

正断层附近煤层的 孔隙、裂隙特征及其研究意义

煤炭科学研究总院西安分院 吕志发 孟昭平

井田内落差小于10 m的中小型断层,对矿井生产和安全有不可低估的作用,它不仅影响煤矿开采,而且通过影响煤的孔隙和裂隙特征及煤的机械性能,对煤矿瓦斯抽放和煤与瓦斯突出产生重要影响。因此,对这一问题的研究和解决,不仅有助于预测煤与瓦斯突出;评价甲烷资源的抽放利用,而且有助于计算隔离煤柱宽度和评价煤质的局部变化。我们在研究煤层甲烷和矿井开采地质条件的过程中,对断距小于10 m的正断层与煤的孔隙、裂隙及煤机械性能之间的关系进行了较系统的研究,取得了一些初步成果。

一、采样及分析方法

采用系统取样的方法,在距断层的不同距离采集了一系列样品。为了使测试结果最大可能地符合煤层的自然状况,在采样过程中尽可能取较大块样,然后在室内分别进行压汞实验,块煤光片观察和裂隙定量统计,

层位、分岩性、分厚度、分期次的分布特征。区内常常会出现若干面积大小不等的未遭岩浆破坏的蚀余块段,勘探时若能据已获地质资料,及时从构造方面、岩浆活动规律方面,对勘探区各相对独立的构造块段进行综合性科学分析与判断,就很有可能找到几块未受岩浆破坏的幸存块段。地质工作者若能及时捕获有效地质信息,则可使勘探工作有的放矢,突出重点。避免设计上、勘探程序上、工程部署上的盲目性,减少历史性失误、节约工程量、缩短勘探周期,提高勘探

扫描电镜及其它物性测试。

压汞实验是在美国Autometrics公司的92C0型自动压汞仪上进行的,其压力范围为 $0.1\sim 4000\text{kg/cm}^2$,相应可测孔隙率半径 $18\sim 15000000\text{Å}$ 。测试样品采用边长为2cm的半亮煤块体。

裂隙发育程度(裂隙率)是在显微镜下统计得出的,它是指裂隙与整个块煤光片面积的百分比。

二、观测结果及其意义

(一) 正断层附近煤层的宏观特征

在距断层较远处,煤层层理清晰,结构完整。愈接近断层煤层的层理愈难辨认,煤体结构破坏程度愈大。在断层影响范围内,煤层顶底板产状变化明显,裂隙增多。在断层带煤层破坏成角砾状,并且常常可见不规则的摩擦镜面,裂缝十分发育,煤层一触即碎,采取块煤样往往十分困难。表现在构造

经济效益。试想,远在1960年,地质工作者若能及时破译当时峻工钻孔北₅、北₂₄、北₃₄、三孔中煤层未遭煌斑岩穿插所示的地质意义,只要提出过质疑,进而顺藤摸瓜,则绝不至于在自然条件如此优越的地区,使这么一个有重要工业价值的井田沉睡地下25年,且25年后也不会再有人去作探索性的低阶段普查设计与施工。在这四分之一世纪的时间里,经济效益与社会效益上的损失,实在难以估量,这确是一个值得引为教训的地质失误。

