

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

城镇污水处理厂 污泥水热碳化 节能低碳工艺技术规范

Technical specification for energy-saving and low-carbon hydrothermal
carbonization process of sludge in urban sewage treatment plants
(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 |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 总体要求 | 3 |
| 5 水热碳化技术 | 3 |
| 6 水热炭资源化利用 | 5 |
| 7 检测与过程控制 | 7 |
| 8 运行管理 | 7 |
| 9 环境保护要求 | 7 |
| 附录 A（规范性）减量率 | 9 |
| 图 1 | 3 |
| 表 1 | 5 |

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：中冶生态环保集团有限公司。

本文件主要起草人：范万柱、伍绍辉、高信刚、高卫民、王少鹏、曹伟、张哲、刘腾飞、王恩鹏、刘昀、徐驰、李传松等。

城镇污水处理厂 污泥水热碳化节能低碳工艺技术规范

1 范围

本文件规定了城镇污水处理厂 污泥水热碳化节能低碳的总体要求、水热碳化技术、水热炭资源化利用、污染控制、检测及过程控制、运行管理和环境保护要求。

本文件适用于城镇污水处理厂产生的污泥及其他具有类似性质的固体废弃物。

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，仅所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 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 18484 危险废物焚烧污染控制标准

GB 18598 危险废物填埋污染控制标准

GB/T 23485 城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋泥质

GB/T 24600 城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质

GB/T 24602 城镇污水处理厂污泥处置 单独焚烧用泥质

GB/T 23484 城镇污水处理厂污泥处置 分类

GB/T 23486 城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质

GB/T 25031 城镇污水处理厂污泥处置 制砖用泥质

GB/T 39091 工业余热梯级综合利用导则

GB 50014 室外排水设计标准

CJ/T 309 城镇污水处理厂污泥处置 农用泥质

CJ/T 314 城镇污水处理厂污泥处置 水泥熟料生产用泥质

HJ 819 排污单位自行监测技术指南 总则

NY/T 3041 生物炭基肥料

JB/T 11826 城镇污水处理厂污泥焚烧处理工程技术规范

DB34 / T 3439 污泥高效节能炭化工艺技术规范

T/ACEF 094 城镇污水处理厂污泥水热调理深度脱水技术规程

T/CECS537 城镇污水处理厂污泥隔膜压滤深度脱水技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

污泥 sludge

城镇污水处理厂在污水净化处理过程中产生的含水率不同的半固态或固态物质，不包括栅渣、浮渣和沉砂池砂砾。

[来源：GB/T 23484-2009，2.3]

3.2

水热碳化 hydrothermal carbonization (HTC)

一种模拟天然煤化过程的热化学转化技术。物料在密闭容器中，于一定的温度（180-250℃）和压力（1.5-4.0 MPa）下，在液相或亚临界水环境中，通过水解、脱水、脱羧、缩聚和芳构化等一系列反应，将有机质转化为富含碳的固体产物的过程。

[来源：《农业工程学报》2022年第3期论文《水热碳化技术处理畜禽粪便的研究进展》，经整理]

3.3

水热炭 hydrochar

污泥等有机废物经过水热碳化反应后形成的、以碳为主要成分的固体产物。其理化性质类似于褐煤，具有较高的碳含量和热值。

[来源：《农业工程学报》2022年第3期论文《水热碳化技术处理畜禽粪便的研究进展》，经整理]

3.4

过程水 process water

水热碳化反应后，经固液分离从反应浆液中分离出的液相部分。该部分水质复杂，含有高浓度的有机物、氮、磷等营养物质及无机盐。

[来源：T/CECS 1242-2023, 2.0.3 扩展]

注：本定义将原标准中“滤液”的反应场景由“污泥隔膜压滤深度脱水”扩展至“污泥水热碳化”，补充了水热碳化过程液相产物的水质复杂性特征及具体组分构成，适配水热炭制备工艺的产物描述需求。

3.5

热解气 pyrolytic gas

在水热碳化过程中产生的、不溶于水的气态产物，主要成分包括二氧化碳（CO₂）、一氧化碳（CO）、甲烷（CH₄）、硫化氢（H₂S）及少量其他气态烃类和氢气（H₂）。

[来源：T/CECA-G0016-2017, 3.3 扩展]

