

文章编号:0253-9993(2010)12-1963-06

# 超高水材料采空区充填方法研究

冯光明<sup>1</sup>,孙春东<sup>1,2</sup>,王成真<sup>1</sup>,周 振<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学 矿业工程学院,江苏 徐州 221008;2. 冀中能源集团有限责任公司 邯郸矿业集团,河北 邯郸 056000)

**摘 要:**为解放建筑物下压煤,结合超高水材料的基本性能,研究出超高水材料采空区充填开采技术。该技术包括开放式、袋式、混合式和分段阻隔式 4 种充填方式,对各种充填方式的充填过程、优缺点及适用条件进行了分析。结果表明:在井下潮湿、低温、封闭的环境中,超高水材料是一种理想的采空区充填材料;该材料及相应的充填开采方法是未来采空区充填开采技术的发展方向之一。

**关键词:**超高水材料;充填开采方法;开放式;袋式;混合式;分段阻隔式

**中图分类号:**TD823.7 **文献标志码:**A

## Research on goaf filling methods with super high-water material

FENG Guang-ming<sup>1</sup>, SUN Chun-dong<sup>1,2</sup>, WANG Cheng-zhen<sup>1</sup>, ZHOU Zhen<sup>1</sup>

(1. School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Handan Mining Group, Jizhong Energy Group Co., Ltd., Handan 056000, China)

**Abstract:** Based on the basic properties of super high-water material, the technology of goaf filling mining with super high-water material was studied out in order to liberate the coal resources under buildings. There are four types in the technology, including open filling, bag filling, hybrid filling and partition filling. Every type was analyzed detailedly, containing its filling process, advantages, disadvantages and applicable conditions. The results show that super high-water material is an ideal goaf filling material in a wet, cold and closed environment, and the material with its corresponding fill mining methods is one of the development directions of future goaf filling mining technologies.

**Key words:** super high-water material; filling mining methods; open; bag; hybrid; partition

我国生产矿井“三下”压煤量约 140 亿 t,其中建筑物下压煤约为 90 亿 t<sup>[1]</sup>。而这些储量大多集中于工业基础较好且对煤炭资源需求较为紧迫的经济发达的华东地区。因此,大力研究和发展“三下”压煤开采技术对充分利用地下资源,延长资源枯竭矿井寿命,促进煤炭工业的健康发展具有重要意义<sup>[2]</sup>。

采空区充填开采逐渐成为解放建筑物下压煤的方法之一,按充填材料不同,有水砂充填<sup>[3]</sup>、研石充填<sup>[4-5]</sup>和膏体充填<sup>[6-7]</sup>等。这些充填方法为解放建筑物下压煤提供了较为可行的途径,积累了许多实践经验,但仍存在一些不足,主要表现在:① 充填工艺复杂,初期投资高;② 充填料都以固体料为主,增加了井下辅助运输工程量;③ 劳动强度高;④ 充填与开采相互影响;⑤ 充填后采空区密实效果不理想。可见,研究和发

展能克服或改进这些不足的新型充填开

## 1 超高水材料简介

超高水材料是中国矿业大学研究发明的一种新型材料,由 A、B 两种材料组成。A 料主要以铝土矿、石膏等独立炼制成主料并配以复合超缓凝分散剂(又称外加剂 AA)构成;B 料由石膏、石灰混磨成主料并与少量复合速凝剂(又称外加剂 BB)构成。二者以 1:1 比例配合使用,水体积在 95%~97% 时,超高水材料固结体抗压强度可根据水体积和外加剂配方的不同而进行调节,且能实现初凝时间在 8~90 min 之间按需调整,其 28 d 强度可达 0.66~1.50 MPa。超高水材料 A、B 两主料单浆液可持续 30~40 h 不凝固,混合以后材料可快速水化并凝固,调整外加剂配方可改变材料性能,固结体初凝强度约

