



工程设计甲级证书  
证书编号：A144006887  
工程咨询甲级证书  
证书编号：22320070022

汕头市潮阳区生活垃圾  
焚烧发电厂BOT项目

# 可行性研究报告

中国轻工业广州工程有限公司

二〇一七年一月



**中国轻工业广州工程有限公司**  
**China GDE Engineering CO.,LTD.**

地址: 广州市番禺区63号清华科技园9号楼  
电话:86-20-81326513  
E-mail:gzgs@gdecn.com

邮编: 511447  
传真:86-20-81325759  
网址:www.gdecn.com

# 可行性研究报告

项目名称：汕头市区潮阳区生活垃圾  
焚烧发电厂 BOT 项目

法定代表人：陈荣荣

技术总负责人：许林

项目负责人：吴亮



中国轻工业广州工程有限公司  
China GDE Engineering CO.,LTD.

二〇一七年一月

主要编制人员：

姓名	专 业	章节
王泉河	工艺/热力	第 1~14 章
徐 芬	总图/建筑	第 1、5、8 章
周一红	结构	第 1、5 章
许国辉	给排水	第 1、5、6、8、9 章
申粤永	电气	第 1、5、8 章
刘付玲	自控	第 1、5、8 章
聂江平	空调	第 1、5、8 章
张 婷	技经	第 1、12、13 章

汇编：王泉河

审稿：吴 亮



中国轻工业广州工程有限公司  
China GDE Engineering CO.,LTD.

二〇一七年一月

## 目 录

<b>第 1 章</b>	<b>概 述.....</b>	<b>1</b>
1.1	项目基本情况.....	1
1.2	编制依据.....	1
1.3	编制范围.....	3
1.4	规范标准.....	3
1.5	建设背景.....	5
1.6	项目主要技术指标.....	16
1.7	运行消耗指标.....	17
1.8	主要研究结论.....	17
1.9	建议.....	18
<b>第 2 章</b>	<b>生活垃圾概况及建设规模.....</b>	<b>20</b>
2.1	项目服务区域.....	20
2.2	服务区生活垃圾清运现状及产量预测.....	20
2.3	垃圾特性分析.....	24
2.4	项目建设规模.....	25
<b>第 3 章</b>	<b>厂址概述.....</b>	<b>26</b>
3.1	厂址的选择.....	26
3.2	厂址概况及建厂条件.....	27
<b>第 4 章</b>	<b>工艺方案论证.....</b>	<b>29</b>
4.1	垃圾处理方法的选择.....	29
4.2	焚烧炉型比较及选择.....	35
4.3	焚烧生产线的配置.....	46
4.4	垃圾设计热值确定.....	48
4.5	余热锅炉蒸汽参数的确定.....	51
4.6	汽轮发电机组配置的确定.....	52
4.7	烟气净化工艺方案.....	54
4.8	垃圾渗沥液处理方案.....	63
<b>第 5 章</b>	<b>工程技术方案.....</b>	<b>70</b>

---

5.1	垃圾处理工艺流程.....	70
5.2	总平面布置.....	71
5.3	燃料接收、贮存及输送系统.....	75
5.4	燃烧系统.....	83
5.5	热力系统.....	87
5.6	烟气净化系统.....	92
5.7	飞灰及炉渣处理系统.....	105
5.8	锅炉给水处理系统.....	112
5.9	除臭系统.....	114
5.10	压缩空气系统.....	117
5.11	给水排水工程.....	118
5.12	电气系统.....	135
5.13	自动控制系统.....	142
5.14	建筑结构.....	145
5.15	通风空调.....	153
5.16	二期工程预留.....	158
5.17	主要设备清单.....	158
<b>第 6 章</b>	<b>环境保护方案.....</b>	<b>160</b>
6.1	环境现状.....	160
6.2	环境保护标准.....	160
6.3	污染物及治理措施.....	165
6.4	污染物年排放量.....	173
6.5	环境管理.....	174
6.6	环境保护设施投资估算.....	175
<b>第 7 章</b>	<b>劳动安全卫生.....</b>	<b>177</b>
7.1	设计依据.....	177
7.2	生产过程中职业危险及危害因素的分析.....	177
7.3	防范措施.....	178
7.4	劳动卫生措施.....	180
7.5	安全卫生机构.....	181

---

---

7.6	应急措施 .....	181
7.7	预期效果 .....	182
<b>第 8 章</b>	<b>消 防 .....</b>	<b>183</b>
8.1	设计原则及依据 .....	183
8.2	设计范围 .....	184
8.3	总平面消防 .....	184
8.4	建筑消防 .....	184
8.5	消防灭火系统和灭火设施 .....	184
8.6	火灾自动报警系统 .....	189
8.7	防烟及排烟系统 .....	190
8.8	消防电力 .....	190
<b>第 9 章</b>	<b>节约能源 .....</b>	<b>192</b>
9.1	用能标准和节能规范 .....	192
9.2	能耗状况和能耗指标分析 .....	194
9.3	能源管理 .....	194
9.4	节能管理机构及人员配备 .....	195
9.5	生产节能措施 .....	195
9.6	节约用水措施 .....	196
9.7	建筑节能 .....	197
9.8	效益评价 .....	197
<b>第 10 章</b>	<b>机构组织与劳动定员 .....</b>	<b>199</b>
10.1	组织机构 .....	199
10.2	工作制度及劳动定员 .....	199
10.3	人员组成和培训 .....	200
<b>第 11 章</b>	<b>工程实施条件和进度安排 .....</b>	<b>201</b>
11.1	工程实施条件 .....	201
11.2	进度安排 .....	201
<b>第 12 章</b>	<b>投资估算 .....</b>	<b>203</b>
12.1	工程概况 .....	203
12.2	投资估算表 .....	204

---

---

<b>第 13 章</b>	<b>财务评价.....</b>	<b>209</b>
13.1	资金筹措.....	209
13.2	财务预测分析.....	209
13.3	初步财务评价.....	213
13.4	项目财务分析表格.....	213
<b>第 14 章</b>	<b>结论与建议.....</b>	<b>238</b>
14.1	结论.....	238
14.2	建议.....	239

## 附 图

- 附图1 总平面布置图；
- 附图2 全厂燃烧系统图；
- 附图3 全厂热力系统图；
- 附图4 物料平衡图；
- 附图5 能量平衡图；
- 附图6 设备冷却水系统图；
- 附图7 全厂压缩空气系统图；
- 附图8 辅助燃油系统图；
- 附图9 化学水处理系统图；
- 附图10 水量平衡图；
- 附图11 厂区消防灭火系统原理图；
- 附图12 供水系统原理图；
- 附图13 电气主接线图；
- 附图14 DCS 系统配置图；
- 附图15 主厂房设备布置图±0.000m 层；
- 附图16 主厂房设备布置图 7.000m 层；
- 附图17 主厂房设备布置剖面图。

# 第1章 概 述

## 1.1 项目基本情况

### 1.1.1 项目概况

**项目名称：**汕头市潮阳区生活垃圾焚烧发电厂 BOT 项目

**项目性质：**新建项目

**项目总规模：**日处理生活垃圾 2250 吨，分两期建设

**本期规模（本期）：**日处理生活垃圾 1500 吨，配置 2×750t/d 机械炉排炉+1×35MW 凝汽式汽轮机组+1×35MW 发电机组

**后期预留（二期）：**预留二期 750t/d 处理规模的设备安装基础。主厂房及附屋、渗沥液处理站的土建工程以及公用设施在本期工程中一次性建成。

**拟建地点：**汕头市潮阳区和平镇竹棚医院旧址

### 1.1.2 项目筹建单位

**单位名称：**潮阳区城市综合管理局

### 1.1.3 项目投资建设运营模式

本项目采用特许经营权 BOT 模式投资建设，特许经营期共 30 年（含建设期）。投资主体从垃圾处理费和垃圾焚烧余热发电上网售电等方面获取收益。

## 1.2 编制依据

### 1.2.1 编制依据

- 1) 《中华人民共和国环境保护法》，2014 年 4 月 25 日；
- 2) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2005 年 4 月 1 日；
- 3) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2015 年修订版；
- 4) 《中华人民共和国可再生能源法》，2006 年 1 月 1 日；
- 5) 《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》（建城[2000]120 号）；
- 6) 关于印发《国家鼓励的资源综合利用认定管理办法》的通知（发改环资[2006]1864 号）；

- 7) 《当前国家重点鼓励发展的产业、产品和技术目录》中第 27 条“环境保护和资源综合利用”之第 4 款“废弃物综合利用”政策;
- 8) 《关于进一步开展资源综合利用意见的通知》(国发[1996]36 号);
- 9) 国家发展改革委关于印发《可再生能源产业发展指导目录》的通知(发改能源[2005]2517 号);
- 10) 国家发展改革委关于印发《可再生能源发电有关管理规定》的通知(发改能源[2006]13 号);
- 11) 国家计委、财政部、建设部、环保总局《关于实行城市生活垃圾处理收费制度促进垃圾处理产业化的通知》(计价格[2002]872 号);
- 12) 《“十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》(征求意见稿);
- 13) 国家发改委《关于完善垃圾焚烧发电价格政策的通知》(发改价格[2012]801 号, 2012 年 3 月 28 日);
- 14) 财政部、国家税务总局《关于企业所得税若干优惠政策的通知》(财税字[1994]001 号);
- 15) 环境保护部、国家发展和改革委员会、国家能源局《关于进一步加强生物质发电项目环境影响评价管理工作的通知》环发[2008]82 号;
- 16) 《工程建设标准强制性条文》(城市建设部分)(建标[2000]202 号);
- 17) 《城市环境卫生质量标准》;
- 18) 《建设项目环境保护管理办法》;
- 19) 欧盟 2000/76/EC。

### 1.2.2 编制原则

- 1) 在满足汕头市潮阳区城市总体规划要求的前提下, 按照生活垃圾处理减量化、资源化、无害化和产业化的原则, 建成满足城乡兼顾、布局合理、技术先进、资源得到有效利用的现代化生活垃圾处理厂。
- 2) 采用高标准、先进和现代化的建设管理原则。
- 3) 注重环保和资源再生循环原则。
- 4) 执行投资合理, 运行成本经济节约和实用的原则, 注重规模效应和循环经济效益。
- 5) 在实事求是的基础之上, 提供客观合理的建议, 以供企业正确决策。

### 1.3 编制范围

调查研究项目服务区城市垃圾产生源、数量和特性以及收集转运输系统情况，并根据服务区城市发展、国民经济发展和人口规划，预测城市垃圾产生量及特性，确定垃圾处理厂的规模。

按照《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》、《生活垃圾焚烧污染控制标准》、《生活垃圾填埋场污染控制标准》等标准规范的厂址选址原则，根据项目情况提出厂址选择要求，推荐厂址选择意见。

依据城市垃圾的特性和服务区国民经济发展要求，按照服务区生活垃圾的实际情况，对垃圾处理处置方式进行比选和推荐，为企业决策提供依据。

本报告着重研究下列内容：

- 1) 厂址选择、建设规模。
- 2) 焚烧厂工艺技术选择，包括：
  - a) 焚烧工艺技术及流程；
  - b) 机炉配置方案；
  - c) 焚烧炉型比选，推荐本工程最适宜的炉型；
  - d) 烟气净化工艺选择，确保所选用的工艺方案及设备先进、可靠，处理后烟气中污染物指标达到排放标准。
- 3) 拟定工程设计方案。
- 4) 根据拟定的工程设计方案，对环境保护、劳动安全卫生、节能措施等进行评价。
- 5) 分析论证本工程项目的社会效益、环境效益、经济效益并进行投资估算等。

### 1.4 规范标准

本项目执行的有关的主要法规和标准如下：

- 1) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中华人民共和国主席令第三十一号
- 2) 《中华人民共和国大气污染防治法》2015 年修订版
- 3) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》中华人民共和国主席令第七十七号
- 4) 《生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准》建标[2010]142 号
- 5) 《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》建标[2000]120 号

- 
- 6) 《城市生活垃圾处理和给水与污水处理工程项目建设用地指标》建标[2005]157号
- 7) 《生活垃圾焚烧处理工程技术规程》 CJJ90-2009
- 8) 《生活垃圾焚烧炉和余热锅炉》 GB/T18750-2008
- 9) 《环境空气质量标准》 GB3095-1996
- 10) 《声环境质量标准》 GB3096-2008
- 11) 《危险废物鉴别标准》 GB5085-2007
- 12) 《污水综合排放标准》 GB8978-1996
- 13) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》 GB12348-2008
- 14) 《恶臭污染物排放标准》 GB14554-1993
- 15) 《大气污染物综合排放标准》 GB16297-1996
- 16) 《生活垃圾填埋污染控制标准》 GB16889-2008
- 17) 《生活垃圾焚烧污染控制标准》 GB18485-2014
- 18) 《城镇污水处理厂污染物排放标准》 GB18918-2002
- 19) 《建筑地基基础设计规范》 GB50007-2011
- 20) 《建筑结构荷载规范》 GB50009-2012
- 21) 《混凝土结构设计规范》 GB50010-2010
- 22) 《建筑抗震设计规范》 GB50011-2010
- 23) 《室外排水设计规范》 GB50014-2006(2014 版)
- 24) 《建筑设计防火规范》 GB50016-2014
- 25) 《采暖通风与空气调节设计规范》 GB50019-2003
- 26) 《建筑采光设计标准》 GB50033-2013
- 27) 《建筑照明设计标准》 GB50034-2013
- 28) 《建筑地面设计规范》 GB50037-2013
- 29) 《工业建筑防腐蚀设计规范》 GB50046-2008
- 30) 《公共建筑节能设计标准》 GB 50189-2015
- 31) 《无障碍设计规范》 GB 50763-2012
- 32) 《民用建筑设计通则》 GB 50352-2005
- 33) 《小型火力发电厂设计规范》 GB50049-2011
- 34) 《3~110kV 高压配电装置设计规范》 GB50060-2008
-

---

35) 《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》	GB50062-2008
36) 《自动化仪表工程施工及验收规范》	GB50093-2002
37) 《电力装置的电气测量仪表装置设计规范》	GB50063-2008
38) 《电力工程电缆设计规范》	GB50217-2007
39) 《电力设施抗震设计规范》	GB 50260-2013
40) 《火力发电厂建筑设计规程》	DLT 5094-2012
41) 《火力发电厂与变电站设计防火规范》	GB 50229-2006
42) 《城市电力规划规范》	GB / T 50293-2014
43) 《建筑内部装修设计防火规范》	GB50222-2011
44) 《工业企业噪声控制设计规范》	GB/T50087-2013
45) 《工业企业设计卫生标准》	GBZ1-2010
46) 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》	DL/T620-1997
47) 《交流电气装置的接地设计规范》	GB50065-2011
48) 《火力发电厂热工控制系统设计技术规定》	DL/T 5175-2003

## 1.5 建设背景

### 1.5.1 潮阳区概况

#### 1.5.1.1 地理位置

潮阳区，汕头市市辖区，位于广东省东南部、汕头市西南部，地处北纬 23° 03' ~23° 31' ，东经 116° 14' ~116° 40' 东南濒临南海，西接普宁市，南邻潮南区，北隔榕江与揭东相望。



图 1-1 潮阳区区位图

### 1.5.1.2 气象特征

潮阳属南亚热带季风气候，海洋性气候明显，夏无酷暑，冬无严寒，光照充足，雨量充沛，四季常青。年平均气温 21.6℃，历年极端最低气温 1.6℃(1991 年 12 月 29 日)，历年极端最高气温 38℃(1962 年 8 月 1 日)。

风向随季节变换明显。冬半年多吹东北到东风，夏半年多吹东南到西南风。年平均风速 3.2m/s，历年最大风速 31m/s（1993 年 9 月 15 日），瞬间极大风速 40m/s（1969 年 7 月 28 日）。

全年无霜期 360 天以上，多年平均降雨量 1679mm，一日最大降雨量 396.4mm，连续七日最大降雨量 532.3mm。

### 1.5.1.3 水文

阳区水资源总量 15.79 亿 m<sup>3</sup>，由地表水和地下水二部分组成。地表水径流量颁布受地形、土壤、植被等因素影响由西南向北递减，年均径流量 908mm，径流深 700-1400mm，径流总量 11.89 亿 m<sup>3</sup> (丰水年 18.47 亿 m<sup>3</sup>，枯水年 3.62 亿 m<sup>3</sup>)。其中练江、榕江等主要河流过境水 2.58 亿 m<sup>3</sup> (丰水年 3.62 亿 m<sup>3</sup>，枯水年 1.87 亿 m<sup>3</sup>)。

地下水资源总量 3.9 亿 m<sup>3</sup>，其中可供利用的地下水 0.82 亿 m<sup>3</sup>。据地质钻探普查，

练江、榕江平原为第四纪断陷盆地沉积丰富的潜水及承压水靠自然降水垂直注入补给。

潮阳区境内的河流水系主要为榕江水系和练江水系。潮阳区的主要水系，除雷岭河为龙江上游二级支流，流入惠来县外，练江、榕江均属过境过流。

榕江水系发源于陆丰百花园，全长 175km，集水面积 4408km<sup>2</sup>。干流南河在揭阳双溪咀与发源于丰顺县的榕江支流北河汇合为榕江，由北而南流经潮阳区，在潮阳区境内河段长 60km，面积 334.21km<sup>2</sup>，在关埠注入牛田洋，经汕头港后流入南海，榕江在未进入汕头市境内已溶入感潮河段。

练江发源于普宁大南山五峰尖西南麓杨梅坪的白水石祭，大小支流 17 条，由南北汇入干流，流域地幅形如葵扇，洪水汇合时间相若。练江河道弯曲如练，原长 99km，经裁弯取直，现长 72km，河流比降由 0.77%变为 0.89%，流域面积 1354km<sup>2</sup>（其中平原面积 685km<sup>2</sup>），是粤东沿海独流入海的河流之一。在潮阳、潮南两区境内支流 12 条，经潮阳、潮南两区境内流幅面积 838.5km<sup>2</sup>，其中山地丘陵面积 350.69km<sup>2</sup>，平原面积 464.05km<sup>2</sup>，海岸沙丘面积 23.77km<sup>2</sup>。中下游河流短浅，水源不足，分支流繁多，分布均匀，流向多与主流垂直。各支流汇流时间相若，形成洪流集中，沿江地势低洼，中游部分地区低于下游，主流石港山至和平桥长 20km，落差仅 0.50m，田面高程与一般潮水位相当，雨季洪流集中，上游和南北山系洪水倾入江，下游潮水顶托，排洪困难。冬春水流枯竭，台风季节咸潮上袭。

达濠最南端是广澳湾，位于企望湾东侧，潮汐基本与汕头湾一样属不规则半日潮，潮汐不等现象明显，平均潮位为 1.22m（榕基），平均潮差 0.84m。广澳湾内潮流流速最小，但湾区以风浪为主，波浪可达 4.6m。湾内以东岸波浪最小，属波浪遮蔽带。广澳湾没有河流注入，故泥沙淤积轻微，海岸比较稳定，回淤量小。

#### 1.5.1.4 地形地貌

潮阳区地处榕江下游三角洲，全区陆域总面积 674.67km<sup>2</sup>，水资源计算面积 667.6km<sup>2</sup>。境内河流纵布，港湾众多，主要河流有榕江、练江。

潮阳区为沿海丘陵—平原地区，地势自西北向东南倾斜，南隔练江与潮南区相望，练江自西向东横亘，形成练江平原。北有小北山，小北山东北侧为榕江平原。北部山区较低，在海拔 200m 以下，属中丘地带。东部沿海为北山余脉，多岗地、台地，属低丘地带。

全区森林覆盖率为 30.2%。潮阳区由于地处亚热带，高温多雨，土壤侵蚀严重，以

及大量开山采石等原因，造成一些新的水土流失。在区党政领导的重视下，经过近年来封山育林和水土保持工作，采取有效措施，遏制不合理的开采，并关闭部分开山采石场和做好绿化工作，水土流失面积有所减少。

### 1.5.1.5 经济概况及城市建设

#### 1. 经济综合实力

根据《2016 年潮阳区政府工作报告》，潮阳区 2015 年实现地区生产总值 317.05 亿元，增长 10.1%；工业总产值 852.35 亿元，增长 11.3%；固定资产投资总额 300.82 亿元，增长 34.1%。完成规模以上工业总产值 706.3 亿元，增长 13.6%，实现农业总产值 42.1 亿元，增长 4.2%，完成第三产业增加值 97.48 亿元，增长 11.3%。

