

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.10.011

中欧污水处理厂污泥处理设计标准对比分析与研究

刘巨波, 孙亚锡, 陈健
(中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027)

摘要: 为便于我国工程技术人员在境外项目中更好地应用欧盟标准规范开展工程设计, 本文从污泥处理工艺的选择、污泥浓缩与脱水、污泥生物稳定化及其预处理、污泥干化、污泥消毒等方面, 对中欧污水处理厂的污泥处理设计标准进行系统性对比, 其分析研究结果可为相关工程实践提供参考。

关键词: 污水处理厂; 污泥处理; 工艺设计; 欧盟标准

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)10-0077-07

Comparative Analysis and Research on Sludge Treatment Design Standards for Wastewater Treatment Plants in China and the EU

LIU Jubo, SUN Yaxi, CHEN Jian

(China Harbour Engineering Company Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: To facilitate Chinese engineering technicians in better applying European Union (EU) standards and specifications for engineering design in overseas projects, this paper systematically compares the sludge treatment design standards for wastewater treatment plants between China and the EU in terms of sludge treatment process selection, sludge thickening and dewatering, sludge biological stabilization and its pretreatment, sludge drying, and sludge disinfection. The analytical results can provide a reference for relevant engineering practices.

Keywords: wastewater treatment plants; sludge treatment; process design; EU standard

随着“一带一路”倡议的深入实施,我国基础设施建设企业承接的境外给排水工程项目日益增多。由于国内外所采用的设计标准不同,加之我国标准国际化程度不高等客观原因,目前承接的国际工程主要依据欧美标准进行设计。因此,有必要对我国与欧美设计标准进行详细研究和对比,以便工程技术人员更好地熟悉、应用给排水专业相关标准规范。我国长期存在“重水轻泥”的现象,虽然近年来污泥处理相关标准规范得到不断发展与健全,但与欧盟相关标准规范相比仍存在一定差异。许多学者对我国与欧盟的污泥处置标准、体系、监管法规

等进行了对比研究^[1],然而针对污泥处理工艺设计标准的对比仍相对较少。本文选取欧盟标准化委员会下设的污水工程分委会编制的《污水处理厂第8部分:污泥处理与储存》(EN 12255-8:2024)与我国《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)中的污泥处理部分主要内容进行对比分析,对比维度涵盖污泥处理工艺选择、污泥浓缩与脱水、污泥生物稳定化及预处理、污泥干化以及污泥消毒5个方面。

1 污泥处理工艺的选择

针对污泥处理工艺选型,GB 50014—2021主要考虑污泥性质、处理后的泥质标准及污泥处置出

路、当地经济条件、占地面积等因素。EN12255-8:2024中污泥处理工艺的选择除考虑上述因素外,还需注意以下几个方面:①处理厂的规模;②各典型工况污泥量(最大或最小日污泥产量、远期污泥量);③宜采用可供多种污泥处置方式选择的处理工艺;④建设集中式污泥处理设施的可能性;⑤针对大中型集中式污泥处理设施,尤其应考虑污泥水回流对污水处理设施产生的影响(如氮负荷、氨负荷、磷负荷、难降解或有毒有机物等);⑥污水处理中投加的混凝剂、絮凝剂等化学药剂对污泥处理及后续污泥处置的影响;⑦对污泥处理产生的温室气体、臭气以及对人体有毒有害气体进行控制。

2 污泥浓缩与污泥脱水

2.1 污泥浓缩

GB 50014—2021主要给出了重力浓缩池设计参数及相关设计要求,针对机械浓缩设备并未给出明确的设计参数。EN 12255-8:2024给出了重力浓缩、溶气气浮浓缩、机械浓缩3种工艺的设计规定,并针对工艺选择应考虑的因素(如基于后续工艺需要的污泥含固率要求等)加以说明。基于EN 12255-8:2024,对上述3种浓缩工艺的适用性、主要设计参数、药耗、浓缩后污泥含固率等关键要素进行对比,具体如下。

① 适用情况

重力浓缩工艺适用于初沉污泥、剩余污泥、化学污泥、消化污泥,机械浓缩工艺适用于初沉污泥、剩余污泥、化学污泥,溶气气浮浓缩工艺适用于剩余污泥、生物滤池反洗水、油脂类、浮渣。

