



移动扫码阅读

蔺亚兵, 刘 军, 赵雪娇, 等. 煤层冲刷带对瓦斯赋存影响效应及其涌出控制机理[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(7): 59–64. doi: 10. 13199/j. cnki. cst. 2019. 07. 006

LIN Yabing, LIU Jun, ZHAO Xuejiao, *et al.* Effect of coal seam scouring zone on gas occurrence and gas emission control mechanism[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(7): 59–64. doi: 10. 13199/j. cnki. cst. 2019. 07. 006

煤层冲刷带对瓦斯赋存影响效应及其涌出控制机理

蔺亚兵^{1,2}, 刘 军^{1,3}, 赵雪娇^{1,3}, 蒋同昌^{1,3}, 余智秘⁴, 杨国栋⁵

(1. 陕西煤田地质勘查研究院有限公司, 陕西 西安 710021; 2. 中国矿业大学 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116;

3. 自然资源部 煤炭资源勘查与综合利用重点实验室, 陕西 西安 710021; 4. 胡家河矿业有限公司, 陕西 咸阳 721000;

5. 西安科技大学 地质与环境学院, 陕西 西安 710054)

摘 要:针对近年来煤层冲刷带瓦斯异常涌出, 但瓦斯赋存及涌出规律不清的问题, 从煤层冲刷带的形成模式和空间形态出发, 结合陕西胡家河煤矿和山西新景煤矿采掘过程中遇到的不同类型煤层冲刷带瓦斯赋存和涌出实践, 总结分析了煤层冲刷带对煤矿瓦斯赋存和涌出的影响机理。研究表明, 当冲刷带顶部和底部存在封闭条件时可形成一定规模游离砂岩气, 继承性冲刷带和后生冲刷带规模要大于原生冲刷带。同生冲刷带和后生冲刷带会对煤层开采瓦斯涌出产生影响, 其中以后生冲刷带尤为严重。同生冲刷带由于煤层具有统一顶板有利于带状冲刷带砂岩中游离瓦斯赋存, 煤矿回采过程中瓦斯涌出量高于两侧正常煤层, 但受冲刷规模控制影响有限。后生冲刷带对我国煤矿采掘条件影响较大, 煤层冲刷带过渡区是煤与瓦斯突出高发地带。煤层冲刷带过渡区由于岩性组合差异, 致使煤层冲刷带过渡区存在剪切力煤层结构破坏, 导致煤层冲刷带透气性变差, 瓦斯赋存能力增强。采掘至此, 工作面中部前方来压, 煤层应力增大, 加之冲刷带砂体中较高压力的游离瓦斯涌出, 从而易在后生冲刷带过渡区发生瓦斯异常涌出。区域构造控制下的地应力场分布和地质历史时期构造运动对煤体结构的破坏为冲刷带瓦斯异常涌出提供了地质基础。鉴于煤层冲刷带对煤矿瓦斯涌出的危害, 煤矿采掘前应利用三维地震等方法做好超前探工作并圈定煤层冲刷带, 为煤矿瓦斯防治提供地质依据。

关键词:同生冲刷带; 后生冲刷带; 瓦斯赋存规律; 瓦斯涌出规律; 煤与瓦斯突出

中图分类号: TD712

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2019)07-0059-06

Effect of coal seam scouring zone on gas occurrence and gas emission control mechanism

LIN Yabing^{1,2}, LIU Jun^{1,3}, ZHAO Xuejiao^{1,3}, JIANG Tongchang^{1,3}, YU Zhimi⁴, YANG Guodong⁵

(1. Shaanxi Coalfield Geology Investigation Institute Ltd., Xi'an 710021, China; 2. Key Laboratory of CBM Resource & Reservoir Formation Process, Ministry of Education, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 3. Key Laboratory of Coal Resources Exploration and Comprehensive Utilization, Ministry of Natural Resources, Xi'an 710021, China; 4. Hujiahe Mining Co., Ltd., Xianyang 721000, China;

5. College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: In view of the abnormal gas emission in coal seam scouring zone in recent years, and the law of gas occurrence and emission is not clear, this paper starts from the formation pattern and spatial form of coal seam scouring zone, combined with the practice of gas occurrence and emission in different types of coal seam scouring zone encountered in the mining process of Hujiahe coal mine in Shaanxi Province and Xinjing Coal Mine in Shanxi Province, the influence mechanism of coal seam scouring on gas occurrence and emission in coal mines were summarized and analyzed. Studies have shown that when there are closed conditions at the top and bottom of the scouring belt, a certain scale of free sandstone gas can be formed, and the size of the inherited scouring zone and the post-production scouring zone is larger than that of the original scouring zone. The contemporaneous scouring belt and the post-production scouring belt will have an impact on the gas emission from coal seam mining, and the subsequent scouring belt is particularly serious. The contemporaneous scouring belt is

