

# 团 体 标 准

T/XXX XXXX—XXXX

## 典型大宗固体废物土壤化利用技术导则

Technical guidelines for soil formation of typical bulk solid wastes

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国国际科技促进会 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 总则 ..... 3

5 典型大宗固体废物特征分析 ..... 5

6 土壤化技术导则 ..... 6

7 土壤化过程管理 ..... 7

8 使用规定 ..... 8

9 标准分级 ..... 8

附 录 A （规范性） 典型大宗固体废物土壤化方案（设计）编写纲领 ..... 12

附 录 B （资料性） 典型大宗固体废物及土壤化对象一般特征 ..... 15

附 录 C （资料性） 土壤化过程涉及指标分析方法 ..... 17

## 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。

本文件由中国国际科技促进会提出并归口。

本文件起草单位：昆明理工大学、江西理工大学、深圳市景泰荣环保科技有限公司、中国市政工程西北设计研究院有限公司、天津大学、华中科技大学。

本文件主要起草人：瞿广飞、罗仙平、吴 锋、杨晨光、康建雄、刘家臣、罗才贵、周 丹、姜刘志、周连宁、徐婷婷、郑锐滨、韩正平、姜 薇、董 鹏、陈帮金、李军燕、陈远翔、吴丰辉。

# 典型大宗固体废物土壤化利用技术导则

## 1 范围

本文件提供了典型大宗固体废物进行土壤化的总则、工作程序、技术实施规范、土壤化产物污染控制及过程管理相关内容。

本文件适用于八个品类典型大宗固体废物的土壤化利用和极端条件下的土壤化，具体包括尾矿、工业副产石膏、冶炼渣、污泥、畜禽粪污、农作物秸秆、煤矸石、粉煤灰的土壤化利用，以及包括盐碱、沙化、酸化、高寒冻融等特殊条件导致的退化或耕作障碍废弃渣土的土壤化。

## 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 5085（所有部分） 危险废物鉴别标准  
GB 8978 污水综合排放标准  
GB/T 14848 地下水质量标准  
GB 16297 大气污染物综合排放标准  
GB/T 19231 土地基本术语  
GB/T 21010 土地利用现状分类  
GB 50137 城市用地分类与规划建设用地标准  
HJ 298 危险废物鉴别技术规范  
HJ/T 332 食用农产品产地环境质量评价标准  
HJ/T 333 温室蔬菜产地环境质量评价标准  
HJ 557 固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法  
HJ 964 环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）  
NY/T 1121（所有部分） 土壤检测  
NY/T 3034 土壤调理剂 通用要求  
TD/T 1036 土地复垦质量控制标准

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 大宗固体废物 bulk solid wastes

我国各领域在生产活动中单一品类年产生量在1000万吨以上的固体废物。其中尾矿主要包括黑色金属尾矿铁尾矿和锰尾矿，有色金属尾矿铅锌尾矿、钨尾矿、锑尾矿、铜尾矿等，非金属尾矿磷尾矿、灰岩尾矿、高岭土尾矿等，含轻金属锂、钾、镁等盐湖尾矿，以及稀土矿尾矿；工业副产石膏包括磷石膏、脱硫石膏及其它的柠檬酸石膏、盐石膏等；冶炼渣包括钢铁工业废渣和冶金工业固废，具体包括高炉渣、钢渣、赤泥等；污泥包括给水污泥、生活污水污泥以及不含有毒有害污染物的一般工业污泥；畜禽粪污包括猪粪、牛粪、鸡粪等；农作物秸秆以禾类、豆类、薯类等粮食作物秸秆为主。

### 3.2

#### 废弃渣土 abandoned residue and soil

因冻害、沙化、旱涝、盐碱化、酸化等自然原因和生产活动损毁、管理落后、污染等人为原因造成的系统结构破坏、生态失衡、功能丧失的土壤。

### 3.3

#### 土壤化 soil formation

基于典型大宗固体废物(3.1)与废弃渣土(3.2)无害化处理而赋予目标土壤相关的物理、化学、生物功能和特征,且不对人体健康和周围环境产生危害的废物土壤利用方法。

### 3.4

#### 土壤化基质 substrates for soil formation

土壤化(3.3)过程中由单一或多种经一定无害化技术处理后的典型大宗固体废物和废弃渣土复配而成的土壤基质,使用量 $\geq 75\%$ ,是土壤结构的主要组成部分。

### 3.5

#### 土壤化外加剂 admixtures for soil formation

土壤化(3.3)过程中以典型大宗固体废物(3.1)为主的添加剂组分,用以改善土壤基质理化特性促使其形成最终的土壤。

### 3.6

#### 土壤化调理剂 conditioner for soil formation

基于用途而制备的典型大宗固体废物(3.1)基材料,一方面针对某种固体废物特征能持续性地改善废物基土壤理化特性和提高污染物无害化效率,促进生态功能重构,另一方面用于改良耕作障碍土壤。

### 3.7

#### 土壤化产物 soil formation products

针对典型大宗固体废物(3.1)或废弃渣土(3.2),通过一定技术手段赋予其土壤相关的性质以满足人们特定需求的产物,包括废物基土壤和土壤化调理剂(3.6)。

### 3.8

#### 限制性因素 limiting factors

影响土壤化产物(3.7)质量与综合利用的包括重金属、有机污染物、病原生物和其它有毒有害污染物,以及养分状况、持水保肥能力、生化反应条件、可塑性、微生物等在内的一种或多种影响因素,是典型大宗固体废物土壤化利用需解决的关键问题。

### 3.9

#### 物理化学改良技术 physical chemistry improvement technologies

利用物理或化学的方法,解决典型大宗固体废物(3.1)和废弃渣土(3.2)理化性质差和潜在污染性强的问题,并赋予其健康土壤的特征以使其适合植物生长。技术特点在于改善固体废物土壤性状,是充分发挥固体废物优势和提高土壤化质量的基础技术之一。

### 3.10

#### 生物处理技术 biological treatment technologies

土壤化(3.3)过程中利用微生物或生物的作用,将有机物转化为稳定的营养基质、能源或其它有用物质,同时改善土壤结构和提高土壤活性。

### 3.11

#### 联合处理 combined-treatment technologies

应用温度场、电场、磁场、光照等多物理场单一或协同地联合物理化学改良技术(3.9)或生物处理技术(3.10)强化土壤化(3.3)过程并改善大宗固废基土壤的理化特性。

### 3.12

#### 团聚体 soil aggregate

土粒或土壤微团聚体经凝聚胶结作用后形成的直径 $10\sim 0.25\text{mm}$ 的个体。

### 3.13

#### 孔隙度 soil porosity

单位容积土壤中孔隙容积占整个土体容积的百分数,其中当量孔径大于 $0.002\text{mm}$ 的为通气孔隙。

### 3.14

#### 污染物限值 Limiting values of pollutants

典型大宗固体废物(3.1)与废弃渣土(3.2)经过处理后的土壤化产物中任一污染物浓度不得超过的限值,亦指土壤利用过程中经过生物、耕作、淋溶等作用后任一污染物浓度不得超过的限值。

### 3.15

#### 农用地 agricultural land

用于农业生产的土地，包括GB/T 19231和GB/T 21010中的所列的耕地（水田、水浇地、旱地）、园地（果园、茶园）和草地（天然牧草地、人工牧草地），以及服务于农业的其它用地。

### 3.16

#### 非农用地 non-agricultural land

除农用地（3.15）类型外的矿山生态复垦、边坡用土、建设用土、林业用土，以及极端环境条件下的生态用土。

### 3.17

#### 物理化学指标 soil physical and chemical indexes

通过研究土壤三相的物理运动形式和物质化学运动及其相互关系，阐明土壤肥力本质和土壤演变规律的指标，主要包括养分、阳离子交换量、pH、容重、电导率、氧化还原电位、团聚性能、含水率等。