② 核心工艺参数

重力浓缩工艺:a. 池深 ≥ 3 m,表面负荷 ≤ 0.75 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;b. 对于固体负荷,初沉污泥 ≤ 100 $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,剩余污泥为20~50 $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,混合污泥为40~80 $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$;c. 固体停留时间 ≤ 1.5 d。

机械浓缩工艺:螺压浓缩机处理能力为8~100 m^3/h ;转鼓浓缩机为3~100 m^3/h ;盘式浓缩机为5~40 m^3/h ;带式浓缩机为10~150 m^3/h ;卧螺离心机为5~200 m^3/h 。

溶气气浮浓缩工艺:a. 释放的气泡直径应控制在0.04~0.08 mm,通过释放器喷嘴的压差为0.4~0.6 MPa,溶气压力为0.3~1.0 MPa;b. 对于表面负荷,剩余污泥为1~3 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,油脂、浮渣为3~10

$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;c. 固体负荷为5~25 $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;d. 气固比为10~40 L/kg,溶气效率为80%~100%;e. 回流比为30%~75%;f. 矩形池体深2~3 m,长宽比为2:1~8:1,圆形池体池径为5~20 m;g. 池底及浮渣刮板行走速度为0.01~0.03 m/s;h. 对于水力停留时间(HRT),混合区为1~2 min,气浮区为20~60 min。

③ 浓缩后污泥含固率

重力浓缩工艺:不加絮凝剂时,初沉污泥、剩余污泥、混合污泥、含厌氧消化污泥的混合污泥经浓缩后含固率分别为5%~10%、1%~3%、4%~6%、3%~5%。投加絮凝剂时,剩余污泥、混合污泥经浓缩后含固率分别为3%~4%、5%~8%。

机械浓缩工艺:投加絮凝剂后,剩余污泥、混合污泥经浓缩后含固率分别为5%~7%、6%~8%。

溶气气浮浓缩工艺:不加絮凝剂时,剩余污泥经浓缩后含固率为2%~4%;投加絮凝剂后,剩余污泥经浓缩后含固率为4%~5%。

④ 干泥(DS)药耗

在重力浓缩工艺中,絮凝剂药耗为0.5~3.0 g/kgDS;对于机械浓缩工艺,絮凝剂药耗因机型不同而存在差异;溶气气浮浓缩工艺中,絮凝剂药耗为1~4 g/kgDS。

⑤ 湿泥电耗

重力浓缩工艺的湿泥电耗 < 0.1 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$;机械浓缩工艺的湿泥电耗因机型不同而存在差异;溶气气浮浓缩工艺的湿泥电耗为0.6~1.2 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。

⑥ 干泥电耗

重力浓缩工艺的干泥电耗 < 20 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kgDS}$;机械浓缩工艺的干泥电耗因机型不同而存在差异;溶气气浮浓缩工艺的干泥电耗为100~140 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kgDS}$ 。

⑦ 其他方面

重力浓缩工艺:a. 应设泥位计;b. 设置排出不同深度污泥水及浮渣的设施等。

机械浓缩工艺:浓缩后的污泥含固率应结合后续工艺要求及浓缩后污泥泵送能耗(与含固率密切相关)等综合确定。

溶气气浮浓缩工艺:a. 视污泥种类及浓缩后含固率要求,可投加或不加絮凝剂,若投加絮凝剂,应保持进入气浮池的污泥含固率尽可能恒定,否则应测定进入气浮池的污泥含固率;b. 多相流泵较传统溶气罐方式效率更高。

就重力浓缩工艺而言,EN 12255-8:2024中剩

余污泥浓缩时的固体负荷与 GB 50014—2021 相差不多;但 EN 12255-8:2024 给出了浓缩池表面负荷 [$\leq 0.75 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$],而 GB 50014—2021 并未提及。另外,GB 50014—2021 主要给出了重力式浓缩池浓缩剩余污泥时的固体负荷及浓缩后污泥的含固率,而 EN 12255-8:2024 针对初沉污泥、混合污泥的重力浓缩也均给出了相应的设计参数。

