

《煤炭科学技术》杂志社 组织编写

煤矿安全工程理论 研究与实践

煤矿安全发展战略学术研讨会论文集

煤炭工业出版社

《中国矿业大学北京建校五十周年纪念文集》

煤矿安全工程理论 研究与实践

中国矿业大学北京建校五十周年纪念文集

煤炭工业出版社

煤矿安全工程理论与实践

——煤矿安全发展战略学术研讨会论文集

《煤炭科学技术》杂志社 组织编写

煤炭工业出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿安全工程理论研究与实践: 煤矿安全发展战略学术研讨会论文集/《煤炭科学技术》杂志社组织编写. —北京: 煤炭工业出版社, 2008. 5

ISBN 978-7-5020-3294-4

I. 煤… II. 煤… III. 煤矿-安全生产-学术会议-文集
IV. TD7-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 050682 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm × 1092mm^{1/16} 印张 11^{1/4}
字数 260 千字 印数 1—400
2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷
社内编号 6099 定价 33.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书是2007年煤矿安全发展战略学术研讨会论文的集锦,其中包括安全技术及工程、采矿与井巷工程、机电与自动化以及安全管理等方面的内容。每篇论文内容丰富、观点明确、创新性强,对我国的煤矿安全发展有一定的促进作用。

本书可供煤矿技术人员、管理人员阅读、参考。

编 审 委 员 会

主 编 朱拴成

副 主 编 王宗禹

编审人员 高雪梅 曾康生 刘军娥 赵 瑞 王晓珍
柳玉柏 韩晋平 柴海涛 毕永华 章之燕

前 言

为深入贯彻全国安全生产工作会议精神，全面落实党的十六届五中全会确立的“安全发展”的指导原则，为集思广益，群策群力，实现安全生产目标，由《煤炭科学技术》杂志社、《煤炭学报》编辑部联合国家安全生产专家组煤矿组召开的“2007年煤矿安全发展战略研讨会”于2007年8月5日至10日在湖南省张家界市召开。这次会议得到了国家煤矿安全监察局以及煤炭企业、科研院所、大专院校等单位的高度重视，共有来自全国40多个相关单位，100余名代表参加了此次研讨会。

此次会议收到论文183篇，经过精心筛选，最后入选的论文有30篇。其中包括安全技术及工程、采矿与井巷工程、机电与自动化以及安全管理等方面的论文，内容丰富、观点明确、思路清晰、创新性强，我们将这些论文编辑成书，由煤炭工业出版社正式出版、发行，希望此举能对我国煤矿安全发展有一定的促进作用。

本书在编印过程中，得到了上级领导的关心与支持，有关作者单位也给予了多方面的帮助，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，编译者水平有限，论文集中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年2月1日

目 次

第一部分 安全技术及工程

煤层群开采瓦斯运移规律和抽放工艺参数的选择	李建民 章之燕 (3)
祁南煤矿瓦斯综合防治技术	沐俊卫 郑孝鹏 (11)
煤层气磁分离技术探讨	叶经方 (22)
永定庄煤业公司 14 号煤层 414 盘区 81414 工作面瓦斯异常涌出治理	马德林 (26)
新疆矿区瓦斯分布特征及其综合防治措施建议	陶 瑞 (30)
破裂性高压磨料射流割缝技术防突机理研究与应用	钱高峰 (36)
瓦斯爆炸主动隔爆数值模拟	王 春 王 飞 王云海 (41)

