



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110512619 A

(43)申请公布日 2019.11.29

(21)申请号 201910730348.9

(22)申请日 2019.08.08

(71)申请人 中国恩菲工程技术有限公司
地址 100038 北京市海淀区复兴路12号

(72)发明人 王旭 王志高 何新春 谢金亮
吕东

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事
务所(普通合伙) 11201

代理人 宋合成

(51) Int. Cl.

E02D 17/18(2006.01)

E02D 31/04(2006.01)

E03F 3/02(2006.01)

E03F 3/04(2006.01)

B09C 1/10(2006.01)

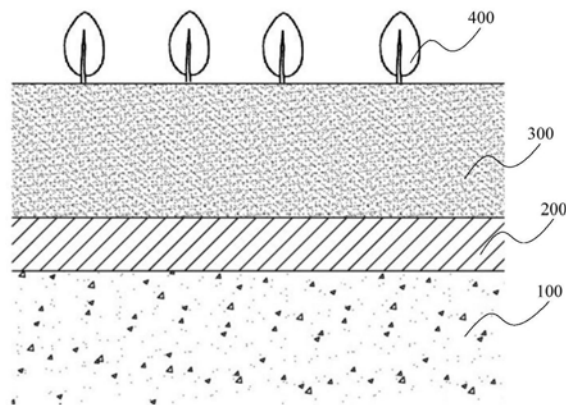
权利要求书2页 说明书11页 附图2页

(54)发明名称

生态修复型稀土尾矿以及修复稀土尾矿方法

(57)摘要

本发明公开了生态修复型稀土尾矿以及修复稀土尾矿的方法。其中,生态修复型稀土尾矿包括稀土矿层、黏土阻隔层、稀土尾矿改良层和植被,所述黏土阻隔层设在所述稀土矿层的至少一部分上;所述稀土尾矿改良层设在所述黏土阻隔层的至少一部分上,所述稀土尾矿改良层包括壤土、有机质、膨润土和钙镁磷肥;所述植被种植在所述稀土尾矿改良层的至少一部分上。该生态修复型稀土尾矿不仅结构简单,还可以实现对稀土尾矿的生态修复,使修复后的稀土尾矿矿区土壤中的含水量、有机质含量、有效氮磷钾含量得到显著提高,并能使土壤的pH值调整至6~8,同时还能显著降低土壤中的重金属浸出浓度。



1. 一种生态修复型稀土尾矿,其特征在于,包括:
稀土矿层;
黏土阻隔层,所述黏土阻隔层设在所述稀土矿层的至少一部分上;
稀土尾矿改良层,所述稀土尾矿改良层设在所述黏土阻隔层的至少一部分上,所述稀土尾矿改良层包括壤土、有机质、膨润土和钙镁磷肥;
植被,所述植被种植在所述稀土尾矿改良层的至少一部分上。
2. 根据权利要求1所述的生态修复型稀土尾矿,其特征在于,所述黏土阻隔层的厚度为20~30cm,所述稀土尾矿改良层的厚度为30~80cm。
3. 根据权利要求1或2所述的生态修复型稀土尾矿,其特征在于,进一步包括:截水沟,所述截水沟设在所述修复生态型稀土尾矿的外围。
4. 根据权利要求3所述的生态修复型稀土尾矿,其特征在于,所述截水沟的断面为矩形,所述截水沟的底面与两侧侧壁的厚度分别独立地为15~25cm,所述截水沟的净高为30~50cm,所述截水沟的净宽为30~50cm,
任选地,所述截水沟下设有第一砂石垫层,所述第一砂石垫层的厚度为10~15cm,宽度为80~120cm。
5. 根据权利要求1或4所述的生态修复型稀土尾矿,其特征在于,所述稀土矿层包括多层矿层,所述多层矿层由下向上依次叠置且形成为阶梯状,
任选地,每层所述矿层的宽度分别独立地为3.0~5.0m,高度分别独立地为2.5~4.0m,边坡坡度分别独立地不大于1:3。
6. 根据权利要求5所述的生态修复型稀土尾矿,其特征在于,所述多层矿层中的至少之一设有截流沟,
任选地,所述截流沟的断面为矩形,所述截流沟的底面与两侧侧壁的厚度分别独立地为15~20cm,所述截流沟的净高为30~40cm,所述截流沟的净宽为30~40cm,
任选地,所述截流沟下设有第二砂石垫层,所述第二砂石垫层的厚度为10~15cm,宽度为80~100cm。
7. 根据权利要求1或6所述的生态修复型稀土尾矿,其特征在于,进一步包括:截洪沟,所述截洪沟设在所述生态修复型稀土尾矿上的顶部和/或沿所述生态修复型稀土尾矿坡度的侧面。
8. 根据权利要求7所述的生态修复型稀土尾矿,其特征在于,所述截洪沟的断面为梯形,所述截洪沟的底面与两侧侧壁的厚度分别独立地为20~25cm,所述截洪沟的净高为60~100cm,所述截洪沟的顶面净宽为90~120cm,底面净宽为50~70cm,所述截洪沟内侧侧壁的坡度不低于1:0.25,
任选地,所述截洪沟下设有第三砂石垫层,所述第三砂石垫层的厚度为10~15cm,宽度为110~140cm,
任选地,所述截洪沟内设有糙条。
9. 一种修复稀土尾矿的方法,其特征在于,包括:
 - (1) 对稀土尾矿堆进行修整,以便形成稀土矿层并得到稀土尾矿尾砂;
 - (2) 在所述稀土矿层表面铺设黏土并机械压实,以便形成黏土阻隔层;
 - (3) 将稀土尾矿尾砂与壤土、有机质、膨润土和钙镁磷肥混合并铺设在所述黏土阻隔层

表面,以便形成稀土尾矿改良层;

(4) 在所述稀土尾矿改良层种植植被,以便形成权利要求1-8中任一项所述的生态修复型稀土尾矿。

10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,步骤(1)中,对所述稀土尾矿堆进行修整包括:将所述稀土尾矿堆修整为平地和/或多层矿层,所述多层矿层由下向上依次叠置且形成成为阶梯状,

任选地,步骤(1)进一步包括:修建排水系统和灌溉系统,所述排水系统包括选自所述截水沟、所述截流沟和所述截洪沟中的至少之一,

任选地,步骤(3)中,所述稀土尾矿改良层中,所述壤土的含量为15~30wt%,所述有机肥、所述钙镁磷肥和所述膨润土的总含量为5~10wt%,所述有机肥的含量为1~1.5wt%,所述钙镁磷肥的含量为0.5~1.5wt%,所述膨润土的含量为6~8.5wt%。

