

# (12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2020 年 3 月 12 日 (12.03.2020)



(10) 国际公布号  
**WO 2020/048094 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
*E21C 41/18* (2006.01) *E21F 15/00* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/075861
- (22) 国际申请日: 2019 年 2 月 22 日 (22.02.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201811027255.1 2018 年 9 月 4 日 (04.09.2018) CN
- (71) 申请人: 中国矿业大学 (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科技园, Jiangsu 221116 (CN)。
- (72) 发明人: 周楠 (ZHOU, Nan); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科技园, Jiangsu 221116 (CN)。 刘恒凤 (LIU, Hengfeng); 中国江苏省徐

州市大学路 1 号中国矿业大学科技园, Jiangsu 221116 (CN)。 李猛 (LI, Meng); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科技园, Jiangsu 221116 (CN)。 武中亚 (WU, Zhongya); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科技园, Jiangsu 221116 (CN)。 张吉雄 (ZHANG, Jixiong); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科技园, Jiangsu 221116 (CN)。

(74) 代理人: 南京苏高专利商标事务所 (普通合伙) (NANJING SUGAO PATENT AND TRADEMARK FIRM (ORDINARY PARTNERSHIP)); 中国江苏省南京市白下区中山东路 198 号龙台国际大厦 1912 室, Jiangsu 210000 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

(54) **Title:** METHOD OF RECOVERING ROOM-AND-PILLAR COAL PILLAR BY USING EXTERNAL REPLACEMENT SUPPORTS

(54) 发明名称: 一种外部支护替代式房式煤柱回收方法

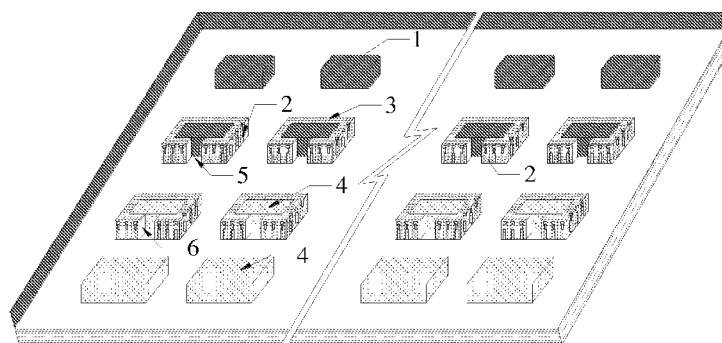


图 1

(57) **Abstract:** A method of recovering a room-and-pillar coal pillar by using external replacement supports. In the recovery of a room-and-pillar coal pillar, a cement material wall (3) is formed by performing pouring around a coal pillar (1) having a width to height ratio of less than 0.6, by means of a single-pillar (2) sack arrangement technique, such that a coal pillar resource may be mined while a wall made from a cement filling material (4) supports an overlying stratum. After mining is complete, a coal pillar goaf region is filled with the cement filling material, and after the cement filling material solidifies and is stable, the single pillar can be recovered. A mechanical model of a stage in which a wall made from the cement filling material independently supports an overlying stratum is established on the basis of Winkler beam theory, so as to acquire information about displacement of and force applied to a top plate in said stage in which the wall made from the cement filling material performs supporting. A theoretical pouring width of the wall made from the cement filling material is acquired according to a first strength theory of the top plate and a determination criterion of ultimate strength of the wall made from the cement filling material. The method effectively recovers a residual coal pillar resulting from room-and-pillar mining, thereby reducing wastage of coal resources, maintaining the stability of an overlying stratum above a coal pillar, and eliminating a series of safety issues.

GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

— 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种外部支护替代式房式煤柱回收方法, 在回收房式煤柱过程中, 利用单体支柱(2)挂袋方式在宽高比小于0.6的房式煤柱(1)周围浇筑胶结材料墙(3), 在胶结充填材料(4)墙支护覆岩条件下回采房式煤柱资源, 待回采结束后, 利用胶结充填材料充填房式煤柱采空区域, 待胶结充填材料凝固稳定后回收单体支柱; 基于温克尔梁理论建立胶结充填材料墙单独支护覆岩阶段的力学模型, 得出胶结充填材料墙支护阶段顶板的位移及受力情况。根据顶板第一强度理论与胶结充填材料墙极限强度判别准则, 得到胶结充填材料墙的理论浇筑宽度。本方法可有效回收房式开采遗留煤柱, 减少煤炭资源的浪费, 且能够实现煤柱上方覆岩保持稳定, 避免一系列安全问题的发生。

## 一种外部支护替代式房式煤柱回收方法

### 技术领域

本发明属于煤柱回收技术领域，具体涉及一种外部支护替代式房式煤柱回收方法，尤其适用于煤矿采煤遗留的宽高比小于 0.6 的房式煤柱替代支护回收。

### 背景技术

房式煤柱开采在我国西北部地区应用比较广泛，主要集中在陕西、内蒙古、陕西等省份的资源分布较广、地质构造简单、煤层赋存浅的矿区。房式煤柱开采方法具有生产成本低、高效、易管理等优点，但是煤炭采出率低，煤柱存在连锁失稳致灾危险。房式煤柱的安全回收可以提高煤炭资源的利用率，防止煤柱失稳造成严重的灾害事故。

