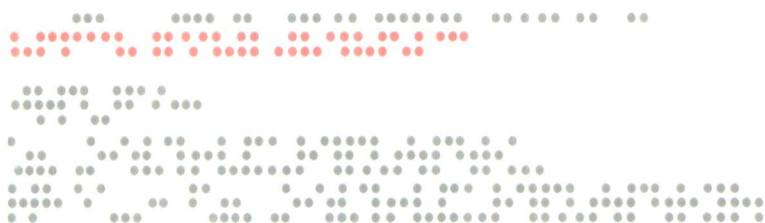


QINSHUI PENDI NANBU MEICENGQI CHUCENG DIZHI TEZHENG

沁水盆地 **南部**

煤层气储层地质特征

要惠芳 王秀兰 著



煤炭工业出版社

沁水盆地南部煤层气储层地质特征

要惠芳 王秀兰 著

煤炭工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

沁水盆地南部煤层气储层地质特征/要惠芳, 王秀兰
著. —北京: 煤炭工业出版社, 2009

ISBN 978-7-5020-3543-3

I. 沁… II. ①要…②王… III. 煤层-地下气化煤
气-储集层-研究-沁水县 IV. P618.110.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 071023 号

煤炭工业出版社 出版
(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

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 13

字数 301 千字 印数 1-1,000

2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

社内编号 6353 定价 35.00 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

内 容 提 要

本书以煤层气地质学理论为指导，系统分析和阐述了沁水盆地南部煤层气基础地质、煤田地质、煤层气地质特征，并对目前的勘探开发现状进行了评价。在详细分析樊庄区块各项煤层气储层地质特征和储层参数的基础上，对研究区煤层气富集、高渗、高产控制地质因素进行了深入分析，并对煤层气富集高产进行了预测和分区评价。

本书理论上阐述了煤层气地质学原理，实践上指明了煤层气勘探开发前景，具有理论和实践的双重指导意义。

本书可供煤层气地质与勘探开发的科技人员、煤层气地质工作者、高校有关专业师生、煤层气勘探开发决策、管理人员及投资者参考。

前 言

我国沁水盆地晚古生代太原组和山西组赋存着丰富的煤层气资源，总资源量为 $3.3 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。其南部和北部的无烟煤分布区不仅是中国重要的无烟煤工业基地，而且已经成为中国煤层气勘探开发的热点地区之一。中石油、中联公司、蓝焰公司等煤层气公司和单位近些年来相继在盆地南部的潘庄、寺庄、樊庄等区块进行了大规模的开发，垂直井最高产量达 $16000 \text{m}^3/\text{d}$ ，平均稳产可达 $2000 \sim 3000 \text{m}^3/\text{d}$ ，水平羽状井最高产量突破 $10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。沁水盆地是我国实现局部大规模煤层气开发的唯一地区。

近年来有许多学者和专家对本区煤层气地质条件和煤层气资源作过专题研究和评价，随着煤层气产业化开发的进程，尤其结合开发数据对本区煤层气富集高产因素的综合分析有着非常重要的现实意义。本书应用煤层气储层地质学原理和评价方法对研究区煤层气储层地质特征进行全面、系统的分析、评价；以沁水盆地南部樊庄煤层气开发区为例，对煤层气富集高产因素进行深入分析。主要依据研究区煤田普查勘探、煤层气勘探开发和实验成果资料以及对煤矿煤样品的初步实验分析结果对煤层气基础地质条件、煤岩学特征、煤层含气量和储量以及重要的储层特性参数（孔隙结构特征和孔隙率、割理、渗透率、吸附/解吸、构造煤、采收率、开发井生产能力等）诸多影响煤层气富集高产的地质因素进行了系统分析和评价。

本书的主要研究内容如下：

(1) 从区域地质条件入手对研究区煤层气基础条件作出充分阐述。根据前人研究成果，分析了大量原始资料和图件，尤其对地层、沉积相、地质构造作出了翔实的分析与评价，指出了基础地质对煤层气富集的控制作用。

(2) 从煤层空间形态展布、煤岩学、煤层气成分和含气量、储层物性、吸附特征、储层压力、变形特征以及可采储量、生产动态等方面对研究区煤层气储层特征进行了综合分析与评价，成功地将煤层气储层地质理论模型应用于本地区的实际研究中。

