



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102626669 A

(43) 申请公布日 2012. 08. 08

(21) 申请号 201210102375. X

(22) 申请日 2012. 04. 10

(71) 申请人 会理县马鞍坪矿山废石综合利用有
限责任公司

地址 615000 四川省凉山州会理县黎溪区绿
水乡

(72) 发明人 启应华

(51) Int. Cl.

B03B 9/06 (2006. 01)

B03B 1/00 (2006. 01)

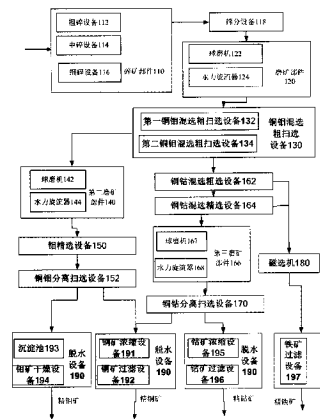
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

铜矿山废石综合利用系统和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种铜矿山废石综合利用系统,包括碎矿部件,适于粉碎矿石,其中粉碎后的矿石粒度在 0-12mm;第一磨矿部件,适于将由碎矿部件粉碎后的矿石进行研磨,以获得溢流粒度为 60%-200 目的研磨后矿石;铜钼混选粗扫选设备,适于从磨矿部件研磨后的矿石中选取铜钼粗矿;第二磨矿部件,适于对铜钼混选粗扫选设备选取的铜钼粗矿进行进一步研磨;铜钼精选设备,适于从第二磨矿部件研磨后的铜钼粗矿中浮选出铜钼精矿;以及铜钼分离扫选设备,适于对铜钼精选设备浮选出的铜钼精矿进行进一步浮选以分离出钼精矿和铜精矿。本发明还公开了相应的铜矿山废石综合利用方法。



1. 一种铜矿山废石综合利用系统,包括:
 - 碎矿部件,适于粉碎矿石,其中粉碎后的矿石粒度在 0-12mm;
 - 第一磨矿部件,适于将由所述碎矿部件粉碎后的矿石进行研磨,以获得溢流粒度为 60% -200 目的研磨后矿石;
 - 铜钼混选粗扫选设备,适于从所述磨矿部件研磨后的矿石中选取铜钼粗矿;
 - 第二磨矿部件,适于对所述铜钼混选粗扫选设备选取的铜钼粗矿进行进一步研磨;
 - 铜钼精选设备,适于从第二磨矿部件研磨后的铜钼粗矿中浮选出铜钼精矿;以及
 - 铜钼分离扫选设备,适于对所述铜钼精选设备浮选出的铜钼精矿进行进一步浮选以分离出钼精矿和铜精矿。
2. 如权利要求 1 所述的铜矿山废石综合利用系统,还包括:
 - 铜钴混选粗选设备和铜钴混选精选设备,适于从所述铜钼混选粗扫选设备选取的铜钼粗矿之后剩余的矿产中浮选出铜钴精矿;
 - 第三磨矿部件,适于对所浮选出的铜钴精矿进行进一步研磨;以及
 - 铜钴分离扫选设备,适于对研磨后的铜钴精矿进行进一步浮选以分离出钴精矿和铜精矿。
3. 如权利要求 2 所述的铜矿山废石综合利用系统,还包括:
 - 磁选机,适于对由铜钴混选粗选设备和铜钴混选精选设备浮选出铜钴精矿后的剩余矿石进行磁选,以获得铁精矿。
4. 如权利要求 1-3 中的任一个所述的铜矿山废石综合利用系统,其中所述碎矿部件包括:
 - 粗碎设备,适于将矿石粉碎为最大粒度 240mm 的颗粒;
 - 中碎设备,适于对被所述粗碎设备粉碎后的矿石进行进一步破碎,以获得最大粒度为 55-60mm 的矿石;以及
 - 细碎设备,适于对由所述中碎设备粉碎后的矿石进行进一步破碎,以获得最大粒度为 12mm 的矿石。
5. 如权利要求 1-3 中的任一个所述的铜矿山废石综合利用系统,还包括筛分设备,适于对由碎矿部件破碎后的矿石进行筛选,并将筛选后的矿石馈送给第一磨矿部件,所述筛分设备确保仅仅最大粒度为 12mm 的矿石可以被馈送给第一磨矿部件。
6. 如权利要求 1-3 中的任一个所述的铜矿山废石综合利用系统,其中所述第一磨矿部件、第二磨矿部件和第三磨矿部件中的每个均包括球磨机和与所述球磨机闭路连接的水力旋流器。
7. 如权利要求 1-3 中的任一个所述的铜矿山废石综合利用系统,其中所述铜钼混选粗扫选设备、铜钼精选设备、铜钼分离扫选设备、铜钴混选粗选设备、铜钴混选精选设备以及铜钴分离扫选设备中的每个均采用浮选机。
8. 如权利要求 1-3 中任一个所述的铜矿山废石综合利用系统,其中所述铜钼混选粗扫选设备和铜钼精选设备在弱碱性介质中采用中性油作捕收剂,所述铜钼分离扫选设备利用硫化钠作为浮选剂,所述铜钴混选粗选设备、铜钴混选精选设备利用丁黄药及丁铵黑药作为浮选剂。
9. 如权利要求 1-3 中任一个所述的铜矿山废石综合利用系统,还包括:

