

# 我国煤层气产业发展现状和技术进展

叶建平<sup>1,2</sup>, 陆小霞<sup>1</sup>

(1. 中联煤层气有限责任公司, 北京 100011; 2. 中国煤炭学会煤层气专业委员会, 北京 100011)

**摘要:**通过对近年来我国煤层气勘探开发项目的调研,总结了我国煤层气勘探开发的现状和特点。煤层气勘探从华北地区扩展到西北、西南地区,从高阶煤拓展到低阶煤,煤层气产量稳中有升,主要煤层气田初具规模,支撑了煤层气产业的发展。阐述了当前煤层气主要技术发展趋势,勘探技术手段不断深化,活性水压裂技术工艺进一步优化以适应不同的储层特点,新的增产改造技术不断探索形成,煤层气井排采技术和排采管理得到高度重视,煤层气开发中地质研究须进一步满足产业要求。最后提出了煤层气产业存在的问题和发展方向。

**关键词:**煤层气; 勘探开发; 沁水盆地; 鄂尔多斯盆地; 高阶煤; 低阶煤

**中图分类号:** TD712 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)01-0024-05

## Development status and technical progress of China coalbed methane industry

Ye Jianping<sup>1,2</sup>, Lu Xiaoxia<sup>1</sup>

(1. China United Coalbed Methane Corporation Limited, Beijing, 100011, China;

2. Coalbed Methane Professional Committee, China Coal Society, Beijing, 100011, China)

**Abstract:** With the investigation on the exploration and development projects of China coalbed methane conducted in the recent years, the paper summarized the status and features of the coalbed methane exploration and development in China. With the coalbed methane exploration expanded from North China to Southwest China and South China and from the high rank coal to low rank coal, the coalbed methane production was steadily increased and the major coalbed methane fields were in an initial scale and could support the development of coalbed methane industry. The paper stated the major technical development tendency of the present coalbed methane. The exploration technical means were continuously deepening and the activated hydraulic fracturing technology and technique are further optimized in order to meet different reservoir features. The new reconstruction technology of the production increased is continuously discovered and formed. The high attention was made to the drainage technology and gas drainage management of the coalbed methane wells. The study on the geology of the coalbed methane development was closely to the requirements of the coalbed methane industry. Finally, the paper provided the problems existed in the coalbed methane industry and the development tendency.

**Key words:** coalbed methane; exploration and development; Qinshui Basin; Ordos Basin; high rank coal; low rank coal

## 0 引言

国家对煤层气(煤矿瓦斯)开发更加重视,出台了煤层气勘探开发行动计划,鼓励支持煤层气产业的发展。近两年来,我国煤层气新区勘探成果显著,煤层气产量保持平稳增长,煤层气技术研发力度持续加大。另一方面,2015年国际石油价格降到每桶40美

元以下,低油价时代对煤层气勘探开发提出了严峻挑战。与常规天然气相比,煤层气属于边际气田,由此决定了煤层气是一种低成本运行的项目。煤层气井产量低,生产周期长,项目经济性差,导致了近几年来煤层气勘探开发投入明显降低。笔者通过我国煤层气勘探开发项目的调研,阐述当前我国煤层气勘探开发利用现状和技术进展情况,提出煤层气产业发展过

收稿日期: 2015-11-06; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2016.01.005

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05042)

作者简介: 叶建平(1962—),男,浙江宁海人,教授级高级工程师,博士,现任中联煤层气有限责任公司总经理助理兼勘探部主任。Tel: 010-64265710, E-mail: yejp01@163.com

引用格式: 叶建平, 陆小霞. 我国煤层气产业发展现状和技术进展[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(1): 24-28, 46.

Ye Jianping, Lu Xiaoxia. Development status and technical progress of China coalbed methane industry[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 24-28, 46.

