

### 耕地土壤重金属污染风险管控与修复 总则

Risk management and remediation of heavy metal contamination in cultivated soil  
—General rule

2020 - 12 - 28 发布

2021 - 03 - 28 实施

---



## 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 基本原则 .....	5
5 风险管控与修复目标 .....	5
6 工作程序 .....	5
7 前期调查 .....	6
8 风险评价与等级划分 .....	8
9 分类管理与风险管控（或修复）方案 .....	8
10 风险管控（或修复）工程实施 .....	10
11 验收 .....	10
参考文献 .....	11

## 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。

本文件由广东省农业农村厅、广东省生态环境厅提出并组织实施。

本文件由广东省肥料和土壤调整剂标准化技术委员会（GD/TC57）归口。

本文件起草单位：广东省科学院生态环境与土壤研究所、农业农村部农业生态与资源保护总站、广东省农业环保与农村能源总站、生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心、广东省环境科学研究院、生态环境部华南环境科学研究所、广州市标准化研究院。

本文件主要起草人：李芳柏、刘传平、郑顺安、郑勇、刘同旭、刘晓文、黄莉敏、方利平、常春英、孙立杰、周建民、霍迎辉、王斯帆、王琦、窦飞、王向琴。

# 耕地土壤重金属污染风险管控与修复 总则

## 1 范围

本文件规定了耕地土壤重金属污染风险管控与修复的基本原则、风险管控与修复目标、工作程序、前期调查、风险评级与等级划分、分类管理与风险管控（或修复）方案、风险管控（或修复）工程实施和验收的要求。

本文件适用于耕地土壤重金属污染的风险管控与修复。

## 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 2762 食品安全国家标准 食品中污染物限量
- GB 5009.13 食品安全国家标准 食品中铜的测定
- GB 15618-2018 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
- DB44/T 2263.2-2020 耕地土壤重金属污染风险管控与修复 风险评价

## 3 术语和定义

GB/T 21010界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 土壤 soil

由矿物质、有机质、水、空气及生物有机体组成的地球陆地表面上能生长植物的疏松层；发育于地球陆地表面具有生物活性和孔隙结构的介质，是地球陆地表面的各种陆地地形条件下的岩石风化物经过生物、地理、气候等诸要素的综合作用以及人类生产活动的影响而发生发展起来的。它由各种不同大小的矿物颗粒、各种不同分解程度的有机残体、腐殖质及生物活体、各种养分、水分和空气等组成。

[来源：GB 15618-2018，3.1，有修改]

### 3.2

#### 土壤类型 soil type

在一定的地理、生物、气候条件、水文条件或耕作制度下形成的具有共性成土过程的一类土壤分类单元。

### 3.3

#### 耕地土壤 cultivated soil

用于种植各种粮食作物、蔬菜作物与经济作物的农田土壤。本文件所规定的耕地是指GB/T 21010中的01耕地(0101水田、0102水浇地和0103旱地)。

### 3.4

#### 重金属 heavy metal

镉、汞、砷、铬、铅、锌、铜和镍等8个重(类)金属元素,以及镉、钴和铊等造成土壤与农产品污染的其它重(类)金属元素。

### 3.5

#### **土壤重金属污染 heavy metal contamination in soil**

人为因素使土壤中重金属的含量和(或)有效性升高,导致土壤物理、化学、生物等方面性质的改变,影响土壤功能和利用,危害公众健康或者破坏生态安全。

### 3.6

#### **目标重金属 targeted heavy metal**

耕地土壤或农产品中含量达到对生态系统或人体健康具有实际或潜在不利影响的,应采取管控措施的重金属元素。具体指耕地土壤重金属含量超过GB 15618-2018规定土壤污染风险筛选值的重金属,以及农产品重金属含量超过GB 2762规定的食品中污染物限值的重金属。

