

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

煤岩的显微构造特征及其与 瓦斯突出的关系

——以南桐鱼田堡煤矿为例

李 康 钟大赟

(中国科学院地质研究所, 北京)



煤瓦斯突出与煤岩显微结构构造密切相关。除部分显微结构构造与成煤阶段的环境等有关外,大部分都是构造变形的结果。因此,我们从构造变形类型和特点来划分煤岩显微构造类型,既简便又利于应用。根据四川南桐鱼田堡煤矿 4 号及 6 号煤层的扫描电子显微镜研究,可将煤岩划分成 5 类:非构造煤、微裂隙煤、微劈理煤、碎裂构造煤和糜棱构造煤。文中详述了各类煤的特点,指出它们所代表的构造意义,并讨论了它们与瓦斯突出的关系。还特别提出糜棱构造煤的一系列塑性变形特征。得出结论:若其他条件均具备,有糜棱构造煤产出的地段,就可能是瓦斯突出最危险的部位。此外,根据观察煤瓦斯突出后的煤岩显微构造变化,提出有关瓦斯突出的过程,并探讨了煤瓦斯突出机理。在瓦斯突出过程中,已经历过塑性变形的煤岩又叠加了脆性变形,因而发生大量煤“粉尘”随突出而抛出。

关键词: 煤岩 显微构造 瓦斯突出

1 前 言

煤瓦斯突出是一个复杂的、多种因素引起的、短暂的动力现象,这些因素包括地质构造、煤的力学性质和瓦斯压力等。许多研究结果^[1-2]表明,煤岩的显微结构构造与上述各种因素密切相关。因此,研究煤岩显微结构构造的变化,将为煤瓦斯突出提供一些信息。70 年代以来,国外学者用扫描电子显微镜看到突出煤有纤维状结构^[3]、牵牛花状结构^[2]、和粒囊状结构等,并指出突出煤的煤层面上伴有剪切的擦痕和许多微裂纹、细褶皱^[3]。

我国最早用扫描电子显微镜研究突出煤与非突出煤显微结构而见诸文献的是徐跃奇等^[4]的论述。他们提出突出煤有网状结构和粉粒状结构。其后,有些学者^[5-7]也做了这方面的研究。其中值得提出的是,袁崇孚等^[5]根据煤结构破坏程度分为原生结构煤、碎裂煤、碎粒煤(粒径大于 1 mm)和糜棱煤(粒径小于 1 mm),指出突出煤具网络状结构、微

角砾状结构、团粒状结构、蜂窝状结构和定向排列等。

本文根据四川南桐鱼田堡煤矿的 4 号和 6 号煤层的煤岩研究,探讨它们与瓦斯突出的关系。前人的研究^[8,12-16]表明,鱼田堡煤矿的瓦斯突出与煤田的地质构造甚为密切。例如,突出发生在褶皱的倾伏端、向斜的扭折带及断层附近等,尤其与煤层的“软分层”关系密切。因此,我们对该区 4 号及 6 号两煤层及其“软分层”的结构构造进行了详细的研究,结合矿区的地质特点进行分析后认为,研究煤岩的显微构造变化特征将为煤瓦斯突出因素和机理的探讨提供重要信息。现将研究结果和看法综述如下。

2 煤岩的显微构造类型

煤样主要采自鱼田堡矿区的 6 号 (K_1) 和 4 号 (K_3) 煤层,属二叠纪龙潭组,为该矿主采煤层,其底板为茅口灰岩。 K_1 平均厚 1.31m, K_3 平均厚 2.61m, 均以瘦煤为主。

前已述及,不同研究者对煤岩微结构作了不少研究,提出了各种分类。大多数分类是依据煤岩微结构形态。由于煤岩的显微形态比较复杂,一般难以划分清楚,不同研究者对形态又给予不同的描述术语,致使不同矿区的煤岩研究结果较难对比。除了部分的煤岩结构是与成岩作用或成煤阶段的环境有关外,大部分煤岩结构都经过成岩后叠加构造变形的改造。根据我们对鱼田堡矿区的煤岩研究结果认为,按照煤岩的主要变形特点,把变形不强的煤称非构造煤,其他依构造变形强度及类型分为微裂隙煤、微劈理煤、碎裂构造煤和糜棱构造煤(后二者分别相当于动力变质中形成的碎裂构造岩和糜棱构造岩)。现分述如下:

