ICSXXX
BXX

团　　体　　标　　准

T/SSSC xxx-2024

土壤环境承载力核算技术导则

Technical guidelines for calculating soil environmental carrying capacity

XXXX－XX－XX发布　　XXXX－XX－XX实施

中 国 土 壤 学 会 发 布

目　　次

1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　方法概要 2
5　土壤及相关环境因子调查 2
6　土壤环境容量核算 3
7　土壤污染物净输入通量核算 4
8　土壤环境承载力核算 6
9　特别说明 6

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。

本文件规定了土壤环境承载力评价的术语和定义、土壤及相关环境因子调查、土壤环境容量核算、土壤污染物净输入通量核算和土壤环境承载力核算。

本文件由中国土壤学会提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院南京土壤研究所、中国科学院生态环境研究中心、中国环境科学研究院。

本文件主要起草人：王玉军，瞿明凯，吴同亮，王美娥，仓龙，刘存，周东美，赵慈，王红梅，陈怀满。

土壤环境承载力评价技术导则

1 范围

本标准规定了土壤环境承载力评价的术语和定义、土壤及相关环境因子调查、土壤环境容量核算、土壤污染物净输入通量核算和土壤环境承载力核算。

本标准适用于指导土壤环境承载力核算，为确定产业规划指标中生态环境管理提供参考依据。

本标准不适用于土壤放射性污染和致病性微生物污染的土壤环境承载力评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14848 地下水质量标准

GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB/T 21010 土地利用现状分类

GB/T 27921 风险管理 风险评估技术

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 50137 城市用地分类与规划建设用地标准

HJ 25.1 场地环境调查技术导则

HJ 25.2 场地环境监测技术导则

HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 25.4 污染场地土壤修复技术导则

HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境

HJ 682 污染场地术语

HJ 1111 生态环境健康风险评估技术指南

SL/Z 467 生态风险评价导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 目标受体 target receptor