生态修复型稀土尾矿以及修复稀土尾矿方法

技术领域

[0001] 本发明属于土壤修复领域,具体而言,涉及生态修复型稀土尾矿以及修复稀土尾矿的方法。

背景技术

[0002] 稀土被广泛应用于石油、化工、冶金、纺织、陶瓷、玻璃、永磁材料等领域,稀土矿的开采和稀土的提取具有十分重要的意义。然而,开采并提取稀土后的稀土尾矿中残留的化学物致使大量的酸根离子渗透地表,并通过废水蔓延至采矿区周围,导致山地和田地酸化、河水污染,使稀土尾矿周围的生态环境遭到了严重破坏,例如地表水中Pb、Cd等重金属超标是现有稀土尾矿矿区普遍存在的问题。目前,有利用微生物对稀土尾矿矿区进行修复,但修复成本较高,且实际使用过程中效果也未见多有效;有在稀土矿上种植植物并添加有机质来改良土壤性质以实现稀土尾矿矿区的修复,但有机质和营养元素添加量较小时,植物生长效果不好,而有机质和营养元素添加量较大时成本又较高,且该方法不能有效解决地表水中重金属超标的问题。因此,对稀土尾矿进行修复的方法仍有待进一步改进。

发明内容

[0003] 本发明旨在至少在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。为此,本发明的一个目的在于提出生态修复型稀土尾矿以及修复稀土尾矿的方法。其中,该生态修复型稀土尾矿不仅结构简单,还可以实现对稀土尾矿的生态修复,使修复后的稀土尾矿矿区土壤中的含水量、有机质含量、有效氮磷钾含量得到显著提高,并能使土壤的pH值调整至6~8,同时还能显著降低土壤中的重金属浸出浓度。

[0004] 根据本发明的第一个方面,本发明提出了一种生态修复型稀土尾矿。根据本发明的实施例,该生态修复型稀土尾矿包括:

[0005] 稀土矿层;

[0006] 黏土阻隔层,所述黏土阻隔层设在所述稀土矿层的至少一部分上;

[0007] 稀土尾矿改良层,所述稀土尾矿改良层设在所述黏土阻隔层的至少一部分上,所述稀土尾矿改良层包括壤土、有机质、膨润土和钙镁磷肥;

[0008] 植被,所述植被种植在所述稀土尾矿改良层的至少一部分上。

[0009] 发明人发现,通过在稀土矿层表面形成阻隔层,可以有效抑制雨水下渗,显著降低雨水对尾矿的冲洗,从而显著降低稀土尾矿尾砂中残留的化学物对矿区周围环境的影响,而若采用矿砂土与水泥、生石灰混合来形成阻隔层时,虽然阻隔效果较好,且可以中和酸性尾矿,但要达到较好的中和效果,需要加入较多的水泥和生石灰,而阻隔层中生石灰的含量较大时不仅会导致阻隔层表面的有机质迅速分解,还会使改良层土壤中的磷酸盐以及铁、锰、硼、锌、铜等微量元素形成难溶性的沉淀物,大大降低微量元素等的有效性,严重破坏位于改良层的土壤结构,影响稀土尾矿矿区的生态恢复;此外,使用水泥、生石灰形成阻隔层,植物的根系不易生长,对灌木、乔木的生长不利,这一方面是由于土壤pH升高,严重抑制植

物生长,另一方面是由于形成的致密的水泥层,根系不能穿透。本发明中通过直接在稀土矿层表面形成密实的黏土阻隔层,不仅可以对稀土尾矿进行原位封存阻隔,并达到较好的阻隔效果,显著降低稀土尾矿中残留的化学物对矿区周围环境的影响,而且由于黏土阻隔层不含外加剂,还不会对稀土尾矿改良层的土壤造成负面影响;进一步地,本发明中通过在稀土尾矿改良层中加入钙镁磷肥,不仅可以为植被提供生长所需的磷元素,而且钙镁磷肥与膨润土配合使用还可以有效吸附并化学稳定稀土尾矿改良层中的重金属元素,从而能够在提高植被生长效果的同时有效解决稀土尾矿矿区及其周围地表水中Pb、Cd等重金属超标的问题。由此,本发明上述实施例的生态修复型稀土尾矿不仅结构简单,还可以实现对稀土尾矿的生态修复,使修复后的稀土尾矿改良层土壤中的含水量、有机质含量、有效氮磷钾含量得到显著提高,并能使稀土尾矿改良层的pH值调整至6~8,同时还能显著降低改良层中的重金属浸出浓度,例如能使改良层中铅的浸出含量符合地表水环境质量标准中III类标准。

[0010] 另外,根据本发明上述实施例的生态修复型稀土尾矿还可以具有如下附加的技术特征:

[0011] 在本发明的一些实施例中,所述黏土阻隔层的厚度为20~30cm,所述稀土尾矿改良层的厚度为30~80cm。由此可以进一步提高黏土阻隔层的阻隔效果,并为植被生长提供足够的土壤环境。

[0012] 在本发明的一些实施例中,生态修复型稀土尾矿进一步包括:截水沟,所述截水沟设在所述生态修复型稀土尾矿的外围。由此可以有效抑制生态修复型稀土尾矿外围的雨水大量流至稀土尾矿矿区内,从而避免山体上的雨水对稀土尾矿矿区的冲刷。

[0013] 在本发明的一些实施例中,所述截水沟的断面为矩形,所述截水沟的底面与两侧侧壁的厚度分别独立地为15~25cm,所述截水沟的净高为30~50cm,所述截水沟的净宽为30~50cm。

[0014] 在本发明的一些实施例中,所述截水沟下设有第一砂石垫层,所述第一砂石垫层的厚度为10~15cm,宽度为80~120cm。

[0015] 在本发明的一些实施例中,所述稀土矿层包括多层矿层,所述多层矿层由下向上依次叠置且形成为阶梯状。由此不仅可以降低对稀土尾矿堆的修整难度,还有利于植被的种植和养护。

[0016] 在本发明的一些实施例中,每层所述矿层的宽度分别独立地为3.0~5.0m,高度分别独立地为2.5~4.0m,边坡坡度分别独立地不大于1:3。

[0017] 在本发明的一些实施例中,所述多层矿层中的至少之一设有截流沟。由此可以及时将矿层上的雨水导排坡面汇流,从而不仅可以避免下部坡面受到冲刷,还能显著降低雨水的下渗量。

[0018] 在本发明的一些实施例中,所述截流沟的断面为矩形,所述截流沟的底面与两侧侧壁的厚度分别独立地为15~20cm,所述截流沟的净高为30~40cm,所述截流沟的净宽为30~40cm。

