

Application Analysis of Heat Pump in Waste Heat Heating

Xudong Sun

China Energy-Saving (Linyi) Environmental Protection Energy Co., LTD., Linyi Shandong
Email: 574917938@qq.com

Received: Sep. 24th, 2019; accepted: Oct. 11th, 2019; published: Oct. 18th, 2019

Abstract

Urban central heating is generally undertaken by cogeneration units and the hot water boilers are usually used as supplementary and peak shaving heat sources. Promoting clean heating in northern China in winter is an important strategic plan put forward by the central government because it is of great practical significance to ensure keeping the warm for the people and improving the atmospheric environment in winter. This project is a heating project for garbage power generation in which the heating area is a residential area. It extracts the waste heat from the cooling water of the process system of garbage power plant for heating, which can expand the heating area, reduce energy consumption, reduce heat waste and reduce pollution.

Keywords

Waste Incineration, Heat Pump Unit, Waste Heat Recovery, Clean Heating

热泵在垃圾发电余热供热中的应用分析

孙旭东

中节能(临沂)环保能源有限公司, 山东 临沂
Email: 574917938@qq.com

收稿日期: 2019年9月24日; 录用日期: 2019年10月11日; 发布日期: 2019年10月18日

摘要

城市集中供热一般由热电联产机组承担, 热水锅炉作为补充以及调峰热源。推进北方地区冬季清洁取暖是中央提出的一项重要战略部署, 对保障人民群众温暖过冬, 改善大气环境具有重要现实意义。本项目为某垃圾发电供暖项目, 供暖区域为居民小区, 提取垃圾发电厂工艺系统冷却水中的余热通过热泵机组

进行供暖,起到扩大供热面积、减少能源消耗、减少热量浪费、减小污染的效果。

关键词

垃圾焚烧, 热泵机组, 余热回收, 清洁供暖

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 研究背景

随着《中华人民共和国节约能源法》的出台,国家对提高电厂综合利用热效率的要求日趋加强,其中节能、环保、新能源、资源循环利用是最有效的途径之一。

推进北方地区冬季清洁取暖是中央提出的一项重要战略部署,对保障人民群众温暖过冬,改善大气环境具有重要现实意义。习近平总书记在2016年12月21日主持召开中央财经领导小组第十四次会议上,针对北方冬季清洁取暖,提出要尽可能多地利用清洁能源,宜气则气、宜电则电,是重大的民生工程、民心工程[1]。

生活垃圾通过高温焚烧后,转化成绿色电力并产生大量的余热余汽。电力在上网外售的同时,可以供自身和其他循环产业项目使用;余汽除了可以为循环产业链餐厨废弃物无害化处理项目、动物尸体无害化处理项目、厨余垃圾无害化处理项目、生物柴油生产中心等项目提供动力热源,余量还可以对周边工业负荷集中供汽,避免了各类项目动力热源重复建设带来的能源浪费和环保污染问题。此外,还有低品质热量,比如冷却塔冷却循环水热量、烟囱排烟热损失,针对垃圾发电低品质热量通过热泵机组进行余热综合利用的研究课题也就显得更加迫切。

本案例针对综合利用垃圾焚烧发电厂冷却循环水排放到冷却水塔热量,通过热泵技术进行余热供暖的研究,以达到合理利用能源、降低电厂能源消耗、提高电热效率、减少水资源浪费的目标,为环境的可持续发展做贡献。

2. 国内外垃圾发电供热情况

2.1. 国外垃圾发电供热情况[2]

欧盟国家中瑞典是垃圾焚烧比例最高的国家之一,生活垃圾中49%焚烧用于发电。而冬季垃圾焚烧中所产生的大量热能,通过供暖管道为城市居民供暖。据瑞典废弃物管理局的资料显示,垃圾焚烧满足25万家庭用电之需,同时提供约20%的城市供暖。例如哥德堡,全市约50%的暖气供应来自垃圾焚烧产生的余热,不但节省了供暖燃煤费用,降低了CO₂排放,还给垃圾焚烧处理找到了另外一条资源化的途径。

德国建于1968年有8条焚烧线,年处理生活垃圾52万吨,柏林市垃圾焚烧发电厂处理着柏林59%生活垃圾,除了向周围的工厂供电、供热,还可满足10万户家庭供电、3万户家庭供热需求。

