

## 顺煤层断层的基本特征及其地质意义

曹运兴 彭立世 侯泉林

(焦作矿业学院, 河南焦作市)



顺煤层断层是指顺煤层发育的断面与煤层层面的交角较小或近于平行的断层。它的主要识别标志是断层面、构造煤和煤层厚度的强烈变化。顺煤层断层可独立存在,也可与其它地质构造相互转换,相伴出现。顺煤层断层具有特殊的选层性,这一特征与煤体较低的力学强度、煤层瓦斯压力及变形期顺煤层的剪切作用有关。顺煤层断层在煤田中分布广泛,它所产生的构造煤是瓦斯高聚集区,亦是瓦斯突出的危险区,其研究意义重大。

**关键词** 顺煤层断层 构造煤 煤体强度 瓦斯压力 气垫效应 剪切作用

顺煤层断层是指顺煤层发育的、断层面与煤层层面的交角较小或近于平行的断层。它是层面断层 (bedding fault) 或顺层断层的一种,这里指明其发生的层位,旨在强调它在煤田中分布的广泛性及重要地位。

顺层断层的研究,最早可以追溯到19世纪中叶<sup>[1]</sup>,但其后很长一段时间,其研究局限于大规模逆掩断层或推覆构造中<sup>[2]</sup>,而中、小规模的顺层断层尚未引起足够的重视,其研究尚欠深入。究其原因,是这类断层不破坏地层的连续性和完整性,所以无论在野外还是依靠钻孔资料和物探资料,人们都难以发现它的存在。

本世纪70年代以后,层控矿床理论的提出,使人们注意到一些层控金属矿床的形成是受顺层断层控制的<sup>[3]</sup>。80年代以来,我国煤田地质工作者对发育在煤田中的顺层断层进行了较为广泛的研究<sup>[4,5,6]</sup>。顺层断层的基本特征、对工程地质的影响及其对瓦斯突出的控制作用等相继为人们所认识。尽管术语不尽统一,但含义基本相近,所研究的断层多是顺煤层发育的。笔者长期从事矿井地质及瓦斯突出研究,曾观察研究过华北、华南几十对矿井的煤层构造特征。事实表明,煤田中的顺层断层主要沿煤层发育,且广泛存在,它不仅是煤田地质构造的重要类型,而且对煤矿生产的影响也极为严重。本文将讨论顺煤层断层的基本特征及形成条件等有关问题。

### 1 顺煤层断层的基本特征

#### 1.1 断层面

这是识别和确定顺煤层断层的直接证据。与其它类型的断层相比,其最大特征是断层面顺煤层发育或与煤层呈小角度相交。断面可单个出现,也可以成组出现(图1)。在断面上发育滑动镜面,镜面上有擦痕、擦沟和擦槽。在断面两侧,可以见到被错开的煤岩条带和节理。依据这些派

生构造, 可以确定断层的滑动方向。

### 1.2 构造煤

这是一种有机构造岩, 是原生结构在构造作用下破坏了的煤。构造煤多以层状、似层状的分层出现在煤层的顶部和底部(如阳泉矿区山西组的三号煤、焦作矿区山西组的二<sub>1</sub>煤)或中间(南桐矿区龙潭组的四号煤和六号煤), 也可以全层构造煤的形式出现, 后者往往出现在那些严重变形的复杂构造煤田。从构造意义上来看, 构造煤层实际上就是一个断层破碎带。构造煤分层的厚薄和破坏程度代表了顺煤层断层的规模。因此, 层状构造煤是顺煤层断层存在的重要标志。

### 1.3 煤层厚度强烈变化

顺煤层断层发生时, 顺层剪切作用使煤层破坏并发生流变, 从而使煤层厚度呈厚、薄相间, 并沿断层走向带状展布。煤层厚度的这种变化一般与煤体结构的强烈破坏相伴生。

### 1.4 顺煤层断层与其它地质构造的关系

研究表明, 顺煤层断层在煤田构造中可以独立存在, 自成体系。但也与其它地质构造在形成、演化及空间组合上联系密切。它既可以是其它地质构造在煤层中的转换形式, 也可先成并进一步转换成其它地质构造。顺煤层断层与其它地质构造间的形成转换关系大致有下面三种情况:

(1) 顺煤层断层与褶皱的关系: 煤系褶皱多系纵弯褶皱, 它是煤系在顺层挤压力作用下形成的。无论是弯滑褶皱作用还是弯流褶皱作用, 都可形成一定规模的顺煤层断层, 其规模也与褶皱规模相对应, 可在整个褶皱区发育。这种顺煤层断层的重要特征是影响范围大, 煤层破坏严重, 煤层厚度变化大。萍乡煤田青山井田中顺煤层断层即属此类, 它是在本区向斜构造生成过程中所诱导的次级构造(图 2A)。构成该向斜的上三叠统紫家冲含煤岩系厚 500 余米, 含可采煤层五层, 自下而上为大槽、管子槽、大花槽、珠子槽和硬子槽。煤系与下伏的二叠系灰岩呈不整合接触。上、下两套岩层的岩石力学性质相差甚远。褶皱期, 沿煤系底部特别是厚度较大的大槽煤发生顺煤层断层, 其上地层沿大槽煤表皮滑脱, 形成紧闭向斜。大槽煤为全层构造煤, 以碎粒煤和糜棱煤为主<sup>[7]</sup>。煤层因流变而褶皱穿刺, 形态十分复杂, 厚度变化巨大。在煤厚极剧变化地带多发生瓦斯突出。

(2) 顺煤层断层与切层断层间的关系: 煤系中的切层断层与顺煤层断层可以相互转换。煤系中的切层断层延伸至煤层时, 可转换为顺煤层断层, 早期的顺煤层断层发展到一定阶段可延伸至相邻岩层, 倾角变陡而转换为切层断层。

切层断层转换为顺煤层断层, 一般有两种转换方式: 正-顺转换和逆-顺转换。前一种转换模式一般是这样的: 由浅部向深部发展的正断层, 在遇煤层后转换为顺煤层断层而不再切穿底板。图 2B 是宜洛井田走向剖面图, 一组高角度的正断层在地表断距近百米, 向深部逐渐变小, 在山西组二<sub>1</sub>煤中转换为顺煤层断层, 致使勘探期所划分的井田边界断层在开采阶段被取消。

不同规模的逆断层转换为顺煤层断层的实例也很多, 而煤田边界区域逆断层转换为顺煤层断层的机制在煤田预测中显得尤为重要。区域逆断层在发展过程中, 对下盘有强烈的挤压, 这使下盘煤层的上覆地层沿煤层逆冲滑动, 形成顺煤层逆断层。实际上, 它也可看成是逆断层在煤层中的分支。二者一起, 构成一逆断层系。这种逆断层系与推覆构造极为类似, 有明显的前、中、后三带之分。在后部, 以老地层为主的岩席可直接覆盖于产状正常的煤层之上, 这里煤层破坏严

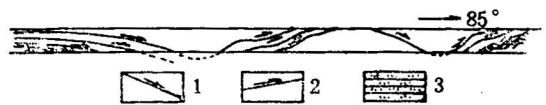


图 1 波状起伏的顺煤层断层组 (四川省白皎矿 K<sub>3</sub> 煤层)

Fig. 1 Waving coal-seam fault group (Baijiao coal mine in Sichuan Province)  
1—正断层; 2—逆断层; 3—细砂岩;  
1—Normal fault; 2—reverse fault; 3—fine sandstone

