

ICS XXXXXX
CCS X XXX

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

含油污泥资源化利用关键技术方法

Key Technical Methods for Resource Utilization of Oily Sludge

（征求意见稿）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 技术要求	2
4.1 总体要求	2
4.2 建材利用	2
4.3 土地改良	3
4.4 生态修复	3
4.5 协同利用	4
4.6 能源利用	4
5 检测方法	5
6 实施与监督	5
附录 A 含油污泥资源化利用相关标准清单	6
附录 B 不同资源化利用方式的工艺参考流程	10
附录 C 典型工艺参数参考值	14

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

引 言

含油污泥是石油、天然气开采及处理过程中产生的典型固体废物，我国每年新增量约630万吨，历史存量累计达1.59亿吨。其无序处置会造成严重环境污染，而经资源化技术处理后，油相、固相均具有较高利用价值。目前国内含油污泥资源化利用技术种类繁多，但缺乏统一的技术规范和指标要求，导致企业资源化积极性不足、环境风险隐患突出。国外相关标准以处置为主、资源化为辅，难以适配我国循环经济发展需求。为落实《国务院办公厅关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》要求，规范含油污泥资源化利用全流程，提升资源回收效率，降低环境风险，特制定本文件，填补我国含油污泥跨行业资源化利用技术标准空白。

含油污泥资源化利用关键技术方法

1 范围

本文件规定了石油、天然气开采及处理过程中产生的含油污泥资源化利用的技术要求、检测方法、实施与监督等内容。

本文件适用于含油污泥处理后液相、固相资源的利用环节，为相关管理部门开展监督管理工作、企业实施资源化利用活动提供技术指导和依据。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件；凡是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 175 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥
GB 4915 水泥工业大气污染物排放标准
GB/T 5101 烧结普通砖
GB/T 12692.2 石油产品 燃料（F 类）分类 第 2 部分：船用燃料油品种
GB 13223 火电厂大气污染物排放标准
GB/T 13544 烧结多孔砖和多孔砌块
GB/T 13545 烧结空心砖和空心砌块
GB/T 17431.1 轻集料标准 粘土陶粒
GB 18484 生活垃圾焚烧污染控制标准
GB 18598 危险废物填埋污染控制标准
GB/T 24600 城镇污水处理厂污泥处置 土地改良
GB 25989 炉用燃料油
GB 30485 水泥窑协同处置固体废物污染控制标准
GB/T 30760 水泥窑协同处置固体废物技术规范
GB 34330 固体废物鉴别标准通则
GBT 42264 烧结砖瓦工业大气污染治理设施工程技术规范
GB/T 42828 盐碱地改良通用技术
HJ 607 废矿物油回收利用污染控制技术规范
HJ 1091 固体废物再生利用污染防治技术导则
NY/T 3034 土壤调理剂通用要求
SC/T 9416 人工鱼礁建设技术规范
DBJ/T 15-62 陶粒混凝土技术规程
DB23/T 1413 油田含油污泥综合利用污染控制标准
DB32/T 4710 含重金属污泥综合利用污染控制技术规范
DB4401/T 19 涉河建设项目河道管理技术规范
DB61/T 1461 含油污泥利用与处置污染控制技术规范
DB62/T 4122 盐碱荒地快速改良技术规程
T/FWHX 002 燃料油
T/CSF 0064 盐碱地生态修复效果评价技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

含油污泥 oily sludge

石油、天然气开采及处理过程中产生的，含有石油烃类物质的污泥状废弃物。

3.2

资源化利用 resource utilization

通过技术手段对含油污泥进行处理，使其转化为具有使用价值的产品（如建材、绿化土、燃料油等）或用于生态修复、协同处置等活动，实现资源回收和循环利用的过程。

3.3

建材利用 building material utilization

将处理后的含油污泥作为原料或掺合料，用于生产陶粒、混凝土、烧结砖等建筑材料的利用方式。

3.4

土地改良 land improvement

通过热处理、微生物植物联合修复等技术，将含油污泥转化为符合要求的改良材料，用于绿化土配置、盐碱地改良等土地利用的方式。

3.5

生态修复 ecological restoration

将处理后的含油污泥用于土壤修复、盐碱地修复、海洋生态修复、海岸河滩修复等生态治理的利用方式。

3.6

协同利用 Collaborative utilization

含油污泥与水泥窑、电厂等生产设施协同处置，或与制建材、土壤改良等过程相结合的资源化利用方式。

3.7

能源利用 energy utilization

通过热法、化学法等技术处理含油污泥，回收其中的油相作为燃料油等能源产品的利用方式。

4 技术要求

4.1 总体要求

含油污泥资源化利用应遵循“减量化、无害化、资源化”原则，符合国家环境保护、资源利用相关法律法规和政策要求，确保利用过程不对环境造成二次污染，产品质量满足相应使用要求。

4.2 建材利用

4.2.1 原料要求

处理后的含油污泥用于建材生产时，其掺入量比例需根据不同建材产品类型确定，应通过试验验证并符合相关产品标准要求，重金属总量需符合 HJ1091 及对应建材产品标准的限值要求，石油烃含量应 ≤ 3000 mg/kg（干基）或 $\leq 0.3\%$ ，不得存在化学药剂危害即不得含有超出国家标准限值

的有毒有害化学药剂残留，化学药剂残留应符合 GB 18484-2020《生活垃圾焚烧污染控制标准》表4限值，含水率应 $\leq 40\%$ （干化后）且满足建材生产工艺节能要求，重金属玻璃化固化率应 $\geq 95\%$ 。

4.2.2 产品指标

生产的建材产品应符合对应产品标准要求，其关键指标中砖坯空隙率、块体积密度、强度需符合 GB/T5101-2017、GB 13544-2011、GB/T13545-2014 等标准要求，陶粒相关指标需符合 GB/T17431.1-2010、T/WHHLW166-2024 等标准要求，混凝土相关指标需符合 DBJ/T15-62-2021 等标准要求。

4.2.3 应用场景要求

轻质墙体砌块适用于非承重墙体且应满足墙体保温、隔声等使用要求，室内隔墙应符合室内环境污染控制相关标准要求，屋顶的隔热防水层应具备良好的防水、隔热性能且满足建筑防水工程技术规范要求。

4.3 土地改良

4.3.1 热处理技术应用要求

采用热处理技术分离油与污泥后，污泥用于配置绿化土时，其污泥配伍比例需根据绿化土使用场景确定并与其他基质合理配比，残留油含量应 $\leq 3000\text{mg/kg}$ （干基）或 $\leq 0.3\%$ ，重金属含量应符合 GB/T24600 及 NY/T3034 的限值要求，应含有适量氮、磷、钾等植物生长所需营养成分且满足绿化植物生长要求，全盐含量应 $\leq 3.0\text{g/kg}$ 或 $\leq 0.3\%$ ，pH 值应控制在 6.0-8.5（符合绿化土 pH 值通用要求），土壤通气孔隙度应 $\geq 15\%$ ，种子发芽指数应 $\geq 80\%$ ，且无明显影响植物生长的潜在障碍因子。

4.3.2 微生物植物联合修复技术应用要求

采用微生物植物联合修复技术处理后，污泥用于绿化土时，使用的微生物菌剂应无致病性且符合相关安全标准，污泥重金属含量应符合 GB/T 24600 及 NY/T 3034 的限值要求，菌群多样性的 Shannon 指数应 ≥ 2.5 并确保修复体系生态稳定性，pH 值应控制在 6.0-8.5，残留油含量、全盐含量、种子发芽指数等其他指标应符合 4.3.1 的相关要求。