(3) 对研究区内煤储层几何特征作出评价。依据煤田普查勘探成果资料和煤层气勘探开发测井资料，做了主要目标煤层（3号、15号煤层）底板等高线图、埋深图、等厚图。指出该区主要目标煤层（3号、15号煤层）连续

性好、厚度较大，构成了煤层气富集的载体。煤层埋深、上覆地层有效厚度、地质构造等条件是控制本区煤层气含气量高、资源丰度大的主要因素。

(4) 通过煤田勘探测试、煤层气井测试和矿井煤样测试等详细资料的单独分析与综合分析，对主要目标煤层（3号、15号煤层）的煤岩学地质、煤层含气量、煤层气资源和储量都作出评价。编绘了主要目标（3号、15号煤层）煤炭工业分析指标、煤层含气量等值线图。从而定量评价了控制煤层气富集高产的物质基础和地质因素。

(5) 以勘探开发测井、实验测试资料、显微镜观测、扫描电镜观测解释为基础，对各项储层特性参数作出深入分析。编绘了各井孔隙率数表、割理数表、压汞曲线、等温吸附线、软煤分布、生产动态数表及分布等众多图件和数表。对各项储层参数特征、分布进行了总结评价。从而确定了研究区煤层气富集高产的决定因素。

(6) 在综合评价各项储层条件和特征参数的基础上对研究区煤层气富集高产进行了分区预测和评价。指出了沁水南部樊庄区块煤层气最为富集高产的小区块为西南部的蒲池—胡底小区块，其次为西北部的固县小区块，第三是东南部的樊庄小区块、西北部的固县小区块，东北部的姚庄—皇王庄小区块煤层气勘探开发程度低，煤田勘探证明各项煤层气储层指标为最低，暂定为煤层气最不富集区。

本书的主要研究成果如下：

(1) 利用煤田与煤层气勘探、煤层气开发获取的资料，编制煤层埋深图、煤层等厚线图、含气量等值线图（视实际资料而定）、地层综合柱状图、主要目标煤层底板等高线图、埋深图、各种单因素图件，对煤层气藏储层地质条件进行系统描述。

(2) 对主要目标煤层的地层、地质构造、煤岩学特征、煤层含气量、煤层气资源与储量、各项储层特性（包括孔隙性、割理与微观结构、渗透率、吸附/解吸、构造煤、可采储量和生产能力等）、多因素储层性能等都作出翔实的分析与评价。

(3) 根据煤田勘探成果资料和前人地质研究成果作出基础地质条件分析，根据煤层气勘探开发钻井和测井资料、实验测试分析结果定量评价煤储层特性参数。

(4) 根据上述各项储层评价的分析结果，总结煤层气富集高产区地质规律和控制因素，进一步预测煤层气富集高产区。

本书得到了原中国石油勘探开发研究院赵文智院长、原中国石油勘探开发研究院廊坊分院李景明副院长、太原理工大学矿业工程学院周安朝和刘鸿

福副院长的大力支持和帮助，在此一并深表感谢！

本书主要内容组成由要惠芳确定，全部内容的撰写和图表的编绘由要惠芳、王秀兰共同完成。

目 次

1 煤层气储层评价研究进展	1
1.1 煤层气储层研究状况	1
1.2 煤层气储层研究特点及存在问题	1
1.3 煤层气储层研究发展趋势	2
1.4 煤层气储层评价参数及其组合	3
1.5 煤层气储层评价参数组合及评价标准	7
1.6 结论	9
2 沁水盆地樊庄区块煤层气基础地质条件	10
2.1 研究区概况	10
2.2 地层、煤层及主要目标煤层	12
2.3 地质构造及其对煤层气藏的控制作用	31
3 樊庄区块煤岩学地质特征	52
3.1 樊庄区块宏观煤岩特征	52
3.2 樊庄区块煤岩工业分析	53
3.3 樊庄区块煤岩组分和镜质组反射率分析	62
4 樊庄区块煤层气资源和探明储量	69
4.1 樊庄区块煤层含气量	69
4.2 樊庄区块煤层气资源	75
4.3 樊庄煤层气探明储量	80
5 樊庄煤层气储层物性评价	83
5.1 煤层气储层孔隙特征	83
5.2 煤层割理及微观结构特征	96
5.3 樊庄区块煤层渗透率	104
6 樊庄区块煤层气吸附/解吸与其他储层特征	110
6.1 煤层气吸附/解吸特征	110
6.2 构造煤简析	139

