

国家标准  
《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》  
(征求意见稿)

编制说明

《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》

标准编写组

二〇二一年十一月

**项目名称：**农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程

**标准编号：**20213480-T-606

**编制单位：**山东师范大学、山东大学、上海化工院环境工程有限公司、浙江省农业科学院、山东省标准化研究院、山东研创环境工程技术有限公司等。

**编制组主要成员：**成杰民，冯翰林，王晓凤，史祥利，李洁，宗万松，崔兆杰，张志恒，刘玉学，倪寿清，商悦，马振，王自通，张长波，安洁，孟露露

**标准制定负责人：**成杰民

**标准制定联系人：**冯翰林

## 目录

《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》（征求意见稿）编制说明...	1
一、项目背景.....	1
（一）任务来源.....	1
（二）工作过程与分工.....	1
二、标准制定的必要性.....	4
（一）国家发展战略的要求.....	4
（二）国家标准体系建设要求.....	4
（三）技术实施的科学要求.....	5
（四）土壤修复市场的要求.....	5
三、国内外相关标准情况.....	6
（一）国外相关标准情况.....	6
（二）国内相关标准情况.....	7
四、标准制定的基本原则和技术路线.....	8
（一）标准制定的基本原则.....	8
（二）标准定位.....	8
（三）标准制定的技术路线.....	9
五、标准结构与内容.....	9
（一）标准结构.....	9
（二）标准内容.....	10
六、标准制定的主要依据与限制（限值）说明.....	19
（一）标准适用范围的主要依据与限制.....	19
（二）技术应用可行性评估的主要依据与限制（限值）.....	19
（三）钝化剂筛选的主要依据与限制（限值）.....	21
（四）制定与实施修复方案主要依据与限制（限值）.....	25
（五）修复效果评价.....	26
（六）环境管理计划.....	26
（七）采样和分析方法.....	26
七、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系.....	27
（一）与法律法规要求符合性.....	27

(二) 与国家强制性标准要求的符合性 .....	27
(三) 与其他标准规范的协调性 .....	28
八、重大分歧意见的处理经过和依据.....	28
九、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议.....	28
十、贯彻国家标准的要求和措施建议.....	29
十一、废止现行有关标准的建议.....	29
十二、其他应予说明的事项.....	29

# 《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》

## （征求意见稿）

### 编制说明

#### 一、项目背景

##### （一）任务来源

为贯彻落实《中华人民共和国土壤污染防治法》和《土壤污染防治行动计划》，聚焦农产品产地突出问题精准发力，加强我国农产品产地土壤污染防治，逐步改善土壤环境质量，保障农产品质量安全。山东师范大学承担了国家重点研发计划《农产品产地环境评价分级与保护改良共性标准研究（2018YFF0213400）》中课题4《农产品产地污染防治与土壤改良典型技术标准研究（2018YFF0213404）》，承担的主要任务为《农产品产地重金属污染土壤钝化技术研究》。

2021年8月，国家标准化管理委员会下达《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》编制任务，计划号：20213480-T-606，该标准由全国肥料和土壤调理剂标准化技术委员会（TC105）归口。

##### （二）工作过程与分工

###### 1. 工作过程

2018年1月~2020年12月，山东师范大学承担国家重点研发计划《农产品产地环境评价分级与保护改良共性标准研究（2018YFF0213400）》中课题4《农产品产地污染防治与土壤改良典型技术标准研究（2018YFF0213404）》，承担的任务为《农产品产地重金属污染土壤钝化技术规范研究》。接到任务后，山东师范大学筹建《农产品产地重金属污染土壤钝化技术规范》（以下简称《规范》）标准编制组。编制组由山东师范大学、山东大学、上海化工院环境工程有限公司、山东省标准化研究院、浙江省农业科学院、山东研创环境工程有限公司等。

（1）2018年1月起，标准编制组开展了实地调研、资料查阅等工作，同时通过各种方式向大专院校和科研单位相关专家、土壤修复企业、土壤环境管理部门等单位征求意见和建议。在此基础上，编制组确定了《规范》制定工作的实施方案，并开展了实验室和实地研究工作。

(2) 2019年1月~2019年12月,在前期研究的基础上,完成农产品产地重金属污染土壤钝化修复的调查技术、钝化修复效果影响因素、风险管控措施、修复效果评估等研究,形成了《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规范》(以下简称“规范”)的技术体系,完成了《农产品产地重金属污染土壤钝化技术规范》征求意见稿。

(3) 2020年1月,将《农产品产地重金属污染土壤钝化技术规范》文件、推荐性国家标准项目建议书等文件,递交给《全国肥料和土壤调理剂标准化技术委员会》(TC105),并与2020年5月通过初审。

(4) 2020年7月,完成了专家评估和项目审核。编制组根据专家意见对《规范》文本进行了修改,并将标准名称由《农产品产地重金属污染土壤钝化技术规范》改为《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》(以下简称《规程》)。并以函审的方式请相关专家对修改后的《规程》文本提出修改意见和建议。

(5) 2020年12月,标准起草小组按照专家意见进一步修改了《规程》,并将修改后的《规程》和《修改说明》一并递交给《全国肥料和土壤调理剂标准化技术委员会》(TC105),2020年12月16日完成了专家评估和项目审核。

(6) 2021年3月,《规程》在全国标准信息公共服务平台公示,<http://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=CA851A2BB141CD78E05397BE0A0A82E3>。

(7) 2021年8月24日,国家标准化管理委员会关于下达2021年第二批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知(国标委发[2021]23号),《规范》的计划标准号:20213480-T-606。

(8) 编制组自2021年9月起,进一步完善《规程》(征求意见稿)和《规程编制说明》,于10月底完成《规程》(报批稿)和编制说明,一并提交国家标准委。

此外,《规程》研究和编制过程中,《农产品产地环境评价分级与保护改良共性标准研究(2018YFF0213400)》项目组 and 《农产品产地污染防治与土壤改良典型技术标准研究(2018YFF0213404)》第4课题组,多次组织与标准研究、编制相关的线上线下学术研讨、专家论证会、中期考核、进展汇报等。

## 2.工作分工

标准编写主要由山东师范大学负责，协作单位包括山东大学、上海化工院环境工程有限公司、山东省标准化研究院、浙江省农业科学院，山东研创环境工程有限公司。具体参加人员和分工见表1。

表1 标准主要起草工作组成员及承担的工作

序号	姓名	单位	职务/职称	项目职务	分工
1	成杰民	山东师范大学	教授	组长	总负责人，组织协调标准制定工作，标准文本、编制说明等文件主要执笔人，负责标准征求意见、意见汇总，及标准送审和报批工作。
2	冯翰林	山东师范大学	博士研究生	主要组员	标准文本、编制说明等文件的主要执笔人。国内外环保政策、标准等的汇总分析。
3	王晓凤	山东师范大学	讲师	主要组员	农产品产地重金属污染土壤钝化修复技术实施，国内外应用效果的汇总分析。
4	史祥利	山东师范大学	讲师	主要组员	国内外重金属污染土壤钝化技术风险防范的文献检索，汇总、分析。
5	李洁	山东师范大学	讲师	主要组员	重金属钝化剂毒理效应研究及国内外相关研究结果的汇总、分析。
6	宗万松	山东师范大学	教授	主要组员	国内外重金属污染土壤钝化技术效果评价的文献检索、汇总、分析。
7	崔兆杰	山东大学	教授	组员	国家重点研发计划项目负责人，参与标准制订相关事宜的指导。
8	倪寿清	山东大学	教授	组员	配合开展项目管理，参与标准制定相关事宜的讨论。
9	张长波	上海化工院环境工程有限公司	工程师	组员	参与标准制定相关事宜的讨论。
10	张志恒	浙江省农业科学院	研究员	组员	参与标准制定相关事宜的讨论。
11	刘玉学	浙江省农业科学院	研究员	组员	参与标准制定相关事宜的讨论。
12	商悦	山东研创环境工程公司	高级工程师	组员	农产品产地重金属污染土壤钝化修复技术实施。
13	马振	山东研创环境工程公司	工程师	组员	农产品产地重金属污染土壤钝化修复技术实施。
14	王自通	山东研创环境工程公司	工程师	组员	农产品产地重金属污染土壤钝化修复技术实施。
15	安洁	山东省标准研究院	研究研究	组员	参与标准制定相关事宜的讨论。
16	孟露露	山东省标准研究院	助理研究员	组员	参与标准制定相关事宜的讨论。

