

澳大利亚煤层气勘探开发中的关键 ——原地应力研究^{*}

彭格林 赵志忠 (中国科学院长沙大地构造研究所 410013)

摘要 近年来,澳大利亚在煤层气勘探开发中取得了突破性进展。本文根据澳大利亚的研究成果,探讨了原地应力与渗透性和地质构造的关系;详细介绍了运用原地应力测量与数值应力分析预测煤层气高渗透区的方法。

关键词 煤层气 应力 地质构造 渗透率 澳大利亚

中国图书资料分类法分类号 TD712.2

作者简介 彭格林 男 57岁 研究员 煤田地质及大地构造与成矿学

1 引言

澳大利亚联邦科学和工业研究机构(CSIRO)石油研究所的Enever J R早在1989年就与Horner D M合作撰文论证了原地应力是影响澳大利亚含煤盆地水力压裂效果的关键因素。这是澳大利亚自70年代末开展地面煤层气勘探以来的理论认识上的重大突破。人们终于认识到,澳大利亚与美国的煤田地质条件和煤层气储集层特征有很大的差别,直接推广美国的煤层气开采经验,而不针对澳大利亚的实际加以改进,是多年未果的基本原因,提出煤的原地应力场应列为该国的重大研究项目^[1]。

1996年底作者借赴CSIRO煤组合作研究之便,拜访了石油研究所和Enever J R教授。参观了

他们室内测试原地应力新构想的试验装置,Enever介绍了他们在鲍恩盆地和悉尼盆地开展原地应力研究和应用的情况。Enever(1994)曾指出:经过多年研究,澳大利亚煤层气勘探开发已进入一个关键阶段——寻找渗透相对较高地段的阶段^[2]。这也是原地应力研究大有可为的重大领域。

本文旨在“借他山之石,攻本地之玉”。我国煤田地质条件和储集层特征与美国的差别相对较大,而近于澳大利亚,特别是在煤层含气量、渗透性、原地应力和地质构造特征诸方面。在煤层气勘探开发工作中,只有结合中国的实际,大力开展原地应力的研究与应用,才有望早日成功。

2 原地应力研究的重要性

煤具有双孔隙结构(基质和割理、裂隙),煤基质孔隙极小,一般渗透性很差;煤层气绝大部分吸附在

^{*} 湖南省自然科学基金项目

THE FRACTAL CHARACTERISTICS OF FRACTURES IN VI₁₆₋₁₇ COAL OF NO. 5 MINE AND ITS IMPLICATION

Su Xianbo Tang Youyi Shen Jiang Ning Chao(Jiaozuo Institute of Technology)

Xong Mingfu Li Fengjun(No. 5 Mine of Pingdingshan Coal Group Co.)

Abstract The measuring results of box counting dimension method of the fractures in VI₁₆₋₁₇ coal of No. 5 Mine, Pingdingshan, show that the fractal dimensions range from 1.0 to 1.3, and the shorter the distance to the fault, the greater the fractal dimension. Therefore, the fault can be predicted quantitatively. Finally, the possibility for application of the fractal dimension to the coalbed methane reservoir assessment is discussed.

Keywords coal seams; fracture; fractal dimension; coalbed methane

煤基质孔隙内表面上,解吸后由孔隙扩散到割理、裂隙,再运移到井筒。煤层或多或少存在一些规模不等的自然裂隙,它们有比煤基质大得多的流体传导性,常常控制着流体运移特征。自然裂隙的发育程度和连通性是煤层原始渗透性优劣的主要制约因素。澳大利亚煤层渗透性一般很低,存在着怎样预测高渗透区的难题,这就促使人们注意研究控制煤层原始渗透性的因素。研究发现,随着煤的原地应力的增加,煤层渗透性变差;煤层的原地应力数据可用来作为评价煤储集层渗透性的主要指标,可用于预测高渗透区和优选区的评价。

