



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114961845 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 30

(21) 申请号 202210690965.2

(22) 申请日 2022.06.17

(71) 申请人 中国矿业大学

地址 221116 江苏省徐州市大学路1号中国矿业大学

(72) 发明人 缪秀秀 吴爱祥 尹升华 李晓昭 王勃 刘盛东 吴疆宇

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所 (普通合伙) 32249

专利代理师 李悦声

(51) Int. Cl.

E21F 15/00 (2006.01)

E21F 17/00 (2006.01)

E21F 17/16 (2006.01)

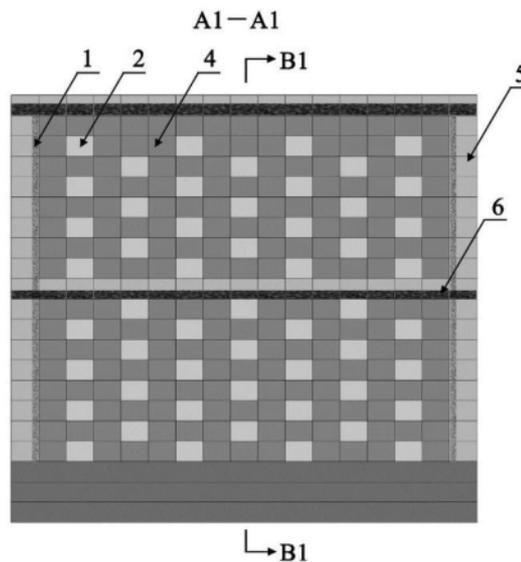
权利要求书3页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,属于金属矿山的二氧化碳封存领域。按回字形进路开采当前分层矿体边帮,用气密材料封闭除联络巷外的边帮;用分层进路充填法开采内部矿体,下向分层法用尾砂胶结充填体间隔充填预留空区,上向分层法用尾砂胶结充填体和废石间隔充填;当前分层作业结束,在联络巷架设由空区或废石充填区分段运输巷的CO2管道,用气密材料封闭联络巷;当前中段作业结束,将捕集的CO2通过沿回风路径布置的管道注入空区或废石充填区,随采深和地温增大,CO2以气态至超临界态长期封存。本方法操作简单、成本低,对矿山地下空间可持续利用及绿色开采具有重要意义。



1. 一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,其特征在于:在分层进路尾砂胶结充填采矿基础上,利用气密材料(1)在金属矿的矿体(12)边界建设密封层封闭整个采空区,利用边帮高强度尾砂胶结充填体(5)、人工假顶(6)或人工假底(7)以及采空区内间隔充填的尾砂胶结充填体(4)支撑采空区整体框架,根据实地情况在采空区预留CO<sub>2</sub>封存空区(2)或高孔隙度的CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3),碳封存初期利用管路向CO<sub>2</sub>封存空区(2)或CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3)充入CO<sub>2</sub>,依靠矿体(12)边界上的气密材料(1)把CO<sub>2</sub>密封在采空区内,随着空区内封存的CO<sub>2</sub>扩散进入尾砂胶结充填体(4),与尾砂胶结充填体(4)中的基性尾砂和水泥水化产物反应,消耗CO<sub>2</sub>的同时生成高强度的碳酸钙CaCO<sub>3</sub>和具有胶凝作用的硅胶SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O,从而提高尾砂胶结充填体(4)整体强度和气密性,降低尾砂胶结充填体(4)孔隙度,实现大量、长期且安全的碳封存;

具体步骤如下:

步骤1. 按回字形开采当前分层矿体边帮,利用气密材料(1)封闭除联络巷外的边帮,留采场联络巷(10)以及分层联络巷(11)服务当前开采的分层;

步骤2. 用分层进路充填法开采除边帮外的内部矿体(12),若采用下向分层进路充填采矿法开采矿体(12),使用尾砂胶结充填体(4)间隔充填采空的进路,预留出CO<sub>2</sub>封存空区(2),若采用上向分层进路充填采矿法,则使用尾砂胶结充填体(4)和废石间隔充填采空的进路形成CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3);

步骤3. 当前分层作业结束后,在采场联络巷(10)和分层联络巷(11)架设由CO<sub>2</sub>封存空区(2)或CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3)至分段运输巷(8)的CO<sub>2</sub>管道(9),然后使用气密材料(1)封闭采场联络巷(10)和分层联络巷(11);

步骤4. 按分层开采顺序,逐层重复步骤1-3,直至当前中段作业结束,将捕集的CO<sub>2</sub>通过沿回风路径布置的CO<sub>2</sub>管道注入CO<sub>2</sub>封存空区(2)或CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3),同时开采作业转移至下一中段,随采深和地温增大,CO<sub>2</sub>以气态至超临界态长期封存。

