

附件 2

《固体废物再生利用污染防治技术导则》  
(二次征求意见稿)  
编制说明

《固体废物再生利用污染防治技术导则》编制组

二〇一九年四月

项目名称：固体废物再生利用污染防治技术导则

项目统一编号：1691.20

承担单位：中国环境科学研究院，清华大学，四川大学

编制组主要成员：黄启飞，岳波，李丽，高兴保，刘美佳，李金惠，刘丽丽，  
陈文清

生态环境部标准所技术管理负责人：姚芝茂

部投资与技术指导处项目经办人：吕奔，岳子明

# 目 录

<b>1 任务来源</b> .....	<b>2</b>
<b>2 标准制定必要性</b> .....	<b>2</b>
<b>3 主要工作过程</b> .....	<b>3</b>
<b>4 国内外相关标准研究</b> .....	<b>5</b>
4.1 主要发达国家固体废物再生利用管理体系.....	5
4.1.1 美国.....	5
4.1.2 日本.....	6
4.1.3 欧盟.....	7
4.2 我国固体废物再生利用管理体系.....	9
4.2.1 我国固体废物再生利用概况.....	9
4.2.2 我国固体废物管理法规体系.....	9
4.3 各国固体废物再生利用管理体系对比分析.....	11
<b>5 同类工程现状调研</b> .....	<b>12</b>
5.1 我国固体废物再生利用技术现状.....	12
5.2 典型固体废物再生利用技术及其污染防治措施分析.....	15
<b>6 主要技术内容及说明</b> .....	<b>20</b>
6.1 主要技术内容.....	20
6.2 主要条文说明.....	21
6.2.1 前言.....	21
6.2.2 适用范围.....	21
6.2.2 规范性引用文件.....	22
6.2.3 术语和定义.....	22
6.2.4 总体要求.....	23
6.2.5 固体废物再生利用工艺单元的污染防治技术要求.....	23
6.2.6 固体废物建材利用及其污染控制要求.....	35
6.2.7 固体废物土地利用及其污染控制要求.....	35
6.2.8 检测.....	36
<b>7 标准实施的环境效益与经济技术分析</b> .....	<b>37</b>
<b>8 标准实施建议</b> .....	<b>37</b>
<b>9 关于二次征求意见的说明</b> .....	<b>38</b>

## 1 任务来源

根据环境统计数据，我国固体废物的产生量呈现逐年上升的趋势。其中，典型的大宗工业固体废物的综合利用率都比较高。2015年，冶炼废渣的综合利用率为95%，炉渣的综合利用率为88.2%，粉煤灰的综合利用率为86.4%，脱硫石膏的综合利用率为86.1%，再生利用已成为我国固体废物的主要处置方式之一。

目前我国只针对餐厨垃圾、废塑料、电子废物等典型废物开展了再生利用技术规范的研究和制定工作，针对我国绝大多数固体废物的再生利用过程尚缺乏相应的污染控制技术规范，急需规范固体废物再生利用工程建设和运营的通用环境保护技术要求，开展固体废物再生利用污染防治技术导则和典型固体废物再生利用技术规范的制定，完善我国固体废物再生利用污染控制的技术标准体系，为固体废物再生利用工程的建设、管理和运营提供技术支撑，有利于规范固体废物再生利用工程的建设、管理和运营，有效控制固体废物再生利用过程中的环境污染，促进固体废物再生利用产业的健康发展，实现改善环境和发展经济的双重目标，并最终实现可持续发展。

2010年5月，原环境保护部下达了《固体废物再生利用通用工程技术规范》的编制任务(项目统一编号：1691.20)，由中国环境科学研究院、清华大学和四川大学承担该技术导则的编制工作。

## 2 标准制定必要性

我国工业固体废物产生量已经由1981年的3.77亿吨增加到2015年的33.11亿吨，增长了近10倍。我国工业固体废物的综合利用率总体呈递增趋势，由1990年的29.3%上升到2015年的60.1%。统计数据表明，再生利用已经成为我国工业固体废物的主要处置方式。但是，由于我国固体废物的种类繁多，特性差异较大，且各种废物的再生利用技术也存在较大的差异，目前还没有针对固体废物再生利用污染防治技术导则，缺乏对固体废物再生利用过程的环境污染控制，进而导致大量固体废物在再生利用过程中环境污染未得到有效控制，引起诸多二次污染，对人体和环境造成潜在危害。

针对电子废物、废塑料、餐厨废物等社会源废物，由于我国居民有“修旧利废”的传统，大部分废纸、废金属及饮料容器等基本是由居民直接卖给废品收购人员，因此，垃圾中可直接回收利用的物质的比例并无显著增长。但是，城市居民的生活垃圾中无机成分在不断减少，有机组分在不断增加，塑料等包装材料在大幅度增加，因而热值也在不断加大，城市生活垃圾中的废塑料具有较大的再生利用前景。除此以外，随着我国经济的发展，电子废物、废旧汽车、包装废物等新型固体废物大量出现，再生利用将是重要的处置途径。随着我国经济社会的快速发展，电子废物、废塑料、餐厨废物等固体废物再生利用过程的污染问题凸现，日益成为公众与管理部门关注的重点。

目前，我国针对餐厨垃圾、废塑料、电子废物等典型废物开展了再生利用技术规范的研究和制定工作，但是针对我国绝大多数固体废物的再生利用过程尚缺乏相应的污染控制技术规范，急需规范固体废物再生利用工程建设和运营的环境保护技术要求，开展固体废物再生利用污染防治技术导则和典型固体废物再生利用技术规范的制定，完善我国固体废物再生利用污染控制的技术标准体系，以有效防止固体废物再生利用过程中发生污染环境。

固体废物再生利用污染防治技术导则是我国固体废物管理体系的重要组成部分，可以为固体废物再生利用工程的建设、管理和运营提供技术支撑，有利于规范固体废物再生利用工程的建设、管理和运营，有效控制固体废物再生利用过程中的环境污染，促进固体废物再生利用产业的健康发展，实现改善环境和发展经济的双重目标，并最终实现可持续发展。

### 3 主要工作过程

2010年6月，中国环境科学研究院、清华大学、四川大学等3家单位成立编制工作组。

2010年7月-2011年8月，编制组针对固体废物再生利用开展了大量国内外资料调研，系统分析了我国28类典型固体废物的再生利用技术及其污染控制技术现状，并对典型废溶剂再生利用企业进行了现场调研；在前期研究的基础上，编写完成了《固体废物再生利用通用工程技术规范开题报告》、《研究报告》、《固体废

物再生利用通用工程技术规范》(开题稿)。2011年9月13日, 环保部科技标准司组织召开了本标准的开题论证会。

2011年9月-2013年10月, 编制组总结了开题会中领导、专家的意见和建议, 结合进一步的资料调研和现场考察, 通过会议等形式进行了多轮的专家咨询, 并对典型废矿物油企业开展现场调研咨询, 完成了《固体废物再生利用通用工程技术规范》(征求意见稿)。

2013年11月, 原环保部科技标准司组织召开本标准征求意见稿的技术审查会, 根据审查意见, 对《固体废物再生利用通用工程技术规范》(征求意见稿)进行了修改完善。

2013年12月, 本标准向60家相关单位和部门发函征求意见。在征求意见的过程中, 总计收集了103条意见和建议。编制组针对这些意见和建议, 再次对《固体废物再生利用通用工程技术规范》(征求意见稿)进行了认真的修改和完善。编制组还通过召开专家咨询会、在典型固体废物再生企业开展本标准的验证工作等形式, 对本标准文本进行了完善。在上述工作的基础上, 形成了《固体废物再生利用通用工程技术规范》(送审稿)。

2015年6月5日, 原环保部科技标准司组织召开了《固体废物再生利用通用工程技术规范》(送审稿)的预审会, 专家委员会听取了编制单位关于送审稿的主要技术内容、编制工作过程、征求意见及对征集意见的处理情况的汇报, 经质询、讨论后, 专家委员会建议, 考虑到固体废物再生利用涉及范围较广, 建议完善后再次征求意见。同时, 专家建议将标准名称改为《固体废物再生利用污染防治技术导则》。

编制组进行了大量的国内外资料和现场调研, 通过风险评估等方式, 对典型固体废物再生利用技术的适用对象、工艺路线、环境风险等进行了深入的研究, 同时组织了多次有科研单位、环境管理部门和企业代表参加的研讨会, 形成了《固体废物再生利用污染防治技术导则》(二次征求意见稿)。

2019年3月6日, 生态环境部科技与财务司组织召开了《固体废物再生利用污染防治技术导则》(二次征求意见稿)的专家审议会。编制组根据审查意见, 对《固体废物再生利用污染防治技术导则》(二次征求意见稿)进行了修改完善后

提交。

## 4 国内外相关标准研究

### 4.1 主要发达国家固体废物再生利用管理体系

#### 4.1.1 美国

##### (1) 美国固体废物再生利用概况

废物回收与循环利用已经成为美国固体废物处理的主要方式，回收再利用总量不断增长。2012年，美国共产生约2.5亿吨的城市生活垃圾，其再生利用率约为34.5%。其中，2012年废铅酸电池、废纸、庭院废物、废饮料罐、废轮胎、废玻璃瓶的利用率分别为95.9%、70.0%、57.7%、54.6%、44.6%和34.1%。20世纪70年代以来，美国将每年排出的4000多万吨钢铁渣全部再生利用。美国燃煤企业每年约产生1亿吨的脱硫石膏、粉煤灰等副产物，其中40%以上得以再利用。针对建筑垃圾，美国采取分拣、加工等措施，使其处理利用率达90%以上，再生利用率达70%以上。

