

节能减排

# 阳泉矿区煤层气开发利用规划与展望

朱英战

(阳泉煤业(集团)有限公司煤层气开发利用分公司,山西阳泉 045000)

**摘要:** 阳泉矿区属于山西沁水煤田,属煤层气易抽采煤层,是国内瓦斯涌出量最大、煤层气最富集的地区之一,已被国家列为重点煤层气开发利用突破区。为了快速、有序、健康地开发利用好阳泉矿区的煤层气资源,有必要做好规划工作。从煤层气开发利用的现状,加快开发利用的必要性、基础条件和优势等方面,论述了促进煤层气产业快速健康发展的思路和目标。规划将阳泉煤业(集团)有限公司煤层气开发利用产业打造成山西省标杆产业及全国的示范产业,井下抽采煤层气综合利用率达到98.5%;煤层气综合利用率达到80.2%。

**关键词:** 煤层气利用; 井下抽采; 煤层气发电; CO<sub>2</sub>减排

**中图分类号:** TD845 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-6772(2014)05-0101-04

## Development plan of coalbed methane in Yangquan mining area

ZHU Yingzhan

(Coalbed Methane Development and Utilization Branch, Yangquan Coal Industry (Group) Co., Ltd., Yangquan 045000, China)

**Abstract:** Yangquan mining area, which is rich in coalbed methane, belongs to Qinshui coal field of Shanxi. The coalbed methane in this area is easy to extract. It has been considered as the key coalbed methane development and utilization breakthrough district. In order to develop and utilize the coalbed methane resource of Yangquan mining area rapidly, orderly, healthily, it is necessary to make plan. From the aspects of coalbed methane development, necessity of development, basic conditions, advantages, discuss the goal and thought of coalbed industry development. Yangquan Coal Industry (Group) plans to make its coalbed methane industry at the leading level in Shanxi Province, even through the whole of China. The rate of multipurpose utilization of coalbed methane underground extraction achieves 98.5%, the rate of multipurpose utilization of coalbed methane achieves 80.2%.

**Key words:** coalbed methane utilization; underground extraction; coalbed methane power generation; CO<sub>2</sub> emission reduction

## 0 引言

阳泉矿区属于山西沁水煤田,储层条件好、资源量十分丰富,属煤层气易抽采煤层,是国内瓦斯涌出量最大的矿区之一,也是全国煤层气最富集地区之一,阳泉矿区煤层气开发利用已被国家列为重点突破区之一<sup>[1-3]</sup>。经过多年努力,阳泉煤业(集团)有限公司(阳煤集团)瓦斯治理取得了很大的突破,瓦斯开发利用也初具规模并形成了综合利用的特色。为了更好地开发利用好阳泉矿区的煤层气资源,应认真组织开展有关规划工作。

## 1 阳煤集团煤层气开发利用的必要性

### 1.1 实现煤矿安全生产

瓦斯事故多发是影响中国煤矿安全的最主要因素,每年10人以上重特大死亡事故中,瓦斯事故占80%以上<sup>[4-5]</sup>。瓦斯已经成为中国煤矿安全的头号“杀手”,是威胁煤矿安全生产的重大隐患。为减少煤矿瓦斯事故,保证煤矿安全生产,国务院瓦斯防治办提出煤矿生产企业应先采气后采煤,采煤、采气一体化的要求。先抽后采是防范瓦斯事故、提高煤矿生产安全保障的治本之策,还能提高煤矿的综合经

收稿日期:2014-07-02;责任编辑:孙淑君 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.05.025

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2011ZX05051-004)

作者简介:朱英战(1960—),男,河北饶阳人,工程师,现任阳煤集团煤层气开发利用分公司总经理。E-mail: mcqkflyfgs@163.com

引用格式:朱英战. 阳泉矿区煤层气开发利用规划与展望[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(5): 101-104, 108.

ZHU Yingzhan. Development plan of coalbed methane in Yangquan mining area[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(5): 101-104, 108.

