

中华人民共和国国家生态环境标准

HJ 1164—2021

污染土壤修复工程技术规范 异位热脱附

Technical specifications of contaminated soil remediation

ex-situ thermal desorption

本电子版为正式标准文本，由生态环境部环境标准研究所审校排版。

2021-04-30 发布

2021-04-30 实施

生态环境部 发布

目 次

前 言 ii

1 适用范围1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义1

4 污染物与污染负荷.....2

5 总体要求3

6 工艺设计4

7 主要工艺设备和材料.....7

8 检测与过程控制.....8

9 主要辅助工程.....9

10 劳动安全与职业卫生.....10

11 施工与调试.....10

12 运行与维护 11

前 言

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》《中华人民共和国大气污染防治法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》等法律法规，防治环境污染，改善生态环境质量，规范污染土壤异位热脱附修复工程的建设和运行，制定本标准。

本标准规定了污染土壤异位热脱附修复工程的设计、施工和运行维护的技术要求。

本标准首次发布。

本标准由生态环境部科技与财务司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：中国环境科学研究院、中科鼎实环境工程有限公司、中国环境保护产业协会、北京市环境保护科学研究院、杰瑞环保科技有限公司。

本标准生态环境部 2021 年 4 月 30 日批准。

本标准自 2021 年 4 月 30 日起实施。

本标准由生态环境部解释。

污染土壤修复工程技术规范 异位热脱附

1 适用范围

本标准规定了污染土壤异位热脱附修复工程的污染物与污染负荷、总体要求、工艺设计、主要工艺设备和材料、检测与过程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、施工与调试、运行与维护等。

本标准适用于有机污染物和汞污染土壤异位热脱附修复工程,可作为污染土壤异位热脱附修复项目工程设计、施工与运行管理的技术依据。

本标准不适用于放射性物质污染土壤的处理。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。

GB 8978	污水综合排放标准
GB 9078	工业炉窑大气污染物排放标准
GB/T 10067	电热和电磁处理装置基本技术条件
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 13271	锅炉大气污染物排放标准
GB 14554	恶臭污染物排放标准
GB 16297	大气污染物综合排放标准
GB 37822	挥发性有机物无组织排放控制标准
GB 50013	室外给水设计标准
GB 50015	建筑给水排水设计标准
GB 50028	城镇燃气设计规范
GB/T 50102	工业循环水冷却设计规范
GB 50759	油品装载系统油气回收设施设计规范
HJ 25.5	污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则(试行)
HJ 76	固定污染源烟气(SO ₂ 、NO _x 、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法
HJ 576	厌氧-缺氧-好氧活性污泥法 污水处理工程技术规范
HJ 916	环境二噁英类监测技术规范
HJ 1095	芬顿氧化法废水处理工程技术规范
HJ 2006	污水混凝与絮凝处理工程技术规范
HJ 2007	污水气浮处理工程技术规范
HJ 2026	吸附法工业有机废气治理工程技术规范
HG/T 20566	化工回转窑设计规定
JB/T 7679	螺旋输送机

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

异位热脱附 ex-situ thermal desorption

将污染土壤从地块中发生污染的位置挖掘出来，转移或搬运到其他场所或位置，采用加热处理的方式将污染物从污染土壤中挥发去除的过程。

3.2

直接热脱附 direct-contact thermal desorption

热源通过直接接触对污染土壤进行加热将污染物从土壤中挥发去除的处理过程。

3.3

间接热脱附 indirect-contact thermal desorption

热源通过热传导或加热介质间接对污染土壤进行加热将污染物从土壤中挥发去除的处理过程。

3.4

预处理 pretreatment

为满足热处理设备进料要求，对待处理土壤预先进行的操作或处理，包括破碎、筛分、调节土壤含水率、混合、搅拌等。

3.5

土壤出料温度 soil discharge temperature

热处理设备出口的土壤温度。

3.6

土壤停留时间 soil residence time

土壤在热处理设备中停留的平均时间。

3.7

黏性土 clay soil

塑性指数大于 10 的土。

3.8

土壤含水率 soil water ratio

单位质量土壤中水的百分比。

4 污染物与污染负荷

4.1 异位热脱附技术适用于修复受到挥发性有机物、半挥发性有机物、有机农药类、石油烃类及多氯联苯、多溴联苯和二噁英类等污染的土壤，也适用于修复汞污染土壤。

4.2 异位热脱附技术可用于焦化、农药制造、石油开采与炼制、有机化工等工业地块污染土壤的修复。

4.3 污染土壤异位热脱附修复工程实施前应收集以下资料：

- a) 污染物类型、浓度分布及修复方量；
- b) 土壤含水率、土壤质地等；
- c) 区域气候条件（气温、降雨量、风向、风速）；
- d) 地块的水文地质条件（地层结构、地下水位）；
- e) 地块用途（目前及未来规划）；
- f) 临水、临电、热源条件；
- g) 修复后土壤的去向。

