

# 团 体 标 准

T/ZJSES XXX—XXXX

## 基于全生命周期评价的场地土壤污染修复 工程碳排放核算技术指南

Technical Guideline for Carbon Emission Accounting of Contaminated Site Soil  
Remediation Projects Based on Life Cycle Assessment

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

浙江省环境科学学会 发布

# 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 工作程序和内容 .....	2
5 核算边界与排放源确定 .....	3
6 核算要求及排放量计算 .....	4
7 数据质量管理要求 .....	8
8 不确定性分析 .....	9
9 碳排放核算报告编制 .....	9
附 录 A 常见能源碳排放因子 .....	10
附 录 B 常见交通运输工具单位能耗 .....	11
附 录 C 常见机械设备额定功率与负荷系数 .....	12
附 录 D 常见机械设备单位能耗 .....	13
附 录 E 常见材料碳排放因子 .....	14
附 录 F 常见估算因子推荐表 .....	16
附 录 G 常见废弃物末端处置、分析检测和工艺过程碳排放因子 .....	18
附 录 H 其他缺省值推荐表 .....	19

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由浙江省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：浙江省生态环境科学设计研究院。

本文件主要起草人：庞景理、李斐、张弛、张涛、陈靖文、陆婷。

# 基于全生命周期评价的场地土壤污染修复工程碳排放核算技术指南

## 1 范围

本文件规定了场地土壤污染修复工程碳排放核算的工作流程和技术要求。

本文件适用于已完成效果评估验收的场地土壤污染修复工程（含地下水及风险管控）碳排放水平评价，也可作为场地土壤污染修复工程绿色低碳化设计和施工的参考。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本技术规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本技术规范。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本技术规范。

GB/T 24067 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

HJ 25.4 建设用地土壤修复技术导则

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

## 3 术语和定义

GB/T 24067、GB/T 32150、HJ 25.4、HJ 25.6、HJ 682界定的以下术语和定义适用于本文件。

### 3.1 温室气体 greenhouse gas

大气层中自然存在的和由于人类活动产生的能够吸收和散发地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内辐射的气态成分。包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs）、六氟化硫（SF<sub>6</sub>）和三氟化氮（NF<sub>3</sub>）。本文件仅关注二氧化碳（CO<sub>2</sub>）。

### 3.2 土壤地下水污染风险管控和修复 risk control and remediation of soil and groundwater contamination

采取修复技术（物理、化学或生物方法）、工程控制和制度控制措施等，降解、固定、转移或阻隔地块土壤地下水中的污染物，或使其浓度降低到可接受水平，或阻断其暴露途径，满足相应的土壤地下水环境功能或防止对周边人体健康和生态受体产生影响的过程。

### 3.3 系统边界 system boundary

与土壤地下水污染风险管控和修复活动相关的碳排放的范围。

### 3.4 化石燃料燃烧排放 emission from fossil fuel combustion

化石燃料在氧化燃烧过程中产生的碳排放。

### 3.5 购入使用电力排放 emission from purchased electricity

购入使用电量所对应产生的碳排放。

### 3.6 过程排放 process emission

除化学燃料燃烧和购入使用电力之外的物理或化学变化造成的碳排放。

### 3.7 直接碳排放 direct carbon dioxide emission

核算系统边界内化石燃料燃烧和工艺过程直接产生的碳排放。

### 3.8 间接碳排放 indirect carbon dioxide emission

核算系统边界内购入使用电力和供应链上下游间接产生的碳排放。

### 3.9 活动数据 activity data

导致碳排放的土壤地下水污染风险管控和修复相关活动量的表征值。

### 3.10 排放因子 emission factor

表征土壤地下水污染风险管控和修复相关的单位活动量的碳排放系数。

## 4 工作程序和内容

场地土壤污染修复工程（含地下水及风险管控）碳排放核算工作内容包括明晰污染土壤地下水风险管控和修复过程、确定核算系统边界和排放源、建立碳排放源清单、计算与汇总碳排放量、数据质量管理、碳排放核算报告编制。工作程序见图1。

#### a) 明晰污染土壤地下水风险管控和修复过程

通过资料回顾、现场踏勘、人员访谈等途径，确认地块内土壤地下水风险管控和修复的目标污染物、污染浓度、修复目标值、修复范围，明确采用的修复技术、工艺流程、工艺参数。

#### b) 确定核算系统边界和排放源

确定土壤地下水污染风险管控和修复过程碳排放核算系统边界，识别纳入边界的排放源。核算边界应包括交通运输、设备运行、投入材料、废弃物末端处置、分析检测、工艺过程直接或间接产生的碳排放。