为最终强度的 20%，7 h 抗压强度可达到最终强度的 60%~90%，后期强度增长趋势较慢。超高水材料固结体由钙矾石、铝胶和游离水构成，钙矾石是其中的主要物质。文献[8]将水体积大于 95% 的材料称为超高水材料，而小于 95% 的材料为普通高水材料。超高水材料的水灰比可达 11:1，而普通高水材料水灰比为 2.5:1 左右，两者用水量相差甚大。

生产超高水材料的原料在我国非常丰富，且生产工艺简单。超高水材料具有早强快硬、两主料单浆(A 或 B 浆液)流动性好、初凝时间可调等特点，生成的固结体不收缩，体应变小，在三向受力状态下有良好的不可压缩性。超高水材料惟一的不足就是抗风化<sup>[9-10]</sup>及抗高温(400℃以上)性能<sup>[11]</sup>较差，即该材料不适于在干燥、开放及高温环境中使用。可见，在井下密闭、潮湿、低温的采空区中，超高水材料是一种非常好的充填材料。

## 2 超高水材料充填系统

结合超高水材料的基本性能，超高水材料充填系统如图 1 所示。

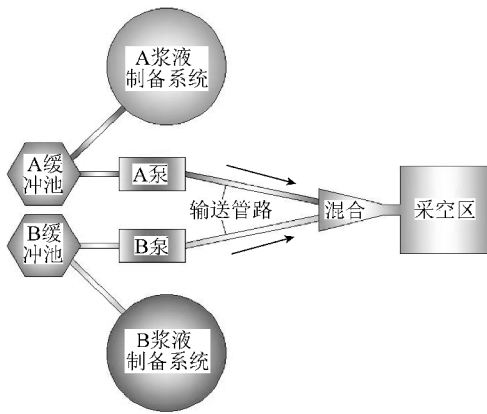


图 1 超高水材料充填开采系统

Fig. 1 The system of filling mining with super high-water material

A 浆液制备系统和 B 浆液制备系统生产设备完全相同，系统的配料装置完全由 PLC(数字运算操作电子系统的可编程逻辑控制器)控制，可保证材料配方的准确性。该系统可置于井下，也可在地面，生产出的超高水材料浆液进入缓冲池。待 A、B 缓冲池分别储存一定量的单料浆液后，同时开启 A、B 柱塞泵，经专用管路将 A、B 浆液输送到工作面。随着工作面推进，将超高水材料混合浆液保持在采空区并在可控时间内凝固，凝固后的固结体支撑上覆岩层。

## 3 超高水材料充填开采方法

将超高水材料浆液输送至工作面后，可通过以下

两种方法将其保持在采空区并凝固：① 利用超高水材料浆液良好的流动性令其自然流淌与漫溢，直至充满整个采空区；② 可通过管路将其导引至预先设置于采空区的封闭空间或袋包内，使其按要求成形固结体。这两种基本方法相互组合又可形成新的充填方法，其适应性更强。目前，超高水材料采空区充填开采技术主要有开放式、袋式、混合式和分段阻隔式 4 种。

### 3.1 开放式充填法

该方法是指在仰斜开采条件下，对采空区不进行任何调控，完全利用超高水材料浆液的自流动性将采空区充满，凝固后的充填体与垮矸以及围岩形成一个完整的结构体来控制上覆岩层活动，如图 2 所示。

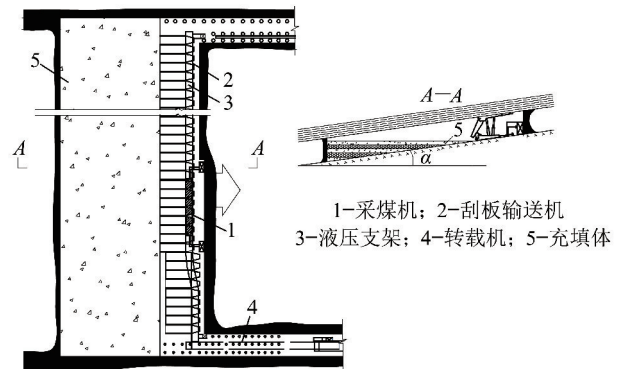


图 2 开放式充填开采示意

Fig. 2 Schematic diagram of open filling mining

由图 2 可知，直接顶垮落步距大于采空区悬顶距离时，充填可使直接顶不垮，但开放式充填不考虑直接顶稳定与否，若直接顶垮落，超高水材料浆液仍可将垮矸间缝隙充满<sup>[12]</sup>，阻止垮矸被压实，由此减小地表下沉率<sup>[13]</sup>。

