

文章编号: 1673-3363-(2013)03-0408-07

地应力对瓦斯压力及突出灾害的控制作用研究

程远平¹, 张晓磊¹, 王亮^{1,2}

(1. 中国矿业大学煤矿瓦斯治理国家工程研究中心, 安全工程学院, 江苏 徐州 221116;

2. 淮北矿业股份有限公司博士后科研工作站, 安徽 淮北 235000)

摘要 为考察地应力对瓦斯压力与突出灾害的控制作用, 通过理论分析和现场实例验证相结合的方法, 分析了地应力的演化特征及构造应力对煤体结构、瓦斯压力和突出灾害的控制作用规律。研究表明: 构造应力的演化对煤层瓦斯赋存及运移起主导控制作用, 含煤地层在高构造应力作用下其煤层瓦斯压力梯度可能远超过静水压力梯度, 形成高的瓦斯压力; 在强烈构造运动作用下形成的构造煤具有煤体强度低、瓦斯吸附和放散能力强等特点。由于地应力对煤体结构和瓦斯压力均起到控制作用, 可以认为地应力在突出灾害中起主导控制作用, 是煤体破坏的主要动力, 也是高压瓦斯存在的前提。最后文中以祁南煤矿 τ_2 煤层的瓦斯突出灾害特征验证了构造应力对突出灾害的主导控制作用。

关键词 地应力; 构造应力; 煤体结构; 瓦斯压力; 煤与瓦斯突出

中图分类号 TD 712

文献标志码 A

Controlling effect of ground stress on gas pressure and outburst disaster

CHENG Yuan-ping¹, ZHANG Xiao-lei¹, WANG Liang^{1,2}

(1. National Engineering Research Center of Coal Gas Control, Faculty of Safety Engineering,

China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

2. Post-Doctoral Research Station, Huaibei Mining Corporation Limited, Huaibei, Anhui 235000, China)

Abstract To investigate the controlling effect of ground stress on gas pressure and outburst disaster, based on theoretical analysis and field verification, the evolution law of ground stress and its controlling effect on the coal structure, gas pressure and outburst disasters was analyzed in this paper. The results show that the evolution of tectonic stress plays a dominant role in the gas occurrence and migration. The coal seam gas pressure gradient under the higher tectonic stress may be greater than that under the hydrostatic pressure, which will lead to high gas pressure. In addition, the tectonic coal formed under the strong tectonic activity is characterized mainly by low strength, strong adsorption and diffusion. Moreover, due to the controlling effect on the coal structure and gas pressure, it is considered that the ground stress plays a leading controlling role in the outburst accident, which is the main driving force on coal mass destroy, and the premise condition for the existing of high-pressure gas. Finally, the leading controlling role of tectonic stress on outburst disaster have been verified by the characteristics of coal

收稿日期: 2012-06-01

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2011CB201204); 国家自然科学基金青年基金项目(51004106); 中国博士后科学基金面上项目(2012M510145)

作者简介: 程远平(1962-), 男, 吉林省集安市人, 教授, 博导, 从事瓦斯治理方面的研究。

E-mail: liangw1982@126.com

Tel: 0516-83885948

and gas outburst disasters in No.7₂ Coal Seam of Qinan Coal Mine.

Key words ground stress; tectonic stress; coal structure; gas pressure; coal and gas outburst

我国煤矿每年以 20~50 m 的速度向深部延深, 约 50 对矿井开采深度达到 800~1 200 m, 预计未来 20 年我国很多煤矿开采深度将达到 1 000~1 500 m^[1]。随着矿井开采深度的增加, 煤层赋存环境呈现高地应力、高地温和高孔隙水压的特点, 冲击地压、煤与瓦斯突出、底板突水、高地温等一系列工程地质灾害日益严重^[1]。我国煤矿的重大灾害事故中 70% 以上是瓦斯事故, 矿井开采具有开采深度大、地应力大、瓦斯压力大、煤层透气性低、煤层瓦斯预抽困难等特点, 在采掘过程中瓦斯涌出量大、放散速度快, 再加上开采煤层地质条件复杂, 在一定条件下将会产生煤和瓦斯突出的动力现象^[2]。2008 年, 煤与瓦斯突出事故首次成为瓦斯灾害中的第一大灾害^[3]。