奥地利维也纳,垃圾焚烧发电所产生的余热供热,经济效益远高于发电效益,不仅能够满足自身费用支出,还有大量盈利,形成了具有自我更新能力的一个良性循环。

2.2. 国内垃圾发电余热应用现状

1988 年我国第一座垃圾焚烧厂的深圳市政环卫综合处理厂建成并投产, 截止 2007 年我国已投产的垃圾焚烧发电厂 69 座[3], 2015 年焚烧厂 220 座, 焚烧处理能力 2.19×10^5 t/d [1], 采取焚烧进行垃圾处理成为我国主流, 垃圾焚烧电厂迅速发展。

住房和城乡建设部、发展改革委、国土资源部与环境保护部于 2016 年 10 月 22 日《关于进一步加强城市生活垃圾焚烧处理工作的意见(建城[2016] 227 号)》, 要求深刻认识城市生活垃圾焚烧处理工作的意义: 生活垃圾焚烧处理技术具有占地较省、减量效果明显、余热可以利用等特点, 在发达国家和地区得到广泛应用, 在我国也有近 30a 应用历史[1]。但是由于国内垃圾的特点, 垃圾焚烧难以控制, 居民采暖供热又是民生工程, 要求稳定性和连续性, 垃圾焚烧真正参与居民集中供热的并不很多, 随着垃圾稳定燃烧技术的发展, 余热综合利用已经提到了工作日程中。

2.3. 意义

余热属于二次能源, 指的是生产过程中释放出来的被排掉的多余的热量, 余热包括: 锅炉排放的烟气携带的余热, 冷却介质携带的余热, 冷凝水携带的余热, 锅炉排污水携带的余热, 化学反应余热, 高温产品携带的余热, 生产过程中的其他类型余热等[4]。本文仅从垃圾焚烧发电工艺系统冷却水中的余热通过热泵技术加热热网回水, 进行居民供热的应用研究, 为下一步开展实施垃圾发电厂中所有余热充分利用提供借鉴作用。充分利用二次能源, 减少能源消耗, 减少余热排放中对环境的污染, 提高能源利用率, 对推进我国节能减排具有重要意义。

3. 项目概况

结合临沂市某垃圾焚烧电厂具体实例进行系统方案分析。该公司 2007 年 7 月投入运营, 处理规模一期 800 吨/天、二期 700 吨/天、三期 1500 吨/天, 日处理能力合计 3000 吨, 逐渐发展成国内第一个企业型“城乡固体废弃物资源化循环利用产业园”, 包括生活垃圾、餐厨垃圾、污泥、厨余垃圾、动物尸体五个固废协同处置项目, 天然气提纯、生物柴油生产、工业用汽、沼气资源利用四个配套绿色能源输出项目, 循环经济综合利用已经实现闭环运行, 能源利用率比较完善。

3.1. 公司集中供热现状

生活垃圾通过高温焚烧后, 转化成绿色电力并产生大量的余热余汽。电力在上网外售的同时, 可以供自身和其他项目单元使用; 余汽在对外集中供热的时候, 可以为餐厨废弃物无害化处理项目、动物尸体无害化处理项目、厨余垃圾无害化处理项目、生物柴油生产中心提供动力热源, 避免了热源重复建设带来的能源浪费和环保污染问题。利用生活垃圾焚烧发电产生的余汽, 通过远程自动化集中控制向周边板材加工企业供汽, 目前已替代 140 多台燃煤小锅炉, 年可节约标煤 3 万吨, 减少 CO_2 排放量 6 万吨。在节能方面, 园区内不同处理设施之间的物料实现了资源的热能、电能、生物质能的高效率循环利用。

3.2. 居民需热情况

随着城市的发展, 城镇化的推进, 生活水平的不断提高, 该公司周围居民小区对供热需求日益强烈, 据粗略调查周边现有 20 万平米供热需求, 近期还会逐渐发展。

拟供暖的区域均为居民小区, 供热面积按建筑面积 10 万平米考虑, 建筑为六层居民楼, 末端采用暖气片, 非节能建筑。提取垃圾发电厂工艺系统冷却水中的余热进行供暖, 起到扩大供热面积, 减少能源消耗, 减少热量浪费, 减小污染的效果。

3.3. 系统设计依据

供暖系统根据现场实际情况，居民供热要求及所提供的参数如表 1:

Table 1. Outdoor design parameters

表 1. 室外设计参数表

	夏季	冬季
计算干球温度	33.5°C	-9°C
计算湿球温度	27.5°C	--
计算相对湿度	83%	62%

4. 系统方案分析

4.1. 设计思路

工艺方面测算依据：建筑面积 10 万平米，建筑为六层居民楼，末端采用暖气片，非节能建筑，每平方米按 60 瓦计算热量[5]，机房设置在垃圾发电厂内，电厂距离小区 1.3 公里，拟利用电厂余热源循环水进行供暖，余热源循环水入口温度 35°C 左右，蒸汽 0.5~0.8 Mpa，不太稳定，温度 260 度，利用热泵机组提取热网水余热，供给用户 60°C 以上热水进行冬季供暖。

4.2. 设计工况及系统选型

基于测算数据及当地气候条件，在保证使用效果及投资最优化的前提下：热负荷为 6000 KW，总制热量：6000 KW。根据热负荷需求，采用热泵机组。

4.2.1. 吸收式热泵机组设计工况

- 1) 供暖水侧(冷凝器)：进水温度 45°C，出水温度 60°C，水流量 345 m³/h。
- 2) 热源水侧(蒸发器)：进水温度为 35°C，出水温度为 30°C，水流量 605 m³/h。
- 3) 机组参数：单台制热量：6000 kW/台，蒸汽消耗量：3666 kg/h。
完全满足 60/45°C 制热量 6000 kw 的设计要求。

4.2.2. 配套设备

1) 供暖侧循环水泵：设置 2 台变频循环泵(一用一备)为吸收式机组和小区循环提供循环动力，水泵采用变频并根据对应主机的降载数据、供回水压差和进、出水温度进行变频调节。

供热循环水量：G = 345 m³/h

单台泵流量：G = 345 m³/h，扬程 H = 38 m，功率 N = 55 kw (暂定)

2) 补水水泵：设置两台补水泵(一用一备)为系统补水。

补水水量：G = 11.7 m³/h

单台泵流量：G = 11.7 m³/h，扬程 H = 44 m，功率 N = 4 kw (暂定)

3) 全程综合水处理器：设置全程综合水处理器一台为系统补水。全程综合水处理器是通过活性铁质滤膜，机械变径孔阻挡及电晕效应场高频电磁场四位一体的综合过滤体，吸附在实际运行工况下各种水系统已形成的硬度物质及复合垢，降低其浓度，达到控制污垢及大部分硬度垢的目的。