#### 3.1.1 充填过程分析

为了保证充填效果，应该尽量防止直接顶垮落，严格按照以下步骤进行充填工作：

(1) 首先根据充填开采工作面围岩条件并结合同煤层已开采工作面直接顶的垮落情况估算出该工作面直接顶垮落步距，然后结合煤层厚度、倾角以及赋存条件确定充填可否使直接顶不垮落。

(2) 若开放式充填能使直接顶不垮落，自开切眼始，工作面推进距离接近直接顶垮落步距时，必须对采空区进行充填直至图 2 所示状态，之后随采随充。充填结束时，两巷起封闭墙，将采空区充满。

(3) 若不能阻止直接顶垮落，则可根据地表的减沉要求及上覆岩层情况，进行若干(根据实际情况而定)班采煤后将采空区垮矸间缝隙一次性充填。充填结束时，处理方式同上。

### 3.1.2 开放式充填的优缺点

从以上分析可知,开放式充填的优点:①充填与开采互不影响,工作面产量不受充填工艺制约;②充填工艺简单,工作面支架不需改造;③直接顶垮落与否不影响充填工作,人员作业不在采空区,充填过程安全可靠;④充填速度快,与采煤同步;⑤人员需求少,劳动强度低,易于组织与管理;⑥充填后采空区密实效果很好,对采场顶底板突水、采空区浮煤自燃以及瓦斯突出有防控作用。

开放式充填的不足:当采高较大、煤层倾角较小或顶板条件不好时,充填难以阻止顶板垮落,从而导致井下充填效果不能直观地显现出来。此外,当工作面涌水较大时,对充填效果有一定影响,需采取疏水措施。

### 3.1.3 适用条件

超高水材料采空区充填利用了超高水材料浆液的高流动性这一重要特点,工作面的煤层倾角越大越有利于超高水材料浆液的流动,也有利于提高超高水材料的充填率,从而更有利于控制上覆岩层活动。但煤层倾角过大又不利于工作面进行采煤,故超高水材料开放式充填工艺适用于煤层倾角较大且可进行仰斜开采的工作面。另外,在煤层倾角及采空区围岩条件一定的情况下,煤层回采厚度决定工作面后方的悬顶距离,直接顶不垮或充填减沉率较大时,就必须考虑可采煤厚或采取一定的措施。

