

# 煤储层岩石物理研究与煤层气勘探选区及开发<sup>①</sup>

王生维 陈钟惠 张 明 庄小丽 杨生科 缪素青

(中国地质大学, 武汉 430074)

近年来,煤储层岩石物理研究工作取得了很大进展,研究内容从煤储层孔隙、裂隙系统逐步扩展到煤储层渗透性评价以及含气饱和度和煤层气封闭的研究;从煤储层的固相特征研究逐步延伸到煤储层中流体生成、储存与孔隙、裂隙内在关系的分析;从测试煤的物理力学特性发展到对煤储层可改造性评价;从单项参数测试评价发展到对煤层气藏可采性的综合评价;从对煤层气的产出特征研究发展到对煤层气藏成藏条件的综合分析。煤储层的分析测试技术也在不断发展与完善,煤储层岩石物理描述参数已由定性逐步向半定量和定量方向发展。目前已初步形成依托矿井人工煤储层露头进行煤储层岩石物理研究的一整套工作方法。由于充分利用了几乎存在于所有煤矿区的矿井人工露头,使得煤储层岩石物理研究不受勘探井的限制,获取的可靠地质信息愈来愈丰富,评价的领域不断扩大,可靠性在不断提高,已初步形成了与煤层气钻井参数评价互为补充,相互验证的格局。展望煤储层岩石物理性质研究的发展方向,作者认为煤储层岩石物理研究对煤层气勘探选区及开发具有十分重要的应用前景。

关键词 煤储层岩石物理 技术框架 勘探选区及开发 应用前景

第一作者简介 王生维 男 41岁 副教授 煤层气地质

1991年以来,我们在中国东部广泛开展了煤储层岩石物理研究,进行过煤储层岩石物理评价的煤区已达十多个。我们对煤储层岩石物理的研究经历了一个不断深化的过程(刘焕生等,1995;王洪林等,

1995;刘洪常等,1995;叶建平,1995;王生维等,1995,1996)。从最初注意煤储层与常规储层的不同(表1)(王生维等,1995),到目前对煤储层岩石物理的理论及测试方法技术体系框架的探索,其主要

表 1 煤储层与砂岩和碳酸盐岩储层特征对比表

	砂岩储层	碳酸盐岩储层	煤储层
各向异性	均一性好,规律性好	均一性差,规律性取决于碳酸盐岩类型	极不均一,但有规律
孔隙度	大	小—大	极小—中等
孔隙裂隙类型	粒间孔隙,杂基微孔隙、矿物解理缝、纹理及层理缝、溶蚀孔隙、裂缝等	原生孔隙、溶蚀孔隙、生物钻孔和潜穴孔隙、收缩孔隙、裂缝等	植物细胞残留孔隙、基质孔隙、次生孔隙、微裂隙、内生裂隙和节理
主要孔隙组合类型	粒间孔隙型	孔隙—裂隙型或裂隙型	孔隙—裂隙型
喉道类型	颈状、片状、弯曲状和管状喉道	管状、片状及孔隙缩小形成的喉道	针管网状、小颗粒间收缩喉道
喉道弯曲度	小	变化大	小—极大
渗透性	好	差—好	极差—较好
孔隙度与渗透性的关系	相关性较好	相关性差	具相关性、可预测
采用的强化工艺措施	容易	要有针对性	更要注意针对性
主要地质控制因素	沉积	沉积、构造、生物	煤相、煤级与变质作用(类型)、构造作用、地下流体充填和围岩岩性等