注：本定义将原标准中热解气的反应场景由“生物质热解”扩展至“污泥水热碳化”，补充了水热碳化过程气态产物的溶解性特征及具体组分构成，适配水热炭制备工艺的产物描述需求。

3.6

减量率 weight loss ratio

污泥经脱水水热碳化处理后减少的质量占原污泥质量的百分数。

[来源：DB34/T 3439-2019, 3.7]

3.7

固碳率 carbon retention rate

表征原料中有机碳向水热炭中固定效率的指标。以水热炭中的总碳质量与原污泥干基总碳质量的百分比表示。

[来源：《化工学报》2013年第7期论文《水热炭化制备污泥生物炭的碳固定》，经整理]

注：本定义聚焦水热碳化的碳转化特性，强调固碳率对“碳封存潜力评估”和“反应效率量化”的核心价值，与科研中碳平衡分析及工程中资源化效能评价的实际场景保持一致。

3.8

预脱水 pre-treatment

对原污泥进行调理和脱水，将其含水率调整至适宜水热碳化反应范围（通常为75%-85%）的工艺过程。常用方法包括化学调理和机械脱水。

[来源：GB 50014-2021, 8.5 扩展]

注：本定义明确了水热碳化工艺前污泥预处理的具体参数和目标，是对现有标准中污泥脱水工艺的场景化补充，与水热碳化技术的工程应用需求高度匹配。

3.9

深度脱水 deep dewatering

对水热碳化反应后的浆液进行固液分离，以获取低含水率水热炭产品的工艺过程。通常采用高压隔膜压滤机等设备，可将水热炭含水率降至 30%以下。

[来源：T/ACEF 094-2023，3.3 扩展]

注：本定义明确了原标准中“深度脱水”的特定工艺前置条件（水热碳化反应后），补充了处理对象（浆液）、产品目标（低含水率水热炭）及具体技术参数（含水率 $\leq 30\%$ 、核心设备类型），适配水热炭制备的专项场景。

3.10

热能回收 heat recovery

通过换热装置回收反应后高温浆液所携带的热量，用以预热进料污泥，从而降低系统外部能源需求的工艺环节。热能回收效率是评价工艺节能性的核心指标。

[来源：GB/T 39091-2020，5.2.1 扩展]

注：本定义明确了水热碳化工艺中热能回收的特定对象、换热介质和节能目标，是对现有通用余热回收定义的场景化补充，适用于水热碳化项目的设计、施工和运行管理。

3.11

污泥含水率 sludge water content

污泥中所含水分的重量占污泥总重量的百分数。

[来源：JB/T 11826-2014，3.5]

3.12

含碳率 carbon content

污泥中所含碳元素的重量占污泥总重量的百分数。

[来源：DB34/T 3439-2019，3.9]