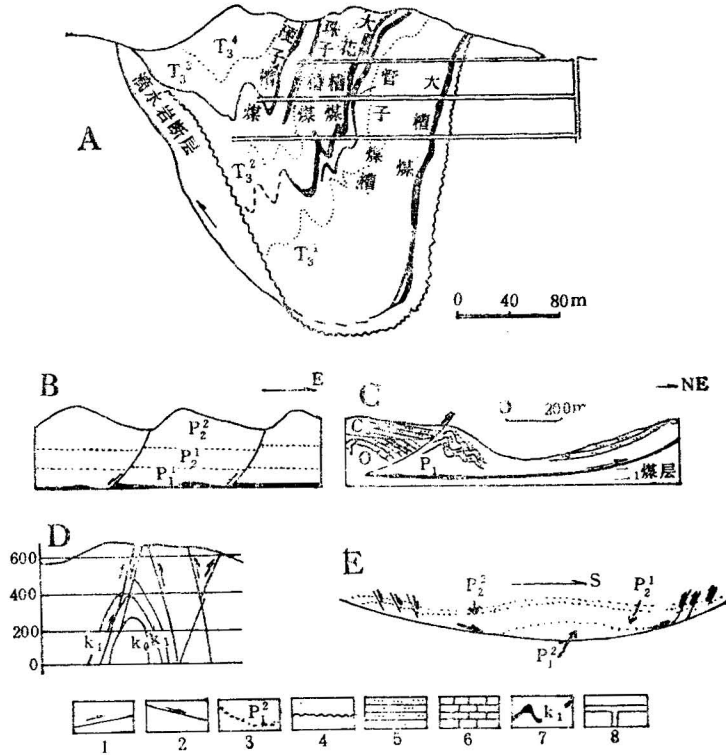


图 2 顺煤层断层的基本特征

Fig. 2 Basic characteristics of coal-seam faults

A—褶皱中发育的顺煤层断层（江西青山矿）；B—正断层转换的顺煤层断层（河南宜洛煤矿）；C—逆断层转换的顺煤层断层（河南观音堂煤矿）；D—顺煤层断层转换为切层断层（四川中梁山煤田）；E—重力滑动体下的顺煤层断层（河南嵩山，引自胡益成）

1—逆断层；2—正断层；3—地层单位；4—不整合面；5—细砂岩；6—灰岩；7—煤层；8—巷道

A—Coal-seam fault occurring in folds; B—transforming normal fault into coal-seam fault; C—transforming reverse fault into coal-seam fault; D—transforming coal-seam fault into dissected bedding fault; E—coal-seam fault under gravitational slip mass

1—reverse fault; 2—normal fault; 3—stratigraphic unit; 4—unconformable contact; 5—fine sandstone; 6—limestone; 7—coal-seams; 8—tunnel

重，厚度变化极大。在中带，是顺煤层断层发育最好的地段，地层层序正常，断层迹象难以为人们所察觉。而构造煤的存在和煤厚的强烈变化是识别中带顺煤断层的重要依据。在图 2C 所示的观音堂剖面中，在中带形成了无煤带与厚达37m的煤包相间出现的情形<sup>[8]</sup>。

顺煤层断层转换为切层断层者见于中梁山煤田，这种切层断层以小角度与煤层相交，且多为逆断层（图 2D）。

（3）顺煤层断层与重力滑动构造间的关系：在褶皱形成过程中，背斜两翼的地层因重力失稳而沿倾向滑动，形成重力滑动构造。在煤系发育区，其滑动面多选择区域稳定的煤层和软弱岩层。

河南嵩箕地区石炭二叠纪煤田中的重力滑动型顺煤层断层具有典型意义<sup>[9,10]</sup>。在燕山运动期，嵩山背斜隆起，在重力作用下，其南翼地层沿二<sub>1</sub>煤层南滑，形成著名的芦店滑动构造。在过去，人们一般认为滑动面位于山西组二<sub>1</sub>煤层之上的岩层中<sup>[9,10]</sup>。实际上，主滑面位于二<sub>1</sub>煤层中，即顺煤层断层在滑动构造中扮演了重要的角色。我们的证据有四：在滑体下的二<sub>1</sub>煤为全层鳞片状构造煤；煤厚变化强烈，在滑动构造北侧，有大片的无煤带存在，在南侧，则有厚达