与土壤环境密切相关的研究对象。

3.2 土壤污染物阈值 soil pollutant threshold

确保目标受体处于风险可接受条件下，土壤污染物浓度的临界值。

3.3 **土壤环境容量 soil environmental capacity**

确保目标受体处于风险可接受条件下，单位面积的土壤还能容纳目标污染物的质量。

3.4 **土壤污染物净输入通量 net input flux of soil pollutant**

单位时间和面积内，土壤污染物的输入质量与其输出质量之差。

3.5 **人类活动排放系数 emission coefficient of human activity**

单位规模的某人类活动在单位时间内向研究区排放的污染物质量。

3.6 **土壤环境承载力 soil environmental carrying capacity**

确保一定时间和空间范围内的目标受体处于风险可接受条件下，土壤单元还能承受人类活动强度或规模的限值。

4 方法概要

土壤环境承载力评价概要如图 1。

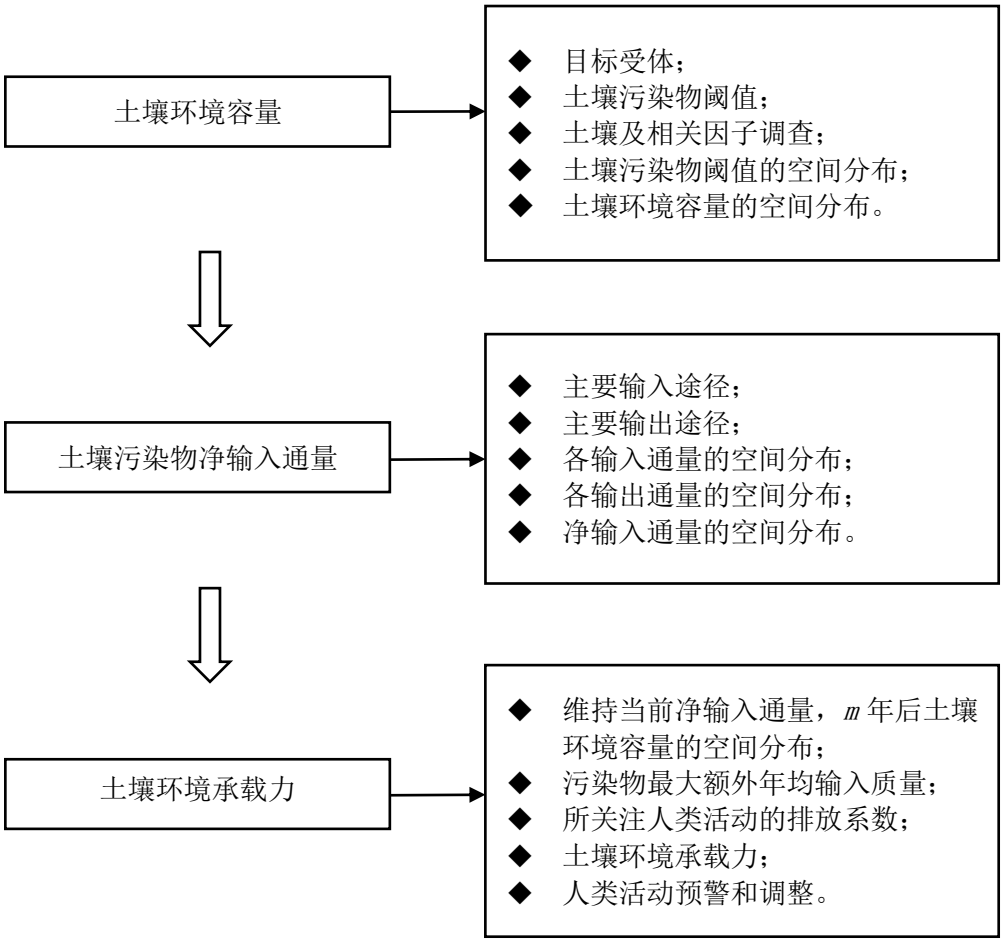


图 1 土壤环境承载力核算框架

5 土壤及相关环境因子调查

5.1 确定目标区域条件

5.1.1 收集污染物排放相关资料

参照《场地环境调查技术导则》HJ 25.1、《场地环境监测技术技术导则》HJ 25.2、《环境影响评价技术导则地下水环境》HJ610 及《污染场地风险评估技术导则》HJ 25.3 等对目标区域进行的环境调查，收集较为详尽的当地相关资料及历史信息，包括当地工业生产类型、生产规模、污染物排放清单等信息，核实相关资料的完整性和有效性；重点核实工业污染物排放相关信息能否反映目前土壤污染的实际情况。

5.1.2 核实目标区域特征信息

目标区域特征信息包括工业产业位置、占地面积、空间分布、气候、水文、地形、地质特征、地表覆被情况、评价范围、周边交通状况、工业产业生产历史、土地利用类型格局等，以及与潜在排污企业有关的环境影响评价信息和数据等资料。

5.1.3 现场考察目标区域状况

考察目标区域当前状况，核实区域内前期工业类型及土地利用方式的重大变化，以及不同土地利用类型及周边环境保护敏感目标的变化情况，为不同土地利用类型的精准评价提供基础信息。

5.2 明确目标污染物及其排放源

5.2.1 识别目标污染物

根据前期区域土壤环境调查和风险评估提出的土壤目标污染物，参照污染物排放清单等相关资料，分析土壤目标污染物与工业产业活动类型的关联性及其与相关标准的符合程度。

5.2.2 确定目标污染物的主要输入和输出途径

根据目标污染物的污染排放清单与场地环境特征，确定目标污染物的主要输入和输出途径。

5.3 确定目标受体及对应的土壤污染物阈值

5.3.1 确定目标受体

根据研究区域当前土地利用类型分布情况，确定对该土地利用类型中污染物最为敏感的风险受体，选择人群健康、农产品、地下水、生态系统等四类保护对象中的一类或多类，作为土壤环境承载力核算的目标受体。

5.3.2 确定土壤污染物阈值

根据所选定的目标受体，参考相应的标准，确定土壤污染物阈值，并以此作为计算土壤环境容量及其土壤环境承载力的标准。相关标准包括《食品安全国家标准 食品中污染物限量食品安全国家标准 食品中污染物限量》（GB2762）、《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》（GB 15618）、《地下水质量标准》（GB/T 14848）、《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》（GB 36600）等的最新文本。

6 土壤环境容量核算

土壤环境容量可被定义为确保目标受体处于风险可接受条件下，单位面积的土壤还能容纳目标污染物的质量，其计算公式为：

$$SEC(\mathbf{u}) = 0.1 \times d \times \rho(\mathbf{u}) \times \left[c(\mathbf{u}) - z(\mathbf{u}) \right] \quad (1)$$

式中，$SEC(\mathbf{u})$为核算调查期时位置 **u** 处的土壤环境容量（kg/hm^2）；d 为评估层土壤深度（cm）；$\rho(\mathbf{u})$为位置 **u** 处的土壤容重（g/cm^3）；$z(\mathbf{u})$为位置 **u** 处的土壤污染物浓度（mg/kg）；$c(\mathbf{u})$为位置 **u** 处的土壤污染物阈值（mg/kg）。普通克里格被用于预测未采样位置处的土壤污染物浓度和土壤容重。