济效益。

## 1.2 节能减排、保护环境

煤层气俗称“瓦斯”,主要成分是甲烷,是一种仅次于氟利昂的重要温室气体。根据气候变迁跨国委员会研究报告,其温室效应是 $\text{CO}_2$ 的21倍。在全球气候变暖中的份额为15%,仅次于 $\text{CO}_2$ ,对臭氧层的破坏是 $\text{CO}_2$ 的7~8倍<sup>[6-7]</sup>。大量的瓦斯排入大气,使地球表面余热通过大气层向宇宙空间散发的“热阻”增大,从而增强地球表面的温室效应,导致全球变暖,破坏了地球的生态环境。同时煤层气又是洁净能源,对其充分燃烧,几乎不产生污染。从节约能源的意义上说,大量优质瓦斯排入大气,也是能源的巨大浪费。开发利用瓦斯资源既可减轻对大气的污染,又可减少煤炭消耗,给企业带来良好的社会效益和环境效益<sup>[8-10]</sup>。

## 1.3 清洁能源需求持续增长

中国经济继续保持平稳较快发展,工业化和城镇化进程继续加快,清洁能源需求将持续增长。受资源赋存条件制约,石油天然气供需矛盾突出,对外依存度逐年攀升。煤层气开发利用可有效增加国内能源供应,具有广阔的发展前景。大力推进煤层气开发利用,有利于优化能源结构,提高能源利用效率<sup>[11-12]</sup>。阳煤集团及阳泉市也需要加快调整能源结构步伐,在改变自身能源消耗模式情况下,为国家生产更多的清洁能源。

## 1.4 节约资源

“十二五”时期,国家确定单位国内生产总值能源消耗降低16%,对节能提出了更高要求。煤层气是优质化石能源,有利于分布式能源系统推广应用,提高能源利用效率。随着技术不断进步,抽采利用率提高,可大量节约资源,提高综合利用水平。阳煤集团是能源生产大型企业,同时也是能源消耗大型企业,煤层气开发利用可大大减少企业煤炭消耗。

## 1.5 环境保护约束增强

近几年国内环境质量持续下降,大范围严重雾霾天气屡屡出现,其中煤炭燃烧排放粉尘难辞其咎,寻求煤炭可替代洁净燃料刻不容缓。另外,“十二五”时期,国家确定单位国内生产总值 $\text{CO}_2$ 排放降低17%,对控制温室气体排放提出了更高要求。

## 2 阳煤集团煤层气开发利用的优势

### 2.1 资源优势

阳煤集团位于沁水煤田范围内,阳泉矿区的瓦

斯资源沿矿区边界延伸至埋深1500 m界内,总面积2668 km<sup>2</sup>,资源量约为 $6448 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,资源非常丰富。阳煤集团的瓦斯资源主要位于阳泉矿区(包括阳泉市和晋中市的寿阳、昔阳、和顺、左权区)。阳煤集团有近50 a矿井煤层气抽采、集输、利用的经验,在国家产业政策的扶持和引领下,开发利用煤层气产业具有得天独厚的优势<sup>[13]</sup>。

### 2.2 地理位置和交通优势

近几年阳泉地区交通发展很快,天黎高速、和汾高速即将全程通车,届时由阳泉出入河北、北京、天津、山东、江苏、河南非常方便,为煤层气产品运输创造便利条件。阳煤集团煤层气产业立足山西省、面向京津冀、辐射苏鲁豫,这几个地区人口众多、工业发展空间大、环境压力严峻、清洁能源缺口大、进口天然气不方便,阳煤集团煤层气开发利用可以针对以上地区,市场需求潜力巨大。

### 2.3 完善的天然气管网

阳泉集团各矿井已基本建成煤层气输配系统,为规模化、集约化发展煤层气产业铺垫良好基础。周边已经建成陕京二线、陕京三线等国家级天然气输送干线从阳泉市北部过境,昔阳—阳泉—孟县、晋城—长治—和顺—阳泉省级天然气/煤层气输送管线也把阳泉市作为主要站点。发达的天然气管线为阳煤集团煤层气产业接入天然气管网创造良好接入条件。

## 3 阳煤集团煤层气利用现状

阳煤集团从1958年开始简单利用井下抽出的矿井煤层气,主要用于煤矿食堂做饭、烧茶炉、烧锅炉等。20世纪80年代初,阳煤集团内部建立起形成网络的煤气利用系统。1984年开始建设向市区供气的“矿井瓦斯利用工程”,工程于1989年底全部竣工,1991年9月投入使用<sup>[13]</sup>。

阳煤集团1996年成立了煤层气开发总公司,并在1997年12月与阳煤集团煤气公司合并,负责集团公司的煤层气开发和利用的规划、管理及实施。2001年12月27日,更名为阳泉煤业(集团)有限责任公司煤气分公司;2007年12月7日,更名为阳泉煤业(集团)有限责任公司煤层气开发利用分公司。

