(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 116542425 B
(45)授权公告日 2024.07.12

(21)申请号 202310588130.0

(22)申请日 2023.05.23

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116542425 A

(43)申请公布日 2023.08.04

(73)专利权人 北京建工环境修复股份有限公司
地址 100015 北京市朝阳区京顺东街6号院北京领科时代中心16号楼3层301

(72)发明人 刘亚茹 郭丽莉 王蓓丽 熊静 邱景琮 王思敏 李书鹏

(74)专利代理机构 北京三聚阳光知识产权代理有限公司 11250
专利代理师 刘静

(51)Int.Cl.
G06Q 10/063(2023.01)
G06Q 50/26(2024.01)
G16C 20/10(2019.01)
G16C 20/20(2019.01)

(56)对比文件
CN 115908077 A,2023.04.04
CN 115936927 A,2023.04.07

审查员 陈华惠

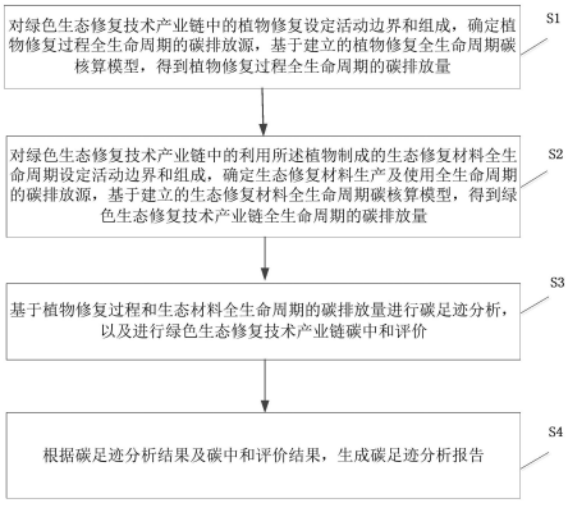
权利要求书4页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法及系统

(57)摘要

本发明公开了绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法及系统,对绿色生态修复技术产业链包括的植物修复、生态材料全生命周期设定活动边界和组成,确定植物修复过程、生态材料生产及使用全生命周期的碳排放源,基于全生命周期碳核算模型,得到绿色生态修复技术全产业链的碳排放量,并基于碳排放量进行碳足迹分析,以及进行绿色生态修复技术全产业链碳中和评价;根据碳足迹分析结果及碳中和评价结果,生成碳足迹分析报告。本发明可以为低碳修复技术的碳足迹核算方法提供实操指导,为修复技术绿色可持续性研究提供优化建议。



CN 116542425 B

1.一种绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法,其特征在于,包括:

对绿色生态修复技术产业链中的植物修复设定活动边界和组成,确定植物修复过程全生命周期的碳排放源,基于建立的植物修复全生命周期碳核算模型,得到植物修复过程全生命周期的碳排放量;植物修复过程全生命周期的碳排放源包括:植物修复过程直接排放温室气体排放和农资间接温室气体排放,所述植物修复全生命周期碳核算模型为:

$SC=C_{dir}+C_{ind}-C_{cap}$

SC表示植物对土壤进行修复过程中的温室气体总排放量,kg CO_{2-eq}/hm^2、C_{dir}表示植物修复过程中温室气体直接排放量,kg CO_{2-eq}/hm^2、C_{ind}表示植物修复过程的农资间接温室气体排放量,kg CO_{2-eq}/hm^2、C_{cap}表示植物修复过程中植物总碳固定量,kg CO_{2-eq}/hm^2;

植物修复过程中的直接碳排放量C_{dir}通过以下公式表示:

$$C_{dir}=C_{CH_4}+C_{N_2O}-\Delta C_{\text{soil}}\times\frac{44}{12}$$

C_{CH_4}为植物修复过程中CH_4的排放量,kg CO_{2-eq}/hm^2、C_{N_2O}为植物修复过程中N_2O的排放量,kg CO_{2-eq}/hm^2、44/12为C转化为CO_2系数、ΔC_{soil}为植物修复前后土壤有机碳储量的变化,kg C/hm^2;

CH_4与当量二氧化碳之间的转换:以其在大气中100年的增温潜势来计算,1kg CH_4相当于25kgCO_2的增温效应,$C_{CH_4}=F_{CH4}\times 25$;

$$C_{N_2O}=(F_{SN}+F_{CR})\times EF_{N_2O}\times 298\times 44/28$$

F_{SN}为植物修复过程中氮肥施用量,kgN/hm^2,折合为纯氮量计算、F_{CR}为还田秸秆的含氮量,kg N/hm^2、EF_{N2O}为因氮素投入造成的N_2O排放的排放系数、298为N_2O全球增温潜势值、44/28为N_2O与N的分子量之比;

$$C_{\text{ind}}=\sum_1^n M_i\times\delta_i$$

M_i表示第i种农资的投入量,kg/hm^2、δ_i表示第i种农资单位温室气体排放系数,kgCO_{2-eq}/kg;

$C_{cap}=M_{干重}\times 1.63$

$M_{干重}$:植物的干重,kg/hm^2,植物体内每累积1g干物质,分别需向大气吸收1.63g的CO_2;

对绿色生态修复技术产业链中的利用所述植物制成的生态修复材料全生命周期设定活动边界和组成,确定生态修复材料生产及使用全生命周期的碳排放源,基于建立的生态修复材料全生命周期碳核算模型,得到绿色生态修复技术产业链全生命周期的碳排放量;生态材料全生命周期碳足迹计算模型为:

$$E_{GHG}=\frac{E_{CO_2-燃烧}+E_{CO_2-碳酸盐}+(E_{CH_4-废水}-R_{CH_4-回收销毁})\times GWP_{CH_4}-R_{CO_2-回收}-R_{\text{capture}}+E_{CO_2-净电}+E_{CO_2-净热}}{M}$$

其中,E_{GHG}为生态材料全生命周期温室气体排放总量;

$E_{CO_2-燃烧}$为生态材料全生命周期化石燃料燃烧CO_2排放量;

$E_{CO_2-碳酸盐}$为生态材料全生命周期碳酸盐使用过程分解产生的CO_2排放量;