#### c) 建立碳排放源清单

收集污染土壤地下水风险管控和修复过程燃料、电力、材料投入的种类和数量，废弃物末端处置、分析检测的类型和工作量，以及相应的碳排放因子，建立碳排放源清单。

#### d) 计算与汇总碳排放量

根据碳排放源活动数据和排放因子，计算污染土壤地下水风险管控和修复过程碳排放量。

#### e) 数据质量管理

针对收集的每一活动数据和排放因子，应明确数据来源和数据质量。

#### f) 碳排放核算报告编制

碳排放核算报告应重点披露污染土壤地下水风险管控和修复详细过程、碳排放源清单、碳排放量清单、数据质量管理等内容。

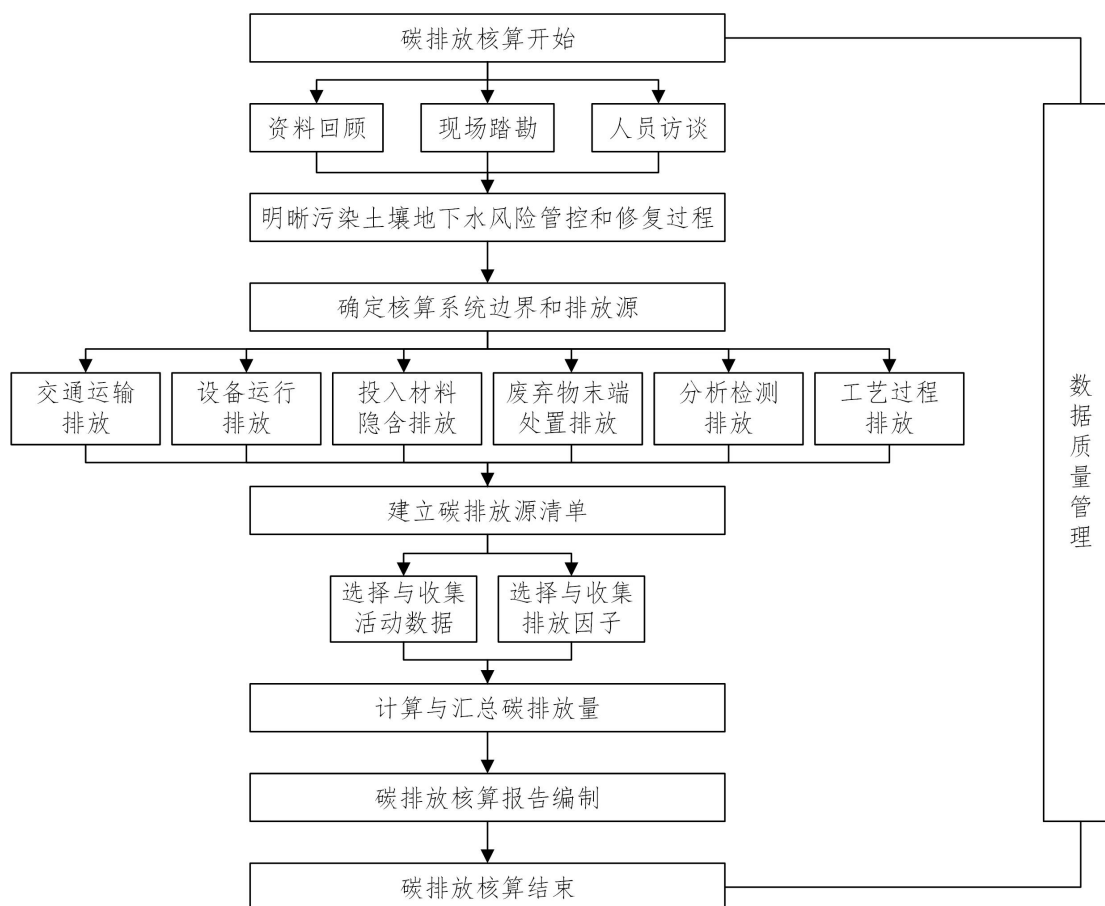


图 1 碳排放核算工作程序

## 5 核算边界与排放源确定

### 5.1 核算边界

核算边界包括交通运输、设备运行、投入材料、废弃物末端处置、分析检测、工艺过程等，示意图见图 2。

交通运输指人员、设备、材料、污染介质等往返污染土壤地下水风险管控和修复现场以及场内短驳的运输过程。

设备运行指施工准备（三通一平、临时设施建设）、场内修复（阻隔建设、抽提井及监测井建设、基坑支护及降排水施工、硬化地表破碎及建渣冲洗、土壤清挖及预处理、地下水与土壤气抽提、药剂配制投加混合、主体修复设备运行、土壤与建渣回填、设施设备拆除）、场外阶段（水泥窑/砖窑/陶粒窑协同处置、建渣资源化利用）、二次污染防治（固废收集、废水收集处理排放、废气收集处理排放、降尘异味控制）等环节所涉及以化石燃料或电力为驱动能源的设备运行过程。