4.3.3 应用要求

处理后的绿化土仅适用于园林绿化、城市绿化等非食用作物种植区域，不得用于农田、蔬菜地等食用农产品种植土壤。

4.4 生态修复

4.4.1 适用场景

土壤修复适用于石油污染土壤、退化土壤的修复，盐碱地修复应符合《盐碱地改良通用技术》《盐碱荒地快速改良技术规程》《园林绿化工程盐碱地改良技术标准》CJJ/T283 等要求，海洋生态修复用于人工鱼礁建设等海洋生态修复时应符合 GJB 9911-2021、SC/T9416—2014 及相关团体标准要求，海岸河滩修复应符合 DB 4401/T19-2019 等河道管理相关标准要求。

4.4.2 技术指标

生态修复所用材料及修复后土壤的技术指标应满足以下要求：

- a) 重金属含量应符合 DB32/T4710—2024 及对应生态修复场景的环境质量标准；
- b) 石油烃含量需满足修复后土壤或修复材料中的石油烃含量符合对应区域土壤环境质量标

准；

- c) 稳定性要求修复材料具备良好的物理化学稳定性且无二次污染风险；
- d) 生态兼容性应与修复区域的生态系统相兼容且不影响当地生物多样性。

4.5 协同利用

4.5.1 水泥窑协同利用

油泥掺入量应≤5%（占水泥生料质量比），需参照 GB30760-2014 及工业化实践，确保不影响水泥生产效率和产品质量，废气排放应符合 GB 4915、GB30485-2013 的限值要求，协同处置产生的灰渣应符合固体废物鉴别标准，若用于建材生产等再利用还需满足对应产品标准，水泥质量应符合 GB175 的要求，二噁英排放应符合 GB30485-2013 的限值要求。

4.5.2 电厂协同利用

油泥掺入量需根据电厂锅炉燃烧条件确定且应通过燃烧试验验证，废气排放应符合 GB13223 的限值要求，灰渣处理需做到燃烧产生的灰渣按固体废物管理相关要求处置或再利用。

4.5.3 制建材与土壤改良协同利用

制建材与土壤改良协同利用时，协同生产的建材产品或土壤改良材料应分别符合 4.2、4.3 的相关要求，协同过程中应加强废气、废水、固体废物的污染控制且确保满足相应环保标准，用于土壤改良的协同产物应按规定开展包含土壤重金属含量、石油烃含量、地下水质量等指标的长期环境监测。

4.6 能源利用

4.6.1 油相回收指标

含油污泥经热法、化学法处理后回收的油相，按利用场景分为不同等级，关键指标应符合以下要求（表 1）：

表1 回收油相指标要求

指标	等级1（高等级燃料油）	等级2（普通燃料油）	检测方法依据
含水量（%）	≤1.0	≤3.0	GB/T 260-2016《石油产品水含量的测定 蒸馏法》
密度（20℃，kg/m³）	850-980	900-1000	GB/T 1884-2000《原油和液体石油产品密度实验室测定法》
粘度（40℃，mm²/s）	≤180	≤380	GB/T 265-1988《石油产品运动粘度测定法》
闪点（闭口，℃）	≥61	≥60	GB/T 261-2021《闪点的测定 宾斯基-马丁闭口杯法》
凝点（℃）	≤0	≤20	GB/T 510-2018《石油产品凝点测定法》
碘值（gI/100g）	≤50	≤80	SH/T 0234-1992《轻质石油产品碘值和饱和烃含量测定法》

硫含量 (%)	≤ 0.5	≤ 1.5	GB/T 17040-2019《石油和石油产品硫含量的测定 能量色散X射线荧光光谱法》
酸值 (mgKOH/g)	≤ 0.5	≤ 1.0	GB/T 264-1983《石油产品酸值测定法》
过氧化值 (mmol/kg)	≤ 5.0	≤ 10.0	GB/T 5538-2005《动植物油脂 过氧化值测定》
注：等级1（高等级燃料油）符合GB 25989-2010《炉用燃料油》或GB/T 17411-2012《船用燃料油》要求，可作为工业窑炉、船舶燃油使用；等级2（普通燃料油）：符合HJ 607-2011《废矿物油回收利用污染控制技术规范》要求，可用于水泥窑、电厂等协同处置。			

