

绿色开采的理念与技术框架

许家林, 钱鸣高

中国矿业大学能源与安全工程学院, 江苏徐州 221008

[摘要] 绿色开采的理念是针对煤炭开采造成的严重环境问题提出的, 它是从广义资源的角度认识和对待煤、瓦斯、地下水、土地、矸石等一切可以利用的资源, 基于采动岩层运动规律防止或尽可能减轻开采煤炭对环境和其他资源的不良影响; 目标是取得最佳的经济效益、环境效益和社会效益。构建的绿色开采技术框架包括保水开采、减沉开采、煤与煤层气(瓦斯)共采、矸石减排、煤炭地下气化等。

[关键词] 煤炭资源; 环境保护; 循环经济; 绿色开采; 关键层

[中图分类号] TD2, TD8

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)07-0061-05

Concept of Green Mining and Its Technical Framework

XU Jialin, QIAN Minggao

China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu Province, China

Abstract: With respect to the serious environment problems of coal mining, a new concept of green mining is proposed, which is related to viewing and treating coal, coal-bed methane, ground water, rock waste and any other useful resources in a broad sense as "resources". It is based on the law of strata movement to prevent or to alleviate the adverse influence of coal mining on other resources and the environment as far as possible. The goal is to maximize the economic and social benefits. The technical framework of green mining includes water-preservation in mining areas, coal mining to retard surface subsidence, simultaneous extraction of coal and coal-bed methane, reduction of rock waste, underground coal gasification, and others.

Key Words: coal resource; environment protection; circular economy; green mining; key stratum

CLC Numbers: TD2, TD8

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)07-0061-05

我国是一个富煤、贫油、少气的国家, 煤炭在一次能源中占 70% 左右。在我国一次能源结构中, 煤炭将长期是我国的主要能源, 煤炭工业能否健康发展是事关我国能源安全和经济可持续发展的重大问题。尽管我国目前的煤炭产量和消费已占全世界的 1/3, 但整个煤炭行业距离经济有竞争力、充分考虑安全与环境保护的健康发展还有很多问题没有根本解决, 我国煤炭资源开发与利用所引发的环境问题日益突出。在 2005 年国务院出台的《关于促进煤炭工业健康发展的若干意见》中, 对煤炭开发与生态环境协调发展提出了具体要求, 如何落实这些要求是摆在政府、煤炭企业和科技工作者面前的严峻挑战。由于世界上没有哪个国家像中国这样大量地开发和利用煤炭资源, 没有一个完整的可供借鉴的办法, 故必须依靠我们自己做出实质性的技术创新和政策创新。

1 采矿引起的环境问题

长期以来, 煤炭开采一直被认为是环境的掠夺行为。煤炭开采后形成了独特的矿区生态环境问题, 如造成农田以及建筑物破坏、村庄迁徙、矸石堆积如山, 使河川径流量减少, 以及地下水供水水源干枯、土地沙漠化等。随着我国煤炭产量的不断增加, 煤炭开采所带来的环境问题愈加突出, 主要表现为以下方面。

1.1 水资源的破坏

煤矿开采过程中破坏了地下含水层的原始径流, 大量排出地下水。同时, 造成区域含水层水位下降, 形成大规模地下水降落漏斗, 直接影响到区域水文地质条件。开采产生的地表变形往往影响到地表水体(河流、湖泊、井泉等), 从而使部分沟泉水量减少甚至干涸, 影响当地居民正常的生产生活, 进而影响区域植被生长, 甚至土地沙漠化。这一问题在西部缺水地区显得

收稿日期: 2007-01-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(50374066), 国家科技支撑计划项目(2006BAC09B01), 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-05-0478)

作者简介: 许家林, 男, 江苏省徐州市中国矿业大学能源与安全工程学院, 教授, 主要从事岩层移动与绿色开采方面的研究;

E-mail: cumtxjl@cumt.edu.cn

尤为突出。我国每年采煤破坏地下水 22 亿 m^3/a 。山西省通过对 5 403 个煤矿进行排水量的统计,结果显示平均开采 1 t 煤炭,矿井排水 0.87 t,致使山西本来就缺水的生态环境受到进一步破坏。如晋祠泉在 1954 年的流量为 $2 \text{ m}^3/\text{min}$,由于晋祠泉域内西山煤田的大规模开采,泉水流量逐渐减少,于 1994 年 5 月断流。由于煤矿开采破坏地下水而引起当地居民失去饮用水源的情况在媒体上也时有报道。