煤与瓦斯突出是煤矿井下发生的一种极其复杂的动力失稳现象。到目前为止, 国内外学者对各种地质、开采条件下突出发生的机理还没有完全掌握, 大部分是根据现场统计资料和实验研究提出的各种假说, 包括瓦斯作用说、地应力作用说、化学本质说和综合作用假说等。其中综合作用假说全面考虑了突出发生的作用力和介质两个方面的主要因素, 得到了国内外大多数学者的认可, 它认为突出是地应力、瓦斯和煤的物理力学性质等因素综合作用的结果, 地应力是突出的激发诱导因素, 高压瓦斯在突出的发展过程中起决定性的作用, 煤的物理力学性质则是阻碍突出的因素^[4-5]。

根据以往实际发生的煤与瓦斯突出案例以及国内外学者的研究成果分析, 地应力在煤与瓦斯突出事故中扮演了极其重要的角色^[4-5], 无论在漫长的地质年代里还是煤矿开采过程中, 地应力场的变化导致了地质构造的变迁, 控制了煤层瓦斯的赋存状态和运移能力。本文详细论述了地应力对瓦斯压力梯度的控制作用, 构造应力对煤体结构的破坏作用, 从而揭示了地应力对煤与瓦斯突出灾害的控制作用, 并通过祁南煤矿的地质灾害情况进行验证。

1 地应力的演化特征

地应力场是指煤岩体应力在空间各点的分布, 未受采动影响的煤岩体内应力场, 称为原始应力场, 它由煤岩体自重应力场和构造应力场组成。构造应力场是由地质构造运动形成, 构造应力异常复

杂, 应力分布不均, 构造应力在地壳浅部比自重应力大^[6-8]。在大构造运动中, 可能产生次级甚至第三级的地质构造应力场, 并伴随发生次级和第三级的变形和破裂, 构造应力场也会多次变化, 而最有现实意义的是最近一次的地质构造运动及相应的构造应力场^[7]。构造运动结束后, 应力得到释放, 未释放部分继续留在煤岩体内, 称为构造残余应力。

地应力场中最大主应力的作用方向, 一般为水平或接近水平方向, 地表浅部水平应力普遍大于竖直方向自重应力, 其值为自重应力的 1.5~2.0 倍^[6], 水平主应力由构造应力产生^[9-10]。煤体采出后, 采空区周围原有的应力平衡状态受到破坏, 引起井巷及采场周围应力的重新分布, 从而引起岩层的变形、破坏与移动, 并在附近煤岩体内形成应力降低区及应力增高区, 使地应力场达到新的平衡。同时, 地下采掘活动造成次生透气性结构, 有利于卸压区煤体瓦斯的解吸, 采场围岩离层裂隙的产生进一步促进了瓦斯的运移, 而应力增高区瓦斯渗透能力减小, 从而造成井下采场围岩内瓦斯运移能力具有区域性差异。

2 地应力对瓦斯赋存及突出灾害的控制机制

由于煤与瓦斯突出是极其复杂的动力现象, 目前对突出机理的研究仍处于定性的综合作用假说阶段, 即认为突出是地应力、瓦斯和煤的物理力学性质等因素综合作用的结果, 它们存在于同一体系之中(突出煤层及其围岩), 既互相依存, 又互相制约^[7]。根据以往实际发生的煤与瓦斯突出案例以及国内外学者的研究成果分析, 地应力在煤与瓦斯突出事故中扮演了极其重要的角色。

2.1 地应力对瓦斯压力的控制特征

煤层瓦斯压力是评价煤层突出危险性的一个重要指标, 并在煤层突出危险性指标重要性排序中位居前列^[11], 同时是决定煤层瓦斯含量、瓦斯流动动力以及瓦斯动力现象潜能大小的基本参数。在甲烷带内, 煤层的瓦斯压力随深度增加而增加, 瓦斯压力梯度随地质条件而异, 在地质条件相近的地质块段, 相同深度的同一煤层具有大体相同的瓦斯压力, 多数煤层瓦斯压力随埋深呈线性增加^[5-12]。文