美国的煤层渗透性一般较好,特别是圣胡安和勇士盆地。因此他们研究原地应力场更多地把它作为压裂设计和钻井设计(包括井位)必须的参数,像石油工业那样,将其视为提高压裂增产的关键。澳大利亚更加关注原地应力场与压裂增产的关系,因为长距离的疏导性好的裂缝对像澳大利亚那样的低渗透性煤层成功采气是绝对必不可少的。

综上所述,由于煤的原地应力对煤层渗透性和增产压裂效果有极为重要的影响,因此研究煤的原地应力场状态并加以应用就为澳大利亚成功实现煤层气商业开发必须具备的两个条件——预测煤层渗透性相对较高的开发靶区和适宜的增产措施成功运用——同时提供了保障。

3 原地应力与渗透性、地质构造的关系^[1,2]

3.1 煤层的原地应力

同一钻井的煤层及其上覆岩层两者在水平应力场大小和方向上有较好的一致性(图 1、表 1);不同钻井煤、岩层应力场的变化与不同的构造地质环境密切相关;煤层和岩层原地应力(不论是水平应力还是垂直应力分量)一般均随地层埋深的增加而增大(图 2、图 3);在澳大利亚常见水平地应力分量大于垂直地应力分量。

3.2 煤层原地应力与渗透性关系

煤层及相关岩层中应力的大小与它们的渗透性好坏有十分密切的关系。即煤层原始渗透率与煤层最小应力间存在明显的消长关系。在应力相对较小的地带渗透率较高,反之亦然,如图 4、5 所示。

对同一煤层(储集层特征基本相同)不同深度(在不同钻井内)的渗透率和有效地应力之间呈明显

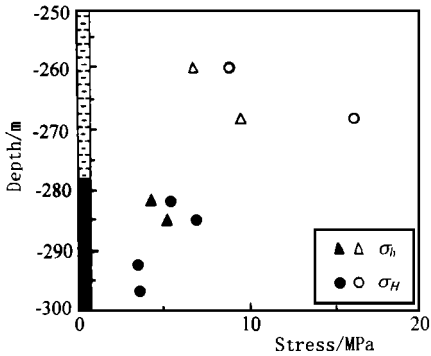


图 1 用水力压裂方法所测煤层及上覆岩石的水平应力场大小(σ_H 和 σ_h 分别表示水平方向的最大和最小应力分量)

表 1 图 1 中煤和岩层所测原地应力场方位

试验深度/m	岩性	最大水平应力分量方位
260.0	砂岩	110 °
268.0	砂岩	95 °
281.5	煤	94 °
285.0	煤	75 °
292.0	煤	82 °
296.5	煤	80 °

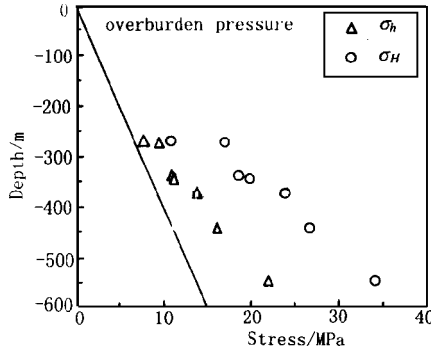


图 2 由水力压裂法所测煤系水平应力大小与深度关系

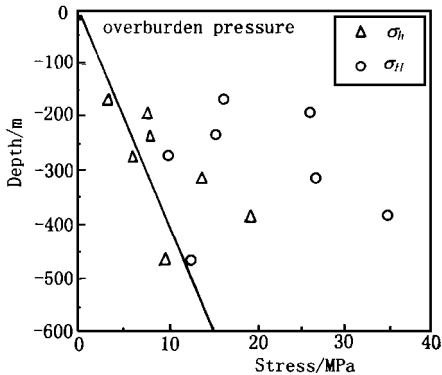


图 3 煤系的水平应力场数值(由水力压裂法所测)与深度的关系

的消长关系; 同一钻井中不同煤层的测试结果也同样表明渗透率和有效地应力间存在明显的消长关系, 尽管这些煤层在煤岩显微类型的比例、破裂强度诸方面有所不同(图 6, 7)。由此可见, 原地应力场状态是影响煤层渗透性诸多因数中最主要者。至于低应力场导致渗透性的机制, Enever 等推论: 可能是煤层内剪切带导致层间滑动提高渗透性或是滑动面间煤层和相邻岩石应力减小所致。