以美国加州为例，为促进固体废物的再生利用，该州实施了绿色采购方案，下辖各郡县制定了多条与绿色采购相关的政策。2008年，加州的手机回收率从2006年的17%上升至25%，而全国平均回收率是10%；2008年，加州共产生4300万条废旧轮胎，其中约有72%进行了再生利用；2009年，加州所用50%的新闻纸是再生纸；由于《饮料瓶回收法案》的实施，2009年加州回收了超过172亿个饮料瓶。加州产生的废油主要通过路边收集、地方政府收集和有资质的回收中心收集，其中有资质的回收中心收集量占90%以上。

##### (2) 美国固体废物再生利用管理体系

1969年，美国制定了《国家环境政策法》，作为美国联邦及各州环境的宪法。1976年美国制定了《固定垃圾处理方案》，要求各州制定相应法规和计划，加强废旧物资的回收利用。1986年，美国颁布了《资源保护回收法》，要求各州环保局建立有关废弃物处理、资源回收、环境保护的规划，开展回收技术及设备研究与开发，资助专业人员的培训。1990年，美国通过了《污染预防法》，宣布“对

污染应该尽可能地实行预防或源头削减”。

目前，美国已形成完善的固体废物再生利用管理体系：联邦政府议会负责制定环境保护的原则性政策法规；联邦政府环保局负责监督执行，管理再生资源（固体废物）的回收利用；各州议会根据联邦政府法律和实际情况，制定具体的政策法规；州环保局负责环保政策法规的执行和管理、协调，提出五年计划和经费预算，以及制定废弃物排放和回收处理的标准并加以监督。

加州固体废物现行再生利用管理法规如表 1 所示。

表 1 加州固体废物再生利用管理法规

管理对象	法规、标准名称	颁布时间	备注
	《综合废物管理法案》	1989 年	/
再生新闻纸	《再生新闻纸法》	1991 年	CalRecycle 发布《再生新闻纸质量标准》
废旧塑料	《硬制塑料包装容器法》	1991 年	要求塑料垃圾供制造商使用一定量的塑料消费后材料生产在加州销售的垃圾袋
	第 1729 号参议院法案	2004 年	
	《垃圾袋法》		
建筑及拆卸废物	《建筑拆卸及惰性 (CDI) 碎料转移、处理的要求》	2004 年	2003 年 8 月 9 日实施
	《加州交通运输局标准规范和标准特别规定》		
	第 S-20-24 号行政命令 (绿色建筑行政命令)		
	《地方政府建筑及拆卸废物转移指南》		
电子废物	《绿色建筑材料选择技术指南》		
	《电子废弃物回收法》	2003 年	2007 年 1 月 1 日实施
	《移动电话回收与再利用法案》	2004 年	2006 年 7 月 1 日实施
	《可充电电池回收与再利用法案》	2005 年	2006 年 7 月 1 日实施
废旧轮胎	《照明设备能效及有害物质减低法案》	2007 年	
	《加州轮胎回收再利用法》	1989 年	2000 年 SB 876 号参议院法案增至法规中

#### 4.1.2 日本

##### (1) 日本固体废物再生利用概况

2010 年，日本的生活垃圾产生量为 4300 万吨，资源化利用率约为 20%。目前，日本生活垃圾中主要组分的回收利用率为：PET 瓶 66%、铁罐 88%、铝罐



91%、玻璃瓶 95%、纸 61%、塑料 72%。

2010 年，日本国内产业废物产生量约为 3.9 亿吨，再生利用量基本保持在 2.1 亿吨左右，再生利用率约为 54%。其中，畜禽粪便、碎器片、废金属矿渣的再生利用率在 90%以上；而污泥、废酸和废碱的再生利用率不足 30%。

## (2) 日本固体废物再生利用管理体系

1993 年，日本实施《环境基本法》，相当于环境宪法。2000 年，日本通过了《促进循环型社会基本法》，其宗旨是改变传统社会经济发展模式，建立“循环型社会”。下设《废弃物处理法》和《资源有效利用促进法》两部综合法。其中，《废弃物处理法》下设有《多氯联苯废弃物妥善处理特别法》、《容器和包装物的分类收集与循环法》等；《资源有效利用促进法》下设有《建筑材料再生利用法》、《食品再生利用法》、《绿色采购法》、《家电再生利用法》和《汽车再生利用法》等。

以容器包装为例，1995 年日本颁布了《容器包装再生利用法》，并于 2006 年修订该法。日本环境省及相关部门则分布了相应条例和细则，如《容器包装再生利用法在市町村和都道府分类收集的推广计划》、《有关容器包装废弃物分类收集条例》、《关于特定容器制造商强制性回收特定产品的条例》等。此外，政府采取了系列措施指导人群参与容器包装的再生利用，如：对零售商加强 3R 活动指导，在超市实行购物袋收费，出售可免费换新的购物袋措施；规定大量使用容器包装的企业必须提交 3R 行动报告等措施。

### 4.1.3 欧盟

欧盟对固体废物进行分类管理，《欧洲废物名单》列举了 839 种固体废物，其中包括 405 种危险废物。欧盟要求 2002 年后其成员国必须将《欧洲废物名单》纳入各自的相关法律、法规。欧盟废物管理法律如表 2 所示。欧盟的法律主要包括四种类型：一是框架性法律，如欧盟颁布的废物处理规定；二是针对特定类型废物制定的法律，如《包装和包装废物指令》及其修正案（要求 2008 年之前包装物的回收和焚烧处理率应占 60%，物质再生利用率应达到 55%）；三是制定废物管理作业的法律，主要涉及废物填埋、焚烧、船舶产生的废物及货物残余物的港口接收装置等；四是关于报告及调查方面的法律。成员国可根据实际情况制定

国内政策、法律和行动计划，以实现欧盟指令中提出的要求。

**表 2 欧盟废物管理法律**

类型	编号	名称
框架法	75/442/EEC	关于废物的指令
	91/689/EEC	关于有害废物的指令
	2000/532EC	关于废物列表的决定
	(EEC) No259/93	关于废物在欧共体内运输及进出欧共体的监控的法规
	93/98/EEC	关于缔结《巴塞尔公约》的决定
	(EC) No1547/1999	关于废物运输控制程序的法规
特定废物	75/439/EEC	关于废油处置的指令
	78/176/EEC	关于二氧化钛行业废物的指令
	91/692/EEC	关于污泥农用的指令
	91/157/EEC	关于含危险废物的电池和蓄电池的指令
	94/62/EC	关于包装和包装废物的指令
	96/59/EC	关于 PCBs 和 PCTs 处置的指令
	2000/53/EC	关于废弃车辆的指令
	2002/95/EC	关于电子和电器设备中限制使用某些物质的指令
废物处理	2002/96/EC	关于废弃电子和电器设备的指令
	99/31/EC	关于废物填埋的指令
	2000/76/EC	关于废物焚烧的指令
	2000/59/EC	关于接受船舶产生的废物和货物残余物的港口设备的指令

2010 年，欧盟 27 国加上其他非欧盟国家（克罗地亚、冰岛、挪威、瑞士、土耳其），城市生活垃圾产生量为 2.9 亿吨。其中资源化利用 1.02 亿吨，占 35.2%。德国的资源再生利用在欧洲具有代表性，2012 年，德国固体废物的产生量约 3.3 亿吨，再生利用率约为 70%。目前，德国主要废物的再生利用率约为：城市固体废物 64%、建筑废物 88%、工业废物 67%、包装废物 79%、污水污泥 29%、废油 67%、报废车辆 87%、废弃木材 38%、电子废物 81%、废电池 82%。

德国废物处理的管理组织机构自上而下分为联邦、州、地区、市和社区 5 级。联邦主要负责颁布法律；州负责实施法律规定；地区负责审批具体的处理项目；市、县负责垃圾的收集、运输、处理及处置的全过程；社区是垃圾收集的基本单元。德国的资源再生利用立法体系包括法律、条例和指南三个层次，在《循环经济与废物法》法律框架下，建立了配套的法规体系，即根据各个行业的不同情况，制定了促进该行业发展循环经济的法规条例（见表 3）。

表 3 德国固体废物再生利用法律框架体系

层次	法规名称	颁布日期
综合性立法	《循环经济与废物法》	1994/9/27
	《包装废物条例》（修订）	1998/8/21
	《生物废物条例》	1998/9/21
	《废弃电池条例》（修订）	2001/7/2
	《污水污泥条例》（修订）	2002/4/15
相关条例	《废油条例》	2002/4/16
	《废弃车辆条例》	2002/6/21
	《废弃木材条例》	2002/8/15
	《商业废物条例》	2002/6/24
	《电子电器设备条例》	2005/3/16
相关指南	《固体废物管理技术指南》	1991
	《城市废物管理技术指南》	1993/5

## 4.2 我国固体废物再生利用管理体系

### 4.2.1 我国固体废物再生利用概况

我国固体废物产生量逐年上升，根据环境统计数据，2015年，我国一般工业固体废物产生量为32.71亿吨左右，综合利用率约60.8%；我国危险废物产生量约为3976万吨，综合利用率约为51.6%；我国城市生活垃圾清运量约为1.91亿吨；全国共有生活垃圾无害化处理厂890座，生活垃圾无害化处理能力为57.7万吨/日，无害化处理量为1.80亿吨，无害化处理率为94.2%。

### 4.2.2 我国固体废物管理法规体系

我国固体废物污染控制工作始于20世纪80年代初期，随着固体废物污染控制技术和法律体系的发展，目前我国的固体废物再生利用已经具备了一定的管理基础。我国先后出台了有关循环经济的法规包括《清洁生产促进法》、《环境保护法》、《固体废物污染环境防治法》、《节约能源法》和《可再生能源法》等。以上