### 3.1 阳泉老区煤层气输配系统及利用概况

阳泉老区建成运行的瓦斯储配站7座,在建储配站3座;瓦斯利用系统敷设管网590 km,区调压站107座,城市居民用户近15万户及300多家公共

福利、商业、工业用户,几乎涵盖了整个阳泉市区。瓦斯用户类型有民用、氧化铝焙烧、瓦斯发电、天然气(CNG)等。

随着采煤工作面的推移,阳泉老区瓦斯抽采泵站抽采气量及抽采甲烷浓度将逐渐衰减,新的抽采泵站离市区较远,为满足日益增长的供气量,确保阳泉市区及矿区煤层气用户的正常使用,决定将阳坡堰、佛洼抽采泵站的气源集输回神堂嘴,将神堂嘴作为气源中枢,经神堂嘴工业园区将气源加压输送至煤层气市区管网系统中。为此特建设了阳坡堰储配站(2万 $m^3$ )、佛洼储配站(2万 $m^3$ )和神堂嘴新储配站(5万 $m^3$ )。五矿煤层气系统用户主要是大型工业用户,包括贵石沟瓦斯发电站、氧化铝焙烧窑炉等,同时供应五矿自用、平定县民用。五矿贵石沟建有2座储配站(5万 $m^3$ +2万 $m^3$ )。

### 3.2 晋东区煤层气输配系统及利用概况

1) 寺家庄煤矿自用及瑞阳公司项目。寺家庄瓦斯抽采站接入寺家庄储配站,为保证气源稳定供应,减少气源变化波动,寺家庄矿建有1座储配站,规模 $3 \times 10^4 m^3$ 。寺家庄储配站分别向矿井自用系统(锅炉、热风炉、空调系统、食堂和选煤厂干燥车间用气五部分)、瑞阳公司供气。山西瑞阳煤层气有限公司利用寺家庄矿抽采瓦斯已建成CNG项目,规模 $3.5 \times 10^7 m^3/a$  2012年投运,达产后耗气纯量为 $3.5 \times 10^7 m^3/a$ 。瑞阳公司CNG项目2012年用气量 $1.43 \times 10^6 m^3/a$  2013年用气量 $1.05 \times 10^7 m^3/a$ 。寺家庄矿自用系统2012年用气量 $9.28 \times 10^6 m^3/a$  2013年用气量 $9.45 \times 10^6 m^3/a$ 。

2) 石港煤矿自用及LNG项目、瓦斯发电项目。目前除石港矿食堂及在建锅炉房用气外,多余瓦斯全部排空。为综合利用抽采瓦斯,阳煤集团在石港矿新建1座储配站,向本矿井、在建液化天然气(LNG)项目供气。石港瓦斯储配站规模 $2 \times 10^4 m^3$ ,目前正在建设,预计2014年底投入运行。石港瓦斯液化项目规模 $2.1 \times 10^4 t/a$ ,可消耗煤层气折甲烷纯量 $3.2 \times 10^7 m^3/a$ 。预计2015年建成投运。石港低浓度瓦斯电站正在建设,电站规模 $8 \times 1.0 MW$ ,年耗瓦斯纯量 $1.92 \times 10^7 m^3/a$ ,预计2014年建成投运。

3) 新大地煤矿自用。抽采瓦斯目前除矿井自用气外,全部排空。为综合利用瓦斯气,在新大地新建1座储配站,供应新大地矿区自用气及规划的CNG项目用气。新大地瓦斯储配站规模 $2 \times 10^4 m^3$ ,目前正在建设,预计2014年底投入运行。

4) 坪上煤矿瓦斯发电项目。坪上煤矿已建设瓦斯电站,电站规模 $32 \times 0.6 MW$ 。2012年坪上瓦斯电站2012年用气量 $2.57 \times 10^7 m^3/a$  2013年用气量 $1.7 \times 10^7 m^3/a$ 。