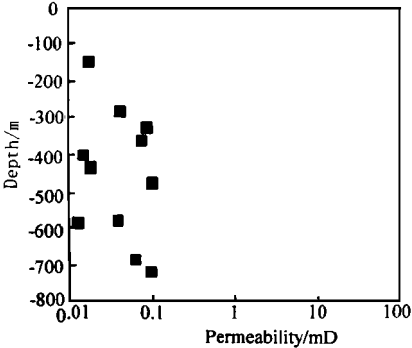


图 4 对应于图 2 的煤系中由注入/降压测试所测煤层渗透率与深度关系图

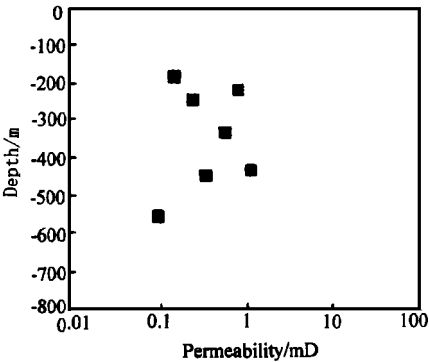


图 5 对应于图 3 的煤系中煤层渗透率 (由注入/降压试验测得) 与深度关系图

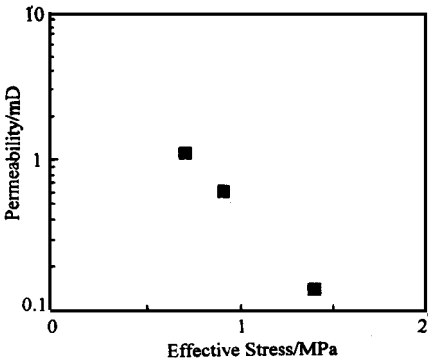


图 6 同一煤层在不同深度的渗透性与有效应力的关系

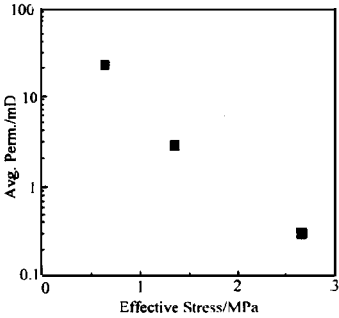


图 7 单井中若干煤层有效应力与平均渗透率 (注入和降压法所测) 的关系

3.3 原地应力与地质构造的关系

澳大利亚学者就悉尼、鲍恩盆地煤层气勘探开发中构造地质背景/围岩的应力场关系对煤层渗透性的影响进行了探讨。认为存在三种不同形式的应力场, 归纳为三种应力场模式(图 2、4, 图 3、5 和图 8、9, 及表 2), 充分表明不同褶皱类型和同一类型的不同构造部位对原地应力场状态的影响, 并注意到它们与渗透性关系密切。褶皱作用对应力场状态和随之而来的煤层渗透性分布无疑具有非常重要的意义。

4 原地应力测量与数值应力分析是预测煤层气高渗透率区的重要方法^[2,3]

如前所述, 澳大利亚的煤含气量高, 渗透性却很差, 如何预测高渗透率地区以优选靶区就成为该国煤层气勘探开发的关键。经过多年潜心研究, 他们提出: 在原地应力测量基础上的数值应力分析(模拟)是寻找低应力高渗透性地段的较好方法。