2.1 非构造煤

这是一种保持原生的层状和块状构造的煤,条带结构清楚,煤样完整,质地坚硬。在巷道内见有少量节理,煤岩沿节理裂开成块。

扫描电镜下,该类煤的特点是致密均一,呈似均质体,没有明显的变形现象,即使放大到 5000 倍以上,仍保持致密结构,其断面平整或出现贝壳状断口、断阶等(图版 I-1)。在断面上有时还可见到不规则的原生孔,其孔径 $< 1\mu$, 无定向分布,彼此孤立而不相连通。这些微孔和裂隙是游离瓦斯存在的场所。这类煤的瓦斯解析很慢,就与上述特点有关。此类煤岩分布最多,一般都是非突出煤。

2.2 微裂隙煤(又称微节理煤)

此类煤质地较坚硬,具发育程度不同的构造微裂隙。在开采过程中,它们裂开成大小不一的块体或板片。

根据裂隙的成因不同,可细分为微张裂隙和微剪裂隙两种。它们在煤岩中屡见不鲜,两者常相伴出现(图版 I-2)。在扫描电镜中,张裂隙表现为裂隙面,不平直,延续短的呈锯齿状或弯曲状,稍显张开,裂隙两壁凹凸对应,表明没有产生位移。微张裂隙偶呈羽状排列,间隔宽度不等,一般为 5—0.5mm。微剪裂隙在煤岩中,通常成组出现,剪切面平直,相互平行,有时呈多组交切,在平面上呈 X 形、Y 形,将煤岩割切成微棱柱形或矩形等(图版 I-3)。同组微剪切裂隙在平面上呈羽状展布,沿剪切裂隙有时可见微错移及擦痕、镜

面等现象。它们的间隔为 0.2—3mm, 延续比微张裂隙长、平直和密集。通常裂隙内无碎粒充填。随着裂隙的增多, 微剪裂隙内煤碎细粒也随之明显增多。它们以大小不一的棱角状或次棱角状微粒相互交叠支撑, 没有强烈的转动和位移现象。在扫描电镜高倍放大下, 这些碎细粒以致密结构为主(图版 I-4、5)。说明, 尽管微裂隙性质、密度和碎细粒粒径各不相同, 它们却都是简单的脆性形变产物。

按照微节理发育程度及煤岩碎粒化程度的不同, 可将微裂隙煤进一步细分为简单型(微裂隙稀疏, 裂隙内不见或少见细碎粒)和碎裂-微裂隙复合型(微裂隙发育, 裂隙内细碎粒明显等)。实际上, 后者已成为碎裂构造煤(详见下节)的过渡类型。

根据我们测定(用放大 500 倍煤岩照片在 Magiscan 图像处理仪上测得, 下同), 微裂隙煤中的裂隙所占视面积一般为 4—7%, 在裂隙发育部位可达 14%。这些微裂隙彼此有一定的连通, 对瓦斯赋存条件来说, 应列为开放系统。

2.3 微劈理煤

如果在煤岩中出现一组很密集的、平行排列的、间隔 $<1\mu$ 的、薄片状的剪切裂隙, 可称为微劈理煤, 这种构造形迹称微劈理。它们是镜面样的鳞片状, 在受外力或采掘时呈鳞片剥落。

扫描电镜高倍放大后, 此类煤呈线状平行排列(图版 I-6), 显示煤岩基质沿劈理方向, 曾发生过某些迁移和重新组合的迹象。由于煤岩本身是一种非均质的凝胶体, 很难判断它们沿劈理面发生过成分上的或结构上的变化。推测这种结构类似泥岩中板劈理的形成机制^[47], 沿劈理面凝胶体的煤, 发生过局部压熔现象, 煤岩物质经历了迁移和沉淀, 从而显示某种类似优选定向的构造——劈理。我们认为, 微劈理煤可能代表了脆-韧性过渡变形域内的一种产物, 即煤岩物质沿微劈理面发生过迁移组合, 因而形成了连续的线性显微裂面, 从而把煤岩中的原生孔隙和其他构造缝隙相互连通。这些缝隙所占视面积为 6—7%, 成为吸附和游离瓦斯迁移通道和聚集场所。此类煤对瓦斯储集来说应属开放或半开放系统。