述法律为基础，相关部门颁布了具体的固体废物处理处置或再生利用规章，主要管理对象包括生活垃圾、污泥、塑料、汽车、电子废物、建筑垃圾、粉煤灰等（见表4）。根据实际需要，我国相关部门颁布了与固体废物资源化管理相关的部门规章（见表5）。目前，我国固体废物再生利用管理体系仍处于完善阶段，还未出台具体固体废物的再生利用法规，但相关部门出台了诸如电子废物、塑料、粉煤灰等污染控制、处理处置或再生利用的规章。

表4 我国固体废物再生利用管理法律框架

法律地位	法规名称	颁布日期	实施日期
法律	《环境保护法》修订版	2014.4.24	2015.1.1
	《固体废物污染环境防治法》	2004.12.29	2005.4.1
	《循环经济促进法》	2008.8.29	2009.9.1
	《清洁生产促进法》	2002.6.29	2003.1.1
	《节约能源法》	1997.11.1	1998.1.1
	《可再生能源法》	2005.2.28	2006.1.1
标准规范	城镇垃圾农用控制标准	1987-10-5	1988-2-1
	农用粉煤灰中污染物控制标准	1987-10-5	1988-2-1
	农用污泥中污染物控制标准	1984-5-18	1985-3-1
	铬渣污染治理环境保护技术规范 暂行	2007-4-13	2007-5-1
	报废机动车拆解环境保护技术规范	2007-4-9	2007-4-9
	报废塑料回收与再生利用污染控制技术规范试行	2007-9-30	2007-12-1
	废弃机电产品集中拆解利用处置区环境保护技术规范试行	2005-8-15	2005-9-1
	废弃电器电子产品处理污染控制技术规范	2010-1-4	2010-4-1
	钢铁工业发展循环经济环境保护 导则	2009-3-14	2009-7-1
	建筑材料用工业废渣放射性物质限制标准	196-9-4	1987-3-1

表 5 我国部分与固体废物再生利用相关的部门规章

名称	发布日期	发布部门
中国资源综合利用技术政策大纲	2010-07-01	国家发展改革委；科技部；工业和信息化部
生活垃圾处理技术指南	2010-04-22	住房和城乡建设部；国家发展改革委；环境保护部
废铅酸蓄电池处理污染控制技术规范	2009-12-21	环境保护部
城镇污水处理厂污泥处理处置污染防治最佳可行技术指南(试行)	2010.2	环境保护部
废弃电器电子产品回收处理管理条例	发布：2009.2.25 执行：2011.1.1	国务院
城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策（试行）	2009.2.18	住房和城乡建设部；环境保护部；科学技术部
报废汽车回收管理办法	2001.6.16	国务院
废弃家用电器与电子产品污染防治技术政策	2006.4.27	国家环境保护总局
城市建筑垃圾管理规定	发布：2005.3.23 执行：2005.6.1	中华人民共和国建设部
城市生活垃圾管理办法	发布：2007.4.28 执行：2007.7.1	中华人民共和国建设部

### 4.3 各国固体废物再生利用管理体系对比分析

比较主要发达国家的固体废物再生利用管理体系可知，日本和德国在国家层次上建筑了较完备的固体废物再生利用管理体系，在立法体系上采取了基本法统率综合法和专项法的模式，其立法全面、丰富、细致，先在各个领域单独立法，待条件成熟后再制定循环经济基本法以统领各单选法。与之相反，美国没有一部全国性的循环经济法规，中央政府或联邦制订国家政策以及废弃物法规，并不直接介入废弃物管理，固体废物的再生利用管理隶属各州或地区，州或地区根据实际情况建立适用的固体废物再生利用管理体系。各州或地区相继制定了大量有关源削减、废物回收利用的法律、行政规章和地方法规，以及配套的指南及要求等。结合固体废物再生利用率数据，德国和日本的固体废物再生利用水平相对较高。在一定程度上，固体废物再生利用管理体系的完善可促进固体废物的再生利用。

分析各国固体废物再生利用管理体系,可以获得以下启示:(1)完善固体废物再生利用法律体系,并制定与法律配套的政策和实施指南或细则。根据我国体制与国情,可参考日本和德国的固体废物管理体系,并借鉴各国成功的立法和管理经验,在出台原则性、统率性的国家层面上的固体废物管理或再生利用的法律后,国家各部门制定相关的规章、政策和指南或细则,促进再生利用法律的实施。

(2)确定我国固体废物重点管理领域。目前,电子废物、包装废物、建筑废物等是各国共同的固体废物重点管理领域。(3)实施生产者延伸责任制。对于我国潜在危害较大、产生量大的固体废物加强生产者延伸责任制的实施和落实。(4)加强固体废物分类收集。根据我国国情和各国成功经验,逐步完善我国生活垃圾分类收集体系,在街道垃圾分类收集箱系统的基础上,扩大如电子废物、包装废物等废物的定点回收。(5)加强监督,抑制可回收利用固体废物的填埋和非法弃置。(6)加强宣传教育。

## 5 同类工程现状调研

### 5.1 我国固体废物再生利用技术现状

我国工业固体废物产生量已经由 1981 年的 3.77 亿吨增加到 2013 年的 33.1 亿吨,增长了近 10 倍。我国工业固体废物的综合利用率总体呈递增趋势,由 1990 年的 29.3%上升到 2015 年的 60.1%。近年来,这种趋势更是不断增加。统计数据表明,再生利用已经成为我国工业固体废物的主要处置方式。随着我国经济的发展,电子废物、废旧汽车、包装废物等新型固体废物大量出现,再生利用将是重要的处置途径。与其他固体废物处置方法比较,再生利用不但可以有效处置我国固体废物,防止其污染环境,而且可以最大限度地利用固体废物中的有用资源。但是,由于我国工业固体废物的种类繁多,特性差异较大,且各种废物的再生利用技术也存在较大的差异。目前,除了生活垃圾、污泥、塑料、汽车、电子废物、建筑垃圾、粉煤灰等,还缺乏针对固体废物再生利用技术工艺单元及其环境污染控制的技术规范,从而导致大量工业固体废物在再生利用过程中环境污染未得到有效控制,引起诸多二次污染,对人体和环境造成潜在危害。

本研究通过资料调研和现场考察,对我国典型固体废物再生利用工艺单元进

行系统的研究。研究表明，我国固体废物再生利用技术可以分为物理与化学处理技术、物质分离与回收技术、材料回收与土地还原技术等类型。其中，物理与化学处理技术主要包括：破碎、压缩、浓缩脱水、干燥、分离、分选、中和反应、絮凝、沉淀、氧化还原、蒸发、固化/稳定化、厌氧消化、热解、高温熔融等工艺单元。物质分离与回收技术主要包括：活性炭吸附、蒸馏、电解、水解、离子交换、萃取、膜分离、气提、薄膜蒸发、冷冻结晶、火法冶金等工艺单元。材料回收与土地还原技术则主要包括：建材利用、土地利用、生产化工/矿产原料等。本研究涉及的 23 种典型固体废物具体包括：矿山废物（煤矸石和尾矿）、能源工业废物（粉煤灰和锅炉渣）、冶炼工业废物（高炉渣、钢渣和赤泥）、化学工业废物（铬渣、磷石膏、废碱渣、废碱液、废酸渣、废酸液、盐泥、硼泥）、石油化学工业废物（精蒸馏废渣、废酸废碱、废催化剂）、机械工业废物（电镀污泥、废金属）、特殊废物（废塑料、电子废物）等，上述固体废物的产生总量超过了我国固体废物产生总量的 80%。

通过对 23 种典型固体废物的建材利用、土地利用、制新型材料、生产化工/矿产原料等再生利用途径的归纳统计，提炼出 28 种固体废物再生利用单元工艺：破碎、压缩、粉磨、脱水、干燥、分离、分选、洗涤、中和、沉淀絮凝、氧化还原、蒸发、固化/稳定化、厌氧消化、热解、熔融、焙烧/煅烧/烧结、吸附、蒸馏、电解、水解、离子交换、萃取、膜分离、气提、薄膜蒸发、结晶、火法冶炼等。经过进一步归类总结，获得了典型的固体废物再生利用工艺单元包括：清洗、干燥、破碎、分选、中和、絮凝沉淀、氧化/还原、结晶/蒸发、烧结、热解、生物处理等。

以能源工业废物粉煤灰为例，我国的粉煤灰大部来自大、中型火电厂的煤粉发电锅炉，另一部分则是来自城市集中供热的粉煤锅炉。粉煤灰的主要再生利用途径如图 1 所示，主要包括直接利用、生产建材、制新型材料、回收矿产品、制农业肥料等途径。其中，粉煤灰直接利用包括铺设路面路基、充填采空区或塌陷区、复垦造田和作吸附脱硫材料等。粉煤灰生产建材的主要途径包括：制砖、制砌块、水泥原料、制轻集料和制陶瓷原料等。因此，粉煤灰再生利用涉及的工艺单元包括：粉磨、干燥、分离、分选、洗涤、中和、沉淀絮凝、氧化还原、蒸发、焙烧/煅烧/烧结、电解、离子交换、萃取、结晶等。针对粉煤灰的再生利用的典

型工艺单元，明确其污染控制的关键技术环节。结合粉煤灰的废物特征和再生利用工艺单元的三废产生情况，制订粉煤灰再生利用涉及工艺单元的污染控制技术规范。



图 1 粉煤灰的再生利用途径

以冶炼工业废物钢渣为例，钢渣主要是金属炉料中各元素被氧化后生成的氧化物、被侵蚀的炉衬料和补炉材料、金属炉料带入的杂质和为调整钢渣性质而特意加入的造渣材料，如石灰石、白云石、铁矿石、硅石等。钢渣的处理技术包括湿式处理技术和干法处理技术。其中，钢渣的湿式处理技术又可以分为露天倒渣水淬法、焖渣水淬法、盘泼水淬法、箱泼法等；而钢渣干法处理技术可分为转碟法、滚筒法等。钢渣的主要再生利用途径如图 2 所示，主要包括：直接利用、生产建材、回收废钢、制农业肥料等途径。其中，钢渣直接利用包括铺设路面路基、