7 土壤污染物净输入通量核算

土壤污染物净输入通量可被定义为在单位时间内，单位面积土壤中污染物的输入质量与输出质量之差，其计算过程如下：

7.1 土壤污染物输入通量

（1）确定区域内目标污染物的主要输入途径，例如大气沉降、农药化肥施用、污水灌溉等；

（2）利用 GIS 结合相关辅助信息（例如，土地利用类型、地形和风向），分别预测目标污染物在核算调查期时各输入途径产生的输入通量的空间分布；

（3）将各输入途径产生的输入通量进行空间加和，得到目标污染物在核算调查期时的总输入通量的空间分布。

7.2 土壤污染物输出通量

（1）确定区域内目标污染物的主要输出途径，例如植物吸收、降解、淋溶、挥发等；

（2）利用 GIS 结合相关辅助信息（例如，土地利用类型、植物类型等），分别预测目标污染物在核算调查期时各输出途径产生的输出通量的空间分布；

（3）将各输出途径产生的输出通量进行空间加和，得到目标污染物在核算调查期时总输出通量的空间分布。

土壤污染物净输入通量的计算公式如下：

$$\varphi_{net}(\mathbf{u}) = \sum_i \varphi_{input}^i(\mathbf{u}) - \sum_j \varphi_{output}^j(\mathbf{u}) \quad (2)$$

其中，$\varphi_{net}(\mathbf{u})$为位置**u**处目标污染物在核算调查期时的净输入通量（kg/hm^2）；$\varphi_{input}^i(\mathbf{u})$为位置**u**处第$i$个输入途径产生的目标污染物在核算调查期时的净输入通量（kg/hm^2）；$\varphi_{output}^j(\mathbf{u})$为位置**u**处第$j$个输出途径产生的目标污染物在核算调查期时的净输出通量（kg/hm^2）。

7.3 土壤污染物的几种主要输入和输出通量的核算方法

土壤污染物的输入和输出通量可能受多个因素的影响，例如污染物的源排放特征、气象因子、地形因子、目标污染物特性、土壤介质特性等。不同的土壤环境承载力核算案例中，主要的污染物输入和输出途径往往不尽相同。如下仅列举常见的几种输入和输出通量核算方法。

7.3.1 大气沉降

大气沉降通常是土壤污染物的最主要输入途径之一。AERMOD 模型可以用于对大气沉降产生的土壤污染

物年均输入通量进行空间模拟。该模型以传统的大气扩散统计理论为基础，目前已被广泛应用于大气污染物扩散方面的研究。同时，该模型具有小规模污染扩散模拟的特点，适用于农村、城市以及其他复杂地形，包含气象数据预处理模块（AERMET）、地形数据预处理模块（AERMAP）和大气扩散模块（AERMOD）。污染物在大气中的扩散沉降模拟主要包括数据采集、处理和输入，AERSCREEN 筛选气象参数设置，AERMOD 预测气象参数输入，以及 AERMOD 预报点浓度设置和结果输出图。EIAPro2018 软件可被用于 AERMOD 模型的实现。

7.3.2 化肥和农药施用

化肥和农药施用是农业生产过程中至关重要的一个环节，但化肥和农药中通常含有一定量的污染物（如重金属等）。通过化肥（或农药）施用途径产生的污染物年均输入通量的计算公式如下：

$$F_i(\mathbf{u}) = \sum_j \left[N_j(\mathbf{u}) \times C_{ij} \right] \tag{3}$$

其中 $F_i(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处化肥（或农药）施用产生的土壤污染物 *i* 的年均输入通量（kg/hm²）；$N_j(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处化肥（或农药）*j* 的年均施用通量（kg/hm²）；C_{ij} 为所施用化肥（或农药）*j* 中污染物 *i* 的浓度（kg/kg）。

7.3.3 灌溉水

灌溉水中可能含有一定量的污染物，其产生的污染物年均输入通量的计算公式如下：

$$R_i(\mathbf{u}) = W(\mathbf{u}) \times C_i \tag{4}$$

其中 $R_i(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处灌溉水产生的土壤污染物 *i* 的年均输入通量（kg/hm²）；$W(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处灌溉水的年均输入通量（L/hm²）；C_i 为灌溉水中污染物 *i* 的浓度（kg/L）。