## 4 总则

### 4.1 一般规定

4.1.1 针对特定固体废物土壤利用发布的专用国家环境保护标准的，其处理、利用、土壤化过程执行专用环境保护标准。

4.1.2 土壤化所使用的固体废物根据 GB 5085 以及 HJ 298 要求鉴别后不具有腐蚀性、毒性、易燃性、传染性、反应性中一种或多种危险特性的固体废物，且未列入《国家危险废物名录》。

### 4.2 土壤化工作程序

废弃渣土及典型大宗固体废物土壤化工作可划分为土壤化可行性分析、方案论证、技术实施和产品质量管理四个阶段，主要的土壤化工作程序见图1。

### 4.3 可行性分析

4.3.1 基于国家和地方土壤环境以及固体废物资源化相关的法律、法规、政策、标准和规划等资料，结合国内外典型大宗固体废物综合利用与废弃渣土再利用研究进展，明确典型大宗固体废物及废弃渣土的基础理化特性。结合工程技术成熟度，创新土壤化利用方式，分析并确定技术、经济、社会三个方面的可行性。

4.3.2 分析内容主要包括：分析有关国家政策方针、标准规定以及社会需求，明确典型大宗固体废物与废弃渣土的土壤化利用在促进高质量发展方面的重要意义；分析典型大宗固体废物与废弃渣土的理化特性，明确污染物控制、生态功能恢复或重构、土壤化技术开发可行；分析土壤化产物与副产物可能的环境影响途径，基于用土环境并参考标准 HJ 964 初步评价其生态影响。

### 4.4 方案编制与论证

4.4.1 应紧紧围绕典型大宗固体废物土壤化关键技术与创新编制土壤化方案（设计）以保证土壤化工作顺利开展，内容包括但不限于：项目概述、关键技术与创新、项目建设与实施、环境影响评价、产品质量控制、组织与管理等，同时编制多种可供选择的替代方案。通过相关部门审查或组织征求领域专家意见，从社会需求、技术与管理、产品质量以及综合效益四个方面作出肯定的结论。

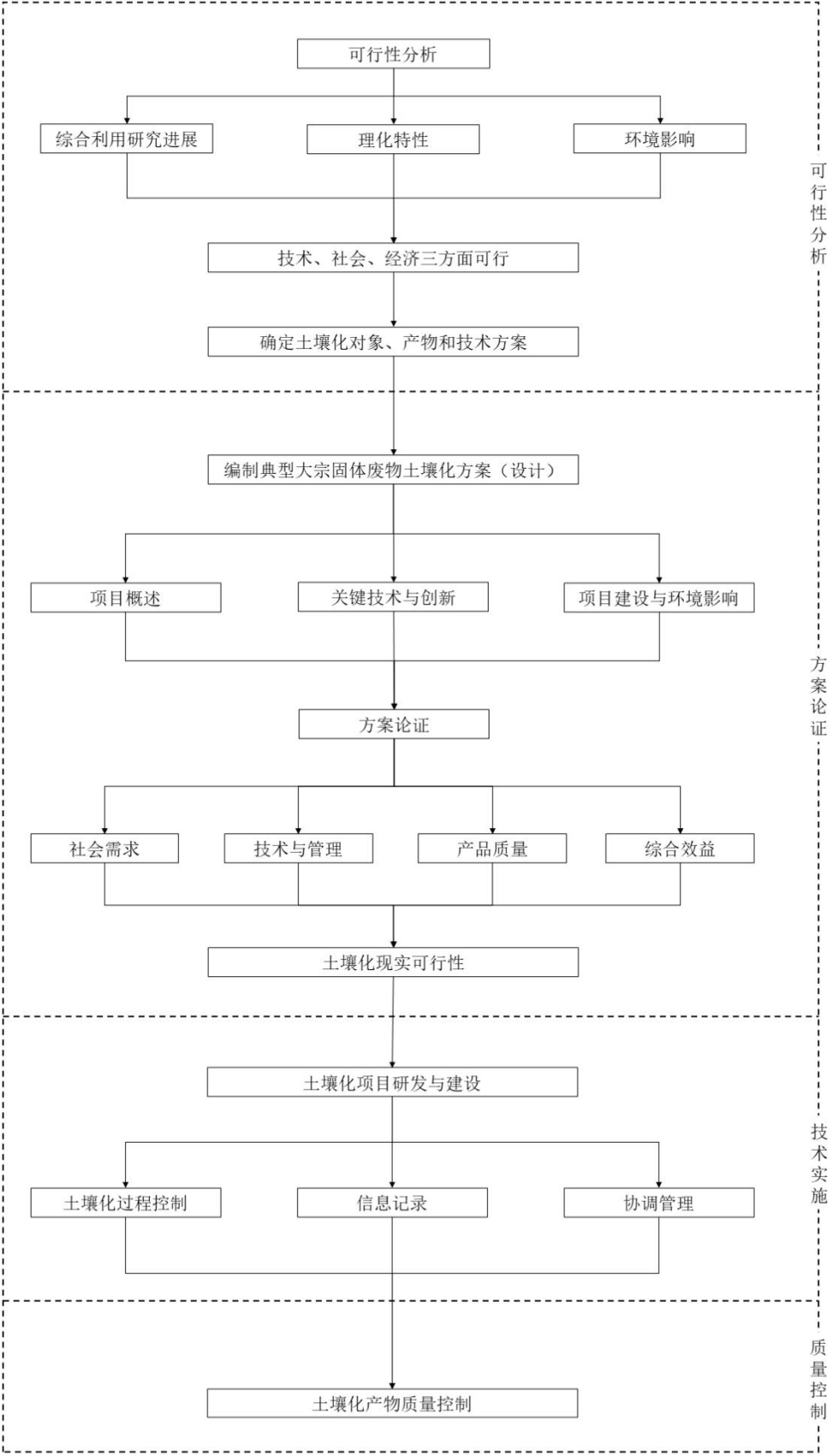


图 1 土壤化利用工作程序图

4.4.2 典型大宗固体废物土壤化方案（设计）编写纲领见附录 A。

4.4.3 典型大宗固体废物土壤化方案论证内容主要包括：废物处理和土壤化利用两方面的需求；土壤化关键技术创新性与成熟度以及过程管理的协调性；土壤化产物中污染物的环境效应以及基于用土要求的质量控制；预期实现的经济效益、社会效益和生态效益。

#### 4.5 技术实施

4.5.1 典型大宗固体废物土壤化过程应满足本文件和国家环境保护的相关要求，技术实施过程中的设计、施工以及设备运行还应符合有关行政法规规定、国家及行业标准要求。

4.5.2 衔接和协调原料、资金、设备等方面的管理，通过招聘和培训相关专业技术人员和培训工人保证项目投产与运行。

#### 4.6 产品质量控制

土壤化产物的质量控制包括固体废物主要污染物和土壤健康指标，主要污染物严格执行本文件及国家或地方标准所规定的风险限值。基于用土需求，结合理化性质、土壤活性、生态功能综合评价产品质量，并实时反馈给生产部门。

### 5 典型大宗固体废物特征分析

#### 5.1 一般说明

5.1.1 参照固体废物浸出毒性、土壤检测系列标准和有关分析测试方法确定土壤化对象的主要污染物及其赋存形态，分析典型大宗固体废物或废弃渣土的土壤化限制因素。分析内容包括：养分状况、阳离子交换量、酸碱度、氧化还原电位、电导率、团聚性能、容重、孔隙度、透水性、可塑性和生物毒性。