7 樊庄区块煤层气可采储量及产能评价 148

7.1 煤层气储量及可采储量 148

7.2 勘探井试采及生产能力评价 153

7.3 开发井生产分析 158

8 樊庄区块煤层气富集高产评价 164

8.1 樊庄区块煤层气富集高产总评 164

8.2 樊庄区块煤层气富集高产分区评价 165

8.3 樊庄区块煤层气储层研究存在问题 170

图版..... 171

参考文献..... 194

1 煤层气储层评价研究进展

1.1 煤层气储层研究状况

对于煤层气储层研究,国外以美国为代表已经形成一套较为成熟、先进的煤层气地质理论、方法和技术。在预测评价阶段,这些理论、方法和技术的引进和借鉴很好地推动了我国煤层气勘探工作的发展。

参照国外煤层气储层研究理论和方法,国内强调煤层气储层宏观、微观特征相结合的研究,提出采用煤层气地质学与储层工程相结合,静态与动态研究相结合的方法,根据煤层气储层的特点和研究内容,分基础地质、煤岩学、吸附储集、储层物性及流体等5个特征描述煤层气储层的基本特征,其中吸附储集和储层物性特征是核心。

苏付义提出了进行煤层气储层评价所需要的参数及其组合。这些参数主要包括:煤层气储存状态及煤岩参数;煤层气储集特征参数;煤层气储层物性参数;流体特征参数;生产排采参数。将其进一步组合为煤层气展布特征参数、煤岩、煤质特征参数、储层物性参数、储层吸附储集特征参数、储层流体特征参数、储层物理特征参数、储层排采生产参数共七大类49项参数,并依据煤岩参数、储层条件及储集特性参数、物性参数等三大类12项参数的特征提出了煤层气储层参数评价标准。上述参数通常由地质调查、实验室测试、试井、测井和排采实验等方法确定。

1.2 煤层气储层研究特点及存在问题

我国煤层的地质条件从沉积到构造的演化以及煤的演化与美国相比均存在很大差异,特别是我国煤层气储层的构造复杂,构造多强烈变形,煤层结构呈碎裂状及糜棱状等,煤储层多为贫煤和无烟煤,储层物性呈三低一高(煤层压力较低,煤层渗透率低,在水压裂等强化措施下形成的常规破裂裂缝所占比例低,煤层具有较高的吸附力)的特点,且变质程度偏高。高煤级煤(贫煤—无烟煤)占49%,更具特殊性和中国特色。由于上述特点造成煤层气勘探开发难度较大,加上起步较晚,基础理论研究滞后,导致当前我国煤层气储层研究尚存在一些亟待解决的科技问题和难点。

(1) 国内外尚无公认的煤层气储层评价标准 国内没有一个国际或行业标准(近由原地矿部参照天然气储层评价拟定了一个暂行规定,已远不能适应勘探生产的实际和形势发展的要求)。国家尚未出台有关煤层气储量和资源量评价的标准(据悉在2000年上半年国土资源部储量司已委托中联煤层气有限责任公司起草《煤层气储量规范》征求意见稿)。

(2) 对煤储层特征研究及煤储层评价、分布和预测的技术还不成熟 煤层气有机岩石学、有机地球化学研究及利用其对富气、高渗优质储层的分布进行预测。有效、经济、快速、准确的地应力测定技术的研究,将层序地层学、测井沉积学理论和方法用于煤储层

特征研究及煤储层评价、分布和预测才刚刚开始,仅见有个别报道。

(3) 煤层气储层实验技术是煤层气勘探开发实验的难点。目前的测试方法和测试仪器大都是从美国的不同公司引进的。对煤储层中各项物性参数,特别是吨煤的煤层气含量和煤层渗透率等测定的仪器和方法不尽统一,缺乏科学严谨的统一规程和对比标准,影响了煤层气开发评价和资料共享。煤储层参数的各种获取手段和方法各有局限性,当前还处于探索之中。

(4) 研究煤储层特性的内容不够全面。孔隙—裂隙系统的特征及其开放性、连通性研究是煤储层特性研究的重要内容,但目前大多只是从某个侧面角度进行研究,缺乏将其宏观、微观特征及盆地构造应力场相结合的综合研究。对孔隙—裂隙系统充填历史的重建及充填期的地质背景(温度、压力等)的研究不够深入。