## 二、标准制定的必要性

### （一）国家发展战略的要求

十八大以来，党和政府将我国生态文明建设提高到一个前所未有的高度。2016年05月28日，国务院印发了《土壤污染防治行动计划》（“土十条”），工作目标是：到2030年，全国土壤环境质量稳中向好，农用地和建设用地土壤环境安全得到有效保障，土壤环境风险得到全面管控。要求“开展污染治理与修复，改善区域土壤环境质量”，“到2030年，受污染耕地安全利用率达到95%以上”。环境保护部和农业部据此制定了《农用地土壤环境管理办法（试行）》，于2017年11月1日起施行。要求“对需要采取治理与修复工程措施的安全利用类或者严格管控类耕地，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，或辅助采取物理、化学治理与修复措施”。2019年1月1日起实施《中华人民共和国土壤污染防治法》，其中规定“当农产品产地因土壤重金属污染被划分为安全利用类农用地时，可采用包括钝化技术在内的农艺调控技术”。国务院《关于加快推进生态文明建设的意见》、《关于开展质量提升行动的指导意见》、2020年“一号文件”等都要求强化农田生态保护，实施耕地质量保护与提升行动，加大耕地质量保护和土壤修复力度，稳步推进农用地土壤污染管控和修复利用。标志着我国土壤污染防治攻坚战将朝着纵深方向发展。今后10年我国重金属污染耕地土壤修复将蓬勃开展，亟待需要制定标准，科学规范地指导我国重金属污染土壤修复工作。

### （二）国家标准体系建设要求

虽然近些年我国在农产品产地污染防治方面出台了一些政策法规和标准，相关研究也取得了一些进展。但我国农产品产地污染防治技术研究、标准制定和实施依然任重道远。截止目前，关于农产品产地污染防治国家和行业相关技术标准，主要是在农产品产地风险管控、调查及评价方法、监测方法等方面，其中有防有治的标准主要集中在畜禽场环境、水土流失、防沙治沙等方面。主要问题体现在：一是在农产品产地污染防治各环节上，缺乏治理、修复和修复效果评价技术标准，二是在农产品产地全过程污染防治上有政策和管理层面的要求，但是缺乏标准层面的统一集成的技术指导文件。

随着《土壤污染防治行动计划》的深入实施，以及农产品产地土壤环境质量标准以及系列政策的出台，要求制定土壤污染治理与修复规划、有序开展治理与修复、监督目标任务落实等，都要求“健全土壤污染防治相关标准和技术规范”。尤其是目前我国缺乏重金属污染土壤钝化修复技术标准，致使在实施开展污染治理与修复时，多部门统筹、协调、联动监管缺乏依据。因此，开展农产品产地污染防治技术研究，完善我国农产品产地污染土修复相关标准，是我国标准体系建设的要求。

### **（三）技术实施的科学要求**

重金属污染土壤钝化修复是通过改变重金属在土壤中的化学形态，降低其在土壤环境中的迁移性与生物有效性，从而达到降低土壤污染风险的目的。由于钝化修复技术具有：(1)修复速率快、费用较低、操作简单;(2)不影响农业生产，可以实现“边生产边修复”;(3)能够改善农田土壤环境质量;(4)适用于大面积轻度重金属污染土壤修复治理等优点，目前国内外普遍认为钝化修复技术是针对重金属轻微、轻度污染农田土壤，经济、实用、有效、有推广价值的修复技术。

但是，在实施污染土壤修复工程中存在如下主要问题：一是我国农产品产地南北东西地域跨度较大，重金属污染来源与污染特征千差万别、土壤类型繁多、农作物种类差异较大，盲目应用重金属污染土壤钝化修复技术，不仅难以达到修复效果，而且还可能影响土壤理化性质、引起土壤二次污染和潜在的生态环境风险。二是钝化修复技术存在着一定的局限性。如钝化剂的环境友好性、对重金属吸附钝化的稳定性、吸附钝化后长期留在土壤中的潜在风险等问题等。因此，只有制定《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》，才能科学、规范地指导重金属污染土壤钝化修复技术的应用，提高修复效率、避免二次污染和生态环境风险、降低修复成本。

### **（四）土壤修复市场的要求**

在与民生息息相关的环保领域，土壤修复产业近年来迅速兴起，成为继污水处理、大气治理、固废处理之后环保市场上又一重要板块，是有市场前景的环保朝阳产业。伴随国内农田土壤修复技术的突破，将进一步推动农田土壤修复产业化和市场化。2019年1月1日《土壤污染防治法》正式实施，为满足2030年我国受污染农田安全利用率达95%以上的要求，势必会推动土壤修复产业快速发展。

2013年我国土壤修复企业仅200家，2016年增加了10倍，达2000家，2018年猛增至3830家。预测2024年我国土壤修复市场规模达860亿元。

2019年重金属污染耕地钝化技术被列入农业农村部《轻中度污染耕地安全利用与治理修复推荐技术名录（2019年版）》。近4年，获农业农村部登记的钝化剂已达26个。截止2017年7月我国授权重金属污染土壤钝化修复相关发明专利95件，截止2018年12月我国仅Cd污染土壤钝化修复研究论文达227篇。重金属污染土壤钝化修复技术已成为当前我国农田重金属污染土壤，尤其是重金属复合污染土壤修复的主流技术。近年来全国陆续实施了一批农产品产地的土壤重金属风险管控和修复项目，大多采用了重金属污染土壤钝化技术。尤其是在农用地土壤污染详查结果出来后，政府及市场对农产品产地土壤修复技术标准的需求将更加强烈。

### 三、国内外相关标准情况

#### （一）国外相关标准情况

在农产品产地环境污染防治方面，自20世纪70年代开始，美国、欧洲和日本等发达国家就建立了农产品产地污染综合防治的法律法规体系，开展和完善产地污染防治标准、污染监测及分类防治工作，注重强化风险防治。

农产品产地环境调查和监测方面，很多发达国家已建立较为完善标准体系。美国主要以行业或协会的（如EPA和美国测试与材料协会）标准方法或规范为主，针对土壤、地下水、空气及废弃物等提供了相应的采样方法和现场测试方法。加拿大、欧盟和日本也都建立了土壤环境调查、监测标准和配套的检测方法。

农产品产地环境质量评价方面，国际上以土壤环境质量评价为核心，《土壤质量 背景值确定指南》（ISO 19258-2005）、《土壤质量 基于地下水保护的土壤性质表征》（ISO 15175-2005）等标准为土壤质量评价提供了多角度的参考依据。美国环保署（USEPA）颁布的《生态风险评估指南》（EPA/630/R-95/002F）、《重金属风险评估指南（EPA120/R-07/001）》为农产品产地环境质量评价提供了方法参考。只有少数国家和地区（加拿大、德国、日本和我国台湾）制定了针对农产品产地的土壤环境质量标准，保护目标主要包括人体健康、生态环境（如土壤生物）、农产品质量安全、作物生长（防止减产）。

农产品产地风险评价和风险管控方面，美国国家科学院出版了专著《联邦政府的风险评价：管理程序》和《土壤筛选值制定指南：用户手册》（EPA/540/R-96/018）等技术指南，基于健康风险评价技术制定了旨在保护人体健康的土壤筛选值（SSL），为土壤环境质量评价奠定了基础。加拿大、荷兰、英国、法国、日本等国家均在此基础上建立了健康风险评价方法，制定了土壤质量指导值、目标值、行动值等。近年来，环境风险评价的研究热点从健康风险评价转为生态风险评价，颁布了《生态风险评估指南》（EPA/630/R-95/002F），制定了旨在保护生态系统的土壤筛选值（Eco-SSL）。

但是，在农产品产地污染防治和土壤改良方面，目前国际上缺乏重金属污染钝化修复和钝化剂使用等规范，极大地影响了技术的产业化应用和推广，更没有形成重金属污染土壤钝化技术实施全过程环境风险控制、修复效果评价等标准体系。