5.1.2 土壤化所涉及典型废物的一般特征列于表 B.1 中。

#### 5.2 限制性因素解除要求

5.2.1 土壤化过程应根据用土要求和产地特征，结合可能的土壤健康影响，以实现废弃物无害化利用为原则，需针对性地解除土壤化利用关键性限制因素，主要包括以下方面：

- a) 重金属类：包括汞、镉、铅、铬等生物毒性显著以及铜、锌、锡、镍、钴、锑、钒等环境危害性强的重金属元素，需降低其在土壤中的迁移性和有效性，对容易再次释放的采取有效技术措施降低生态风险；
- b) 有机污染物类：包括碳氢化合物（苯、甲苯、二甲苯的异构体等苯系物，以及苯并[a]芘等多环芳烃）、有机卤化物（有机氯溶剂、消毒副产物等）、含氧化合物（酚和羧酸酯）、含氮化合物（表面活性剂）以及其它具有生物蓄积性、半挥发性和高毒性的持久性有机污染物（POPs，包括有机氯农药、多氯联苯等）。解除有机污染物对微生态的毒性限制，使其保持在不对生态环境与人体健康产生威胁的范围内；
- c) 病原生物类：包括污水污泥、粪肥和垃圾中携带的肠道病毒（肠病毒、腺病毒、星状病毒等）、原生动物（隐孢子虫、贾第虫等）、细菌（沙门氏菌、志贺氏菌、耶尔森菌等）、寄生虫卵等致病生物，应采取灭活措施使其不破坏土壤化产物微生态和不对动植物有直接或间接的致病影响；
- d) 其它有毒有害污染物：包括砷、氟化物、抗生素（土霉素、四环素、金霉素等）等，避免土壤化产物和动植物暴露于大量的砷和氟化物中，须采取有效的去除措施以降低其土壤残留，降低抗生素在微生物间的水平迁移与放大和动植物食品中残留风险；
- e) 盐分：需保持水溶性盐含量在 3.50 g/kg 以下，减少因渗透势改变和离子毒害等作用造成的土壤化产物微生态破坏与产力低下；
- f) 养分状况：土壤养分状况指标包括有机质、大中微量营养元素、阳离子交换量等。应保持溶解性和微溶性有机质的比例远大于木质素和纤维素等难降解有机质的比例；基于用土需求维持营养元素平衡，防止因氮磷以及金属元素含量过剩导致的生态失衡与环境破坏；维持阳离子交换量以确保土壤化产物的养分供应与保持；



- g) 持水保肥能力：包括含水率、孔隙度、团聚性能指标。需保持土壤化产物含水率为 13%~28% 以维持正常的土壤生态循环与植物生长；用于作物种植的土壤化产物总孔隙度为 35%~60%，旱作时通气孔度不低于 10%，大小孔隙之比为 1:2~4 较为合适。用于旱地种植时土壤团聚体的直径为 10~0.25mm，最好为 1~4mm 的边缘不明显的非球形，水田利用时直径一般小于 0.25mm；
  - h) 生化反应条件：包括电导率、氧化还原电位、酸碱性等与土壤系统生化反应密切相关的指标。pH 为 5.2~8.0 时有良好的生化反应性；维持适宜的氧化还原电位 200~700mV 以保持正常的养分循环与能量传递；维持电导率值为 0.2~2.5ms/cm，用于作物种植时应在 0.2~0.8ms/cm 范围内；
  - i) 可塑性：土壤化产物应由均等的固相和孔隙构成，固相中除有机质外砂粒、粉粒、粘粒三者比例应差别不大。
- 5.2.2 土壤化过程的关键技术在于解除典型固体废物的微生物生存限制，并注重增加在促进植物生长、养分循环和生态重构等方面的生物多样性。
- 5.2.3 典型大宗固体废物和废弃渣土的土壤化利用还应根据当地发展情况结合废物产生特征，着力解除研发、建设、运行等方面的成本限制。
- 5.2.4 有关限制性因素解除的其它指标见 9.1 与 9.6.2。

## 6 土壤化技术导则

### 6.1 基本规定

- 6.1.1 典型大宗固体废物与废弃渣土的土壤化利用包括用作土壤化基质、土壤化外加剂和土壤调理剂。
- 6.1.2 土壤化基质根据技术可行、经济适宜、社会接受的原则以及原料产地、用土类型和其它废物特性进行综合评估后确定。
- 6.1.3 土壤化外加剂是土壤化过程中所使用的添加剂组分，应以本文件涉及的固体废物为主，改善土壤化基质理化特性的同时具有明显的废物协同处理处置效益。
- 6.1.4 遵循少量高效和经济的原则研发固废基土壤调理剂。一方面针对某种固体废物特征，土壤化产物使用过程中持续地改善理化特性和保持潜在污染性处于较低水平，完善土壤生态功能并增强稳定性，另一方面用于改良耕作障碍土壤。
- 6.1.5 土壤调理剂分为矿物源调理剂、有机源调理剂和化学源调理剂 3 类，经无害化处理和加工制成，或能与土壤化产物协同作用实现污染物长效固定及无害化处理以达到利用要求。用于改良耕作障碍土壤时应符合标准《土壤调理剂 通用要求（NY/T 3034）》的相关要求。
- 6.1.6 矿物源土壤化调理剂针对土壤元素失衡，用以改善物理、化学、生物性状，应富含钙、镁、钾、硅、磷等元素，使用时应明确相应组成及含量并做标识；有机源土壤调理剂主要以污水污泥、畜禽粪污或农作物秸秆为原料，经无害化处理或标准化工艺加工而成，用作协同土壤化产物使用的应明确所含重金属、病原微生物、持久性污染物、抗生素等污染物的种类与含量，综合评估其生态环境污染风险；化学源调理剂包括化学制剂或化学制剂加工物，用于改善土壤化产物和障碍土壤理化性状。

### 6.2 技术导则

- 6.2.1 土壤化前端处理是针对典型大宗固体废物或废弃渣土中主要污染物无害化处理需要，降低有毒有害物质对土壤化进程的影响以及环境危害，同时满足土壤化的基本要求。
- 6.2.2 土壤化过程处理是基于典型大宗固体废物和废弃渣土特性，结合土壤化产物指标，在满足土壤物相组成的基础上进一步赋予其土壤相关的物理、化学、生物功能和特征。
- 6.2.3 土壤化末端处理是针对产品储存和使用环境进一步完善土壤理化性质，促进结构与功能塑造，实现土壤化产物可持续性利用的目的。
- 6.2.4 前端处理后的尾矿和磷石膏等土壤化基质材料按照 HJ 557 规定方法获得的浸出液中非植物所需的重金属、氰化物、氟化物及其它危害性有机物等污染物浓度不超过 GB 8978 最高允许排放浓度，且 pH 在 5~9 范围内。
- 6.2.5 典型大宗固体废物和废弃渣土的土壤化技术包括物理化学改良、生物处理以及联合处理等。针对重金属、有机污染物、病原生物和其它有毒有害污染物，以及养分状况、持水保肥能力、生化反应条

件、可塑性、微生物生态特征等限制性因素，根据协同处理原则选择相应的土壤化技术。

6.2.6 以磷尾矿、煤矸石、钢渣为代表的大宗固体废物含有大量植物所需养分，应采取适当的方法与措施进行活化实现高效利用，也应控制土壤化利用过程中营养元素释放速率。

6.2.7 基于当地废物产出特征，过程中使用的土壤化外加剂需满足对土壤化进程促进效果显著而无明显污染特性的要求。

6.2.8 针对于纤维含量较高的农作物秸秆以及含病原微生物、抗生素、重金属的畜禽粪污土壤化前端处理推荐采用堆肥、发酵、腐熟等技术手段使其形成易被植物吸收利用的养分，并以废弃物利用与污染物协同减排的相关先进技术为指导。

6.2.9 通过增大土壤化产物透气性或引入热的不良导体提升保温性能，增强土壤的环境抗逆能力。

6.2.10 基于安全、经济、高效原则，研发电场、磁场、温度场、光照等多物理场单一或协同地联合物理化学改良技术，发展功能材料和微生物处理技术强化土壤化过程。注重可迁移、一体式、多功能土壤化技术与装备研发。

### 6.3 技术路线推荐

6.3.1 重金属类：通过酸碱控制技术、氧化/还原电势控制技术、沉淀技术、吸附凝聚技术、离子交换技术以及脱附、淋洗技术实现重金属稳定化或去除；

6.3.2 有机污染物类：应用生物工程技术如基因工程、酶工程、细胞工程等实现有机污染物的靶向降解，使用黏土矿物改性技术、催化剂催化技术、纳米材料与技术以及热脱附或蒸汽浸提技术去除有机污染物。

6.3.3 病原生物类：针对前端固体废物病原生物污染，采用辐射杀菌、高温堆肥和好氧微生物发酵，以及密封发酵法、药物灭卵法和沼气发酵法等技术方法进行无害化灭菌。末端的土壤化产物可通过微生物防治、施药灭菌以及调节理化性质控制病原生物传播。

6.3.4 其它有毒有害污染物：使用化学淋洗（萃取）、电动处理或渗透性反应墙-电动法联用技术降低砷和氟的含量；通过药剂稳定、生物稳定等方法控制生态毒性；以热脱附、添加抑制剂、高温堆肥等方式防止抗生素抗性基因进入土壤化产物。

6.3.5 养分状况：使用发酵腐熟的典型大宗固体废物如畜禽粪污、污泥、秸秆以及有机肥等改善有机质含量和土壤化产物结构，并针对性地使用元素肥维持营养平衡。

6.3.6 持水保肥能力：使用保水剂、抗旱剂和抗蒸腾抑制剂改善土壤化产物持水性能，使用有机粪肥及具有相似功能的有机废物可以改善土壤结构，增强肥力。

6.3.7 生化反应条件：通过改变含水率或土壤孔隙度和容重来改变氧化还原电位值；电导率较高时可通过盐分淋洗、盐离子药剂固定等方法控制，较低时适量补充养分；pH调控优选废物中和的方法，包括使用具有较强酸/碱性的废气、废液或固体废物，同时考虑污染物的协同处理。

6.3.8 可塑性：通过添加有机废物、掺粘或掺砂等方式改良质地，改善土壤化产物可塑性。

6.3.9 微生物生态特征：协同有解磷固氮等功能微生物的固体废物处理措施增加微生物多样性和系统代谢能力；基于土壤化基质材料筛选与培育土著微生物，构建微生物类群、有机质、团聚性能作用平台；也可将哈茨木霉、淡紫紫孢菌、拜赖青霉、枯草芽孢杆菌等有益微生物制成菌剂应用到土壤化过程中以改善土壤生态结构并增大有毒害物质无害化率。

## 7 土壤化过程管理

7.1 典型大宗固体废物与废弃渣土的土壤化过程与产物应进行整体的环境防治计划，识别典型大宗固体废物与化学品在运输与库房存储过程的环境安全风险，应满足相应防泄漏、防雨淋、防扬尘等环境保护要求。

7.2 明确记录固体废物特性、外加剂、土壤化实施过程以及产物质量与检验信息，资料信息按照国家档案管理等法律法规进行整理与归档并保存。

7.3 土壤化项目建设需具备主要污染物检测能力与检测设备，针对风险识别制定厂区环境监测计划，应有安全与应急处置的规章制度。

7.4 应识别火灾、爆炸以及毒性伤害等常见事故，同时也要明确事故发生后可能的伴/次生风险，有针对性地落实安全计划并做好应急救援的各项准备工作，建立安全隐患排查机制。

7.5 淋洗及土壤化工艺产生的废水废液应进行雨污分离收集处理，优先回收有用资源和回用，处理后达到 GB 8978 要求后排放，有相关行业标准规定的按行业标准执行。

7.6 生产装备以及生产厂区无组织气体排放应符合 GB 16297 规定排放限值的相关要求。

## 8 使用规定

8.1 土壤化过程结束后还需要进一步综合评估土壤化产物环境风险和质量，在实现污染物可控的基础上满足相关用土需求。

8.2 土壤化产物按其质量特征可应用于以下情形：

- a) 矿山生态复垦，包括边坡修复和裸露地覆盖用土、重污染土壤置换用土以及陷空区土壤补偿；
- b) 边坡用土，包括路域边坡工程用土和客土喷播；
- c) 建设用土，包括 GB 50137 规定的城市建设用地中的居住用地、公共管理与公共服务用地、公园绿地、工业用地以及道路建设与交通设施用地；
- d) 农、林用土，包括苗木培育、林地培育、荒漠绿化、盐碱和酸地用土，客土法等污染土壤修复用土，以及农业用土；
- e) 极端环境条件下的生态用土，包括高寒冻融、盐碱、酸化、沙化、及其它耕作障碍环境中的生态用土或调理剂。

8.3 土壤化产物应用于土地复垦的，对耕地、园地、林地、草地应控制土壤容重、土壤质地、砾石含量、pH 值、有机质、电导率等指标，边坡用土还应具有一定的工程强度，具体控制标准应符合 TD/T 1036 的相关规定。具体的土地分类按照 GB/T 21010 划分。

8.4 涉及污泥的土壤化产物不用于耕地、园地、牧草地等农用地，用于矿山生态复垦、边坡用土、建设用土、林业用土，以及极端环境条件下的生态用土等非农用地时，使用规范参照 9.3.4、9.3.5 和 9.3.7 中的要求，每年每万平方米土地的干污泥使用量不超过 30000kg。

8.5 土壤使用环境包括露天和大棚利用，大规模的露天使用时应针对所使用固废的特征污染物需进行水体和土壤监测，并充分评估土壤化利用后对地形地貌以及生态过程引发的水体和土壤污染问题，控制其潜在的环境污染风险。大棚利用时，作食用产品种植的还应符合 HJ/T 332 和 HJ/T 333 有关的污染物控制规定，不含植株残体、杂草籽等残留物。

## 9 标准分级

### 9.1 污染物限值与分级

以生态环境防治与保护人体健康为原则的土壤化产物污染物限值包括严格控制项目（表1）、选择控制项目（表2）和卫生学指数（表3），所涉及的土壤污染物测试分析方法参照附录C。其中严格控制项目主要包括影响土壤化过程及其产物利用的常规污染物，以及部分高毒性污染物，共11项，在典型大宗固体废物土壤化利用过程中必须执行。选择控制项目包括对环境和人体有较长期影响或毒性较大的污染物，共计34项，根据土壤化材料来源与利用要求选择控制。

表 1 土壤化产物严格控制项目限值与分级

单位：mg/kg

序号	项目	一级	二级	三级	四级	五级
1	汞	2	2	3	10	15
2	镉	0.3	1	3	10	15
3	铅	100	150	300	500	1000
4	铬	120	200	350	500	1000
5	砷	15	20	30	120	75
6	铜	75	150	300	800	1500
7	镍	75	80	100	150	200
8	锌	200	250	500	1500	3000
9	六六六总量	0.1			1	3.2
10	滴滴涕总量	0.1			8	40
11	苯并[a]芘	0.55			0.75	1.5

序号	项目	一级	二级	三级	四级	五级
重金属和类金属含量以干基总量计： 六六六总量为 $\alpha$ -六六六、 $\beta$ -六六六、 $\gamma$ -六六六、 $\delta$ -六六六四种异构体的含量总和； 滴滴涕总量为 p, p'-滴滴伊、p, p'-滴滴滴、o, p'-滴滴涕、p, p'-滴滴涕四种衍生物的含量总和。						