程中应该引起重视的问题和发展方向。

## 1 中国煤层气勘探开发利用现状

我国煤层气勘探开发经历了 20 多年的探索和发展,已初步建成沁水盆地和鄂尔多斯盆地东缘两大产业发展基地,全国主要的勘探投资也集中在这两大盆地。根据国土资源部油气储量办公室统计数据,到 2014 年为止,沁水盆地已探明储量  $4\ 686 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,鄂尔多斯盆地东缘探明煤层气储量  $1\ 488 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,形成 2 个千亿方大气田。

1) 煤层气勘探从华北地区扩展到西北、西南地区,从高阶煤拓展到低阶煤。近两年我国煤层气勘探工作的最大进展表现为:新疆准噶尔盆地南缘、贵州六盘水和织纳地区煤层气勘探获得突破。新疆准噶尔盆地南缘阜康地区,钻井 70 多口,单井产量达到  $1\ 000 \sim 2\ 800 \text{ m}^3/\text{d}$ ,最高产量  $15\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,水平井产量达到  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。贵州黔西地区累计施工煤层气井 90 多口,在土城向斜钻直井 9 口,按煤层组分组压裂,平均产量达到  $1\ 400 \text{ m}^3/\text{d}$ ,最高达到  $2\ 700 \text{ m}^3/\text{d}$ 。在织金纳雍地区试验了短半径水平井,最高获得  $5\ 000 \text{ m}^3$  的单井日产气量。

其次,煤系地层中煤层气、致密砂岩气资源综合勘探的成效显著。鄂尔多斯盆地东缘继煤层气勘探之后,从北到南在神府、临兴、三交北、石楼西、延川南、乡宁等区块均获得较高致密砂岩气试气产量<sup>[1-2]</sup>。中联煤层气有限责任公司(以下简称中联公司)在临兴区块钻井 105 口,完成二维和三维地震勘探工作,获得千亿立方米的致密气储量,煤层气探明储量 101 亿  $\text{m}^3$ 。临兴区块致密砂岩气单层产量达到  $3\ 000 \sim 170\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,单井产量最高可达  $30 \text{ m}^3/\text{d}$  以上(无阻流量),目前已开始进行先导试验

区建设,实现小规模商业性生产。

2) 煤层气产量稳中有升。截至 2014 年底,全国煤层气产量  $155 \times 10^8 \text{ m}^3$ (据国家能源局统计数据),占全国天然气产量的 11%(我国 2014 年天然气年产量  $1\ 329 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,净增长  $132 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,同比增长 10.7%)。其中地面开发产量  $37 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,同比增长 26.5%;煤矿区抽采产量合计  $118 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,同比增长 8.5%。煤层气地面开发产量持续保持稳定增长。2006—2010 年是煤层气产量快速增长时期,2012—2014 年以来,随着投资规模的减少,产量增长放缓。2014 年产量有所增长,主要与潘庄、保德煤层气开发项目的投产有关,而且一些项目的老井随着排采的持续进行,产量也得到提高。

地面开发的煤层气一直保持 85% 以上的较高利用率。而煤矿井下抽采的煤层气利用率仍然较低,2014 年约为 32%,见表 1。

表 1 我国煤层气产量增长率变化

Table 1 The change of output growth rate of coalbed methane in China %

方式	平均增长率		2014 年同比增长率	2014 年利用率
	2006—2010 年	2011—2014 年		
地面开发	141.7	26.3	26.5	85.73
井下抽采	27.2	12.1	8.5	32.46

3) 我国主要煤层气田已初具规模,支撑了煤层气产业的发展。截至 2014 年底,我国已建成煤层气开发项目 10 个,产能  $57 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。已建成包括潘庄、潘河、樊庄—郑庄、枣园、柿庄南、寺河—成庄、韩城南、保德、阜新、延川南、筠连在内的多个煤层气田,这些煤层气田整体生产情况较好(表 2)。

表 2 我国主要煤层气田生产情况(资料截止到 2015 年 8 月)

Table 2 Main coal seam gas fields in China(Data by the end of August 2015)

项目	投产井/口	年产量/亿 $\text{m}^3$	平均单井日产量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	已建产能/亿 $\text{m}^3$	备注
沁南潘庄	49	4.3	26 500	5.0	水平井
沁南潘河	226	2.6	3 200	2.6	直井
沁南樊庄郑庄	2 680	7.9	1 270 ~ 3 300	17.5	含水水平井 116 口
沁南寺河成庄	5 000	14.3	1 200	—	—
沁南柿庄南	987	2.3	—	9.0	—
陕西韩城南	833	1.6	—	2.5	—
山西保德	916	3.6	2 200	7.7	—
辽宁阜新	41	0.3	2 500	—	—
陕西延川南	928	1.0	—	5.0	—
四川筠连	275	0.5	—	—	—

由表2可见,目前主要煤层气生产项目集中于沁水盆地南部,其已成为我国重要的煤层气生产基地。沁水盆地拥有全国1/10的煤层气资源,拥有1/5的煤层气矿权登记面积,拥有75%的探明地质储量,现有产气量占全国煤层气产量的78%。

