

# 高水膨胀材料条带充填开采研究

刘树江<sup>1</sup>, 石建新<sup>1</sup>, 崔 锋<sup>2</sup>, 刘鹏亮<sup>2</sup>, 朱卫兵<sup>3</sup>

(1. 淄博市王煤矿业有限公司 王庄煤矿, 山东 淄博 255400; 2. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013;  
3. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116)

**[摘要]** 详细介绍了高水膨胀材料的特性及应用效果。根据王庄煤矿五采区的地质采矿条件, 结合关键层理论, 提出了条带充填开采方案, 并进行了相关参数的设计, 确定充填步距和充留宽度。分别设计了面积充满率为52%, 62%和73%三种方案, 地表移动计算结果表明: 三种方案地表下沉均控制在200mm以内, 水平变形控制在1mm/m以内, 通过采用高水膨胀材料条带充填能有效控制地表移动和变形, 保护地表建(构)筑物。

**[关键词]** 高水膨胀材料; 充填材料; 条带充填

**[中图分类号]** TD823.6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2012) 01-0100-03

## Research on Strip Stowing Mining with Expansive and High-water-content Material

LIU Shu-jiang<sup>1</sup>, SHI Jian-xin<sup>2</sup>, CUI Feng<sup>2</sup>, LIU Peng-liang<sup>2</sup>, ZHU Wei-bing<sup>3</sup>

(1. Wangzhuang Colliery, Wangmei Mining Co., Ltd, Zibo Municipal, Zibo 255400, China;  
2. Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd, Beijing 100013, China;  
3. Mining Engineering School, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** Characteristic of high-water expansive material and its application effect was introduced in this paper. Applying key strata theory, strip stowing mining project was put forward and related parameters including stowing pace, stowing and pillar width were designed on the basis of geological and technical condition of 5th mining area in Wangzhuang Colliery. 3 projects in which area stowing ratio was respectively 52%, 62% and 73% were calculated by surface movement calculation software. Results showed that surface subsidence of 3 projects was controlled below 200mm and horizontal deformation was controlled below 1mm/m. Applying high-water expansive material to stowing strip could effectively control surface movement and deformation so as to protect surface buildings.

**Key words:** high-water expansive material; stowing material; strip stowing

煤炭资源的开采在推动国民经济发展的同时, 对地面及其环境造成较大程度的影响与破坏<sup>[1-3]</sup>, 采用充填开采能有效减少地表沉陷, 保护生态环境, 是解放建筑物下压煤, 实现绿色开采<sup>[4]</sup>的有效途径。因充填材料不足及充填成本高等原因, 导致我国每年采用充填开采出煤量不足年产量的3%。淄博市王庄煤矿为解放建筑物下压煤, 保护地表土地资源, 研发了高水膨胀材料, 并为进一步降低成本, 联合天地科技股份有限公司开采设计事业部等相关单位研究了条带充填开采的技术方案。

## 1 高水膨胀材料特性及应用效果

### 1.1 材料组成

高水膨胀材料是以粉煤灰为主料, 延缓剂、速凝剂、固化剂和膨胀剂等作为辅料, 与水充分搅拌混合后, 制成水固质量比(1.2~1.5):1的充填料

浆。

### 1.2 材料膨胀性

充填时充填材料能否接实顶板是影响支撑效果的重要因素。由于当前两相流充填材料在体积上无变化(甚至收缩)的原因, 充填接顶率仅为80%~90%。而高水膨胀充填材料通过内部物料反应产生较多细小气泡, 使得体积膨胀率达8%~10%, 因此可实现充填体主动接顶, 达到与顶板岩层的良好匹配, 改变了一直以来充填体属于被动支护结构的传统, 从源头提高了充填体的主动接顶效果, 起到了对上覆岩层良好地支撑。