[0019] 在本发明的一些实施例中,所述截流沟下设有第二砂石垫层,所述第二砂石垫层的厚度为10~15cm,宽度为80~100cm。

[0020] 在本发明的一些实施例中,生态修复型稀土尾矿进一步包括:截洪沟,所述截洪沟设在所述生态修复型稀土尾矿上的顶部和/或沿所述生态修复型稀土尾矿坡度的侧面。由

此可以进一步降低雨水对稀土尾矿下坡面的冲刷和下渗量,并避免发生坡面滑坡现象。

[0021] 在本发明的一些实施例中,所述截洪沟的断面为梯形,所述截洪沟的底面与两侧侧壁的厚度分别独立地为20~25cm,所述截洪沟的净高为60~100cm,所述截洪沟的顶面净宽为90~120cm,底面净宽为50~70cm,所述截洪沟内侧侧壁的坡度不低于1:0.25。

[0022] 在本发明的一些实施例中,所述截洪沟下设有第三砂石垫层,所述第三砂石垫层的厚度为10~15cm,宽度为110~140cm。

[0023] 在本发明的一些实施例中,所述截洪沟内设有糙条。由此可以有效降低截洪沟内的雨水流速,从而显著降低截洪沟内雨水的冲刷力。

[0024] 根据本发明的第二个方面,本发明提出了一种修复稀土尾矿的方法。根据本发明的实施例,该方法包括:

[0025] (1) 对稀土尾矿堆进行修整,以便形成稀土矿层并得到稀土尾矿尾砂;

[0026] (2) 在所述稀土矿层表面铺设黏土并机械压实,以便形成黏土阻隔层;

[0027] (3) 将稀土尾矿尾砂与壤土、有机质、膨润土和钙镁磷肥混合并铺设在所述黏土阻隔层表面,以便形成稀土尾矿改良层;

[0028] (4) 在所述稀土尾矿改良层种植植被,以便上述的生态修复型稀土尾矿。

[0029] 根据本发明上述实施例的修复稀土尾矿的方法,本发明中通过直接在稀土矿层表面形成密实的黏土阻隔层,不仅可以对稀土尾矿进行原位封存阻隔,显著降低雨水对尾矿的冲洗以及雨水的下渗量,从而降低稀土尾矿中残留的化学物对矿区周围环境的影响,而且由于黏土阻隔层不含外加剂,不会对稀土尾矿改良层的土壤造成负面影响;进一步地,本发明中通过在稀土尾矿改良层中加入钙镁磷肥,不仅可以为植被提供生长所需的磷元素,而且钙镁磷肥与膨润土配合使用还可以有效吸附并化学稳定稀土尾矿中的重金属元素,从而能够在提高植被生长效果的同时有效解决稀土尾矿矿区及其周围地表水中Pb、Cd等重金属超标的问题。由此,该方法不仅简单,还可以实现对稀土尾矿的生态修复,使修复后的稀土尾矿改良层中的含水量、有机质含量、有效氮磷钾含量得到显著提高,并能使稀土尾矿改良层的pH值调整至6~8,同时还能显著降低改良层中的重金属浸出浓度,例如能使改良层中铅的浸出含量符合地表水环境质量标准中III类标准。

[0030] 本发明的一些实施例中,步骤(1)中,对所述稀土尾矿堆进行修整包括:将所述稀土尾矿堆修整为平地和/或多层矿层,所述多层矿层由下向上依次叠置且形成为阶梯状。由此可以根据矿区的实际情况实现更好的修整效果,同时降低修整难度。

[0031] 本发明的一些实施例中,步骤(1)进一步包括:修建排水系统和灌溉系统,所述排水系统包括选自截水沟、截流沟和截洪沟中的至少之一。由此可以对稀土尾矿修复区内外的雨水进行疏导汇流,避免雨水对稀土尾矿修复区的冲刷,提高原位防渗阻隔效果。

[0032] 本发明的一些实施例中,步骤(3)中,所述稀土尾矿改良层中,所述壤土的含量为15~30wt%,所述有机肥、所述钙镁磷肥和所述膨润土的总含量为5~10wt%,所述有机肥的含量为1~1.5wt%,所述钙镁磷肥的含量为0.5~1.5wt%,所述膨润土的含量为6~8.5wt%。由此不仅可以更有利于植被的生长,并显著降低矿区土壤中重金属元素的浸出率,还可以进一步提高改良层土壤中养分的利用率。

[0033] 本发明的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本发明的实践了解到。

附图说明

[0034] 本发明的上述和/或附加的方面和优点从结合下面附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解,其中:

[0035] 图1是根据本发明一个实施例的生态修复型稀土尾矿的结构示意图。

[0036] 图2是根据本发明一个实施例的生态修复型稀土尾矿的截水沟的截面示意图。

[0037] 图3是根据本发明一个实施例的生态修复型稀土尾矿的截流沟的截面示意图。

[0038] 图4是根据本发明一个实施例的生态修复型稀土尾矿的截洪沟的截面示意图。

具体实施方式

[0039] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,旨在用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0040] 根据本发明的第一个方面,本发明提出了一种生态修复型稀土尾矿。根据本发明的实施例,如图1所示,该生态修复型稀土尾矿包括:稀土矿层100、黏土阻隔层200、稀土尾矿改良层300和植被400。其中,黏土阻隔层200设在稀土矿层100的至少一部分上;稀土尾矿改良层300设在黏土阻隔层200的至少一部分上,稀土尾矿改良层300包括壤土、有机质、膨润土和钙镁磷肥;所述植被种植在稀土尾矿改良层300的至少一部分上。发明人发现,通过在稀土矿层表面形成阻隔层,可以有效抑制雨水下渗,显著降低雨水对尾矿的冲洗,从而显著降低稀土尾矿中残留的化学物对矿区周围环境的影响。而若采用矿砂土与水泥、生石灰混合来形成阻隔层时,虽然阻隔效果较好,且可以中和酸性尾矿,但要达到较好的中和效果,需要加入较多的水泥和生石灰,而阻隔层中生石灰的含量较大时不仅会导致阻隔层表面的有机质迅速分解,还会使改良层土壤中的磷酸盐以及铁、锰、硼、锌、铜等微量元素形成难溶性的沉淀物,大大降低微量元素等的有效性,严重破坏位于改良层的土壤结构,影响稀土尾矿矿区的生态恢复;此外,使用水泥、生石灰形成阻隔层,植物的根系不易生长,对灌木、乔木的生长不利,这一方面是由于土壤pH升高,严重抑制植物生长,另一方面是由于形成的致密的水泥层,根系不能穿透。本发明中通过直接在稀土矿层表面形成密实的黏土阻隔层,不仅可以对稀土尾矿进行原位封存阻隔,并达到较好的阻隔效果,显著降低稀土尾矿中残留的化学物对矿区周围环境的影响,而且由于黏土阻隔层不含外加剂,还不会对稀土尾矿改良层的土壤造成负面影响;进一步地,本发明中通过在稀土尾矿改良层中加入钙镁磷肥,不仅可以为植被提供生长所需的磷元素,而且钙镁磷肥与膨润土配合使用还可以有效吸附并化学稳定稀土尾矿改良层中的重金属元素,从而能够在提高植被生长效果的同时有效解决稀土尾矿矿区及其周围地表水中Pb、Cd等重金属超标的问题。由此,本发明上述实施例的生态修复型稀土尾矿不仅结构简单,还可以实现对稀土尾矿的生态修复,使修复后的稀土尾矿改良层中的含水量、有机质含量、有效氮磷钾含量得到显著提高,并能使稀土尾矿改良层的pH值调整至6~8,同时还能显著降低改良层中的重金属浸出浓度,例如能使改良层中铅的浸出含量符合地表水环境质量标准中III类标准。