10m的煤包; 煤层有动力变质现象; 二<sub>1</sub>煤层为一构造形态突变面, 二<sub>1</sub>煤层之上为背斜形态, 其下为向斜构造, 这说明, 顺煤层断层上、下系统的构造应力场有所不同(图2E)。

## 2 顺煤层断层的选层特征及形成条件

顺煤层断层具有选层发育特征, 其一般规律是: (1) 在两套力学性质差异较大的界面附近的煤层中优先发育; (2) 在多煤层煤系中, 优先选择厚煤层; (3) 在同一煤层中, 优先选择以镜质组为主的光亮型煤岩分层。

在四川南桐矿区, 龙潭组夹于坚硬的栖霞、茅口灰岩和长兴灰岩之间, 构成硬-软-硬三层结构。顺煤层断层发育于以细碎屑岩为主的龙潭中段的四号煤层中。在四号煤层中, 顺煤层断层又优先发育在三分层中(四号煤有四个分层)<sup>①</sup>。

萍乡晚三叠世煤田中, 岩石组合为双层结构。下部为二叠系石灰岩构成的海西期构造层, 不整合面之上为以碎屑岩为主的上三叠统煤系。顺煤层断层发生于煤系底部的大槽煤中。

在华北南部的石炭二叠纪煤田中, 以灰岩主体的太原组与下伏奥陶系灰岩一起构成下部坚硬岩层, 上部是以泥岩、粉砂岩为主的二叠纪地层, 其结构恰似萍乡煤田。顺煤层断层则主要发生于二叠系底部的二<sub>1</sub>煤层中。

其次, 煤体较低的力学强度是顺煤层断层易于发生的内在原因。如下表所示, 煤体的抗压、抗剪强度比泥岩更低。尤其是抗剪强度, 大致为泥岩的 $\frac{1}{2}$ , 砂岩和石灰岩的 $\frac{1}{4}$ , 所以, 顺煤层断层在这里发生是理所当然的。

表 1 华北某矿煤系岩石力学参数(强度单位为: MPa)

Table 1 Rock strength parameters in coal series of a mine in North China (unit: MPa)

岩石类型	单轴抗压强度	单轴抗拉强度	抗剪强度	粘聚力系数	抗弯强度
中级烟煤 及无烟煤	9.81—15.7	1.47—2.45	2.45—4.9	1.92—3.92	4.71—5.96
泥 岩	19.6—49	1.96—9.81	3.92—11.8	3.92—5.88	4.9—14.7
砂 岩	58.8—98.1	3.92—12.7	9.81—30.4	9.81—12.75	9.81—15.7
石 灰 岩	78.5—137	4.9—12.7	10.8—26.5	12.6—34.3	9.81—19.6

实际上, 自然状态下的煤层的强度较上表所列数值还要低。煤体中瓦斯的存在是使强度进一步降低的重要原因, 这是本文所要特别强调的。

煤层在温度、压力作用下发生变质, 系是一脱气( $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ )增碳过程。所生气体一部分逸出煤层, 一部分赋存于煤体的各级孔隙中。原始状态下的煤层都具有一定的瓦斯压力。据目前开采煤层所测结果, 瓦斯压力在 $30\text{—}50\text{ kg/cm}^2$ 者已不罕见, 而褶皱抬升前处于深部的煤层的瓦斯压力将远大于这一数值。