### 1.3 材料初凝时间

经过试验观测, 材料初凝时间为1.5h<sup>[5]</sup>, 终凝时间在4h以内, 可大幅度降低等待时间, 提高开采效率。

### 1.4 材料流动性

**[收稿日期]** 2011-11-17

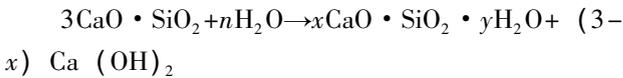
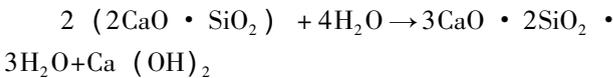
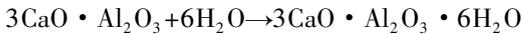
**[基金项目]** 天地科技股份有限公司工艺技术创新基金项目(KJ-JJ-2011-KCSJ-06); 中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金项目(2011MS014)

**[作者简介]** 刘树江(1966-), 男, 吉林榆树人, 高级工程师, 现任王庄煤矿副矿长、总工程师。研究方向为建筑物下采煤及充填开采。

当前两相流充填材料的水固比为 (0.2 ~ 0.3) : 1, 含水量仅 18% ~ 22%, 新拌充填体形似混凝土, 其流动性用混凝土行业通用的坍落度表示, 一般为 190 ~ 250mm, 需用价格高昂的专业充填泵加压才能将充填料浆从地面制备站输送到工作面。而高水膨胀系列充填材料水固比为 (1.2 ~ 1.5) : 1, 含水量达到 55% ~ 60%, 能够实现充填倍线 15 ~ 20 倍以内的远距离自流输送, 满足了绝大部分矿井自流输送的需要。由于流动性的大幅度提高, 节省了充填泵的设备投入, 简化了充填系统, 提高了输送效率。

### 1.5 强度及抗风化性

固化后的充填体是基料中的  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与辅料中的碱土氢氧化物发生化学反应而生成的具有水硬胶结性能的水化硅酸钙 ( $\text{C}_2\text{S}_2\text{H}$  凝胶)、水化铝酸钙 (CAS)、 $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  等系列水化产物。



随着水化不断进行, 充填体结构不断紧密, 固相越来越多, 液相逐渐减少直至消失; 当具有能够抵抗相当外力作用的结构强度时, 便达到终凝。高水膨胀材料 12h 单轴抗压强度可达 0.5MPa, 28d 可达 2.2MPa, 2 个月达 15.7MPa, 19 个月可达 31.3MPa<sup>[6]</sup>。经过井下长达 19 个月的实际观测, 充填体无风化现象, 证明其高抗风化性能。

### 1.6 材料可扩展性

高水膨胀材料具有良好的扩展性, 为降低充填成本, 可因地制宜加入原固料质量的 80% ~ 120% 骨料, 如金属尾矿、赤泥、风积砂、煤矸石、河沙、建筑垃圾等。根据试验, 加入原固料质量 100% 的风积砂后材料充填倍线仍在 10 倍以上, 3d, 14d, 7 个月强度分别为 1.9MPa, 2.8MPa, 9.6MPa。

### 1.7 应用效果

2008 年 1 月到 2009 年 10 月, 在王庄煤矿 14601 工作面进行了高水膨胀材料全部充填工业试验, 走向长壁工作面长度 70m, 推进 62m, 倾斜长壁工作面长度 70m, 推进 72m (如图 1 所示)。6 煤厚 0.9 ~ 0.95m, 中间夹 0.8 ~ 0.95m 泥岩, 实际采高 1.83m, 平均埋深 230m。截止 2009 年 10 月, 地表最大下沉 20mm。依据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》计算, 全

部充填充分开采条件下地表下沉系数  $q_{充} = 0.02$ , 而其他充填地表下沉系数一般 0.1 ~ 0.3, 说明高水膨胀材料控制地表移动效果明显, 为条带充填开采提供了可行性。