2. 根据权利要求1所述的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,其特征在于:开采过程中对矿体(12)中段、分段、分层的划分,以及沿矿体深度方向的开采及充填顺序与分层进路充填采矿法完全一致;每分层的进路划分为围岩和矿体边界上的边帮进路和矿体内部进路,每分层进路的作业方式为,按回字形顺序开采及封闭边帮进路,依从由矿体两帮进路向矿体中间进路逐渐推进的原则开采及充填内部进路,若遇上需要预留CO<sub>2</sub>封存空区(2)或高孔隙度的CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3)的进路,则先跳过该进路,开采及充填下一条进路,当需要预留CO<sub>2</sub>封存空区(2)或高孔隙度的CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3)的进路的两侧进路均充填后,再开采该进路,然后留空或者废石充填形成CO<sub>2</sub>封存空区(2)或高孔隙度的CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3)。

3. 根据权利要求1所述的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,其特征在于:

用气密材料(1)封闭除联络巷外的边帮的方法如下:对边帮进路靠围岩侧的外侧采用高强度尾砂胶结充填体(5)充填,边帮进路靠矿体的内侧采用气密材料(1)充填,并在气密材料(1)和内部未开采矿块间保留1/10边帮进路宽度作为崩矿冲击的隔离空间,保护两帮充填体和密封材料;

用气密材料(1)封闭边帮联络巷的方法如下:对分层联络巷(11)靠矿体侧的内侧采用

气密材料(1)充填,对分层联络巷(11)靠围岩侧的外侧用高强度尾砂胶结充填体(5)充填,采场联络巷(10)全部用尾砂胶结充填体(4)充填。

4. 根据权利要求1所述的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,其特征在于:

矿体(12)顶部分层和底部分层需分别设置气密性人工假顶(6)和气密性人工假底(7),当选择采用下向分层进路充填法进行开采,需要在每个中段顶部设置气密性人工假顶(6),若选择采用上向分层进路充填法进行开采,需要在每个中段底部设置气密性人工假底(7),通过气密性人工假顶(6)和气密性人工假底(7),结合边帮气密材料(1)及高强度尾砂胶结充填体(5),形成以中段为单位的稳定的碳封存单元结构。

5. 根据权利要求1所述的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,其特征在于:捕集的CO<sub>2</sub>来自矿企选冶厂,或电力、水泥、钢铁、化工四大排放源;捕集的CO<sub>2</sub>通过设置在回风井附近的地表CO<sub>2</sub>泵站,经管道沿回风井、回风巷接入分段运输巷(8)和采场联络巷(10)交汇处的CO<sub>2</sub>管道(9),将CO<sub>2</sub>注入空区(2)或废石充填区(3),避免CO<sub>2</sub>管道(9)泄露污染新鲜风流。

6. 根据权利要求2所述的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,其特征在于:CO<sub>2</sub>管道(9)的CO<sub>2</sub>输送压力控制在维持边帮气密材料(1)及高强度尾砂胶结充填体(5)稳定、同时局部撕裂CO<sub>2</sub>封存空区(2)或CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3)周边尾砂胶结充填体(4)的水平,其中,气态CO<sub>2</sub>压力可低至1MPa以下,适合开采初期,矿体(12)埋深小于100m、地应力和围岩强度较低的采空区,随着采深、地应力和围岩强度增大,可逐渐提高充入的CO<sub>2</sub>压力,当采空区所在地层地温大于31℃、采深大于800m,考虑以超临界态封存CO<sub>2</sub>。

7. 根据权利要求1所述的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,其特征在于:在采场联络巷(10)和分段运输巷(8)交汇点附近的CO<sub>2</sub>管道(9)上设有CO<sub>2</sub>压力传感器、气密阀和法兰接口;当CO<sub>2</sub>注入作业结束后,关闭气密阀,松开法兰接口,再用法兰封闭接口堵住与CO<sub>2</sub>封存区(2)或CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3)联通的管道,将当前分段运输巷上的CO<sub>2</sub>管道回收在下一分段运输巷上重复利用,由地表CO<sub>2</sub>泵站至当前分段其余CO<sub>2</sub>管道保持不动,往下延伸至下一分段;CO<sub>2</sub>压力传感器在封存期间监测CO<sub>2</sub>封存空区(2)或CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3)内的CO<sub>2</sub>压力变化。

8. 根据权利要求1所述的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,其特征在于:矿体边帮附近的围岩中每间隔一个分段高度距离设置一个CO<sub>2</sub>浓度传感器,用于CO<sub>2</sub>泄露预警;若封存期间无明显CO<sub>2</sub>泄露,且检测CO<sub>2</sub>封存空区(2)或CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3)的CO<sub>2</sub>压力传感器读数缓慢下降,则说明CO<sub>2</sub>与充填体发生矿化反应,当CO<sub>2</sub>压力降至设定压力的75%,可利用气密阀和法兰接口,重新接入CO<sub>2</sub>气源,为CO<sub>2</sub>封存空区(2)或CO<sub>2</sub>封存废石充填区(3)补压。

9. 根据权利要求1所述的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,其特征在于:尾砂胶结充填体(4)使用的尾砂胶结充填料浆包括矿山尾砂、波特兰水泥或掺粉煤灰、钢渣复合硅酸盐水泥、水、添加剂,充填料浆浓度大于70%,3d强度大于1MPa;下向分层充填法中使用的尾砂胶结充填体(4)中灰砂质量比大于1:6,28d强度大于3.5MPa;上向分层充填法的尾砂胶结充填体(4)中灰砂质量比大于1:8,28d强度大于2MPa;充填边帮进路及分层联络巷外侧的高强度尾砂胶结充填体(5)中灰砂质量比大于1:4,28d强度大于5MPa。