4.1 方法的前提条件

一是原地应力和煤层渗透性之间应有一定变化关系; 二是应力场和构造环境有一定的联系。上述论述业已表明, 两条件是存在的。

4.2 方法的基础

掌握一定数量的分布较均匀的测量数据和对工作区地质背景有足够的了解。

4.3 研究的关键

在煤(岩)层应力场与主要的地质构造背景之间建立一定联系和定量关系。正如前述, 钻井所处褶皱形态位置(向、背斜)和同一褶皱形态内的相对部位(轴、翼部)及产状(陡、缓)被认为是控制原地应力场和渗透率分布的重要因素。

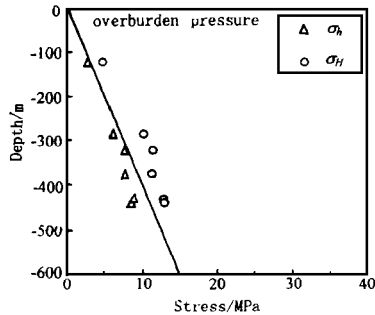


图 8 煤系地层岩石单位的水平应力场数值
(由水力压裂法测得)与深度关系图

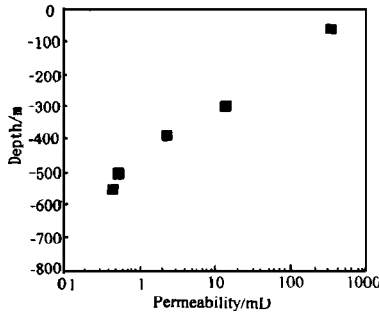


图 9 与图 8 相对应的煤系地层层位中煤层渗透率
(由注入/降压试验测得)与深度关系图

表 2 澳大利亚某含煤盆地原地应力与地质构造和煤层渗透性关系 (据 Enever 等, 1994)

模式 编号	测试井所在构造 部位及地质背景	钻井岩心特征	局部应力 场特征	深度 变化	水平应力 场变化	水平应力分量 垂直应力	煤层 渗透性	渗透性与 地应力关系	图示
模式 1	开阔缓倾向 斜轴部	①无滑移面 ②煤和泥岩中发 育低角度剪切破裂		有序 增加	有序 增大	太 小	很低	无明显 关系	图 2 图 4
模式 2	开阔平缓向 斜翼部(倾角 小于 5°)	①不发育断层 ②常见高角度、低角 度节理和剪切节理 ③整合侵入的火成岩 ④粘土岩夹层显示滑动面		有序 增加	变化大		较高	关系明显	图 3 图 5
模式 3	较陡的向斜 翼部(倾角 25°以上)	①发育小型正、逆断层 ②不见大规模冲断层痕 迹但物探推断可能存在	张性	增加	有序 增大	小 大	较高	密切关 系明显	图 8 图 9

4.4 方法步骤

a. 系统收集包括构造地质信息在内的基础地质信息。

b. 原地应力测量。对煤层进行注入/降压测试 (injection/decay), 通过流速和注入压力的有序变化, 近似地求得煤层最小水平主应力值; 对煤层及围岩进行水力压裂(水力微型压裂法), 测量其水平分量主应力场(不同深度、层位的水平应力分量大小和方向)。该测量程序已由 CSIRO 开发。

c. 煤层渗透性测量。采用注入/降压测试和钻杆试验(DST)。

d. 确定煤(岩)层应力场与地质构造环境间的有机联系和量化关系。

e. 数值应力模拟。如模拟、预测水平应力场与深度的关系; 模拟褶曲构造形成演化过程和应力场的变化过程等。

5 存在的问题和启示

澳大利亚学者对原地应力的研究和应用, 大大促进了该研究领域的深化, 使该国煤层气勘探开发有了突破性进展, 揭开了澳大利亚煤层气开发的新篇章——运用煤及围岩的原地应力预测高渗透率地段的关键阶段。使原地应力测量成为定量评价煤层渗透性和与其相关的地质构造框架间关系的有力工具; 成为指导和实施煤层气勘探开发战略的基础。

