
陶粒窑协同处置污染土壤技术指南

编 制 说 明

目 录

一、制定标准的背景、目的和意义	2
1.1 背景	2
1.2 目的	5
1.3 意义	6
二、工作简况	6
2.1 标准主要起草单位和起草人及其工作	6
2.2 主要工作过程	7
三、标准编制原则和确定标准的依据	9
3.1 标准编制原则	9
3.1.1 政策衔接	9
3.1.2 结构合理	10
3.1.3 具有可操作性	10
3.2 确定标准内容的依据	10
3.2.1 范围	11
3.2.2 规范性引用文件	11
3.2.3 术语与定义	12
3.2.4 总体原则	12
3.2.5 企业处置能力	13
3.2.6 设施设备	13
3.2.7 过程管理	15
3.2.8 运行技术	17
3.2.9 产品质量	18
3.2.10 协同处置总结报告	19
四、与现行有关法律、法规和强制性标准的关系	19
五、重大分歧依据的处理经过和依据	20
六、标准实施的环境效益及经济技术分析	20
七、标准实施建议	20

一、制定标准的背景、目的和意义

1.1 背景

2005年4月至2013年12月，我国开展了首次全国土壤污染状况调查。根据2014年4月17日的《全国土壤污染状况调查公报》主要数据成果，全国土壤环境状况总体不容乐观，部分地区土壤污染较重，耕地土壤环境质量堪忧，工矿业废弃地土壤环境问题突出。工矿业、农业等人为活动以及土壤环境背景值高是造成土壤污染或超标的主要原因。全国土壤总的超标率为16.1%，其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为11.2%、2.3%、1.5%和1.1%。污染类型以无机型为主，有机型次之，复合型污染比重较小，无机污染物超标点位数占全部超标点位的82.8%。从污染分布情况看，南方土壤污染重于北方；长江三角洲、珠江三角洲、东北老工业基地等部分区域土壤污染问题较为突出，西南、中南地区土壤重金属超标范围较大；镉、汞、砷、铅4种无机污染物含量分布呈现从西北到东南、从东北到西南方向逐渐升高的态势。江苏省作为经济大省，化工企业、石化企业、再生金属冶炼企业、电镀企业、危废处置企业等易致污染行业企业占比排在全国前列，土壤污染问题较为突出。

2019年1月1日，《中华人民共和国土壤污染防治法》正式施行。这是我国首次通过制定专门的法律来规范防治土壤污染，使我国土壤污染防治工作的开展有法可依。2020年10月，十九届五中全会提出“十四五”时期要“推动绿色发展，促进人与自然和谐共生”，强调“全面提高资源利用效率”。2021年7月，国家发展改革委印发《“十四五”循环经济发展规划》，明确要大力发展循环经济，推进资源节约集约利用，构建资源循环型产业体系和废旧物资循环利用体系。2022年1月，江苏省人民政府办公厅印发江苏省全域“无废城市”建设工作方案的通知，明确要求要提高资源化综合利用水平，将符合条件的再生产品列入绿色建材目录和绿色采购目录，推动在土方平衡、林业用地、环境治理、回填等领域利用建筑垃圾，提高建筑垃圾综合利用率。

土壤作为地球陆地生态系统的重要组成部分，是人类生活和生产最基本、最广泛、最重要的自然资源。近几十年，随着我国土壤污染调查工作的开展，大量修复后污染土壤的去向成了困扰地方生态环境主管部门、土壤使用权人以及污染

调查单位的难题。目前对于污染土壤的资源化利用主要是利用水泥窑协同处置，水泥窑协同处置污染土壤的主要优势有无害化处置效果好、资源化利用程度高、焚烧效率高等方面。在国外，水泥窑协同处置是固废和危废的主要手段之一，已经有 40 多年的发展历史。随着《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》（HJ 662-2013）、《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 30485-2013）等一系列标准的发布，水泥窑协同处置污染土壤技术在我国也得到了广泛的关注、认可和应用。由于污染土壤资源化需求庞大，单一的资源化途径依然无法满足市场需求，行业发展的痛点亟需解决。

1986 年 10 月，《矿产资源保护法》正式实施。严禁任何单位和个人从事非法买卖矿产资源等经营活动，陶粒企业生产所用的主要原料粘土、页岩矿物均在內。2020 年 9 月，《中华人民共和国资源税法》施行，陶粒企业主要原料粘土、页岩矿物均在征税范围内，导致企业生产成本再次增加。根据《产业结构调整指导目录》（2019），年产 5 万 m³/年以下陶粒生产线属限制类，中小企业存活空间再次被压缩。因此，对于陶粒生产行业而言，如何改革创新，创造新的增长点，使行业焕发新的活力是亟待解决的困境。

根据国家地球系统科学数据中心的江苏省 1:100 万土壤类型图（2018 年），江苏省主要土壤类型为水稻土和潮土，黏粒含量较高，较接近制备陶粒的主要原料粘土。因此，从土壤质地方面考量，江苏省在发展陶粒窑协同处置污染土壤制备陶粒方面具有一定的优势。

江苏省1:100万土壤类型图 (2018年)