2.4 碎裂构造煤

该类煤光泽暗淡, 常发育多组裂隙, 疏松, 易裂解成细小碎粒。在扫描电镜下, 此类煤由基质和碎斑(图版 I-7、8、9)两部分组成。基质是由不规则的微米级(1—50 μ)的煤岩微角砾组成, 平均直径一般为 10—15 μ , 最大可达 100 μ 。它们杂乱堆积, 无明显优选定向。微角砾之间是不规则的裂隙和空隙, 间或有更细小的碎粒($<1\mu$)充填。微角砾常沿煤岩裂隙呈带状分布, 基质角砾未见明显的转动、滑移。碎裂带的周缘则为未变形的或变动很弱的碎斑煤岩。值得注意的是, 基质粒径在靠近碎斑边缘要比远离碎斑部位的小(图版 I-8), 这说明碎粒作用自两相邻碎斑接触处开始, 由此向中部扩展, 应力在碎斑接触处集中, 变形相对最强。这些变形特征与地壳浅部产出的长英质岩的断层岩的形变特征十分相似。它们的显著特征是, 碎粒边缘很不规则, 大小不一, 随机排列叠置, 无明显的成分变异和定向结构。碎裂作用是主要的变形机制。我们认为, 碎裂构造煤中大量的(视面积占 10% 以上)粒间隙和孔隙相互连通, 因而, 它的瓦斯赋存条件应属开放系统。

2.5 糜棱构造煤

一种经历了强烈变形的煤岩,它的许多特点与长英质糜棱岩可以类比^[19]。

过去把糜棱岩看作是碎裂岩之一,是沿断层运动使碎粒物质进一步研磨变细的产物。近年来,经过野外和室内详细观察和研究,把断层岩分为两个系列:脆性的碎裂岩系列和韧性的糜棱岩系列(Sibson, 1977)。在我们看到的煤样中,主要是不同程度的碎裂构造,无论煤岩微角砾变得如何细小,甚至形成超微角砾结构或文献^[5,11]中所提到的“糜棱煤”,都是从煤岩细粒化程度来考虑的,它们都是以碎裂作用为主要变形机制的结果。本文所指的糜棱构造煤,不仅是煤岩的粒径变小,而更重要的是,它具有韧性变形的特征,煤岩物质定向排列而出现面理构造(流动构造)。通常,长英质糜棱岩是以矿物的位错蠕变为主的塑性变形产物,岩石的原生矿物发生同构造期的重结晶,因而糜棱岩具有许多特有的显微构造特征。例如粒内应变效应、核幔构造、不对称显微构造(不对称眼球状构造)、残碎斑晶、压力影构造、石香肠构造和基质的流动构造等。上述这些长英质糜棱岩的变形特征,我们在煤岩中也能观察到一些。不同的是,煤岩是一种凝胶体,很难辨别晶内变形现象。现将观察到的现象略述如下。

糜棱构造煤呈暗灰色,质地疏松,具明暗相间的微条带构造(相当于面理 foliation)。标本易破碎成小鳞片或“煤粉”。在扫描电镜下可看到相互平行的纹带状构造(放大100—200倍)——流劈理。当增加放大倍数后,观察到类似固态流变特征(图版 I-10)。此类流动构造也由两部分组成:残斑和基质。残斑是一些较硬的变余残块,包括变余煤岩碎块、黄铁矿晶粒等。它们组成不对称的眼球状构造(图版 II-1)。残斑周缘是基质,它由粒径更细小($<1\mu$)的塑性流动的煤岩微粒组成(类似于长英质糜棱岩中动态重结晶颗粒),环绕残斑周缘流动,微现波状,在眼球状构造两端形成由残斑细碎粒组成的不对称的尾部,尾部收敛方向平行于面理。根据尾部特征,可示出剪切指向。基质的流动构造(即面理)是煤凝胶体定向展布而表现出来,代表了韧性剪切带内连续变形过程中的应变主拉伸轴方向,形成特征形的面理构造,它是一种小尺度的剪切带。另一组面理构造用 S 表示,是由矿物旋转定向或新生矿物、重结晶矿物及集合体的长轴方向的优选方位而表现为不连续的面状构造(参看图版 I-10)。这两种面理成一锐角相交,相当于韧性剪切带内典型的 C-S 构造,说明该煤岩经历了简单剪切变形。