煤体强度随其中瓦斯压力的升高而降低。60年代, 煤炭科学院抚顺分院的王佑安同志通过试

① 张光德, 鱼田堡矿6\*煤层构造变形特征研究及瓦斯地质区划, 硕士论文, 1990。

验得出了这一结论。80年代,中国矿业大学的林伯泉、周世宁在较高瓦斯压力(70kg/cm<sup>2</sup>)条件下对瓦斯压力与煤体变形关系进行了更深入的试验研究<sup>〔11〕</sup>。实验表明,含瓦斯煤将发生膨胀变形,膨胀规律基本上服从朗格缪尔方程:

$$S = \frac{UVP}{1 + VP}$$

式中:  $S$ 为煤体相对变形值(%) ;  $P$ 为煤体绝对瓦斯压力(大气压);  $U$ 、 $V$ 是待定系数。

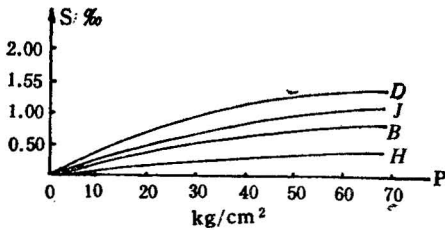


图 3 不同孔隙率煤的膨胀变形曲线

Fig. 3 Inflating deformation of coal with different porosity in different filling gas pressure

D—大屯姚桥矿孔隙率 19.46; J—焦作矿区孔隙率 13.86; B—淮南谢矿孔隙率 4.5; H—鹤壁三矿孔隙率 2.48 D—porosity 19.46 in Datuanyaoqiao coal mine; J—porosity 13.86 in Jiaozuo coal mine; B—porosity 4.5 in Huenaix mine; H—Porosity 2.48 in Hebi mine.

煤体膨胀变形值随瓦斯压力的升高而增大,随煤体孔隙率增大而增大(图3)。

煤体充气膨胀是含气煤体强度降低的另一物理表现。充气膨胀的物理实质是:气体进入煤体,占据了煤体中的各级微空间。在压力作用下,甲烷分子可逐步楔并并拓宽与其分子直径相近的格里菲斯裂隙(Griffith Crack),使煤体孔隙度增大,在体积上表现为膨胀变形。孔隙的扩展降低了煤体各颗粒间的联结力,其强度也相应降低。

含瓦斯煤层的“气垫效应”是顺煤层断层发生的第三个因素。高流体孔隙压力被认为在大规模低角度逆掩断层的形成中有着重要的作用<sup>〔12〕</sup>。高流体孔隙压力界面的作用,被形象地比拟为推覆岩席下的润滑层,它使岩席更易于推动,或者在倾角低到 1°~2° 时就可以顺坡滑动。与此相

比,高瓦斯压力的煤层,恰是一个气垫,大大降低了层滑的摩擦阻力,使顺煤层断层更易发生。

煤系变形过程中所产生的顺层剪切力是顺煤层断层发生的力学条件。

综上所述,顺煤层断层的发生,是特殊的剖面结构,煤层较低的力学强度、含瓦斯煤体的气垫效应和顺层剪切力四个条件共同作用的结果。

### 3 顺煤层断层的研究意义

众所周知,断层的发现及研究最早始于煤矿。几百年前,西欧的采矿工程师把巷道中煤层突然中断的现象称为断层。并从找煤的角度研究断层的几何形态及前方煤层的赋存状态。如果说那时煤层构造的研究对其后构造地质学的形成及发展有过启蒙和开拓意义的话,那么,也只能在几百年后的今天,在煤层大面积开采揭露的情况下,我们才可能注意到顺层断层的广泛存在及研究其形成机理,这也仍然是生产向我们提出的课题。顺煤层断层的深入研究是十分必要的,它具有极为重要的理论意义和实践意义。

#### 3.1 地层学意义

尽管顺煤层断层并不造成地层层序的改变,但煤层顶、底板的相对位移和煤厚的强烈流变,使煤系地层的平面位置和煤层、地层的真厚度发生了不可忽略的变化。与切层断层相比,这种变化对与地层厚度和空间位置有关的地质学研究(诸如含煤性分析,煤层厚度变化分析,沉积环境分析)结论的可靠性影响更大。因此,在顺煤层断层发育区工作,我们必须十分小心地对资料进行筛选。