投入材料是指施工准备、场内修复、场外阶段、二次污染防治等环节所投入的建设材料和修复材料。

废弃物末端处置是指外排废水在污水处理厂终端处置和外运固体废物末端处置过程。

分析检测是指危废鉴定、施工自检、监督抽检、环境监测、效果评估等环节涉及样品采集、流转、保存、检测、三废处置过程。

工艺过程是指土壤热脱附等高温环境下有机碳氧化、无机碳分解的过程。



式中：

$E_{\text{交通运输}}$ ——交通运输活动产生的排放量，单位为千克二氧化碳当量（ $\text{kgCO}_2\text{e}$ ）；

$AD_i$ ——第  $i$  种驱动能源的消耗量，对汽油、柴油、航空煤油、船用燃料油等液体燃料作为驱动能源的，单位为升（L）；对电力作为驱动能源的，单位为千瓦时（ $\text{kWh}$ ）；对天然气作为驱动能源的，单位为标准立方米（ $\text{Nm}^3$ ）；

$EF_i$ ——第  $i$  种驱动能源的碳排放因子，单位为千克二氧化碳当量每升（ $\text{kgCO}_2\text{e/L}$ ）、千克二氧化碳当量每千瓦时（ $\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ ）或千克二氧化碳当量每标准立方米（ $\text{kgCO}_2\text{e/Nm}^3$ ），缺省值参见附录 A；

$i$ ——能源种类代号。

对于未开展交通运输工具驱动能源消耗量实测的，采用公式（2）计算。

$$E_{\text{交通运输}} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m (TN_k \times TD_k \times TF_k \times TP_k \times EF_i) \quad (2)$$

$E_{\text{交通运输}}$ ——交通运输活动产生的排放量，单位为千克二氧化碳当量（ $\text{kgCO}_2\text{e}$ ）；

$TN_k$ ——第  $k$  种交通运输工具往（返）次数，无量纲；

$TD_k$ ——第  $k$  种交通运输工具单次往（返）距离，单位为千米（ $\text{km}$ ）；

$TF_k$ ——第  $k$  种交通运输工具的单位能耗，对非公共客运交通，单位为升每千米（ $\text{L/km}$ ）或千瓦时每千米（ $\text{kWh/km}$ ）；对公共客运交通，单位为升每人每千米（ $\text{L/pkm}$ ）或千瓦时每人每千米（ $\text{kWh/pkm}$ ）；对货运交通，单位为升每吨每千米（ $\text{L/tkm}$ ）或千瓦时每吨每千米（ $\text{kWh/tkm}$ ），缺省值参见附录 B；

$TP_k$ ——第  $k$  种交通运输工具单次往（返）的客运人数（单位为  $p$ ）或货运吨数（单位为  $t$ ）；对非公共客运交通，取值为 1，无量纲；对货运交通，空载时取整备质量，载重时取整备质量和货物质量的加和；

$EF_i$ ——第  $i$  种驱动能源的碳排放因子，单位为千克二氧化碳当量每升（ $\text{kgCO}_2\text{e/L}$ ）或千克二氧化碳当量每千瓦时（ $\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ ），缺省值参见附录 A；

$k$ ——交通运输工具种类代号；

$i$ ——能源种类代号。

### 6.1.2 活动数据获取

交通运输工具驱动能源消耗量、往（返）次数、单次往（返）距离、单位能耗、单次往（返）客运人数、单次往（返）货运吨数等活动数据优先使用实测值。难以获取实测值时，使用缺省值或估算值。

驱动能源消耗量实测值采用加油站、加气站、充电站计量值，驱动能源消耗量估算值可通过交通运输工具能源容量和仪表盘能源容量消耗百分比的乘积计算。单次往（返）距离实测值可读取交通运输工具里程表数据差值，单次往（返）距离估算值可通过地图距离或导航距离获取。单位能耗实测值可通过交通运输工具历史数据获取，单位能耗缺省值参见附录 B。单次往（返）货运吨数实测值可通过地磅称重获取。

### 6.1.3 排放因子数据获取

能源的碳排放因子可按附录 A 取缺省值。

## 6.2 设备运行排放

### 6.2.1 计算公式

设备运行排放量是实施土壤地下水污染风险管控和修复工程期间各类机械设备运行消耗化石燃料、外购电力产生的二氧化碳排放量的加和。机械设备包括土方设备、钻孔设备、流体传输设备、修复设备、二次污染防治设备，不包括交通运输工具。

对于开展机械设备运行驱动能源消耗量实测的，采用公式（3）计算。

$$E_{\text{设备运行}} = \sum_{i=1}^n (AD_i \times EF_i) \quad (3)$$

式中：

$E_{\text{设备运行}}$ ——机械设备运行产生的排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO<sub>2</sub>e）；

$AD_i$ ——第  $i$  种驱动能源的消耗量，对柴油作为驱动能源的，单位为升（L）；对天然气作为驱动能源的，单位为标准立方米（Nm<sup>3</sup>）；对电力作为驱动能源的，单位为千瓦时（kWh）；

$EF_i$ ——第  $i$  种驱动能源的碳排放因子，单位为千克二氧化碳当量每升（kgCO<sub>2</sub>e/L）、千克二氧化碳当量每标准立方米（kgCO<sub>2</sub>e/Nm<sup>3</sup>）或千克二氧化碳当量每千瓦时（kgCO<sub>2</sub>e/kWh），缺省值参见附录 A；