(5) 尚无针对煤储层特性的微区研究成果。对煤储层特征的区域(盆内及盆间)对比,煤储层孔渗特征及其影响因素的研究还有待深入。

(6) 我国煤层气储层模拟技术仅处在对国外软件的初步应用阶段。煤储层建模技术和煤层气储层数据库及知识库的深入研究尚未展开。尚无符合中国煤层气地质特点的储层模拟应用软件。

(7) 对煤层气储层分布规律还有待深入研究。将煤层气储层物性和煤变质作用类型、叠加变质期次等地质条件及沉积有机相研究相结合以探讨煤的产气能力、煤储层分布规律及横向预测问题还有待深入展开。

(8) 对煤层气新型测试技术或研究手段的应用还有待展开。如应用GIS和GRS寻找高渗区的技术研究,应用有机地球化学勘探方法和地球物理方法寻找煤层气高富集区和高渗区的研究等。

1.3 煤层气储层研究发展趋势

(1) 适用于我国煤田地质特点的煤层气地质理论得以完善、形成。与常规天然气储层相比,煤层气储层的纵、横向变化要大得多,其以陆相、泥炭沼泽相为主,非均质性更强。应更重视煤储层三史(构造运动史、沉积史、生烃史)、水文地质条件及储层压力的研究,重视研究煤层气高产富集的因素和保存条件、煤层气圈闭类型、构造应力与煤层气富集的关系以及在变质程度较高的含煤区如何寻找高产富集区等。

(2) 将更重视煤层气地质选区评价研究。建立并完善一套煤层气的选区、评价技术、研究煤储层参数测试方法、评价技术和评价标准,不同条件下脱吸附规律,煤层气富集成藏条件、成藏模式、成藏类型,煤层气富集高产因素与综合评价,煤层气统一资源量计算方法、资源量级别的建立等。

(3) 对煤层气渗流、储集和吸附特征这一煤储层核心问题的研究。将三场(地温场、地压场、地应力场)与油气成藏的关系等理论应用于煤储层高渗透富气机理的综合研究将取得突破。从最新的沉积有机相、层序地层学及其他新技术方法等角度进行有利于煤储层分布规律的预测研究。

(4) 对影响煤层渗透率的主要因素的研究。对孔隙—裂隙系统(包括割理、节理)的生成、发育及其在煤层演化过程中的变化规律、地质构造运动的影响等及煤层气在煤储层中的吸附、聚集和解吸规律等基础理论进行研究、探索。

(5) 对煤储层特性进行微区研究 利用煤样光片、铸体薄片、超薄切片技术及透射电镜、激光共聚焦扫描电镜等仪器对煤储层特性进行微区研究,以探讨微区成分、微孔隙—裂隙系统特征、微孔隙—裂隙充填物特征、充填历史及其与宏观孔隙—裂隙系统的关系、对煤储层性质的影响等。

(6) 加强实验研究 利用先进的分析仪器设备对煤储层物性参数的测定和区域范围的可比性研究,以及前述的一些煤层气储层研究中尚未解决的科技问题和难点将有一定程度的突破。

(7) 加强勘探区块的煤储层特征、分布及预测和资源评价等研究工作。

1.4 煤层气储层评价参数及其组合

在进行煤层气勘探开发的过程中,不仅将煤层作为气源岩加以研究,而更重要的是将其作为煤层气储层进行评价。煤层气作为储气层与常规天然气储层有许多显著的差别。从认识煤层气储层的基本特征入手,结合煤岩学、油气层物理学和渗流力学等理论,通过地质调查、实验室测试、试井、测井和排采试验等手段,总结提出了一套表征煤层气储层各项特征的评价参数,这些参数可分为如下几类。

1.4.1 煤层气储层赋存状态及煤岩参数

这类参数包括煤层厚度、产状、分布面积以及埋藏深度,它们共同描绘了煤层气储层的空间几何形态,是计算煤层气资源量和预测开发前景和数值模型必不可少的基础。上述参数通常由钻井、测井和地质填图等方法来确定。煤层气储层的煤岩参数包括以下几个。