4.6.2 利用要求

回收油在后续使用、储运及燃烧等利用全过程中，应遵循以下要求：

- 回收油相应按等级用于对应场景，不得超范围使用；
- 储存、运输过程应符合危险化学品安全管理相关规定，配备相应的安全防护设施；
- 燃烧使用时，废气排放应符合对应燃料燃烧污染控制标准要求。

5 检测方法

- 重金属总量检测：按照GB/T15555系列标准、HJ781等相关标准规定的方法执行。
- 石油烃含量检测：按照HJ1021、HJ894等相关标准规定的方法执行。
- 含水率检测：按照GB/T24114等相关标准规定的方法执行。
- 砖坯空隙率、块体积密度、强度检测：按照GB/T5101-2017、GB13544-2011、GB/T13545-2014等标准规定的方法执行。
- 陶粒相关指标检测：按照GB/T17431.1-2010等标准规定的方法执行。
- 混凝土相关指标检测：按照 DBJ/T15-62-2021等标准规定的方法执行。
- 土壤pH值、全盐含量、通气孔隙度、种子发芽指数检测：按照 GB/T23416、NY/T1121系列标准等规定的方法执行。
- 二噁英检测：按照HJ77.2等标准规定的方法执行。
- 回收油相各项指标检测：按照GB/T260、GB/T265、GB/T261等相关标准规定的方法执行。
- 其他指标检测：按照对应引用标准规定的方法执行。

6 实施与监督

- 企业应按照本标准要求开展含油污泥资源化利用活动，建立完整的生产台账，记录含油污泥的来源、处理工艺、各项指标检测结果、产品去向等信息，台账保存期限不少于5年。
- 企业应定期对资源化利用过程中的废气、废水、固体废物等进行监测，监测结果应符合相关环保标准要求，并向当地生态环境主管部门报备。
- 相关管理部门应依据本标准对含油污泥资源化利用企业进行监督检查，重点核查企业是否符合技术要求、检测方法是否规范、台账是否完整等。
- 对于违反本标准要求，造成环境污染或产品质量不合格的企业，由相关部门依法予以处理。

附录 A

(资料性)

含油污泥资源化利用相关标准清单

A.1 基础通用与鉴别标准

A.1 含油废物基础通用与鉴别核心标准汇总表

标准编号	标准名称	发布年份	适用范围	关键指标/说明
GB 34330	固体废物鉴别标准 通则	2025	固体废物属性鉴别	明确含油固体废物分类及管理要求
GB 18597	危险废物贮存污染控制标准	2023	危险废物贮存设施设计、运行	含油污泥临时贮存防渗、防漏要求
GB 18599	一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准	2020	第II类工业固废处置	经处理达标的含油污泥尾渣填埋要求
HJ 607	废矿物油回收利用污染控制技术规范	2011	废矿物油及含油废物回收	含油率、含水率分级，污染控制基准