1.2 土地资源的破坏

地表塌陷、水土流失、沙漠化、固体废弃物对土地的压占和污染严重破坏土地资源。煤炭开采所造成的沉陷对土地资源的破坏是十分严重的,我国因采煤区地表塌陷造成的土地破坏总量约为 40 万 hm^2 ,开采万吨原煤造成的土地塌陷面积平均达 $0.20\sim 0.33 \text{ hm}^2$,每年因采煤破坏的土地以 3 万~4 万 hm^2 的速度递增。如山西省目前煤炭开采引起的地下采空面积达 1 300 km^2 (约占山西全省面积的 1%)。这一问题在华东地区及粮食和煤炭复合主产区显得尤为突出。此外,煤矿开采会产生占煤炭产量 10%~20% 的矸石,目前我国煤矸石累计堆存近 40 亿 t,占用土地 1 万 hm^2 。

1.3 大气的污染

煤矿排放瓦斯及矸石山自燃释放大量的 SO_2 、 CO_2 、CO,污染空气。矿井瓦斯 CH_4 产生的温室效应是 CO_2 的 21 倍。我国煤矿年排放瓦斯 120 亿 m^3 ,平均利用率不到 20%。

综上所述,煤炭开采造成的环境破坏是非常严重的,大大超出了矿区环境容量,因此我国的煤炭开采是以牺牲环境为代价的,而煤炭作为我国主要能源的状况在短期内难以改变。为了避免开采对矿区环境的继续破坏,国家和煤炭行业必须考虑煤炭资源与环境协调开采问题,按照国务院“关于促进煤炭工业健康发展的若干意见”的要求,转变煤炭开采理念,开展煤炭资源绿色开采技术研究,依靠技术进步,将煤炭生产活动对自然资源 and 生态环境的影响降低到最小程度。

2 绿色开采的理念与内涵

绿色开采的内涵是减少采煤对环境的破坏,为此就要形成一种使资源与环境相互协调的开采技术。煤矿绿色开采以及相应的绿色开采技术,在基本概念上是从广义资源的角度认识和对待煤、瓦斯、水、土地等一切可以利用的资源;基本出发点是从开采的角度防止或尽可能减轻开采煤炭对环境和其他资源的不良影响;目标是取得最佳的经济效益、环境效益和社会效益。煤矿绿色开采具有以下 3 方面的内涵和特点。

2.1 对原有矿井废弃(或有害)物观念的转变

从广义资源的角度而论,在矿区范围内的煤炭、地下水、煤层内所含的瓦斯、土地、煤矸石以及在煤层附近

的其他矿床都应该是这个矿区的开发对象而加以利用。而原来矿井瓦斯的定义是:矿井中主要以甲烷为主的有害气体。事实上,瓦斯是清洁能源,1 m^3 瓦斯可发电 $3\sim 3.5 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

原来矿井水文地质类型的定义是根据矿井水文地质条件、涌水量、水害情况和防治水难易程度等来划分类别,是将矿井水作为水害来对待的。而现在则可以在防治地下水的同时将矿井水资源加以利用。

应该减少对土地的破坏和矸石的排放。矸石是开采中产生的固体废弃物,但也可作为塌陷地的复垦材料、采空区充填骨料以及制砖材料等。

2.2 从源头上采取措施减轻开采对环境的破坏

从开采的角度采取措施,从源头消除或减少采矿对环境的破坏,而不是先破坏后治理,这样才符合循环经济原则。应通过采矿方法的改变和调整来实现地下水资源的保护、减缓地表沉陷、减少瓦斯和矸石的排放等。

2.3 基于岩层运动的特点建立绿色开采理论基础

岩层运动对矿山压力造成影响,煤层开采后引起的岩层变形-破断-移动是造成一系列环境问题的根源。

岩体不被破坏,则水与瓦斯的流动、地表沉陷与土地破坏等环境问题都不会发生。因而,绿色开采的重大基础理论依据是:① 采矿后岩层内的“节理裂隙场”分布以及离层规律;② 开采对岩层与地表移动的影响规律;③ 水与瓦斯在裂隙岩体中的渗流规律;④ 岩体应力场分布规律及岩层控制技术。近年来,为了解决上述与环境相关的理论问题,提出了岩层控制的关键层理论^[1],为煤炭资源绿色开采的研究提供了理论基础。