### 3.7

#### **种植制度 planting regime**

一个区域或生产单元内,作物种植的结构、配置、熟制与种植方式的总体。

### 3.8

#### **土壤-作物系统 soil-crop system**

由土壤矿物、土壤水、土壤微生物、土壤动物和作物等组成的综合系统。

### 3.9

#### **重金属迁移与转化 mobilization and transformation of heavy metal**

重金属迁移专指土壤-作物系统中重金属从土壤固相-土壤溶液-根-茎叶-籽粒等不同环境介质的移动过程;重金属转化专指土壤-作物系统中重金属的形态与价态转化,包括吸附-解吸、溶解-沉淀、氧化-还原、配位络合等转化过程。

### 3.10

#### **重金属有效性 heavy metal availability**

在土壤-作物系统中,土壤中重金属能够被作物吸收累积的属性。

### 3.11

#### **重金属有效态 available fraction of heavy metal**

土壤中重金属能够被作物有效吸收累积的部分。一般地,土壤中水溶解态与可交换态重金属之和为有效态重金属。有效态重金属含量与提取剂有关。

### 3.12

#### **区域背景调查 regional background survey**

针对特定的目标区域,采用数据、图件收集与实地勘探等手段,详细调查目标区域的地形地貌、水文地质、气候与气象、水系、成土母质和土壤类型等特征的活动。

### 3.13

#### **重金属输入通量 input flux of heavy metals**

采用数据收集与实物分析等手段,详细调查或计算目标区域内耕地土壤重金属输入的总量,输入一般方式包括大气干湿沉降、畜禽粪便、化学肥料与农药和灌溉水等。

### 3.14

#### **重金属输出通量 output flux of heavy metals**

采用实物采样与分析测试的手段,计算目标区域内由耕地土壤中输出重金属的总量,输出方式一般包括农产品收获、秸秆移除、灌溉排水和挥发等。

### 3.15

#### **农产品重金属污染状况调查 investigation of heavy metal pollution in agricultural products**

采用系统、规范和代表性的调查方法，依据农产品重金属含量确定区域内农产品是否被重金属污染及污染程度和范围等。

## 3.16

**治理单元** pollution treatment unit

为准确了解污染现状，提高风险管控和修复方案的精准性，按照一定原则划定的某些具有共同特性的地块单元。共同特性主要包括污染源、土地利用方式、种植结构、土壤污染程度和土壤pH值等。治理单元是动态变化的，可根据污染状况空间分布规律以及开展风险评价的区域要求，进一步调整或细分。

## 3.17

**地理单元** geographic unit

具有地理要素特征相对一致性的特定区域，主要包括行政区域、流域水系、气候气象、地形地貌、水文地质以及成土母质、土壤类型等一致性。

## 3.18

**风险分类分级** risk classification

依据DB44/T 2263.2-2020划分的耕地土壤重金属污染风险，包括优先保护类、安全利用类和严格管控类三类风险和I、II、III、IV和V五级风险等级。

## 3.19

**土壤重金属污染风险** risk of heavy metal contamination in soil

目标区域内土壤重金属的含量均值与GB 15618-2018的土壤污染风险筛选值的比值。

## 3.20

**农产品重金属污染风险** risk of heavy metal contamination in agricultural products

目标区域内农产品中重金属的含量均值减去2倍的标准误差与GB 2762的限量值对比。

## 3.21

**生物富集系数** bio-concentration factor

生物体内某种重金属浓度与其所处土壤环境中该元素浓度的比值。

## 3.22

**预测模型** prediction model

目标区域内，根据耕作方式、农产品种类与农产品重金属含量、土壤理化性质和重金属形态等实测数据，构建预测农产品重金属含量的数理统计模型。

## 3.23

**耕地土壤重金属污染风险管控** risk management of heavy metal contamination in cultivated soil

采用农艺措施、土壤调理等钝化调理措施降低土壤中重金属有效性，或者采用生理阻隔等措施降低农产品可食用部分重金属的累积能力，从而降低农产品重金属污染风险，或者改变作物种植结构等调整措施降低污染风险。