2.2 污泥脱水

基于我国国情及环保产业链的发展阶段,依不同的污泥处置方式及各地监管要求,大多数污水处理厂污泥脱水后污泥含水率基本分为 60% 和 80% 两档,其中 60% 针对满足《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋用泥质》(GB/T 23485—2009)标准后混合填埋等,80% 针对满足《城镇污水处理厂污染物

排放标准》(GB 18918—2002)外运处置或进入后续污泥干化工艺等。GB 50014—2021 主要针对污泥机械脱水设备选用、脱水间布置及通风换气、脱水前的加药调理、压滤机与离心机及其配套设备的选型参数要求等相关内容进行了规定。

EN 12255-8:2024 中除规定污泥机械脱水外,还对污泥干化床的适用条件、构造、尺寸等进行了规定,尤其提及污泥干化芦苇床不仅低碳节能还具有稳定污泥的作用。针对污泥机械脱水,该标准不仅给出了设计需要考虑的因素(如技术经济性指标、污泥水的处理、污泥脱水性能、结合污泥处置的污泥脱水设计、污泥量、药耗等),还对脱水机性能、药耗、电耗等核心技术数据进行对比,具体如表 1 所示。

表 1 EN 12255-8:2024 中针对污泥机械脱水工艺对比

Tab.1 Comparison of sludge mechanical dewatering processes in EN 12255-8:2024

项目		离心机	带式压滤机 ¹	板框压滤机 ²		螺压脱水机
				聚合物调理	石灰+铁盐调理 ³	
脱水后污泥含固率/%	初沉污泥	32~40	30~35	32~40	35~45	30~40
	混合污泥	26~32	24~30	26~32	33~45	24~30
	剩余污泥	18~24	15~22	18~24	28~35	18~24
	消化污泥	22~30	20~28	22~30	30~40	20~28
药耗/(g/kgDS)		8~14	6~12	6~12	—	6~12
电耗/(kW·h/m ³)	比能耗	1~1.6 ⁴	0.5~0.8 ⁴	0.7~0.9 ⁴ ,1.0~1.2 ⁵	1.0~1.2 ⁴	0.2~0.5 ⁴
		1.6~2.2 ⁶	1.1~1.4 ⁶	1.5~1.8 ⁶	1.8~2.0 ⁶	0.6~1.0 ⁶

注:¹带式压滤机进泥含固率为 2%~7%;²隔膜压滤机较板框压滤机出泥含固率高 2%~4%;³与铁盐及石灰投加量相关;⁴以污泥调理前湿泥进泥量为计算基础;⁵指隔膜压滤机电耗;⁶以湿泥进泥量为计算基础,含污泥调理系统及进泥泵电耗。

EN 12255-8:2024 以污泥处置为导向或结合脱水后污泥的后续处理工艺要求,对不同类型脱水机脱水污泥的含固率予以较为明确的规定,使脱水设备选型更具针对性;同时,对影响运行成本的药剂消耗量、电耗等指标也给出了参考范围值,为设计阶段的技术经济比选提供了依据。

3 污泥稳定

3.1 污泥稳定预处理工艺

污泥稳定前的预处理有利于污泥稳定工艺发挥最大的效率。GB 50014—2021 中除对热水解工艺进行相关规定外,并未就其他污泥稳定预处理工艺展开说明,而 EN 12255-8:2024 则对主要的污泥稳定预处理工艺进行了相对具体的说明,并结合技术经济性给出了设置建议。

3.1.1 污泥分解

EN 12255-8:2024 阐明了污泥分解作为厌氧消

化预处理的目标,如增加有机物降解率、增大沼气产量、改善污泥脱水性能、减少消化池中的泡沫量、强化磷回收等。另外,该标准还给出了污泥分解工艺的重要参数——COD 溶出率。该参数的意义在于,原存在于污泥固体上的部分 COD 将在污泥分解工艺作用下溶解于污泥水中,从而表征了污泥分解效率。COD 溶出率计算公式为:

$$\eta_{\text{Dis,COD}} = \frac{C_{\text{COD},1} - C_{\text{COD},0}}{C_{\text{COD,Ref}} - C_{\text{COD},0}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\eta_{\text{Dis,COD}}$ 为 COD 溶出率,%; $C_{\text{COD},0}$ 为未处理的污泥水中 COD 浓度,mg/L; $C_{\text{COD},1}$ 为处理后的污泥水中 COD 浓度,mg/L; $C_{\text{COD,Ref}}$ 为参考 COD 浓度,mg/L。

