

# 城镇污水处理厂污泥单独焚烧工艺机理研究

胡维杰, 周友飞

(上海市市政工程设计研究总院 <集团> 有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 污泥单独焚烧工艺因其减量化、无害化和稳定化最为彻底的优点而逐渐被接受和推广。基于污泥的化学元素及物化特性分析,从机理角度解析了污泥独立焚烧工艺的各项子系统,包括污泥脱水及干化预处理、干污泥储存、焚烧系统及焚烧辅助系统等,提出了各工艺子系统设计及运行时的注意事项。污泥焚烧技术具有独特的优点,体现了能源的循环利用和可持续发展理念,其应用将越来越广泛。

**关键词:** 城镇污水处理厂; 污泥处理处置; 污泥单独焚烧; 污泥焚烧机理

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)10-0015-06

## Study on Mechanism of Sludge Mono-incineration for Urban Sewage Treatment Plant

HU Wei-jie, ZHOU You-fei

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The mono-incineration technology has been gradually accepted and popularized because of its advantages including reduction, harmlessness and stabilization of sludge processing. Based on analysis of chemical elements and physicochemical properties of sludge, the subsystems of the mono-incineration process were analyzed from the mechanism perspective, including sludge dewatering and drying pretreatment, dry sludge storage, incineration system and incineration auxiliary system. At the same time, the attention items for design and operation of each subsystem were put forward. With the unique advantages, sludge incineration technology had the concept of sustainable development and could realize the energy cycling. Its application would be more and more extensive.

**Key words:** urban sewage treatment plant; sludge treatment and disposal; sludge mono-incineration; mechanism of sludge incineration

### 1 背景

污泥焚烧可气化水分,矿化污泥,杀死病原体,并最大限度减少污泥体积。2004年,全国首座城镇污水厂污泥干化焚烧工程在上海石洞口污水厂建成投运。随着近年污水处理扩建和提标工程的推进,污泥量将进一步提高,相应地,污泥单独焚烧工程数量日益增加<sup>[1-2]</sup>。为此,基于污泥的化学元素及物化特性分析,对污泥独立焚烧工艺进行了深度解析,以期城镇污水厂污泥单独焚烧工艺设计及其运行

管理提供参考。

### 2 污泥的燃料特性

#### 2.1 部分化学元素

① 硫:污水污泥中的硫含量通常占干基的0.5%~2%。因部分硫以硫酸盐形式存在,故在焚烧过程中并非所有的硫都会转化成SO<sub>2</sub>。当温度低于酸露点时生成的SO<sub>2</sub>与接触的水分结合形成硫酸或亚硫酸。

② 氮:污水污泥中的氮含量通常占干基的

2%~12%。取决于炉内的温度与空气量,在焚烧过程中污泥中的氮转变为 $N_2$ 或 $NO_x$ 。焚烧过程中生成的 $NO_x$ 主要包括热力型和燃料型两类。热力型 $NO_x$ 可通过控制焚烧温度进行控制,而燃料型 $NO_x$ 可通过限制空气量至最小过剩空气量及分层入炉空气进行控制。

③ 磷:污水污泥中的磷含量通常占干基的1%~5%。该含量主要取决于污水处理系统的磷负荷及其除磷量。在焚烧过程中,磷及磷化合物转变成磷酸钙,存在于炉渣中。

④ 氯:有机或无机的氯化物在焚烧过程中,氯自由基与其他化学元素反应会形成有毒化合物,使得烟气中产生腐蚀性的酸性化合物,尤其是在高温状态下。污水污泥中的有机氯通常可忽略不计(<50 mg/kg干基),但无机氯的浓度会因污水或污泥处理过程中使用无机调理剂 $FeCl_3$ 而较高。

⑤ 痕量元素:痕量元素在污泥中的浓度取决于污水中工业废水的含量,且变化较大,需考虑污泥中的痕量元素在气相状态下潜在迁移的趋势(尤其是Hg)。除Hg外,其他痕量元素会富集于除尘器收集的飞灰中。Hg通常浓缩在洗涤器中,或捕集在投加活性炭后的布袋除尘器中。