充填采空区或塌陷区和作吸附脱硫材料等。钢渣生产建材的主要途径包括：制砖、制砌块、水泥原料、制新型材料等。因此，钢渣再生利用涉及的工艺单元包括：破碎、粉磨、分选、固化/稳定化、焙烧/煅烧/烧结等。针对钢渣再生利用的典型工艺单元，明确其污染控制的关键技术单元。结合钢渣的废物特征和再生利用工艺单元的三废产生情况，制订钢渣再生利用涉及工艺单元的污染控制技术规范。



图 2 钢渣的再生利用途径

## 5.2 典型固体废物再生利用技术及其污染防治措施分析

以废有机溶剂为例，废有机溶剂主要由基础化学原料制造、印刷、电子元件制造、皮革鞣制加工、毛纺织和染整精加工等行业以及其他非特定行业生产、配制、销售、使用过程中产生的含有有机溶剂的废液、水洗液、母液、废水处理污泥等，具有毒性和易燃性等危害特性。

根据统计，我国 2011 年至 2013 年废有机溶剂的实际利用和处置规模分别约为 30.2、37.5 和 23.4 万吨。考虑到存在的大量社会源废物和统计口径，我国废有机溶剂的实际产生量很难统计，应远大于上述统计数据。从省份上看，江苏、重庆、吉林、山东、广东、浙江、上海和四川等省份废有机溶剂的产生量相对较大。此外，2011-2013 年我国废有机溶剂再生利用所占的比例分别为 87.3%、90.7% 和 80.0%，其余部分采用焚烧等方式进行处置，因此目前我国废有机溶剂的最主

要处置途径为再生利用。

废有机溶剂中有一部分具有较高的回收利用价值,如三氯乙烯、二氯甲烷、异丙醇等,可以通过再生利用技术再生为优良的溶剂。目前,废有机溶剂的再生利用技术主要有蒸馏、膜分离、萃取、干燥、中和、吸附等,其中废有机溶剂的蒸馏再生技术由于其运行成本低、工艺可靠性高、操作简单、再生产品品质较好、二次污染易于控制等特点,是目前工程应最广泛的废有机溶剂再生利用技术。由于废有机溶剂中含有使之变质的水分、机械杂质、树脂、油漆泥、松香等中的一种或多种杂质,将这些混杂在其中的杂质分离去除就可以恢复溶剂的使用价值。蒸馏技术是实现溶剂与杂质进行分离最有效的手段之一。

**工艺原理:** 利用废有机溶剂中各物质沸点不同,用精馏釜把液体混合物加热至沸腾产生蒸汽,机械杂质、油漆泥等不挥发杂质则留在精馏釜不被蒸发,从而实现固-液分离;溶剂的蒸汽在精馏塔内自下而上底流动,而塔顶的回流液与上升蒸汽相迎自上而下流动,混合液经过多次部分汽化,同时把产生的蒸汽多次部分冷凝,气液两相在塔中不断相互接触,进行热量交换和传质。二相在热交换过程中,易挥发组分不断地从液相向气相扩散,难挥发部分逐渐增浓,从而实现液-液分离,获得所要求纯度的产品。

**操作过程:** 将废有机溶剂插入或泵入蒸馏釜,蒸馏釜夹套内通导热油,高温导热油将废溶剂加热,控制导热油的流量、塔釜的温度,进行常压蒸馏,收集不同塔顶温度的馏分,对有特殊要求的馏分进行后处理,获得不同品级的溶剂产品;蒸馏残液(渣)送有资质的废物处理单位进行处置,从而实现废有机溶剂的回收处理。废有机溶剂蒸馏再生利用的工艺流程如图 3 所示。

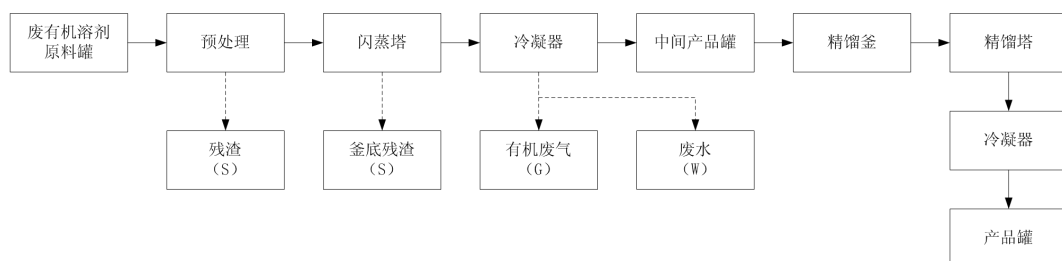


图 3 废有机溶剂蒸馏再生利用的工艺流程

废有机溶剂蒸馏再生利用工程的现场调研情况如图 4 所示。



(a) 废有机溶剂的贮存



(b) 废有机溶剂的预处理单元



(c) 废有机溶剂的蒸馏处理单元及不凝气排口



(d) 废有机溶剂蒸馏处理单元产生的蒸馏残渣排口



(e) 废有机溶剂的精蒸馏处理单元

图 4 废有机溶剂蒸馏再生利用工程的现场调研情况

废有机溶剂蒸馏再生利用废气产生及排放情况如表 6 所示, 包括导热油炉烟气和工艺废气两类。其中, 工艺废气则包括: (1) 废有机溶剂及产品在贮存、转运、装卸过程中的易挥发有机物无组织挥发排放; (2) 工艺废气无组织排放 (进料过程不凝气排放和蒸馏过程不凝气排放)。针对导热油炉烟气污染防治, 应采用天然气为导热油炉燃烧燃料, 污染物排放应满足《锅炉大气污染物排放标准 (GB13271-2001)》。针对车间有机气体污染防治, 应在原料、产品包装过程都采用密闭铁桶或者塑料桶, 减少物料的无组织挥发排放。为了提高提纯效果和进一步减少在蒸馏过程中的废气排放, 应选用更加密闭、蒸馏回收有机物效果更好的生产设备。同时, 在蒸馏釜不凝气、物料的上料口、产品的出料口安装收集罩, 采用活性炭吸附处理措施, 减少有机物的无组织排放。

表 6 废有机溶剂蒸馏再生利用废气产生及排放情况

序号	生产车间	生产线	废气种类	产生位置	处理措施
1	导热油炉	公用	SO <sub>2</sub> 、烟尘、氮氧化物	锅炉房	碱液吸收
2	生产	蒸馏	TVOC	车间	冷凝回收
3	无组织废气、进料不凝气、蒸馏不凝气	进料及储存	TVOC	车间/仓库	

废有机溶剂蒸馏再生利用过程产生的废水主要为车间生产废水，其中清洗设备产生的清洗废水，约占 90%；原料带入产生的废液，约占 10%。生产废水的主要污染物为 COD、BOD、氨氮、苯、甲苯、石油类等。生产废水经污水处理站处理后达标排放，满足《污水综合排放标准（GB 8978-1996）》，污水处理站的工艺如图 5 所示。对于没有环境容量的地区，应提高废水处理效率和提高中水回用，进一步提升废水排放标准，建议达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV 类水标准后排放。

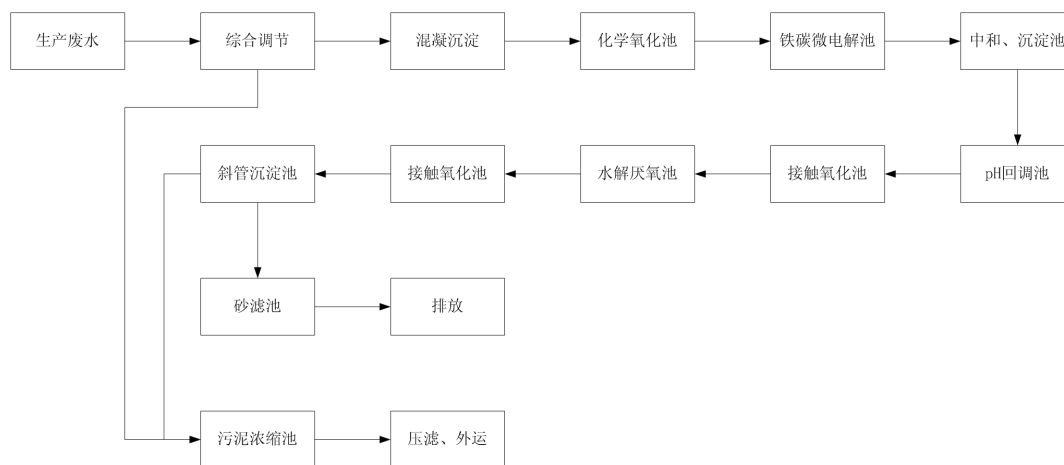


图 5 废有机溶剂蒸馏再生利用生产废水的处理工艺流程

废有机溶剂蒸馏再生利用固体废物的产生及去向如表 7 所示，具体包括含溶剂废渣（蒸馏残渣）和污水处理污泥，分别来源于废有机溶剂蒸馏环节和污水处理站，均属于危险废物，应送有资质废物处理单位进行安全处置。

表 7 废有机溶剂蒸馏再生利用固体废物的产生及去向

废物类别	来源	属性	去向
含溶剂废渣（蒸馏残渣）	废有机溶剂蒸馏	危险废物	送有资质废物处理单位处置
污水处理站污泥	污水处理站	危险废物	

除生产过程中产生的废水、废气、固废均能够得到有效控制外，废有机溶剂再生利用工程需要结合排放的特征污染物及周边的环境敏感点设置具体的大气防护距离，保证生产过程中的环境风险也得到有效控制。此外，废有机溶剂再生利用工程还需要符合国家和地方相关的产业政策要求，选址应符合城市总体规划和生态控制线规划等相关要求。

## 6 主要技术内容及说明

### 6.1 主要技术内容

对国外固体废物再生利用管理体系的情况总结可以得出，日本和德国在国家层次上建筑了较完备的固体废物再生利用管理体系，同时在立法体系上是基本法统率综合法和专项法的模式。而美国各州或地区相继制定了大量有关源削减、废物回收利用的法律、行政规章和地方法规，以及配套的指南及要求等。我国已经制定了一些典型固体废物再生利用的专门污染控制标准与技术规范，还有一些类型固体废物再生利用的污染控制标准规范正在研究编制中，需要出台原则性的固体废物再生利用标准，以指导固体废物再生利用过程中的污染防治。

《固体法》规定我国固体废物环境管理的原则是“充分合理利用固体废物和无害化处置固体废物”。本着贯彻上述原则，既充分借鉴国内外固体废物管理已有经验的思想，又结合制定环境保护标准规范的要求，确定了本标准核心内容的结构，具体包括：

- (1) 前言；
- (2) 适用范围；

- (3) 规范性引用文件；
- (4) 术语和定义；
- (5) 总体要求；
- (6) 固体废物再生利用工艺单元的污染防治技术要求；
- (7) 固体废物建材利用及其污染控制要求；
- (8) 固体废物土地利用及其污染控制要求；
- (9) 检测。

## 6.2 主要条文说明

### 6.2.1 前言

本部分是环境工程技术规范中的格式内容，包括制定的依据、目的、内容、效力、提出单位、起草单位、批准与实施日期等。

### 6.2.2 适用范围

本标准环境工程技术规范体系中的通用技术要求，适用于各类固体废物再生利用工程。

本标准适用于现有、新建、改建、扩建的固体废物再生利用工程，可作为固体废物再生利用工程环境影响评价、设计、施工、验收及建成后运行与管理的技术依据。

本标准适用于工业固体废物、污染土壤、污水处理厂污泥、畜禽粪便以及其他固体废物用作原料或替代材料的物质再生利用方式，不适用于固体废物用作替代燃料的能量再生方式。目前，生活垃圾（包括废塑料、废橡胶、废纸、废轮胎等）、城市污水处理厂污泥、废溶剂和废矿物油等废物作为替代燃料进行能量再生的污染防治技术要求可参考《水泥窑协同处置危险废物环境保护技术规范》执行。

对于已有相应的工艺技术规范或重点污染源技术规范的工程，应同时执行本标准和相应的工艺技术规范或重点污染源技术规范；对于没有工艺技术规范或重

点污染源技术规范的工程，应执行本标准。

本标准不适用于固体废物再利用。废物再利用是指将固体废物直接作为产品或者经修复、翻新、再制造后继续作为产品使用，或将废物的全部或者部分作为其他产品的部件予以使用，如废家具、废电器的翻新。

## 6.2.2 规范性引用文件

本部分列出了在本标准中所引用的国家标准、行业技术标准和技术规范。

## 6.2.3 术语和定义

本部分为执行本标准制定的专门术语，并对容易引起歧义的名词进行了定义，具体包括：固体废物、固体废物再生利用、工艺单元、固体废物建材利用、固体废物土地利用。

(1) 固体废物：本定义为《固体法》中的定义。

(2) 固体废物再生利用：将固体废物直接作为原料或燃料利用，或者通过分离、纯化等工艺处理后进行物质资源化利用的过程，分为用作原料或替代材料的物质再生利用和用作替代燃料的能量再生利用。固体废物再生利用主要方式包括建材利用和土地利用。

(3) 工艺单元：指固体废物再生利用工艺装置中的任一主要单元，包括固体废物再生利用过程中的化学工艺、机械加工、仓库、包装线等在内的整个生产设施。废物再生利用过程通常是单个或多个工艺单元的组合。通过资料调研和现场考察，在针对我国 23 种典型固体废物的再生利用工艺单元进行系统的归纳总结基础上，归纳总结出我国典型的废物再生利用单元工艺：清洗、干燥、破碎、分选、中和、絮凝沉淀、氧化/还原、结晶/蒸发、烧结、热解、生物处理等。

以粉煤灰的再生利用为例，粉煤灰建材利用涉及的工艺单元包括：干燥、粉磨、烧结等主要工艺单元。因此，本标准针对废物再生利用的典型工艺单元进行污染控制。

(4) 建材利用：利用固体废物直接代替传统建筑材料生产原料，或将其转化为建筑材料生产原料来生产建材的过程。固体废物建材利用的主要形式包括利



用固体废物生产水泥、砖瓦、轻型骨料、玻璃、陶瓷、陶粒、路基材料等。

(5) 土地利用：利用固体废物本身具备的部分营养成分，将固体废物直接利用或间接转化用作土壤改良剂或肥料的过程。固体废物土地利用通常需要进行必要的生物处理、热干化等预处理及加工。固体废物土地利用不包括固体废物矿区回填。

#### 6.2.4 总体要求

本部分规定了固体废物再生利用工程应遵循的主要原则：

(1) 在固体废物再生利用过程中，应以固体废物在环境安全的前提下得到妥善处置为第一目标。

(2) 由于固体废物再生利用技术路线的选择直接决定了全过程污染防治的难易程度，因此本款规定了废物再生利用技术的选择原则。

(3) 本款对固体废物再生利用工程的选址原则进行了规定。

(4) 本款规定固体废物再生利用工程的设计、施工、验收、运行应遵守国家现行的规定，并建立完善的环境管理制度。

(5) 由于用于再生利用的固体废物与正常生产所使用的常规原料之间存在较大的性质差异，本款规定应对废物再生利用各技术环节实行全过程污染防治，以有效控制固体废物再生利用的环境污染。

(6) 本款规定固体废物再生利用工程的各种污染物排放应满足国家和地方的污染物排放标准要求。

(8) 由于固体废物再生利用的产物中存在危害成分超出正常原料生产的产品、对人体健康和生态环境存在危害的可能性，因此本款规定应对固体废物再生利用的产物及其污染物排放进行定量评估与控制。

#### 6.2.5 固体废物再生利用工艺单元的污染防治技术要求

固体废物再生利用指将固体废物直接作为原料或燃料进行利用或者对固体

废物通过分离、纯化等工艺处理后进行物质资源化利用。与常规的生产原料比较，固体废物具有成分复杂、性质差异较大等特点，为防止固体废物在各种再生利用工艺单元中可能产生的环境污染，本章通过对固体废物典型再生利用工艺单元的工艺条件与污染控制方面提出要求，达到有效控制二次环境污染的目的。因此，本部分包括两部分内容：一是对固体废物再生利用工艺单元提出了在废气处理、粉尘处理、废水处理、废渣处理等方面应该采取的污染控制措施进行了一般规定；二是针对每个工艺单元的工艺特点，分别提出了控制环境污染的具体要求。

#### 6.2.5.1 一般规定

第 5.1.1 条对固体废物再生利用工艺单元的污染控制设施提出了总体要求。现场调研发现，固体废物再生利用工艺单元存在废气、粉尘、废水和废渣等形式的污染，因此应采取防扬散、防流失、防渗漏的设施，防止上述污染的扩散。同时，固体废物再生利用企业应配备相应的污染防治设施，使各项污染物排放指标符合国家或地方相关标准的要求。鼓励企业尽可能实现对固体废物再生利用设施运行过程废水、废气、噪声等主要环境影响指标的在线监测。

第 5.1.2 条、第 5.1.3 条、第 5.1.4 条、第 5.1.5 条和第 5.1.6 条分别针对固体废物再生利用工艺单元中粉尘、废气、恶臭、废液和残渣等的污染控制提出了总体要求。

#### 6.2.5.2 清洗技术要求

清洗是采用水、溶剂或气体从被洗涤对象中除去杂质成分以达到分离纯化目的的过程。按照被洗涤对象与水流运动方向可以分为逆流清洗和顺流清洗，根据洗涤的要求可以进行多级清洗。为防止废物在清洗过程中可能产生的环境污染，必须针对废物清洗工艺单元的废物原料、工艺设备、污染控制设施等方面提出技术要求。

第 5.2.1 明确了固体废物清洗的原理。

第 5.2.2 条是主要的清洗技术分类。

第 5.2.3 条和第 5.2.4 条对采用清洗技术的固体废物特性提出了要求。由于固体废物来源广泛且性质各异，在清洗过程中可能会存在毒性物质释放、遇水反应

爆炸或火灾等安全事故，因此清洗前应明确固体废物的特性并加强安全防护措施。易燃易爆废物、易挥发废物、具有毒性和腐蚀性废物、来源不明废物等由于其潜在危险性，不适合采用清洗技术进行处理。

第 5.2.5 条对废物清洗工艺单元的工艺设备提出了要求。考虑到废物清洗过程中产生的废液具有一定的腐蚀性，要求废物清洗设备具备耐磨、防腐蚀等性能。

第 5.2.6 条针对固体废物清洗工艺单元的安全、职业健康等方面提出了要求，规定固体废物清洗设施的安全、职业健康应符合 GBZ 1、GBZ 2.1、GBZ 2.2 和 GB/T 12801 的要求。

