

# 污泥干化焚烧项目泥质分析研究

朱峰<sup>1</sup>, 丁冠文<sup>1</sup>, 刘泽庆<sup>2</sup>

<sup>1</sup>上海漾沁环境科技有限公司, 上海

<sup>2</sup>上海环境卫生工程设计院有限公司, 上海

收稿日期: 2023年3月20日; 录用日期: 2023年4月21日; 发布日期: 2023年4月28日

## 摘要

本研究以华东某污泥干化焚烧项目为依托, 对不同污泥来源进行组分、元素组成、热值等理化特性进行了为期半年的跟踪测试, 充分了解污泥的特性, 为污泥干化焚烧工艺调控、入炉前的污泥配伍比例提供了技术支持。

## 关键词

污泥干化焚烧, 污泥热值, 泥质分析

# Sludge Analysis of Sludge Drying and Incineration Projects

Feng Zhu<sup>1</sup>, Guanwen Ding<sup>1</sup>, Zeqing Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shanghai Yangqin Environmental Technology Co., Ltd., Shanghai

<sup>2</sup>Shanghai Environmental Sanitation Engineering Design Institute Co., Ltd., Shanghai

Received: Mar. 20<sup>th</sup>, 2023; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2023; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Based on a sludge drying and incineration project in East China, this study carried out a half-year follow-up test on the physical and chemical properties of different sludge sources, such as components, element composition, and calorific value. The analysis result provided technical support for the regulation of sludge drying and incineration process and the sludge matching ratio before entering the furnace.

文章引用: 朱峰, 丁冠文, 刘泽庆. 污泥干化焚烧项目泥质分析研究[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(2): 461-469.

DOI: 10.12677/aep.2023.132058

## Keywords

### Sludge Drying and Incineration, Sludge Calorific Value, Sludge Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

污泥处理方式主要有厌氧消化、干化填埋、干化焚烧等技术，其中污泥干化焚烧占地小、处理快速、处理量大，可最大程度地实现“减量化、资源化、无害化”，为国外发达国家所主要采用。同时国内发达城市已将该工艺作为主要处理方式，以《上海市城市总体规划(2017~2035年)》为例：污水设施服务人口 3000 万人，规划在延续六大区域分片处理格局的基础上，提出“5010”的总体布局，即规划 50 座城镇污水处理厂(含初期雨水处理厂)、10 座污泥处理厂。其中，石洞口、竹园、白龙港和杭州湾沿岸四大区域以集中处理为主，规划 9 座城镇污水处理厂、5 座污泥处理厂，污泥焚烧处理后建材利用。嘉定及黄浦江上游、崇明三岛区域采用属地化分散处理，规划 39 座城镇污水处理厂、5 座污泥处理厂，污泥焚烧处理后建材利用，崇明区等泥质较好的城镇污水处理厂污泥可采用好氧发酵后土地利用。污泥处理厂规划规模为 1.2 倍日均污泥量。保留现有污泥深度脱水处理设施作为应急保障。在老港综合填埋场控制土地用于飞灰、灰渣和污泥应急填埋。

污泥独立焚烧技术在国内处于起步阶段，仍在不断实践和优化的发展历程中。污泥干化焚烧可实现区域生活污水厂污泥(以下简称污泥)的无害化和减量化。然后，污泥泥质和产生量受到污水水质、污水处理多个工艺运行情况的影响，往往会产生较大的波动。因此，本研究以华东某污泥干化焚烧项目为依托，开展了长时间的污泥参数分析研究，旨在充分了解污泥的特性，为污泥干化焚烧工艺调控提供技术支持。

### 1.1. 项目基本情况

**Table 1.** Characteristics of designed sludge quality

**表 1.** 污泥设计泥质成分表

污泥热性核算		数值	单位
污泥干基高位热值	$Q_{net,gr}$	3300	kcal/kg
碳	$C_{ar}$	28.300	%
氢	$H_{ar}$	4.567	%
硫	$S_{ar}$	1.265	%
氧	$O_{ar}$	15.130	%
氮	$N_{ar}$	4.878	%
氯	$Cl_{ar}$	0.030	%
灰分	$A_{ar}$	45.830	%
水分	$H_2O$	0.000	%
合计	$\Sigma_{ar}$	100.000	%
可燃分	B	24.660	%