### 3.3 煤层气利用率低的原因分析

阳煤集团目前抽采瓦斯综合利用率不足30%,通风瓦斯还没有开发利用,地面钻采没有形成合作开发模式,总体煤层气综合利用率较低,其原因主要是:①开采的煤层气中低浓度占较大比重,低浓度瓦斯利用设施不健全导致大量煤矿瓦斯未有效利用而被直接排空;②煤层气产业体系不完善,上游开发、中游集输、下游利用发展不协调,上游抽采出的煤层气缺少利用方式或与之相配套的长输管线,导致煤层气不能全部利用;③煤层气开发相对于煤炭开采,所占经济比例相对较低,企业重视程度不够;④煤层气开发利用技术开发相对落后,推广速度较慢;⑤阳煤煤层气产业链不完善,虽有CNG项目建成,LNG项目在建,但是未建设下游利用项目,煤层气开采利用未形成产业链条,制约了产业的发展。⑥个别矿井地处偏远、煤层气抽采不稳定也是造成阳煤集团煤层气综合利用水平较低的因素<sup>[14-15]</sup>。

## 4 阳煤集团煤层气利用发展思路

1) 加强合作,注重创新。开展强强联合,采取多种合作方式,提高自主创新和集成创新能力。加大对煤层气开发利用的科技投入,开展煤层气开发利用基础理论和先进实用技术研究,以保障煤矿安全生产和提高瓦斯利用水平为目标,构建面向煤矿瓦斯灾害防治与综合利用的技术创新与服务平台。

2) 统筹规划,合理布局。按照“就近利用、余气外输,民用优先、适度发展液化或压缩等项目”的利用原则,保障现有民用,逐步扩大其他利用,统筹、科学、合理规划和布局煤层气利用项目,为煤层气产业健康发展创造条件。

3) 立足矿区,气化山西。随着国家及山西省一系列鼓励煤层气开发利用的产业政策出台,阳煤集团煤层气的开发利用应紧紧围绕“气化山西”战略目标,依托丰富的煤层气资源、良好的产业发展基础和广阔的市场空间,立足矿区,统筹规划,科学实施,为“气化山西”提供可靠的气源保障,为促进山西省资源型经济转型、完成节能减排任务、建设低碳经济、实现绿色发展作出积极的贡献。

4) 立足山西,面向京津冀。山西省富煤、无油、

供气(天然气),长期以来,能源消费结构极不合理,生态环境、人民生活质量受到影响。因此,按照“省内优先、余气外输”的原则,在优先保证本省用气安全的前提下,创造条件外输余气(煤层气)。阳煤集团是全国煤层气最富集地区之一,应充分发挥自身的资源优势以及独特的区位优势,立足山西,面向京津冀周边地区,以CNG、LNG开发培育煤层气终端市场,推动煤层气产业健康发展。

## 5 阳煤集团煤层气利用发展目标

### 5.1 总体目标

将阳煤集团的煤层气开发利用产业打造成全国最强的煤层气开发利用基地,对全国煤层气的产业化开发和商业化利用起到重大推动作用。实现目标如下:①建立国内最先进的国家级井下瓦斯抽采利用研究实验中心;②建成国内最先进的利用井下抽采瓦斯生产CNG、LNG的产业集群;③建成国内最大的低浓度瓦斯发电产业集群;④建成国内第一个具有示范作用的瓦斯零排放示范园区;⑤建成一批通风瓦斯氧化利用示范项目;⑥打造国内实现煤层气综合利用率最高的煤炭企业。

### 5.2 规划目标

规划后期阶段要将阳煤集团煤层气开发利用产业打造成山西省标杆产业及全国的示范产业,煤层气综合利用率达到以下目标:①井下抽采煤层气综合利用率达到98.5%;②地面钻采煤层气综合利用率达到100%;③通风瓦斯综合利用率达到10.7%;④煤层气综合利用率达到80.2%。

规划到2018年末,煤层气开发利用规模达到 $2.109 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ ,建成具有示范带动效应的神堂嘴瓦斯综合利用示范园区。煤层气产业营业收入达到44.88亿元,为实现上述规划目标,阳煤集团计划投入资金约29.63亿元,其中井下抽采瓦斯及通风瓦斯利用项目投资约20.63亿元,地面钻采煤层气利用项目投资约9.0亿元。资金筹措可以采用自筹、贷款、合资、BOT(Build-Operate-Transfer,建设-经营-转让)模式等多种方式,达到筹集资金的目的。

1) 城镇燃气项目。到2018年,阳泉瓦斯储配系统储存能力达到 $3.2 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,燃气输配管网达到约700 km。以阳泉、平定现有瓦斯储配管网为基础,积极争取当地的支持,扩大供气范围,大力发展城镇燃气市场,积极推广“煤改气”工程。到2018年,由煤层气取代阳泉市区或城区周边范围内燃煤锅炉