脱水设备,适于分别对所述铜精矿、钼精矿、钴精矿和铁精矿进行脱水处理。

10. 一种铜矿山废石综合利用方法,包括步骤:

粉碎矿石,其中粉碎后的矿石粒度在 0-12mm 之间;

将所述粉碎后的矿石进行研磨,以获得溢流粒度为 60% -200 目的研磨后矿石;

从研磨后的矿石中选取铜钼粗矿;

对所述铜钼粗矿进行进一步研磨;

从研磨后的铜钼粗矿中浮选出铜钼精矿;

对浮选出的铜钼精矿进行进一步浮选以分离出钼精矿和铜精矿;

从所选取铜钼粗矿之后剩余的矿产中浮选出铜钴精矿;

对所浮选出的铜钴精矿进行进一步研磨;

对研磨后的铜钴精矿进行进一步浮选以分离出钴精矿和铜精矿;以及

对所述浮选出铜钴精矿后的剩余矿石进行磁选以获得铁精矿。

铜矿山废石综合利用系统和方法

发明领域

[0001] 本发明涉及铜矿山废石综合利用领域,尤其涉及对铜矿山的废石进行综合利用的系统和方法。

背景技术

[0002] 在采矿领域,对于采矿后留下的废石,由于其中所含的各种金属的含量很低,在采矿初期,通常直接废弃废石。随着采矿技术的发展,人们发现,从这些废石中提取金属在经济上也是可行的,并且大大提高了矿的开采率。

[0003] 目前存在有各种从废石中回收各种金属的方法,例如在公开号为 CN101195107 的专利文献中公开了一种铜钼共生尾矿再选工艺,其中通过分级、磨矿、搅拌、浮选工序,使尾矿中铜、钼得到了有效回收。尾矿再选后剩余尾砂金属含量达到 :CU0.032% ;MO0.0012% ;AU0.001 克 / 吨 ;AG1 克 / 吨以下,产出的铜精矿品位达到 18%、钼精矿品位达到 55%,铜、钼回收率分别提高了 8%和 6%。

[0004] 在公开号为 CN1317371 的专利文献中公开了一种铁矿石中极低品位铜综合回收工艺,其中使用磨矿细筛磁选把铁精矿分开,混合浮选后在石灰法基础上添加活性炭和腐殖酸钠进行分离浮选使铜精矿与硫精矿分开。

[0005] 在公开号为 JP7256231 的专利文献中对金属矿山废石材料进行选择回收的研究。通常对铁、铜和铝处理废石进行预处理后送到粉碎机制成相互分离的块状。通过一种泡沫材料将轻的材料分离,然后继续对沉重的材料进行分离成片状,进行选择分离,最后应用磁选的分选装置得到大尺寸的铜或铝精矿。

[0006] 然而,在上述的各种从废石中回收金属的工艺中,并没有提供对各种贵金属进行回收的整体工艺,上述文献要么考虑铜和铁,要么考虑铜和钼或者铝,但是都没有考虑可以对铜、钼、钴和铁都进行回收的整个工艺处理。因此,需要一种综合考虑各种金属回收的整体工艺。