收稿日期: 2019-03-18; 责任编辑: 王晓珍

基金项目: 陕西省科学技术研究发展计划资助项目 (2018GY-094)

作者简介: 蔺亚兵 (1985—), 男, 陕西宝鸡人, 工程师, 博士研究生。E-mail: lybcbm@126.com

beneficial to the occurrence of free gas in the banded scouring zone due to the uniform roof of the coal seam. Thus, the gas emission in the syngenetic scouring zone is obviously higher than that of the normal coal seams on both sides, but the influence of the scouring scale control is limited. The post-production scouring zone has a great influence on the mining process of coal mines in China, and the transition zone of coal seam scouring zone is a high incidence zone of coal and gas outburst. Due to the difference of lithological combination, the transition zone of the coal seam scouring zone causes shearing coal seam structure damage in the transition zone of the coal seam scouring zone, resulting in poor permeability of coal seam scouring zone and enhanced gas storage capacity. At this point, the pressure in front of the middle of the working face will increase the stress of coal seam, and the free gas of the higher pressure in the sand body of the scouring belt is rushed out. Therefore, it is easy to generate abnormal emission of coal and gas in the transition zone of the scouring zone. The distribution of geosyncline controlled by regional tectonics and the destruction of coal structure by tectonic movement in geological history provide geological basis for abnormal gas emission in scouring zone. In view of the hazards of coal seam scouring zone on coal mine gas emission, three-dimensional seismic method should be used to delineate coal seam scouring zone before coal mining, which can provide geological basis for coal mine gas prevention and control.

Key words: syngenetic scouring zone; post-production scouring zone; gas occurrence law; gas emission law; coal and gas outburst

0 引言

煤层冲刷带一般是指水流对泥炭层或煤层冲蚀并通常由砂质沉积物(多为砂岩或砂砾岩)充填而成的地质体,是以冲积流和湖流为主要水力条件的湖盆地中十分发育的沉积地质现象^[1-2]。冲刷带是引起煤层厚度和形态变化的主要原因之一,是一种常见的矿井地质现象,给矿区规划、矿井设计、开采方式、采掘工艺、采煤效益和煤矿安全带来直接影响^[3-4]。为了预防冲刷带对煤矿生产的影响,前人建立了沉积分析法、矿井物探法以及地质统计法等煤层冲刷带预测方法^[5-7]。近年来煤层冲刷带对煤矿瓦斯的影响受到越来越多的关注。程远平等^[8]通过统计我国2009—2013年发生的68起煤与瓦斯事故发现,煤层冲刷带、小型逆冲推覆断层、小型低幅褶曲等因素导致局部煤层厚度变薄甚至尖灭的区域与煤与瓦斯突出性关系较强。汤友谊等^[9]研究发现,山西阳泉新景煤矿(煤与瓦斯突出矿井)近年来发生的158次瓦斯突(喷)出中,53次发生在煤层冲刷带。管永伟等^[10]通过对该矿3号煤冲刷带煤与瓦斯突出情况深入分析发现,冲刷带过渡区段煤与瓦斯突出危险性最强。与此同时,笔者研究发现,陕西胡家河煤矿(高瓦斯矿井)采煤工作面在回采经过冲刷带过程中工作面瓦斯涌出量增高。可见煤层冲刷作用形成的冲刷带导致瓦斯地质条件差异性,从而影响了瓦斯涌出特征。前人对断层、褶皱构造、火成岩侵入以及构造组合对煤与瓦斯突出的控制机理做了大量研究^[11-12],但煤层冲刷带异常构造对煤层瓦斯赋存影响效应及控制机理尚不清楚,由此亟需对煤矿冲刷带瓦斯赋存及瓦斯涌出机制进行深入分析。笔者在分析冲刷带地质特征对瓦斯赋存影响的基础上,结合不同类型冲刷带在煤矿采掘过

