

# 工业广场下采煤方法探讨

唐海, 邹复苏, 黄靖龙

(湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;  
湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:**为研究工业广场下压煤开采技术,以五亩冲煤矿“三下”开采为实例,结合现场实际情况,提出了3种开采方案,即重点保护建(构)筑物煤柱外开采方案(方案一);重点保护建(构)筑物留煤柱,其它建筑物控制变形等级采后维修方案(方案二);重点保护建(构)筑物留少量煤柱外充填开采方案(方案三)。通过对跨落法、条带法、充填法等采煤法引起地表变形分析,预测了3种方案对地表变形和建筑物的影响,并从技术上和经济上比较了3种方案的优缺点,认为方案三对地表建筑物极轻微影响,回收煤炭资源多,经济效益好,适合工业广场下采煤。

**关键词:**建筑物下;充填开采;保护煤柱;地表变形

**中图分类号:**TD823.83 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-5876(2014)01-0068-06

## On coal mining method under industry square

TANG Hai, ZOU Fushu, HUANG Jinglong

(Hunan Key Laboratory of Safe Mining Technology of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;  
School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** In order to study the coal mining technology under industry square, this paper, based on the “Three Unders” mining in Wumuchong Coal Mine and combined with the actual on-site situation, proposes three different mining methods, i. e. mining method reaming coal pillars under important buildings (scheme 1), mining method reaming coal pillars under important buildings and controlling deformation level and repairing after mining under common buildings (scheme 2), and mining method reaming a little coal pillars under important buildings and backfill mining under common buildings (scheme 3). By analyzing the surface deformation caused by caving method, strips mining method and backfill mining, this paper predicts the surface deformation and the influence on buildings produced by three different mining schemes. After analyzing the above three schemes from the perspectives of technology and economy, this paper considers that scheme 3 has a very slight effect on surface buildings, recycles more coal resource and yields good economic benefits, which is applicable to coal mining under industry square.

**Key words:** under buildings; backfill mining; protective coal pillar; surface deformation

煤炭是我国主要能源。据统计电力燃料的76%,钢铁能源的70%,民用燃料的80%,化工燃料的60%均来自于煤炭,因此,在未来较长的时间里,煤炭在我国能源消费中拥有绝对的主导地位。为开发煤炭资源,在煤田附近形成了以煤炭产业为中心的城镇,由此,也使建构筑物下、水体下、铁路

下(简称“三下”)积压了较大煤量,特别是我国南方老矿区,煤炭资源逐年枯竭,剩余储量多数属“三下”压煤,其中以工业广场建筑物下压煤量最大。据不完全统计,我国生产矿井“三下”压煤量达到 $1.4 \times 10^{10}$  t,其中建筑物下压煤 $8.76 \times 10^9$  t<sup>[1]</sup>。为解决“三下”采煤,国内外学者从充填材料、充填

收稿日期:2013-10-23

基金项目:煤矿安全开采技术湖南省重点实验室开放基金资助项目(201003;200803);湖南省国土资源厅科技资助项目(201239)

通信作者:唐海(1970-),男,湖南祁阳人,博士,副教授,研究方向:采矿工程. E-mail: tanghai707298@163.com

工艺、矿压理论及控制地表变形关键技术等方面进行了大量有益的探索.如文献[2-4]采用煤矿废弃的矸石,通过机械运输到采空区作充填材料,研究充填开采对地表沉陷的影响.文献[5,6]以矸石为主要骨料,加粉煤灰、水、胶结剂为辅料制成膏体,通过管道输送到采空区充填,研究充填开采上覆岩层运动规律及对地表建筑物的影响.文献[7-10]从充填工艺和矿压方面,探讨了充填开采控制地表沉陷的关键因素.本文结合五亩冲煤矿的现场实际,不仅从开采技术上,而且还从经济上分析了跨落法、充填法、条带法等采煤法在建筑物下开采的优缺点,合理地选择了适合该矿工业广场(建筑物)下采煤方案.