## （二）国内相关标准情况

目前国家还没有关于农产品产地重金属污染土壤钝化修复技术标准。

环保部《污染场地土壤修复导则（HJ25.4-2018）》，规定了污染场地土壤修复技术方案编制的基本原则、内容和技术要点。标准适用于污染场地土壤修复技术方案的制定。

湖南省地方标准《重金属污染场地土壤修复标准（DB43/T1165-2016）》。规定了湖南省重金属污染场地土壤修复指标、限制和检测方法。标准适用于湖南省重金属污染场地土壤修复工程效果评价、验收。

2020年7月河北省生态环境厅发布了《河北省农田土壤重金属污染修复技术规范（征求意见稿）》，规定了土壤重金属污染程度的评价方法、分级标准、修复的技术要点和使用范围，以及标准的实施与监督等相关规定。标准适用于省内农田土壤重金属污染程度的评价分级和土壤重金属污染修复技术方案的设计。主要规定了工程修复技术、物理化学修复技术、生物修复技术、农业生态修复技术、与土壤重金属污染程度相适合的修复技术等的技术要点和适用范围。

2021年1月，广东省制定《耕地土壤重金属污染钝化调理技术指南》，规定了耕地土壤重金属污染钝化调理的技术在实施流程，污染特征确认、技术选择原则、钝化调理剂选择、技术方案编制、实施过程管理和效果评估的要求。使用与重金属污染安全利用类耕地钝化调理技术的筛选与实施。

上述标准多为针对地方土壤类型、种植结构、重金属污染特征提出的地方标准，没有具体涉及针对我国耕地土壤以轻微、轻度重金属污染为主的特点，普遍适用的农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程，更没有考虑钝化技术实施全过程环境风险控制。

## 四、标准制定的基本原则和技术路线

### （一）标准制定的基本原则

本标准制定的基本原则如下：

#### 1. 先进性与针对性原则

充分借鉴国际先进经验和我国最新的科研成果，立足我国国情和发展阶段，围绕我国对农产品产地土壤环境保护的实际需求，针对我国农产品产地土壤重金属污染特征，综合考虑钝化修复成本、修复效果、环境风险、群众接受度等因素，制定我国《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》。

#### 2. 科学性与规范性原则

在对重金属污染土壤钝化理论研究和国内外现有工程实践经验分析基础上，充分借鉴发达国家关于土壤环境质量标准制定方法和技术的先进经验，采用程序化、系统化的方式规范农产品产地重金属污染土壤钝化技术实施全过程，保证技术实施的科学性和实施效果的高效性。

#### 3. 适用性和可操作性

综合考虑农产品产地耕作制度、土壤和植被类型、重金属种类、钝化剂特性等因素，结合当前国内外钝化材料的研发与应用效果、修复时间、修复费用等，确保钝化技术实施过程切实可行。

#### 4. 协调性与持续性原则

充分考虑与国家、部门、行业等其他相关标准的兼容性和协调性，并尽量保持《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》持续指导作用。

### （二）标准定位

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国土壤污染防治法》、《土壤污染防治行动计划》等法律法规，防治环境污染，规范农产品产地重金属污染土壤钝化修复工程的实施，防止农产品产地土壤重金属钝化修复过程中引起的二次污染和潜在的环境风险，保障我国农业生态环境安全和农产品质量安全，

制定本标准。

本标准农产品产地土壤重金属钝化修复方案设计和施工单位、第三方农产品产地土壤重金属钝化修复工程环境监理和第三方修复效果评估验收单位、县级以上农业农村主管部门和生态环境管理部门等，开展农产品产地重金属污染土壤钝化修复、效果评估、监督管理等工作提供技术规程。

### （三）标准制定的技术路线

通过文献检索明确国内外农产品产地重金属污染土壤钝化修复技术现状，通过文献资料调查、案例分析、专家咨询等明确农产品产地重金属污染土壤钝化修复技术应用的主要影响因素。在此基础上，构建农产品产地重金属污染土壤钝化修复技术体系，最终依据 GB/T 1.1-2020 标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写要求，完成《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》（报批稿）。具体技术路线见图 1。

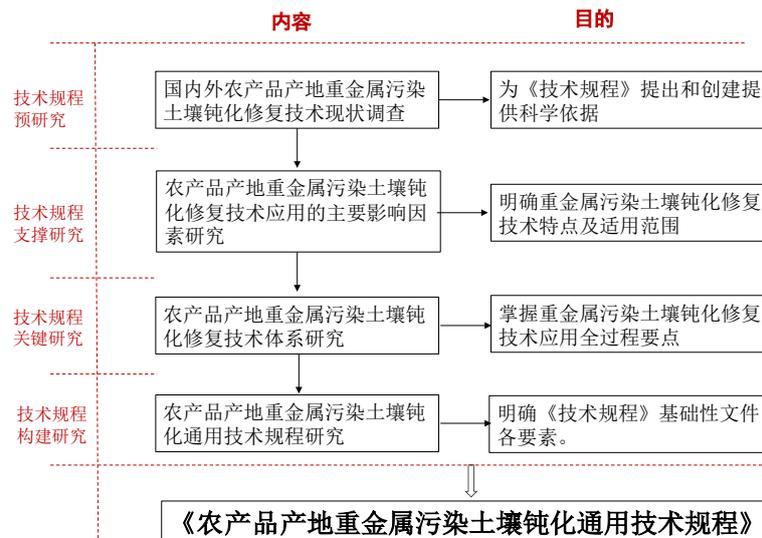


图 1 技术路线图

## 五、标准结构与内容

### （一）标准结构

本标准依据 GB/T 1.1-2020 标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写要求，从多个方面规定了《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》的内容和要求。主要内容分为 11 个部分，以及附录 A（规范性附录）《常见的重金属低累积农作物一览表》和附录 B（资料性附录）《常用农产品产地土壤重金属钝化材料一览表》。标准结构见图 2。

目 次	
前言 .....	1
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 基本原则和工作程序 .....	4
5 确定钝化技术应用的可行性 .....	5
6 筛选钝化剂 .....	7
7 制定与实施修复方案 .....	8
8 修复效果评价 .....	9
9 环境管理要求 .....	9
10 采样与分析方法 .....	9
11 标准实施与监督 .....	10
附录 A（资料性附录）常见的重金属低累积农作物一览表 .....	11
附录 B（资料性附录）常用农产品产地土壤重金属钝化材料一览表 .....	12

图 2 标准结构

## （二）标准内容

### 1. 标准适用范围

本标准规定了农产品产地重金属污染土壤钝化技术实施过程中所遵循的基本原则、程序、内容和技术要求；本文件适用于安全利用类农产品产地农作物可食部分镉、砷、铅、铬、铜、镍、锌含量超标的中性或弱碱性土壤的钝化修复。不适用于农作物可食部分汞含量超标的农产品产地土壤的修复。

### 2. 规范性引用文件

（1）确定农产品产地重金属污染土壤是否适用钝化技术引用了 GB 2762、GB 15618 和 NY/T 395。

（2）钝化剂的筛选：限制钝化剂中重金属和有毒有害物质的含量引用了 GB 4284、GB 15618、NY/T 525 和 NY/T 3041；规范土壤剥离、运输、储存、回覆等施工过程引用了 TD/T 1048；规范确定钝化剂种类、用量等的田间试验引用了 NY/T 2911、NY/T 3241。

（3）确定修复目标值引用了 GB 15618、GB 2762。

（4）编制修复方案引用了 NY/T 3499

（5）评估钝化修复效果引用了 NY/T 3343。

(6) 布点采样：农产品产地土壤布点采样引用了 NY/T 395、NY/T 3343、NY/T 398、NY/T 3343 和 HJ 164；农作物可食部分采样布点采样 NY/T 398 和 NY/T 3343；地下水采样布点采样引用 HJ 164。

(7) 样品分析：农产品产地土壤重金属全量分析方法引用了 GB 15618；土壤理化性质分析方法引用了 NY/T 395；土壤中有效态锌铜的测定引用了 NY/T 890 执行；土壤中有效态铅和镉测定引用了 GB/T 23739；土壤中有效态镍的测定引用了 GB/T 23739。农作物可食部分重金属分析方法引用了 GB 5009.11、GB 5009.12、GB 5009.15、GB 5009.123、GB 5009.138；地下水重金属分析方法引用了 HJ 164。

