



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113047837 B

(45) 授权公告日 2022. 02. 01

(21) 申请号 202110338294.9

E21C 37/00 (2006.01)

(22) 申请日 2021.03.30

E21F 15/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

B07B 13/00 (2006.01)

申请公布号 CN 113047837 A

G22B 4/08 (2006.01)

G22B 4/00 (2006.01)

(43) 申请公布日 2021.06.29

(56) 对比文件

(73) 专利权人 东北大学

CN 111926179 A, 2020.11.13

地址 110819 辽宁省沈阳市和平区文化路3号巷11号

CN 103397881 A, 2013.11.20

CN 104096680 A, 2014.10.15

(72) 发明人 冯夏庭 林峰 杨成祥 张九雨  
苏香馨 李世平

RU 2091584 C1, 1997.09.27

卢高明等.微波辅助机械破岩试验和理论研究进展.《岩土工程学报》.2016,

(74) 专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限公司 21109

审查员 张樱

代理人 李珉

(51) Int. Cl.

E21C 41/22 (2006.01)

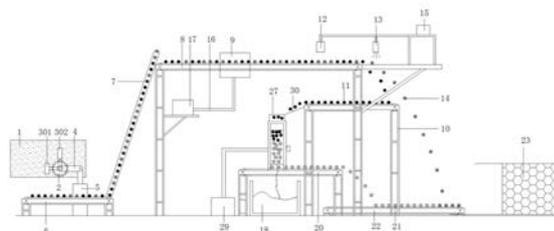
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种金属矿微波-机械流态化开采系统及开采方法

(57) 摘要

一种金属矿微波-机械流态化开采系统及开采方法,包括微波预裂机械采矿系统、微波分离系统、高功率微波聚焦熔化系统及采空区;通过微波预裂采矿系统采下的矿-废混合体通过其上的输送机I和提升机运输到微波分离系统,分离出的矿石运输到高功率微波聚焦熔化系统,分离后的废石通过输送机V运输到采空区充填。采用了微波预裂机械采矿,代替传统的爆破采矿方法,提高了掘进速度,避免了爆破对围岩稳定的影响。简化了选矿的工艺,减少了传统破碎、磨矿、浮选的工序,大幅降低了对钢材、化学溶液等不可再生资源的消耗,主要采用的微波能量可以通过可再生能源转化。



1. 一种金属矿微波-机械流态化开采系统,其特征在于,包括微波预裂机械采矿系统、微波分离系统、高功率微波聚焦熔化系统及采空区;通过微波预裂采矿系统采下的矿-废混合物通过其上的输送机I和提升机运输到微波分离系统,分离出的矿石运输到高功率微波聚焦熔化系统,分离后的废石通过输送机V运输到采空区充填;

所述高功率微波聚焦熔化系统包括输送机III、竖向流矿管道,所述输送机III位于输送机II右下方设置,输送机III左下方设置有输送机IV,输送机IV的传送带为网孔式传送带,输送机III右下方设置有输送机V,输送机III和输送机IV均通过机架安装于地面上,输送机IV下方设置有安装于地面上的熔融金属矿物池,输送机III的输出端通过溜槽与破碎机连接,破碎机通过支架安装于输送机IV机架上,支架内固定安装有竖向流矿管道,破碎机输出端与竖向流矿管道入口端连接,竖向流矿管道外圆从上至下依次设置有上扼流圈、单模加热腔、下扼流圈及电磁线圈,单模加热腔一侧设置有红外热成像仪II,单模加热腔通过波导与安装于地面的微波发生器II连接,经单模加热腔熔融的金属矿物经竖向流矿管道输出端流出通过网孔式传送带的网孔流入熔融金属矿物池,分离出来的脉石矿物通过输送机IV和输送机V输送至采空区。

2. 根据权利要求1所述的一种金属矿微波-机械流态化开采系统,其特征在于:所述微波预裂机械采矿系统包括敞开式微波辐射器、机械切割机、输送机I及提升机,输送机I通过其上的机架固定安装于地面上,输送机I的输出端与提升机的输入端连接,切割机通过机身固定安装于地面上,且位于输送机I一侧设置,切割机的机头侧壁上安装有敞开式微波辐射器;切割机的刀盘和敞开式微波辐射器通过切割机上的机械摇臂的伸展与转动控制高度及角度,敞开式微波辐射器分为水平布置的敞开式微波辐射器和垂直布置的敞开式微波辐射器,水平布置的敞开式微波辐射器布置在机械切割机沿切割方向前端,垂直布置的敞开式微波辐射器布置在机械切割机垂直切割方向上方。

3. 根据权利要求1所述的一种金属矿微波-机械流态化开采系统,其特征在于:所述微波分离系统包括微波腔体、分离控制器及输送机II;所述输送机II通过机架安装于地面上,且输入端与提升机的输出端连接,输送机II靠近提升机一侧的机架上通过肋板安装有微波发生器基座,微波发生器基座上表面安装有微波发生器I,微波发生器I通过波导与微波腔体连接,输送机II的传送带穿过微波腔体,输送机II远离提升机一侧通过肋板安装有支撑板,支撑板上安装有支架,支架上表面安装有分离控制器,支架的两个水平梁上分别安装有多个红外热成像仪I和多个空气喷嘴,且红外热成像仪I和空气喷嘴的个数相等,所述空气喷嘴位于矿石下落的正上方设置,红外热成像仪I和空气喷嘴均与分离控制器连接,矿石颗粒在输送机II的传输下经过封闭的微波腔体加热后,通过红外热成像仪I进行测温,加热后的矿石和废石的混合物经过分离控制系统的正下方时,空气喷嘴开启,矿石在气吹的作用下改变运行轨迹下落到输送机III上,废石不改变运动轨迹下落到输送机V上。

