

煤与煤层气协调开发机制研究

孙景来^{1,2}

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院 北京 100013;
2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室(煤炭科学研究院) 北京 100013)

摘要:为了更好地推广煤与煤层气协调开发技术,以实现煤与煤层气的协调开发,通过对油气重大专项3个示范矿区的煤层气抽采技术、采掘接续、开采过程中区域划分以及各个阶段所允许的最大煤层气含量的研究,初步建立了煤与煤层气协调开发机制。研究认为:根据各个矿区地质条件的不同,可划分为3个或4个区域,分阶段进行抽采和开采接续;建立了根据每个阶段的回采或掘进速度、风量等参数确定每个阶段的煤层气最大安全允许含量的公式;根据每个阶段的抽采技术和相关参数,可确定每个区域的合理抽采时间,从而合理安排采掘计划,最终实现采煤与采气在时间、空间上的协调;建立了3个示范矿区所代表典型地质条件下的协调开发机制。

关键词:煤层气;协调开发机制;技术体系;时空关系

中图分类号:TD712; P618 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)10-0062-04

Study on Coordinative Development Mechanism of Coal and Coalbed Methane

SUN Jing-lai^{1,2}

(1. Mine Safety Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. National Key Lab of Coal Resource High Efficient Mining and Clean Utilization(China Coal Research Institute), Beijing 100013, China)

Abstract: In order to better promote the coordinative development technology of coal and coalbed methane, with the coalbed methane drainage technology, the mining and driving continued and a regional division in the mining process of the three demo mining areas in the oil and gas major special project and the study on the max seam content allowed at each stage, the coordinative development mechanism of the coal and coalbed methane was preliminarily established. The study hold that according to the different geological condition of each mining area, three or four regions could be divided and a gas drainage and coal mining could be continuously conducted in stages. According to the mining or driving speed, ventilation quantity and other parameters at each stage, the formula to determine the max safety allowed gas content of the seam at each stage was established. According to the gas drainage technology and related parameter at each stage, the rational gas drainage time of each region would be determined, thus the rational mining and driving schedule could be arranged and finally the coal mining and gas drainage could be realized coordinatively in time and space. The coordinative development mechanism of the three demo mining areas was established under the typical geological condition.

Key words: coalbed methane; coordinative development mechanism; technical system; time-space relationship

0 引言

近年来,随着对开发煤层气资源、加强煤矿瓦斯灾害治理的重要性及其相互关系认识的不断提高,

人们的观念从“先采气,后采煤”发展到“煤与煤层气资源协调开发”的理念,并针对不同的地质条件开展了大量的研究工作,对矿区进行煤与煤层气协调开发具有重要的指导意义^[1-2]。我国矿井煤层

收稿日期:2014-05-19;责任编辑:王晓珍 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2014.10.015

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2011ZX05040-001,2011ZX05063-009);国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2011CB201206)

作者简介:孙景来(1983—)男,山东潍坊人,助理研究员,硕士。Tel:010-84263387,E-mail:sunjinglai83@163.com

引用格式:孙景来.煤与煤层气协调开发机制研究[J].煤炭科学技术 2014 A2(10):62-65,70.

SUN Jing-lai. Study on Coordinative Development Mechanism of Coal and Coalbed Methane[J]. Coal Science and Technology 2014 A2(10):62-65,70.

气含量普遍较高,渗透率较低,煤田地质构造形态多样,抽采难度大。随着矿井开采深度的加大,赋存压力和地应力增加,抽采难度进一步增大。煤与煤层气属于典型的同源同体的共生矿产,煤炭开采与煤层气开发既相互促进,也彼此制约。一直以来煤矿以安全为目的抽采煤层气,大量的煤层气资源被直接排空,既造成了资源的浪费,又造成了空气污染,而煤与煤层气协调开发提高了资源的采出率和利用率。因此借鉴其他矿区的先进开发经验对于安全高效地开发我国煤层气具有重要的作用和意义^[3]。依托国家科技重大专项,针对我国煤矿开采条件,“十一五”期间初步提出了3种典型地质条件下的协调开发模式,即以较高渗中硬煤层条件下的晋城模式、低渗突出软煤层群条件下的两淮模式、复杂地质条件下的松藻模式^[4-8]。然而,由于我国含煤层系多、煤层气藏类型多,煤层气赋存于非常复杂的地质环境中,也使得开发的技术手段区别较大。对于不同的矿区,如何根据实际情况利用3种典型地质条件下协调开发模式的关键技术来解决实际问题,需要进一步的研究和探讨。

