分对甲烷含量的影响

煤,可根据品位、类型、煤级三个不同的特征进行分类。

按其品位,从宏观上可分为镜煤、亮煤、暗煤和乌煤(丝煤);按其类型可分为镜质组、类脂组和惰性组三大类。这就是通常所说的有机质在压力增强和温度升高条件下转化成的三种主要煤组分,又称三煤素质。镜质组煤素质代表胶质细胞壁或木质原料;类脂组煤素质代表植物树脂;而惰性组煤素质代表炭化质原料。按其生烃能力,最强的是类脂组,镜质组次之,惰性组最差(表 1-1)。

表 1-1 各种煤岩组分的生气量对比

试样名称	受热温度 C	受热时间 h	产气率 $m^3 \cdot t^{-1}$
类脂组	500	112	482.8
含类脂组暗煤	500	112	182.4
眼球状镜质体	500	112	125.8
褐煤镜质体	500	112	124.7
丝质体(乌煤)	500	112	<33

2. 煤层含气量与煤阶有关

煤的变质演化是煤生气的主要原因。甲烷的生成量随煤变质程度的提高而增长,即随煤阶而改变(煤阶是用于确定煤所经历的煤化作用程度的专门术语,它是根据煤的挥发分含量、碳含量和镜质体反射率 R_v 来划分的)。美国的研究与实践表明,煤层甲烷含量首先取决

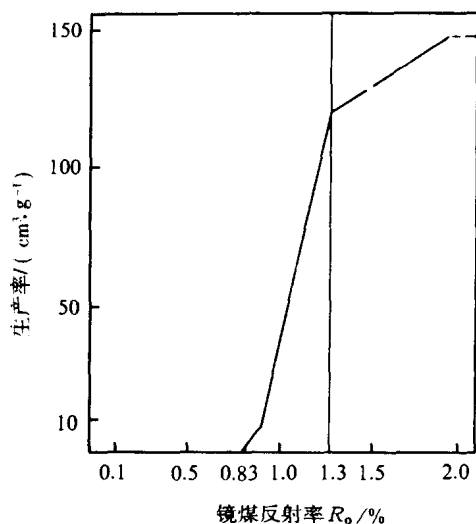


图 1-8 生气量与镜质体反射率的关系

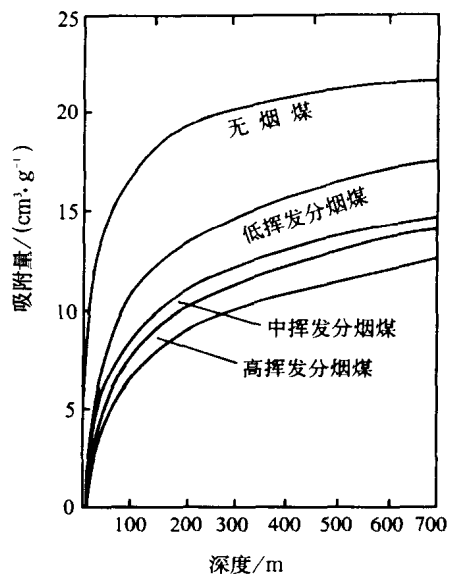


图 1-9 不同煤阶含气量和深度的关系

于煤阶,生气量较大的煤阶,甲烷含量相对亦大。根据计算,不同煤阶的生气体积,中低挥发性烟煤的生气量最大(图 1-8),分别为 $75.89\text{m}^3/\text{t}$ 和 $61.16\text{m}^3/\text{t}$,高挥发性烟煤为 $18.12\text{m}^3/\text{t}$ 。

美国的脱气试验结果表明,中、低挥发性烟煤的解吸气量最高,分别是 $7.96\text{m}^3/\text{t}$ 和 $13.43\text{m}^3/\text{t}$,而高挥发性烟煤最低,为 $4.36\sim 1.28\text{m}^3/\text{t}$ 。

3. 煤层含气量随埋深加大而增加

随着煤层埋深的加大,煤层甲烷的压力逐渐增大,封闭条件也相对变好,煤对甲烷的保存量在一定压力范围内显著增加。因此,在同等储集条件下,深部煤层的甲烷含量大于浅煤层的甲烷含量。

根据国外学者对黑勇士盆地的研究结果,煤层甲烷的最大潜力是在 305m 以上的深处。埋深在地下水位以下 153m 的浅层,因微孔毛管压力下降,部分气体已解吸扩散到大气中,故煤中含气量较少或很少。埋深超过 153m 时,煤中的含气量为煤阶和深度的函数。含气量随深度增加而增加,这已为许多研究者所证实(图 1-9)。

4. 煤层气含量与煤层顶底板围岩性能有关

一般煤层顶底板的岩性可分为油页岩型、泥页岩型、砂泥岩互层型、石灰岩型和砂岩型。这些岩层的好坏对煤层内甲烷的保存极为重要。煤层围岩以厚层泥页岩和油页岩最好;石灰岩为顶底板时,由于其溶洞发育、水文地质条件复杂,对甲烷的保存有不利影响;砂岩顶底板因孔隙大,透气性强,亦不利于煤层甲烷的保存。

5. 含气量的测定

煤层的甲烷含量是计算开采区煤层气储量、预测产气量与开采期限的重要参数之一。美国现场测定煤样甲烷含量的方法,一般采用美国矿业局 1972 年以来一直采用的直接测定法。该法采用密闭罐直接测定新鲜煤样的甲烷含量。所测得的甲烷气由解吸气、逸散气、残留气三部分组成。测量的具体步骤如下: