

T/CECS×××-××××

中国工程建设标准化协会标准

城市多源污泥处理处置与资源利用成本核算技术指南

Guideline for cost accounting of urban multi-source
sludge treatment, disposal and recycling

（征求意见稿）

中国工程建设标准化协会标准

城市多源污泥处理处置与资源利用成本核算技术指南

Guideline for cost accounting of urban multi-source
sludge treatment, disposal and recycling

T/CECS ×××-××××

主编单位：上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20××年××月××日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2023 年第二批协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字[2023] 50 号）的要求，编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进经验，编制本指南。

本指南共分 4 章，主要内容包括：总则、一般规定、污泥处理处置单元成本与收益核算方法、污泥处理处置技术路线成本核算方法。

请注意本指南的某些内容可能直接或间接涉及专利，本指南的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本指南由中国工程建设标准化协会城市给水排水专业委员会归口管理，由上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司负责技术解释。请各单位在使用过程中，总结实践经验，提出意见和建议。

主编单位：上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

参编单位：同济大学

上海城市排水系统工程研究技术中心

上海市政工程设计科学研究所有限公司

上海申环环境工程有限公司

主要起草人：

中国工程建设标准化协会

2024 年 月 日

目 录

第一章	总 则	1
	第一节 编制目的	1
	第二节 适用范围	1
第二章	一般规定	2
	第一节 成本核算边界	2
	第二节 核算口径和成本构成	3
	第三节 成本核算通用方法	4
第三章	污泥处理处置单元成本与收益核算方法	8
	第一节 浓缩	8
	第二节 脱水	9
	第三节 厌氧消化	11
	第四节 好氧发酵	18
	第五节 干化	20
	第六节 独立焚烧	23
	第七节 分级筛洗	24
	第八节 土地利用	24
	第九节 建材利用	26
第四章	污泥处理处置技术路线成本核算方法	29
	第一节 厌氧消化后土地利用	29
	第二节 好氧发酵后土地利用	31
	第三节 独立焚烧后建材利用	32
	第四节 预处理后建材利用	33
	第五节 预处理后协同处置	35
	第六节 分级筛洗后多元利用	36
	第七节 其他技术路线	37
附录 A	建设投资估算表	40

第一章 总 则

第一节 编制目的

为构建多源污泥处理处置与资源利用全链条成本核算通用方法,指导技术路线经济性评估和工程成本核算,在查阅国内外相关资料、调研国内相关污泥处理处置工程投资和运行成本的基础上,依据国家级和行业相关法律法规、技术政策和标准规范,编制本指南。

第二节 适用范围

指南适用于污水处理厂污泥、管渠污泥、给水污泥和河湖底泥主流处理处置与资源利用技术路线的全链条成本核算,全链条涵盖运输、处理和处置。

第二章 一般规定

第一节 成本核算边界

一、成本核算总边界

成本核算总边界为：从污泥产生后起，到污泥消纳为止。

对于土地利用，消纳的含义包括：经处理后的污泥产物施用于土地，截止到污泥产物进入土壤；经加工后的污泥产品进行销售，截止到首个产品销售主体。

对于建材利用，消纳的主要含义包括：经预处理后的污泥、污泥无机筛渣或污泥焚烧灰渣在工程建设中直接利用，截止到以上产物进入利用点；经预处理后的污泥、污泥无机筛渣或污泥焚烧灰渣替代部分原料制传统建筑材料，如砖、陶粒、水泥熟料、混凝土，截止到首个材料制造主体。

对于协同处置，消纳的主要含义包括：经预处理后的污泥进入垃圾焚烧厂、燃煤电厂等工业窑炉协同燃烧处置，截止到垃圾焚烧厂、燃煤电厂等协同处置主体。

二、成本核算阶段边界

成本核算阶段包括：预处理阶段、运输阶段、处理阶段、处置阶段。

预处理阶段仅发生于污泥产生和处理不在同一地点的情况，该过程一般作简单的减量化处理，成本核算边界为污泥在产生点产生后到外运前。

运输阶段发生于污泥从产生点转移到处理点、从处理点转移到处置点的情况，成本核算边界即为产生点与处理点、处理点与处置点之间。如污泥产生后就地处理，则产生点和处理点在同一地点，无需运输；如污泥在处置点进行处理，则处理点和处置点在同一地点，无需运输。

处理阶段是污泥处理处置的关键阶段。如污泥产生和处理不在同一地点，则该阶段发生于污泥处理点，成本核算边界为污泥进入处理点后到外运前；如污泥产生点和处理点在同一地点，则该阶段发生于污泥产生和处理点，成本核算边界为污泥在产生点产生后到外运前。该过程主要工艺单元有：脱水、干化、厌氧消化、好氧发酵、焚烧、热解气化、碳化、热碱水解等。

处置阶段是污泥处理处置的关键阶段，发生于污泥处置点，该过程成本核算

终点即为处置污泥的活动，如污泥施入土壤中、污泥制成材料或产品、污泥协同处置等。该过程主要工艺单元有：土地利用、建材利用、协同处置等。各阶段边界参考下图。

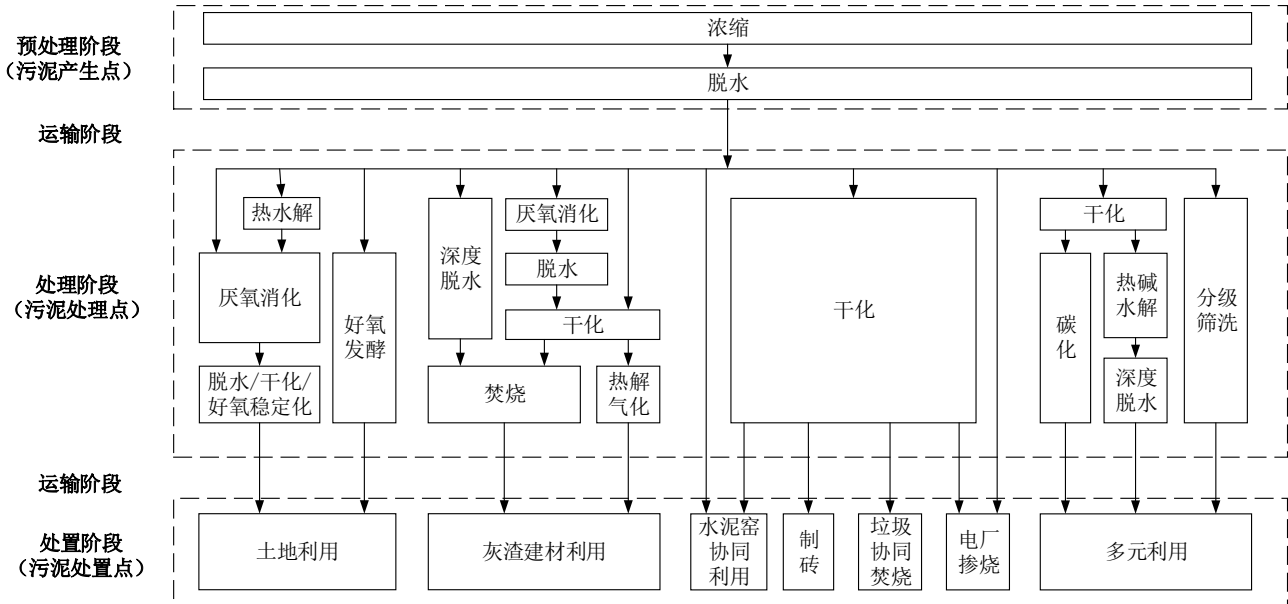


图 1 多源污泥处理处置各阶段成本核算边界

第二节 核算口径和成本构成

本指南成本核算口径为项目建设期和运营期的现金流出。

一、建设期

建设期发生的成本称为投资成本，即建设项目总投资，指为完成工程项目建设并达到使用要求或生产条件，在建设期内预计或实际投入的全部费用总和。污泥处理处置工程属于生产性建设项目，总投资包括建设投资、建设期利息和流动资金，建设投资包括工程费用（建筑工程费、设备购置费、安装工程费）、工程建设其他费用和预备费（基本预备费、涨价预备费）。

二、运营期

运营期发生的成本包括运行成本和运输成本。

运行成本也称经营成本，代表项目运营期的主要现金流出，分为直接运行成本和间接运行成本。直接运行成本指直接用于生产过程的各项费用，包括电费、蒸汽费、水费、药剂费、辅料费、油费等，其构成与技术路线有关；间接运行成本指运营单位为组织和管理生产所发生的各种现金支出费用，包括修理维护费、工资福利费、其他费用。

运输成本即污泥发生转移时发生的费用，主要发生在多源污泥从产生点（污水厂、给水厂、清淤点等）转运至处理点、从处理点转运至处置点。污泥一般由特殊箱体货车或罐车运送。

第三节 成本核算通用方法

成本核算通常以货币为计算单位，对于具体工程可以年、月或日为计算期进行计算。为便于比较、分析和评估，本指南提供的成本核算通用方法采用单位成本表示，即折算至单位质量污泥的投资、运行和运输成本。应明确污泥含水率基准，一般以含水率 80% 或干基计。单位投资成本的单位一般为万元/t（含水率 80%）或万元/t 干基；单位运行和运输成本的单位一般为元/t（含水率 80%）或元/t 干基。

一、投资成本

总投资成本可通过如下公式计算：

$$\text{总投资成本} = \text{建设投资} + \text{建设期利息} + \text{流动资金}$$

$$\text{建设投资} = \text{工程费用} + \text{工程建设其他费用} + \text{预备费}$$

建设投资估算表见附录 A。

建设期利息：指筹措债务资金时在建设期内发生并按规定允许在投产后计入固定资产原值的利息，即资本化利息。建设期利息包括银行借款和其他债务资金的利息，以及其他融资费用，在项目前期研究的初期阶段可做粗略估算并计入建设投资。

流动资金：指运营期内长期占用并周转使用的营运资金，不包括运营中需要的临时性营运资金。流动资金估算可选用扩大指标估算法或分项详细估算法。

单位投资成本可通过如下公式计算：

$$\text{单位投资成本} = \text{总投资成本} / \text{污泥日处理量}$$

二、运行成本

运行成本可通过如下公式计算：

$$\text{运行成本} = \text{直接运行成本} + \text{间接运行成本}$$

$$\text{直接运行成本} = \text{电费} + \text{蒸汽费} + \text{水费} + \text{药剂费} + \dots$$

$$\text{间接运行成本} = \text{修理维护费} + \text{工资福利费} + \text{管理销售和其他费用}$$

1. 电费

单位电费可通过如下公式计算：

$$\text{单位电费} = \text{电单耗} \times \text{电价}$$

电单耗：指每吨污泥的耗电量（以含水率 80% 或干基计）。

电价：污泥处理处置工程用电收费标准参照各地方大工业用电电价，全国大工业用电电价与电压等级、用电峰谷时段、季节等都有关系，全国范围内该电价在 0.3~1.5 元/kWh 之间。

2. 蒸汽费

蒸汽一般可用于为厌氧消化、干化等系统供热。单位蒸汽费可通过如下公式计算：

$$\text{单位蒸汽费} = \text{外源蒸汽单耗} \times \text{外源蒸汽单价}$$

外源蒸汽单耗：指每吨污泥消耗的外源蒸汽量（以含水率 80% 或干基计）。外源蒸汽单耗与工艺和工况有关，需要计算热量平衡关系；当系统产热小于耗热时，需利用蒸汽补充热量差。

外源蒸汽单价：与蒸汽品位、运输距离等有关。

3. 水费

单位水费可通过如下公式计算：

$$\text{单位水费} = \text{自来水单耗} \times \text{水价}$$

自来水单耗：指每吨污泥消耗的自来水量（以含水率 80% 或干基计），一般需要用厂区内用水量减去回用中水量。

水价：污泥处理工程用水收费标准参照各地方工业用水或非居民用水水价，与用水量有关。全国范围内该水价在 3~9.5 元/kWh 之间。

4. 药剂费

系统中采用的药剂可能不止一种，单位药剂费应为多种药剂单位费用之和，可通过如下公式计算：

$$\text{单位药剂费} = \sum (\text{药剂单耗} \times \text{药剂单价})$$

药剂单耗：指每吨污泥消耗的药剂量（以含水率 80% 或干基计），药剂种类、用量与工艺、工况有关。

药剂单价：与地域、药剂种类、药剂形态、药剂浓度等有关。

5. 修理维护费

包括大修、日常修理和维护等，年修理维护费可通过如下公式计算：

$$\text{年修理维护费} = \text{固定资产原值} \times \text{年修理维护费率}$$

固定资产原值是指项目投产时（达到预定可使用状态）按规定由投资形成固定资产的部分，包括工程费用和工程建设其他费用中应计入固定资产原值的部分、预备费、建设期利息。在估算中，固定资产原值可近似为投资成本。则单位修理维护费可通过如下公式计算：

$$\text{单位修理维护费} = (\text{单位投资成本} \times \text{年修理维护费率}) / 365$$

设施运营时间越长，修理维护费越高，其中大修理费占比较大；日常修理维护费与设备种类、质量和运行状态等均有关，应视污泥处理厂每年的修理维护情况而定。若无取费依据，根据实际工程概算经验，给出年修理维护费率的参考值为3%。

6. 工资福利费

指厂区内参与生产运营人员的工资福利费，可通过如下公式计算：

$$\text{单位工资福利费} = (\text{劳动定员} \times \text{人均年工资福利费}) / \text{年污泥处理量}$$

劳动定员：与工艺、规模、生产线、班组制度等有关。

人均年工资福利费：视各地薪资水平而定，进行估算时可参考当年国家统计局年鉴中城镇非私营单位就业人员的平均工资进行取值。

7. 其他费用

其他费用主要包括其他制造费用、其他管理费用和其他销售费用，系指由制造费用、管理费用和销售费用中分别扣除工资及福利费、折旧费、摊销费、修理费以后的其余部分。

制造费用指企业为生产产品和提供劳务而发生的各项间接费用。其他制造费用包括安全生产费、化验检测费等，可按固定资产原值（扣除所含的建设期利息）的百分数或按人员定额估算。

管理费用指企业为管理和组织生产经营活动所发生的各项费用。其他管理费用包括职工教育经费、工会经费、咨询费等，可按人员定额或工资福利费总额的倍数估算。

销售费用是指企业在销售产品、自制半成品和工业性劳务等过程中发生的各项费用以及销售本企业产品而专设销售机构的各项费用。其他销售费用包括广告

费、展览费等，可按营业收入的百分数估算。

如以上费用无具体数据，其他费用还可通过如下公式估算：

单位其他费用

= (单位直接运行成本+单位工资福利费+单位修理维护费) ×其他费用综合费率

其他费用综合费率参考值为 10%。

三、运输成本

当污泥产生点与处理点在同一地点（如污泥厌氧消化工程建在污水处理厂内），或处理点与处置点在同一地点（如污泥脱水或干化工程建在垃圾焚烧厂内）时，无需运输。运输成本可通过如下公式计算：

单位运输费=污泥运价×运输距离

污泥运价为单位质量污泥单位运距的运输单价，其收费标准地域性强，多在 0.65~2 元/t·km 之间。经鉴定不属于危废的焚烧灰渣，其运价可参考各地方一般固体废弃物运输收费标准。

第三章 污泥处理处置单元成本与收益核算方法

第一节 浓缩

污泥浓缩主要应用于污水污泥和给水污泥的预处理，使污泥初步减容，是污泥在厂区内产生后的第一道处理单元，通常在污水厂区或给水厂区内设置。污泥浓缩主要有重力浓缩、机械浓缩和气浮浓缩三种工艺形式，其中重力浓缩应用较广。污水厂初沉污泥、给水污泥均可采用重力浓缩；污水厂剩余污泥一般不宜单独进行重力浓缩，可与初沉污泥混合后处理。

一、投资成本

投资成本可通过如下公式计算：

浓缩单元投资成本=污（给）水厂总投资×浓缩单元占污（给）水厂总造价比例

浓缩单元单位投资成本=浓缩单元投资成本/污泥日产生量

污水厂投资估算控制指标可参考《城市污水处理工程项目建设标准》（建标198-2022）。浓缩单元占污水厂总造价比例可参考《污水处理厂工艺设计手册（第二版）》，在2%~4%之间，通常比例为2%~3%。

二、运行成本

运行成本可通过如下公式计算：

浓缩单元运行成本=电费+药剂费+修理维护费+工资福利费+其他费用

1. 电费

不同浓缩方式电耗差异很大，其中重力浓缩电耗最小，机械浓缩电耗最大。根据环保部发布的《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）》，重力浓缩电单耗通常在10 kWh/t干基以下，仅为离心浓缩的1%。北京市地方标准《城镇污水处理厂污泥处理能源消耗限额》（DB11/T 1428-2017）提出了重力浓缩和机械浓缩单位干污泥综合电耗限定值分别为5.5 kWh/t和50 kWh/t，先进值分别为1.5 kWh/t和40 kWh/t。

2. 药剂费

药耗与浓缩方式有关。重力浓缩无需药剂；离心浓缩一般无需药剂，如要求污泥含固率大于6%可适量加入部分絮凝剂。转鼓浓缩加药量较大，一般为4%~7%（干污泥重）。气浮浓缩中聚合电解质或无机助凝剂投加量一般为2%~3%（干污

泥重)。污泥浓缩药耗宜根据试验资料或类似运行经验确定。

第二节 脱水

污泥脱水作为一种重要的减量化手段，适用于各类多源污泥，是污泥处理的必要环节。污泥脱水后体积减少、形态改变，便于后续运输、处置。污泥脱水广义上主要包括自然干化和机械脱水，但自然干化占地面积大、脱水时间长，现已很少使用。因此，本指南中特指机械脱水。常用的污泥机械脱水方式有压滤式和离心式，其中压滤式主要指板框式和带式。

不同场景下进泥泥质不同、脱水目标含水率不同，采用工艺和设备也不同。普通脱水可将含水率降至 80% 以下，深度脱水可将含水率降至 60% 以下，主要可通过隔膜压滤、低温真空辅助干化、电渗透 3 类技术实现。不同性质的污泥经调理后可达到的脱水效果如下表。

表 1 污泥调理与脱水效果

污泥类型	浓缩（无污泥调理）	带式压滤机*和离心脱水（采用高分子药剂调理）	板框压滤机（采用金属盐或高分子药剂调理）	
			不投加石灰	投加石灰
	含水率（%）	含水率（%）	含水率（%）	含水率（%）
具有良好的浓缩和脱水性	<93	<70	<62	<55
具有一般的浓缩和脱水性	96~93	82~70	72~62	65~55
具有较差的浓缩和脱水性	>96	>78	>72	70~65**

* 进泥含水率<97%；

** 通过增加石灰的投加量。

一、投资成本

污泥脱水单元如与浓缩单元一样建在厂区内，则投资成本计算方法相似，脱水单元占污水厂总造价比例在 4%~10% 之间，通常比例为 4%~8%。一般来说，投资成本从高到低排序依次为板框压滤、带式压滤、离心脱水。

二、运行成本

脱水运行成本可通过如下公式计算：

脱水单元运行成本=电费+水费+药剂费+修理维护费+工资福利费+其他费用

1. 电费

不同脱水方式电耗差异很大，其中带式压滤电耗最小，离心脱水电耗最大。根据环保部发布的《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）》，板框压滤、带式压滤和离心脱水的电单耗分别为 15~40 kWh/t 干基、5~20 kWh/t 干基和 30~60 kWh/t 干基。

由于脱水前后含水率直接影响电耗，因此可根据脱除单位质量水的电耗来计算电费，其单位为 kWh/kg 脱除水。

2. 水费

用于污泥稀释、药剂配制、设备和滤布冲洗等，部分环节可回用中水。一般来说，带式压滤用水量较多，离心脱水用水量较少。不同工程中自来水用量差别较大，需根据工程经验确定。

3. 药剂费

污泥脱水前一般需投加药剂进行调理，药耗与脱水方式、污泥性质、脱水目标等有关，宜根据试验资料或类似运行经验确定。无机混凝剂适用于板框式压滤，如铁盐、铝盐，用量通常为污泥干固体重量的 5%~20%；有机絮凝剂适用于带式压滤和离心式机械脱水，如阳离子型聚丙烯酰胺和阴离子型聚丙烯酰胺，用量通常为污泥干固体重量的 0.1%~0.5%。