1 煤与煤层气协调开发模式

针对不同矿区的煤层赋存、地质条件、煤层硬度、渗透性、煤层气含量、抽采方式等,对不同地质条件下的矿区进行煤与煤层气协调开发的模式,即以地质条件/模型+抽采方法组成煤与煤层气协调开发的模式进行分类研究。依托国家科技重大专项,对晋城、两淮和松藻3个矿区的协调开发模式的特点和适用性条件进行研究分析,确定了3种典型地质条件下的协调开发模式。

晋城矿区协调开发模式的主要特点是先采气后采煤,通过井上下联合抽采,实现煤与煤层气的协调开发,该模式适用于地质条件简单,地势平缓,煤层较硬的矿区^[9-10];两淮模式的主要特点是煤层群条件下,首采层内煤与煤层气开采的协调;邻近层与首采层之间的协调,该模式适用于高煤层气含量煤层群、地质构造复杂,煤质松软,地势平缓的矿区;松藻矿区协调开发模式的特点在于“三超前”,即抽采准备巷道超前部署,抽采系统超前运行,保护层超前开采,该模式适用于:地表地形条件复杂、松软、地质构造复杂的煤层群条件。

2 协调开发区域划分及其时空协调关系

为实现采煤与采气在时间上的连续、空间上的

衔接,可根据地质条件和采掘规划分为远景规划区、开拓准备区、煤炭生产区和采空区4个区,每个区根据其可抽采时间和可布置的空间选择合适的抽采方法和服务时间,使得采煤与采气在时间和空间上实现协调^[11]。

1) 远景规划区。对具备地面抽采条件的矿区进行地面预抽,如晋城矿区根据其相关经验在煤层气含量超过16 m³/t的区域,通过5~10年以上的地面预抽可有效降低煤层气含量,在瓦斯含量8~16 m³/t的区域,通过3~5年的地面预抽,为巷道掘进和煤炭生产提供安全保障并减少煤层气抽采时间。而松藻矿区因地表复杂而不具备远景规划区进行预抽的条件。

2) 开拓准备区。当远景规划区通过地面预抽,瓦斯含量降低后即可转为开拓准备区,按照采掘规划,开始开拓巷道的掘进,并及时调整抽采方法,充分利用地面压裂产生的裂隙,在井下施工长钻孔,从而实现井上下联合抽采,通过3~5年的抽采,达到降低煤层气含量的目的,然后转化为生产区,时间过长会增加维护成本,而时间太短会导致抽采不达标。而煤层群或低渗透区可采用穿层钻孔抽采、保护层开采等手段。

3) 煤炭生产区。以井下抽采为主,通过区域递进式抽采或穿层密集钻孔抽采为巷道掘进提供安全的环境,在巷道掘进过程中施工顺层钻孔对工作面进行抽采,使工作面煤层气含量降低到安全允许值以下。煤层群条件下首采层采用穿层钻孔、井下强化增透抽采、顺层钻孔和边掘(采)边抽等技术,卸压层采用地面钻井抽采技术和穿层钻孔抽采技术,实现煤与煤层气的安全高效开发。

4) 采空区。抽采主要通过地面采动井、采空区埋管(插管)、高抽巷等方式抽采,降低上隅角瓦斯浓度,提高煤层气抽采利用率。

3 煤炭开采前安全允许煤层气含量的计算

根据工作面配风量、风流中允许瓦斯浓度、残存瓦斯量、工作面推进速度、落煤量、以及邻近层涌出量情况,分别确定工作面回采前和巷道掘进前最大安全允许煤层气含量计算公式,并与《煤矿瓦斯抽采基本指标》^[12]相结合,从而确定生产区和开拓准备区的最大安全允许煤层气含量。

1) 工作面回采前最大安全允许煤层气含量 X_h 计算公式如下:

$$X_h = \frac{1440MQ_h\omega - A \sum_{i=1}^n (X_{0i} - X_{ci}) m_i \eta_i}{AK_1 K_2 K_3 K_{fi} m}$$