## 2.2 物化特性

需要考虑的污泥的主要物化特性包括:污泥含固率、物理均质性、可燃分与热值。污泥流变性也很重要,尤其是对进料系统设计而言。

① 污泥含固率:污泥焚烧过程中,污泥含固率是影响燃料需求量及烟气产量的主要因素。通常提高污泥含固率有利于减少燃料需求量,但超过自持焚烧范围的污泥含固率的进一步提高并不合适,因为这将导致更多的过量空气需求量,尤其是在不用水而用稀释空气控制焚烧室温度时,而水的使用则会降低锅炉的可回收热量。因此,需合理设计并运行污泥焚烧前的热干化以取得最佳的污泥干化度。如有需要,可混合干化污泥与脱水污泥以免过高而无必要的污泥干度。

② 物理均质性:污泥焚烧进泥系统要求污泥的物理均质性,不同焚烧炉对污泥的物理均质性要求不同。通常,进焚烧炉之前的物料应是易碎的。

③ 可燃分与热值:污泥热值是评估焚烧工艺最为重要的参数。如已知污泥的元素分析,则其高位热值可用杜隆公式近似计算,即高位热值 =

$32\ 810\ C + 142\ 246(H - O/8) + 9\ 273\ S$  (kJ/kg),其中 $C$ 、 $H$ 、 $O$ 及 $S$ 是可燃基元素的质量分数。该公式会高估高有机氮浓度污泥的热值,因氮会与氢结合形成胺,胺焚烧中氮氧化物的生成会减少氢的热量释放。考虑该影响的污泥高位热值 =  $32\ 810\ C + 142\ 246(H - O/8) + 9\ 273\ S - [2\ 189\ N(1 - u) + 6\ 489\ Nu]$ ,其中 $u$ 代表氮转化为氮氧化物的质量分数(通常为2%~7%)。

## 3 预处理工艺

如污泥进行单独焚烧,则应经预处理以使焚烧所需的辅助燃料尽量少甚至无需添加。考虑到燃料的价格,应通过干化预处理措施充分提升进炉污泥的热值,以使污泥实现自持焚烧而无需辅助燃料。通常,这是基于污泥含固率>45%的情况。因此污水厂污泥需脱水至含固率约20%~35%,并采用干化以进一步降低含水率,而后进行单独焚烧。

脱水阶段使用无机药剂可取得较好的脱水效果,但会减少污泥中的挥发分,并增加需处理干基量,且当存在金属盐时可能产生结焦现象。此外, $FeCl_3$ 等氯化物在温度提高时会加速腐蚀金属部件并导致烟气排放问题。相反,采用PAM聚合物作絮凝剂而非石灰与 $FeCl_3$ 有助于焚烧运行。

脱水污泥中水分的进一步去除可通过热干化实现。当可供有热媒(蒸汽或约250℃的导热油)时,间接干化较为有效,因干化废气不凝性气体的产生量较低。热干化与焚烧相结合的优势在于可控制合适的污泥含固率,以实现自持焚烧,同时产生最小的烟气量,设置污泥干化的污泥焚烧系统具有较好的性价比。大多数情况下,污泥干化装置与焚烧装置就近布置。通常干化系统采用半干化,但在40%~50%污泥含水率的污泥黏滞区,在某些类型干化机及后续的设备中会产生严重的输送问题,并非所有类型的干化机均能安全可靠地在该污泥黏滞区运行。通常采用间接干化,冷凝水回到污水厂处理,不凝气则进入焚烧炉处理。干化所需的热能来自污泥焚烧产生的烟气热量转换。干化热媒包括蒸汽或导热油等。干化污泥时,尤其是在全干化污泥时,必须特别注意防爆问题。