[0041] 下面参考图1-4对本发明上述实施例的生态修复型稀土尾矿进行详细描述。

[0042] 根据本发明的一个具体实施例,黏土阻隔层200的厚度可以为20~30cm,稀土尾矿改良层的厚度可以为30~80cm,例如黏土阻隔层200的厚度可以为20cm、22cm、24cm、26cm、

28cm或30cm,稀土尾矿改良层的厚度可以为30cm、35cm、40cm、45cm、50cm、55cm、60cm、65cm、70cm、75cm或80cm。本发明中通过控制黏土阻隔层200和稀土尾矿改良层300分别为上述厚度,不仅可以进一步提高黏土阻隔层的阻隔效果,有效抑制雨水下渗,显著降低雨水对稀土矿层的冲洗,从而抑制稀土矿层中残留的化学物的释放和对矿区周围环境的影响,还可以为植被生长提供足够的土壤环境。

[0043] 根据本发明的再一个具体实施例,生态修复型稀土尾矿可以进一步包括截水沟500,截水沟500设在生态修复型稀土尾矿的外围。为避免山体上的雨水冲刷治理区域,可以在生态修复型稀土尾矿的外围设置截水沟,由此可以有效抑制生态修复型稀土尾矿外围的雨水大量流至稀土尾矿矿区内,从而避免山体上的雨水对稀土尾矿矿区的冲刷,显著降低稀土尾矿中残留的化学物对矿区周围环境的影响。进一步地,截水沟500的沟身可以为混凝土结构,混凝土沟身的强度等级可以为C25,由此可以使截水沟500具有足够的稳固性和耐冲刷力。优选地,如图2所示,截水沟500下可以进一步设置第一砂石垫层510,第一砂石垫层510可以由混凝土制备得到,强度等级可以为C15;截水沟500每隔15~20m或转折处可以设置一道变形缝(未示出),变形缝中可以填塞沥青麻丝止水,其中变形缝的宽度可以为20mm,本发明中通过在截水沟下设置第一砂石垫层,可以进一步提高截水沟下方土壤的密实性,显著降低截水沟出现应力集中现象的概率;而通过设置变形缝则可以有效避免由于温度和地面沉降等因素导致截水沟发生变形或破坏的现象。

[0044] 进一步地,本发明中截水沟500的断面形状和尺寸,以及第一砂石垫层510的厚度和宽度并不受特别限制,本领域技术人员可以根据实际需要进行选择,例如,如图2所示,截水沟500的断面可以为矩形,截水沟500的底面厚度 d_{51} 与两侧侧壁的厚度 d_{52} 可以分别独立地为15~25cm,例如可以为15cm、17cm、19cm、21cm、23cm或25cm等;截水沟500的净高 h_{51} 可以为30~50cm,例如可以为34cm、38cm、42cm、46cm或50cm等;截水沟的净宽 l_{51} 可以为30~50cm,例如可以为34cm、38cm、42cm、46cm或50cm等;第一砂石垫层的厚度 d_{53} 可以为10~15cm,例如可以为10cm、11cm、12cm、13cm、14cm或15cm等;宽度 l_{53} 为80~120cm,例如可以为80cm、85cm、90cm、95cm、100cm、105cm、110cm、115cm或120cm等,再例如,截水沟500的底面厚度 d_{51} 和两侧侧壁的厚度 d_{52} 可以均为20cm,净高 h_{51} 和净宽 l_{51} 可以均为40cm,第一砂石垫层的厚度 d_{53} 可以为10cm,宽度 l_{53} 可以为100cm,由此,不仅可以进一步提高截水沟的稳固性,并进一步降低截水沟出现应力集中现象的概率,还可以有效抑制稀土尾矿矿区外围的雨水大量流入矿区内,进而降低矿区内雨水的下渗量。

[0045] 根据本发明的又一个具体实施例,稀土矿层100可以包括多层矿层,多层矿层可以由下向上依次叠置且形成为阶梯状。在实际操作过程中,需要对稀土尾矿堆进行修整,将稀土尾矿堆修整为平地和/或多层矿层,例如稀土尾矿堆顶部废渣堆放较少,不利于封场阻隔,可以清理至坡脚堆放封存,而对于自然坡面坡度较大的稀土尾矿堆,需要将其修整为由下向上依次叠置且形成为阶梯状的多层矿层,类似于梯田状,由此不仅可以降低对稀土尾矿堆的修整难度,还更有利于植被的种植和养护。进一步地,每层矿层的宽度可以分别独立地为3.0~5.0m,例如可以为3.0m、3.2m、3.4m、3.6m、3.8m、4.0m、4.2m、4.4m、4.6m、4.8m或5.0m等;高度可以分别独立地为2.5~4.0m,例如可以为2.5m、2.8m、3.1m、3.4m、3.7m或4.0m等;边坡坡度可以分别独立地不大于1:3,由此不仅可以显著提高对稀土尾矿的修复面积,同时有利于植被的种植和养护,还可以大大避免矿层边坡的滑坡率并避免水土流失,从而

能够进一步提高对稀土尾矿的修复率和修复效果。

[0046] 根据本发明的又一个具体实施例,多层矿层中的至少之一可以设有截流沟600,优选每层矿层均设置截流沟600,本发明中通过在矿层平台上设置截流沟,可以及时将矿层上的雨水导排坡面汇流,从而不仅可以避免雨水冲刷下部坡面并避免水土流失,还能显著降低雨水的下渗量,从而进一步提高原位防渗阻隔效果。进一步地,截流沟600的沟身可以为混凝土结构,混凝土沟身的强度等级可以为C25,由此可以使截流沟600具有足够的稳固性和耐冲刷力。优选地,如图3所示,截流沟600下可以进一步设置第二砂石垫层610,第二砂石垫层610可以由混凝土制备得到,强度等级可以为C15;截流沟600每隔15~20m或转折处可以设置一道变形缝(未示出),变形缝中可以填塞沥青麻丝止水,其中变形缝的宽度可以为20mm,本发明中通过在截流沟下设置第二砂石垫层,可以进一步提高截流沟下方土壤的密实性,显著降低截流沟出现应力集中现象的概率;而通过设置变形缝则可以有效避免由于温度和地面沉降等因素导致截流沟发生变形或破坏的现象。