上述说明,我们所研究的糜棱构造煤是在韧性剪切带中发生过塑性流变构造的产物(即构造地质学中所说的糜棱岩)。

根据文献^[12,14,20,21]和我们的观测,糜棱构造煤是“软分层”的一部分,位于煤层中一定的部位,如褶皱的转折端或断层带内,或靠近煤系顶、底板,表明糜棱构造煤的许多微观特征,也证实了它们是简单剪切滑动而形成的,它与碎裂构造煤的形成条件不同。糜棱构造煤应是在低应变速率或温度,围压较大的条件下,煤岩遭受剪切变形而发生固态塑性流变的结果。

这类煤的特点是:原生煤的结构构造大部分已消失,代之以新生的面理构造。在扫描电镜高放大倍数下看到,面理之间不仅紧密压实封闭,且断续不相连通(图版 II-2)。因此面理间隙和煤岩孔隙连通性差。这为煤瓦斯储集提供很好的场所。

3 煤岩中显微孔的特征

在鱼田堡煤矿 4、6 号煤层的煤岩中,能看到一些显微孔,孔径多为 $0.1-3\mu$ 。在扫描电镜下,通常需放大 3000—4000 倍时才能看清。这些孔中,有些是矿物(黄铁矿、粘土或方解石等)印模,有些是在凝胶化过程中残留的气孔或是植物组织孔等。这些残留孔多为细小单孔,孔径一般小于 1μ , 在煤岩中零散分布,偶尔密集成群。在煤岩遭受变形时,这些微孔的形态有明显变化。由图版 II-3、4、5、6 可看出:(1) 在微孔较密集的部位,煤岩容易发生破裂;(2) 当煤岩遭受变形时,原先相隔的孔可以连通;(3) 部分微孔显出被压扁,其拉长方向与煤岩的面理方向一致。表明,不论这些微孔的成因如何,它们都遭受与煤岩的同期变形,其长轴与所在煤岩的构造面理一致就是证明。因此,微孔在煤岩中现存特征也可作为煤岩变形的佐证。这是因为,孔洞为三维 (X、Y、Z) 形体,在某个方向受挤压后,它在 3 个方向上的反应不同。如图 1 所示,假定原生孔是圆形的,当沿 Y 方向挤压时,在 XY、YZ 面上将看到被压扁成椭圆形,而 XZ 面则保持圆形。由此,可以根据孔的形状反演煤岩变形情况。图版 II-3、4、5、6 说明了煤岩已受到垂直劈理面的挤压。因而,在样品的某个截面观察到的未变形的原生孔,并不都能说明该煤岩没有遭受变形,还要根据截面与当时应变轴的关系而定。

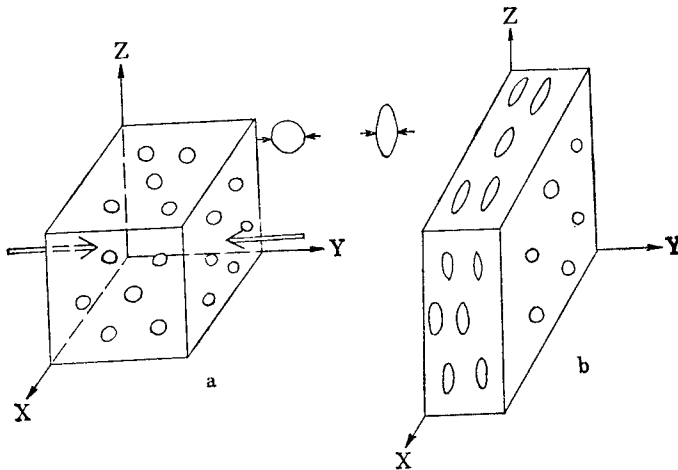


图 1 煤岩挤压后孔洞变形特征示意图

Fig. 1 Diagram showing deformation characteristics of the pores in coal after compression

a. 未变形; b. 变形

a. undeformation; b. deformation

值得提出的是,在鱼田堡煤矿 4、6 号煤层的煤岩中,有时能见到直径为 10^2-10^5 \AA 超微孔,轮廓较圆。在 4 号煤层中较常见,它密集时所占视面积可达 20% (放大近万倍时),而 6 号煤层仅为 10.78%。观察表明,这些超微孔是原生孔^[22], 它们也是瓦斯吸附储集的空间。这暗示了煤瓦斯较缓慢解析的原因和 4 号煤层比 6 号煤层易突出的原因之一。分析和对比煤岩中微孔及超微孔数量及其变形特征,将为寻找煤瓦斯突出因素提供重要的