原则上,污泥单独焚烧适用于脱水污泥、半干污泥或全干污泥。脱水污泥可在多膛炉中良好焚烧;半干污泥最好在流化床焚烧炉中焚烧;全干污泥通常在电厂或水泥厂焚烧,有时也用于单独焚烧厂中,

在此全干污泥与脱水污泥混合用以提高脱水污泥的热值。

#### 4 干化污泥的安全储存

全干污泥作为一种燃料,其性质与褐煤接近,因此其存在类似的安全风险,故需充分了解其危险特性以确保安全处理。

由于可能的沼气释放,需特别注意湿污泥、脱水污泥或半干污泥的储存安全。如有沼气释放,则须设置通风系统确保这些区域的空气交换,以防形成爆炸性混合气体,并需测定  $\text{CH}_4$  及  $\text{H}_2\text{S}$  浓度,如观察到浓度增加,则需采取合适的安全措施(如增加空气交换等)。在进入储存仓之前,须用气体便携仪测定气体浓度,以可靠排除对运行人员的安全风险。对于全干化污泥,为对其在储存仓中的可能闷燃进行早期预警,应安装温度及  $\text{CO}$  测定仪。如其浓度超过安全限值,则需采用氮气惰性化。

### 5 焚烧机理及焚烧系统

#### 5.1 焚烧机理

焚烧是高温下的氧化反应。氧与 C、H、S 结合产生能量,生成焚烧产物,即  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  及  $\text{SO}_2$ 。有机氮优先转化为氮气,但一定量的有机氮(2%~7%)也能进一步氧化为  $\text{NO}$ 。空气中的氮气也能转换为氮氧化物  $\text{NO}_x$ ,该现象在温度超过 1 100  $^\circ\text{C}$  时开始明显,并随温度的进一步提高而加剧。

污泥焚烧反应需要过量空气以确保反应快速完成。所需的过量空气量与停留时间(time of stay)、温度(temperature)及湍流度(turbulence)相关,即通常所述的焚烧 3“T”。通常,湍流使污泥与氧的接触更多,湍流度的提高可减少过量空气量。但因过量空气会降低焚烧温度,故应最大限度地减少过量空气,尤其是需辅助燃料以维持焚烧时。该影响可通过预热入炉空气而加以改善。如入炉过量空气不足或缺乏其中 3“T”因素时,污泥焚烧会生成烟及不完全焚烧产物而使得焚烧运行出现问题。

#### 5.2 焚烧系统

维持足够的焚烧室温及供风是污泥充分焚烧的基本条件。最低 850  $^\circ\text{C}$  是强制性的。若氧化不充分,则烟气中会含有  $\text{CO}$  及颗粒物碳;焚烧灰中主要含有  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$  及  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,如氧化不充分,则灰中会另含未燃尽碳。为此,要求烟气停留时间在 2 s 以上,温度 >850  $^\circ\text{C}$ 。

应用最广泛的污泥焚烧炉是流化床焚烧炉,分

为鼓泡床及循环流化床。循环流化床一般不太用于城镇污水污泥的焚烧,其优势仅在于 50 MW 以上的大型热电厂或高热值燃料。

流化床的优势是其具有较高的湍流度,相对较少的过量空气量;由于有效的焚烧温度控制,故  $\text{NO}_x$  的产生量较少;因无移动部件,故可靠性较强;砂床储热量较大,对冲击负荷的适应性较强,适用于不同含水率的进泥(如脱水污泥、半干污泥、全干污泥);使用石灰石及白云石等添加剂可去除酸性化合物。流化床的劣势是灰及砂的外携,及低熔点盐分存在情况下可能形成玻璃体块。

