

# 地质构造因素对煤与瓦斯突出的影响

苗彦平, 郑旭鹤, 王宏梁, 折刚

陕煤集团神木红柳林矿业公司, 榆林 719000

**摘要** 为深化对煤与瓦斯突出机理和过程的认识, 综述了煤与瓦斯突出与地质构造的关联。从应力、瓦斯和煤的属性3个方面分析地质构造对突出控制因素的影响, 将地质构造作用过程考虑到突出的孕育阶段, 并提出下一步突出机制及防治方法的研究方向。结果表明, 地质构造不仅会改变煤层的应力和瓦斯环境, 同时还会造成煤层的几何形态和煤的物理结构改变, 地质构造区内煤的物理结构变化对突出的影响应该被重视。地质构造作用过程被增加到突出的孕育阶段, 构造作用过程是指构造运动对原始煤层应力和瓦斯赋存状态改变以及煤的物理结构改造过程。基于突出的地质信息、构造煤的形成及特性、突出与构造煤的内在联系等方面, 凝练煤与瓦斯突出机制及防治方法的未来研究方向。

**关键词** 煤与瓦斯突出; 地质构造; 应力; 瓦斯

煤炭作为中国的主要能源, 在中国一次性能源消费结构中所占的比例达到70%以上<sup>[1]</sup>。例如, 2000—2020年, 中国煤炭年产量由11.06亿t增至39亿t。常年的高强度煤炭资源开采, 使得中国浅层煤炭资源已经逐渐枯竭, 许多矿区相继进入深部开采阶段。开采深度的增加意味着煤炭开采环境的持续恶化, 煤炭开采将面对更加复杂的地质构造、高瓦斯压力、高瓦斯含量、高地应力、低强度和低渗煤体等一系列的难题, 而这些均是诱发煤与瓦斯突出灾害的有利因素之一<sup>[2-3]</sup>。

煤与瓦斯突出(简称突出)是煤层中存储的瓦斯能和应力能的失稳释放, 表现为短时间内向生产

空间抛出大量煤(岩)与瓦斯<sup>[4-5]</sup>。据统计, 世界各国累计发生突出事故已超过37000次, 仅中国就发生了20000次以上的突出事故<sup>[5-7]</sup>。其中, 2020年全国共发生煤与瓦斯突出事故2起, 2021年全国共发生煤与瓦斯突出事故5起。目前, 中国是世界上突出灾害最严重的国家之一。

中国突出灾害严重主要由煤炭资源的赋存环境所决定。中国各聚煤盆地在形成过程中受到一期或者多期构造运动叠加改造作用, 经历了复杂的沉积、抬升剥蚀及构造变形过程。中国大部分地区煤层的埋深较大, 地质条件较为复杂, 90%的煤炭资源仅适合井工开采, 这造成绝大多数煤炭开采需

收稿日期: 2022-08-23; 修回日期: 2022-10-19

基金项目: 陕煤集团神木红柳林矿业有限公司校企合作项目(SMJLL-JS-YJ2020006)

作者简介: 苗彦平, 高级工程师, 研究方向为矿山安全、矿山灾害治理, 电子信箱: 1401897954@qq.com

引用格式: 苗彦平, 郑旭鹤, 王宏梁, 等. 地质构造因素对煤与瓦斯突出的影响[J]. 科技导报, 2024, 42(2): 111-119; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2024.02.011

要克服复杂的井下环境<sup>[6]</sup>。研究表明<sup>[7-10]</sup>, 80%左右的突出事故都发生在地质构造活动区域, 且突出的分布和危险性与地质构造的关联性表现出极强的规律性。

然而, 由于突出机制及过程的复杂性, 很难用统一的理论对不同地质条件下的突出机制进行解释。大量的研究将突出发生机制归纳为应力、瓦斯和煤的特性综合作用的结果<sup>[2,4,11]</sup>。此外, 目前许多研究主要关注了突出与地质构造运动之间存在关联性, 而较少的解释地质构造因素对煤与瓦斯突出的影响。

结合文献回顾和案例分析, 研究煤与瓦斯突出与地质构造的关联。从应力、瓦斯和煤的属性3个方面分析地质构造对突出控制因素的影响, 将地质构造作用过程考虑到突出的孕育阶段, 揭示地质构造对突出的控制作用。提出下一步突出机制及防治方法的研究方向, 以期对深化突出机制和过程认识、研究突出防治技术提供理论基础。

## 1 煤与瓦斯突出与地质构造的关联

### 1.1 煤与瓦斯突出与地质构造的关联性文献回顾

煤与瓦斯突出是一种微型的地质灾害, 多年来, 国内外学者在煤与瓦斯突出与地质构造之间的关联性也展开了大量的研究工作。

Shepherd等<sup>[12]</sup>对多个产煤国家的突出事故原因调查发现, 绝大多数的突出发生在背斜轴部、褶皱枢纽区、断层强烈变形区等位置, 突出与地质构造密切相关, 不同构造变形控制区内的应力状态、构造煤分布和煤层瓦斯含量等都会对突出产生明显影响。Gray<sup>[6]</sup>统计了世界主要产煤国家105起突出案例, 其中明确突出点附近存在地质构造区的有87起, 比例高达83%。Wold等<sup>[13]</sup>研究认为澳大利亚煤矿突出灾害与煤层或围岩中存在地质构造有关, 这些构造的空间尺寸范围可以从几毫米到几米。此外, Frodsham等<sup>[14]</sup>同样明确证明了这一观点, 并针对背斜、向斜、推覆断层、正断层、层滑断层等具体的构造变形形态, 研究了其构造变形特征及其对煤与瓦斯突出的影响。

