

工业场地土壤修复的碳排放分析及减排措施

朱依一 俞博文 王世明

上海城投上境生态修复科技有限公司 上海 200232

摘要: 本文以华东某退役厂土壤修复项目为案例,通过优化碳排放计算模型,核算了修复过程中的碳排放总量,并分析了修复工程项目减排方法,包括土壤修复的技术改良和可再生能源利用等,同时结合集中处置终端等模式分析了环境修复领域助力“双碳目标”的路径。

关键词: 土壤修复; 碳排放; 碳减排

Carbon emission analysis and emission reduction measures of soil remediation in industrial sites

Yiyi Zhu, Bowen Yu, Shiming Wang

Shanghai Chengtou Shangjing Ecological Restoration Technology Co., Ltd. Shanghai 200232

Abstract: Taking the soil remediation project of a decommissioning plant in East China as an example, this paper calculates the total carbon emission in the remediation process by optimizing the carbon emission calculation model, and analyzes the emission reduction methods of the remediation project, including the technical improvement of soil remediation and the utilization of renewable energy. At the same time, combined with the mode of centralized disposal terminal, this paper analyzes the path to help the “double carbon goal” in the field of environmental remediation.

Keywords: soil remediation, carbon emission, carbon emission reduction

1. 概述

“双碳”目标是我国按照《巴黎协定》规定更新的国家自主贡献强化目标提出的,到2030年前力争将二氧化碳排放达到峰值,2060年前实现碳中和,作为我国面向21世纪中叶的长期温室气体低排放发展战略。双碳目标给各行各业提出了新的挑战也提供了新的机遇,尤其对于高能耗企业,如何平衡碳排放和自身企业生产将成为一大课题,而土壤修复行业同样面临类似问题。以热脱附为代表的各项高效污染物处理技术均需要消耗大量能源,从而产生大量二氧化碳排放。同时,随着我国土壤污染情况详查阶段接近尾声,大量位置集中、面积巨大、

污染严重的污染场地正陆续释放,高速发展的城市化进程对土地资源都提出了更高的要求。在大量地块仍待修复的情况下,如何在土壤修复过程中既保证修复效果又降低碳排放,值得我们去探索和研究。

本文从实际修复案例入手,通过优化碳排放计算模型,对修复过程中产生碳排放进行核算,并简要介绍了修复过程中减少碳排放的方法。

2. 案例分析

2.1 案例概况(华东某退役厂土壤修复项目)

华东某退役厂建于1957年,早期生产过程中存在不同程度的土壤污染问题。工程总占地面积为2000m²,其中修复的污染土壤量为约20000m³,其中有机类污染土壤修复量与重金属类污染土壤修复量各约10000m³(含3000m³重金属+有机类复合污染土壤)。

针对有机类污染土壤采用异位热脱附技术,处理量可达20吨每小时。针对重金属类污染土壤采用异位淋洗修复技术,处理量达300方/天。项目工期为90天。

2.2 碳排放计算模型

2.2.1 碳排放因子

作者简介:

朱依一,1997年4月,女,汉族,上海市,硕士研究生,初级职称,研究方向:土壤修复;

俞博文,1996年7月,男,汉族,上海市,硕士研究生,初级职称,研究方向:生态修复;

王世明,1994年12月,男,汉,江苏省连云港市,硕士研究生,助理工程师,研究方向:土壤污染状况调查。

温室气体一旦超出大气标准后，会产生温室效应。因此，控制温室气体的排放已经成为全人类共同面临的问题。《京都议定书》中规定了6种温室气体：二氧化碳（CO₂）、氧化亚氮（N₂O）、甲烷（CH₄）、氢氟碳化物（HFCs）；全氟化碳（PFCs）；六氟化硫（SF₆），并公布了各种温室气体的全球变暖潜能值（GWP）。其中二氧化碳被作为参照气体，其数值为1，其余气体的排放量将按照GWP值进行相应转化，最终得到以kg为单位的二氧化碳排放量作为本案例碳排放参照计量单位。

表1 全球变暖潜能值GWP

| 温室气体化学式 | 数值 | 来源 ^[1] |
|----------------------|-----|-------------------|
| CO ₂ 二氧化碳 | 1 | IPCC第三次评估报告（2001） |
| CH ₄ 甲烷 | 23 | IPCC第三次评估报告（2001） |
| N ₂ O氧化亚氮 | 296 | IPCC第三次评估报告（2001） |