2010 年到 2015 年，地区生产总值从 177.02 亿元发展到 317.05 亿元，年均增长 11.5%（不含华能）；工业总产值从 417.37 亿元发展到 852.35 亿元，年均增长 16%；固定资产投资总额从 58.72 亿元发展到 300.82 亿元，年均增长 49.2%；公共财政预算收入从 8.7 亿元发展到 21.15 亿元，年均增长 19.4%，五年实现翻番。2012 年至 2014 年连续三年，全区各项主要经济指标综合增速名列汕头市第一名。

#### 2. 经济结构

潮阳区产业园区集聚效应凸显，省产业转移园区海门片区、贵屿循环经济产业园区、和平科技工业园的规划建设积极推进，高新技术产业工业产值占工业总产值的比重不断提升，三次产业结构由 2010 年的 8.22: 60.97: 30.81 调整为 2015 年的 7.34: 61.92: 30.74。

1) 工业：2015 年完成规模以上工业产值达到 706.3 亿元，年均增长 17.9%。特色产业层次不断提升，“四大产业”实现产值均有较大幅度增长，其中纺织服装业实现产值 324.79 亿元，年均增长 20.51%、塑料制品业实现产值 216.22 亿元，年均增长 21.8%、纸品文具业实现产值 26.68 亿元，年均增长 24.67%、音像制品业实现产值 27.85 亿元，年均增长 21.35%。

2) 农业：2015 年实现农业总产值 42.1 亿元，年均增长 3.9%。支农惠农补贴政策得到有效落实，种粮补贴面积达到 21.19 万亩，受益农户 5.33 万户，补贴金额 2055.21 万元；优质水稻、特色水果、花卉、蔬菜、生猪养殖、水产养殖等效益农业、特色农业不断壮大。

3) 服务业：2015 年实现第三产业增加值 97.48 亿元，年均增长 8.5%。物流业加快发展，港口货物吞吐量达 62.41 万吨，年均增长 25.36%。外贸发展环境不断优

化，2015 年实现外贸进出口总额 9.68 亿美元，年均增长 6.34%。旅游产业加快发展，景区项目建设有效推进，农业生态旅游加快发展。

### 3. 城市环境建设

“绿满家园”、“千村环境卫生整治”、“百河千沟万渠大整治”活动深入实施。贵屿环境污染综合整治取得重大突破，顺利通过省有关部门验收。练江流域综合整治积极推进，有效整治废旧电子产品拆解、印染、造纸等行业，环境质量进一步提高。强化城市环境卫生和交通秩序网格分工精细管理，大力整治重点区域“脏乱差”现象，城乡面貌明显改善。环保建设扎实推进。谷饶、贵屿生活污水处理厂实现通水运行，和平、铜孟、关埠生活污水处理厂建设扎实推进，城区 3 个生活垃圾压缩站建成使用。县乡公路、农村公路加快改造建设，完成农村公路建设项目 25 个 22.34 公里。林业生态工程及森林资源管理保护有效开展，新增绿地面积 150 万平方米，森林覆盖率达到 35.92%，集体林权制度改革通过省级验收，获得优秀等级。继续推动老区山区建设，发展环境得到有效改善。

#### 1.5.1.6 行政区划与人口

潮阳区辖文光、棉北、城南、金浦 4 个街道和海门、和平、谷饶、贵屿、铜孟、河溪、西胪、关埠、金灶等 9 个镇，中心市区位于潮阳区东部，区人民政府驻文光街道。市行政区划见下图。

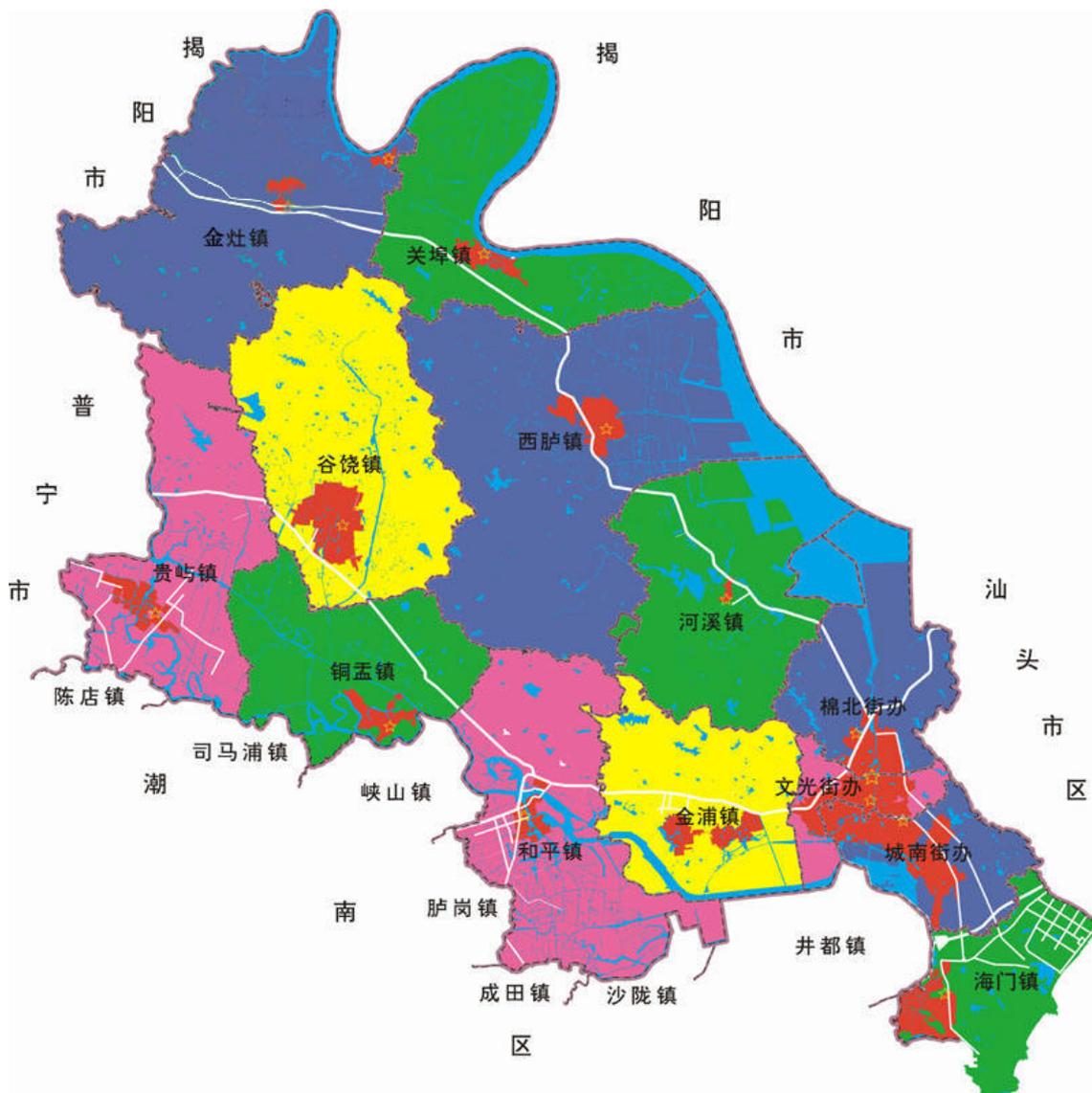


图 1-2 潮阳区行政区划图

### 1.5.2 《国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》有关内容

根据 2016 年 3 月公布的《中华人民共和国国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》内容，环境治理是“十三五”规划实施的重要内容，指明“创新环境治理理念和方式，实行最严格的环境保护制度，强化排污者主体责任，形成政府、企业、公众共治的环境治理体系，实现环境质量总体改善”。在规划的第四十四章第四节指出：“加快城镇垃圾处理设施建设，完善收运系统，提高垃圾焚烧处理率，做好垃圾渗滤液处理处置；加快城镇污水处理设施和管网建设改造，推进污泥无害化处理和资源化利用，实现城镇生活污水、垃圾处理设施全覆盖和稳定达标运行，城市、县城污水集中处理率分别达到 95% 和 85%。建立全国统一、全面覆盖的实时在线环境监测监控系统，推进环境保护大数据建设”。

本项目工程建设与“十三五”规划的环境治理精神相一致，通过先进工艺技术实现垃圾无害化处理目标。

### 1.5.3 《广东省环境保护“十三五”规划》有关内容

广东省环境保护厅于 2016 年 9 月 22 日印发《广东省环境保护“十三五”规划》（粤环[2016]51 号），提出“加强生活垃圾无害化处理。提高城市生活垃圾处理减量化、资源化和无害化水平，加快推进“一县一场、一镇一站、一村一点”建设，实现城乡生活垃圾收运处理设施全覆盖，到 2020 年全省城镇生活垃圾无害化处理率达到 98% 以上。鼓励有条件的地区推广使用焚烧发电、水泥窑协同处置、生物处理等综合处理方式，鼓励区域处理设施共建共享和技术集成创新”。根据该规划的指导方向，广东省积极推进城乡生活垃圾的无害化处理，并且鼓励有条件的地区采用焚烧发电的方式处理垃圾。

本项目服务区为汕头市朝阳区，在服务区内设置无害化处理点，根据服务区的生活垃圾已具备焚烧发电的特性条件，选择焚烧发电方法处理服务区生活垃圾与《广东省环境保护“十三五”规划》的指导方向一致。

### 1.5.4 《汕头市环境保护“十三五”规划》有关内容

《汕头市环境保护“十三五”规划》指出，“完善生活垃圾收集处理。2017 年底前，加快潮阳、潮南垃圾焚烧处理设施建设，保障城镇生活垃圾无害化处理处置。建设垃圾压缩转运设施，全面清理河道两旁和水面的垃圾，加大农村生活垃圾收集和处理投入力度”、“全面完善生活垃圾无害化处理处置设施，到 2020 年全市城镇生活垃圾无害化处理率达到 93% 以上。继续完善生活垃圾填埋场建设和环保监管，优化生活垃圾焚烧发电规划选址和工艺技术，加快推进生活垃圾综合处理场所建设进度”。

根据规划内容，本项目属于规划里拟加快推进的焚烧处理设施建设项目。通过本项目的建设，有助于提高实际汕头市生活垃圾无害化处理率，是达到 93% 以上的无害化处理目标的具体实施措施。因此，本项目的建设符合《汕头市环境保护“十三五”规划》的规划目标。

### 1.5.5 《汕头市潮阳区环境卫生专项规划（2015-2025）》的有关内容

《汕头市潮阳区环境卫生专项规划（2015-2025）》指出：“潮阳区的生活垃圾处理方法应积极发展以焚烧处理为辅助处理的工艺路线。近期通过升级改造以城区生活垃圾简易填埋场为主的部分填埋场，满足焚烧发电厂投入使用之前生活垃圾消纳的需求，并

同步治理存量垃圾，对绝大部分小型简易填埋场进行封场。加快推进焚烧处理和配套卫生填埋场的建设，通过推进生活垃圾的分类收集，逐步发展餐厨垃圾处理、有害垃圾处理 and 可回收物资源化利用的综合处理工艺，以最大限度地实现生活垃圾的无害化、减量化和资源化”，该规划还对潮阳区生活垃圾焚烧发电厂进行了初步选址及规模论述。本项目与规划的目标一致，在潮阳区内建设一座生活垃圾焚烧发电厂，服务区范围涵盖整个潮阳区。但随着项目的推进，综合各项影响因互，对焚烧发电厂的场址进行了重新选择。并且根据服务区垃圾清运量的增长趋势，对焚烧发电厂的拟建也进行了扩容，由原先的总处理规模 1500t/d 扩容为：一期工程建设规模 1500t/d、总建设规模 2250t/d。

### 1.5.6 已建垃圾处理设施现状

当前，潮阳区生活垃圾处理方式主要为简易填埋。区内目前主要使用的垃圾填埋场位于棉北街道办事处十二斗咸田低洼地，占地面积 267 亩，首期 121 亩于 1996 年 1 月建设后投入使用，二期于 2000 年采取承租方式扩容 146.44 亩使用至今。该场的建设采用简易的填埋方式，未按要求配套环保设施，未能达到生活垃圾卫生填埋的标准。主要承担城区街道以及周边相邻乡镇村落的垃圾处理。由于近年来潮阳区生活垃圾产量不断增加，该场长时间以来一直处于超负荷运行状态，经现场调研发现，该场已经接近满容。距城区较远的各镇生活垃圾自行选择场地进行简易填埋，缺乏统一管理。村落数量较多且分布较分散的部分乡镇则由各村各自选择场地进行简易填埋，形成了大小不一、数量众多的简易垃圾堆放场。

全区唯一按无害化标准建设的垃圾填埋场是位于贵屿镇的牛头山卫生填埋场，由贵屿镇自筹经费建设，作为该镇专用的生活垃圾消纳场所。

表1-1 潮阳区垃圾填埋场统计表

名称		位置	启用时间	面积 (万 m <sup>2</sup> )
潮阳区城区生活垃圾填埋场		棉北白竹十二斗围	1996	17.8
和平镇垃圾填埋场		新和居委许厝坑	2001	26
贵屿镇	贵屿镇渡头垃圾简易处理场	提角	2005	0.06
	贵屿镇西美垃圾简易处理场	潮普交界	2004	0.07
	贵屿镇南安垃圾简易处理场	石牌路边	2008	0.04
	贵屿镇华美垃圾简易处理场	沙溪军寮交界	2007	0.05
	贵屿镇牛头山卫生填埋场	牛头山	2012	10 (一期)
金浦街道	金浦街道三保社区料哥填埋场	三保社区	2010	1.5
	金浦街道南门村塔山垃圾填埋场	南门村塔山	2008	0.8
	金浦街道梅西村垃圾填埋场	梅西村	2009	1.7
	金浦街道梅东村垃圾填埋场	梅东村	2010	2.1
棉北街道东家宫垃圾简易填埋		居委山田半	2009	1
河溪镇垃圾简易填埋场		东垵、西垵沙地	\	0.48
		南田村	\	0.26
		二目闸	\	0.2
关埠镇简易垃圾填埋场		各村自行设垃圾堆放场地	\	\
金灶镇简易垃圾填埋场		各村自行设垃圾堆放场地	\	\
海门垃圾填埋		海门镇	2010	2

由于潮阳区生活垃圾焚烧发电厂建设尚未完成，因此辖区内绝大部分生活垃圾均送往所属地区简易垃圾填埋场进行消纳。城区生活垃圾简易填埋场已接近满容，剩余容量只够短时间垃圾填埋。各乡镇简易填埋场分散，且都是露天随意堆放，孳生蚊虫、散发臭味，严重影响周边环境，更造成土壤和地下水污染，严重影响周边群众身体健康。调查发现，部分乡村将生活垃圾堆放至人迹较少的山谷和洼地，并定期进行露天焚烧，容易引发山林火灾，存在安全隐患。

### 1.5.7 项目建设的紧迫性和必要性

#### 1.5.7.1 解决潮阳区生活垃圾产量快速增长带来环境问题的要求

根据国家对城市基础设施建设的要求，城市生活垃圾处理设施建设是一项重要的市政工程，城市生活垃圾的处理要做到“无害化、减量化、资源化”。

随着社会经济的不断发展和改革开放的日益深入，潮阳区是广东省汕头市经济发展水平较高的区县之一。随着人民生活水平的不断提高和人口的迅速增长，相应而生的城

市生活垃圾量也不断增加，产生与消纳之间的矛盾日趋突出。

目前，潮阳区城区的生活垃圾仅采用集中堆放，未进行卫生填埋及无害化处理，在大量垃圾露天堆放的场区，臭气冲天，蚊蝇孳生，多年沉积垃圾不但影响市容，而且污染环境，使大气、地表水和地下水受到不同程度的污染。而潮阳区地少人多，考虑到垃圾无害化处理，保护潮阳区人民的生存环境和身体健康，必须加强垃圾资源化和无害化处理能力，实现垃圾处理的减量化和资源化，提高设施处理水平和档次。

随着垃圾量的不断增加和区域经济建设的快速发展，土地资源日益紧张，潮阳区通过新建焚烧发电厂来实现生活垃圾环保、高效处理势在必行。

### 1.5.7.2 符合国家及当地生活垃圾无害化设施建设规划的要求

国家《“十二五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》中指出，加大城镇生活垃圾无害化处理设施建设力度，加快完善大中城市生活垃圾处理设施，大力推进县城生活垃圾无害化处理设施建设，优先支持目前尚未建成设施的城市和县城加快建设，缩小不同地区生活垃圾处理水平的差距，促进协调发展。生活垃圾处理技术的选择，应本着因地制宜的原则，坚持资源化优先，选择安全可靠、先进环保、省地节能、经济适用的处理技术。东部地区、经济发达地区和土地资源短缺、人口基数大的城市，要减少原生生活垃圾填埋量，优先采用焚烧处理技术；其他具备条件的地区，可通过区域共建共享等方式采用焚烧处理技术。在 2016 年 3 月发布的《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》，延续了“十二五”规划对生活垃圾处理方式的指导意见，仍然推荐采用焚烧方式对生活垃圾进行无害化处理。

本项目采用焚烧发电方式处理生活垃圾，实现资源循环再利用。生活垃圾焚烧发电项目的设计和建设严格执行相关标准，其建设出发点契合规划要求，建设标准满足规划要求的实施条件。

### 1.5.7.3 促进垃圾资源化，符合循环经济和节能减排的要求

垃圾是放错了地方的资源，并且是一种可贵的战略资源。据报道我国目前城市年产垃圾量约 1 亿 3 千万 t，并以 7%~9% 年递增速度增加。垃圾进行填埋，虽然可以取得较好的无害化效果，但资源化效益较差。随着垃圾焚烧技术日趋完善，垃圾焚烧发电、垃圾填埋沼气发电让垃圾变废为宝成为可能。垃圾焚烧技术前景广阔，现已被国内外多个城市所采用。

垃圾焚烧发电是通过垃圾干燥、燃烧和燃烬三个阶段，让垃圾在 850℃ 至 1100℃ 的高温下充分燃烧。焚烧中，可通过 DCS 自动控制系统和自动燃烧控制系统即时监控和

调整炉内垃圾的燃烧工况，及时调节炉排运行速度和燃烧空气量。焚烧垃圾产生的高温烟气在余热锅炉中进行热交换，产生过热蒸汽，推动汽轮发电机组产生电能。电能通过电网，输送到各地，实现了垃圾资源化处理。

#### **1.5.7.4 社会效益显著**

本项目的建设是潮阳区社会经济可持续发展的重要基础设施之一，具有显著的社会效益。环境卫生工作是城市发展水平的重要标志，是城市形象的直观反映，直接影响社会发展和人民群众的生活质量。

本项目的建设及运营，能有效地解决城市垃圾污染及资源回收问题，为潮阳区营造一个整洁的城市容环境，使城市面貌、生态环境得到了较大的改善。改善了投资环境和生活环境，进一步吸引境内外投资者，对实现经济的可持续发展具有重大的现实意义。

#### **1.5.7.5 环境效益良好**

本项目的建设和运营有利于改善潮阳区环境生态，具有重要的环境效益。

城市生活处理处置是一项系统工程，它涉及收集、运输、处理处置和管理等一系列的程序，主要的问题是统一收集覆盖面不够完全，在垃圾收运过程中容易造成二次污染。汕头市潮阳区生活垃圾焚烧发电厂 BOT 项目的建设，可以逐步完善和改进生活垃圾的收运方式和设施，使潮阳区生活垃圾的收运系统逐步走向正轨，减少垃圾收运过程中造成的环境污染。

本项目的建成投运，将极大缓解潮阳区经济飞速发展带来生活垃圾增加的处理压力。垃圾焚烧实现了减量化、无害化和资源化，通过先进的技术手段能有效控制二次污染，对周围环境的影响较小。由此可见，项目的建设具有良好的环境效益。

如今，城市生活垃圾处理水平已经成为反映一个城市文明程度、经济实力、科技实力以及城市管理者的环境意识和现代意识的标志。生活垃圾管理与污染防治已成为城市环境保护的重要内容之一。

#### **1.5.7.6 企业经济效益可行、社会经济效益良好**

本项目根据相关文件的精神，选择社会投资主体进行项目的投资和运营，对减轻政府的一次性投资负担和建设运营风险有益。

本项目推荐采用焚烧发电的工艺处理潮阳区的生活垃圾，不仅能够有效地实现固体废弃物减量化，而且能够充分回收利用热能资源，变废为宝。焚烧产生的蒸汽用于发电和供热，使项目获得经济收益，以补偿投资、建设和运营费用，投资方可在特许经营期内获得合理的利润，企业的生产经营也增加地方财政税收，这就使政府、企业达到双赢