此外,EN 12255-8:2024 对各类污泥分解工艺的主要参数、处理效果等进行了说明,具体如表 2 所示。

表 2 EN 12255-8:2024 中针对不同污泥分解工艺对比

Tab.3 Comparison of different sludge disintegration processes in EN 12255-8:2024

工艺类别	特点	效果	备注
机械法	研磨法电耗为 0.5~20.0 kW·h/m ³ , 超声波法电耗为 5~10 kW·h/m ³	① $\eta_{\text{Dis,COD}} \leq 20\%$; ②挥发性固体降解率最大可增至 50%; ③减少消化池泡沫产生	①仅有少量能量输入; ②对污泥化学组分的影响很小
热法	以高温高压分解为例: 温度为 130~180 °C, 压力为 0.3~1.0 MPa, 电耗为 0.3~1.0 kW·h/m ³ , 热耗为 130~190 kW·h/m ³	① $\eta_{\text{Dis,COD}} \leq 50\%$; ②挥发性固体降解率最大可增至 70%; ③减少消化池泡沫产生; ④改善污泥脱水性能	①污水处理厂出水中将产生大量不可生物降解污染物; ②污泥可同步实现无害化; ③欧洲部分污水处理厂的运行温度为 160~180 °C, 蒸汽注入压力为 0.6~1.0 MPa
化学法	以臭氧氧化法为例: 臭氧投加量为 0.05~0.20 gO ₃ /gVS, 电耗为 0.19~2.50 kW·h/kgVS	① $\eta_{\text{Dis,COD}} \leq 80\%$ (与臭氧投加量相关); ②挥发性固体的降解率最大可增至 20%	对厌氧消化工艺的影响不详
生物法	投酶法	挥发性固体的降解率最大可增至 30%	一次性投资低, 但对运行成本(酶的投加)有影响
热法-化学法联用	中温(60~70 °C), NaOH 投加量为 1.5~2.0 L/m ³	① $\eta_{\text{Dis,COD}} \leq 50\%$; ②挥发性固体的降解率最大可增至 30%; ③减少消化池泡沫产生; ④改善污泥脱水性能	①无需热回收装置, 通过热电联产机组热源自平衡(无需额外热量输入); ②增加了不可生物降解污染物

3.1.2 建议

除增加建设成本外, 从运行费用的角度看, 尽管污泥预处理具有沼气产量增大等经济效益, 但是预处理一般需要能量输入或添加化学药剂, 导致运行成本增加, 二者存在技术经济平衡点。EN 12255-8:2024 对预处理工艺的设计原则为: 预处理段 COD 溶出率控制在 10%~25%, 沼气产量较不设预处理工艺提高 10%~15%。同时, 对于高温热水解以及部分化学预处理工艺, EN 12255-8:2024 态度较为谨慎, 认为上述预处理工艺有产生二噁英、呋喃或其他不可降解有毒物质的风险。

3.2 污泥稳定处理工艺

3.2.1 厌氧消化

GB 50014—2021 针对厌氧消化主要工艺参数、设计计算公式、系统设置、主要设备、沼气收集及系统安全等方面进行了相关规定。

EN 12255-8:2024 除规定上述关键项外, 还给出了水解速率、易降解基质的降解率等厌氧消化理论公式, 同时针对厌氧消化池型与搅拌方式的选用及相关技术要求等方面进行细化说明及建议。水解速率计算公式为:

$$k_H = 0.045 \times 1.072^{T-10} \quad (2)$$

式中: k_H 为水解速率, d⁻¹; T 为温度, °C。

易降解基质的降解率计算公式为:

$$\eta_{\text{degr}} = \frac{C_{0,\text{degr}} - C_{\text{degr}}}{C_{0,\text{degr}}} \times 100\% = \frac{k_H t_R}{1 + k_H t_R} \times 100\% \quad (3)$$