献[12]通过对重庆、北票、湖南等矿区的突出实测数据统计分析,发现瓦斯压力随埋深变化线一般靠近静水压力线分布,认为煤层瓦斯压力存在着一个极限值,即静水压力值,超过这个深度后,瓦斯压力将按煤层极限瓦斯压力分布线(BC线)而变化。由于目前我国煤矿开采水平普遍处于-800 m 以上,统计的煤层瓦斯压力变化规律基本符合线性特征,但进入深部开采后,受高地应力、高地温和高孔隙水压等影响,煤层瓦斯压力变化将出现新的特征。

在现有开采深度范围内,一般瓦斯增长率变化处于(0.01±0.005) MPa/m 范围内。在甲烷带内,矿井浅部的构造应力小,其瓦斯压力往往小于或近似等于静水压力,即 $P = 0.01 H$;而在矿井深部,由于地应力(其中包括自重应力、构造应力和温度应力)随埋深成线性增加,瓦斯压力梯度会随之增大,瓦

斯压力可以超过静水压力, P 值可达(0.013~0.015) H ^[13],且在地质构造带和应力集中区存在瓦斯压力异常区域。因此,可认为瓦斯压力的大小主要取决于地质构造的复杂程度和煤体自身的物理力学性质^[14],即主要受控于构造应力作用,深部煤层在高构造应力条件下其瓦斯压力梯度可能远超过静水压力梯度,造成瓦斯压力异常增高。

淮北煤田位于华北板块东南缘,豫淮拗陷的东部,东以郟庐断裂为界与扬子板块相接,南隔蚌埠隆起与淮南煤田相望,区域构造格局既受华北板块构造演化的控制,又受大别—郟庐—苏鲁造山带演化的控制。淮北煤田包括宿县、临涣、濉肖和涡阳 4 个矿区,4 大矿区内淮北矿业集团各矿井瓦斯压力梯度统计变化情况如表 1 所示。

表 1 淮北矿区瓦斯压力梯度变化规律

Table 1 Variation law of gas pressure gradient in Huaibei mining area

矿区	矿井	煤层	瓦斯压力梯度范围	矿区	矿井	煤层	瓦斯压力梯度范围
濉肖矿区	石台煤矿	3 煤	0.0007~0.01	临涣矿区	海孜煤矿	7 煤	0.011
		10 煤	0.0019			10 煤	0.0174~0.0369
	杨庄煤矿	5 煤	0.0008~0.0012		童亭煤矿	7 煤	0.0041
		6 煤	0.0008			7 煤	0.0012~0.00246
	袁庄煤矿	4 煤	0.00235		临涣煤矿	9 煤	0.0009~0.00142
		6 煤	0.0008			10 煤	0.0031
	朱庄煤矿	4 煤	0.0011		孙疃煤矿	7 ₂ 煤	0.0032
		5 煤	0.0003			8 煤	0.0032
		6 煤	0.0009			10 煤	0.0035~0.0042
		6 煤	0.0009				
宿县矿区	祁南煤矿	3 ₂ 煤	0.0125	涡阳矿区	许疃煤矿	3 煤	0.0062
		7 ₂ 煤	0.0194			7 煤	0.0031
	朱仙庄煤矿	8 煤	0.01~0.011		刘店煤矿	8 煤	0.0031
		10 煤	0.0013			7 煤	0.0034
	桃园煤矿	7 ₂ 煤	0.0114		涡北煤矿	10 煤	0.0028
		8 ₂ 煤	0.0118			7 煤	0.0038
	芦岭煤矿	10 煤	0.0019		10 煤	0.0042	
		8 煤	0.0062~0.0093				
	10 煤	0.0071					