## 3.2 袋式充填法

该方法将超高水材料浆液通过管路充入预先在采空区设置好的充填袋内,使用凝固后的充填体控制上覆岩层活动,如图3所示。

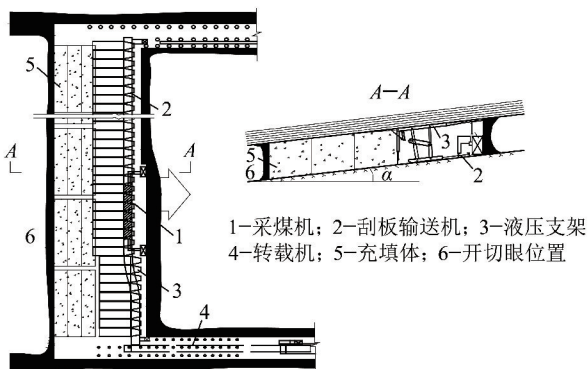


图3 袋式充填示意

Fig. 3 Schematic diagram of bag filling mining

### 3.2.1 充填过程分析

该方法需要专门的充填支架,采煤与充填工作协调进行。

(1)根据煤层厚度、采煤进尺及围岩条件确定并

制作一定尺寸的柔性充填袋。

(2)自开切眼始,即在支架后方架设充填袋。

(3)用专用柔性管路把混合好的超高水材料浆液灌入充填袋内,凝固后形成充填体。

(4)袋内超高水材料固结体稳固后,采煤并前移支架,回采尺寸和充填袋宽度相近时停止采煤,支架后方架设充填袋并充填。如此循环,直至进行完整个工作面。

### 3.2.2 袋式充填的优缺点

从图3可知,袋式充填的优点:①能适用于现有大多数采煤方法与回采工艺条件下的采空区充填要求;②可直接控制直接顶,充填效果直观;③受工作面涌水影响小。此外,该方法还可根据需要进行两巷沿空留巷。

不足:①充填袋架设工序与劳动组织较复杂,工作量较大,对作业环节安全要求高;②充填与回采两工艺存在相互影响,配合管理技术要求高。

### 3.2.3 适用条件

与开放式充填相比,袋式充填适用性更广,特别是对水平或近水平条件下的煤层有较好的适应性。但在采高过大时,难以架设充填袋,不适宜运用袋式充填开采。

## 3.3 混合式充填法

该方法将袋式充填和开放式充填相结合,采空区部分采用袋式充填,只要保证顶板短期内不垮即可,工作面推进一定距离后用充填袋将采空区未充填的部分封闭,然后向内充入超高水材料浆液,这种方法也适合于两巷沿空留巷,如图4所示。

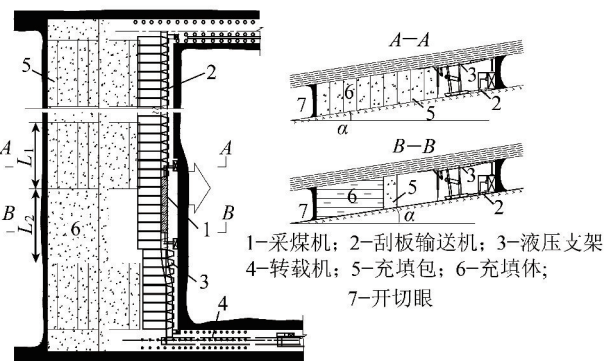


图4 混合式充填示意

Fig. 4 Schematic diagram of hybrid filling mining

### 3.3.1 充填过程分析

(1)确定充填袋长度  $L_1$  与充填袋间隔距离  $L_2$ , 其值与采场参数、顶板岩层条件、煤层倾角和采高等因素有关;

(2)将工作面分成若干区域,间隔布置充填袋,如图4所示;

(3)视情况对两充填袋之间的剩余空间进行开放式或封闭后充填。

### 3.3.2 混合式充填的优缺点及适用条件

混合式充填与袋式充填相比,减少了吊挂充填袋的工作量,提高了充填效率,降低了充填成本;与开放式充填相比,可应用于水平及近水平煤层,适应性增强。混合式充填集合了两者的长处,改进了部分不足,但仍存在劳动组织较复杂、充填与开采相互影响等不足。混合式充填也需要架设充填袋,适用于采高较小的充填工作面。