该污泥干化焚烧项目位于华东某市。含水率 80%的污泥干化(成分见表 1)焚烧生产线采用干化机进行间接干化,采用鼓泡流化床焚烧炉进行焚烧处理,配置余热锅炉,烟气净化采用“炉内脱硫 + SNCR (选择性非催化还原脱硝) + 静电除尘 + 小苏打干法脱酸 + 活性炭喷射 + 袋式除尘 + 湿法脱酸 + 烟气再热”的组合工艺进行烟气净化处理。

本项目进场污泥来自周边 10 余个污水处理厂,各污水厂的污泥进场总量、污泥成分都存在较大差异,因此需要梳理、调研不同污泥独立焚烧工程工艺特点,对青浦不同污泥来源进行组分、元素、热值和污染排放等理化特性分析,为后期建立基于热值及污染控制均衡原则的调配方案表,结合各来源产量及运输方式,提出配伍方案及最优污泥进厂调度方案,同时为干化焚烧优化调控研究提供基础。

## 1.2. 污泥干化焚烧处理目标

本工程污泥干化焚烧焚烧炉技术(见表 2)参照执行《生活垃圾焚烧大气污染物排放标准》[1] DB31/768-2013 参考《生活垃圾焚烧污染控制标准》GB18485-2014 的有关焚烧的技术指标要求:

**Table 2.** Technical figures of incinerator

**表 2.** 焚烧炉技术性能指标

序号	项目	指标	检验方法
1	炉膛(二次燃烧室内)任一点温度	≥850℃	在炉膛(二次燃烧室)前、中、后三断面分别布设三个以上热电偶测量
2	焚烧炉渣热灼减率	≤5%	HJ/T20
3	焚烧炉出口烟气中氧含量	6~12%	GB/T16157

## 1.3. 烟气处理目标

本工程烟气排放按地标《生活垃圾焚烧大气污染物排放标准》DB31/768-2013 并兼顾欧盟 2010 烟气排放限制标准(最终以环评批复为准)。本工程拟定的烟气污染物排放指标见表 3:

**Table 3.** Emission standards of flue gas pollutants

**表 3.** 烟气污染物排放指标

序号	污染物名称	单位	DB31/768-2013		EU2010/75/EC	本工程目标	
			1 小时均值	24 小时均值		1 小时均值	24 小时均值
1	颗粒物	mg/Nm <sup>3</sup>	20 (测定均值)		10	10	
2	HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	50	10	10	50	10
3	HF	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	1	1	
3	SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	100	50	50	100	50
4	NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	250	200	200	250	200
5	CO	mg/Nm <sup>3</sup>	100	50	50	100	50
6	Hg 及其化合物	mg/Nm <sup>3</sup>	0.05 (测定均值)		0.05 (测定均值)	0.05 (测定均值)	
7	Cd、Tl 及其化合物	mg/Nm <sup>3</sup>	0.05 (测定均值)		0.05 (测定均值)	0.05 (测定均值)	
8	锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物	mg/Nm <sup>3</sup>	0.5 (测定均值)		0.5 (测定均值)	0.5 (测定均值)	
9	烟气黑度	林格曼级	1		-	1	
10	二噁英类	ng TEQ/Nm <sup>3</sup>	0.1 (测定均值)		0.1 (测定均值)	0.1 (测定均值)	

#### 1.4. 污水处理目标

本工程出水纳管，主要排放指标见表 4。对于生活污水，生活污水纳管水质执行《污水排入城镇下水道水质标准》GB/T 31962-2015 [2]，污水量为 6 m<sup>3</sup>/d。生产废水经过处理后纳管，其中第一类污染物执行《污水综合排放标准》(DB31/199-2018) [3]中表 1 标准，其他污染物应分别达到《污水综合排放标准》(DB31/199-2018)表 2 中三级标准。

**Table 4.** Waste water discharge standards

**表 4.** 出水标准(单位 mg/L)

序号	污染物	标准值
1	pH	6~9
2	色度(稀释倍数)	64
3	溶解性总固体(TDS)	2000
4	悬浮物(SS)	400
5	五日生化需氧量(BOD <sub>5</sub> )	300
6	化学需氧量(COD <sub>Cr</sub> )	500
7	氨氮(NH <sub>3</sub> -N) b	45
8	总氮(TN)	70
9	总磷(TP)	8
10	硫化物(以 S 计)	1.0
11	氟化物(以 F 计)	20
12	总铜(以 Cu 计)	2.0
13	总锌(以 Zn 计)	5.0
14	总铁(以 Fe 计)	10
15	氯化物	800
16	总汞(以 Hg 计)	0.005
17	总镉(以 Cd 计)	0.01
18	总铬(以 Cr 计)	0.5
19	六价铬(以 Cr+6 计)	0.1
20	总砷(以 As 计)	0.05
21	总铅(以 Pb 计)	0.1
22	总镍(以 Ni 计)	0.1
23	总银(以 Ag 计)	0.1
24	总硒(以 Se 计)	0.1

#### 1.5. 臭气处理目标

臭气集中收集后，经过除臭装置处理后，15 m 高空排放，排放标准选用《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB31/1025-2016) [4]、《大气污染物综合排放标准》(DB31/933-2015) [5]以及《城镇污水处理厂大气污染物排放标准》(DB31/982-2016)三标准中最高要求，同时应执行非工业区有组织排放限值和周界监控

点污染物浓度限值，详见表 5。

**Table 5.** Odor pollutant perimeter and organized emission standards

**表 5.** 恶臭污染物周界及有组织排放标准一览表

序号	污染物指标	周界监控点限值		15 m 高空排放标准	
		单位	标准限值	允许排放浓度(mg/m <sup>3</sup> )	允许排放速率(kg/h)
1	氨	mg/m <sup>3</sup>	0.2	30	1.0
2	硫化氢	mg/m <sup>3</sup>	0.03	5	0.1
3	甲硫醇	mg/m <sup>3</sup>	0.002	0.5	0.01
4	甲硫醚	mg/m <sup>3</sup>	0.02	5	0.1
5	二甲二硫	mg/m <sup>3</sup>	0.04	5	0.26
6	二硫化碳	mg/m <sup>3</sup>	0.3	5	1
7	苯乙烯	mg/m <sup>3</sup>	0.7	15	1
8	乙苯	mg/m <sup>3</sup>	0.4	40	1.5
9	丙醛	mg/m <sup>3</sup>	0.08	20	0.3
10	正丁醛	mg/m <sup>3</sup>	0.06	20	0.2
11	正戊醛	mg/m <sup>3</sup>	0.04	20	0.2
12	甲基乙基酮	mg/m <sup>3</sup>	1.0	50	5
13	甲基异丁基酮	mg/m <sup>3</sup>	0.7	80	3
14	丙烯酸	mg/m <sup>3</sup>	0.11	20	0.5
15	丙烯酸甲酯	mg/m <sup>3</sup>	0.4	20	1
16	丙烯酸乙酯	mg/m <sup>3</sup>	0.4	20	1
17	甲基丙烯酸甲酯	mg/m <sup>3</sup>	0.2	20	0.6
18	一甲胺	mg/m <sup>3</sup>	0.03	5	0.11
19	二甲胺	mg/m <sup>3</sup>	0.04	5	0.15
20	三甲胺	mg/m <sup>3</sup>	0.05	5	0.2
21	乙酸乙酯	mg/m <sup>3</sup>		50	1
22	乙酸甲酯	mg/m <sup>3</sup>		50	1
23	臭气浓度	无量纲	10	600(无量纲)	

## 1.6. 燃气锅炉排放目标

本工程烟气排放满足上海地标《锅炉大气污染物排放标准》DB31/T 387-2018。本工程拟定的烟气污染物排放指标见表6:

**Table 6.** Boiler emission standards

**表 6.** 锅炉排放指标

锅炉类别	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物 (以 NO <sub>2</sub> 计)	烟气黑度 (林格曼黑度, 级)	监控位置
气态燃料锅炉	10	10	50	≤1	烟道或烟囱

## 2. 基础数据分析

### 2.1. 污泥量分析

经过分析发现，项目所在地十大污水处理厂总平均进泥量约为 5489.70 (设计值为 9000 t)，负荷为

61.0%。图 1 可知，二污厂污泥量最大，达到 46.42% (2548.25 t/月)，其次分别为华新和徐泾，分别占比 18.27% (1003.15 t/月)和 11.11% (609.65 t/月)。整体而言，除二污厂泥量有一定的波动，处于每月递增的阶段，其余厂污泥量均较为稳定。