表 2 土壤化产物选择控制项目限值与分级

单位：mg/kg

序号	项目	A 级	B 级
1	甲基汞	2.5	50
2	锑	10	180
3	钴	15	100
4	锡	10	150
5	钒	90	750
6	水溶性氟化物（以 F 计）	5	15
7	氰化物	11	200
8	土霉素	0.5	
9	金霉素	0.1	
10	四环素	0.05	
11	苯	1	10
12	间-二甲苯；对-二甲苯	100	600
13	邻-二甲苯	100	700
14	硝基苯	20	100
15	四氯化碳	0.45	45
16	氯仿	0.15	2.5
17	氯甲烷	6	40
18	二氯甲烷	45	500
19	四氯乙烯	5	100
20	三氯乙烯	0.35	3.5
21	氯乙烯	0.06	1.2
22	氯苯	34	300
23	2, 4-二氯酚	55	800
24	2, 4, 6-三氯酚	20	140
25	五氯酚	0.55	5
26	萘	10	140
27	邻苯二甲酸二（2-二乙基己基）酯	21	240
28	邻苯二甲酸二正辛酯	200	2800
29	六氯苯	0.15	2
30	多氯联苯（总量）	0.5	1
31	二噁英类（总毒性当量）	$5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-5}$
32	多溴联苯（总量）	0.01	0.1
33	石油烃（ $C_{10} \sim C_{40}$ ）	500	4500
34	溴仿	16	200

表 3 土壤化产物卫生学标准

序号	控制项目	限值
1	蛔虫卵死亡率 / %	$\geq 95$
2	粪大肠菌值	$\geq 0.01$

## 9.2 利用规范

典型大宗固体废物或废弃渣土的土壤化利用适用于表1、表2和表3中规定的有关限值；用途为农业种植的土壤需满足表1中三级及以上限值和表2中A级限值；用途为非农业种植的土壤需满足表1中五级限值的基本要求，以及满足表2中B级限值；用途不明确的，需满足表1中2级限值要求和表2中A级限值要求。

## 9.3 土壤化产物分级利用

- 9.3.1 一级标准是可以直接用于农业种植的限值要求，即适用于耕地、果园、牧草地等农用地的要求。
- 9.3.2 二级标准适用于无特殊重金属或有毒有害物质生物蓄积能力的作物种植，以及重污染土壤置换用土。
- 9.3.3 三级标准是区分农用地与非农用地土壤化利用的界限，适用于盐碱、酸化和其它耕作障碍土地的改良与调理。
- 9.3.4 四级标准适用于人员密集地用土要求，即适用于居住用地、公共管理与公共服务用地和公园绿地的用土要求。其中公共管理与公共服务用地包括学校、医疗、广场、绿化等设施用土。
- 9.3.5 五级标准适用于所有土壤化产物，包括矿山生态复垦用土（边坡修复、裸露地覆盖、陷空区土壤补偿）、边坡用土（路域工程用土与客土喷播）、林地用土（荒漠绿化、林地培育和苗木培育），以及高寒冻融、沙化等极端环境条件中生态用土或改良。
- 9.3.6 A 级标准适用于农业用地的土壤化利用，包括直接用作植物栽种或作为土壤调理剂。
- 9.3.7 B 级标准适用于除 9.3.6 外农用地的土壤化利用。

9.4 土壤化利用过程地下水监测

用于矿山生态环境修复用土的，对地下水的监测项目包括常规指标pH、硫酸盐、氯化物、铁、锰、铜、锌、氰化物、氟化物、汞、砷、硒、镉、铬（六价）、铅，非常规指标镍、锑、钼，其污染限值按照GB/T 14848执行。

9.5 土壤化利用过程空气监测

用于温室大棚等封闭空间表层覆盖土，其中利用面积大于700 m²的，需监测基本控制项目二氧化硫、氟化物、铅和二氧化氮，以及选择性控制项目总悬浮颗粒和苯并[a]芘，污染风险限值按照HJ/333执行。

9.6 物理化学指标

- 9.6.1 基于不同用土需求选择并确定土壤化产物与土壤调理剂的物理化学指标。
- 9.6.2 一般营养指标如下：
- a) 土壤化产物应基于使用需求包含植物必须的 16 种营养元素，重量占固体物质总重量的 90%以上，具体为碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)、硼(B)、氯(Cl)，分析方法按照 NY/T 1121 土壤检测系列标准有关规定；
  - b) 有机质及大量元素养分含量分级情况如表 4 所示；
  - c) 阳离子交换量和中量元素养分含量分级情况如表 5 所示；
  - d) 微量元素有效养分含量分级情况如表 6 所示。

表 4 有机质及大量元素养分含量分级

单位：g/kg

级别	有机质	全氮	碱解氮	全磷	速效磷	全钾	速效钾	缓效钾
1（极丰）	>40	2	>0.15	1	>0.04	25	>0.2	>0.5
2（丰富）	30~40	1.5~2	0.12~0.15	0.8~1	0.02~0.04	20~25	0.15~0.2	0.4~0.5
3（适中）	10~30	0.75~1.5	0.06~0.12	0.4~0.8	0.005~0.02	10~20	0.05~0.15	0.2~0.4
4（缺乏）	6~10	0.5~0.75	0.03~0.06	0.2~0.4	0.003~0.004	5~10	0.03~0.05	0.1~0.2
5（极缺）	<6	<0.5	<0.03	<0.2	<0.003	<5	<0.03	<0.1

表 5 阳离子交换量和中量元素养分含量分级

级别	CEC (cmol/kg)	有效硅(mg/kg)	有效钙(mg/kg)	有效镁(mg/kg)	有效硫(mg/kg)
1（极丰）	>20	>230	>1000	>300	>30
2（丰富）	15.4~20.0	115~230	700~1000	200~300	
3（适中）	10.5~15.4	70~115	500~700	100~200	16~30
4（缺乏）	7.2~10.5	25~70	300~500	50~100	<16
5（极缺）	<7.2	<25	<300	<50	

表 6 微量元素养分含量分级

单位: mg/kg

级别	有效硼	有效铜	有效锌	有效钼	有效锰	有效铁
1 (极丰)	>2.0	>1.8	>3.0	>0.3	>30	>20
2 (丰富)	1.0~2.0	1.0~1.8	1.0~3.0	0.2~0.3	15~30	10~20
3 (适中)	0.5~1.0	0.2~1.0	0.5~1.0	0.15~0.2	5.0~15	4.5~10
4 (缺乏)	0.2~0.5	0.1~0.2	0.3~0.5	0.1~0.15	1.0~5.0	2.5~4.5
5 (极缺)	<0.2	<0.1	<0.3	<0.1	<1.0	<2.5

9.6.3 不同 pH 值和容重参考值的分级情况分别如表 7 和表 8 所示。

表 7 土壤酸碱分级

分级	重度酸化	轻度酸化	正常	轻度碱化	重度碱化
pH 值	<4.5	4.5~5.2	5.2~8.0	8.0~9.0	8.5~9.0

表 8 土壤容重参考值分级

分级	过松	适宜	偏紧	紧实	过紧实	坚实
范围 g/cm <sup>3</sup>	<1.0	1.0~1.25	1.25~1.35	1.35~1.45	1.45~1.55	>1.55