### 3.标准术语和定义

本标准共有 6 个术语和定义。具体如下：

#### (1) 农产品产地

指植物、动物、微生物及其产品生产的相关区域。本标准所规定的农产品产地是指种植食类农作物的农用地，包括种植谷物、豆类、水果、蔬菜、坚果、油料作物等植物的农用地，为培养食用菌提供覆土的农用地，以及用作畜禽饲料或食用菌栽培基质的作物种植农用地。

#### (2) 重金属污染产地

指由于人类活动产生的一种或多种重金属进入农产品产地土壤，导致农作物可食用部分重金属含量超过食品安全限值。

#### (3) 钝化剂

指以降低土壤中重金属生物有效性为目的的天然或加工合成材料。

#### (4) 钝化技术

指通过向污染土壤中添加一种或多种钝化剂，以实现有效降低重金属在土壤-植物系统中迁移性、生物有效性及生物毒性的目的。

#### (5) 表层土

指位于土壤剖面的上层，厚度一般为 20 cm~ 40 cm。对于长期耕作土壤的表土层，可分为上表土层和下表土层。上表土层是指经长期耕作熟化形成的表土层，又称耕作层，厚度一般为 15 cm~ 20 cm。下表土层由犁底层和心土层的最上部分构成。犁底层指耕作层以下较为紧实的土层，厚度一般为 5 cm~ 10 cm，最厚可达到 20 cm。

## (6) 土壤重金属有效态含量

指利用指采用化学试剂提浸等方法测得的土壤中某些化学结合形态的重金属含量，并能够用于表征可被植物吸收的土壤中重金属的含量。

## 4. 基本原则和工作程序

### (1) 基本原则

根据本标准实施要求，制定了三项基本原则：针对性原则、规范性原则和可操作性原则。

**针对性原则：**针对农产品产地土壤以轻微、轻度重金属污染为主的特征，利用重金属污染土壤钝化技术，开展污染土壤修复。

**规范性原则：**采用程序化、系统化的方式，规范农产品产地重金属污染土壤钝化技术实施全过程，保证技术实施的科学性和实施效果的高效性。

**可操作应原则：**综合考虑农产品产地耕作制度、土壤和植被类型、重金属种类、钝化剂特性等因素，结合当前国内外钝化材料的研发与应用效果、修复时间、修复费用等，确保钝化技术实施过程切实可行。

### (2) 工作程序

工作流程包括钝化技术应用的可行性评估、筛选钝化剂、制定与实施修复方案、修复效果评估与长期环境管理 4 个阶段。

**钝化技术应用的可行性评估：**通过资料核实、现场踏勘、人员访谈、土壤污染评估等，掌握污染土壤性质、周边环境条件、污染土壤重金属种类、重金属污染类型、污染浓度和污染范围，判别钝化技术应用的可行性。当确认钝化技术不适用于该农产品产地重金属污染土壤修复时，钝化技术修复工作的程序结束。

**筛选钝化剂：**根据土壤性质、重金属污染类型、污染程度、种植农作物种类和耕作制度等，以前期研究成果、同类污染土壤的钝化修复工程实施情况或田间试验结果等为主要依据，借鉴国内外文献资料，确定钝化剂的种类、用量、施用方式等。

**制定与实施修复方案：**根据选定钝化剂的技术特点、修复范围和修复时间等要求，制定土壤修复技术路线、设置修复目标、估算工程量和工程费用等，提出初步修复方案。综合考虑钝化技术实施防止二次污染、预防潜在环境风险等，制定经济、实用、可行的钝化技术方案并实施方案。

**修复效果评估与长期环境管理：**对重金属污染产地实施土壤钝化修复工程后是否达到修复目标进行科学的评估。根据钝化修复工程实施情况和修复效果评估结论，提出长期环境管理计划。

## 5.技术应用可行性评估

包括：资料的核实与完善、现场勘探与人员访谈、技术应用可行性评估 3 方面。

### （1）资料的核实与完善

**资料的核实：**核实相关资料的完整性和有效性，结合当地农业农村、生态环境和自然资源部门的相关调查和监测结果，确定土壤和农产品重金属污染物来源、重金属类型、污染程度、污染范围和空间分布特征，初步判断土壤和农产品重金属污染情况。

收集核实的资料包括：土壤污染调查与风险评估资料；农田灌溉水质监测资料；历史污染源资料；土壤类型、成土母质、土壤基本理化性质、种植农作物类型、种植模式、施用农药和化肥种类和施用量等基本信息；周边污染源分布情况；气候资料、水文资料、遥感与土地利用情况等资料；土壤图、地质图、大比例尺地形图等图件等。

**资料的完善：**资料中若缺失土壤基本理化性质，需要对重金属污染场地土壤取样分析，明确土壤理化性质，参照 NY/T 395 执行。资料中若缺失土壤重金属环境调查和风险评估资料，需要对农产品产地重金属污染土壤调查与评价，参照 NY/T 395 执行。资料中若缺失农作物可食部分重金属含量，需要对重金属污染产地农作物可食部分进行调查与评价。评估标准依据 GB 2627，分析方法按照 GB/T 5009.11、GB/T 5009.12、GB/T 5009.15、GB/T 5009.123、GB/T 5009.138 执行。

### （2）现场勘探与人员访谈

**现场勘探：**重点考察重金属污染产地现状，包括周边环境状况、植物种类、耕作制度、土壤修复工程施工条件，特别是用电、用水、施工道路、临时仓库等情况。

**人员访谈：**重点访谈了解重金属污染产地污染历史和现状的知情人，包括地方政府官员、农业部门管理机构、乡镇土地管理人员、污染产地历史和现阶段使

用者以及熟悉污染产地情况的村干部和农民。可采用当面交流、书面交流、电话、网络或书面调查表等方式，主要对已有资料可疑处和不完善处进行核实和补充。

### (3) 技术应用原则

本标准从农产品产地土壤重金属污染程度、土壤重金属污染类型、土壤重金属有效态含量、土壤重金属污染深度、种植的农作物、土壤性质等 6 个方面分析评估技术应用的可行性。

**农产品产地土壤重金属污染程度：**根据本标准 5.1 和 5.2，当农作物可食部分重金属含量超过 GB 2762 中含量限值，且土壤重金属含量低于 GB 15618 中土壤污染风险管制值时，可采用钝化技术。

**农产品产地土壤重金属污染类型：**分析前期资料，确认污染产地是单一重金属污染还是重金属复合污染类型。若为单一重金属污染，可采用钝化技术。若为重金属复合污染，要进一步确认重金属复合污染类型。一般锌、铜、铅、镉、镍两种或两种以上重金属复合污染土壤，可采用钝化技术。锌、铜、铅、镉、镍中的一种及以上重金属与六价铬和砷中的一种及以上重金属复合污染土壤，应根据田间试验结果、他人在本区域前期研究结果和国内外文献资料，慎重采用钝化技术。

**土壤重金属有效态含量：**土壤重金属有效态含量占土壤重金属全量的比重越高，采用钝化技术修复效果越好。当需要修复的重金属有效态含量占土壤重金属全量的质量分数小于 20 % 时，对钝化剂特性要求较高，应根据实验室、田间试验结果或他人在本区域前期研究结果，慎重采用钝化技术。

**土壤重金属污染深度：**当农产品产地土壤重金属污染深度超过表土层（包括耕作层和犁底层以上部分）厚度或当地下水位较浅时，原则上禁止采用钝化技术。

**种植的农作物：**在钝化技术实施期间，避免种植超富集农作物，以免影响修复效果。根据污染农产品产地所在区域水文、气候条件和土壤性质，结合污染产地目标重金属种类和含量，种植适合当地生长且具有对目标重金属低累积特性的农作物。禁止种植外来入侵物种。在未经长期试验证明污染产地所在区域种植杂交水稻对重金属具有低累积特性前，禁止种植该类作物。常见的低累积农作物品种见附录 A。