式中: η_{degr} 为易降解基质降解率, %; $C_{0,\text{degr}}$ 为易降解物质的初始浓度; C_{degr} 为易降解物质的最终浓度; t_R 为污泥龄, d。

若消化温度取 37 °C, 理论 k_H 为 0.3 d⁻¹。若 η_{degr} 取 80% (EN 12255-8:2024 规定, 易降解有机物的最小 η_{degr} 应为 80%, 宜为 90%), 污泥龄为 13.3 d; η_{degr} 取 90%, 污泥龄为 30 d。根据 EN 12255-8:2024, 初沉污泥和剩余污泥的挥发性固体中易降解基质分别约为 70% 和 30%~45%。

针对污泥厌氧消化, GB 50014—2021 与 EN 12255-8:2024 中主要规定对比如下。

① 池型。GB 50014—2021 规定了池型的选择原则。EN 12255-8:2024 对池型的描述如下: a. 高径比 $\geq 1:1$ 的池型最为普遍; b. 平底、坡底均有应用; c. 卵形消化池性能最佳, 但造价较高。

② 混合与搅拌。GB 50014—2021 规定: a. 宜采用机械搅拌、污泥气搅拌或池外泵循环搅拌等, 池外泵循环搅拌适用于小型消化池; b. 对于连续搅拌, 每日将全池污泥完全搅拌的次数不宜少于 3 次。EN 12255-8:2024 规定了搅拌方式的选择需与池型相匹配的总体原则: a. 当池容 $\leq 1\,000\text{ m}^3$ 、池底为坡

底、污泥龄 ≥ 25 d时,池外污泥循环是唯一的搅拌混合方式,建议循环流量为每日消化池容的10~12倍,其缺点是能源利用率较低。b. 喷射搅拌器可用于平底消化池,建议循环流量不小于每日8倍消化池容积,缺点是喷嘴清洗需放空消化池。c. 导流筒搅拌器适用于卵形消化池及锥底或平底的大型消化池;桨叶式导流筒搅拌器可使污泥上、下运动,气提式导流筒搅拌器仅可提升污泥;池内泥位需尽可能恒定(允许波动 ± 10 cm),且无法降低池内泥位;当消化池内泡沫可能较多时,应慎重选用此类搅拌器。d. 对于桨叶式搅拌器,小桨叶高速搅拌器效率较低,不建议采用,可采用单层或多层桨叶(下部桨叶设于池高的1/4处,上部桨叶设于池高的3/4处),也可选用具备破浮渣功能的桨叶。e. 气体搅拌适用于各种池型,平底池可采用悬挂式喷嘴,锥底池可采用周边式喷嘴,其特点是池内泥位可变,当泡沫严重时可降低泥位。

③ 进泥含固率。GB 50014—2021未提及常规浓度中温厌氧消化的进泥含固率,对于高含固率污泥的厌氧消化,污泥含固率宜为8%~10%。EN 12255-8:2024规定污泥含固率宜为5%~8%,应不低于4%。

④ 消化时间。GB 50014—2021规定污泥消化时间宜为20~30 d;EN 12255-8:2024未规定此范围值,可参考式(3)计算。

⑤ 消化温度。GB 50014—2021规定常规中温厌氧消化温度宜为33~38 $^{\circ}\text{C}$;热水解作为预处理的厌氧消化温度宜为37~42 $^{\circ}\text{C}$ 。EN 12255-8:2024规定中温厌氧消化温度为30~45 $^{\circ}\text{C}$,高温厌氧消化温度 > 45 $^{\circ}\text{C}$ 。

⑥ 挥发性固体容积负荷。GB 50014—2021规定:对于常规浓度的中温厌氧消化,重力浓缩后污泥挥发性固体容积负荷宜取0.6~1.5 kgVSS/($\text{m}^3\cdot\text{d}$);对于高含固浓度污泥的厌氧消化,挥发性固体容积负荷宜取1.6~3.5 kgVSS/($\text{m}^3\cdot\text{d}$);以热水解作为消化预处理时,挥发性固体容积负荷宜取2.8~5.0 kgVSS/($\text{m}^3\cdot\text{d}$)。EN 12255-8:2024未规定污泥挥发性固体容积负荷的取值。