4.4 污染土壤污染物类型、浓度分布及修复方量应依据土壤污染状况调查报告和土壤污染风险评估报告的结果确定。

4.5 进入热处理设备的污染土壤应满足以下条件：

a) 直接热脱附处理土壤中污染物的含量不宜超过 4%；间接热脱附处理土壤中污染物的含量不宜超过 60%；

b) 含水率不宜大于 30%；

c) 颗粒大小不宜大于 5 cm；

d) pH 不宜小于 4；

e) 塑性指数宜低于 10。

4.6 污染土壤异位热脱附修复过程产生的二次污染主要包括：

a) 废气：燃料燃烧产生的烟气、预处理车间废气、热脱附产生的烟气、恶臭等；

b) 废水：气液分离产生的废水、洗气废水、清洗废水等；

c) 固体废物：污染土壤预处理产生的固体废物、废水处理产生的污泥、除尘器收集的粉尘以及废活性炭等；

d) 噪声：设施运行过程中产生的噪声影响。

5 总体要求

5.1 一般规定

5.1.1 异位热脱附修复过程的能源选择、材料选用、工艺设计应遵循绿色可持续修复的理念。

5.1.2 异位热脱附修复工程的污染防治设施应与主体工程同时设计、同时施工、同时运行。

5.1.3 修复后的土壤应满足其使用功能修复目标值的要求，并恢复一定的含水率。

5.1.4 异位热脱附修复工程应建设或配备废气、废水、固体废物和噪声等二次污染控制设施或措施。

废气排放应满足 GB 9078、GB 13271、GB 16297、GB 37822、GB 14554 和地方污染物排放标准要求；

废水排放应满足 GB 8978 和地方污染物排放标准要求；噪声应满足 GB 12348 要求。

5.1.5 异位热脱附修复工程运行过程中应配备相应的检测设备，对污染物排放进行监测。在线监测装置应符合 HJ 76 要求。

5.2 场址选择

污染土壤异位热脱附修复的场址宜建在污染地块的场区内或根据自然条件、地理位置条件、周边敏感区域要求进行选择，并尽量远离居民区等敏感点。

5.3 工程构成

5.3.1 污染土壤异位热脱附修复工程由主体工程、辅助工程和配套设施组成。

5.3.2 主体工程宜包括：暂存、预处理、热处理、烟气处理、出料与存放、废水处理、检测及控制系统等。

5.3.3 辅助工程宜包括：能源供应、给排水及消防、供配电、通风与空气调节、实验室、库房等。

5.3.4 配套设施宜包括：办公室、值班室、厂区围挡、道路等。

5.4 总平面布置

5.4.1 处理场的总图设计应根据场址所在地区的自然条件，结合生产、运输、环境保护、劳动安全与职业卫生、职工生活、能源、电力、给排水等确定。

5.4.2 处理场总平面布置应围绕热脱附主体设备布置，其他设施应按污染土壤处理流程合理安排。热脱附处置设施应与办公和生活服务设施隔离建设。

5.4.3 处理场人流和物流的出入口设置应符合城市和场内交通的有关要求，实现人流和物流分离。

5.4.4 处理场的行车道路宜环形设置，路面宽度不宜小于 6 m。处理场外应设消防道路，道路的宽度不

应小于 3.5 m。

5.4.5 处理场周围应设置围墙或其它防护栅栏，防止无关人员进入。

6 工艺设计

6.1 一般规定

6.1.1 异位热脱附工艺设计宜采用节能设计理念，降低系统能耗。节能设计包括但不限于：

- a) 采用保温措施防止热量散失；
- b) 采用适宜的措施回收系统余热，将回收热量应用于工艺内部或外部。

6.1.2 异位热脱附修复工程宜开展小试试验，以获取修复所需的工艺参数。

6.1.3 异位热脱附设施宜采用自动化、信息化、模块化和橇装化设计。

6.1.4 异位热脱附设施应进行负压设计，以保障在运行过程中整个系统处于负压状态。

6.1.5 复合污染土壤采用热脱附技术和其他技术联合修复时，应优先采用热脱附技术处理挥发和半挥发性污染物。

6.2 工艺选择

6.2.1 根据热源与污染土壤接触方式的不同，异位热脱附工艺可分为直接热脱附工艺和间接热脱附工艺。直接热脱附典型工艺流程见图 1，间接热脱附典型工艺流程见图 2。