据不完全统计,目前正在建设的煤层气开发项目产能约60亿 $m^3$ ,包括中石油华北油田公司的郑庄、郑庄北、马必、沁南-夏店项目;中联公司的柿庄北、寿阳南燕竹、柳林项目;中石油煤层气公司的韩城西、临汾、保德南项目。随着这些开发项目的建设投产,煤层气地面开发产量将进一步提升,从而保证国家规划目标的实现。

4) 煤矿区煤层气抽采量稳定增长。煤矿区煤层气抽采量达到118亿 $m^3$ 。山西省抽采量最大,达到48.04亿 $m^3$ ;其次是贵州省,为24.3亿 $m^3$ ;安徽省位列第三,为9.5亿 $m^3$ 。年产量超过1亿 $m^3$ 的还有河南、重庆、四川、陕西、黑龙江、辽宁、甘肃、河北、江西、宁夏等。

## 2 我国煤层气勘探开发技术进展

通过国家科技重大专项的持续支持和勘探开发项目的不断试验创新,煤层气勘探开发技术水平有了长足的进步,表现在勘探技术手段深化;增产改造技术不断探索;煤层气井排采技术和排采管理更加精细。开发地质研究成为重要领域,煤层气田采收率研究也越来越受关注。

1) 勘探技术手段深化。煤层气三维地震勘探技术应用于煤层气勘探,提升了煤层气甜点区预测水平。通过韩城、郑庄等项目的勘探实践,采用宽方位勘探技术,有利于对断层、裂缝和地层岩性的识别,优化三维采集参数,包括面元、覆盖次数、最大排列长度等。应用叠前深度偏移技术,提高三维地震资料品质,综合利用振幅属性、厚度、纵横波速度比、伪泊松比、埋深等多重信息,对煤层气甜点区进行预测<sup>[3]</sup>。

2) 活性水压裂技术工艺优化,新的增产改造技术不断探索。活性水携砂压裂仍然是煤层气增产改造的主流技术,而且针对储层性质的不同,活性水携砂压裂工艺不断优化,目前已趋于成熟<sup>[4-6]</sup>。其技术的主体包括:煤粉悬浮活性水技术、变排量控制缝高技术、前置液粉砂多级段塞降滤失技术、前置液阶段停泵测试技术、大粒径/高强度支撑剂尾追技术、压后合理放喷控制技术等等。

近两年在重复压裂、深煤层压裂、层组压裂及构

造煤增产措施方法上有新进展,对提高我国煤层气单井产量有重要帮助。

过高排量排采,过大降压速率都易形成煤粉堵塞通道,需重复压裂。潘庄多分支水平井,采用氮气泡沫解堵技术,使单井产量大幅提高,实现稳产高产。开展活性水二次压裂,达到解堵增产的目的,樊庄区块现场实施取得了很好的增产效果<sup>[7]</sup>。

深部煤层气储层应力大、压力高,压裂工艺比较复杂。沁南东区块进行了2个井组的煤层气井同步压裂技术先导试验并获得成功,比同一区块其他煤层气井气量有较大提高<sup>[8]</sup>。水力波及压裂技术在柿庄北深煤层SX-017井组进行试验应用。氮气泡沫压裂具有抗滤失性好、携砂能力强,在深煤层压裂中得到应用<sup>[9-10]</sup>。沁南里必合作区块采用水平井分段滑套压裂技术,单井日产量达到4000万~25100万 $m^3$ 。延长矿区采用了活性水压裂液、大排量低砂比、脉冲加砂和复合支撑的思路对深部煤层进行了压裂,目前该技术已成功在延长的深层煤层气井进行了2口井的现场压裂试验<sup>[11]</sup>。

针对多煤层地区,采用煤层和岩层组合分段压裂技术,可以有效提高单井产量和资源利用效率。贵州土城向斜煤层气井取得较高产量。

构造煤增产改造是一个难题,研究人员近年做了有益的探索。CO<sub>2</sub>辅助水力压裂复合增产技术对构造煤储层具有很好的适应性<sup>[12]</sup>。水平井连续油管水力喷射压裂在沁水盆地南部赵庄地区山西组3号煤层的构造煤中进行了试验,在一口U型井中,进行煤层水平段下套管水力喷射压裂,不固井,煤层水平段长800m,分8段压裂,最高日产气6000 $m^3$ ,目前日产气5124.5 $m^3$ ,日产水19.36 $m^3$ 。套压0.288MPa,液面高度691.6m。