$E_{CH_4-废水}$为生态材料全生命周期废水厌氧处理产生的CH_4排放量；

$R_{CH_4-回收销毁}$为生态材料全生命周期的CH_4回收与销毁量；

GWP_{CH_4}为CH_4相比CO_2的全球变暖潜势值；

$R_{CO_2-回收}$为生态材料全生命周期的CO_2回收利用量；

$R_{capture}$为生态材料全生命周期的CO_2固定量；

$E_{CO_2-净电}$为生态材料全生命周期净购入电力隐含的CO_2排放量；

$E_{CO_2-净热}$为生态材料全生命周期净购入热力隐含的CO_2排放量；

M为生态材料产量；

基于植物修复过程和生态材料全生命周期的碳排放量进行碳足迹分析，以及进行绿色生态修复技术产业链碳中和评价；绿色生态修复技术产业链碳中和计算公式为：

$$E_{中和}=\frac{SC}{Y}\times V\times 10^{-3}+E_{GHG}$$

V为生产M kg生态材料所用的植物用量；若碳中和$E_{中和}$为正值，表征产业链生态材料应用并未抵消其排放量；若$E_{中和}$为零，表征产业链生态材料应用实现了碳中和，推进了土壤修复技术向低碳排放，低能源消耗方向发展；若$E_{中和}$为负值，表征产业链生态材料应用实现了“负碳”目标，在实现土壤修复的同时，自身达到了零碳排放，还能吸附额外碳排放；

根据碳足迹分析结果及碳中和评价结果，生成碳足迹分析报告。

2.根据权利要求1所述的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法，其特征在于，生态材料生产及使用全生命周期的碳排放源包括：生态材料全生命周期化石燃料燃烧CO_2排放、碳酸盐使用过程分解产生的CO_2排放、废水厌氧处理产生的CH_4排放、净购入电力隐含的CO_2排放、净购入热力隐含的CO_2排放。

3.根据权利要求1所述的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法，其特征在于，所述碳中和$E_{中和}$还用来比较不同产业链、不同绿色修复技术之间的碳排放效果。

4.一种绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价系统，其特征在于，包括：

植物修复全生命周期碳核算模块，用于对绿色生态修复技术产业链中的植物修复设定活动边界和组成，确定植物修复过程全生命周期的碳排放源，基于建立的植物修复全生命周期碳核算模型，得到植物修复过程全生命周期的碳排放量；植物修复过程全生命周期的碳排放源包括：植物修复过程直接排放温室气体排放和农资间接温室气体排放，所述植物修复全生命周期碳核算模型为：

$SC=C_{dir}+C_{ind}-C_{cap}$

SC表示植物对土壤进行修复过程中的温室气体总排放量，kg CO_{2-eq}/hm^2、C_{dir}表示植物修复过程中温室气体直接排放量，kg CO_{2-eq}/hm^2、C_{ind}表示植物修复过程的农资间接温室气体排放量，kg CO_{2-eq}/hm^2、C_{cap}表示植物修复过程中植物总碳固定量，kg CO_{2-eq}/hm^2；

植物修复过程中的直接碳排放量C_{dir}通过以下公式表示：

$$C_{dir}=C_{CH_4}+C_{N_2O}-\Delta C_{soil}\times\frac{44}{12}$$

C_{CH_4}为植物修复过程中CH_4的排放量，kg CO_{2-eq}/hm^2、C_{N_2O}为植物修复过程中N_2O的排

放量,kg $CO_{2\text{-}eq}/hm^2$、44/12为C转化为CO_2系数、ΔC_{soil}为植物修复前后土壤有机碳储量的变化,kg C/hm^2;

CH_4与当量二氧化碳之间的转换:以其在大气中100年的增温潜势来计算,1kg CH_4相当于25kgCO_2的增温效应,$C_{CH_4} = F_{CH4} \times 25$;

$$C_{N_2O} = (F_{SN} + F_{CR}) \times EF_{N_2O} \times 298 \times 44/28$$

F_{SN}为植物修复过程中氮肥施用量,kgN/hm^2,折合为纯氮量计算、F_{CR}为还田秸秆的含氮量,kg N/hm^2、EF_{N2O}为因氮素投入造成的N_2O排放的排放系数、298为N_2O全球增温潜势值、44/28为N_2O与N的分子量之比;

$$C_{\text{ind}} = \sum_1^n M_i \times \delta_i$$

M_i表示第i种农资的投入量,kg/hm^2、δ_i表示第i种农资单位温室气体排放系数,kg$CO_{2\text{-}eq}$/kg;

$C_{cap} = M_{干重} \times 1.63$

$M_{干重}$:植物的干重,kg/hm^2,植物体内每累积1g干物质,分别需向大气吸收1.63g的CO_2;

生态材料全生命周期碳核算模块,用于对采用生态材料制成的生态材料设定活动边界和组成,确定生态修复材料生产及使用全生命周期的碳排放源,基于建立的生态修复材料全生命周期碳核算模型,得到绿色生态修复技术产业链全生命周期的碳排放量;生态材料全生命周期碳足迹计算模型为:

$$E_{GHG} = \frac{E_{CO_2\text{-燃烧}} + E_{CO_2\text{-碳酸盐}} + (E_{CH_4\text{-废水}} - R_{CH_4\text{-回收销毁}}) \times GWP_{CH_4} - R_{CO_2\text{-回收}} - R_{\text{capture}} + E_{CO_2\text{-净电}} + E_{CO_2\text{-净热}}}{M}$$

其中,E_{GHG}为生态材料全生命周期温室气体排放总量;

$E_{CO_2\text{-燃烧}}$为生态材料全生命周期化石燃料燃烧CO_2排放量;

$E_{CO_2\text{-碳酸盐}}$为生态材料全生命周期碳酸盐使用过程分解产生的CO_2排放量;

$E_{CH_4\text{-废水}}$为生态材料全生命周期废水厌氧处理产生的CH_4排放量;

$R_{CH_4\text{-回收销毁}}$为生态材料全生命周期的CH_4回收与销毁量;

GWP_{CH_4}为CH_4相比CO_2的全球变暖潜势值;

$R_{CO_2\text{-回收}}$为生态材料全生命周期的CO_2回收利用量;

R_{capture}为生态材料全生命周期的CO_2固定量;

$E_{CO_2\text{-净电}}$为生态材料全生命周期净购入电力隐含的CO_2排放量;

$E_{CO_2\text{-净热}}$为生态材料全生命周期净购入热力隐含的CO_2排放量;

M为生态材料产量;