**附 录 A**  
**（规范性）**  
**典型大宗固体废物土壤化方案（设计）编写纲领**

**A.1 项目概述**

**A.1.1 项目背景与性质**

从地区、领域和企业角度说明土壤化项目提出的主要依照、支撑政策以及原因。

**A.1.2 方案编制依据**

编制依据包括行业参考标准和资料。其中行业参考标准包括项目涉及的标准、规范和指南等，资料包括项目建设环境资料和典型大宗固体废物特征分析。

**A.1.3 需求与效益分析**

需求分析包括环保法律、法规、政策、标准对产生的废物处理与处置和资源化利用等环境方面的需求，以及国内市场需求。

分析预期实现的经济效益、社会效益和生态效益。经济效益应综合施工建设、运输、贮存、技术实施与运维管理等方面的土壤化成本以及废物处理与处置收益、产品营收评估典型大宗固体废物土壤化带来的财务收益，以及剖析投资回收期、投资利润率、财务净现值等财务指标；社会效益包括对当地社会、经济、工农业生产的作用与意义，供给就业人数以及可能产生的其它社会效益；生态效益包含生态构造改善、土壤肥力变化、以及节能减排与污染治理成效。

**A.2 关键技术与创新**

**A.2.1 技术现状**

调查典型大宗固体废物土壤化利用的国内外研究现状、知识产权状况并分析产品发展趋势。

**A.2.2 土壤化技术可行性**

明确项目主要科技攻关内容与开发任务，编制土壤化可行性研究报告；分析土壤化关键技术的先进性和创新性，发挥项目实施优势，比较产品与国内同类型产品竞争力；辅以实验室小试与场地中试等手段制定典型大宗固体废物土壤化技术实施路线。

**A.3 工艺设计**

根据先进性、成熟性、靠谱性、经济适用性等原则设计土壤化工艺路线。

具体内容包括整体工艺流程以及依据项目类型和技术要求确定的设备选型、清单和来源。

**A.4 建设方案**

**A.4.1 设计依照及要求**

明确土壤化建设目标、规模和内容，选择建设所依照的行业参考标准与规范。

**A.4.2 内容设计与建设清单**

根据依照和要求确定设计范围并设计主要建筑、构造、电气等具体内容。

**A.4.3 总图部署与经济技术指标**

基于项目建设用地面积与运输方案，设计总图部署方案，从技术经济指标和功能方面设计总图部署方案，比选后择优推荐。主要经济技术指标包括总用地面积、建筑面积、建筑密度、建筑基底面积、容积率等。

**A.5 项目建设与实施计划**

基于典型大宗固体废物土壤化可行性研究报告进行建设决策，通过图纸交付、实施建设、项目竣工以及试生产和验收等工作阶段完成土壤化相关工程项目投资建设。每个工作阶段设置一个或多个可交付成果作为完成标志，项目规模较大时分期建设生产。

## A.6 环境影响评价

### A.6.1 方案概况

土壤化项目的地点及相关背景；主要建设内容、生产工艺、生产规模、建设周期和投资，以及工程特性表；设计方案比选，与法律法规、政策、规划和规划环评的相符性。

### A.6.2 土壤化项目周围环境现状

包括所在地环境现状以及方案所涉及的环境影响评价范围。

### A.6.3 土壤化项目环境影响预测及拟采取的主要措施与效果

土壤化项目建设与运行期间主要污染物类型、排放浓度、排放量、处理方式、排放方式和途径及其达标排放情况，对生态影响的途径、方式和范围；生产区域以及土壤化产物评价范围内的环境保护目标分布情况；按不同环境要素和不同阶段介绍土壤化项目的主要环境影响及其预测评价结果；按不同环境要素介绍污染防治措施、执行标准、达标情况及效果，生态保护措施及效果；生产过程与产品的环境风险分析预测结果、风险防范措施及应急预案；土壤化项目环境保护措施的技术、经济论证结果；拟采取的环境监测计划及环境管理制度。

### A.6.4 公众参与

包括公开环境信息的次数、内容、方式等，征求公众意见的范围、次数、形式等，公众参与的组织形式。对公众意见归纳分析，从合法性、有效性、代表性、真实性等方面对公众参与进行总结。

### A.6.5 环境影响评价结论

从项目基本情况、区域环境质量、环境要素影响评价、清洁生产、污染物排放总量控制、公众参与、项目可行性等方面给出环境影响评价结论。并附《建设项目环境影响报告表》。

## A.7 环境监测与应急安全计划

为有效预防、及时控制和妥善处理土壤化过程中发生的各类环境与安全突发事件，制定的应急安全计划应包括：因项目运行意外胁迫人员与设备安全的事故；固体废物运输、贮存与处理以及土壤化过程中突发性环境污染事故；以及其他突发性环境污染事故。

## A.8 组织与管理

### A.8.1 组织管理

应编制管理机构框图，包含决议机构、实行职能机构及职责分工，并制定土壤化实施各阶段的管理方案与举措，以及确立施工招标、设备招标等招标方案。

### A.8.2 运行管理

明确项目运行后机构框图、人员编制及职能分工、人员培训，保证实现土壤化目标的管理制度或举措等。设计管理或经营体制方案，并制订运行经费的解决方案。

## A.9 产品质量控制

土壤化产物质量控制包括从典型大宗固体废物原辅材料质量控制、生产环节质量控制、入库前产品质量控制以及产品出厂质量控制四个阶段，其中原辅材料质量控制与生产环节运行控制是典型大宗固体废物土壤化利用的关键阶段，需严格控制。结合理化性质、土壤活性、生态功能综合评价产品质量，出厂产品基于应用需求依照本技术导则与有关标准规范设置产品指标并严格执行。

### A.10 监督与内审



制定典型大宗固体废物土壤化全过程信息记录计划,明确记录有大宗固废基土壤所使用的废物的来源、主要污染物以及其它相关性质,并对生产过程与产物去路实施全过程监督,资料信息按照国家档案管理等法律法规进行整理与归档,永久保存。

针对典型大宗固体废物土壤化目的组织内审,及时发现土壤化过程中的管理体系不足与效率不顺。

#### A.11 方案论证

通过邀请有关各方专家就土壤化项目目标、可行性研究、鉴别测试等问题进行探讨,从社会需求、技术与管理、产品质量以及综合效益四个方面作出肯定的结论。

## 附录 B

(资料性)