[0007] 另外,在现有技术中,也没有公开从含金属量极低的废石中回收金属的工艺,而随着矿产资源的逐步枯萎,大量金属含量极低的废石也逐渐增多,因此也迫切需要一种可以从金属含量极低的废石中回收金属的废石综合利用工艺。

发明内容

[0008] 为此,本发明提出了一种可以解决上述问题的至少一部分的新的铜矿山废石综合利用系统和方法。

[0009] 根据本发明的一个方面,提供了一种铜矿山废石综合利用系统,包括 :碎矿部件,适于粉碎矿石,其中粉碎后的矿石粒度在 0-12mm ;第一磨矿部件,适于将由碎矿部件粉碎后的矿石进行研磨,以获得溢流粒度为 60% -200 目的研磨后矿石 ;铜钼混选粗扫选设备,适于从磨矿部件研磨后的矿石中选取铜钼粗矿 ;第二磨矿部件,适于对铜钼混选粗扫选设备选取的铜钼粗矿进行进一步研磨 ;铜钼精选设备,适于从第二磨矿部件研磨后的铜钼粗

矿中浮选出铜钼精矿；以及铜钼分离扫选设备，适于对所述铜钼精选设备浮选出的铜钼精矿进行进一步浮选以分离出钼精矿和铜精矿。

[0010] 可选地，根据本发明的铜矿山废石综合利用系统，还包括铜钴混选粗选设备和铜钴混选精选设备，适于从所述铜钼混选粗扫选设备选取的铜钼粗矿之后剩余的矿产中浮选出铜钴精矿；第三磨矿部件，适于对所浮选出的铜钴精矿进行进一步研磨；以及铜钴分离扫选设备，适于对研磨后的铜钴精矿进行进一步浮选以分离出钴精矿和铜精矿。

[0011] 可选地，根据本发明的铜矿山废石综合利用系统，还包括磁选机，适于对由铜钴混选粗选设备和铜钴混选精选设备浮选出铜钴精矿后的剩余矿石进行磁选，以获得铁精矿。

[0012] 根据本发明的另一个方面，提供了一种铜矿山废石综合利用方法，包括步骤：粉碎矿石，其中粉碎后的矿石粒度在 0-12mm 之间；将所述粉碎后的矿石进行研磨，以获得溢流粒度为 60% -200 目的研磨后矿石；从研磨后的矿石中选取铜钼粗矿；对所述铜钼粗矿进行进一步研磨；从研磨后的铜钼粗矿中浮选出铜钼精矿；对浮选出的铜钼精矿进行进一步浮选以分离出钼精矿和铜精矿；从所选取铜钼粗矿之后剩余的矿产中浮选出铜钴精矿；对所浮选出的铜钴精矿进行进一步研磨；对研磨后的铜钴精矿进行进一步浮选以分离出钴精矿和铜精矿；以及对所述浮选出铜钴精矿后的剩余矿石进行磁选以获得铁精矿。

[0013] 根据本发明的低品位铜矿山废石综合利用系统和方法以含铜 < 0.25%，钼 < 0.015%，钴 < 0.013% 的矿山废石为选矿原料，采用最开始阶段磨矿、而对于铜钼部分进行混合浮选分离，对于钴进行浮选、以及对铁进行磁选的选矿工艺流程。综合利用了矿石中的铜、钼、钴和铁。获得了合格的铜精矿、钼精矿、钴精矿和铁精矿。

附图说明

[0014] 通过阅读下文优选实施方式的详细描述，各种其他的优点和益处对于本领域普通技术人员将变得清楚明了。附图仅用于示出优选实施方式的目的，而并不认为是对本发明的限制。而且在整个附图中，用相同的参考符号表示相同的部件。其中在附图中，参考数字之后的字母标记指示多个相同的部件，当泛指这些部件时，将省略其最后的字母标记。在附图中：