4 总体要求

4.1 污泥处理处置项目选址应符合环境保护的要求。

4.2 污泥处理处置项目规模宜不低于 10 吨/日(以含水率 80%计)。

4.3 原泥含水率宜为 75%~99%，有机物含量宜不小于 35%，热值宜大于 5000 kJ/kg。

4.4 工艺设计应考虑冗余处理能力，冗余能力宜为 10%~15%，常温工况下的产品使用寿命不应低于 15 年，高温工况下使用寿命不应低于 10 年。

5 水热碳化技术

5.1 工艺流程

污泥处理处置系统由预脱水、污泥缓存、前换热、水热碳化、后换热、水热炭浆缓存、深度脱水等工艺单元组成，推荐的工艺流程图如图1所示。

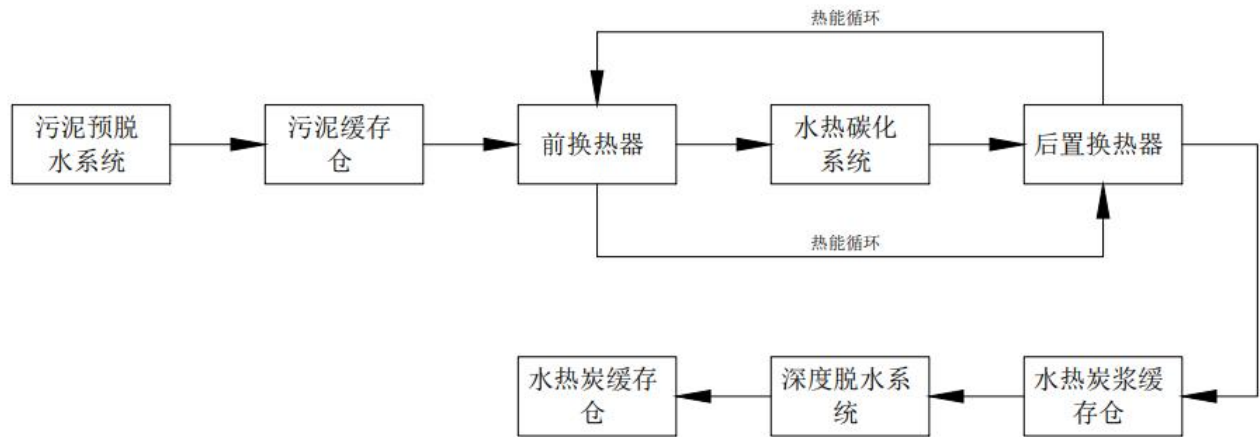


图 1 污泥水热碳化节能低碳工艺推荐流程图

5.2 污泥预脱水

5.2.1 污泥调理剂应根据污泥性质（如有机质含量、pH值、黏度等）进行小试后合理选择，优先选用高效、低耗、无腐蚀性的环保型调理剂。

5.2.2 污泥预脱水系统宜采用带式脱水机、离心脱水机、叠螺式脱水机等机械脱水设备。脱水后污泥含水率应控制在75%~85%之间，以满足后续水热碳化系统对进料含固率的要求。脱水过程中产生的滤液应返回污水处理系统前端进行处理。

5.3 水热碳化系统

5.3.1 一般规定

5.3.1.1 污泥水热碳化系统的热源应优先利用系统高温蒸汽或反应余热，辅以沼气、天然气等清洁能源，不应直接使用燃煤等高碳燃料。燃料种类及供应方式应结合项目所在地的外部条件综合确定，确保供应安全可靠。

5.3.1.2 污泥缓存、输送以及水热碳化过程中产生的臭气应进行密闭收集，导入臭气处理系统（如生物滤池、化学洗涤塔、低温等离子等）集中处理，处理后排放浓度应符合GB 14554的要求。

5.3.1.3 为保证系统安全稳定运行，应配置智能温度、压力、流量、重量、液位、pH值等在线检测仪表，以及全方位的监控、报警和连锁装置，核心参数应接入中控系统，实现过程的自动化控制与远程监控。

5.3.1.4 应设置完善的监测系统（CEMS、DCS）、自动控制系统（PLC）、故障诊断报警系统和应急处理安全保护系统（SIS，包括紧急泄压、自动停炉、氮气吹扫、消防联动等）。

5.3.2 组成和分类

5.3.2.1 污泥水热碳化系统主要由以下部分组成：进料系统（含缓存仓、高压泵送装置）、换热系统（前换热器、后换热器）、水热反应釜（核心设备）、水热炭浆缓存、固液分离系统（深度脱水单元）、尾气处理系统、热能供应系统、仪表与自动控制系统等。

5.3.2.2 按反应釜操作方式可分为间歇式和连续式。对于处理规模不低于10吨/日（以含水率80%计）的项目，推荐采用连续式反应器，以提高处理效率、稳定产物品质和实现热能高效回收。

5.3.3 设计要求

5.3.3.1 污泥水热碳化系统应根据污泥的特性参数（如含水率、有机质含量、元素组成、热值、粘度等）进行个性化优化设计，确定最佳的反应温度、压力、停留时间等工况参数，以实现最高的能源效率和最佳的产物特性。

5.3.3.2 污泥在水热碳化反应釜内的停留时间宜为120-300 min。反应温度宜控制在180℃-250℃之间，相应的工作压力范围一般为1.5 MPa - 4.0 MPa。具体参数需通过中试验证确定。

5.3.3.3 水热反应釜应采用耐高温、耐高压、耐腐蚀的特种钢材（如双相不锈钢2205、2507或镍基合金等）制造，设计寿命不应低于10年。设计应保证内部流场和温度场的均匀性，避免短路和结焦。

5.3.3.4 应设计高效的热能回收系统，通过换热器利用反应后的高温浆料（~250℃）预热进料污泥（~100℃），热能回收效率应不低于30%，显著降低系统外源能源需求，体现节能低碳核心优势。