第二部分 地质、采矿与井巷工程

煤矿水体下综放开采技术的研究现状及展望	康永华 (47)
新疆吉木萨尔县芦草沟煤矿顶板隐患调查与防治措施预案	陶 瑞 吕昭双 (54)
水害威胁区域综掘技术	郑孝鹏 周卫星 (61)
短壁高位综放工作面回采工艺研究	高彦华 俞有江 (66)
煤层细观结构基础研究及其在煤矿安全开采中的意义	邓绪彪 (71)
泉店矿中央风井信息化冻结施工	王建合 刘化伟 陈成宇 邵卫华 (78)
深井高地压软岩控制及巷道支护技术	张五一 (83)
大直径锚索支护技术在二矿采空侧巷道中的应用	范 照 (89)
综采工作面双向调采的试验应用	高彦华 俞有江 (94)
近冲积层大断面切眼综合支护技术	李 军 (98)
综采工作面下行式支架回撤技术与实践	张昌和 岳宗洪 张明清 (103)
浅析开滦矿区采煤机械化与支护发展的过程	崔立成 (108)

第三部分 机电与自动化

煤矿顶板安全监测系统的应用	黄自伟 闫相宏 (115)
基于 LON 总线的煤矿安全监测监控系统	张 涛 薛鹏骞 蒋静坪 (122)
钻孔电视和数字测井在左云“5·18”煤矿透水事故抢险中 成功应用的启示	邱卫忠 (127)
煤矿灾害监测预警系统研究	乔铁柱 张建国 (131)

移动式强力输送带横向断裂预报装置 高毓麟 马牧燕 (136)

第四部分 管理及其他

不断创新瓦斯治理手段 努力实现矿井本质安全 周凤增 殷作如 (143)

矿难分析及大量减少牺牲的建议 王有俊 (150)

用水力清理水仓的设想 李灿欣 梁振彪 (155)

安全管理中事故损失理论和计算研究
..... 温晓龙 崔 巍 温晓燕 宋存义 金龙哲 (158)

大力发展循环经济 打造节约型矿井 郝宝生 张书国 王惠涛 (164)

矿难的重要因素 王有俊 (169)

第一部分 安全技术及工程

煤层群开采瓦斯运移规律和抽放工艺参数的选择

李建民^{1,2,3} 章之燕²

(1. 中国矿业大学(北京), 北京 100083; 2. 开滦(集团)有限责任公司, 河北唐山 063018; 3. 中国煤炭学会岩石力学与支护专委会, 北京 100013)

摘 要: 分析了煤层群开采回采工作面的瓦斯涌出构成及瓦斯运移规律。结合瓦斯运移规律介绍了开滦矿区应用顶板穿层钻孔抽放、高位钻孔抽放、顶板走向高抽巷参数的选择和应用效果。

关键词: 煤层群开采; 瓦斯涌出规律; 瓦斯抽放

开滦矿区属于典型的煤层群开采矿区, 含煤 15 ~ 20 层, 煤层总厚度在 20 ~ 28m。其中主要可采煤层为 5、7、8、9、12、14 为局部可采煤层。矿区内各矿井瓦斯等级不一, 其中赵各庄为瓦斯突出矿井, 唐山矿为高瓦斯矿井。但煤层群开采时的瓦斯运移规律较为复杂, 瓦斯涌出的影响因素也较多, 涌出量的预测也较为困难。特别是在复杂地质条件下煤层群的瓦斯抽放工作始终困扰着瓦斯治理工作人员。因此, 研究煤层群开采时的瓦斯运移规律, 对于选择合理抽放方法、确定最优抽放参数是至关重要的。

1 回采工作面的瓦斯涌出构成

开采具有邻近层的某一煤层时, 除开采层的瓦斯涌出, 邻近层也会依存在条件而不同或多或少向回采工作面涌入瓦斯, 使回采工作面的瓦斯超过本煤层瓦斯源所能提供的瓦斯量。开滦矿区邻近层的瓦斯涌出在工作面的瓦斯涌出构成中均占有 30% ~ 40% 的比例。

2 回采工作面围岩应力与瓦斯涌出分析

采用垮落法管理顶板的回采工作面, 随着采空区面积的增加, 围岩应力场受采动影响的范围不断扩大, 矿山压力的作用使围岩移动的区域也会相应扩展, 直至波及地表。邻近层的瓦斯涌入回采工作面与围岩受力有着密切关系。