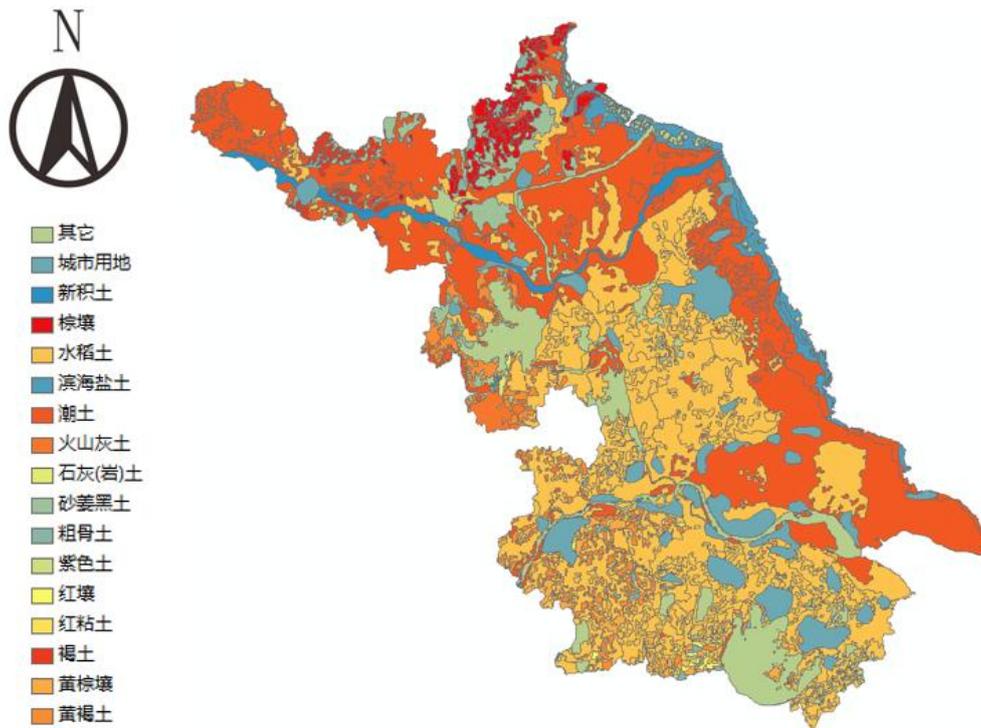


图1 江苏省 1:100 万土壤类型图 (2018 年)

陶粒是人工制备的一种建筑材料，一般用来取代混凝土中的碎石和卵石。它能使混凝土在不减强度的前提下，大大减轻混凝土的自重。随着经济的全面发展，陶粒已广泛应用于高层建筑、公路桥梁、海运码头、保温隔热、环保滤料等方面。近年来，随着砂石骨料价格不断上涨，利用陶粒窑协同处置污泥、污染土壤、建筑弃土、淤泥等固体废弃物制备轻质骨料成为一举多得的环保产业。本标准的提出基于陶粒窑协同处置污染土壤技术兼具了水泥窑协同处置技术的优点，同时烧制陶粒对原料中氯离子含量、氟离子含量、含水率等要求更低，因此成本更低、适用范围更广。按照 GB30485 要求，假设每条水泥熟料生产线 2000t/d，每年正常运行 300 天，污染土壤添加量 4%，则每条生产线每年能处理污染土壤 24000t。该技术在国内的应用成本为 800-1000 元/m³。而陶粒窑协同处置污染土壤的掺量更大，根据土壤质地及污染物含量差异，掺入量约为 20-60%，假设每条陶粒生产线 100000t/a（小型生产企业），污染土壤添加量 40%，则每条生产线每年能处

理污染土壤 40000t。该技术在国内的应用成本约为 450-800 元/m³。

陶粒窑不仅可以实现污染土壤的无害化,同时能满足污染土壤资源化综合利用的需要,符合国家建材行业发展的需要,适应我国墙体材料改革新政策的需要,同时符合“无废城市”建设的要求。调研企业用污染土壤烧制的陶粒产品均按照《轻集料及其试验方法 第 1 部分:轻集料》(GB/T 17431.1-2010)和《水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法》(GB/T 30810-2014)进行了工程质量检测(检测指标:1h 吸水率、堆积密度、粒型系数、软化系数、筒压强度、颗粒级配)和重金属浓度浸出检测(检测指标:砷、镉、铬、铜、铅、汞、镍、锰、锌),结果表明陶粒产品的工程质量指标满足国家对轻集料的要求,重金属的浸出浓度也满足《水泥窑协同处置固体废物技术规范》(GB 30760-2014)要求。

据调研,目前使用污泥、淤泥、污染土壤、建筑弃土、煤粉灰等固体废物烧制的陶粒产品已多次应用于高层建筑建设、公路桥梁建设、湿地基质构筑等场景下,使用效果良好,潜在市场需求巨大。但这些陶粒产品在生产过程中及产品质量检测方面还存在一些问题。首先,产品在生产过程中的环境监管较为缺乏,生产过程中的二次污染防治措施不足。其次,针对陶粒产品的质量检测也主要集中在轻集料的骨料性能方面(1h 吸水率、堆积密度、粒型系数、软化系数、筒压强度、颗粒级配等),缺乏对陶粒产品中重金属浓度的浸出监测。再次,企业污染物排放限值缺乏较为统一的规范。2021 年 8 月,《污泥陶粒》(JC/T2621-2021)完成公示,但对于污染土壤烧制陶粒,我国目前缺乏相应的管理要求和技术指南。在我国现有的污染物控制标准中,陶粒窑协同处置污染土壤时主要参考《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)、《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB 30485-2013)等,但这些标准甚少涉及污染土壤在陶粒窑协同处置各阶段的管理要求,且排放标准也缺乏针对性。因此,亟需为陶粒窑协同处置污染土壤提供标准指导。

1.2 目的

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中华人民共和国大气污染防治法》《中华人民共和国土壤污染防治法》和《中华人民共和国循环经济促进法》等法律法规要求,规范陶粒窑协同处置污染土壤修复工程的环境管理,防止污染土壤协同处置过程及其产品对环境

境造成二次污染，保护生态环境和人体健康，制定本技术指南。

1.3 意义

我国陶粒行业既是一个传统行业又是一个朝阳产业，已逐步成为消纳建筑废弃土和污泥等固体废弃物的一支生力军，虽然近些年陶粒生产技术与装备技术有了很大进步，但整个行业缺乏完整的技术规范和标准去指导和规范企业生产。因此，本标准的制定不仅能为污染土壤资源化综合利用制陶粒提供有效的指导和监管支撑，保障污染土壤资源化综合利用工作的高效开展，开拓我国污染土壤资源化综合利用制陶粒产业，还能促进传统制陶粒产业结构调整和产业布局更新，改善市场过于依赖水泥窑实现协同处置的局面，促进污染土壤协同处置技术的多元化发展，助力江苏省乃至我国的“无废城市”建设。

二、工作简况

2.1 标准主要起草单位和起草人及其工作

本标准主要起草单位和起草人及其所做的工作详见表 1。

表 1 主要起草单位和起草人及其工作内容

序号	参编单位	工作内容
1	生态环境部南京环境科学研究所	标准编制总负责，负责标准审核、进度把控、标准编制及修改等工作
2	中信元钧环保（江苏）有限责任公司	提供企业生产、经营资料，协助完成市场及生产技术调研
3	江苏睿新世越环保新材料科技有限公司	提供企业生产、经营资料，协助完成市场及生产技术调研
4	镇江市雅盛节能环保材料有限公司	提供企业生产、经营资料，协助完成市场及生产技术调研
5	江苏省环境科学研究院	对现行法律法规、标准、导则等规范性文件进行梳理
6	东南大学	提供污染土壤资源化利用技术支持
7	江苏国瑞智云环境科技有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
8	淮安绿蓝环保科技有限公司	提供企业生产、经营资料，协助完成市场及生产技术调研
9	南京市江南小化工集中整治工作现场指挥部	协助完成污染土壤修复技术市场调研
10	南京国环科技股份有限公司	提供污染土壤资源化利用技术支持

11	中国科学院南京土壤研究所	提供污染土壤资源化利用技术支持
12	上海宝发环科环境技术有限公司	提供陶粒窑协同处置固体废物技术支持
13	江苏省环境工程技术有限公司	提供污染土壤资源化利用技术支持
14	新沂市金点新材料科技发展有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
15	南京建邦生态环境发展有限公司	提供污染土壤资源化利用技术支持
16	无锡市环保集团有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
17	苏州市宏宇环境科技股份有限公司	提供污染土壤资源化利用技术支持
18	苏州虎丘投资建设开发有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
19	淮安环境科学学会	协助完成标准的推广和应用
20	广西博世科环保科技股份有限公司	提供污染土壤资源化利用技术支持
21	南京满源科技有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
22	广西奥裕环保科技有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
23	南京国环环境研究院有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
24	江苏长三角环境科学技术研究院有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
25	江苏大地益源环境修复有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
26	中国计量大学	提供污染土壤资源化利用技术支持
27	中国科学院生态环境研究中心	提供污染土壤资源化利用技术支持
28	南京苏城环保科技有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
29	江苏泓土生态环境有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
30	江苏经贸职业技术学院	协助完成资源化产品的市场调研
31	江苏复尔源环保产业集团有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研
32	江苏朗地环境技术服务有限公司	协助完成污染土壤修复技术市场调研

2.2 主要工作过程

为保证本标准的制定质量，力求符合科学发展与切合实际，使《陶粒窑协同处置污染土壤技术指南》具有可操作性，标准实施后能对污染土壤的无害化消纳具有指导作用，标准编制组在开展大量资料收集、实地调研、数据分析的基础上，综合参考国内外有关经验，并广泛听取国内污染地块修复技术领域的专业人员、相关专家的意见，经过多次讨论研究和反复修改，起草编制完成江苏省环境科学学会团体标准《陶粒窑协同处置污染土壤技术指南》草案。主要开展工作情况如下：

2021年7月，本标准项目承担单位在接到标准制定任务后成立了标准编制组。

2021年7月10日，标准编制组组织召开了标准启动会暨第一次讨论会。

2021年8月至2021年11月，标准编制组调研并系统分析了欧美等发达国家以及我国已发布的相关技术指南，收集大量数据，结合国内外相关研究成果及

多个实际调查案例，实地调研多家环保材料生产企业，分别从大型（年产陶粒 60 万 m³）、中型（年产陶粒 20 万 m³）和小型（年产陶粒 10 万 m³）三类企业进行介绍和总结，编制成《陶粒窑协同处置污染土壤调研报告》，并在此基础上编制了《陶粒窑协同处置污染土壤技术指南》草案。

2021 年 11 月 17 日，江苏省环境科学学会在淮安组织召开了《陶粒窑协同处置污染土壤技术指南》团体标准立项审查会，会议邀请了五位专家组成专家组，与会人员听取了主编单位项目申请情况的汇报，经质询和讨论，专家组认为该标准制定可填补我国对陶粒窑协同处置污染土壤技术规范的空缺，为陶粒窑协同处置污染土壤技术规范化管理提供依据，符合当前国家绿色发展、资源化利用产业政策，一致同意《陶粒窑协同处置污染土壤技术指南》团体标准的立项申请。立项审查会的专家意见及处理情况见表 2。

表 2 立项审查会专家意见汇总处理表

序号	意见内容	处理意见	处理原因
1	应明确标准中所指污染土壤是指修复后土壤还是未修复的土壤。	采纳	
2	标准中应加入陶粒窑企业准入标准（资质能力、储存能力等），与环评环节做好衔接。	采纳	
3	建议不要将所有种类的污染土壤都纳入处置范围，或者在标准中明确具体分类或准入标准。	采纳	
4	加强陶粒产品的安全性论证，适当从原料准入污染物密度角度进行控制。	采纳	
5	建议增加产品用途控制、适用范围及定价标准或产品标明使用污染土壤制备。	采纳	
6	污染土壤接收和处置过程中，要增加防治次生污染物的措施。	采纳	
7	污染土壤的贮存设施建议分类给出条件。	采纳	
8	建议污染土壤接收时，增加塑性指数和可塑性指标，进行分级管理、分工艺造粒，可一定程度上对生产设备起到保护作用。	不采纳	土壤的理化性质是其可塑性的基础，标准主要从理化性质角度对接收的土壤提出要求，具体的塑性同时还受到原料配伍的影响，因此不在土壤接收时提出具体的塑性要求，具体的要求以企业的小试中试结果为准。
9	立项申请表中关于立项的必要性及意义、稳定性阐释不够，应分条阐释。	采纳	
10	标准制定中应明确陶粒生产工艺路线。	不采纳	焙烧窑制陶粒的工艺路线基本是一致的，故不需特意明确。
11	标准制定中增加外部运输环节条款。	采纳	
12	加入污染土壤中的化学物质是否会发生化学反应的说明研究。	采纳	主要参考企业的小试和中试结果。
13	立项申请表中增加与水泥窑的优势对比。例	采纳	

	如陶粒窑在数量、污染土壤掺杂量、生产成本上的优势。		
--	---------------------------	--	--

2021年11月至2022年3月，标准编制组结合立项审查会各位专家及与会人员的建议，对《陶粒窑协同处置污染土壤技术指南》草案进行修改，并编制完成草案的编制说明。

2022年6月6日，江苏省环境科学学会在南京组织召开《陶粒窑协同处置污染土壤技术指南》标准初审会，各位专家及与会人员听取了编制单位的汇报并提出了修改意见。专家修改建议及修改情况说明见表3。

表3 初审会专家意见汇总处理表

序号	意见内容	处理意见	处理原因
1	文件编制语言及格式应适当修改，更加符合指南要求。	采纳	
2	污染土壤入窑重金属含量上限参考水泥窑标准不太合理。	采纳	经文献调研及小试发现，陶粒坯中重金属含量上限确实比水泥窑入窑标准高，但原料成分、烧结制度等因素都对陶粒中重金属的浸出有影响，因此不便直接给出明确上限。但在指南中明确企业应通过小试、中试确定协同处置实施方案，在其中明确污染物的添加上限。
3	为突出全过程监管，建议企业出具协同处置总结报告。	采纳	
4	二次污染防治内容有些分散，建议调整。	采纳	
5	是否应考虑将陶瓷产品的检测要求纳入标准	不采纳	陶瓷跟陶粒的差异较大，陶瓷产品的质量要求不适用于陶粒产品。
6	建议将5.2.1删除。	采纳	
7	建议将生活污水相关条款删除。	采纳	
8	建议将危险废物相关条款删除。	采纳	

2022年6月至7月，标准编制组根据初审会专家意见进行了标准修改，形成了征求意见稿。

三、标准编制原则和确定标准的依据

3.1 标准编制原则

3.1.1 政策衔接

1996年4月1日，我国开始施行《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020年4月29日，中华人民共和国第十三届全国人民代表大会常务委员

会第十七次会议通过其最新修订。

国家发改委等十部委《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》（发改环资〔2021〕381号）指出开展资源综合利用是我国深入实施可持续发展战略的重要内容，要深入贯彻落实党的十九届五中全会精神，进一步提升大宗固废综合利用水平，全面提高资源利用效率，推动生态文明建设，促进高质量发展。要深入贯彻落实《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》等法律法规，大力推进固废源头减量、资源化利用和无害化处置，强化全链条治理，着力解决突出矛盾和问题，推动资源综合利用产业实现新发展。2020年《固体废物再生利用污染纺织技术导则》的发布和实施，为我国固体废物再生利用过程的污染防治提出了通用的技术要求。

近年来，陶粒窑已逐步成为消纳建筑废弃土、污泥、粉煤灰、农作物秸秆等固体废弃物的一支生力军。陶粒窑协同处置污染土壤制备陶粒符合国家固体废物减量化、资源化、无害化的总体原则。

3.1.2 结构合理

本文件编制依据“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，注重标准的可操作性，本文件严格按照 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》的规定进行编写和表述。

3.1.3 具有可操作性

本标准内容主要包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、处置设施要求、污染土壤的接收与准入、运行操作技术要求、污染物排放要求、资源化产品环境安全评价、监测要求。从污染土壤的接收、转运、贮存、再利用及再利用后的产品等各个环节都制定了详细可行的条款。标准制定前，标准编制组对现行法律法规、标准、导则进行了系统的梳理和整合，在此基础上制定了本标准。标准部分引用目前正在执行的《固体废物再生利用污染防治技术导则》（HJ1091-2020）、《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 30485-2013）、江苏省《工业炉窑大气污染物排放标准》（DB32/3728-2020）等标准，与现行相关法律、法规及标准具有很好的协调一致性，可操作性强。

3.2 确定标准内容的依据

3.2.1 范围

本文件规定了利用陶粒窑协同处置污染土壤技术的术语和定义、总体原则、设施设备要求、管理要求、运行技术要求、产品质量要求、协同处置报告编制。

本文件适用于利用陶粒窑高温烧结处置含有重金属污染及有机物污染的土壤及修复后土壤资源化焙烧制陶粒过程。

本文件不适用于放射性污染土壤和具有危险废物属性的污染土壤的资源化利用。

3.2.2 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。

GBZ 2.1	工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素
GBZ 2.2	工作场所有害因素职业接触限值 第2部分：物理因素
GB 8978	污水综合排放标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 14554	恶臭污染物排放标准
GB 15562.2	环境保护图形标志-固体废物贮存(处置)场
GB/T 17431.1	轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料
GB/T 17431.2	轻集料及其试验方法 第2部分：轻集料试验方法
GB 30485	水泥窑协同处置固体废物污染控制标准
GB 30760	水泥窑协同处置固体废物技术规范
GB/T 30810	水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法
GB 50016	建筑设计防火规范
HJ/T 20	工业固体废物采样制样技术规范
HJ/T 299	固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法
HJ 557	固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法
HJ 662	水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范
HJ 1091	固体废物再生利用污染防治技术导则
HJ 1231	土壤环境 词汇

DB 32/3728 工业炉窑大气污染物排放标准

DB 32/4041 大气污染物综合排放标准

3.2.3 术语与定义

本部分为执行本标准制定了专门的术语和对容易引起歧义的名词进行了定义。本文件涉及术语 5 个，术语及其定义的依据如下：

➤ **污染土壤 contaminated soil**

该术语根据《污染地块土壤环境管理办法》（中华人民共和国环境保护令第 42 号进行修改。

➤ **陶粒窑协同处置 co-processing in ceramic kiln**

该术语根据《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》（HJ 662-2013）中 3.1 水泥窑协同处置定义修改后形成本定义。

➤ **预处理 pretreatment**

该术语是指通过物理或化学方法，对污染土壤中的重金属、有机物、腐蚀性等污染物质进行一定程度的去除，或者抑制其可浸出性或扩散性，使预处理后的污染土壤满足后续资源化处置要求的过程。本标准中预处理通常包括破碎、搅拌、陈化、造粒等环节。

➤ **热处理 thermal treatment**

引用《土壤环境 词汇》（HJ 1231）中 6.3.9。

➤ **修复方案 remediation plan**

引用《土壤环境 词汇》（HJ 1231）中 6.1.8。

3.2.4 总体原则

总体原则主要从生产过程的环境检测、产品质量检测和安全生产三个角度提出建议。

（1）陶粒窑协同处置污染土壤制陶粒过程中会产生废水、废气、噪声等污染物，其排放应符合国家发布的污染物排放标准及限值要求，若地方污染物排放标准、环境影响评价批复文件或排污许可证有更严格要求的，则从其规定。

（2）污染土壤作为粘土替代原材料生产的陶粒产品应符合国家、地方制定或行业通行的产品质量标准。

（3）国家安全生产、职业健康、交通运输、消防等法律法规标准另有规定

的，从其规定。

3.2.5 企业处置能力

协同处置污染土壤的陶粒生产企业应具备相应的能力，其环境影响报告中应明确可以接收利用污染土壤，并取得生态环境主管部门相关批复。

根据《产业结构调整指导目录》（2019）第九类（建材）之第七项“5 万立方米/年（不含）以下的人造轻集料（陶粒）生产线”属于限制类项目。另一方面，协同处置污染土壤对贮存设施、尾气处理能力以及严格和先进的环境和安全管理制度和水平也有一定要求，所以经济和技术水平有限的小企业难以满足条件。因此，要求陶粒回转窑生产线年产量应不低于 5 万立方米/年。

3.2.6 设施设备

协同处置污染土壤的陶粒企业应在污染土壤的贮存、协同处置过程中做好二次污染防治，建成与协同处置污染土壤相匹配的设施设备，尽可能避免扬尘、污水、异味对工作环境及周边环境的污染。由于含有挥发性有机物及半挥发性有机物的土壤存在污染逸散的可能，因此建议陶粒企业建立负压贮存设施、密闭预处理车间及通风换气装置。同时，还应按照 GB 50016 相关要求消防部署，确保安全生产。

（1）贮存设施

污染土壤的成分复杂，因此建议企业设有专门的污染土壤贮存设施，以保证污染土壤不与其他陶粒生产原料、燃料和产品混合贮存。不同来源和种类的污染土壤的协同处置实施方案不同，因此也宜分开贮存。污染土壤贮存设施应在显眼处标示有符合《环境保护图形标志-固体废物贮存（处置）场》（GB15562.2）的标志。

（2）厂内输送设施

污染土壤的物流出入口以及转运、输送路线应远离办公和生活服务设施，减少对人的影响。污染土壤在厂内的流转需要必要的输送设备，输送设施应能有效防止废物的滴漏、溢出、飘散、遗撒，应采用不被污染土壤腐蚀和不与其发生反应的材料。尽管运输设备能有效防止污染土遗撒、粉尘飘散和有毒有害气体的逸散，但还是应尽量减少污染土壤的移动，运输污染土壤的车辆也应定期进行清洗，避免次生污染。

(3) 预处理设施

投入陶粒窑的污染土壤应具有均质性，物理特性和化学组成等均需要符合造粒和烧制要求。因此，多数污染土壤不能直接入窑，必须要根据自身特点和入窑要求采取相应的预处理措施。本标准 6.4.1 条列举了预处理的方式，包括筛分、干燥、有机物脱附、破碎、搅拌、混合、配伍、陈化等工序。

预处理过程可能产生粉尘、恶臭、废水等污染物，因此要求预处理设施应具有较好的密闭性，并保证与操作人员隔离，操作区域的环境质量应分别满足《工业场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2）、《恶臭污染物排放标准》（GB14554）的限值要求。预处理区域还应采取相应的除尘措施，如设置吸尘罩和收尘设备，保证作业区粉尘浓度满足 GBZ 2 的要求。协同处置有机污染土壤和复合污染土壤的预处理设施应设置废气收集处置设施，收集的废气可导入焙烧窑焚烧或通过其他处理达标后排放。

(4) 投加设施

参照 HJ662 中 4.2 固体废物投加设施修改执行。物料投加量和投加速度直接影响陶粒烧制的成败，因此需要投加设备能实现自动进料，并配置可调节投加速率的计量装置实现定量投料。为保证安全生产，投加设施应配置可实时显示投加状况的在线监视系统和自动联机停机功能设备，当回转窑或烟气处理设施因故障停止运转，或者当窑内温度、压力、窑转速、烟气中氧含量等运行参数偏离设定值时，或者烟气排放超过标准设定值时，可自动停止污染土壤的投加。为避免二次污染，污染土壤输送装置和投加口应采取密闭措施防治粉尘外逸。

(5) 窑体

a) 窑型

目前主要采用焙烧法和养护法制造陶粒，其中焙烧法主要有回转窑法、烧结机法以及立窑法；我国陶粒的生产设备主要采用以工业回转窑为主的烧胀法，坯料从窑尾高的一端进入窑内，由于回转窑与水平面存在一定的倾斜角度，在窑体回转运动的过程中，坯料由于重力作用逐渐从窑尾滑落至窑头，同时高压风机将燃料从窑头喷入窑内，使其充分焙烧，在焙烧的过程中产生的热量使坯料发生物理和化学变化，烧制并膨胀。烧结机法是将物料平铺于炉篦和两侧的边板内侧，一般料层厚度小于 20mm，物料随着篦板行走，布料器的挡料板将料层刮平，然

后进入预点火器下方进行预热，在底部的引风机的作用下，空气从料层中吸入，使物料快速干燥，再进入焙烧段将物料加热到 1200-1300°C，料球进行复杂的物理和化学反应。另外一种常用的烧制设备采用机械化立窑为主机的烧制法，基本过程为：坯料从窑上端预热后逐渐向下滑落，进入到高温带自然烧制，坯料发生物理和化学变化，在窑的底部冷却后卸出，空气从窑的底部通过鼓风机进入，在上升的过程中不断与高温料球进行热交换。同时腰部鼓入热风，保持焙烧段的温度。三种烧制设备的优劣势见表 3。

表 3 陶粒烧制设备优缺点

名称	工业回转窑	烧结机	机械立窑
优点	可生产出重体、轻体、及超轻体等多种品种，生产投资不大	产量大	占地面积小，热效率高
缺点	散热快、热工效能低	产品单一，投资大	配套设备繁多，一次投资大，物料适应性差

从表 3 可知，回转窑相比其他设备具有巨大优势，不仅投资不大，还可生产多类型产品，生产配伍灵活，对物料的适应性强。目前我国基本采用插入式双筒回转窑进行陶粒制备，窑体分为预热窑（也叫烘干窑）和焙烧窑两段，这种回转窑将物料烘干，造球，预热，焙烧，冷却集于一体进行生产。因此建议使用插入式回转窑作为协同处置的设备。

b) 在线监测设备

协同处置过程不影响陶粒产品质量和生产过程是协同处置必须遵循的原则之一，即协同处置过程必须保持陶粒窑内的正常运行工况。另一方面，只有在陶粒窑保持正常运行工况的前提下，陶粒窑内的气固相温度和停留时间才能保证污染土壤的无害化处置。因此要求回转窑配备在线监测设备，例如烘干窑和焙烧窑窑内温度监测设备、窑头和窑尾烟气温度和压力监测设备；冷却窑进料口温度和压力监测设备；NO_x、SO₂ 浓度在线监测设备等。

c) 烟气净化和报警系统

窑尾烟气净化系统应包括但不限于除尘、脱硫、脱硝、脱汞、脱二噁英、脱汞等设施。配备报警系统预警回转窑运转异常，配备应急处置系统应对回转窑运转异常，规避安全事故。

3.2.7 过程管理

(1) 污染土壤的转运

根据《中华人民共和国土壤污染防治法》第四十一条规定“修复施工单位转运污染土壤的，应当制定转运计划，将运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、最终处置措施等，提前报所在地和接收地生态环境主管部门。”污染土壤产生单位应在资源化利用前与接收单位签订书面协议或合同，明确土壤处置及再利用期间的相关权利和责任，避免纠纷。