4.3. 系统图和流程图

系统图如图 1 所示：

吸收式热泵机组

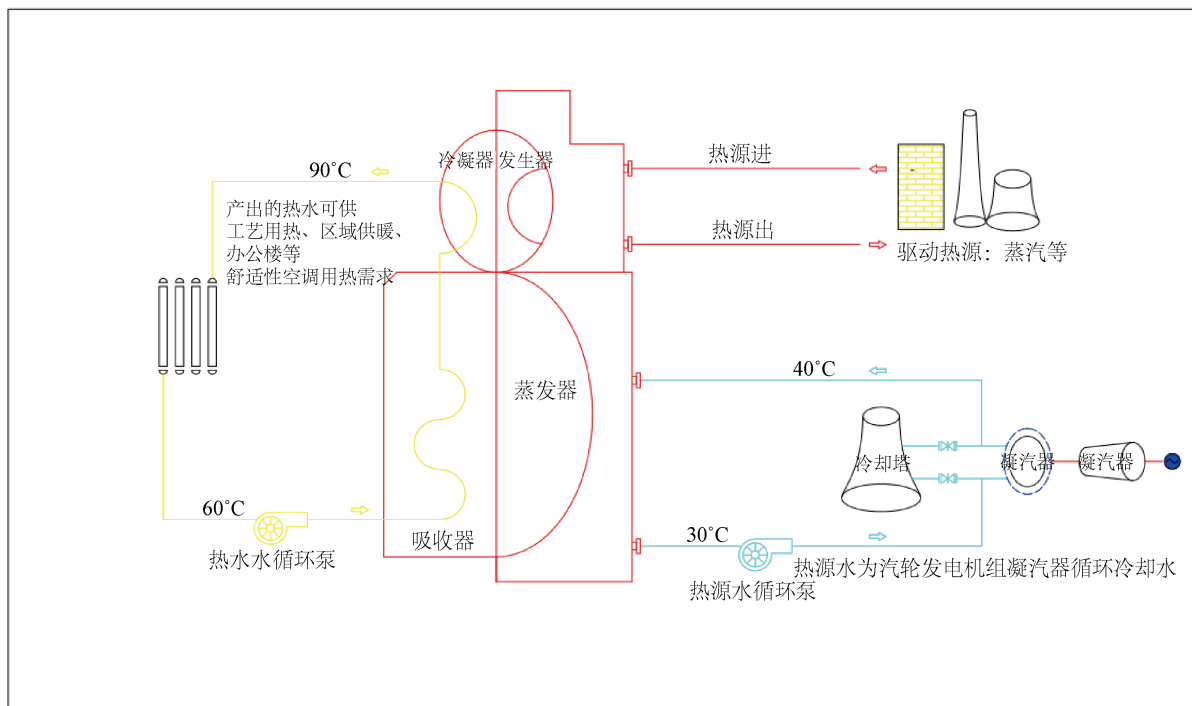


Figure 1. Absorption heat pump waste heat utilization system diagram
图 1. 吸收式热泵余热利用系统图

项目流程简图如图 2 所示:

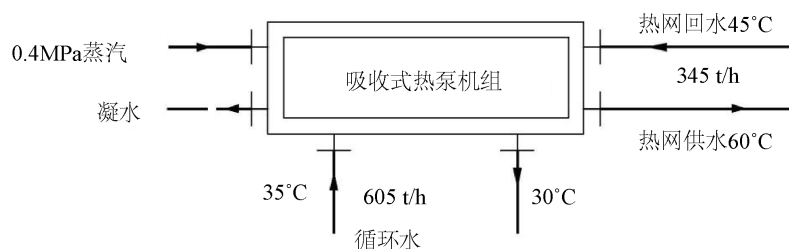


Figure 2. The process diagram
图 2. 流程简图

4.4. 系统流程概述

4.4.1. 蒸汽和疏水

驱动蒸汽取自垃圾发电厂采暖抽汽经减温器提供，调节系统由热泵系统配套蒸汽调节阀控制；在热泵内部进行热交换后，蒸汽凝结水输送至疏水箱中，然后经疏水泵送回到原凝水系统中。

驱动蒸汽到机组为 260°C 过热蒸汽，需经过减温装置降至饱和蒸汽或微过热蒸汽，过热度不超过 10°C。减温水取自热泵机组蒸汽凝结水系统，运行初期需对疏水系统的水箱中注入除盐水，以满足机组启动运行；

疏水装置采用集成采购产品，装置包括疏水泵、疏水水箱、管道和相关电器仪表，由配电室提供供电，疏水送至电厂凝水回收系统。

热泵设备自带凝水回收热交换器，使蒸汽凝水温度出口为 90℃。若凝水可以直接打回除氧器，可不配置凝水回收热交换器，凝水温度为对应蒸汽饱和温度。本方案按 90℃考虑。

当热网水或热源水中断，自动连锁关闭热泵蒸汽进汽阀，热泵系统自动退出运行。

4.4.2. 热网水管路系统

在热网回水母管开口，引出管路至热泵机房进入 1 台热泵机组，并在管路上设置电动阀，用于切断热泵系统热网水，回到原系统，由于电厂距离供热小区为 1 公里，管路在地下并且有保温装置，热量损失忽略不计。

4.4.3. 循环水管路系统

原有双曲线冷却塔冷却水(热泵循环水)总管上，进行管路改造，增加旁通管路旁通所需冷却水至热泵机组，经热泵机组降温后，进入冷却塔塔盆或部分上塔继续降温，部分进入塔盆(根据冷却水温度情况确定)。

4.5. 两种热泵设备性能参数

热泵既可以采用电驱动形式，也可以采用蒸汽驱动形式，两种形式原理类似，只是驱动能源不同[6]。见表 2 和表 3。

Table 2. Absorption unit performance parameters

表 2. 吸收式机组性能参数表

项目	单位	规格
设备机型	-	-
台数	-	1
放置场所/防爆类型	-	室内/非防爆
制热量	MW	6.0
热源水	进出口温度	35 → 30
	流量	m ³ /h
	水压损失	mH ₂ O
	水室承压	MPaG
热水	进出口温度	45 → 60
	流量	m ³ /h
	水压损失	mH ₂ O
	水室承压	MPaG
蒸汽	客户供给压力	MPaG
	蒸汽消耗量	kg/h