10. 根据权利要求1所述的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法，其特征在于：

所述的气密材料(1)包括气密混凝土、沥青基气密充填料、矿用充填密闭材料；

所述的气密性人工假顶(6)和气密性人工假底(7)包括气密混凝土、混凝土加沥青基气密充填料的复合结构、混凝土加矿用充填密闭材料的复合结构。

## 一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法

### 技术领域

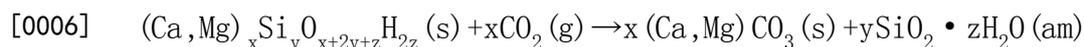
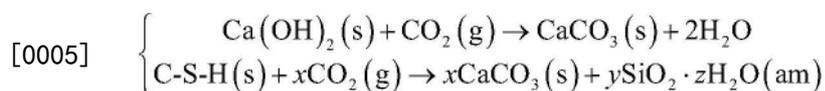
[0001] 本发明涉及一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,属于金属矿山的二氧化碳封存领域。

### 背景技术

[0002] 目前,二氧化碳地质利用与封存的主要场所为深部咸水层和油气田;其中,油气田主要开展驱油/气增采,封存量较小;深部咸水层的封存潜力大,但有效CO<sub>2</sub>封存空间也仅为2-3%,而且井建施工耗资巨大。到2050年,CO<sub>2</sub>封存能力将需要从约4000万公吨/年增加到超过56亿公吨/年,依靠深部咸水层、油气田等常规地质资源,可能需要近1.3万亿美元的资本投入。这给寻找低成本、大规模的CO<sub>2</sub>封存场地提出了挑战,也创造了新机遇。

[0003] 至2015年底我国金属非金属(非煤)地下矿山共有采空区12.8亿m<sup>3</sup>,2020年废弃煤矿地下空间资源约72亿m<sup>3</sup>。充分利用矿山采空区资源为CO<sub>2</sub>地下封存服务,有望大大提高CO<sub>2</sub>封存能力、降低封存成本。由于煤层对CO<sub>2</sub>具有一定吸附能力,且CO<sub>2</sub>具有驱替、增采煤层气的作用,采空区碳封存在煤矿开采领域被大量研究,如在多孔介质充填的采空区内存储二氧化碳气体的方法,公开号CN110344877A)、一种利用煤矿废弃矿井采空区封存CO<sub>2</sub>的方法,公开号CN109812293A、一种无隔离煤柱充填开采与构建采空区储库的方法,公开号CN114412464A、矿化利用CO<sub>2</sub>废气生态保护性采煤方法,公开号CN113622993A;然而依靠煤层吸附作用可封存的CO<sub>2</sub>含量少,且煤矿围岩较为破碎,大量空区在开采后坍塌,采空区封堵难度大,容易造成CO<sub>2</sub>泄露。金属矿围岩稳定性普遍比煤矿高,且尾砂胶结充填采矿法兼具采空区治理、地压控制、地表沉陷控制、尾砂处置的作用,在金属矿山得到广泛应用。这在地下金属矿开展采空区局部充填碳封存创造了良好条件。

[0004] 尾砂胶结充填体,是一种由水、水泥、尾砂和添加剂混合的具有一定流动性的料浆,输送至采空区,经过一段时间水化反应,固结成具有一定强度的人工介质体。充填体的主要成分为水化产物和尾砂矿物,无地下水侵蚀环境下,CO<sub>2</sub>与水化产物发生如式1所示的反应,CO<sub>2</sub>与基性尾砂矿物发生如式2所示的反应,均可生成高强度的CaCO<sub>3</sub>和具有胶凝作用的硅胶SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O,从而降低充填体孔隙度,提高充填体整体强度,并可逐渐增强充填体密封性。



[0007] 一种尾砂碳化胶结充填的方法(授权公告号CN113213829B)利用CO<sub>2</sub>与充填体的反应机制,提出在充填体内埋设管道通入CO<sub>2</sub>矿化养护充填体的方法,但是该方法并不提供CO<sub>2</sub>封存空间,单纯依靠矿化固碳在短时间可封存的CO<sub>2</sub>量少,减排效率低。

[0008] 此外,多孔介质充填的采空区内存储二氧化碳气体的方法(授权公告号CN110344877B)、一种利用煤矿废弃矿井采空区封存CO<sub>2</sub>的方法(公开号CN109812293A未授权)、一种无隔离煤柱充填开采与构建采空区储库的方法(公开号CN114412464A未授权)和

矿化利用CO<sub>2</sub>废气生态保护性采煤方法(公开号CN113622993A未授权)等一系列专利,尽管都提出了预留空区的方法,但都是针对煤矿这类薄层水平(或缓倾斜)矿体,金属矿床一般为急倾斜,在深度方向延伸大,采矿方法与煤矿开采差异大。而且,多孔介质充填的采空区内存储二氧化碳气体的方法(授权公告号CN110344877B)采用模具浇筑多孔介质充填体再砌筑充填条带的工艺流程无法通过现行充填系统实现。因此,以上发明并不适用于金属矿采空区碳封存。