程中瓦斯涌出典型实例,研究煤层冲刷带瓦斯赋存和涌出机制,以期高瓦斯矿井和煤与瓦斯突出矿井煤层冲刷带特殊地质条件下采掘过程中瓦斯防治提供地质依据。

1 冲刷带分类及其对瓦斯赋存涌出控制

煤层冲刷带的类型可按其沉积环境和形成阶段2个标准来单独划分:前者按冲刷带形成的沉积环境类型可划分为河道冲刷带、分流河道冲刷带、溢岸冲刷带和海岸带冲刷带4种;后者按冲刷带与泥炭层或煤层形成的时间先后关系划分为同生冲刷带、后生冲刷带和继承性冲刷带3种,生产实践中此类型应用较多^[13]。以下将对3种形成阶段类型冲刷带特征及其对瓦斯赋存控制分述。

1.1 同生冲刷带

同生冲刷带以河流的同生冲蚀作用较为常见(图1),其特点是冲蚀沉积物一般为砂岩、粉砂岩并与煤层有共同顶板,煤层受冲蚀面不大,且冲蚀带在平面上呈蜿蜒曲折的条带状。同生冲刷带由于冲蚀范围较小,水力条件弱,且冲刷带被大量砂岩、粉砂岩充填,砂岩孔隙度较高,为瓦斯赋存提供了存储空间,加上同生冲刷带其上部又多以透气性较弱的泥岩、砂质泥岩为主,类似于气体封存箱,就容易积聚游离瓦斯。

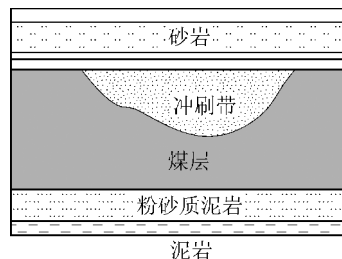


图1 煤层同生冲刷带示意

Fig.1 Syngenetic scouring zone of coal seam

1.2 后生冲刷带

后生冲蚀作用波及范围广,在平面上呈很宽的条带且延伸距离长,正常的煤层顶板也遭受破坏,冲蚀带内以砂岩、砾岩为主,具斜层理(图2)。后生冲刷带由于煤层接受冲蚀范围较大,冲蚀作用强烈,预示着沉积环境的强烈改变,冲蚀带充填物以砂岩、砾岩为主,孔隙度较高。如冲刷带上部有细粒砂泥岩沉积,有利于形成砂岩气藏。

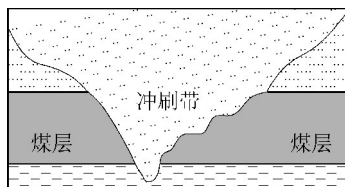


图2 煤层后生冲刷带示意

Fig.2 Epigenetic scouring zone of coal seam

1.3 继承性冲刷带

继承性冲刷带是指在泥炭堆积前及其堆积过程中,甚至在泥炭堆积后连续发育在某一地段的水流所形成的冲刷带,其特点是冲刷带与煤层底板砂体连为一体,有时冲刷带与煤层顶底板的砂体均呈连通状(图3)。继承性冲刷带对煤储层厚度和连续性破坏较大,冲刷带以河道砂体为主,若冲刷带及煤层上部有较好的泥页岩盖层可形成较好的致密砂岩气藏。由于继承性冲刷带常造成煤层较大规模中断,而规模较大的无煤带采掘过程会将其避开,所以其对瓦斯赋存和涌出影响机制不予考虑。

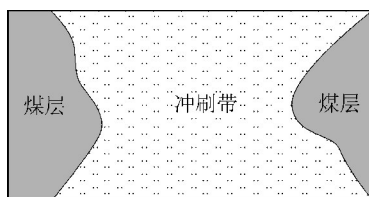


图3 煤层继承性冲刷带示意

Fig.3 Successive scouring zone of coal seam

2 同生冲刷带对煤矿瓦斯赋存和涌出影响

2.1 胡家河煤矿瓦斯地质条件

胡家河煤矿位于陕西省长武县,面积 55.24 km²,采用单水平立井开拓方式及综采放顶煤采煤工艺,全部采用垮落法管理顶板,开采规模 5.00 Mt/a。胡家河煤矿构造位置位于彬长矿区中北部董家庄背斜及七里铺—西坡背斜之间的孟村向斜区,以发育宽缓的褶曲为主,整体表现为 NNE 缓倾斜的单斜构造,地层倾角一般小于 5°,井田内未发现大的断裂构造,无岩