[0015] 图 1 示出了根据本发明的一个实施例的低品位铜矿山废石综合利用系统 100；以及

[0016] 图 2 示出了根据本发明一个实施例的低品位铜矿山废石综合利用方法 200。

具体实施方式

[0017] 下面结合附图和具体的实施方式对本发明作进一步的描述。

[0018] 图 1 示出了根据本发明的一个实施例的低品位铜矿山废石综合利用系统 100。如图 1 所示，废石综合利用系统 100 包括碎矿部件 110。碎矿部件 110 适于将矿石粉碎为较小的颗粒。由于现有的矿石尺寸都比较大，为此，碎矿部件 110 可以包括串行工作的粗碎设备 112、中碎设备 114 和细碎设备 116。

[0019] 可供选择的粗碎设备有颚式破碎机和旋回破碎机。颚式破碎机构造简单，重量轻，便于维修运输；外型高度小，需要的高差小；工作可靠，调节排矿口方便；但衬板易磨损，处理量比旋回破碎机低，破碎产品粒度不均匀，过大块多，需要给矿设备。旋回破碎机破碎能

力较高,主要用于大型选矿厂,衬板磨损均匀,破碎产品中过大块少;但设备构造复杂,机身重,要求有坚固的基础,机体高,需要有很大的高差配置。

[0020] 根据本发明的一个实施例,粗碎设备 112 采用了颚式破碎机设备,例如山特维克 JM1312 颚式破碎机设备。可选地,通过粗碎设备 112 的粗碎处理,矿石被破碎后的最大粒度 240mm。

[0021] 中碎设备 114 对被粗碎设备 112 粗碎后的矿石进行进一步破碎,可选地,可以将矿石进一步破碎为最大粒度为 55-60mm。根据本发明的一个实施例,中碎设备 114 可以采用凉山矿业一选厂使用的中细碎圆锥破碎机 H6800EC。

[0022] 细碎设备 116 对被中碎设备 114 破碎后的矿石再次进行破碎。可选地,可以将矿石进一步破碎为最大粒度为 12mm,即从细碎设备 116 破碎后的矿石的粒度在 0-12mm 之间,从而适于后续处理。根据本发明的一个实施例,细碎设备 116 可以采用山特维克的 H4800F 圆锥破碎机。

[0023] 在矿石被粉碎之后,需要由磨矿部件 120 将矿石进一步磨成更细的颗粒,然而由于磨矿部件 120 比较精密,对进入磨矿部件 120 的矿石粒度具有严格的要求,为此,根据本发明的一个实施例,在由碎矿部件 110 进行碎矿之后,利用筛分设备 118 对要进入磨矿部件 120 的矿石进行筛选。可选地,筛分设备 118 具有 12-15mm,例如为 14mm 的筛孔,以确保仅仅最大粒度为 12mm 的矿石可以进入磨矿部件 120。可选地,筛分设备 118 为 2DYK3060 圆振动筛设备。

[0024] 磨矿部件 120 适于将粉碎后的矿石进一步磨碎为溢流粒度为 60%-200 目。一般而言,磨矿部件 120 采用水磨方式进行,因此其包括球磨机 122 和与球磨机 122 闭路连接的水力旋流器 124,从而可以循环地为球磨机 122 提供磨矿用水。根据本发明的一个实施例,球磨机 122 可以采用 MQY3600X6000 溢流型球磨机,而且水力旋流器 124 可以为直径为 $\Phi 500$ 的水力旋流器。

[0025] 由磨矿部件 120 进行初次研磨后的矿石由铜钼混选粗扫选设备 130 进行对铜钼混合金属的选取。铜钼混选粗扫选设备 130 一般采用浮选机来实现。为了提高对铜钼混合金属的选取,铜钼混选粗扫选设备 130 可以采用两级粗扫选,即铜钼混选粗扫选设备 130 包括第一铜钼混选粗扫选设备 132 和第二铜钼混选粗扫选设备 134。

[0026] 经过粗扫选获得的铜钼粗矿在第二磨矿部件 140 中进一步进行研磨,以便将矿石磨得更细。与磨矿部件 120 类似,第二磨矿部件 140 同样也包括球磨机 142 和与球磨机 142 闭路连接的水力旋流器 144。根据本发明的一个实施例,球磨机 142 可以采用 MQY1500X3000 溢流型球磨机,而且水力旋流器 124 可以为直径为 $\Phi 300$ 的水力旋流器。