① 国家“八五”攻关课题 85-102-11-01-02 专题成果

表现是：(1)煤储层岩石物理研究的内容在不断拓展，从最初仅对煤储层孔隙、裂隙系统的研究，逐步深入到对渗透性的评价和含气饱和度与煤层气藏封闭的研究，以及煤储层可改造性和煤层气可采性综合评价研究；(2)从现象和形态描述逐步深入到对煤储层裂隙形成机理和对煤层气藏形成条件的分析；(3)分析测试方法也在不断充实和完善；(4)随着理论研究的不断深入和测试方法技术的进步，通过煤储层岩石物理研究预测煤层气可采性的可靠性在不断提高。本文试图对作者“八五”煤储层岩石物理研究成果和近年来的研究成果进行初步概括，提出煤储层岩石物理研究的理论与测试方法体系的框架，并展望煤储层岩石物理研究的若干服务方向。

### 1 煤储层岩石物理性质研究的理论与测试方法体系框架

煤储层岩石物理性质研究应包括哪些内容，对此目前煤层气地质工作者尚无十分明确的一致看法。本文将煤储层岩石物理性质广义理解为所有与煤层气勘探选区及开发相关的岩石物理性质。由于煤储层生储合二为一的特点，故煤储层岩石物理的研究内容除与常规油气勘探中的油层物理一样，包括孔隙、裂隙体系分析、渗透性分析、含气饱和度分析外，还应包括煤储层的可改造性和煤层气藏的封闭以及煤层气的解吸特征和煤层气成藏条件分析。以上对煤储层岩石物理研究内容范围的界定不免有包罗万象之嫌，但这些方面的确存在密不可分的内在联系，只有综合分析才更利于为煤层气勘探选区与开发服务。本文从 7 个方面对煤储层岩石物理的理论与测试方法体系框架进行概括。

#### 1.1 煤储层的孔隙、裂隙系统

煤储层中的孔隙、裂隙均十分发育。它们是煤层气储存的重要场所，也是煤层气解吸、扩散与渗流的通道。本文从煤层气采出角度提出了煤储层孔隙、裂隙系统的划分及命名方案(表 2)。

煤储层孔隙、裂隙系统研究是煤层气解吸特征、煤储层渗透性、煤层气藏封闭类型及煤储层可改造性研究的重要基础。煤储层孔隙、裂隙系统分析的主要内容包括孔隙和裂隙类型、煤基岩块孔(微裂)隙度测定及内生裂隙的孔隙度测定、主要裂隙的充填特征等。孔隙结构分析、裂隙空间配置及其与孔隙关

表 2 煤储层孔隙、裂隙系统划分及术语表

类型	孔隙、裂隙名称	尺 度	分布位置
孔 隙	植物细节残留孔隙	几微米至 零点几毫米	煤基岩块内
	基 质 孔 隙		
	次生孔隙(气孔)		
裂 隙	微 裂 隙	几毫米至几厘米	煤岩分层内
	大裂隙 节理 { 外生节理 气胀节理		

系的分析也是十分重要的内容。完成上述研究的最理想场所是井下人工煤储层露头，这是钻井所不能取代的。

#### 1.2 煤层气的解吸特征

煤层气解吸特征是煤层气可采性评价的一个重要参数，在我国高煤级煤区进行煤层气勘探选区时这个参数尤为重要。

从煤层气采出角度，可将总含气量分为两部分。一部分为可解吸气(包括逸散气和解吸气)，另一部分为残留气。众所周知，解吸气量是通过降低储层压力可采出的理论可采气量，而残留气是不可采气量。制约煤层气解吸率的关键是煤基岩块的大小以及煤基岩块内的孔隙和微裂隙发育特征(刘洪常等，1995；王生维等，1995)。已有的大量实践表明，当煤基岩块小时，解吸率高且解吸速度快。煤基岩块内广泛发育的微裂隙对提高煤层气的解吸速度和解吸率均十分有益，而不同类型的孔隙所起的作用则不尽相同。保存较好的植物细节残留孔隙的有效孔隙率高，有益于提高煤层气的解吸率。基质孔隙的有效孔隙率低，煤层气的解吸率低。次生孔隙对煤层气解吸的影响比较复杂。目前初步识别出两种情况，一种是次生孔隙的适度发育在提高煤基岩块总孔隙度的同时，也增加一定的有效孔隙率，这有益于提高解吸率；另一种情况是煤储层受到热接触变质作用形成天然焦或半天然焦使次生孔隙极度发育，煤基岩块总孔隙度大大增加，但含气量和解吸率都很低。