### 3.2 构造学意义

地壳的层状地质体的构造变位,无非是垂向上的切层变位和水平上的顺层变位。在本世纪20年代以前,似乎垂向上的地层的构造变位更受重视。自板块构造学说诞生以来,随地球物理勘探技术水平的提高,人们越来越注意到地球不同圈层间和不同岩层间的顺层滑脱变位存在的广泛性和在地壳活动中的重要地位。当前,国际岩石圈计划研究的重要内容之一是地壳上部的薄皮构造,该计划所进行的以COCORP ECORS为代表的地震反射剖面揭示了造山带和裂谷下岩石圈结构是以多层逆冲—滑脱为特征的薄皮结构。造山带的薄皮结构尤为突出。煤系形成于晚古生代以来的沉积盖层中,区域上连续而稳定的厚煤层是盖层中的构造薄弱层,它把盖层分为双层结构,是大陆盆地内沉积盖层滑脱构造的良好界面,其上部地层极易滑脱变形。顺煤层断层上、下盘构造不协调现象及其它存在的广泛性,证实了这一薄弱层在浅表构造圈层地壳变形中所起的重要作用。从类比的角度出发,我们研究煤田中广泛存在、直观可见的顺煤层断层的基本问题,对揭示更深层次的薄皮构造或圈层间的滑脱机制,将有重要的借鉴意义。

### 3.3 实践意义

顺煤层断层的研究,对煤矿生产具有重大的实践意义,具体表现在下列方面:

(1) 它在一定程度上控制了瓦斯突出危险带、区的分布。在顺煤层断层作用下,煤层破坏形成构造煤,煤强度降低,孔隙率增加,瓦斯压力升高,造就了种种有利于瓦斯突出的地质条件。研究表明,在高瓦斯矿区,顺煤层断层发育区是突出危险区(图4),它是通过控制构造煤的分布来控制瓦斯突出危险区、带分布的<sup>[6]</sup>。因此,研究顺煤层断层的发育规律可以达到预报瓦斯突出危险带的目的。

(2) 它影响煤矿顶板管理:当顺煤层断层沿煤层顶部发育时,形成顶板破碎带,开采时顶板压力增大,管理困难。研究顺煤层断层可预报顶板破碎带的分布规律,指导煤矿安全生产。

(3) 它影响煤矿工作面的布置与开拓:顺煤层断层使煤层强烈流变,形成无煤带或厚煤包。研究断层发育规律,可以指导正确找煤。

(4) 它影响煤田构造形态的正确认识:在顺煤层断层形成时,断面上下盘应力场有较大的差异,从而导致其构造形迹的不协调,顺煤层断层成为一构造形态的突变面,这一点,在以往的研究中尚未引起注意。这种不协调主要表现在两个方面:①构造形态不协调。如图2E,顺煤层断层上盘为背斜,下盘为向斜;如图2D,顺煤层断层上盘地层为紧闭褶皱,而包括二<sub>1</sub>煤层在内的下盘为缓倾角单斜。

构造复杂程度不协调。一般的情况是顺煤层断层上盘(浅部)的构造形迹较下盘复杂。在豫西煤田的某一勘探区,沿二<sub>1</sub>煤发育顺煤层断层,在上盘,断层和次级褶皱极其复杂,致使勘探工作几上几下。但后来发现,地表复杂的构造至二<sub>1</sub>煤即行消失,二<sub>1</sub>煤虽流变严重,但构造形态简单,仍不失其开采价值。

(5) 顺煤层断层在逆掩断层系中扮演重要角色:在逆掩断层的根带,以老地层为主的复杂构造岩席很可能直接覆盖于构造简单的煤层之上。这在老矿区外围找煤工作中有一定的指导意义。