浆活动影响,地质构造简单^[14]。胡家河煤矿含煤地层为侏罗系中统延安组,属河流—湖沼相沉积。主采煤层 4 号煤层,全区可采,煤层厚度稳定,多在 8.00~23.00 m。胡家河煤矿煤层结构为原生结构,镜质体反射率 R_o 为 0.640%~0.673%,煤变质程度低,煤类为弱黏煤。根据地质勘探和井下瓦斯实测资料,胡家河煤矿瓦斯以氮气和甲烷为主,深部甲烷浓度增加;干燥无灰基瓦斯含量 0.02~5.71 m³/t,平均为 2.87 m³/t;瓦斯富集区主要分布于煤矿北部 A8 背斜北翼和南部 A3 向斜(图4)。瓦斯压力 0.35~0.40 MPa,平均 0.38 MPa。煤层透气性系数 λ 为 3.32~3.78 m²/(MPa²·d),平均为 3.55 m²/(MPa²·d),属瓦斯可抽采煤层。胡家河煤矿正式投产以来历年均鉴定为高瓦斯矿井,其中 2016 年相对瓦斯涌出量 4.48 m³/t,绝对瓦斯涌出量 32.43 m³/min;近年来,最高绝对瓦斯涌出量 54.38 m³/min。

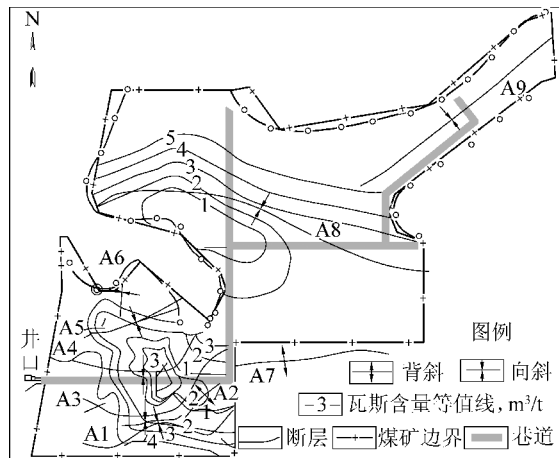


图4 胡家河煤矿构造及4号煤层瓦斯含量等值线

Fig.4 Tectonic map and contour map of gas content in No.4 seam of Hujiahe Coal Mine

2.2 冲刷带地质特征

胡家河矿井在首采区采掘过程中揭露了3条古河床冲刷带,其中 C1 和 C2 都是在 401101 工作面揭露并向东北方向延伸穿过 401102 工作面、401103 工作面至 401 盘区辅运, C3 位于 401105 工作面开切眼处(图5)。在 401101 和 401102 两个工作面南段揭露 2 条古河床冲刷带,呈南西至北东向,煤层最大侵蚀厚度 8~10 m,并在 401 采区大巷同样揭露。401105 工作面东部巷道掘进过程中,在工作面开切眼处揭露古河床冲刷带,经分析为一条由北部边界向南的古冲刷带,影响范围约 90 m。根据井下冲刷带观测具有如下特点:①底煤没有明显变化,煤壁完整;②冲刷带宽度为 90 m,冲蚀厚度为 2~8 m,冲蚀深度和规模不大;③冲刷带岩性为粉砂质泥岩、细粒

砂岩,冲刷带在平面上呈弯蜿蜒曲折条带状,且面积不大的范围内有多条冲刷带,说明水动力条件较弱,为泥炭沼泽中发育的河流。据此推断胡家河煤矿冲刷带为同生冲刷带。

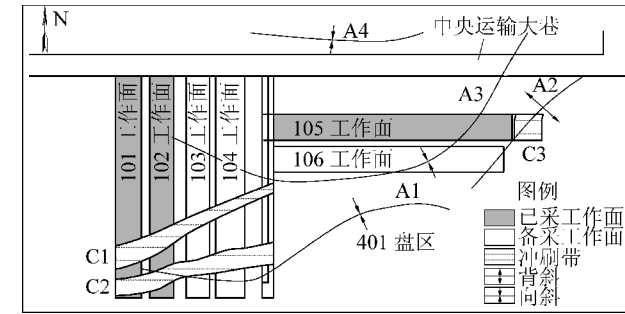


图5 胡家河煤矿401盘区河床冲刷带示意

Fig.5 Schematic map of riverbed erosion zone in No.401 mining area of Hujiahe Coal Mine