3) 煤层气井排采技术和排采管理更加精细。智能化排采技术在樊庄、筠连等多个气田得到普遍应用,精细控制了井底流压,不仅提高了排采精细化自动化,对井底流压、套压、液柱、冲次等重要参数实现了自动采集、连续监测,达到了连续稳定缓慢排采要求,而且减少了巡井作业强度和安全隐患。柿庄南气田应用无井下压力传感器自动化排采技术进行排采试验,效果良好,具有节省测压设备,减少作业次数,降低测压及维护成本等技术优势。

排采中重视煤粉防治和精细管理。研制防煤粉技术、空心抽油杆洗泵技术,提高了泵效,使检泵周期延长到2~3年<sup>[13-14]</sup>。

4) 煤层气田开发和生产规律初步掌握。通过地质储层、工程参数和排采生产数据综合分析,研究煤层气井产能影响因素,进一步指导煤层气有利区优选,指导气田生产。通过开发地质类型精细划分,确定不同的开发技术模式<sup>[15-16]</sup>。

通过樊庄气田煤层气井生产规律总结分析,认为气井采出率达到30%以后,产量将开始递减,产量越高,递减时间越早。为了保持气田产量稳定,需要部署调整井。

沁水盆地各个气田有大量低产井,针对这些低产井的提产、增产问题,已经开展相关研究。解决老井稳产或减慢递减速度等问题,需要统筹研究井网井距设计、压力和产量等生产参数控制、采气速度等关键因素,既保证较长的单井生产周期,又提高气田采收率。

### 3 我国煤层气产业发展的思考

1) 加强地质研究,满足煤层气产业快速发展要求。煤层气地质研究程度低,不能满足勘探开发的快速发展。同一区块内,不同区域单井产气量经常差几倍,地质因素是控制煤层气产量的最主要问题。很多地区煤层气产量低,归根结底是地质研究不到位,缺乏对有利区、甜点区的优选和研究。以往煤层气勘探手段简单,无法有效支撑研究工作和高效选区。因此,建议加强二维地震、三维地震勘探,精细刻画构造特征、沉积相,预测地应力分布、含气性分布、裂隙系统,圈定构造分区,预测甜点区,部署井位。加强测井手段应用,尤其是高端测井方法的应用,充分提取勘探资料,在煤相分析、煤体结构分析、含水层及富水性分析、岩石力学性质等方面,为增产改造提供依据。

2) 煤层气开发技术创新和进步是煤层气产业发展的根本动力。我国煤层气资源实现商业化开发,开始于沁水盆地南部无烟煤,通过国家级的沁南煤层气高技术产业化示范工程建设,形成了直井欠平衡钻井技术、低密度泥浆固井技术、活性水携砂压裂技术、稳控精细排采技术、分散集输一级增压技术(演变到多点接入柔性集输技术)等系列技术,为沁南煤层气商业开发奠定了良好的基础。但煤层气储层性质差异大,同一技术,在不同煤层、不同区块或不同盆地、不同煤级中无法得到相同效果,这就要求在不同区块、不同煤层要采取适应性技术,尤其是直井或水平井完井技术、增产改造技术、排采技术,需

要不断创新。新疆中生代巨厚、急倾斜、多煤层、低煤阶的煤层气开发技术极具挑战性,贵州、云南地区高应力、多煤层、低渗透的煤层气开发技术有待深入探索,煤系地层中煤层气和致密砂岩气的立体开采技术更是面临的崭新课题,亟需广大技术人员去探索试验。

3) 增强信心,加大投资,确保实现“十三五”规划的目标。煤层气产业发展过程中技术、资金、管理缺一不可。当前最重要的是对煤层气要增强信心,加大投资力度,才能确保实现“十三五”规划的目标。到目前为止,沁水盆地浅部煤层气勘探基本完成,埋深在1 000~2 000 m的煤层气资源量 $1.87 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,占47%<sup>[17]</sup>;中深部煤层气产量低,达产周期长,缺乏有效的完井增产技术,严重影响投资者信心。但是,就沁水盆地深部勘探和开发项目的情况来看,效果较好。如柿庄南气田,单井平均产量每年在增长。柿庄北勘探项目深部1 400 m,单井产量达到 $2 000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,只要保持连续稳定排采,产量将持续上升。里必项目采用水平井分段压裂技术,单井产量达到 $4 000 \sim 31 000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