**土壤性质影响:**所使用的钝化剂对土壤质地、团聚体结构、微量元素有效性、酶活性、微生物群落种群及生物多样性等无明显影响。

## 6. 筛选钝化剂

包括:钝化剂初筛、钝化剂要求、钝化剂施加要求、钝化剂的确定 4 各方面。

### (1) 钝化剂的初筛

根据前期对农产品产地土壤重金属污染状况调查评估结果,在掌握污染产地目标重金属种类和含量,以及土壤理化性质(主要包括土壤类型、土壤机械组成、土壤 pH、土壤有机质含量、土壤阳离子交换量等)的基础上,针对性的选择一种或多种钝化材料。常用的钝化剂种类和使用范围见附录 B。

### (2) 钝化剂的要求

从钝化剂中污染物含量、钝化剂粒径、钝化剂用量、钝化剂的运输和储存等 4 方面规定了钝化剂要求。

**钝化剂中污染物含量:**单一或复合钝化剂中镉、砷、铅、铬、铜、镍、锌等元素和有机污染物含量,不能超过 GB 15618 规定的筛选值。根据钝化剂基质材料,还应满足相关标准重金属含量限值要求。污泥基应满足 GB 4284 规定限值要求,有机肥基应满足 NY/T 525 规定限值要求,生物炭基应满足 NY 3041 规定限值要求。在未经长期科学试验证明工业固体废物对土壤生态环境效应及风险前,禁止使用工业固体废物。

**钝化剂粒径:**无机类钝化剂粒径小于 0.425 mm、无机-有机复合钝化剂粒径小于 0.425 mm、有机类钝化剂粒径小于 10 mm,且符合上述要求的钝化剂质量占全部钝化剂质量的比重不低于 95 %。在未经长期试验证明纳米钝化剂对农产品产地所在区域生态环境影响前,禁止使用粒径小于 100 nm 的钝化剂。

**钝化剂用量:**原则上钝化剂年用量累计不应超过土壤质量的 5.0 %,连续使用不应超过 5 年。

**钝化剂运输和储存:**在钝化剂的运输过程中应进行苫盖,避免钝化剂撒漏、扬尘污染,以及雨雪对钝化剂质量产生影响。在对污染产地进行修复前,应合理测算钝化剂用量并提前购买或制备不低于总施加量的钝化剂。在污染产地周边租赁或搭建仓库,用于钝化剂的存放,并设置防雨、防风、防渗措施和必要的消防设施。

### (3) 钝化剂施加要求

**施加深度：**结合农产品产地土壤污染调查结果，根据污染产地重金属污染厚度和空间分布特征，分别向表土层土壤施加钝化剂。按照土壤的发生层次确定表土层厚度。

**施加方式：**土壤剥离、运输、储存、回覆等施工过程应参照 TD/T 1048 标准执行。当适量钝化剂施加到土壤后，立即翻耕使其与土壤充分混合，翻耕深度不得超过施加钝化剂土层厚度。

**其他要求：**施加钝化剂前应弃去土壤中的大石块、树枝等杂物；钝化剂不能与肥料同时施加，一般应在钝化剂施入 15 天后施加肥料；施加钝化剂 7 天内，土壤含水量应保持在田间饱和持水量的 70 % 以上；施加化剂与种植农作物之间应根据钝化剂的类型和种植作物种类不同，保留一定间隔时间。施加钝化剂时工作人员应配备必要的防护装备并避免在雨雪天作业。

#### **(4) 钝化剂的确定**

施用的钝化剂除已通过主管部门验证的外，在钝化剂施加前宜通过田间试验的方式确定单一或复合钝化剂各成分比例以及钝化剂的用量。在钝化剂施加前应通过田间试验的方式确定单一或复合钝化剂各成分比例以及钝化剂的用量。参照 NY/T 2911、NY/T 3241，在农产品产地选择环境条件、土壤性质、污染种类及污染程度相近的区域设置试验小区，进行田间试验，当农产品产地土壤性质及污染程度空间分布不均时，应设置多个代表性试验小区。通过试验确定钝化剂施用量、施用时间、施用方式、土壤环境条件等。

田间试验至少进行 1 个生长季，轮作、连作的试验要达到一个周期生产要求。参照 NY/T 3343，在农作物成熟季节，采集土壤样品和农作物样品，测定样品中目标污染物含量。以修复目标值为标准，根据钝化剂施加量和修复效果之间的定量关系，计算能够满足修复目标值的钝化剂配伍及理论施加量，并对理论施加量乘以安全系数 1.2，作为污染农产品产地修复钝化剂的实际施加量。钝化剂施加量应满足本文件 6.2.3 的要求。

### **7.制定与实施修复方案**

包括：确定修复范围与修复要求、设置修复目标、估算工程量及工程费用、二次污染和潜在生态环境风险的防范、修复方案的编制等 5 方面。

#### **(1) 确定修复范围与修复要求**

**修复范围：**确认前期农产品产地重金属污染土壤调查和风险评估资料界定的土壤修复范围，包括修复的面积、各界址点、污染土层深度、修复范围内的种植模式、农田耕作制度等。

**修复要求：**与重金属污染产地利益相关方进行沟通协商，确认对土壤修复的要求，包括修复时间、预期经费投入等。

## **(2) 设置修复目标**

**基本目标：**连续两年每季的农作物可食部分目标重金属含量应低于 GB 2762 规定限值，且当种植结构未发生改变时，修复的污染产地中农产品单位产量（折算后）与修复前同等条件相比减产幅度应小于或者等于 10 %。污染产地所在区域农产品单位产量及其测算方法由前期农产品产地土壤污染风险评估确定。

**参考目标：**在基本目标基础上，若污染产地所在区域已制定农用地土壤重金属有效态含量限值地方标准，参照该标准制定参考目标；或根据田间试验获得的土壤修复目标重金属有效态含量与农作物可食部分重金属含量的关系，建立模型测算农产品产地污染土壤重金属有效态含量应降低比例，并设置为修复目标值。

## **(3) 估算工程量和工程费用**

**工程量：**根据技术路线，按照修复方案，结合工艺流程、钝化剂特性、土壤性质、种植模式等估算工程量。农产品产地重金属污染土壤钝化技术工程量应包括施工的工程量、农田种植模式改变的工程量、田间试验的工程量、修复过程中防范二次污染工程量及方案涉及的其它工程量。

**工程费用：**根据修复方案和修复工程量估算修复费用，包括直接费用和间接费用。直接费用包括钝化修复工程实施、机械设备（购买或租赁费用）、钝化材料（购买、改性、复配）、基础设施（作业道路、临时仓库）等费用，间接费用包括工程监测、工程监理、健康安全防护、二次污染和潜在生态风险防范措施等费用。

## **(4) 二次污染和潜在生态环境风险的防范**

**二次污染的防范：**根据施工方案，分析污染产地修复工程实施对周边环境和人体健康的影响，包括钝化剂的运输、储存、配伍、施加等造成的二次污染，工程作业基础设施建设造成的二次污染，提出二次污染防范措施，分析二次污染防范措施的有效性和可操作性。

**潜在生态环境风险的防范：**对照污染产地所在区域前期研究的结果、田间实验长期监测结果、国内外相关研究文献资料，根据筛选的钝化剂特点、钝化机理、工艺参数，分析修复工程实施后，可能存在的潜在生态环境风险。若修复工程实施后无法确定或可能存在潜在生态环境风险，禁止修复工程实施。重新筛选钝化剂和制定修复方案。

#### **(5) 修复方案的编制**

修复方案的编制，参照 NY/T 3499 执行。

### **8.修复效果评价**

对重金属污染产地实施钝化修复工程后是否达到修复目标进行科学的评估。

对重金属污染产地实施钝化修复工程的效果评价，参照 NY/T 3343 执行。

### **9. 环境管理计划**

包括：修复工程实施环境监测要求、长期监测要求。

**修复工程实施环境监测要求：**修复工程的环境监测包括工程实施前监测、实施过程监测和工程结束后监测。修复工程实施前的补充监测，重点核实污染物种类、污染程度、污染类型等；修复工程实施中的监测，重点监控修复工程对周边环境的影响，防止二次污染；修复工程结束后，重点监测是否达到修复目标值。

**长期监测要求：**原则上采用钝化技术修复的重金属污染产地，应对修复区域土壤和农作物可食部分重金属含量情况进行长期监测。第一年和第二年每季作物监测一次，第三年及以后每年抽测一次，可根据实际情况进行调整。当监测结果表明农作物可食部分重金属浓度超过 GB 2762 规定限值时，应查明原因，及时阻隔污染途径。