注:瓦斯压力梯度统计资料来源于对现有不同地质单元生产采区瓦斯压力实测统计结果

从表 1 可看出,淮北矿区下属各矿受构造应力叠加作用十分明显,瓦斯灾害十分严重,特别是临涣矿区的海孜煤矿和宿县矿区的祁南煤矿的煤层瓦斯压力梯度普遍偏大,其中海孜煤矿由于煤层上方存在 120 m 巨厚火成岩体,对瓦斯赋存和煤层应力分布均起到控制作用;祁南煤矿煤层受到贯穿煤层的王楼背斜和张学屋向斜控制,现有生产采区均

位于构造控制区域。

2.2 地应力对煤体结构的破坏

地下煤体是处在复杂的自重应力、构造应力和开采附加应力场中,其中构造应力为各向异性的定向压力,可促进煤体物理、化学结构的变化。在构造应力作用下,煤体原生结构受到严重破坏,软分层因受挤压拉张,煤中有机组分活动性加大,发生

韧性变形，亦即构造煤化^[10]。构造煤是煤层在构造应力作用下发生破碎或强烈韧塑性变形及流变迁移的产物，是在区域变质的基础上又叠加了动力变质作用。突出煤层均具有构造结构特征，大量的煤与瓦斯突出事例表明，几乎所有发生煤与瓦斯突出的煤层都发育有一定厚度的构造煤。

与原生结构煤相比，构造煤在构造应力作用下经历变形变质过程，其原生煤体的孔隙结构遭受构造破坏、变形，孔隙结构的各向异性增强，孔隙容积发生变化，煤的比表面积随着煤体破坏程度的增高而增大，其吸附瓦斯的能力也逐渐增强。

《防治煤与瓦斯突出规定》中规定的突出煤层判定的 4 项单项指标中，煤体强度 f 值的大小直接反应构造煤的破坏程度，破坏程度越大，煤体强度 f 值越小，突出煤层的强度一般小于 0.5；单项指标中的瓦斯放散初速度 (P) 表明瓦斯放散的快慢程度，在瓦斯含量相同的条件下，煤的瓦斯放散初速度越大，煤体的破坏类型越高。2009 年 4 月 25 日，海孜煤矿 10 煤层位于矿井 102 采区西翼三区段的 1026 机巷掘进工作面发生煤与瓦斯突出事故(见图 1)，10 煤层的突出指标瓦斯放散初速度 P 由正常区的 9 mmHg 增加至 26 mmHg，煤体坚固性系数 f 值由正常区的 0.53 降低至 0.17。



图 1 海孜煤矿 1026 机巷掘进工作面突出情况
Fig.1 The outburst situation of the II1026 heading face in the Haizi Coal Mine

2.3 地应力对瓦斯赋存及突出灾害的控制特征

中国的石炭二叠纪含煤地层形成后主要经历了印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动等，煤层构造运动的规模、涉及范围、构造应力场等均不尽相同，煤层形成后，历经构造运动中拉张陷裂活动会使煤层瓦斯大量逸散。不同级别的构造活动和构造应力场控制构造作用的范围和强度，亦控制着不同范围煤层瓦斯的赋存和分布，同时还控制着煤层运移条件、煤体结构的破坏条件和范围。不同类型的地质构造在其形成过程中由于构造应力场及其内部应力状态的不同，导致煤层及其盖层的产状、结

构、物性、裂隙发育等出现差异，从而影响瓦斯的保存^[15]。

构造应力相对集中的地带是瓦斯突出发生的主要位置，也即在岩石受力变形，如褶曲、煤厚变化、煤包、煤层走向倾斜剧变等，而构造应力没有得到充分释放的地点^[4]。煤田和矿井中煤和瓦斯突出的区域性分布是由构造应力场的不均匀分布所预先决定的，突出集中发生在构造应力增高处，特别是压性、压扭性构造与瓦斯突出息息相关，一方面是这些构造有利于造成构造煤形成并发育；另一方面是在这些构造发育的地带构造应力比较集中，使煤层处于强压状态，降低了煤层渗透性，从而有利于在煤层中形成压力梯度大的高压瓦斯。在断裂构造中瓦斯突出主要与压性、压扭性断裂有关，有时断距只有几米甚至几十厘米的小型逆断层或平移断层就会导致强烈的瓦斯突出。瓦斯突出与褶皱构造之间的关系也是极其密切的。煤层在褶皱形成过程中，因韧性剪切、塑性流动而形成构造煤，“煤包”附近通常是发生严重瓦斯突出的地点。