A.2 建材化利用标准体系

A.2 含油污泥建材化利用标准体系汇总表

标准编号	标准名称	发布年份	适用范围	含油污泥应用要点
烧结制品类				
GB/T101	烧结普通砖	2017	非承重墙体材料	油泥掺量≤5%，抗压强度≥MU10
GB13544	烧结多孔砖和多孔砌块	2011	节能型墙体材料	空隙率≥25%，油泥需预处理至含水率≤15%
GB/T13545	烧结空心砖和空心砌块	2014	框架结构填充	密度等级≤1000kg/m ³ ，油泥作为内燃料
轻集料类				
GB/T17431.1	轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料	2010	陶粒、陶砂等	油泥掺量10-30%，筒压强度≥3.5 MPa
T/WHHLW 166	页岩陶粒	2024	油气田固废专用	明确含油污泥制备陶粒工艺参数
水泥与混凝土类				
GB 175	通用硅酸盐水泥	2007/XG2-2015	水泥生产	油泥作为替代燃料，热值≥18 MJ/kg
GB/T 1596	用于水泥和混凝土中的粉煤灰	2017	矿物掺合料	油泥焚烧灰渣可参照使用后重金属限值
DBJ/T 15-62	陶粒混凝土技术规程	2021	轻集料混凝土	油泥陶粒混凝土密度等级1200-1800 kg/m ³
污染控制				
HJ 1091	固体废物再生利用污	2020	建材化通用要求	石油烃≤3000 mg/kg，

	染防治技术导则			重金属固化率 $\geq 95\%$
GB 30760	水泥窑协同处置固体废物技术规范	2014	水泥窑协同	油泥进料点温度 $\geq 850^{\circ}\text{C}$ ，停留时间 $\geq 30\text{ min}$

A.3 土地改良与生态修复标准

A.3 含油污泥土地改良与生态修复标准汇总表

标准编号	标准名称	发布年份	适用范围	含油污泥应用限值
GB/T 24600	城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质	2009	园林绿化、土地改良	石油烃 $\leq 3000\text{ mg/kg}$ ，种子发芽指数 $\geq 80\%$
NY/T 3034	土壤调理剂 通用要求	2016	酸性/碱性土壤改良	重金属符合农用标准，有机物 $\geq 20\%$
CJJ/T 283	园林绿化工程盐碱地改良技术标准	2018	滨海盐碱地改良	全盐 $\leq 3\text{ g/kg}$ ，pH 6.0-8.5，油泥堆肥产物适用
SC/T 9416	人工鱼礁建设技术规范	2014	海洋牧场建设	油泥制备鱼礁混凝土强度 $\geq \text{C30}$ ，浸出毒性达标
GJB 9911	岛礁固体废物收集处置技术要求	2021	海岛生态修复	油泥资源化产物用于岛礁绿化基质
T/CSF 0064	盐碱地生态修复效果评价技术规程	2023	修复效果评估	石油烃降解率 $\geq 85\%$ ，植被覆盖率 $\geq 70\%$

A.4 能源回收与燃料标准

A.4 含油污泥能源回收与燃料相关标准汇总表

标准编号	标准名称	发布年份	适用范围	含油污泥衍生燃料要求
GB 25989	炉用燃料油	2010	工业窑炉燃料	回收油相硫 $\leq 0.5\%$ ，热值 $\geq 40\text{ MJ/kg}$
GB/T 12692.2	石油产品 燃料(F类) 分类 第2部分：船用燃料油品种	2021	船舶燃油	等级1回收油可作为船用馏分燃料
HJ 607	废矿物油回收利用污染控制技术规范	2011	废油再生利用	回收油含水 $\leq 1\%$ ，酸值 $\leq 0.5\text{ mgKOH/g}$
GB 13223	火电厂大气污染物排放标准	2011	燃煤电厂	油泥作为辅助燃料，掺烧量 $\leq 10\%$
GB 18484	危险废物焚烧污染控制标准	2020	焚烧处置设施	油泥自维持焚烧，热值 $\geq 12\text{ MJ/kg}$