6.2.2 热脱附工艺的选择应根据污染土壤修复目标、修复方量、修复周期、污染物类型及污染物浓度等确定。

6.2.3 有机污染土壤浓度低且修复方量较大时，宜采用直接热脱附工艺；有机污染土壤修复方量较小时，宜采用间接热脱附工艺图 2（a）；汞污染土壤宜采用间接热脱附工艺图 2（b）。

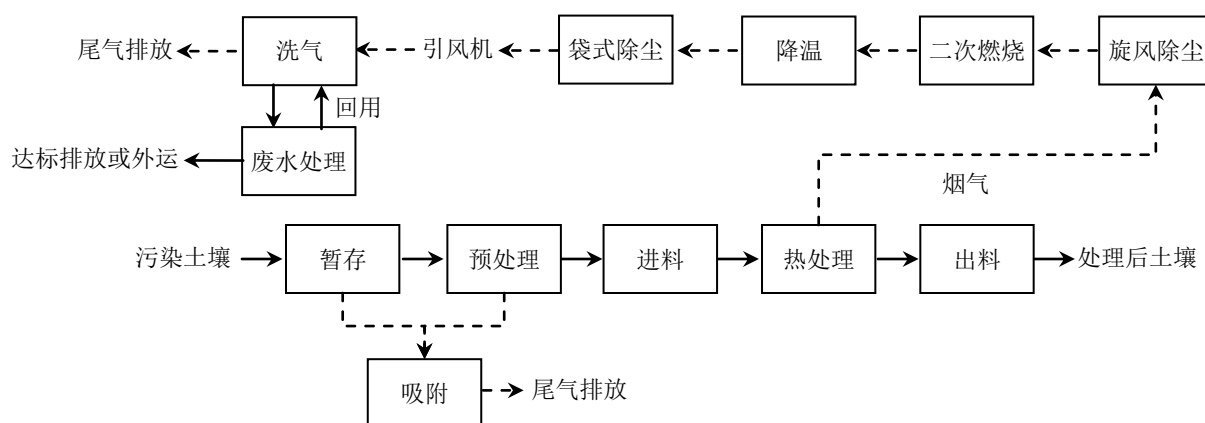


图 1 污染土壤直接热脱附修复工程典型工艺流程示意图

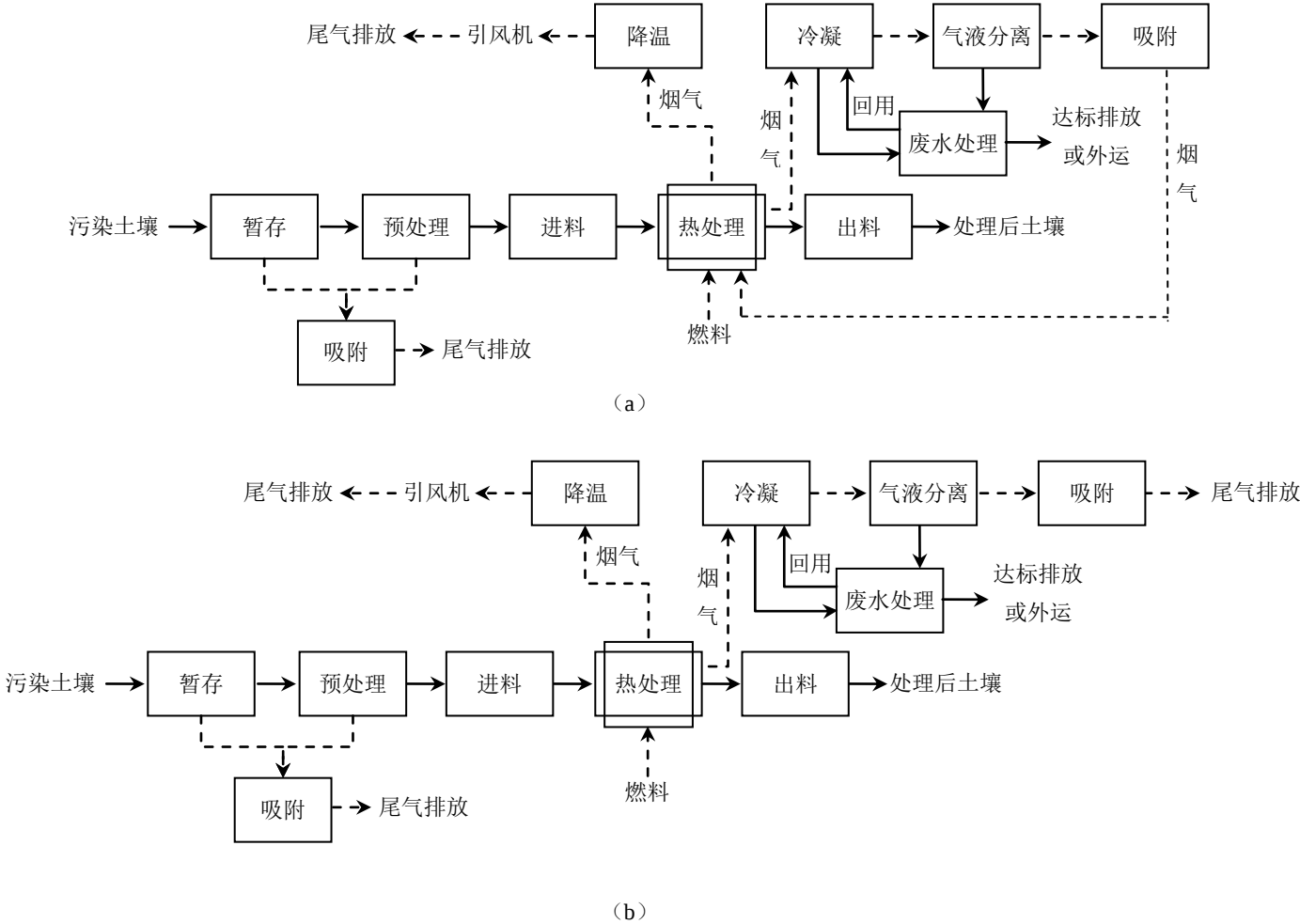


图 2 污染土壤间接热脱附修复工程典型工艺流程示意图

6.3 工艺设计要求

6.3.1 暂存和预处理

6.3.1.1 异位热脱附修复工程应设置暂存和预处理车间。暂存和预处理车间应保持密闭和微负压状态，并设置机械通风，车间内排出的废气应经过滤、吸附处理或引入烟气处理设施处理，达标后方可排放。

6.3.1.2 暂存和预处理车间应根据预测总库存容量、配套设施要求及现有地块条件进行设计和建设，车间地面应作硬化或防渗处理。

6.3.1.3 暂存和预处理车间应进行功能区划分。可分为污染土壤卸车区、暂存区、预处理区、废气处理区等。

6.3.1.4 预处理区宜配置分选、脱水、破碎、筛分、混合、搅拌、输送等设备。

6.3.1.5 当污染土壤不满足热处理设备进料要求时，可采用以下措施进行预处理：

- a) 采用分选或分拣方式去除污染土壤中砖瓦、石块、木块、铁块等杂质；