## 3.24

**耕地土壤重金属污染修复** remediation of heavy metal contamination in cultivated soil

采用物理、化学和生物等修复方法，降低土壤重金属污染风险。

## 3.25

**土壤重金属钝化调理** heavy metal immobilization in soil

向重金属污染土壤中施加钝化调理剂，或辅助采用水肥管理等农艺措施，改善土壤物理化学和(或)生物性质，降低土壤重金属有效性与农产品重金属污染风险。

## 3.26

**作物重金属生理阻隔** physiological barrier for heavy metal in crop

利用重金属累积生理特性、离子拮抗效应、重金属吸收与转运过程调控等，喷施生理阻隔剂，抑制作物吸收重金属或改变重金属在植株体内的分配，从而降低农产品可食用部位重金属超标风险。

3.27

**农艺措施 agronomic measures**

采取与农业生产本身相关的技术措施，降低土壤中重金属的有效性 with 农产品重金属超标风险。

3.28

**种植结构调整 planting structure adjustment**

采用低成本、环境友好的污染阻控技术难以实现农产品安全达标的严格管控类耕地，种植重金属低累积非食用作物或经济作物。

3.29

**严格管控技术 strict management**

采用安全利用技术难以实现某农产品可食用部位达到GB 2762规定的要求，种植重金属低累积的非食用作物，以实现严格管控类耕地的安全生产。

3.30

**重金属超累积植物 hyperaccumulator**

一般指植物地上部对重金属的吸收量比普通植物高10倍以上，且不影响正常的生命活动的植物。以镉为例，植株地上部的镉含量大于100 mg/kg（干重）。

3.31

**土壤淋洗 soil washing**

将可促进土壤重金属溶解或迁移的溶剂注入受污染土壤中，从而将重金属从土壤中溶解、分离出来并进行处理的技术。

3.32

**电动修复 electrokinetic remediation**

在电场作用下将土壤中的污染物通过电迁移或电渗流等方式从土壤中去的过程。

3.33

**安全利用率 ratio of safe utilization**

受污染耕地安全利用率是指实现安全利用的受污染耕地面积，占行政区受污染耕地总面积的百分比；当针对某一具体的治理区域或者治理单元，是指实现安全利用的点位数，占总采用点位数的百分比。

3.34

**效果评估 efficiency assessment**

通过资料分析、现场踏勘、采样监测等，综合评估耕地土壤重金属污染风险管控与修复措施是否达到规定要求或耕地是否达到安全利用。

3.35

**钝化调理效果 efficiency of heavy metal immobilization**

施加钝化调理剂后，农产品中重金属含量的下降百分比。

3.36

**生理阻隔效果 efficiency of physiological barrier**

施加生理阻隔剂后，农产品中重金属含量的下降百分比。

3.37

**农业投入品 agricultural inputs**

农业生产过程中需要投入的化肥、有机肥和农药等生产资料。

3.38

**农产品重金属含量 heavy metal concentrations in agricultural products**

农产品可食部位中重金属的浓度，以重金属总量计。采用GB 5009.13中规定的方法测定。

## 4 基本原则

### 4.1 科学性

在前期大量调查和数据分析的基础上，综合考虑耕地土壤重金属的污染类型、污染程度和范围、污染成因，以及备选的风险管控（或修复）技术及其可能的效果、时间、成本和环境影响等因素，科学合理选择风险管控（或修复）技术或者技术组合，制定实施方案。

### 4.2 可行性

耕地土壤重金属风险管控（或修复）应因地制宜、经济可行，与当前技术水平、经济和社会发展实际相结合，应做到技术可实现、经济可承受和农业生产者可接受。

### 4.3 安全性

应避免技术实施对实施人员、周边人群产生健康风险；应防止对周边环境产生二次污染；应防止破坏耕地土壤的土壤结构与生产力；应保障农产品安全。

### 4.4 可持续性

风险管控（或修复）应有利于保持或提高耕地土壤质量，保证耕地可持续利用，在经济和技术上均具有可持续性。优先选择不影响农业生产、不改变农产品种类、不降低土壤生产功能的风险管控（或修复）技术。