的目的。因此，本项目也具备一定的直接经济效益和可观的间接经济效益。

综上所述，本项目的建设有着良好的发展前景，有助于改善潮阳区目前的环境卫生状况，符合潮阳区总体发展规划以及环境保护规划的要求，具有显著的环境效益、突出的社会效益和良好的经济效益。这对潮阳区的城市建设与发展来说是非常必要的，有着重要的战略意义。

综上所述，本项目建设是十分紧迫和必要的。

## 1.6 项目主要技术指标

本项目工程总投资 80033.70 万元，工程主要技术经济指标见下表：

**表1-2 主要技术经济指标表（规模 2×750t/d）**

序号	项目名称	单位	指标	备注
一	设计规模			
1	垃圾处理量	吨/日	1500	正常年
		吨/年	547500	正常年
2	年发电量	万度	23093.85	正常年
3	年上网电量	万度	19398.84	正常年
4	吨垃圾折算上网电量	度/吨	354.32	按入厂垃圾
5	建设期	年	2	
6	运行期	年	28	
7	定员	人	100	
二	项目投资			
1	总投资估算	万元	80033.70	
2	建设投资	万元	77105.19	
2.1	工程费用	万元	64392.17	
2.2	工程建设其他费用	万元	7001.53	
2.3	基本预备费	万元	5711.50	
3	建设期利息	万元	2374.40	
4	铺底流动资金	万元	554.11	
三	资金筹措			
1	资本金	万元	24398.00	
2	债务资金	万元	56928.61	
四	收入与成本			
1	年收入(平均)	万元	16725.01	正常年
	售电收入	万元	11797.51	正常年
	垃圾处理补贴费收入	万元	4927.50	正常年

序号	项目名称	单位	指标	备注
	垃圾处理补贴费	元/吨	90.00	
	其它收入	万元	0.00	
2	年总成本费用(平均)	万元	10309.67	平均值
3	年经营成本(平均)	万元	7052.81	平均值
4	单位售电成本	元/度	0.53	平均值
五	主要财务指标			
1	项目投资财务内部收益率	%	8.49	税后
2	项目投资财务净现值(i=7.0%)	万元	11099.69	税后
3	项目投资回收期	年	12.12	包括建设期
4	资本金财务内部收益率	%	12.12	
5	总投资收益率	%	8.17	
6	项目资本金净利润率(平均)	%	19.23	
7	投资利税率	%	7.49	
8	盈亏平衡点	%	57.26	

## 1.7 运行消耗指标

表1-3 主要材料消耗量

序号	项目	额定小时指标(kg/h)	全年指标(t/a)
1	入炉生活垃圾	62500.00	≥ 465375
2	消石灰	1260.8	9388
3	活性炭	45.2	337
4	柴油	13.4	100
5	透平油	1.3	10
6	氨水	341.9	2546
7	阻垢剂	2.0	15
8	螯合剂	86.9	647

注：全年按照 8000 小时（333 天）运行考虑。

## 1.8 主要研究结论

1) 汕头市潮阳区生活垃圾焚烧发电厂 BOT 项目本期建设规模为 1500t/d，新建 2 台 750t/d 垃圾焚烧炉，有效地解决服务区域内的生活垃圾处理问题；提高服务区生活垃圾的无害化利用率和资源利用率，减少填埋量；有效改善服务区域内的生态环境，建设汕头市潮阳区生活垃圾焚烧发电厂 BOT 项目是必要的。

2) 通过多种焚烧炉型的分析比较, 本项目推荐采用 3 台 750t/d 机械炉排垃圾焚烧炉, 本期工程建设 2 台 750t/d 机械炉排炉。该炉型是以炉排炉为基础的成熟技术, 有较多的应用业绩, 它比较符合我国国情, 具有适合焚烧处理高水分、多变化、低热值城市生活垃圾的特点。应用实例表明, 该种垃圾焚烧炉, 各项技术指标均能达到设计要求。

3) 通过烟气净化处理方法比较, 本项目推荐采用了“SNCR 炉内脱硝+半干法脱酸+干石灰喷射+活性炭吸附+布袋除尘”烟气净化处理工艺, 烟气排放执行《生活垃圾焚烧处理污染控制标准》(GB18485-2014) 及欧盟 EU2000/76/EC 标准。

4) 本项目厂区生产生活污水经处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》GB19923-2005 和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T18920-2002 的有关水质标准后, 回用作为汽机循环冷却水补充水、绿化用水及道路洒水。渗滤液经处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》(GB/T19923-2005) 的有关水质标准后, 回用作为厂区循环冷却水补充水。

5) 本工程的主要设备——垃圾焚烧炉、烟气净化系统核心设备、垃圾吊核心设备等拟采用国产设备, 在保证技术、性能指标先进的前提下, 可节约投资成本和运行费用。初步估算本项目总投资为 80033.70 万元, 垃圾处理费为 90 元/t。经财务测算后, 本项目税后财务内部收益 8.49%, 投资回收期 12.12 年。

综上, 建设本项目技术方案可行, 污染物达标排放, 可实现垃圾处理“无害化、减量化、资源化”, 具有显著社会效益和环境效, 同时具有一定的财务收益和抗风险能力, 在经济上是可行的。

## 1.9 建议

垃圾供应量是影响本工程的决定性因素, 因此, 建议加大与政府协调力度, 督促政府加大垃圾收集与运输的管理力度, 适当扩大垃圾收集范围, 为工程正常运行提供基本条件, 同时在特许经营协议里对垃圾结算及供应进行详细谋划, 落实照付不议原则, 以提高经营效益。

1) 城市垃圾发电厂是一个跨行业的综合性项目, 希望在政府部门统一管理下进一步加强市政、环卫、电力行业之间的合作, 对现有的垃圾管理体制进行改进, 健全垃圾收费制度, 为垃圾处理提供必要的经费, 使垃圾发电厂运营正常, 减少政府的负担。

2) 政府环卫部门应加强垃圾收运体系建设, 扩大收运范围, 提高清运率, 满足项目垃圾供应需要; 采购更规范的垃圾运输车, 减少垃圾运输对居民的影响。

3) 建设单位在下一步工作中应按季度取足量样本垃圾进行检测，以对后面的施工设计和运营管理提供更合理的决策依据。

## 第2章 生活垃圾概况及建设规模

### 2.1 项目服务区域

本项目服务区为汕头市潮阳区（含农村地区）。

### 2.2 服务区生活垃圾清运现状及产量预测

#### 2.2.1 服务区生活垃圾清运现状及清运量

潮阳区中心城区当前的生活垃圾收运模式为：居民生活垃圾经环卫人员定点或定时上门收集，然后通过人力手推车或三轮车清运至转运站，经转运站压缩转运或者一体式压缩车压缩后转运至位于棉北的城区生活垃圾填埋场。

乡镇区域当前的生活垃圾收运模式：各乡镇大部分采用环卫人员定时上门收集或者沿街收集的收运模式，经收运的生活垃圾部分通过转运站运至周边简易填埋场，部分由各村自行处理处置。

当前潮阳区垃圾收运处理模式比较粗放，其收运方式较为落后，设施配置水平较低，生活垃圾收运模式没有系统化的管理。

根据《汕头市潮阳区环境卫生专项规划（2015~2025）》分析数据：由于潮阳区缺乏历年生活垃圾总产量和辖区内各街镇的垃圾量统计，根据潮阳区城管局对各街镇生活垃圾产生量进行调研，结果为2014年潮阳区生活垃圾总产量为1055t/d，考虑到各街镇实际统计数皆按照各村每日清运量进行上报，且清运量的计算多以日均清运车数进行粗略统计，因此统计结果仅作为参考。

#### 2.2.2 生活垃圾量预测

##### 2.2.2.1 垃圾量预测概述

生活垃圾产量是决策垃圾收集、清运、处置与处理规模、处理方式的基础参数，也是确定焚烧规模的必要条件之一。垃圾产量预测一般是依据主要影响因素为基本条件，分析原因与结果之间的关系，建立数学模型，预测垃圾产生量的未来发展趋势和水平。目前行业预测标准是采用回归分析方法。但由于回归分析法需要长年代（至少5年）的较为准确的垃圾量统计数据，而本项目暂未取得足够精度的数据，因此本阶段暂不考虑

采用回归分析法进行预测。

生活垃圾主要是由人产生，因此影响垃圾产生量的最基本要素是人口数量和人的生活习惯。同时，生活垃圾的人均产量与经济发展水平相关，经济越发达，人均垃圾产量越高。因此，本阶段暂时考虑采用人均指标法预测垃圾量。人均指标法是首先根据经验确定人口指标，然后再与未来的人口相乘从而得到垃圾量的预测值。因此，人均指标法的关键是确定人口指标，再参考已有的同等发展水平的地区指标进行预测。

### 2.2.2.2 产量预测

#### (1) 人口预测

《汕头市潮阳区环境卫生专项规划（2015~2025）》采用年增长率法对潮阳区人口数据进行预测。

##### 1) 年增长率法预测

根据潮阳区统计数据，2010年潮阳区常住总人口数量为165.93万人，2014年常住人口数量为173.85万人。潮阳区历年常住人口数量与增长率详见下表。

表2-1 潮阳区历年常住人口数量与增长率

项目 \ 时间	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
常住人口数（人）	1659365	1676846	1691780	1729178	1738530
增长率（%）	\	10.5	8.9	22.1	5.4

由于潮阳区缺乏流动人口的相关统计，因此不区分自然增长率和机械增长率，仅以人口的综合增长率进行预测。2010-2014年间潮阳区总人口由165.93万人增长到173.85万人，潮阳区近5年全区常住人口平均年增长率为9.4%；除2012年~2013年人口出现较大波动，其余4年人口增长较为平稳。

潮阳区总人口预测采用综合增长率模型，以2014年的人口数据为基准，预测潮阳区2020年、2025年的人口规模，计算公式为：

$$P_t = P_0(1+n)^t$$

其中：t——预测年限，单位：年；

$P_t$ ——预测第t年全市人口数，单位：人；

$P_0$ ——基准年全市人口数，单位：人；

n——预测期内年平均人口增长率，单位：%。

根据汕头地区近年来经济发展趋势，以及潮汕地区民营经济的稳步发展，考虑到潮阳区人口基数较大，且目前潮阳区人口年龄结构仍处于增长型（高出生率，少年儿童抚

养比高，人口老龄化问题不突出)，以及潮汕地区特有的民俗文化，以及国内新的计划生育政策，预计潮阳区规划期（2015-2020）总人口年平均增长率取值 9‰。由于潮阳区人口密度大，若继续保持高的人口增长率，资源和环境的压力将进一步增大。随着汕头市经济发展方向的转变和居民对于生育观念的转变，远期预测潮阳区人口增长率有一定程度降低，远期（2021-2025）总人口年平均增长率取值 8‰。以 2014 年现状人口数据为基准，预测结果见下表。

表2-2 潮阳区总人口数量预测一览表（单位：万人）

年份	2014 年	2020 年	2025 年
总人口	173.85	183.46	190.93

### 2) 相关规划预测

《汕头市城市总体规划（2010~2020）》对潮阳区总人口数量的预测结果见下表：

表2-3 汕头市总体规划对潮阳区 2020 年人口预测（单位：万人）

年份	“五普”总人口 (2000 年)	“六普”总人口 (2010 年)	2020 年预测人口
人口	139	163	190.93

### 3) 各街镇人口数量预测

对比可知，以 2014 年为现状年采用综合平均增长率法预测数据与汕头市总体规划的人口规模预测数据基本一致。因此，采用综合增长率法预测服务区人口具备一定的准确性，各街镇人口预测数据详见下表。

表2-4 潮阳区各街镇人口预测表（单位：万人）

地区	2014 年	2020 年	2025 年
文光街道	16.74	17.66	18.38
城南街道	12.08	12.75	13.27
棉北街道	5.44	5.74	5.97
金浦街道	9.20	9.71	10.10
海门镇	12.20	12.87	13.39
和平镇	18.00	18.99	19.76
铜孟镇	13.00	13.72	14.28
贵屿镇	15.90	16.78	17.46
谷饶镇	16.40	17.31	18.01
河溪镇	8.47	8.94	9.30
西胪镇	18.48	19.50	20.29
关埠镇	13.00	13.72	14.28
金灶镇	14.95	15.78	16.42
总计	173.85	183.46	190.93

## (2) 人均生活垃圾产量分析

据潮阳区城管局提供的数据中，2014 年潮阳区中心城区人均生活垃圾产量约为 0.79kg/（人·d），由于中心城区尚有一定农村人口比例，随着城镇化率提高，预测近、远期城镇化率将继续增长。此外，潮阳区属于沿海经济带，民营经济发达，预测至 2020 年，中心城区人均生活垃圾量达到 0.91kg/（人·d）。考虑随着潮阳区环卫工作大力推进，源头垃圾分类和倡导低碳生活等减量化措施将产生实施效果，预测远期（2021-2025 年）人均生活垃圾产量增长趋势有多减缓，至 2025 年人均生活垃圾量达到 0.98kg/（人·d）。

据潮阳区城管局提供数据，潮阳区 2014 年乡镇区域人均生活垃圾产量约为 0.70kg/（人·d）。潮阳区各乡镇城镇年均增长率 2~3%，随着潮阳区农村地区发展，预测近远期内，乡镇人均生活垃圾产量将持续增长。预测至 2020 年潮阳区乡镇生活垃圾人均产量为 0.84kg/（人·d）；至 2025 年潮阳区乡镇生活垃圾人均产量为 0.90kg/（人·d）。

综合考虑各项因素，潮阳区人均生活垃圾产量预测结果详见下表。

表2-5 人均生活垃圾产量预测 (单位: kg/(人·d))

区域	2014 年	2020 年	2025 年
中心城区	0.79	0.91	0.98
乡镇	0.70	0.84	0.90

## (3) 生活垃圾产量预测结果

根据潮阳区各区域人均生活垃圾产量和计算公司,可得到潮阳区各街镇生活垃圾产量预测结果,详见下表。

表2-6 潮阳区生活垃圾量现状及预测

街道	垃圾产生量 (t/d)		
	2014 年	2020 年	2025 年
文光街道	132.2	160.7	180.1
城南街道	95.4	116.0	130.0
棉北街道	43.0	52.2	58.5
金浦街道	64.4	81.6	90.9
海门镇	85.4	108.1	120.5
和平镇	126.0	159.5	177.8
铜孟镇	91.0	115.2	128.5
贵屿镇	111.3	141.0	157.1
谷饶镇	114.8	145.4	162.1
河溪镇	59.3	75.1	83.7
西胪镇	129.4	163.8	182.6
关埠镇	91.0	115.2	128.5
金灶镇	104.7	132.6	147.8
总计	1247.9	1566.5	1748.3

## 2.3 垃圾特性分析

综合考虑潮阳区未来居民生活水平的不断提高、垃圾成分(含水率、动植物等)受季节变化等的影响等因素,经过对垃圾样品检测报告分析计算,本项目入炉垃圾成分如下表所示。

表2-7 入炉垃圾成分

C (%wt)	H (%wt)	O (%wt)	N (%wt)	S (%wt)	Cl (%wt)	水份 (%wt)	灰份 (%wt)
22.00	2.94	11.88	0.59	0.24	0.35	41.33	20.67

## 2.4 项目建设规模

垃圾焚烧处理场建设规模由服务范围和垃圾产量决定，但受各种条件制约，其中垃圾运距和厂址条件是最重要的因素。本项目的服务区是潮阳区城区及所有乡、镇、村。结合服务目前能收运垃圾的量，考虑远景潮阳区产业结构调整升级的潜在可能，以及未来可能实行的分类收集处理将会造成的焚烧处理生活垃圾比例降低的趋势，项目实行整体规划的方针。

综上所述所述，按照潮阳区的城市化发展速度，并考虑人口发展、垃圾收集率和垃圾产量预测数据来预测潮阳区生活垃圾处理需求。

随着潮阳区生活垃圾收运系统覆盖面的扩大以及收运系统的完善，根据预测结果，到 2020 年，潮阳区生活垃圾产生量为 1566.5 吨/日；到 2025 年，潮阳区生活垃圾产生量为 1748.3 吨/日。

本垃圾焚烧发电项目，特许权运营年限为 30 年（含建设期），处理规模的确定需考虑规划期内生活垃圾处理的需求。2020 年垃圾产生量为 1566.5t/d，需要完全焚烧处理的话，则需要约 1500t/d 的垃圾焚烧发电规模。随着人口规模的扩增，服务区的生活垃圾产量会持续增长，将来需要通过项目扩建来确保生活垃圾的无害化处理，初步判断未来扩建处理规模为 750t/d，即时潮阳区生活垃圾焚烧处理规模将达到 2250t/d。

综上所述可知，到近期（2020 年）潮阳区需要焚烧处理的垃圾规模为 1500t/d，综合考虑潮阳区生活垃圾处理的保障性及项目运行的经济性，汕头市潮阳区生活垃圾焚烧发电厂 BOT 项目本期建设规模定为 1500t/d。该建设规模可以使项目在靠近设计负荷运行，保障项目运行收益。本期工程建成运营后，可根据垃圾增长情况规划建设二期工程。

## 第3章 厂址概述

### 3.1 厂址的选择

#### 3.1.1 厂址选择原则

本项目的厂址选择根据国家有关的标准及规范：

- 1) 《生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准》（建标 142 号[2010]）
- 2) 《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB18485-2014）
- 3) 《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》（CJJ90-2009）

以上有关标准及规范制定了焚烧厂的厂址选择原则：

1) 厂址选择应符合城乡总体规划和环境卫生专业规划要求，并应通过环境影响评价的认定。

2) 厂址选择应综合考虑垃圾焚烧厂的服务区域、服务区的垃圾转运能力、运输距离、预留发展等因素。

3) 厂址应选择在生态资源、地面水系、机场、文化遗址、风景区等敏感目标少的区域。

4) 厂址应满足工程建设的工程地质条件和水文地质条件，不应选在发震断层、滑坡、泥石流、沼泽、流砂及采矿陷落区等地区。

5) 厂址不应受洪水、潮水或内涝的威胁；必须建在该地区时，应有可靠的防洪、排涝措施。其防洪标准应符合国家现行标准《防洪标准》（GB50201）的有关规定。

6) 厂址与服务区之间应有良好的道路交通条件。

7) 厂址选择时，应同时确定灰渣处理与处置的场所。

8) 厂址应有满足生产、生活的供水水源和污水排放条件。

9) 厂址附近应有必须的电力供应。对于利用垃圾热能发电的垃圾焚烧发电厂，其电能应易于接入地区电力网。

10) 垃圾焚烧发电厂厂址应距离附近居民区 300 米以上。

11) 对周围环境不应产生污染或对周围环境污染不超过国家有关法律法令和现行标准允许的范围。

12) 与当地的大气防护、水土资源保护、大自然保护及生态平衡要求相一致。

13) 位于地下水贫乏地区、环境保护目标区域的地下水流向下游地区及夏季主导风向向下风向。

14) 应充分利用天然地形，选择人口密度低、土地利用价值低、征地费用少、施工方便的厂址。

15) 对于利用垃圾焚烧热能的垃圾焚烧发电厂，生产蒸汽的蒸汽管网输送距离不宜大于 4km；生产热水的热水管网输送距离不宜大于 10km。

**焚烧厂址的选择还应遵循以下原则：**

- 1) 厂址有发展余地，且有必要的环境容量；
- 2) 靠近城市边缘和城市垃圾易于集中的地点，以满足城市卫生要求；
- 3) 建厂工程费用节省，投资合理。

### 3.1.2 厂址确认

根据上述场址选择原则，项目建设单位在服务区区域范围内进行场址选择。综合比选后，拟选定汕头市潮阳区和平镇竹棚医院旧址作为项目场址。

## 3.2 厂址概况及建厂条件

### 3.2.1 地理位置

本项目厂址位于汕头市潮阳区和平镇竹棚医院旧址。

### 3.2.2 地震设防烈度

根据《建筑抗震设计规范》GB50011-2010(2016 年局部修订版)，广东省汕头潮阳抗震设防烈度为 7 度，设计基本地震加速度值为 0.15g，设计地震分组为第一组。