煤类型上出现由原生结构煤向初裂煤、角砾煤的变化。在电子显微镜下出现由原生结构煤向初裂煤、角砾煤和碎斑煤的变化，即微观尺度下的破碎程度高于宏观。

(二) 正断层附近煤层的孔隙结构变化

煤中孔隙直径大小相差达5~6个数量级，故对其有必要划分。从研究矿井瓦斯和煤层甲烷利用的角度出发，并考虑仪器性能，本文采用如下分类：

大孔， 孔径 $1000 > 10000 \text{ \AA}$

中孔， 孔径 $1000 \sim 10000 \text{ \AA}$

小孔， 孔径 $100 \sim 1000 \text{ \AA}$

微孔， 孔径 $36 \sim 100 \text{ \AA}$

所采煤样的压汞实验表明，煤的孔隙结构受正断层的影响十分显著（表1），具体表现在：

1. 煤的大孔和中孔体积、孔容从整体上看都随距断层距离变小而增大，煤的微孔和

小孔体积变化不明显。从它们各自所占的百分比来看，煤的大孔百分比大幅度增加，微孔体积百分比减少，中孔百分比略有增加。表现在孔隙结构图上，受正断层影响较强的煤其孔径呈典型的双众数分布，即大孔和微孔体积百分比近于相等，而中孔和小孔体积百分比比较低（图1a）。受正断层影响微弱的煤其孔径呈单众数分布，以微孔占绝对优势为特征（图1b）。表现在压汞曲线上，受正断层影响较大的煤在压力很小时（ 1.2 kg/cm^2 ）即开始大量进汞（图2，曲线a），而受断层影响微弱的煤在很大压力下（ 235.6 kg/cm^2 ）才开始大幅度进汞（图2，曲线b）。表明了二者最大喉道值及孔隙结构的不同。需要指出和说明的是，与上述讨论相反，在距断层一定距离处，煤的大中孔体积减小，而小孔和微孔体积增加。这一变化特征与煤层裂隙的力学性质转化有关，这

正断层附近煤层孔隙结构参数一览表

表 1

位置	距断面距离 (m)	孔 容 (cm^3/g)	孔隙体积 ($\text{cm}^3/\text{g} \times 10^{-2}$)				孔隙体积百分比 (%)				排驱压力 (kg/cm^2)
			大孔	中孔	小孔	微孔	大孔	中孔	小孔	微孔	
上盘	10	0.053	1.64	0.77	0.80	2.09	31.0	14.6	15.0	39.4	1.2
	20	0.047	0.58	0.45	0.95	2.72	12.4	9.6	20.2	57.8	175.5
下盘	30	0.049	1.04	0.41	0.90	2.55	21.2	8.4	18.4	52.0	99.3
	50	0.042	0.39	0.37	0.88	2.55	9.1	8.9	21.0	60.7	235.6

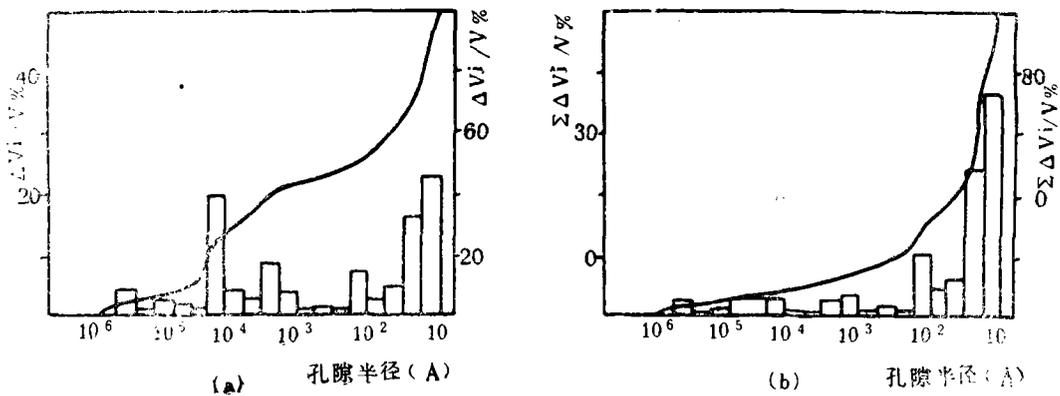


图 1 正断层附近煤层孔隙结构分布情况
(a) — 断层带 (10m)；(b) — 远离断层带 (50m)

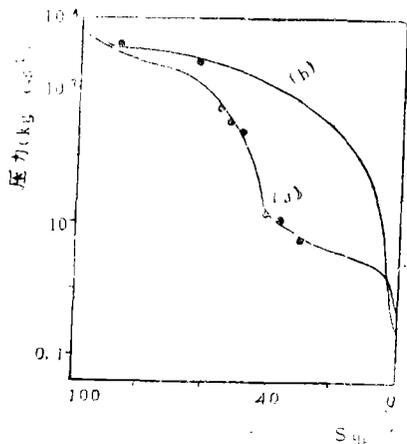


图2 正断层附近煤的压承曲线
曲线(a)一断层带(10m); 曲线(b)一远离断层带(50m)