7.3.4 农作物籽粒移除

农作物籽粒的移除可能会带走一部分土壤污染物，其产生的污染物输出通量计算公式如下：

$$A_i(\mathbf{u}) = \sum_j \left[W_j(\mathbf{u}) \times C_{ij}(\mathbf{u}) \right] \tag{5}$$

其中 $A_i(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处农作物籽粒移除产生的土壤污染物 *i* 的年均输出通量（kg/hm²）；$W_j(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处作物 *j* 的籽粒年均产出通量（kg/hm²）；$C_{ij}(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处作物 *j* 的籽粒中污染物 *i* 的浓度（kg/kg）。

7.3.5 农作物秸秆移除

农作物秸秆的移除可能也会带走一部分土壤污染物，其产生的污染物输出通量计算公式如下：

$$S_i(\mathbf{u}) = \sum_j \left[W_j(\mathbf{u}) \times K_j(\mathbf{u}) \times f_j(\mathbf{u}) \times C_{ji}(\mathbf{u}) \times \delta_{ij}(\mathbf{u}) \right] \tag{6}$$

其中 $S_i(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处农作物秸秆移除产生的土壤污染物 *i* 的年均输出通量（kg/hm²）；$W_j(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处作物 *j* 的籽粒年均产出通量（kg/hm²）；$K_j(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处农作物 *j* 的草谷比，即农作物秸秆量与农作物产量之比；$f_j(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处农作物 *j* 的秸秆移除率；$C_{ji}(\mathbf{u})$ 为位置 **u** 处农作物 *j* 籽粒中污染物 *i* 的浓度（kg/kg）；

$\delta_{ij}(\mathbf{u})$为位置 **u** 处污染物 *i* 在农作物 *j* 中的转移系数。

7.3.6 地表径流

地表径流可能会带走一部分土壤污染物，其产生的污染物输出通量计算公式如下：

$$Z_i(\mathbf{u}) = \sum_j \left[C_i \times M_j(\mathbf{u}) \times (1-\alpha) \right] \quad (7)$$

其中$Z_i(\mathbf{u})$为位置 **u** 处地表径流产生的土壤污染物 *i* 的年均输出通量（kg/hm²）；C_i是径流中污染物 *i* 的浓度（kg/L）；$M_j(\mathbf{u})$为位置 **u** 处作物 *j* 的灌溉水年均输入通量（L/hm²）；*a* 为研究区的农业耗水率。

需要注意的是，当污染物的输入或输出途径与土地利用类型密切相关时，对其输入或输出通量的高精度核算应结合土地利用类型图。

8 土壤环境承载力核算

目标污染物的输入/输出状况维持不变的情景下，未来 *m* 年后位置 **u** 处土壤环境容量（$SEC_m(\mathbf{u})$）为：

$$SEC_m(\mathbf{u}) = SEC(\mathbf{u}) - m\varphi_{net}(\mathbf{u}) \quad (8)$$

为确保目标受体在未来 *m* 年内的风险可接受，研究区域 *S*（hm²）内目标污染物最高额外年均输入质量（*I*, kg）为：

$$I = \frac{\iint_S SEC_m(\mathbf{u})dS}{m} = \frac{\iint_S \left\{ 0.1 \times d \times \rho(\mathbf{u}) \times \left[c(\mathbf{u}) - z(\mathbf{u}) \right] - m\left[\sum_i \varphi^i_{input}(\mathbf{u}) - \sum_j \varphi^j_{output}(\mathbf{u}) \right] \right\} dS}{m} \quad (9)$$

土壤环境承载力被定义为确保一定时间和空间范围内的目标受体处于风险可接受条件下，土壤单元还能承受人类活动强度或规模的限值，其计算公式如下:

$$SECC_m = \frac{I}{f} = \frac{\iint_S \left\{ 0.1 \times d \times \rho(\mathbf{u}) \times \left[c(\mathbf{u}) - z(\mathbf{u}) \right] - m\left[\sum_i \varphi^i_{input}(\mathbf{u}) - \sum_j \varphi^j_{output}(\mathbf{u}) \right] \right\} dS}{m \times f} \quad (10)$$

其中，$SECC_m$ 为确保未来 *m* 年研究区域 *S* 内的目标受体处于风险可接受条件下，土壤单元还能承受人类活动规模的限值（即土壤环境承载力）；*f* 为人类活动排放系数，即单位规模的某人类活动每年内向研究区排放的污染物质量（kg）。

9 特别说明

在土壤污染控制中，推行土壤环境承载力全程管控法，对人类活动强度或规模进行预警，确保一定时间和空间范围内的目标受体处于风险可接受。