国内传统的煤柱回收方式包括劈柱式回收与仓翼式回收等，这些回收方式效率较低，机械化程度不高；而现有的充填回收煤柱方式，如综合机械化充填回收和抛料充填回收等方式设备和充填物料投入较高，难以普及。

所以，开发一种新型、安全、高效、经济的房式煤柱回收方法已经成为一项亟待解决的重大难题。

### 发明内容

发明目的：为了实现房式开采后遗留煤柱的安全高效与低成本回收，本发明提供一种操作简单、资源回收率高的外部支护替代式房式煤柱回收方法。

技术方案：为实现上述目的，本发明采用的技术方案为：

本发明中，所述的外部支护替代式房式煤柱回收方法，包括如下步骤：在回收宽高比小于 0.6 的房式煤柱过程中，利用单体支柱挂袋方式在房式煤柱周围一定宽度范围内浇筑胶结充填材料墙，在胶结充填材料墙支护覆岩条件下回采房式煤柱资源，待回采结束后，利用胶结充填材料充填房式煤柱采空区域，待胶结充填材料凝固稳定后回收单体支柱。

一种外部支护替代式房式煤柱回收方法，包括以下步骤：

- 1) 利用单体支柱挂袋方式在房式煤柱外围浇筑胶结充填材料墙，并预留开设有一胶结充填材料墙缺口；
- 2) 在胶结充填材料墙支护覆岩条件下，通过胶结充填材料墙缺口，对内部的房式煤柱进行回采；

3) 房式煤柱开采完毕后, 封堵胶结充填材料墙缺口, 向胶结充填材料墙所围采空区内注入胶结充填材料进行充填;

4) 待胶结充填材料凝固稳固后, 回收单体支柱。

进一步的, 所述房式煤柱的宽高比小于 0.6。

进一步的, 步骤 1) 中, 基于温克尔梁理论建立胶结充填材料墙单独支护覆岩阶段的力学模型, 得出胶结充填材料墙支护阶段顶板的位移及受力情况; 并根据顶板第一强度理论与胶结充填材料墙极限强度判别准则, 得到胶结充填材料墙的理论浇筑宽度。

进一步的, 所述的胶结充填材料墙的宽度计算方法流程如下:

a、截取房式煤柱半平面进行分析, 将顶板所受上覆岩层作用力设置为均布载荷  $q$ , 胶结充填材料墙的地基系数为  $k$ , 相邻小型房式煤柱间距为  $c$ , 胶结充填材料墙宽度设置为  $b$ , 房式煤柱的宽度设置为  $a$ , 则房式煤柱总宽度为  $2a$ , 所分析区域内部顶板各段挠曲线微分方程为:

$$\begin{cases} EI \frac{d^4 \omega_1(x)}{dx^4} = q & x \in [0, a] \\ EI \frac{d^4 \omega_2(x)}{dx^4} = q - k\omega_2(x) & x \in [a, a+b] \\ EI \frac{d^4 \omega_3(x)}{dx^4} = q & x \in [a+b, a+b+c] \end{cases} \quad (i)$$

式中,  $EI$ —抗弯刚度, N/m;

$x$ —地基表面任一点至半平面坐标原点距离, m;

$\omega_1(x), \omega_2(x), \omega_3(x)$ —分别为  $x$  在  $[0, a]$ 、 $[a, a+b]$ 、 $[a+b, a+b+c]$  段顶板的挠度, m;

b、求解公式 (i) 令  $\alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$ , 可得顶板的挠曲线方程:

$$\begin{cases} \omega_1(x) = \frac{q}{24EI} x^4 + d_1 x^3 + d_2 x^2 + d_3 x + d_4 \\ \omega_2(x) = \frac{q}{k} + d_5 e^{-\alpha x} \cos(\alpha x) + d_6 e^{-\alpha x} \sin(\alpha x) + d_7 e^{\alpha x} \cos(\alpha x) + d_8 e^{\alpha x} \sin(\alpha x) \\ \omega_3(x) = \frac{q}{24EI} x^4 + d_9 x^3 + d_{10} x^2 + d_{11} x + d_{12} \end{cases} \quad (ii)$$

式中,  $d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_{12}$ —常数系数;

根据模型连续性条件及对称性边界条件, 可解得参数  $d_1 \sim d_{12}$ ;

c、求解得到顶板的弯矩方程：

$$\begin{cases} M_1(x) = -EI \frac{d^2 \omega_1}{dx_2^2} \\ M_2(x) = -EI \frac{d^2 \omega_2}{dx_2^2} \\ M_3(x) = -EI \frac{d^2 \omega_3}{dx_2^2} \end{cases} \quad (\text{iii})$$

式中， $M_1(x)$ 、 $M_2(x)$ 、 $M_3(x)$ —分别为  $x$  在  $[0,a]$ 、 $[a,a+b]$ 、 $[a+b,a+b+c]$  段顶板的弯矩，m；