[0047] 进一步地,本发明中截流沟600的断面形状和尺寸,以及第二砂石垫层610的厚度和宽度并不受特别限制,本领域技术人员可以根据实际需要进行选择,例如,如图3所示,截流沟600的断面可以为矩形,截流沟600的底面厚度 d_{61} 与两侧侧壁的厚度 d_{62} 可以分别独立地为15~20cm,例如可以为15cm、16cm、17cm、18cm、19cm或20cm等;截流沟600的净高 h_{61} 可以为30~40cm,例如可以为30cm、32cm、34cm、36cm、38cm或40cm等;截流沟600的净宽 l_{61} 可以为30~40cm,例如可以为30cm、32cm、34cm、36cm、38cm或40cm等;第二砂石垫层610的厚度 d_{63} 可以为10~15cm,例如可以为10cm、11cm、12cm、13cm、14cm或15cm等;宽度 l_{63} 可以为80~100cm,例如可以为80cm、85cm、90cm、95cm或100cm等,由此,不仅可以进一步提高截流沟的稳固性,并进一步降低截流沟出现应力集中现象的概率,还可以及时将矿层上的雨水导排坡面汇流,从而可以避免雨水冲刷下部坡面并避免水土大量流失,显著降低雨水的下渗量,提高原位防渗阻隔效果。

[0048] 根据本发明的又一个具体实施例,生态修复型稀土尾矿可以进一步包括截洪沟700,截洪沟700可以设在生态修复型稀土尾矿上的顶部和/或沿生态修复型稀土尾矿坡度的侧面,本发明中通过进一步设置截洪沟,可以进一步防止雨水冲刷整个坡面,从而进一步降低雨水在尾矿堆上的下渗量,以及雨水对稀土尾矿下坡面的冲刷和下渗量,同时避免发生坡面滑坡现象。进一步地,截洪沟700的沟身可以为混凝土结构,混凝土沟身的强度等级可以为C25,由此可以使截洪沟700具有足够的稳固性和耐冲刷力。优选地,如图4所示,截洪沟700下可以进一步设置第三砂石垫层710,第三砂石垫层710可以由混凝土制备得到,强度等级可以为C15;截洪沟700每隔15~20m或转折处可以设置一道变形缝(未示出),变形缝中可以填塞沥青麻丝止水,其中,变形缝的宽度可以为20mm,本发明中通过在截洪沟下设置第三砂石垫层,可以进一步提高截洪沟下方土壤的密实性,显著降低截洪沟出现应力集中现象的概率;而通过设置变形缝则可以有效避免由于温度和地面沉降等因素导致截洪沟发生变形或破坏的现象。优选地,截洪沟700内可以设有糙条(未示出),优选在较陡沟段设置,截洪沟水流可汇入河道支沟。沿生态修复型稀土尾矿坡面设置的截洪沟在整体上沿稀土尾矿堆的高度方向设置,相对于截水沟和截流沟,截洪沟内雨水的流速更快,产生的冲刷力也更大,本发明中通过在截洪沟内进一步设置糙条,可以有效降低截洪沟内的雨水流速,从而显著降低截洪沟内雨水的冲刷力。

[0049] 进一步地,本发明中截洪沟700的断面形状和尺寸,以及第三砂石垫层710的厚度和宽度并不受特别限制,本领域技术人员可以根据实际需要进行选择,例如,如图4所示,截洪沟700的断面可以为梯形,截洪沟700的底面厚度 d_{71} 与两侧侧壁的厚度 d_{72} 可以分别独立地为20~25cm,例如可以为20cm、21cm、22cm、23cm、24cm或25cm等;截洪沟700的净高 h_{71} 可以为60~100cm,例如可以为60cm、65cm、70cm、75cm、80cm、85cm、90cm、95cm或100cm等;截洪沟的顶面净宽 l_{71} 可以为90~120cm,例如可以为90cm、95cm、100cm、105cm、110cm、115cm或120cm等;底面净宽 l_{72} 可以为50~70cm,例如可以为50cm、55cm、60cm、65cm或70cm等;截洪沟700内侧侧壁的坡度 i_{71} 可以不低于1:0.25;第三砂石垫层710的厚度 d_{73} 可以为10~15cm,例如可以为10cm、11cm、12cm、13cm、14cm或15cm等;宽度 l_{73} 可以为110~140cm,例如可以为110cm、115cm、120cm、125cm、130cm、135cm或140cm等。由此,不仅可以进一步提高截洪沟的稳固性,并进一步降低截流沟出现应力集中现象的概率,还可以及时将矿堆和坡面上的雨水导排汇流,从而可以进一步避免雨水冲刷整个坡面并避免水土大量流失,显著降低雨水的下渗量,提高原位防渗阻隔效果。

[0050] 需要说明的是,本发明中所述的截流沟、截水沟或截洪沟的“净宽”指的是沟身内表面之间的距离,所述“坡度”指的是坡面或沟身侧壁的垂直高度与水平方向的距离的比值。

[0051] 根据本发明的又一个具体实施例,截流沟600和截洪沟700可以相连,截流沟600位于由下向上依次叠置且形成为阶梯状的多层矿层上,而截洪沟可沿稀土尾矿坡度的侧面设置,通过将截流沟600和截洪沟700相连,可以在整个坡面上形成纵横交错的排水沟道,从而能够及时将矿区内的雨水排入河道支沟。