### 6.2.5.3 干燥技术要求

干燥是用热空气、烟道气以及红外线等热源加热烘干固体废物，使其中所含的水分或溶剂汽化而除去的过程。通过蒸发去除大量的水分，达到固体废物减容、减量的目的，便于再生利用。干燥是固体废物再生利用过程中的重要预处理工艺单元。为防止固体废物在干燥过程中可能产生的环境污染，必须针对固体废物干燥工艺单元的废物原料、工艺设备、运行条件、污染控制设施等方面提出技术要求。

第 5.3.1 明确了固体废物干燥的原理

第 5.3.2 条是主要的干燥技术分类。

第 5.3.3 条提出了不同物质形态的固体废物适用的干燥技术。

第 5.3.4 条提出应在干燥前明确固体废物的特性。由于被干燥固体废物的特性决定了干燥工艺中干燥介质的种类、干燥方法和干燥设备，因此干燥前应明确被干燥固体废物的物理化学性质，具体包括：组成、物料含水率、密度、比热容、热导率、粒径分布、粘度、表面张力、热敏性、毒性、可燃性、氧化性、酸碱度、摩擦带电性、吸水性、粘附性、触变性等，以保证干燥过程的顺利进行，防止环境污染和事故的发生。

第 5.3.5 条规定了含有挥发性有机类物质的固体废物、有毒粉粒状物质的固体废物、有粉尘爆炸可能的废物和易氧化废物的，应选择闭路循环式干燥设备，以避免气体、溶剂蒸气和颗粒状物质逸出造成大气污染和安全隐患。

第 5.3.6 条对喷雾干燥系统的减振设施提出了要求。

第 5.3.7 条针对干燥工艺单元的安全稳定运行提出了要求。

第 5.3.8 条针对干燥工艺单元的污染控制提出了要求。

#### 6.2.5.4 破碎技术要求

破碎是通过人力或机械等外力的作用，破坏固体废物内部的凝聚力和分子间作用力而使其破裂变碎的过程。磨碎则是将小块固体废物颗粒分裂成细粉状的过程。破碎是固体废物再生利用过程中的重要预处理工艺单元。为防止固体废物在破碎过程中可能产生的环境污染，必须针对固体废物破碎工艺单元的废物原料、工艺设备、运行条件、污染控制设施等方面提出技术要求。

第 5.4.1 明确了固体废物破碎的原理。

第 5.4.2 条是主要的破碎技术分类。

第 5.4.3 条提出应在破碎前明确固体废物的特性，采取措施防止固体废物破碎过程引致的毒性物质释放和火灾等二次污染和安全事件。

第 5.4.4 条规定了不能采用破碎方式进行预处理的固体废物类型。

第 5.4.5 条提出了不同特性的固体废物适用的破碎技术。

第 5.4.6 条提出了固体废物在进行破碎之前的预处理要求。

第 5.4.7 条提出了破碎设施的安全防护要求。

第 5.4.8 条针对破碎工艺单元提出了防治粉尘爆炸的要求。如高炉渣、钢渣等废物作为水泥熟料粉磨利用过程中，存在较大的发生粉尘爆炸的风险，因此在粉磨过程中应严格控制粉尘的颗粒度、挥发性、水分、灰分、以及环境温度和火源等条件，严格防止发生粉尘爆炸事故。

第 5.4.9 条针对破碎工艺单元的噪声污染控制提出了要求。

#### 6.2.5.5 分选技术要求

分选是将固体废物中的各种可以再生利用的组分或不利于后续处理工艺要求的组分用人工或机械的方法分类分离的处理过程，包括：手工捡选、筛选、重

力分选、磁力分选、涡电流分选、光学分选等。分选是实现固体废物资源化、减量化的重要手段之一。为防止固体废物在分选过程中可能产生的环境污染，必须针对固体废物分选工艺单元的废物原料、工艺设备、运行条件、污染控制设施等方面提出技术要求。

第 5.5.1 明确了固体废物分选的原理。

第 5.5.2 条是主要的分选技术分类。

第 5.5.3 条提出了不同理化特性的固体废物适用的分选技术。

第 5.5.4 条提出了固体废物在进行分选之前的预处理要求。

第 5.5.5 条、5.5.6 条和 5.5.7 条分别对分选设施的工作效率、基本性能和防泄漏等方面提出了要求。

第 5.5.8 条针对分选工艺单元的噪声污染控制提出了要求。

#### 6.2.5.6 中和技术要求

中和是通过加入药剂，将固体废物中的酸性和碱性调节到中性（即 pH 值为 7.0）的反应过程，中和是处理酸性废渣（液）或碱性废渣（液）最普遍的技术之一。为防止固体废物在中和过程中可能产生的环境污染，必须针对固体废物中和工艺单元的废物原料、工艺设备、运行条件、污染控制设施等方面提出技术要求。

第 5.6.1 条明确了固体废物中和的原理。

第 5.6.2 条明确了固体废物中和的适用范围。

第 5.6.3 条提出应在中和前明确固体废物的特性，采取措施防止固体废物中和过程引致的毒性物质释放、爆炸和火灾等二次污染和安全事件。

第 5.6.4 条提出了酸性废物与水调和的操作要求。应采取措施防止中和反应中因温度升高导致毒性物质的产生和释放。酸性废物与水调和时，应往水里缓慢添加酸性废物，严禁将水直接倾倒至酸性废物中。

第 5.6.5 条针对固体废物中和工艺单元的工艺设备提出了要求。由于废物中

和反应过程是放热过程，且反应速度较快，应需要针对反应液位和 pH 值等进行实时监控，严格防止由于温度升高而导致废物中毒性物质的大量产生和瞬时释放。

第 5.6.6 条对腐蚀性废物的贮存提出了要求。

#### 6.2.5.7 絮凝沉淀技术要求

絮凝是将悬浮于液态介质中的微小、不沉降的微粒凝聚成较大、更易沉降颗粒的过程。沉淀是将某种或所有原液中的物质转变为固相（难溶物）的物理化学过程，如金属以硫化物或其它难溶化合物的形式沉淀除去。由于絮凝和沉淀过程往往在同一反应容器或在紧连的反应器内进行，因此本标准中将固体废物絮凝和沉淀过程合并为同一工艺单元。为防止固体废物在絮凝沉淀过程中可能产生的环境污染，必须针对固体废物絮凝沉淀工艺单元的废物原料、工艺设备、运行条件、污染控制设施等方面提出技术要求。

第 5.7.1 条明确了固体废物絮凝沉淀的原理。

第 5.7.2 条是主要的絮凝沉淀技术分类。

第 5.7.3 条提出了固体废物在进行絮凝沉淀之前的预处理要求。

第 5.7.4 条和 5.7.5 条分别针对固体废物絮凝沉淀工艺单元的设备与工艺提出了要求。

第 5.7.6 条对固体废物絮凝沉淀工艺单元的密闭性提出了要求。

#### 6.2.5.8 氧化/还原技术要求

氧化/还原是通过氧化或还原反应，使废物中价态可发生变化的有毒有害成分转化为无毒害或低毒害成分，并使其具有稳定化学性质的过程。氧化还原宜作为废物再生利用前的预处理方法，以便废物的后续处理处置，如含重金属废物、金属硫化物、金属氰化物等有毒有害无机物的预处理。为防止固体废物在氧化/还原过程中可能产生的环境污染，必须针对固体废物氧化/还原工艺单元的废物原料、工艺设备、污染控制设施等方面提出技术要求。

第 5.8.1 条明确了固体废物氧化/还原的原理。

第 5.8.2 条是主要的氧化/还原技术分类。

第 5.8.3 条提出了固体废物在进行氧化/还原之前的预处理要求。以铬渣为例，铬渣在还原解毒前应进行充分的烘干、破碎，以降低其水分含量，保证铬渣粒度的均匀性，目的在于提高其在还原反应中的反应效率，保证还原产品均达到解毒的要求。

第 5.8.4 条规定了氯和次氯酸盐、过氧化氢、高锰酸钾和臭氧等常用氧化剂的适用范围及贮存与操作要求，

第 5.8.5 条规定了二氧化硫、硫酸亚铁、亚硫酸盐、煤粉、硼氢化钠等常用还原剂的适用范围与操作要求。

第 5.8.6 条规定了湿法氧化/还原的技术要求。废物湿法氧化/还原过程中，除了对废物进行纯化、均化等预处理外，还需要防止氧化还原剂的掺入引入新的环境污染物质，因此应选择合适的氧化还原剂。由于废物湿法氧化/还原工艺参数受到废物特点影响，因此应根据废物特点确定废物粒度、液固比、pH 值、反应时间等工艺参数。废物湿法氧化还原过程中应严格控制 pH 值以控制氧化还原反应残渣的产生量。

第 5.8.7 条规定了火法氧化/还原的技术要求。对于固体废物火法氧化还原技术，应根据废物成份确定氧化剂（或还原剂）的用量，固体废物与氧化剂（或还原剂）在进入氧化还原设施之前应均匀混合。为了以控制转速（回转窑）、进料量、风量、温度等运行参数，固体废物火法氧化还原设施应配备自动控制系统和在线监测系统，以在线显示气体浓度、风量、温度等运行工况并进行实施调控，保证废物氧化还原产物的合格率。采用回转窑进行火法氧化还原，应控制进入回转窑的空气量以保证氧化（或还原）气氛，以确保窑气中的 O<sub>2</sub> 和 CO 含量有利于高温氧化（或还原）反应的进行。同时，应确保固体废物在火法氧化还原过程中充足的温度和停留时间。出窑产物应在密闭状态下立即使用水淬剂降温，使之迅速冷却。此外，火法氧化/还原设施应配备烟气脱硫、脱销净化装置和除尘装置，并对废气中的粉尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和 CO 浓度进行在线监测，废气排放应本标准 5.1.3 节中的相关要求。