胶结充填材料墙的留设宽度  $b$  要同时满足顶板第一强度理论与极限强度理论，即同时满足大于或等于顶板第一强度理论条件下的最小留设宽度  $b_1$  和极限强度理论条件下的最小留设宽度  $b_2$ ；具体如以下 d、e 步骤：

d、将顶板简化为上覆均布载荷  $q$ 、底部受宽度为  $b_1$  的支撑载荷的简支梁，分析得知，顶板所受最大弯矩  $M_{\max}$  发生在梁跨度中间偏离底部支撑载荷一侧，距模型原点  $x_m = a + b_1 + 3EI \cdot d_9 / q$  处，其值可由式 (iii) 中  $M_3(x_m)$  求得，则根据矩形截面梁理论，求得顶板最大拉应力为：

$$\sigma_{\max} = \frac{6M_{\max}}{h^2} \quad (\text{iv})$$

式中， $h$ —顶板高度，m；

根据顶板第一强度理论，要使顶板不发生断裂，则应满足：

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma_t] \quad (\text{v})$$

式中， $[\sigma_t]$ —顶板许用拉应力，MPa；

已知相邻房式煤柱间距  $c$  与房式煤柱宽度为  $2a$ ，根据式 (v) 判断条件即可求得预留煤柱在顶板第一强度理论条件下的最小留设宽度  $b_1$ ；

e、同时胶结充填材料墙在极限强度理论条件下的宽度  $b_2$  应满足自身不破坏，根据极限强度理论，应满足：

$$\sigma F \leq \sigma_p \quad (\text{vi})$$

式中， $\sigma$ —作用在充填材料墙上的力  $\sigma = k \int_a^{a+b} \omega_2(x) dx$ ，m；

$k$ —安全系数，取 2；

$\sigma_p$ —胶结充填材料墙的极限强度，MPa；

由公式 (vi) 求得胶结充填材料墙在极限强度理论条件下最小留设宽度为  $b_2$ ;

f、求得胶结充填材料墙的留设宽度  $b=\max\{b_1, b_2\}$ 。

进一步的, 步骤 2) 中, 采用连续采煤机对房式煤柱进行回采, 采出煤炭通过铲车运至带式输送机上, 由带式输送机运出采区。

进一步的, 步骤 3) 中, 堆砌封堵墙封堵胶结充填材料墙缺口, 利用充填泵通过封堵墙上所留设的泵送口将胶结充填材料泵送至胶结充填材料墙所围成的采空区域进行充填。

有益效果: 本发明提供的一种外部支护替代式房式煤柱回收方法, 与现有技术相比, 具有以下优势: 本发明尤其适用于房式开采后宽高比小于 0.6 的遗留煤柱的安全高效、低成本回收。这种外部支护替代式房式煤柱回收方法利用胶结充填材料代替原有煤柱支护覆岩, 与原有煤柱相比支护性能更好, 更有利于房式煤柱区域覆岩保持稳定, 可以防止煤层发生自燃同时能够防止导水裂隙升高, 实现对上覆含水层的保护, 保护地表生态环境。此发明可靠、安全、经济, 具有广泛的应用前景。

## 附图说明

图 1 是本发明的采煤工作面布置平面图;

图 2 是本发明的外部支护替代式房式煤柱回收状态平面图;

图 3 是本发明的预留煤柱的宽度的计算流程图;

图 4 是本发明的胶结充填材料墙在支护覆岩阶段的力学模型;

图 5 是本发明的顶板弯矩分布图;

图 6 是本发明的胶结充填材料墙受压曲线图。

图中: 1-房式煤柱; 2-单体支柱; 3-胶结充填材料墙; 4-胶结充填材料; 5-胶结充填材料墙缺口; 6-封堵墙; 7-连续采煤机; 8-铲车; 9-带式输送机。

## 具体实施方式

本发明公开了一种外部支护替代式房式煤柱回收方法, 在回收房式煤柱过程中, 利用单体支柱挂袋方式在宽高比小于 0.6 的房式煤柱周围浇筑胶结材料墙, 在胶结充填材料墙支护覆岩条件下回采房式煤柱资源, 待回采结束后, 利用胶结充填材料充填房式煤柱采空区域, 待胶结充填材料凝固稳定后回收单体支柱; 基于温克尔梁理论建立胶结充填材料墙单独支护覆岩阶段的力学模型, 得出胶结充填材料墙支护阶段顶板的位移及受力情况。根据顶板第一强度理论与胶结充填材料墙极限强度判别准则, 得到胶结充填材