### 3.4 分段阻隔式充填法

该方法是在工作面推进一定距离后,在工作面后方构筑一条隔离墙,然后将超高水材料浆液充入被隔离的采空区内,如图 5 所示。

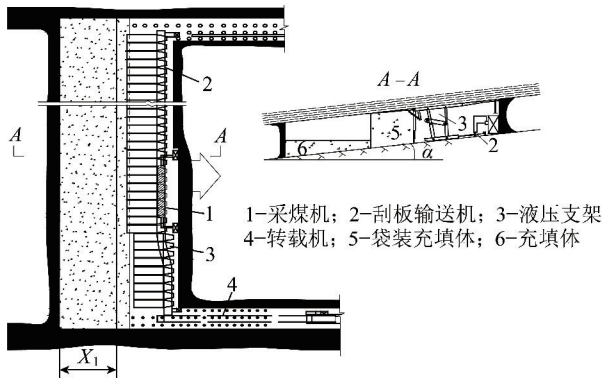


图 5 分段阻隔式充填示意

Fig. 5 Schematic diagram of partition filling

隔离墙可借鉴袋式充填中的方法在工作面后方设置若干充填体,墙体厚度可根据需要进行调整。在炮采或普采工作面,若底板松软或为泥岩,又或黏泥来源丰富方便,隔离墙则可用图 6 所示方法进行构筑,实际效果如图 7(c)所示。

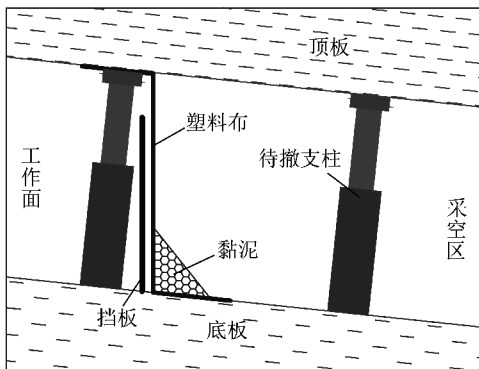
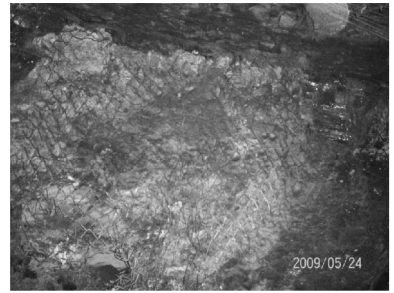


图 6 挡板、塑料布简易隔离墙

Fig. 6 Simple partition wall with baffle and plastic cloth

#### 3.4.1 充填过程分析

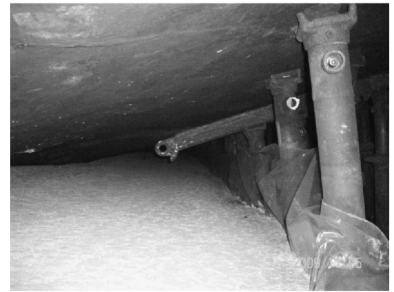
(1)估算出直接顶垮落步距,为安全考虑,按 0.7 倍垮落步距 ( $X_1$ ) 对充填与采煤工作进行分段,即工



(a) 12701上01工作面开放式



(b) 12701上05工作面下部袋式



(c) 11611工作面分段阻隔式

图 7 超高水材料充填开采后采空区照

Fig. 7 Actual photos in goaf after filling mining with super high-water material

作面每推进 0.7 倍垮落步距进行一次充填;

(2)工作面推进 0.7 倍垮落步距后停止采煤,为充填构筑隔离墙;

(3)若采用充填袋构筑隔离墙,充入袋内的超高水材料水体积含量需要小于采空区漫灌的超高水材料水体积含量,以便于提高隔离墙强度;

(4)若采用图 6 所示的简易隔离墙,需采用质量较好的塑料布,用黏泥压实塑料布时务必要细致,防止充填时漏浆。

#### 3.4.2 分段阻隔式充填的优缺点及适用条件

分段阻隔式充填的优点:与开放式相比,能完全阻止顶板垮落,充填效果更直观;与袋式、混合式相比,对采煤工作的影响变小,劳动组织较简单,工作量减小。存在的主要问题是构筑隔离墙时,存在安全隐患,需要专门的充填支架、支柱与之配合。因此,分段阻隔式充填法适用于煤层顶板比较稳定,采高不大的缓倾斜或倾斜充填工作面。