2.1 沿走向围岩的应力分布特征

岩层在走向上按应力状态、移动特征可以分为四个区、三个带, 分布情况如图 1 所示。其为原始应力区、集中应力区、应力降低区、应力恢复区; 按其破坏程度可分为垮落带、断裂带、弯曲带。各区各带影响着煤层群开采时的瓦斯运移规律和回采工作面的瓦斯涌出构成, 其具有各自的特点。

1) 水平方向各区的基本特点

原始应力区: 该区一般位于工作面前方 40m 以外, 岩层处于原始应力场, 不受采动影响, 透气性系数为其原始值。

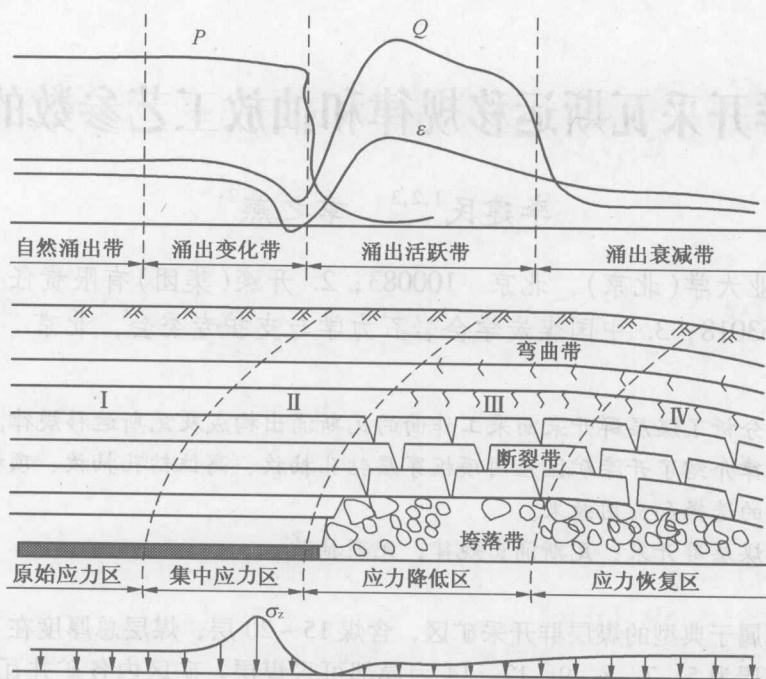


图1 围岩应力分布与瓦斯涌出分带的空间关系示意

集中应力区：出现在工作面前方2~40m范围内，岩层处于受采动影响形成的集中应力场中，处于压缩状态，煤、岩层的孔隙率显著降低，一般仅为原始值的数十分之一或数百分之一。

应力降低区：出现在工作面前方2~4m到工作面后方，岩层处于卸压状态。自开采层水平由近而远岩层有不同程度的沉降与膨胀变形，岩层间出现离层现象。岩层得到充分的卸压、扩张或形成垂直和水平的裂隙，使岩层的透气性系数成十、成百倍地增加。

应力恢复区：随着工作面的推进，卸压区的岩层在地应力作用下逐渐压实，岩层中的原来产生的水平和垂直裂隙不断缩小以至闭合，使其透气性逐渐减少。应力逐渐恢复到原始应力值。

2) 垂直方向各区的基本特点

垮落带：回采工作面放顶后引起煤层顶板岩层产生垮落破坏的范围。其岩层破坏的特点是：

(1) 随着煤层的开采，顶板岩层在自重的作用下，发生弯曲、断裂、破碎成块而垮落，不规则地堆积在采空区。根据岩块破坏和堆积情况，可分为不规则垮落和规则垮落，规则垮落带，位于不规则垮落带之上。