可以认为，高地应力是发生煤和瓦斯突出的第一个必要条件，在构造破坏带，即使深度不大，围岩中也可能存在很高的构造应力，具有发生突出的有利条件^[7]。地应力对煤体结构和瓦斯压力均起到控制作用，即高地应力场对瓦斯压力场起着控制作用，较大的构造应力是造成高地应力的决定性因素，高的构造应力决定了高的瓦斯压力的存在；构造应力控制区域的煤层，煤体结构遭受破坏，煤体强度降低。因此我们认为地应力在突出事故中起主导控制作用，是发动突出的主要动力，也是高压瓦斯存在的前提。

综上所述，地应力、瓦斯压力和煤体结构之间存在着复杂的相互作用，其相互影响作用如图 2 所示。

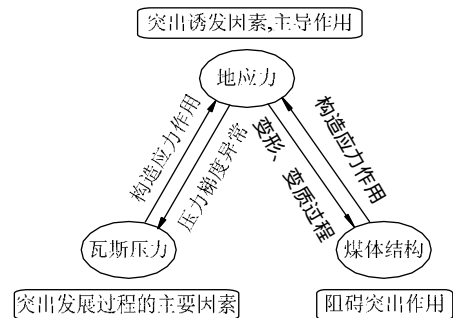


图 2 突出“三要素”的相互作用关系
Fig.2 The correlations among ground stress, gas pressure and coal structure

3 祁南煤矿 7 煤层瓦斯突出灾害特征

祁南煤矿位于宿县矿区西南部，如图 3 所示，主采煤层为 3₂ 煤、7₂ 煤和 10 煤，年核定生产能力 300 万 t，2010 年矿井绝对瓦斯涌出量为 66.43 m³/min，相对瓦斯涌出量为 13.55 m³/t。祁南煤矿为煤与瓦斯突出矿井，3₂ 煤、7₂ 煤层均为突出煤层，历史上发生过瓦斯喷出、煤与瓦斯突出、岩石与瓦斯突出等各种动力现象，且突出具有延期性。矿井 7₂ 煤层位于下石盒子组下部，煤层厚度 0~7.36 m，平均 2.64 m，属较稳定煤层，实测最大煤层瓦斯压力为 3.5 MPa_a。

矿井位于宿南向斜西翼，蚌埠隆起的北侧，受燕山早、中期受到强烈的挤压作用，同时受 NNE 向的宿南背斜控制和 EW 向构造控制，构造的多重控制作用影响着煤层瓦斯赋存，如图 4 所示。