### 3.5 其他充填方法

充填材料是充填开采技术的核心,不同的充填材

料所需要的充填工艺系统和采空区充填开采方法不同。超高水材料由于其良好的性能,不仅有其独特的充填工艺系统和开采方法,而且在传统的充填开采方法中也可得到应用。

以矸石和粉煤灰为主要充填骨料的覆岩离层注浆充填技术<sup>[14]</sup>以及文献[1]提出的部分充填开采技术(包括短壁间隔条带充填、覆岩离层分区注浆<sup>[15]</sup>和条带开采冒落区注浆充填技术<sup>[16-17]</sup>)均可将超高水材料作为充填材料。

#### 4 超高水材料充填开采技术应用

超高水材料充填开采技术是伴随着超高水材料的发明而新兴的一种新技术。

自 2008 年 9 月以来,该技术分别在邯鄹矿业集团陶一煤矿 12701 上 01、02、03、05 工作面和临沂矿业集团田庄煤矿 11611 充填工作面进行了现场应用,均采用仰斜充填开采。各工作面充填后成本大致相同,充填吨煤综合成本增加约 66.92 元,占充填开采吨煤总成本的 22.5%,具体充填情况如表 1 和图 7 所示。

分析表 1,并结合实际充填情况可知:12701 上 01 工作面为国内超高水材料充填首采工作面,技术熟练度较低,充填率较 12701 上 03 工作面低;袋式充填在实际充填过程中,充填体不能完全接顶,充填率也较低;12701 上 05 工作面上部混合式充填时,浆液将下部未充填空间充满,充填率较高。

表 1 超高水材料充填开采技术应用情况

Table 1 Application situations of the technology of filling mining with super high-water

工作面名称	12701 上 01	12701 上 02	12701 上 03	12701 上 05 下部	12701 上 05 上部	11611
	开放式	袋式	开放式	袋式	混合式	分段阻隔式
已采出煤量/t	78 290	69 746	79 173	18 536	36 637	55 608
充填率/%	82.0	83.4	92.1	76.1	98.7	94.0

图 7(a)为 12701 上 02 工作面风巷向 01 工作面采空区掘进硐室揭露的原 12701 上 01 工作面运巷下方垮矸与超高水材料混合体,经过半年多的时间,超高水材料固结体无返水现象,稳定性良好;图 7(b)为 12701 上 05 工作面下部袋式充填后采空区内充填体;图 7(c)为 11611 工作面运用图 6 方式构筑简易隔离墙后采空区超高水材料充填凝固效果。地表移动变形截止目前观测结果显示,地表基本无变化,超高水材料采空区充填完全满足保护地面设施的要求。

#### 5 结 论

(1)在井下潮湿、低温、封闭的采空环境下,超高水材料是一种理想的“三下”充填材料。

(2)超高水材料制浆系统能生产出连续的超高水材料浆液,该系统可置于井下,也可在地面。

(3)超高水材料采空区充填开采技术具有充填工艺简单,初期投资低,劳动强度低,充填成本低,机械化程度高,实际应用与操作方便,充填与开采互不影响,对煤矿地质条件适应性强等显著优点。

(4)超高水材料充填对采场顶底板突水、采空区浮煤自燃以及瓦斯突出有防控作用,也能阻止地下水系的破坏。

#### 参考文献:

[1] 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]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(1):6-11.

[2] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等. 论科学采矿[J]. 采矿与安全工程学报,2008,25(1):1-10.

Qian Minggao, Miao Xiexing, Xu Jialin, et al. On scientized mining [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2008, 25(1):1-10.

[3] 马树元,李 报,李桂新,等. 高德矿增大水砂充填供水能力的研究[J]. 阜新矿业学院学报,1991,10(2):25-29.

Ma Shuyuan, Li Bao, Li Guixin, et al. The study of raising the ability of water supply of the hydraulic backfilling in Gaode Mine [J]. Journal of Fuxin Mining Institute, 1991, 10(2):25-29.

[4] 缪协兴,张吉雄. 矸石充填采煤中的矿压显现规律分析[J]. 采矿与安全工程学报,2007,24(4):379-382.

Miao Xiexing, Zhang Jixiong. Analysis of strata behavior in the process of coal mining by gangue backfilling [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(4):379-382.