## 1 矿井概况

五亩冲煤矿属低瓦斯矿井,全矿只有2煤为可采煤层,厚度在2~4 m,平均厚2.77 m,倾角多在15°~20°之间.2煤为容易自燃煤层,爆炸性指数为35.2%,煤尘具有强烈的爆炸性.2煤层伪顶为粘土泥岩,厚0.1~0.5 m,平均厚0.3 m,随采随落;直接顶板为块状泥岩,局部夹有粉砂岩,细砂岩,厚0.47~13.10 m,平均厚3.2 m,属容易塌落岩层;直接底板为粘土岩,厚0.00~5.94 m,一般厚1.10 m,遇水膨胀,产生底鼓现象,强度低,工程地质性质差.从1969年建井以来,经过40多年的开采,矿井煤炭资源即将枯竭,只剩下工业广场下约 $1.8 \times 10^6$  t保安煤柱.保安煤柱对应地表建筑除主、付井、箕斗井、锅炉房、工人俱乐部、矿部、职工宿舍等建筑物外,还有车场、煤坪、道路和生活区以及矿区附近村组居民住宅等大量建筑群.建筑物以砖混、砖木结构为主,部分钢混结构.

五亩冲煤矿“三下”压煤量 $1.8 \times 10^6$  t,如丢弃不采,不仅是资源损失问题,还是企业生产经营、职工就业、家属安抚等诸多社会、经济问题.如强行开采(不管对地表的影响),将引起对地表设施的大量或不该有的损坏,甚至威胁井下的正常生产.如搬迁地表所有建筑物及厂房,一则煤炭可采储量只有约 $1.8 \times 10^6$  t,储量较小,采完保安煤柱,矿井就会关闭;二则牵连搬迁人员众多,有厂矿企业职工家属,有周边当地土居村民;涉及的问题众多,如迁址问题、搬迁补偿费如何计算与确定问题、就业问题等等.

基于以上原因,需采用一种经济合理、技术可靠的开采方法,使工业广场保安煤柱采后涉及到地表的井筒、居民楼、办公楼及其他建筑物等不变形或变形很少,能保持正常使用,尽可能多的开采出矿井大部分“三下”压煤是五亩冲煤矿当前急需的问题.

## 2 开采方案

五亩冲煤矿需要重点保护的建(构)筑物是井筒及其绞车房,根据文献[11]中有关规定以及五亩冲煤矿实际生产情况,提出重点保护建(构)筑物煤柱外开采方案(方案一)、重点保护建(构)筑物留煤柱,其它建筑物控制变形等级采后维修方案(方案二)及重点保护建(构)筑物留少量煤柱外充填开采方案(方案三)等3种适合于保安煤柱开采的技术方案,进行探讨.

### 2.1 重点保护建(构)筑物煤柱外开采方案

对工业广场重点建(构)筑物,如主、副井及绞车房,按岩层移动角采用垂线法留设保护煤柱,在煤柱范围外进行回采,采用全部垮落法管理顶板;对工业广场一般建筑物进行搬迁或采取加固、维修的方式进行开采.当采用全部垮落法管理采空区顶板时,通常从表土层(冲积层)和基岩两方面的移动角考虑建筑物下保安煤柱留设.五亩冲煤矿地表岩移资料:松散层内表土层移动角 $\varphi$ 为45°,上山方向岩层移动角 $\gamma$ 为73°,下山方向岩层移动角 $\beta$ 为70°,走向方向岩层移动角 $\delta$ 为73°.煤层厚度 $M$ 为4 m,煤层倾角 $\alpha$ 为20°.