## 5 风险管控与修复目标

### 5.1 基本目标

在土壤与农产品一一对应采样调查的基础上，首先进行耕地土壤重金属污染风险评估，确定目标区域；然后分类分级，划分若干治理单元，并确定各单元的边界与面积。对于安全利用区，要实现当地常规或主栽农产品达标生产，评价标准参照NY/T 3343；对于严格管控区，种植食用类作物必须达标生产，或种植非食用作物、经济作物。

### 5.2 参考目标

在实现基本目标的基础上，进一步降低耕地土壤中目标重金属含量或有效态含量，达到基本保障当地常规或主栽农产品达标生产的要求。

## 6 工作程序

耕地重金属污染风险管控（或修复）工作程序包括前期调查、风险评价与等级划分、分类管理与风险管控（或修复）方案、工程实施与验收，见图1。

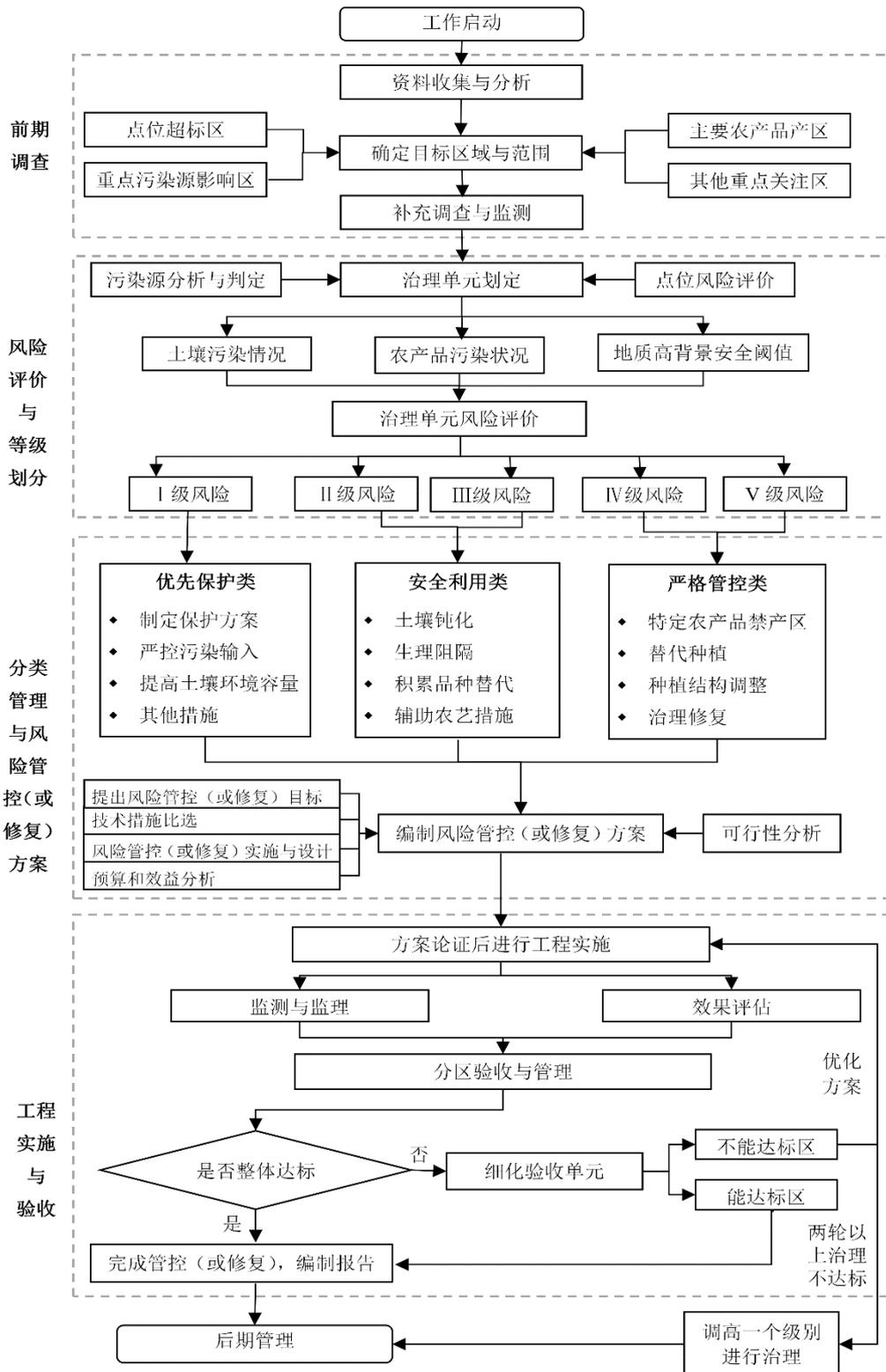


图1 耕地重金属污染风险管控（或）修复工作程序

## 7.1 资料收集与分析

### 7.1.1 区域概况资料

在充分收集前期基础材料与背景材料的基础上,进行区域背景调查,确保分析的全面、完整和准确。具体如下:

- 基础图件;
- 区域地质背景;
- 区域水文与水化学背景;
- 区域气候与气象特征;
- 区域土壤类型及其基本特性;
- 治理区域农业生产布局;
- 社会经济现状。

### 7.1.2 污染物输入与输出资料

收集土壤重点污染源输入有关资料,包括区域内工矿企业类型、分布及排污情况,农业灌溉水质量、大气干湿沉降等情况,农药、化肥和农膜等农业投入品及畜禽养殖废弃物处理处置情况,固体废物堆存及处理处置情况等;并估算其输入与输出通量。如果无法收集这些资料,在必要的情况下实测。

需要关注的重金属污染物输入源主要包括大气干湿沉降、畜禽粪便与有机肥施用、灌溉水输入、化肥与农药等。

需要关注的重金属污染物输出源主要包括农产品收获、秸秆移除、灌溉排水和挥发等。