## 典型大宗固体废物及土壤化对象一般特征

土壤化对象中典型大宗固体废物及弃渣土的一般特征见表B.1。

表 B.1 典型大宗固体废物及弃渣土的一般特征表

土壤化对象		一般特征
污泥	给水污泥	挥发性组分 20%左右, 包含 Al、Fe、Ca、Mg、Mn、Si 等其它元素组成, 其中 Al 和 Fe 含量主要来源于净水过程中的铝铁混凝剂; Ca、Mg、Si 主要是原水中悬浮颗粒物粘土含有不少的类似成分, 主要矿物组成有石英、白云母和高岭土; Mn 来源于净水过程中的高锰酸盐。
	生活污水污泥	pH 为 6.00~8.00, 养分为: 有机质(380±140 g/kg)、总氮(27±15 g/kg)、总磷(10±5 g/kg)、总钾(10±4 g/kg); 含有: Pb(130 mg/kg)、Cr(250 mg/kg)、Cd(180 mg/kg)、Zn(1800 mg/kg)、Cu(500 mg/kg)、Ni(100 mg/kg) 等重金属; 病原微生物有肠道病毒、细菌、原生动物、寄生虫; 有机污染物包括 PAHs (常大于 10 mg/kg)、氯苯 (0.01~7 mg/kg)、多氯联苯、氯酚。
作物秸秆		主要由纤维素、半纤维素、木质素、蛋白质和可溶性糖等物质组成, 前三部分占整个秸秆干质量的 80%左右, 还含有丰富的氮、磷、钾、钙、镁和其他微量元素。 秸秆土壤利用后在微生物作用下部分碳转化为微生物组分, 42%~79%的碳转变为 CO <sub>2</sub> 和 CH <sub>4</sub> 气体, 剩下的 1.9%~13.9%为活性有机碳, 约 10%为缓效性有机碳。
畜禽粪污		粪便堆放过程中产生的 CH <sub>4</sub> 等温室气体和 H <sub>2</sub> S、NH <sub>3</sub> 、吡啶、有机酸、粪臭素等降低区域空气环境质量; 粪污中的重金属等微量元素或抗生素是土壤的潜在污染源, 猪粪 Cu、Zn、Mn、Ni 含量较高, 鸡粪 Cr 含量较高, 牛粪中重金属含量低于其它粪便; 也包含了大量寄生虫、大肠杆菌等病原生物, 其中肠道致病菌超标严重。
尾矿	黑色金属尾矿 有色金属尾矿	铁尾矿 pH 偏碱性, 有机质含量低, 肥力差; 尾矿主要为细砂质, 主要化学成分为 SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 密度大、粒径小, 易堆积, 孔隙度偏低, 透气性极差, 不利于土壤活性提升。持水量约 9%~14%, 低于正常的田间持水量 14%~20%, 且水分蒸发较快; Cd、Pb 等重金属含量一般高于土壤背景值, 且总量较大, 有污染累积风险。
		锰尾矿中主要含有铁氧化物、石英、云母和碳酸盐, 以氧化硅、氧化铝为主, 两者含量将近 82%, 氧化亚锰、氧化铁含量也较高, 含量能占到 7.5%; 硫化物及铁、铜、钴、镍、铅、锌等重金属具有潜在环境危害性; 粒径一般在 200 μm 左右。
		锑尾矿尾砂 pH 主要集中在 6.0~8.0; 含水率 9%~24%范围内的出现频率在 85%以上; 粒径大小差异较大, 平均粒径从 4.0 μm 到 248.8 μm 不等, 最大粒径可达 800 μm, 粒度分布不规则; 质地主要是粉砂和砂土, 含有 10%~50%的黏土。主要污染物锑主要以硫锑和氧锑两种形式存在, 还经常伴生着 As、Pb、Mn、Cu、Zn、Cd 等有害重金属。
		钨尾矿主要矿物为石英、萤石、云母、方解石等, 主要元素组成为硅、钙、铁、铝; 化学性质稳定, 硬度大, 颜色较浅; 粒度较细, 多数小于 200 目; 伴有铜、铅、锌、锑等重金属。
		铅锌尾矿一般主要成分是 SiO <sub>2</sub> 、K <sub>2</sub> O、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等和 Ca、Fe、Mg、S 等, 同时还含有 Cd、Mn、Zn、Pb 等多种重金属成分。不同选矿工艺产生的尾矿平均粒度 12~210 μm 不等, 总体偏细, 未形成团粒结构, 植物难以定居。
		铜尾矿中主要由脉石矿物(明矾石、石英和高岭土)和金属矿物(黄铁矿)组成, 主要成分为硅、铁、镁、硫。含硫矿物释放形成的硫酸盐对土壤与人体都有一定的危害, 甚至会增加铜、铅、砷、锌等有害元素可浸出形态比例。
	非金属尾矿	中国磷尾矿主要矿物成分是氟磷灰石、白云石和方解石; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 含量通常为 5%~15%, 以残余态和有机态为主, 可利用占比较低。还含有适量的 Mn、Na、Zn 等营养元素; pH 为 6.00~8.00, 颗粒主要为粉粒, 极少部分为细砂粒和粘粒, 团聚性能较差; 拥有适宜的电导率(200~600 μs/cm), 透气不足, 含水持水性能差。主要污染物总氟含量甚至可能大于 1%, 有较高的浸出浓度及可移动性, 但重金属 Pb、Cu、Cd 等在相关控制标准内。
		通常为矿石水洗或分选后残留的固体废物, 工艺脱水等处理后的尾矿含水率可降至 20%以下; 主要成分为泥土质, 含有少量石粉; 典型的尾矿主要矿物元素组成为钙、硅、铝, 可能含有少部分水处理药剂氯化物等污染物; 无明显浸出毒性与腐蚀性。
		高岭土尾矿矿物组成主要为石英、高岭土、云母和赤褐铁矿, 主要元素组成为硅、铝、铁, 其中 SiO <sub>2</sub> 可达 40%~80%左右; 粒度主要集中于 0.05~0.85 mm, 较大粒径颗粒主要成分为 SiO <sub>2</sub> ; 占中国高岭土资源储量一半以上的煤系高岭土主要分布于山西、内蒙等含煤资源丰富之地, 非煤系高岭土中砂质高岭土以广西合浦、广东茂名、福建龙岩高岭土为代表。

土壤化对象		一般特征
	盐湖尾矿	盐湖轻金属锂、钾、镁等矿产资源开采常产生大量高含泥的贫劣盐湖尾矿，主要成分为硅铝，盐湖水成类型不同特征也各异。尾矿组分中氯化物、重金属以及水溶性盐类容易造成土壤生境失衡与破坏。
	离子型稀土尾矿	中国离子型稀土矿主要集中在南方七省区（江西、福建、广东、广西、湖南、浙江、云南），主要元素组成为硅、铝、铁，并含有大量的磷、钾等元素；稀土提取后其它成份和性质基本保持不变，多属粘土类矿物，但粒度分布不均；砷和重金属等有毒有害物质远低于其它金属尾矿，主要污染物来源于选矿药剂。
工业副产石膏	磷石膏	化学成分以 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 为主，含量根据生产工艺和产地不同为 61.7%~91.8%，总 $\text{P}_2\text{O}_5$ 0.02%~4.29%、 $\text{F}^-$ 0.01%~1.31%、 $\text{K}_2\text{O}$ 约为 0.4%， $\text{SiO}_2$ 为 4.9%~16.3%；自由水含量约为 10%~20%，粒径分布类似于正态分布，80~200 $\mu\text{m}$ 的颗粒高达 60%；pH 值约 1.9~5.3，是以灰色为主的潮湿粉末或浆体；有机质含量约 0.22%~0.75%，水溶性盐 0.6%~1.6%，其中钾、钠等在磷石膏基材料中会随水分迁移而产生“泛霜”现象；主要污染物为氟化物及少量铅、锰、锌等重金属。
	脱硫石膏	主要成分为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，结晶水 18.21%~20.03%，纯度为 87.01%~95.71%， $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 等杂质来源于吸收剂带来的杂质和未反应完全的吸收剂、亚硫酸钙以及燃烧灰尘；为含水率 8%~21%的潮湿松散的细小颗粒，白度一般超过 80%，pH 5~8；颗粒为潮湿的粉状，粒径集中于 10~100 $\mu\text{m}$ 。
冶炼渣	赤泥	赤泥具有强碱性（pH 为 9.7~12.9）、高盐含量（电导率为 1.4~28.4 ms/cm）、小颗粒和成分复杂等特性，盐分主要由游离的钠、钾、钙、镁离子组成；赤泥的危害主要在于其盐碱含量高，少量的砷、铬、镉、铅、钒、汞等重金属元素，还有微量的氟化物。有机质和微生物生存营养元素含量较低，持水量高达到 79%~90%，理化性质较差。
	钢铁工业废渣	钢铁工业所产生的大宗固废中高炉渣和钢渣分别占 51.7%和 18.6%，70%~80%的粒度小于 10mm，并含有一定量小于 150 $\mu\text{m}$ 的细颗粒。高炉渣和钢渣都主要包含了 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{MnO}_2$ 等成分，钢渣中金属铁 2%~8%， $\text{CaO}$ 40%~60%， $\text{MgO}$ 3%~10%， $\text{MnO}_2$ 1%~8%；高炉渣化学成分主要有 $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 等和少量硫化物， $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量占 90%以上。
煤矸石		煤矸石主要分布在山西、陕西、内蒙古、新疆、山东、河南、江苏以及黑龙江等干旱、半干旱的北方地区；含有腐殖酸、有机质、硅、钾、铁，以及多种稀有元素，主要成分为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，是碳质、泥质和砂质页岩的混合物，含碳 20%~30%；高度风化的煤矸石对 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 等重金属离子吸附特性显著；堆积密度为 1200~1800 $\text{kg/m}^3$ ，自燃后可降低至 300~900 $\text{kg/m}^3$ 。
粉煤灰		粉煤灰主要产生于火电厂和城市集中供热锅炉的北方地区，其中 90%以上为偏碱性的湿排灰；主要成分为 Al 和 Si，同时含有少量的 Fe、Mg、Ca、Mn、Cl、S 以及具有潜在危害性的微量重金属如 Hg、As、Cd、Cr、Pb 等；包含未燃的疏松多孔炭粒。
弃渣土	沙化土	中国的沙化土主要位于北纬 35°~50° 之间，集中在西起塔里木盆地，东至松嫩平原西部，涵盖了我国干旱、半干旱地区等区域；沙化土为失去细粒（粉粒、黏粒）的沙质，通常是含二氧化硅、石英等不容易风化分解的矿物组成，植物分泌物分解演变成土壤的过程十分缓慢；多砂少粘的特征致使其通气性、透水性较好，但持水保肥能力差。
	盐碱土	中国盐碱土地分布在西北、东北、华北及滨海地区，盐碱荒地和影响耕地的盐碱地总面积超过 5 亿亩，其中具有农业发展潜力的占中国耕地总面积 10%以上。东北地区为内陆苏打盐碱地，以碳酸盐和碳酸氢盐为主，pH>8.5，呈碱性；中北地区为河套灌区次生盐碱地，盐分以氯化物和硫酸盐为主；西北地区为内陆盐碱地，盐分以氯化物和硫酸盐为主；华北地区盐碱地以氯化物和硫酸盐为主。具有较低的持水能力、土壤有机质（SOM）和土壤肥力。
	高寒冻土	中国季节冻土占中国领土面积一半以上，结膨胀强度较高，解冻时融陷强度较低，其南界西从云南章凤，东经昆明、贵阳，绕四川盆地北缘，到长沙、安庆、杭州一带。多年冻土分布在东北大、小兴安岭，西部阿尔泰山、天山、祁连山及青藏高原等地，总面积为全国领土面积的 20%。全国冻土分异行为主要受水分与土质影响，加之极端天气条件使得植物存活率低，生物多样性常年处于极低水平。
	耕作障碍土	不合理的耕作管理形成了特殊的土壤环境，有益微生物的生长繁殖受到抑制，病虫害源不断积累。大量化肥或未经腐熟的粪肥施用导致盐分过量累积，酸碱条件改变影响了土壤养分的有效性，土壤生态恶化与失衡，植物难以正常生长。