$i$ ——能源种类代号。

对于未开展机械设备运行驱动能源消耗量实测的，采用公式（4）计算。

$$E_{\text{设备运行}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (QP_j \times QL_j \times QT_j \times QF_j \times EF_i) / 100 \quad (4)$$

$E_{\text{设备运行}}$ ——机械设备运行产生的排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO<sub>2</sub>e）；

$QP_j$ ——第  $j$  种机械设备的额定功率，单位为千瓦（kW），缺省值参见附录 C；

$QL_j$ ——第  $j$  种机械设备的负荷率，单位为百分比（%），缺省值取 65%；

$QT_j$ ——第  $j$  种机械设备的运行时间，单位为小时（h）；

$QF_j$ ——第  $j$  种机械设备的单位能耗，对电力作为驱动能源的，取值为 1，无量纲；对柴油作为驱动能源的，单位为升每千瓦时（L/kWh）；对天然气作为驱动能源的，单位为标准立方米每千瓦时（Nm<sup>3</sup>/kWh），缺省值参见附录 D；

$EF_i$ ——第  $i$  种驱动能源的碳排放因子，单位为千克二氧化碳当量每升（kgCO<sub>2</sub>e/L）、千克二氧化碳当量每标准立方米（kgCO<sub>2</sub>e/Nm<sup>3</sup>）或千克二氧化碳当量每千瓦时（kgCO<sub>2</sub>e/kWh），缺省值参见附录 A；

$j$ ——机械设备种类代号；

$i$ ——能源种类代号。

## 6.2.2 活动数据获取

机械设备运行驱动能源消耗量、额定功率、负荷率、运行时间、单位能耗等活动数据优先使用实测值。难以获取实测值时，使用缺省值或估算值。

驱动能源消耗量实测值采用加油站、加气站、充电站计量值，驱动能源消耗量估算值可通过机械设备能源容量和仪表盘能源容量消耗百分比的乘积计算。额定功率实测值可读取机械设备铭牌信息。负荷率实测值可先求取机械设备历史能量消耗量与历史运行时间的比值获取历史平均实际运行功率，再除以额定功率。对电力驱动的，历史耗电量可作为能量消耗量；对内燃机驱动的，历史燃料消耗量和燃料热值的乘积可作为能量消耗量。单位能耗实测值可通过调查历史数据获取，单位能耗缺省值参见附录 D。

## 6.2.3 排放因子数据获取

能源的碳排放因子可按附录 A 取缺省值。

## 6.3 投入材料的上游隐含排放

### 6.3.1 计算公式

投入材料的上游隐含排放量是实施土壤地下水污染风险管控和修复工程期间各类消耗材料在上游原料获取、加工生产、废弃处置环节中产生的二氧化碳排放量的加和。投入材料包括建筑材料、修复材料、水资源。

$$E_{\text{投入材料}} = \sum_{x=1}^n (AM_x \times CF_x \times MF_x) \quad (5)$$

式中：

$E_{\text{投入材料}}$ ——投入材料的上游隐含排放量，单位为千克二氧化碳当量（ $\text{kgCO}_2\text{e}$ ）；

$AM_x$ ——第  $x$  种投入材料的消耗量，单位为千克（ $\text{kg}$ ）或立方米（ $\text{m}^3$ ）；

$CF_x$ ——第  $x$  种投入材料折旧系数，一次性材料取值为 1，循环利用材料取值为重复利用次数的倒数；

$MF_x$ ——第  $x$  种投入材料的碳排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ ）或千克二氧化碳当量每立方米（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ），缺省值见附录 E；

$x$ ——材料种类代号。

### 6.3.2 活动数据获取

投入材料消耗量、折旧系数等活动数据优先使用实测值。难以获取实测值时，使用缺省值或估算值。

投入的建设材料（土工布、HDPE 防渗膜、混凝土、建井管材滤料、机械设备、办公用房、钢板等）、修复材料（生石灰、PAC、PAM、磷酸、柠檬酸、双氧水、硫酸亚铁、臭氧、过硫酸盐、活性炭等）、水资源（水）用量实测值通过施工过程记录获取。投入建设材料估算值可根据材料面积或体积与估算因子的乘积获取，估算因子参见附录 F。

### 6.3.3 排放因子数据获取

材料的碳排放因子可按附录 E 取缺省值。

## 6.4 废弃物末端处置排放

### 6.4.1 计算公式

废弃物末端处置排放量是实施土壤地下水污染风险管控和修复工程产生的外排废水在污水处理厂处置和外运固体废物末端处置产生的二氧化碳排放量的加和。

$$E_{\text{废弃物末端处置}} = \sum_{a=1}^n (WM_a \times WF_a) \quad (6) \text{式中:}$$

$E_{\text{废弃物末端处置}}$ ——废弃物末端处置排放量，单位为千克二氧化碳当量（ $\text{kgCO}_2\text{e}$ ）；

$WM_a$ ——第  $a$  种废弃物的外排或外运量，单位为千克（ $\text{kg}$ ）或立方米（ $\text{m}^3$ ）；

$WF_a$ ——第  $a$  种废弃物末端处置方式的碳排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ ）或千克二氧化碳当量每立方米（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ），缺省值见附录 G；