注：1. 热源水侧污垢系数：0.0001 m²h²C/kcal (0.086 m²k/kw)，热水侧污垢系数：0.0001 m²h²C/kcal (0.086 m²k/kw)，蒸汽过热度 ≤ 10℃；2. 热源水最低出口温度 5℃，热水入口温度最低 15℃；3. 标准情况下的制热量调节范围为 20%~100%；4. 热源水、热水水质执行 GB/T18431-2014 水质基准，供给蒸汽的水质执行 GB/T 1576-2008 水质基准。

Table 3. Centrifugal chiller performance parameters
表 3. 离心式冷水机组性能参数表

项目	单位	采暖
型号	-	RTGC15ACCCAD59
设置条件	-	室内非防爆
采暖量	kW	6000
满负荷 COP	kW/kW	5.466
制冷剂	-	R134a
机组能量调节范围	%	20~100
	种类	-
	进出口温度	°C
	流量	m ³ /h
蒸发器	水侧压力损失	kPa
	流程	-
	进出口管径	mm
	种类	-
	进出口温度	°C
	流量	m ³ /h
冷凝器	水压损失	kPa
	流程	-
	进出口管径	mm
	输入功率	kW
电动机	电压 × 频率	V/Hz
	启动方式	-
	单台外形尺寸 (长 × 宽 × 高)	mm
搬运重量	kg	20883
概略运转重量	kg	23750

注：1. 标准产品的水侧承压为 1.0 MPa，请确保冷水及冷却水流量为规定的流量。2. 蒸发器水侧污垢系数为 0.018 m²·K/kW。冷凝器水侧污垢系数为 0.044 m²·K/kW。

5. 经济效益分析

5.1. 投资估算

5.1.1. 热泵投资估算

方案一：采用吸收式热泵投资估算。见下表 4。

5.1.2. 管网投资估算

采用水源热泵技术，设计供热能力 20 万平米，近期按供热能力 10 万平米建设水源热泵机组，实现低温循环水供热，主管网管径 DN350 长约 500 米，DN300 长约 800 米，管网敷设至小区院墙处，管网投资约 254 万元。

Table 4. Investment estimation table of absorption heat pump unit
表 4. 吸收式热泵机组投资估算表(单位: 万元)

序号	设备名称	型号	数量	单价	合计	备注
1	吸收式热泵机组	RHP060M	1 台	220	220	
2	冷冻水循环泵	KQL200/345-55/4 G = 346 m ³ /h H = 38 m N = 55 KW	2 台	2.59	5.18	两用一备
3	补水泵	KQL50/185-4/2 G = 11.7 m ³ /h H = 44 m N = 4 KW	2 台	0.39	0.78	两用一备
4	全自动补水定压装置	NZGP-10 1.0 mpa	1 套	1.23	1.23	
5	补水水箱	2000 * 2000 * 2000	1 套	1.52	1.52	
6	全程水处理	QWQC-500-B	1 套	1.32	1.32	
7	水泵变频柜	PLC 集中智能控制	1 套	2.73	2.73	ABB
8	系统配电控制柜	KZG-100 kw	1 套	0.85	0.85	
9	彩钢机房	100 m ²	1 项	0.045	4.5	含地面
10	机房安装部分	机房内配电、材料、人工等	1 项	18.6	18.6	
	合计				256.71	

注: 不含外网建设部分。

方案二: 采用离心式热泵设备估算。见下表 5。

Table 5. Centrifugal heat pump investment estimation
表 5. 离心式热泵投资估算表(单位: 万元)

序号	设备名称	型号	数量	单价	合计	备注
1	离心式热泵机组	RTGC15ACCCAD5	1 台	232	232	
2	冷冻水循环泵	KQL200/345-55/4 G = 346 m ³ /h H = 38 m N = 55 KW	2 台	2.59	5.18	两用一备
3	补水泵	KQL50/185-4/2 G = 11.7 m ³ /h, H = 44 m N = 4 KW	2 台	0.39	0.78	两用一备
4	全自动补水定压装置	NZGP-10 1.0 mpa	1 套	1.23	1.23	
5	补水水箱	2000 * 2000 * 2000	1 套	1.52	1.52	
6	全程水处理	QWQC-500-B	1 套	1.32	1.32	
7	水泵变频柜	PLC 集中智能控制	1 套	2.73	2.73	ABB
8	系统配电控制柜	KZG-1152 kw	1 套	10.37	10.37	
9	彩钢机房	100 m ²	1 项	0.045	4.5	含地面
10	机房安装部分	机房内配电、材料、人工等	1 项	27.5	27.5	
11	合计				287.13 万元	