带式压滤和离心脱水的药剂投加量和泥饼含固率参考下表。

表 2 带式压滤和离心脱水的药剂投加量和脱水效果

污泥种类		进泥含固率 (%)	带式压滤		离心脱水	
			PAM 投加量 (kg/t 干基)	泥饼含固率 (%)	PAM 投加量 (kg/t 干基)	泥饼含固率 (%)
生污泥	初沉污泥	3~10	1~5	28~44	2~3	18~20
	活性污泥	0.5~4	1~10	20~35	6~10	14~18
	混合	3~6	1~10	20~35	3~7	17~20

	污泥					
厌氧 消化 污泥	初沉 污泥	3~10	1~5	25~36	2~3	18~20
	活性 污泥	3~4	2~10	12~22	6~10	14~18
	混合 污泥	3~9	2~8	18~44	3~8	17~20
好氧 污泥	混合 污泥	1~3	2~8	12~20	/	/

板框压滤可实现污泥深度脱水。根据《城镇污水处理厂污泥隔膜压滤深度脱水技术规程》(T/CECS 537-2018)，国内污泥隔膜压滤深度脱水工程常用调理药剂种类和投加量如下：

铁盐与石灰复配调理：铁盐投加量（以有效成分干重计，下同）宜为污泥干重的 6%~15%，石灰投加量宜为污泥干重的 8%~40%，宜先投加铁盐，后投加石灰。

铝盐（或铁盐）与 PAM 复配调理：铝盐（或铁盐）投加量宜为污泥干重的 5%~12%，PAM 投加量宜为污泥干重的 1‰~3‰。

第三节 厌氧消化

传统厌氧消化系统进泥含水率一般在 94%~97%，因此污泥厌氧消化工程一般依托污水处理厂厂区而建，可免去脱水环节、节省运输成本。为进一步提升厌氧消化效率，可在污泥厌氧消化前进行高温高压热水解预处理，将提高消化污泥脱水性能，适用于各厂污泥脱水后进行集中厌氧消化处理。

一、投资成本

厌氧消化投资成本与系统构成、污泥性质、自动化程度、设备质量、消化池的形状和大小等相关。

二、运行成本

厌氧消化运行成本可通过如下公式计算：

厌氧消化单元运行成本

=电费+蒸汽费+水费+药剂费+修理维护费+工资福利费+其他费用

1. 电费

污泥厌氧消化耗电环节主要包括污泥稀释、消化池混合搅拌和污泥泵送，如增加热水解环节还会产生相应电耗。

污泥稀释发生在从各污水厂运进的脱水污泥混合稀释至含水率适宜进入厌氧消化系统的过程，其电耗主要用于搅拌，一般耗电量较小。

消化池混合搅拌和污泥泵送的电耗主要用于维持厌氧反应温度及维持污泥泵、污水泵（进出料系统）、搅拌设备和沼气压缩机等设备运转，电耗水平取决于厌氧消化搅拌方式。

热水解电耗主要产生于热水解环节的浆化、污泥泵送、蒸汽输送、冷却水输送、臭气干燥冷凝等过程。

2. 蒸汽费

为使污泥的厌氧生物处理系统维持要求的温度，必须对厌氧消化池污泥进行加热。厌氧消化产生沼气可用于沼气锅炉的燃料，为厌氧消化池提供热量，剩余时可回收利用沼气，不足时需要外来热源供热，此时将产生费用。热源以蒸汽为例，蒸汽费需根据系统热量平衡关系计算，其公式为：

外源蒸汽供热量=耗热量-产热量（耗热量>产热量）

热水解环节对厌氧消化系统热量平衡影响较大，因此分情况讨论计算方法。

(1) 不含热水解的传统厌氧消化

传统厌氧消化耗热量和产热量可通过如下公式计算：

耗热量=加热升温耗热量+消化池热损失

产热量=沼气产热量

其中，耗热量需考虑锅炉热损失。

外源蒸汽量按照下述步骤进行计算。

1) 加热升温耗热量

即将污泥加热至厌氧消化反应罐内的温度所需的热量，计算公式为：

$$Q_{D1} = \frac{W_D C_P (T_D - T_0)}{3600 \times 24}$$

式中：

Q_{D1} ——消化池进泥温度升高到消化温度的耗热量，kW；

W_D ——消化池每天的进泥量，t/d；

C_p ——污泥比热，4200J/kg $^{\circ}$ C；

T_D ——消化温度， $^{\circ}$ C；

T_0 ——进泥温度， $^{\circ}$ C。

2) 消化池热损失

即厌氧消化池体耗热量，计算公式为：

$$Q_{D2} = \sum K \cdot A \cdot (T_D - T_A) \cdot 1.4$$

式中：

Q_{D2} ——消化池池体散热量，W；

K ——池盖、池壁、池底的传热系数，W/ (m 2 · $^{\circ}$ C)；

A ——池盖、池壁、池底的散热面积，m 2 ；

T_D ——消化温度， $^{\circ}$ C；

T_A ——池外介质（空气或土壤）温度， $^{\circ}$ C。

消化池盖、池壁、池底各表面的热损失应分别计算，然后累加得到消化池总热量损失。当池壁或顶由两种以上材质组成时，有效换热系数可由下式计算：

$$\frac{1}{K_e} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots$$

式中：

K_e ——有效换热系数；

K_1, K_2 ——各独立材质的有效换热系数。

考虑消化池的保温结构，各部分的传热系数允许值如下表所示。

表 3 带各部分传热系数允许值

消化池部位	U (W/ (m 2 · $^{\circ}$ C))
池盖	≤ 0.80
池壁	≤ 0.70
池底	≤ 0.52

3) 产热量

即厌氧消化沼气产热量，计算公式为：

$$Q_P = \frac{W_D \cdot VS/TS \cdot VS_{\text{remove}} \cdot Y_{\text{biogas}} \cdot GCV_{\text{biogas}}}{0.36 \cdot 0.24}$$

式中：

Q_P ——沼气产热量，kW；

W_D ——消化池每天的进泥量，t/d；

VS/TS——进泥 VS/TS，%；

VS_{remove} ——VS 去除率，%；

Y_{biogas} ——沼气产率， $0.8 \text{ m}^3/\text{kgVS}$ ；

GCV_{biogas} ——沼气单位热值， $23\text{MJ}/\text{m}^3$ 。

4) 外源蒸汽量

根据系统热量平衡关系、考虑锅炉供热存在的热损失，计算公式为：

$$\Delta Q = \frac{Q_{D1} + Q_{D2}}{1 - \eta} - Q_P$$
$$G_{zq} = \frac{\Delta Q}{h} \cdot 3.6 \cdot 24$$

式中：

η ——锅炉热损失，%；

ΔQ ——外源蒸汽供热量，kW；

G_{zq} ——外源蒸汽量，t/d；

h ——外源饱和蒸汽的焓热量，kJ/kg。

(2) 含热水解的高级厌氧消化

高级厌氧消化耗热量和产热量可通过如下公式计算：

耗热量=热水解耗热量+消化池热损失

产热量=热水解余热+沼气产热量

其中，耗热量需考虑锅炉热损失；热水解余热只能用来池体保温。

外源蒸汽量按照下述步骤进行计算。

1) 热水解耗热量

热水解过程包括预热、反应和闪蒸三个阶段，具体步骤为：

- 预热：待处理污泥和闪蒸蒸汽混合，使污泥温度升高至 $80^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 。

污泥温度升高至预热温度所需的热量

$$Q_{T_1} = W_T C_P (T_1 - T_0)$$

式中：

Q_{T_1} ——热水解进泥温度升高到预热温度的耗热量, kJ/d;

W_T ——热水解进泥量, t/d;

C_P ——污泥比热, 4200J/kg°C;

T_0 ——进料温度, °C;

T_1 ——热水解预热温度, °C。

与待处理污泥混合的闪蒸蒸汽量

$$W_1 = \frac{Q_{T_1}}{(h''_{T_3} - h'_{T_1})}$$

式中:

W_1 ——热水解过程中与进泥混合的闪蒸蒸汽量, t/d;

h''_{T_3} ——温度为 T_3 (闪蒸后温度) 时的饱和蒸汽的焓热量, J/kg;

h'_{T_1} ——温度为 T_1 (预热温度) 时水的焓热量, J/kg。

- 反应: 预热污泥和新鲜蒸汽充分混合, 混合后的污泥温度达到130°C~180°C。

反应罐的新鲜蒸汽需求量

$$W_2 = \frac{(W_T + W_1) \times (h'_{T_2} - h'_{T_1})}{(h''_{T_V} - h'_{T_2})}$$

式中:

W_2 ——热水解反应罐的新鲜蒸汽需求量, kg/d;

h'_{T_2} ——温度为 T_2 (反应温度) 时水的焓热量, J/kg;

h''_{T_V} ——通入蒸汽焓热量 (蒸汽温度为 T_V), J/kg。

热水解系统耗热

$$Q_{THP} = \frac{W_2 \times h''_{T_V}}{3600 \times 24}$$

式中:

Q_{THP} ——热水解系统的耗热量, kW。

- 闪蒸: 热水解污泥在缓冲罐中通过泄压完成“闪蒸”过程, 压力从5bar~10bar 降至 1bar, “闪蒸”过程中, 污泥中所含的细胞膜破裂, 细胞

物质溶出，其他微粒物质也被打碎。

2) 消化池热损失

与常规厌氧消化计算方法相同。

3) 热水解余热

热水解后污泥温度为 102°C，需经稀释至含水率 92%并冷却至 35°C后进入厌氧消化罐进行反应，此过程中回收的热量

$$Q_{\text{THP-R}} = \frac{W_D C_P (T_M - T_D)}{3600 \times 24}$$

式中：

$Q_{\text{THP-R}}$ ——热水解后回收热量，kW；

W_D ——稀释后质量，即消化池进泥量，t/d；

C_P ——污泥比热，4200J/kg°C；

T_D ——消化温度，°C；

T_M ——热水解出泥与稀释水混合后温度，°C。

4) 沼气产热量

与常规厌氧消化计算方法相同。

5) 外源蒸汽量

高级厌氧消化所需热量由热水解回收的余热和沼气锅炉提供，其中热水解回收余热用于补偿池体散热，不能用于锅炉供热。实际情况还应考虑锅炉供热存在的热损失。

当 $Q_{\text{THP-R}} \geq Q_{D2}$ ，热水解回收余热可以完全补偿池体散热

$$\Delta Q = \frac{Q_{\text{THP}}}{1-\eta} - Q_P \quad \left(\frac{Q_{\text{THP}}}{1-\eta} > Q_P \right)$$

