



煤储层裂隙研究方法辨析

李小彦 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

摘要 从煤岩学的角度,对煤储层裂隙的研究方法进行辨析,提出有关裂隙的定义。分析认为,主裂隙的展布方向是渗透性的优势方位;裂隙几何形态参数是渗透率大小的量级;连通性裂隙网络是高渗透区的良好标志,为预测煤储层渗透性能提供一种简单易行的研究方法。

关键词 煤层 裂隙 方向 几何形态 煤岩学

中国图书资料分类法分类号 P618.11

作者简介 李小彦 女 45岁 高级工程师 煤岩学

1 引言

不同于常规天然气,煤层气藏是一种裂隙—孔隙型气液两相、双重孔隙介质的储集类型,气体产出经历解吸→扩散→运移过程,运行的路径由煤体内表面→微孔→裂隙系统。煤微孔系统富集的大量煤层气资源只有扩散至连通的裂隙网络才可能被采出,即煤储层具有相当的渗透能力是开发成功的前提条件,因此研究裂隙储层渗透性,在煤层气开发中倍受关注。国内外盛行的煤岩学方法经济、直观,不失为一可行有效的方法,但有关步骤及分析技术参数仍待于探究。本文仅以笔者的一点粗浅认识参与讨论,目的在于使裂隙研究方法去伪存真,促进完善,更好地应用于生产实践。

2 名词术语

“裂隙”一词最早引自前苏联,有内、外生之分^[1]。内生裂隙源于煤化过程中有机残体被压实、脱水、挥发性物质逸出引起的体积均匀收缩,多发生在凝胶化分层中;外生裂隙为构造运动的产物,产出及分布受控于区域构造应力场。

英国采矿业习惯把煤中裂隙称为“割理”^[2],较发育的一组为面割理,次要一组为端割理。美国煤层气开发沿袭此概念,所指相当于我国煤田地质界常用的内、外生裂隙。

国内近几年在煤层气研究中,提出“割理”、“微裂隙”、“内生裂隙”、“外生裂隙(节理)”等名词术语,认为“割理”是煤中的内生裂隙^[3],是煤化过程中有

机质产生的收缩内应力和高孔隙流体压力作用生成的。“微裂隙”、“内生裂隙”是流体压力与有效地应力作用下^[4],高压流体间歇性集中释放形成的;其中微裂隙构成孔隙、内生裂隙与层面裂隙的桥梁,促使大量吸附气体产出。“外生裂隙”多受控于区域构造运动,对煤储层起主干通道作用^[5]。一定的构造运动是储层渗透性能改善的有利条件,但剧烈的构造运动会使煤层发生塑性形变,煤体被碾压呈糜棱状,破坏裂隙中枢网格结构;同时发生脆性破碎,破碎的粉粒堆积在破裂处,阻塞了裂隙通道,气体难以疏导,造成瓦斯突出,煤层渗透率大大降低。

总观名词术语的提出,已不限于其生成的外力作用。近期的研究更侧重于有效地应力、流体内驱动力及其裂隙空间动态变化机制,研究气液两相、流体压力、流体在裂隙系统中运移产出的阶段性。因此采用“裂隙”一词,是指在地层静压力及构造应力作用下煤(岩)层产生破裂的总称。

3 研究方法讨论

3.1 基本思路

立足于生产矿井煤壁和勘探钻孔的定向煤心,瞄中目标层,经过从宏观到微观逐步深化的技术路线,获取实地研究资料,从而预测评价区储层的渗透性。

3.2 工作流程

现场选点→井下煤壁观测→定向样品采集→微观统计分析→结果处理→结论。

首先分析矿区地质构造背景,有目的地设置观

测点。在裸露完整无缺、干扰小、代表性强的煤壁上,观测易于追踪。观测时要求方向定位准确,主次关系明了,对肉眼可见的裂隙几何形态参数要量化,然后采集定向样品,进行微小裂隙的观测分析。采样要求标定样品的空间方位(尽可能与天然裂隙的破裂方向一致),并保证一定的块度(不小于 $6\text{ cm} \times 6\text{ cm} \times 10\text{ cm}$)。定向样品磨制成二维或三维光洁面,在层面上观测裂隙的方向、主次关系、长度、宽度、密度、间距;剖面上观测裂隙高度、垂向分布情况。

3.3 技术参数选择

3.3.1 展布方向

煤储层为多孔、非均质、不连续介质,同一测点各方向力学性质表现出明显差异。垂向非均质性最强,抗压强度大,静压力产生的破裂量度最小;水平方向上,抗张抗拉强度小,最大、最小水平应力产生两组大小不同、相互垂直的破裂。其中延伸远、切割深、密度大、发育较好的一组为主裂隙,该组方向储层渗透率高;次裂隙则差;故空间上储层渗透性表现为各向异性。美国在黑勇士盆地测得主次裂隙的定向渗透率比值为 $17:1$,井下水平孔预抽,垂直面割理方向井的气产率比垂直端割理方向井高出 $3\sim 10$ 倍。故主裂隙展布方向是裂隙研究的一个重要参数,不仅用于渗透性方位选择,也可作为低渗区压裂设计的依据。