在国内, 雷东记等<sup>[15]</sup>研究认为, 豫西矿区在早-中印支和燕山期经历了较强的构造挤压和剪切, 而后期滑移构造的剪切作用使得煤层结构进一步破坏, 使得21煤层中IV类和V类煤变厚, 区域内煤矿发生的突出事故受构造控制作用明显。张明杰等<sup>[9]</sup>根据鹤壁矿区突出特点, 研究认为相对于矿区北部的5对矿井, 南部3对矿井在断层附近及向、背斜轴部, 构造煤普遍发育, 造成矿区内南部3对矿井突出灾害严重。朱国维等<sup>[10]</sup>综合淮南矿区9对生产矿井的130余次突出事故的调查研究结果发现, 矿区内突出点多在地质构造带, 并指出潘三矿的14次突出均发生于3个地质构造带。胡宗旗等<sup>[16]</sup>研究发现, 黄陇矿区君安煤矿井田内断层密集区、背斜转折端、煤体结构的破坏对突出的影响较大, 煤层围岩的封闭性在一定程度上也为煤与瓦斯突出提供了良好条件。马国龙等<sup>[17]</sup>研究确定了晋城矿区寺河煤矿突出的主要控制因素为煤层瓦斯和地质构造, 井田内发生的3次瓦斯动力现象均处于地质构造带, 其中1次位于断层构造附近, 1次发生在向斜轴部, 另外1次位于煤层倾角变化处。王百战等<sup>[18]</sup>以鑫隆矿区4对突出矿井的历史动力现象统计数据为基础, 通过分析发现, 矿区内龙山煤矿有准确巷道类型记录的80次突出事故中, 发生在断层区的次数占53.6%, 其次是煤倾角变化及褶曲区。宋占全等<sup>[19]</sup>研究表明, 永夏矿区薛湖井田经过多期构造运动改造后, 小断层基本呈现压扭性, 小断层附近区域煤体瓦斯富集, 构造煤发育, 煤体瓦斯放散能力强, 具有很强的突出危险性, 井田内已发生的3起小型突出均在小断层附近。

通过对国外学者的研究文献回顾, 结合国内豫西、鹤壁、淮南、黄陇、晋城、鑫隆、永夏等矿区发生的突出事故绝大多数发生在地质构造区域, 证实突出事故的发生与地质构造之间存在密切的关联性。其中, 大型的断层、褶皱、逆推、滚动等地质构造会对煤层的赋存环境和物理结构产生剧烈改变, 造成这些大型构造区域内极易发生突出灾害, 尤其是大型突出灾害。此外, 煤层倾角变化、厚度变化、小断层等小型地质构造区域同样是突出易发生区域。

## 1.2 典型突出案例分析

2009年11月21日,黑龙江省新兴煤矿发生一起特大突出事故,并且事故诱发了瓦斯爆炸。事故发生在三水平南二石门15煤层探煤巷,突出煤层为15煤。新兴煤矿地质构造十分复杂,大中小构造纵横交错,将原生的煤层切割成大小不等、形状不同的块段,煤层产状变化较大。对三水平南二石门15煤层探煤巷区域起控制作用的大断层包括 $F_{47}$ 正断层、 $N_{04}$ 正断层、 $N_{01}$ 正断层,这3条大断层的落差分别为80~200 m、50~100 m、80~150 m。

突出点位于大断层控制的地质破碎带,煤体是较为破碎,如图1所示。靠近突出点的15煤层底板7~18 m范围内为火成岩侵入区,探煤巷工作面已经揭露火成岩20 m。在探煤巷工作面突出点后20 m和前方23 m区域存在两条近似平行的正断层 $F_a$ 和 $F_b$ 。 $F_a$ 断层走向方位角 $104^\circ$ 、倾角 $55^\circ$ 、落差约为38 m。 $F_b$ 断层走向方位角 $100^\circ$ 、倾角 $57^\circ$ 、落差约为16 m。受 $F_a$ 和 $F_b$ 断层影响,煤层产状发生较大变化,煤层倾角由原预想的 $23^\circ$ 变为 $7^\circ$ ,致使15煤层在探煤巷工作面顶板10~15 m范围内。