[0052] 根据本发明的又一个具体实施例,稀土尾矿改良层300可以包括壤土、有机肥、钙镁磷肥和膨润土,其中,稀土尾矿改良层300不需要客土,壤土可以为生态修复区及其附近的一般土壤,发明人发现,壤土、膨润土、有机肥可调整土壤团粒结构,改善其保水特性,促进植物成活;有机肥、钙镁磷肥可调节土壤营养元素含量,促进植物成活;有机肥、膨润土可通过缓释作用,提高改良层中养分的利用率,促进植物成活;钙镁磷肥可与尾矿中总金属Pb形成稳定络合物,抑制其向地表水的浸出,减轻地表水污染;膨润土具有吸附特性,可吸附土壤中Pb、Cd等污染元素,抑制其向地表水的浸出,减轻地表水污染,本发明中通过控制稀土尾矿改良层为上述组成,不仅可以防止对土壤资源的浪费,还可以固定重金属,改善土壤结构和营养成分,从而更有利于稀土尾矿的生态修复。另外,本发明中有机肥、钙镁磷肥和膨润土的种类并不受特别限制,本领域技术人员可以根据实际需要进行选择,例如,有机肥可以为市售商品,需符合国家《有机肥料NY525-2012》的相关标准,钙镁磷肥需符合国家《钙镁磷肥GB 20412-2006》规定,膨润土可以为市售钙基打孔用膨润土;可以将稀土尾矿、壤土、有机肥、钙镁磷肥和膨润土采用灰土拌合机拌和后平铺于黏土阻隔层表面。进一步地,稀土尾矿改良层中,壤土的含量可以为15~30wt%,例如可以为15wt%、18wt%、21wt%、24wt%、27wt%或30wt%;有机肥、钙镁磷肥和膨润土的总含量可以为5~10wt%,例如可以为5wt%、6wt%、7wt%、8wt%、9wt%或10wt%;有机肥的含量可以为1~1.5wt%,例如可以为1wt%、1.1wt%、1.2wt%、1.3wt%、1.4wt%或1.5wt%;钙镁磷肥的含量可以为0.5~1.5wt%,例如可以为0.5wt%、0.7wt%、0.9wt%、1.1wt%、1.3wt%或1.5wt%;膨润土的含量可以为7~8.5wt%,例如可以为7wt%、7.3wt%、7.6wt%、7.9wt%、8.2wt%或8.5wt%。

本发明中通过控制稀土尾矿改良层中各组分为上述含量,不仅可以更有利于植被的生长,并显著降低矿区土壤中重金属元素的浸出率,还可以进一步提高稀土尾矿改良层中养分的利用率。

[0053] 根据本发明的又一个具体实施例,植被400可以为选自草、灌木和乔木中的至少一种,优选采用多种草本、灌木和灌木结合种植,例如植被400可以酸性土壤的宜生植物,其中,绿化用草本植物可以选用芒萁、百喜草、黑麦草、狗牙根等草种混合使用,灌乔木可以选择珠芽狗脊、油松、马尾松、映山红、胡枝子、油桐、脐橙等,其中,芒萁、芒、珠芽狗脊等需提前采集孢子或提前繁育。由此不仅可以显著提高绿化成功率,还可以降低维护成本。其中,对于草,将混合草种与一定量的沙土混合,混匀后人工播撒;对于芒萁,需先进行繁育,大量获得孢子后与沙土混合播撒,播撒草种后的表面该遮阳网,定期浇水,视情况补充肥料,草种的播种以春秋季节为主;对于灌木,以0.8~1.5米为间距,带土移栽即可;对于乔木,以1.5~2.5米为距,带土移栽,移栽后注意浇水,以保证成活率,视情况补充肥料。另外,植物品种的选择要结合地形和坡面情况,对于向阳面,可以种植百喜草、狗牙根、黑麦草、芒萁、胡枝子、映山红、油桐、脐橙等,对于背阴面,可以种植百喜草、狗牙根、黑麦草、芒萁、马尾松、油松等;对于水分充足的地方,可以种植珠芽狗脊、油松、马尾松等。

[0054] 根据本发明的第二个方面,本发明提出了一种修复稀土尾矿的方法。根据本发明的实施例,该方法包括:(1)对稀土尾矿堆进行修整,以便形成稀土矿层并得到稀土尾矿尾砂;(2)在稀土矿层表面铺设黏土并机械压实,以便形成黏土阻隔层;(3)将稀土尾矿尾砂与壤土、有机质、膨润土和钙镁磷肥混合并铺设在黏土阻隔层表面,以便形成稀土尾矿改良层;(4)在稀土尾矿改良层种植植被,以便形成上述生态修复型稀土尾矿。该方法通过直接在稀土矿层表面形成密实的黏土阻隔层,不仅可以对稀土尾矿进行原位封存阻隔,显著降低雨水对尾矿的冲洗以及雨水的下渗量,从而降低稀土尾矿中残留的化学物对矿区周围环境的影响,而且由于黏土阻隔层不含外加剂,还不会对稀土尾矿改良层的土壤造成负面影响;进一步地,本发明中通过在稀土尾矿改良层中加入钙镁磷肥,不仅可以为植被提供生长所需的磷元素,而且钙镁磷肥与膨润土配合使用还可以有效吸附并化学稳定稀土尾矿中的重金属元素,从而能够在提高植被生长效果的同时有效解决稀土尾矿矿区及其周围地表水中Pb、Cd等重金属超标的问题。由此,该方法不仅简单,还可以实现对稀土尾矿的生态修复,使修复后的稀土尾矿改良层中的含水量、有机质含量、有效氮磷钾含量得到显著提高,并能使稀土尾矿改良层的pH值调整至6~8,同时还能显著降低改良层中的重金属浸出浓度,例如能使改良层中铅的浸出含量符合地表水环境质量标准中III类标准。

[0055] 根据本发明的一个具体实施例,步骤(1)中,对稀土尾矿堆进行修整可以包括:将稀土尾矿堆修整为平地或/或/或多层矿层,多层矿层由下向上依次叠置且形成为阶梯状。对稀土尾矿堆进行修整时,稀土尾矿堆顶部废渣堆放较少,不利于封场阻隔,可以清理至坡脚堆放封存,而对于自然坡面坡度较大的稀土尾矿堆,需要将其修整为由下向上依次叠置且形成为阶梯状的多层矿层,类似于梯田状,由此不仅可以降低对稀土尾矿堆的修整难度,还更有利于植被的种植和养护。进一步地,每层矿层的宽度可以分别独立地为3.0~5.0m,例如可以为3.0m、3.2m、3.4m、3.6m、3.8m、4.0m、4.2m、4.4m、4.6m、4.8m或5.0m等;高度可以分别独立地为2.5~4.0m,例如可以为2.5m、2.8m、3.1m、3.4m、3.7m或4.0m等;边坡坡度可以分别独立地不大于1:3,由此不仅可以显著提高对稀土尾矿的修复面积,同时有利于植被的种植