房(电站锅炉除外),商业及居民用气普及率达到100%。工业、民用耗气总量 $3.19 \times 10^8 \text{ t/a}$ 。

2) 瓦斯提纯项目。到2018年,低浓度瓦斯提纯产能达到 $1.23 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

3) 煤层气集输工程。地面钻采瓦斯经集输、净化、加压后接入陕京国家级天然气管网,输送规模 $5.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

4) 煤层气生产CNG、LNG项目。抽采瓦斯生产压缩CNG产能: $1.03 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,耗气量 $8.9 \times 10^7 \text{ t/a}$ ;抽采瓦斯生产LNG产能: $1.81 \times 10^5 \text{ t/a}$ ,耗气量 $2.5755 \times 10^8 \text{ t/a}$ ;地面钻采生产LNG产能: $3.2 \times 10^5 \text{ t/a}$ ,耗气量 $4.5 \times 10^8 \text{ t/a}$ 。

5) 煤层气发电项目。瓦斯发电总规模达到142.8 MW,规划瓦斯发电以低浓度瓦斯发电为主,瓦斯发电耗气量 $3.245 \times 10^8 \text{ t/a}$ 。

6) 煤泥烘干项目。利用煤层气作为燃料烘干煤泥,煤泥烘干产能 $2.6 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,耗气量 $3.64 \times 10^7 \text{ t/a}$ 。

7) 通风瓦斯氧化。逆流氧化处理通风量 $1.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{h}$ ,消耗瓦斯约 $7.3 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$ ,其中抽采低浓度瓦斯 $1.3 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$ ,通风瓦斯 $6 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

## 6 结 语

阳泉矿区煤层气资源丰富,在目前清洁能源供应严重短缺的形势下,开发利用煤层气资源前景十分广阔。阳煤集团规划要将煤层气开发利用产业打造成山西省标杆产业及全国的示范产业,计划通过强化技术创新,以提供技术支撑;多措并举,多方筹集资金,以创造发展条件;强化管理,规范产业运行,以逐步形成规范、协调、有序的市场化运行机制等措施,从而实现井下抽采煤层气综合利用率达到98.5%;煤层气综合利用率达到80.2%的目标。

### 参考文献:

- [1] 翟成,林柏泉,王力.我国煤矿井下煤层气抽采利用现状及问题[J].天然气工业,2008,28(7):23-26.
- [2] 申宝宏,刘建中,赵路正.煤矿区煤层气产业化发展现状及前景[J].煤炭科学技术,2011,39(1):6-10,56.
- [3] 黄盛初,刘文革,赵国良.中国煤层气开发利用现状及发展趋势[J].煤炭工程,2009,41(1):5-10.
- [4] 琚宜文,李清光,谭锋奇.煤矿瓦斯防治与利用及排放关键问题研究[J].煤炭科学技术,2014,42(6):8-14.
- [5] 袁河津.煤矿安全规程(修订版)[M].徐州:中国矿业大学出版社,2011.

(下转第108页)

够修复含砷的土壤。

### 3.3 使用农业工程措施消除土壤重金属污染

通过施用土壤改良剂,改变传统的耕作方式、换茬栽种植物、客土和换土等措施改变土壤中重金属对农业生产的危害。利用改良剂对土壤重金属的沉淀作用、吸附抑制作用,降低重金属的扩散性和生物有效性。如增施有机肥可以促进重金属的吸附、螯合、络合能力,也能使重金属生成硫化物沉淀,施石灰可以提高土壤pH值,使重金属生成硅酸盐、碳酸盐、氢氧化物沉淀,从而降低了重金属在土壤中的移动性。

### 3.4 通过工程技术措施消除重金属污染

工程技术措施有水洗法、电动化学法、热解析法和片洗法等。水洗法是利用清水灌溉受污染农田,使重金属离子迁移至较深的土层中,减少表土中重金属的浓度,或者将含有重金属的水排出农田。电化学法指利用电流打破所有的Cd、Cu、As、Pb的金属-土壤键的方法,特别适用于去除透性不高、导电性不好的黏土中的重金属,但不适合沙性土壤。采用热解吸法可以将挥发性重金属Hg从土壤中解吸出来,当达到一定体积时回收利用。片洗法指用清水或含可提高重金属水溶性的某些化学试剂的水将重金属冲至根外层,再用含一定配位体或阴离子的化合物与重金属生成较稳定的金属络合物或沉淀,并回收利用。