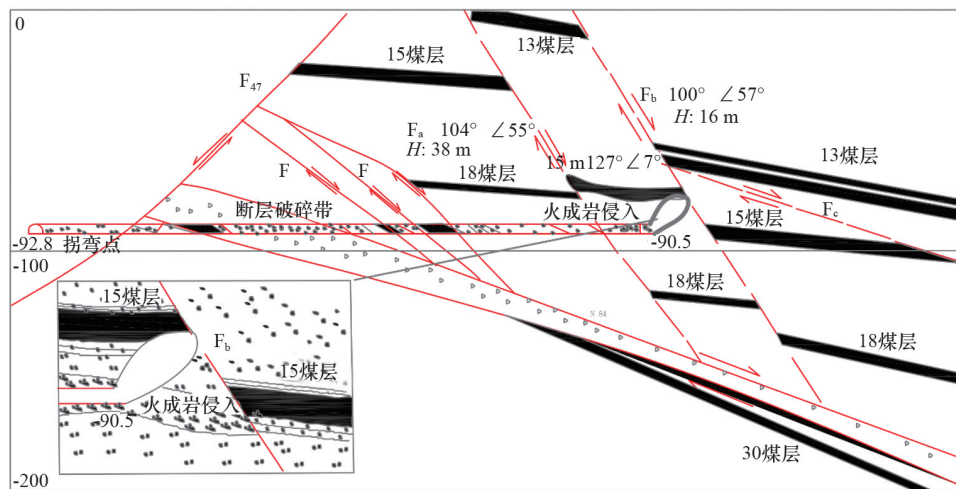


图1 三水平南二石门15煤层探煤巷地质构造

综合分析,本次突出明显受到地质构造控制,其中大断层控制的地质破碎带、岩浆岩侵入区及煤层产状变化均是突出事故发生的关键因素。 $F_{47}$ 正断层、 $N_{04}$ 正断层、 $N_{01}$ 正断层等大断层控制着15煤层探煤巷区域的地质构造。 $F_a$ 和 $F_b$ 在探煤巷工作面突出点后20 m和前方23 m区域内,使得突出点附近的地质构造条件更为复杂。复杂的地质构造条件造成突出点附近煤层及顶底板岩层高度破碎,并且极易出现地应力异常区域。同时,靠近突出点的15煤层底板7~18 m范围内的火成岩侵入区对区域内的瓦斯富集又存在关键作用。在地应力异常、煤层和顶底板破碎、瓦斯富集等条件下,当15煤层与探煤巷的层间距发生变化,区域内发生的特大型煤与瓦斯突出事故,造成突出煤岩量达到3845 t,搬运距离超过278 m。

## 2 地质构造对煤与瓦斯突出的影响

### 2.1 煤与瓦斯突出的控制因素

随着突出灾害逐渐引起世界范围矿山安全学界的广泛关注,各国学者先后投入了大量的研究精力展开煤与瓦斯突出机制的研究工作,并针对不同开采环境和地质条件,从不同的研究角度提出众多的突出假说。然而,由于突出的复杂性和多变性,至今各种突出假说并没有形成统一的认识。这些突出假说不能全面地、细致地、完整地解释突出的发生和发展机制。目前,“综合作用假说”较为被国内外学者认可<sup>[2,4-5,20]</sup>,这种假说认为突出是应力、瓦斯、煤的自身属性等因素综合作用的结果,如图2<sup>[21]</sup>所示。

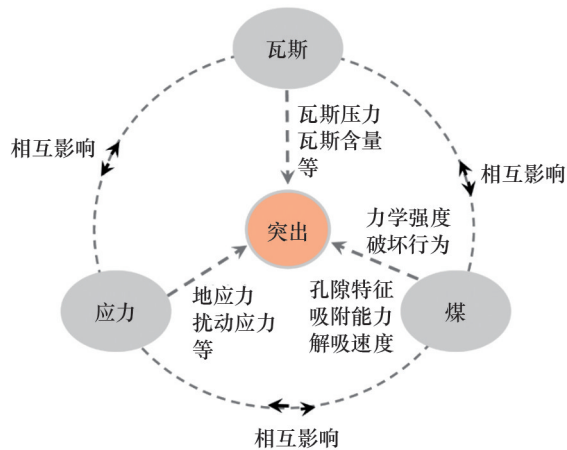


图2 应力、瓦斯和煤与突出的关系示意

### 2.1.1 应力因素对突出的作用

应力是突出过程中煤/岩破坏的动力和能量来源,主要造成煤岩的破坏和搬运<sup>[22-23]</sup>。文献[24-26]表明,对突出产生控制作用的应力主要包括原岩应力、构造应力和采动应力。其中,原岩应力是由地热、重力、地球自转等因素综合产生的应力,构造应力是由一期或多期地质构造运动产生的应力,采动应力则是在采掘过程中由于采掘扰动而产生的附加应力。