- b) 高含水率污染土壤可在暂存和预处理车间内采用晾干、添加脱水剂（如生石灰）等预处理方式使土壤含水率降至进料要求；
- c) 黏性土可选择加入调理剂（如生石灰）或与低塑性指数土壤混合等方式降低黏性；
- d) 采用破碎、筛分降低大颗粒土壤的粒径。

6.3.2 进料

6.3.2.1 应根据污染土壤的特性、处理规模和设备性能的要求，选择适当的进料系统。

6.3.2.2 进料系统主要由料仓、投料装置、计量装置、传输装置组成。

6.3.2.3 进料系统应能自动进料，投料装置应可调节投料速率，保证给料均匀。

6.3.2.4 进料系统应密闭，防止污染物及粉尘污染场区周围环境。

6.3.3 热处理

6.3.3.1 直接热脱附处理设备宜选择回转窑，间接热脱附处理设备宜选择回转窑或螺旋推进式热脱附炉。

6.3.3.2 热处理设备的驱动装置应采用变频控制。转动速率宜在一定范围内实现可调，转速宜控制为 1~5 r/min。

6.3.3.3 不同污染土壤的停留时间及出料温度宜参见表 1。

表 1 不同污染土壤的停留时间及出料温度

污染物类型	停留时间/min	出料温度/℃
挥发性有机物	10~20	100~200
半挥发性有机物	10~30	150~500
有机农药类	10~40	300~650
多氯联苯、多溴联苯和二噁英类	30~60	300~600
石油烃类	10~30	150~600
汞	20~60	200~600