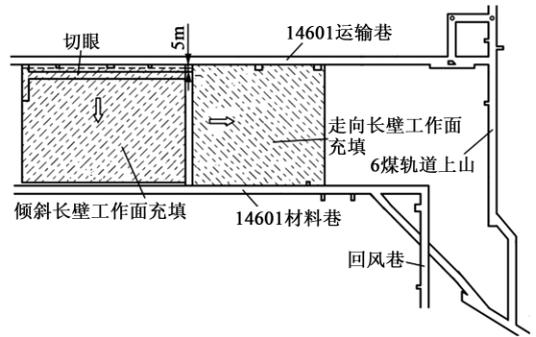


图1 14601 试验工作面布置

## 2 条带充填开采设计

条带充填开采是部分充填的一种, 利用充填体构筑的条带支撑煤层顶板, 从而实现控制覆岩移动和变形的目的。

其原理是: 通过充填, 使未充填采空区的宽度小于覆岩主关键层的初次破断步距, 覆岩主关键层保持稳定, 即可有效控制地表沉陷<sup>[7]</sup>。相对于采空区全部充填, 条带充填的充填范围减小, 充填成本降低, 提高了回采工作的效率; 而顶板支撑范围的减小势必降低地表沉陷的控制效果。

### 2.1 研究区概况

王庄煤矿五采区位于井田东北部, 地表有农田、厂房、高速公路、民居等。开采煤层为 4 煤, 地层为二迭系山西组, 煤层结构简单, 比较稳定, 直接顶为泥岩, 基本顶为粉砂岩, 直接底为粉砂岩。五采区煤层赋存如表 1 所示。

表1 五采区煤层赋存情况

采区	厚度/m	埋深/m	倾角/(°)
五采区	0.7 ~ 1.1	280 ~ 330	3 ~ 6
	0.95	305	4.5

### 2.2 覆岩关键层计算

利用关键层判别软件, 对王庄煤矿五采区 27-12 钻孔柱状进行了判别, 并计算了工作面极限跨距。工作面极限跨距  $L$  是使关键层达到初次破断步距  $a$  的工作面推进最大距离, 如图 2 所示。五采区关键层特征及工作面极限跨距如表 2 所示。

### 2.3 条带充填参数设计

走向条带充填开采是在工作面开采的同时, 沿走向布置充填体, 实现控制覆岩移动和下沉的目的, 如图 3 所示。走向条带充填最主要的参数是充填步距及充留宽度。

表 2 五采区关键层特征及工作面极限跨距  
(破断  $\theta$  角取  $75^\circ$ )

关键层类别	厚度/m	岩性	埋深/m	与煤层垂距 $H'/m$	工作面极限跨距/m
主关键层	21.6	泥岩	147.0	125.9	92.37
亚关键层 4	9.8	细砂岩	239.6	45.1	46.87
亚关键层 3	4.7	细砂岩	268.6	21.2	31.36
亚关键层 2	4.3	粉砂岩	282.2	7.3	21.31
亚关键层 1	3.8	泥岩	290.7	0	12.50

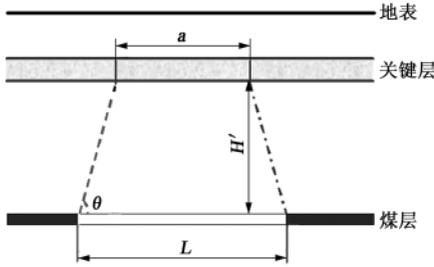


图 2 关键层破断步距与对应工作面极限跨距关系

(1) 充填步距 充填步距是每次沿走向充填的长度。充填步距越长, 充填循环越少, 越便于管理。同时充填步距越大, 导致控顶距变大。因此需根据覆岩情况, 确定合理的充填步距。根据五采区地质采矿条件, 亚关键层 1 是煤层的直接顶, 充填前需保证其不断裂。经计算煤层直接顶断裂步距(表 2) 为 12.5m, 考虑 1.5 倍的安全系数, 取 8m, 即充填步距为 8m。