根据突出的孕育、激发、发展、终止4个阶段,原岩应力参与了突出的孕育、激发、发展3个阶段<sup>[23]</sup>。受上覆岩层厚度的影响,随着埋深的增大,煤层原岩应力的增长是显著的,并对突出的产生显著的影响,造成深部煤层的突出危险性增大<sup>[27]</sup>。构造应力同样参与了突出的孕育、激发、发展3个阶段,构造应力在突出孕育阶段是煤层赋存状态和结构改造的关键因素,构造应力是目前开采深度下绝大多数突出灾害发生的关键因素<sup>[25]</sup>。采动应力是作为突出的附加应力参与突出过程,其重要的作用是打破了原岩应力和构造应力的平衡状态,采动应力主要参与突出的激发阶段<sup>[24]</sup>。因此,对于一些应力异常区或者进入深部开采阶段的高应力环境下,突出灾害发生的可能性将大幅提高。

### 2.1.2 瓦斯因素对突出的作用

瓦斯对突出的作用体现在2个方面,一是对煤的力学性质的改变,参与煤体的力学破坏,二是为

突出煤/岩的搬运提供动力,后者是突出连续发展的必要条件之一<sup>[28-29]</sup>。通常地,参与突出的瓦斯分为游离瓦斯和吸附瓦斯<sup>[2,30-31]</sup>。由于游离瓦斯和吸附瓦斯在煤中的赋存状态的差异,这2种状态瓦斯参与突出的方式和过程复杂程度具有较大的差异,导致很难确定两者参与突出的比例<sup>[20,32]</sup>。

游离瓦斯对煤的力学性质改变主要是由于游离瓦斯降低了煤体的有效应力<sup>[33]</sup>。随着游离瓦斯压力的增大,煤体的有效应力逐渐减小,造成煤体所承受的围压减小,导致煤体的力学强度弱化。游离瓦斯是以膨胀做功的形式参与突出做功。文献[34-35]表明,一旦外界瓦斯压力的降低,储存在裂隙和大孔隙空间的游离瓦斯立即发生膨胀做功。

相对于游离瓦斯,吸附瓦斯参与突出的方式和过程更为复杂<sup>[36]</sup>。一些观点认为吸附瓦斯对煤的力学性质改变是吸附瓦斯降低煤体表面能造成的。吸附瓦斯参与突出做功的首要条件是在突出时间内快速转化为游离瓦斯<sup>[28]</sup>。而吸附瓦斯参与突出的过程涉及吸附瓦斯由孔隙表面脱附、瓦斯在孔隙内扩散、瓦斯在裂隙系统的渗流,这3个阶段分别受不同的影响因素控制,且各因素间的相互关系十分复杂<sup>[28]</sup>。因此,实际参与突出的吸附瓦斯量是很难确定的。然而,根据相关学者的研究结论,吸附瓦斯对突出的贡献是巨大的,其是重要的突出能量来源<sup>[28, 36-37]</sup>。

至于瓦斯参与突出煤体的破坏,瓦斯主导了突出过程中煤体的拉伸破坏。胡天庭等<sup>[38]</sup>提出煤体突然暴露后,由于瓦斯在煤孔和裂隙通道中流动使得暴露面附近具有很高的瓦斯压力梯度,这种瓦斯压力梯度会对煤体产生拖拽力,造成一些和煤基质胶结不够紧密的煤粉被沿着瓦斯流动路径带到煤体外面。

### 2.1.3 煤的属性因素对突出的作用

煤作为煤与瓦斯突出的主要载体,它是所有突出能量的作用对象<sup>[20]</sup>。因此,煤的自身属性同样是控制突出的主导因素之一。煤的自身属性众多,文献[13]和[39]认为对突出有直接控制作用的主要包括煤的力学特性、煤的孔隙结构特征和煤的瓦斯赋存/流动特性等。

煤的力学特性是决定煤的突出危险性的重要特性,煤的力学强度和破坏方式是影响突出的主要参数。煤的力学强度决定了煤体破坏的应力和能量需求,因此低强度的煤体在突出过程中极易发生破坏,这类煤的存在可以降低突出发生和发展的应力条件<sup>[15]</sup>。破坏后,煤体的宏观形态差异同样影响着煤的突出危险性,宏观形态主要存在剪切破坏和损伤扩容破坏2种类型。其中,发生剪切破坏煤的力强度普遍较高,具有较强的脆性,它们的破坏主要是沿着一定的剪切角的剪切破坏或沿着原生弱面的断裂,破坏后的煤体块度较大<sup>[40-41]</sup>。然而,发生损伤扩容的煤在高围压下表现出较强的塑性,破坏后呈损伤扩容的特性<sup>[42-43]</sup>。

煤对瓦斯的赋存能力及瓦斯在煤中的流动特性同样是影响煤的突出危险性的关键因素<sup>[29]</sup>。其中,煤对瓦斯的赋存能力决定了其蕴含突出瓦斯潜能的能力<sup>[27-28]</sup>。然而,突出瓦斯潜在突出时间内转化为有效的突出能量,则需要煤具有极快的瓦斯释放能力<sup>[44-45]</sup>。因此,煤的瓦斯初始解吸能力是突出过程瓦斯补给的重要保障。