4. 根据权利要求1所述的一种金属矿微波-机械流态化开采系统的开采方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,根据机械切割机一次切割高度对矿体划分若干层,自下而上分层切割;

步骤2,同时开启水平布置的敞开式微波辐射器和垂直布置的敞开式微波辐射器,调至安全范围的最大输出功率,分别预裂第一层和第二层的矿体,敞开式微波辐射器与机械切割机行进方向一致,水平布置的敞开式微波辐射器预裂矿体后,机械切割机同步跟进连续

切割第一层矿体,同时垂直布置的敞开式微波辐射器预裂第二层矿体,第一层矿体切割完毕后继续切割第二层矿体,切割第二层矿体时,机械切割机通过机械摇臂将水平布置的敞开式微波辐射器和刀盘平移到第二层矿体处,此时垂直布置的敞开式微波辐射器移动至第三层矿体处,而第二层矿体已被垂直布置的敞开式微波辐射器预裂,根据第一层矿体的切割效果,选择开启或关闭水平布置的敞开式微波辐射器,当第一层矿体切割速度满足现场需求,则关闭水平布置的敞开式微波辐射器;当第一层矿体切割速度不能满足现场需求,则开启水平布置的敞开式微波辐射器;重复步骤2继续开采下一层矿体;

步骤3,切割下来的矿体颗粒通过输送机I及提升机输送至输送机II,经过微波腔体对矿石颗粒进行加热处理,通过红外热成像仪I统计达到边界品位的矿体颗粒经过微波后的最低平均温度a;

步骤4,将步骤3测得的平均温度a作为标准,当红外热成像仪I测得矿体颗粒平均温度 $<a$ ,则为废石,废石在输送机II输出端滑落至输送机V,通过输送机V输送至采空区;当红外热成像仪I测得矿体颗粒平均温度 $>a$ ,则为矿石,控制器根据红外热成像仪I的反馈,经过t秒后打开空气喷嘴,此时矿石正好位于空气喷嘴正下方,通过空气喷嘴将矿石吹至输送机III上;

步骤5,针对金属矿物与脉石矿物熔点差值超过 $500^{\circ}\text{C}$ 的矿石进行下阶段处理,通过介电性能测试确定矿石微波加热的最佳粒径,然后将分离出的矿石颗粒经过输送机III输出至破碎机,采用破碎机破碎至最佳粒径;

步骤6,通过破碎机破碎后最佳粒径的矿石颗粒与石墨粉均匀混合,均匀混合后的矿石颗粒运送到高功率微波聚焦熔化系统,根据金属矿物吸收微波且熔点小于脉石矿物的特点,将矿石中的金属矿物熔化流出,当红外热成像仪II检测到单模加热腔内最高温度达到金属矿物熔点后,输送机IV开始工作,熔融金属通过输送机IV的传送带的网孔流至熔融金属矿物池;分离后的脉石矿物经过输送机V输送至采空区;

步骤7,参数优化:对脉石矿物进行成分分析,石墨粉比例根据脉石矿物熔化效果而定,当脉石矿物中金属矿物含量 $\geq 10\%$ 时,提高石墨粉含量,降低矿石流速;当脉石矿物中金属矿物含量 $< 10\%$ 时,以此时的石墨粉含量和矿石流速进行工作。

## 一种金属矿微波-机械流态化开采系统及开采方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于金属矿开采技术领域,具体涉及一种金属矿微波-机械流态化开采系统及开采方法。

### 背景技术

[0002] 金属矿采选的本质就是矿石破碎,将有用矿物提取出来。传统的金属矿采矿工艺流程:采用钻爆法凿岩爆破大块矿石,随后运到地面进行矿石的破碎、磨矿、浮选工作,将有用的矿物挑选出来运到冶炼厂,同时还需要从地面运输骨料充填采空区。

[0003] 传统的开采工艺从开矿到选矿的工艺流程繁琐,运输路线长、成本高,在采矿工艺上,钻爆法施工推进速度慢,并且对于围岩的稳定性会产生很大的影响,这给工人施工安全带来了巨大威胁。尤其是金属矿山向深部开采,高地应力、高温的影响会进一步增大传统采矿工艺的难度和成本。其次从地面运输充填料到采空区会增加充填材料和运输成本。传统的选矿工艺,矿石破碎、磨矿工作能耗大,尤其是磨矿工作有效利用率只有1%,并且会产生大量的钢材损耗,而后续的浮选工作还会消耗大量的化学溶液。对于低品位矿石,最终只能提取少量有用的矿物,绝大部分废石的运输、破碎和浮选浪费了巨大的成本。

### 发明内容

[0004] 本发明目的是提供一种金属矿微波-机械流态化开采系统及开采方法,采用微波技术依次进行预裂矿石机械连续开采,微波分离废石与矿石,微波聚焦融化实现金属矿物富集融化的目的,将废石就地运往采空区填充,从而简化矿石采选工艺,实现金属矿的流态化开采。

[0005] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种金属矿微波-机械流态化开采系统,包括微波预裂机械采矿系统、微波分离系统、高功率微波聚焦融化系统及采空区;通过微波预裂采矿系统采下的矿-废混合体通过其上的输送机I和提升机运输到微波分离系统,分离出的矿石运输到高功率微波聚焦融化系统,分离后的废石通过输送机V运输到采空区充填。