过去20年,煤层气的发展起伏不定。1995—2005年每年仅2 000万~3 000万元的投资,制约了产业发展。2006年以来沁水盆地煤层气开发投资开始增长,尤其是2010—2013年每年投入2 000~4 000口井,煤层气产量跃上年产量10亿 $\text{m}^3$ 台阶,且每年增产10亿 $\text{m}^3$ 。近2年投资又明显下降<sup>[18]</sup>。“十三五”期间,一方面要在老井提产增产稳产上投入精力,另一方面,有关企业仍然要加大投资,才能保证规模产量,保证实现国家和企业规划的目标<sup>[19-20]</sup>。

据不完全统计,沁水盆地钻井约10 060口,投产井7 100口,未投产井约有30%,未产气和低产井占50%~75%(不同区块内)。这些井的产能建设和释放达产,将是“十三五”期间的重要工作,为此,国家科技重大专项也将老井提产增产稳产列入重点研究攻关课题。

### 4 结 语

煤层气勘探从沁水盆地和鄂尔多斯盆地东缘向西北准噶尔盆地南缘以及西南黔西川南地区、从高阶煤向中低阶煤扩展,充分展示了我国煤层气资源勘探潜力。

技术创新是推动煤层气井产量提高的原动力。

高效的勘探技术深化了地质认识和甜点的优选。层段压裂开采技术、水平井分段压裂开采技术等为多煤层、深煤层煤层气开发提供了技术支撑。精细化智能化排采技术保障了煤层气井的高效生产。

“十三五”期间,重点将是已钻井的改造投产和已投产井的上产增产工作。充分利用好国家科技重大专项的强大支持,以解决煤层气产业关键共性技术和针对性的技术难题。

致谢:本文有关数据来自于中国煤炭学会煤层气专业委员会等主办的“2015年煤层气学术研讨会”以及中国石油学会等主办的“2015中国非常规油气论坛”的会议材料,得到了中石油华北油田山西煤层气分公司、中石油浙江油田公司、中石化勘探开发研究院、煤层气国家工程研究中心的帮助,在此深表感谢。