当 $Q_{\text{THP-R}} < Q_{D2}$ ，热水解回收余热不能完全补偿池体散热

$$\Delta Q = \frac{Q_{\text{THP}} + Q_{D2} - Q_{\text{THP-R}}}{1-\eta} - Q_P \quad \left(\frac{Q_{\text{THP}} + Q_{D2} - Q_{\text{THP-R}}}{1-\eta} > Q_P \right)$$

3. 水费

厌氧消化水耗发生于消泡系统、管路冲洗、脱硫系统补水、热水锅炉补水生产蒸汽等过程。

4. 药剂费

常规厌氧消化药耗主要在除臭和沼气脱硫环节中使用，高级厌氧消化药耗

还包括沼液处理环节。

除臭方式包括化学洗涤、生物处理、离子除臭等。

沼气脱硫的方式包括湿式脱硫、干式脱硫和生物脱硫，当一级脱硫后的沼气质量不能满足要求时可采用两级脱硫。湿式脱硫药耗包括 Na_2CO_3 、 NaOH 等碱性水溶液，干式脱硫采用氧化铁、氧化锌等脱硫剂，生物脱硫药耗包括营养液、碱液等。

高级厌氧消化如氮磷浓度过高需单独处理，处理工艺包括混凝沉淀预处理、厌氧氨氧化、膜浓缩、氨汽提等。

三、收益

厌氧消化产沼气除进入沼气锅炉进行制热或进行热电联产发电补充电耗及能耗外，如有富余还可上网发电，或纯化制成天然气作为产品售出，获得收益。从系统热量平衡关系来看，此时耗热量<产热量，剩余沼气热量通过如下公式计算：

$$\text{剩余沼气热量} = \text{产热量} - \text{耗热量} \quad (\text{耗热量} < \text{产热量})$$

产热量和耗热量的具体计算方法在蒸汽费计算时已列出，下面分别以沼气发电和制天然气为例，给出收益计算方法。

1. 沼气发电

$$\text{沼气净产量} = \frac{\text{剩余沼气热量}}{\text{单位体积沼气热值}}$$

$$\text{沼气发电量} = \text{沼气净产量} \times \text{单位体积沼气发电量}$$

$$\text{沼气发电收益} = \text{沼气发电量} \times \text{上网电价}$$

$$\text{单位沼气发电收益} = \frac{\text{沼气发电收益}}{\text{污泥处理量}}$$

式中：

单位体积沼气热值——参考值为 $23\text{MJ}/\text{Nm}^3$ ；

单位体积沼气发电量——参考值为 $2\text{kW}\cdot\text{h}/\text{Nm}^3$ ；

上网电价——指电网购买发电企业的电力和电量，在发电企业接入主网架那一点的计量价格。污泥厌氧消化沼气发电属于生物质发电，其价格标准可参考《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》（发改价格[2006]7号）。

2. 沼气制天然气

$$\text{沼气净产量} = \frac{\text{剩余沼气热量}}{\text{单位体积沼气热值}}$$

$$\text{沼气制气量} = \frac{\text{沼气净产量} \times \text{沼气中CH}_4\text{含量}}{\text{天然气中CH}_4\text{含量}}$$

$$\text{沼气制气收益} = \text{沼气制气量} \times \text{天然气单价}$$

$$\text{单位沼气制气收益} = \frac{\text{沼气制气收益}}{\text{污泥处理量}}$$

式中：

单位体积沼气热值——参考值为 23MJ/Nm³；

沼气中 CH₄ 含量——一般为 60%左右；

天然气中 CH₄ 含量——一般为 95%左右；

天然气单价——污泥厌氧消化沼气制天然气属于生物天然气，其价格标准没有明确文件规定，估算时可参考各省（区、市）天然气基准门站价格，详见《国家发展改革委关于调整天然气基准门站价格的通知》发改价格[2019]62号。

第四节 好氧发酵

污泥好氧发酵工程处理的污泥一般为脱水污泥，含水率不宜高于 80%，较为典型的建设方式为各厂污泥脱水后进行集中好氧发酵处理。

一、投资成本

好氧发酵投资成本与工程规模、工艺类型、机械化和自动化水平、设备国产化率等相关。

二、运行成本

好氧发酵运行成本可通过如下公式计算：

好氧发酵单元运行成本

=电费+油费+辅料费+水费+药剂费+菌剂费+修理维护费+工资福利费+其他费用

1. 电费

污泥好氧发酵电耗主要为设备运行产生，涉及的设备包括混料单元设备

(料仓、皮带输送机、混料机等)、离心风机、罗茨风机和翻抛机等，其中翻抛机可以由电机或柴油驱动。一般除臭单元的电耗比例最大，其次是发酵单元和混料单元。

2. 油费

在好氧发酵工程运行中，物料的上堆、下堆和返混料转运等工作，都涉及到自卸车和运输车燃油的消耗；此外，油料还为部分设备提供动力，如由柴油驱动的翻抛机。单位油费可通过如下公式计算：

$$\text{单位油费} = \text{油单耗} \times \text{油价}$$

油价可以 0 号柴油市场价为准取值。

3. 辅料费

污泥好氧发酵一般添加辅料或返混料以调节物料含水率、孔隙率和碳氮比等，便于启动发酵以及促进发酵过程顺利完成。单位辅料费可通过如下公式计算：

$$\text{单位辅料费} = \text{辅料单耗} \times \text{辅料单价}$$

辅料费在好氧发酵直接运行成本中占比较高。辅料可采用碎秸秆、木屑、锯末、花生壳粉、蘑菇土、园林修剪物等有机废弃物，其市场价格存在地区性和季节性波动，应根据当地市场情况制定合理价格区间。常用辅料单耗（投加比）参考如下：

秸秆：0.25-0.3t/t（含水率 80%）

麦糠：0.35t/t（含水率 80%）

玉米芯：0.2-0.3t/t（含水率 80%）

4. 水费

水耗与除臭工艺有很大关系。若除臭段采用传统生物滤池工艺，则用水量较少；若除臭段采用化学洗涤工艺，则尾气处理的喷淋环节耗水较多。计算自来水单耗时应除去可回用中水的部分。

5. 药剂费

污泥好氧发酵药剂主要用于除臭系统，包括阻垢剂、吸附剂、生物滤池填料等。阻垢剂用于工艺洗涤塔中循环喷淋，主要吸收氨气；吸附剂用于去除 VOCs，一般用活性炭；生物滤池填料可采用树叶、树皮、木屑、土壤、泥炭等。药剂消耗量视除臭工艺而定。

6. 菌剂费

为了促进好氧发酵反应进程，在发酵过程中需投加菌剂，能够提高污泥发酵升温速度、缩短发酵周期。菌剂种类和价格各异。单位菌剂费可通过如下公式计算：

$$\text{单位菌剂费}=\text{菌剂单耗}\times\text{菌剂单价}$$

第五节 干化

污泥干化可实现深度减量化，适用于处理污水污泥、河湖底泥、给水污泥等。本节重点围绕热干化展开讨论。

热干化是将热能传递至污泥，使水分汽化，以降低污泥含水率的过程。根据热量传递方式的不同，污泥干化分为：（1）传导加热，也称间接干化，蒸发热由安装在干燥器内的静态或者移动的加热面供给；（2）对流加热，也称直接干化，由热空气或者其他气体流过物料表面或者穿过物料层提供热量，蒸发的水分由干燥介质带走；（3）辐射加热。根据加热产品含固率的不同，污泥干化分为全干化（含水率 10% 以下）和半干化（含水率 40% 左右）。

污泥干燥的热源可以是天然气、沼气、燃煤、蒸汽、燃油、高温烟气、焚烧余热回收等。污泥干化系统的设置应考虑与污泥消化、焚烧等系统的衔接，综合后续处置要求，合理设置干化污泥含水率和工程地点。

一、投资成本

热干化投资成本由建设规模、目标含水率、工艺和设备类型、设备国产化率等因素决定。直接干化的对流型干燥器有流化床干化器、喷雾干化器、带式干化器等；间接干化的传导型干燥器有桨叶式干化器、（卧式）转盘式干化器、（立式）圆盘式干化器、薄层干化器等。间接干化比直接干化投资成本高。

二、运行成本

热源选择、热量回收利用、尾气净化及后续工艺衔接等都将影响运行成本。干化运行成本可通过如下公式计算：

干化单元运行成本

$$=\text{电费}+\text{蒸汽费}+\text{水费}+\text{修理维护费}+\text{工资福利费}+\text{其他费用}$$

1. 电费

根据环保部发布的《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）》，热干化电耗为 0.04~0.90kW/kgH₂O（以单机蒸发水量计）。

2. 蒸汽费

热源以蒸汽为例，按下述步骤进行成本计算。

(1) 蒸发水量

按下式计算干化蒸发水量：

$$W = G_{\text{湿基}} \frac{w_1 - w_2}{1 - w_2} = G_{\text{干基}} \left(\frac{1}{1 - w_1} - \frac{1}{1 - w_2} \right)$$

式中：

W ——蒸发水量（kg/h）；

$G_{\text{湿基}}$ ——干化系统的湿污泥处理量（kg/h）；

$G_{\text{干基}}$ ——折算为干基的污泥处理量（kg/h）；

w_1 ——干燥机进泥的含水率（%）；

w_2 ——干燥机出泥的含水率（%）。

(2) 蒸发耗热

污泥干化所需理论热量可通过如下公式计算：

$$Q = W \times i + G_c \times C_m \times (\theta_2 - \theta_1) + W' \times C_{g1} \times (\theta_2 - \theta_1) \\ + W \times C_{g1} \times (\theta_2 - \theta_1) + G_n \times C_n \times (t_2 - t_1)$$

式中：

Q ——污泥干化所需理论热量，kJ/h；

W ——湿分的蒸发量，kg/h；

W' ——干燥后物料中的湿分量，kg/h；

G_c ——绝干物料量，kg/h；

G_n ——干空气量，kg/h；

i ——湿分的蒸发潜热，kJ/kg；

C_m ——绝干物料比热容，kJ/(kg·°C)；

C_{g1} ——湿分的液态比热容，kJ/(kg·°C)；

C_n ——干空气比热容，kJ/(kg·°C)；

θ_1 、 θ_2 ——物料进出干燥机的温度，°C；

t_1 、 t_2 ——空气进出干燥机的温度，°C。

计算中一般采用的比热值：

水 0~100°C: 4.187kJ/(kg·°C);
 污泥干固体: 1.26kJ/(kg·°C);
 水蒸气 100~500°C: 2.09kJ/(kg·°C);
 干空气和排出的尾气: 1.09kJ/(kg·°C);
 100°C蒸发潜热: 2260kJ/kg。