分析与评价模块,用于基于植物修复过程和生态材料全生命周期的碳排放量进行碳足迹分析,以及进行绿色生态修复技术产业链全产业链碳中和评价;绿色生态修复技术产业链碳中和计算公式为:

$$E_{中和} = \frac{SC}{Y} \times V \times 10^{-3} + E_{GHG}$$

V为生产M kg生态材料所用的植物用量;若碳中和$E_{中和}$为正值,表征产业链生态材料应用并未抵消其排放量;若$E_{中和}$为零,表征产业链生态材料应用实现了碳中和,推进了土壤修复技术向低碳排放,低能源消耗方向发展;若$E_{中和}$为负值,表征产业链生态材料应用实现了“负碳”目标,在实现土壤修复的同时,自身达到了零碳排放,还能吸附额外碳排放;

优化建议生成模块,用于根据碳足迹分析结果及碳中和评价结果,生成绿色可持续性研究的优化建议。

5.一种计算机设备,其特征在于,包括:至少一个处理器,以及与所述至少一个处理器通信连接的存储器,其中,所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令,所述指令被所述至少一个处理器执行,以使所述至少一个处理器执行权利要求1-3中任一项所述的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法。

6.一种计算机可读存储介质,其特征在于,所述计算机可读存储介质存储有计算机指令,所述计算机指令用于使所述计算机执行权利要求1-3中任一项所述的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法。

绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及碳排放技术领域,具体涉及一种绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法及系统。

背景技术

[0002] 根据“双碳”目标的要求,土壤修复技术的发展也需要向低碳排放,低能源消耗方向发展。生物修复技术,如在污染土壤上栽培高值化修复用植物对土壤进行修复,并将植物制备成土壤修复剂、改良剂、炭基肥等生态材料,再将这种生态材料应用到生态修复中,这是种“绿色、低碳、可持续”的绿色产业链,目前的碳核算及碳中和研究主要针对某一具体领域或环节,未对某一生态材料全生命周期进行研究,从而不能对绿色可持续修复工程评价体系和碳排放核算体系提供指导。

发明内容

[0003] 因此,本发明提供一种绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法及系统,可以填补目前绿色可持续修复工程碳核算及碳中和实现的评价方法,为绿色可持续修复碳排放标准化和定量化,解决目前国内外对于低碳修复技术的碳足迹核算方法与实操指导不足以及碳中和实现的技术方案与路径缺乏问题。

[0004] 为达到上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0005] 第一方面,本发明实施例提供一种绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法,包括:

[0006] 对绿色生态修复技术产业链中的植物修复设定活动边界和组成,确定植物修复过程全生命周期的碳排放源,基于建立的植物修复全生命周期碳核算模型,得到植物修复过程全生命周期的碳排放量;

[0007] 对绿色生态修复技术产业链中的利用所述植物制成的生态修复材料全生命周期设定活动边界和组成,确定生态修复材料生产及使用全生命周期的碳排放源,基于建立的生态修复材料全生命周期碳核算模型,得到绿色生态修复技术产业链全生命周期的碳排放量;

[0008] 基于植物修复过程和生态材料全生命周期的碳排放量进行碳足迹分析,以及进行绿色生态修复技术产业链全产业链碳中和评价;

[0009] 根据碳足迹分析结果及碳中和评价结果,生成碳足迹分析报告。

[0010] 进一步地,植物修复过程全生命周期的碳排放源包括:植物修复过程直接排放温室气体排放和农资间接温室气体排放,所述植物修复全生命周期碳核算模型为:

[0011] $SC=C_{dir}+C_{ind}-C_{cap}$

[0012] SC表示植物对土壤进行修复过程中的温室气体总排放量(kg CO_{2-eq}/hm^2)、C_{dir}表示植物修复过程中温室气体直接排放量(kg CO_{2-eq}/hm^2)、C_{ind}表示植物修复过程的农资间接温室气体排放量(kg CO_{2-eq}/hm^2)、C_{cap}表示植物修复过程中植物总碳固定量(kg CO_{2-eq}/hm^2);

[0013] 进一步地,植物修复过程中的直接碳排放量C_{dir}通过以下公式表示:

[0014] $$C_{dir} = C_{CH_4} + C_{N_2O} - \Delta C_{soil} \times \frac{44}{12}$$

[0015] C_{CH_4}为植物修复过程中CH_4的排放量(kg $CO_{2\text{-}eq}/hm^2$)、C_{N_2O}为植物修复过程中N_2O的排放量(kg $CO_{2\text{-}eq}/hm^2$)、44/12为C转化为CO_2系数、ΔC_{soil}为植物修复前后土壤有机碳储量的变化kg C/hm^2;

[0016] CH_4与当量二氧化碳之间的转换:以其在大气中100年的增温潜势来计算,1kg CH_4相当于25kgCO_2的增温效应,$C_{CH_4} = F_{CH4} \times 25$;

[0017] N_2O的排放量为:

[0018] $$C_{N_2O} = (F_{SN} + F_{CR}) \times EF_{N_2O} \times 298 \times 44/28$$

[0019] F_{SN}为植物修复过程中氮肥施用量(kgN/hm^2),折合为纯氮量计算、F_{CR}为还田秸秆的含氮量(kg N/hm^2)、EF_{N2O}为因氮素投入造成的N_2O排放的排放系数、298为N_2O全球增温潜势值、44/28为N_2O与N的分子量之比;

[0020] $$C_{\text{ind}} = \sum_1^n M_i \times \delta_i$$

[0021] M_i表示第i种农资的投入量kg/hm^2、δ_i表示第i种农资单位温室气体排放系数(kg$CO_{2\text{-}eq}$/kg);

[0022] $C_{cap} = M_{干重} \times 1.632$

[0023] $M_{干重}$:植物的干重(kg/hm^2),植物体内每累积1g干物质,分别需向大气吸收1.63g的CO_2。

[0024] 4.根据权利要求1所述的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法,其特征在于,生态材料生产及使用全生命周期的碳排放源包括:生态材料全生命周期化石燃料燃烧CO_2排放、碳酸盐使用过程分解产生的CO_2排放、废水厌氧处理产生的CH_4排放、净购入电力隐含的CO_2排放、净购入热力隐含的CO_2排放。

[0025] 进一步地,生态材料全生命周期碳足迹计算模型为:

[0026] $$E_{GHG} = \frac{E_{CO_2\text{-燃烧}} + E_{CO_2\text{-碳酸盐}} + (E_{CH_4\text{-废水}} - R_{CH_4\text{-回收销毁}}) \times GWP_{CH_4} - R_{CO_2\text{-回收}} - R_{\text{capture}} + E_{CO_2\text{-净电}} + E_{CO_2\text{-净热}}}{M}$$

[0027] 其中,E_{GHG}为生态材料全生命周期温室气体排放总量;

[0028] $E_{CO_2\text{-燃烧}}$为生态材料全生命周期化石燃料燃烧CO_2排放量;

[0029] $E_{CO_2\text{-碳酸盐}}$为生态材料全生命周期碳酸盐使用过程分解产生的CO_2排放量;

[0030] $E_{CH_4\text{-废水}}$为生态材料全生命周期废水厌氧处理产生的CH_4排放量;

[0031] $R_{CH_4\text{-回收销毁}}$为生态材料全生命周期的CH_4回收与销毁量;

[0032] GWP_{CH_4}为CH_4相比CO_2的全球变暖潜势值;

[0033] $R_{CO_2\text{-回收}}$为生态材料全生命周期的CO_2回收利用量;

[0034] R_{capture}为生态材料全生命周期的CO_2固定量;

[0035] $E_{CO_2\text{-净电}}$为生态材料全生命周期净购入电力隐含的CO_2排放量；

[0036] $E_{CO_2\text{-净热}}$为生态材料全生命周期净购入热力隐含的CO_2排放量；

[0037] M为生态材料产量。

[0038] 进一步地，绿色生态修复技术产业链碳中和计算公式为：

[0039] $$E_{中和} = \frac{SC}{Y} \times V \times 10^{-3} + E_{GHG}$$

[0040] V为生产M kg生态材料所用的植物用量；若碳中和$E_{中和}$为正值，表征产业链生态材料应用并未抵消其排放量；若$E_{中和}$为零，表征产业链生态材料应用实现了碳中和，推进了土壤修复技术向低碳排放，低能源消耗方向发展；若$E_{中和}$为负值，表征产业链生态材料应用实现了“负碳”目标，在实现土壤修复的同时，自身达到了零碳排放，还能吸附额外碳排放。

[0041] 进一步地，所述碳中和$E_{中和}$还用来比较不同产业链、不同绿色修复技术之间的碳排放效果。

[0042] 第二方面，本发明实施例提供一种绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价系统，包括：

[0043] 植物修复全生命周期碳核算模块，用于对绿色生态修复技术产业链中的植物修复设定活动边界和组成，确定植物修复过程全生命周期的碳排放源，基于建立的植物修复全生命周期碳核算模型，得到植物修复过程全生命周期的碳排放量；

[0044] 生态材料全生命周期碳核算模块，用于对绿色生态修复技术产业链中的利用所述植物制成的生态材料全生命周期设定活动边界和组成，确定生态修复材料生产及使用全生命周期的碳排放源，基于建立的生态修复材料全生命周期碳核算模型，得到绿色生态修复技术产业链全生命周期的碳排放量；

[0045] 分析与评价模块，用于基于植物修复过程和生态材料全生命周期的碳排放量进行碳足迹分析，以及进行绿色生态修复技术产业链全产业链碳中和评价；

[0046] 优化建议生成模块，用于根据碳足迹分析结果及碳中和评价结果。

[0047] 第三方面，本发明实施例提供一种计算机设备，包括：至少一个处理器，以及与至少一个处理器通信连接的存储器，其中，存储器存储有可被至少一个处理器执行的指令，指令被至少一个处理器执行，以使至少一个处理器执行本发明实施例第一方面的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法。

[0048] 第四方面，本发明实施例提供一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质存储有计算机指令，计算机指令用于使计算机执行本发明实施例第一方面的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法。

[0049] 本发明技术方案，具有如下优点：

[0050] 本发明提供的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法及系统，通过对生态材料所采用的植物及采用生态材料制成的生态材料设定活动边界和组成，确定植物修复过程及生态材料生产及使用全生命周期的碳排放源，基于全生命周期碳核算模型，得到绿色生态修复技术产业链全生命周期的碳排放量，并基于碳排放量进行碳足迹分析，以及进行绿色生态修复技术产业链全产业链碳中和评价；根据碳足迹分析结果及碳中和评价结果，生成碳足迹分析报告，可以为绿色可持续修复碳排放标准化和定量化，及绿色可持续性

研究的优化建议,为低碳修复技术的碳足迹核算方法提供实操指导。

附图说明

[0051] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对具体实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施方式,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0052] 图1为本发明实施例中提供的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法的一个具体示例的流程图;

[0053] 图2为本发明实施例中提供的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价系统一示例的模块组成图;

[0054] 图3为本发明实施例提供的计算机设备一个具体示例的组成图。

具体实施方式

[0055] 下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0056] 此外,下面所描述的本发明不同实施方式中所涉及的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互结合。

[0057] 实施例1

[0058] 本发明实施例提供一种绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法,其中绿色生态修复技术产业链包括:植物修复、生态材料生产、生态材料应用于植物修复技术或其它环境修复技术,如图1所示,该方法包括以下步骤:

[0059] 步骤S1:对绿色生态修复技术产业链中的植物修复设定活动边界和组成,确定植物修复过程全生命周期的碳排放源,基于建立的植物修复全生命周期碳核算模型,得到植物修复过程全生命周期的碳排放量。

[0060] 具体地,植物修复过程全生命周期的碳排放源包括:植物修复过程直接排放温室气体排放和农资间接温室气体排放,所述植物修复全生命周期碳核算模型为:

[0061] $SC=C_{dir}+C_{ind}-C_{cap}$

[0062] SC表示植物对土壤进行修复过程中的温室气体总排放量(kg CO_{2-eq}/hm^2)、C_{dir}表示植物修复过程中温室气体直接排放量(kg CO_{2-eq}/hm^2)、C_{ind}表示植物修复过程的农资间接温室气体排放量(kg CO_{2-eq}/hm^2)、C_{cap}表示植物修复过程中植物总碳固定量(kg CO_{2-eq}/hm^2)。

[0063] 以下分别具体描述植物修复过程全生命周期的碳排放源的量:

[0064] 植物修复过程中的直接碳排放量C_{dir}通过以下公式表示:

[0065] $$C_{dir}=C_{CH_4}+C_{N_2O}-\Delta C_{soil}\times\frac{44}{12}$$

[0066] C_{CH_4}为植物修复过程中CH_4的排放量(kg CO_{2-eq}/hm^2)、C_{N_2O}为植物修复过程中N_2O的排放量(kg CO_{2-eq}/hm^2)、44/12为C转化为CO_2系数、ΔC_{soil}为植物修复前后土壤有机碳储