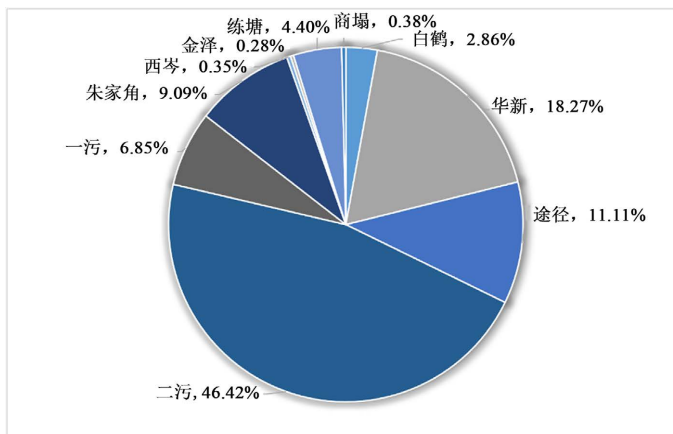


Figure 1. The average proportion of sludge from each plant  
图 1. 各厂月均污泥量占比

## 2.2. 泥质分析

由于前期二污厂污泥较为不稳定，因此每月均对其所有数值进行跟踪研究，其余污水厂根据计划进行泥质分析。根据计划，从 2023 年起，仅对二污厂污泥泥质进行送样检测。

### 2.2.1. 含水率

图 2 可知，根据加权计算(泥量占比)，总体的污泥加权含水率约为 77.80%，相比较与设计值(80%)，具有一定的差距。而且，每个厂的含水率均有不同的特性。含水率加权均值在设计值附近的为一污 (79.46%)，朱家角(80.40%)，金泽(80.55%)和西岑(79.83%)。华新和白鹤含水率低，分别为 76.35 和 74.42%，且数值区间大(25%~75%)，波动大。其余几个污水厂除金泽外，含水率较处于较低水平，且波动较小，对主工艺的影响较小。因此需要重点关注白鹤，金泽以及华新的含水率问题，确保严重低于设计或高于设计值的污泥不进入主工艺，避免造成不必要的损失和运营问题。

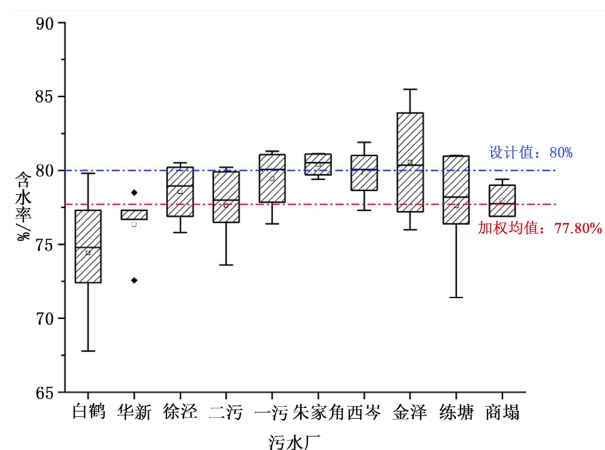


Figure 2. Moisture content of sludge from each plant  
图 2. 各厂污泥月均含水率

### 2.2.2. 热值

图 3 显示了各污泥的热值情况，整体污泥的热值处于较低水平，与设计值相差 23.59%。平均热值高于基准线为徐泾、二污、一污、西岑。热值最低为白鹤(7.96 MJ/kg)，其次为商塌(8.28 MJ/kg)，朱家角和西岑的污泥平均热值也比较差。此外，华新、练塘、白鹤的波动性较大。因此，就热值而言，需要重点关注白鹤、朱家角、金泽、商塌四个污水厂泥质情况。

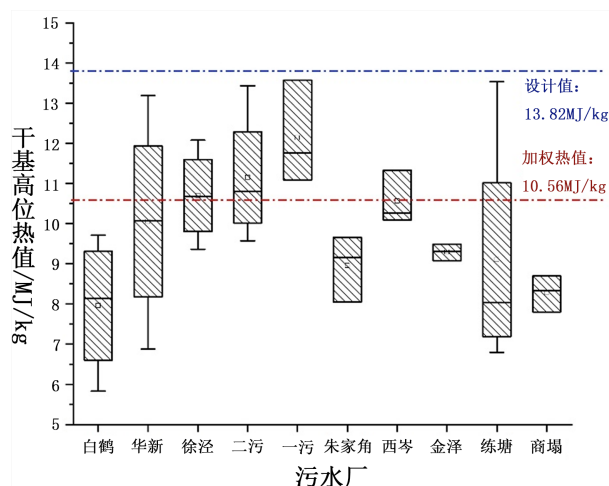
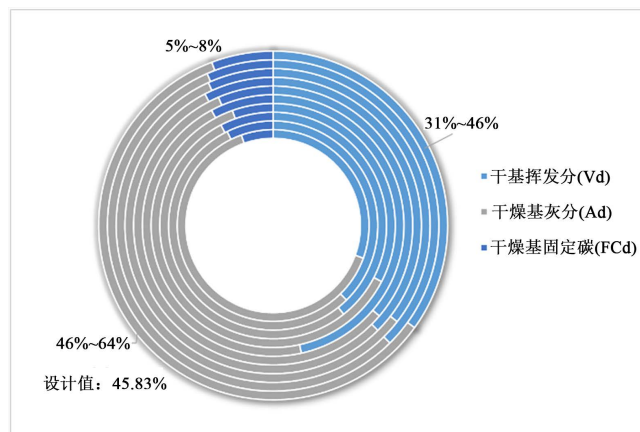