1.4.1.1 工业分析参数

包括灰分、水分、挥发分和固定碳。其中灰分产率的评价意义最大,它不仅反映煤层的纯度,吸附气体的潜力,而且还是计算和研究含气量、吸附等温线的重要参数。水分含量是恢复煤层地层条件,改进实验参数和条件的重要依据。挥发分及固定碳与其他分析指标相结合,可确定煤的变质程度、划分煤阶以及指导煤层气勘探开发选区。

1.4.1.2 宏观煤岩类型

日前在煤岩学领域,划分宏观煤岩类型的定量标准虽然大致相同,但也存在着不少细微差异,为了研究和生产需要,在综合各家划分标准的基础上,以煤岩的平均光泽强度、煤岩成分含量、比例及组合为依据,制定了一个划分标准(表1-1)。

表1-1 煤层气储层宏观煤岩类型划分标准

宏观煤岩类型	光亮型煤	半亮型煤	半暗型煤	暗淡型煤
主要特征	主要有镜煤和亮煤组成,光泽很强,贝壳状断口,性脆易碎,割理发育	以亮煤为主,有时由镜煤、亮煤、暗煤组成,也可夹丝炭,平均光泽强度较光亮型煤稍弱,条带状结构明显,割理较发育,棱角状或阶梯状断口	由暗煤和亮煤组成,常以暗煤为主,有时可夹镜煤和丝炭的线理细条带或透镜体。光泽较暗。割理不发育,硬度、相对密度、韧性较大参差状断口	以暗煤为主,有时夹少量镜煤、丝炭或夹矸透镜体,光泽较暗,质地坚硬,韧性强、相对密度大,割理不发育,棱角状或参差状断口
凝胶化组分/%	>80	60~80	40~60	<40

根据具体情况和工作需要,还可划分出多种过渡类型,如光亮一半光亮煤、半亮一半暗型煤。

1.4.1.3 煤岩显微组分参数

通过对煤岩显微组分的研究,不仅有助于确定煤的成因、煤的变质程度,还可以根据显微煤岩类型的组合特征进行煤层的对比。通常根据国际煤岩学术语委员会的显微组分分类方案,将显微组分分为3个组,即镜质组、壳质组和惰质组。

1.4.1.4 煤岩机械力学性质参数

煤岩机械力学性质与常规油气储层有很大区别,主要表现在杨氏模量小,泊松比大,易破碎,抗压、抗拉及抗剪强度均低于常规油气储集层。煤岩机械强度的大小与煤的变质程度、埋藏深度和煤层压力以及含水饱和度有关,总的趋势是:煤的机械强度随埋深、压力的增大,煤变质程度的加深和含水饱和度的降低而增加。

1.4.2 煤层气储集特征参数

煤层气呈3种形态保存于煤层中:以吸附状态吸附于有机质(煤)表面上,以游离状态存在于孔隙或裂隙中,以溶解状态溶于煤层水中。其中呈吸附状态赋存于有机质表面的气体占全部煤层气的80%以上。因此,在研究煤层气储层储集特征时,不仅要了解煤层含气情况,还要认识煤层的吸附/解吸特征以及影响这些特征的温度和压力因素。

1.4.2.1 煤层含气量

含气量数据是煤层气勘探开发过程中计算资源量、预测产能所必需的主要参数,以目前常用的测量煤层气含气量的方法——直接法为例,煤层气总含气量分为3部分,即逸散气量、解吸气量和残余气量。

煤层含气程度受多种因素制约,概括起来主要有:煤变质程度、构造作用、煤层温度和压力等。

另外,根据含气量测定数据,还可以求出吸附时间参数。吸附时间是解吸63%的气体所对应的时间。据此定义,根据含气量测试数据,首先计算逸散气量和实测解吸气量之和,并乘以63%,得到63%的气量数据,然后用内插法或作图法直接在解吸曲线上得到吸附时间。吸附时间是表征解吸速度的参数,它对煤层气井的产气量有重要影响。敏感性模拟表明,吸附时间越短,早期产量越高。考虑地层条件,只有完整煤芯解吸求得的吸附时间才是较为可靠的。

1.4.2.2 煤岩等温吸附参数

煤对甲烷的吸附能力与温度和压力有关。当温度一定时,随压力升高吸附量增大,当达到一定高的压力时,煤的吸附能力达到饱和,再增加压力,吸附量也不再增加。煤的上述吸附特征一般用Langmuir方程描述。煤对甲烷的吸附是一个物理过程,当煤层压力降低到一定程度时,被吸附的甲烷与微孔隙表面分离,即解吸。吸附与解吸是一个可逆过程。煤的吸附、解吸特征是我们赖以进行煤层气开发的基本原理之一。通过测试吸附等温线,并与其他参数相结合,可以获得以下3个重要的煤层气储层评价参数。