(2) 垮落岩石具有一定的碎胀性，垮落岩块空间较大，连通性好，有利于瓦斯和水通过。

(3) 垮落岩石具有可压缩性，但永远不能恢复到原岩体的体积。

(4) 垮落高度取决于采出煤层的厚度、上覆岩石的碎胀系数和倾角，一般在采出厚度的3~5倍。

断裂带：在采空区上方覆岩层中产生裂缝、离层和断裂，保持原有的层状结构。在层内产生大量的裂隙、裂缝，具有良好的透气、导水性。在贯穿断裂带内裂隙密度大相互贯穿，是瓦斯、水的良好流动通道。在非贯穿断裂带内裂隙密度小，连通性较差，对瓦斯、水流动起到一定的阻碍。断裂带的高度一般为采厚的10~30倍。

弯曲带：煤层开采后岩层在自重的作用下产生层面法向弯曲，水平方向处于双向受压缩状态；沉陷过程是连续而有规律的，不存在或极少存在裂隙、裂缝。

2.2 沿倾向围岩的应力分布特征

由于煤层的开采，随着上覆岩层的垮落、压实，垮落带、断裂带岩石承载能力的恢复，原来受集中应力的煤柱，应力逐渐减少并趋于稳定，两侧煤柱的影响范围沿深部收敛（图2）。由于应力状态的改变，煤柱及上、下部分岩层在集中应力阶段产生的剪切弱面得以扩张，其透气性系数显著增大。

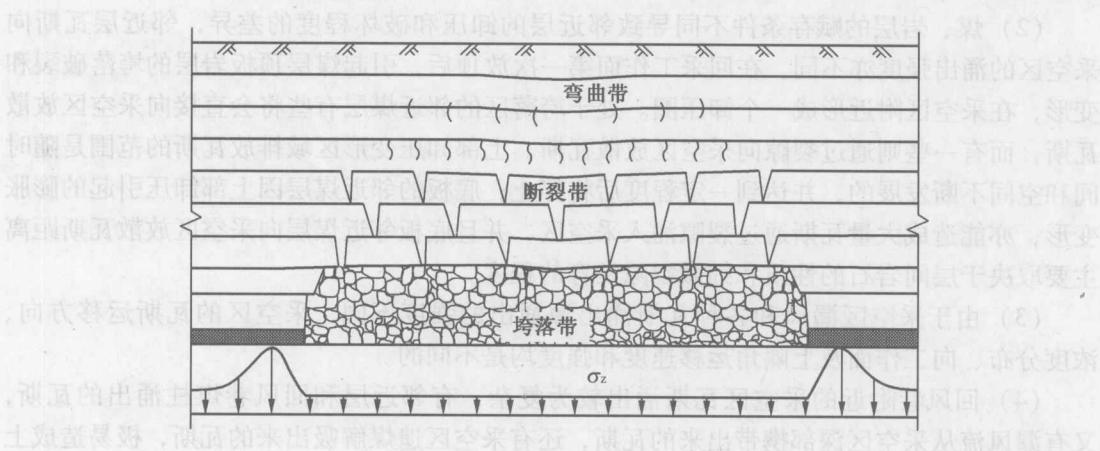


图2 倾向围岩应力分布

2.3 邻近层卸压机理及瓦斯涌出

煤层开采之后引起了工作面周围应力重新分布，围岩卸压膨胀，岩层在一定范围内推进失去其整体性，透气性系数增大。垮落带、断裂带的出现，使处于卸压范围内的邻近层，将通过采动裂隙网络与开采层的采空区相连通，在邻近层与开采层的采空区之间形成了一个瓦斯压力梯度场，使得邻近层的瓦斯在压差作用下通过贯穿裂隙以扩散或渗透形式源源不断地涌向回采工作面。