5.3.3.5 污泥水热碳化处理单位水量所需的热能应不高于1500kJ/kgH₂O。

5.3.3.6 系统应具备10%~15%的超负荷处理能力。主要动力设备（如高压进料泵、循环泵）宜采用一用一备或变频控制，保证系统运行的连续性和稳定性。

5.3.3.7 设备及管道布置应满足安全操作规程，预留足够的操作、检修和维护空间。高温高压部位必须设置有效的保温隔热和防护措施。

5.3.3.8 系统设计应便于清洁和检修，反应釜应设置人孔或检查孔，管道系统应考虑化学清洗接口。

5.3.4 主要单元设计要求

5.3.4.1 污泥缓存

缓存仓容量应不少于系统额定 12 小时的处理量。仓体应采用密闭设计，配备搅拌破拱装置防止污泥板结，并接入臭气收集系统。

5.3.4.2 前换热

前换热器宜采用高效抗结垢的套管式或板式换热器，设计应便于拆卸清洗。通过前换热，进料污泥温度应预热至不低于80℃。

5.3.4.3 后换热

后换热器用于回收高温炭浆的热量，其材质必须耐腐蚀、耐磨损。换热后的炭浆温度应降至60℃以下，以满足后续深度脱水和缓存要求。

5.3.4.4 水热炭浆缓存

缓存罐容量应不少于系统额定24小时的产浆量，材质耐腐蚀，配备搅拌装置保持浆料均匀。

5.3.4.5 深度脱水

宜采用隔膜板框压滤机等高压脱水设备，将炭浆脱水至含水率30%以下。滤液（过程水）有机物浓度高（COD可达20000-50000 mg/L），应返回污水处理厂主流工艺进行处理，或设置厌氧消化、水解酸化、高级氧化等专门预处理设施。

6 水热炭资源化利用

6.1 主要利用路径

水热炭富含稳定的有机碳和养分元素（N, P, K），应遵循“安全、环保、资源化”的原则，根据其理化特性及污染物指标，进行分级、分类资源化利用。主要利用路径见表1，包括但不限于以下几类：

表 1 水热炭资源化利用路径

| 利用路径 | 核心价值 | 关键技术要求 | 适用规模与备注 |
|-------------|---------------|-----------------------------|--------------|
| 土壤改良（园林/林地） | 养分循环、改良土壤、碳封存 | 严格满足 GB/T 23486, GB/T 24600 | 主流推荐路径，社会效益好 |

| 利用路径 | 核心价值 | 关键技术要求 | 适用规模与备注 |
|----------|------------|--|------------------|
| 协同焚烧（燃料） | 能量回收、彻底减量 | 热值、氯含量、重金属迁移性，满足 GB/T 24602，GB/T 30760 等要求 | 最可靠、易实施的产业化路径 |
| 吸附材料 | 高附加值、环境治理 | 活化工艺、吸附性能，满足 DB34 / T 3439 标准要求 | 技术密集型，处于研发示范阶段 |
| 炭基肥/缓释肥 | 高附加值、农业绿色化 | 养分调配、造粒技术、农标符合性，满足 NY/T 3041 标准要求 | 增值方向，需市场开发 |
| 建材利用 | 彻底消纳、资源化 | 对建材产品性能无负面影响，满足 GB/T 25031，CJ/T 314 等标准要求 | 消纳量大，是实现“无废化”的保障 |