Figure 3. Calorific value of sludge from each plant  
图 3. 各厂污泥热值情况

### 2.2.3. 污泥组成

如图 4 所示，十个污水处理厂干基挥发分范围为 31%~46%，干基固定碳范围为 5%~8%，干燥基灰分为 46%~64%，较设计值而言(45.83%)，处于较高水平，这与污水厂水质参数具有重要联系。



注：由内到外为白鹤、华新、徐泾、二污、一污、朱家角、西岑、金泽、练塘、商塌

Figure 4. The ash content of sludge from each plant  
图 4. 污泥灰分含量情况

### 2.2.3. 元素分析

图 5 显示了污泥的元素组情况。各污水厂污泥的干基碳和干基氮的含量处于较低水平，其余数值较为正常。值得一提的是，一污厂的干基氯数值异常，达到 66.04 mg/kg，远高于设计值 0.03 mg/kg，需要

重点关注。

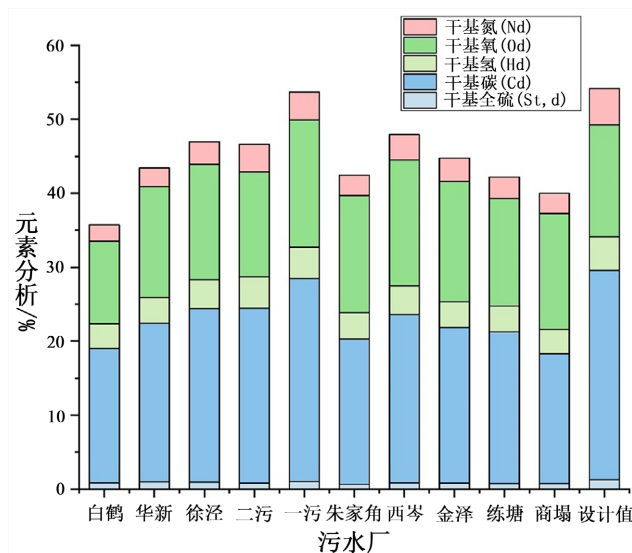


Figure 5. The elements analysis of sludge from each plant  
图 5. 污泥元素分析情况

Table 7. The composite analysis of sludge from each plant  
表 7. 污泥基础数据分析

	干基 高热 值	实际 吨泥 热值	蒸发水 耗能 (2.266)	剩余 热值	污泥量	加权 热值	热量 缺口	热量总 缺口	含水 率	加权 含水 率	水分 缺口	水分 总缺口
白鹤 <sup>1</sup>	7.96	2.04	1.69	0.35	156.76	10.57	-2.61	-409.35	74.42	77.80	-3.38	-530.56
华新 <sup>2</sup>	10.06	2.38	1.73	0.65	1003.15	10.57	-0.51	-515.43	76.35	77.80	-1.45	-1459.05
徐泾 <sup>3</sup>	10.70	2.30	1.78	0.52	609.65	10.57	0.13	79.98	78.55	77.80	0.74	452.68
二污 <sup>3</sup>	11.15	2.49	1.76	0.73	2548.25	10.57	0.58	1481.03	77.64	77.80	-0.16	-414.01
一污 <sup>3</sup>	12.14	2.49	1.80	0.69	376.20	10.57	1.57	589.83	79.46	77.80	1.66	623.56
朱家 角 <sup>1</sup>	8.96	1.76	1.82	-0.07	499.12	10.57	-1.61	-804.64	80.40	77.80	2.60	1295.22
西岑 <sup>2</sup>	10.56	2.13	1.81	0.32	18.96	10.57	-0.01	-0.10	79.83	77.80	2.02	38.34
金泽 <sup>2</sup>	9.29	1.81	1.83	-0.02	15.31	10.57	-1.28	-19.53	80.55	77.80	2.75	42.07
练塘 <sup>2</sup>	9.10	2.04	1.76	0.28	241.54	10.57	-1.47	-354.17	77.59	77.80	-0.21	-51.32
商塌 <sup>1</sup>	8.28	1.83	1.77	0.06	20.77	10.57	-2.29	-47.61	77.95	77.80	0.15	3.06