6.3.3.4 热处理设备的热源负荷应符合 65%~110%的要求。

6.3.3.5 采用燃料为热源的热处理设备，燃料和空气进气量应均可调节。

6.3.3.6 热处理设备的进出料口、与烟气处理连接处、检修口等的设计均应满足系统密闭性的要求。

6.3.4 出料与存放

6.3.4.1 出料口应配备抑尘设施。可采用水喷淋方式使出料土壤的含水率增至 10%~25%，实现抑尘。

6.3.4.2 降温抑尘后的土壤应转运至有防雨、防渗措施的堆放区，并按出料批次存放。

6.3.4.3 应对每批次存放土壤进行检测，并依据检测结果设置“合格”或“不合格”的标识。

6.3.5 烟气处理

6.3.5.1 直接热脱附宜采用二次燃烧法处理烟气；采用间接热脱附修复污染土壤，宜采用冷凝-吸附-二次燃烧法处理烟气；汞污染土壤宜采用冷凝-吸附法处理烟气。

6.3.5.2 二次燃烧法应满足以下要求：

a) 二次燃烧法宜包括旋风除尘、二次燃烧、降温、袋式除尘、喷淋净化等工艺环节。

b) 二次燃烧室的温度应大于 850℃，热脱附烟气的停留时间应大于 2 s，含二噁英的烟气宜在 1100℃以上停留时间大于 2 s。

c) 烟气经二次燃烧处理后应进行降温，降温方式可采用换热器，回收热量。

d) 易产生二噁英的烟气应设置急冷装置，使烟气在 1 s 内降到 200℃以下。急冷后的烟气应先喷入活性炭，再通过袋式除尘器去除二噁英等污染物。在喷入活性炭之前也可选择喷入氧化钙或氢氧化钙粉，吸收烟气中的酸性物质和过量水分。

e) 烟气可采用碱性溶液洗气脱酸，碱性溶液浓度一般为 2%~10%，应由专门的配制系统提供，洗气装置可采用喷淋塔。

6.3.5.3 冷凝-吸附法应满足以下要求：

a) 冷凝-吸附法应包括冷凝、气液分离、吸附等工艺环节。

b) 冷凝可采用直接或间接换热形式，并可采用一级或多级的方式，冷凝设备可采用喷淋塔、板式换热器、列管式换热器等设备。

c) 冷凝器的冷却介质应根据污染物种类及工艺要求确定，确保气相污染物至少被冷却至其沸点以下，可根据后续处理工艺进行合理调整。冷却介质可选择水、冷却液。

d) 冷凝器后应配置气液分离设备，以降低不凝气中的液体含量。

e) 气液分离设备可采取捕雾法气液分离，可采用一级或多级的方式，可采用折流板、丝网等形式。

f) 冷凝器和气液分离设备内应配置有液体收集及输送装置，确保冷凝液及时排出。

g) 气液分离后的烟气可采用活性炭、分子筛等吸附净化，吸附工艺设计宜参照 HJ 2026 的要求进行设计。

h) 含汞烟气应冷凝至 4℃ 以下，再采用吸附法去除烟气中残余的汞。

6.3.5.4 冷凝-二次燃烧-吸附法应包括冷凝、气液分离、吸附、二次燃烧、降温等工艺环节。各工艺环节的技术要求可参见 6.3.5.2 和 6.3.5.3。

6.3.5.5 排气筒的设置应满足 GB 16297 的相关要求，排气筒应设有采样口和在线监测装置。

6.3.6 废水处理

6.3.6.1 直接热脱附的洗气废水中污染物浓度较低，可与清洗废水混合后一并处理；间接热脱附冷凝、气液分离产生的废水中污染物浓度高且成分复杂，宜首先回收有利用价值的物质，然后再进行处理。