和养护,还可以大大避免矿层边坡的滑坡率并避免水土流失,从而能够进一步提高对稀土尾矿的修复率和修复效果。

[0056] 根据本发明的一个具体实施例,步骤(1)可以进一步包括:修建排水系统和灌溉系统,排水系统包括选自截水沟、截流沟和截洪沟中的至少之一。由此可以对稀土尾矿修复区内外的雨水进行疏导汇流,避免雨水对稀土尾矿修复区的冲刷,提高原位防渗阻隔效果,具体地,截水沟适用于修复区域外围使用,避免山体上的雨水冲刷治理区域;截流沟适用于修复区坡脚处,及时导排坡面汇水,避免汇水冲刷下一级的坡面,同时也减少了雨水下渗量,有助于原位防渗阻隔发挥作用;截洪沟适用于修复区顶部和侧面,以进一步降低雨水在尾矿堆上的下渗量并防止雨水冲刷整个坡面,避免发生坡面滑坡现象。

[0057] 根据本发明的再一个具体实施例,本发明中有机肥、钙镁磷肥和膨润土的种类并不受特别限制,本领域技术人员可以根据实际需要进行选择,例如,有机肥可以为市售商品,需符合国家《有机肥料NY525-2012》的相关标准,钙镁磷肥需符合国家《钙镁磷肥GB 20412-2006》规定,膨润土可以为市售钙基打孔用膨润土;可以将稀土尾矿、壤土、有机肥、钙镁磷肥和膨润土采用灰土拌合机拌和后平铺于黏土阻隔层表面,其中,稀土尾矿改良层中不需要客土,壤土可以为生态修复区及其附近的一般土壤,由此,不仅可以防止对土壤资源的浪费,还可以固定重金属,改善土壤结构和营养成分,从而更有利于稀土尾矿的生态修复。

[0058] 根据本发明的又一个具体实施例,步骤(3)中,稀土尾矿改良层中,壤土的含量可以为15~30wt%,有机肥、钙镁磷肥和膨润土的总含量可以为5~10wt%,有机肥的含量可以为1~1.5wt%,钙镁磷肥的含量可以为0.5~1.5wt%,膨润土的含量为6~8.5wt%。发明人发现,壤土、膨润土、有机肥可调整土壤团粒结构,改善其保水特性,促进植物成活;有机肥、钙镁磷肥可调节土壤营养元素含量,促进植物成活;有机肥、膨润土可通过缓释作用,提高改良层中养分的利用率,促进植物成活;钙镁磷肥可与尾矿中总金属Pb形成稳定络合物,抑制其向地表水的浸出,减轻地表水污染;膨润土具有吸附特性,可吸附土壤中Pb、Cd等污染元素,抑制其向地表水的浸出,减轻地表水污染,本发明中通过控制稀土尾矿改良层中各组分上述含量,不仅可以更有利于植被的生长,并显著降低矿区土壤中重金属元素的浸出率,还可以进一步提高稀土尾矿改良层中养分的利用率。

[0059] 需要说明的是,上述针对生态修复型稀土尾矿所描述的特征和效果同样适用于该修复稀土尾矿的方法,此处不再一一赘述。

[0060] 综上所述,本发明的生态修改型稀土尾矿和修复稀土尾矿的方法至少具有以下优势:通过对稀土尾矿堆进行修整后在稀土矿层上直接铺设黏土并机械压实,形成黏土阻隔层,可以防止雨水下渗,避免对位于黏土阻隔层下方的稀土尾矿的冲洗;通过在黏土阻隔层中添加钙镁磷肥和膨润土,可以吸附并化学稳定位于黏土阻隔层上方的稀土尾矿中的重金属元素;通过修建截流沟、截水沟和截洪沟等设施,可以使雨水都导流到水泥强化的水沟内,降低雨水对尾矿表面的冲刷作用,同时配合植被恢复,可以防止水土流失并有效防止地表水污染;另外,植被的种植品种多样,相对增加了生物多样性,有利于生态修复;壤土、有机质、钙镁磷肥和和膨润土来源易得,有利于技术的推广和大规模使用;此外本发明中仅稳定化处理地表部分的尾矿,并未对所有尾矿都做稳定处理,不仅有利于控制成本,而且能保证稳定效果。

[0061] 下面将结合实施例对本发明的方案进行解释。本领域技术人员将会理解,下面的实施例仅用于说明本发明,而不应视为限定本发明的范围。实施例中未注明具体技术或条件的,按照本领域内的文献所描述的技术或条件或者按照产品说明书进行。所用试剂或仪器未注明生产厂商者,均为可以通过市购获得的常规产品。

[0062] 实施例1

[0063] 对稀土尾矿堆进行修整,形成稀土矿层并得到稀土尾矿;在稀土矿层表面铺设黏土并机械压实,形成黏土阻隔层;将稀土尾矿尾砂与壤土、有机质、膨润土和钙镁磷肥混合并铺设在黏土阻隔层表面,形成稀土尾矿改良层;(4)在稀土尾矿改良层种植油松、芒萁、狗牙根和黑麦草做植被恢复。其中,黏土阻隔层的厚度为20cm,稀土尾矿改良层的厚度为70cm;稀土尾矿改良层中,壤土的含量为25wt%,有机肥、钙镁磷肥和膨润土的总含量为10wt%,有机肥的含量为1.5wt%,钙镁磷肥的含量为1.0wt%,膨润土的含量为7.5wt%;油松间距为1.5米×1.5米,穴深0.6米,油松移栽后填埋含有壤土、有机质、膨润土和钙镁磷肥的稀土尾矿,坑面比地面低约8cm;芒萁、狗牙根和黑麦草的孢子(草种)的混合比为1:200:200;播种后包面覆盖遮阴网,6个月前后采集土样测试养分含量。

[0064] 修复前:稀土尾矿改良层的含水量为11wt%,pH为4.8,有机质含量为0.23wt%,水解氮含量为20.6mg/Kg,有效磷含量为6.1mg/Kg,速效钾含量为40mg/Kg,总有机碳含量为0.19g/Kg,总氮含量为0.38g/Kg,总磷含量为22mg/Kg,重金属Pb的浸出浓度为1.041mg/L。

[0065] 修复后:稀土尾矿改良层的含水量为29wt%,pH为6.7,有机质含量为2.38wt%,水解氮含量为61.0mg/Kg,有效磷含量为230mg/Kg,速效钾含量为182mg/Kg,总有机碳含量为2.05g/Kg,总氮含量为0.72g/Kg,总磷含量为312mg/Kg,重金属Pb的浸出浓度为0.039mg/L。