### 2.2 重点保护建(构)筑物留煤柱,其它建筑物控制变形等级采后维修方案

采用走向条带采煤.为避免地表出现波浪形下沉盆地,采宽根据采深等因素确定.根据条带开采的经验,为了保证条带开采后地表出现单一平缓的下沉盆地,开采条带宽 $b'$ 与采深 $H$ 有以下关系:

$$b' = \left( \frac{1}{4} \sim \frac{1}{10} \right) H. \quad (1)$$

我国条带开采平均采宽约为1/8采深,即:

$$b' = \frac{1}{8} H. \quad (2)$$

按条带稳定性要求,保留条带宽度(煤柱)与采高有以下关系:

$$a \geq 5h. \quad (3)$$

式中,  $a$ : 保留条带宽度, m;  $h$ : 采高, m.

按保留条带承受的极限荷载来说, 有以下关系<sup>[12]</sup>:

$$a \geq 6.56Hh \times 10^{-3} + \frac{b'}{3} - \frac{b'^2}{3.6H} \quad (4)$$

采用 A. H. Wilson 得出在一般采深时条带煤柱宽度可取开采深度的 10% 外加 9.1 ~ 13.7 m. 即:

$$a = 0.1H + (9.1 \sim 13.7). \quad (5)$$

保安煤柱煤厚比较稳定, 一般为 4 m, 其标高在 -160 ~ -280 m 之间, 而对应的地表标高一般在 124 ~ 130 m 之间, 因此, 保安煤柱的采深为 284 ~ 410 m, 按式(2)可得出  $b' = 35.5 \sim 51.25$  m, 按式(3) ~ 式(5)可得出  $a = 54.7$  m, 取开采条带宽度 50 m, 留设煤柱 60 m.

### 2.3 重点保护建(构)筑物留少量煤柱外充填开采方案

采用五亩冲传统沿袭的走向长壁采煤法, 全部充填处理采空区, 随采随充, 由于五亩冲矿顶板破碎, 限制了作业空间, 拟采用非开放式充填(袋式充填)即在采空区沿走向方向连续布置若干个柔性充填袋, 之后将充填材料充入其中使之饱满. 当袋中材料凝固后, 固结体即对采空区顶板起到支撑作用.

## 3 变形预测

预计地表移动与变形时, 根据我国煤矿的实际情况, 可以选用典型曲线法、负指数函数法、概率积分法、数值算法(有限单元法、边界元法和离散单元法等)方法. 但无论采用何种方法, 都应具备相应的参数. 未经实测资料充分验证的方法, 在预计中不宜采用. 为简单起见, 设计方案采用概率积分法, 以首采区为例预测其地表变形.

### 3.1 参数选取与确定

五亩冲煤矿保安煤柱首采区段, 拟布置在板塘冲断层的北翼, 竹山塘断层的南翼, 该处煤层底板等高线标高在 -160 ~ -240 m 之间, 对应的地表标高平均为 130 m, 主采煤层为 2 煤层, 平均采厚为 4 m, 煤层倾角平均为 20°, 回采区段倾斜长度  $L_0 = 220$  m, 走向长度  $I_0 = 620$  m, 采深: 上山边界  $H_2 = 130 - (-160) = 290$  m, 下山边界  $H_1 = 130 - (-240) = 370$  m, 平均采高  $H = (290 + 370)/2 = 330$  m.

地表移动计算参数与覆岩岩性、性质及开采技术条件有关, 在缺少实际观测资料的矿区, 可采用覆岩综合评价系数  $P$  及地质、开采技术条件来确定地表移动计算参数.  $P$  系数取决于覆岩岩性及其厚度, 上覆地层见表 1 所示.