## 发明内容

[0009] 针对上述现有技术的不足,提供一种结合碳减排、采空区充填治理的安全、低成本的尾砂胶结局部充填采空区碳封存方法,利用尾砂胶结充填体局部充填采空区在地下金属矿构建CO<sub>2</sub>长期封存场所,同时利用CO<sub>2</sub>与尾砂胶结充填体反应,将CO<sub>2</sub>永久固定在充填体中,降低大气碳排放量,还能提高充填体强度,维持地下空间稳定性。此外,本发明与金属矿开采普遍采用的分层进路充填采矿方法结合,无需改变矿山原有的充填系统,易于实现,额外成本支出少。

[0010] 为实现上述技术目的,本发明的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,步骤如下:

[0011] 在分层进路尾砂胶结充填采矿基础上,利用气密材料在金属矿的矿体边界建设密封层封闭整个采空区,利用边帮高强度尾砂胶结充填体、人工假顶或人工假底以及采空区内间隔充填的尾砂胶结充填体支撑采空区整体框架,根据实地情况在采空区预留CO<sub>2</sub>封存空区或高孔隙度的CO<sub>2</sub>封存废石充填区,碳封存初期利用管路向CO<sub>2</sub>封存空区或CO<sub>2</sub>封存废石充填区充入CO<sub>2</sub>,依靠矿体边界上的气密材料把CO<sub>2</sub>密封在采空区内,随着空区内封存的CO<sub>2</sub>扩散进入尾砂胶结充填体,与尾砂胶结充填体中的基性尾砂和水泥水化产物反应,消耗CO<sub>2</sub>的同时生成高强度的碳酸钙CaCO<sub>3</sub>和具有胶凝作用的硅胶SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O,从而提高尾砂胶结充填体整体强度和气密性,降低尾砂胶结充填体孔隙度,实现大量、长期且安全的碳封存;

[0012] 具体步骤如下:

[0013] 步骤1. 按回字形开采当前分层矿体边帮,利用气密材料封闭除联络巷外的边帮,留采场联络巷以及分层联络巷服务当前开采的分层;

[0014] 步骤2. 用分层进路充填法开采除边帮外的内部矿体,若采用下向分层进路充填采矿法开采矿体,使用尾砂胶结充填体间隔充填采空的进路,预留出CO<sub>2</sub>封存空区,若采用上向分层进路充填采矿法,则使用尾砂胶结充填体和废石间隔充填采空的进路形成CO<sub>2</sub>封存废石充填区;

[0015] 步骤3. 当前分层作业结束后,在采场联络巷和分层联络巷架设由CO<sub>2</sub>封存空区或CO<sub>2</sub>封存废石充填区至分段运输巷的CO<sub>2</sub>管道,然后使用气密材料封闭采场联络巷和分层联络巷;

[0016] 步骤4. 按分层开采顺序,逐层重复步骤1-3,直至当前中段作业结束,将捕集的CO<sub>2</sub>通过沿回风路径布置的CO<sub>2</sub>管道注入CO<sub>2</sub>封存空区或CO<sub>2</sub>封存废石充填区,同时开采作业转移至下一中段,随采深和地温增大,CO<sub>2</sub>以气态至超临界态长期封存。

[0017] 进一步,开采过程中对矿体中段、分段、分层的划分,以及沿矿体深度方向的开采及充填顺序与分层进路充填采矿法完全一致;每分层的进路划分为围岩和矿体边界上的边

帮进路和矿体内部进路,每分层进路的作业方式为,按回字形顺序开采及封闭边帮,依从由矿体两帮进路向矿体中间进路逐渐推进的原则开采及充填内部进路,若遇上需要预留CO<sub>2</sub>封存空区或高孔隙度的CO<sub>2</sub>封存废石充填区的进路,则先跳过该进路,开采及充填下一条进路,当需要预留CO<sub>2</sub>封存空区或高孔隙度的CO<sub>2</sub>封存废石充填区的进路的两侧进路均充填后,再开采该进路,然后留空或者废石充填形成CO<sub>2</sub>封存空区或高孔隙度的CO<sub>2</sub>封存废石充填区。

[0018] 进一步,用气密材料封闭除联络巷外的边帮的方法如下:对边帮进路靠围岩侧的外侧采用高强度尾砂胶结充填体充填,边帮进路靠矿体的内侧采用气密材料充填,并在气密材料和内部未开采矿块间保留1/10边帮进路宽度作为崩矿冲击的隔离空间,保护两帮充填体和密封材料;用气密材料封闭边帮联络巷的方法如下:对分层联络巷靠矿体侧的内侧采用气密材料充填,对分层联络巷靠围岩侧的外侧用高强度尾砂胶结充填体充填,采场联络巷全部用尾砂胶结充填体充填。