料墙的理论浇筑宽度。本方法可有效回收房式开采遗留煤柱，减少煤炭资源的浪费，且能够实现煤柱上方覆岩保持稳定，避免一系列安全问题的发生。

下面结合附图和实施例对本发明作更进一步的说明。

本发明的一种外部支护替代式房式煤柱回收方法：如图 1 所示的采煤工作面布置平面图，在回收宽高比大于 0.6 的房式煤柱过程中，根据胶结充填材料墙（3）在支护覆岩阶段的力学模型计算结果在房式煤柱（1）周围一定宽度范围内浇筑胶结充填材料墙（3），如图 2 所示，并留设胶结充填材料墙缺口（5），待胶结充填材料墙（3）凝固稳定后，采用连续采煤机（7）回采房式煤柱（1），采出煤炭通过铲车（8）运至带式输送机上，由带式输送机（9）运出采区；回采结束后，堆砌封堵墙（6）封堵胶结充填材料墙缺口（5），利用胶结充填材料充填采空区域，待胶结充填材料（4）凝固稳定后，回收单体支柱（2）用于下一房式煤柱（1）的开采。

如图 3 所示，所述的胶结充填材料墙（3）宽度计算方法流程如下：

a、截取房式煤柱（1）半平面进行分析，根据如图 4（a）、（b）所示的胶结充填材料墙在支护覆岩阶段的力学模型，将顶板所受上覆岩层作用力设置为均布载荷  $q$ ，胶结充填材料墙（3）的地基系数为  $k$ ，相邻小型房式煤柱（1）间距为  $c$ ，胶结充填材料墙（3）宽度设置为  $b$ ，房式煤柱（1）的宽度设置为  $a$ ，房式煤柱总宽度为  $2a$ ，所分析区域内部顶板各段挠曲线微分方程为：

$$\begin{cases} EI \frac{d^4 \omega_1(x)}{dx^4} = q & x \in [0, a] \\ EI \frac{d^4 \omega_2(x)}{dx^4} = q - k\omega_2(x) & x \in [a, a+b] \\ EI \frac{d^4 \omega_3(x)}{dx^4} = q & x \in [a+b, a+b+c] \end{cases} \quad (i)$$

式中， $EI$ —抗弯刚度，N/m；

$x$ —地基表面任一点至半平面坐标原点距离，m；

$\omega_1(x), \omega_2(x), \omega_3(x)$ —分别为  $x$  在  $[0, a]$ 、 $[a, a+b]$ 、 $[a+b, a+b+c]$  段顶板的挠度，m；

b、求解公式（i）令  $\alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$ ，可得顶板的挠曲线方程：

$$\begin{cases} \omega_1(x) = \frac{q}{24EI}x^4 + d_1x^3 + d_2x^2 + d_3x + d_4 \\ \omega_2(x) = \frac{q}{k} + d_5e^{-\alpha x} \cos(\alpha x) + d_6e^{-\alpha x} \sin(\alpha x) + d_7e^{\alpha x} \cos(\alpha x) + d_8e^{\alpha x} \sin(\alpha x) \\ \omega_3(x) = \frac{q}{24EI}x^4 + d_9x^3 + d_{10}x^2 + d_{11}x + d_{12} \end{cases} \quad (\text{ii})$$

式中,  $d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_{12}$ —常数系数。

根据模型连续性条件及对称性边界条件, 可解得参数  $d_1 \sim d_{12}$ 。

c、进而求解得到顶板的弯矩方程:

$$\begin{cases} M_1(x) = -EI \frac{d^2 \omega_1}{dx_2^2} \\ M_2(x) = -EI \frac{d^2 \omega_2}{dx_2^2} \\ M_3(x) = -EI \frac{d^2 \omega_3}{dx_2^2} \end{cases} \quad (\text{iii})$$

式中,  $M_1(x)$ 、 $M_2(x)$ 、 $M_3(x)$ —分别为  $x$  在  $[0, a]$ 、 $[a, a+b]$ 、 $[a+b, a+b+c]$  段顶板的弯矩, m。

胶结充填材料墙 (3) 的宽度  $b$  要同时满足顶板第一强度理论与极限强度理论, 即同时满足大于或等于顶板第一强度理论条件的最小留设宽度  $b_1$  和极限强度理论条件下的最小留设宽度  $b_2$ ; 具体如以下 d、e 步骤:

d、将顶板简化为上覆均布载荷  $q$ 、底部受宽度为  $b_1$  的支撑载荷的简支梁, 分析可知, 顶板所受最大弯矩  $M_{\max}$  发生在梁跨度中间偏离底部支撑载荷一侧, 距模型原点 ( $x_m = a + b_1 + 3EI \cdot d_9 / q$ ) 处, 其值可由式 (iii) 中  $M_3(x_m)$  求得, 则根据矩形截面梁理论, 求得顶板最大拉应力为:

$$\sigma_{\max} = \frac{6M_{\max}}{h^2} \quad (\text{iv})$$

式中,  $h$ —顶板高度, m;

根据第一强度理论, 要使顶板不发生断裂, 则应满足:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma_t] \quad (\text{v})$$

式中,  $[\sigma_t]$ —顶板许用拉应力, MPa;