量的变化kg C/hm^2;

[0067] CH_4与当量二氧化碳之间的转换:以其在大气中100年的增温潜势来计算,1kg CH_4相当于25kgCO_2的增温效应,$C_{CH_4} = F_{CH4} \times 25$;

[0068] $$C_{N_2O} = (F_{SN} + F_{CR}) \times EF_{N_2O} \times 298 \times 44/28$$

[0069] F_{SN}为植物修复过程中氮肥施用量(kgN/hm^2),折合为纯氮量计算、F_{CR}为还田秸秆的含氮量(kg N/hm^2)、EF_{N2O}为因氮素投入造成的N_2O排放的排放系数、298为N_2O全球增温潜势值、44/28为N_2O与N的分子量之比;

[0070] $$C_{\text{ind}} = \sum_1^n M_i \times \delta_i$$

[0071] M_i表示第i种农资的投入量(kg/hm^2)、δ_i表示第i种农资单位温室气体排放系数(kg$CO_{2\text{-eq}}$/kg);

[0072] C_{cap}=$M_{干重}$×1.632

[0073] $M_{干重}$:植物的干重(kg/hm^2),植物体内每累积1g干物质,分别需向大气吸收1.63g的CO_2。

[0074] 步骤S2:对绿色生态修复技术产业链中的利用所述植物制成的生态材料全生命周期设定活动边界和组成,确定生态材料生产及使用全产业链的碳排放源,基于建立的生态材料全生命周期碳核算模型,得到生态材料全生命周期的碳排放量。

[0075] 本发明实施例根据实际项目应用情况确定生态材料生产及使用全生命周期的碳排放源包括:生态材料全生命周期化石燃料燃烧CO_2排放、碳酸盐使用过程分解产生的CO_2排放、废水厌氧处理产生的CH_4排放、净购入电力隐含的CO_2排放、净购入热力隐含的CO_2排放。基于上述排放源本发明实施例生态材料全生命周期碳足迹计算公式为:

[0076] $$E_{GHG} = \frac{E_{CO_2\text{-燃烧}} + E_{CO_2\text{-碳酸盐}} + (E_{CH_4\text{-废水}} - R_{CH_4\text{-回收销毁}}) \times GWP_{CH_4} - R_{CO_2\text{-回收}} - R_{\text{capture}} + E_{CO_2\text{-净电}} + E_{CO_2\text{-净热}}}{M}$$

[0077] E_{GHG}为生态材料全生命周期温室气体排放总量,单位为($t_{CO2\text{-eq}}$/t);

[0078] $E_{CO_2\text{-燃烧}}$为生态材料全生命周期化石燃料燃烧CO2排放,单位为($t_{CO2\text{-eq}}$);

[0079] $E_{CO_2\text{-碳酸盐}}$为生态材料全生命周期碳酸盐使用过程分解产生的CO_2排放,单位为($t_{CO2\text{-eq}}$);

[0080] $E_{CH_4\text{-废水}}$为生态材料全生命周期废水厌氧处理产生的CH_4排放,单位为($t_{CO2\text{-eq}}$);

[0081] $R_{CH_4\text{-回收销毁}}$为生态材料全生命周期的CH_4回收与销毁量,单位为($t_{CO2\text{-eq}}$);

[0082] GWP_{CH_4}为CH_4相比CO_2的全球变暖潜势(GWP)值。根据IPCC第二次评估报告,100年时间尺度内1吨CH_4相当于21吨CO_2的增温能力,因此GWP_{CH_4}等于21;

[0083] $R_{CO_2\text{-回收}}$为生态材料全生命周期的CO_2回收利用量,单位为($t_{CO2\text{-eq}}$);

[0084] $R_{capture}$为生态材料全生命周期的CO_2固定量,单位为($t_{CO2\text{-eq}}$);

[0085] $E_{CO_2\text{-净电}}$为生态材料全生命周期净购入电力隐含的CO_2排放,单位为($t_{CO2\text{-eq}}$);

[0086] $E_{CO_2\text{-净热}}$为生态材料全生命周期净购入热力隐含的CO_2排放,单位为($t_{CO2\text{-eq}}$);

[0087] M为生态材料产量,单位为t。

[0088] 以下具体描述各个温室气体排放量计算方式：

[0089] 1、生态材料全生命周期化石燃料燃烧$_{CO2}$排放

[0090] 燃料燃烧$_{CO2}$排放量主要基于分品种的化石燃料燃烧量、单位燃料的含碳量和碳氧化率计算得到，公式如下：

[0091] $$E_{CO_2燃烧}=\sum_i(AD_i\times CC_i\times OF_i\times\frac{44}{12})$$

[0092] i:化石燃料种类，AD_i:为化石燃料品种i明确用作燃料燃烧的消费量，对固体或液体燃料以吨为单位，对气体燃料以万Nm^3为单位，CC_i:为化石燃料i的含碳量，对固体和液体燃料以吨碳/吨燃料为单位，对气体燃料以吨碳/万Nm^3为单位，OF_i:为化石燃料i的碳氧化率，取值范围为0～1。

[0093] 每种气体组分的体积浓度及该组分化学分子式中碳原子的数目计算含碳量：

[0094] $$CC_g=\sum_n(\frac{12\times CN_n\times V\%_n}{22.4}\times 10)$$

[0095] CC_g为待测气体g的含碳量，单位为吨碳/万Nm^3；$V\%_n$:为待测气体每种气体组分n的体积浓度，取值范围0～1，例如95％的体积浓度取值0.95；CN_n:为气体组分n化学分子式中碳原子的数目，12为碳的摩尔质量，单位为kg/kmol，22.4为标准状况下理想气体摩尔体积，单位为Nm_3/kmol。

[0096] 没有条件实测燃料元素碳含量的，可定期检测燃料的低位发热量再按以下公式估算燃料的含碳量：

[0097] $CC_i=NCV_i\times RZ_i$

[0098] CC_i为化石燃料品种i的含碳量，对固体和液体燃料以吨碳/吨燃料为单位，对气体燃料以吨碳/万Nm^3为单位，NCV_i为化石燃料品种i低位发热量，对固体和液体燃料以百万千焦(GJ)/吨为单位，对气体燃料以GJ/万Nm_3为单位，RZ_i:为燃料品种i的单位热值含碳量，单位为吨碳/GJ，OF_i燃料碳氧化率:液体燃料的碳氧化率可取缺省值0.98；气体燃料的碳氧化率可取缺省值0.99。