对修复的农产品产地上游、中心、两侧和下游地下水的重金属含量及土壤重金属有效态含量进行长期的监测。第一年和第二年每季监测一次，第三年及以后每年抽测一次，可根据实际情况进行调整。

### **10.采样与分析方法**

#### **(1) 采样方法**

农产品产地土壤采样布点数量与位置、采样时间和方法参照 NY/T 395、NY/T 3343 执行，农作物可食部分采样布点数量与位置、采样时间和方法参照 NY/T 398、NY/T 3343 执行，地下水采样布点数量与位置、采样时间和方法参照 HJ 164 执行。

## （2）分析方法

土壤重金属全量分析方法按照 GB 15618 执行，土壤理化性质分析方法参照 NY/T 395 执行，土壤中有效态锌铜的测定参照 NY/T 890-2004 执行，土壤中有效态铅和镉测定按照 GB/T 23739 执行，土壤中有效态镍的测定按照 GB/T 23739 执行，土壤中有效态砷和铬测定目前还没有制定行业标准和国家标准，参考国际相关标准和本区域相关研究成果。农作物可食部分重金属分析方法按照 GB/T 5009 执行，地下水重金属分析方法参照 HJ 164 执行。

# 六、标准制定的主要依据与限制（限值）说明

## （一）标准适用范围的主要依据与限制

本标准适用于对农作物可食部分镉、砷、铅、铬、铜、镍、锌含量超标的中性或弱碱性土壤的钝化修复。主要考虑，目前中性或弱碱性土壤的钝化修复是热点也是难点，与酸性土壤相比，其钝化机理更为复杂、钝化效果差异较大、影响因素较多，钝化剂用量较大、钝化修复成本较高等。为了提高重金属钝化技术在中性或弱碱性土壤上实施的修复效果、减少修复成本、降低环境风险等，因此规定了本标准适用于对农作物可食部分镉、砷、铅、铬、铜、镍、锌含量超标的中性或弱碱性土壤的钝化修复。

本标准不适用于农作物可食部分汞含量超标的农产品产地土壤的修复。主要考虑到钝化技术实施后，吸附了重金属的钝化剂会长期存留在土壤中，土壤中甲基汞的毒性远大于各形态无机汞，而吸附在钝化剂表面的汞在土壤微生物-植物的作用下能否转化为甲基汞的研究目前很少，结果尚不确定。为了降低重金属钝化技术的环境风险，因此规定了本标准不适用于农作物可食部分汞含量超标的农产品产地土壤的修复。

## （二）技术应用可行性评估的主要依据与限制（限值）

本标准规定了农产品产地重金属污染土壤修复治理能否选择钝化技术，需要满足以下 5 个条件：

### 1. 农产品可食部分重金属含量

这是钝化技术应用必须满足的基本条件。因为国内外大多数研究已证实，重金属在土壤-农作物复合系统中迁移转化，受多重因素控制，包括土壤类型、作

物种类、土地利用方式、耕作措施等以及重金属种类、污染途径、污染浓度等都会影响土壤中重金属向植物体的迁移。土壤中重金属含量高并不一定会导致农产品可食部分重金属含量的超标，反之也是。本标准制定的目的是保障农产品产地产出农作物的食用安全，所以农作物可食部分重金属是否超标是判断钝化技术可行性的首要遵循原则。同时，按照《中华人民共和国土壤污染防治法》第五十三条、第五十四条规定，当农产品产地因土壤重金属污染被划分为安全利用类农用地时，可采用包括钝化技术在内的农艺调控技术。当土壤中重金属含量超过 GB 15618 中的风险管制值时，一般不采用钝化技术。

## 2. 土壤重金属污染类型

由于钝化剂种类繁多，对土壤中重金属的钝化机理十分复杂，国内外经过近70年的研究，钝化剂进入土壤后对重金属的钝化机理认识逐步成熟，其机理包括离子交换、氧化还原、吸附或沉淀、络合或螯合等。阳离子型重金属和阴离子型重金属在不同土壤环境条件下的赋存形态差异很大，其钝化机理差异也很大，在实践中一般不会将阳离子型重金属和阴离子重金属同时进行钝化修复。因此，本标准规定了单一重金属污染，可采用钝化技术；锌、铜、铅、镉、镍两种或两种以上重金属复合污染土壤，可采用钝化技术；锌、铜、铅、镉、镍中的一种及以上重金属与六价铬和砷中的一种及以上重金属复合污染土壤，慎重采用钝化技术。

## 3. 土壤中重金属的有效态含量

土壤重金属钝化过程是一个重金属总量不变，有效态含量逐渐降低的过程。在土壤-植物这个复杂的系统中，钝化效果受多种因素影响，钝化剂本身及其应用可能对土壤环境产生影响。分析归纳了我国近年来 227 篇关于 Cd 污染农田土壤钝化修复技术的文献发现，涉及的钝化剂种类近 50 种，对土壤 Cd 有效态含量的降低率从 1.06%到 99.00%不等，同种钝化剂在不同土壤中的钝化效果也不同。例如钙镁磷肥钝化剂对土壤 Cd 有效态含量降低率为 7.40%~99.00%，石灰为 6.93%~87.40%，而土壤 Cd 有效态含量降低率较低的研究多发生在待修复土壤中 Cd 有效态含量占比较低的土壤。根据前期研究成果，当重金属有效态含量低于土壤重金属总量的 20%时，钝化效果相对有限。因此本标准以重金属有效态含量占土壤重金属全量的质量分数 20 %作为限值，当大于 20%时，可采用钝化修复技术。考虑到随着科学技术的发展，不断发明出新型、高效的钝化剂，因此

本标准规定当重金属有效态含量占土壤重金属全量的质量分数小于 20 %时，应根据实验室、田间试验结果或他人在本区域前期研究结果，慎重采用钝化技术。

#### 4. 土壤中重金属污染深度

钝化技术是向污染土壤中添加一种或多种钝化剂，有效地降低重金属在土壤-植物系统中迁移性、生物有效性及毒性。考虑到重金属吸附钝化后长期留在土壤中，所以当重金属污染深度超过表土层时，或地下水埋深较浅时，会存在潜在的环境风险。因此本标准规定了当农产品产地土壤重金属污染深度超过表土层（包括耕作层和犁底层以上部分）厚度或当地下水位较浅时，原则上禁止采用钝化技术。

#### 5. 种植作物种类

由于植物生长特性与遗传特性的不同，不同农作物或同种农作物不同品种对土壤中重金属的积累效应差异较大。近年来的研究显示，重金属超积累植物根际对重金属的活化能力大于重金属耐受植物。例如编写组在pH为6.64的棕壤超级累植物红叶苜蓿研究发现，添加改性黑炭钝化剂后，植物对Cd的富集系数是耐受植物黑麦草的10倍左右。对雄安新区涉重企业周边2000亩小麦调查研究发现小麦Cd积累品种轮选103和小麦低积累品种济麦22，土壤Cd修复临界阈值分别为1.22 mg/kg和2.23mg/kg。为了提高钝化效果，增加钝化的稳定性，有效地防范生态环境风险，本标准规定了“在钝化技术实施期间，避免种植超富集农作物，以免影响修复效果。……种植适合当地生长且具有对目标重金属低累积特性的农作物”。禁止种植外来入侵物种。在未经长期试验证明污染产地所在区域种植杂交水稻对重金属具有低累积特性前，禁止种植该类作物。并给出了常见的低累积农作物品种表（附录A）。

### （三）钝化剂筛选的主要依据与限制（限值）

钝化剂是农产品产地重金属污染土壤钝化修复成功与否的关键。不仅要考虑钝化剂的钝化效果，还应避免钝化剂施用过程中引入新的污染物、过量使用影响土壤质量、防止钝化剂迁移产生二次污染风险等。钝化剂的筛选过程包括钝化剂的要求、钝化剂的施加要求、钝化剂的确定等 3 个重要环节。