### 3.2.3 道路条件

项目厂址处有现存的水泥路直达厂址，路宽约 5 米，距离和平镇 6 公里。

### 3.2.4 建设用电

本工程建设用电可从附近变电站接入。

### 3.2.5 电力上网

本项目垃圾焚烧所产生的电量除厂内少量自用外，多余电力送入当地电网。项目本期工程拟采用一回 110kV 电压等级联络线路就近接入当地变电站，上网线路长度约为 6km。最终电力接入方案按当地电网公司批准方案为准。

### 3.2.6 供排水条件

供水条件：本项目厂址附近有乌石水库和葫芦水库，距离项目厂址约 3km，经业主单位初步考查可以作为本项目生产用水、消防用水水源，最终取水及用水方案由水资源论证专题报告论述及评审批复后确定。项目生活用水从附近自来水管网引接。

排水条件：厂区生活污水，其中排放的粪便污水先经化粪池处理，厨房及餐厅含油污水先经隔油池处理后，与生产污水一同排入厂区的污水管道后，最终排至厂区生产污水处理系统，经处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》GB19923-2005 和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T18920-2002 的有关水质标准后，回用作为汽机循环冷却水补充水、绿化用水及道路洒水。生产废水经简单处理达标后回用作生产用水。

垃圾渗滤液由垃圾池渗滤液收集池收集，渗滤液提升泵提升输送至厂区渗滤液处理站集中进行处理，经污水处理系统处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》（GB/T19923-2005）的有关水质标准后，回用作为厂区循环冷却水补充水。

### 3.2.7 灰渣处理

本项目炉渣暂定送至厂外综合利用。

本项目飞灰拟在厂内采用螯合剂稳定化处理后，达到《危险废物鉴别标准—浸出毒性鉴别》（GB5085.3-1996）和《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2008）中对生活垃圾焚烧飞灰浸出毒性标准要求后，将飞灰稳定化物运至政府指定填埋场进行安全填埋。

## 第4章 工艺方案论证

### 4.1 垃圾处理方法的选择

城市生活垃圾的处理方法是指用物理、化学、生物等处理方法，将生活垃圾在生态循环的环境中加以迅速、有效、无害的分解处理之，以达到“减量化”、“稳定化”、“卫生化”、“资源回收化”的目的。目前，最常采用的处理方法有 5 种，即分类回收、卫生填埋、堆肥、焚烧和化学/生化处理，其中，分类回收不是一种独立的处理方法。这些方法各有其优缺点。由于垃圾成分复杂，各地区在不同时期，其成分都有较大的差异。因此，在处理方法的选择上，应按照本地区的情况，选择适当的方法，有时还须采用综合处理方法，才能取得比较理想的环境和经济效益。

#### 4.1.1 分类回收

分类回收是指从垃圾中回收可以利用的物料加以利用，例如废纸、金属、玻璃、塑料和橡胶等。废纸可作造纸原料；金属（如铁、铝）可回炼；玻璃可重用；塑料和橡胶可用于制造再生物质或隔离空气裂化成石油类燃料等。此法过去用人工分拣，现在已采用机械分选法，如风力、重力、浮力、离心力、磁力、光学及震动筛分等法。

对已产生的城市生活垃圾，可以从垃圾中回收物质和能源，即实现垃圾的资源化。垃圾资源化的首要工作就是垃圾的分选。国外有些国家把城市垃圾分选工作让市民来做，在垃圾收集的首端就实现垃圾的分选，当然这种方法比较经济，对环境的影响也小，但目前就我国而言，这种方法并不适用，因为我国民众垃圾分类收集尚未达到一定水平，在进入分拣环节之前就已经过数道拾荒作业，导致垃圾分选可回收率严重下降，同时垃圾经分拣后仍有很大比例的垃圾需要后续再处理，进入焚烧厂焚烧或者卫生填埋，导致投资的重复性浪费。

八十年代以前，城市垃圾大部分是混合收集，不进行分类，因而要采用破碎机和分选设备提取城市垃圾中的有用物质，国外一些从事废物处理设备和工艺研制的厂商和专业公司利用机械破碎分选法对垃圾进行破碎分选处理。它们把从垃圾中分选回收出的废纸、废塑料、废金属、废玻璃等成分提供给有关厂商作二次原料使用，达到变废为宝、丰富社会资源的目的。国外垃圾分选中心使用的分选设备自动化程度比较高。这些设备主要是根据各种不同废物的物理性能，分别利用磁吸、电导、光电、振动、离心、浮选

等方法分选垃圾，利用磁吸法分选废铁；利用光滤系统和光电管可以分选各种玻璃；利用振动弹跳法可以分选出软硬物质；利用锥形旋风分离器或其它离心式分离器可分选比重不同的物质；利用弯曲管道底部送风法可分选轻重物质。

采用上述方式对混合收集的城市垃圾进行分类的效果并不理想，在末端工序上仍需进行大量的人工分选。而且技术复杂、投资大、运行费用高、耗能耗水、二次污染严重。另外，城市垃圾中的各种构成物质在混合收集过程中相互污染，大大降低了其回收利用价值。

在当前我国城市生活垃圾的收集管理体系下，生活垃圾进入处理厂之前，已经过大量拾荒人员的筛拣，垃圾中可回收利用的材料比较少。目前最广泛采用的垃圾分选方法是从传送带上进行手选，然而这种方法效率低，工作人员工作环境恶劣，劳动强度大，并不适合推广利用。

经过十余年的分选技术研究方面的经验和教训，人们明确地认识到，真正意义上的垃圾分类，应该从城市垃圾产生源开始，因此我国要实现垃圾分选处理的基础条件就是提高人民素质，使垃圾分类收集工作进一步完善和提高。

分类回收不是一种独立的处理方法，它须与堆肥、焚烧或其他处理方法结合。

#### 4.1.2 卫生填埋

卫生填埋法是寻找一块空置的土地，将垃圾置于防渗透层之上压实后覆土填埋，利用生物化学原理在自然条件下使天然有机物分解，对分解产生的渗沥液和沼气（填埋气体）进行收集处理，以期不产生公害，对城市居民的健康及安全造成危害。这种方法目前在世界上采用得最多。

垃圾卫生填埋的优点为：最初投资低，适用性强，可接纳各种城市生活废弃物，处理能力大；建设投资除征地费不好确定外，一般而言，生产性投资较少，运行费用低，不受垃圾成分变化的影响，如有适当的土地可资利用，垃圾填埋处理是一种最为经济的城市垃圾处理方式。因此，在经济相对落后的内地中小城市，近期内仍将以卫生填埋作为城市垃圾处理的主要技术方式。

卫生填埋需要占用大量的土地资源，厂址选择较为困难。考虑到交通、水文、地质、地形等因素，许多城市甚至近郊也很难找到合适的厂址，而被迫舍近求远，有的平均运距超过 60 公里。填埋场占地较多是一大缺点，最好利用地价较低的沟谷荒坡，筑坝拦截，封场后还可复耕、还林。

卫生填埋另一个难题是渗沥液的处理。生活垃圾经雨水浸泡渗出的黑液为高浓度有

害液体，BOD<sub>5</sub>浓度较高，其污染度是粪便的3~5倍，一旦渗漏，对地下水、土质和大气易造成污染。随着《生活垃圾污染物控制标准》(GB16889-2008)的实施，对渗沥液处理后各种污染物的排放浓度作了更加严格的限制，处理成本大幅增加。所以，填埋场设计和建设过程中必须采取有效措施，最大限度地减少地面径流和地下水汇入垃圾库区，以减少渗沥液产出量和无害化处理难度。

目前，发达国家正在逐步减少原生垃圾的填埋量，尤其在欧盟各国，已强调垃圾填埋只能是最终的处置手段，而且只能是无机物垃圾，在2005年以后，有机物大于5%的垃圾不能进入填埋场。

此种方法比较简单、成熟、投资稍低，目前用得较多的垃圾处理方法。它适用于卫生填埋场地资源丰富或经济发展水平较低的地区。

#### 4.1.3 堆肥

堆肥处理法是在控制的条件下（好氧或厌氧），借助微生物的生化作用，将垃圾中的天然有机物分解、腐熟，转化为稳定的腐殖质土。这种方法对以厨余等类成分为主的垃圾有较大的作用，但原生生活垃圾中无机物和难以生化降解的橡胶、塑料、合成纤维等的有机物还有较大的数量，必须分拣后才可以采用堆肥法。而且，未经分拣堆肥，制成的肥料重金属含量多少仍为未知数，如金属含量高，则有机肥市场狭窄。

在我国城市垃圾处理中，堆肥方式是最早也是在早期阶段使用最多的方式，那时，大部分垃圾堆肥处理场采用敞开式静态堆肥。20世纪80年代以来，我国陆续开发了机械化程度较高的动态堆肥技术。目前，从普及程度看，堆肥处理在国内城市各种垃圾处理方式中，是仅次于填埋方式的一种重要方式。针对我国固体废物的特点，我国多家研究机构研究开发出多种有机固体废物的堆肥化技术，并发展包括配套的预处理技术、堆肥化技术在内的城市垃圾综合集成处理工艺技术。

近两年来，城市垃圾堆肥化作为实现垃圾资源化、减量化的重要途径，在沉寂多年后又开始引起人们注意。一些新的堆肥化技术相继出现，大量堆肥场在建设。但是在运行中受到非技术的经济因素的制约，主要表现在：

- 1) 我国城市混合收集的垃圾杂质含量高，为保证产品质量采用复杂的分离过程，导致产品成本过高。如果没有政府的补贴，很难正常运行下去，而垃圾中含有的玻璃成分，很难完全分离，为堆肥产品的应用带来限制。

- 2) 一般堆肥场的粗堆肥产品只能作为土壤改良剂，销路取决于堆肥场所在地区土壤条件的适宜性。在黏性土壤地区，特别是南方的红黄粘土、砖红黏土、紫色土地区有

较好的销路。

3) 堆肥场产品的经济服务半径一般较小，同时肥效较差，因此堆肥产品通常只能就近销售；而利用其制造的复合肥，也在与一般化肥和复合肥的竞争中不占优势。

4) 堆肥产品销售有其季节性，而垃圾堆肥处理则是连续性的，生产与销售之间存在的这种“时间差”，将使垃圾堆肥厂的运行带来困难。

5) 堆肥产品很难达到无害化的要求，不能保证彻底杀灭病菌以避免二次污染，同时，难以克服重金属成分的迁移问题。

目前，有些人误将垃圾资源化与垃圾堆肥化等同起来了。国内新近上马的多数堆肥化处理场，缺乏对堆肥产品的市场潜力进行认真、科学的分析。仅仅从不定期运行的、简易小型的垃圾堆肥场堆肥产品有销路，就断定大型垃圾堆肥场产品能销售出去。实际上，尽管发达国家严格实行了垃圾分类，杜绝了危险废物的混入，且政府配套法规鼓励利用生物肥料，但国外利用堆肥处理城市垃圾所占比例并不大，而且多数堆肥场主要是利用分类收集的厨房废物、庭院废物、污水处理污泥和粪便作为原料，用混合垃圾堆肥的实例并不多。而在城市居民环保意识不高、垃圾分类收集尚未有效执行的我国，一些中小城市可能比较适用堆肥方式处理垃圾，但堆肥处理技术不能盲目到处推广。

#### 4.1.4 焚烧

此法就是将垃圾焚烧。其减容效果最好（一般减容 90%，减重 70%以上），又能使腐败性有机物和难以降解而造成公害的有机物燃烧成为无机物和二氧化碳，而病原性生物在高温下死灭殆尽，使垃圾变成稳定的、无害的灰渣类物质。

但采用焚烧法处理垃圾时，首先要垃圾热值达到一定的水平，热值大于 3347kJ/kg 的垃圾始能焚烧，此时仍须添加辅助燃料方可维持稳定燃烧，因此，处理垃圾的费用较高，不经济。当入炉垃圾热量大于设计额定热负荷的 70%时，才有可能不加辅助燃料，使垃圾在高温下燃烧。焚烧后配置余热锅炉和汽轮发电机组发电，售电以补助运行费用，降低垃圾处理的政府直接补贴费用。

垃圾焚烧的处理方法，以垃圾焚烧的方式分类，可分为全量燃烧和“燃料制备”后燃烧两种。采用全量燃烧方法只要垃圾的热值达到许可值以上，无须将垃圾分拣。此法工艺成熟、运行可靠、炉温较高、操作较简易、燃烧较充分，炉渣含碳量可达到小于 3%，与燃煤锅炉无异，且减容量可达 80%~90%，是垃圾减容和资源回收的常用的方法。目前西欧及美、日大部分焚烧厂采用此技术。但投资较高。

垃圾焚烧技术作为一种以燃烧为手段的垃圾处理方法。随着城市生活垃圾可燃物和

易燃物的增加，及各种先进技术的发展和应用，使垃圾焚烧技术不断得到完善和发展。据不完全统计，到 2004 年全世界约有各种类型的垃圾焚烧厂 2200 余座。

垃圾焚烧是目前处理生活垃圾的有效途径之一。焚烧技术的主要特点：

1) 无害化彻底：高温燃烧可使垃圾中有害物得到完全分解；完善可靠的烟气净化系统可以将烟气中污染物的含量处理到环保部门要求的范围内。

2) 减容、减量效果好：使垃圾体积减少 80~90%；重量减少 70%以上。

3) 有利于资源再利用：燃烧产生的热量可用于发电或供热。

4) 焚烧技术比较成熟，焚烧过程采用 DCS 控制，可保证燃烧过程处于最佳工况，所以二次污染小。

5) 综合效果好：由于污染低、占地面积小，可靠近城市建厂，既节约用地、又减少运输成本，选址相对容易。

因此，在具备经济条件、垃圾热值条件和缺乏卫生填埋场地资源的地区，焚烧处理技术在全世界得到了迅速发展。

#### 4.1.5 化学/生物化学处理法

这种方法首先要将城市垃圾进行分拣，即将纤维素类有机物与其他物质分拣。该法为传统纤维素酸催化水解的改进技术，因为垃圾的有机物中，除塑料、橡胶、合成纤维等化学合成物质外，厨余、竹叶、纸张、布类等均属于纤维素物质。纤维素用硫酸催化水解（并加氢）后可以生产糠醛、甲酸、乙酰丙酸等化工产品。传统法要求纤维素物质较纯，改进工艺可用于城市垃圾。此工艺要求垃圾中含纤维素类物质的含量 $\geq 50\%$ ，才有一定的经济效益。

化学/生物化学处理法的资源综合利用程度高而且合理，这是其一大优点，因而垃圾处理费用较低。但是这类方法是在 90 年代才开始工业化或完成车间试验的，尚未在处理城市垃圾方面有丰富的运行经验，而且需要将垃圾进行分拣。此法的实际效果仍待证实。尚未成熟的技术目前不宜采用。

#### 4.1.6 潮阳区生活垃圾处理方法选择

从上节对五种垃圾处理方法的论述中，归纳出最适合潮阳区的两种垃圾处理方式，分别对焚烧发电和卫生填埋两种处理处置方式进行主要技术经济特点的对比，具体如下表：

表4-1 垃圾处理方式比选表

内容	方案一	方案二
	焚烧发电	卫生填埋
操作安全性	好	较好，注意防火
技术可靠性	可靠	可靠
占地	小	大
处理潮阳区垃圾	适合	适合
环保风险	通过适当投入可控制	容易形成沼气、臭气和渗沥液的无组织排放风险
投资时效	短期，一次性投入	长期
后续对环境的影响	没有，停产后不影响环境	有，停产封场后仍有渗沥液和沼气排出，存在污染环境的可能
处理方式发展趋势	比例越来越大	比例越来越小
无害化	好	好
减量化	好	差
资源化	好	一般（需增加投入）
选址	易，可靠近市区建设，运输距离较近。	较困难，要考虑地形、地质条件，防止地表水、地下水污染，一般远离市区，运输距离较远。
适用条件	入炉垃圾热量>焚烧炉 70%额定热负荷时不需添加辅助燃料。	无机物>60%、含水量<30%、密度>0.5t/d。
最终处置	仅残渣需作填埋处理，约为初始量的 10%左右。	无
产品市场	能产生热能或电能。	无
建设投资	适中	适中
当地政府支付成本	较低	较高
稳定化时间	2 小时	20-50 年
地表水污染	无	有可能
地下水污染	可以控制	有可能
大气污染	可以控制	有臭味和沼气排放的风险
土壤污染	无	限于填埋场区。

纵观国内外城市生活垃圾处理技术的发展动态，城市生活垃圾的焚烧处理技术，由于具有无害化效果好、减量化程度高、资源化较便捷和占地面积小等优点，已愈来愈受到国内外许多城市的青睐。

按照经济效益与环境效益考虑，城市垃圾热值达到一定水平后，以焚烧发电最好，它具有明显“减容、安定、无害、资源化”的优点。本报告推荐垃圾焚烧发电方式来处理

潮阳区生活垃圾。

潮阳区的城市生活垃圾，具有以下三个特点：一是其热值仍处于逐步升高的阶段，当前潮阳区的生活垃圾已达到了焚烧发电的要求，但其热值与发达国家和地区相比，仍然偏低。二是由于潮阳区居民生活习惯的影响，垃圾的含水量较多，厨余物质含量也较多，即使经过储存坑析出部分渗沥液，进炉中垃圾的水份含量适当降低。三是潮阳区居民还未养成分类倒垃圾的习惯。因此，垃圾成分较为复杂，而供分拣回收利用的物质如玻璃、金属和橡胶塑料与厨余等物混在一起，垃圾湿且脏，转运后给分拣带来诸多不便。

生活垃圾焚烧可以采用两种方式：水泥窑用能焚烧和全量焚烧发电，两种方式都是减量化明显的处理方式。但在水泥窑焚烧应用中，为保证焚烧稳定和达标排放，生活垃圾必须进行较为严格的分选预处理，其成本费用较高，导致水泥厂的燃料价格高，政府和水泥厂难以达到双赢。同时水泥厂技术改造费用的投入和所有权归属的问题难以解决。从今后运营风险分析，水泥窑掺用中国垃圾二次燃料无以借鉴，目前很难保证安全、稳定、长期运行。因此，垃圾全量焚烧发电的方案更为合适。

目前潮阳区生活垃圾的热值已超过 1000kCal，满足垃圾焚烧的条件。因此，本项目建设的城市生活垃圾处理设施所采用的处理技术应以焚烧技术为主，但应用的焚烧炉需要对处理物料的热值变化范围有一定的适应能力。

项目所在地土地资源相对紧张，可以考虑综合处理的办法，合理使用有限的垃圾处理场地资源，尽可能以焚烧处理为主要处理手段，再结合其他处理方法，逐步建成一个“源头削减、分类收集、资源回收、综合利用”的生活垃圾处理系统。

## 4.2 焚烧炉型比较及选择

垃圾焚烧处理系统的关键设备是焚烧炉，焚烧炉经过 100 多年历史的发展，借助新技术手段，垃圾的焚烧技术得到不断完善。虽然垃圾焚烧炉是在煤炉的基础上演变而成，但由于垃圾成分复杂以及热值变化较大，垃圾的燃烧系统及垃圾焚烧炉的炉体结构也有很大的变化。垃圾的主要特性是水份高、灰分高、热值低，物理成分复杂，含有腐败性有机物及有害物质。焚烧炉的设计必须充分考虑到垃圾在炉内停留时间、燃烧温度、烟气在炉内的停留时间及紊流，从而达到完全燃烧、控制恶臭及抑制二噁英的产生。

按燃烧方式的不同，焚烧炉的型式可分为机械炉排焚烧炉、流化床焚烧炉、旋转窑焚烧炉和热解气化焚烧炉。

## 4.2.1 机械炉排焚烧炉

机械炉排焚烧炉是较早发展的垃圾焚烧炉型式。机械炉排焚烧炉根据炉排的结构和运动方式不同而形式多样，但燃烧的基本原理大致相同，垃圾在炉排上进行层状燃烧，经过干燥、燃烧、燃尽后灰渣排出炉外，各种炉排都会采取不同的方式使垃圾料层不断得到松动以及使垃圾与空气充分接触，从而达到较理想的燃烧效果。垃圾的燃烧空气由炉排底部送入，根据垃圾热值与水份不同，送入炉排风可以是热风或是冷风，不同的炉排结构其炉排透风方式各异。典型的炉排炉工作见下图。