### 6 焚烧辅助单元

#### 6.1 热回收系统

热回收系统包括余热锅炉、用于空气预热及烟气再热的热交换器。由于烟气的特性,烟道热交换器的设计需特别注意结垢的问题。

锅炉蒸汽量主要取决于烟气量,一般为 3~8 kg/kg 干泥。蒸汽用途取决于当地条件及其规模,主要有以下几种:①传统汽轮机发电,通常用在大型厂中,使用高压(3~10 MPa)及高温(350~500  $^\circ\text{C}$ )的蒸汽;②污泥间接加热干化装置,如盘式干化机、桨叶式干化机或薄层干化机等,蒸汽压力为 0.6~2.0 MPa,温度为 160~230  $^\circ\text{C}$ ;③入炉空气的预热;④烟气再热,防止产生白烟,确保排出烟气的充分扩散;⑤区域供暖或工业应用。

#### 6.2 烟气净化系统

烟气净化系统分为两大类:固体颗粒物分离装置、气态污染物去除装置。

##### ① 固体颗粒物的去除

固体颗粒物分离装置主要包括旋风除尘器、静电除尘器及布袋除尘器。取决于颗粒物尺寸,通常能去除颗粒物至浓度 5 mg/ $\text{Nm}^3$ 。旋风除尘器对于 15  $\mu\text{m}$  以下颗粒物的去除作用可以忽略,因而其通常与其他装置联合使用。静电除尘器对于微小粒径的颗粒物(数微米级)是有效的,但如颗粒物电阻高,则其不能受电。粒径 <1  $\mu\text{m}$  的颗粒物可由布袋除尘器去除,但需要控制布袋除尘器的烟气进入温度,以防损坏滤布。

##### ② 气态污染物的去除

气态污染物去除装置主要分为 3 类:干法、半干法与湿法。干法装置中,干式化学药剂(通常是消石灰或碳酸氢钠)导入至烟道系统或反应塔中,气

态污染物通过吸附和化学反应而被去除,化学药剂及反应产物通过颗粒分离装置去除。半干法装置中,石灰浆喷入反应器中,烟气显热使石灰浆中的水分全部蒸发,因而无废水产生。污染物的去除机理同干法。干法与半干法中,应注意控制物料分布及反应产物与过量药剂的循环以最大限度地减少化学药剂耗量,并防止产生过多飞灰量。按此,化学药剂的消耗量可降低至化学反应需量的1.5~2.0倍。

湿法装置中,存在于水中的酸性化合物会形成大量的酸,从而产生腐蚀问题。化学药剂的消耗量一般比化学反应需求量高10%。

采用活性炭吸附可去除一定的微量有机污染物及Hg。物理吸附的优势在于该反应是可逆的,通过降低吸收物的气相压力或提高温度可解吸所吸附的污染物,而其化学成分保持不变。因为不经济,如今在焚烧厂一般不进行再生。近年来发展有新的处理工艺,活性焦/活性炭与石灰一起或分别投加,可减少活性焦或活性炭可能自燃的问题。

### 6.3 灰渣处理系统

污泥焚烧的固体残渣通常分为炉渣与飞灰。炉渣可通过机械或气力方式(即干法)或水力方式(即湿法)从焚烧炉中外排。飞灰应合理储存、输送,以防散逸。另外,应将飞灰与炉渣分开储存,以利于日后回收有用元素(P、K及金属)。

### 6.4 废水处理系统

废水中含有氯化物、亚硫酸盐、硫酸盐、磷酸盐、颗粒物及痕量元素。由于该废水通常不含可生物降解的有机物质,故应采用物理化学工艺,如中和处理、痕量元素的沉淀处理等。

## 7 烟气及灰渣

### 7.1 烟气

烟气中的污染物主要有颗粒物、CO、SO<sub>2</sub>、HCl、NO<sub>x</sub>、有毒有机化合物及痕量元素。

#### ① 颗粒物

受污泥性质及其进料速度、焚烧炉类型、操作温度及湍流度的影响,污泥焚烧产生的颗粒物变化很大,可采用湿法或干法系统予以去除。

#### ② SO<sub>2</sub>及HCl

在焚烧炉床中直接投加石灰石,可以去除部分SO<sub>2</sub>及少部分HCl。可采用湿式洗涤系统吸收酸性烟气,通常投加碱液以增强SO<sub>2</sub>的去除效率,使SO<sub>2</sub>降低到15 mg/Nm<sup>3</sup>,HCl降低到7.5 mg/Nm<sup>3</sup>。