#### 1. 钝化剂的要求

##### （1）钝化剂中污染物含量

钝化剂是添加到土壤中的广义土壤改良剂，其在农产品产地中应用首先应符合相应国家、行业标准中质量要求，尤其是对重金属含量的限值要求。对于所有单一或复合钝化剂中镉、砷、铅、铬、铜、镍、锌等元素和有机污染物含量，不能超过《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618）规定的筛选值。对已制定含量限值的钝化材料类型要满足相应国家、行业标准中质量要求。例如污泥基，也即以污泥为主要原料生产的钝化剂，应满足《农用污泥污染物控制标准》（GB 4284）规定限值要求，有机肥基应满足《有机肥料》（NY 525）规定限值要求，对生物质炭基钝化剂应满足《生物炭基肥料》（NY/T 3041）规定限值要求。

2020年9月1日起施行由中华人民共和国第十三届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议修订通过的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（简称“新《固废法》”）。新《固废法》要求“使用固体废物综合利用产物应当符合国家规定的用途、标准”。虽然目前某些固废农用颁布了部标、行标和地标，如化工部颁布了《磷石膏土壤调理剂》（HG/T 4219-2011）、山西省颁布了《脱硫石膏改良碱化土壤技术规程》（DB14T813-2013），安徽省颁布了《农用石灰质物料酸性土壤改良技术规程》（DB34T 1017-2009）等。但从国家层面上，目前工业固体废物农用标准只有《农用污泥污染物控制标准》（GB4284-2018），规定了城镇污水处理厂污泥应用于耕地、园地、牧草地中的污染物的控制。废止了《农用粉煤灰中污染物控制标准》（GB8173-87）。

编写组根据近10年我国对一般工业废物在重金属污染土壤钝化技术应用中的研究检索发现，粉煤灰、石灰石、脱硫石膏、城市污水处理厂污泥、赤泥、电石渣、含钙废物、磷石膏、有机废料等研究与应用的最多，但也有研究表明像赤泥、电池渣、磷石膏、污泥等一般工业固体废物应用存在着环境风险。因此，本标准对于未经长期科学试验证明工业固体废物对土壤生态环境效应及风险前，禁止使用工业固体废物。本标准在附录B中虽然列出了近年来我国大多数研究和实际应用中涉及的钝化剂，其中包括工业固体废物，但在表注中附加说明“具体选择应用时必须满足本文件“6.筛选钝化剂”中所有要求。”

## （2）钝化剂的粒径

根据国内外文献与前期研究，钝化材料的粒径与钝化效果有直接关系，一般粒径越小，钝化效果越好。但是，钝化材料粒径过小，容易通过径流和渗漏污染

水体或随风沙扬尘污染大气,具有环境污染风险。粒径过大,影响土壤理化性质,尤其是无机钝化剂、黏土矿物钝化剂等影响更为明显。因此本标准规定了无机类钝化剂粒径小于 0.425 mm、无机-有机复合钝化剂粒径小于 0.425 mm、有机类钝化剂粒径小于 10 mm,且符合上述要求的钝化剂质量占全部钝化剂质量的比重不低于 95 %。

纳米材料因其大的比表面、高的带电性,对重金属具有良好的吸附性,目前已成为环境修复研究的热点。已有研究表明:纳米零价 Fe、Zn、Ag,纳米 TiO<sub>2</sub>、ZnO、CeO<sub>2</sub> 等对土壤微生态系统均有显著的负面影响,编写组对纳米羟基磷灰石、纳米沸石、纳米 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 和碳纳米材料的研究发现:纳米材料对土壤微生物结构和功能、对蚯蚓生理生化、对植物根系细胞等都有显著负影响。同时考虑到,纳米材料应用于土壤污染修复目前还处在“实验室阶段”,且其对土壤生态环境效应还不十分清楚。因此本标准规定了在未经长期试验证明纳米钝化剂对产地所在区域生态环境影响前,禁止使用粒径小于 100 nm 的钝化剂。

### (3) 钝化剂用量

土壤中钝化剂用量与钝化效果之间的关系是随着用量的增加而增加,是不争的事实。根据国内外文献资料,绝大多数研究钝化剂用量(按占土壤质量百分比计)为0.5%~5%。也有个别研究钝化剂用量高于5%,例如,石膏用量为13%,海泡石和膨润土为9%,高岭土、蛭石、硅藻土、凹土等为20%,猪粪30%。考虑到过大的钝化剂用量不仅影响土壤理化性质,容易产生二次污染风险,而且增加土壤修复成本。另外,钝化剂用量较大的个案,往往是实验室研究结果,结合前期大田实验结果,对钝化剂用量提出限制要求。因此本标准规定原则上钝化剂年用量累计不应超过土壤质量的5.0%,连续使用不应超过5年。

### (4) 钝化剂运输和储存

钝化剂材料粒径一般小于0.425mm,在运输过程中,容易产生扬尘污染,雨雪天气则会因为降水对钝化剂质量产生影响,尤其是散装,影响更大。因此本标准要求在钝化剂的运输过程中应进行苫盖,避免钝化剂撒漏、扬尘污染,以及雨雪对钝化剂质量产生影响。

考虑到土壤修复施工前钝化剂可能需要在施工地点贮存一定时间,也应做好防雨、防风和防渗“三防”措施,避免因径流或者入渗,引起地表水和地下水、土壤、大气环境污染问题。因此本标准规定了在对污染产地进行修复前,应合理测

算钝化剂用量并提前购买或制备不低于总施加量的钝化剂。若需要在污染产地周边租赁或搭建仓库，用于钝化剂的存放时，必需有防雨、防风、防渗措施和必要的消防设施。

## 2. 钝化剂施加

### (1) 施加深度

钝化剂施加深度取决于两个主要因素，一是土壤中重金属污染深度，二是作物根系所能达到深度。由于本标准在 5.3.4 条文中已经规定了“当农产品产地土壤重金属污染深度超过表土层（包括耕作层和犁底层以上部分）厚度或当地下水位较浅时，原则上禁止采用钝化技术”。一般农作物根系和农田耕作措施所涉及的土壤深度也在表土层范围内。因此本标准规定了结合农产品产地土壤污染调查结果，根据污染场地重金属污染厚度和空间分布特征，分别向表土层土壤施加钝化剂。按照土壤的发生层次确定表土层厚度。

### (2) 施加方式

重金属污染土壤钝化修复技术通过向污染土壤中添加一种或多种钝化剂，以实现有效降低重金属在土壤-植物系统中迁移性、生物有效性及生物毒性的目的。因此本标准参照土壤改良剂等农业化学投入品施加方法，在土壤剥离、运输、储存、回覆等施工过程参照 TD/T 1048 标准执行。当适量钝化剂施加到土壤后，立即翻耕使其与土壤充分混合，翻耕深度不得超过施加钝化剂土层厚度。

### (3) 其他要求

根据已有的研究，钝化剂施入土壤后土壤中重金属有效态含量降低是波动下降的趋势，因钝化剂类型不同而已。一般在 7 天内土壤重金属有效态含量下降最快，15~20 天后达到吸附平衡。土壤水分含量越高，越利于重金属向钝化剂表面的迁移，达到平衡的时间越短。施化肥尤其是钾肥会在钝化剂表面产生竞争吸附，降低钝化剂对重金属的钝化效率。编制组在中性弱碱性 Cu、Cd 污染土壤上，分别施加膨润土和生物质炭及改性膨润土和生物质炭等钝化剂，研究土壤水分、施肥等对钝化效果的影响，得到的结论与绝大多数研究一致。因此本标准规定了施加钝化剂前应弃掉土壤中的大石块、树枝等杂物；钝化剂不能与肥料同时施加，一般应在钝化剂施入 15 天后施加肥料；施加钝化剂 7 天内，土壤含水量应保持在田间饱和持水量的 70 % 以上；施加化剂与种植农作物之间应根据钝化剂类型