[0099] 2、生态材料全生命周期碳酸盐使用过程分解产生的$_{CO2}$排放

[0100] 碳酸盐使用过程产生的CO_2排放根据每种碳酸盐的使用量及其CO_2排放因子计算：

[0101] $$E_{CO_{2-碳酸盐}}=\sum_i(AD_i\times EF_i\times PUR_i)$$

[0102] $E_{CO_{2-碳酸盐}}$为碳酸盐使用过程产生的CO_2排放量，单位为吨、i为碳酸盐的种类，如果实际使用的是多种碳酸盐组成的混合物，应分别考虑每种碳酸盐的种类；AD_i为碳酸盐i用于原料、助熔剂、脱硫剂等的总消费量，单位为吨；EF_i为碳酸盐i的CO_2排放因子，单位为吨CO_2/吨碳酸盐i；PUR_i为碳酸盐i以质量百分比表示的纯度。

[0103] 3、工业废水厌氧处理CH_4排放

[0104] 生态材料全生命周期采用厌氧工艺处理自身产生或外来的工业废水导致的CH_4排放量计算公式如下：

[0105] $$E_{CH_4-废水}=(TOW-S)\times EF_{CH_4-废水}\times 10^{-3}$$

[0106] $E_{CH_4-废水}$为工业废水厌氧处理的CH_4排放量，单位为吨；TOW为工业废水中可降解有

机物的总量,以化学需氧量(COD)为计量指标,单位为千克COD,S:为以污泥方式清除掉的有机物总量,以化学需氧量(COD)为计量指标,单位为千克COD;$EF_{CH_4-废水}$:为工业废水厌氧处理的CH_4排放因子,单位为kgCH4/kgCOD;

[0107] $TOW=W\times(COD_{in}-COD_{out})$

[0108] W为厌氧处理的工业废水量,单位为m^3废水/年;COD_{in}:为进入厌氧处理系统的废水平均COD浓度,单位为千克COD/m^3废水,COD_{out}为从厌氧处理系统出口排出的废水平均COD浓度,单位为千克COD/m^3废水

[0109] $$EF_{CH_4\text{-}废水}=B_0\times MCF$$

[0110] B_0:为工业废水厌氧处理系统的甲烷最大生产能力,单位千克CH_4/千克,COD;MCF:为甲烷修正因子,表示不同处理系统或排放途径达到甲烷最大产生能力(Bo)的程度,也反映了处理系统的厌氧程度。

[0111] 4、CH_4回收与销毁量

[0112] 生态材料全生命周期的CH_4回收与销毁量按下式计算:

[0113] $$R_{CH_4-回收销毁}=R_{CH_4-自用}+R_{CH_4-外供}$$

[0114] $R_{CH_4-自用}$为生态材料全生命周期回收自用的CH_4量,单位为吨;

[0115] $R_{CH_4-外供}$为生态材料全生命周期回收外供给其他单位的CH_4量,单位为吨;

[0116] $$R_{CH_4-自用}=\eta_{自用}\times Q_{自用}\times PUR_{CH_4}\times 7.17$$

[0117] $\eta_{自用}$为甲烷气在现场自用过程中的氧化系数(%);$Q_{自用}$为生态材料全生命周期回收自用的CH_4气体体积,单位为万Nm^3;PUR_{CH_4}为回收自用的甲烷气体平均CH_4体积浓度;7.17为CH_4气体在标准状况下的密度,单位为吨/万Nm^3;

[0118] $$R_{CH_4-外供}=Q_{外供}\times PUR_{CH_4}\times 7.17$$

[0119] $Q_{外供}$为生态材料全生命周期外供第三方的CH_4气体体积,单位为万Nm_3;PUR_{CH_4}为回收外供的甲烷气体平均CH_4体积浓度;

[0120] 5、生态材料全生命周期的CO_2回收利用量

[0121] 生态材料全生命周期的CO_2回收利用量按下式计算:

[0122] $$R_{CO_2-回收}=(Q_{外供}\times PUR_{CO_2-外供}+Q_{自用}\times PUR_{CO_2-自用})\times 19.77$$

[0123] $R_{CO_2-回收}$为生态材料全生命周期的CO_2回收利用量,单位为吨;$Q_{外供}$为生态材料全生命周期回收且外供给其他单位的CO_2气体体积,单位为万Nm^3 $PUR_{CO_2-外供}$为CO_2外供气体的纯度(CO_2体积浓度),取值范围为0~1;$Q_{自用}$为生态材料全生命周期回收且自用作生产原料的CO_2气体体积,单位为万Nm^3;$PUR_{CO_2-自用}$为回收自用作原料的CO_2气体纯度(CO_2体积浓度),取值范围为0~1;19.77为标准状况下CO_2气体的密度,单位为吨CO_2/万Nm^3。

[0124] 6、净购入电力和热力隐含的CO_2排放

[0125] 企业净购入的电力隐含的CO_2排放以及净购入的热力隐含的CO_2排放分别计算方法为:

[0126] $$E_{CO_2-净电}=AD_{电力}\times EI$$

[0127] $E_{CO_2-净热} = AD_{热力} \times E$

[0128] $E_{CO_2-净电}$：为企业净购入的电力隐含的CO_2排放，单位为吨CO_2、$E_{CO_2-净热}$：为企业净购入的热力隐含的CO_2排放，单位为吨CO_2、$AD_{电力}$：企业净购入的电力消费量，单位为MWh、$AD_{热力}$：为企业净购入的热力消费量，单位为GJ、EI：为电力供应的$_{CO2}$排放因子，单位为吨CO_2/MWh、E：为热力供应的CO_2排放因子，单位为吨CO_2/GJ。

[0129] $AD_{热水} = Ma_w \times (T_w - 20) \times 4.1868 \times 10^{-3}$

[0130] $AD_{热水}$：为热水的热量，单位为GJ、Ma_w：为热水的质量，单位为吨热水、T_w：为热水温度，单位为℃、4.1868为水在常温常压下的比热，单位为kJ/(kg·℃)。