#### 1.3 煤储层的渗透性

煤储层的渗透性主要是由裂隙提供的。渗透性大小取决于裂隙系统的发育特征，而后者又在某种程度上受地应力作用的影响。已有的研究表明，就浅埋(<1000m)煤储层而言，地应力主要影响节理缝

中国自然科学核心期刊

ISSN 1001-6112

# 石油实验地质

SHIYOU SHIYAN DIZHI

1997年 第19卷 第2期



EXPERIMENTAL PETROLEUM GEOLOGY

Vol. 19 No. 2



地质矿产部石油地质海洋地质局  
中国地质学会石油地质专业委员会



经过“八五”攻关研究,目前含气量测定,等温吸附分析和煤储层渗透率的测试方法已较为成熟。上述方法技术标准在国内基本趋于一致,并且大部分已与美国的测试方法并轨。但煤储层岩石物理性质分析的其它测试方法还远不能满足当前对煤层气可采性评价的要求。已有的实践证明,在借鉴常规储层岩石物理的指标体系的基础上加以改进,从已有煤分析测试技术中遴选部分测试方法并加以改进是一个好途径。通过遴选得出的应用效果比较好的分析测试方法技术主要有:①以显微分析为主并辅之以宏观测量的煤储层孔隙裂隙结构特征分析;②煤基岩块孔(微裂)隙度的测量方法;③煤内生裂隙孔隙度的测量分析法;④煤储层背景渗透率的煤标本渗透率测量方法;⑤煤物理力学性质的测量方法及配套取制样技术;⑥煤比表面的低温氮吸附测定法;⑦测定煤孔隙结构的压汞法;⑧煤储层裂隙分布特征的分形统计等。

煤的易碎性、热敏感性及基质可压缩性是选用与移植常规储层岩石物理测试方法时首先要考虑的问题,其次是解决如何选取代表性样品才能既照顾到煤储层不均一性又最大限度地减少测量的样品数的问题。实践表明,详细的煤储层人工露头观察研究可以很好地解决样品代表性问题。煤储层人工露头观察不仅可获得高质量的样品,而且也可为查清煤储层岩石物理各参数之间相互关系提供有价值的证据。由于人工露头观察条件差,许多现象又具有隐蔽性,因此需要耐心与细致,观察记录应遵循一定的程序和标准。

## 2 煤储层岩石物理性质研究在煤层气的勘探选区及开发中的应用

煤储层岩石物理性质研究是应煤层气勘探选区的需要而产生的,它的发展仍然要受到煤层气勘探选区及开发的强有力牵动。煤储层岩石物理仍是当前煤层气勘探选区及开发研究的薄弱环节。煤储层岩石物理性质研究可服务于煤层气勘探选区及开发的如下 3 个方面。

### 2.1 从已选出的有利区或目标区中遴选可采性好的靶区

经过 40 多年大规模的煤田地质勘探,特别是通过近几年各部门的努力,对中国东部埋深 1000m 以

内的煤层气资源情况已有了较全面的了解,并且对全国各主要煤区的煤层气资源量进行了计算或估算。经过比较,初步选择出一批有利区与目标区,其主要依据是煤储层的含气量和资源丰度,其次为煤厚、埋深和构造条件等,这些工作为下一步遴选靶区奠定了坚实的基础。为遴选靶区,必须对初选出的有利区或目标区从煤层气可采性角度进行优劣对比,而进行煤层气可采性评价的核心是进行煤储层岩石物理研究。完全有理由相信,通过深入细致的煤储层岩石物理研究,可以达到选中靶区的目的。同时通过研究实践,也会大大促进煤储层岩石物理研究理论的完善和测试方法技术的提高。