式中: M 为回采煤层采高, m; Q_h 为回采工作面风量, m^3/min ; ω 为最高允许瓦斯体积分数, %; A 为工作面平均日产煤量, t/d ; X_{0i} 为第 i 个邻近层煤层原始瓦斯含量, m^3/t , 如无实测值可参照回采层选取; X_{ci} 为第 i 个邻近层煤层残存瓦斯含量, m^3/t , 如无实测值可参照回采层选取; n 为煤层数; m_i 为第 i 个邻近层煤层厚度, m; η_i 为第 i 个邻近层瓦斯排放率, %, 如无实测值可参照 AQ 1018—2006《矿井瓦斯涌出量预测方法》附录 D 选取; K_1 为围岩瓦斯涌出系数, 依据《矿井瓦斯涌出量预测方法》中附录 A 取值; K_2 为工作面丢煤系数, 其值为工作面采出率倒数; K_3 为准备巷道排瓦斯对工作面煤体瓦斯涌出影响系数, $K_3 = (L - 2h)/L$; L 为工作面长度, m; h 为掘进巷道预排等值宽度, 依据《矿井瓦斯涌出量预测方法》附录 D 中表 D.1 取值; K_{fi} 为第 i 分层瓦斯涌出系数, 依据《矿井瓦斯涌出量预测方法》附录 D 中表 D.2 取值(不分层时取 1); m 为开采层煤厚, m。

2) 工作面掘进前最大安全允许含量 X_j 计算式:

$$X_j = (wQ_j + Sv\gamma X_1) / [Dv(2\sqrt{L_1/v} - 1) \times 0.026(0.004f^2 + 0.16) + Sv\gamma]$$

其中: Q_j 为工作面风量, m^3/min ; S 为掘进巷道断面积, m^2 ; v 为巷道平均掘进速度, m/min ; γ 为煤的密度, t/m^3 ; L_1 为掘进巷道长度, m; f 为煤中挥发分, %; X_1 为掘进前煤层气含量, m^3/t ; D 为巷道断面内暴露煤壁面周长, 对于薄及中厚煤层 $D = 2m_0$, m_0 为开采层厚度; 对于厚煤层, $D = 2h_1 + b$, h_1 、 b 分别为巷道的高度和宽度, m。根据寺河矿回采和掘进工作面的相关数据, 估算可得生产区回采前安全允许煤层气含量为 $6.73 \text{ m}^3/\text{t}$, 开拓准备区掘进前安全允许煤层气含量为 $7.70 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

4 煤与煤层气协调开发机制

我国煤层气资源丰富, 高煤层气含量矿井较多, 虽然各个矿区都有适应各自矿区的抽采方法, 但是缺乏系统合理的煤层气综合开发利用模式和协调开发的机制。为此, 结合 3 个示范工程的开发模式, 提出了 3 个矿区的开发机制, 其主要包括: ①开采前利用地面抽采井及增产措施或井上下联合抽采方式, 预抽原始煤层的煤层气; ②开采期主要利用采、掘活动造成的卸压区进行抽采; ③采后主要通过地面钻

井、采空区埋管及沿空留巷等方式抽采采空区煤层气。这形成了矿井煤层气综合性开采的一种最为经济的模式^[13]。晋城、两淮和松藻矿区分别建立起了适合其具体条件的协调开发机制(图 1—图 3)。