[0019] 进一步,矿体顶部分层和底部分层需分别设置气密性人工假顶和气密性人工假底,当选择采用下向分层进路充填法进行开采,需要在每个中段顶部设置气密性人工假顶,若选择采用上向分层进路充填法进行开采,需要在每个中段底部设置气密性人工假底,通过气密性人工假顶和气密性人工假底,结合边帮气密材料及高强度尾砂胶结充填体,形成以中段为单位的稳定的碳封存单元结构。

[0020] 进一步,捕集的CO<sub>2</sub>来自矿企选冶厂,或电力、水泥、钢铁、化工四大排放源;捕集的CO<sub>2</sub>通过设置在回风井附近的地表CO<sub>2</sub>泵站,经管道沿回风井、回风巷接入分段运输巷和采场联络巷交汇处的CO<sub>2</sub>管道,将CO<sub>2</sub>注入空区或废石充填区,避免CO<sub>2</sub>管道泄露污染新鲜风流。

[0021] 进一步,CO<sub>2</sub>管道的CO<sub>2</sub>输送压力控制在维持边帮气密材料及高强度尾砂胶结充填体稳定、同时局部撕裂CO<sub>2</sub>封存空区或CO<sub>2</sub>封存废石充填区周边尾砂胶结充填体的水平,其中,气态CO<sub>2</sub>压力可低至1MPa以下,适合开采初期,矿体埋深小于100m、地应力和围岩强度较低的采空区,随着采深、地应力和围岩强度增大,可逐渐提高充入的CO<sub>2</sub>压力,当采空区所在地层地温大于31℃、采深大于800m,考虑以超临界态封存CO<sub>2</sub>。

[0022] 进一步,在采场联络巷和分段运输巷交汇点附近的CO<sub>2</sub>管道上设有CO<sub>2</sub>压力传感器、气密阀和法兰接口;当CO<sub>2</sub>注入作业结束后,关闭气密阀,松开法兰接口,再用法兰封闭接口堵住与CO<sub>2</sub>封存区或CO<sub>2</sub>封存废石充填区联通的管道,将当前分段运输巷上的CO<sub>2</sub>管道回收在下一分段运输巷上重复利用,由地表CO<sub>2</sub>泵站至当前分段其余CO<sub>2</sub>管道保持不动,往下延伸至下一分段;CO<sub>2</sub>压力传感器在封存期间监测CO<sub>2</sub>封存空区或CO<sub>2</sub>封存废石充填区内的CO<sub>2</sub>压力变化。

[0023] 进一步,矿体边帮附近的围岩中每间隔一个分段高度距离设置一个CO<sub>2</sub>浓度传感器,用于CO<sub>2</sub>泄露预警;若封存期间无明显CO<sub>2</sub>泄露,且检测CO<sub>2</sub>封存空区或CO<sub>2</sub>封存废石充填区的CO<sub>2</sub>压力传感器读数缓慢下降,则说明CO<sub>2</sub>与充填体发生矿化反应,当CO<sub>2</sub>压力降至设定压力的75%,可利用气密阀和法兰接口,重新接入CO<sub>2</sub>气源,为CO<sub>2</sub>封存空区或CO<sub>2</sub>封存废石充填区补压。

[0024] 进一步,尾砂胶结充填体使用的尾砂胶结充填料浆包括矿山尾砂、波特兰水泥或掺粉煤灰、钢渣复合硅酸盐水泥、水、添加剂,充填料浆浓度大于70%,3d强度大于1MPa;下向分层充填法中使用的尾砂胶结充填体中灰砂质量比大于1:6,28d强度大于3.5MPa;上向分层充填法的尾砂胶结充填体中灰砂质量比大于1:8,28d强度大于2MPa;充填边帮进路及

分层联络巷外侧的高强度尾砂胶结充填体中灰砂质量比大于1:4,28d强度大于5MPa。

[0025] 进一步,所述的气密材料包括气密混凝土、沥青基气密充填料、矿用充填密闭材料;所述的气密性人工假顶和气密性人工假底包括气密混凝土、混凝土加沥青基气密充填料的复合结构、混凝土加矿用充填密闭材料的复合结构。

[0026] 有益效果:

[0027] 本发明具有以下技术优点,1)利用尾砂胶结充填体局部充填采空区在地下金属矿构建CO<sub>2</sub>封存场所,实现CO<sub>2</sub>高效、大规模、长期物理封存;2)利用CO<sub>2</sub>与尾砂胶结充填体反应,将CO<sub>2</sub>固定在充填体中,实现CO<sub>2</sub>永久、稳定化学封存;3)利用CO<sub>2</sub>与尾砂胶结充填体反应,逐渐降低充填体孔隙度、提高充填体强度,保障地下空间稳定性和封存结构封闭性;4)与金属矿开采普遍采用的分层进路充填采矿方法结合,无需改变矿山原有的充填系统,易于实现,额外成本支出少。

## 附图说明

[0028] 图1(a)为下向分层充填采矿采空区碳封存沿矿体走向平面示意图;

[0029] 图1(b)为下向分层充填采矿采空区碳封存的沿矿体厚度剖面示意图;

[0030] 图2(a)为图1(b)的D1-D1剖面区域利用本发明基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法的碳封存开采及充填顺序示意图;