[0027] 在由第二磨矿部件 140 对铜钼粗矿进行进一步研磨之后,由铜钼精选设备 150 从铜钼粗矿中浮选出铜钼精矿,随后由铜钼分离扫选设备 152 对铜钼精矿进行进一步浮选并分别分离出钼精矿和铜精矿。

[0028] 在铜钼混选粗扫选设备 130 浮选出铜钼粗矿之后剩余的矿产则分别经由铜钴混选粗选设备 162 和铜钴混选精选设备 164 来浮选出铜钴精矿。所浮选出的铜钴精矿经由第三磨矿部件 166 进行进一步研磨。

[0029] 与第二磨矿部件 140 类似,第三磨矿部件 166 同样也包括球磨机 167 和与球磨机 167 闭路连接的水力旋流器 168。根据本发明的一个实施例,球磨机 167 可以采用

MQY1500X3000 溢流型球磨机,而且水力旋流器 168 可以为直径为 $\Phi 300$ 的水力旋流器。

[0030] 经研磨后的铜钴精矿由铜钴分离扫选设备 170 对铜钴精矿进行进一步浮选并分别分离出钴精矿和铜精矿。

[0031] 由铜钴混选粗选设备 162 和铜钴混选精选设备 164 浮选出铜钴精矿后剩余的矿石则由磁选机 180 进行磁选以获得铁精矿,磁选后留下的矿石为尾矿。为了提高磁选效率,可选地,磁选机 180 可以包括粗选磁选机 182 和精选磁选机 184 来对矿石进行粗选和精选,从而获得铁精矿。根据本发明的一个实施例,粗选磁选机 182 采用 CTB1245 永磁筒式磁选机,而精选磁选机 184 采用 CTB1230 永磁筒式磁选机。

[0032] 应当注意的是,在上面提及的各种粗选或者精选设备,如 130、150、152、162、164 和 170 等,都可以采用浮选机来实现,以利用矿物的可浮性来选出目标矿物。例如铜钼混选粗扫选设备 130 和铜钼精选设备 150 可以通过在弱碱性介质中采用中性油作捕收剂,来浮选出铜钼。铜钼分离扫选设备 152 则通过利用硫化钠作为浮选剂抑铜浮钼来分离铜和钼。铜钴混选粗选设备 162 和铜钴混选精选设备 164 则利用丁黄药及丁铵黑药来选钴。所有这些浮选机类型以及相应的浮选剂都在本发明的保护范围之内。

[0033] 在利用上述设备获得了铜精矿、钼精矿、钴精矿和铁精矿之后,需要利用各种脱水设备 190 对这些精矿进行脱水处理,从而使得各种矿的水含量降低到一定程度以下。

[0034] 可选地,对于铜精矿,脱水设备 190 包括铜矿浓缩设备 191 和铜矿过滤设备 192 进行两段脱水处理,使得最终水分含量 $\leq 12\%$ 。

[0035] 对于钼精矿,脱水设备 190 包括利用沉淀池 193 来脱水,随后利用钼矿干燥设备 194 进行机械干燥,使得最终水分含量 $\leq 4\%$ 。

[0036] 对于钴精矿,脱水设备 190 包括利用钴矿浓缩设备 195 进行浓缩,随后利用钴矿过滤设备 196 进行过滤脱水,使得最终水分含量 $\leq 12\%$ 。可选地,钴矿浓缩设备 195 可以采用斜板浓密机,而钴矿过滤设备 196 采用 TT-20 型陶瓷过滤机

[0037] 对于铁精矿,脱水设备 190 采用铁矿过滤设备 197 进行过滤脱水,从而使得使最终水分含量 $\leq 8\%$ 。可选地,铁矿过滤设备 197 采用 TT-20 陶瓷过滤机。

[0038] 利用根据本发明的低品位铜矿山废石综合利用系统 100,可以对含铜仅为 0.18-0.25% 铜矿山废石进行处理,并且实现铜回收率 $\geq 87\%$,精矿品位达到 21%,并且综合回收了矿石中的钼、钴、铁和金银,提高了资源综合利用水平。

[0039] 利用根据本发明的低品位铜矿山废石综合利用系统 100,所获得的铜精矿水分在 12% 左右,同时铜精矿产品含砷、铅、锌、铋均未超标,都在有色金属行业产品质量标准以内,完全能满足冶炼行业的需求。另外,生产的铁精矿品位在 61% 左右,铁精矿水分在 8% 左右,也完全能满足冶炼行业的需求。