## 附 录 C

(资料性)

## 土壤化过程涉及指标分析方法

土壤污染物的分析测试方法见表C.1。

表 C.1 土壤污染物分析方法

序号	项目	分析方法	标准编号
1	镉	土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141
2	汞	土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法	HJ 680
		土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第1部分：土壤中总汞的测定	GB/T 22105.1
		土壤质量 总汞的测定 冷原子吸收分光光度法	GB/T 17136
		土壤和沉积物 总汞的测定 催化热解-冷原子吸收分光光度法	HJ 923
3	砷	土壤和沉积物 12种金属元素的测定 王水提取-电感耦合等离子体质谱法	HJ 803
		土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法	HJ 680
		土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第2部分：土壤中总砷的测定	GB/T 22105.2
4	铅	土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141
		土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法	HJ 780
5	铬	土壤 总铬的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 491
		土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法	HJ 780
6	铜	土壤质量 铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17138
		土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法	HJ 780
7	镍	土壤质量 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17139
		土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法	HJ 780
8	锌	土壤质量 铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17138
		土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法	HJ 780
9	锑	土壤和沉积物 12种金属元素的测定 王水提取-电感耦合等离子体质谱法	HJ 803
		土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法	HJ 680
10	钴	土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法	HJ 780
		土壤和沉积物 12种金属元素的测定 王水提取-电感耦合等离子体质谱法	HJ 803
11	锡	土壤和沉积物 锂、泥、锡、铋的测定 电感耦合等离子体质谱法	DB32/T 4032
12	钒	土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法	HJ 780
		土壤和沉积物 12种金属元素的测定 王水提取-电感耦合等离子体质谱法	HJ 803
		土壤和沉积物 12种金属元素的测定 王水提取-电感耦合等离子体质谱法	HJ 803
13	甲基汞	环境 甲基汞的测定 气相色谱法	GB/T 17132
14	六六六总量	土壤和沉积物 有机氯农药的测定 气相色谱-质谱法	HJ 835
		土壤和沉积物 有机氯农药的测定 气相色谱法	HJ 921
		土壤质量 六六六和滴滴涕的测定 气相色谱法	GB/T 14550
15	滴滴涕总量	土壤和沉积物 有机氯农药的测定 气相色谱-质谱法	HJ 835
		土壤和沉积物 有机氯农药的测定 气相色谱法	HJ 921
		土壤质量 六六六和滴滴涕的测定 气相色谱法	GB/T 14550
16	苯并[a]芘	土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法	HJ 805
		土壤和沉积物 多环芳烃的测定 高效液相色谱法	HJ 784
		土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法	HJ 834
17	氟化物	土壤质量 氟化物的测定 离子选择电极法	GB/T 22104
18	氰化物	土壤 氰化物和总氰化物的测定 分光光度法	HJ 745
19	抗生素类	土壤中土霉素、金霉素、四环素、多西环素、美他霉素的测定 高效液相色谱-串联质谱法	DB13/T 5221
		土壤中土霉素、四环素、金霉素残留量的测定 高效液相色谱法	DB15/T 2112
20	苯；	土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱-质谱法	HJ 642
	间-二甲苯；	土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 605
	对-二甲苯；	土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱法	HJ 741
	邻-二甲苯	土壤和沉积物 挥发性芳香烃的测定 顶空/气相色谱法	HJ 742
21	硝基苯	土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法	HJ 834

序号	项目	分析方法	标准编号
22	四氯化碳; 氯仿; 二氯甲烷; 四氯乙烯; 三氯乙烯; 氯乙烯	土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱-质谱法	HJ 642
		土壤和沉积物 挥发性卤代烃的测定 顶空/气相色谱-质谱法	HJ 736
		土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 605
		土壤和沉积物 挥发性卤代烃的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 735
		土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱法	HJ 741
23	氯甲烷	土壤和沉积物 挥发性卤代烃的测定 顶空/气相色谱-质谱法	HJ 736
		土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 605
		土壤和沉积物 挥发性卤代烃的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 735
24	氯苯	土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱-质谱法	HJ 642
		土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 605
		土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱法	HJ 741
		土壤和沉积物 挥发性芳香烃的测定 顶空/气相色谱法	HJ 742
25	2, 4-二氯酚; 2, 4, 6-三氯酚; 氯酚	土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法	HJ 834
		土壤和沉积物 酚类化合物的测定 气相色谱法	HJ 703
26	萘	土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法	HJ 805
		土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 605
		土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱法	HJ 741
		土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法	HJ 834
27	邻苯二甲酸二 (2-二乙基己 基)酯; 邻苯二甲酸二正 辛酯	土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法	HJ 834
28	六氯苯	土壤和沉积物 有机氯农药的测定 气相色谱-质谱法	HJ 835
		土壤和沉积物 有机氯农药的测定 气相色谱法	HJ 921
29	多氯联苯 (总量)	土壤和沉积物 多氯联苯的测定 气相色谱-质谱法	HJ 743
		土壤和沉积物 多氯联苯的测定 气相色谱法	HJ 922
30	二噁英类 (总毒性当量)	土壤和沉积物 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法	HJ 77.4