工作面围岩受力状态、变形破坏区、分带性，导致了邻近层瓦斯涌出在走向上的分带性，两者的对应关系如图1所示。

（1）自然涌出带：在空间位置上与原始应力区对应，岩层的透气性系数为原始值。煤、岩的瓦斯动力参数保持其原始值，瓦斯涌出量按负指数规律自然衰减。

（2）涌出降低带：与集中应力区出现位置一致，由于受集中应力作用，岩层的透气性系数低于其原始值，使该带瓦斯涌出量小于自然涌出带的瓦斯涌出量。

（3）涌出活跃带：岩层进入应力降低区，围岩的透气性系数显著增大，使得该区的煤、岩层瓦斯解吸加剧，涌向回采工作面或抽放钻孔，瓦斯涌出量不断增加并达到最大，

瓦斯压力急剧下降。此带最适宜打钻孔抽放瓦斯。

(4) 涌出衰减带: 该区空间位置上与应力恢复区一致。由于围岩应力逐渐恢复, 岩层的透气性系数不断减少, 使得该区的瓦斯涌出随时间的推延不断变小。一般在工作面后方 50 ~ 150m。

3 采空区瓦斯来源

采空区瓦斯的运移和涌出是比较复杂的, 受着各种不同因素的制约和影响, 同时采空区瓦斯源的多寡和涌出强度大小亦有差异。一般认为:

(1) 煤层在开采过程中, 由于受采动影响, 煤层的顶板岩层垮落、断裂、下沉和底板岩层发生卸压而形成裂隙, 此时上下邻近层煤层的瓦斯解吸形成瓦斯源, 这些瓦斯首先通过裂隙向采空区涌出, 而后由采空区向工作面和上隅角涌出。

(2) 煤、岩层的赋存条件不同导致邻近层的卸压和破坏程度的差异, 邻近层瓦斯向采空区的涌出强度亦不同。在回采工作面第一次放顶后, 引起煤层顶板岩层的垮落破裂和变形, 在采空区附近形成一个卸压圈。处于垮落区的邻近煤层有些将会直接向采空区放散瓦斯, 而有一些则通过裂隙向采空区放散瓦斯。上部卸压变形区域排放瓦斯的范围是随时间和空间不断发展的, 并达到一定程度后将停止; 底板的邻近煤层因上部卸压引起的膨胀变形, 亦能造成大量瓦斯通过裂隙涌入采空区, 并且底板邻近煤层向采空区放散瓦斯距离主要取决于层间岩石的性质和细微裂隙发育的程度。

(3) 由于采空区漏风和各种瓦斯涌出源涌出的强度不同, 采空区的瓦斯运移方向、浓度分布、向工作面及上隅角运移速度和强度均是不同的。

(4) 回风巷附近的采空区瓦斯涌出较为复杂, 有邻近层和回风巷煤柱涌出的瓦斯, 又有漏风流从采空区深部携带出来的瓦斯, 还有采空区遗煤解吸出来的瓦斯, 极易造成上隅角瓦斯超限。

由此可见, 向采空区供给瓦斯的范围, 取决于煤层赋存条件、上下左右区域的采空区情况、层间岩石性质、顶板管理方法以及开采空间的形状等, 由于煤系地层裂隙的发展往往不是连续圆滑地进行, 因此, 邻近煤层的瓦斯涌出往往也是有“跳跃”性的, 如邻近层本身透气性好, 在卸压圈外的邻近煤层也可以通过煤层本身向采空区供给瓦斯。

4 开滦矿区煤层群开采瓦斯抽放工艺与参数

目前, 开滦矿区煤层群开采条件的瓦斯抽放方法有顶板穿层钻孔抽放、高位钻孔抽放、顶板走向高抽巷等工艺。

4.1 高位钻孔抽放的主要参数及理论计算方法

高位钻孔抽放的主要参数包括计算参数和施工参数两大类。

计算参数是通过大量实际资料对终孔目的区域进行优化后确定的区间参数, 主要指断裂带可抽高度、钻孔轴线在巷道方向的投影长度平距 X 、终孔点距回风巷内错平距 Y 、有效平距、终孔高度、钻孔终孔点距煤层顶板法距 H 、钻场间距、搭接长度、钻孔并网与报废时间。