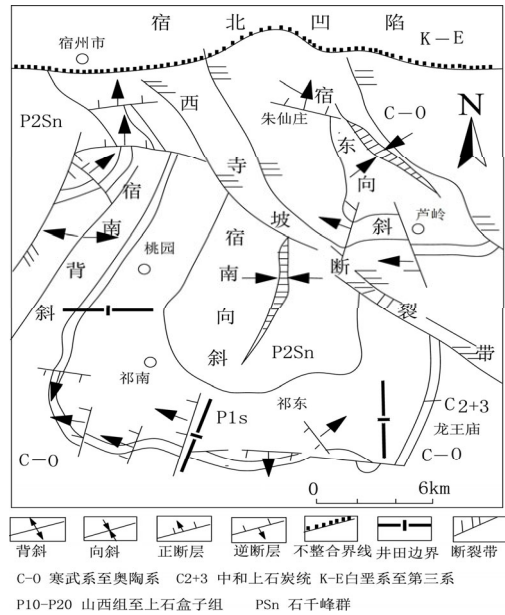


图 3 宿县矿区构造纲要示意图

Fig.3 Tectonic outline schemes of Su county mining area

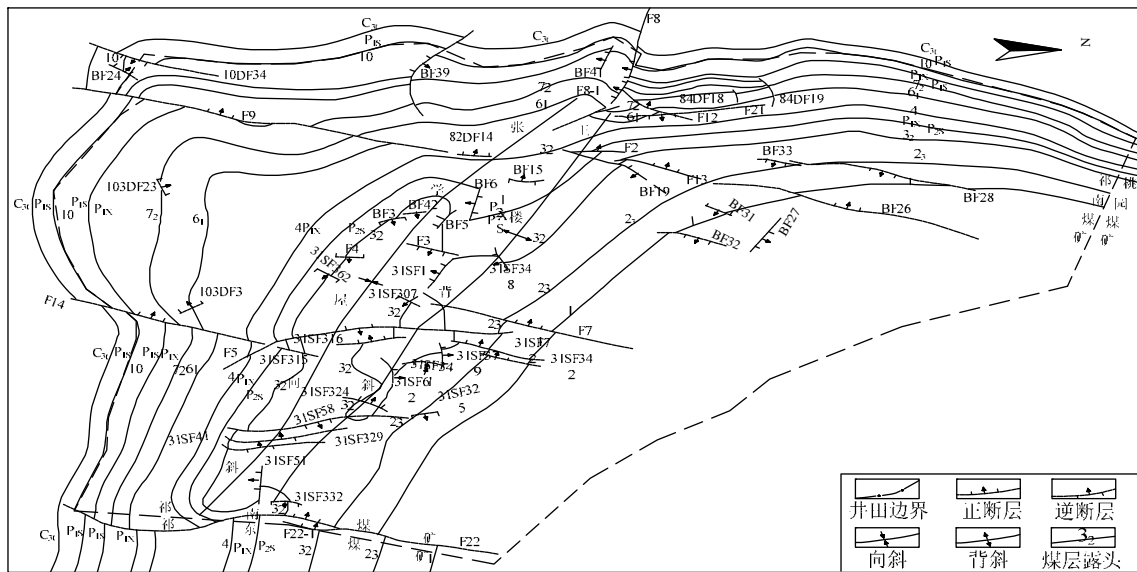


图 4 祁南煤矿构造纲要示意图

Fig.4 Tectonic outline schemes of the Qinan coal mine

从地应力的角度加以分析，宿南向斜(北北东向)首先是受到大致东西方向挤压力而形成的，且在形成过程中，必然会向南北方向延伸。由于南部受到东西方向的蒙城至固镇隆起阻挡而产生南北方向约束力的挤压，从而造成宿南向斜南部的近于屈形构造特征，并在南翼进一步产生了与地层走向平行的次级褶皱，即王楼背斜和张学屋向斜，即矿井构造形成主要为宿南向斜形成时的构造应力及其后期近东西向的剪切力综合作用的结果。

构造应力对淮北煤田煤与瓦斯突出灾害起着主导控制作用。受区域构造控制，淮北煤田突出矿

井井田位置多位于向斜或背斜轴部及其附近地带，尤其以褶曲转折端或倾伏端受水平应力挤压作用最强烈，突出也最强烈。祁南煤矿中南部受贯穿煤层的王楼背斜和张学屋向斜的影响，煤层局部抬高或降低，衍生了大量断层，煤层松软，煤层赋存及瓦斯赋存条件复杂；煤层北部远离王楼背斜和张学屋向斜，构造数量相对较少，断层的走向延伸范围及断距也比较小，煤层赋存及瓦斯赋存条件相对简单。

张学屋向斜轴线与王楼背斜平行，走向长度、波幅、两翼产状与背斜也基本相同，轴向为北西~

南东向，轴线长约 7.5 km，波幅 10~80 m。矿井走向在 300°~320°(NW)的断层组，走向大致与张学屋向斜和王楼背斜的轴平行，或小角度斜交，多受后期构造叠加作用影响。

分析 7₂ 煤层地质勘探孔后发现，仅在张学屋向斜轴部的 3 个地面孔瓦斯含量较大，分别为 20-21₃ 孔(9.39 m³/t，531.33 m)，20-21₄(15.64 m³/t，647.68 m)和 20-21₅(11.64 m³/t，646.91 m)，7₂ 煤层南部张学屋向斜控制瓦斯赋存，其轴部为瓦斯富集区。