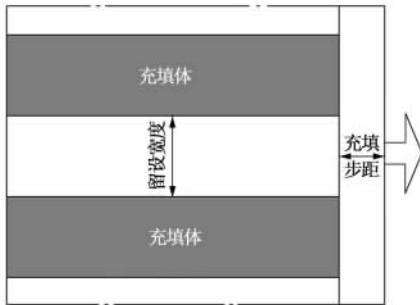


图 3 走向条带充填示意

(2) 充留宽度 根据表 2 计算结果, 考虑一定的安全系数, 将亚关键层 4 和亚关键层 3 看作主关键层的保护层, 即主关键层不破断垮落的同时亚关键层 4 和亚关键层 3 也不能出现破断垮落。由于亚关键层 3 在亚关键层 4 的下方, 所以主要考虑亚关键层 3。从表 2 可看出, 亚关键层 3 对应工作面的极限跨距为 31.36m, 考虑 1.5 倍的安全系数, 留设空区宽度在 22m 以内。根据 A. H. 威尔逊理论, 充填体极限载荷计算公式如下:

$$P_{jt} = 4\gamma H(a - 4.92mH \times 10^{-3}) \times 10^{-4} \quad (1)$$

充填体承受的实际载荷计算公式如下:

$$P_{st} = \gamma \left[ Ha + \frac{b}{2} \left( 2H - \frac{b}{0.6} \right) \right] \times 10^{-4} \quad (2)$$

式中,  $P_{jt}$  为长条煤柱极限载荷, kN;  $P_{st}$  为长条煤柱实际载荷, kN;  $a$  为煤柱宽度, m;  $\gamma$  为上覆岩层平均密度, 取  $25\text{kN/m}^3$ ;  $m$  为采高, m;  $H$  为采深, m;  $b$  为煤房宽度, m。

要保证煤柱的长期稳定, 一般要求安全系数  $K = P_{jt}/P_{st} = 1.5 \sim 2.0$ 。留设空区宽度 22m 时, 根据威尔逊强度理论, 充填体宽度不小于 15m。充填体实际宽度取决于充满率, 而充满率取决于地表移动控制要求。

### 2.4 方案选取

为保证充填效果, 结合五采区工作面布置情况, 分别选取了面积充满率 52%, 62%, 73% 三种方案, 其地表移动计算参数如表 3 所示, 计算结果如表 4 所示。

表 3 地表移动计算参数

方案	1	2	3
面积充满率/%	52	62	73
下沉系数	0.2	0.1	0.05
水平移动系数	0.22	0.22	0.22
主要影响角正切	1.9	1.9	1.9
拐点移动距	0	0	0
开采影响传播角	$90^\circ - 0.5\alpha$	$90^\circ - 0.5\alpha$	$90^\circ - 0.5\alpha$

表 4 地表移动计算结果

方案	1	2	3
最大下沉/mm	171	86	43
最大水平变形/(mm · m <sup>-1</sup> )	拉伸 0.71	0.49	0.41
	压缩 -0.56	-0.31	-0.15

根据表 4 计算结果可以看出 3 种方案地表下沉均控制在 200mm 以内, 水平变形能控制在 1mm/m 以内, 建筑物能不修或简单维修即可正常使用<sup>[8]</sup>, 先期按照方案 3 实行, 达到预期效果后, 可逐步按方案 2, 方案 1 实施。

### 3 结论

(1) 介绍了王庄矿研发的高水膨胀材料, 该材料具有凝固时间短、强度高、流动性好、抗风化性能强, 且具有一定的膨胀性, 较好地满足了煤矿充填开采需要。

(2) 分析了王庄煤矿五采区地质采矿条件, 得出覆岩各关键层断裂步距, 并依据此设计了条带

(下转 88 页)

险性。

(3) 由于现阶段采空区内仍注  $N_2$ ，漏风使得部分  $O_2$  会通过裂缝进入采空区稀释  $N_2$  浓度，因此降低了注氮的效果，对防灭火工作不利。

(4) 地表或岩层中的水通过裂隙流入采空区，经过水的浸泡后，采空区遗煤煤体更加松软，表面积增大，同时水进入采空区会释放潜热，增加采空区的温度，加大了自燃的危险性。

(5) 地表裂隙一般出现在采空区周边（两巷、切眼、工作面附近）的上部地表，而采空区周边均是遗煤较多且较破碎的地方，一旦漏风，充足的  $O_2$  进入采空区，为煤自燃提供缓慢氧化的条件。

因此，有必要开展确定地表至井下采空区的漏风通道以及治理地表漏风的工作。采用对 1901 工作面进、回风巷合适的断面进行多次测风，计算并比较进、回风风量。结果如表 1 所示。