[0007] 所述微波预裂机械采矿系统包括敞开式微波辐射器、机械切割机、输送机I及提升机,输送机I通过其上的机架固定安装于地面上,输送机I的输出端与提升机的输入端连接,切割机通过机身固定安装于地面上,且位于输送机I一侧设置,切割机的机头侧壁上安装有敞开式微波辐射器;切割机的刀盘和敞开式微波辐射器通过切割机上的机械摇臂的伸展与转动控制高度及角度,敞开式微波辐射器分为水平布置的敞开式微波辐射器和垂直布置的敞开式微波辐射器,水平布置的敞开式微波辐射器布置在机械切割机沿切割方向前端,垂直布置的敞开式微波辐射器布置在机械切割机垂直切割方向上方。

[0008] 所述微波分离系统包括微波腔体、分离控制器及输送机II;所述输送机II通过机架安装于地面上,且输入端与提升机的输出端连接,输送机II靠近提升机一侧的机架上通过肋板安装有微波发生器基座,微波发生器基座上表面安装有微波发生器I,微波发生器I

通过波导与微波腔体连接,输送机Ⅱ的传送带穿过微波腔体,输送机Ⅱ远离提升机一侧通过肋板安装有支撑板,支撑板上安装有支架,支架上表面安装有分离控制器,支架的两个水平梁上分别安装有多个红外热成像仪I和多个空气喷嘴,且红外热成像仪I和空气喷嘴的个数相等,所述空气喷嘴位于矿石下落的正上方设置,红外热成像仪I和空气喷嘴均与分离控制器连接,矿石颗粒在输送机Ⅱ的传输下经过封闭的微波腔体加热后,通过红外热成像仪I进行测温,加热后的矿石和废石的混合物经过分离控制系统的正下方时,空气喷嘴开启,矿石在气吹的作用下改变运行轨迹下落到输送机Ⅲ上,废石不改变运动轨迹下落到输送机Ⅴ上。

[0009] 所述高功率微波聚焦熔化系统包括输送机Ⅲ、竖向流矿管道,所述输送机Ⅲ位于输送机Ⅱ右下方设置,输送机Ⅲ左下方设置有输送机Ⅳ,输送机Ⅳ的传送带为网孔式传送带,输送机Ⅲ右下方设置有输送机Ⅴ,输送机Ⅲ和输送机Ⅳ均通过机架安装于地面上,输送机Ⅳ下方设置有安装于地面上的熔融金属矿物池,输送机Ⅲ的输出端通过溜槽与破碎机连接,破碎机通过支架安装于输送机Ⅳ机架上,支架内固定安装有竖向流矿管道,破碎机输出端与竖向流矿管道入口端连接,竖向流矿管道外圆从上至下依次设置有位于上部的扼流圈、单模加热腔、位于下部的扼流圈及电磁线圈,单模加热腔一侧设置有红外热成像仪Ⅱ,单模加热腔通过波导与安装于地面的微波发生器Ⅱ连接,经单模加热腔熔融的金属矿物经竖向流矿管道输出端流出通过网孔式传送带的网孔流入熔融金属矿物池,分离出来的脉石矿物通过输送机Ⅳ和输送机Ⅴ输送至采空区。

[0010] 一种金属矿微波-机械流态化开采系统的开采方法,包括以下步骤:

[0011] 步骤1,根据机械切割机一次切割高度对矿体划分若干层,自下而上分层切割;

[0012] 步骤2,同时开启水平布置的敞开式微波辐射器和垂直布置的敞开式微波辐射器,调至安全范围的最大输出功率,分别预裂第一层和第二层的矿体,敞开式微波辐射器与机械切割机行进方向一致,水平布置的敞开式微波辐射器预裂矿体后,机械切割机同步跟进连续切割第一层矿体,同时垂直布置的敞开式微波辐射器预裂第二层矿体,第一层矿体切割完毕后继续切割第二层矿体,切割第二层矿体时,机械切割机通过机械摇臂将水平布置的敞开式微波辐射器和刀盘平移到第二层矿体处,此时垂直布置的敞开式微波辐射器移动至第三层矿体处,而第二层矿体已被垂直布置的敞开式微波辐射器预裂,根据第一层矿体的切割效果,选择开启或关闭水平布置的敞开式微波辐射器,当第一层矿体切割速度满足现场需求,则关闭水平布置的敞开式微波辐射器;当第一层矿体切割速度不能满足现场需求,则开启水平布置的敞开式微波辐射器;重复步骤2继续开采下一层矿体;

[0013] 步骤3,切割下来的矿体颗粒通过输送机Ⅰ及提升机输送至输送机Ⅱ,经过微波腔体对矿石颗粒进行加热处理,通过红外热成像仪I统计达到边界品位的矿体颗粒经过微波后的最低平均温度 $a$ ;

[0014] 步骤4,将步骤3测得的平均温度 $a$ 作为标准,当红外热成像仪I测得矿体颗粒平均温度 $<a$ ,则为废石,废石在输送机Ⅱ输出端滑落至输送机Ⅴ,通过输送机Ⅴ输送至采空区;当红外热成像仪I测得矿体颗粒平均温度 $>a$ ,则为矿石,控制器根据红外热成像仪I的反馈,经过 $t$ 秒后打开空气喷嘴,此时矿石正好位于空气喷嘴正下方,通过空气喷嘴将矿石吹至输送机Ⅲ上;