#### ③ CO及NO<sub>x</sub>

如温度及氧含量过低、烟气停留时间或湍流度不足,则会产生一定量的CO。

污泥焚烧产生的氮氧化物主要取决于温度、空气分布、污泥中的氮含量等,主要由NO及少量NO<sub>2</sub>组成,NO<sub>2</sub>虽量较少,但其毒性更强。NO<sub>x</sub>的成因机理包括:a.热力型。氮气在高温条件下发生氧化反应,在温度达到1 200~1 300℃时尤为显著。b.燃料型。在有机氮化合物的氧化反应中,燃料型NO<sub>x</sub>的形成不可预防且主要取决于污泥中所含氮的数量及其化学结合类型。

热力型NO<sub>x</sub>的形成与温度密切相关。温度对NO<sub>x</sub>生成的影响与对CO生成的影响相左,即较高的焚烧温度可降低CO的生成,但会增加NO<sub>x</sub>的生成。

氧含量的影响存在类似的相关性。大量的过量空气即较高的含氧量由于氧化反应改善的结果会降低CO的排放,但同时会导致更多的NO<sub>x</sub>排放。该相关性对于焚烧控制十分重要。污泥焚烧通常采用分层供风,减少一次风量,虽然CO生成量增加,但会显著减少热力型NO<sub>x</sub>的生成;在焚烧炉上部提供二次风可使CO的浓度降低至限值以下。氧量控制有助于减少NO<sub>x</sub>的生成,通常情况下,要求比供氧所需更多的二次风以形成较大的湍流度。此外,烟气再循环可降低氧量及峰值温度,从而减少NO<sub>x</sub>的形成。

然而,即使采用以上焚烧控制,仍不能完全防止热力型NO<sub>x</sub>生成。鉴于燃料型NO<sub>x</sub>的形成,以上控制不足以使NO<sub>x</sub>排放浓度满足相关标准。因此,需采取去除NO<sub>x</sub>的二级措施。在污泥焚烧厂中应用最为广泛的是选择性非催化还原法(Selective Non Catalytic Reduction, SNCR),通常投加氨水或尿素,在850~1 050℃的温度下氨或尿素与NO<sub>x</sub>反应,生成氮气。该反应的效率取决于反应药剂的剂量、注入点及反应药剂与烟气气流的混合情况。

污泥焚烧中,脱硝通常不太采用选择性催化还原法(Selective Catalytic Reduction, SCR)。SCR通常使用钒基催化剂,一般应用于燃煤电厂或垃圾焚烧厂。SCR的反应机理同SNCR,但其要求的反应温度(150~300℃)比SNCR低。烟气需在前处理(除尘、洗涤)之后加热到该温度,在催化剂的作用下烟气和NH<sub>3</sub>充分混合后进行SCR。应考虑到,由于烟

气中存在  $\text{SO}_2$ , 硫酸铵会在催化剂上生成, 使催化剂有中毒趋势。因此, 前处理中去除  $\text{SO}_2$  非常重要。

#### ④ 有机化合物

有机化合物可通过燃尽而减少, 其他方案是将有机物吸附到吸附剂上, 如活性炭、活性焦、硅胶等。

#### ⑤ 一般痕量元素

重金属通常与颗粒物相关, 其排放取决于其挥发性、焚烧温度及其他化学种类的存在(如氯, 其易形成挥发性化合物)。部分金属及其化合物的熔融温度见表1, 当熔融温度未超焚烧温度  $90\text{ }^\circ\text{C}$  以上时即挥发。除温度之外, 其他因素对痕量元素的挥发性亦有影响, 尤其是氯的存在能提高其挥发性。