在王楼背斜附近的工作面实测了大量的 7 煤层瓦斯压力，在构造带附近测定的煤层瓦斯压力均在 2 MPa 左右，按照安全线法^[16]做出瓦斯压力随埋深的变化关系式为 $P = -0.0194 \times H - 7.7818$ ，即瓦斯压力梯度为 0.019 4 MPa/m，远大于静水压梯度，符

合构造控制的特点。

祁南煤矿煤层瓦斯赋存受地质构造控制，含煤地层遭受挤压、滑动作用，岩层透气性进一步变差；小构造极为发育，多为储瓦斯构造，表现为褶曲、压扭性断层、滑动构造等。构造发育地段形成了瓦斯富集区，突出煤层遭受破坏，煤层透气性差、强度变低；构造发育地段地应力相应增大，突出危险性增强。煤与瓦斯突出动力现象主要分布在地质构造区，矿井在开拓和准备中 7₂ 煤层共发生了 6 次煤与瓦斯突出动力现象。受王楼背斜影响，煤层遭受破坏、强度低(煤层平均硬度为 0.2~0.4 之间)，瓦斯放散快(瓦斯放散初速度 15~18 mmHg)，构造(地)应力集中，并形成了瓦斯富集区，在打钻、采掘活动影响下发生了突出，如表 2 和图 5 所示。

表 2 祁南煤矿 7₂ 煤层煤与瓦斯突出情况一览表

Table 2 The outburst situation of No.7₂ coal seam in the Qinan coal mine

煤层	突出地点	突出时间	突出深度/m	突出煤量/t	突出瓦斯量/m ³	突出点构造特征及煤层厚度变化情况	突出特征及危害程度
7 ₂	中央运输石门	1997.3.21	570		8 560	小构造、倾角变缓	底鼓裂缝瓦斯响声
7 ₂	81 回风石门	1997.3.25	543		约 8 000		底鼓、裂隙煤炮声
7 ₂	中央运输石门	1997.7.3	570	96	11 500	背斜，倾角变缓	煤层整体位移
7 ₂	712 外段机巷	2002.9.9	498	20	2 500	王楼背斜、小褶曲	迎头压出三棚
7 ₂	711 回风联巷	2003.3.2	527	25(岩)	600	褶曲、跳采煤柱 应力集中区	孔洞
7 ₂	711 里段机巷	2004.1.2	513	30	1 000	断层、煤厚增加	片帮、孔洞

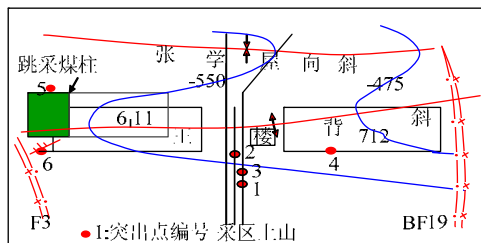


图 5 祁南煤矿 7₂ 煤层瓦斯突出点与构造的关系

Fig. 5 The relation between area of outburst accidents and tectonic of No.7₂ coal seam

6 结 论

1) 地下煤体是处在复杂的自重应力、构造应力和开采附加应力场中，构造煤在强烈构造应力作用下，经历变形变质过程，煤质松软，煤层瓦斯放散初速度高。

2) 含煤地层高的构造应力决定了高的瓦斯压力的存在，构造带的煤层瓦斯压力变化梯度往往大于静水压压力梯度。

3) 构造应力相对集中的地带是瓦斯突出发生的主要位置，构造应力控制区域的煤层，煤体结构

受到破坏，煤体力学强度降低，瓦斯压力大，因此我们认为地应力在突出事故中起主导控制作用，是煤体破坏的主要动力，也是高压瓦斯存在的前提。

4) 祁南煤矿中南部受贯穿煤层的王楼背斜和张学屋向斜的影响，7₂ 煤层瓦斯压力大，瓦斯含量高，发生的突出事故均位于构造边缘，验证了构造应力对突出灾害的控制作用。

参考文献：

[1] 周宏伟，谢和平，左建平．深部高地应力下岩石力学行为研究进展[J]．力学进展，2005，35(1)：91-99．
ZHOU Hong-wei, XIE He-ping, ZUO Jian-ping . Developments in researches on mechanical behaviors of rocks under the condition of high ground pressure in the depths[J] .Advances in Mechanics, 2005 ,35(1) :91-99 .