[0015] 步骤5,针对金属矿物与脉石矿物熔点差值超过 $500^{\circ}\text{C}$ 的矿石进行下阶段处理,通

过介电性能测试确定矿石微波加热的最佳粒径,然后将分离出的矿石颗粒经过输送机Ⅲ输出至破碎机,采用破碎机破碎至最佳粒径;

[0016] 步骤6,通过破碎机破碎后最佳粒径的矿石颗粒与石墨粉均匀混合,均匀混合后的矿石颗粒运送到高功率微波聚焦熔化系统,根据金属矿物吸收微波且熔点小于脉石矿物的特点,将矿石中的金属矿物熔化流出,当红外热成像仪Ⅱ检测到单模加热腔内最高温度达到金属矿物熔点后,输送机Ⅳ开始工作,熔融金属通过输送机Ⅳ的传送带的网孔流至熔融金属矿物池;分离后的脉石矿物经过输送机Ⅴ输送至采空区;

[0017] 步骤7,参数优化:对脉石矿物进行成分分析,石墨粉比例根据脉石矿物熔化效果而定,当脉石矿物中金属矿物含量 $\geq 10\%$ 时,提高石墨粉含量,降低矿石流速;当脉石矿物中金属矿物含量 $< 10\%$ 时,以此时的石墨粉含量和矿石流速进行工作。

[0018] 本发明采用上述技术方案的有益效果是:

[0019] (1) 采用了微波预裂机械采矿,代替传统的爆破采矿方法,提高了掘进速度,避免了爆破对围岩稳定的影响。

[0020] (2) 简化了选矿的工艺,减少了传统破碎、磨矿、浮选的工序,大幅降低了对钢材、化学溶液等不可再生资源的消耗,主要采用的微波能量可以通过可再生能源转化。

[0021] (3) 井下微波分离矿石与废石,矿石微波富集熔化生成废渣脉石矿物,就地取材利用废石与脉石矿物充填采空区,降低了运输和充填成本。

[0022] (4) 采用矿石混合石墨粉,微波加热和电磁线圈常规加热结合的方法,对矿石进行微波富集熔化,加快了矿石颗粒升温熔化,减少了传统磨矿工艺的钢材损耗,扩大了矿石微波熔化的适用范围,同时降低了选矿过程中的化学溶液污染。

[0023] (5) 一种微波-机械流态化开采系统及方法,主要采用清洁可再生的微波能量在井下预处理矿石,依次进行矿石微波预裂机械采矿,矿石废石微波分离,矿石微波富集熔化和废石充填采空区,简化了采矿选矿工艺流程,提高矿山掘进速度,降低机械开采成本。

## 附图说明

[0024] 图1本发明金属矿微波-机械流态化开采系统示意图;

[0025] 图2本发明金属矿微波-机械流态化开采系统的高功率微波聚焦熔化系统示意图;

[0026] 图3本发明金属矿微波-机械流态化开采系统的红外热成像仪Ⅰ与空气喷嘴部分结构俯视图;

[0027] 图4本发明金属矿微波-机械流态化开采系统的矿体分层示意图;

[0028] 图5本发明金属矿微波-机械流态化开采系统的开采流程图;

[0029] 1-矿体,2-刀盘,301-水平布置的敞开式微波辐射器,302-垂直布置的敞开式微波辐射器,4-机械摇臂,5-机身,6-输送机Ⅰ,7-提升机,8-输送机Ⅱ,9-微波腔体,10-输送机Ⅲ,11-矿石,12-红外热成像仪Ⅰ,13-空气喷嘴,14-废石,15-分离控制器,16-波导,17-微波发生器Ⅰ,18-熔融金属矿物池,19-单模加热腔,20-输送机Ⅳ,21-脉石矿物,22-输送机Ⅴ,23-采空区,24-电磁线圈,25-扼流圈,26-石墨粉,27-破碎机,28-红外热成像仪Ⅱ,29-微波发生器Ⅱ,30-溜槽。

## 具体实施方式

[0030] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0031] 如图1至图5所示,一种金属矿微波-机械流态化开采系统,包括微波预裂机械采矿系统、微波分离系统、高功率微波聚焦熔化系统及采空区23;通过微波预裂采矿系统采下的矿-废混合体通过其上的输送机I6和提升机7运输到微波分离系统,分离出的矿石11运输到高功率微波聚焦熔化系统,分离后的废石14通过输送机V22运输到采空区23充填。

[0032] 所述微波预裂机械采矿系统包括敞开式微波辐射器、机械切割机、输送机I6及提升机7,输送机I6通过其上的机架固定安装于地面上,输送机I6的输出端与提升机7的输入端连接,切割机通过机身5固定安装于地面上,且位于输送机I6一侧设置,机械切割机一次进刀深度为矿石11穿透深度的5-8倍;切割机的机头侧壁上安装有水平布置的敞开式微波辐射器301和垂直布置的敞开式微波辐射器302;切割机的刀盘2和敞开式微波辐射器通过切割机上的机械摇臂4的伸展与转动控制高度及角度,水平布置的敞开式微波辐射器301布置在机械切割机沿切割方向前端,垂直布置的敞开式微波辐射器302布置在机械切割机垂直切割方向上方;所述敞开式微波辐射器的频率采用915MHz;敞开式微波辐射器的类型根据矿石11类型而定,对于均质性好的矿石11采用扁嘴形敞开式微波辐射器,对于均质性差的矿石11采用大喇叭形敞开式微波辐射器;所述敞开式微波辐射器的个数等于两层高度与单个敞开式微波辐射器预裂范围的比值。