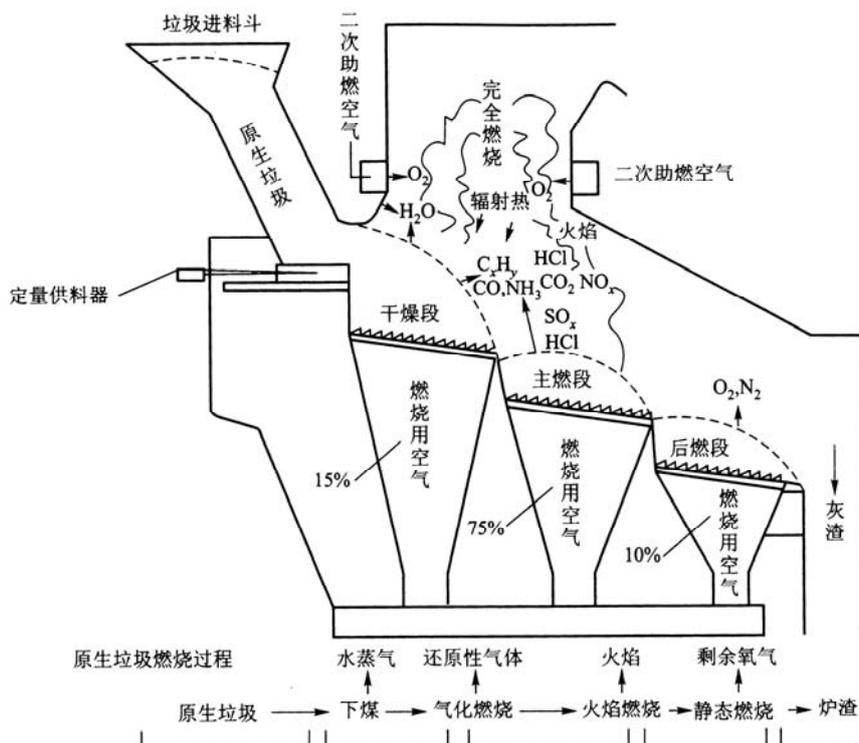


图4-1 典型炉排炉焚烧工作示意图

根据炉排运动方式及结构不同，机械炉排焚烧炉的型式有往复推动炉排、滚动炉排、多段波动炉排、脉冲抛动炉排。但主要型式是往复推动炉排及滚动炉排。

### 4.2.2.1 往复推动炉排

往复推动炉排根据其运动方向不同又可分为顺推式和逆推式。它们共同的工作原理是炉排为倾斜阶梯式布置，炉排总体布置的倾斜角在  $10\sim 15^\circ$  之间。推料器不断把垃圾推入炉内，垃圾在运动的炉排作用下不断松动、切断和翻滚逐步由干燥区向燃烧区、燃尽区移动。二者不同之处在于：

顺推式炉排推动垃圾的方向与垃圾总体流动方向一致，在推动垃圾过程中，使垃圾不断松动、切断，为了使垃圾得到较好的松动，炉排的推动方向与垃圾总体流动方向可

以形成不同的角度；有的炉排甚至在不同的部位装设切刀，有利于垃圾的切断；在顺推炉排中还发展了一种交错推动炉排，即相邻的运动炉排其运动方向相反。顺推式炉排结构见下图所示。

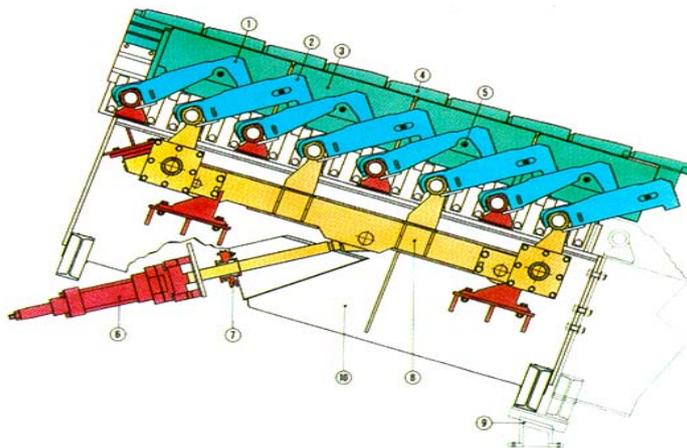


图4-2 顺推式炉排工作示意图

而逆推式炉排是由相间错动的固定炉排片和活动炉排片，以及炉排两侧固定炉排片的侧板组成的往复活动炉排，其特征在于所说往复活动炉排按活动炉排片运动方向与垃圾移动方向逆向，且由垃圾进料口向尾部倾斜按装。由于炉排独特的逆推往复运动，使得垃圾层整体在沿炉排下落位移过程中，经历强有力搅拌、干燥、主燃烧、后燃烧等阶段，从而强化燃烧；在逆推式往复炉排后部有一小部分顺推炉排，使垃圾燃烧的路程增加，易于燃烬，也便于排渣。

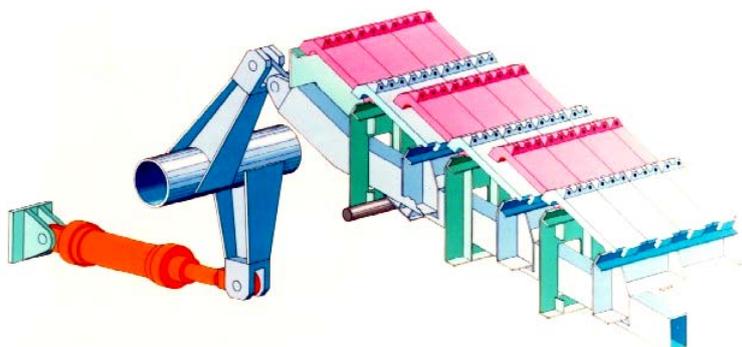


图4-3 逆推式炉排工作示意图

#### 4.2.1.2 滚动炉排

滚动炉排一般由 5~7 个滚筒向下倾斜排列组成，每一滚筒配置一个风室，滚筒表面有许多通气孔，各滚筒通过的空气量可根据需要进行调整，各滚筒的速度可以不一样。垃圾由推料器推入炉内，随着滚筒的旋转向下一级输送，垃圾在滚筒的滚动过程及由一个滚筒过渡到下一个滚筒时，得到较好的翻动和混合，从而获得较好的燃烧效果。由于

滚筒的转速及进风量均可单独调节，从而可以控制垃圾在各个滚筒的停留时间和燃烧，使得其对垃圾的适应性较强。滚筒在滚动的过程中，可以不断得到冷却，因而滚筒炉排材料可以采用一般的灰铸铁。

#### 4.2.2 流化床焚烧炉

流化床焚烧炉是利用流态化技术进行焚烧垃圾，在炉内有大量的石英砂作为热载体。流化床在焚烧垃圾前，通过喷油燃烧将炉内的石英砂加热至 600℃ 以上，垃圾经破碎后投入炉内，流态化的垃圾与媒体强烈混合，垃圾水份很快蒸发，使垃圾变脆而燃烧。

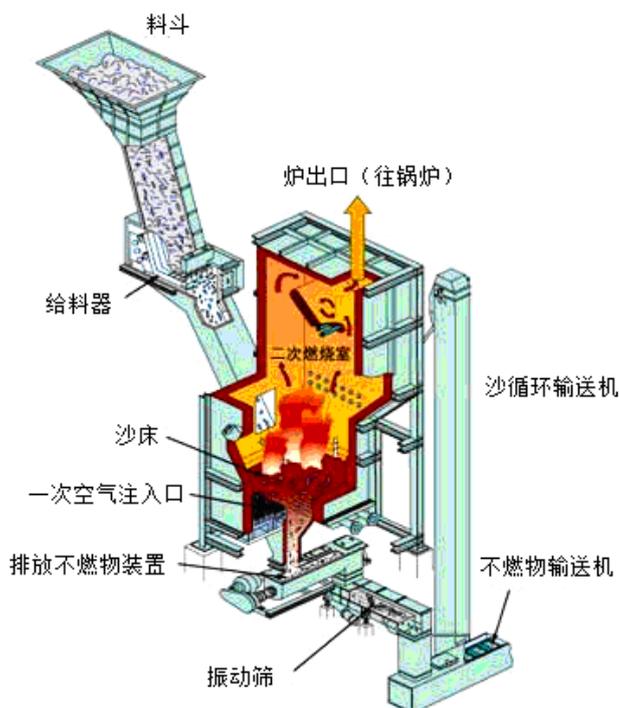


图4-4 循环流化床焚烧炉工作示意图

流化床焚烧炉由于有热载体的存在，燃烧稳定、对垃圾变化适应性好、燃烧热效率高。由于炉内燃烧温度可控制在 850℃ 左右，因而可降低 NO<sub>x</sub> 的产生，同时可在炉内直接喷入石灰，与 SO<sub>x</sub>、HCl 等酸性气体反应，可达到去除酸性气体的目的，其缺点是垃圾必须分选破碎，分选及破碎系统复杂，消耗动力大，同时要使垃圾及媒体处于流化状态必须消耗很大的动力，流态化固体颗粒对炉墙磨损严重。

#### 4.2.3 旋转窑焚烧炉

旋转窑焚烧炉是在钢制圆筒内部装设耐火涂料或由冷却水管与钻孔钢板焊接成圆筒状，筒体沿轴线方向呈小角度倾斜。在焚烧垃圾时，垃圾由上部供应，筒体缓慢旋转，使垃圾不断翻转并向后移动，垃圾逐渐干燥、燃烧、燃烬然后排至排渣装置。有时除旋

转筒体外还配有前置推动炉排或后置推动炉排，前置炉排起干燥，后置炉排起燃烬作用。配冷却水管的旋转炉对垃圾适应性强、设备利用率高、燃烧较完全、过量空气系数低，但其燃烧不易控制，垃圾热值低时燃烧困难。旋转焚烧炉较多使用在热值较高的工业固体废弃物的焚烧上，在生活垃圾的焚烧中应用较少。

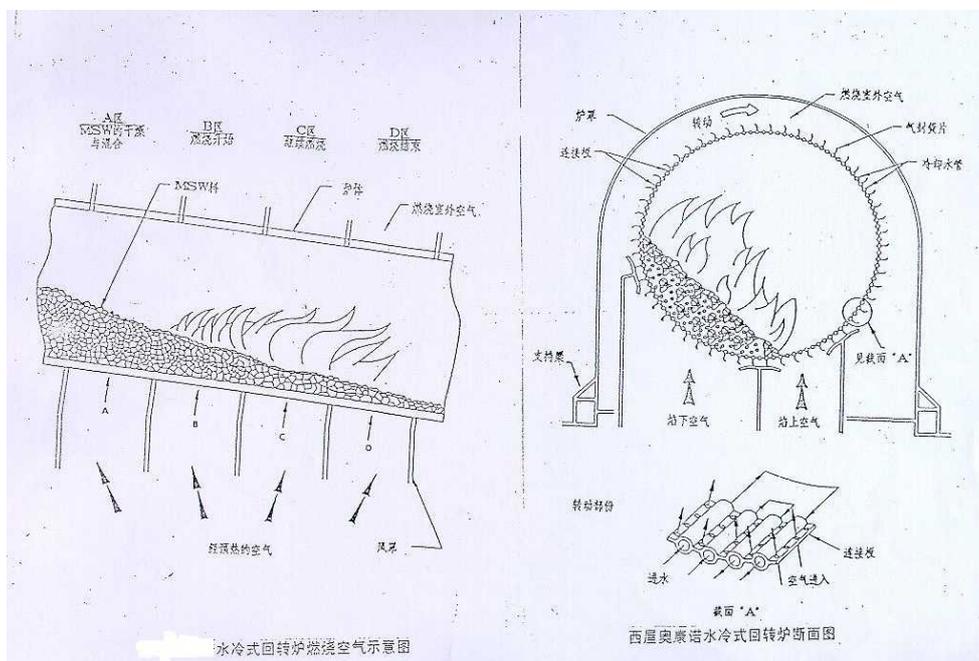


图4-5 回转窑炉工作示意图

#### 4.2.4 热解气化焚烧炉

该炉从结构上分为一燃室与二燃室。一燃室内燃烧层次分布如图所示，从上往下依次为干燥段、热解段、燃烧段、燃烬段和冷却段。

进入一燃室的垃圾首先在干燥段由热解段上升的烟气干燥，其中的水分挥发；在热解气化段分解为一氧化碳、气态烃类等可燃物并形成混合烟气，混合烟气被吸入二燃室燃烧；热解气化后的残留物沉入燃烧段充分燃烧，温度高达 1100~1300℃，其热量用来提供热解段和干燥段所需能量。燃烧段产生的残渣经过燃烬段继续燃烧后进入冷却段，由一燃室底部的一次供风冷却（同时残渣预热了一次风），经炉排的机械挤压、破碎后，由排渣系统排出炉外。一次风穿过残渣层给燃烧段提供了充足的助燃氧。空气在燃烧段消耗掉大量氧后上行至热解段，并形成了热解气化反应发生的欠氧或缺氧条件。

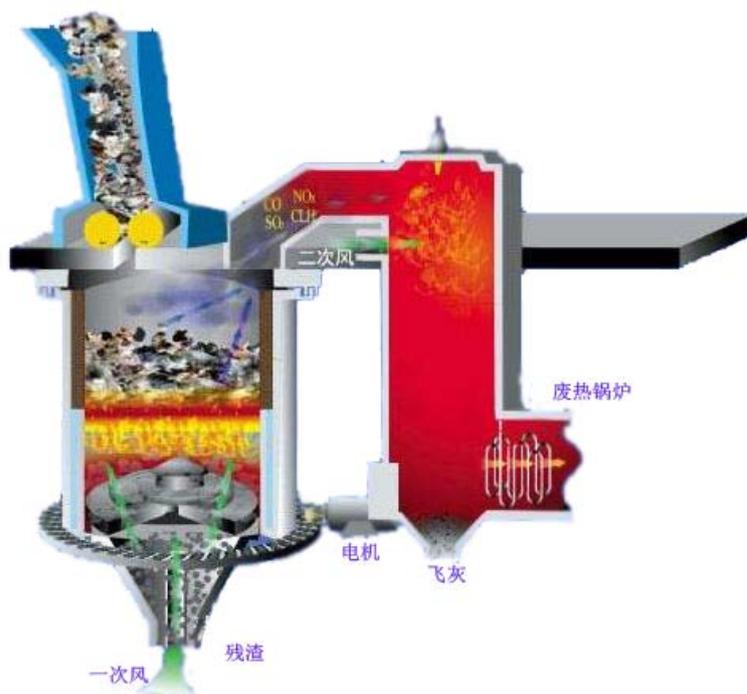


图4-6 热解气化炉工作示意图

垃圾在一燃室内经热解后实现了能量的两级分配：裂解成分进入二燃室焚烧，裂解后残留物留在一燃室内焚烧，垃圾的热分解、气化、燃烧形成了沿向下运动方向的动态平衡。在投料和排渣系统连续稳定运行时，炉内各反应段的物理化学过程也持续进行，从而保证了热解气化炉的持续正常运转。

#### 4.2.5 垃圾焚烧炉的选择

焚烧炉是垃圾焚烧处理工艺中的核心设备，它对整体工艺路线、焚烧效果、工程造价、运行的稳定可靠性、经济效益等，都起至关重要的作用。因此，在焚烧炉型选择上，务必十分慎重。

对国内垃圾焚烧的几种焚烧炉性能比较如下表：

表4-2 焚烧炉型比选表

项目	机械炉排炉	流化床焚烧炉	热解焚烧炉	回转窑焚烧炉
炉床及炉体特点	机械运动炉排，炉排面积较大，炉膛体积较大	固定式炉排，炉排面积和炉膛体积较小	多为卧式固定炉排，分两个燃烧室	无炉排，靠炉体的转动带动垃圾移动
垃圾预处理	不需要	需要	热值较低时需要	不需要
添加辅助燃料	不需要	需要添加煤等辅助燃料	不需要	不需要
设备占地	大	小	中	中
灰渣热灼减率	易达标	原生垃圾在连续助燃下可达标	原生垃圾不易达标	原生垃圾不易达标
垃圾炉内停留时间	较长	较短	最长	长
过量空气系数	大	中	小	大
单炉最大处理量	1200t/d	800t/d	200 t/d	500t/d
垃圾燃烧空气供给	易根据工况调节	较易调节	不易调节	不易调节
对垃圾含水量的适应性	可通过调整干燥段适应不同湿度垃圾	炉温易随垃圾含水量的变化而波动	可通过调节垃圾在炉内的停留时间来适应垃圾的湿度	可通过调节滚筒转速来适应垃圾的湿度
对垃圾不均匀性的适应性	可通过炉排拨动垃圾反转，使其均匀化	较重垃圾迅速到达底部，不易燃烧完全	难以实现炉内垃圾的翻动，因此大块垃圾难于燃烬	空气供应不易分段调节，因此大块垃圾不易燃烬
烟气中含尘量	较低	高	较低	高
燃烧介质	不用载体	需石英砂	不用载体	不用载体
燃烧工况控制	较易	不易	不易	不易
运行费用	低	低	较高	较高
烟气处理	较复杂	较简单	较简单	较复杂
维修工作量	较少	较多	较少	较少
运行业绩	最多	较少	少	生活垃圾很少工业垃圾较多
综合评价	对垃圾的适应性强，不需要预处理，故障少，运行可靠。	需前处理且需经常停炉清渣，国内一般加煤才能焚烧。投资成本较低。	灰渣热灼减率高	要求垃圾热值较高(2500kcal/kg 以上)，且运行成本较高
对本项目的适用性	合适	不合适	不合适	不合适

通过上表比较，机械炉排焚烧炉发展历史最长，技术成熟，适合高水份、低热值、

大容量的垃圾焚烧。流化床投资低，但需要添加煤作为辅助燃料，运行费用受煤价和政府政策波动大，适合于煤资源丰富的地区。热解气化焚烧技术作为国际上垃圾焚烧界普遍认可的 21 世纪的垃圾新技术，同样适合低热值的垃圾焚烧，但目前单炉容量不如机械炉排焚烧炉，且仍须改进才能适应处理高含水率的垃圾。

机械炉排炉相对其它炉型有以下几个特点：

- 1) 机械炉排炉技术成熟，大型焚烧厂几乎都采用该炉型，国内已有成功的先例。
- 2) 机械炉排炉更能够适应国内垃圾高水分、低热值的特性，确保垃圾的完全燃烧。
- 3) 操作可靠方便，对垃圾适应性强，不易造成二次污染。
- 4) 经济性高，垃圾不需要预处理直接进入炉内，运行费用相对较低。
- 5) 设备寿命长，稳定可靠，运行维护方便，国内已有部分配套的技术和设备。

根据国家建设部、国家环保总局、科技部发布的《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》要求，并指出：“目前垃圾焚烧宜采用以炉排炉为基础的成熟技术，审慎采用其它炉型的焚烧炉”。

综合上述各种炉型的特性比较，本文按照稳妥的原则以采用机械炉排炉工艺为基础编制，用作下阶段工作时参考。

#### 4.2.6 主要机械炉排炉产品介绍

机械炉排炉早期在煤的燃烧中得到广泛应用，现在在垃圾的焚烧历程中发展成为技术最成熟、处理规模较大的生活垃圾焚烧炉。机械炉排炉的关键设备是焚烧炉排，各种炉排炉的最大区别也在于炉排的结构型式和运动方式，国内几种应用较广的型式有：逆推式炉排炉、顺推式炉排炉及往复翻动式炉排炉等。著名的德国马丁公司、日本三菱、比利时西格斯（SEGHERS）、日本田熊等均开发、制造出一系列大型垃圾炉排焚烧炉。几种主要的机械炉排炉简述如下：

##### ➤ 三菱-马丁型炉排炉

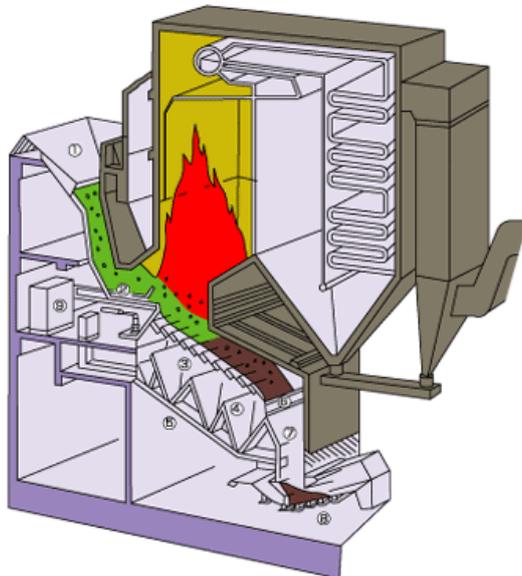
应用案例：深圳清水河、广州李坑本期、杭州滨江(150t/h)、澳门(300t/d)