信息。

4 煤瓦斯突出与煤岩显微构造特征的关系

从鱼田堡 4 号和 6 号煤层的“软分层”的显微构造对比研究发现,“软分层”是在显微构造上十分不均一的变形煤岩体。它包括不同构造特征的煤岩组合,甚至在同一块手标本和扫描电镜测试样品上,可以看到不同的构造类型,既有(1)非构造煤、(2)微裂隙煤,也可以有(3)微劈理煤,有时有(4)碎裂构造煤或(5)糜棱构造煤。根据我们观测 6 号煤层“软分层”的 100 多个样品来看,绝大部分应列为(1)、(2)、(3)、(4)类,其中(1)、(2)类居多。上节中已提到,它们的微孔很少,零散分布。有关统计资料表明,6 号煤层瓦斯含量为 $15\text{m}^3/\text{t}$ (4 号煤层为 $25\text{m}^3/\text{t}$)。这些因素可以解释为什么 6 号煤层中虽有“软分层”发育但瓦斯并不普遍突出。

鱼田堡煤矿 4 号煤层的“软分层”中见到糜棱构造煤,塑性流动产生了新的煤岩构造——面理。新生面理是一种压剪条件下煤岩固态剪切流变的结果。煤岩物质由于颗粒变小,孔隙压实、体积缩小,面理之间缝隙闭合。一些原生孔隙因挤压剪切,沿面理方向压扁拉长,有时邻近的单个孔隙首尾相接,构成较扁长的、但不能构成纵贯相连的孔隙。因而总体来说,糜棱构造煤内赋存的瓦斯处于一种封闭状态。再者,上节已提到在 4 号煤层的煤岩中有超微孔占视面积 20%。看来,4 号煤层含瓦斯量高($25\text{m}^3/\text{t}$)与此有关,这也是 4 号煤层瓦斯较普遍突出的重要原因之一。

研究 4 号煤层突出后的标本还可以发现,糜棱构造煤内新产生了大量的张破裂,把完整的糜棱构造煤破碎成大小不一($10-100\mu$ 粒径)、形状各异、边棱呈锯齿状的碎裂块(图版 II-7),它是糜棱构造煤叠加了的碎裂构造,每个碎粒块上依稀可见残留的糜棱面理。而且有些碎粒是由更细小的微碎粒($<1\mu$)组成。这些微碎粒是沿原有糜棱构造煤的面理进一步碎裂的产物,形成了类似碎裂流构造(图版 II-8、9)。这些清楚表明,糜棱构造煤在瓦斯突出过程中,叠加了脆性变形。

从这些突出后煤样的显微构造中,我们还得到有关瓦斯突出过程的许多启示。在一定埋藏深度,煤层遭受强烈的挤压剪切(如层间滑动等)变形,而转变为糜棱构造煤。其原生孔隙被压扁或呈细长缝隙,变形使煤岩体积缩小,微孔隙的吸附和自由的瓦斯压力随之增大。这些不相连通的、富含瓦斯的微裂隙处于某种封闭系统条件下,一旦周围应力和围压减小时,特别是采掘过程中,采掘面前方出现应力梯度带,当最大应力集中在糜棱构造煤部位时,根据 Griffith 破裂理论,在糜棱构造煤中的微裂隙的端点(包括劈理和糜棱煤面理)发生应力集中,微破裂迅速扩展,并与邻近微破裂相连通(图版 II-10),糜棱构造煤中受压缩的煤瓦斯也随之瞬时体积膨胀。由于微裂隙相互连通,引起大量煤瓦斯迅速向压力小的开拓面会聚集中。微破裂的扩展和连通与瓦斯压力增大和瓦斯含量增长相互促进,从而在糜棱煤内出现一个强烈的脆性破裂区。当碎裂的糜棱煤内的瓦斯压力超过开拓自由面煤岩的抗压强度时,聚积的煤瓦斯将夹裹其碎裂的煤一起向开拓巷道内突出。上述设想的突出过程和机理,可以说明许多观察到的突出现象:突出前的声发射现象是与糜棱煤中破裂生长扩展有关;突出大量气体是糜棱煤中压缩瓦斯由于破裂瞬时或短小时内迅速连通会聚,和由于压力减小,气体体积膨胀(可用 $V_0/V_1 = P_1/P_0$ 公式表示)有关。