⑦ 挥发性固体去除率。GB 50014—2021规定挥发性固体去除率宜在40%以上。在EN 12255-8:2024中,对于市政污泥,挥发性固体去除率约50%[相关数据引自《污泥回收、再利用、处理和处

置厌氧消化设施运行的要求与建议》(ISO 19388:2023)]。

⑧ 产气率。GB 50014—2021规范正文未规定产气率,条文说明给出了部分工程实例数据。EN 12255-8:2024中,初沉污泥产气率为0.95 m^3/kgVS (去除),剩余污泥产气率为0.85 m^3/kgVS (去除)[相关数据引自《污泥回收、再利用、处理和处置厌氧消化设施运行的要求与建议》(ISO 19388:2023)]。

⑨ 沼气净化与收集。GB 50014—2021规定:a. 污泥气贮罐的容积应根据产气量和用气量计算确定。当无相关资料时,按6~10 h平均产气量设计。b. 污泥气净化应进行除湿、过滤和脱硫等处理,污泥气纯化应进行除湿、除二氧化碳、氨和氮氧化物等处理。EN 12255-8:2024规定:a. 污泥气贮罐容积应按产气量和用气量计算确定。当无相关资料时,至少按日产气量的50%设计。b. 污泥气净化应进行除湿、过滤和脱硫(铁盐除磷时无需脱硫装置)等处理,同时应设旁通管路;在去除污泥气中硅氧烷时,一般设气体干燥器或活性炭过滤器。

⑩ 污泥水污染物特征及处理。GB 50014—2021对此未进行说明。EN 12255-8:2024阐述如下:a. 原污泥中50%的氮和磷以磷酸盐、铵盐形式进入消化液,此部分消化液回流至污水处理前端时,可使污水生化系统氮负荷增加20%;b. 挥发性固体降解率越高,消化液中营养盐浓度越高;c. 当厌氧消化采用热处理为预处理工艺时,将增加污水处理系统难降解COD比例;d. 通过投加铁盐、镁盐等化学药剂对磷酸盐进行去除或回收;e. 污水处理厂中C/N比较低时,反硝化脱氮能力较差,此时为去除消化液中的氨氮则需单独设置生物处理单元。

⑪ 其他主要规定。GB 50014—2021:a. 条文说明介绍了协同厌氧消化的优势与相关工程实例;b. 对厌氧消化系统管路、阀门设置作出规定;c. 对厌氧消化系统安全性设计要求作出规定;d. 对污泥气的利用途径作出说明,并引出污泥气相关设计规范。EN 12255-8:2024:a. 说明了采用协同厌氧消化工艺时应考虑的主要因素;b. 对污泥处理系统热平衡作出简要说明;c. 对厌氧消化系统管路、阀门设置作出规定;d. 对厌氧消化系统运行参数的测定、记录等进行规定。

综上,与GB 50014—2021相比,EN 12255-8:

2024对厌氧消化池型、混合与搅拌方式的规定相对较细,对厌氧消化温度规定的范围相对较宽,并且对污泥水中污染物特征及相应处理工艺作出了简要说明,但未明确规定厌氧消化系统挥发性固体容积负荷。

3.2.2 好氧消化

GB 50014—2021对好氧消化的主要工艺参数、设计计算公式、系统设置、主要设备及管路系统等进行了相关规定。EN 12255-8:2024规定如下:a. 高温好氧消化系统进泥的含固率至少为4%(我国标准未对进泥的含固率作出明确规定);b. 高温好氧消化系统应设泡沫切割机;c. 至少需要2座串联消化池,每座消化池的污泥龄不低于5 d。

3.2.3 好氧发酵

GB 50014—2021对好氧发酵进泥特性要求、工艺类型、混料系统设计、发酵系统设计、供气系统设计等作出了相关规定。EN 12255-8:2024并未提及具体的设计参数,但对发酵系统设计应考虑的因素进行了说明:①发酵料的孔隙度和通气性;②所需的营养成分;③臭味控制及生物危害;④占地面积;⑤含水率要求;⑥温度控制;⑦发酵物的储存;⑧辅料的来源和可持续供给性。