特点：

炉排长度固定，宽度则依炉床所需的面积调整，可由数个炉床横向组合而成，每个炉床包含 13 个固定及可动阶梯炉条，固定炉条及可动炉条采用横向交错配置，炉床为倾斜度 26 的倾斜床面。

垃圾的干燥、燃烧及后燃烧均在此炉床进行，一次空气由炉床底部经由炉条的空气槽从炉条两侧吹出。可动炉条由连杆及横梁组成，由液压传动装置驱动，其移动速度

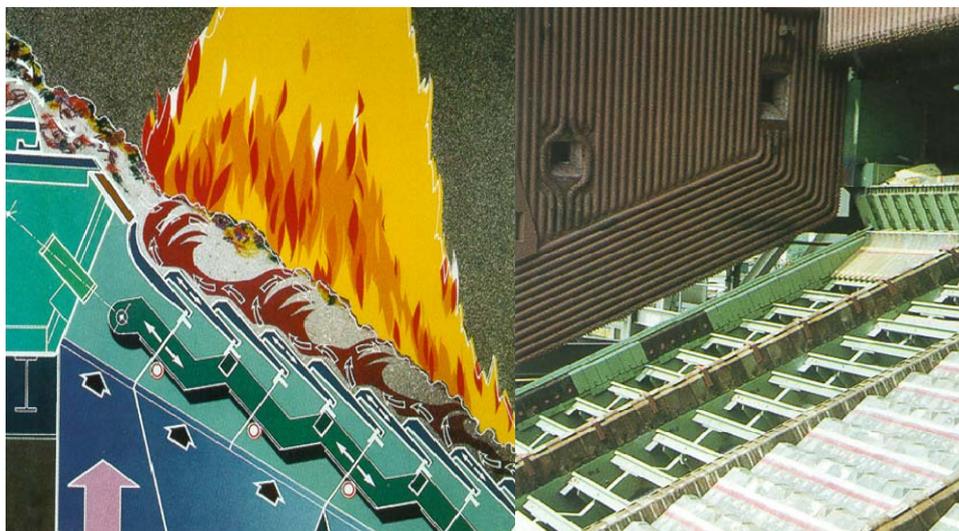
可调整，以配合各种燃烧条件，其搅拌垃圾可动炉条逆向移动，使得垃圾因重力而滑落，使垃圾层达到良好的搅拌，最后灰烬经由灰渣滚轮移送至排灰槽。



#### ➤ 德国马丁 SITY2000 炉排炉

德国马丁炉排技术是目前世界上应用最多的垃圾焚烧炉技术，在欧洲和日本等垃圾热值较高的地区应用较为广泛。

德国马丁公司 SITY2000 炉排为逆推炉排，炉排与炉排片均向下倾斜，整个炉排片无阶段落差，送气孔设在炉排片两侧，有自清作用。可动炉排片与固定炉排片呈阶梯式纵向交互配置。垃圾在炉排上靠重力向下滑落，底层垃圾受可动炉排片逆向运动的推力而涌向上层，达到翻搅作用。垃圾在炉内分为三段燃烧：干燥段、燃烧段和燃烬段，各段的供应空气量和运行速度可以调节。



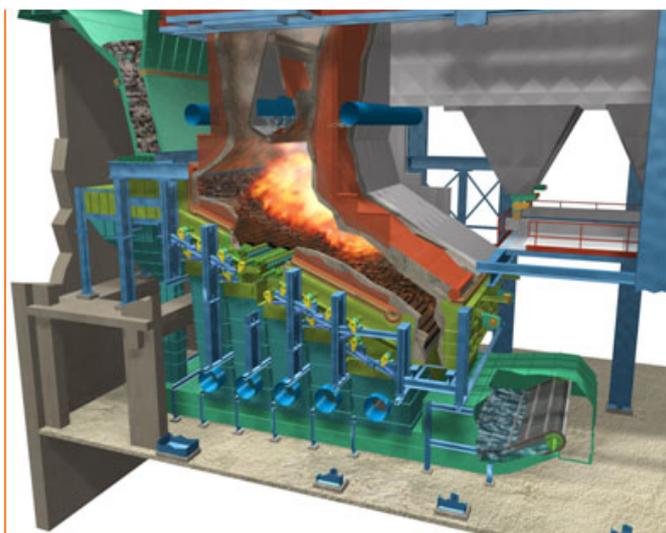
SITY2000 炉排焚烧炉的主要特点：

- a) 单台焚烧炉垃圾处理量 120~720t/h;
- b) 适合中国垃圾高水分、低热值的特点;
- c) 焚烧性能良好, 灰渣未燃烬率 0.7~2%, 烟气中飞灰含量 $<3\text{g}/\text{m}^3$ ;
- d) 运行过程燃烧参数稳定;
- e) 炉排空气冷却高效。

➤ **西格斯 (SEGHERS) 炉排炉**

技术来源: 新加坡吉宝西格斯 (原比利时西格斯 Seghers)

应用案例: 深圳南山(400t/d)、深圳盐田(400t/d)、深圳宝安(400t/d)、常熟(350t/d)、苏州(350 t/d、500t/d)、江阴(400t/d)、贯庄(500t/d)



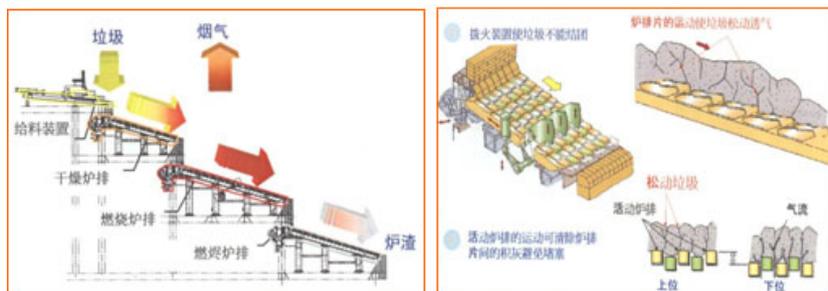
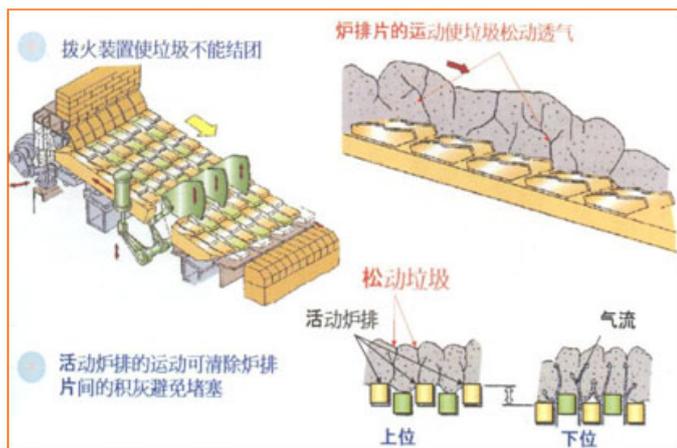
特点: 比利时西格斯炉排为台阶式多级炉排, 由固定式炉条、滑动式炉条和翻动式炉条的相互结合而成, 并且可以各自单独控制。西格斯炉排由相同标准的元件组成, 每一元件包括由刚性梁组成的下层机构, 每片炉条的铸钢支撑和钢质炉条。每件标准炉排元件有六行炉条, 分三种不同炉条按两套布置: 固定式、水平滑动式和翻动式。下层机构的低层框架直接支撑固定炉条。全部炉条顶层表面形成一个带 21 度斜角的炉排倾斜面, 全部元件皆按这个方式布置。滑动炉条推动垃圾层向炉排末端运动, 而翻动炉条使垃圾变得蓬松并充满空气。在炉条下面的燃烧风经过几个冷却鳍片和位于每片炉条前端的开口槽后离开炉条, 并吹过下一炉排片的顶部。每一片炉条有燃烧风出口开口。从而保证整个炉排表面的空气分布均匀。

➤ **日本日立造船阶段反复摇动式炉排**

技术来源: 日本日立造船公司(Hitachi Zosen)

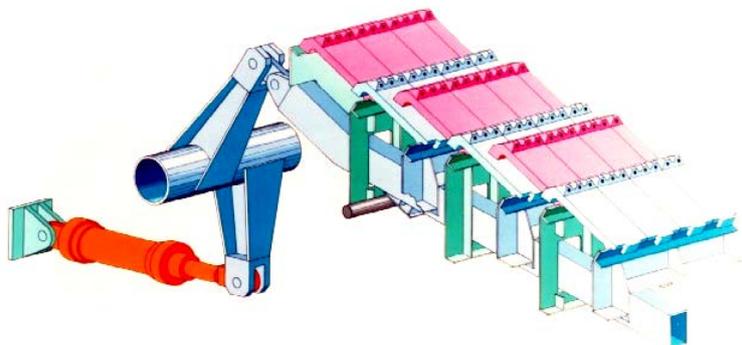
应用案例: 台中市-中国台湾

特点：阶段反覆摇动式焚烧炉的每个炉排上都有固定炉条及可动炉条以纵向交错配置，可动炉条由连杆及棘齿组成，在可动炉条支架上水平方向作反覆运动，此种运动方式将剪力作用于垃圾层的前后及左右各方向，使得垃圾层能松动及均匀混合，并与火上空气充分接触。一次空气由炉排底部经由炉条两侧的缝隙吹出。在燃烧区的固定炉条上的炉条有切断刀刃装置，其功能为松动垃圾块、垃圾层及调整垃圾停留时间，使供给空气分布均匀，以及使二次空气的通道有自清作用，垃圾借此力量反覆翻搅及移动。



### ➤ 重庆三峰 SITY-2000 炉排炉

重庆三峰引进法国阿尔斯通 SITY-2000 炉排炉技术，该炉型由德国马丁炉改造而成，增加了炉排长度，降低了炉排倾斜度，更适应国内垃圾高水份、低热值的特点。



其炉排为逆推炉排，炉排与炉排片均向下倾斜，整个炉排片无阶落差，送气孔设在炉排片两侧，有自清作用。可动炉排片与固定炉排片呈阶梯式纵向交互配置。垃圾在

炉排上靠重力向下滑落，底层垃圾受可动炉排片逆向运动的推力而涌向上层，达到翻搅作用。垃圾在炉内分为三段燃烧：干燥段、燃烧段和燃烬段，各段的供应空气量和运行速度可以调节。

鉴于上述焚烧炉炉型技术先进、成熟，并均具备较多的投产经历，本项目将在后续阶段通过招标等手段，从上述设备中选用合适的焚烧炉炉型。

### 4.3 焚烧生产线的配置

垃圾焚烧厂的焚烧生产线配置是否合理直接决定了整个项目本身的造价及投产后的运营质量，应得到关注。焚烧线配置合理程度主要从两个角度进行衡量：单炉与总规模的协调、停炉检修期间垃圾量处置能力。

#### 4.3.1 焚烧线容量论证

根据本项目总处理规模为 2250t/d，拟定两种最符合实际的的焚烧线配置方案，以设计点热值 8374kJ/kg（2000kCal）为例比较见下表：

表4-1 焚烧炉数量配置比较表

项目	配置数	3 台炉	4 台炉
单台处理能力		750t/d	600t/d
单台年运行时间		8000 小时	8000 小时
额定年处理量（100%负荷入炉量）		82.125 万吨	87.6 万吨
能否满足 2250t/d 处理容量		能	能
单炉年度计划大修 30 天时，能否满足生活垃圾处理需求		容易满足	满足
有一年度计划大修 30 天时，采取何种措施满足最小焚烧量		各台焚烧炉错开检测时期。在大修期前降低垃圾池仓位，在大修期采用斜堆等方法增加垃圾池缓存能力。	各台焚烧炉错开检测时期。在大修期前降低垃圾池仓位，在大修期采用斜堆等方法增加垃圾池缓存能力。
主厂房/主厂房附屋占地面积		适中	较大
相对设备投资		适中	较大
垃圾处理成本		适中	较高
吨垃圾能量产出		较高	一般
自用电耗		适中	较高
示范效应		好	好
设备国内运行成熟可靠性		较好	较好
运行稳定性		好	好
系统灵活性		较好	好
技术风险		较小	较小

方案一：配置 3 台 750t/d 炉排焚烧炉，配 3 台余热锅炉；

方案二：配置 4 台 600t/d 炉排焚烧炉，配 4 台余热锅炉。

选用“3 台 750t/d”和“4 台 600 t/d”方案均可满足本项目的垃圾处理需要，方案一在投资、能量产出及占地面积上均有较大优势，从而有效降低项目的垃圾处理成本，对提高企业受益有利。

因此，本项目推荐选用 3 台 750t/d 炉排焚烧炉方案，本期建设 2 台 750t/d 焚烧炉，年运行时间 8000 小时，其热负荷变化范围为 60%~110%，垃圾处理量的变化范围为 70%~110%。

#### 4.3.2 停炉检修期间垃圾处置能力

本期两台炉额定每日处理入炉垃圾量为 1500 吨，最大处理量为 1650 吨，按 8000 小时运行时间考虑，年处理入炉垃圾 50 万吨，考虑到垃圾在贮坑中能够排出约占进厂

垃圾总量 15%左右的垃圾渗沥液，则每年可以处理进厂垃圾约 58.82 万吨垃圾。而本项目垃圾年需处理入厂垃圾量为 54.75 万吨，因此焚烧炉的配置适合生活垃圾处理需求。

当一台炉年度维修（按持续天数 20 天计算），另一台炉常规运行，日处理量为 750 吨。按入厂垃圾 1500t/d 且扣除 15%渗沥液计算，则尚有 525t/d 垃圾未处理。因此，为了减轻检修期垃圾处理的压力，应对垃圾处理量的意外增加，拟采取以下措施：

① 垃圾池具有约 10 天（约 14880 吨）的贮存能力设计。

② 计划年度大修前两台炉加大处理量，降低贮坑料位，以保证检修期能贮存更多的垃圾。

本项目垃圾池容积为 33000m<sup>3</sup>，可储存垃圾量约 14880t 生活垃圾，可满足二十天检修期的缓冲存储需求。另外，还可以采用国内外垃圾处理厂常用的贮存方法，利用垃圾吊造堆，增加料斗侧的高度，可以进一步增加贮存量，确保焚烧厂运行不影响垃圾的正常清运。

## 4.4 垃圾设计热值确定

垃圾设计性质的确定是根据目前垃圾特性、结合过去的垃圾情况及对未来垃圾特性预测而综合考虑的。垃圾的设计特性确定后，对燃烧偏离设计范围的垃圾，将会影响燃烧效果及经济效益。一般而言，当入炉垃圾热量低于设计额定热负荷的 70%时，垃圾焚烧时将消耗较多的辅助燃料才能维持燃烧。当入炉垃圾热值高于设计热值时，由于炉排和受热面已确定，余热锅炉吸热量受到限制，因而影响垃圾处理量。当垃圾的含水率及灰分高于设计值时，影响垃圾的燃烧及锅炉热效率。

### 4.4.1 垃圾低位热值的确定

垃圾低位热值的设定不但要考虑适应目前垃圾的焚烧，还应考虑随着生活水平的提高，垃圾的热值会不断上升，上升至一定值后将基本保持不变。同时，垃圾收集及分类方式的改变、同一年份季节的变化、晴天和雨天等因素都将影响垃圾的热值。在垃圾热值的设定方面，国内还没有足够的经验可以借鉴。

余热锅炉受热面的布置按一定的燃烧强度考虑，留有裕度，但如果垃圾热值上下偏离设计点过大，则会对焚烧炉的适应范围要求过宽，从而对垃圾处理厂的正常运行和运行成本有较大的影响：若设计点定得过低，则当实际垃圾热值较高时造成受热面超温和垃圾处理量下降，甚至达不到处理量的要求；反之，若设计点定得过高，则余热利用系统设备投资费用相应增加，当垃圾实际热值较低时，设备长期处于低负荷运行，从而使

产汽量和蒸汽参数不足，甚至需要添加助燃以保证达到环保指标和发电参数的要求。因此，最佳设计点的设定，关系到焚烧厂的长期运行工况及长期运行成本，至关重要。垃圾设计热值的确定一般需考虑下述因素：

a) 本地垃圾状况：根据有关分析资料及检测报告，推算潮阳区现在平均垃圾低位热值在 5500~6000kJ/kg 之间。

b) 年内垃圾热值波动情况：根据国内垃圾焚烧发电厂的经验，垃圾一年内夏季热值最低，冬季最高，相差 500~1000kJ/kg。

c) 常年垃圾热值发展趋势：垃圾处理厂运行期 40 年，根据我国经济增长水平，随着市民生活水平逐步提高，垃圾热值相应增大，沿海经济发达地区的垃圾热值明显高于内地城市，即是例证。

d) 垃圾收集运输及在垃圾池的状况会使垃圾的水分发生变化，进而影响其热值。一般垃圾水分每降低 1%，其热值增加 168kJ/kg (即 40kcal/kg)。

e) 垃圾管理规范化程度，在一定程度上影响垃圾有回收价值的成分比率，进而影响垃圾热值。

f) 垃圾设计热值和焚烧炉处理量的匹配。

随着潮阳区近年城市化范围的扩大，垃圾热值处于一个平稳增长的阶段。随着潮阳区经济的发展、垃圾分类收集方式的推广等客观因素，项目服务区内的垃圾热值会有较快增长。考虑到垃圾进入储料坑经过 5~7 天的熟化，部分渗沥液析出后，热值有一定的上升空间。综上，本项目方案中将入炉垃圾设计低位热值考虑为 8374kJ/kg(2000kCal)，焚烧炉的操作范围定在 5024kJ/kg~10600 kJ/kg 之间。

最高点：                    LHV=10600 kJ/kg

设计 (MCR) 点：            LHV=8374kJ/kg

辅助燃料添加点：          LHV=5862 kJ/kg

最低点：                    LHV=5024kJ/kg

#### 4.4.2 垃圾水份的设定

由于居民的生活水平，生活习惯不一样，国内生活垃圾的含水率普遍比西方发达国家要高得多。垃圾的含水率将直接影响焚烧系统及炉体结构的设计。目前服务区生活垃圾含水率在 40%~60%之间。随着生活水平的提高、垃圾的可燃成分会增加，垃圾水份相应降低；垃圾收集方式的不同也会影响垃圾的水份，如使用垃圾压缩车其水份也会降

低；垃圾在贮坑内存放 3~5 天，垃圾的含水率也会降低 10%~15% 左右。本项目入炉垃圾含水率定为 41.33%，操作范围为 25~55%。

#### 4.4.3 垃圾灰分的设定

垃圾灰分为不可燃物，灰分过高不利燃烧。含灰量高，垃圾热值相对降低，并加重炉排及炉墙的磨损。本项目入炉垃圾含灰率设定在 20.67%，操作范围在 14~28%。

#### 4.4.4 燃烧图

燃烧图的横轴代表焚烧炉的处理量（每小时垃圾吨数，动态平均值）；纵轴代表焚烧炉/锅炉的热负荷（热功兆瓦，动态平均值）。在焚烧图中，标出了恒定热值线（kJ/kg），从原点出发的有斜度的直线。热值和处理量给出了装置的热负荷。燃烧负荷图如下：