点后面还要谈到。

2. 排驱压力是反映孔隙结构的重要参数之一, 它是孔隙喉道大小的函数, 其值大小与大中孔体积呈负相关关系, 故排驱压力随距断层距离的变小而大幅度降低, 由断层影响微弱处的 235.6 kg/cm^2 降至断层带的仅 12 kg/cm^2 。排驱压力值的降低意味着煤层甲烷易于在煤层中流通, 这一结论符合生产实际。如在丰城矿区, 由西向东(尚一矿至建新矿至坪湖矿)煤层中正断层越来越发育, 在建新矿和坪湖矿矿井中所见断层均为正断层。这样造成由西至东, 煤层的孔容, 大、中孔体积均较大幅度的增大, 相应地其排驱压力值降低, 矿井瓦斯抽放率大幅度提高(表2)。这表明正断层的破坏有助于提高煤层的渗透性, 从而有利于矿井瓦斯的抽放利用。

三、正断层附近煤层裂隙的发育特征

对正断层附近煤层裂隙的研究主要是通过宏观系统观察, 利用光学显微镜和扫描电子显微镜进行微观观察, 并在显微镜下定量统计裂隙的发育程度而进行的。从观察和统计中我们得出了下列几点结论。

(一) 煤层裂隙的发育程度随距断层距离的变小而增强(图3)。

井下观察表明, 正断层的影响宽度在上盘约为落差的2倍, 在下盘为落差的1.5倍。但在微观上, 正断层影响的宽度明显较大, 由图3不难看出, 在上盘正断层的影响宽度约为落差的4倍, 但破裂较为明显的区域仍位于落差的2倍之内。

(二) 正断层上盘煤层的裂隙发育程度明显高于下盘, 一般平均高一倍左右(图3)。

如当 L/H 值等于1.0时, 断层上盘裂隙率变化在8.0~13.5%之间, 而下盘仅为2.0~7.0%。煤层裂隙越发育, 在漫长的地质历史中越易造成煤层甲烷的逸散。在煤矿开

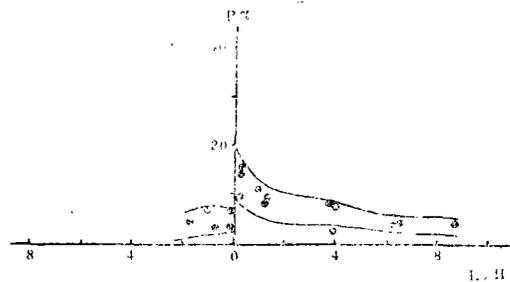


图3 正断层附近煤层裂隙的发育特征
 P —裂隙率; L —距断层距离; H —断层落差;
右—上盘; 左—下盘

正断层与孔隙结构及矿井瓦斯抽放率的关系

表2

矿区	孔容 (cm^3/g)	孔隙体积, $\text{cm}^3/\text{g} \times 10^{-2}$				连通孔隙度	排驱压力 (kg/cm^2)	矿井瓦斯 抽放率, %
		大孔	中孔	小孔	微孔			
坪湖	0.047	0.86	0.46	0.88	2.86	5.30	127.7	31.1
建新	0.041	0.62	0.39	0.89	2.39	2.31	200.1	12.2
尚一	0.023	0.26	0.20	0.41	1.42	1.75	252.7	8.8