第 5.8.8 条针对氧化/还原工艺单元的粉尘污染控制提出了要求。

#### 6.2.5.9 结晶/蒸发技术要求

结晶是利用溶质在溶液中的过饱和度使溶质从溶液中析出的过程。结晶包括晶核生成和晶体生长两个阶段，两个阶段的推动力都是溶液的过饱和度，结晶的方法包括蒸发溶剂法和冷却热饱和溶液法。由于蒸发结晶往往在同一反应容器内进行，因此本标准中将废物蒸发和结晶合并为同一工艺单元。

第 5.9.1 条明确了固体废物结晶的原理。

第 5.9.2 条是主要的结晶技术类型。

第 5.9.3 条提出了固体废物在进行结晶之前的预处理要求。

第 5.9.4 条针对固体废物蒸发结晶工艺单元的工艺设备提出了要求。由于废物成分复杂，在蒸发结晶等高温高湿高压环境对于蒸发结晶装置的抗压、防腐蚀、耐高温的性能具有较高的要求，同时应防止废物蒸发结晶过程中的超温、超压、超液位运行造成的二次污染和安全危害。由于废物蒸发和结晶容器属于压力容器，因此在运行过程中应防止引发压力容器损害的操作，如用水冲洗目镜和带压紧目镜螺丝等危险操作。同时，应按照压力容器检修的要求定期对废物蒸发和结晶设备进行检修和清洗，严格防止对于操作人员的人身安全造成危害。

第 5.9.5 条、第 5.9.6 条和第 5.9.7 条分别针对废物蒸发结晶工艺单元的污染控制措施提出了要求。废物蒸发结晶处理工艺单元的主要污染物包括废酸废碱、废气、浓缩废液等，必须遵循循环利用、集中处理、达标排放的原则。

第 5.9.8 条规定了固体废物蒸馏再生利用工艺单元的污染控制要求应参考本节技术要求执行，这是由于固体废物蒸馏再生利用过程与蒸发结晶等处理技术从适用废物类型、工艺过程及三废产生等方面均存在较大的相似性。

#### 6.2.5.10 烧结技术要求

烧结是通过固体废物颗粒间的冶金结合以实现有害成分的固化、显著提高烧结产物强度的热处理过程。

第 5.10.1 条明确了固体废物烧结的原理。

第 5.10.2 条是主要的烧结技术类型。



第 5.10.3 条规定了烧结工艺单元适用的固体废物原料类型。由于含重金属废物在高温烧结过程中重金属的形态和有效性可能根据氧化还原气氛和烧结温度的改变而改变，因此必须严格控制重金属内废物的烧结条件，防止其中重金属被活化导致毒性增强。其中，含砷废物和含汞废物在高温烧结过程中易于随烟气挥发损失，且调研发现绝大部分烧结企业不具备满足烟气达标排放的要求的烟气处理装置，因此含砷、含汞废物不应采用烧结工艺进行处理。同时，含重金属废物的烧结处理应严格控制氧化还原气氛、烧结温度等，防止重金属的活化。

第 5.10.4 条和 5.10.5 条针对固体废物烧结工艺单元的烟气污染控制提出了要求。由于固体废物烧结设施一般生产规模较大，且烧结温度一般在 1000℃左右，在正常运行条件下其主要污染物为 SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>，因此废物烧结需要严格控制废物原料、溶剂和固体燃料的来源与品质，采用有害气体产生量少的新工艺。产生烟气中的有害气体必须满足国家的相关要求后达标排放。首先，应推行清洁生产工艺，优化工程设计，实现常规污染物与二恶英协同减排；其次，选用低氯化物含量原料、减少氯化钙使用、对原料进行除油预处理、增加料层透气性、采用粉尘返料造球等措施减少二恶英等的产生与排放；最后，鼓励采用烧结废气循环技术减少废气产生量和排放量。此外，固体废物烧结企业应建设废气综合净化设施，废气排放应满足本标准 5.1.3 节中的相关要求。

第 5.10.6 条针对固体废物烧结工艺单元的粉尘污染控制提出了要求。烧结设施应从工艺布局、工艺选择、收尘设施、除尘设施等方面进行严格控制，防止废物烧结过程造成的粉尘污染。

第 5.10.7 条针对固体废物烧结工艺单元的噪声污染控制提出了要求。由于废物烧结工艺单元的鼓风机、引风机、装卸机等机械，应采用消声、减振或隔声等措施严格控制废物烧结工艺单元的噪声污染，确保厂界噪声达到 GB 12348 的要求。

#### 6.2.5.11 热解技术要求

热解是指是在无氧或近乎无氧的状态下，将固体或液体状有机废物的大分子链切断、裂解成低分子链油气的过程。热解油气再经过冷凝及分离过程，得到轻质油、重质燃油、黑炭等资源化物质，是有机废物主要的再生利用途径之一，如废

塑胶、废轮胎、废机油等物质的热解再生利用。

第 5.11.1 条明确了固体废物热解的原理。

第 5.11.2 条是主要的热解技术类型。

第 5.11.3 条提出了热解工艺单元适用的和不适用的废物类型。由于固体废物来源广泛，组成成分差异较大，其裂解特性也存在较大的差异，因此需要结合废物自身的热解特性确定热解工艺条件。其中，由于城市生活垃圾中回收的废旧塑料成分复杂，杂质含量高，导致裂解产物的品质极差，因此不适合采用热解制油的方式进行再生利用。现场调研也发现，采用上述工艺进行废塑料热解制油的企业均难以维持。

第 5.11.4 条提出了固体废物在进行热解之前的预处理要求。城市污泥热解可以实现其无害化、减量化，并能有效控制二次污染。但是，由于城市污泥含水率一般在 80%左右，从能量平衡的角度考虑，适合热解污泥的含水量应低于 30%。此外，为了保证热解废物的品质及均匀性，提高废物的热解效率，减少热解废气的产生，废物热解前应进行必要的破碎、洗涤、干燥和分选等预处理。

第 5.11.5 条针对固体废物热解工艺单元的设备提出了要求。为了保证良好的工况控制和污染控制条件，废物热解设备应具备裂解温度自动化控制设备，应具有良好的密封性，防止裂解气体外泄，同时热解设备和烟气管道应在设计上考虑绝热保漏，防止操作人员烫伤。此外，由于废物裂解工艺单元存在较高的劳动危险性，废物输送过程应尽量机械化、自动化。

第 5.11.6 条和第 5.11.7 条分别针对废物热解工艺单元的运行过程提出了要求。由于废物裂解过程中污染物的释放（冒黑烟）主要发生在停机和启动期间，因此热解炉在启动时，应先将炉内温度升至热解炉设计温度后才能投入固体废物。自投入固体废物开始，应逐渐增加投入量直至达到额定热解处理量。在关闭热解炉时，自停止投入固体废物开始，应启动助燃系统，保证炉内固体废物裂解完全。热解炉运行后应减少停机或启动次数。

第 5.11.8 条、第 5.11.9 条和第 5.11.10 条分别对废物热解工艺单元产生的废水、废气、黑炭和底渣的安全处理处置提出了具体要求。废物热解产生的副产物

应结合裂解炉自身高温余热的特点，采取综合利用、达标排放的原则进行合理的利用与处置。其中，废物热解产生的废气是其主要污染形式，其主要成分为 CO、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 等，应作为热解的燃料循环利用和余热利用，排放应满足 GB 18484 的要求。废物热解产生的黑炭具有较高的利用价值，应防止其在分离、造粒等过程中的炭黑粉尘污染。本企业不能综合利用或处置的，应交给有相应处理能力的企业进行综合利用或安全处置。

#### 6.2.5.12 生物处理技术要求

通过生物处理进行再生利用是有机废物资源化利用的主要途径之一，主要包括堆肥、厌氧消化等方式。

第 5.12.1 条明确了固体废物生物处理的原理。

第 5.12.2 条是主要的生物处理技术类型。

第 5.12.3 条针对固体废物堆肥处理工艺单元的工艺条件和污染控制提出了具体要求。为了保证废物堆肥处理过程的顺利进行，防止厌氧环境导致的臭气产生，避免因碳氮比失调引起的氨气释放，需要对废物原料的含水量、有机质含量和碳氮比、堆肥温度等进行有效控制。考虑到堆肥产品的环境安全性，除需要符合标准 GB 8172、GB/T 23486、GB/T 24600、CJ/T 309、CJ/T 362 中的相关质量要求外，对于废物原料中含有特征污染物，应对其堆肥产品进行环境安全性评价，以保证其堆肥产品的环境安全性。由于废物堆肥厂存在的最大污染问题是恶臭污染，处理车间和堆肥车间应设负压收集系统，将臭气统一收集后处理排放，要求臭气去除率不应小于 95%，以有效控制堆肥预处理车间和堆肥车间的恶臭气体污染。城市生活垃圾、城市污泥和畜禽粪便等有机废物堆肥过程会产生一定数量的渗沥液，要求对渗沥液采取有效收集，集中处理，循环利用等措施。必须排放时，应符合本标准 5.1.4 节中的相关要求，以有效防止堆肥工艺单元的渗沥液污染。同时，堆肥残渣应进行无害化处理。此外，考虑到堆肥厂现场的工作条件非常恶劣，对废物堆肥处理工艺单元操作人员的劳动健康保护和堆肥厂区的环境卫生等方面提出了要求，以有效防止对于操作人员健康的危害。