2.2.2 能源碳排放因子

本次案例分析主要应用《IPCC国家温室气体清单指南（2006年）》^[1]中所列举的碳排放因子数据。能源排放因子主要涉及到运输过程中的运输工具的耗油量。计算公式^[2]为：

$$E_{consuming} = \sum_{i=1}^n q_i * s_i * p_i * k$$

施工机械使用阶段主要涉及煤、电、燃气等消耗，计算公式为：

$$E_{energy} = \sum_{i=1}^n q_i * r_i * p_i$$

2.2.3 电能排放因子

根据国家生态环境部发布的《企业温室气体排放核算方法与报告指南发电设施（2021年修订版）》征求意见，采取全国电网平均排放因子为0.5839 t CO₂/MWh。主要用来计算单位用电量所产生的二氧化碳。计算公式^[2]为：

$$E_{electricity} = \sum_{i=1}^n q_i * m * p_i$$

2.2.4 计算模型^[3]

$$E_{Total} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^6 M_i p_i GWP_j$$

其中：

- E_{Total} 为完成一个工序所产生的二氧化碳排放总量；
- M_i 为一个工序所消耗的n个能源和资源类型的第i种；
- p_i 为第i种能源或资源的排放因子；
- GWP_j 为第j种温室气体的全球变暖潜能值。

2.3 全生命周期分阶段核算

其中，项目碳排放量主要会从全生命周期角度^[4]测算各阶段碳排放量，主要从两个阶段进行计算，分别为施工现场准备阶段和施工过程中阶段。本案例将通过这两个阶段所涉及电能消耗、自来水消耗、化工染料消耗

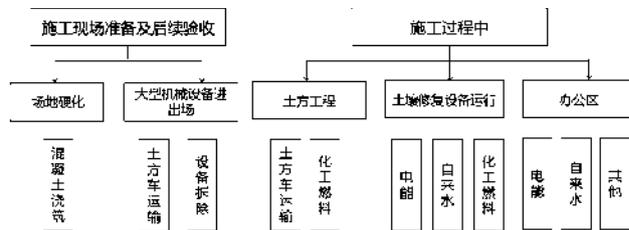


图1 华东某退役厂土壤修复项目全生命周期示意图

等各个方面的碳排放量集成，计算该工程的全生命周期碳排放。

$$E_{Total} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5$$

其中， E_{Total} 是该项目全生命周期的碳排放量总额；

E_1 是场地硬化所产生的碳排放量；

E_2 是施工过程中土方工程所产生的碳排放量；

E_3 是施工过程中土壤修复设备运行及大型机械设备进出场及安拆所产生的碳排放量；

E_4 是施工过程中办公区及项目使用维护所产生的碳排放量；

E_5 是施工过程中验收及拆除处理所产生的碳排放量。

2.3.1 场地硬化

项目前期准备主要涉及活动板房安装和场地硬化，全办公区共600m²，铺设15cm垫层，浇筑15cm厚的C20混凝土，混凝土碳排放因子采用《建筑碳排放计算标准》^[5]中295kg/单位（m³），计算所得总排放为2655000kg。

2.3.2 土方工程

该案例的土方工程主要涉及到挖土和回填，将待修复土壤用土方车运至修复大棚中，合计挖土方体积约为21000m³，回填土方约21000m³，所需挖土车一天2辆。其运输方式主要通过渣土车运输，消耗汽油和柴油。渣土车运输车每车约能承载20m³土。以40t的柴油车为例，每车平均运距取25km，每公里的耗油量约为10L。

表2 运输方式能源排放因子^[2]

| 运输方式 | 单位换算系数 (kg/L) | 耗油水平 (L/km) | 能源碳排放因子 (kg/单位(kg)) |
|--------|------------------|----------------|------------------------|
| 公路（汽油） | 0.85 | 0.4L | 2.171 |
| 公路（柴油） | 0.73 | 0.4L | 2.031 |

代入公式，结合表2，可得出总排放量为38752.35kg二氧化碳。

2.3.3 施工区：土壤修复设备运行^[6]

热脱附技术是指通过直接或间接加热，将污染土壤加热至目标污染物的沸点以上，通过控制系统温度和物料停留时间有选择地促使污染物气化挥发，使目标污染物与土壤颗粒分离并去除。使用热脱附技术每立方土壤消耗天然气0.1t生物质，耗电量5kW·h，天然气碳排放因子为0.4483kg/单位（t）^[1]，电排放因子采用0.5939kg/单位（kW·h），修复每立方有机污染土壤排放44.7495kg

二氧化碳。大致估算在该项目中修复 10000m³有机污染土壤共排放 447495kg 二氧化碳。

淋洗工艺是采用物理分离, 结合化学增效洗脱等手段, 通过添加合适的淋洗剂, 使污染物从土壤固相转移到液相的技术。该工艺共修复重金属污染土 11000m³, 共消耗电能 22000kW·h, 折合修复每吨土壤排放 12845.8kg 二氧化碳。