[0031] 图2(b)为图1(b)的E1-E1剖面区域利用本发明基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法的碳封存开采及充填顺序示意图;

[0032] 图3(a)为上向分层充填采矿采空区碳封存沿矿体走向平面示意图;

[0033] 图3(b)为上向分层充填采矿采空区碳封存的沿矿体厚度剖面示意图;

[0034] 图4(a)为图3(b)的D2-D2剖面区域利用本发明基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法的碳封存开采及充填顺序示意图;

[0035] 图4(b)为图3(b)的E2-E2剖面区域利用本发明基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法的碳封存开采及充填顺序示意图;

[0036] 图中:1、气密材料;2、CO<sub>2</sub>封存空区;3、CO<sub>2</sub>封存废石充填区;4、尾砂胶结充填体;5、高强度尾砂胶结充填体;6、气密性人工假顶;7、气密性人工假底;8、分段运输巷;9、CO<sub>2</sub>管道;10、采场联络巷;11、分层联络巷;12、矿体。

## 具体实施方式

[0037] 为了更清楚的说明本发明所采用的技术手段和方法,下面结合附图对本发明的实施例作进一步说明。

[0038] 本发明的一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,在分层进路尾砂胶结充填采矿基础上,利用气密材料1在金属矿的矿体12边界建设密封层封闭整个采空区,利用边帮高强度尾砂胶结充填体5、人工假顶6或人工假底7以及采空区内间隔充填的尾砂胶结充填体4支撑采空区整体框架,根据实地情况在采空区预留CO<sub>2</sub>封存空区2或高孔隙度的CO<sub>2</sub>封存废石充填区3,碳封存初期利用管路向CO<sub>2</sub>封存空区2或CO<sub>2</sub>封存废石充填区3充入CO<sub>2</sub>,依靠矿体12边界上的气密材料1把CO<sub>2</sub>密封在采空区内,随着空区内封存的CO<sub>2</sub>扩散进入尾砂胶结充填体4,与尾砂胶结充填体4中的基性尾砂和水泥水化产物反应,消耗CO<sub>2</sub>的

同时生成高强度的碳酸钙 $\text{CaCO}_3$ 和具有胶凝作用的硅胶 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ,从而提高尾砂胶结充填体4整体强度和气密性,降低尾砂胶结充填体4孔隙度,实现大量、长期且安全的碳封存;

[0039] 实施例一

[0040] 一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,与下向分层充填采矿法结合时,具体步骤及参数如下:

[0041] 矿块划分如图1(a)和图1(b)所示,进路宽4m,分层高3m,每分段三个分层,高9m,每中段三个分段,高27m。尾砂胶结充填体灰砂比1:6,充填料浆浓度75%,充填体3d强度1.5MPa,28d强度3.5MPa。高强度尾砂胶结充填体灰砂比1:4,充填料浆浓度75%,充填体3d强度2.5MPa,28d强度5MPa。每中段顶部采用气密混凝土构筑气密性人工假顶6,此外,矿体顶部分层和底部分层靠近矿体的内侧采用气密混凝土分别构筑气密性人工假顶6和气密性人工假底7,边帮也采用气密混凝土作为气密充填料1。

[0042] 如图2(a)和图2(b)所示,步骤1.首先采掘采场联络巷10,沿采场边帮按回字形依次采掘分层联络巷、两帮进路和平行于分层联络巷的边帮进路,然后依次充填平行于分层联络巷的边帮进路和两帮进路,留采场联络巷以及分层联络巷服务当前分层,图中C0-C11为采场开采顺序;F0-F11为采场充填顺序,施工顺序为C0→C1→C2→C3→F0→F1,其中,边帮进路外侧采用高强度尾砂胶结充填体5充填,边帮进路内侧采用气密混凝土1充填;

[0043] 步骤2.用下向分层进路法开采及充填内部矿体,用尾砂胶结充填体4间隔充填留空区2,D1-D1型分层开采及充填顺序为:C4→F2→C5→F3→C6→C7→F4→C8→F5→C9→F6→C10→C11→F7,具体见图2(a);E1-E1型分层开采及充填顺序为:C4→F2→C5→F3→C6→F4→C7→F5→C8→C9→F6→C10→F7→C11,具体见图2(b);

[0044] 步骤3.当前分层作业结束,在联络巷架设由采空区2至分段运输巷8的 $\text{CO}_2$ 管道9,首先用气密混凝土1充填分层联络巷内侧,其次用高强度尾砂胶结充填体5充填分层联络巷外侧和采场联络巷10,即充填顺序为F8→F9,具体见图2;

[0045] 步骤4.当前中段作业结束,将矿山选冶厂捕集的 $\text{CO}_2$ 通过管道9沿矿井回风路径经回风井、回风巷、分段运输巷8、采场联络巷10注入采空区2,采深-100m水平的空区内 $\text{CO}_2$ 压力为1MPa,采深每下降50m约两个中段高度, $\text{CO}_2$ 压力提升0.5MPa。

[0046] 实施例二

[0047] 一种基于分层进路尾砂胶结充填采矿的采空区碳封存方法,与上向分层充填采矿法结合时,具体步骤及参数如下:

[0048] 矿块划分如图3(a)和图3(b)所示,进路宽4m,分层高3m,每分段三个分层,高9m,每中段三个分段,高27m。尾砂胶结充填体灰砂比1:8,充填料浆浓度75%,充填体3d强度1.2MPa,28d强度2MPa。高强度尾砂胶结充填体灰砂比1:4,充填料浆浓度75%,充填体3d强度2.5MPa,28d强度5MPa。废石充填区的废石充填率为40%-50%,即废石充填区留50%-60%的空间用于碳封存。每中段底部采用气密性混凝土构筑气密性人工假底7,此外,矿体顶部分层和底部分层靠近矿体的内衬采用气密性混凝土分别构筑气密性人工假顶6和气密性人工假底7,边帮也采用气密混凝土作为气密充填料1。

[0049] 如图4(a)和图4(b)所示,步骤1.首先采掘采场联络巷10,沿采场边帮按回字形依次采掘分层联络巷、两帮进路和平行于分层联络巷的边帮进路,然后依次充填平行于分层联络巷的边帮进路和两帮进路,留采场联络巷以及分层联络巷服务当前分层,图中C0-C11

为采场开采顺序;F0-F11为采场充填顺序,施工顺序为C0→C1→C2→C3→F0→F1,其中,边帮进路外侧采用高强度尾砂胶结充填体5充填,边帮进路内侧采用气密混凝土1充填;

[0050] 步骤2.用上向分层进路法开采及充填内部矿体,用尾砂胶结充填体4和废石间隔充填,D2-D2型分层和E2-E2型分层进路采场开采及充填顺序均为C4→F2→C5→F3→C6→F4→C7→F5→C8→F6→C9→F7→C10→F8→C11→F9,具体见图4(a)和图4(b);

[0051] 步骤3.当前分层作业结束,在联络巷架设由废石充填区3至分段运输巷8的CO<sub>2</sub>管道9,首先用气密混凝土1充填分层联络巷内侧,其次用高强度尾砂胶结充填体5充填分层联络巷外侧和采场联络巷10,即充填顺序为F10→F11,具体见图4(a)和图4(b);

[0052] 步骤4.当前中段作业结束,将矿山选冶厂捕集的CO<sub>2</sub>通过管道9沿矿井回风路径经回风井、回风巷、分段运输巷8、采场联络巷10注入废石充填区3,采深-100m水平的空区内CO<sub>2</sub>压力为1MPa,采深每下降50m约两个中段高度,CO<sub>2</sub>压力提升0.5MPa。

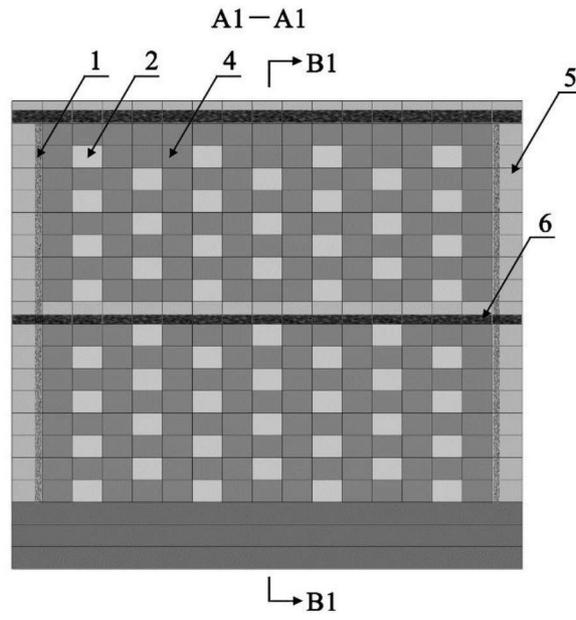


图1(a)

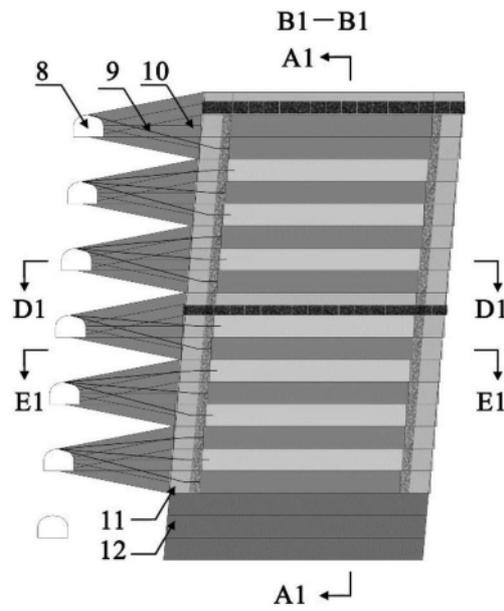


图1(b)