故主裂隙展布方向是渗透性优势方位的标志。

3.3.2 几何形态

裂隙的空间组构表现为长、宽、高三维向量,长度代表水平延伸距离,高度表示垂向的垂直距离。三者之积为裂隙体积,体积越大则渗透性越好。裂隙体积占煤体积的百分数,即有效裂隙孔隙度,所以说渗透率是裂隙几何形态的函数。有资料报道,渗透率的增长率为裂隙宽度的平方,一条宽 0.1 mm 的裂隙,具有 833 达西的渗透率,可见裂隙宽度是渗透率敏感的几何参数。

观测还可以得到裂隙的密度和间距,它们反映了裂隙的分布特征。裂隙的密度(或频率)也称线密度,为裂隙组垂直方向上单位长度的平均条数,宏观观测采用单位条/m,微观用条/cm;间距为一组裂隙的平均间隔。密度、间距也是渗透率大小的量级,依据主次裂隙密度比确定井间距大小及井网类型,为开发工程提供最佳选择,以低投入获取高产出。

故裂隙几何形态参数是渗透率大小的量级。

3.3.3 组合关系

煤中常见裂隙有两组,它们把煤层切割成不同大小的基岩块。在区域构造和煤岩组成不甚复杂时,两组裂隙交切成规则网状,正交的为矩形网,斜交的为菱形网,其次还有梯形、阶梯状、羽状等。据实地观察,网状裂隙多发生在背斜、褶皱两翼和镜煤亮煤分层中,裂隙面平直光滑,连通性好;向斜、压性断裂带和丝炭暗煤分层,裂隙发育差,或一组发育另一组不发育,呈单平行状分布,加之煤体的非均质性强时,裂隙粗短、弯曲、粗糙,连通性差。

裂隙的组合关系反映了空间连通性能,煤储层四通八达的裂隙网络,在压力降低时可使解吸气体顺利运移,气体运移路径短,产出速度及流量大。连通性差,导致气体流路径曲折,流量小,增加了产出的复杂性,降低了开发产能。

裂隙网络如被地下溶液渗滤灌入,则饱和溶液的沉淀物充填裂隙空间,完全或部分占据裂隙体积,可使裂隙的渗透性丧失或大大降低。所以裂隙网络是否被矿化也是必须注意的。

故连通性裂隙网络是高渗透区的良好标志。

4 研究结果应用

4.1 裂隙定向分布图

裂隙宏观、微观定性定量研究结果,是渗透性预测的基础资料。将观测到的裂隙走向标注在煤层底板等高线上,可反映区域裂隙分布规律及其与构造线的关系,并作为煤层气勘探开发设计的基础图件。钻孔定向煤心观测的走向,用玫瑰花图表示,可反映垂向上不同深度裂隙的方向变化。这些图件是裂隙时空变化的基本骨架。

4.2 量化参数应用

几何形态观测,为渗透性预测提供了量化参数,由此得出下式:

$$K = F \cdot \Phi_i \quad (1)$$

式中 K —— 渗透率;

F —— 预测系数;

Φ_i —— 有效裂隙孔隙度。

$$\Phi_i = (L \cdot W \cdot H)_i / (L \cdot W \cdot H)_{\text{ch}} \cdot 100\%$$

式中 L —— 长度;

W —— 宽度;

H —— 高度;
 f —— 表示裂隙;
 cb —— 表示煤体。

5 结语

造就裂隙系统的地应力及流体压力作用,使煤储层结构时空重建。裂隙系统的气体生成途径、运移机制是开发研究的核心理论问题,裂隙研究也应围绕这个中心。就目前研究现状分析,还存在以下问题:

a. 由于煤储层介质的特殊性,给现场及样品代表性的选择增加了困难,数据量少则难以使描述客观;

b. 影响裂隙发育的因素太多,增加了预测的复杂性。

参考文献

- 1 杨起等. 中国煤田地质学. 煤炭工业出版社, 1979
- 2 Busby R L. Petroleum Frontiers. 1989;3(4)
- 3 张胜利等. 煤层割理的形成机理及在煤层气勘探开发评价中的意义. 中国煤田地质, 1996;(1)
- 4 王生维等. 煤储层裂隙形成机理及其研究意义. 地球科学, 1996;21(6)
- 5 Li Xiaoyan. The coal petrologic research method of coal reservoir fractures and its significance. Proceedings of The International Mining Tech'96 Symposium.

ANALYSIS ON THE STUDY METHODS FOR COAL RESERVOIR FISSURES

Li Xiaoyan(Xi'an Branch of CCRI)

Abstract The study methods for coal reservoir fissures are analyzed from the view point of coal petrology, and the definitions related to the fissures are presented. It is considered that the distribution direction of main fissure is the optimal direction of permeability; the parameter of fissure geometry is the magnitude of permeability; and the connected fissure network is the better indication of high permeable area. Therefore, a simplified method is presented for the prediction of coal reservoir permeability.

Keywords coal bed; fissure; direction; geometry; coal petrology