### 7.1.3 土壤与作物重金属污染状况

收集目标区域土壤与作物的重金属历史数据,其来源包括但不限于普查、调查、监测以及有关科学研究数据等。

## 7.2 确定目标区域与范围

对以上收集到的数据进行分析汇总,初步判断区域耕地重金属污染状况,提出重点关注区域。重点关注区域包括:

- 点位超标区:前期数据显示耕地土壤中有一种或几种重金属含量超过农用地土壤污染风险管控标准 GB 15618-2018 筛选值的区域;
- 重点污染源影响区:土壤污染重点行业(企业)通过大气、水等污染扩散途径,对土壤环境造成影响的区域;
- 主要农产品产区:集中连片农产品产地,主要是指 50 公顷以上连片水稻、5 公顷以上连片蔬菜、或者 10 公顷以上连片水果等农产品产区;
- 其他重点关注区:主要包括信访、投诉、社会舆论和媒体高度关注的受污染耕地;有关监测、调查和科研工作已发现的受污染耕地;历史上因环境事故而污染的耕地;工业固体废弃物长期堆放而污染的耕地;其他有明显证据表明受污染的耕地。

## 7.3 补充调查与监测

根据以上分析,重点针对点位超标区、重点污染源影响区、主要农产品产区和其他重点关注区,参照《农用地土壤污染状况详查点位布设技术规定》的方法进行补充采样监测,进一步确定污染分布区域、污染状况和污染风险等。

## 8 风险评价与等级划分

### 8.1 污染源分析与判定

针对某一个评价单元，以单元内耕地土壤重金属的净输入量作为评价污染源风险的指标。当一个评价单元的单位面积净输入量明显大于该地的平均值时，应切断污染源。

### 8.2 点位风险评价

评价土壤及农产品调查点位的重金属污染风险，划分点位重金属风险等级，为区域风险评价提供基础依据。以土壤重金属污染指数为主进行判定，以农产品污染指数进行辅助判定，且农产品主要依据敏感物种的农产品污染指数进行辅助判定。同一点位不同重金属风险级别不同时，取较为严格的重金属污染级别作为该点位的类别。