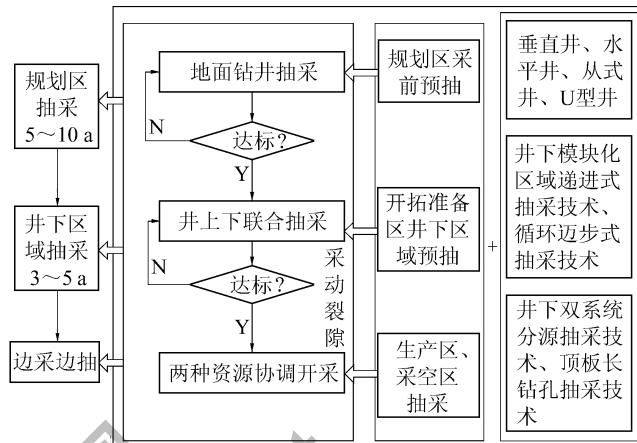


图 1 晋城矿区协调开发机制

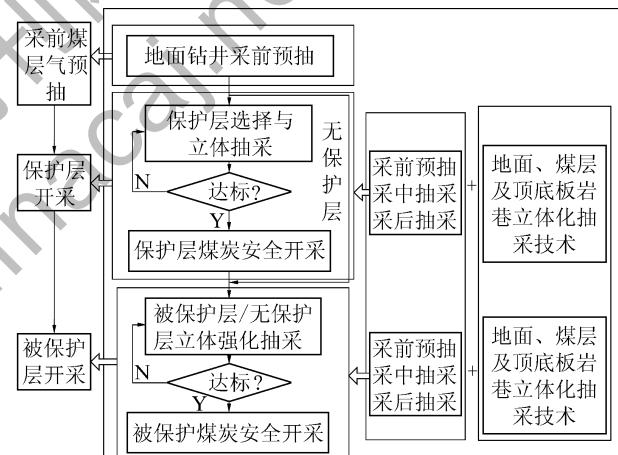


图 2 两淮矿区协调开发机制

5 煤与煤层气协调开发的效果

煤层气是我国重要的非常规天然气资源, 地质资源量达 $3.68 \times 10^{13} \text{ m}^3$, 与我国陆上天然气总量基本相当, 是我国天然气资源供应的重要补充^[14~15], 同时也是我国重特大煤矿事故的主要因素之一。因此实施协调开发的效果可以从资源的开发利用、煤矿安全生产、经济发展的可持续性等方面进行探讨。

5.1 对煤层气资源的开发利用

随着我国经济的快速发展天然气需求量和供需缺口逐年增大, 到 2015 年需求量和供需缺口分别达到 2600 亿和 750 亿 m^3 。随着煤与煤层气共采技术的发展, 我国煤层气抽采量和利用量大幅提高, 2013 年实行煤与煤层气协调开发的松藻、两淮和晋城 3

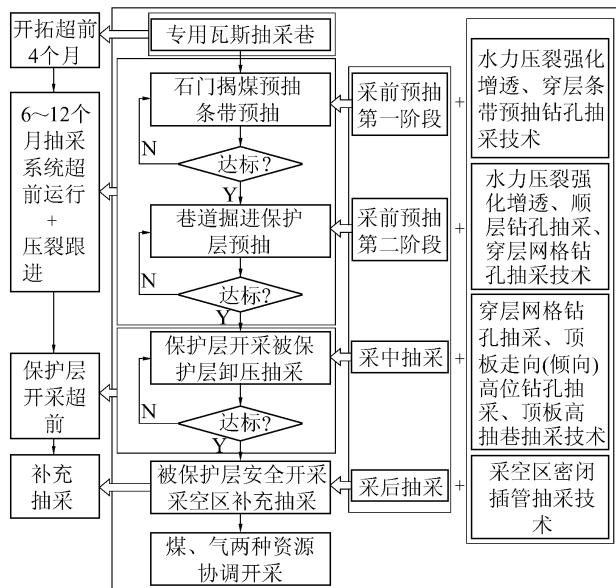


图3 松藻矿区协调开发机制

个矿区的煤层气产量占到了全国总产量的20%左右,利用量占全国的24%左右。到2015年抽采量和利用量预计分别达到300亿和180亿m³,可作为我国天然气供应的重要补充来源。

5.2 提高了煤矿生产安全性

煤与煤层气协调开发是国家发展战略需求,同时也是煤矿安全生产的需要,实施协调开发在提高资源采出率的同时,保证了煤矿的安全生产。

1) 1998年以前,淮南矿区瓦斯爆炸事故频发,曾是全国瓦斯事故重灾区。随着淮南矿区与相关科研院校对煤层群条件下的煤与煤层气共采的研究,自1998年以来,原煤产量由不足10Mt提高到近100Mt,百万吨死亡率大幅度下降,矿区煤层气抽采量由1000万m³/a提高到7亿m³/a。“十五”以来未发生瓦斯死亡事故,瓦斯超限事故大幅度下降,年超限次数由数百次降低到十余次。取得了显著的社会经济效益和安全效益,保证了矿区安全高效生产^[16-17]。

2) 1958—2010年松藻矿区共发生突出事故近500起。通过实行协调开发后,松藻矿区2013年矿区煤层气抽采量达到2.52亿m³,抽采率58.67%。“十一五”以后未发生瓦斯死亡事故。

3) 2013年晋城矿区煤层气抽采量23.78亿m³。通过协调开发瓦斯超限次数由2007年的219次,降低至10次左右。

通过对比分析发现,随着实行煤与煤层气协调开发,示范矿区煤炭产量、煤层气抽采量和利用量大

幅提高,瓦斯事故率降低,保证了煤矿安全生产和煤层气资源的有效开发。

5.3 有利于可持续发展

在国际能源供应日趋紧张、价格高企的情况下,煤层气开发具有广阔的市场空间、开发前景和显著的经济效益。2013年晋城矿区煤层气利用量13.92亿m³,两淮矿区煤层气利用量1.3亿m³,松藻矿区煤层气利用量1.93亿m³。全国煤层气利用量达74亿m³,煤层气产业完成生产经营总额近100亿元。