2.3 同生冲刷带瓦斯赋存和涌出影响机制

为了探究同生冲刷带对煤矿瓦斯赋存和涌出的影响,在井下401103备采工作面掘进巷道掘进过程中实测了冲刷带和正常煤层瓦斯含量,发现冲刷带瓦斯含量与正常煤层瓦斯含量均在 $4.5 \text{ m}^3/\text{t}$ 左右,说明同生冲刷带对瓦斯赋存影响不大。

究其原因有2点:①冲刷带为同生冲刷带,呈带状分布,冲刷带顶板与正常煤层顶板岩性相同且连续,具有统一的压力系统。②冲刷带位于孟村向斜,受古地形影响,该区域为古拗陷有利于成煤,煤层厚度均在16 m以上,同生冲刷仅对接触带煤质有影响,对冲刷带下部煤层煤质影响不大,从而对冲刷带煤层吸附气含量影响均不大。同时由图6可以看出,

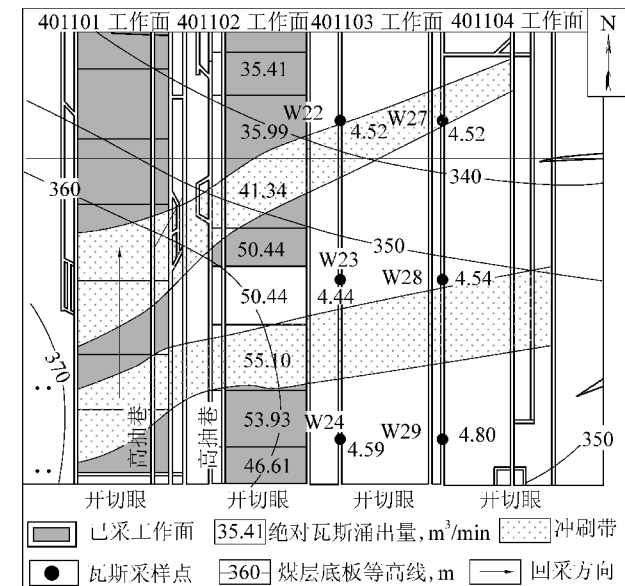


图6 煤层顶板冲刷带与煤层瓦斯涌出关系

Fig.6 Relation diagram of coal seam roof scouring zone and seam gas

401102工作面在回采经过第1个冲刷带时瓦斯涌出达到 $55.1 \text{ m}^3/\text{min}$,瓦斯涌出量明显增高,且瓦斯涌出量沿冲刷带两侧具有降低趋势。煤层冲刷带瓦斯涌出量增高,在401105工作面回采经过C3冲刷带时也得到了证实。其原因是冲刷带含有大量的细粒砂岩,含有一定数量的游离气,当回采经过时导通邻近冲刷带瓦斯,游离气涌出造成瓦斯涌出量偏高。

3 后生冲刷带对煤矿瓦斯赋存和瓦斯涌出影响

3.1 新景煤矿瓦斯地质条件

山西省新景煤矿位于阳泉市区西部,设计生产能力 7.5 Mt/a 。采用主斜井、副立井的综合开拓方式。开采方法采用走向长壁、顶板全部垮落采煤法,施行综合机械化开采,一次采全高。由于历史原因和地质条件限制,煤矿分为南北两带4个分区、分别为芦湖分区、佛洼分区、葫芦北分区和保安分区。新景煤矿构造位置位于沁水盆地北端寿阳—阳泉单斜带,区内地层整体上为倾向SW的单斜,倾角 $6^\circ \sim 10^\circ$,在其上又发育了次一级的NNE—NE向的褶皱构造,成为井田内主要构造形态(图7)。