### 8.3 治理单元划定

治理单元是基于地理单元，综合考虑点位风险评价结果和区域环境要素，如耕地利用方式、污染源分布和特征、地形地貌等因素的基础上划定的进行区域土壤污染风险评估及治理的基础单元。上述特征相似的区域，原则上划为同一治理单元，具体边界依据耕地物理边界、地块边界和权属边界等确定。

### 8.4 治理单元风险评价

8.4.1 根据地统计学原理，在治理单元内评估土壤重金属污染风险和农产品重金属污染风险，划分治理单元区域内耕地土壤重金属风险等级，为重金属污染耕地分类管理提供依据。

8.4.2 采用土壤重金属污染风险、农产品重金属污染风险相结合的评估方法，其中以土壤重金属污染指数为第一评定因素，以农产品重金属污染指数为辅助调整因素，将土壤环境质量类别划分为优先保护类、安全利用类和严格管控类。存在多个重金属元素污染时，按照污染程度最高的重金属进行风险评价。

8.4.3 针对重金属的地质高背景区，应研究制定地质高背景区的安全利用阈值，优化土壤环境质量类别划分。

## 9 分类管理与风险管控（或修复）方案

### 9.1 分类管理

#### 9.1.1 一般要求

对优先保护类、安全利用类和严格管控类耕地制定针对性地风险管控（或修复）方案，采取经济合理的技术措施，确保受污染耕地安全利用。

#### 9.1.2 优先保护类

优先保护类包括 I 级风险的耕地，这类耕地应优先保护并制定相应的保护方案。在优先保护类耕地集中区域严格控制新建可能带来重金属污染输入的企业；对于已建成的相关企业应定期开展监测并采取措施，防止对耕地造成污染。加强监测灌溉水、农业投入品、土壤及农产品等，及时掌握土壤和农产品质量状况，确保农产品质量安全。针对优先保护类，建议指定保护方案、严格控制污染物输入、改善土壤质量和提高土壤环境容量。

#### 9.1.3 安全利用类

安全利用类包括Ⅱ级与Ⅲ级风险的耕地，这类耕地土壤重金属已对农产品安全构成一定危害，但可以通过适当的风险管控或修复措施实现农产品达标。重点关注水田和菜地，控制污染输入与迁移、监测土壤重金属动态，综合整治周边环境污染等。

Ⅱ级风险耕地，采用土壤钝化、生理阻隔等措施，辅以农艺措施等联合技术，一般无需采用低累积作物品种，具体根据稻田、旱地等类别分析确定。

Ⅲ级风险耕地，采用土壤钝化、生理阻隔等措施，辅以农艺措施等联合技术，一般采用低累积作物品种，具体根据稻田、旱地等类别分析确定。

#### 9.1.4 严格管控类

严格管控类包括Ⅳ级风险和Ⅴ级风险的耕地，这类耕地应进行严格的风险管理。

Ⅳ级风险耕地，可选择替代种植模式，种植重金属低累积的可食用作物；或选择种植结构调整模式，种植重金属低累积的非食用作物。

Ⅴ级风险耕地，可选择治理修复模式，降低土壤重金属含量和风险等级；或选择退耕还林还草模式。

### 9.2 风险管控（或修复）方案编制

#### 9.2.1 一般要求

根据项目实施地土壤污染情况、土壤理化性质、作物污染状况以及当地社会和经济状况等，编制相应的风险管控（或修复）方案，方案应以保护土壤基本功能、维持土壤肥力和保障农产品质量安全为主要目标。编制单位应对方案的质量负责，并对方案的实施进行技术指导。