绿色开采(Green Mining)的理念提出后,已得到国际采矿界认同,如国际著名采矿专家高斯教授曾在其主编的刊物上发表专论介绍中国的绿色开采^[2],并建议将绿色开采作为现代采矿科学的新词汇。这在国内也被越来越多的学者、企业家和管理层所接受,如矿山绿色开采关键技术作为一个课题已被列入国家“十一五”科技支撑计划中,淮南、潞安、神东、淮北等矿区已经开始了绿色开采的实践。

3 绿色开采技术框架

在构建了图 1 所示的煤炭资源绿色开采技术框架的基础上^[3],笔者对减沉开采、煤与煤层气共采、保水开采、矸石减排等各自的技术体系和适用条件开展了研究,对我国不同矿区的绿色开采模式提出了建议。

3.1 减沉开采

减沉开采就是减少开采所引起的地表沉陷,以保护土地资源和地面建筑物。我国东部矿区及粮食与煤炭复合主产区应重视减沉开采技术的研究,将减沉开采作为矿区绿色开采的重点。笔者构建了图 2 所示的减沉开采技术体系。

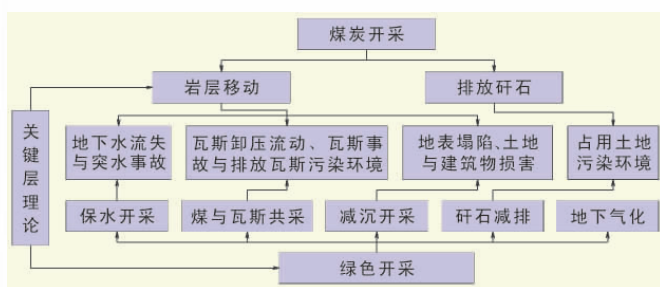


图 1 绿色开采技术框架

Fig. 1 Technical framework of green mining

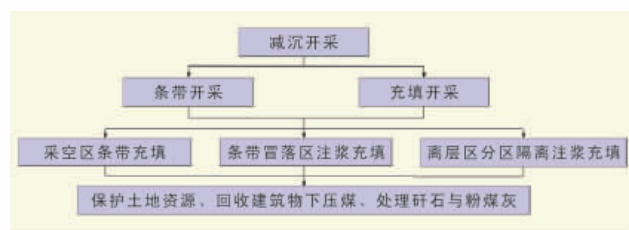


图 2 减沉开采技术体系

Fig. 2 Technical system of mining with retarding surface subsidence

研究证明^[4],覆岩主关键层对地表移动过程起控制作用,主关键层的破断将导致地表快速下沉,地表下沉速度随主关键层周期性破断而呈现跳跃性变化。因而,控制主关键层就是控制地表沉陷,应形成“条带煤柱或充填体-上覆岩层-主关键层”结构体系控制地表沉陷。

减沉开采技术主要包括条带开采与充填开采。条带开采与传统充填开采都存在明显的不足之处。条带开采技术存在的主要问题是采出率低、浪费大量煤炭资源;而传统的全部充填开采技术存在的主要问题是充填成本相对煤炭价格偏高、充填量大、充填材料来源受限、充填工艺不能适应煤矿高效开采要求。根据综合条带开采与充填开采的特点,提出了煤矿部分充填开采技术^[5]:充填量和充填范围仅是采出煤量的一部分,仅对采空区的局部或离层区与冒落区进行充填,靠覆岩关键层结构、充填体及部分煤柱共同支撑覆岩控制开采沉陷。按部分充填的位置和时间不同,提出了采空区膏体条带充填、条带开采冒落区注浆充填、覆岩离层分区隔离注浆充填等 3 种部分充填开采技术。目前,济宁、新汶、枣庄、淮北等矿区正在积极开展有关充填减沉开采的试验研究工作。