尽管如此, 但尚有待更准确地测量制约煤层渗透性的煤层原地应力或最小主应力值; 有待更深入地研究确定煤(岩)层应力与占主导地位的地质构造间的定量关系, 尤其是与断层构造的关系; 与此同时还有必要探讨原地应力与煤层渗透性、地质构造与煤层渗透性关系的形成机理问题。

(下转第 53 页)

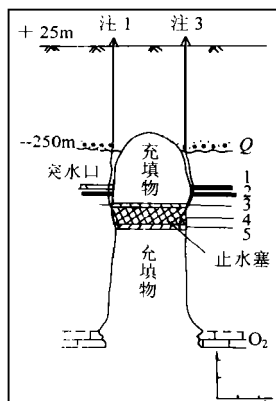


图4 任楼矿7₂22陷落柱内“止水塞”形成剖面图

1—7₂煤层(-360 m); 2—8₂煤层(-380 m);

3—上段(-360 ~ -405 m); 4—中段(-405 ~ -445 m);

5—下段(-445 ~ -455 m)

堵水率100%, 矿并于9月9日排水到底。

4 结论

在陷落柱中建立“止水塞”技术为快速治理持大型垂向导水通道开创了一条新的技术途径, 在理论和技术方法上有新的突破。该技术具有可操作性, 在我国煤矿类似治水工程中有重要的推广应用价值。

参考文献

- 1 吴光琳, 汤顺德. 钻孔弯曲和定向钻探. 成都: 成都理工学院出版社, 1984
 - 2 赵全福等. 煤矿安全手册(第五篇). 北京: 煤炭工业出版社, 1992
 - 3 曾荣秀等. 注浆技术经验汇编. 北京: 煤炭工业出版社, 1988
- (收稿日期 1997-03-24)

THE TECHNIQUE BUILDING "CONCRETE PLUG" QUICKLY IN COLLAPSE COLUMN

Zheng Shitian Ma Peizhi (Xi'an Branch, CCRI)

Abstract This paper expounds the technique building "concrete plug" in collapse column with grouting, i.e. selection of the place of "concrete plug", calculation of the thickness, the technology of drilling and grouting, the methods of checking and consolidating "concrete plug". The practicality and expansion are illustrated with an example.

Keywords collapse column; waterstops; grouting; water plugging

(上接第34页)

参考文献

- 1 地质矿产部华北石油地质局编. 原地应力: 影响澳大利亚含煤盆地水力压裂效果的关键因素. 见: 煤层气译文集, 郑州: 河南科学技术出版社, 1990
- 2 Enever J R, Bocking M A, Clark I H. The application of in-situ stress measurement and numerical stress analysis to coalbed

methane exploration in Australia. Society of Petroleum Engineers, 1994, 372~381

- 3 Wold M B, Choi S K, Koenig R A and Davidson S C. Anisotropic seam response to two-phase fluid injection into a coalbed methane reservoir measurement and simulation. Society of Petroleum Engineers, 1996, 207~216

(收稿日期 1997-09-08)

KEY FACTORS ON EXPLORATION AND DEVELOPMENT FOR COALBED METHANE IN AUSTRALIA: RESEARCH OF IN-SITU STRESS

Peng Gelin Zhao Zhizhong (Changsha Institute of Geotectonics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract The breakthrough progress in exploration and development for coalbed methane in Australia is obtained over the past few years. In this paper, according to the research results in Australia, the relationships between in-situ stress and permeability and geologic structure are discussed; the prediction method of high permeability zones of coalbed methane using the in-situ stress measurement and numerical stress analysis is introduced in detail.

Keywords coalbed methane; stress; geologic structure; permeability; Australia