煤的孔隙结构特征对其吸附/解吸、扩散、渗流等规律起到决定性因素<sup>[46]</sup>。由于扩散主要发生在基质孔隙内,煤的孔隙结构差异导致了瓦斯在基质中的扩散特性差异,但是依据目前的研究成果,煤的孔隙结构与瓦斯扩散特性之间依然尚未建立量化关系<sup>[47-48]</sup>。根据不同学者的测试结果,煤的甲烷扩散系数的离散性很大,煤的甲烷扩散系数跨度高达5个数量级<sup>[49-54]</sup>。受构造作用的影响,煤的甲烷扩散系数普遍增大<sup>[55-59]</sup>,这也从一方面决定了经历构造作用的煤通常具有较快的初始瓦斯解吸能力<sup>[60-61]</sup>。

## 2.2 地质构造对突出3个控制因素的影响

结合突出与地质构造的关联,结合突出的3个控制因素,通过地质构造对应力、瓦斯和煤的属性等突出因素的影响,研究地质构造对突出的控制作用。

地质构造作用产生的构造应力是控制突出的应力重要组成部分,尤其是对于绝大部分的煤炭资源开采深度,构造应力对地应力场的影响是显著

的。地质构造对地应力场改变,使得区域内的地应力异常,出现高地应力的条件。地质构造所形成的一些特殊构造结构体会控制煤层瓦斯的赋存和运移。由于地质构造区域的高地应力造成煤层表现出低渗的特征,限制瓦斯沿着煤层运移,导致地质构造区域煤层瓦斯赋存的异常,出现瓦斯富集的现象。

地质构造在漫长的地质过程中,由于构造应力的作用下将对煤的原始结构进行改造,形成构造煤。构造煤的物理结构决定这类煤在较低的应力作用下即可发生破坏,并被粉碎。此外,构造煤在高地应力状态下表现出低渗的特性,限制了瓦斯在高地应力状态构造煤中的流动。而经历应力扰动后的构造煤基质-裂隙结构发生改变,瓦斯在裂隙中渗流速度加快,造成瓦斯极快释放并成为突出能量源之一。

因此,地质构造从应力、瓦斯、煤的属性3个方面均对突出产生关键影响,进一步验证了突出事故绝大多数发生在地质构造区域,证实突出事故的发生与地质构造之间存在密切的关联性。

## 3 讨论

### 3.1 地质构造在突出孕育阶段的作用

类似于世界万物,煤与瓦斯突出同样经历了“孕育、激发、发展、终止”的过程,通常按照上述4个阶段对突出的动态过程进行划分<sup>[38,62]</sup>,如图3所示。然而,先前的研究较少关注到地质构造在突出孕育阶段的作用。

结合文章的研究成果,将突出的孕育阶段分为构造作用过程和采掘活动过程。其中,构造作用过程是原始煤层在经历一期或者多期的地质构造运动后,原始煤层应力和瓦斯赋存条件发生变化,造成局部出现应力集中和瓦斯富集等异常区域,这些异常区域煤层具有极高的突出危险性<sup>[63]</sup>。同时,地质构造运动产生构造应力在漫长的地质过程中会不断对原始煤层的物理结构产生影响,使得煤的物理结构改造,形成大量的构造煤,而构造煤的力学、孔裂特征和瓦斯吸附/解吸特征决定了这类煤对突

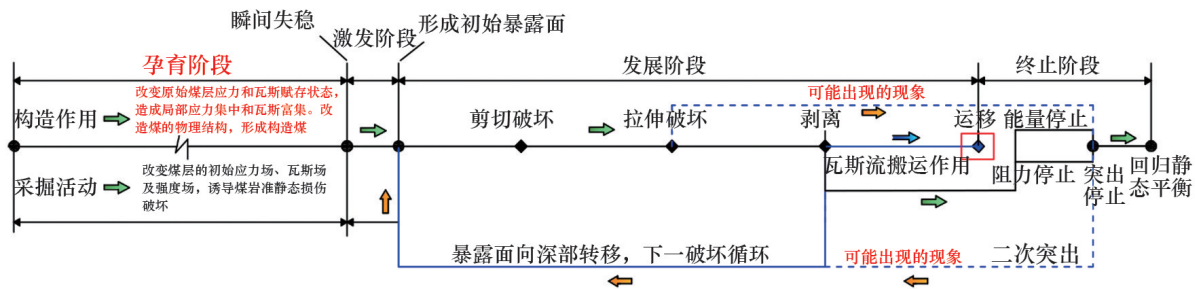


图3 煤与瓦斯突出动态阶段

出的发生具有关键作用。

因此,构造作用过程纳入突出孕育阶段,并作为突出孕育的重要组成部分,整个突出孕育阶段的时间跨度涵盖漫长的地质构造作用时间。通过在当前煤层的赋存环境中寻找地质构造作用的痕迹,有助于判断煤层的突出危险性,提早对突出做出预测。

### 3.2 未来研究煤与瓦斯突出的方向

基于1.1节地质构造与突出的关联,以及地质构造对突出3个控制因素的影响,凝练未来研究煤与瓦斯突出理论研究和防治技术的方向。

1) 进一步研究地质构造及构造类型对原始煤层应力场和瓦斯场的改变,以及其对突出的影响。深入研究构造应力对原始煤层的物理结构改造,研究构造煤的物理结构与其力学特性、孔裂隙特征、瓦斯流动特性等的影响。