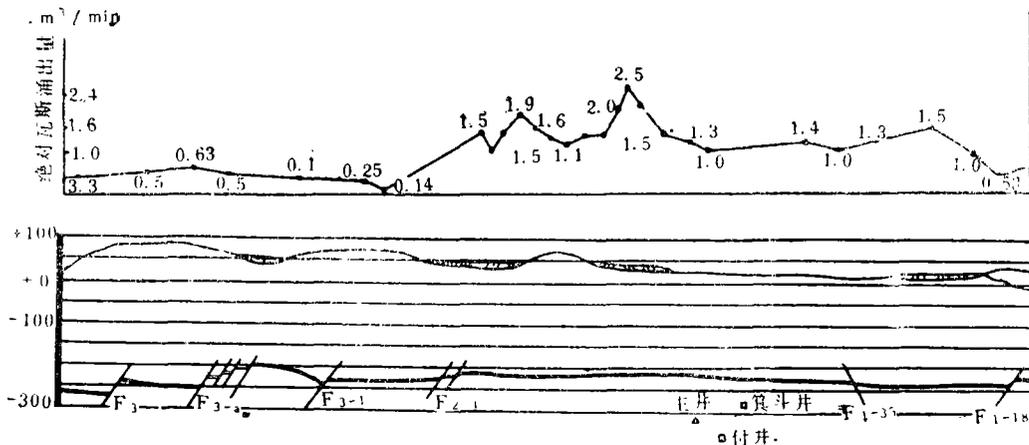


图4 坪湖矿井瓦斯绝对涌出量与张性断层的关系 (据坪湖矿修改)

采中, 常见正断层上盘煤层瓦斯涌出量小于下盘, 如图4所示在丰城矿务局坪湖矿 $F_{3-1} \sim F_{3-2}$ 断层带, 瓦斯绝对涌出量在上盘为 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{min}$, 而在下盘为 $1.0 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{min}$, 正是由于煤层裂隙在正断层上、下盘发育程度不同造成的。

(三) 越靠近断层煤的机械强度越低, 表现在其抗压强度和转鼓强度都大幅度降低 (图5)。但煤的孔隙率在断层附近大幅度升高 (图6)

比较图5和图6可看出, 正断层对煤层孔隙的影响宽度远远小于对煤机械强度的影响宽度, 其影响宽度与断层落差之比约为 $1:1$, 即正断层对煤孔隙率的影响宽度大致等于其落差。对煤机械强度的影响宽度约为落差的6倍, 但影响比较明显的宽度是落差的 $2 \sim 4$ 倍。

(四) 一个很有意义的现象是煤层裂隙的力学性质在距断层不同距离处的转化

在距断层较远处, 煤中裂隙基本上表现为张性, 裂隙产状不稳定, 延伸距离也较短。在靠近断层处, 裂隙也表现为张性, 可见典型的Z字型追踪张裂隙。但在距断层一定距离处, 煤层中出现大量张扭性和压扭性裂隙, 它们往往呈X型和雁行的形式排列。