表 1 矿区覆岩综合评价系数表

层位标号	主要岩性描述	岩性分类	单轴抗压强度/MPa	法线厚度 $m_i$ /m	岩性评价系数 $Q_i$
1	第四系残积、坡积层与冲积、洪积层	软弱	$\leq 10$	20.0	1.0
2	长兴组石灰岩	坚硬	107	60.0	0.0
3	长兴组硅质灰岩	中硬	40	105.0	0.4
4	长兴组硅质泥岩	软弱	$\leq 10$	35.0	1.0
5	龙潭组泥岩	软弱	$\leq 10$	2.9	1.0
6	龙潭组生物灰岩	中硬	20	0.9	0.8
7	龙潭组砂质泥岩	中硬	36	0.6	0.5
8	龙潭组泥岩	软弱	4	2.9	1.0
9	龙潭组砂质泥岩	中硬	36	1.5	0.5
10	龙潭组细砂岩	中硬	40	3.2	0.4
11	龙潭组砂质泥岩	软弱	36	1.0	0.5
12	泥岩	软弱	4	2.5	1.0

#### 3.1.1 全部跨落法地表变形

对应《“三下”开采规程》<sup>[11]</sup>附表 4-2, 可得表 1, 且综合评价系数  $P$  为

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n m_i Q_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (5)$$

式中,  $n$ : 岩层数;  $m_i$ : 岩层法线厚度,  $m$ ;  $Q_i$ : 性评价系数.

下沉系数  $q$ . 充分采动时, 地表最大下沉值与煤层法线采厚在铅垂方向投影长度的比值称下沉系数,  $q$  由下式表示:

$$q = 0.5(0.9 + P). \quad (6)$$

因此, 由表1和式(5)和式(6)知,  $P = 0.46$ ,  $q = 0.68$ .

水平移动系数  $b$ . 开采水平煤层的水平移动系数  $b$  变化较小, 一般  $b = 0.3$ , 开采倾斜煤层的水平移动系数  $b_0$  为

$$b_0 = b(1 + 0.0086\alpha). \quad (7)$$

$$b_0 = b(1 + 0.0086\alpha) =$$

$$0.3 \times (1 + 0.0086 \times 20) = 0.3516.$$

式中,  $\alpha$ : 煤层倾角, ( $^\circ$ ).

开采影响传播角. 开采影响传播角  $\theta_0$  与煤层倾角  $\alpha$  的关系:

$$\begin{cases} \theta_0 = 90^\circ - 0.68\alpha & (\alpha \leq 45^\circ); \\ \theta_0 = 28.8^\circ + 0.68\alpha & (\alpha \geq 45^\circ). \end{cases} \quad (8)$$

岩性影响系数. 岩性影响系数  $D$  与综合评价系数  $P$  的关系见《“三下”开采规程》附表4-4, 查该表得  $D = 1.92$ .

开采影响角正切及影响半径. 采区开采时, 上、下山影响角正切分别为  $\text{tg}\beta_2, \text{tg}\beta_1$ , 而  $\text{tg}\beta_0$  为平均采高值时的影响角正切, 相对应的影响半径为  $r_2, r_1, r_0$ .

$$\text{tg}\beta = (D + 0.0032H)(1 - 0.0038\alpha); \quad (9)$$

$$r = \frac{H}{\text{tg}\beta}. \quad (10)$$

充分开动后, 下沉盆地主断面上地表移动和变形量最大值由下列公式确定:

$$\begin{cases} W_{\max} = q \times m \times \cos\alpha; \\ i_{\max} = \frac{W_{\max}}{r}; \\ K_{\max} = 1.52 \frac{W_{\max}}{r^2}; \\ \varepsilon_{\max} = 1.52b \frac{W_{\max}}{r}. \end{cases} \quad (11)$$

式中,  $W_{\max}$ : 地表最大下沉值, mm;  $i_{\max}$ : 地表最大倾斜值, mm/m;  $K_{\max}$ : 地表最大曲率值,  $10^{-3}/\text{m}$ ;  $\varepsilon_{\max}$ : 地表最大水平位移值, mm/m.