2) 深入研究煤与瓦斯突出的动态过程,尤其是将构造作用过程考虑到突出的孕育阶段,厘清突出4个阶段的典型特征及动力来源,揭示地质构造作用下的突出机制。

3) 研发高精度的地质勘探技术,尽早发现煤层中地质构造作用的痕迹,提早对突出做出预测。此外,建立构造煤发生突出的预测指标,进行构造煤突出危险性的评价,有针对性地采用多级多层次措施以消除构造煤体突出危险性,也是值得进一步研究的。

通过以上研究,期望进一步揭示地质构造控制作用下的突出形成机制和过程,对研究突出机制和防控具有重要的科学意义。

## 4 结论

1) 结合国内豫西、鹤壁、淮南、黄陵、晋城、鑫隆、永夏等矿区发生的突出事故绝大多数发生在地质构造区域,证实突出事故的发生与地质构造之间存在密切的关联性。其中,大型的断层、褶皱、逆推、滚动等地质构造会对煤层的赋存环境和物理结构产生剧烈改变,造成这些大型构造区域内极易发生突出灾害,尤其是大型突出灾害。此外,煤层倾角变化、厚度变化、小断层等小型地质构造区域同样是突出易发生区域。

2) 地质构造从应力、瓦斯、煤的属性3个方面均对突出产生关键影响。地质构造作用产生的构造应力是控制突出的应力重要组成部分,构造应力对地应力场的影响是显著的。地质构造区域的高地应力造成煤层表现出低渗的特征,限制瓦斯沿着煤层运移,导致地质构造区域煤层瓦斯赋存的异常,出现瓦斯富集的现象。地质构造在漫长的地质过程中由于构造应力的作用下将对煤的原始结构进行改造,形成构造煤。

3) 将地质构造作用过程考虑到突出的孕育阶段,突出的动态过程依次划分为孕育、激发、发展和终止阶段。构造作用过程是原始煤层在经历一期或者多期的地质构造运动后,原始煤层应力和瓦斯赋存条件发生变化,造成局部出现应力集中和瓦斯富集等异常区域,这些异常区域煤层具有极高的突出危险性。地质构造运动对原始煤层的物理结构改造,形成大量的构造煤,而构造煤的力学、孔裂隙特征和瓦斯吸附/解吸特征决定了这类煤对突出的发

生具有关键作用。

4) 凝练出煤与瓦斯突出机制及防治方法未来的研究方向:为研究地质因素对突出控制作用,需要整理煤与瓦斯突出案例的地质构造信息,深入研究地质构造对原始煤层应力和瓦斯赋存状态改变以及对煤的物理结构改造;为揭示地质构造作用下的突出机制,需要深入研究煤与瓦斯突出的动态过程,厘清突出4个阶段的典型特征及动力来源;为实现突出灾害的高效治理,需要研发高精度的地质勘探技术,建立构造煤发生突出的预测指标。