A.5 污染物控制与监测标准

A.5 含油污泥污染物控制与监测相关标准汇总表

标准编号	标准名称	发布年份	适用范围	监测指标
------	------	------	------	------

GB16297	大气污染物综合排放标准	1996	建材生产废气	颗粒物 $\leq 30 \text{ mg/m}^3$, 非甲烷总烃 $\leq 120 \text{ mg/m}^3$
GB4915	水泥工业大气污染物排放标准	2013	水泥窑协同	$\text{SO}_2 \leq 200 \text{ mg/m}^3$, $\text{NO}_x \leq 400 \text{ mg/m}^3$, 二噁英 $\leq 0.1 \text{ ng-TEQ/m}^3$
GB30485	水泥窑协同处置固体废物污染控制标准	2013	协同处置专项	$\text{HCl} \leq 10 \text{ mg/m}^3$, $\text{HF} \leq 1 \text{ mg/m}^3$, $\text{TOC} \leq 10 \text{ mg/m}^3$
HJ77.2	环境空气和废气 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	2008	二噁英监测	检出限 0.01 pg/m^3
GB18598	危险废物填埋污染控制标准	2001	最终处置	浸出液污染物浓度限值

A.6 检测方法标准

A.6 含油污泥相关检测方法标准汇总表

检测项目	标准编号	方法名称	检出限/精度
石油烃总量	HJ 1021	土壤和沉积物 石油烃 ($\text{C}_{10}\text{-C}_{40}$)测定 气相色谱法	0.01 mg/kg
含水率	GB/T 24114	机械振动法测定	$\pm 0.5\%$
重金属	HJ 781	固体废物 22 种金属元素测定 电感耦合等离子体发射光谱法	0.1 mg/kg
种子发芽指数	NY/T 525 附录 A	青菜种子法	—
二噁英类	HJ 77.2	同位素稀释 HRGC-HRMS 法	0.01 pg/m^3
热值	GB/T 213	氧弹量热法测定	$\pm 50 \text{ J/g}$

A.7 国外参考标准与技术文件

A.7 含油污泥相关国外参考标准与技术文件汇总表

标准编号/名称	发布机构	适用范围	与国内标准对应关系
欧盟			
BREF Waste Treatment	欧盟委员会	废物处理 BAT 技术	重金属玻璃化固化率 $\geq 95\%$ 依据
EN 15359:2011 固体回收燃料 (SRF)	CEN	衍生燃料质量分级	热值、氯、汞分级指标参考
美国			
EPA 40 CFR Part 503	美国 EPA	污泥土地利用	A 级生物固体标准, 病原菌控制
ASTM D5231	ASTM	废油回收燃料测试	闪点、粘度、硫含量测试方法

日本			
JIS K 2279	日本工业标准	废油再生燃料油	含水、沉淀物、热值要求

附录 B

(资料性)

不同资源化利用方式的工艺参考流程

B.1 建材化利用工艺

B.1.1 含油污泥制备烧结陶粒工艺流程

原料含油污泥(含水率 60-80%) → 机械脱水(板框/带式压滤) → 干化(转筒/流化床, 至含水率 $\leq 15\%$)

↓

配料计量(油泥:页岩:粉煤灰=3:5:2) → 混合搅拌 → 成球盘造粒(粒径 5-20 mm)

↓

预热(回转窑, 200-300℃, 10-15 min) → 烧结(1050-1200℃, 30-45 min)

↓

冷却(竖式冷却机) → 筛分分级 → 成品陶粒(筒压强度 ≥ 3.5 MPa, 堆积密度 ≤ 700 kg/m³)

↓

尾气处理(SNCR 脱硝+布袋除尘+活性炭吸附二噁英) → 达标排放

工艺控制要点为油泥热值利用需把控油泥热值在 8-12 MJ/kg, 该热值条件下可替代 30-50% 燃料, 重金属固化需保证在高温熔融态下重金属固化率 $\geq 95\%$, 二噁英控制需将窑尾烟气骤冷至 200℃以下, 以此抑制二噁英的再合成。

B.1.2 含油污泥制备烧结砖工艺流程

含油污泥 → 调制脱水(至含水率 30-35%) → 与陈化土混合(油泥掺量 $\leq 5\%$)

↓

塑性指数调节(加入黏土、煤矸石) → 陈化(72 h) → 挤出成型(真空度 ≤ -0.08 MPa)