晋煤集团目前已形成勘探、开发、研究、利用和服务一体化的全产业链条,目前煤层气已成为仅次于煤炭的第二大支柱产业,建设完成了年产量25亿m³和利用量20亿m³的产能,建成世界最大规模的煤层气热电联合发电厂,仅寺河煤层气电厂的装机容量就达到12MW。同时还与香港中华煤层气公司建有80万m³煤层气液化项目。通过示范工程的建设,带动了晋城矿区地面煤层气井群的大力开发,促进了晋城矿区煤层气产量和利用量的大幅提高,同时促进了煤层气压缩站、液化站、输送管道等相关利用工程的建设。“十一五”期间,晋煤集团共抽采煤层气43.88亿m³,共利用煤层气23.55亿m³,相当于减排二氧化碳3588万t,折合标准煤291.8万t,大量减少了温室气体的排放,环保效益显著。

6 结语

晋城、两淮和松藻矿区是我国煤与煤层气协调开发的典型代表,依托国家科技重大专项,3个矿区建立了适合其各自条件的协调开发模式及机制,并取得了良好的开发效果,为其他矿区开展煤与煤层气协调开发提供了良好的技术支撑。笔者针对3个矿区进行了协调开发机制的研究,根据地质条件的差异进行区域划分,通过确定各个区域的最大安全允许含量和选择合理的抽采技术,最终确定各区域的合理开发时间和布置参数,从而实现煤与煤层气开发在时间、空间上的协调,为各个矿区实现煤与煤层气协调开发提供了借鉴,具有较大的促进作用。

参考文献:

- [1] 张遂安.采煤采气一体化理论与实践[J].中国煤层气,2006,3(4):14-16.
- [2] 张遂安.煤层气开发技术发展趋势[J].石油机械,2011,39(SO):106-108.
- [3] 冯立杰,瞿雪琪,王金凤,等.采煤采气一体化开发模式的价值分析[J].天然气工业,2011,31(2):110-113.

(下转第70页)

2011年2—9月,342工作面采用了高位钻孔、采空区埋管等瓦斯治理方法,其中高位钻孔抽采效果较好,抽采效果如图9所示。高位钻孔最大抽采瓦斯纯量为 $14.3\text{ m}^3/\text{min}$,平均为 $6.98\text{ m}^3/\text{min}$,平均瓦斯抽采率达50%以上。回风流的瓦斯体积分数为0.15%~0.58%,平均瓦斯体积分数为0.39%,上隅角瓦斯体积分数为0.28%~0.88%,平均瓦斯体积分数为0.70%,有效解决了上隅角和工作面瓦斯超限的问题,保证了342工作面的安全高效开采。

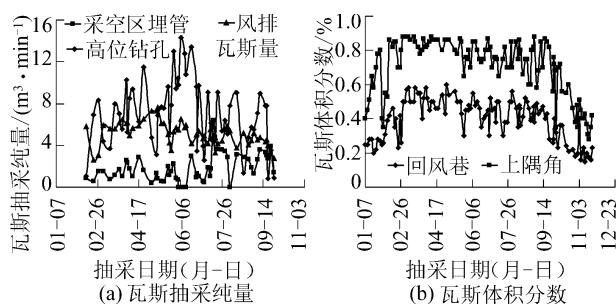


图9 342工作面瓦斯抽采效果

6 结 论

1) 根据高位钻孔优化设计方案,高位钻场应布置在距煤层顶板5 m的岩层上,钻场间距为100 m,每个钻场设计施工10个高位钻孔,分上下两排,开孔距离为500 mm,终孔间距为5~10 m,钻孔直径为94~150 mm。高位钻孔层位控制范围为12~22 m,倾向控制范围为距风巷9~36 m,钻场间钻孔压茬距离为35 m。

2) 342工作面高位钻孔单孔最大抽采瓦斯体积分数达84%,平均瓦斯抽采率达50%以上,工作面回风瓦斯体积分数控制在0.15%~0.58%,上隅角瓦斯体积分数控制在0.28%~0.88%,保证了工作面的安全高效开采。

(上接第65页)