污泥干化总热量还需要考虑设备散热, 一般为 5%~20%。

根据环保部发布的《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)》, 热干化热能消耗为 2940~4200kJ/kgH₂O (以单机蒸发水量计)。部分设备单位蒸发水量的热能消耗指标可参考下表。

表 4 各类干化设备的热量消耗

干化设备	热量消耗 (kcal/kg 蒸发水量)
流化床	670~700
带式	750~860
桨叶式	660~700
卧式转盘式	660~690
立式圆盘式	670~700
喷雾式	840~890
薄层干化	660~690
膜带两段式	600~630

热干化工艺不宜单独设置, 需与余热利用相结合, 充分利用污泥厌氧消化处理过程中产生的沼气热能、垃圾和污泥焚烧余热、热电厂余热或其他工业余热等。因此在计算热干化热量需求时应结合余热供给系统一同进行热量平衡关系核算。

(3) 蒸汽消耗量

根据干化所需热量和回收余热的差值, 计算所需蒸汽量。

通常, 当干化至含水率不低于 30%时, 常见传导式热干化的蒸汽消耗量为 1.1~1.5 t 蒸汽/t H₂O。

3. 水费

干化水耗主要包括冷却水等，用于风机、干化污泥输送等需降温的设施。

第六节 独立焚烧

焚烧属于末端处理工艺，前端应进行污泥减量化。焚烧设施一般与热干化设施联建，充分利用污泥热值和焚烧热量，常用工艺为半干化后焚烧；也可采用深度脱水工艺，但对污泥挥发性固体含量要求较高。

一、投资成本

焚烧投资成本由建设标准、系统复杂程度、工艺类型、设备国产化率等因素决定。污泥焚烧炉主要包括流化床焚烧炉、回转窑式焚烧炉和立式多膛炉，其中流化床焚烧炉应用最多。

二、运行成本

焚烧运行成本可通过如下公式计算：

焚烧单元运行成本

=电费+辅助燃料费+水费+药剂费+修理维护费+工资福利费+其他费用

1. 电费

污泥焚烧耗电主要是维持机械设备运转，电单耗通常为 12~20kWh/t 干基。

2. 辅助燃料费

燃料消耗量取决于入炉污泥的热值，在污泥干基热值一定时，取决于入炉含水率。当污泥性质无法满足系统自持燃烧要求时，需要添加燃料辅助燃烧；当污泥热值能够满足系统自持燃烧要求、入炉含水率低于临界含水率时，除启炉过程，可自持燃烧。正常运行的项目遵循自持燃烧原则，除启炉过程，无需辅助燃料。实际运行过程中，由于需要定期进行停炉维护，以及计划外的故障停炉，启炉过程需要消耗一定的辅助燃料；此外，运行过程中泥量和泥质的波动引起燃烧工况变化而未及时调整时，可能需要根据燃烧情况短时间补充辅助燃料。这些情况均会导致一定的燃料消耗。

单位辅助燃料费可通过如下公式计算：

单位辅助燃料费=燃料单耗×燃料单价

如果焚烧炉产生的热量>干化系统耗热量，则不需要辅助燃料；如果焚烧炉产生的热量<干化系统耗热量，则需要的辅助热量为二者差值，根据辅助燃料的热值可进一步计算辅助燃料的消耗量。

3. 水费

焚烧水耗主要包括冷却水、洗涤用水等，冷却水主要冷渣器等需降温的设施，洗涤用水用于洗涤塔对烟气进行洗涤等环节，部分工艺用水可使用中水。

4. 药剂费

焚烧所需药剂包括碱液、活性炭、消石灰、尿素、石英砂、磷酸三钠、工业盐等。其中碱液用来烟气脱酸，活性炭和石灰用于吸收挥发性重金属、挥发性有机污染物（包括可能存在的二噁英）和部分酸性气体，石英砂作为流化床床料。

第七节 分级筛洗

污泥分级筛洗主要用于处理管渠污泥，也可处理性状相似的河湖底泥。分级筛洗主要目的是通过物理筛分将污泥中的有机物和无机物分离，工艺包括预处理、粗料分离、砂石分离、细料分离和粉砂分离等环节。分离出的无机筛渣可建材利用，有机筛渣和泥饼可与污水污泥一同处理处置，粗大物料与垃圾性状相似、一同处理。

一、投资成本

参考工程经验，采用分级筛洗的管渠污泥处理站投资成本约为 20~30 万元/t（以含水率 80%计），即 4~5 万元/t 干基。

二、运行成本

分级筛洗运行成本可通过如下公式计算：

分级筛洗单元运行成本=电费+水费+修理维护费+工资福利费+其他费用

1. 电费

分级筛洗电耗主要用于维持设备运转。

2. 水费

分级筛洗水耗主要为冲洗用水。管渠污泥处理站一般建在污水处理厂附近，此时可回用中水、不计费用。

第八节 土地利用

土地利用主要针对污泥稳定化产物，改良达标的河湖底泥也适用。土地利用分为产物场地施用模式和产品加工销售模式。成本核算的原则为：应计算被

委托企业在原有业务基础上，因接收污泥、处置污泥而新增的成本。

一、产物场地施用模式

当处理后污泥泥质满足施用要求时，可直接运输至场地进行施用，如有必要可在施用前增加筛分、破碎等简单加工工序。在该模式下，成本核算边界截至污泥产物进入土壤。产物场地施用模式下，成本核算主要分为加工环节和施用环节。

1. 投资成本

如新建厂区或购置设备用于污泥产物储存、加工、施用，将产生相应投资成本。

2. 运行成本

运行成本可通过如下公式计算：

土地利用（施用模式）运行成本=简易加工成本+施用成本

简易加工成本视具体工艺和生产方式而定，主要包括以下几类：污泥稳定化产物加工产生的电等直接费用；为储存污泥加工前后产物产生的仓库租赁费（如有）；破碎、筛分等加工设备的修理维护费；人工费；等等。

施用成本主要涵盖机械作业费和人工作业费，在不同地势地貌和机械化程度下差异很大。如平坦的裸露绿地可借助自动化机械耕作、机械作业费高，但施工效率高、人均日施工量大、人工作业费低；栽种有植物的土地需挖掘、覆土、恢复种植，对机械作业要求不高，但耗时长、人均日施工量小、人工作业费高。如目标施用地原本即定期施肥，污泥产物用于替代常规肥料进行周期性施用，则应计算由于污泥施用而比原来新增的成本。

二、产品加工销售模式

处理后污泥可进一步加工为产品进行市场化销售，在该模式下，成本核算边界截至污泥产品加工销售企业。产品加工销售模式下，成本核算主要是加工环节和销售环节。

1. 投资成本

如企业新建厂区或购置设备用于污泥产物储存、加工，将产生相应投资成本。

2. 运行成本

运行成本可通过如下公式计算：

土地利用（销售模式）运行成本=产品化加工销售成本+折旧费+税费

在污泥产品加工过程中，一般需添加其他物料进行复配并进行包装。产品化加工销售成本包括：电费、水费、物料费、包装费等直接成本；修理维护费、工资福利费、其他费用等间接成本。

由于该模式下，建设、销售一般由负责污泥加工销售的下游企业独立承担，负责污泥处理的上游企业统一以成本单价为基准进行支付，因此在运行成本核算中需考虑其折旧费和税费。

3. 收益

产品销售模式下运行收益即污泥销售产生的收益，其价格受政策、技术、市场、地域等多方面影响。由于污泥产品的特殊性，污泥产品市场定价通常较常规产品低。

4. 支付单价

上游企业一般以成本单价为基准支付给下游企业，因此提供一种该成本单价的核算逻辑：在市场行为中，只有新增污泥产业能够获得不低于下游公司原有业务的利润或不低于行业平均利润时，下游产品加工厂商才有主动选择加工污泥产品的意愿。计算中可简化为：当污泥业务利润率 \geq 企业原有利润率/行业平均利润率时，无需支付；当污泥业务利润率 $<$ 企业原有利润率/行业平均利润率时，差额即为需支付的成本。

第九节 建材利用

建材利用原料主要包括焚烧灰渣、脱水/干化污（给）水污泥、脱水/干化底泥、筛洗后的管渠污泥粗细砂等。建材利用方式多元，包括制水泥熟料、制砖等。成本核算的原则为：应计算被委托企业在原有业务基础上，因接收污泥、处置污泥而新增的成本。

一、制水泥熟料

1. 投资成本

污泥制水泥熟料一般依托现有水泥窑炉，沿用原有工艺或进行部分改造，用污泥替代一部分原料，因此仅计算由于污泥的加入需新增或改造设施产生的投资成本。根据污泥预处理方式、含水率等特征，需新增投资成本的环节如下。

- (1) 含水率 55%~80%的脱水污泥，喂料点在窑尾烟室或上升烟道：增加湿污泥储仓和输送设施；窑尾烟室耐火材料改用抗剥落浇注材料；上升烟道增设压缩空气炮；分解炉收缩口调整；窑尾收尘器改造；窑内通风面积扩大 5%~10%。
- (2) 含水率 30%~55%的干化污泥，喂料点在窑尾分解炉：增加干污泥储仓和输送设施；增加污泥干化设备；分解炉内增设污泥撒料盒和压缩空气吹堵抛洒装置。
- (3) 污泥焚烧灰渣，喂料点在原料喂料系统：增加灰渣储仓。

2. 运行成本

可通过如下公式计算：

$$\text{制水泥熟料运行成本} = \text{新增生产成本} + \text{折旧费} + \text{税费}$$

新增生产成本是指水泥企业由于污泥业务增加而产生的生产相关成本，包括电费、燃料费、物料费等，其中电费和燃料费在污泥干化等新增环节产生，物料费在需要新增其他复配物料的情况下产生。

由于该模式下，建设、销售一般由负责污泥加工销售的下游企业独立承担，负责污泥处理的上游企业统一以运行成本单价进行支付，因此在运行成本核算中需考虑其折旧费和税费。

3. 收益

与成本核算原则一致，收益核算时也应计算被委托企业在原有业务基础上，因接收污泥、处置污泥而新增的收益，如由于增加生产线而提高了产量；如因污泥加入降低了产品售价，则售价降低产生的负收益需计入成本增加。