计算走向主断面上地表变形时, 影响半径及影

响角正切, 分别用  $r_0, \text{tg}\beta_0$  表示, 相应的计算倾向主断面上地表变形时, 影响半径及影响角正切, 分别用  $r_2$  (采空区上山影响半径)、 $r_1$  (采空区下山影响半径) 及  $\text{tg}\beta_2$  (上山影响角正切)、 $\text{tg}\beta_1$  (下山影响角正切) 表示.

### 3.1.2 条带法开采地表变形

条带开采下沉系数随采深  $H$  的增大而增大, 随开采宽度  $b'$  的增大而增大, 随留宽  $a$  的增大而减小, 存在以下经验公式<sup>[13]</sup>:

$$\frac{q_{\text{条}}}{q_{\text{全}}} = 0.2663e^{0.5735M} \left( \frac{b'}{a+b'} \right)^{2.6887} \ln \left( \frac{b'H}{a} \right) + 0.0336. \quad (12)$$

式中,  $q_{\text{条}}, q_{\text{全}}$ : 条带、全部跨落法地表下沉系数.

因此, 条带开采时, 把  $q_{\text{全}} = 0.68, M = 4 \text{ m}, a = 60 \text{ m}, b' = 50 \text{ m}, H = 284 \sim 410 \text{ m}$  代入式(12), 得出  $q_{\text{条}} = 0.40 \sim 0.42$ .

水平移动系数<sup>[13]</sup>为

$$\frac{b_{\text{条}}}{b_{\text{全}}} = 0.3292e^{1.6276\rho}. \quad (13)$$

式中,  $\rho$  采出率,  $\rho = \frac{b'}{a+b'} \times 100\%$ .

由式(8)可得,  $b_{\text{条}} = 0.3516 \times 0.3292 \times e^{1.6276 \times \frac{50}{60+50}} = 0.24$ .

上、下山影响角正切  $\text{tg}\beta_2, \text{tg}\beta_1, \text{tg}\beta_0$ :

$$\frac{\text{tg}\beta_{\text{条}}}{\text{tg}\beta_{\text{全}}} = 0.7847e^{-0.0012\rho H}. \quad (14)$$

### 3.1.3 充填法开采地表变形

当采用充填法开采法时, 下沉系数与充填料浆的体积分数及泌水率、充填体的接顶率及体积应变等有关, 存在以下经验公式<sup>[8]</sup>:

$$q = 1 - [1 - r_b(1 - c_v)(1 - c_v)(1 - e_f) - e_f]k_h. \quad (15)$$

式中,  $k_h$ : 充填体接顶率, 是充填体高度与采高之比;  $r_b$ : 膏体充填料浆的泌水率;  $e_f$ : 充填体的体积应变;  $c_v$ : 充填料浆的体积分数.

从式(15)可知, 充填料浆的体积分数、泌水率及充填体的体积应变对地表下沉系数的影响不大, 而充填体的接顶率对地表下沉系数影响显著. 当充填体接顶率达到 90% 时, 地表下沉系数可达 0.1 的效果, 在实际充填时, 接顶率达到 90%, 很容易达到. 因此, 充填开采可按接顶率 90%, 下沉系数为 0.1, 来预测地表变形, 预测值均按全部跨落法有关

公式计算.

### 3.2 变形预计及分析

为直观所见,把上述3种开采方案的计算结果列表,见表2所示.从上表2可看出:方案一下沉量最大,最大水平变形(倾向为11.12和走向10.22)远大于6,最大倾斜(倾向为23.17和走向21.30)远大于10,最大曲率(倾向为0.32和走向0.27)大于0.2;方案二下沉量较大,最大水平变形(倾向为3.50和走向3.12)小于4,最大倾斜(倾向为9.58和走向8.56)小于10,最大曲率(倾向为0.088和走向0.071)远小于0.2;方案三下沉量最小,最大

水平变形(倾向为0.18和走向0.17)远小于2.0,最大倾斜(倾向为0.34和走向0.32)远小于3.0,最大曲率(倾向为0.0047和走向0.0040)远远小于0.2.参照文献<sup>[1,12]</sup>中有关建筑物的损坏等级划分标准可知:方案一对应的地表建筑物损伤等级最大可达到最高级破坏Ⅳ级破坏,建筑物要拆建;方案二对应的地表建筑物损伤等级最大可达到Ⅱ到Ⅲ级破坏,建筑物要小到中修;方案三对应的地表建筑物损伤等级最大为Ⅰ级中的极轻微破坏,对建筑物无影响.因此,方案三充填开采控制地表下沉效果显著.