根据《上海市建设用地土壤污染风险管控和修复施工过程环境管理技术要求》（二）污染土壤运输管理的规定，确需开展污染土壤外运处置或再利用的，施工单位应制定转运方案、选择合规的运输车辆、建立污染土壤转运台账。

（2）污染土壤的接收

为确保待接收的污染土壤符合协同处置要求，降低废物在运输、贮存、预处理和协同处置过程中的事故风险，在协同处置企业与污染土壤产生企业签订协同处置合同及污染土壤运输到协同处置企业之前，拟接收单位应熟悉污染土壤的性质并进行准入评估，土壤污染责任人、土地使用权人应向拟协同处置污染土壤的陶粒企业提供拟协同处置污染土壤的有资质的第三方检测报告。土壤污染责任人、土地使用权人应对所提供的所有资料的准确性、真实性负责。检测报告中除明确土壤污染物浓度。

多项研究表明 $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 值对烧结后陶粒抗压性能具有较大影响，可控制生产陶粒的产品性能。Riley 研究发现当 SiO_2 含量为 40%~79%、 Al_2O_3 含量为 15~35%， K_2O 、 Na_2O 等碱性金属氧化物助溶剂之和为 13~24%时，陶粒生坯经烧结可以产生膨胀效果。因此，陶粒企业在接收污染土壤前，除需了解土壤中的污染物种类及浓度外，还应明确无机矿物成分含量（ SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O ），并结合检测结果开展小试，综合协同处置过程中的环境要求以及产品质量等因素研判污染土壤可否接收。

（3）协同处置实施方案

污染土壤入厂后需制定协同处置方案，方案应涵盖协同处置的各个环节，包括污染土壤的贮存、输送、预处理、入窑协同处置技术流程、配伍和焙烧等技术参数，产品质量评估及环境监测计划。

企业监测制度按照《环境监测管理办法》的规定进行，建立企业监测制度，对各技术环节的环境污染因子进行识别，制定针对性的监测方案，对排污状况及

其对周边环境质量的影响开展自行监测，保存原始监测记录，并公布监测结果。对企业污染物排放情况进行监测的频次、采样时间等要求，按国家有关污染源监测技术规范的规定执行。

HJ662-2013 中 6.2.4 要求“固体废物入厂检查和检验结果应该记录备案，与固体废物协同处置方案共同存档保存。入厂检查和检验结果记录及固体废物协同处置方案的保存时间不应低于 3 年”，本标准要求协同处置方案应同污染土壤特性检测报告、协同处置台账（可参考附录 B）一并记录备案，保存时间不低于 3 年，加强对污染土壤协同处置的全程跟踪和监管。

3.2.8 运行技术

为实现我国“双碳”目标，建议陶粒窑运行热源宜来自于清洁能源，如秸秆、稻壳、天然气等。焙烧窑窑尾温度不应低于1100℃，温度过低直接影响陶粒产品的质量。陶粒窑达到正常生产工况并稳定后，方可开始投加含有污染土壤的陶粒坯。若陶粒窑出现故障或事故造成运行工况不正常，必须立即停止投加含有污染土壤的陶粒坯，待查明原因并恢复正常运行后方可恢复投加。

(1) 重金属污染土壤制陶粒运行技术

原料的充分混合对陶粒产品的质量至关重要，因此污染土壤造粒前需与其他原料进行精准配伍、陈化、充分混合，保证混合材理化性质均匀。

协同处置实施方案是污染土壤协同处置的重要依据，其中明确了污染土壤的贮存、输送、预处理和入窑协同处置技术流程、配伍和运行技术参数，设备运行过程要严格按照其执行。

(2) 含有机污染物的土壤制陶粒运行技术

为避免次生污染，保证工作人员的人生安全，含有挥发性污染物的土壤应在密闭或负压条件下进行输送和转运，产生的废气可导入焙烧窑中或通过空气过滤装置后达标排放。

含有有机污染物的土壤在高温焙烧和冷却环节易形成二噁英，因此建议陶粒企业在预处理环节设置用于有机物热脱附的回转窑，脱附温度（宜高于污染物沸点）及时间（通常为 10~20min）应根据污染物特性及小试确定。若企业不具备热脱附预处理设备，亦可对尾气处理系统进行提标改造，如增设二燃室、增加活性炭喷射等设施使尾气达标排放。若不具备热脱附预处理设备，应对贮存、预处理、

陈化、造粒过程中的废气进行集中收集，收集后可导入焙烧窑焚烧或通过其他处置方式达标后排放。

(3) 污染物排放控制

通过对《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB30485-2013)、江苏省《大气污染物综合排放标准》(DB32/4041-2021)、江苏省《工业炉窑大气污染物排放标准》(DB32/3728-2019) 污染物排放限值进行统计，选择其中最严格的作为本标准中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、格林曼黑度、氟化物、氯化物以及重金属的排放限值。挥发性有机物的排放应符合江苏省《大气污染物综合排放标准》(DB32/4041-2021) 的限值要求，恶臭污染物浓度应符合《恶臭污染物排放标准》(GB14554-1993) 限值要求。