3.2 煤与煤层气(瓦斯)共采

煤与煤层气(瓦斯)共采就是将煤炭和赋存于煤层中的瓦斯都作为矿井的资源加以开采,实现两种资源的共同开采。我国高瓦斯矿区应重视煤与瓦斯共采技术的研究,将煤与瓦斯共采作为矿区绿色开采的重点。笔者构建了图 3 所示的煤与煤层气(瓦斯)共采技术体系。

煤层气开采方法分为煤层采前预抽与采动卸压抽

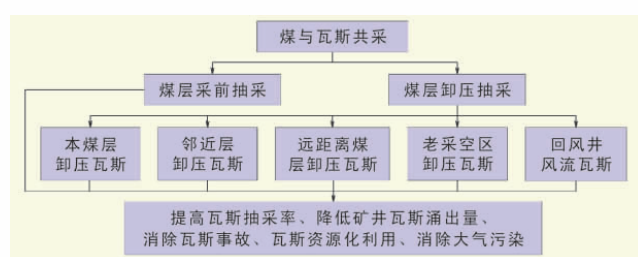


图 3 煤与煤层气(瓦斯)共采技术体系

Fig. 3 Technical system of simultaneous extraction of coal and coal-bed methane

采。在煤层开采前,煤层气开采的效果取决于煤层原始渗透率的大小。研究表明^[6],我国埋深在 2 000 m 以内具有 30 万亿~35 万亿 m^3 煤层气资源,但我国 70% 以上煤层的渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。正因为如此,我国已钻的 200 多口采前地面煤层气井中,除个别矿区(如晋城)外,稳产、高产井很少,而如何提高煤层采前渗透率是尚未解决的难题。实践表明,一旦煤层开采引起岩层移动,即使是渗透率很低的煤层,其渗透率也将增大数十倍至数百倍,为煤层气运移和开采创造了条件。因此,利用岩层运动的特点将卸压煤层气开采出来,将是我国煤层气开采的一条重要途径。基于对岩层采动裂隙动态分布规律的认识提出的卸压瓦斯抽采“O”形圈理论,在一些矿区的卸压瓦斯抽采中,对钻孔布置起到了指导作用^[7-9]。阳泉、淮南、晋城、铁法、淮北、松藻等矿区,在煤与煤层气共采中已取得了很大成绩和各自的经验。目前,我国矿井抽采瓦斯的利用率仍然很低,大部分仍排放到大气中,这是煤与煤层气共采需要进一步解决的关键问题之一。

3.3 保水开采

保水开采就是在采煤的过程中对地下水资源进行保护并对矿井排水进行资源化利用。我国西北干旱缺水矿区应重视保水开采技术的研究,将保水开采作为矿区绿色开采的重点。笔者构建了图 4 所示的保水开采技术体系。

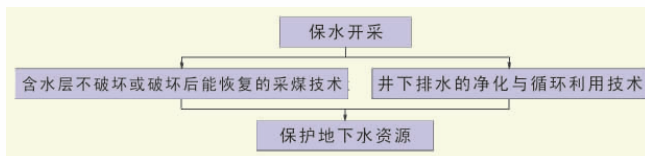


图 4 保水开采技术体系

Fig. 4 Technical system of mining with water-preservation

煤层开采后,随着上覆岩层中关键层的破断,在该区域内地下水将形成下降漏斗。地下水位能否恢复,取决于随着工作面的推进,上覆岩层中有无软弱岩层经重新压实导致裂隙闭合而形成隔水带。若有隔水带,则随着雨水的再次补给,下降漏斗将随之消失,地下水位也

随之恢复。而它对地面生态的影响则决定于漏斗形成与消失的时间间隔。我国西北部分地区(如山西大同)顶板为厚层坚硬岩层,表土层薄,煤层开采后顶板破断裂缝从井下采空区贯穿地表,原有顶板含水层的水全部通过岩层裂缝漏失,造成区域地下水干枯。由于贯通地表的破断裂缝难以闭合,地表降雨通过裂缝渗入井下采空区,原有顶板含水层无法恢复。只有对岩层裂缝进行人工注浆封闭、阻断地表雨水渗漏,才能逐步恢复原有含水层。

我国西北矿区已开始重视保水开采问题并开展了初步的研究^[10-11],但保水开采的技术难度很大,目前有关研究工作还刚刚起步,要实现保水开采还有大量艰巨的工作要做。