### 2.2 对埋深 1000~2000m 煤储层的煤层气可采性进行评价与预测

对埋深 1000~2000m 煤储层的煤层气可采性进行评价是一个极富吸引力和挑战性的领域。已有的资料表明,我国埋深 1000~2000m 的煤层气资源十分丰富,且具有比埋深 1000m 以内的煤层气藏更良好的封闭条件,其中不少区块具有自然地理条件好,离用户近和可利用现有天然气管线进行输集的优势。此外,开发这一深度的煤层气资源也不与煤炭生产相冲突。目前对这部分煤层气的资源量已有初步了解,而突出的薄弱环节是对煤层气可采性的研究。应用建立在浅部煤储层人工露头观察研究基础上的煤储层岩石物理模式来进行类比分析,可以科学地解释深埋藏区有限的实物资料和地球物理资料。若离开了煤储层岩石物理模式的正确应用和可靠的地质类比分析,要想对深部煤层气可采性做出准确判断是不大可能的。遗憾的是这一行之有效的原理与方法至今尚未被应用。

### 2.3 在煤层气开发区,评价由煤储层岩石物理性质空间不均一性导致的煤层气可采性变化程度及其对储层的总体影响

虽然目前我国的煤层气大规模商业化开发尚未展开,但经过“八五”以来的工作,已选定了若干开发前景十分良好的区块,有的还进行了小型井网的试验。可以预期一旦煤层气利用的下游条件具备,会在这些区块很快进行大规模商业开发。由于煤层气可采性与煤储层岩石物理性质的内在紧密联系,在开发过程中人们将会发现因煤储层岩石物理的不均一性而导致煤层气可采性在很小范围内急剧变化。这种由于煤储层不均一性引起的煤层气可采性变化将造成两方面的后果,一是使得某一特定范围内的煤

层气可采储量有巨大误差,二是导致实现开发设计方案的种种困难和资金浪费。采用煤储层岩石物理研究手段解决这一难题不仅比打密集的煤层气井节省费用,而且效果明显。作者建议在若干煤层气开发前景好的区块在规划大规模开发之前进行煤储层岩石物理不均一性研究并就其对煤层气可采性的影响作出评价。

### 3 结论与建议

(1)煤储层岩石物理的理论测试方法技术框架可以大致概括为 7 个方面:①煤储层的孔隙、裂隙系统分析;②煤层气解吸特征确定;③煤储层渗透性评价;④煤储层含气饱和度及煤层气藏封闭特征分析;⑤煤储层可改造性评价;⑥煤层气藏形成条件分析;⑦建立与完善煤储层岩石物理测试方法技术体系。

(2)十分详细的煤储层露头观察是研究煤储层岩石物理最主要和有效的手段之一。它一方面可以直接获得上述煤储层岩石物理研究前 6 个方面的诸多信息,另一方面也是进行取样进一步分析的基础。

(3)煤储层岩石物理研究今后一段时间内可服务于如下 3 个方面:①通过煤层气可采性评价遴选靶区;②预测和评价埋深 1000~2000m 煤储层的岩石物理性质,为勘探选区服务;③研究煤储层不均一性对煤层气商业开发的具体影响。

(4)基于煤储层岩石物理研究对煤层气勘探选区及开发的重要性,建议在煤层气勘探选区及开发的不同阶段均进行相应的煤储层岩石物理研究,并将这一要求纳入勘探规范(或规范草案)中。

#### 致谢:

作者首先感谢华北石油地质局梅世昕、陈晓东同志对研究工作的大力支持与精心指导,感谢张文惠、赵舒等同志的一贯关心与支持。作者也要感谢众

多矿务局与煤矿为研究工作顺利完成所提供的有力支援。此外,研究工作始终得到了中国地质大学(武汉)资源学院和科研处、煤田教研室领导和同志们的关心和全力支持,在此致以衷心的感谢。