1. 兰氏体积和兰氏压力

兰氏体积是衡量煤岩吸附气体能力的量度,其值反映了煤的最大吸附能力。兰氏压力值是影响吸附等温线形态的参数,在煤层气数值模拟中是一个重要的输入参数。

2. 临界解吸压力

临界解吸压力是指煤层中的甲烷气开始解吸的压力点。该值的确定一半是采用吸附等温线与煤层含气量数据结合而得到的, 根据临界解吸压力和储层压力, 可以了解煤层气早期排采动态, 为制定排采方案提供重要依据。

与美国黑勇士·圣胡安盆地煤层气开发地区主要煤层相比。我国各个试验区的临界解吸压力值均偏低。许多文献表明, 美国这些地区煤层的临界解吸压力与初始地层压力接近。二者之比为 0.9~1.0, 即稍有压力降低, 即可产气。这一点与我国的实际情况不同, 在规划煤层气开发部署和方案时, 应充分注意这一点。

3. 扩散系数

扩散系数是指单位面积, 单位浓度梯度下气体的扩散速率, 用菲克定律表示为

$$\frac{dv}{dt} = -SD \frac{dc}{dx}$$

式中 dv/dt ——单位时间内通过 S 截面扩散的分子数;

dc/dx ——气体在 S 截面附近的浓度梯度;

S ——截面积;

D ——扩散系数。

1.4.2.3 储层压力和储层温度

1. 储层压力

储层压力对煤层气产出有一定影响, 这种影响主要取决于储层初始压力与临界解吸压力的差值。如果储层初始压力与临界解吸压力的比值趋近于 1, 则表明煤层的含气状态趋于饱和, 有利于早期产气; 如果临界解吸压力比储层初始压力低很多, 势必需要长期排水降压才能产气。

2. 储层温度

由于煤层气储层的重要特性——吸附等温特性与温度有关。因此在煤层气储层评价中, 不容忽视储层温度这一重要的储层参数。对于同一煤样, 采用不同温度测得的吸附等温曲线形态不同, 随温度升高, 吸附等温线向下方移动。另外, 温度不同也会对吸附时间的求取产生一定影响。因此在测试煤层气储层的某些重要特征参数时, 温度是一个必须考虑的因素, 一般采用煤层的实际温度作为测试温度。

1.4.2.4 煤层气储层物性参数

1. 煤的孔隙结构特征

煤中的孔隙按其结构可分为裂隙和基质孔隙两类。裂隙按其结构可分为内生和外生两种。内生裂隙又称割理, 是煤化作用过程中形成的。外生裂隙是构造应力造成的、由于煤岩本身的特征和局部构造应力场的不同, 外生裂隙的发育状况也不一致。在构造应力集中的地区, 外生裂隙与内生裂隙重叠发生、改造或使内生裂隙复杂化, 甚至使煤成为粉末状; 而在构造应力微弱区, 煤中外生裂隙不发育。

基质孔隙是指发育在煤的基质块体中的孔隙。煤的基质孔隙可分为大孔(直径大于 50nm)、中孔(直径 2~50nm)和微孔(直径小于 2nm)。煤的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。由于煤层气主要被吸附在孔隙的内表面上, 因此煤中绝大部分气体储集在微孔隙中, 可见微孔是决定煤层含气量的关键控制因素之一。

孔隙介质的毛细管压力决定于孔隙大小分布、流体和岩石性质及饱和度。由于煤层特

殊的孔隙结构,造成其毛管压力曲线也与常规油气储层显著不同。煤岩的毛管压力—饱和度特征如下:

- a) 束缚水饱和度高,一般为 40% ~ 70%, 或者更高;
- b) 割理孔隙越发育,反应割理内流动的水平段越明显;
- c) 随着上覆压力曲线向右移动,束缚水饱和度增加,反应割理孔隙的水平段逐渐消失。这主要是由于随压力的增加,割理孔隙逐渐减小所造成的。