↓

干燥(隧道窑, 105-110℃, 24 h) → 焙烧(900-950℃, 12-16 h)

↓

成品砖(抗压强度 $\geq$ MU10, 符合 GB 13544)

B.1.3 含油污泥作混凝土掺合料工艺流程

热脱附残渣(石油烃 ≤ 3000 mg/kg) → 破碎研磨(比表面积 ≥ 300 m²/kg)

↓

均化处理 → 活性测试(28 d 活性指数 $\geq 70\%$) → 作为矿物掺合料

↓

配制混凝土(替代 10-20%水泥) → 性能检测(强度、耐久性)

B.2 土地改良利用工艺

B.2.1 热脱附-土地利用协同工艺

含油污泥 → 热脱附反应器（间接加热，350–450℃，30 min）



三相分离 → 回收油相（热值 ≥ 35 MJ/kg） + 热解气（回用供热）



固相残渣（石油烃 ≤ 3000 mg/kg） → 冷却稳定化（喷水降温至 $< 50^{\circ}\text{C}$ ）



配伍营养土（残渣:腐殖土:腐熟有机肥=5:3:2） → 添加 NPK 调节养分



堆置熟化（30 d，定期翻抛） → 产品检测（发芽指数 $\geq 80\%$ ） → 绿化用土

关键技术参数需满足热脱附效率的石油烃去除率 $\geq 95\%$ ，且残渣特性需达到孔隙度 $\geq 60\%$ 、持水率 $\geq 45\%$ 。

B.2.2 微生物-植物联合修复工艺

含油污泥 → 场地平整 → 投加专属降解菌剂（投加量 0.5–1%，CFU $\geq 10^9$ /g）



翻耕曝气（耕深 30 cm，频率 1 次/周） → 调节含水率（25–35%） + pH（6.5–7.5）



种植修复植物（芦苇、狗尾草等） → 定期监测（石油烃降解率、酶活性）



修复周期（90–180 d） → 土壤达标（石油烃 ≤ 3000 mg/kg） → 土地利用

微生物菌剂组成中的降解菌为假单胞菌属（*Pseudomonas*）、红球菌属（*Rhodococcus*），辅助菌为固氮菌、解磷菌，辅助菌可促进植物共生。

B.3 生态修复利用工艺

B.3.1 盐碱地改良工艺

含油污泥堆肥产物（石油烃 ≤ 3000 mg/kg，盐分 ≤ 3 g/kg） → 机械粉碎



施加改良剂（石膏、腐植酸，用量 2–3 t/亩） → 混合翻耕（深度 40 cm）



灌水淋洗（灌水量 200–300 m³/亩） → 排出盐水（盐度监控）



种植耐盐植物（碱蓬、柽柳） → 持续监测（pH、全盐、植被覆盖度）



修复周期（1–2 年） → 土壤达标（pH < 8.5 ，全盐 < 2 g/kg）

B.3.2 人工鱼礁制备工艺

T/CIECCPA XXX—20XX

热脱附固相（石油烃 ≤ 500 mg/kg） $\rightarrow$ 破碎筛分（粒径 5-20 mm） $\rightarrow$ 与海水海砂珊瑚骨料混合

↓

加入碱激发剂（矿渣粉:粉煤灰=1:1） $\rightarrow$ 搅拌浇注（模具尺寸 2m $\times$ 2m $\times$ 2m）

↓

振动成型 $\rightarrow$ 标准养护（20℃，湿度 $>95\%$ ，28 d）

↓

海洋投放（水深 10-20 m） $\rightarrow$ 生态监测（附着生物量、鱼类聚集效应）

性能指标需满足抗压强度 ≥ 30 MPa、孔隙率 $\geq 25\%$ ，且浸出毒性符合GB 5085.3限值。

B.4 协同处置工艺

B.4.1 水泥窑协同处置工艺