表1 部分金属及其化合物的熔融温度

Tab.1 Melting temperature of some metals and their compounds  $^\circ\text{C}$

金属及其化合物	熔融温度
$\text{As}_2\text{O}_3$	193
$\text{BeCl}_2$	520
$\text{CaBr}_2$	810
$\text{CaCl}_2$	960
$\text{CaO}$	900 ~ 1 000
$\text{CuCl}_2$	993
$\text{FeCl}_2$	670
$\text{FeCl}_3$	315
Hg	357
$\text{HgBr}_2$	322
$\text{HgCl}$	383.7
$\text{HgCl}_2$	304
K	720
$\text{KO}_2$	分解
$\text{K}_2\text{O}$	分解
$\text{K}_2\text{O}_2$	分解
$\text{MoCl}_5$	268
$\text{P}_2\text{O}_5$	300
$\text{SnCl}_2$	623
$\text{ZnBr}_2$	650
$\text{ZnCl}_2$	732

#### ⑥ Hg 及其化合物

Hg 是最易挥发的金属, 与低挥发性重金属相比, 除尘及湿式洗涤的简单组合不足以有效去除 Hg, 其原因在于高挥发性的 Hg 从污泥中转移到烟气中, 当温度  $>700\text{ }^\circ\text{C}$  时以单质 Hg 形式存在, 几乎不吸附于飞灰上且其水溶性低, 因此如不另行采取措施, 不会在通常的烟气净化工艺中充分去除。

a. Hg 的氧化反应。当烟气在锅炉中冷却时, 受

烟气组成(如氯及其他卤素等)的限制, Hg 主要转变成二价汞, 由于其具有较高的水溶性, 故可在烟气洗涤中去除。卤素氯和溴对于汞的氧化起着非常重要的作用, 其中汞的溴化作用更为有效。因此, Hg 在进入烟气处理系统之前通过溴化加强氧化作用, 从而提高其去除率, 氧化的 Hg 接着在湿式洗涤塔中去除。

b. Hg 的吸附去除。从烟气中去除 Hg 的另一方法是添加吸附剂(如活性炭、活性焦)到烟气处理流程或洗涤器中。在布袋除尘器前连续投加活性炭、活化褐煤等, 投加的吸附剂富集于布袋表面并吸附 Hg。

#### ⑦ 二噁英及呋喃

二噁英及呋喃是持久性有机污染物, 污泥焚烧中的成因如下: a. 污泥中所含的多氯代二噁英(简称 PCDD)或多氯代苯并呋喃(简称 PCDF)。b. 源于污泥或由焚烧所致氯化前驱物(如氯酚、氯苯)而成的 PCDD/PCDF。c. 在低温区(如余热锅炉、电除尘器)未燃有机化合物与氯的合成反应。

前2种成因仅当焚烧不充分时才较重要。类似于 CO 排放控制, 可通过足够高的焚烧温度( $>850\text{ }^\circ\text{C}$ )、足够的供风量及充分的停留时间进行控制。因此, 污泥焚烧中应抑制其关键形成途径, 即氯与有机化合物的合成反应, 其可由飞灰中的金属化合物催化并发生在  $200\text{ }^\circ\text{C}$  ~  $350\text{ }^\circ\text{C}$  之间的低温区域(如在余热锅炉及电除尘器中)。在温度  $>850\text{ }^\circ\text{C}$  的焚烧室中, 污泥所含氯化物形成 HCl, 一旦烟气在锅炉中冷却, 部分 HCl 会根据 Deacon 反应(即在  $\text{CuCl}_2$  的催化下, HCl 与  $\text{O}_2$  反应生成  $\text{Cl}_2$ )转变成  $\text{Cl}_2$ 。虽然在低温( $<500\text{ }^\circ\text{C}$ )下该反应是动力学抑制的, 但其可由金属化合物(如  $\text{CuCl}_2$ )催化驱动。反应中生成的  $\text{Cl}_2$  有利于未燃尽有机化合物的氯化反应, 并致生成 PCDD/PCDF。二噁英及呋喃排放的一个重要因素是 S/Cl 比, 污泥 S/Cl 比一般为 7 ~ 10。根据  $\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$ , 较高的 S/Cl 比会抑制 PCDD/PCDF 的合成反应。因此, 考虑到污泥中较高的 S/Cl 比, 污泥焚烧中二噁英及呋喃的排放浓度通常非常低。