[0131] $AD_{蒸汽} = Ma_{st} \times (EN_{st} - 83.74) \times 10^{-3}$

[0132] $AD_{蒸汽}$：为蒸汽的热量，单位为GJ；Ma_{st}：为蒸汽的质量，单位为吨蒸汽；EN_{st}：为蒸汽所对应的温度、压力下每千克蒸汽的热焓，单位为kJ/kg。

[0133] 步骤S3：基于植物修复过程和生态材料全生命周期的碳排放量进行碳足迹分析，以及进行生态材料全产业链碳中和评价。

[0134] $$E_{中和} = \frac{SC}{Y} \times V \times 10^{-3} + E_{GHG}$$

[0135] V为生产M kg生态材料所用的植物用量；若碳中和$E_{中和}$为正值，表征产业链生态材料应用并未抵消其排放量；若$E_{中和}$为零，表征产业链生态材料应用实现了碳中和，推进了土壤修复技术向低碳排放，低能源消耗方向发展；若$E_{中和}$为负值，表征产业链生态材料应用实现了“负碳”目标，在实现土壤修复的同时，自身达到了零碳排放，还能吸附额外碳排放。

[0136] 步骤S4：根据碳足迹分析结果及碳中和评价结果。

[0137] 本发明实施例通过对生态材料全产业链各个环节进行碳核算从而进行碳足迹分析，生成碳足迹分析报告，分析碳排放量排名靠前的排放源，并结合碳中和评价结果，可以为绿色可持续性研究的优化建议，来改善碳排放量高的排放源，从而时整体的碳中和评价结果达到“负碳”目标。

[0138] 实施例2

[0139] 本发明实施例提供一种绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价系统，如图2所示，包括：

[0140] 植物修复全生命周期碳核算模块1，用于对绿色生态修复技术产业链中的植物修复设定活动边界和组成，确定植物修复过程全生命周期的碳排放源，基于建立的植物修复全生命周期碳核算模型，得到植物修复过程全生命周期的碳排放量；此模块执行实施例1中的步骤S1所描述的方法，在此不再赘述。

[0141] 生态材料全生命周期碳核算模块2，用于对绿色生态修复技术产业链中的利用所述植物制成的生态材料全生命周期设定活动边界和组成，确定生态修复材料生产及使用全生命周期的碳排放源，基于建立的生态修复材料全生命周期碳核算模型，得到绿色生态修复技术产业链全生命周期的碳排放量；模块执行实施例1中的步骤S2所描述的方法，在此不再赘述。

[0142] 分析与评价模块3，用于基于植物修复过程和生态材料全生命周期的碳排放量进行碳足迹分析，以及进行绿色生态修复技术产业链全产业链碳中和评价；该模块执行实施

例1中的步骤S3所描述的方法,在此不再赘述。

[0143] 碳足迹分析报告生成模块4,用于根据碳足迹分析结果及碳中和评价结果,生成碳足迹分析报告。该模块执行实施例1中的步骤S4所描述的方法,在此不再赘述

[0144] 实施例3

[0145] 本发明实施例提供一种计算机设备,如图3所示,包括:至少一个处理器401,例如CPU(Central Processing Unit,中央处理器),至少一个通信接口403,存储器404,至少一个通信总线402。其中,通信总线402用于实现这些组件之间的连接通信。其中,通信接口403可以包括显示屏(Display)、键盘(Keyboard),可选通信接口403还可以包括标准的有线接口、无线接口。存储器404可以是高速RAM存储器(Ramdom Access Memory,易挥发性随机存取存储器),也可以是非不稳定的存储器(non-volatile memory),例如至少一个磁盘存储器。存储器404可选的还可以是至少一个位于远离前述处理器401的存储装置。其中处理器401可以执行实施例1的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法。存储器404中存储一组程序代码,且处理器401调用存储器404中存储的程序代码,以用于执行实施例1的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法。

[0146] 其中,通信总线402可以是外设部件互连标准(peripheral component interconnect,简称PCI)总线或扩展工业标准结构(extended industry standard architecture,简称EISA)总线等。通信总线402可以分为地址总线、数据总线、控制总线等。为便于表示,图3中仅用一条线表示,但并不表示仅有一根总线或一种类别的总线。

[0147] 其中,存储器404可以包括易失性存储器(英文:volatile memory),例如随机存取存储器(英文:random-access memory,缩写:RAM);存储器也可以包括非易失性存储器(英文:non-volatile memory),例如快闪存储器(英文:flash memory),硬盘(英文:hard disk drive,缩写:HDD)或固降硬盘(英文:solid-state drive,缩写:SSD);存储器404还可以包括上述种类的存储器的组合。

[0148] 其中,处理器401可以是中央处理器(英文:central processing unit,缩写:CPU),网络处理器(英文:network processor,缩写:NP)或者CPU和NP的组合。

[0149] 其中,处理器401还可以进一步包括硬件芯片。上述硬件芯片可以是专用集成电路(英文:application-specific integrated circuit,缩写:ASIC),可编程逻辑器件(英文:programmable logic device,缩写:PLD)或其组合。上述PLD可以是复杂可编程逻辑器件(英文:complex programmable logic device,缩写:CPLD),现场可编程逻辑门阵列(英文:field-programmable gate array,缩写:FPGA),通用阵列逻辑(英文:generic array logic,缩写:GAL)或其任意组合。

[0150] 可选地,存储器404还用于存储程序指令。处理器401可以调用程序指令,实现如本申请执行实施例1中的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法。

[0151] 本发明实施例还提供一种计算机可读存储介质,计算机可读存储介质上存储有计算机可执行指令,该计算机可执行指令可执行实施例1的绿色生态修复技术产业链碳核算与碳中和评价方法。其中,所述存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体(Read-Only Memory,ROM)、随机存储记忆体(Random Access Memory,RAM)、快闪存储器(Flash Memory)、硬盘(Hard Disk Drive,缩写:HDD)或固降硬盘(Solid-State Drive,SSD)等;所述存储介质还可以包括上述种类的存储器的组合。

[0152] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,而并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引申出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之中。