[0033] 所述微波分离系统包括微波腔体9、分离控制器15及输送机II8,微波发生器I17的微波频率采用2.45GHz;所述输送机II8通过机架安装于地面上,且输入端与提升机7的输出端连接,输送机II8靠近提升机7一侧的机架上通过肋板安装有微波发生器基座,微波发生器基座上表面安装有微波发生器I17,微波发生器I17通过波导16与微波腔体9连接,输送机II8的传送带穿过微波腔体9,输送机II8远离提升机7一侧通过肋板安装有支撑板,支撑板上安装有支架,支架上表面安装有分离控制器15,支架的两个水平梁上分别安装有多个红外热成像仪I12和多个空气喷嘴13,且红外热成像仪I12和空气喷嘴13的个数相等,所述空气喷嘴13位于矿石11下落的正上方设置,红外热成像仪I12和空气喷嘴13均与分离控制器15连接,矿石11颗粒在输送机II8的传输下经过封闭的微波腔体9加热后,通过红外热成像仪I12进行测温,加热后的矿石11和废石14的混合物经过分离控制系统的正下方时,空气喷嘴13开启,矿石11在气吹的作用下改变运行轨迹下落到输送机III10上,废石14不改变运动轨迹下落到输送机V22上。

[0034] 所述高功率微波聚焦熔化系统包括输送机III10、竖向流矿管道,所述输送机III10位于输送机II8右下方设置,输送机III10左下方设置有输送机IV20,输送机IV20的传送带为网孔式传送带,所述输送机IV20的传送带的网孔直径小于石墨粉26颗粒粒径,输送机III10右下方设置有输送机V22,输送机III10和输送机IV20均通过机架安装于地面上,输送机IV20下方设置有安装于地面上的熔融金属矿物池18,输送机III10的输出端通过溜槽30与破碎机27连接,破碎机27通过支架安装于输送机IV20机架上,支架内固定安装有竖向流矿管道,破碎机27输出端与竖向流矿管道入口端连接,竖向流矿管道外圆从上至下依次设置有位于上部的扼流圈25、单模加热腔19、位于下部的扼流圈25及电磁线圈24,单模加热腔19一侧设置有红外热成像仪II28,单模加热腔19通过波导16与安装于地面的微波发生器II29连接,经单模加热腔19熔融的金属矿物经竖向流矿管道输出端流出通过网孔式传送带的网孔流

入熔融金属矿物池18,分离出来的脉石矿物21通过输送机IV 20和输送机V 22输送至采空区23。

[0035] 所述竖向流矿管道、位于上部的扼流圈25、单模加热腔19及位于下部的扼流圈25组成微波加热系统,单模加热腔19采用微波频率915MHz的单模腔结构,组成微波加热系统的竖向流矿管道内同轴套装有耐高温石英管,直径为20cm,熔点为1800℃;竖向流矿管道底部及电磁线圈24组成常规加热系统,电磁线圈24让竖向流矿管道底部产生高温,其作用是防止经过扼流圈25冷却的金属矿物凝结成块。

[0036] 一种金属矿微波-机械流态化开采系统的开采方法,包括以下步骤:

[0037] 步骤1,根据机械切割机一次切割高度对矿体划分若干层,自下而上分层切割,所述分层的高度等于切割机一次切割高度;

[0038] 步骤2,同时开启水平布置的敞开式微波辐射器301和垂直布置的敞开式微波辐射器302,调至安全范围的最大输出功率,分别预裂第一层和第二层的矿体1,敞开式微波辐射器与机械切割机行进方向一致,水平布置的敞开式微波辐射器301预裂矿体1后,机械切割机同步跟进连续切割第一层矿体,同时垂直布置的敞开式微波辐射器302预裂第二层矿体,第一层矿体切割完毕后继续切割第二层矿体,切割第二层矿体时,机械切割机通过机械摇臂4将水平布置的敞开式微波辐射器301和刀盘2平移到第二层矿体处,此时垂直布置的敞开式微波辐射器302移动至第三层矿体处,而第二层矿体已被垂直布置的敞开式微波辐射器302预裂,根据第一层矿体的切割效果,选择开启或关闭水平布置的敞开式微波辐射器,当第一层矿体切割速度满足现场需求,则关闭水平布置的敞开式微波辐射器;当第一层矿体切割速度不能满足现场需求,则开启水平布置的敞开式微波辐射器;重复步骤2继续开采下一层矿体,全断面一次采深完毕后重复步骤2继续沿纵向开采;

[0039] 步骤3,切割下来的矿体颗粒通过输送机I6及提升机7输送至输送机II 8,经过微波腔体9对矿石11颗粒进行加热处理,通过红外热成像仪I12统计达到边界品位的矿体颗粒经过微波后的最低平均温度a;

[0040] 步骤4,将步骤3测得的平均温度a作为标准,当红外热成像仪I12测得矿体颗粒平均温度 $<a$ ,则为废石14,废石14在输送机II 8输出端滑落至输送机V 22,通过输送机V 22输送至采空区23;当红外热成像仪I12测得矿体颗粒平均温度 $>a$ ,则为矿石11,控制器根据红外热成像仪I12的反馈,经过t秒后打开空气喷嘴13,此时矿石11正好位于空气喷嘴13正下方,通过空气喷嘴13将矿石11吹至输送机III 10上;