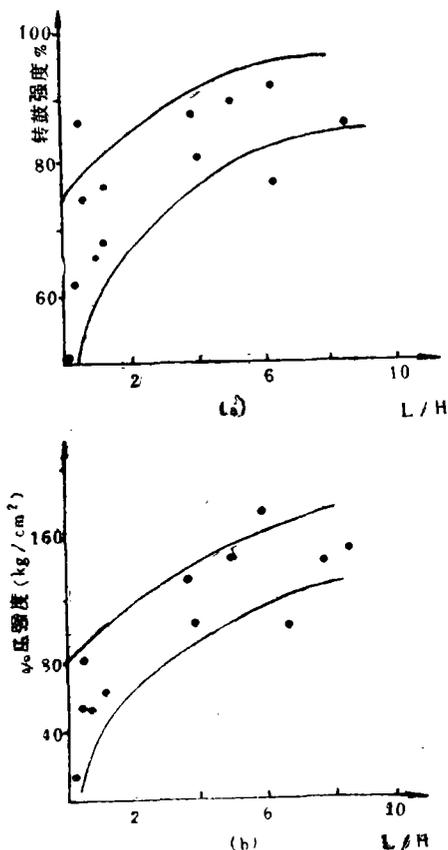


图5 正断层附近煤机械强度的变化
L—距断层距离, H—断层落差

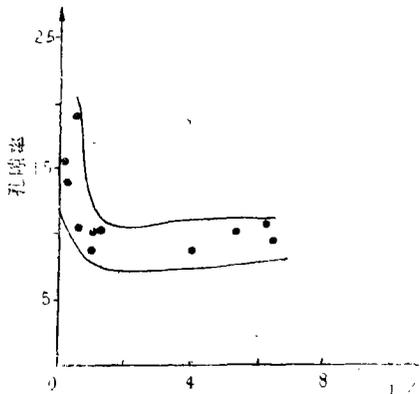


图6 正断层附近煤的总孔隙率的变化
L—距断层距离; H—断层落差

裂面平直、光滑，延伸距离也较远，与前述张裂隙形成鲜明的对比。裂隙的宽度也随裂隙力学性质的变化呈现出相应的变化特征，从整体上看，裂隙的宽度在向断层的方向上逐渐增大，但在张扭性裂隙发育处裂隙宽度明显变窄。裂隙力学性质由张性向张扭、压扭性的转化对煤与瓦斯突出具有重要的意义。在张性裂隙发育的地带，煤层甲烷易于逸散，煤层中甲烷含量通常都很小，故不容易发生煤与瓦斯的突出。但在张扭和压扭性裂隙发育的地带，煤层甲烷不象张性裂隙带那样容易流动逸散，相反，由张扭性裂隙造成的适当空间有助于煤层中的吸附甲烷解析成游离甲烷，从而导致瓦斯压力的增高。同时，由扭性应力作用造成的残余构造应力使张扭性裂隙发育处的地应力明显高于张性裂隙发育区。这可能是煤与瓦斯突出不发生在紧靠断层的地方、而发生在距断层一定距离处的主要原因。

四、结论分析

孔隙和裂隙的上述变化特征是与正断层的形成过程和特点密切相关的。在断层的形成过程中，断层面附近为一明显的应力集中

带，在该带煤岩层强度大幅度降低，其变形破裂也最明显，远离断层，应力作用强度降低，相应地其变形破裂也较弱，故在平面上越靠近断层，煤层孔隙和裂隙越发育。与逆断层不同的是，在正断层形成的过程中，其上盘为主动盘。在断层面形成之后，上盘会因重力作用而向下滑动，从而产生次生压力。此外，正断层的上盘可由断块在不规则断层面上活动或断块内小断块之间的相互作用而产生局部压应力〔1〕。正断层的上述特征势必导致上盘的裂隙发育程度大于下盘。上、下盘相对滑动产生的次生应力不仅会使上盘的破坏程度大于下盘，而且会使伴生的剪裂隙和张裂隙进一步扭转。同时这类断层的断层带及其附近存在着因脱空而产生的薄弱带，在扭应力的作用下，其中的破裂面及与断层平行的裂隙会发生扭张而转化为张扭性裂隙〔2〕。从而导致在距断层一定距离处出现大量张扭性裂隙。综上所述，正断层对煤的孔隙和裂隙具有如下影响：

1)煤层的孔隙率、孔容和大、中孔体积都距断层距离的变小而增大；

2)煤层裂隙的发育程度随距断层距离的变小而增大。上盘的裂隙发育程度大于下盘。在宏观上，正断层的影响宽度在上盘为落差的2倍，在下盘为落差的1.5倍。在微观上，上盘的影响宽度约为落差的4倍；

3)在距断层的一定距离处，煤层中出现大量张扭性裂隙。

* * *

本次工作得到了朱春笙、陈佩元高级工程师，张新民、张遂安、朱兆英和余江滨工程师的帮助，在此表示感谢。

参 考 文 献

〔1〕Brumbaugh, D.S.孟昭平译：由正断层活动产生的压应变，《国外煤田地质》，1985，4。

〔2〕杨茂康：川南阳新统中小型断层及与张开缝发育程度的关系，《天然气工业》，1988，1。