4. 支付单价

上游企业支付给下游水泥企业的成本单价核算逻辑与土地利用的产品加工销售模式相同，即遵循“新增污泥产业能够获得不低于下游公司原有业务的利润或不低于行业平均利润”的原则。

二、制砖

1. 投资成本

污泥制砖一般依托现有制砖企业，沿用原有工艺或进行部分改造，用污泥替代一部分原料，因此仅计算由于污泥的加入需新增或改造设施产生的投资成

本。

当污泥制烧结砖时，污泥需经脱水、干化至含水率 40% 或以下；如来泥含水率不符合要求，需新增深度脱水或干化设施。此外，未经焚烧的污水污泥采用该路线应采取必要的二次污染防治措施，如设置活性炭吸附设施。另外还需设置污泥储仓。

当污泥制非烧结砖时，污泥需经脱水、干化至含水率 20% 以下后，与处理后的建筑垃圾、尾矿矿渣、粉煤灰或其他原料混合，并添加胶结料（通常为石灰或水泥），需新增污泥干化设施；另外还需设置污泥储仓。

2. 运行成本

可通过如下公式计算：

$$\text{制砖运行成本} = \text{新增生产成本} + \text{折旧费} + \text{税费}$$

新增生产成本是指制砖企业内由于污泥业务增加而产生的生产相关成本，包括电费、燃料费等，在污泥干化等新增环节产生。

由于该模式下，建设、销售一般由负责污泥加工销售的下游企业独立承担，负责污泥处理的上游企业统一以运行成本单价进行支付，因此在运行成本核算中需考虑其折旧费和税费。

3. 收益

与成本核算原则一致，收益核算时也应计算被委托企业在原有业务基础上，因接收污泥、处置污泥而新增的收益，如由于增加生产线而提高了产量；如因污泥加入降低了产品售价，则售价降低产生的负收益需计入成本增加。

4. 支付单价

上游企业支付给下游制砖企业的成本单价核算逻辑与土地利用的产品加工销售模式相同，即遵循“新增污泥产业能够获得不低于下游公司原有业务的利润或不低于行业平均利润”的原则。

第四章 污泥处理处置技术路线成本核算方法

在进行污泥处理处置技术路线成本核算时，应分阶段、分主体进行核算，各阶段组成单元的具体成本与收益核算方法参考第三章。同一阶段不同单元成本相加即为该阶段成本，同时应考虑各单元间相互关系对成本的影响，如干化与焚烧联用时，干化可回收焚烧余热、节省部分供热成本。

明确各阶段成本与相应成本产生主体后，如需获取技术路线全链条总成本，即污泥从产生、处理到处置总成本，则应统一成本单位，折算至（万）元/t（含水率 80%）或（万）元/t 干基。从政府支付角度出发，成本核算方式与建设运营模式有关，如不属于政府投资项目，则建设阶段投资成本不属于政府支付成本，但运营阶段运行成本核算时需考虑折旧费用。

第一节 厌氧消化后土地利用

该路线主要适用于污水污泥，也可协同管渠污泥筛洗脱水后的有机筛渣或餐厨垃圾等生活源有机废弃物。从全链条维度出发，该路线典型方式如下。

一、浓缩+厌氧消化+脱水+干化/好氧稳定化+土地利用

当污泥厌氧消化工程建在污水处理厂内时，该路线全流程核算边界如下图。

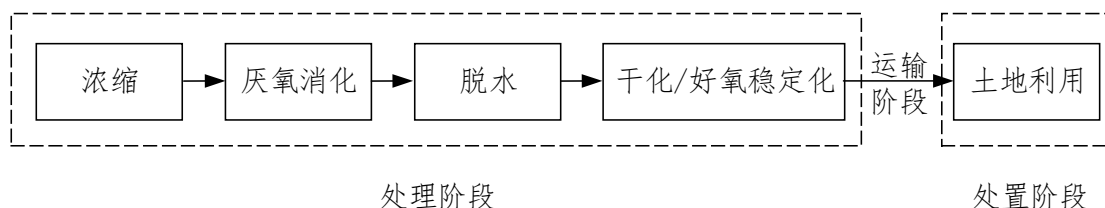


图 2 “浓缩+厌氧消化+脱水+干化/好氧稳定化+土地利用”全流程（厌氧消化在污水厂内）

处理阶段：成本产生主体为污水和污泥处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、厌氧消化、脱水、干化/好氧稳定化各单元成本之和。如采用好氧稳定化对厌氧消化后污泥进行进一步处理，其可视为简化的好氧发酵过程，在成本核算时参考好氧发酵核算方法。

处置阶段：成本产生主体为土地利用方，投资成本视下游企业设施新建或设备购置等情况核算，运行成本视运行模式、加工工艺、施用方式等情况核算。

运输阶段：一般以谁产生谁运输为原则，运输成本产生主体多为上游企业，如污水厂、管渠污泥处理站等。

当污泥厌氧消化工程独立建设时，该路线全流程核算边界如下图，其中虚线标识单元可省略。

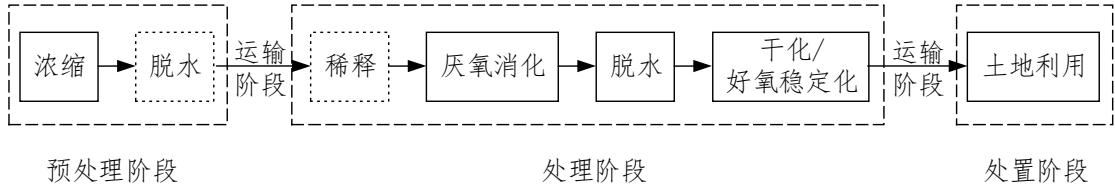


图 3 “浓缩+厌氧消化+脱水+干化/好氧稳定化+土地利用”全流程（厌氧消化独立建设）

预处理阶段：成本产生主体为污水处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水（如有）单元成本之和。

处理阶段：成本产生主体为污泥处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥稀释（如有）、厌氧消化、脱水、干化/好氧稳定化各单元成本之和。

处置阶段：成本产生主体为土地利用方，投资成本视下游企业设施新建或设备购置等情况核算，运行成本视运行模式、加工工艺、施用方式等情况核算。

运输阶段：第一个运输阶段成本产生主体多为污水厂、管渠污泥处理站等，第二个多为污泥厂。

二、浓缩+脱水+热水解+厌氧消化+深度脱水+土地利用

当污泥高级厌氧消化工程建在污水处理厂内时，该路线全流程核算边界如下图。

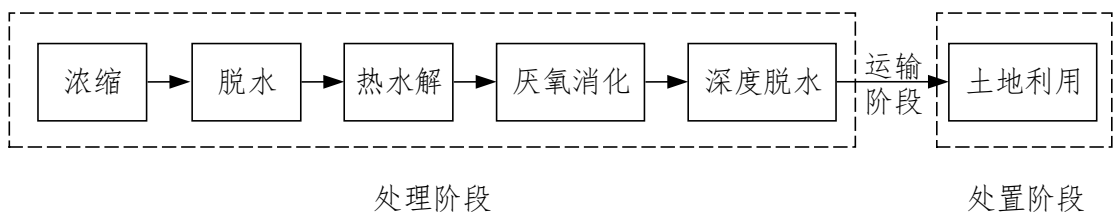


图 4 “浓缩+脱水+热水解+厌氧消化+深度脱水+土地利用”全流程（厌氧消化在污水厂内）

处理阶段：成本产生主体为污水和污泥处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水、热水解、厌氧消化、深度脱水各单元成本之和。经热水解预处理后的厌氧消化污泥脱水性能有所提升，脱水药剂投加比例取值一般较常规厌氧消化有所降低。此外，为维持土地利用后土壤的正常酸碱性，污泥

pH 不宜过低或过高，脱水药剂不宜投加石灰。

处置阶段：成本产生主体为土地利用方，投资成本视下游企业设施新建或设备购置等情况核算，运行成本视运行模式、加工工艺、施用方式等情况核算。

运输阶段：运输成本产生主体多为上游企业，如污水厂、管渠污泥处理站等。

当污泥厌氧消化工程独立建设时，该路线全流程核算边界如下图。

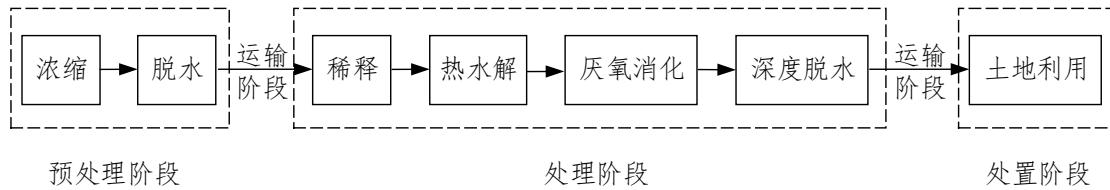


图 5 “浓缩+脱水+热水解+厌氧消化+深度脱水+土地利用”全流程（厌氧消化独立建设）

预处理阶段：成本产生主体为污水处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水单元成本之和。

处理阶段：成本产生主体为污泥处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥稀释、热水解、厌氧消化、深度脱水各单元成本之和。