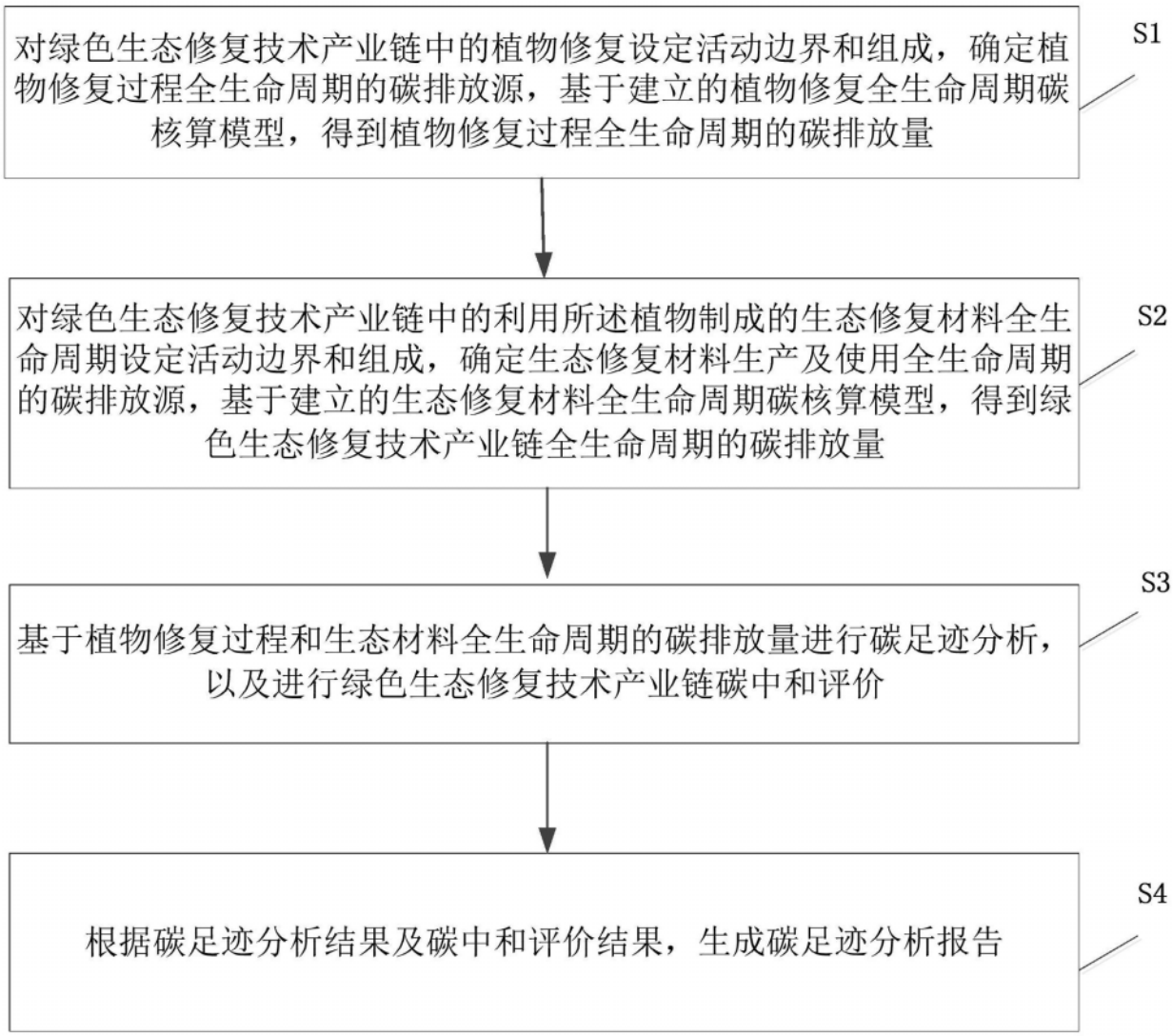

对绿色生态修复技术产业链中的植物修复设定活动边界和组成，确定植物修复过程全生命周期的碳排放源，基于建立的植物修复全生命周期碳核算模型，得到植物修复过程全生命周期的碳排放量
S1
对绿色生态修复技术产业链中的利用所述植物制成的生态修复材料全生命周期设定活动边界和组成，确定生态修复材料生产及使用全生命周期的碳排放源，基于建立的生态修复材料全生命周期碳核算模型，得到绿色生态修复技术产业链全生命周期的碳排放量
S2
基于植物修复过程和生态材料全生命周期的碳排放量进行碳足迹分析，以及进行绿色生态修复技术产业链碳中和评价
S3
根据碳足迹分析结果及碳中和评价结果，生成碳足迹分析报告
S4

图1

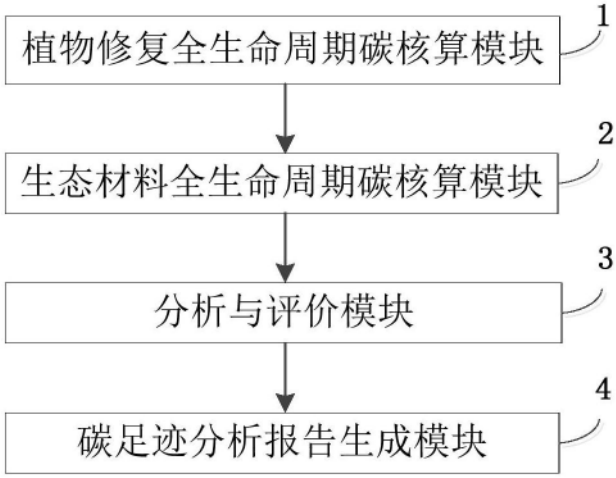

植物修复全生命周期碳核算模块
1
生态材料全生命周期碳核算模块
2
分析与评价模块
3
碳足迹分析报告生成模块
4

图2

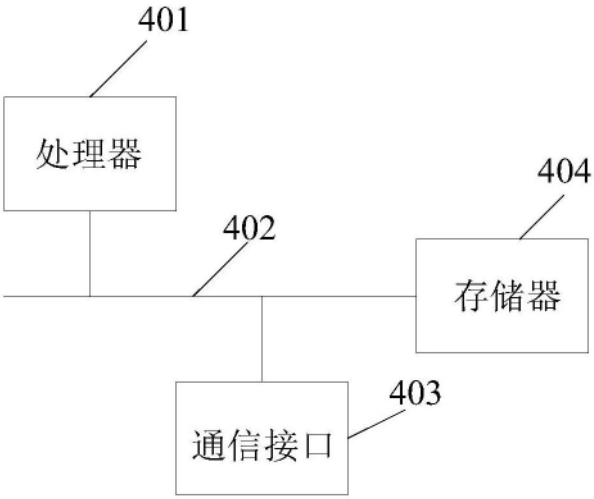


图3