[5] 胡炳南,郭爱国. 矸石充填材料压缩仿真实验研究[J]. 煤炭学报,2009,34(8):1 076-1 080.

Hu Bingnan, Guo Aiguo. Testing study on coal waste back filling material compression simulation [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(8):1 076-1 080.

[6] 赵才智,周华强,柏建彪,等. 膏体充填材料强度影响因素分析[J]. 辽宁工程技术大学学报,2006,25(6):904-906.

Zhao Caizhi, Zhou Huaqiang, Bai Jianbiao, et al. Influence factor analysis of paste filling material strength [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2006, 25(6):904-906.

[7] 崔增娣,孙恒虎. 煤矸石凝石似膏体充填材料的制备及其性能

- [J]. 煤炭学报, 2010, 35(6): 896-899.
- Cui Zengdi, Sun Henghu. The preparation and properties of coal gangue based sialite paste-like backfill material[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(6): 896-899.
- [8] 冯光明. 超高水充填材料及其充填开采技术研究与应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2009.
- Feng Guangming. Research on the superhigh-water packing material and filling mining technology and their application[D]. Xuzhou: China University of Mining & Technology, 2009.
- [9] 陈贤拓, 邹瑞珍, 陈霄榕. 钙矾石表面碳化动力学及反应机理[J]. 河北轻化工学院学报, 1993, 14(3): 1-5.
- Chen Xiantuo, Zou Ruizhen, Chen Xiaorong. The surface carbonation kinetics of ettringite and its reaction mechanism[J]. Journal of Hebei Institute of Chemical Technology and Light Industry, 1993, 14(3): 1-5.
- [10] 陈贤拓, 邹瑞珍, 陈霄榕. 钙矾石表面碳化反应机理研究[J]. 硅酸盐学报, 1994, 22(5): 470-474.
- Chen Xiantuo, Zou Ruizhen, Chen Xiaorong. Study on mechanism of carbonation on the surface of ettringite[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 1994, 22(5): 470-474.
- [11] 王善拔. 钙矾石热稳定性的研究[J]. 膨胀剂与膨胀混凝土, 2007(1): 8-11.
- Wang Shanba. Research on thermal stability of ettringite[J]. Expansive Agents & Expansive Concrete, 2007(1): 8-11.
- [12] 邹友峰, 邓喀中, 马伟民. 矿山开采沉陷工程[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- Zou Youfeng, Deng Kazhong, Ma Weiming. Mining subsidence engineering[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2003.
- [13] 何国清, 杨 伦, 凌赓娣, 等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
- He Guoqing, Yang Lun, Ling Gengdi, et al. Mining subsidence science[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1991.
- [14] 刘文生. 覆岩离层注浆充填保护地面高压线路试验研究[J]. 煤炭学报, 2001, 26(3): 236-239.
- Liu Wensheng. Experimental study on protecting high voltage electric power lines by grouting separated strata zone in overburden[J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(3): 236-239.
- [15] 朱卫兵, 许家林, 赖文奇, 等. 覆岩离层分区隔离注浆充填减沉技术的理论研究[J]. 煤炭学报, 2007, 32(5): 458-462.
- Zhu Weibing, Xu Jialin, Lai Wenqi, et al. Research of isolated section-grouting technology for overburden bed separation space to reduce subsidence[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(5): 458-462.
- [16] 李兴尚. 建筑物下条带开采冒落区注浆充填减沉技术的理论研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008.
- Li Xingshang. Study on mechanism of the grouting backfill in caving area with strip mining under buildings[D]. Xuzhou: China University of Mining & Technology, 2008.
- [17] 李兴尚, 许家林, 朱卫兵, 等. 垮落矸石注浆充填体压实特性的颗粒流模拟[J]. 煤炭学报, 2008, 33(4): 373-377.
- Li Xingshang, Xu Jialin, Zhu Weibing, et al. Simulation of backfill compaction character by particle flow code[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(4): 373-377.