- [4] 雷毅,申宝宏,刘见中.煤矿区煤层气与煤炭协调开发模式初探[J].煤矿开采,2012,17(3):1~4.
- [5] 李国彪,李国富.煤炭与煤层气安全高效协调开采初探[C]//第七次煤炭科学技术大会文集:上册.北京:煤炭工业出版社,2011:227~230.
- [6] 申宝宏,刘见中,赵路正.煤矿区煤层气产业化发展现状与前景[J].煤炭科学技术,2011,39(1):6~10.
- [7] 晋香兰.煤矿区煤与煤层气协调开发模式的探讨——以晋城矿区为例[J].中国煤炭地质,2012,24(9):16~19.
- [8] 都海龙.煤与煤层气共采技术在晋煤集团的应用研究[J].洁净煤技术,2007,13(6):32~34.
- [9] 孙景来.煤矿区煤与煤层气协调开发模式的研究[C]//全国煤矿瓦斯抽采利用与通风安全技术现场会煤矿瓦斯抽采与通风安全论文集.北京:煤炭工业出版社,2013:136~138.
- [10] 李国富,何辉,刘刚,等.煤矿区煤层气三区联动立体抽

参考文献:

- [1] 俞启香.矿井瓦斯防治[M].徐州:中国矿业大学出版社,1992.
- [2] 程远平,俞启香.煤层群煤与瓦斯安全高效共采体系及应用[J].中国矿业大学学报,2003,32(5):471~475.
- [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] 李宗翔.综放工作面采空区瓦斯涌出规律的数值模拟研究[J].煤炭学报,2002,27(2):173~178.
- [5] 聂敏忠,朱庄煤矿高位钻孔瓦斯抽放技术的应用[J].煤炭科学技术,2008,36(8):55~57.
- [6] 王继仁,丁百川,李海涛.瓦斯抽放钻孔优化技术的探讨[J].煤矿安全,2004,35(8):34~36.
- [7] 周德永.回采面顶板覆岩卸压抽放瓦斯机理及合理参数研究[J].矿业安全与环保,2003,30(4):3~6.
- [8] 王海锋,程远平,沈永铜,等.高产高效工作面顶板走向钻孔瓦斯抽采技术[J].采矿与安全工程学报,2008,25(2):168~171.
- [9] 张景飞,郭德勇,丁开舟.高位钻孔瓦斯抽放技术应用的研究[J].煤矿安全,2004,35(7):5~7.
- [10] 周卫金,方小伟.高位钻孔抽放的瓦斯渗流研究[J].煤炭科学技术,2006,34(1):76~78.
- [11] 程远平,俞启香.中国煤矿区域性瓦斯治理技术的发展[J].采矿与安全工程学报,2007,24(4):383~390.
- [12] 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.
- [13] 钱鸣高,刘听成.矿山压力及其控制[M].修订本.北京:煤炭工业出版社,1991.
- [14] 钱鸣高,许家林.覆岩采动裂隙分布的“O”形圈特征研究[J].煤炭学报,1998,23(5):466~468.
- [15] 刘泽功.卸压瓦斯储集与采场围岩裂隙演化关系研究[D].合肥:中国科学技术大学,2004.
- [16] 王亮,程远平,蒋静宇,等.巨厚火成岩下采动裂隙场与瓦斯流动场耦合规律研究[J].煤炭学报,2010,35(8):1287~1291.

采理论与模式[J].煤炭科学技术,2012,40(10):7~11.

- [11] 周厚权.突出矿井煤层气开发与安全高效采煤一体化模式的研究与实践[J].矿业安全与环保,2014,41(1):31~35.
- [12] AQ1026—2006,煤矿瓦斯抽采基本指标[S].
- [13] 武华太.煤矿区瓦斯三区联动立体抽采技术的研究和实践[J].煤炭学报,2011,26(8):1312~1316.
- [14] 田文广,李五忠,孙斌.我国煤层气选区评价参数标准初步研究[C]//煤层气勘探开发理论与技术—2010年全国煤层气学术研讨会论文集.北京:石油工业出版社,2010:25~31.
- [15] 张新民,郑玉柱.煤层气与煤炭资源协调开发浅析[J].煤田地质与勘探,2009,37(3):19~22.
- [16] 袁亮.瓦斯治理理念和煤与瓦斯共采技术[J].中国煤炭,2010,36(6):5~12.
- [17] 袁亮.淮南矿区煤矿煤层气抽采技术[J].中国煤层气,2006,3(1):7~9.