6.3.6.2 洗气废水和清洗废水宜采用预处理+高级氧化的处理工艺；冷凝、气液分离废水宜采用预处理+高级氧化+吸附/生化的处理工艺。废水处理宜采用全封闭式结构。

6.3.6.3 预处理可采用中和、混凝、气浮等工艺，混凝和气浮的工艺设计可分别参照 HJ 2006 和 HJ 2007 的要求。

6.3.6.4 高级氧化可采用芬顿氧化法和臭氧氧化法等。芬顿氧化法工艺设计可参照 HJ 1095 的要求。

6.3.6.5 生化处理宜采用缺氧好氧活性污泥法，工艺设计可参照 HJ 576 的要求。

6.3.6.6 处理后的出水满足回用要求时宜进行回用。

6.3.7 固体废物处理处置

6.3.7.1 除尘器收集的粉尘应转运至出料堆放区，并按出料批次存放。

6.3.7.2 含二噁英烟气处理产生的旋风除尘器和袋式除尘器的粉尘与急冷设备产生的污泥，应密闭收集后重新投入进料系统或按固体废物处理处置。

6.3.7.3 废吸附剂宜进行再生，无法再生的应进行危险废物特性鉴别。

6.3.7.4 废水处理产生的污泥应脱水后进行危险废物特性鉴别，并依据其环境管理属性按国家相关规定进行管理。

6.3.7.5 预处理产生的砖瓦、石块、木块、铁块等固体废物应进行清洗，清洗后可按建筑垃圾处理处置，清洗过程产生的废水应进行收集处理。

7 主要工艺设备和材料

7.1 主要工艺设备

7.1.1 热处理设备应具备耐高温能力，并能在系统设计加热温度的条件下长期连续运行。热处理设备腔内应配置高效混合防板结装置。

7.1.2 回转窑的设计及制造宜参照 HG/T 20566 的要求。回转窑的长径比宜控制为 5:1~10:1，斜率宜控制为 1.3%~5.6%。

7.1.3 螺旋推进式热脱附炉的设计及制造应符合 JB/T 7679 的要求，壳体宜采用耐磨材质，需具备抗卡阻能力，防止被输送物料存在杂质造成卡死。

7.1.4 碱性溶液配制系统应至少包括以下主要设备：

a) 带搅拌器的配置罐；

- b) 罐体容积应能贮存满足 4 h 喷淋量的存储罐；
- c) 能实现变频调节喷淋液量的输送泵。

7.1.5 活性炭、氧化钙或氢氧化钙粉喷射装置应具有自动调节喷射量及计量功能，应至少包括以下主要设备：

- a) 存储物料的储料罐；
- b) 输送物料的气泵；
- c) 具有累计计量功能的计量装置。

7.1.6 引风机的选择应满足以下条件：

- a) 引风机流量范围调整应能满足系统风量变化要求；
- b) 引风机的工作压力应能满足最不利点所需风压的要求；
- c) 所选引风机应能经常保持在高效区内运行。

7.1.7 水泵的选型应根据其所输送介质的特性及水泵的用途来确定，并应满足下列条件：

- a) 水泵流量的调节范围应能满足指定用途中水量变化的要求；
- b) 水泵的工作压力应能满足最不利点所需水压的要求；
- c) 所选水泵应能经常保持在高效区内运行。

7.2 材料选择

7.2.1 热处理设备及高温烟道应采用耐酸性气体、耐高温腐蚀的耐火材料。

7.2.2 二次燃烧室内衬的耐火材料应能在 1250 °C 条件下长期稳定工作。

7.2.3 烟气的降温、冷凝、气液分离设备应使用耐腐蚀材料或做防腐处理。

7.2.4 碱性溶液喷淋装置的喷淋设备、管路及其他辅助配件应使用耐酸耐碱腐蚀的材料或做防腐处理。

8 检测与过程控制

8.1 一般要求

8.1.1 污染土壤热脱附修复过程应配置相关的检测设备和控制系统。

8.1.2 检测设备的配置应能准确反映处理设施的运行状况。

8.1.3 控制系统的配置应能保证设施的运行安全可靠、改善劳动条件、提高科学管理水平。

8.2 检测

8.2.1 热处理设施及烟气处理设施应设置温度、压力、烟气流量、烟气含湿量和烟气含氧量的测量仪表。

8.2.2 热工参数检测应包括以下内容：

- a) 工艺系统在各种工况下安全、经济运行的参数；
- b) 电动、气动和液动阀门的启闭状态及调节阀的开度；
- c) 仪表和控制用电源、气源、液动源及其他必要条件供给状态和运行参数；
- d) 气温、湿度、风力、风向等必需的环境参数。

8.2.3 大气污染物检测项目包括颗粒物、SO₂、NO_x、非甲烷总烃、特征污染物、恶臭等。可能产生二噁英时，应按 HJ 916 的要求开展监测。

8.2.4 应按照修复目标的要求对处理后的土壤进行采样检测，采样检测应符合 HJ 25.5 的要求。

8.3 过程控制

8.3.1 污染土壤热脱附修复设施应配置完善的自动控制系统。至少应包括热处理控制系统、烟气处理控制系统、能源供应控制系统、预警保安控制系统及工业电视监视系统。

8.3.2 应具备热脱附修复设施各工艺参数即时显示和关键参数的自动控制，主要显示及控制参数应至少包括以下内容：

- a) 热处理设备的进料量、转速、处理温度、压力和烟气含氧量；
- b) 二次燃烧室烟气的入口温度和压力；
- c) 二次燃烧室烟气的出口温度、压力、烟气含氧量及 CO 含量；
- d) 急冷装置内温度和压力；
- e) 袋式除尘器的入口温度和压力；
- f) 袋式除尘器的出口温度和压力；
- g) 冷却介质的温度、液位和流量；
- h) 吸附器的入口温度和压力。