[2] 国家煤矿安全监察局．2008 年全国煤矿事故分析报告[R]．2009 年 2 月．

[3] 周世宁，林柏泉．煤层瓦斯赋存与流动理论[M]．北京：煤炭工业出版社，1996．

[4] 于不凡．谈煤和瓦斯突出机理[J]．煤炭科学技术，1979(8)：34-42．
YU Bu-fan . Discussion of coal and gas outburst

- mechanism[J]. *Coal Science and Technology*, 1979(8): 34-42.
- [5] 俞启香. 矿井瓦斯防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992.
- [6] 余楚新, 鲜学福. 我国西南某矿煤系地层中构造应力场的有限单元法分析[J]. *贵州工学院学报*, 1990, 19(2): 89-93.
YU Chu-xin, XIAN Xue-fu. Analyses of finite element method for structural stress in coal series in a mine of southwest China[J]. *Journal of Guizhou Institute of Technology*, 1990, 19(2): 89-93.
- [7] 于不凡. 煤和瓦斯突出与地应力的关系[J]. *工业安全与环保*, 1985(3): 2-6.
YU Bu-fan. Study on the relationship between rock stress and outbursts of coal and gas[J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 1985(3): 2-6.
- [8] 史小卫, 刘永茜, 任玉春. 应力作用下的煤层瓦斯运移规律[J]. *煤炭科学技术*, 2009, 37(5): 42-46.
SHI Xiao-wei, LIU Yong-qian, REN Yu-chun. Migration law of coal bed methane under role of stress[J]. *Coal Science and Technology*, 2009, 37(5): 42-46.
- [9] 朱兴珊. 特大型煤和瓦斯突出的地质条件及其成因[J]. *中国安全科学学报*, 1997, 7(6): 18-24.
ZHU Xing-shan. Geological conditions and cause of formation of the especially big coal and gas outbursts[J]. *China Safety Science Journal*, 1997, 7(6): 18-24.
- [10] 汤昆, 孔令国. 煤矿构造应力、地温变化与瓦斯异常的关系[J]. *云南地质*, 2007, 26(3): 322-327.
TANG Kun, KONG Ling-guo. The relationship of gas anomaly with structure stress and geotemperature change of coalfield[J]. *Journal of Yunnan Geology*, 2007, 26(3): 322-327.
- [11] 俞启香. 煤层突出危险性的评价指标及其重要性排序的研究[J]. *煤矿安全*, 1991(9): 11-14.
YU Qi-xiang. Study on the evaluation index of coal seam outburst hazard and its importance ranking[J]. *Safety in Coal Mines*, 1991(9): 11-14.
- [12] 辽宁省煤炭研究所第一研究室. 煤层瓦斯压力与深度的关系[J]. *煤矿安全*, 1974(3): 24-27.
The first research room of coal institute in Liaoning province. The relationship between seam gas pressure and the depth [J]. *Safety in Coal Mines*, 1974(3): 24-27.
- [13] 胡殿明, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存规律及防治技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [14] 张子敏, 张玉贵. 大平煤矿特大型煤与瓦斯突出瓦斯地质分析[J]. *煤炭学报*, 2005, 30(2): 137-140.
ZHANG Zi-min, ZHANG Yu-gui. Investigation into coal-gas outburst occurred in Daping coalmine, by using theories of gas-geology[J]. *Journal of China Coal society*, 2005, 30(2): 137-140.
- [15] 张子敏. 瓦斯地质学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009.
- [16] WANG Liang, CHENG Yuan-ping, WANG Lei, 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.

《采矿与安全工程学报》2013 年第 2 期 Ei 收录情况

根据 Ei 中国信息部发布的最新收录结果, 本刊 2013 年第 2 期共发表论文 26 篇, 其中 Ei Compendex 收录论文 26 篇, 收录率为 100%。