3.4 矸石减排

矸石减排就是减少煤矿矸石排放量、消除矸石山的堆积。我国所有煤矿都应重视矸石减排技术研究。笔者构建了图5所示的矸石减排技术体系。

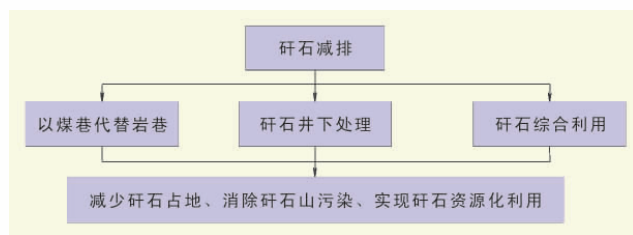


图5 矸石减排技术体系

Fig. 5 Technical system of reduction of rock waste

首先是少出或不出矸石,以煤巷取代岩巷,涉及到煤巷维护问题,需要不断研发煤巷高效支护技术。矸石井下处理就是将井下岩巷掘进矸石不提升出井,通过建立井下矸石转运、储存与充填系统,将矸石充填到采空区,或进行巷旁与废弃巷道充填及矸石充填置换井下煤柱等^[12]。矸石综合利用包括将地面矸石作为减沉充填或复垦充填材料、矸石制砖、矸石发电等。

3.5 煤炭地下气化

煤炭地下气化就是不将煤炭采出地面,而将其在地下通过热化学反应在原地转化为可燃气体,它是一种整体绿色开采技术。对于难以回收的残留煤柱、低品位煤、难采煤层,应积极开展地下气化技术的试验研究。

目前我国的煤炭地下气化技术仍处于工业试验阶段^[13]。地下煤炭气化燃烧产生的苯和酚是致癌物质,有可能毒化水资源,这个问题以及煤炭地下气化多联产技术等很多问题需要去研究和探索。

4 结语

资源与环境协调的绿色开采是解决煤炭开采环境问题的根本出路。要实现绿色开采,需要综合研究和解

决政策、经济、技术等诸多难题,需要花大力气开展相关技术和政策的研究和创新,使得其技术上可行、经济上合理。在技术方面,应该将研究岩层运动对工作面的影响转为研究开采后岩层运动对岩体内形成空隙与地表沉陷的影响,以及研究采动岩体中气体、液体的渗流规律,为保水开采、煤与瓦斯共采、减沉开采、矸石减排等绿色开采技术的发展提供理论基础。在政策方面,应研究适合不同矿区特点的绿色开采模式和经济评价体系及其与企业成本的关系,综合研究煤炭资源经济特点,为政府制定政策提供建议。国家应在政策与税收等方面对绿色开采加以支持,以使煤炭企业得到持续健康的发展。

参考文献 (References)

- [1] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
QIAN Minggao, MIAO Xiexing, XU Jialin, *et al.* The key strata theory in ground control[M]. Xuzhou: China University of Mining & Technology Press, 2003.
- [2] GHOSE A K. Green mining——A unifying concept for mining industry[J]. J Mines, Metals Fuels, 2004, 52(12): 393.
- [3] 钱鸣高, 许家林, 缪协兴. 煤矿绿色开采技术[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(4): 343-348.
QIAN Minggao, XU Jialin, MIAO Xiexing. Green technique in coal mining [J]. J China Univ Min Tech, 2003, 32(4): 343-348.
- [4] 许家林, 钱鸣高, 朱卫兵. 覆岩主关键层对地表下沉动态的影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5): 787-791.
XU Jialin, QIAN Minggao, ZHU Weibing. Study on influences of primary key stratum on surface dynamic subsidence[J]. Chin J Rock Mech Eng, 2005, 24(5): 787-791.
- [5] 许家林, 朱卫兵, 李兴尚, 等. 控制煤矿开采沉陷的部分充填开采技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(1): 6-11.
XU Jialin, ZHU Weibing, LI Xingshang, *et al.* Study of the technology of partial-filling to control coal mining subsidence[J]. J Min Saf Eng, 2006, 23(1): 6-11.
- [6] 叶建平, 史保生, 张春才. 中国煤储层渗透性及其主要影响因素[J]. 煤炭学报, 1999, 24(2): 118-122.
YE Jianping, SHI Baosheng, ZHANG Chuncai. Coal reservoir permeability and its controlled factors in China [J]. J China Coal Soc, 1999, 24(2): 118-122.
- [7] 许家林, 钱鸣高. 地面钻井抽放上覆远距离卸压煤层气试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29(1): 78-82.
XU Jialin, QIAN Minggao. Study on drainage of relieved methane from overlying coal seam far away from the protective seam by surface well [J]. J China Univ Min Tech, 2000, 29(1): 78-82.
- [8] 许家林, 钱鸣高, 金宏伟. 基于岩层移动的“煤与煤层气共采”技术研究[J]. 煤炭学报, 2004, 29(2): 129-132.
XU Jialin, QIAN Minggao, JIN Hongwei. Study on "coal