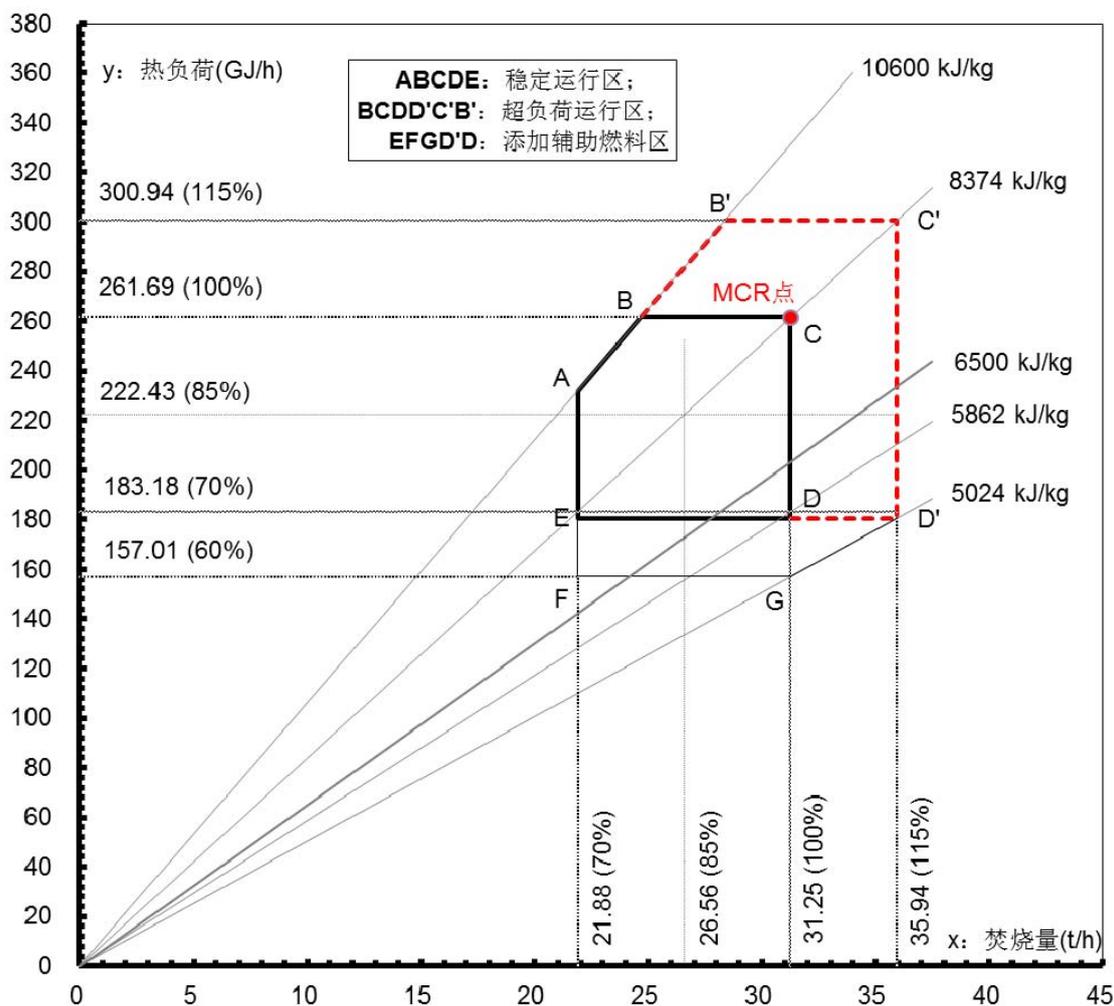


图4-7 本项目焚烧炉燃烧图

根据上图显示，焚烧炉额定焚烧垃圾量为 31.25t/h（单台），最大处理量为 35.94t/h；垃圾设计低位热值为 8374kJ/kg（2000kCal），进炉垃圾的热值的波动范围为 5024kJ/kg~

10600 kJ/kg，进炉垃圾量可在额定垃圾处理量的 70%~110%范围内波动，进炉垃圾热量可在额定值的 60%~110%范围内波动。

在上图 ABCDE 区域中运行，焚烧炉不加任何辅助燃料可以连续、稳定地运行，并可满足烟气温度 850℃、停留 2s 的要求。同时，焚烧炉可在额定能力 110% 的超负荷条件下（图表 DCBB'C'D'区）运行。

当入炉垃圾热量低于设计额定热负荷的 70%时，辅助燃烧器会根据烟道中预设位置的温度自动向炉内喷辅助燃料，以保证使炉内烟气温度达到 850℃、停留 2s 的要求。

在焚烧图正常工作范围之外运行，包括长时间在超负荷区域运行，可能导致系统部分部件过度磨损，特别是耐火材料，锅炉壁和管束（腐蚀）以及炉排片。因此，实际的运行点将自动计算并显示在控制室内的控制屏幕上。

#### 4.5 余热锅炉蒸汽参数的确定

在垃圾焚烧热能回收过程中，由于垃圾所含盐分、塑料成分较高，燃烧气体产物中含有大量的氯化氢等腐蚀性气体和灰分，因此选择合适的过热蒸汽参数对全厂发电效率和过热器寿命都有着重要的意义。

目前垃圾焚烧余热锅炉出口过热蒸汽通常采用中压参数（4.0MPa，400℃），也有采用次高压参数（6.5MPa，450℃）。两种参数及过热起材质比较见下表：

表4-3 过热蒸汽参数比较表

比较内容	中温中压(4MPa, 400℃)	次高压中温(6.5MPa, 450℃)
锅炉出力	100%	97%
锅炉换热面积	100%	111%
受压件重量	100%	126%
余热锅炉投资	100%	115%
发电机出力	100%	110%
售电量	100%	108%
过热器材质	合金钢	耐高温耐腐蚀合金钢
过热器寿命	长	较短
技术成熟性	成熟	较成熟
使用业绩	较多	少

表4-4 两种蒸汽参数下几种过热器材质的性价比

蒸汽温度	450℃			400℃	
材质	碳钢	SUS310	镍合金	碳钢	SUS310
材料腐蚀速度 (mm/a)	2.5	1.0	0.5	1.2	0.3
材料寿命 (a)	1	3	6	2.5	> 5
价格	100%	800%	4000%	100%	800%

从以上两表可以看出，两者方案区别主要在于：

#### 1) 设备投资

由于主蒸汽的压力提高到 6.5Mpa，余热锅炉受压面管道需要加厚；由于温度的提高了 50℃，过热器受热面积需增加。因此余热锅炉的质量会增加 25%左右。

#### 2) 维修成本

由于过热器的温度提高，过热器的防腐蚀等级需要提升，因此过热器的材质需要提升。由上表可知，对于同一种过热器材质，采用中温中压参数的锅炉过热器使用寿命相对较长且成本较低；而次高压中温参数的锅炉过热器需使用耐腐蚀的合金钢才能达到合理的使用寿命和性能，而该合金钢价格昂贵，势必造成锅炉成本的大幅增加，若采用碳钢或不锈钢的话，过热器腐蚀较快，只能维持 1~3 年，将造成过热器的频繁更换，加大维修和维护的工作量，无法确保焚烧厂稳定的运行。

#### 3) 发电收益

由于采用次高温高压参数余热锅炉的发电效率高，因此发电量和售电量较多，比中温中压参数高约 8%~10%之间，该效益随着垃圾热值的提高愈加明显。针对本项目 8374kJ/kg (2000kCal) 的设计热值考虑，采用高参数的发电收益较为明显。

#### 4) 国内应用业绩

在国内已经运行的垃圾焚烧发电厂中，绝大部分都采用中温中压参数，采用中温次高压参数的有广州市李坑和博罗项目等。

综合以上比较，为充分利用项目垃圾热值较高的优势，将余热锅炉的蒸汽参数温度提高 50℃，即暂定选用中温中压参数 (4.0MPa、450℃)。

## 4.6 汽轮发电机组配置的确定

### 4.6.1 余热利用

汽轮发电机组是用来将余热锅炉所产蒸汽转换成电能，由于厂址周围没有热用

户，因此本项目选用凝汽式汽轮机组。

在设计点焚烧炉处理垃圾量为 1500t/d，垃圾设计热值为 8374kJ/kg（2000kCal），垃圾被送入焚烧炉焚烧后的热量被余热锅炉吸收，能够产生的过热蒸汽量为 153.477t/d（ $P=4.0\text{MPa}$ ， $t=450^{\circ}\text{C}$ ）。考虑到蒸汽管道输送过程中的汽水损失，实际进入汽轮发电机组的过热蒸汽量为 148.873t/d（ $P=3.9\text{MPa}$ ， $t=435^{\circ}\text{C}$ ）。按照 4.80 kg/kWh 的汽耗率估算，发电功率约为 31.015MW。考虑未来热值上涨空间及超负荷运行情况，推荐本项目汽轮机组装机容量应控制在 35.0MW 左右。

根据国内汽轮机成熟产品情况，本项目汽轮机可以有以下两种配置方案：

方案一： 2×18MW 汽轮发电机组。

方案二： 1×35MW 汽轮发电机组。

#### 4.6.2 设备配置

汽轮发电机组的选择不影响垃圾焚烧炉和余热锅炉及其附属设备的确定，两个方案在设备配置中不同点主要在于汽机系统设备的选择上。两者比较在设备配置上方案一比方案二多了一套汽轮发电机组。

#### 4.6.3 汽轮发电机组的选择

综合余热利用和设备配置两个方面的比较，可以得出如下结论：

1)方案一的特点是运行可靠，机组效率高，系统灵活，如果一台汽轮机选择停机检修，另一台汽机仍可以正常运行，满足项目发电需求。并且两台汽轮机的方案对于入厂垃圾量不足的情况适应性较好。但方案一系统相对复杂，投资稍大。

2)方案二的特点是系统相对简单，投资省，运行费用较低，满负荷情况下运行效率较高。但在汽轮机需要停机检修时，无法提供电力，全厂自用电要采取向市政电网外购来解决。

目前汽轮机组的技术已经非常成熟，运行也相当稳定，因此采用 1 台汽轮机组可满足项目要求，可有效节约设备、土建投资。同时，根据本项目实际情况，本项目预留有二期一炉一机扩建工程，因此，综合考虑全厂规划设备配置，推荐本期工程汽轮发电机组的配置采用方案二，即本期工程配置 1 台 35MW 的凝汽式汽轮发电机组。

## 4.7 烟气净化工艺方案

### 4.7.1 烟气污染物排放标准

根据国内外的垃圾焚烧经验，结合本项目的实际情况和相关标准要求，本项目执行《生活垃圾焚烧处理污染控制标准》（GB18485-2014）及欧盟 EU2000/76/EC 标准，具体排放限值指标如下：

表4-5 烟气净化系统处理后的污染物排放限值

序号	污染物	单位	GB18485-2014	EU2000/76/EC	本项目 排放限值	
1	颗粒物	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	30	—	30
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	30	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	20	10	10
2	NO <sub>x</sub>	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	300	—	300
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	400	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	250	200	200
3	SO <sub>2</sub>	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	100	—	100
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	200	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	80	50	50
4	HCl	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	60	—	60
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	60	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	50	10	50
5	CO	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	100	—	100
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	—	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	80	—	80
6	汞及其化合物（以 Hg）计（测定均值）	mg/Nm <sup>3</sup>	0.05	0.05	0.05	
7	镉、铊及其化合物（以 Cd+Tl 计）（测定均值）	mg/Nm <sup>3</sup>	0.1	0.05	0.05	
8	锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物（测定均值）	mg/Nm <sup>3</sup>	1.0	0.5	0.5	
9	二噁英	ng TEQ/Nm <sup>3</sup>	0.1	0.1	0.1	

注：（1）表中各项标准限值均以标准状态下含 11%O<sub>2</sub> 的干烟气为参考值换算。

### 4.7.2 粉尘颗粒物的去除

垃圾焚烧烟气中的粉尘是焚烧过程中产生的微小无机颗粒状物质，主要是：（1）被燃烧空气和烟气吹起的小颗粒灰分；（2）未充分燃烧的炭等可燃物；（3）因高温而挥发

的盐类和重金属等在冷却净化过程中又凝缩或发生化学反应而产生的物质。其中第一种占主要成分。

焚烧烟气中粉尘的主要成分为惰性无机物质，如灰分、无机盐类、可凝结的气体污染物及有害的重金属氧化物，其含量在  $450\sim 20000\text{mg}/\text{m}^3$  之间。

除尘设备的种类主要包括旋风除尘器、静电除尘器及布袋除尘器等，其中旋风除尘器除尘效率较低，主要去除直径大于  $50\mu\text{m}$  的粉尘；静电除尘器和布袋除尘器除尘效率较高，其中布袋除尘器是国家环境保护总局发布的《生活垃圾焚烧污染控制标准》规定使用的设备。

### 4.7.3 酸性气体的去除

#### 4.7.3.1 概述

焚烧烟气中的酸性气体包括氯化氢 (HCl)、卤化氢 (氯以外的卤素，氟、溴、碘等)、硫氧化物 ( $\text{SO}_x$ )、氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ )、碳氧化物 ( $\text{CO}_x$ ) 以及五氧化磷 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 和磷酸 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )，HCl、 $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}_x$  等为主要成分，其中 HCl 主要来源于生活垃圾中含氯废物的分解； $\text{SO}_x$  来源于含硫生活垃圾的高温氧化过程； $\text{NO}_x$  来源于生活垃圾成分中的氮化合物和  $\text{O}_2$  的氧化反应； $\text{CO}_x$  来源于生活垃圾中有机可燃物燃烧或不完全燃烧产生。

#### 4.7.3.2 控制技术

酸性气体的去除工艺主要有干法、半干法、湿法、三种，其酸性气体去除率分别为 80%、90% 和 98%，但吸收剂  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  的消耗过量系数分别为 3、2 和 1。

##### 1、干法净化工艺

干法净化烟气对污染物的去除效率相对较低，为了有效控制酸性气态污染物的排放，必须增加固态吸收剂在烟气中的停留时间，保持良好的湍流度，使吸收剂的比表面积足够大。干法净化所用的吸收剂以  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  粉末居多。干法净化的工艺组合形式一般为吸收剂通过管道喷射，并辅以后续的高效除尘器。在烟气进入袋式除尘器的烟道上，设有消石灰和活性炭喷入口，喷入  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  粉末和活性炭粉末。喷入  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  粉末的目的在于去除烟气中的酸性气体，使得 HCl 和  $\text{SO}_x$  排放浓度达到国家标准。喷入活性炭粉末用以去除烟气中的重金属和二噁英、呋喃。有害气体二噁英、呋喃是在焚烧垃圾过程和化学反应中产生的。残留的二噁英、呋喃在进入除尘器前，被多孔且吸附力较强的活性炭所吸附。干法净化的显著优点是反应产物为固态，可直接进行最终的处理，而无需像湿法净化工艺那样，要对净化产物进行二次处理。干法净化烟气系统的缺点是对污

染物的去除效率比湿法烟气处理系统要低，吸收剂的消耗量比湿法要大。

由于干法吸收剂耗量较大，在生活垃圾处理项目中虽有应用但不广泛。从工艺特点分析，干法应用灵活，工艺简单，作为补充手段是非常理想的。

## 2、湿法净化工艺

湿法早期在一些发达国家的应用比例较高，利用碱性物质作为吸收剂可使酸性气态污染物得以高效净化。湿法净化可以分一段或二段完成，净化设备有反应塔（填料塔、筛板塔）和文丘里洗涤器等。目前的湿式石灰法脱硫技术是最普遍的湿式烟气脱硫技术。

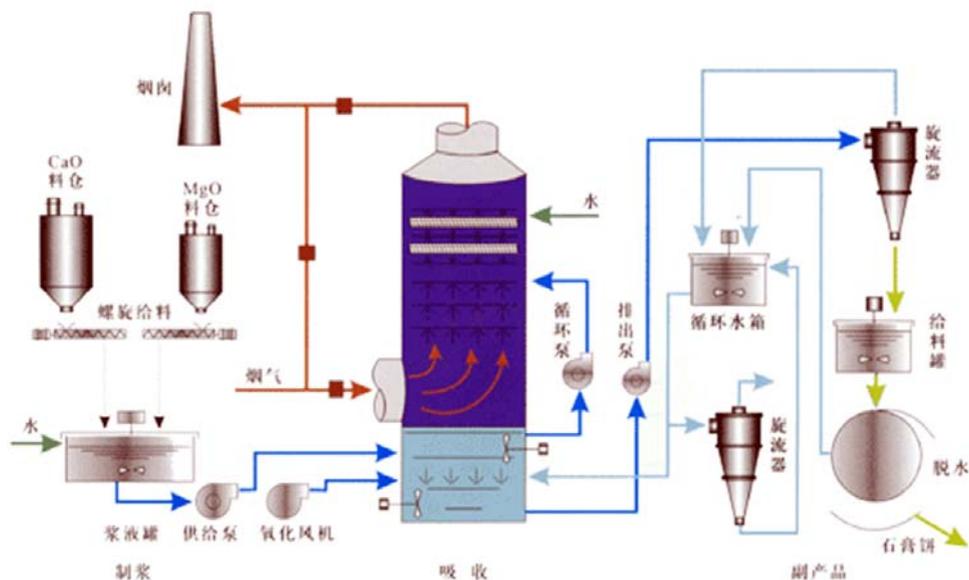


图4-8 湿式烟气净化工艺流程图

湿式烟气脱硫技术，具有装置性能高、造价低、设备结构简单、维修方便和节约能源等优点。这种工艺的缺点是需要对液态反应生成物做进一步处理，工艺流程较复杂，成套设备占地面积大，投资和运行费用较高。

“湿法”早期在一些发达国家的应用比例较高，利用碱性物质作为吸收剂可使酸性气态污染物得以高效净化，但在垃圾焚烧电厂中较少用。

## 3、半干法净化工艺

半干法烟气净化系统是介于湿法和干法之间的一种工艺，它具有净化效率高，且无需对反应产物进行二次处理的优点。

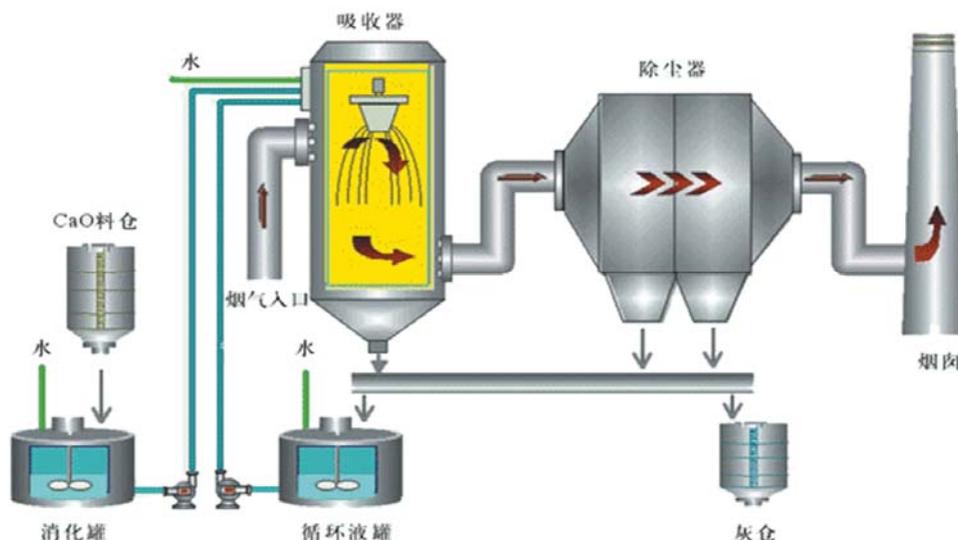


图4-9 半干法烟气净化工艺流程图

该工艺对操作水平要求较高，需要长时间地实践积累，才能达到良好的效果。烟气必须要有足够长的停留时间，才可以使化学吸收反应完全，以达到高效去除污染物的目的。同时使反应生成物所含水分充分蒸发，最终以固态形式排出。因此停留时间是半干法净化塔设计中非常重要的参数。另外，净化塔进出口的温差直接影响到反应产物形态和酸性气体的去除效率。除停留时间和温差两个因素外，吸收剂的粒度、喷雾效果等，对整个净化工艺也有较大的影响。实际操作过程中，对上述影响因素都有严格要求，否则，可能会导致整个工艺的失败。半干法净化塔与后续的袋式除尘器相连，构成了半干法净化工艺系统。半干法烟气净化处理系统主要是去除烟气中的固体颗粒、硫氧化物、氯化氢、重金属(Hg、Pb、Cr)、二噁英及呋喃等有害物质，以达到烟气排放的标准。

表4-1 酸性气体去除工艺比较表

功能特性方法	去除效率 (%)		药剂消耗量 (%)	耗电量 (%)	耗水量 (%)	反应物质 (%)	废水量 (%)	建造费用 (%)	操作维护费用 (%)
	单独	配合布袋除尘器							
干法	80	95	120	80	100	120	—	90	80
半干法	90	98	100	100	100	100	—	100	100
湿法	98	99	100	150	150	—	100	150	150

干法工艺脱酸效率低，酸性气体污染物排放浓度高，较难达到项目的烟气净化要求；湿法工艺去除效率高，但耗水、耗电量高，工艺流程复杂，尤其产生过多的废水处理成本高；半干法工艺结合了干法与湿法的优点，构造简单、投资低、能耗少、液体使用量远较湿法系统低，较干法的去除效率高，也免除了湿法产生过多废水的问题。

### 4.7.3.3 推荐方案

为满足国家最新颁布的生活垃圾焚烧污染控制标准 GB18485-2014，以及达到欧盟 EU2000/76/EC 标准，推荐本项目酸性气体去除工艺采用“半干法+干法”净化工艺，该组合工艺不仅烟气净化效率高，而且废水污染物产生量少，在垃圾焚烧烟气净化领域中已成为主流处理工艺。