[0041] 步骤5,针对金属矿物与脉石矿物21熔点差值超过500℃的矿石进行下阶段处理,通过介电性能测试确定矿石11微波加热的最佳粒径,然后将分离出的矿石11颗粒经过输送机III 10输出至破碎机27,采用破碎机27破碎至最佳粒径;

[0042] 步骤6,通过破碎机27破碎后最佳粒径的矿石11颗粒与石墨粉26均匀混合,石墨粉26熔点3800℃,具有微波条件下升温极快的特点,其作用是附着矿石11颗粒表面加速矿石11颗粒升温;均匀混合后的矿石11颗粒运送到高功率微波聚焦熔化系统,根据金属矿物吸收微波且熔点小于脉石矿物21的特点,将矿石11中的金属矿物熔化流出,当红外热成像仪II 28检测到单模加热腔19内最高温度达到金属矿物熔点后,输送机IV 20开始工作,熔融金属通过输送机IV 20的传送带的网孔流至熔融金属矿物池18;分离后的脉石矿物21经过输送机V 22输送至采空区23;

[0043] 步骤7,参数优化:对脉石矿物21进行成分分析,石墨粉26比例根据脉石矿物21颗粒熔化效果而定,当脉石矿物21中金属矿物含量 $\geq 10\%$ 时,提高石墨粉26含量,降低矿石11流速;当脉石矿物21中金属矿物含量 $< 10\%$ 时,以此时的石墨粉26含量和矿石11流速进行工作。