$a$ ——废弃物种类代号。

### 6.4.2 活动数据获取

废水外排量实测值采用外排水表计量值，固体废物外运量实测值采用转移联单记录值。

### 6.4.3 排放因子数据获取

废弃物末端处置的碳排放因子可按附录 G 取缺省值。

## 6.5 分析检测排放

### 6.5.1 计算公式

分析检测排放量是实施土壤地下水污染风险管控和修复工程期间各类样品检测活动产生的二氧化碳排放量的加和。

$$E_{\text{分析检测}} = \sum_{c=1}^n \sum_{d=1}^m (AN_c \times AF_d)$$

(7)式中:

$E_{\text{分析检测}}$ ——分析检测排放量,单位为千克二氧化碳当量(kgCO<sub>2e</sub>);

$AN_c$ ——第c种样品的数量,单位为个;

$AF_d$ ——第d种检测指标的碳排放因子,单位为千克二氧化碳当量每个样品(kgCO<sub>2e</sub>/样品),缺省值参见附录G;

$c$ ——样品类型代号;

$d$ ——样品检测指标代号。

### 6.5.2 活动数据获取

危废鉴定样品数量和检测指标实测值通过危废鉴定报告获取,实验室小试样品数量和检测指标实测值通过设计方案获取,现场中试、施工自检、环境监测的样品数量和检测指标实测值通过竣工报告获取,监理督检的样品数量和检测指标实测值通过环境监理报告获取,效果评估样品数量和检测指标实测值通过效果评估报告获取。

### 6.5.3 排放因子数据获取

分析检测的碳排放因子可按附录G取缺省值。

## 6.6 工艺过程排放

### 6.6.1 计算公式

工艺过程排放量是热脱附、工业窑协同处置等高温环境下土壤中有机碳氧化、无机碳分解产生的二氧化碳排放量的加和。

$$E_{\text{工艺过程}} = \sum_{f=1}^n (HM_f \times HF_f)$$

(7)式中:

$E_{\text{工艺过程}}$ ——工艺过程排放量,单位为千克二氧化碳当量(kgCO<sub>2e</sub>);

$HM_f$ ——采用第f种加热方式修复的土壤质量,单位为千克(kg);

$HF_f$ ——采用第f种加热方式修复的土壤碳排放因子,单位为千克二氧化碳当量每千克(kgCO<sub>2e</sub>/kg),缺省值参见附录G;

$f$ ——加热方式代号。

### 6.6.2 活动数据获取

采用热脱附、工业窑协同处置等加热方式修复的土壤质量实测值通过竣工报告获取。

### 6.6.3 排放因子数据获取

工艺过程的碳排放因子可按附录G取缺省值。

## 7 数据质量管理要求

碳排放核算过程收集的活动数据和碳排放因子均需标注数据来源和数据质量。数据来源标注以具备唯一可追溯性为原则,数据质量应明确为实测值、估算值或缺省值。

活动数据收集优先级按实测值、估算值、缺省值排序。实测值优先级最高,为直接计量、监测获得的数据。估算值优先级中等,为根据相似过程或活动类比估计的数据。当无法获得实测值和估算值时,采用本指南或相关文件推荐的缺省值。

碳排放因子的获取应考虑如下因素:

a) 来源明确,有公信力;

- b) 适用性；
- c) 时效性。

碳排放因子优先级按实测值、估算值、缺省值排序。实测值优先级最高，为直接测量获得的数据。估算值优先级中等，为通过能量平衡或物料平衡等方法获得的估计值。当无法获得实测值和估算值时，采用本指南或相关文件推荐的缺省值。

## 8 不确定性分析

分析碳排放核算采用的活动数据和碳排放因子不确定性对碳排放核算总体结论的影响情况，具体步骤如下：

- a) 整理活动水平和碳排放因子数据清单，明确数据质量（实测值、估算值、缺省值）；
- b) 将不同碳排放源核算结果按碳排放量从高到低排序，选取占碳排放总量前50%的所有碳排放源，逐一分析按当前数值和合理偏差值计算获得的碳排放量变化幅度；
- c) 明确碳排放量核算不确定性的关键来源环节及不确定性幅度。

## 9 碳排放核算报告编制

### 9.1 概述

根据进行碳排放核算的目的与要求，确定碳排放报告的具体内容。至少应包括9.2~9.5的内容。

### 9.2 碳排放核算报告基本信息

碳排放核算报告基本信息应包括土壤地下水污染风险管控与修复工程的地块信息、前期调查与风险评估结论、风险管控与修复方案、工程实施过程、效果评估等各类分析检测情况。

### 9.3 碳排放量

报告土壤地下水污染风险管控与修复工程涉及的碳排放总量，并分别报告交通运输、设备运行、投入材料、废弃物末端处置、分析检测、工艺过程产生的碳排放量，以及不同类别的碳排放量占比情况。