[0040] 图 2 示出了根据本发明一个实施例的低品位铜矿山废石综合利用方法 200。如图 2 所示,该方法适于步骤 S210,其中对矿石进行粉碎,以将矿石粉碎为例如粒度在 0-12mm 之间。由于矿石的尺寸差异较大,步骤 S210 通常可以包括三个顺序进行的粉碎步骤,即将矿石粉碎为较大粒度(例如,最大 240mm)的粗碎步骤,将粗碎后的矿石进一步进行粉碎(最大粒度为 55-60mm)的中碎步骤,以及对中碎后的矿石进一步进行粉碎(粉碎后的矿石最大粒度为 12mm)的细碎步骤。

[0041] 在对矿石进行粉碎之后,在步骤 S220 中,将矿石磨成更细的颗粒。适于将粉碎后

的矿石进一步磨碎为溢流粒度为 60% -200 目。一般而言,步骤 S220 中的磨矿采用水磨方式进行,因此利用例如球磨机 122 和与球磨机 122 闭路连接的水力旋流器 124 来进行。

[0042] 可选地,在步骤 S220 中将矿石进一步磨成更细的颗粒之前,由于磨矿采用的磨矿部件 120 比较精密,对进入磨矿部件 120 的矿石粒度具有严格的要求,为此,根据本发明的一个实施例,还包括在步骤 S210 之后的筛选步骤,用于利用筛分设备 118 对要磨矿的矿石进行筛选。可选地,筛分设备 118 具有 12-15mm,例如为 14mm 的筛孔,以确保仅仅最大粒度为 12mm 的矿石可以进入磨矿步骤 S210。

[0043] 随后,在步骤 S230 中,对铜钼混合金属进行粗选。铜钼混合金属粗选采用铜钼混选粗扫选设备 130 进行。铜钼混选粗扫选设备 130 一般采用浮选机来实现。为了提高对铜钼混合金属的选取,步骤 S230 可以采用两级粗扫选,即利用第一铜钼混选粗扫选设备 132 和第二铜钼混选粗扫选设备 134 分别进行铜钼混合金属粗选。

[0044] 步骤 S230 粗选获得的铜钼粗矿在步骤 S240 中再次进行研磨。类似于步骤 S220,步骤 S240 利用第二磨矿部件 140 进行,第二磨矿部件 140 同样也包括球磨机 142 和与球磨机 142 闭路连接的水力旋流器 144。

[0045] 随后在步骤 S245 中,对步骤 S240 中研磨后的铜钼粗矿进行浮选出铜钼精矿,并且在步骤 S250 中对步骤 S245 所浮选出的铜钼精矿利用铜钼分离扫选设备 152 进行进一步浮选并分别分离出钼精矿和铜精矿。

[0046] 在步骤 S230 浮选出铜钼粗矿之后剩余的矿产在步骤 S260 中进行铜钴粗选和精选,以获得铜钴精矿,随后在步骤 S265 中,对铜钴精矿进行研磨。类似于步骤 S220 和 S240,研磨利用第三磨矿部件进行,第三磨矿部件 166 同样也包括球磨机 167 和与球磨机 167 闭路连接的水力旋流器 168。

[0047] 在步骤 S265 中研磨之后,在步骤 S268 中,由铜钴分离扫选设备 170 对铜钴精矿进行进一步浮选并分别分离出钴精矿和铜精矿。

[0048] 在步骤 S260 中浮选出铜钴精矿之后剩余的矿产在步骤 S270 中磁选机 180 进行磁选以获得铁精矿,而步骤 S270 磁选后留下的矿石为尾矿。

[0049] 对于步骤 S250、S268 和 S270 获得的铜精矿、钼精矿、钴精矿和铁精矿,分别由步骤 S282、S284、S286 和 S288 进行脱水处理,以获得最后符合工业要求的铜精矿、钼精矿、钴精矿和铁精矿。

[0050] 利用根据本发明的低品位铜矿山废石综合方法,可以对含铜仅为 0.18-0.25% 铜矿山废石进行处理,并且实现铜回收率 $\geq 87\%$,精矿品位达到 21%,并且综合回收了矿石中的钼、钴、铁和金银,提高了资源综合利用水平。