### 参考文献(References)

- [1] 程远平, 付建华, 俞启香. 中国煤矿瓦斯抽采技术的发展[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(2): 127-139.
- [2] Wang L, Cheng Y P, Wang L, et al. Safety line method for the prediction of deep coal-seam gas pressure and its application in coal mines[J]. Safety Science, 2012, 50(3): 523-529.
- [3] Tu Q Y, Cheng Y P, Liu Q Q, et al. Investigation of the formation mechanism of coal spallation through the cross-coupling relations of multiple physical processes[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2018, 105: 133-144.
- [4] 程远平, 王海锋, 王亮. 煤矿瓦斯防治理论与工程应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [5] 俞启香, 程远平. 矿井瓦斯防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2012.
- [6] 谢和平, 王金华, 申宝宏, 等. 煤炭开采新理念: 科学开采与科学产能[J]. 煤炭学报, 2012, 37(7): 1069-1079.
- [7] Gray I. Outburst risk determination and associated factors [M]. Brisbane: Australian coal research Ltd., 2015.
- [8] 付建华, 程远平. 中国煤矿煤与瓦斯突出现状及防治对策[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(3): 253-259.
- [9] 张明杰, 马耕. 鹤壁矿区地质构造对煤与瓦斯突出的控制[J]. 煤矿安全, 2004, 35(3): 11-13.
- [10] 朱国维, 宋韦剑, 王富强. 淮南矿区潘三矿地质构造及煤与瓦斯突出特征[J]. 中国煤炭, 2008, 34(7): 78-81.
- [11] 谢和平, 周宏伟, 薛东杰, 等. 煤炭深部开采与极限开采深度的研究与思考[J]. 煤炭学报, 2012, 37(4): 535-542.
- [12] Shepherd J, Rixon L K, Griffiths L. Outbursts and geological structures in coal mines: A review[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1981, 18(4): 267-283.
- [13] Wold M B, Connell L D, Choi S K. The role of spatial variability in coal seam parameters on gas outburst behaviour during coal mining[J]. International Journal of Coal Geology, 2008, 75(1): 1-14.
- [14] Frodsham K, Gayer R A. The impact of tectonic deformation upon coal seams in the South Wales coalfield, UK [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 38(3-4): 297-332.
- [15] Lei D J, Li C W, Zhang Z M, et al. Coal and gas outburst mechanism of the "Three Soft" coal seam in western Henan[J]. Mining Science and Technology, 2010, 20(5): 712-717.
- [16] 胡宗旗, 孙晓东. 君安煤矿煤与瓦斯突出的构造控制研究[J]. 煤炭与化工, 2018, 41(5): 121-123, 127.
- [17] 马国龙, 张庆华, 赵彬. 寺河煤矿煤与瓦斯突出主控因素分析及防治对策[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(3): 49-52.
- [18] 王百战, 王江. 鑫隆矿区煤与瓦斯突出的主要规律[J]. 山西焦煤科技, 2019, 43(4): 15-18.
- [19] 宋占全, 魏国营. 薛湖井田小断层对煤与瓦斯突出的控制作用[J]. 煤矿安全, 2017, 48(12): 153-156.
- [20] 文光才. 煤与瓦斯突出能量的研究[J]. 矿业安全与环保, 2003, 30(6): 1-3, 9.
- [21] 涂庆毅. 构造煤表观物理结构及煤与瓦斯突出层裂发展机制研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
- [22] Pashin J C. Stratigraphy and structure of coalbed methane reservoirs in the United States: An overview[J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 35(1-4): 209-240.
- [23] 胡千庭, 周世宁, 周心权. 煤与瓦斯突出过程的力学作用机理[J]. 煤炭学报, 2008, 33(12): 1368-1372.
- [24] Yang W, Lin B Q, Zhai C, et al. How in situ stresses and the driving cycle footage affect the gas outburst risk of driving coal mine roadway[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2012, 31: 139-148.
- [25] Liu Q Q, Cheng Y P, Liang Y, et al. CMM capture engineering challenges and characteristics of in situ stress distribution in deep level of Huainan coalfield[J]. Journal of Natural Gas Science & Engineering, 2014, 20: 328-336.
- [26] Li W, Ren T, Busch A, et al. Architecture, stress state and permeability of a fault zone in Jiulichan coal mine, China: Implication for coal and gas outbursts[J]. International Journal of Coal Geology, 2018, 198(1): 1-13.
- [27] 安丰华. 煤与瓦斯突出失稳孕育过程及数值模拟研究