2. 孔隙率

煤岩的孔隙由裂隙和基质孔隙组成,因此煤岩孔隙率可分为基质孔隙率和割理孔隙率,二者之和即为煤岩的总孔隙率。

煤层气储层工程研究中,采用不同的方法可求取割理孔隙率和基质孔隙率。由于氮的分子直径小,可以进入基质孔隙,而水只能进入大空隙和割理。因此用水测定的孔隙率仅代表宏观孔隙率(割理和大孔),而用氮气测定的孔隙率则为宏观孔隙率和基质孔隙率之和。煤岩孔隙率与常规储层孔隙率的含义有所不同。常规储层孔隙率是衡量岩石及空隙储集流体能力的一个重要量度。而煤岩中基质孔隙为气体储集的主要场所,不含可动水,这类孔隙占煤岩总孔隙率的 60% ~ 80%,但由于煤中气体主要以吸附气体存在,所以不能简单地用孔隙体积来估算煤层的储气能力和储气量。在原始状态下,煤岩的割理孔隙中充满地下水,这类孔隙提供了流体流动的通道。但煤层中这类孔隙的体积仅占孔隙体积的 20% ~ 40%,加之煤层总孔隙率本身较低,一般仅为 2% ~ 3%,这就造成了煤层中流体的流动空间较常规储层要小得多的结果。这就是煤层渗透率低,往往需要强化改造的根本原因。

3. 孔隙体积压缩率

随上覆地层压力增加,煤层的孔隙率急剧减少。孔隙率与有效压力相关的理论曲线是假设固体基质是非压缩性的,容积的变化仅仅是由于孔隙空间的改变,经推导可得到两者的关系式,孔隙率变化不仅受上覆压力的影响,也受孔隙体积压缩率大小的控制,由于煤岩孔隙体积压缩率一般比砂岩大 1 ~ 2 个数量级,因而使煤岩孔隙率随压力的变化比砂岩更明显。这也是开发过程中煤层气储层比常规砂岩储层物性参数变化显著的原因。

4. 渗透率及气、水相对渗透率

1) 渗透率

渗透率(指绝对渗透率)作为衡量多空介质允许流体通过能力的一项指标。理论上与通过的单相流体性质无关。对于煤层气储层,用气体和水测得的渗透率差别较大,气测渗透率大于水测渗透率。

在所有评价煤层气储层的物性参数中,煤层渗透率被称为最重要的参数之一,因为它是最终影响煤层气产量高低的关键参数。

由于煤层气储层本身的机械力学性质,使得煤层气储层渗透率这一参数很难测定。目前的手段有 3 种:实验室岩芯测定、不稳定试井、数值模拟,但每种方法都有一定的局限性。同一试验区的一层位,试井获得的渗透率比试验检测结果要高得多。造成差别的原因在于:岩芯渗透率的代表性受到局限,试井渗透率探测半径一般都在 10m 以上,而一般多井测试得到的渗透率值又比单井得到的高约 20%,如果一个地区已进行煤层气开采,获得较长时间的气、水产量数据,采用数值模拟手段获取的煤层气储层渗透率,可能与实

际煤层气储层渗透率更接近。

2) 气、水相对渗透率

相对渗透率是描述煤层气储层割理网络中气、水两相流动状态的重要参数。在煤层气开采处于气、水两相流动状态时,气、水产量受相对渗透率的影响明显,预测煤层气生产动态也需要相对渗透率资料。由于不确定因素多,加上试验测试技术上的限制,精确地测定煤层气储层的相对渗透率在实验室难以完成。在有生产史的井中,利用气、水产量数据,通过生产史拟合可以得到相对渗透率曲线。

5. 流体特征参数

对煤层气生产来讲,流体主要是指产于煤层中的气和水。

6. 气体成分参数

测定煤层气气体成分,在勘探阶段可用于研究评价煤层气的特征,进而用于判断地层水是目的层的水还是相邻含水层的水,抑或是工程作业压入的流体。水化学成分测试是常规油气勘探开发的测试项目,煤层气储层评价中也借用这种经典方法,用以提供水样的各种离子含量、水矿化度、水型及水样的 pH 值等参数。另外,为了煤层气储层评价以及储层模拟的需要,也经常需要获取气、水的高压物性参数。