注: 1. 不含外网部分; 2. 采用的离心机组为 10kv 高电压机组, 不需要再增加变压器费用。不含高压电的主电缆费用。

5.2. 系统运行费用测算

运行方案应该充分考虑节省投资和保障该项目采暖运行过程的要求。热泵机组按照设计进行装配, 具体参数如下:

5.2.1. 计算依据

- 1) 运行时间: 冬季供暖 130 天, 每天运行 16 小时;
- 2) 年运行系数: 0.7 (查《实用供热空调设计手册》在一年中由于室外温度及气候条件的阶段性变化, 末端系统负荷随之调节变化);
- 3) 同时使用率(冬季): 0.79;
- 4) 离心式热泵机组的输入功率为 1097.87 kw, 电价: 0.65 元/kw;
- 5) 吸收式热泵机组蒸汽的消耗量为 3.666 t/h, 蒸汽价格: 120 元/t;
- 6) 计算公式: 运行费用 = 额定功率(耗气量) × 设备运行台数 × 每天运行时间 × 运行天数 × 全年平均负荷系数 × 开机系数 × 电价(蒸汽价)。

5.2.2. 运行费用测算

方案一: 吸收式热泵机组冬季供暖费用

1 台 × 3.666 t/h × 16 小时 × 130 天 × 0.7 × 120 元/t = 64 万元;

方案二: 离心式热泵机组冬季供暖费用

1 台 × 1097.87 kw × 16 小时 × 130 天 × 0.7 × 0.65 元/kw = 103.9 万元;

通过两种方案运行成本对比分析, 吸收式热泵运行成本远远低于离心式热泵机组, 因此, 采用吸收式热泵机组进行余热供热。

5.2.3. 运行效益分析

按临沂市供热收费标准, 供暖价格居民为 23 元/平米(按套内建筑面积计算), 则, 一个采暖季 10 万平米居民小区供暖率按 70%估算可收取热费: 23 元/平米 × 10 万平米 × 0.7 × 0.85 = 136.85 万元

年折旧费用(256.71 + 254)/15 = 34 万元(15 年折旧)

一个采暖季利用吸收式热泵机组进行余热供热经济效益为 136.85 - 64 - 34 = 38.85 万元

综上, 垃圾焚烧发电厂采用溴化锂吸收式热泵进行余热供热较为经济。主要优点是: 溴化锂吸收式热泵机组不消耗电能, 安装简单, 造价相对离心机组要节省, 具有运行稳定, 故障率低, 维护费用低等优点。

6. 结论

该案例是基于垃圾焚烧发电厂热源供热挖潜的实际应用, 采用吸收式热泵回收电厂冷却循环水释放到冷却水塔的热量, 将这部分余热通过吸收式热泵加以利用, 降低了热电厂能源消耗, 提高电厂热效率, 合理利用了能源, 而且还能减少冷却水塔由于蒸发、风吹等带来的水损失, 减少水资源浪费。

从能源综合利用和节能环保的层面上来讲, 充分利用余热供热是非常必要的。我国发改委、住建部[2015] 2491 号《余热暖民工程实施方案》也明确提出实施余热暖民, 可降低供热成本, 提高能源利用率, 减少煤炭消耗和污染物排放, 是重要的民生工程[6]。该案例符合《临沂市冬季清洁取暖专项规划(2018~2022)》规划思路: 保持现有热源规模, 充分挖掘供热潜力, 在不增容基础上扩大供热范围。

参考文献

- [1] 徐海云. 2016 年城市生活垃圾处理发展综述[J]. 环境卫生工程, 2017, 25(增刊 1): 1-4.
- [2] 世界地球日/废旧物品制作创意垃圾箱. 中国再生资源网. <http://www.cnzszyw.com/news/show.php?itemid=567>, 2018-05-11.
- [3] 张益, 赵由才. 生活垃圾焚烧技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 37-54.
- [4] 张莉莉. 生活垃圾焚烧发电厂低温烟气余热发电(有机朗肯循环)技术研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力

大学(北京).

- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇供热管网设计规范.CJJ34-2010 [S]. 北京: 中国工业建筑出版社, 2010.
- [6] 赵慧中, 赵欣刚. 热电厂余热利用技术综述及工程实例[J]. 煤气与热力, 2018, 38(7): 1-5.