已知相邻房式煤柱 (1) 间距  $c$  与房式煤柱宽度为  $2a$ , 根据式 (v) 判断条件即可求得预留煤柱 (2) 在顶板第一强度理论条件下的最小留设宽度  $b_1$ 。

e、同时胶结充填材料墙（3）在极限强度理论条件下的最小留设宽度  $b_2$  应满足自身不破坏，根据极限强度理论，应满足：

$$\sigma F \leq \sigma_p \quad (\text{vi})$$

式中， $\sigma$ —作用在充填材料墙上的力  $\sigma = k \int_a^{a+b} \omega_2(x) dx$ ，m；

$k$ —安全系数，取 2；

$\sigma_p$ —胶结充填材料墙的极限强度，MPa。

由公式（vi）求得胶结充填材料墙（3）在极限强度理论条件下的最小留设宽度为  $b_2$ 。

最终，可得胶结充填材料墙（3）真正留设宽度  $b = \max\{b_1, b_2\}$ 。

### 实施例

运用以上求解方法，结合西北地区某矿地质条件为例，该矿顶板厚度 2m、采高 4m、煤柱长度为 2m、煤房长度为 10m、顶板弹性模量为 0.9GPa、胶结充填材料墙地基系数  $1.5 \times 10^6 \text{N/m}^3$ 、顶板许用拉应力 2.8MPa、胶结充填材料墙极限强度 39MPa，取均布载荷  $q=2\text{MPa}$ 。经式（v）判断，当胶结充填材料墙宽度取 3m 时，顶板弯矩分布如图 5 所示，此时顶板所受最大拉应力值为 2.2MPa，顶板不会破断，并绘制出胶结充填材料墙受压曲线图，见图 6，通过式（vi）可知，此时作用胶结充填材料墙上的合力达到 16.2Mpa，当前充填材料墙（3）留设宽度同时满足极限强度理论，胶结充填材料墙（3）同样不会破坏。

以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出：对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

## 权 利 要 求 书

1、一种外部支护替代式房式煤柱回收方法，其特征在于：包括以下步骤：

1) 利用单体支柱(2)挂袋方式在房式煤柱(1)外围浇筑胶结充填材料墙(3)，并预留开设有一胶结充填材料墙缺口(5)；

2) 在胶结充填材料墙(3)支护覆岩条件下，通过胶结充填材料墙缺口(5)，对内部的房式煤柱(1)进行回采；

3) 房式煤柱(1)开采完毕后，封堵胶结充填材料墙缺口(5)，向胶结充填材料墙(3)所围采空区内注入胶结充填材料(4)进行充填；

4) 待胶结充填材料(4)凝固稳固后，回收单体支柱(2)。

2、根据权利要求1所述的一种外部支护替代式房式煤柱回收方法，其特征在于：所述房式煤柱(1)的宽高比小于0.6。

3、根据权利要求1所述的一种外部支护替代式房式煤柱回收方法，其特征在于：步骤1)中，基于温克尔梁理论建立胶结充填材料墙单独支护覆岩阶段的力学模型，得出胶结充填材料墙支护阶段顶板的位移及受力情况；并根据顶板第一强度理论与胶结充填材料墙极限强度判别准则，得到胶结充填材料墙(3)的理论浇筑宽度。

4、根据权利要求1或3所述的一种外部支护替代式房式煤柱回收方法，其特征在于：所述的胶结充填材料墙(3)的宽度计算方法流程如下：

a、截取房式煤柱(1)半平面进行分析，将顶板所受上覆岩层作用力设置为均布载荷 $q$ ，胶结充填材料墙(3)的地基系数为 $k$ ，相邻小型房式煤柱(1)间距为 $c$ ，胶结充填材料墙(3)宽度设置为 $b$ ，房式煤柱(1)的宽度设置为 $a$ ，则房式煤柱总宽度为 $2a$ ，所分析区域内部顶板各段挠曲线微分方程为：

$$\begin{cases} EI \frac{d^4 \omega_1(x)}{dx^4} = q & x \in [0, a] \\ EI \frac{d^4 \omega_2(x)}{dx^4} = q - k\omega_2(x) & x \in [a, a+b] \\ EI \frac{d^4 \omega_3(x)}{dx^4} = q & x \in [a+b, a+b+c] \end{cases} \quad (i)$$

式中， $EI$ —抗弯刚度，N/m；

$x$ —地基表面任一点至半平面坐标原点距离，m；

$\omega_1(x), \omega_2(x), \omega_3(x)$ —分别为 $x$ 在 $[0, a]$ 、 $[a, a+b]$ 、 $[a+b, a+b+c]$ 段顶板的挠度，m；

b、求解公式 (i) 令  $\alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$ ，可得顶板的挠曲线方程：

$$\begin{cases} \omega_1(x) = \frac{q}{24EI} x^4 + d_1 x^3 + d_2 x^2 + d_3 x + d_4 \\ \omega_2(x) = \frac{q}{k} + d_5 e^{-\alpha x} \cos(\alpha x) + d_6 e^{-\alpha x} \sin(\alpha x) + d_7 e^{\alpha x} \cos(\alpha x) + d_8 e^{\alpha x} \sin(\alpha x) \\ \omega_3(x) = \frac{q}{24EI} x^4 + d_9 x^3 + d_{10} x^2 + d_{11} x + d_{12} \end{cases} \quad (\text{ii})$$