## 7.2 灰渣

金属会在细颗粒物上富集, 因此细颗粒物易有较高的金属浓度。由于该富集效应, 灰渣中的重金属含量通常有别于入炉污泥, 其毒性取决于存在形

式。炉渣主要含有不溶性硅酸盐、磷酸盐、硫酸盐及难溶性金属氧化物。

根据焚烧炉类型、灰渣质量不同,炉渣既可填埋,也可作建筑材料、水泥制品的填充剂及添加剂,具体处置方式将影响污泥焚烧成本。

考虑到一定类型的灰渣可能含有大量的磷及其他有价值的营养物及微量营养素,考虑回收,宜将其同其他废物区分。污泥灰因其较高的含磷浓度、有机物的完全焚毁及其较小的体积而非常适合于磷的回收。污泥独立焚烧中,磷及不挥发性重金属富集,污泥灰含有大约100%的污水处理所去除的磷量,含有10%~18%的高浓度含磷量。

污泥灰如今部分回收用于沥青或水泥行业,或者作为回填的填充料,而最大的比例仍是填埋。在污泥独立焚烧中,灰渣处置成本占了总成本的很大比例。

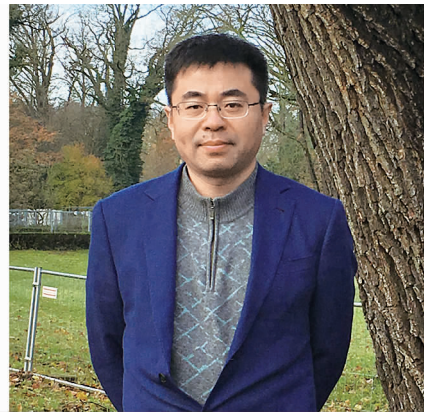
## 8 结语

德国1975年在Düren市投运了首座污水污泥单独焚烧厂。到2010年,德国建设了另外22座城镇及工业污泥的焚烧厂。除德国以外,比利时、荷兰、英国、奥地利及瑞士也采用了污泥单独焚烧。近年来,以大城市中心城区为代表污泥焚烧项目在我国的应用也越来越多。

污泥焚烧技术展现出独特的优点,可破坏全部有机质,杀死一切病原体,并最大限度地减少污泥体积。同时,污泥焚烧本身就是直接利用污泥有机热值的方式,利用自身热值对自身进行处理,体现了能源的循环利用和可持续的发展理念。鉴于污泥焚烧处理减量化和无害化的优点,其有可能成为污泥处理的主流工艺。

## 参考文献:

- [1] 胡维杰,孙晓,卢骏营. 上海白龙港片区污水处理厂污泥处理处置技术探讨[J]. 中国给水排水,2016,32(2):1-5.  
Hu Weijie, Sun Xiao, Lu Junying. Technical discussion on sludge treatment and disposal in WWTPs for Shanghai Bailonggang area[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(2):1-5 (in Chinese).
- [2] 许洲. 上海石洞口污水厂污泥处置系统的调试[J]. 中国给水排水,2005,21(12):98-99.  
Xu Zhou. Commissioning of sludge disposal system of Shanghai Shidongkou Municipal Wastewater Treatment Plant[J]. China Water & Wastewater, 2005, 21(12):98-99 (in Chinese).



作者简介:胡维杰(1972-),男,浙江慈溪人,大学本科,教授级高级工程师,注册设备(给水排水)工程师,注册咨询工程师,上海市政总院三院总工程师,研究方向为污水处理及污泥处理等。

E-mail: huweijie@smedi.com

收稿日期:2018-07-31

绿水青山就是金山银山