[0066] 对比例1

[0067] 对稀土尾矿堆进行修整,形成稀土矿层并得到稀土尾矿;将矿砂土、水泥、生石灰和粘结剂进行混合后在稀土矿层表面铺设,形成厚度为3~5cm的致密阻隔层,其中,矿砂土、水泥、生石灰和粘结剂的体积比为6:1.5:2:0.5,粘结剂为醋酸乙烯基聚合物,在使用过程中配制为浓度为3%的乳液使用,矿砂土为矿区内的矿砂土;在阻隔层上铺设植物碎屑,形成厚度为1~2cm的粗纤维有机质层,植物碎屑粒径为1-5mm;将稀土尾矿与壤土混合并铺设在黏土阻隔层表面,形成厚度为50cm的种植层;(4)在种植层种植油松、芒萁、狗牙根和黑麦草做植被恢复。其中,种植层中壤土的含量为30wt%;油松间距为1.5米×1.5米,穴深0.6米,油松移栽后填埋含有壤土的稀土尾矿,坑面比地面低约8cm;芒萁、狗牙根和黑麦草的孢子(草种)的混合比为1:200:200;播种后包面覆盖遮阴网,6个月前后采集土样测试养分含量。

[0068] 修复前:稀土尾矿改良层的含水量为11wt%,pH为4.8,有机质含量为0.23wt%,水解氮含量为20.6mg/Kg,有效磷含量为6.1mg/Kg,速效钾含量为40mg/Kg,总有机碳含量为0.19g/Kg,总氮含量为0.38g/Kg,总磷含量为22mg/Kg,重金属Pb的浸出浓度为1.041mg/L。

[0069] 修复后:稀土尾矿改良层的含水量为16wt%,pH为8.4,有机质含量为0.19wt%,水解氮含量为18.4mg/Kg,有效磷含量5.5mg/Kg,速效钾含量为31mg/Kg,总有机碳含量为1.75g/Kg,总氮含量为0.57g/Kg,总磷含量为248mg/Kg,重金属Pb的浸出浓度为0.033mg/L。

[0070] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特

点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0071] 尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例,可以理解的是,上述实施例是示例性的,不能理解为对本发明的限制,本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

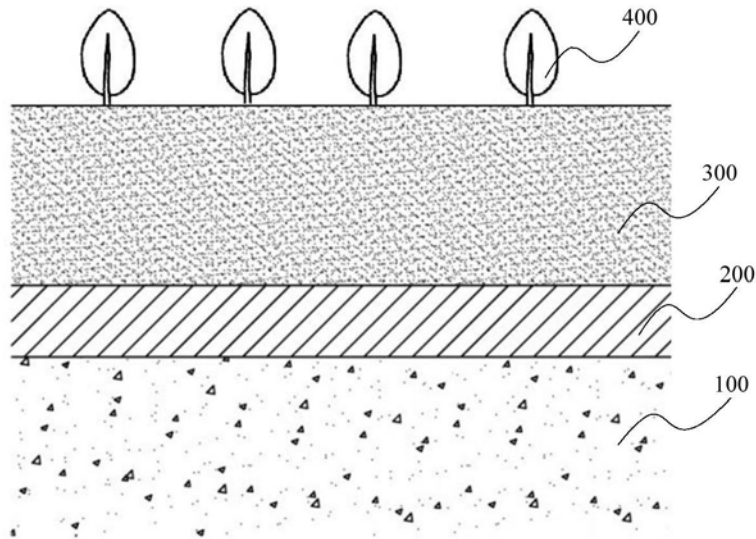


图1

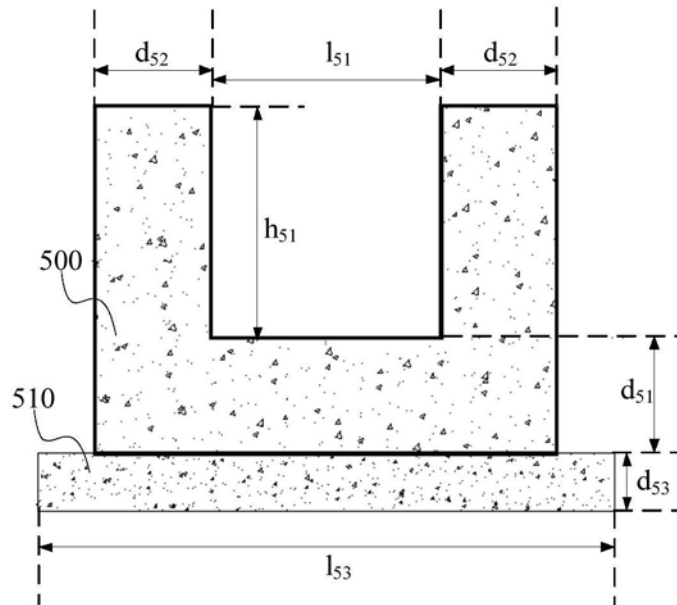


图2

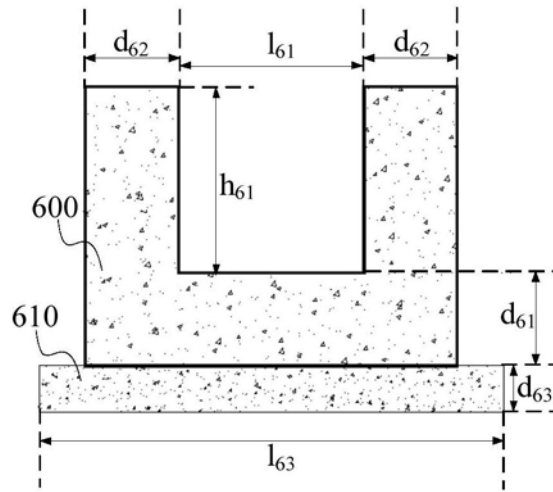


图3

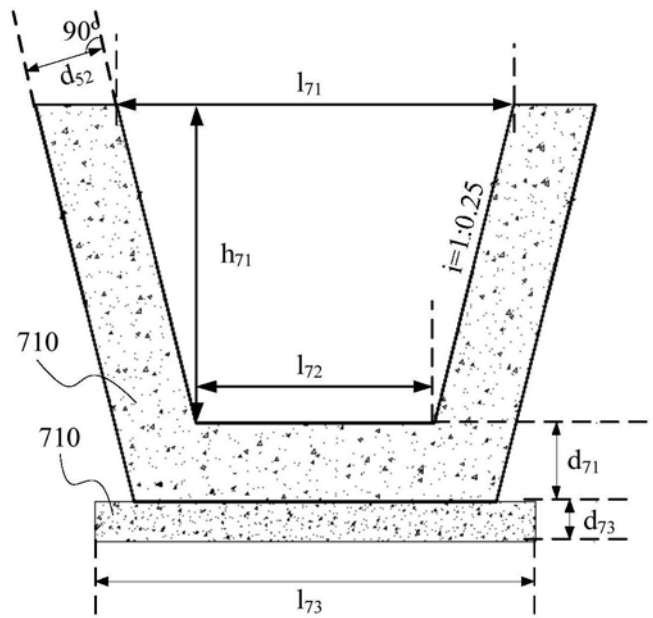


图4