3.2.4 伪稳定化

GB 50014—2021中无伪稳定化概念。EN 12255-8:2024给出了污泥伪稳定化的定义,即经石灰或热干化工艺处理的污泥,只要保持特定的条件(如pH或含水率)就能避免有机物降解,但条件不再满足要求时,有机物降解就会重新开始。伪稳定化处理工艺可降低污泥储存过程排放的臭味,并实现消毒,但若后续污泥处置途径为填埋或土地利用,则应慎重考虑此工艺;此外,若生物稳定工艺失败,伪稳定化工艺可作为替代工艺。当通过投加石灰实现污泥的伪稳定化时,污泥体系pH应大于12,且需考虑设置针对氨气排放的控制措施。

4 污泥干化

4.1 总述

EN 12255-8:2024对污泥全干化、部分干化进行了定义,全干化指污泥含固率 $\geq 85\%$ 且污泥颗粒粒径 ≤ 10 mm,部分干化指污泥含固率 $< 85\%$ 或污泥颗粒粒径 > 10 mm。全干化污泥可长期储存,但部分干化污泥因微生物的代谢作用可能存在燃烧风险,不

宜长期储存。以干化设备的分类而言,EN 12255-8:2024提及了间接干化(薄层干化、桨叶干化、圆盘干化等)与直接干化(带式干化等),同时规定:若污泥干化设施设于焚烧厂内,焚烧产生的余热可用于干化,故间接干化更有优势;若污泥干化设施设于污水处理厂内(不设污泥焚烧),污泥干化后再送至处置点时,直接干化更具优势。考虑到我国国情与实际应用情况,GB 50014—2021主要对间接干化和自然干化设计进行了规定。下文主要对EN 12255-8:2024中重点规定的也即欧洲应用最为普遍的带式干化设计要求进行说明。

4.2 带式干化

4.2.1 分类

根据干化温度,带式干化可分为温度 < 50 °C的低温干化、温度为 $50 \sim 150$ °C的中温干化以及温度 > 150 °C的高温干化。因低温干化需要更大的带面积,设备投资较高,而高温干化对热源要求较高,故以中温干化最为常用。根据进泥方式的不同,带式干化又可分为挤压原泥式、干泥返混式。干泥返混式因污泥颗粒粒径分布不均,粉尘问题较严重。

4.2.2 泥质特性与控制指标

干化污泥密度为 $300 \sim 600$ kg/m³,挤压原泥式干化机取低值,干泥返混式取高值。控制干化污泥含固率不应低于85%(即应全干化),以避免微生物放热活动产生自燃;控制污泥干化后温度不应大于60 °C(主要针对高温干化),以避免污泥后续运输或存储过程发生自燃风险。

4.2.3 余热利用

EN 12255-8:2024强调厌氧消化、热电联产、热干化三者间的热量循环利用,尽量避免对额外能源输入的依赖。若要求干化污泥含固率达到90%及以上时,使用以沼气为热源的热电联产单元提供的热量通常难以满足要求,一般需以天然气为热源的热电联产单元对干化系统补热。干化机出口的湿热尾气首先用于加热干化机进气,而后经过带热回收装置的冷凝器,回收的冷凝焓可用于消化池加热等。另外,《污泥回收、再利用、处理与处置——热处理指南》(PD ISO/TR 20736:2021)提及了圆盘干化机+带式干化机串联应用的案例,此组合工艺较同类工艺全干化单位湿污泥节能约40%。

5 污泥消毒

5.1 综述

GB 50014—2021对污泥消毒(狭义的无害化)无明确规定。EN 12255-8:2024对热法、化学法污泥消毒工艺及其工艺参数作出了明确规定,并要求粪大肠菌群和沙门氏菌的浓度至少应降低5log。