D1-D1

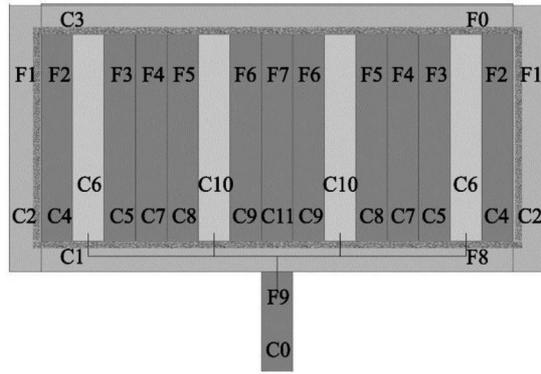


图2 (a)

E1-E1

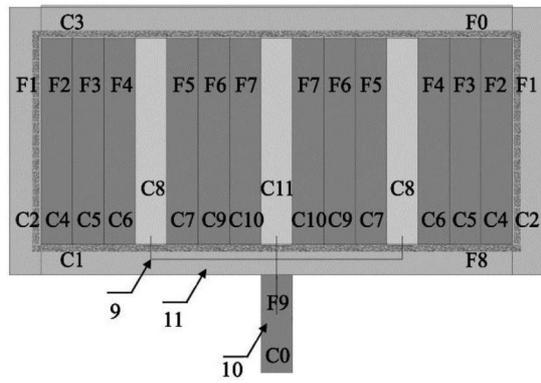


图2 (b)

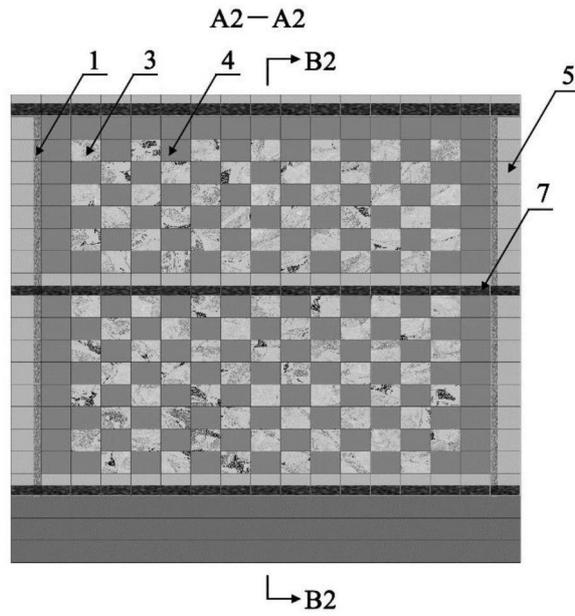


图3(a)

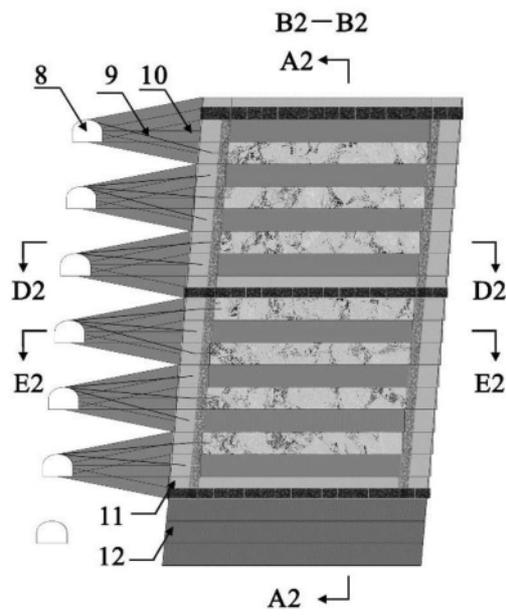


图3(b)

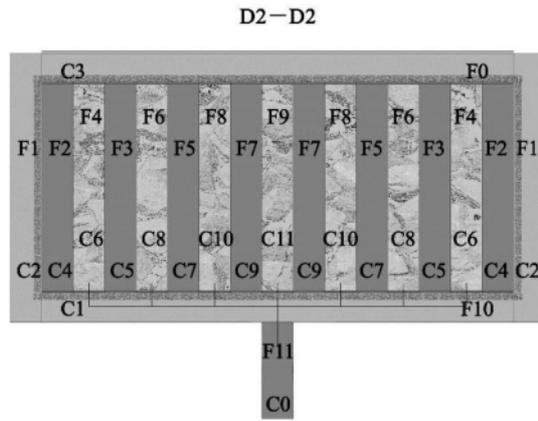


图4 (a)

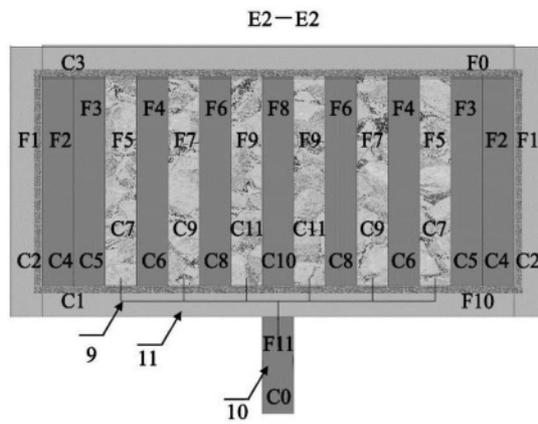


图4 (b)