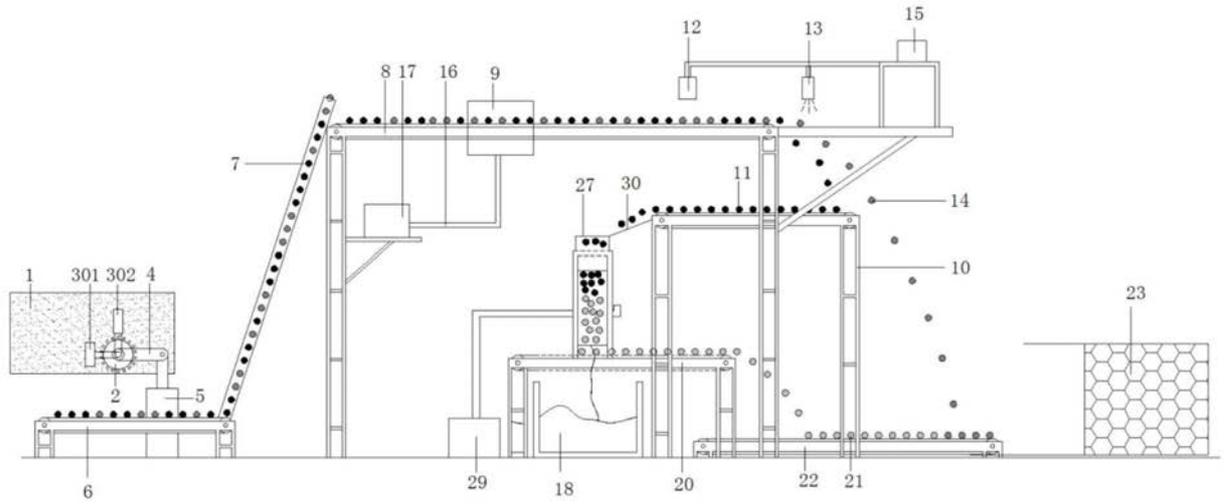


图1

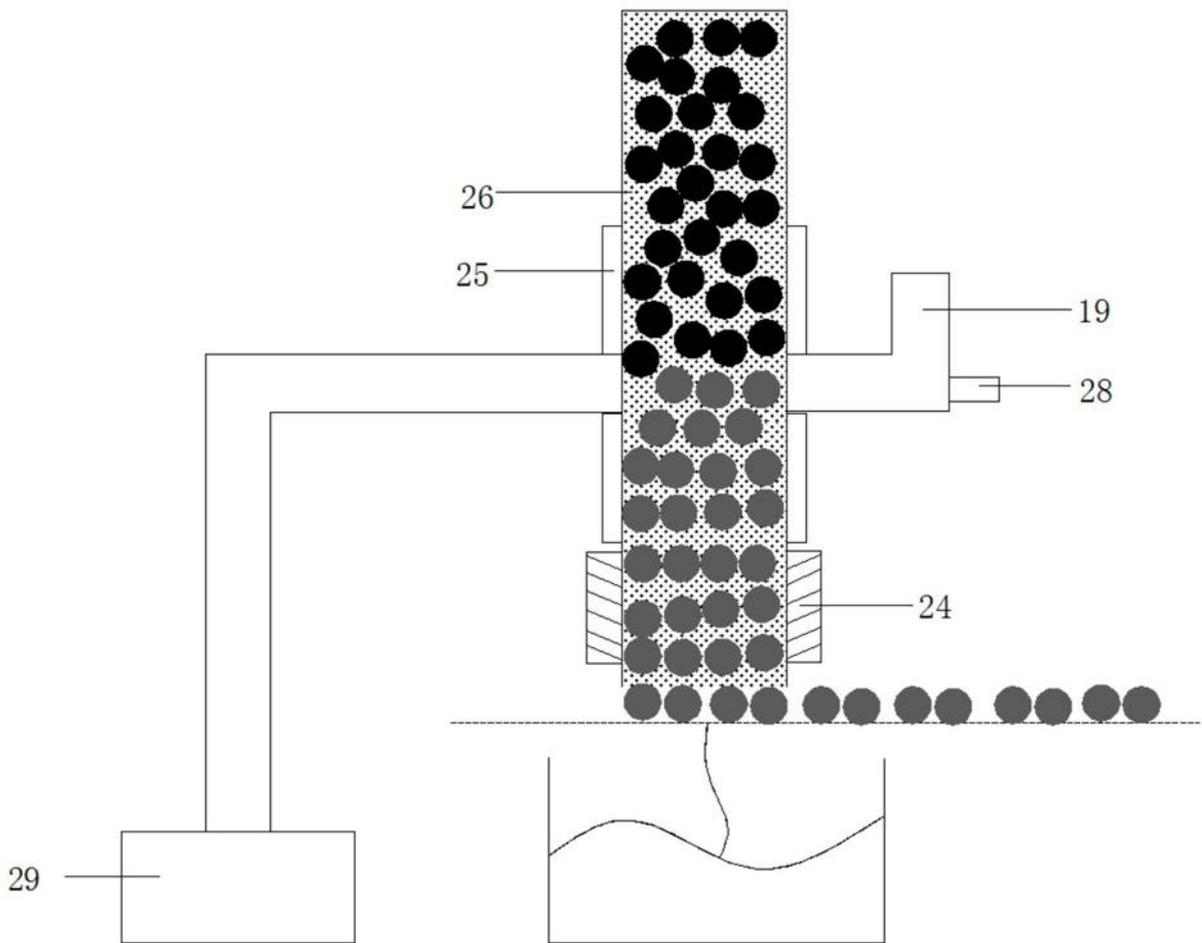


图2

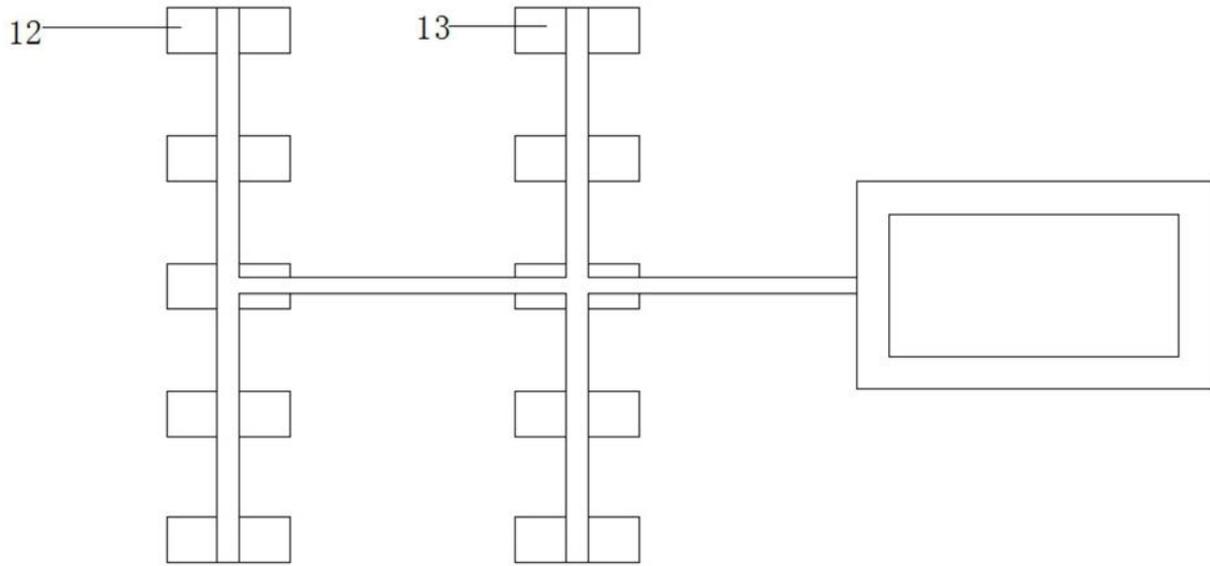