[0051] 应该注意的是,上述实施例对本发明进行说明而不是对本发明进行限制,并且本领域技术人员在不脱离所附权利要求的范围的情况下可设计出替换实施例。在权利要求中,不应将位于括号之间的任何参考符号构造成对权利要求的限制。单词“包含”不排除存在未列在权利要求中的元件或步骤。位于元件之前的单词“一”或“一个”不排除存在多个这样的元件。单词第一、第二、以及第三等的使用不表示任何顺序。可将这些单词解释为名称。

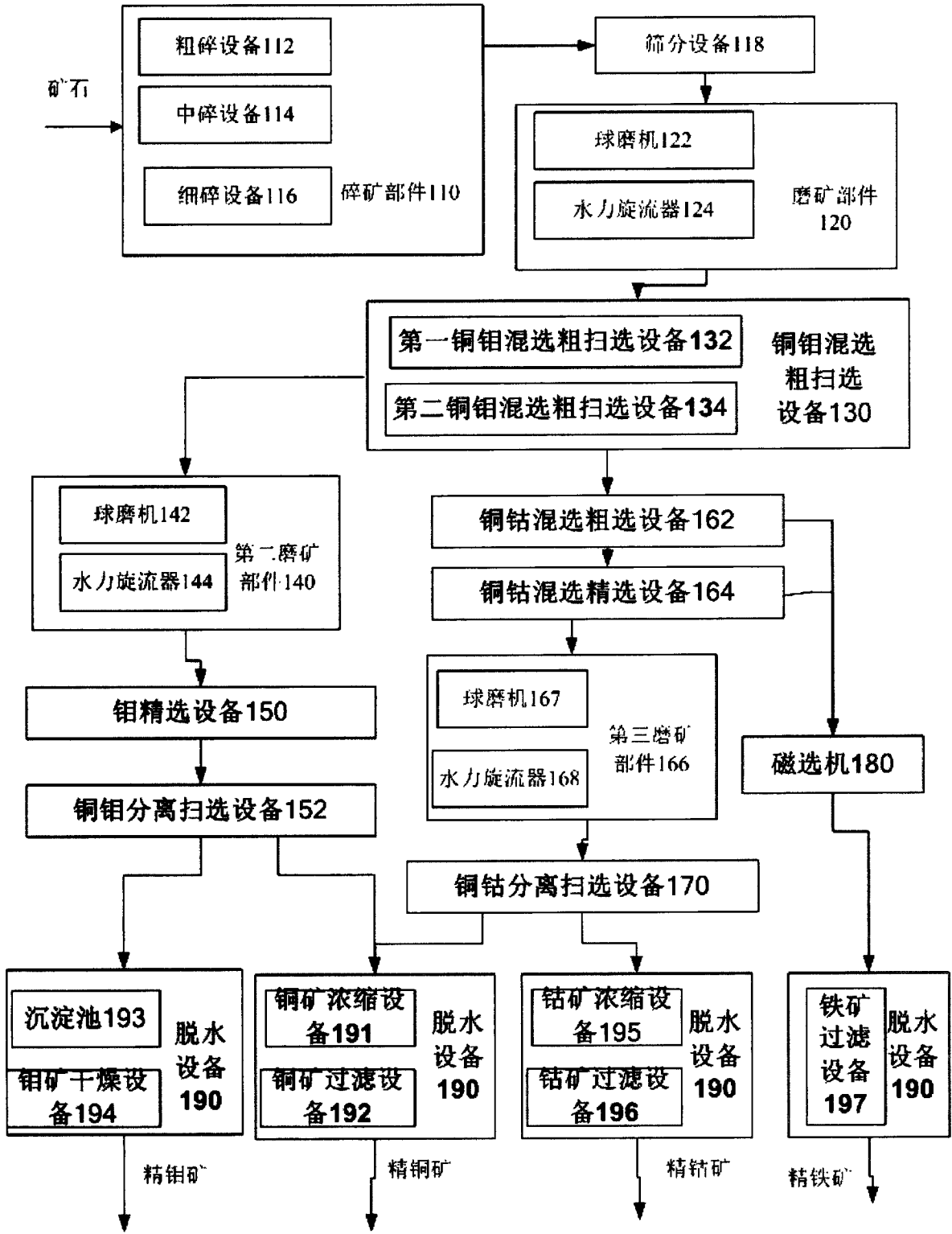


图 1

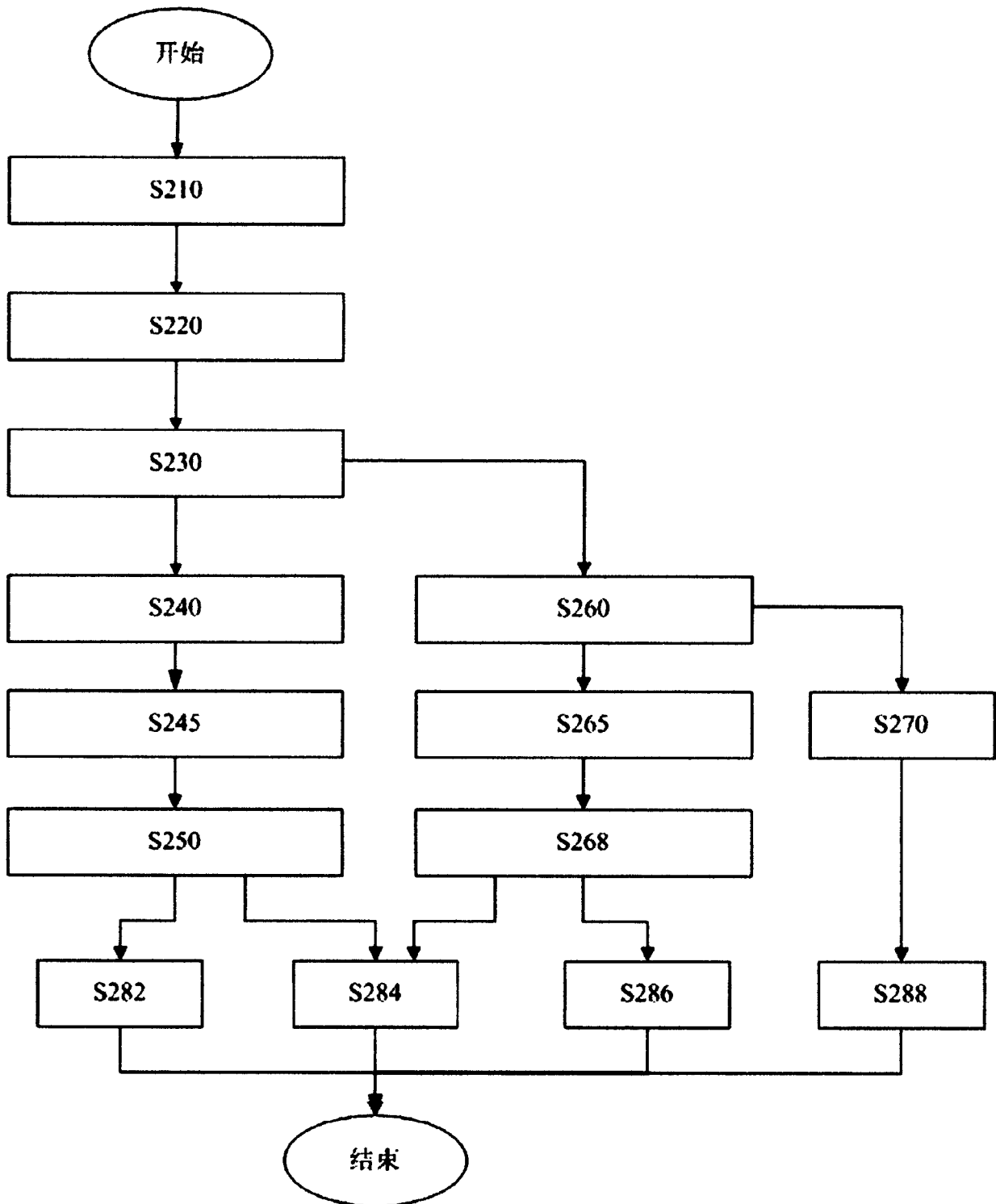


图 2