注：<sup>1</sup>劣质污泥，<sup>2</sup>中质污泥，<sup>3</sup>优质污泥。

### 3. 结论

本研究对不同污泥来源的组分、元素组成、热值等理化特性进行了为期半年的跟踪测试(表 7)，根据污泥的性质，对各厂的污泥优劣进行简单分析，结论如下：

(1) 经过分析发现，项目所在地十大污水处理厂总平均进泥量约为 5489.70 t(设计值为 9000 t)，负荷为 61.0%。二污厂污泥量最大，达到 46.42% (2548.25 t/月)，其次分别为华新和徐泾，分别占比 18.27% (1003.15 t/月)和 11.11% (609.65 t/月)。整体而言，除二污厂泥量有一定的波动，处于每月递增的阶段，其



余厂污泥量均较为稳定。

(2) 污泥加权平均含水率约为 77.80%，相比较与设计值(80%)，具有一定的差距。含水率加权均值在设计值附近的为一污(79.46%)，朱家角(80.40%)，金泽(80.55%)和西岑(79.83%)。华新和白鹤含水率低，分别为 76.35 和 74.42，且数值区间大(25%~75%)，波动大。其余几个污水厂除金泽外，含水率处于较低水平，且波动较小，对主工艺的影响较小。需要重点关注白鹤，金泽以及华新的含水率问题，确保严重低于设计或高于设计值的污泥不进入主工艺，避免造成不必要的损失和运营问题。

(3) 热值分析可知，整体污泥的热值处于较低水平，与设计值相差 23.59%。平均热值高于基准线的为徐泾、二污、一污、西岑。热值最低为白鹤(7.96 MJ/kg)，其次为商塌(8.28 MJ/kg)，朱家角和西岑的污泥平均热值也比较差。此外，华新、练塘、白鹤的波动性较大。因此，就热值而言，需要重点关注白鹤、朱家角、金泽、商塌四个污水厂泥质情况。

## 基金项目

本研究由上海环境集团股份有限公司“污泥干化独立焚烧关键技术优化及工程示范课题资助(A1HJ-HJY-0019-2021)”。

## 参考文献

- [1] 羌宁, 孙毅, 王向明, 孙焱婧, 刘涛, 陈檬. 生活垃圾焚烧大气污染物排放标准 DB31/768-2013 [S]. 上海: 同济大学出版社, 2013.
- [2] 王增义, 郑江, 徐心沛, 刘达克, 张华方, 杨彤, 范云慧, 白宇, 王岚, 李艺, 谢小青, 韩晓嫣, 孙玉利, 曹佳红, 刘静波, 戴兰华, 曹洪涛, 吴孟李, 弓凤莲, 李胜, 何洁, 黎艳, 郎晨, 曹爽, 高伟. 污水排入城镇下水道水质标准 GB/T 31962-2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [3] 陈漫漫, 叶建锋, 杨青, 康丽娟, 李丹, 曹勇, 张辉, 赵振, 宋召凤, 库英冰, 刘立坤. 污水综合排放标准 (DB31/199-2018) [S]. 上海: 同济大学出版社, 2018.
- [4] 修光利, 王芳芳, 陈晓婷, 宋钊, 刘红, 董威, 储燕萍, 徐建平, 何校初, 高松, 张钢锋, 王向明, 包景岭, 王亘, 胡晓峰, 顾鑫生, 赵梦飞. 恶臭(异味)污染物排放标准(DB31/1025-2016) [S]. 上海: 同济大学出版社, 2016.
- [5] 修光利, 宋钊, 刘红, 邬坚平, 纪建, 王芳芳, 李冰清, 王向明, 何效初, 应诚威, 李锦菊. 大气污染物综合排放标准(DB31/933-2015) [S]. 上海: 同济大学出版社, 2015.