第 5.12.4 条针对固体废物厌氧消化工艺单元的工艺条件和污染控制提出了具体要求。为了防止由于废物组成变化对于废物厌氧消化过程的影响，要求入场

废物原料必须在废物分类收集的基础上进行，如城市生活垃圾的厌氧消化处理要求针对分类后的餐厨垃圾进行处理，并配合必要的预处理措施，以保证厌氧消化工艺单元的顺利运行。目前，废物厌氧发酵工艺主要分为湿式厌氧发酵和干式厌氧发酵，大致以总固体含量 15% 为分界线。其中，湿式厌氧消化适合于高含水率废物的处理，由于湿法厌氧消化中的浆液处于完全混合的状态，易受到氨氮、盐份等物质的抑制。废物干法厌氧消化对于预处理的要求相对简单，一般不需要进行稀释，但是干法处理为了满足废物高粘度的需求，设备相对较昂贵。干法处理比湿法处理具有更高的有机负荷率和产气效率，具有省水、产气率高、易于进出料等特点，适宜于低含水率固体废物的处理。因此，应根据废物的特点选择可靠、安全、适用和易操作的湿式或干式厌氧发酵工艺。同时，废物厌氧发酵工艺的选择应结合当地气候条件，保证废物的降解率最高，做到耗能最少，以利于保证废物厌氧发酵工艺的长期稳定运行。为了保证废物厌氧消化过程的正常进行，本节还针对湿式消化和干式消化工艺的含固率和停留时间等参数的变化范围进行了界定，同时对于碳氮比、碱度、消化温度等关键因素也提出了控制要求。对于厌氧消化反应器，应有良好的防渗、防腐、保温和密闭性；结构设计应有利于物料的流动和匀化搅拌，避免产生滞流死角和沉淀。

由于固体废物厌氧消化厂废物转运、暂存、消化处理、卸料以及后处理等过程会形成恶臭污染，同时由于引风机、破碎机和搅拌机等机械的存在也会引起造成污染，需要采取必要的污染控制措施，防止对周边环境造成污染。废物厌氧消化厂（场）的另一主要污染物是消化后产物残渣和残液，要求对废物厌氧消化后产生的残渣和残液进行妥善处理和处置，严防因处理不当造成的环境污染。城市生活垃圾、城市污泥和畜禽粪便等有机废物厌氧消化过程会产生一定数量的残液和渗沥液，要求对残液和渗沥液采取有效收集，集中处理，循环利用等措施。若必须排放时，应符合本标准 5.1.4 节中的相关要求，以有效防止厌氧消化工艺单元的残液和渗沥液污染。

第 5.12.5 条和 5.12.6 条针对固体废物厌氧消化器及设施提出了具体要求。

第 5.12.7 条针对固体废物生物处理过程使用微生物菌剂的生物安全性进行了规定。

## 6.2.6 固体废物建材利用及其污染控制要求

建材利用是利用固体废物直接代替传统建筑材料生产原料,或将其转化为建筑材料生产原料来生产建材的过程。固体废物建材利用的主要形式包括利用固体废物生产水泥、砖瓦、轻型骨料、玻璃、陶瓷、陶粒、路基材料等。为防止固体废物建材利用过程的环境污染,必须对建材利用过程和产品使用过程中的环境风险进行控制,提出要求,避免环境污染。

第 6.1 条对固体废物建材利用设施在废气、噪声和粉尘污染防治装置的配备提出了要求。

第 6.2 条、6.3 条和 6.4 条对固体废物建材利用过程和生产的产品的污染控制提出了要求。固体废物建材利用生产水泥过程及产品的污染控制应满足《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准 (GB 30485)》的要求,该标准以废物制水泥在最不利条件下污染物释放的环境风险控制为依据,从而充分保证废物建材利用产品的环境安全性。固体废物制砖瓦、制砌块、制集料、制陶、制陶粒等建材利用过程的污染控制可参照《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准 (GB 30485)》执行,其相关产品的污染控制应依据环境安全性评价结果进行确定。同时,应对建材利用过程中固体废物和建材产品进行取样检测,取样方法、频率及检测方法参照《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准 (GB 30485)》和《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范 (HJ 662)》执行。此外,固体废物建材利用产品必须符合建材产品的质量要求,以保证建材产品满足强度等性能指标的要求。

第 6.5 条对固体废物建材利用过程中的个人防护提出了要求。

第 6.6 条规定了固体废物建材利用工艺单元中具体的再生利用工艺单元应分别满足第 5 章中相关工艺单元的污染控制要求。

## 6.2.7 固体废物土地利用及其污染控制要求

土地利用是利用固体废物本身具备的部分营养成分,将固体废物直接利用或间接转化用作土壤改良剂或肥料的过程。固体废物土地利用通常需要进行必要的生物处理、热干化等预处理及加工。固体废物土地利用不包括固体废物矿区回填。

废物土地利用涉及的主要工艺单元相对简单，具体包括干燥、破碎、分选、生物处理等，其主要污染物形式包括粉尘、废气、废水、噪声等。

第 7.1 条提出了废物土地利用前处理设施需要满足的污染控制要求，其中粉尘处理、臭气处理、废水处理、防止或降低噪声等方面的各项污染物排放指标均应符合国家或地方的相关标准的要求，防治对周边环境噪声污染。

第 7.2 条对土地利用废物的环境安全性提出了要求。生活垃圾和生活污泥的土地利用应符合 GB 8172、GB/T 23486、GB/T 24600、CJ/T 309、CJ/T 362 等的有关要求。例如，现行国家标准《城镇垃圾农用控制标准》（GB 8172）分别在杂物、粒度、蛔虫卵死亡率、大肠菌值、总镉、总汞、总铅、总铬、总砷、有机质、总氮、总磷、总钾、pH 值和水分等方面提出了相关限值要求，使土地利用废物满足肥料质量和环境安全性的要求，防止废物土地利用的二次污染。对于土地利用的其他固体废物，缺乏相关污染控制标准的，应针对土地利用废物所含的特征污染物进行环境安全性评价。通过确定环境保护目标、建立评价场景、构建污染物释放模型、构建污染物在环境介质中的迁移转化模型等步骤，对土地利用废物所含特征污染物的环境安全性进行评估。以此为依据，在确保环境安全的前提下，确定固体废物土地利用量和利用频率。

第 7.3 条针对废物土地利用的定期监测提出了要求。考虑到废物土地利用的累计效应和长期安全性，必须定期对土地利用区域进行取样检测，以防止废物土地利用引起的环境污染。

第 7.4 条对固体废物土地利用过程中的个人防护提出了要求。

第 7.5 条规定了固体废物建材利用工艺单元中具体的再生利用工艺单元应分别满足第 5 章中相关工艺单元的污染控制要求。

#### 6.2.8 检测

固体废物本身的组成具有不稳定性，即使是固定来源的固体废物的组成也不是一成不变的，导致固体废物再生利用产物的组成具有一定的不稳定性。因此应定期对固体废物再生利用产物中的特征污染物含量进行检测，同时对废物再生利用场所和设施定期进行检测，以确保废物再生利用过程和产物不造成环境污染。

第 8.1 条提出了企业对于固体废物再生利用产物的检测要求，规定了企业进行样品检测的频率。

第 8.2 条提出了企业对于固体废物再生利用场所和设施的检测要求。

## 7 标准实施的环境效益与经济技术分析

本标准规定了固体废物再生利用工程的污染防治通用技术要求，适用于新建、改建、扩建的固体废物再生利用工程，可作为固体废物再生利用工程环境影响评价、设计、施工、验收及建成后运行与管理的技术依据。

本标准推荐的处理工艺均为当前国内外广泛使用的工艺，是成熟、可靠、经济、实用的工艺技术。固体废物再生利用工程建设、运行、管理的规范化是固体废物污染防治的重要内容，其效益更重要地体现在社会效益和环境效益上。本标准的实施，有利于选择与我国当前的经济、技术发展水平相适应的工艺技术路线，提高工程效率，促进固体废物再生利用工程的规范化建设，进而逐步建设一批具有规模的先进的固体废物再生利用工程，减少固体废物对环境的污染，并防治和避免固体废物再生利用过程出现的二次污染，实现社会、经济和环境效益统一，促进人与环境的和谐发展。因此，本标准的实施会带来良好的社会效益、环境效益和经济效益。

## 8 标准实施建议

本标准作为我国环境技术管理体系中的一部分，在编制过程中，有关条款直接引用了现有国家标准或行业标准的内容，尽量避免重复，力求简化。内容上力求突出固体废物再生利用污染防治特有的技术要求，层次上尽量体现与各标准之间的衔接。因本标准为首次制定，实施一段时间后，根据反馈的问题和技术进步情况，进行修订完善、更新标准的内容。

## 9 关于二次征求意见的说明

原科技标准司于 2015 年 6 月 5 日组织了本标准的专家预审会。与会专家认为本标准的制订技术路线合理，技术规定基本科学合理并重点突出；充分考虑并采纳了征求意见，意见处理恰当；报审资料齐全，结构基本合理，内容翔实，符合环境保护标准编制格式及内容要求。与会提出预审意见如下：建议将标准名称更改为《固体废物再生利用污染防治技术导则》；标准的编制内容应侧重于固体废物再生利用污染防治的技术要求；标准适用范围应与已经发布的专项固体废物污染防治规范有效衔接；结合固体废物再生利用的实际环节，对标准结构进行适当调整；考虑到固体废物再生利用涉及范围较广，建议完善后再次征求意见。

标准编制单位按照专家预审会的意见，在补充资料和现场调研的基础上对标准文本与编制说明进行了修改（具体采纳与修改情况见附表），形成了《二次征求意见稿》（专家审议稿）。

2019年3月6日，生态环境部科技与财务司组织召开了《固体废物再生利用污染防治技术导则》（二次征求意见稿）的专家审议会。编制组根据审查意见，对《固体废物再生利用污染防治技术导则》（二次征求意见稿）进行了修改完善后提交。