#### 参考文献(References):

- [1] 潘新志,叶建平,孙新阳,等.鄂尔多斯盆地神府地区中低阶煤层气勘探潜力分析[J].煤炭科学技术,2015,43(9):65-70.  
Pan Xinzhi, Ye Jianping, Sun Xinyang, et al. Analysis on exploration potential of mid-low rank coalbed methane in Shenfu Area of Ordos Basin [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(9): 65-70.
- [2] 李贵红.鄂尔多斯盆地东缘煤层气有利区块优选[J].煤田地质与勘探,2015,43(2):28-32.  
Li Guihong. Selection of the favorable coalbed methane (CBM) blocks in eastern Ordos basin [J]. Coal Geology and Exploration, 2015, 43(2): 28-32.
- [3] 刘志伟,王彦春,赵会欣.薄互层地震成像中高分辨率处理方法[J].地球物理学报,2013,56(4):1320-1359.  
Liu Zhiwei, Wang Yanchun, Zhao Huixin. High-resolution processing methods of thin interbeds imaging [J]. Chinese J Geophys (in Chinese) 2013, 56(4): 1350-1359.
- [4] 罗莉涛,刘卫东,姜伟,等.煤粉悬浮剂性能评价及现场实施方案设计与应用[J].钻井液与完井液,2015,32(3):30-34.  
Luo Litao, Liu Weidong, Jiang Wei, et al. Evaluation, operation program design and application of coal powder suspending agent [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid 2015, 32(3): 30-34.
- [5] 张双斌,苏现波,郭红玉,等.煤层气井排采过程中压裂裂缝导流能力的伤害与控制[J].煤炭学报,2014,39(1):124-128.  
Zhang Shuangbin, Su Xianbo, Guo Hongyu, et al. Controlling the damage of conductivity of hydraulic fractures during the process of drainage in coalbed methane well [J]. Journal of China Coal Society 2014, 39(1): 124-128.
- [6] 车宇春,张文平,梁国强. MTA固井方法提高煤层气井压裂成功率的研究[J].煤炭科学技术,2015,43(10):138-143.  
Che Yuchun, Zhang Wenping, Liang Guoqiang, et al. Study on MTA Well Cementing Method to improve fracturing success rate of coalbed methane well. [J] Coal Science and Technology 2015 43 (10): 138-143.
- [7] 连小华,郭军峰,毛生发,等.解堵性二次压裂在樊庄煤层气井的应用[J].中国煤层气,2014,11(6):20-22.  
Lian Xiaobo, Guo Junfeng, Mao Shengfa, et al. Application of plugging secondary fracturing of CBM wells in Fanzhuang [J]. China Coalbed Methane 2014, 11(6): 20-22.
- [8] 陈杰,王青川,姚天鹏,等.煤层气井同步裂工艺现场实践[J].中国煤层气,2014,11(5):24-27.  
Chen Jie, Wang Qingchuan, Yao Tianpeng, et al. Practice of synchronization hydraulic fracturing technology of CBM wells [J]. China Coalbed Methane 2014, 11(5): 24-27.
- [9] 张云鹏,杨兆中,李小刚,等.适用于煤层的新型氮气泡沫压裂液研究[J].应用化工,2014,43(11):1941-1943.  
Zhang Yunpeng, Yang Zhaozhong, Li Xiaogang, et al. Study on a new type of nitrogen foam fracturing fluid applicable to coalbed [J]. Applied Chemical Industry, 2014, 43(11): 1941-1943.
- [10] 李兆敏,吕其超,李松岩,等.煤层低伤害氮气泡沫压裂液研究[J].中国石油大学学报:自然科学版,2013,37(5):100-106.  
Li Zhaomin, Lyu Qichao, Li Songyan, et al. A nitrogen foam fluid with low formation damage for CBM fracturing treatment [J]. Journal of China University of Petroleum: Natural Science Edition, 2013, 37(5): 100-106.
- [11] 张军涛,郭庆,汶锋刚.深层煤层气压裂技术的研究与应用[J].延安大学学报:自然科学版,2015,34(1):78-80.  
Zhang Juntao, Guo Qing, Wen Fenggang. Research and application of deep coalbed methane fracturing technology [J]. Journal of Yanan University: Natural Science Edition, 2015, 34(1): 78-80.
- [12] 许耀波.构造煤储层CO<sub>2</sub>辅助水力压裂复合增产技术及应用评价[J].中国煤层气,2015,11(5):20-23.  
Xu Yaobo. Composite technology of CO<sub>2</sub> auxiliary hydraulic fracturing stimulation and application evaluation based on property of the tectonic coal reservoir [J]. China Coalbed Methane, 2015, 11(5): 20-23.
- [13] 郭大立,贡玉军,李曙光,等.煤层气排采工艺技术研究 and 展望[J].西南石油大学学报:自然科学版,2012,34(2):91-98.  
Guo Dali, Gong Yujun, Li Shuguang, et al. Research and prospect about the CBM drainage technology [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition 2012, 34(2): 91-98.
- [14] 魏迎春,张傲翔,姚征,等.韩城区块煤层气排采中煤粉产出规律研究[J].煤炭科学技术,2014,42(2):85-89.  
Wei Yingchun, Zhang Aoxiang, Yao Zheng, et al. Research on output laws of pulverized coalbed methane drainage in Hancheng Block [J]. Coal Science and Technology 2014, 42(2): 85-89.
- [15] 穆福元,贾承造,穆龙新,等.我国煤层气的开发模式研究[J].非常规油气,2014,1(1):41-46.  
Mu Fuyuan, Jia Chengzao, Mu Longxin, et al. Coalbed methane Development Modes in China [J]. Unconventional Oil and Gas, 2014, 1(1): 41-46.

(下转第46页)