8.3.3 热处理控制系统应设自动控制和现场手动控制两种操作方式。热处理控制系统应符合如下技术要求：

- a) 土壤进料量应能在额定量的 30%~100%之间可调；
- b) 热处理设备转速和风机转数应能在额定转数的 20%~100%之间可调；
- c) 热处理设备温度应在额定上下限温度内可调；
- d) 自动控制系统应具备主要工况参数超标时自动停止投料功能。

8.3.4 烟气处理控制系统应符合如下技术要求：

- a) 急冷喷淋水量应在额定量的 30%~100%之间可调；
- b) 喷入碱液量应在额定量的 50%~100%之间可调。

8.3.5 控制系统应能实现对热处理、烟气处理及辅助系统的远程监控及分散控制，并应设置独立于远程控制及分散控制系统的紧急停车系统。

8.3.6 自动控制设备应连接自动报警装置，可根据故障或异常情况，实现单个设备报警、单设备/部分生产线停机、整套生产线停机或紧急停机等功能。

8.3.7 对暂存、预处理、进料、热处理、出料、烟气处理的全过程，应设置现场工业电视监视系统。对进料、热处理、出料、烟气处理的重要环节，应在中央控制室设置工况参数集中显示和存储记录。

9 主要辅助工程

9.1 能源供应

9.1.1 修复工程使用的能源可为电、燃气、燃油等多种形式。鼓励使用清洁燃料作为污染土壤修复工程的能源。

9.1.2 电加热设备应符合 GB/T 10067 中的要求；燃气贮存及供给应符合 GB 50028 的要求；燃油的贮存及供给应符合 GB 50759 的要求。

9.1.3 电气系统的用电负荷应为 AC 380/220V，热脱附主体设备的负荷等级应为二级，并应设有应急电源。

9.1.4 高压配电装置、继电保护和安全自动装置、过电压保护和接地、照明设计应分别符合国家和地方标准的要求。

9.2 给排水及消防

9.2.1 生产用水应采用集中给水方式，设备冷却水应采用循环给水方式并符合 GB/T 50102 的要求，生活用水、消防用水、应急用水宜采用联合给水方式。给水设计应符合 GB 50013 和 GB 50015 的要求。

9.2.2 厂房内应设置室内消火栓给水系统，消防设计、厂房内的安全疏散及厂房内部装修设计应符合国家和地方标准的要求。

9.3 采暖通风与空气调节

9.3.1 采暖通风与空气调节设计应符合国家和地方标准的要求。

9.3.2 余热量大、有害气体散发量较多的作业场所，宜采用机械通风。

9.3.3 配电室及变电所应设置事故通风兼换气通风。

10 劳动安全与职业卫生

10.1 污染土壤修复工程的设计、施工和运行应符合国家和地方的劳动生产安全与职业卫生法规和标准。

10.2 应制定火灾、爆炸、自然灾害等意外事件的应急预案；生产作业区应配备消防器材；厂区各明显位置应配有禁烟、防火和限速等标志。

10.3 产生有害气体、易燃气体、异味和粉尘的场所应采取通风措施并设置报警装置。

10.4 工程设计应减少不必要的输送环节，降低物料转运的落差；加强设备的密闭，对不可避免产生粉尘的生产设备，应采取除尘措施；扬尘点应设置吸尘罩，保持负压；除尘净化后的气体应采取有组织排放形式。