6.2 土地利用

6.2.1 土壤改良剂/营养土

用于严重退化土壤、矿山修复、沙化地、草坪培育、苗木栽培等工程。应满足GB/T 23486、GB/T 24600中关于污染物浓度、理化指标及卫生学指标的要求。

6.3 能源化利用

6.3.1 电厂/水泥厂/燃煤锅炉耦合燃烧

将水热炭作为替代燃料，与煤、生物质等混合后在工业窑炉中进行协同焚烧发电或供能。

6.3.2 制成成型燃料

将水热炭与其它生物质混合，通过压缩成型制成颗粒状或棒状燃料，便于储存和运输，提升其商业价值。

6.4 材料化利用

6.4.1 吸附材料

水热炭本身具有一定吸附性能，可通过物理或化学活化（如KOH、CO₂活化）进一步制备成高性能活性炭，用于污水处理、废气净化等领域。

6.4.2 生物炭基肥/缓释肥

将水热炭与化肥、微量元素等通过造粒工艺制成炭基肥料，利用其多孔结构实现养分的缓释控释，提高肥料利用率，减少面源污染。

6.4.3 制砖添加剂

作为造孔剂和燃料替代品添加到制砖粘土中，生产轻质节能砖。

6.4.4 水泥窑协同处置

既可作为替代燃料，其灰分也可成为水泥熟料的一部分，实现完全资源化。

6.4.5 填料

可作为橡胶、塑料的填充剂，或用于复合材料中。

6.5 碳汇与封存

水热炭中的碳是以稳定芳香化结构存在的固定碳，施用于土壤中封存，可增加土壤碳库。

7 检测与过程控制

7.1 检测要求

7.1.1 应对进厂原泥、预处理后污泥、污泥水热炭产品进行定期检测。检测指标至少包括：含水率、有机质含量、pH值、重金属含量（如Cd、Hg、As、Pb、Cr、Ni等）、热值及减量率。

7.2 过程控制要求

7.2.1 应采用分布式控制系统（DCS）或可编程逻辑控制器（PLC）对整个工艺系统进行集中监控和自动控制。

7.2.2 应对反应温度、反应压力、物料流量、关键液位等核心参数实施自动调节与联锁控制，确保工艺工况稳定。

7.2.3 应建立关键设备运行状态监控和预警机制，实现故障早期诊断和预防性维护。

8 运行管理

8.1 应制定详细的岗位操作规程、安全生产应急预案、设备维护保养规程等管理制度。

8.2 操作人员应经过专业培训，合格后方可上岗。

8.3 应建立完整的运行记录台账，包括污泥处理量、药剂消耗、能源消耗、产物产量、设备运行状态、环保设施运行情况等，并定期进行统计分析，优化运行。

8.4 应建立环境管理台账，如实记录各类污染物的产生、处理与排放情况，并按规定进行信息公开。

9 环境保护要求

9.1 废气污染控制

9.1.1 污泥储存、输送、预处理等环节产生的恶臭气体，应进行全面密闭收集，输送至生物除臭系统，处理后达标排放。

9.1.2 水热碳化反应过程及水热炭浆储存过程中产生的少量不凝性气体（主要成分为CO₂、CO、CH₄及挥发性有机物），应将其导入三级喷淋+生物除臭处理。

9.2 废水污染控制

9.2.1 预脱水单元产生的滤液和深度脱水单元产生的过程水，应返回污水处理厂进水口或调节池，与城镇污水一并处理。回输前宜设置均衡池，避免对污水处理厂造成瞬时冲击负荷。

9.2.2 厂区内的设备冲洗水、地面冲洗水及初期雨水应收集后，纳入污水处理系统处理。

9.2.3 鼓励对高浓度过程水进行资源化能源化利用技术探索，如厌氧消化产沼气、水解酸化、高级氧化预处理后回收碳源等。

9.3 噪声污染控制

9.3.1 应对高噪声设备（如大型泵、风机、空压机等）采取隔声、消声、减振等综合治理措施。

9.3.2 厂界噪声应符合GB 12348中的要求。

9.4 固体废物污染控制

烟气净化系统收集的飞灰、废弃的过滤材料等固体废物，应鉴定其性质。如属于危险废物，应委托有资质的单位按照GB 18484和GB 18598要求进行安全处置。

9.5 环境监测

9.5.1 应在废气排放口、废水回排口设置永久性采样监测平台和采样孔。

9.5.2 应建立定期监测制度，对废气、废水、厂界噪声、产品水热炭等进行监测，监测频次和指标应符合HJ 819以及国家和地方环保主管部门的要求。

9.5.3 应对过程水的主要水质指标（COD、NH₃-N、TP等）进行定期监测。

9.5.4 应定期对烟气排放口的主要污染物（颗粒物、SO₂、NO_x）进行监测。

附录
(规范性)
减量率

污泥经脱水水热碳化处理后减少的质量占原污泥质量的百分数，其计算方法见公式(1)：

$$P = (A - B) / A \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

P——减量率，%；

A——含水率 80%污泥在常温下的质量，单位为千克（kg）；

B——水热碳化后的水热炭饼经冷却至常温后的质量，单位为千克（kg）。