表2 变形预计结果特征表

方案	最大下沉值 /mm	最大倾斜/(mm/m)		最大曲率/(10 <sup>-3</sup> /m)		最大水平移动/mm		最大水平变形/(mm/m)	
		倾向	走向	倾向	走向	倾向	走向	倾向	走向
方案一	2556	23.17	21.30	0.320 0	0.270 0	1 226.50	898.69	11.12	10.22
方案二	1579	9.58	8.56	0.088 0	0.071 0	576.80	378.96	3.50	3.12
方案三	38	0.34	0.32	0.004 7	0.004 0	20.64	12.00	0.18	0.17

### 3.3 技术经济分析

提出的3种开采技术方案在技术上、经济上各有优劣.因此,从这2方面对3种方案进行分析、比较,选择技术可行、经济合理的最优方案.

#### 3.3.1 技术分析

表3是3种方案的技术分析与比较,从表中可知方案三在所提的3种方案中,技术上最优.

表3 方案技术分析比较表

方案	优点	缺点	结论
方案一	开采方法传统、简单;井下无额外投资,成本低.	地表变形预计量最大;工业广场建筑须搬迁;工业广场周围其它居民建筑物需小修或中修,社会影响大.工作面比较短,采煤成本略高;回采率为30%左右;矿井剩余服务年限较另2个方案短一半.	差
方案二	方法较简单;地表变形预计量适中.	需建立充填系统,有初期投资;吨煤开采成本增加.	较优
方案三	地表变形预计量最小;回采率将达80%以上.		优

#### 3.3.2 经济比较

所提3个方案费用相同的项目不参与比较.

方案一.搬迁费:工业广场建筑物需要搬迁,经矿上评估费用约2亿元.建筑(构)物加固费:涉及

回采前工业广场附近农村居民需加固的建筑(构)物面积370 000 m<sup>2</sup>,预计平均单位面积加固费约每平方米100元,共0.37亿元.建筑(构)物维修与赔偿:工业广场附近农村居民大部分建筑(构)物将陆续进行维修,并进行赔偿,预计平均约每平方米300元,共1.11亿元.3项费用合计为3.48亿元.

方案二.建筑(构)物维修与赔偿:工业广场附近农村居民有部分建筑(构)物将陆续进行维修,并进行赔偿,预计平均约每平方米100元,共0.37亿元.井下开采成本增加费用:工作面长度较短而增加的开采成本,约每吨增加20元,按采出5.4 × 10<sup>5</sup> t煤计算,共0.108亿元.2项费用合计为0.478亿元.

方案三.设备及基建:根据五亩冲矿的实际情况,以及结合充填开采的技术要求,预计设备及基建所需投资约为2 345.0万元,折算成吨煤成本是每吨19.17元;运行成本:包括充填材料及运行维护费用,估计为每吨74.78元.3项费用合计折算成吨煤成本为每吨93.95元.

3个方案费用汇总比较见表4,从表中可知:方案三,收益为6.03亿元,方案最优;其次为方案二,收益为2.29亿元;收益最少的为方案一,1.14亿元.