生产过程中产生的工艺废水，包括土壤中的渗滤液、车间场地和车辆清洗废水及处置过程中产生的其他废水宜收集回用于工艺过程，对于无法返回工艺过程的，其污染物排放应符合 GB8978 规定的排放限值要求。

设备运转时厂界噪声应符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348) 的要求，作业车间噪声应符合《工作场所有害因素职业接触限值 第2部分：物理因素》(GBZ2.2) 的要求。

3.2.9 产品质量

产品的检测应按照国家相关标准中的规定执行，其颗粒级配、密度、筒压强度、吸水率、软化系数、其非金属有害物质含量应符合《轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料》(GB/T 17431.1) 表7中规定，试验方法按GB/T 17431.2的相关规定执行。

《固体废物再生利用污染防治技术导则》(HJ1091-2020) 中 6.3 节“利用固体废物生产砖瓦、轻骨料、集料、玻璃、陶瓷、陶粒、路基材料等建材过程的污染控制执行相关行业污染物排放标准，相关产品中有害物质含量参照 GB30760 的要求执行”。根据国家环保部在官网发布的《关于明确固废制陶粒项目执行固废再生导则问题的回复》，明确了由企业提出的固废制陶粒中有关重金属限量执行标准的问题,要求参照 GB30760 中要求的浸出重金属含量限值执行。因此协同处置污染土壤的陶粒窑生产的陶粒产品中的污染物的浸出，应满足 GB30760 标准要求。GB30760 中规定产品中重金属含量的测定按 GB/T 30810 规定的方法进

行，其中试样的制备按 GB/T 30810-2014 中 6.2 的规定进行。

同时还要求资源化产品按照 HJ 557 规定的浸出方法（所模拟的暴露场景是地表水和地下水浸沥场景），浸出液的 pH 值、氨氮的指标需要达到 pH 为 6~9，NH₃-N<1mg/L（此两项指标满足地表水 III 类水的相关限值要求），则认为环境风险可以接受。污染土壤资源化产品用于生产其他建筑材料产品时，所生产的产品应符合相关产品标准要求。若陶粒产品再利用过程中存在环境或人体健康风险，应根据实际应用场景开展风险评估，并根据评估结果确定是否适用。

3.2.10 协同处置总结报告

协同处置实施方案是企业进行协同处置的重要依据，而协同处置总结报告则是企业进行协同处置的重要成果，对于整个污染土壤的资源化利用具有重要的意义。编制协同处置总结报告能够便于生态环境主管部门、污染土壤产生单位以及其他相关企业了解污染土壤的处置情况。因此建议企业根据处置项目实施情况编制陶粒窑协同处置污染土壤总结报告，内容至少应包括如下内容：

协同处置工程（包括污染土壤消纳总量、处置工艺、处置周期、二次污染防治措施等）；协同处置污染土壤期间，企业的环境监测方案（包括监测次数、样品数量、取样方法、监测指标等）及监测结果描述和分析；产品质量（包括检测时间、检测次数、检测指标、取样方法等）及检测结果描述和分析。

四、与现行有关法律、法规和强制性标准的关系

该标准满足《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中华人民共和国大气污染防治法》《中华人民共和国土壤污染防治法》和《中华人民共和国循环经济促进法》等法律法规的要求。该标准部分引用目前正在执行的《固体废物再生利用污染防治技术导则》（HJ1091-2020）、《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 30485-2013）、江苏省《工业炉窑大气污染物排放标准》（DB32/3728-2020）、《大气污染物综合排放标准》（DB 32/4041）等标准，与现行相关法律、法规及标准具有很好的协调一致性。

五、重大分歧依据的处理经过和依据

本文件在制定的过程中，没有出现重大分歧意见。

六、标准实施的环境效益及经济技术分析

固体废物高温焙烧制陶粒技术相对成熟，在国内已有一定应用，但是由于固体废物特别是污染土壤这种成分复杂的物质在陶粒窑协同处置时缺少相应的技术规范和相关有害物质控制标准，而为地方生态环境主管部门的审批带来困扰，从而给企业带来巨大的污染土壤贮存和处置压力，从而制约了陶粒窑协同处置污染土壤技术的健康快速发展。

本标准的实施，将有力推动陶粒窑协同处置污染土壤实现资源化安全利用的进程，对于陶粒生产企业而言，一方面降低了企业的原材料购买成本，另一方面协同处置又能为企业带来每吨几十元到几百元的纯收益，最后处理产物又能给企业带来每吨收益，从而大大提高了企业的经济效益；对地方生态环境主管部门而言，也为陶粒窑协同处置污染土壤项目提供了审批参考。标准颁布实施后，将大大缓解经济发达地区工业污染场地中污染土壤资源化利用能力不足的问题，为我国十四五期间“无废城市”的建设提供强力的技术支撑。

七、标准实施建议

建议自标准发布之日起3个月后实施，以便相关监督部门、技术机构提前做好准备。

附件三：

《XX 标准》 征求意见情况汇总

一、意见处理情况概况

共征求多少单位和专家意见，收到回复多少份，有异议多少份，无异议多少份。

二、具体意见处理

序号	总体修改意见	提出意见的单位或专家	处理结果	处理理由
1				
2				
3				
.....				

注：1. 具体意见按现条文顺序依次排列，针对同一条目的不同意见应分别列出；不应按提出意见的来源排列。

2. 处理结果包括：采纳、部分采纳和不采纳。

填写日期： 年 月 日