由于瓦斯解析引起了开拓面壁的煤温下降,在饱含瓦斯的煤解析时,这种效应表现得最为充分。另外,突出煤粉是糜棱煤叠加了碎裂变形而形成的微粒($<1\mu$)大量抛出的结果。关于煤瓦斯突出所抛出的煤量,常远大于突出后留下的突出区空间体积。经研究^[23],如果将等大球作紧密堆积,堆积体体积为球体体积总和的 1.35 倍,即体积占有率为 74.05%。如果将等大球任意堆积,其堆积密度有几种,分别为 63.4%、59.3%、55.33%。这说明,原来是实体的煤岩破碎后的体积(在等块度情况下)应比原来体积所占空间增大近 1 倍。然而,煤岩被瓦斯突出的瞬时应力所破碎,可以设想,形态各异、尖棱多角、大小不等的、杂乱的煤岩微细碎粒的任意堆积,其体积占有率必将小于 55.33%。换句话说,突出后的煤岩所占空间将大大地超过原有体积的 1 倍以上。这就解释了瓦斯突出所抛出的煤体积远远大于突出区间体积的原因。

5 讨论和结论

1. 根据构造变形强度和类型,可将鱼田堡矿区的煤岩分为非构造煤、微裂隙煤、微劈理煤、碎裂构造煤 (cataclastic coal) 和糜棱构造煤 (mylonitic coal) (图 2)。非构造煤为坚硬致密块体,微孔和裂隙较少,连通性差;即使有高压瓦斯存在,也处于封闭的平衡状态^[24],其力学性质应属“能干”岩层,是非突出煤。微裂隙煤以其有不同密集程度的张、剪构造裂隙为特征,它们的连通性能随其裂隙密集程度增大而增大,力学强度随之减小。由于裂隙连通性好,可视为开放系统,一般不易发生瓦斯突出。微劈理煤代表脆—塑性过渡域内的产物,煤岩内有线性不连续的微裂面,连通性差,构成瓦斯赋存条件的开放或半开放系统,一般不发生或较少发生瓦斯突出。碎裂构造煤和糜棱构造煤是煤岩中遭受较强烈的构造变形改造而形成的,是煤岩原生结构破坏后再组合,引起结构构造和物理力学性质等变异的一种煤岩。前者是脆性变形产物,碎裂作用使煤岩碎粒间隙大大增加,连通良好,我们认为应列为开放系统。糜棱构造煤是由于塑性变形,煤岩物质重新排列,使其体

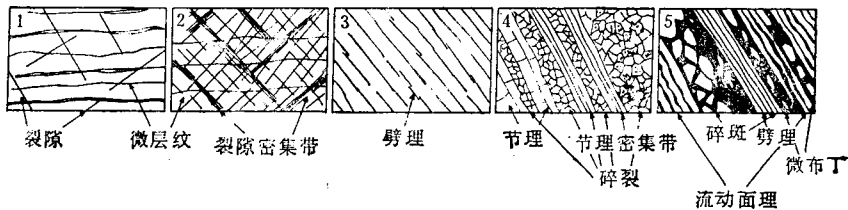


图 2 不同构造类型的煤岩示意图

Fig. 2 Diagram showing different types of structures in coal

1. 非构造煤; 2. 微裂隙煤; 3. 微劈理煤; 4. 碎裂构造煤; 5. 糜棱构造煤
 1. nontectonic coal; 2. microfracture coal; 3. microcleavage coal;
 4. cataclastic coal; 5. mylonite coal

积、空隙均减小,裂隙的连通性减小,煤瓦斯解析的空间被压缩,可视为封闭系统。由于强烈流变而产生的新生的面理构造,使煤岩的力学强度大大减弱。因而糜棱构造煤出现的部位就可能是瓦斯突出的危险地段。

2. 从 6 号及 4 号煤层“软分层”的对比研究可看出, 4 号煤层中有明显的塑性变形的

形迹——糜棱构造煤和含较多超微孔。这可能与它具有下列因素有关:煤岩组分(含30—70%木栓质体,灰份低)、不含夹矸、厚度较大(平均厚度为2.61m)、煤层顶、底板为厚40—44m的砂质页岩及细砂岩层,该煤层处于整个煤系中部,若煤系发生滑弯曲变形时,它作为滑动层(“非能干”层)发生简单剪切滑动。这可能是4号煤层中“软分层”普遍发育的重要原因。对6号煤层来说,它们主要是脆性及脆—塑性变形产物,其主要组分为镜质组、灰分较高,并含夹矸1—3层,厚度稍薄(平均厚1.51m),又处于整个煤系的底部,下伏茅口灰岩(厚240米),因此,在变形时可起到“能干”层的作用,“屏障”了6号煤层强烈变形,这可能是6号煤层内“软分层”不很发育的原因。