撰文期间,得到了张祖银教授的指导,特此致谢。

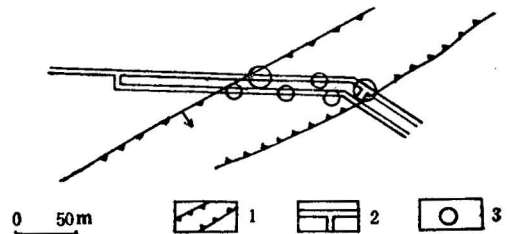


图4 顺煤层断层带内的瓦斯突出分布图

Fig.4 Coal and gas outburst sites in Coal-seam fault zone

1—顺煤层断层带; 2—巷道; 3—突出点;  
1—Coal-seam fault zone; 2—tunnel; 3—outburst sites

## 参 考 文 献

- 1 C. 莱伊尔. 地质学原理. 徐韦曼译. 北京: 科学出版社, 1960. 72—129.
- 2 武汉地质学院编. 构造地质学. 北京: 地质出版社, 1979. 150—156.
- 3 孙岩, 沈修志, 董钟谦. 层滑断层与层控矿床—以苏皖南部上古生界地层为例. 地质论评, 1984. 30(5): 430—436.
- 4 彭文武. 王家山矿区层面断层的工程地质特征. 煤田地质与勘探, 1982(3): 23—25.
- 5 徐凤银. 白皎井田层滑构造. 煤田地质与勘探, 1988(1): 20—25.
- 6 彭立世, 陈凯德. 层滑构造与瓦斯突出机制. 焦作矿业学院学报, 1988(3): 156—163.
- 7 侯泉林, 张子敏. 关于糜棱煤概念之探讨. 焦作矿业学院学报, 1989(3): 42—46.
- 8 曹运兴. 义马—破石断裂带的演化特征及地质意义. 煤田地质与勘探, 1991(6): 25—31.
- 9 李万程. 河南嵩山煤产地中的重力滑动构造. 构造地质论丛(2), 北京: 地质出版社, 1982, 88—99.
- 10 胡益成. 芦店滑动构造. 构造地质论丛(2), 北京: 地质出版社, 1982, 100—112.
- 11 林柏泉, 周世宁. 含瓦斯煤体变形规律研究. 中国矿业学院学报, 1986(3): 9—16.
- 12 Roberys J L. The mechanics of overthrust faulting; a critical review 24th. Int. Geol Cong Sec. 1972, 593—598.

## BASIC CHARACTERISTICS OF COAL-SEAM FAULTS AND THEIR GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

Cao Yunxing, Peng Lishi and Huo Quanlin

(Jiaozuo Mining College, Jiaozuo, Henan)

### Abstract

Coal-seam faults refer to those where their planes are developed along the coal seams and are at a low angle to or nearly parallel to the planes of the coal seams. Their significant diagnostic criteria are fault plane, tectonoclastic coal and sharp variation in coal seam thickness. Coal-seam faults can either exist independently or co-exist with other geological structures; they can convert into each other. Coal-seam faults often develop in such specific coal seams, as rather low in mechanic strength, present of gas pressure and/or with deformation shearing. Coal seam faults are widespread in coal fields especially in those where coal measures are highly deformed. It is important to study the structural feature of these faults because the coal-seam fault zone is high in gas content, a possible or a dangerous zone for coal and gas outburst. In this respect, coal-seam faults appear to control the spatial distribution of the dangerous zone of coal and gas outburst. Therefore, the dangerous zone of gas outburst could be predicted through the study of the coal-seam fault zone.

**Key words:** coal-seam fault, tectonoclastic coal, coal and gas outburst

### 作 者 简 介

曹运兴, 男, 1956年生。1982年毕业于焦作矿业学院, 获硕士学位, 长期从事煤田地质构造和瓦斯地质研究。现在焦作矿业学院瓦斯地质研究所任讲师, 通讯地址: 河南省焦作市焦作矿业学院。邮政编码: 454159。