高位钻孔抽放施工参数是根据计算参数确定的钻孔现场施工参数, 主要指开孔高度、孔深 L 、水平夹角 α 、仰角 β 。各主要参数代表的意义如图 3 所示。

4.3 赵各庄矿 3237 工作面顶板专用巷抽放参数

顶板专用巷道主要用于邻近层瓦斯涌出量大而用钻孔抽放瓦斯效果不好的工作面，应用于综放工作面较多。巷道的布置方式与钻孔相比，巷道可以曲线拐弯避开顶板垮落带，防止开口段与开采巷道连通，保持连续抽放瓦斯通道；巷道断面面积远大于钻孔，所以有利于收集卸压瓦斯及减少抽放阻力。但增加了矿井的巷道掘进工程量，必须在回采前完成瓦斯巷道的掘进工作，布置如图 5 所示。

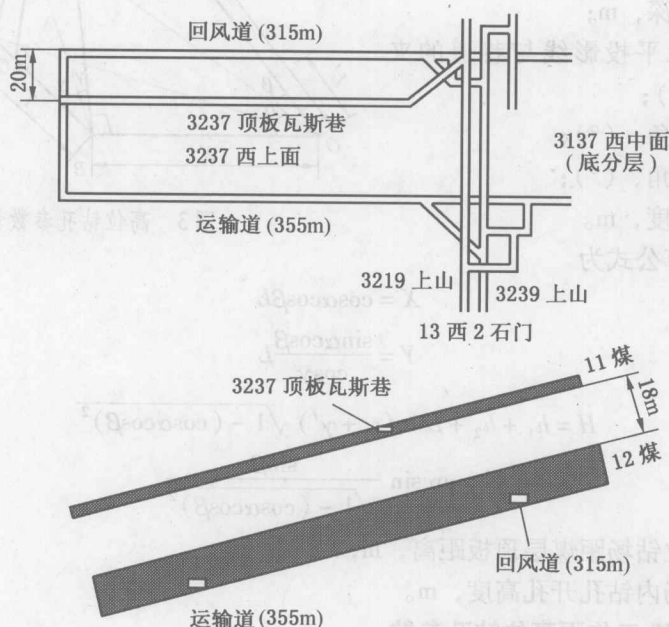


图 5 顶板走向高抽巷抽放上邻近层瓦斯示意

(1) 层位选择：走向高抽巷的层位决定抽放瓦斯效果，原则上选择在邻近层瓦斯涌出密集区，工作面开采过程不会很快被破坏。一般情况位于煤层顶板 50 ~ 70m 处，约为 7 ~ 11 倍采高，处于垮落带上部离层断裂带，此时邻近层瓦斯涌出及抽放的水平通道连通性好。赵各庄 3237 工作面垮落带高度应为 28m，断裂带为 72m，所以高抽巷层布置在了距煤层顶板法距 18 ~ 72m 之间。

(2) 内错平距：内错平距即抽放巷距回风巷的水平距离。内错平距过小会出现巷道漏气；距离过远，抽放巷道端头不处在瓦斯富集区，影响抽放效果，对上隅角瓦斯积聚起不到作用。根据回风巷岩石移动卸压角及通风负压影响，高抽巷距回风巷的内错平距一般应大于 20m，小于工作面长度的 1/3。

(3) 断面：顶板专用抽瓦斯巷道对断面无特别要求。

(4) 抽放负压：由于顶板专用抽放巷道断面大，且由于断裂带与采空区沟通较好，没必要保持较高负压，一般情况在 10kPa 以上。

(5) 施工：巷道层位高度应随煤层底板高度变化而调整，使其始终保持在设计距离。为使高抽巷在初采期间有效发挥作用，就要从距设计长度剩余 60m 左右开始变向、降低