3. 煤瓦斯突出与“软分层”有直接关系。但是,鱼田堡煤矿6号和4号煤层的“软分层”并不都是处处突出。经研究表明,如果其他条件(如瓦斯含量、瓦斯压力等)相同,那么,那些包含有糜棱煤的“软分层”才是煤瓦斯突出最危险的部位。

作者在采集样品过程中得到河南焦作矿业学院袁崇孚教授、张祖子、银成老师以及李火银、张广德同志,南桐煤矿瓦斯研究所尹代勋所长和中国科学院地质研究所梁金火等同志的帮助,工作中得到孙广忠教授和许兵教授的支持,在此一并感谢。

参 考 文 献

- 1 马洛特·伊什特万等。用电子显微镜分析煤的结构以鉴别瓦斯突出危险煤层。见:煤矿安全技术,1982,(4): 78—82。
- 2 栗源一雄等。关于瓦斯突出煤的形状和炭化程度。采矿与保安1978,24(12): 1—13。
- 3 Evans H, Brown K. M., Coal structures in Outbursts of Coal and firedamp conditions. The Mining Engineer, 1973 132 (148): 171—179。
- 4 徐跃奇、石淑娴、任玉琴。突出煤与非突出煤结构的探讨。煤矿安全,1980,(1): 10—15。
- 5 袁崇孚。构造煤和煤与瓦斯突出。瓦斯地质1985,创刊号: 45—52。
- 6 煤炭科学院重庆煤炭研究所电镜组。用扫描电镜研究突出煤的微结构。煤炭工程师,1986,(4): 25—35。
- 7 吴俊。突出煤的微结构及表面特征的研究。煤炭学报,1987,(2): 40—46。
- 8 王佑安、杨思敬。煤和瓦斯突出危险煤层的某些特征。煤炭学报,1980,(1): 47—53。
- 9 于不凡。煤和瓦斯突出机理。煤炭工业出版社,1985。
- 10 彭立世。煤与瓦斯突出预测的地质指标。瓦斯地质,1985,创刊号,53—60。
- 11 Shepherd, J., 关于煤与瓦斯突出和地质构造关系的综述。瓦斯地质,1986,(1—2): 91—98。
- 12 罗开南。用瓦斯地质观点分析南桐矿区煤与瓦斯突出。瓦斯地质,1987,(3—4): 40—45。
- 13 李安文、杨恒玉、袁崇孚,南桐鱼田堡矿瓦斯突出区域性预测和点的预报。瓦斯地质,1987,(3—4): 6—13。
- 14 黄德生,对扭曲区域煤与瓦斯突出的认识。煤与瓦斯突出预测资料汇编,1987,36—93。
- 15 孙传显、龙本生,南桐煤矿煤体结构差异破裂对瓦斯突出的影响。西安矿业学院学报,1989,(2), 21—24。
- 16 谭学术,南桐煤矿与瓦斯突出危险区域的研究。煤炭学报,1990,15(2): 73—78。
- 17 Li Kang, Zhong Dalai, A study of microstructure and microchemistry of the cleavage in black slate. Proceeding of Beijing Conference and exhibition on instrumental analysis, 1985, Vol. 1: 397—402。
- 18 Palm K, Menneking F., 瓦斯突出的发生和表现形式。煤、岩石和瓦斯突出国外资料汇编第3辑,1981, 15—24页。
- 19 钟大贲,石英长石质断层岩的某些特征。岩石学研究,第2辑,1983, 32—44页。
- 20 Иванова Е. П. О природе формирования выбросоопасных зон, 1988, Уголь, 7: 5—7。
- 21 Белинский П. Л. О механизме внезапных выбросов угля и газа, 1986, Уголь Украины, 1, 11—13。
- 22 郝奇,煤的显微孔隙形成特征及其成因探讨。煤炭学报,1987,(4): 51—55。
- 23 张金民,颗粒堆积的体积问题。矿物岩石地球化学通讯,1989,(1): 1—3。
- 24 近藤忠和,根据瓦斯突出各种现象对“瓦斯突出理论”和“实验证明”的考察。煤、岩石和瓦斯突出国外资料汇编第3辑,1981, 25—31页。