1.4.3 生产排采参数

煤层气开采的基本方式是排水降压采气。根据煤层气在储层中的流动状态。煤层气过去的开采大致需要经历单相水流动→气水两相流动→单相气流动这样 3 个过程。为了对煤层气生产动态进行预测,常常采用数值模拟的方法,首先对煤层气井的生产历史进行历史拟合,以建立较为可靠的地质模型,在此基础上对产能进行预测。为了使产能预测建立在可信的基础上,在生产排采过程中,不仅需要获取产水量、产气量、液面深度、套压等参数,而且要连续记录排采数据数月以上,才能取得较好的模拟效果。

1.5 煤层气储层评价参数组合及评价标准

1.5.1 煤层气储层评价参数组合

煤层气储层评价是一项复杂的系统工程,在整个评价过程中,需要地质、气藏工程、钻井工程和生产工程技术人员互相配合。在实际工作中,对煤层气储层评价参数的全部和大部分都进行深入的探索和研究,特别是在煤层气勘探开发初期,由于技术、工程手段、实验方法和仪器等方面的限制,仅能获取有限的煤层气储层特征参数。如何集中有限资金、设备和技术人员,最大限度地获取煤层气储层评价参数,是我们在煤层气储层评价中碰到的一个难题。苏付义根据煤层气储层这一特殊储层类型的特点,提出下列煤层气储层特征参数的组合(表 1-2),其中包括七大类共 49 项参数,在该表中也提出了某项参数的最佳获取方法。提出该评价参数组合的主要依据如下:

- 该组合参数能反应煤层气储层煤岩特征、储集能力和流体能力的基本面貌;
- 在反应煤层气储层某一方面的特征的所有参数中,选择最能反应这一方面特征的参数与组合,对于相对次要的参数,根据它与其他参数的相互关系进行取舍;
- 本参数组合中的参数是采用目前的测试手段能够获得的。

1.5.2 煤层气储层参数的评价标准

为了在煤层气勘探开发的初期对煤层气储层特征有一个定性或半定量的认识和评价,以

表 1-2 煤层气储层特征参数组合

参数类型	分析项目	参 数	常用的获取方法
展布参数层	厚度、埋深、分布、产状	厚度、埋深、分布、产状	钻井、测井、地质调查
煤岩、煤质特征参数		宏观煤岩类型、结构构造	煤芯描述
	显微组分鉴定	镜质组、壳质组、惰质组、矿物成分含量	实验室分析
	镜质体反射率测定	镜质体反射率	实验室分析
	工业分析	水分、灰分、挥发分、固定碳	实验室分析
	相对密度测定	相对密度	实验室分析、测井
	岩石力学性质	抗压强度、杨氏模量、泊松比	实验室分析、测井
储层物性参数		割理密度	煤芯描述
	孔隙率测定	总孔隙率、割理孔隙率、孔隙体积压缩率	实验室测试、数值模拟
	渗透率测定	气测渗透率、水测渗透率、气、水相对渗透率曲线	实验室测试、不稳定试井、数值模拟
	毛细管压力测试	毛细管压力曲线	实验室测试数值模拟
储层吸附特征参数	含气量测定	损失气量、吸附气量、残余气量、总含气量、吸附时间	井场及实验室测试、测井
	等温吸附测定	兰氏体积、兰氏压力、扩散系数	实验室测定
		临界解吸压力	计算试生产
流参数体	气、水分析	水型、氯根含量、气体组分、气、水高压物性	实验室分析
物理参数		地层压力、地应力、地层温度	测试、测井
排采参数	生产计量	气产量、水产量、动液面、套压	试生产

利于确定进一步的工作方向,根据试验区实际资料,借鉴国外成功经验,初步提出了煤层气储层参数的评价标准(表 1-3)。需要说明的是,由于煤层气储层参数间有着千丝万缕的联系,该表中的评价标准不能孤立地应用,在对煤层气进行静态评价时,首先要注意主要评价参数是指煤层厚度、含气量和煤层渗透率,其中前两项可以决定煤层气的资源丰度,而后一项则反映煤层中流体的流动能力。然后再综合取得的所有参数进行分析、对比才能对煤层气储层特征有一个客观的评价。

表 1-3 煤层气储层参数评价标准

参数类型	参 数	评 价 标 准		
		好	中	差
煤岩参数	$R/\%$	0.7 ~ 1.6	1.6 ~ 2.0	<0.7 或 >2
	煤岩类型	光亮煤	过度类型	暗煤
	密度	1.4 左右	1.4 ~ 1.6	>1.6
	灰分含量/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-1}$)	低	中 ~ 低	高