- 2007.
- [20] 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.
- [21] 胡千庭,赵旭生.中国煤与瓦斯突出事故现状及其预防的对策建议[J].矿业安全与环保,2012,39(5):1-6.  
Hu Qianting, Zhao Xusheng. Present situation of coal and gas outburst accidents in Chinese coal mines and countermeasures and suggestions for their prevention[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2012, 39(5):1-6.
- [22] 牟全斌.我国煤与瓦斯突出区域预测方法研究现状及展望[J].煤炭科学技术,2014,42(11):59-63.  
Mou Quanbin. Study status and prospects for regional prediction methods of coal and gas outburst in China[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(11):59-63.
- [23] 李子林.大采深条件下徐、奥灰突水机理及防治技术研究:以潘西煤矿为例[D].青岛:山东科技大学,2007.  
Li Zilin. Study on water-inrush mechanism from Xujiazhuang and Ordovician limestone and technique of prevention and control on condition of deep mining: taking Panxi Coal Mine as an example[D]. Qingdao: Shandong University of Science & Technology, 2007.
- [24] 文虎,吴慷,曹旭光,等.预防高地温深井煤自燃的阻化惰泡防灭火技术[J].煤炭科学技术,2014,42(9):108-111.  
Wen Hu, Wu Kang, Cao Xuguang, et al. Fire prevention and control technology with inhibition inertia foam to prevent coal spontaneous combustion in high ground temperature deep mine[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9):108-111.
- [25] 陈欢,杨永亮.煤自燃预测技术研究现状[J].煤矿安全,2013,44(9):194-197.  
Chen Huan, Yang Yongliang. Research status of predicting coal spontaneous combustion[J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44(9):194-197.
- [26] 高洋.煤矿开采引起的采空区瓦斯与煤自燃共生灾害研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2014.  
Gao Yang. Study on symbiotic disaster of gas and spontaneous combustion of coal in the gob area by mining[D]. Beijing: China University of Mining & Technology( Beijing), 2014.
- [27] 张泓,夏宇靖,张群,等.深层煤矿床开采地质条件及其综合探测:现状与问题[J].煤田地质与勘探,2009,37(1):1-11.  
Zhang Hong, Xia Yujing, Zhang Qun, et al. Coal-mining geological conditions and explorations of deep coal deposits: status and problems[J]. Coal Geology & Exploration, 2009, 37(1):1-11.
- [28] 虎维岳.深部煤炭开采地质安全保障技术现状与研究方向[J].煤炭科学技术,2013,41(8):1-5.  
Hu Weiyue. Study orientation and present status of geological guarantee technologies to deep mine coal mining[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(8):1-5.
- [29] 冯西会,薛海军.煤矿高效安全开采地质保障物探技术发展现状与展望[C]//煤矿隐蔽致灾因素及探查技术研究学术年会论文集,西安:陕西省煤炭学会,2014.  
Feng Xihui, Xue Haijun. Development status and prospect of geophysical exploration technology for high-efficiency and safe mining of coal mines[C]//Hidden hazard factors and exploration technology of coal mines-academic annual conference memoir, Xi'an: Shanxi provincial coal society, 2014.
- [20] 穆福元,仲伟志,赵先良,等.中国煤层气产业发展战略思考[J].天然气工业,2015,35(6):110-116.  
Mu Fuyuan, Zhong Weizhi, Zhao Xianliang, et al. Strategies for the development of CBM industry in China[J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(6):110-116.
- [21] 叶建平,傅小康,李五忠.中国煤层气勘探开发与产业化[C]//中国煤炭学会煤层气专业委员会,中国石油学会石油地质专业委员会.2013年煤层气学术研讨会论文集.北京:地质出版社,2013.  
Ye Jianping, Fu Xiaokang, Li Wuzhong. Technology and industrialization of CBM exploration and development in China[C]//Coalbed Methane Specialized Committee of China Coal Society, Petroleum Geology Professional Committee of Chinese Petroleum Society. Proceedings of 2013 Coalbed Methane Symposium. Beijing: Geology Publishing House, 2013.

(上接第28页)

- [16] 申宝宏,刘见中,雷毅.我国煤矿区煤层气开发利用技术现状及展望[J].煤炭科学技术,2015,45(2):1-4.  
Shen Baohong, Liu Jianzhong, Lei Yi. Present status and prospects of coalbed methane development and utilization technology of coal mine area in China[J]. Coal Science and Technology, 2015, 45(2):1-4.
- [17] 国土资源部油气资源战略研究中心.新一轮全国油气资源评价[M].北京:中国大地出版社,2009.
- [18] 国家能源局.煤层气勘探开发行动计划(国能煤炭[2015]34号)[S/OL].http://zfxxgk.nea.gov.cn/auto85/201502/t20150216\_1890.htm.
- [19] 雷怀玉,孙粉锦,陈艳鹏,等.对中国煤层气产业发展的几点思考[J].国际石油经济,2015(4):14-18,100.  
Lei Huaiyu, Sun Fenjin, Chen Yanpeng, et al. Some thoughts on the development of China's CBM industry[J]. International Petroleum Economics, 2015(4):14-18,100.