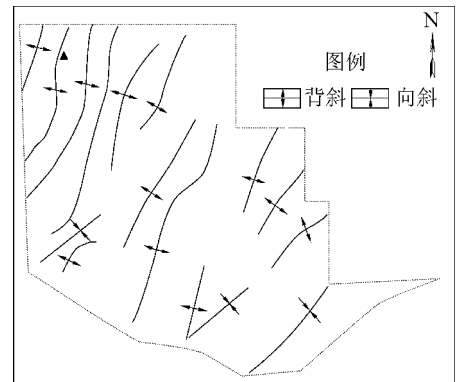


图7 新景煤矿构造示意

Fig.7 Structural sketch of Xinjing Coal Mine

该矿断裂构造的发育程度一般,回采过程中揭露断层多数均属落差小于5.0 m以下的层间小断层。井田内陷落柱较多,且在平面上多呈群状分布,对煤层破坏比较严重。新景煤矿含煤地层为石炭系太原组和二叠系山西组,含煤地层沉积环境属海陆交互相,主采3煤、12煤和15煤,局部可采的为6煤、8煤、9煤,均为变质程度较高的无烟煤。新景煤矿井下采掘过程中3号煤层受古河流冲蚀变薄,缺失现象频繁。3号煤层宏观煤岩组分主要由亮煤、暗煤和丝炭组成,含有较少的镜煤。瓦斯参数测定结果表明:3煤的普氏系数 f 在 $0.41 \sim 1.07$,煤层透气性系数 λ 为 $0.0192 \sim 0.1931 \text{ m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$,施

工现场的钻孔百米流量衰减系数为 $0.055\ 3 \sim 1.603\ 5\ \text{d}^{-1}$,属难抽采煤层。煤层瓦斯含量一般为 $12 \sim 24\ \text{m}^3/\text{t}$,瓦斯压力为 $1.29 \sim 2.27\ \text{MPa}$ 。3号煤层由于受到水平构造应力影响,中间夹杂着构造软分层,煤层比较松软,且煤层透气性系数较低,再加上瓦斯含量和压力较高,该矿发生多起煤与瓦斯突出事故,最大压出煤量 $90\ \text{t}$,最大涌出瓦斯量 $1\ 820\ \text{m}^3$,为全国典型的煤与瓦斯突出矿井^[15]。

3.2 冲刷带地质特征

新景煤矿在井下采掘过程中发现多处煤层冲刷带,且同时含有同生冲刷带和后生冲刷带2种。同生在剖面上主要表现在一些局部地区的煤层中呈现透镜状砂岩包裹体和似层状的灰白色砂质泥岩、粉砂岩夹石,最厚处在 $1.2\ \text{m}$,与煤层具有共同的顶板,规模较小,对煤矿采掘影响不大^[16]。后生冲蚀作用是影响新景煤矿安全的主要因素,其主要表现在以下2个方面:①冲刷带分布面积广,煤层厚度薄化相对严重,3号煤层因冲蚀造成的煤层变薄或缺失的不可采条带由北向南常呈树枝状^[17];②分布在矿区的中部和南部地区,多呈 NNE 向和近 SN 向延伸条带,砂岩颗粒具有北部粗南部细特征;③部分冲刷区域直接顶冲蚀殆尽,煤层也遭受了一定的冲蚀,煤层顶板直接为基本顶砂岩。据此新景煤矿冲刷带为后生冲刷带。

3.3 后生冲刷带瓦斯赋存和涌出影响机制

普氏系数和瓦斯压力是煤与瓦斯突出的2个必要条件,新景煤矿3号煤层瓦斯含量高,瓦斯压力普遍高于临界突出压力 $0.74\ \text{MPa}$,由此煤的普氏系数成为该矿煤与瓦斯突出的关键。阳泉地区受成煤后期燕山期新华夏系构造和燕山期北西构造影响,煤层内多期次级褶皱构造发育,煤体结构破碎^[18]。新景煤矿3号煤层底部煤层松软,呈受揉皱状态,构造煤发育,普氏系数较低。除瓦斯压力和普氏系数外,近年来地应力场对煤与瓦斯突出的控制作用受到越来越多的关注,煤层局部变化致使地应力呈明显集中的地带与突出有直接关系^[19-21]。生产实践表明,后生冲刷带过渡区是煤与瓦斯突出事故高发地带(图8)。新景煤矿地质条件中等,冲刷带过渡带易发生煤与瓦斯突出事故的原因有以下3点:①煤层尖灭区及其附近应力会出现高应力异常区,而在煤层冲刷带过渡区则出现应力最小值,至正常煤层应力趋于正常值^[10]。因此,煤层冲刷带过渡区应力相对集中区,煤层在应力差的作用下会发生剪切滑动,从而形成一定厚度的构造煤;②冲刷带煤层顶、底板岩性组合发生变化,煤层冲刷带直接顶板多以硬度

较大的砂岩为主,在构造应力作用下,冲蚀带顶板以弯滑变形为主,而煤层以弯流变形为主,致使煤体破碎甚至成粉状,3号煤层中发育大量摩擦镜面,煤体瓦斯赋存能力增强。煤层冲刷带构造煤的极度发育加剧了瓦斯赋存的横向上差异性;③处于煤层尖灭区的砂岩应力较高,而3煤层顶、底板多为泥岩和细粒砂岩,透气性差,有利于游离气在冲刷带砂岩中赋存。采掘至冲刷带过渡区时处于异常高应力区的游离气迅速涌出,致使冲刷带过渡区松软煤层应力状态失稳,从而发生煤与瓦斯突出。