2.3.4 办公区及项目维护

该项目办公区占地 600m², 其中, 消耗自来水 1000L/天, 消耗电 2000kw/天, 主要有 20 名工人在产, 根据该市 2020 年度水资源公报中人均生活用水量 125.53L/天, 耗费一吨水排放 0.194kg 二氧化碳, 共产生 112308.4kg 二氧化碳排放。

2.3.5 验收及场地交付

验收及拆除处理主要是讲土地平整, 设备拆除后交付使用, 其中由于淋洗设备和热脱附设备是拼接设备, 不会作为拆除后的建筑垃圾进行处理, 拆除产生的垃圾主要包括密闭大棚及办公区拆除, 此处采取土方工程阶段所产生的碳排放乘以 7.8% 作为产出阶段的碳排放量^[7], 总计产生 3022.68kg 二氧化碳。

2.3.6 总排放量

各环节汇总后的排放量为 3269423.83kg 二氧化碳。

2.4 碳减排路径分析

2.4.1 土壤修复技术改良

目前土壤修复技术主要包括换土法、热脱附法、化学改良修复法、化学淋洗修复法和生物修复法等。其中热脱附法和化学淋洗法因其修复效率高、修复效果好、污染物去除彻底等理由在实际施工过程中应用较多, 但热脱附法和化学淋洗的能耗均较高, 尤其是热脱附法, 需要消耗大量的电力来产生热量, 碳排放量较高。生物修复技术则目前在修复重金属土壤上效果较佳, 对环境较为友好, 但目前仍然存在修复效率较低修复周期较长的问题。上述案例中使淋洗技术进行修复, 可以对修复淋洗剂进行进一步开发, 提升其污染去除效率, 可减少修复过程中的碳排放。为了实现“双碳”目标, 引进国外先进技术, 强化低能耗技术的修复效率, 缩短修复周期, 或者进一步提升热脱附等高能耗技术的修复效率, 从而变相降低修复单位能耗, 都将会是接下来的研究重点。

2.4.2 可再生能源开发利用

清洁能源作为创造碳汇的另一大巨头, 相比林业碳汇, 进入门槛较低。环境修复过程中诸多技术均需要消耗能源, 其中热脱附技术和水泥窑协同处置均需要消耗大量热能。针对高能耗技术, 采用风电、太阳能、氢能等清洁能源作为其热量来源, 可以极大程度减小修复过

程中产生的碳排放。此外, 针对一些修复面积较大、修复周期较长的项目, 可在项目地面铺设光伏板, 利用太阳能为部分项目设施提供能源, 同样可以减少修复过程中的碳排放。

3. 环境修复领域实现双碳目标的方法

3.1 生态修复增加碳汇

植树造林作为最典型的二氧化碳吸收手段, 和环境修复具有结合潜力, 例如矿山修复和水域生态修复等。矿山修复最终阶段是矿山复绿, 在复绿过程中可以选择种植二氧化碳吸收效果较好的树木。同样地, 水域生态修复过程中也会涉及林木种植, 包括近岸防护林和护坡树木等。

3.2 污染土壤集中处置

在大型污染片区周边或中心处建立集中处理修复中心, 结合如土壤淋洗、热脱附、化学氧化等技术设备, 对片区性污染土壤进行异位修复, 可以有效地提升修复效率, 加快土地流转速度。由于目前土壤修复项目相对比较分散且独立, 每个土壤修复项目都涉及独立的修复设备的安装及使用, 相对成本较高, 若建立了修复终端, 将临近污染土都运送至修复终端进行集中式处理, 将会大幅度降低设备安装运营等成本。

4. 总结

通过对土壤修复工程项目全生命周期各个环节碳排放量的计算, 发现土壤修复工程使用和前期准备阶段碳排放量占比较高, 未来可在修复工艺上选择上设定节能减排方案, 包括淋洗剂的改良、可再生能源利用。同时, 文章提出了修复领域实现双碳目标的实施路径, 包括利用生态修复来增加碳汇以及土壤修复采用集中处置模式为修复领域实现双碳目标提供参考依据。

参考文献:

- [1] IPCC 2006. 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南. 全球战略研究所, 2006.
- [2] 李静, 刘燕. 基于全生命周期的建筑工程碳排放计算模型, 工程管理学报, 1673-8859 (2015) 04-012-05.
- [3] 陈康海. 建筑工程施工阶段的碳排放核算研究. 广东工业大学, 2014.
- [4] 尚春静, 张智慧. 建筑生命周期碳排放核算[J]. 工程管理学报, 2010 (1): 7-12.
- [5] 住房和城乡建设部, 建筑碳排放计算标准, GB/T 51366—2019.
- [6] 薛成杰, 方战强. 土壤修复产业碳达峰碳中和路径研究, 环境工程.
- [7] 仲平. 建筑生命周期能源消耗及其环境影响研究[D]. 四川大学, 2005.