表4 方案费用概算表

方案	初期投资/(万元)				经营费					收益			
	民居加固	搬迁	民居维修与赔偿	充填系统	吨煤增加成本/(元/t)	吨煤成本/(元/t)	压煤量/(10 <sup>4</sup> t)	回采率/%	采出煤量/(10 <sup>4</sup> t)	吨煤总成本/(元/t)	吨煤售价/(元/t)	吨煤利润/(元/t)	矿井收益/(亿元)
方案一	3 700	20 000	11 000	/	/	487.00	180	50	90	873.67	1 000	126.33	1.14
方案二	3 700	/	/	/	20.00	507.00	180	30	54	575.52	1 000	424.48	2.29
方案三	/	/	/	1 345	93.95	580.95	180	80	144	580.95	1 000	419.05	6.03

注:采区回采率,因考虑方案一、方案二开采时需要留井筒、采区和护巷煤柱,故方案一总回采率按50%,方案二按30%计算。

## 4 结论

1) 充填开采需要建立充填系统,技术较复杂,吨煤成本增加,但地表相关变形最小,比全部垮落法小60多倍,地面不用采取措施就可开采工业广场压煤,矿井服务年限长,采出煤量最多;全部垮落法开采工业广场压煤,开采技术最简单,矿井服务年限短,回采煤量少,地表变形大,对建筑物损伤等级最大可达到最高级破坏IV级破坏,建筑物需要维修,甚至搬迁;条带开采技术较简单,投资最少,对地表建筑物损坏程度介于充填开采与全部垮落法之间,但巷道掘进和维护量大,采出煤量最少,矿井服务年限最短。

2) 全部垮落法开采吨煤总成本(873.67元/t)最大,而充填开采吨煤总成本(580.95元/t)相对较小,与条带开采(575.52元/t)相近,但充填开采矿山收益最大,利润为6.03亿元,并且工业广场压煤越多,采用充填开采效益越明显。

3) 相对条带开采和垮落法开采,充填开采不影响地表变形、矿区生态环境,是绿色采矿的重要组成部分,符合国家相关“三下”开采的要求,能最大限度体现投资收益与回报。

4) 为降低充填开采吨煤成本和控制地表下沉系数,需要进一步研究降低充填体成本和提高充填体接顶率。

### 参考文献:

[1] 何国清,杨伦,凌赓娣. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1991.

[2] 郭广礼,缪协兴,查剑锋,等. 长壁工作面矸石充填开采沉陷控制效果的初步分析[J]. 中国科技论文在线,2008,3(11):805-809.

[3] 栗帅,郭广礼,徐斗斗,等. 基于FLAC<sup>3D</sup>和SURFER的矸石充填开采沉陷数值模拟[J]. 金属矿山,2010(7):19-22.

[4] 徐斗斗,史向军,郭广礼,等. 建筑物下浅埋厚煤层长壁矸石充填开采试验[J]. 煤炭科学技术,2011,39(8):30-34.

[5] 郭振华. 村庄下膏体充填采煤控制地表沉陷的研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2008.

[6] 常庆粮,周华强,柏建彪,等. 膏体充填开采覆岩稳定性研究与实践[J]. 采矿与安全工程学报,2011,28(2):279-282.

[7] 亢利峰,俞有江. 充填开采工作面顶板下沉控制技术[J]. 河北煤炭,2009(6):25-27.

[8] 瞿群迪,姚强岭,李学华,等. 充填开采控制地表沉陷的关键因素分析[J]. 采矿与安全工程学报,2010,27(4):458-462.

[9] 瞿群迪,姚强岭,李学华. 充填开采控制地表沉陷的空隙量守恒理论及应用研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版),2010,25(1):8-12.

[10] 李青锋,王戈,朱川曲. 长壁工作面充填开采的充填比与充填效应分析[J]. 矿业工程研究,2009,24(2):21-24.

[11] 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[S]. 北京:煤炭工业出版社,2000.

[12] 杜蜀宾. 济宁太平煤矿建筑物下条带开采与充填开采比较研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2007.

[13] 问荣峰. 建筑物下压煤条带开采技术研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2008.