MICROSTRUCTURES OF COAL AND THEIR RELATION WITH GAS OUTBURSTS —A CASE STUDY OF THE YUTIANBAO COAL MINE, NANTONG

Li Kang and Zhong Dalai

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing)

Abstract

Outbursts of coal and gas are closely related to coal microstructures. Part of microstructures of coal are associated with the coal-forming environments, but most of them are produced by tectonic deformation. In this paper the types of microstructures of coal are distinguished according to the types and features of tectonic deformations, which is convenient and easily employed by geologists. Based on the SEM study on coal petrography of No.4 and No.6 coal seams of the Yutianbao coal mine, Nantong coal field, five types of coal are distinguished: nontectonic coal, microfissure coal, microcleavage coal, cataclastic coal and mylonitic coal. The microstructural features of various types are described in detail and their geological implications and relationships with coal and gas outbursts are also discussed. Special attention is paid to a series of the features of plastic deformation of mylonitic coal and new discoveries related to it. It is concluded that if all other factors influencing outbursts of coal are met, the place with mylonitic coal is the most likely risk site for outbursts.

The process and mechanism of coal and gas outbursts are suggested based on a series of changes in microstructures of the coal after bursting. In the process of gas outbursts, the plastic deformation is superimposed by brittle deformation, thus ejecting large quantities of coal dust.

Key words: coal, microstructures, gas outbursts.

图 版 说 明

图 版 I

1. 非构造煤,致密均一。照片右下方可见贝壳状断口, SEM. $\times 1630$ 。
2. 微裂隙煤。照片上 NW 方向的一组裂隙为微剪裂隙, NE 向的是微张裂隙, SEM. $\times 14.3$ 。
3. 微裂隙煤,显示多组微节理割切, SEM. $\times 500$ 。
4. 碎裂—微裂隙煤。照片显示微裂隙中细碎粒的情况, SEM. $\times 192$ 。
5. 碎裂—微裂隙煤。照片展示在平面上三组微节理及其中微细碎粒的情况, SEM. $\times 95$ 。
6. 微劈理煤。显示微劈理的密集、平直, SEM. $\times 4260$ 。
7. 碎裂构造煤。显示煤岩残斑为细碎粒环绕, SEM. $\times 310$ 。
8. 碎裂构造煤中残斑与基质的关系。照片右上角为残斑, SEM. $\times 500$ 。
9. 碎裂构造煤中的细碎粒不规则形、大小不一,随机堆叠的情况, SEM. $\times 1000$ 。
10. 糜棱构造煤。照片展示糜棱构造煤的面理构造和 C-S 构造, SEM. $\times 540$ 。

图 版 II

1. 糜棱构造煤中由残斑构成的不对称眼球状构造,残斑周围显示的流动构造和压力影构造, SEM. $\times 4540$ 。
2. 糜棱构造煤中面理间隙的不连通特点, SEM. $\times 10700$ 。
3. 煤岩中密集的微孔(三维形貌), SEM. $\times 1720$ 。
4. 煤岩变形后微孔的正视面(为照片 3 中 a 面放大), SEM. $\times 3860$ 。
5. 煤岩变形后微孔呈椭圆形,其长轴方向与劈理一致(为照片 3 中 b 面放大), SEM. $\times 3860$ 。
6. 煤岩变形后微孔随煤岩变形而拉长,其长轴方向与劈理一致(为照片 3 中 c 面放大), SEM. $\times 5050$ 。
7. 展示糜棱构造煤在瓦斯突出时叠加的碎裂构造,注意每颗碎粒上残留的面理, SEM. $\times 4200$ 。
8. 煤瓦斯突出时形成的碎裂流构造, SEM. $\times 3660$ 。
9. 展示碎裂流构造煤中的细碎粒由超微粒组成, SEM. $\times 11200$ 。
10. 展开瓦斯突出时,糜棱构造煤的面理上产生的裂隙(注意照片右上部雁行排列的裂纹)及其连通情况, SEM. $\times 510$ 。

作 者 简 介

李康, 1933 年生。1956 年毕业于北京地质学院。从事构造地质学、电子显微技术研究。现任中国科学院地质研究所副研究员。通讯地址: 北京 634 信箱, 邮政编码: 100029。