图3

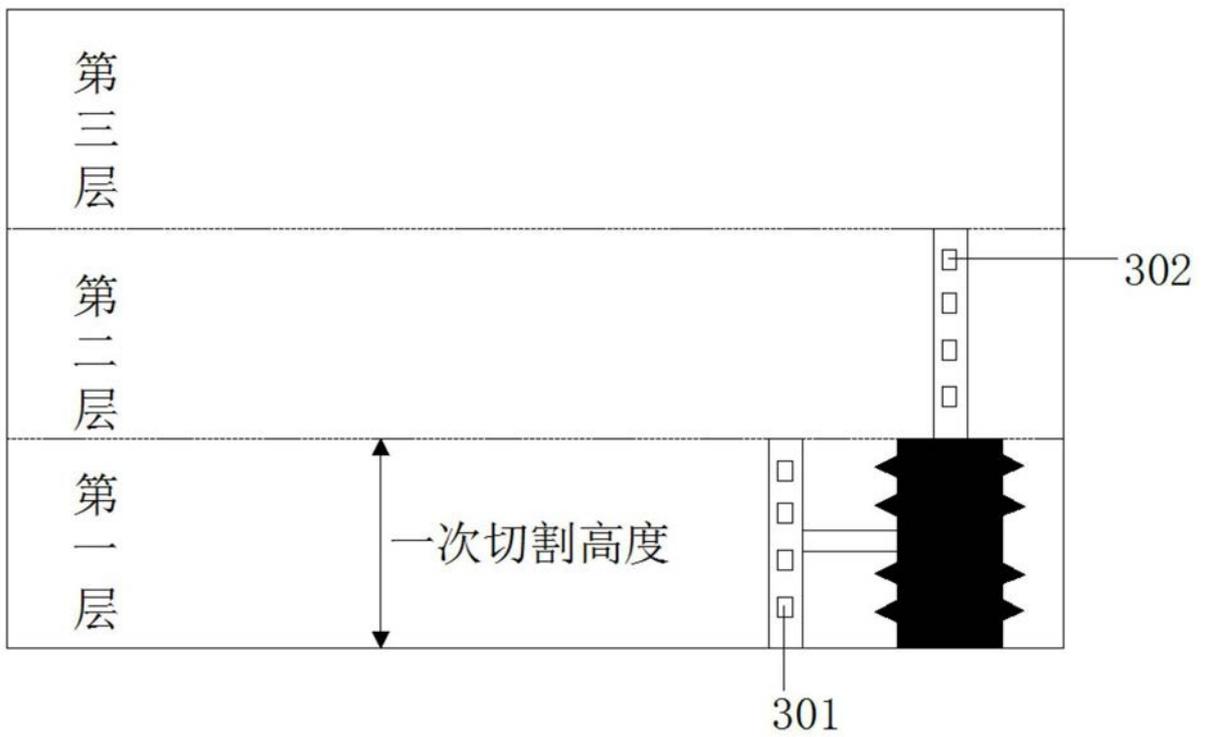


图4

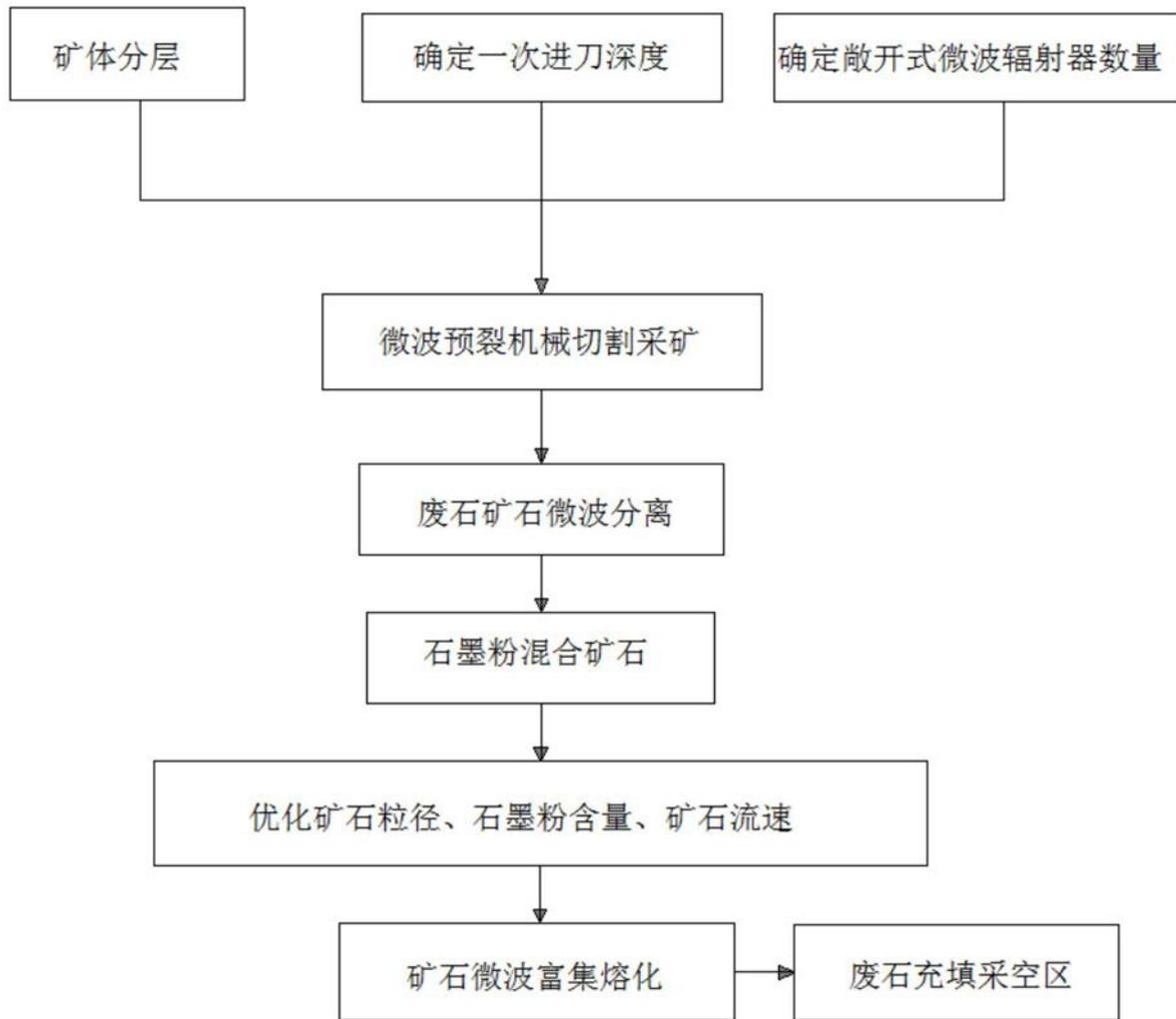


图5