零售业中商品选择问题的遗传算法研究

程 岩

复旦大学管理学院 信息管理与信息系统系, 上海 200433

[摘要] 选择经营哪些商品是零售业面对的一个重大决策问题, 这个问题需要考虑到商品之间的交叉销售效果。最近的研究成果表明这一问题是 NP 难问题。采用定量关联规则技术来计算交叉销售效果, 并提出一个面向商品选择问题的遗传算法。由于交叉销售效果是一个不精确的信息, 根据遗传算法的要求, 进一步研究了面向不精确信息的适应度函数, 从而使遗传算法适用于基于交叉销售效果分析的商品选择问题。

[关键词] 遗传算法; 数据挖掘; 关联规则; 交叉销售

[中图分类号] TP311 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-7857(2007)07-0065-06

Genetic Algorithm for Item Selections in Retail Business

CHENG Yan

Department of Information Management and Information System of Management School, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: A fundamental problem in retail business is selecting items with consideration of "cross-selling effect". Recent studies show that the problem is NP-hard. In this paper, the genetic algorithm is applied to this problem, and a quantitative analysis method for "cross-selling effect" is proposed, using quantitative association rules, and a newly developed data mining technique to identify quantitative affinities in large transaction databases. Based on the features of the genetic algorithm, a method of defining imprecise fitness function is proposed, which can be used for solving item selection problems with imprecision cross-selling effect.

Key Words: genetic algorithm; data mining; quantitative association rule; cross-selling

CLC Number: TP311

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)07-0065-06

收稿日期: 2006-11-13

作者简介: 程 岩, 男, 复旦大学管理学院信息管理与信息系统系, 讲师, 研究方向为电子商务、数据挖掘;

E-mail: yancheng@fudan.edu.cn

- and coal-bed methane simultaneous extraction" technique on the basis of strata movement [J]. J China Coal Soc, 2004, 29(2): 129-132.
- [9] 刘泽功, 袁 亮, 戴广龙, 等. 开采煤层顶板环形裂隙圈内走向长钻孔法抽放瓦斯研究[J]. 中国工程科学, 2004, 6(5): 32-38.
LIU Zegong, YUAN Liang, DAI Guanglong, et al. Study on coal seam roof gas drainage from the strike of annular fracture areas by the long drill method [J]. Eng Sci, 2004, 6(5): 32-38.
- [10] 师本强, 侯忠杰. 陕北榆神府矿区保水采煤方法研究[J]. 煤炭工程, 2006(1): 63-65.
SHI Benqiang, HOU Zhongjie. Research on coal mining method with water conservation in Yushen mining area [J]. Coal Eng, 2006(1): 63-65.
- [11] 张东升, 马立强. 特厚坚硬岩层组下保水采煤技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(1): 62-65.
ZHANG Dongsheng, MA Liqiang. Coal mining technique with water conservation under hard-and-thick strata[J]. J Min Saf Eng, 2006, 23(1): 62-65.
- [12] 张吉雄, 缪协兴. 煤矿矸石井下处理的研究[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(2): 197-200.
ZHANG Jixiong, MIAO Xiexing. Underground disposal of waste in coal mine[J]. J China Univ Min Tech, 2006, 35(2): 197-200.
- [13] 梁 杰. 煤炭地下气化技术[J]. 中国科学人, 2006(4): 82-83.
LIANG Jie. The technology of underground coal gasification[J]. Scientific Chinese, 2006(4): 82-83.

(责任编辑 李慧政)