5.2 热法污泥消毒

EN 12255-8:2024给出了热法消毒的温度-时间关系理论曲线,并针对不同工艺给出了典型消毒参数要求。对于伪稳定化工艺,消毒温度需70℃且批次消毒时间至少1h;对于高温好氧消化或厌氧消化,消毒温度需60℃且批次消毒时间(针对两级厌氧消化)至少4h,或消毒温度55℃且批次消毒时间(针对两级厌氧消化)至少24h同时水力停留时间至少20d;对于热干化,消毒温度需65℃且停留时间至少1h;对于堆肥,消毒温度需55℃且发酵时间至少2周,或消毒温度65℃且发酵时间至少1周。

5.3 化学法污泥消毒

化学法消毒主要指向污泥中投加石灰,通过提高污泥的pH(一般应达12以上)以实现消毒。当投加熟石灰时,投加石灰后污泥的储存时间至少为3个月。当投加生石灰时,石灰应投加于与污泥充分反应的反应器内,投加后污泥温度至少升至50℃,同时反应器内最小停留时间应按下式计算:

$$t_{Rmin} = 6 \times 10^7 \times 10^{-0.147T_{Rmin}} \quad (4)$$

式中: t_{Rmin} 为反应器内最小停留时间,s; T_{Rmin} 为反应器内最低温度,℃。

化学法消毒有两点值得注意:①石灰的投加将增加总污泥产量;②石灰的投加将产生大量的氨气等腐蚀性气体,一般需设置尾气收集与处理设施。

6 结论

①在工艺选择方面,相较于GB 50014—2021,EN 12255-8:2021中污水处理、污泥处理、污泥处置三者的系统性和紧密联系性更为明显,且更加重视健康、安全与环境。

②针对污泥浓缩,相较于GB 50014—2021,EN 12255-8:2024除给出重力浓缩设计参数外,还规定了机械浓缩、气浮浓缩设计参数。同时,对3种不同浓缩方式的电耗、药耗等给出了取值范围。

③针对污泥脱水,相较于GB 50014—2021,

EN 12255-8:2024给出了各典型脱水机脱水后污泥含固率、药耗、电耗等参数,使设计阶段的技术经济比较有据可依,技术参数取值相对客观、统一。另外,GB 50014—2021对脱水间布置及污泥脱水系统配套设备的选型等作出了规定,但EN 12255-8:2024对此并未有具体规定。

④针对污泥稳定预处理,EN 12255-8:2024给出了表征污泥分解效率的理论公式,并对各种典型污泥稳定预处理工艺的特点、效果、原则等进行说明。针对污泥稳定,EN 12255-8:2024对厌氧消化水解速率、基质降解率给出理论公式,同时对厌氧消化池型、消化池搅拌、污泥水水质特征及其处理设施、厌氧消化系统运行要求等的规定较为细致,而GB 50014—2021对厌氧消化的消化时间、挥发性固体容积负荷等消化池核心工艺参数给出了取值范围。此外,两类标准在消化温度的定义及污泥气贮罐的容积计算等方面存在差异。对于好氧消化与好氧发酵,相较于EN 12255-8:2024,GB 50014—2021对主要工艺参数的规定更为全面。另外,EN 12255-8:2024明确定义了伪稳定化的概念,并对伪稳定化的适用条件作出了简要说明。

⑤针对污泥干化,EN 12255-8:2024侧重于带式干化机的工艺规定,同时对干化污泥含固率作出明确规定($\geq 85\%$),而GB 50014—2021侧重对流化床干化、圆盘式干化等间接干化工艺的规定。

⑥针对污泥消毒,EN 12255-8:2024分别规定了热法及化学法消毒的主要工艺参数要求,这方面GB 50014—2021尚未作出明确规定。

参考文献:

- [1] 马士禹,唐建国,陈邦林. 欧盟的污泥处置和利用[J]. 中国给水排水,2006,22(4):102-105.
MA S Y, TANG J G, CHEN B L. Sludge disposal and utilization in EU [J]. China Water & Wastewater, 2006,22(4):102-105(in Chinese).

作者简介:刘巨波(1987—),男,河北秦皇岛人,硕士,高级工程师,主要研究方向为污水污泥处理处置技术。

E-mail:liu2011jubo@126.com

收稿日期:2024-10-29

修回日期:2025-01-08

(编辑:丁彩娟)