### 9.4 活动数据及来源

报告下述活动数据，并说明来源与数据质量。交通运输工具驱动能源消耗量、往（返）次数、单次往（返）距离、单位能耗、单次往（返）客运人数、单次往（返）货运吨数；机械设备运行驱动能源消耗量、额定功率、负荷率、运行时间、单位能耗；投入材料消耗量、折旧系数；废水外排量、固体废物外运量；危废鉴定、实验室小试、现场中试、施工自检、环境监测、监理督检、效果评估样品数量和检测指标；采用热脱附、工业窑协同处置等加热方式修复的土壤质量。

### 9.5 排放因子数据及来源

报告化石燃料及电力能源、建设及修复材料与水资源、废弃物末端处置、分析检测活动、工艺过程的碳排放因子，并说明来源与数据质量。

附录 A  
常见能源碳排放因子

能源种类 <i>i</i>	碳排放因子 $EF_i$			单位
	上游阶段	燃烧阶段	合计	
汽油	0.487 <sup>a</sup>	2.1353 <sup>b</sup>	2.6223	kgCO <sub>2</sub> e/L
柴油	0.535 <sup>a</sup>	2.6625 <sup>b</sup>	3.1975	kgCO <sub>2</sub> e/L
天然气	0.07 <sup>a</sup>	2.1650 <sup>b</sup>	2.2350	kgCO <sub>2</sub> e/Nm <sup>3</sup>
航空煤油	1.008 <sup>c</sup>	2.52 <sup>c</sup>	3.528	kgCO <sub>2</sub> e/L
船用燃料油	2.024 <sup>c</sup>	2.806 <sup>c</sup>	4.830	kgCO <sub>2</sub> e/L
电力	/	/	0.6205 <sup>d</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/kWh

<sup>a</sup>数据来源为《乘用车生命周期碳排放核算技术规范》。

<sup>b</sup>依据《中国能源统计年鉴2023》、《大气污染物与温室气体融合排放清单编制技术指南（试行）》的低位发热量、单位热值含碳量、碳氧化率计算。汽油密度0.73kg/L，柴油密度0.86kg/L。

<sup>c</sup>依据《中国产品全生命周期温室气体排放系数集（2022）》数据转换单位。煤油密度0.8kg/L，燃料油密度0.92kg/L。

<sup>d</sup>数据来源为《关于发布2023年电力碳足迹因子数据的公告》。

附 录 B  
常见交通运输工具单位能耗

交通运输工具种类 $k$	单位能耗 $TF_k$	单位 <sup>a</sup>
乘用车-汽油	0.08795 <sup>b</sup>	L/km
乘用车-电力	0.1235 <sup>c</sup>	kWh/km
公共汽车-电力	0.01666 <sup>d</sup>	kWh/pkm
地铁-电力	0.05 <sup>e</sup>	kWh/pkm
高铁-电力	0.038 <sup>f</sup>	kWh/pkm
客机-航空煤油	0.03203 <sup>g</sup>	L/pkm
货机-航空煤油	0.365 <sup>g</sup>	L/tkm
内河货船-柴油	0.002326 <sup>h</sup>	L/tkm
沿海或远洋货船-船用燃料油	0.002298 <sup>i</sup>	L/tkm
货列-柴油	0.004231 <sup>j</sup>	L/tkm
货列-电力	0.010794 <sup>j</sup>	kWh/tkm
货车-柴油	0.01678 <sup>k</sup>	L/tkm
半挂牵引车-柴油	0.009008 <sup>k</sup>	L/tkm

<sup>a</sup>pkm表示人千米；tkm表示吨千米。

<sup>b</sup>《乘用车燃料消耗量限值GB19578-2024》自动挡车型百公里油耗下限6.31升和上限11.28升的平均值。

<sup>c</sup>数据来源为《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理实施情况年度报告2023》。