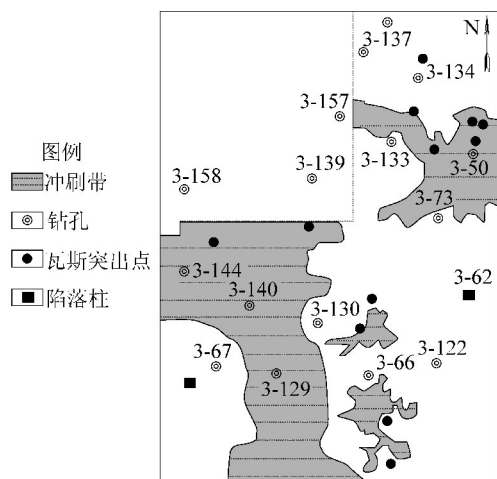


图8 芦湖分矿煤层冲刷带与煤层瓦斯涌出关系^[11]

Fig.8 Relation diagram of coal seam scouring zone and coal gas of Xinjing Coal Mine

4 结 论

1)煤层冲刷带在我国煤矿开采中普遍遇到,冲刷带发育的河道砂体在顶部有一定厚度细粒砂岩泥岩封盖时,可形成一定规模的砂岩气藏。从冲刷带的规模来看,当具备封闭条件时继承性冲刷带和后生冲刷带形成砂岩气藏的条件要优于同生冲刷带,但继承性冲刷带由于造成无煤带,对煤矿开采过程中瓦斯突出影响不大。

2)同生冲刷带规模较小,但是与煤层具有统一顶板,最有利于形成砂岩气藏,但受砂体规模影响,采掘过程瓦斯涌出量高于两侧正常煤层,对煤矿瓦斯涌出影响较小。

3)后生冲刷带对我国煤矿采掘条件影响较大,后生冲刷带过渡带区由于剪切力的存在,使煤层破碎,透气性变差,加之地质历史时期构造运动对煤层整体结构的破坏,瓦斯赋存能力增强。采掘至此工作面中部前方来压,煤层应力增大,加之冲刷带砂体中较高压力的游离瓦斯涌出,从而易在后生冲刷带过渡区发生煤与瓦斯突出。

参考文献 (References):