式中， $d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_{12}$ —常数系数；

根据模型连续性条件及对称性边界条件，可解得参数  $d_1 \sim d_{12}$ ；

c、求解得到顶板的弯矩方程：

$$\begin{cases} M_1(x) = -EI \frac{d^2 \omega_1}{dx_2^2} \\ M_2(x) = -EI \frac{d^2 \omega_2}{dx_2^2} \\ M_3(x) = -EI \frac{d^2 \omega_3}{dx_2^2} \end{cases} \quad (\text{iii})$$

式中， $M_1(x)$ 、 $M_2(x)$ 、 $M_3(x)$ —分别为  $x$  在  $[0, a]$ 、 $[a, a+b]$ 、 $[a+b, a+b+c]$  段顶板的弯矩， $m$ ；

胶结充填材料墙 (3) 的留设宽度  $b$  要同时满足顶板第一强度理论与极限强度理论，即同时满足大于或等于顶板第一强度理论条件下的最小留设宽度  $b_1$  和极限强度理论条件下的最小留设宽度  $b_2$ ；具体如以下 d、e 步骤：

d、将顶板简化为上覆均布载荷  $q$ 、底部受宽度为  $b_1$  的支撑载荷的简支梁，分析得知，顶板所受最大弯矩  $M_{\max}$  发生在梁跨度中间偏离底部支撑载荷一侧，距模型原点  $x_m = a + b_1 + 3EI \cdot d_9 / q$  处，其值可由式 (iii) 中  $M_3(x_m)$  求得，则根据矩形截面梁理论，求得顶板最大拉应力为：

$$\sigma_{\max} = \frac{6M_{\max}}{h^2} \quad (\text{iv})$$

式中， $h$ —顶板高度， $m$ ；

根据顶板第一强度理论，要使顶板不发生断裂，则应满足：

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma_t] \quad (\text{v})$$

式中， $[\sigma_t]$ —顶板许用拉应力， $MPa$ ；

已知相邻房式煤柱（1）间距  $c$  与房式煤柱宽度为  $2a$ ，根据式（v）判断条件即可求得预留煤柱（2）的在顶板第一强度理论条件下的最小留设宽度  $b_1$ ；

e、同时胶结充填材料墙（3）在极限强度理论条件下的宽度  $b_2$  应满足自身不破坏，根据极限强度理论，应满足：

$$\sigma F \leq \sigma_p \quad (\text{vi})$$

式中， $\sigma$ —作用在充填材料墙上的力  $\sigma = k \int_a^{a+b} \omega_2(x) dx$ ，m；

$k$ —安全系数，取 2；

$\sigma_p$ —胶结充填材料墙的极限强度，MPa；

由公式（vi）求得胶结充填材料墙（3）在极限强度理论条件下最小留设宽度为  $b_2$ ；

f、求得胶结充填材料墙（3）的留设宽度  $b = \max\{b_1, b_2\}$ 。

5、根据权利要求 1 所述的一种外部支护替代式房式煤柱回收方法，其特征在于：步骤 2）中，采用连续采煤机（7）对房式煤柱（1）进行回采，采出煤炭通过铲车（8）运至带式输送机（9）上，由带式输送机（9）运出采区。

6、根据权利要求 1 所述的一种外部支护替代式房式煤柱回收方法，其特征在于：步骤 3）中，堆砌封堵墙（6）封堵胶结充填材料墙缺口（5），利用充填泵通过封堵墙（6）上所留设的泵送口将胶结充填材料（4）泵送至胶结充填材料墙（3）所围成的采空区域进行充填。