风险管控（或修复）活动应当优先采取不影响农业生产、不降低土壤生产功能的生物修复措施，阻断或者减少污染物进入作物食用部分，确保农产品质量安全。

#### 9.2.2 提出风险管控（或修复）目标

根据耕地风险情况提出风险管控（或修复）目标：

- a) 优先保护类：确保区域内耕地质量不退化，农产品重金属含量不高于 GB 2762 限量标准；
- b) 安全利用类：降低区域内土壤污染风险，达到提出的目标区域安全利用率目标值，安全利用率宜确定为 90%；
- c) 严格管控类：严格控制食用农产品种植和土壤污染环境风险，并逐步降低土壤重金属污染风险。

#### 9.2.3 技术措施比选

根据风险管控（或修复）目标，结合土壤污染特征、土壤理化性质、土壤重金属有效性和作物吸收累积特征等因素，从技术成熟度、技术效果、技术成本、实施周期及工程适用性等方面对候选技术进行分析比较，提出适用本区域的技术或技术组合方案。必要时，应对有关技术进行小规模验证，相关验证结果纳入方案。

#### 9.2.4 风险管控（或修复）实施与设计

根据技术比选结果，设计采用的具体风险管控（或修复）技术，明确风险管控（或修复）实施程序、内容、药剂、设施及有关参数，并列出具体的工作清单和进度计划。实施方案还应包括施工监理方案和应急预案，防止施工过程中的二次污染和应对突发环境事件。

#### 9.2.5 预算和效益分析

依据国家和地方财务、预算有关规定，按照工作量和实际情况逐项编制风险管控（或修复）施工预算，提出资金使用计划和筹措方案。分析相关的经济、社会和环境效益。

#### 9.2.6 可行性分析

从技术、资金、政策、环境、管理和农民参与等方面分析风险管控（或修复）实施的风险，论证其可行性。

#### 9.2.7 方案论证与评审

方案编制后，应组织土壤风险管控（或修复）相关领域专家进行论证，原则上专家不少于5名，其中至少1名财务专家，方案经论证通过和依法备案，方可实施。

### 10 风险管控（或修复）工程实施

#### 10.1 一般要求

实施风险管控（或修复）活动，不得对土壤和周边环境造成新的污染。

#### 10.2 监测与监理

监测与监理可以由同一个单位实施。根据事先确定的采样与监测方案，由监测方、效果评估方、风险管控（或修复）实施方共同采集土壤、农产品、灌溉用水和大气干湿沉降等样品；由具有计量认证资格的第三方机构测试，并出具独立的采样与检测报告。

#### 10.3 效果评估

风险管控或修复活动结束后，由效果评估单位根据第三方检测报告，独立进行耕地土壤重金属污染风险管控（或修复）效果评估，并编制效果评估报告。

### 11 验收

#### 11.1 分区验收与管理

对于未达到9.2.2规定的风险管控（或修复）目标的实施区域，可进一步细化验收单元，进行分区验收。将实施区域细化分为若干验收单元，达到效果的验收单元视为实现风险管控（或修复）目标，未达到效果的验收单元在调整优化风险管控（或修复）方案后再进一步进行风险管控（或修复）。如经过两轮以上仍然不能达到风险管控（或修复）目标的区域，调高一个类别进行风险管控（或修复）；经过两轮以上治理修复，土壤重金属污染风险仍为V级的区域，可选择退出治理修复模式，考虑退耕还林还草模式。

分区验收应由各方共同制定分区验收方案，论证通过后方可实施。

#### 11.2 后期管理

实现安全利用的耕地应定期开展农产品质量跟踪监测和调查评估，并根据跟踪监测和评估结果，适时调整农艺措施以确保区域内农产品稳定达标；严格管控类耕地应定期开展土壤质量跟踪监测和调查评估，并根据跟踪监测和评估结果调整其类别。

参 考 文 献

- [1] NY/T 3343 耕地污染治理效果评价准则
  - [2] 环办土壤函〔2017〕1021号 农用地土壤污染状况详查点位布设技术规定
-