10.5 在高温设备现场设置安全警示标志，防止操作人员烫伤灼伤。

10.6 应选用噪声小的设备。对于噪声较大的设备，应采用减震消音措施。

10.7 应对操作人员、技术人员及管理人员进行相关专业技术、安全防护、应急处理等理论知识和操作技能的培训。

10.8 岗位操作人员应配戴个人专用防护用品，防护用品应根据不同岗位合理配备。

10.9 所有从事生产作业的人员应定期体检并建立健康档案卡。应定期对职工进行职业卫生教育，加强防范意识。

11 施工与调试

11.1 施工

11.1.1 污染土壤修复工程的施工应符合国家和行业相应专项工程施工规范、施工程序及管理文件的要求。

11.1.2 施工中采用的工程技术文件、承包合同文件对施工质量验收的要求不得低于国家相关专项工程规范的规定。

11.1.3 施工应按设计文件、施工图纸和设备安装使用说明书的规定进行，工程变更应取得设计单位确认并出具设计变更文件后再进行施工。

11.1.4 设备、材料、器件等应符合国家相关标准，有产品的合格证书、产品性能检测报告。主要材料应有进场复验报告。

11.1.5 施工除遵守相关的施工技术规范以外，还应遵守国家的质量、劳动安全及卫生、消防等标准。

11.2 调试

11.2.1 调试前应先进行单机冷调试车、整体冷调联机空载运行、联机装载运行、联机热调装载运行，确定各环节运转正常、技术指标达到设计要求。

11.2.2 调试期应对工程进行不少于连续 72 h 的性能试验。性能试验应至少包括以下内容：

- a) 土壤最大处理量；
- b) 最大处理效率；
- c) 达标情况；
- d) 污染物排放；
- e) 能源和药剂消耗；
- f) 运行稳定性。

12 运行与维护

12.1 一般规定

12.1.1 热脱附技术修复污染土壤工程运行应在满足设计工况的条件下进行，并根据工艺要求，定期对设备、电气、自控仪表及建（构）筑物进行检查维护，确保系统稳定可靠运行。

12.1.2 应建立健全与污染土壤修复工程相关的各项规章制度，以及运行、维护和操作规程，建立主要设备运行状况的台账制度。

12.2 人员与运行管理

12.2.1 应对污染土壤修复工程的管理和运行人员进行定期培训，使管理和运行人员系统掌握正常运行的操作和应急情况的处理措施。

12.2.2 运行操作人员上岗前应进行以下内容的专业培训：

- a) 启动前的检查和启动要求的条件；
- b) 处置设备的正常运行，包括设备的启动和关闭；
- c) 控制、报警和指示系统的运行和检查，以及必要时的纠正操作；
- d) 最佳的运行温度、压力、污染物去除效率的控制和调节，以及保持设备良好运行的条件；
- e) 设备运行故障的发现、检查和排除；
- f) 事故或紧急状态下的操作和事故处理；
- g) 设备日常和定期维护；
- h) 设备运行及维护记录，其他事件的记录和报告。

12.2.3 应建立污染土壤修复工程运行状况、设施维护和生产活动等记录制度，主要记录内容包括：

- a) 系统启动、停止时间；
- b) 系统运行工艺控制参数记录，至少应包括热处理设备的进料量、转速、处理温度和压力以及二次燃烧室烟气出入口温度和压力、烟气含氧量等；
- c) 主要设备的运行和维修情况的记录；
- d) 烟气连续监测数据记录；
- e) 各种药剂如生石灰、活性炭、碱性液体药剂等的加药情况记录；
- f) 生产事故及处置情况的记录；
- g) 定期检测、评价及评估情况的记录等。

12.2.4 运行人员应按照规定落实交接班制度和巡检制度。

12.2.5 应对烟气排放口、厂区内及厂区周边无组织大气污染物排放进行定期检测。

12.3 热脱附设施启动

12.3.1 热脱附设施启动前，需先开启引风机 10~20 min，排空设施内存留的可燃气体。

12.3.2 热处理设备和二次燃烧室启动时宜采用控制燃料流量的方法，逐渐升温到设定温度。

12.3.3 升温过程中热处理设备应保持旋转，转速宜控制为 1~5 r/min，避免局部受热导致变形。

12.3.4 需在热脱附设施达到预定工况后再开始进料，宜采用由少到多的原则，避免系统参数出现较大波动。

12.4 热脱附设施关停

12.4.1 热脱附设施关停时需先停止进料，待土壤出料完毕后，方可关闭燃料。

12.4.2 热处理设备温度降低至 100℃后，方可停止旋转。

12.5 维护保养

12.5.1 维修人员应根据维护保养规定定期检查、更换或维修设备及其部件。

12.5.2 维修人员应做好维护保养记录。

12.5.3 电力、燃气和燃油设施及其配套件应定期由具有相应资质的单位检验。

12.6 事故应急

12.6.1 制定污染土壤热脱附修复工程事故应急措施，当出现紧急事故时，应立即采取相应措施进行处理，尽可能降低事故对主体工程运行安全、人员伤亡、财产损失和环境破坏等的影响。

12.6.2 事故应急措施内容至少应包括人员伤亡应急救援措施、排放超标应急处理措施、事故停机应急处理措施、重要设备/系统故障应急处理措施、火灾事故应急处理措施、触电事故应急处理措施、突发停水/停电应急处理措施等。

12.6.3 事故处理时应做好记录、分析原因，防止同类事故重复发生。