#### 参 考 文 献

- 1 刘焕杰,秦勇,曾勇等.煤层甲烷中孔裂隙系统发育的非均质性及其岩石学评价方法.煤层气开发与利用国际会议论文集,1995,43~51
- 2 王洪林,徐嘉谟,叶建平.平顶山矿区二:煤储层主要特征及其开发潜力.煤层气开发与利用国际会议论文集,1995,133~143
- 3 刘洪常,宁德义,王飞川等.中国煤的孔隙性及其对煤层气开发的影响.煤层气开发与利用国际会议论文集,1995,213~219
- 4 叶建平.煤层渗透率研究.煤层气开发与利用国际会议论文集,1995,233~235
- 5 王生维,陈钟惠.煤层气勘探选区中的煤层气可采性研究.煤层气开发与利用国际会议论文集,1995,36~38
- 6 王生维,陈钟惠.煤储层孔隙、裂隙系统研究进展.地质科技情报,1995,(1),53~59
- 7 王生维,陈钟惠,张明.煤基岩块孔裂隙特征及其对煤层气中气产出的意义.地球科学—中国地质大学学报,1995,(5):557~561
- 8 王生维,张明,缪素青.煤基块孔(微裂)隙度的测量方法.地质科技情报,1996,(2),68~70
- 9 王生维,张明,庄小丽.煤储层裂隙形成机理及其研究意义.地球科学—中国地质大学学报,1996,(6)
- 10 王生维,李思田,庄新国.抚顺煤田古城子组煤相及煤质特征.第四届全国煤岩学学术讨论会论文选集,1995,29~32
- 11 王生维,张明,庄小丽.煤层气藏圈闭类型研究.96'国际采矿技术研讨会论文集,1995
- 12 王生维,张明.东胜煤田补连塔矿煤物理力学特性试验研究.岩石力学与工程学报,1996,(4)
- 13 王生维.伊敏盆地五牧场区煤变质作用及煤层气地质特征研究.中国煤田地质,1996,(4)
- 14 王生维,陈钟惠,张明.淮南潘集区煤储层岩石物理与煤层气勘探选区的初步研究.96'全国煤层气会议论文集,1996

(收稿日期:1997年3月28日)

# THE RESEARCH OF PETROPHYSICS OF COAL RESERVOIRS AND SELECTED EXPLORATORY DISTRICTS OF COALBED METHANE AND RECOVERY

Wang Shengwei Chen Zhonghui ZhangMing

Zhuang Xiaoli Yang Shengke Miao Suqing

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

## Abstract

Recently, the study of petrophysics of coal reservoirs was greatly advanced. The study contents have been expanded from the analysis of the pore-fracture system of coal reservoirs in the beginning to the evaluation of coal reservoirs permeability, gas saturation and CBM pool trap, from solid properties analysis of coal reservoirs to the relationship analysis between fluid formation, reserve and pore-fracture system, and from testing the physical mechanic properties of coal to the evaluation of coal reservoirs reformability. The testing parameters of coal reservoirs were a few at the beginning but now are plentiful for systhetical evaluation of CBM extractability and forming conditions of CBM pool. The testing techniques of coal reservoirs have been developed and the description parameters of petrophysics of coal reservoirs have been changed from qualitative at the beginning to semi-quantitative or quantitative now. The research procedures and methods of petrophysics of coal reservoirs mainly depending on the artificial outcrop analysis of coal reservoirs have been tentatively built. The detial research districts of petrophysics of coal reservoirs expanded rapidly from exploratory districts of drilling CBM wells at the beginning to the other districts now, having acquired plentiful geological informations by the observation and research of artificial coalbed outcrop underground coal mine. The situation of complement and verify each other between the parameters evaluation of CBM wells and the parameters analysis of coalbed outcrop underground coal mine have been tentatively formed. Looking ahead the developing direction of the study of petrophysics of coal reservoirs, the authors believe that the study will show great significance in CBM exploration and development.