## 4 结 论

1) Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Hg、As等重金属煤矿周边农田中的平均含量均高于对照区,说明煤矿开采过程对农田带来了重金属污染。

2) Zn、Cu、Pb、Cr、Hg重金属元素在土壤汇总的含量与玉米中的含量显示出正相关性,表明植物吸收重金属的含量与土壤中的重金属的总量有关,且吸收量随着土壤中重金属含量增加而增加。

3) 针对煤矿区农田土壤污染,有针对性地提出了土壤重金属污染的防治和修复措施,以期为环境保护工作者提供科学治理的依据。

参考文献:

- [1] 刘素青. 九里山煤矿区土壤重金属污染状况研究[J]. 洁净煤技术 2011, 17(4): 95-96.
- [2] 张明亮, 王海霞. 煤矿区矸石山周边土壤重金属污染特征与规律[J]. 水土保持学报 2007, 21(4): 189-192.
- [3] 崔龙鹏, 白建峰, 史永红, 等. 采矿活动对煤矿区土壤中重金属

污染研究[J]. 土壤学报 2004, 41(6): 896-904.

- [4] 王丽, 王力和文祥, 等. 神木煤矿区土壤重金属污染特征研究[J]. 生态环境学报 2011, 20(8/9): 1343-1347.
- [5] 张锂, 韩国才, 陈慧, 等. 黄土高原煤矿区煤矸石中重金属对土壤污染的研究[J]. 煤炭学报 2008, 33(10): 1141-1146.
- [6] 刘德良, 杨期和. 明山煤矿区废弃地重金属污染土壤环境质量评价[J]. 湖北农业科学 2013(18): 4351-4354, 4367.
- [7] 程水英. 彬长矿区规划环境影响评价指标体系的建立[J]. 洁净煤技术 2014, 20(1): 93-95, 99.
- [8] GB/T 17135—1997 土壤质量 总砷的测定 硼氢化钾-硝酸银分光光度法[S].
- [9] GB/T 17137—1997 土壤质量 总铬的测定 火焰原子吸收分光光度法[S].
- [10] GB/T 17138—1997 土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法[S].
- [11] GB/T 17141—1997 土壤质量 铅、镉的测定[S].
- [12] GB/T 17136—1997 土壤质量 总汞的测定 冷原子吸收分光光度法[S].
- [13] GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S].
- [14] Baker A J M, McGrath S P, Sidoli C M D. The possibility of in situ heavy-metal decontamination of polluted soils using metal-accumulating plants[J]. Resources Conservation and Recycling, 1994, 11(1): 41-49.
- [15] Heaton A C P, Rugh C L. Phytoremediation of mercury and methyl-mercury polluted soils using genetically engineered plants[J]. Journal of Soil Contamination, 1998(7): 497-509.
- [16] 陈同斌. 砷超富集植物蜈蚣草及其对砷的富集特征[J]. 科学通报 2002, 47(3): 207-210.

(上接第104页)

- [6] 姚风云, 汪新民. 淮北煤层气开发利用中的环境问题[J]. 青岛化工学院学报 2002, 23(2): 94-96.
- [7] 杨永均, 张绍良, 候湖平. 煤炭开采的温室气体逸散排放估算研究[J]. 中国煤炭 2014, 40(1): 114-117.
- [8] 孙茂远. 中国煤层气开发利用现状及产业化战略选择[J]. 天然气工业 2007, 27(3): 1-5.
- [9] 崔荣国. 国内外煤层气开发利用现状[J]. 国土资源情报 2005(11): 22-26.
- [10] 马晓种. 煤矿瓦斯综合利用技术的探索与实践[J]. 中国煤层气 2007, 7(3): 28-31.
- [11] 贺占军, 方晓青, 贾立刚. 白茆沟煤矿瓦斯综合利用技术[J]. 煤炭工程 2013, 45(9): 58-60.
- [12] 李景明, 巢海燕, 李小军, 等. 中国煤层气资源特点及开发对策[J]. 天然气工业 2009, 29(4): 9-13.
- [13] 朱英战. 阳泉矿区矿井煤层气利用发展现状[J]. 煤炭科学技术 2013, 41(10): 70-72, 41.
- [14] 龙伍见. 我国煤矿低浓度瓦斯利用技术研究现状及前景展望[J]. 矿业安全与环保 2010, 37(4): 74-77.
- [15] 孙茂远. 煤层气资源开发利用的若干问题[J]. 中国煤炭, 2005, 31(3): 5-8, 27.