<sup>d</sup>依据《中国产品全生命周期温室气体排放系数集（2022）》数据转换单位。

<sup>e</sup>数据来源为《城市轨道交通2024年度统计和分析报告》。

<sup>f</sup>中国国家铁路集团披露的京沪线CR400AF型复兴号动车组能耗数据。

<sup>g</sup>依据《2023年民航行业发展统计公报》的吨公里油耗、运输总周转量、旅客周转量、货邮周转量计算。煤油密度0.8kg/L。

<sup>h</sup>依据中国长江三峡集团披露的库区船舶千吨公里油耗计算。柴油密度0.86kg/L。

<sup>i</sup>依据《宁波市港航发展“十四五”规划》的货运船舶单位周转量油耗计算。燃料油密度0.92kg/L。

<sup>j</sup>数据来源为《中国铁道年鉴2021》。柴油密度0.86kg/L。

<sup>k</sup>依据《重型商用车燃料消耗量限值GB30510-2024》数据先按最大设计总质量中值转换油耗单位，再取平均值。

附 录 C  
常见机械设备额定功率与负荷系数

机械设备种类 $j$	额定功率 $QP_j$ (kW)	推荐负荷系数
挖掘机	100 <sup>a</sup>	
推土机	120 <sup>a</sup>	
装载机	135 <sup>a</sup>	
叉车	40 <sup>a</sup>	
压路机	110 <sup>a</sup>	
摊铺机	80 <sup>a</sup>	
平地机	100 <sup>a</sup>	
汽车吊（自行驶）	200	0.43
混凝土泵车（自行驶）	245	0.55
其他工程机械	30 <sup>a</sup>	
手持式小型通用机械	0.7 <sup>a</sup>	
非手持式小型通用机械	4.5 <sup>a</sup>	
土壤破碎筛分斗 ALLUDH3-23X75处理能力60-150m <sup>3</sup> /h	75(持续)/110(峰值)	
土壤破碎筛分修复一体机	50	
钻机	90-235	
直推钻进-喷/注一体化装备	30-75	
潜水泵	1-25	
加压泵	5.5	
空气压缩机	1.5-15	
药剂搅拌机	2.5-3.5	
打桩机-电力	75	
<sup>a</sup> 数据来源为《非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南（试行）》。		

附 录 D  
常见机械设备单位能耗

机械设备种类 $j$	单位能耗 $QF_j$	单位
天然气驱动设备	0.001869 <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /kWh
柴油驱动设备<56kW	0.3104 <sup>a</sup>	L/kWh
柴油驱动设备56~560kW	0.2788 <sup>a</sup>	L/kWh
柴油驱动设备>560kW	0.2699 <sup>a</sup>	L/kWh
<sup>a</sup> USEPA-SEFA工具		

附录 E  
常见材料碳排放因子

类别	材料种类 <sub>x</sub>	碳排放因子	单位
建设材料	砂石混料（65%砾石）	0.0024	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	砾石/砂土/粘土	0.0034	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	HDPE膜	1.94	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	PVC	2.02	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	水泥	1.34	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	预拌混凝土（20MPa）	312.361	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
	圆砾石	0.0024	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	砂土	0.0024	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	不锈钢	3.4	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	碳钢	1.1	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	其他精制建设材料	2.115	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	其他非精制建设材料	0.00335	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	岩棉夹芯板	2	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	铝合金门窗	4	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	玻璃	1.5	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	玻镁板	1.1	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	铝合金型材	7.5	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	PVC涂层篷布	4.2	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	水表	3.7635	kgCO <sub>2</sub> e/个
	黄铜	5.19	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	16平方毫米铜电缆	4.44	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	35平方毫米铝电缆	4.8	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	空气开关	1.49	kgCO <sub>2</sub> e/个
	漏电保护器	3.06	kgCO <sub>2</sub> e/个
电表	76.17	kgCO <sub>2</sub> e/个	
铝板	3.82	kgCO <sub>2</sub> e/kg	
橡胶	3.12	kgCO <sub>2</sub> e/kg	
修复材料	颗粒活性炭（未使用）	4.82	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	颗粒活性炭（再生）	1.7	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	50%过氧化氢	1.19	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	硫酸亚铁	0.167	kgCO <sub>2</sub> e/kg

	熟石灰	0.762	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	糖蜜	0.48	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	70%磷酸	0.882	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	高锰酸钾	1.16	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	50%氢氧化钠	1.09	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	其他修复材料	1.7	kgCO <sub>2</sub> e/kg
水资源	市政用水	0.599	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
<sup>a</sup> USEPA-SEFA工具			