- [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
- [28] Zhao W, Cheng Y, Jiang H, et al. Role of the rapid gas desorption of coal powders in the development stage of outbursts[J]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2016, 28: 491-501.
- [29] 王刚, 程卫民, 谢军, 等. 瓦斯含量在突出过程中的作用分析[J]. *煤炭学报*, 2011, 36(3): 429-434.
- [30] Valliappan S, Zhang W H. Role of gas energy during coal outbursts[J]. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 1999, 44(7): 875-895.
- [31] 齐黎明, 陈学习, 程五一. 瓦斯膨胀能与瓦斯压力和含量的关系[J]. *煤炭学报*, 2010, 35(Suppl 1): 105-108.
- [32] 文光才, 周俊, 刘胜. 对突出做功的瓦斯内能的研究[J]. *矿业安全与环保*, 2002, 29(1): 1-3, 67.
- [33] 卢平, 沈兆武, 朱贵旺, 等. 含瓦斯煤的有效应力与力学变形破坏特性[J]. *中国科学技术大学学报*, 2001, 31(6): 686-693.
- [34] An F, Yuan Y, Chen X, et al. Expansion energy of coal gas for the initiation of coal and gas outbursts[J]. *Fuel*, 2019, 235: 551-557.
- [35] Zhang J Q. Study on the gas content of coal seam based on the BP neural network[J]. *Procedia Engineering*, 2011, 26: 1554-1562.
- [36] Sobczyk J. A comparison of the influence of adsorbed gases on gas stresses leading to coal and gas outburst[J]. *Fuel*, 2014, 115: 288-294.
- [37] Gale W J. A review of energy associated with coal bursts[J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2018, 28(5): 755-761.
- [38] 胡千庭, 文光才. 煤与瓦斯突出的力学作用机理[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [39] Qi L M, Chen X X. Analysis on the influence of coal strength to risk of outburst[J]. *Procedia Engineering*, 2011, 26: 602-607.
- [40] 苏承东, 熊祖强, 翟新献, 等. 三轴循环加卸载作用下煤样变形及强度特征分析[J]. *采矿与安全工程学报*, 2014, 31(3): 456-461.
- [41] 徐佑林, 康红普, 张辉, 等. 卸荷条件下含瓦斯煤力学特性试验研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2014, 33(Suppl 2): 3476-3488.
- [42] 李小双, 尹光志, 赵洪宝, 等. 含瓦斯突出煤三轴压缩下力学性质试验研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2010, 29(Suppl 1): 3350-3358.
- [43] 刘清泉. 多重应力路径下双重孔隙煤体损伤扩容及渗透性演化机制与应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.
- [44] Tu Q Y, Cheng Y P, Guo P K, et al. Experimental study of coal and gas outbursts related to gas-enriched areas[J]. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2016, 49(9): 3769-3781.
- [45] 谢雄刚, 冯涛, 王永, 等. 煤与瓦斯突出过程中能量动态平衡[J]. *煤炭学报*, 2010, 35(7): 1120-1124.
- [46] 卢守青. 基于等效基质尺度的煤体力学失稳及渗透性演化机制与应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016.
- [47] Xu H, Tang D Z, Zhao J L, et al. A new laboratory method for accurate measurement of the methane diffusion coefficient and its influencing factors in the coal matrix[J]. *Fuel*, 2015, 158: 239-247.
- [48] 李志强, 王司建, 刘彦伟, 等. 基于动扩散系数新扩散模型的构造煤瓦斯扩散机理[J]. *中国矿业大学学报*, 2015, 44(5): 836-842.
- [49] Meng Y, Li Z P. Experimental study on diffusion property of methane gas in coal and its influencing factors[J]. *Fuel*, 2016, 185: 219-228.
- [50] Pillalamarry M, Harpalani S, Liu S M. Gas diffusion behavior of coal and its impact on production from coal-bed methane reservoirs[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2011, 86(4): 342-348.
- [51] 张时音, 桑树勋. 不同煤级煤层气吸附扩散系数分析[J]. *中国煤炭地质*, 2009, 21(3): 24-27.
- [52] 李志强, 刘勇, 许彦鹏, 等. 煤粒多尺度孔隙中瓦斯扩散机理及动扩散系数新模型[J]. *煤炭学报*, 2016, 41(3): 633-643.
- [53] 聂百胜, 杨涛, 李祥春, 等. 煤粒瓦斯解吸扩散规律实验[J]. *中国矿业大学学报*, 2013, 42(6): 975-981.
- [54] 郭勇义, 吴世跃, 王跃明, 等. 煤粒瓦斯扩散及扩散系数测定方法的研究[J]. *山西矿业学院学报*, 1997(1): 15-19, 31.
- [55] Lu S Q, Cheng Y P, Qin L M, et al. Gas desorption characteristics of the high-rank intact coal and fractured coal[J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2015, 25(5): 819-825.
- [56] Lu S Q, Cheng Y P, Li W, et al. Pore structure and its impact on CH<sub>4</sub> adsorption capability and diffusion characteristics of normal and deformed coals from Qinshui Basin[J]. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 2015, 10(1): 94.
- [57] 袁军伟. 颗粒煤瓦斯扩散时效特性研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2014.
- [58] 刘彦伟, 刘明举. 粒度对软硬煤粒瓦斯解吸扩散差异性的影响[J]. *煤炭学报*, 2015, 40(3): 579-587.
- [59] 刘彦伟, 李通, 薛文涛. 软硬煤瓦斯扩散系数动态变化规律的差异性[J]. *煤矿安全*, 2017, 48(9): 17-20, 24.

- [60] Wen Z H, Wei J P, Wang D K, et al. Experimental study of gas desorption law of deformed coal[J]. *Proceedia Engineering*, 2011, 26: 1083-1088.
- [61] 李云波, 张玉贵, 张子敏, 等. 构造煤瓦斯解吸初期特征实验研究[J]. *煤炭学报*, 2013, 38(1): 15-20.
- [62] 刘建军, 梁冰, 章梦涛. 煤和瓦斯突出过程中瓦斯作用机理的研究[J]. *中国安全科学学报*, 2000, 10(3): 63-66.
- [63] 张玉贵, 张子敏, 曹运兴. 构造煤结构与瓦斯突出[J]. *煤炭学报*, 2007, 32(3): 281-284.

## Influence of geological structural factors for coal and gas outburst

MIAO Yanping, ZHENG Xuhe, WANG Hongliang, SHE Gang

Shenmu Hongliulin Ming Co., Ltd., Shaanxi Coal Group, Yulin 719000, China

**Abstract** In order to deepen the understanding of the mechanism and process of coal and gas outburst, the correlation between coal and gas outburst and geological structure is studied in combination with literature review and case analysis. Then the influence of geological structure on outburst control factors is analyzed from three aspects of stress, gas and coal attributes. Finally, the geological tectonic process is considered as the incubation stage of the outburst, and the research direction of outburst mechanism and prevention methods in future is put forward. The results show that geological structure not only changes the stress and gas environment of coal seam, but also changes the geometric shape of coal seam and physical structure of coal. The influence of coal physical structure change in geological structure area on outburst should be paid enough attention to. Taking the geological structure process into the outburst preparation stage, the geological structure process refers to the process of tectonic movement changing the stress and gas occurrence state of the original coal seam and the physical structure transformation of the coal seam. Based on the geological information of outburst, the formation and characteristics of tectonic coal, and the internal relationship between outburst and tectonic coal, the research directions of coal and gas outburst mechanism and prevention methods are summarized.

**Keywords** coal and gas outburst; geological structure; stress; gas ●



(责任编辑 刘志远)