处置阶段：成本产生主体为土地利用方，投资成本视下游企业设施新建或设备购置等情况核算，运行成本视运行模式、加工工艺、施用方式等情况核算。

运输阶段：第一个运输阶段成本产生主体多为污水处理厂、管渠污泥处理站等，第二个多为污泥处理厂。

第二节 好氧发酵后土地利用

该路线主要适用于污水污泥，也可协同管渠污泥筛洗脱水后的有机筛渣、园林、农业废弃物等。从全链条维度出发，该路线典型方式为：浓缩+脱水+好氧发酵+土地利用。

以污泥好氧发酵工程独立建设为例，该路线全流程核算边界如下图。

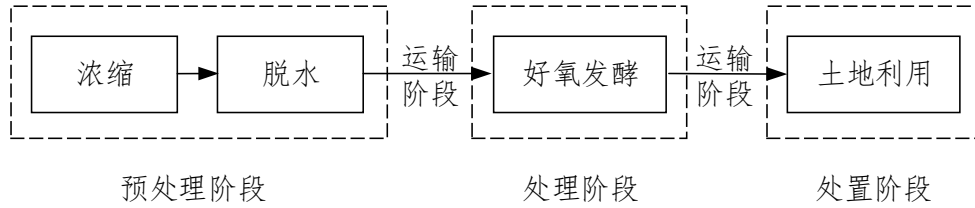


图 6 “浓缩+脱水+好氧发酵+土地利用”全流程

预处理阶段：成本产生主体为污水处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水单元成本之和。

处理阶段：成本产生主体为污泥处理厂运营单位，投资成本和运行成本即为污泥好氧发酵单元成本。

处置阶段：成本产生主体为土地利用方，投资成本视下游企业设施新建或设备购置等情况核算，运行成本视运行模式、加工工艺、施用方式等情况核算。

运输阶段：第一个运输阶段成本产生主体多为污水处理厂、管渠污泥处理站等，第二个多为污泥处理厂。

第三节 独立焚烧后建材利用

该路线主要适用于污水污泥，也可协同去除杂物垃圾的污染底泥、管渠污泥筛洗脱水后的有机筛渣。从全链条维度出发，该路线典型方式如下。

一、浓缩+脱水+干化+焚烧+灰渣建材利用

以污泥干化焚烧工程独立建设为例，该路线全流程核算边界如下图。

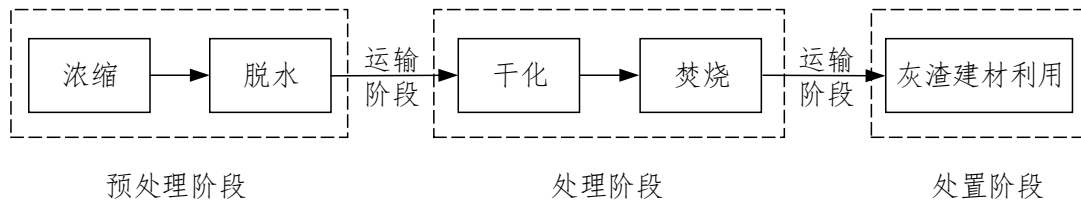


图 7 “浓缩+脱水+干化+焚烧+灰渣建材利用”全流程

预处理阶段：成本产生主体为污水处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水单元成本之和。

处理阶段：成本产生主体为污泥处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥干化、焚烧单元成本之和。干化和焚烧系统联用时，需通过热量平衡计算蒸汽费和辅助燃料费。

处置阶段：成本产生主体为建材利用方，投资成本视下游企业设施新建或设备购置等情况核算，运行成本视灰渣利用方式、加工工艺等情况核算。

运输阶段：第一个运输阶段成本产生主体多为污水处理厂、管渠污泥处理站等，第二个多为污泥处理厂。

二、浓缩+厌氧消化+脱水+干化+焚烧+灰渣建材利用

以厌氧消化和干化焚烧建在污水处理厂内为例，全流程核算边界如下图。

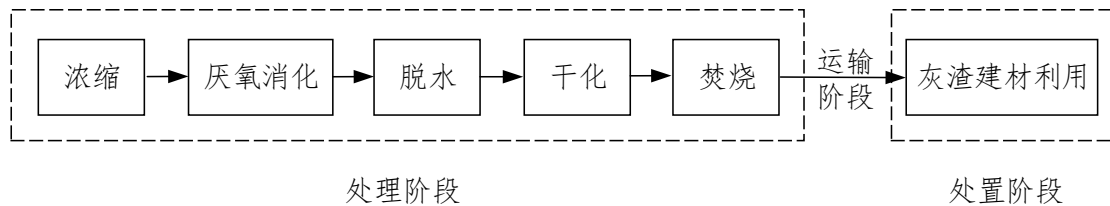


图 8 “浓缩+厌氧消化+脱水+干化+焚烧+灰渣建材利用” 全流程

处理阶段：成本产生主体为污水和污泥处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、厌氧消化、脱水、干化、焚烧各单元成本之和。

处置阶段：成本产生主体为建材利用方，投资成本视下游企业设施新建或设备购置等情况核算，运行成本视灰渣利用方式、加工工艺等情况核算。

运输阶段：成本产生主体多为污水处理厂等。

该路线链条较长，应对成本进行整体核算和评估，如污泥干化焚烧前增设厌氧消化单元，显著减小了脱水、干化和焚烧设备的规模，降低相应投资，但增加了厌氧消化投资成本；厌氧消化沼气回收可产生收益，但进入干化焚烧的污泥干基热值降低，将需要更多外源蒸汽。

三、浓缩+脱水/深度脱水+焚烧+灰渣建材利用

该路线与第一种方式相比，以“脱水或深度脱水”替代了“脱水+干化”，成本核算方法相同。该方式由于不设置热干化环节，投资和运行成本将显著降低，但对泥质要求较高，适用于挥发性固体含量高于 60%的污泥；如因泥质、脱水效果等因素导致污泥无法自持燃烧，还需添加辅助燃料。

第四节 预处理后建材利用

该路线适用的污泥类型较广，包括污水污泥、筛洗后的管渠污泥、河湖底泥、给水污泥。从全链条维度出发，该路线典型方式如下。

一、浓缩+脱水/深度脱水+建材利用

该路线适用于污水污泥、河湖底泥、给水污泥，以脱水或深度脱水单元建在污泥产生点附近为例，全流程核算边界如下图。

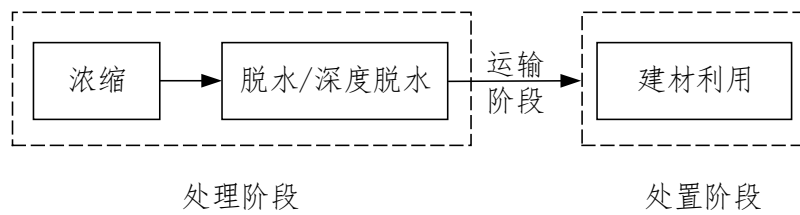


图 9 “浓缩+脱水/深度脱水+建材利用”全流程

处理阶段：成本产生主体为产生点的运营或施工单位，如污水厂、给水厂、底泥清淤施工方。投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水/深度脱水单元成本之和。脱水或深度脱水的工艺、设备、药耗等有关，应根据建材利用的泥质要求确定。

处置阶段：成本产生主体为建材利用方，投资成本视下游企业设施新建或设备购置等情况核算，运行成本视利用方式、加工工艺等情况核算。

运输阶段：运输成本产生主体多为产生点的运营或施工单位，与脱水或深度脱水单元设置地点有关。

二、浓缩+脱水+干化+建材利用

如污泥处置点有余热可利用（如水泥窑），则干化单元宜建在污泥处置点附近，该路线适用于污水污泥等有机污泥，全流程核算边界如下图。

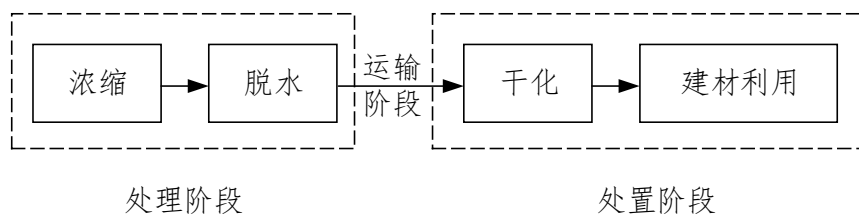


图 10 “浓缩+脱水+干化+建材利用”全流程

处理阶段：成本产生主体为产生点的运营或施工单位，如污水厂、给水厂、底泥清淤单位或河湖运维单位。投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水单元成本之和。

处置阶段：成本产生主体为建材利用方，投资成本应涵盖新建干化设施成本，并考虑其他改造或新增设施；运行成本应涵盖干化成本。

运输阶段：运输成本产生主体多为产生点的运营或施工单位。

河湖底泥等无机污泥一般进行自然干化，则干化单元宜设置在污泥产生点附近，全流程核算边界和核算阶段划分如下图。

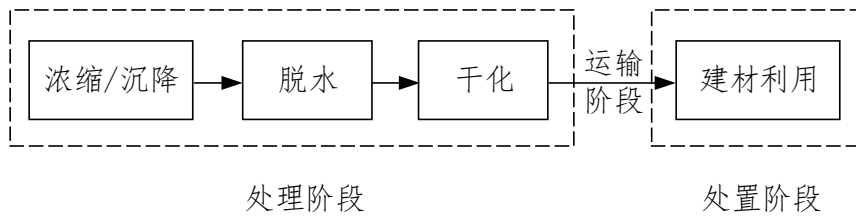


图 11 “浓缩+脱水+干化+建材利用”全流程

处理阶段：成本产生主体为产生点的运营或施工单位，如给水厂、底泥清淤单位或河湖运维单位。投资成本和运行成本为污泥浓缩/沉降、脱水、干化单元成本之和。河湖底泥具有较好的沉降性，因此一般情况下可自然沉降、无需浓缩。

处置阶段：成本产生主体为建材利用方，投资成本视下游企业设施新建或设备购置等情况核算，运行成本视利用方式、加工工艺等情况核算。

运输阶段：运输成本产生主体多为产生点的运营或施工单位。

第五节 预处理后协同处置

该路线适用于污水污泥或管渠污泥筛洗脱水后的有机泥饼。从全链条维度出发，该路线典型方式如下。

一、浓缩+脱水+干化+垃圾协同焚烧

污泥干化宜设置在垃圾焚烧厂，利用垃圾焚烧厂余热。该路线全流程核算边界如下图。

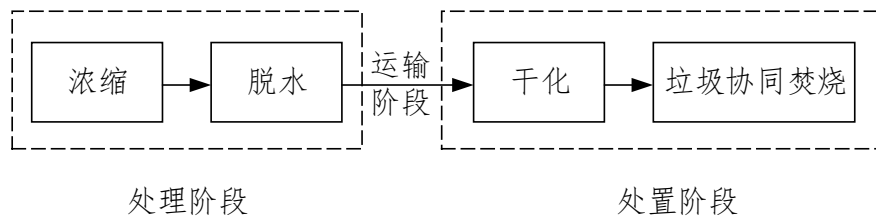


图 12 “浓缩+脱水+干化+垃圾协同焚烧”全流程

处理阶段：成本产生主体为污水处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水单元成本之和。

处置阶段：成本产生主体为垃圾焚烧厂。投资成本应考虑干化、输送、给料、储存等设施的新建和改造，运行成本应为垃圾焚烧厂由于接收污泥而新增

的成本，主要包括干化、输送等运行成本。

运输阶段：运输成本产生主体多为污水处理厂、管渠污泥处理站等。

二、浓缩+脱水+（干化）+电厂掺烧

脱水污泥可直接进入电厂掺烧，也可干化后掺烧。干化环节宜设置在电厂内，便于利用废热蒸汽。该路线全流程核算边界如下图。

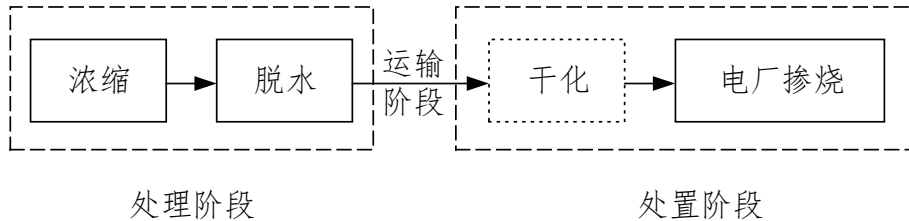


图 13 “浓缩+脱水+（干化）+电厂掺烧”全流程

处理阶段：成本产生主体为污水处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水单元成本之和。

处置阶段：成本产生主体为电厂。投资成本应考虑干化、输送、给料、储存等设施的新建和改造，运行成本应为电厂由于接收污泥而新增的成本，主要包括干化、输送、烟气处理等运行成本。