附录 F  
常见估算因子推荐表

工程机械处理能力			
项目	数值	单位	折旧系数
斗容1m <sup>3</sup> 以内挖掘机挖装土方	0.01584 <sup>a</sup>	h/m <sup>3</sup> 天然密实方	/
斗容1m <sup>3</sup> 以内挖掘机挖装土方（不需装车）	0.01378 <sup>a</sup>	h/m <sup>3</sup> 天然密实方	/
汽车吊（自行驶）综合吊装	0.08	h/t	/
混凝土泵车（自行驶）综合浇筑	0.025	h/m <sup>3</sup>	/
材料用量计算参数			
项目	数值	单位	折旧系数
标准集装箱房-碳钢	45	kg/m <sup>2</sup>	0.25
标准集装箱房-岩棉夹芯板	55	kg/m <sup>2</sup>	0.25
标准集装箱房-铝合金门窗	3.5	kg/m <sup>2</sup>	0.25
标准集装箱房-玻璃	2	kg/m <sup>2</sup>	0.25
标准集装箱房-玻镁板	17.6	kg/m <sup>2</sup>	0.25
0.3mm彩钢板围挡-碳钢	2.355	kg/m <sup>2</sup>	0.5
20mm钢板-碳钢	157	kg/m <sup>2</sup>	0.1
1.5mmHDPE防渗膜-HDPE膜	1.425	kg/m <sup>2</sup>	1
2mmHDPE防渗膜-HDPE膜	1.9	kg/m <sup>2</sup>	1
600土工布密度	600	g/m <sup>2</sup>	
压实碎石-圆砾石	1856	kg/m <sup>3</sup>	1
压实粗砂-砂土	1902.6	kg/m <sup>3</sup>	1
压实砾石-圆砾石	1944	kg/m <sup>3</sup>	1
钢筋混凝土-碳钢	40	kg/m <sup>3</sup>	1
普通混凝土C20-水泥	315 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
普通混凝土C20-砂土	739.9 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
普通混凝土C20-圆砾石	1328.4 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
普通混凝土C20-混凝土自带养护水	1350 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
普通混凝土C25-水泥	368 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
普通混凝土C25-砂土	724.8 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
普通混凝土C25-圆砾石	1296 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
普通混凝土C25-混凝土自带养护水	1350 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
泵送混凝土C20-水泥	354 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
泵送混凝土C20-砂土	860.7 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
泵送混凝土C20-圆砾石	1215 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
泵送混凝土C20-混凝土自带养护水	1950 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
泵送混凝土C25-水泥	407 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
泵送混凝土C25-砂土	845.6 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
泵送混凝土C25-圆砾石	1150.2 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
泵送混凝土C25-混凝土自带养护水	1950 <sup>a</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1
密闭大棚-铝合金型材	7.5	kg/m <sup>3</sup>	0.2
密闭大棚-碳钢	2	kg/m <sup>3</sup>	0.2
密闭大棚-PVC涂层篷布	1.4	kg/m <sup>3</sup>	0.2
整套尾气处理设备	5000	kg/套	0.0001
整套废水处理设备	16000	kg/套	0.0001
地磅-碳钢	8000	kg/套	0.0001

DN25水管-PVC	0.2	kg/m	1
水龙头-黄铜	0.6	kg/个	1
水表	2.5	kg/个	1
水管直接头-PVC	0.1	kg/个	1
16平方毫米铜电缆	1.039	kg/m	1
35平方毫米铝电缆	1.399	kg/m	1
电表箱-碳钢	10	kg/个	1
空气开关	0.3	kg/个	1
漏电保护器	0.3	kg/个	1
电表	0.4	kg/个	1
警示牌-铝板	0.8	kg/个	1
过线槽-橡胶	7.2	kg/个	1
防撞锥形桶-PVC	4.5	kg/个	1
*公路工程预算定额JTG/T 3832-2018			

附 录 G  
常见废弃物末端处置、分析检测和工艺过程碳排放因子

类别	活动种类	碳排放因子	单位
废弃物末端处置	场外废水处理	0.527 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
	场外危险废物燃烧	2.43 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	场外普通固废填埋	0.011340 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/kg
	场外危险废物填埋	0.012474 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/kg
分析检测	实验室检测-重金属	12.460 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
	实验室检测-汞	4.230 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
	实验室检测-VOCs	4.090 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
	实验室检测-SVOCs	3.570 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
	实验室检测-PCBs	2.370 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
	实验室检测-高氯酸盐	0.849 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
	实验室检测-氮/硝酸盐	1.950 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
	实验室检测-硫酸盐	0.668 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
	实验室检测-碱度	0.607 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
	实验室检测-无机阴离子	0.293 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
	实验室检测-其他	3.109 <sup>a</sup>	kgCO <sub>2</sub> e/样品
工艺过程	土壤热脱附	0.04	kgCO <sub>2</sub> e/kg土壤
	工业窑协同处置	0.1	kgCO <sub>2</sub> e/kg土壤
<sup>a</sup> USEPA-SEFA工具			

附 录 H  
其他缺省值推荐表

指标	数值	单位	说明
测绘人员往(返)次数	2	无量纲	往返各1次
测绘人员单次往(返)距离	50	km	/
机械设备往(返)次数	4	无量纲	往返各1次, 空载各1次
机械设备单次往(返)距离	100	km	/
一次性材料往(返)次数	1	无量纲	往1次
一次性材料空载往(返)次数	1	无量纲	空载返1次
可复用材料往(返)次数	2	无量纲	往返各1次
可复用材料空载往(返)次数	2	无量纲	空载往返各1次
材料单次往(返)距离	100	km	/
空载质量	0	t	
牵引车质量	9	t	
半挂车质量	7	t	
半挂牵引车质量	16	t	牵引车+半挂
1.0m <sup>3</sup> 中型挖掘机质量	21.5	t	三一重工官网SY200C-S
25t汽车起重机质量	29.6	t	中联重科官网ZTC251V
43m混凝土泵车质量	30	t	三一重工官网 SYM5300THBES 430C-10
步履式打桩机质量	197	t	上工机械官网JB180A