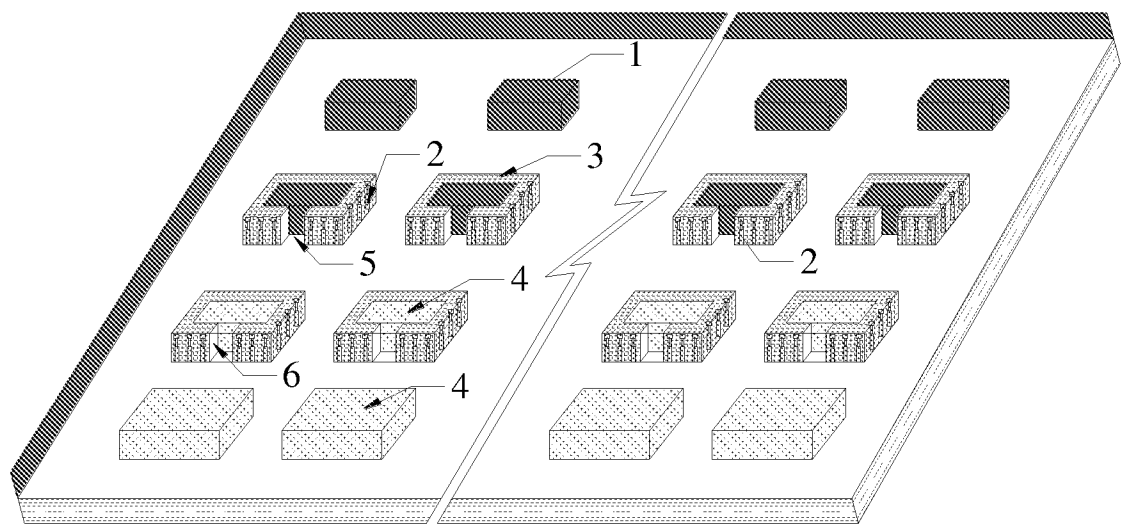


图 1

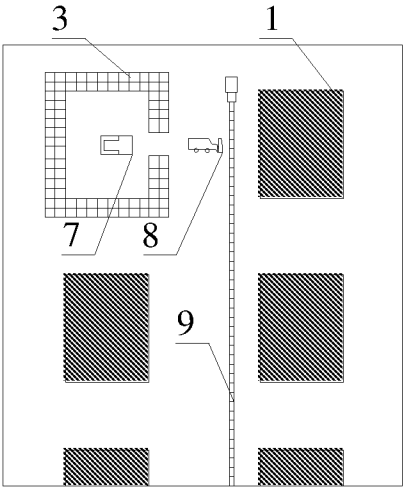


图 2

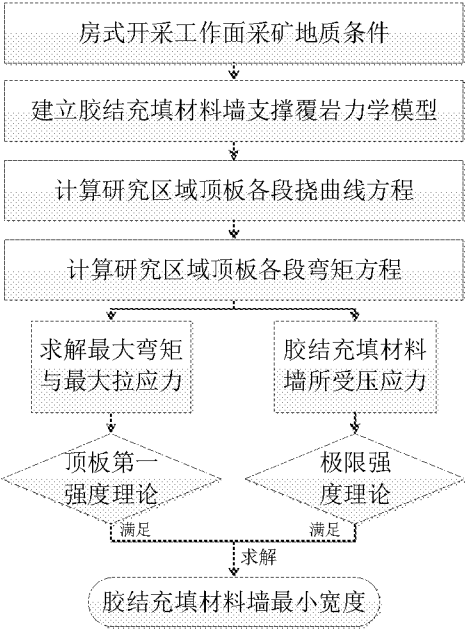


图 3

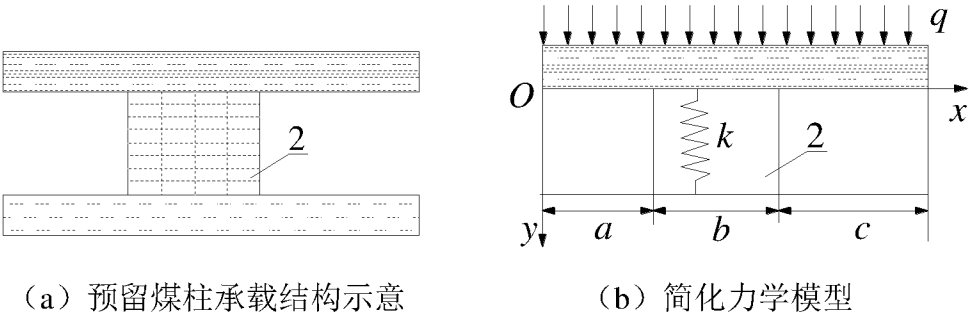


图 4

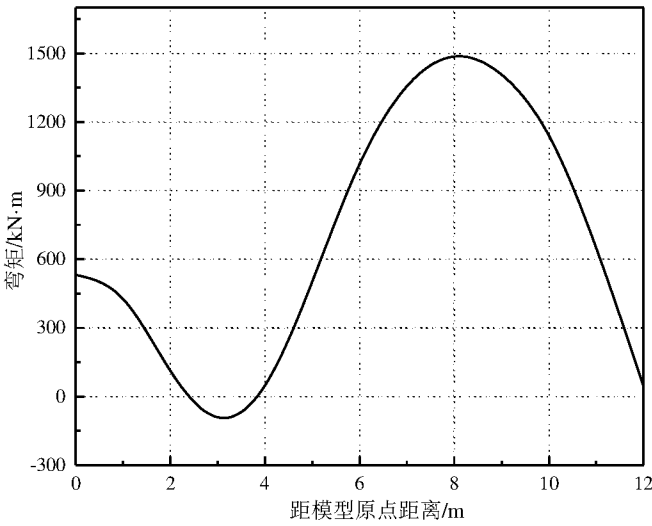


图 5

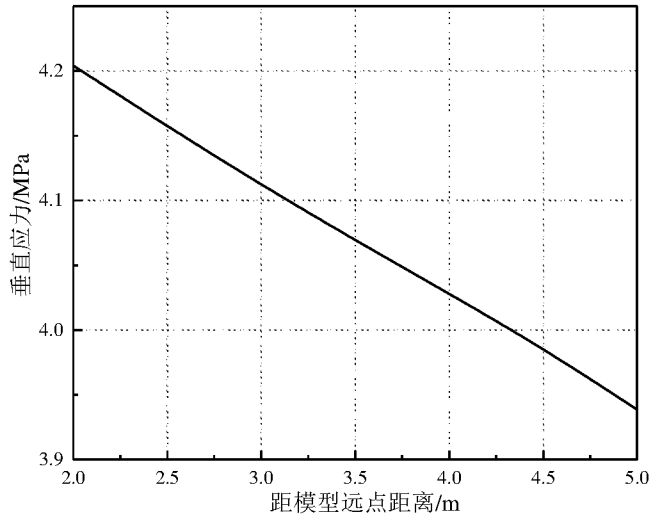


图 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/075861

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

E21C 41/18(2006.01)i; E21F 15/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E21C,E21F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; CNKI; SIPOABS; DWPI; VEN, 煤柱, 房式, 回收, 充填, 填充, 浇筑, 墙, 回采, 代替, 替代, 置换, pillar?, coal, reserv+, recover+, recycl+, fill+, post, replace, removing