- [1] 龙荣生. 矿井地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991: 15-20.
- [2] 贾建称, 郭东藩, 崔中兴, 等. 布尔台矿井 3⁻¹ 煤层冲刷带特征及预测[J]. 陕西煤炭, 2009, 28(1): 4-6.
JIA Jiancheng, GUO Donghuang, CUI Zhongxing, *et al.* The feature and forecast of 3⁻¹ coal seam washout zones in Buertai Coal Mine [J]. Shaanxi Coal, 2009, 28(1): 4-6.
- [3] 王宇林, 张亚明, 于常武, 等. 铁法矿区煤层冲刷带研究[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(5): 8-11.
WANG Yulin, ZHANG Yaming, YU Changwu, *et al.* Study on coal seam scouring zone in Tiefa Mining Area[J]. Coalfield Geology and Exploration, 2002, 30(5): 8-11.
- [4] 李普涛, 张起钻, 汪恕生. 煤层冲刷带预测方法评述[J]. 中国煤炭地质, 2007, 19(2): 17-19.
LI Putao, ZHANG Qizuan, WANG Shusheng. Review on prediction methods of coal seam erosion zone [J]. China Coal Geology, 2007, 19(2): 17-19.
- [5] 刘俊杰. 地质统计学在预测煤层冲刷带中的应用研究[J]. 煤炭学报, 2004, 39(1): 49-52.
LIU Junjie. Application study of geostatistics to predicate washout zone in coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2004, 39(1): 49-52.
- [6] 吴奕峰, 孟凡彬. 利用地震属性预测煤层厚度及古河流冲刷带的方法[J]. 中国煤炭地质, 2010, 22(10): 52-56.
WU Yifeng, MENG Fanbin. A method for predicting coal seam thickness and ancient river erosion zones by using seismic attributes [J]. Coal Geology of China, 2010, 22(10): 52-56.
- [7] 王宇林, 赵明鹏, 王国成, 等. 煤层冲刷带的分类及预测[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 1998, 17(3): 249-253.
WANG Yulin, ZHAO Mingpeng, WANG Guocheng, *et al.* Prediction and classification of coal seam erosion zone [J]. Journal of Liaoning University of Engineering and Technology: Natural Science Edition, 1998, 17(3): 249-253.
- [8] 程远平, 刘洪永, 赵伟. 我国煤与瓦斯突出事故现状及防治对策[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(6): 15-18.
CHENG Yuanping, LIU Hongyong, ZHAO Wei. Status and prevention countermeasures of coal and gas outburst accidents in china [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 15-18.
- [9] 汤友谊, 魏若飞, 刘最亮, 等. 后生冲蚀对矿井瓦斯突(喷)出的控制作用[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2012, 31(2): 140-144.
TANG Youyi, WEI Ruofei, LIU Zhiliang, *et al.* Gas outburst (spray) of epigenetic washout out of control in No.3 coal seam of Xinjing coal mine [J]. Journal of Henan University of Technology: Natural Science Edition, 2012, 31(2): 140-144.
- [10] 管永伟, 陈同俊, 崔若飞, 等. 煤层冲刷带地震响应特征及其与煤层瓦斯突出的相关性分析[J]. 地球物理学进展, 2016, 31(1): 191-197.
GUAN Yongwei, CHEN Tongjun, CUI Ruofei, *et al.* Analysis of seismic response and correlation with coal seam gas outburst in the coal seam scouring zone [J]. Progress in Geophysics, 2016, 31(1): 191-197.
- [11] 何俊, 陈新生. 地质构造对煤与瓦斯突出控制作用的研究现状与发展趋势[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2009, 28(1): 1-7, 13.
HE Jun, CHEN Xinsheng. Research state and its development trends for control function of geological structure to coal and gas outburst [J]. Journal of Henan University of Technology: Natural Science Edition, 2009, 28(1): 1-7, 13.
- [12] 韩军, 张宏伟, 霍丙杰. 向斜构造煤与瓦斯突出机理探讨[J]. 煤炭学报, 2008, 33(8): 908-913.
HAN Jun, ZHANG Hongwei, HUO Bingjie. Discussion of coal and gas outburst mechanism of syncline structure [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(8): 908-913.
- [13] 李增学. 煤矿地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009: 236-238.
- [14] 蔺亚兵, 申小龙, 刘军. 黄陵煤田低煤阶煤储层孔隙特征及吸附储集性能研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(5): 181-186.
LIN Yabing, SHEN Xiaolong, LIU Jun. Pore characteristics and adsorption reservoir performance of low rank coal reservoirs in Huanglong coalfield [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(5): 181-186.
- [15] 王建国. 新景矿瓦斯地质规律的初步探讨[D]. 焦作: 河南理工大学, 2009: 16-22.
- [16] 陈书平. 阳泉矿区 3[#] 煤层河流冲蚀规律探讨[J]. 江苏煤炭, 2003, 28(3): 34-35.
CHEN Shuping. Discussion on river erosion law of No.3 Coal Seam in Yangquan Mining Area [J]. Jiangsu Coal, 2003, 28(3): 34-35.
- [17] 张坤鹏. 阳泉新景煤矿构造煤发育规律及其对瓦斯赋存的控制机理[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015: 23-29.
- [18] 臧宇霄. 新景矿 3[#] 煤层地质构造作用对煤孔隙结构特征及瓦斯吸附—解吸特性影响[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2018: 8-11.
- [19] 程远平, 张晓磊, 王亮. 地应力对瓦斯压力及突出灾害的控制作用研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(3): 408-414.
CHENG Yuanping, ZHANG Xiaolei, WANG Liang. Controlling effect of ground stress on gas pressure and outburst disaster [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2013, 30(3): 408-414.
- [20] 何满潮, 任晓龙, 宫伟力, 等. 矿山压力对煤矿瓦斯涌出影响实验分析及其控制[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 7-13.
HE Manchao, REN Xiaolong, GONG Weili, *et al.* Experimental analysis of mine pressure influence on gas emission and control [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 7-13.
- [21] 张天军, 苏琳, 乔宝明, 等. 矿压与煤层瓦斯涌出量关联性分析[J]. 西安科技大学学报, 2011, 31(6): 703-707.
ZHANG Tianjun, SU Lin, QIAO Baoming, *et al.* Relationship between mine ground pressure and gas emission [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2011, 31(6): 703-707.