和种植作物种类不同，保留一定间隔时间；施加钝化剂时工作人员应配备必要的防护装备并避免在雨雪天作业等。

### 3. 钝化剂的确定

由于重金属钝化剂研究的种类繁多，一般分为 9 大类：(1)黏土矿物、(2)碳材料、(3)含磷材料、(4)硅钙材料、(5)金属氧化物、(6)有机物料、(7)工业废弃物，(8)生物菌剂、(9)其他，文献报道的有百余种。近 4 年，已通过农业部验证的钝化剂产品就有 26 个。而重金属钝化效果受土壤性质、污染元素及浓度、钝化剂种类及用量等影响较大。选择适合修复产地钝化剂是达到良好的钝化修复效果的前提。本标准要求除已通过当地主管部门验证外，一般要采取“一地一策”通过田间试验来确定钝化剂的组成和用量。因此本标准规定参照 NY/T 2911、NY/T 3241 开展田间试验。通过田间试验确定单一或复合钝化剂各成分比例以及钝化剂的用量。并要求田间试验至少进行 1 个生长季，轮作、连作的试验要达到一个周期生产要求。

#### (四) 制定与实施修复方案主要依据与限制（限值）

目前国内尚未出台农产品产地或农用地重金属污染土壤修复治理国家标准规范，本标准参照了 HJ 25.4 对污染场地污染修复方案制定的相关规定。本标准要求根据钝化技术特点确定修复范围和修复要求，设置修复基本目标和参考目标，估算工程量和工程费用等，提出初步修复方案。同时，参照 HJ 25.4，综合考虑钝化技术实施防止二次污染、预防潜在环境风险等，制定经济、实用、可行的钝化技术方案并实施方案。

农产品产地污染土壤修复目标设置需要考虑实现的可能性、土壤的自身背景水平、经济可承受能力和社会发展水平等诸多因素，应兼顾污染产地土壤修复的环境效益、经济效益和社会效益的统一。根据本标准的定位是保障我国农业生态环境安全和农产品质量安全。因此设置基本目标为连续两年每季的农作物可食部分目标重金属污染物含量应低于《食品安全国家标准 食品中污染物限量》（GB 2762）规定限值，且当种植结构未发生改变时，修复的污染产地中农产品单位产量（折算后）与修复前同等条件相比减产幅度应小于或者等于 10%，而 10% 限值参照了农作物受灾害程度分级及农学上达成的共识。

考虑到重金属污染土壤钝化过程中土壤中重金属总量不变，有效态含量降低。因此，在满足上述基本目标要求的基础上，有条件的可设置参考目标。即若污染产地所在区域已有农用地土壤重金属有效态含量限值地方标准的，参照已有标准制定参考目标；或根据田间试验获得的土壤修复目标重金属有效态含量与农作物可食部分重金属含量的关系，建立模型测算污染农产品产地土壤重金属有效态含量应降低比例，并设置为修复目标值。

## （五）修复效果评价

农产品产地重金属污染土壤修复效果评估参照《耕地污染治理效果评价准则》（NY/T 3343），主要对评价的方法与范围、标准、评价程序提出明确要求。

## （六）环境管理计划

考虑到土壤中重金属的钝化稳定性受土壤环境和钝化材料的影响较大，随着钝化材料的老化、迁移、降解等，钝化效率逐渐下降。为保障已修复农产品产地土壤环境安全，本标准规定对修复工程实施前监测、实施过程监测和工程结束后监测，以及对修复区域土壤和农作物可食部分重金属含量情况进行长期监测。同时要求对修复的农产品产地上游、中心、两侧和下游地下水的重金属含量及土壤重金属有效态含量进行长期的监测。一旦出现农产品可食部分重金属含量超过《食品安全国家标准 食品中污染物限量》（GB 2762）规定限值，或者土壤中重金属有效态含量超过设置的修复目标要求，或者地下水中修复目标重金属超过《地下水质量标准》（GB14848）规定限制，则需及时采取风险控制措施。

## （七）采样和分析方法

本标准中所涉及的土壤布点采样、采样时间、采样方法和采样量等参照《农田土壤环境质量监测技术规范》（NY/T 395）和《耕地污染治理效果评价准则》（NY/T 3343）执行，农作物可食部分采样布点数量与位置、采样时间和方法参照《农、畜、水产品污染监测技术规范》（NY/T 398）和《耕地污染治理效果评价准则》（NY/T 3343）执行，地下水采样布点数量与位置、采样时间和方法参照《地下水环境监测技术规范》（HJ 164）执行。

本标准中所涉及的土壤样品分析方法按照《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618）和《土壤质量 有效态铅和镉的测定 原子吸收法》（GB/T 23739）执行，参照《农田土壤环境质量监测技术规范》（NY/T 395）和《土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTPA)浸提法》（NY/T 890）执行，土壤中有有效态砷和铬测定目前还没有制定行业标准和国家标准，参考国际相关标准和本区域相关研究成果。农作物可食部分重金属分析方法按照食品安全国家标准 GB/T 5009.11、GB/T 5009.12、GB/T 5009.15、GB/T 5009.123 和 GB/T 5009.138 执行，地下水重金属分析方法参照《地下水环境监测技术规范》HJ 164 执行。

## 七、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

### （一）与法律法规要求符合性

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国土壤污染防治法》以及《土壤污染防治行动计划》等法律法规，防治环境污染，规范农产品产地重金属污染土壤钝化修复工程的建设 and 实施，防止农产品产地土壤重金属钝化修复过程中引起的二次污染和潜在的环境风险，保障我国农业生态环境安全和农产品质量安全，制定本标准。《土壤污染防治法》第五十三条规定，对于安全利用类农用地地块，责任部门应制定并实施农艺调控、替代种植，定期开展土壤和农产品协同监测与评价，或其他风险管控措施。第五十七条规定，对产出的农产品污染物含量超标，需要实施修复的农用地地块，责任人应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农作物食用部分，确保农产品质量安全。本标准采取的技术属于农艺调控措施，阻隔土壤中重金属污染物进入农作物可食部分，技术类型和作用效果符合国家法律要求。

### （二）与国家强制性标准要求的符合性

《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618-2018）规定，对于土壤镉、汞、砷、铅、铬的含量高于风险筛选值、等于或低于风险管控值时，原则上应当采取农艺调控、替代种植等安全利用措施。针对轻微、轻度重金属污染土壤钝化技术，适用于重金属含量高于风险筛选值、等于或低于风险

管控值的土壤修复。《食品安全国家标准 食品中污染物限量》（GB 2762-2017）规定了农作物可食部分中重金属的限值。为达到上述标准，必须对超标土壤进行修复。因此，上述两个强制性标准是本标准确定修复目标值、修复效果评估等主要依据。同时，本标准又是上述标准实施的配套技术标准。

### （三）与其他标准规范的协调性

本标准规定了农产品产地重金属污染土壤钝化过程中所遵循的基本原则、程序、内容和技术要求。在标准编写过程中通过在标准中主要引用国家标准（GB）和行业标准（HJ、NY、TD），将有关标准中的技术内容纳入所制定的标准中，构成该标准的一部分内容，以保持本标准与相关标准技术内容的协调性。

确定农产品产地重金属污染土壤是否适用钝化技术引用了 GB 2762、GB 15618 和 NY/T 395；钝化剂的筛选：限制钝化剂中重金属和有毒有害物质的含量引用了 GB 4284、GB 15618、NY 525 和 NY/T 3041；规范土壤剥离、运输、储存、回覆等施工过程引用了 TD/T 1048；规范确定钝化剂种类、用量等的田间试验引用了 NY/T 2911、NY/T 3241；确定修复目标值引用了 GB 15618、GB 2762；编制修复方案引用了 NY/T 3499；评估钝化修复效果引用了 NY/T 3343；布点采样引用了 NY/T 395、NY/T 3343、NY/T 398、NY/T 3343、HJ 164、NY/T 398、NY/T 3343 和 HJ 164；样品分析 GB 15618、NY/T 395、NY/T 890-2004、GB/T 23739、GB/T 23739、GB/T 5009.11、GB/T 5009.12、GB/T 5009.15、GB/T 5009.123、GB/T 5009.138 和 HJ 164。

上述标准的引用，使得本标准文本更加简洁、清晰、易懂，避免了重复写出引用文件的内容而引起不必要的差错和标准间的不协调，也避免增加标准的篇幅。

## 八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

## 九、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

建议《农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程》作为推荐性国家标准颁布实施。

## 十、贯彻国家标准的要求和措施建议

在本标准发布后，组织对本标准进行宣传和贯彻培训。由各级生态环境主管部门会同农业农村等相关主管部门监督实施。

## 十一、废止现行有关标准的建议

无。

## 十二、其他应予说明的事项

无。