含油污泥 $\rightarrow$ 预处理（破碎至粒径 ≤ 30 mm，含水率 $\leq 30\%$ ）

↓

输送系统（密封螺旋泵） $\rightarrow$ 窑尾烟室/分解炉投加（投加点温度 $\geq 850^\circ\text{C}$ ）

↓

高温焚烧（回转窑， 1450°C ，停留时间 ≥ 30 min） $\rightarrow$ 有机物彻底分解

↓

熟料烧成 $\rightarrow$ 重金属固化于熟料晶格 $\rightarrow$ 水泥产品（符合 GB 175）

↓

烟气处理（SNCR+急冷+活性炭+布袋除尘） $\rightarrow$ 达标排放

B.4.2 电厂锅炉协同焚烧工艺

油泥调制（含水率 $\leq 40\%$ ，热值 ≥ 10 MJ/kg） $\rightarrow$ 与煤混合（油泥占比 $\leq 10\%$ ）

↓

磨煤机粉碎 $\rightarrow$ 喷入炉膛（煤粉炉，温度 $\geq 1300^\circ\text{C}$ ）

↓

高温燃烧（停留时间 2-3 s） $\rightarrow$ 有机物销毁率 $\geq 99.99\%$

↓

灰渣处理（飞灰按危废管理，底灰可建材利用）

B.5 能源回收利用工艺

B.5.1 热解法回收油相工艺

含油污泥 $\rightarrow$ 预热（至 80°C ） $\rightarrow$ 离心除杂（去除大颗粒固体）

↓

热解反应器（无氧， $450-550^\circ\text{C}$ ，30-60 min）

↓

油气冷凝系统（三级冷凝，60℃→20℃→5℃）→ 回收油液（含水≤3%）

↓

油水分离（静置+聚结分离）→ 精制（吸附脱硫）→ 燃料油产品

↓

不凝气 → 净化（碱洗+干燥）→ 回用燃烧供热

↓

固相残渣 → 建材化/土地改良利用

技术经济指标需满足含油率>15% 的油泥的油回收率达到70-80%，且间接加热方式下的能耗控制在150-200kWh/t。

B.5.2 溶剂萃取法回收油工艺

含油污泥 → 干燥（含水率≤20%）→ 粉碎（粒径≤2 mm）

↓

溶剂萃取（正己烷/石油醚，固液比 1:5，50℃，30 min）

↓

离心分离（3000 rpm）→ 萃取液 → 蒸馏回收溶剂 → 回收油

↓

萃余固相 → 脱附处理（蒸汽汽提）→ 检测（石油烃≤3000 mg/kg）→ 资源化利用

该技术的优缺点为回收油品质好（石油烃含量>90%），但溶剂损耗约2-3%，且该技术适用于高含油污泥（含油率>20%）。

B.6 工艺流程选择矩阵

B.1 含油污泥处理工艺流程选择矩阵表

油泥特性	推荐工艺	主要产品	经济效益	环境效益	适用规模
含油率>15%，含水<40%	热解/溶剂萃取	燃料油+建材	高	中	>5 万吨/年
含油率 5-15%，含水 40-60%	水泥窑协同	熟料+热能	中	高	不限
含油率<5%，有机质>30%	生物修复+土地利用	绿化土	低	高	1-3 万吨/年
含盐/重金属高	高温烧结陶粒	轻集料	中	高	>3 万吨/年

附录 C
(资料性)
典型工艺参数参考值

C.1 含油污泥处理典型工艺参数参考值汇总表

序号	利用方式	关键工艺参数	参考值范围	来源依据
1	热脱附	处理温度	300-450℃	国内外工业化装置实践
2	生物修复	停留时间	90-180天	国内外工业实践
3	水泥窑协同	停留时间	≥30分钟	GB 30760-2014
4	陶粒生产	烧结温度	1050-1200℃	GB/T17431.1-2010