表 1 1901 工作面进、回风巷风量测算

地点	断面面积/ $m^2$	风速/ $(m \cdot s^{-1})$	风量/ $(m^3 \cdot min^{-1})$
进风巷	19.75	0.40	477.56
回风巷	18.05	0.50	545.11

由表 1 可得出，回风巷风量比进风巷风量大  $67.55m^3/min$ 。为了尽可能减小误差，进行了多次精确测量，结果均为回风巷风量比进风巷风量大  $66m^3/min$  左右。由此，可以证实地表沉降产生的裂缝向采空区漏风。因此，需尽快采取相关措施。

### 5 地表沉陷漏风治理措施

地表漏风治理可以采取通过向采空区灌浆或者在地表填土掩埋裂缝的措施，结合元堡煤矿的实际情况，实施地表填土掩埋裂缝的措施。

(上接 102 页)

充填参数，充填步距控制为 8m，留设空区宽度不大于 22m，充填宽度不小于 15m。

(3) 计算了充满率 52%，62%，73% 情况下地表移动情况，得出地表下沉均控制在 200mm 以内，水平变形在 1mm/m 以内，基本能保证建筑物不修或简单维修，即可使用。

#### [参考文献]

[1] 张华兴. 对“三下”采煤技术未来的思考 [J]. 煤矿开采, 2011, 16 (1): 1-3.  
 [2] 张华兴, 郭爱国. 宽条带充填全柱开采的地表沉陷影响因素

(1) 用挖掘机沿着裂隙走向挖槽，槽深为 1~3m，宽为裂缝宽的 8~10 倍。

(2) 将黄土、沙、石灰按照 5:3:1 混合成三合土，加水搅拌成泥浆，制备完成之后，借助喷浆机快速喷射到裂缝中并且填实。

(3) 用黄土将槽填满并夯实。

经过对地表裂缝挖槽填土后，束管监测发现在停止向采空区注  $N_2$  之后，并没有发现  $O_2$  浓度有明显增大的现象，并且测量进出风巷和回风巷风量相差不大，可见采用此措施取得了明显的效果。

### 6 结论

针对 1901 工作面采空区上部地表沉陷初期的裂缝可能引起向井下漏风的隐患，根据元堡煤矿煤层地质、水文气候条件，总结出 9 号煤层上覆岩层及地表环境的特点和危害，分析了地表漏风对采空区遗煤自燃产生的影响，通过井下测风证实地表沉陷产生了与采空区贯通的裂缝，经过对地表裂缝挖槽填土后，效果明显。

#### [参考文献]

[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, 2000.  
 [2] 李宗翔. 高瓦斯易自燃采空区瓦斯与自燃耦合研究 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2007.  
 [3] 山西省地质勘查局二一七地质队. 元堡煤矿地质报告 [R]. 元堡煤矿生产技术科, 2010.  
 [4] 代杰, 董建海, 孟亚鹏. 柴里煤矿大面积采空区漏风状况的研究与治理 [J]. 山东煤炭科技, 2009 (3).  
 [5] 韩龙, 苏厅云. 大同煤矿采空区塌陷类型及防治方法 [J]. 探矿工程, 2003 (8).

[责任编辑: 邹正立]

研究 [J]. 煤炭企业管理, 2006 (6): 56-57.

[3] 闫少宏, 张华兴. 我国目前煤矿充填开采技术现状 [J]. 煤矿开采, 2008, 13 (3): 1-3.  
 [4] 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.  
 [5] 刘树江, 石建新, 王菁, 等. 高水膨胀材料充填采煤试验研究 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39 (6): 21-25.  
 [6] 石建新. 高水膨胀材料充填采煤技术的研究与应用 [J]. 山东煤炭科技, 2010 (4): 128-129.  
 [7] 许家林, 尤琪, 朱卫兵, 等. 条带充填控制开采沉陷的理论研究 [J]. 煤炭学报, 2007, 32 (2): 119-122.  
 [8] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.

[责任编辑: 徐乃忠]