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                            | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| PX        | CN 109113744 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 01 January 2019 (2019-01-01)<br>claims 1-6, and figures 1-6        | 1-6                   |
| A         | CN 101737068 A (SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 16 June 2010 (2010-06-16)<br>description, specific embodiments | 1-6                   |
| A         | CN 106869994 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY ET AL.) 20 June 2017 (2017-06-20)<br>entire document                | 1-6                   |
| A         | CN 105240014 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 13 January 2016 (2016-01-13)<br>entire document                    | 1-6                   |
| A         | WO 2015056201 A1 (DU TOIT, P.) 23 April 2015 (2015-04-23)<br>entire document                                                  | 1-6                   |
| A         | US 3999804 A (ATLANTIC RICHFIELD COMPANY) 27 December 1976 (1976-12-27)<br>entire document                                    | 1-6                   |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 May 2019

Date of mailing of the international search report

14 June 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

**China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)**  
**No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088**  
**China**

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CN2019/075861**

### C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages    | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | SU 576411 A1 (VNI UGOLNYJ INSTITUT) 30 September 1977 (1977-09-30)<br>entire document | 1-6                   |
| <hr/>     |                                                                                       |                       |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2019/075861**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |            |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|------------|----|--------------------------------------|
| CN                                        | 109113744  | A  | 01 January 2019                      | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 101737068  | A  | 16 June 2010                         | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 106869994  | A  | 20 June 2017                         | WO                      | 2018166243 | A1 | 20 September 2018                    |
| CN                                        | 105240014  | A  | 13 January 2016                      | None                    |            |    |                                      |
| WO                                        | 2015056201 | A1 | 23 April 2015                        | None                    |            |    |                                      |
| US                                        | 3999804    | A  | 27 December 1976                     | None                    |            |    |                                      |
| SU                                        | 576411     | A1 | 30 September 1977                    | None                    |            |    |                                      |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/075861

## A. 主题的分类

E21C 41/18(2006.01)i; E21F 15/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

## B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

E21C, E21F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS;CNTXT;CNKI;SIPOABS;DWPI;VEN, 煤柱, 房式, 回收, 充填, 填充, 浇筑, 墙, 回采, 代替, 替代, 置换, pillar?, coal, reserv+, recover+, recycl+, fill+, post, replace, removing

## C. 相关文件

| 类 型* | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                         | 相关的权利要求 |
|------|---------------------------------------------------------------------------|---------|
| PX   | CN 109113744 A (中国矿业大学) 2019年 1月 1日 (2019 - 01 - 01)<br>权利要求1-6, 图1-6     | 1-6     |
| A    | CN 101737068 A (山东科技大学) 2010年 6月 16日 (2010 - 06 - 16)<br>说明书具体实施例部分       | 1-6     |
| A    | CN 106869994 A (中国矿业大学 等) 2017年 6月 20日 (2017 - 06 - 20)<br>全文             | 1-6     |
| A    | CN 105240014 A (中国矿业大学) 2016年 1月 13日 (2016 - 01 - 13)<br>全文               | 1-6     |
| A    | W0 2015056201 A1 (DU TOIT PIETER) 2015年 4月 23日 (2015 - 04 - 23)<br>全文     | 1-6     |
| A    | US 3999804 A (ATLANTIC RICHFIELD CO) 1976年 12月 27日 (1976 - 12 - 27)<br>全文 | 1-6     |
| A    | SU 576411 A1 (VNI UGOLNYJ INST) 1977年 9月 30日 (1977 - 09 - 30)<br>全文       | 1-6     |

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

\* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&amp;” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2019年 5月 30日

国际检索报告邮寄日期

2019年 6月 14日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

刘琼

电话号码 86-010-62084154

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/075861

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利             | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|------------|----|----------------|------------------|----------------|
| CN          | 109113744  | A  | 2019年 1月 1日    | 无                |                |
| CN          | 101737068  | A  | 2010年 6月 16日   | 无                |                |
| CN          | 106869994  | A  | 2017年 6月 20日   | W0 2018166243 A1 | 2018年 9月 20日   |
| CN          | 105240014  | A  | 2016年 1月 13日   | 无                |                |
| W0          | 2015056201 | A1 | 2015年 4月 23日   | 无                |                |
| US          | 3999804    | A  | 1976年 12月 27日  | 无                |                |
| SU          | 576411     | A1 | 1977年 9月 30日   | 无                |                |