运输阶段：运输成本产生主体多为污水处理厂、管渠污泥处理站等。

第六节 分级筛洗后多元利用

该路线适用于管渠污泥，可与其他路线协同。管渠污泥经分级筛洗后，无机筛渣可协同建材利用；有机筛渣可协同厌氧消化或好氧发酵后土地利用，也可协同焚烧后建材利用；粗料与生活垃圾一同处理处置。该路线全流程核算边界如下图。

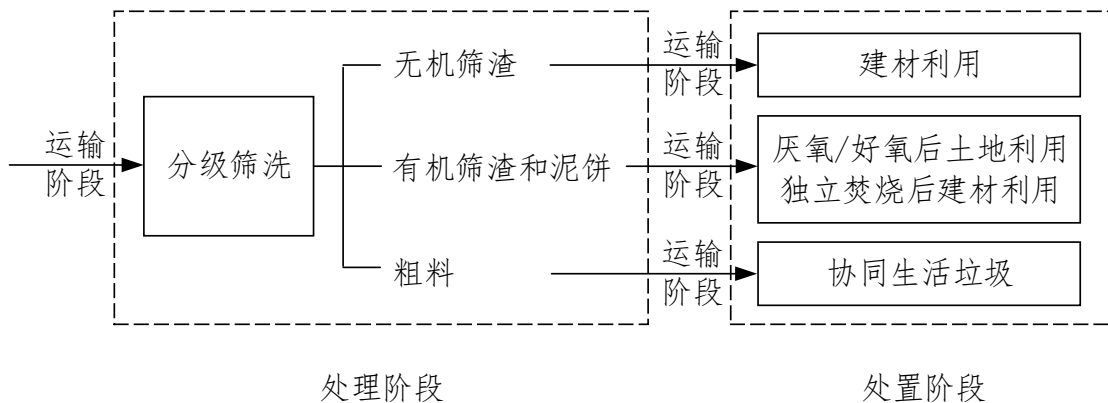


图 14 “分级筛洗+多元利用”全流程

处理阶段：成本产生主体为管渠污泥处理运营单位，投资成本和运行成本即为污泥分级筛洗单元成本。

处置阶段：成本产生主体为接收筛洗产物的下游单位，无机筛渣直接进入建材企业，粗料进入生活垃圾中转站或集中处理工程，有机筛渣进入厌氧消化/好氧发酵/独立焚烧工程。

运输阶段：该路线的运输环节较多。管渠污泥运输进厂的成本产生主体多为管渠污泥清淤单位或排水管网运维单位。筛洗产物运出厂的成本产生主体多为管渠污泥处理运营单位。

核算单位成本时需根据物料平衡关系换算至基于进料污泥的统一口径。对于有机筛渣，后续协同有机污泥进行处理处置，从全链条角度出发，该部分成本应由管渠污泥处理单位承担；如厌氧/好氧/焚烧工程在设计规划时已考虑协同规模，则该部分成本可由厌氧/好氧/焚烧工程运营单位承担。

第七节 其他技术路线

一、热解气化后灰渣建材利用

该路线主要针对污水处理厂污泥，也可协同去除杂物垃圾的污染底泥。从全链条维度出发，该路线典型方式为：浓缩+脱水+干化+造粒+气化+灰渣建材利用。

以污泥热解气化工程独立建设为例，该路线全流程核算边界如下图。

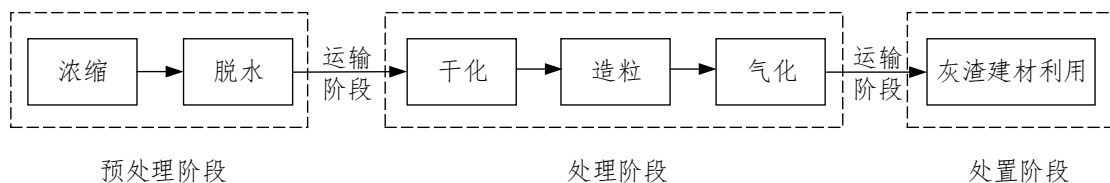


图 15 “浓缩+脱水+干化+造粒+气化+灰渣建材利用”全流程

预处理阶段：成本产生主体为污处理水厂运营单位、底泥清淤或河湖运维单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水单元成本之和。

处理阶段：成本产生主体为污泥处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥干化、造粒、气化单元成本之和。气化环节成本计算方法可参考独立焚烧。

处置阶段：成本产生主体为建材利用方，投资成本视下游企业设施新建或

设备购置等情况核算，运行成本视灰渣利用方式、加工工艺等情况核算。

运输阶段：第一个运输阶段成本产生主体多为污水处理厂、底泥清淤或河湖运维单位等，第二个多为污泥处理厂。

二、碳化后多元利用

该路线主要针对污水处理厂污泥，也可协同管渠污泥筛洗脱水后的有机筛渣、园林、农业废弃物等。从全链条维度出发，该路线典型方式为：浓缩+脱水+热干化+热解碳化+多元利用。

多元利用包括土地、建材、燃料利用或作为吸附材料利用。以污泥热解碳化工程建在污水处理厂内为例，该路线全流程核算边界如下图。

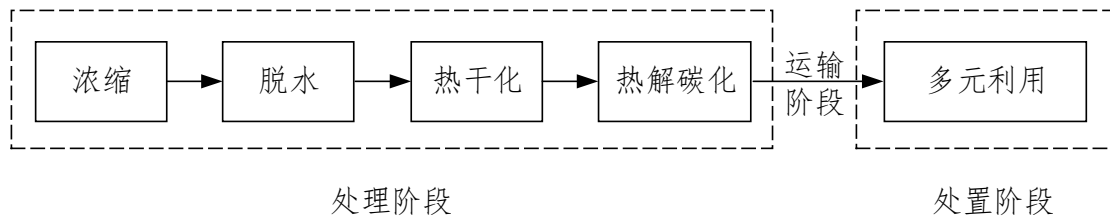


图 16 “浓缩+脱水+热干化+热解碳化+多元利用”全流程

处理阶段：成本产生主体为污水和污泥处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水、热干化、热解炭化单元成本之和。其经济指标可参考《安徽省城镇污水处理厂污泥高干脱水炭化处置技术导则》。

处置阶段：成本产生主体为产物利用方，可用于制作土壤改良剂、燃料、建材、吸附剂等，根据下游企业加工和利用方式进行核算。

运输阶段：运输成本产生主体多为污泥处理厂。

三、热碱处理后多元利用

该路线主要针对污水处理厂污泥，也可协同管渠污泥筛洗脱水后的有机筛渣。从全链条维度出发，该路线典型方式为：浓缩+脱水+热碱水解+深度脱水+多元利用。

多元利用包括土地利用、建材利用等。以污泥热碱处理工程建在污水处理厂内为例，该路线全流程核算边界如下图。

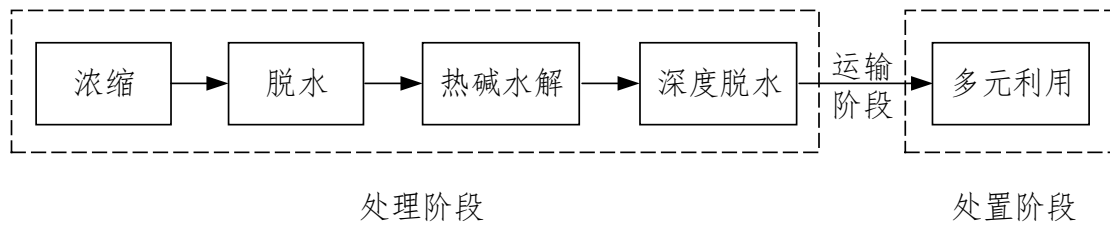


图 17 “浓缩+脱水+热碱水解+深度脱水+多元利用”全流程

处理阶段：成本产生主体为污水和污泥处理厂运营单位，投资成本和运行成本为污泥浓缩、脱水、热碱水解、深度脱水单元成本之和。

处置阶段：成本产生主体为产物利用方，可用于制作营养液、发泡产品等，根据下游企业加工和利用方式进行核算。

运输阶段：运输成本产生主体多为污泥处理厂。

附录 A 建设投资估算表

人民币单位：万元，外币单位：

序号	工程或费用名称	建筑 工程费	设备 购置费	安装 工程费	其他 费用	合计	其中： 外币	比例 (%)
1	工程费用							
1.1	主体工程							
1.1.1	XXX							
							
1.2	辅助工程							
1.2.1	XXX							
							
1.3	公用工程							
1.3.1	XXX							
							
1.4	服务性工程							
1.4.1	XXX							
							
1.5	厂外工程							
1.5.1	XXX							
							
1.6	XXX							
2	工程建设其他费用							
2.1	XXX							
							
3	预备费							
3.1	基本预备费							
3.2	涨价预备费							

4	建设投资合计							
	比例 (%)							100%

注：1.“比例”分别指各主要科目的费用（包括横向和纵向）占建设投资的比例。

2.本表适用于新设法人项目与既有法人项目的新增建设投资的估算。

3.“工程或费用名称”可依污泥处理处置行业要求调整。