## 4.7.4 氮氧化物的去除

### 4.7.4.1 生成原理

NO<sub>x</sub> 的生成量主要与炉内温度及垃圾化学成分有关。燃烧产生的 NO<sub>x</sub> 可分成两大类：一为燃烧空气中所含有氮和氧，在高温状态下反应而产生的热力型 NO<sub>x</sub>，通常需至 1200℃ 以上高温始发生；另一为燃料中所含的各种氮化合物在燃烧时被氧化而产生的燃料型 NO<sub>x</sub>。

城市生活垃圾焚烧时，由于炉内之高温区尚不足以达到形成热力型 NO<sub>x</sub> 的温度，故大部分 NO<sub>x</sub> 的形成是由于垃圾中所含的氮形成。由于烟气中的 NO<sub>x</sub> 大多以 NO 的形式存在，且其不溶于水，无法藉脱酸塔加以去除，必须采用其它方法。

### 4.7.4.2 控制技术

烟气中 NO<sub>x</sub> 的去除方法，可分成燃烧控制法、干式法及湿式法；其中干式法及湿式法乃属烟道排气脱硝方法。

#### 1、燃烧控制法

燃烧控制法为藉调整焚烧炉内垃圾燃烧工况，以降低 NO<sub>x</sub> 产生。狭义也有指缺氧燃烧法（也称低氧运转法、两段燃烧法或抑制燃烧法），但广义之燃烧控制法则包括喷水降温法及烟气再循环法。以燃烧控制来降低 NO<sub>x</sub> 产生，主要是在炉内发生自身去除氮氧化物作用，亦即燃烧垃圾生成之 NO<sub>x</sub>，在炉内可被还原为氮气（N<sub>2</sub>）。在此反应中的还原物质，是由垃圾干燥区产生的氨气、一氧化碳及氰化氢等热解气体。要使这种反应能有效进行，除必须促进热解气体发生外，亦必须维持热解气体与 NO<sub>x</sub> 接触，并使炉内处于缺氧状况，以避免热解气体发生急剧燃烧。

由于燃烧控制法也会同时降低燃烧效率及发生不完全燃烧现象，因此采用此法时必须同时考虑燃烧空气量、过量空气、火焰温度及烟气中的有机物质是否能够完全去除等因素，以确保不会造成二次危害。

#### 2、干式法

干式法又分为选择性非催化还原法（SNCR）及选择性催化还原法（SCR）两种。SNCR 是将还原剂喷入焚烧炉内之高温区，将  $\text{NO}_x$  分解成  $\text{N}_2$  与  $\text{O}_2$  的方法。然而若为提高  $\text{NO}_x$  的去除效率，而增加药剂喷入量时，未反应之氨会残留在烟气中，与烟气中的  $\text{HCl}$  反应，而产生气态氯化铵，导致从烟囱排出烟气时变成白烟，而且还会产生铵盐沉积在锅炉省煤器上，因此  $\text{NO}_x$  去除率最好限制在 50% 左右。具体工艺流程图示意图如下。

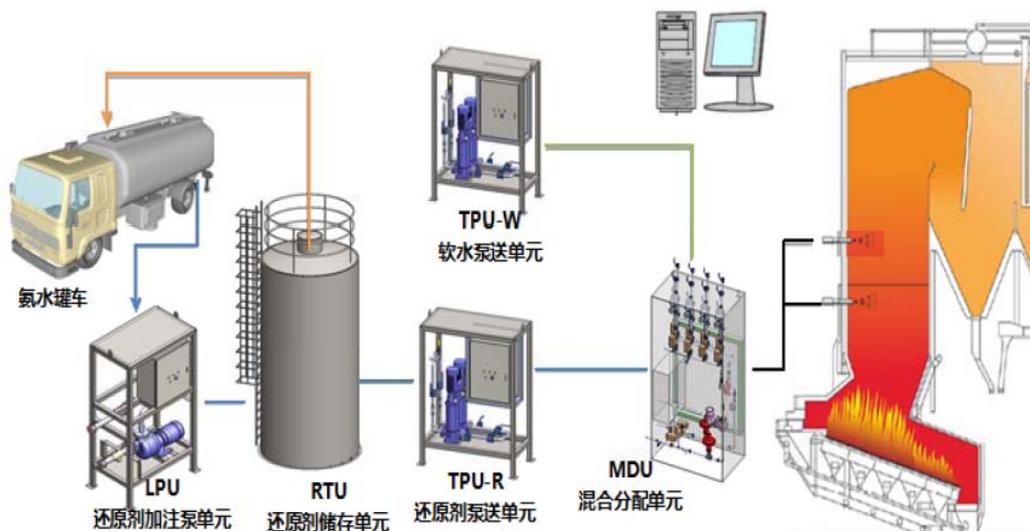


图4-10 选择性非催化还原法（SNCR）工艺流程示意图

SCR 是在烟气温度为  $250\sim 350^\circ\text{C}$  区域设置触媒反应塔，以喷入烟气中的氨作为还原剂，让  $\text{NO}_x$  的还原反应在触媒的存在下，得以有效进行。工艺流程详见下图。

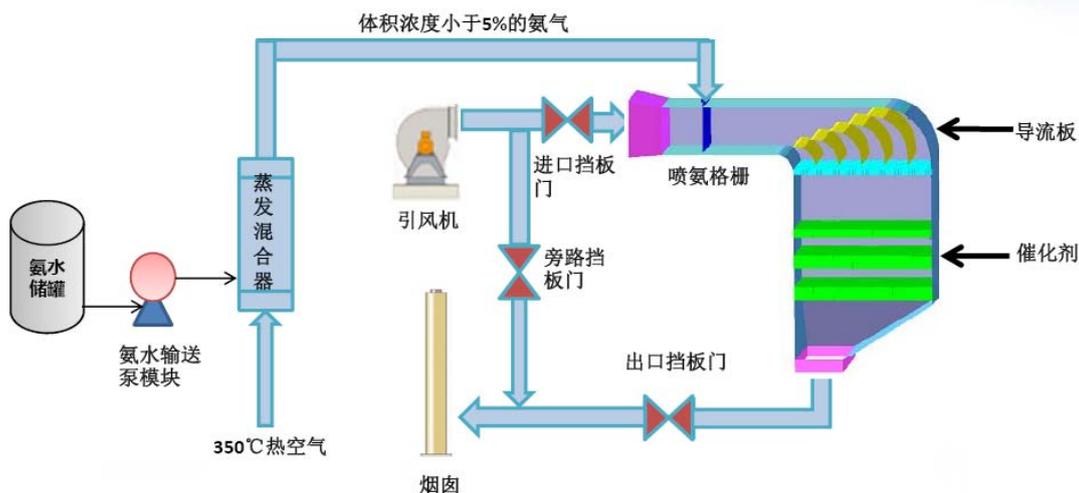


图4-11 选择性催化还原法（SCR）工艺流程示意图

此种  $\text{NO}_x$  去除法，长久以来即被广泛应用于处理由燃天然气、燃煤锅炉所产生较洁净的烟气，但使用于尚含有  $\text{SO}_x$ 、粒状污染物等污浊烟气时，则会降低触媒活性及粒

状污染物附着造成阻塞等困扰。因此在垃圾焚烧厂使用 SCR 技术进行去除 NO<sub>x</sub> 时，大都先将烟气内的酸性污染物及粒状污染物去除掉后，再导引清洁的烟气进入 SCR 系统进行去除 NO<sub>x</sub>。本方法 NO<sub>x</sub> 去除效率约为 80%左右。

就 NO<sub>x</sub> 的去除效果而言，SCR 对 NO<sub>x</sub> 的去除率达到了 90%以上，在 300~400℃条件下 TiO<sub>2</sub>-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的脱硝率甚至可以达到 100%；先进的焚烧控制技术可以达到 60~70%的去除率；而 SNCR 对 NO<sub>x</sub> 的去除率可达到 30%~50%之间。若与低氮燃烧技术结合，SNCR 的脱硝效率可稳定在 50%左右。此外，SCR 对二噁英也具有一定的去除效果。

就成本-效率分析，SCR 由于催化剂的昂贵，和先进的焚烧控制系统（如日本 Mitsubishi 提供的 MACT 技术包）基本相当，明显比 SNCR 技术昂贵。

就副产物和其他污染物而言，SNCR 和 SCR 均产生 NH<sub>3</sub> 污染问题，SCR 会把 SO<sub>2</sub> 部分转化为 SO<sub>3</sub>。SCR 释放的 NH<sub>3</sub>（大约 2~5 ppm）要低于 SNCR 系统（5~10ppm）。但 SCR 系统要求对排放出来的烟气（150℃左右）进行再次升温（300~400℃），消耗更多的能量，增加 CO<sub>2</sub> 的排放量，目前国内有部分厂家开发出了低温（150~200℃）下的 SCR 催化剂，但目前应用较少，运行寿命及效果还需具体工程项目考验。另外，当 SCR 系统的催化剂失活以后就成为了需要进行特殊处理的危险废物。

从投资和运行成本上，SCR 的投资成本一般在 250 元/kW 左右，运行成本为 2 分/kWh，而 SNCR 在 50 元/kW 左右，运行成本仅为 0.3 分/kWh。

### 3、湿式法

去除 NO<sub>x</sub> 的湿式法与去除 HCl、SO<sub>x</sub> 的湿式法类似，但因占大部分的 NO 不易被水或碱性溶液吸收，故需以臭氧（O<sub>3</sub>）或次氯酸钠（NaClO）、过锰酸钾（KMnO<sub>4</sub>）等氧化剂将 NO 氧化成 NO<sub>2</sub> 后，再以碱性液中和、吸收。本方法因氧化剂成本较贵，吸收排出液处理较困难等原因，尚无使用于处理垃圾焚烧烟气的实例。

综合考虑各项脱硝技术的成本和效率，目前在焚烧烟气净化系统中 SNCR 的应用作为广泛，美国环保局、欧盟均推荐采用 SNCR 作为固体废物焚烧烟气脱硝工艺，也是国家有关生活垃圾焚烧处理工程规范中的推荐方案。《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》（CJJ90-2009）中第 7.5.1 条：“应优先考虑通过垃圾焚烧过程的燃烧控制，抑制氮氧化物的产生”；第 7.5.2 条：“宜设置选择性非催化还原法（SNCR）”脱除氮氧化物。

#### 4.7.4.3 还原剂的选择

目前 SNCR 系统的还原剂主要有氨水和尿素两种，比选如下：

从处理效果上分析，采用尿素作为脱硝剂时，首先尿素要进行分解，此分解反应的

最佳温度区间是 950~1050℃，因此采用尿素进行分解需要反应时间长，反应速率慢，同时生产的副产物对锅炉有少许腐蚀作用，也会产生较多的 N<sub>2</sub>O，但其优势是尿素溶液的喷射距离更远，可以实现与烟气的充分混合，因此较适合于大型焚烧炉。而氨水的反应条件则相对宽松，在 850~950℃ 之间反应速度就已经很快，脱硝效果好，同时不会产生副产物，即采用垃圾焚烧炉在较差工况下都能保证稳定的脱硝效率。

从运行成本上分析，根据国内某 SNCR 厂家对 1×600t/d 焚烧线的成本测算，采用氨水的脱硝成本约为 3.00 元/吨垃圾，而采用尿素的脱硝成本约为 3.50 元/吨垃圾。采用氨水在成本控制方面略有优势，主要是因为尿素价格稍贵，且需要增加软水稀释等环节。

其他方面，尿素的优势在于原料来源广，无需考虑安全性问题，审批手续简单；劣势是系统稍微复杂造成投资高，且原料存储存在吸潮板结的问题。氨水的主要优势是脱硝效果好、无副产物，应用上主要是受原料来源及安全性问题等所限制。

从本项目实际出发，本项目选用炉排焚烧炉，垃圾设计热值为 8374kJ/kg(2000kCal)，焚烧炉规模为 2 台 750t/d，属于国内中等水平，采用氨水是较为经济合理的。

#### 4.7.4.4 方案的确定

综上，本项目的焚烧炉通过调节过量空气系数，控制氮氧化物的排放浓度，并各自增加一套炉内脱硝(SNCR)系统，采用氨水作为还原剂，根据烟气中 NO<sub>x</sub> 的排放浓度调整氨水溶液喷入量，确保氮氧化物的排放浓度满足项目要求的排放标准。

#### 4.7.5 有机污染物的治理措施

有机污染物的产生机理极为复杂，伴随有多种化学反应。有机污染物的形成机理，目前还没有成熟的理论，有待于进一步研究。在垃圾焚烧产生的有机污染物中，以二噁英(PCDD)及呋喃(PCDF)对环境的影响最为显著。

二噁英及呋喃是到目前为止发现的无意识合成的副产品中毒性最强的物质，是由苯环与氧、氯等组成的芳香族有机化合物，被认为是能致癌、致畸形、影响生殖机能的微量污染物。PCDD 有 75 种以上的同分异构体，PCDF 有 135 种以上的同分异构体，其中毒性最强的是 2、3、7、8 四氯联苯(2、3、7、8TCDD)。

二噁英的生成机理相当复杂，已知的生成途径可能有以下几方面：

垃圾中本身含有微量的二噁英。由于二噁英具有热稳定性，尽管大部分在高温燃烧时得以分解，但仍会有一部分在燃烧以后排放出来。

在燃烧过程中由含氯前体物生成二噁英。含氯前体物包括的聚氯乙烯、氯代苯、五

氯苯酚等，在燃烧中前体物分子通过重排、自由基缩合、脱氯或其他分子反应等过程会生成二噁英。这部分二噁英在高温燃烧条件下大部分也会被分解。二噁英在一定温度下分解 99.99%所需时间见下图。

当燃烧不充分时，烟气中产生过多的未燃尽物质，在 300~500℃ 的温度环境下，若遇到适量的触媒物质（主要为重金属，特别是铜等），在高温燃烧中已经分解的二噁英将会重新生成。

为降低烟气中的二噁英浓度，首先从焚烧工艺上要尽量抑制二噁英的生成。除选用合适的炉膛结构，使垃圾充分燃烧外，控制二噁英的产生的最有效的方法是“3T”“3T+E”法，即控制：

1) **温度 (Temperature)**。保证烟气在进入余热锅炉前温度不低于 850℃，将二噁英在炉内完全分解。

2) **时间 (Time)**。烟气在炉膛及二次燃烧室内的停留时间大于 2 秒。

3) **涡流 (Turbulence)**。优化炉型和二次空气喷入方法，充分混合搅拌烟气达到完全燃烧。

4) **过量的空气 (Excess Air)**。氧气浓度不小于 6%，保证充分燃烧。

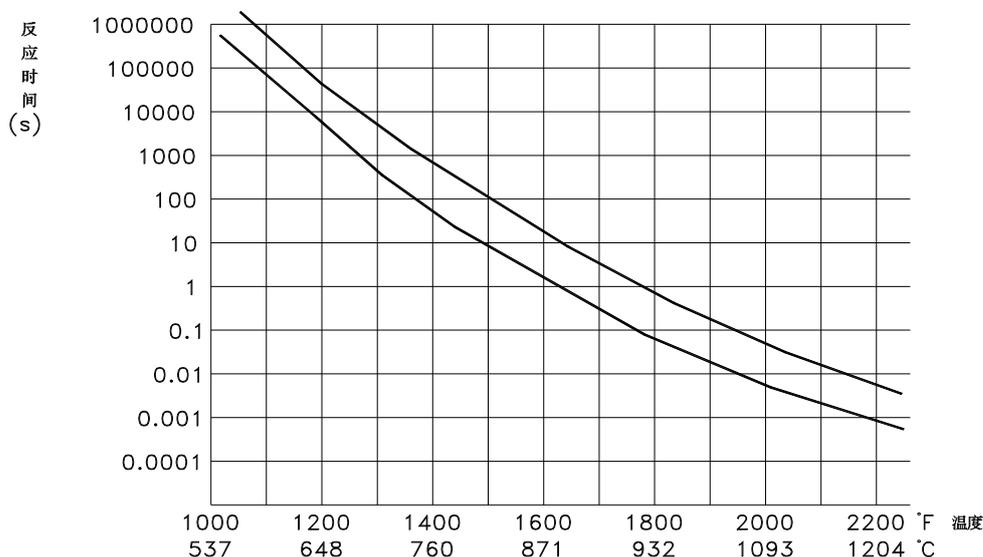


图4-1 二噁英 (TCDD) 分解 99.99%所需时间

另外，在烟气处理过程中，尽量缩短 250~800℃ 特别是 300~500℃ 温度区域温度域的停留时间，降低除尘器前的烟气温度，避免二噁英再次产生。对已产生的二噁英可采取如下处理措施：

(1) 喷入粉末活性材料吸收二噁英；

(2) 设置触媒装置（分解器）分解二噁英；

(3) 设置活性炭塔吸收二噁英。

本工程选用高效的袋式除尘器，控制除尘器入口处的烟气温度低于 180℃，并在进入袋式除尘器前，在入口烟道上设置活性炭喷射装置，进一步吸附二噁英；设置先进、完善和可靠的全套自动控制系统，使焚烧和净化工艺得以良好执行。其次，如有条件，还可通过分类收集或预分拣，控制生活垃圾中氯和重金属含量高的物质进入垃圾焚烧厂。本项目通过采取上述措施，可使烟气中的二噁英浓度达标排放。

#### 4.7.6 烟气净化方案的确定

通过以上分析，本项目的烟气净化方式采用“SNCR 炉内脱硝+半干法脱酸+干石灰喷射+活性炭吸附+布袋除尘”工艺，确保烟气污染物达到本项目的环保排放要求。

考虑到未来烟气排放标准将进一步提高，同时为了保证将来烟气排放提标改造的便捷性，本项目在主厂房内预留 SCR 脱硝装置的安装位置。

### 4.8 垃圾渗沥液处理方案

#### 4.8.1 渗沥液特点

##### 1) 可生化性

垃圾焚烧厂渗沥液中的有机物通常可分为三类：低分子量的脂肪酸类、腐殖质类高分子的碳水化合物、中等分子量的灰黄霉酸类物质。这些化合物中含有已被确认的可疑致癌物、促癌物、辅助致癌物以及被列入中国环境优先污染物“黑名单”的有机物等。焚烧厂贮仓渗沥液中的低分子量可溶性脂肪酸较多，以乙酸、丙酸和丁酸为主，这类物质容易降解；其次还有大量难以降解的高分子和溶解性腐殖质，以及较多的芳香族梭基的灰黄霉酸。生活垃圾在焚烧厂贮仓停留时间很短，渗沥液中的挥发性脂肪酸没有经过充分的水解发酵，不似填埋场渗沥液，挥发性脂肪酸随垃圾填埋时间延长而减少，而灰黄霉酸物质的比重则相对增加，这种有机物组分的变化趋势，意味着焚烧厂渗沥液的 BOD/COD 高于填埋场，即此类渗沥液的可生化性较高。

##### 2) 氨氮含量

由于生活垃圾组分中有含氮有机物，且易被溶出或厌氧发酵，所以渗沥液中的含氮化合物浓度都很高。由于垃圾在焚烧厂贮仓的停留时间短，产生的渗沥液中含氮化合物以有机氮形式为主。

##### 3) 重金属离子

渗沥液中通常含有多种金属离子，其浓度与垃圾的类型、组分和厌氧时间等密切相关。由于垃圾本身成分的复杂性及垃圾厌氧反应与代谢过程的复杂性，重金属元素等也会出现在渗沥液中。据报道，生活垃圾中的微量重金属溶出率很低，在水溶液中为 0.05~1.80%，微酸性溶液中为 0.5~5.0%，且垃圾本身对重金属有较强的吸附能力。所以对处理城市生活垃圾焚烧厂渗沥液而言，重金属浓度较其它污染物低得多。除了重金属离子之外，由于垃圾中 Fe、Al、Ca 的含量较大，所以渗沥液中此类金属的浓度较高。

#### 4) 总溶解性固体

垃圾渗沥液中一般均含有浓度较高的总溶解性固体。水分流经垃圾层时对垃圾中的可溶性固体有萃取作用，所以焚烧厂和填埋场中渗沥液的总溶解性固体浓度都很高。由垃圾固相中溶出潜力最大的应是生物可降解的有机组分； $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 和  $\text{SO}_4^{2-}$ 因其良好的可溶性也占有较大比例；Fe、Al、Ca 在固相中的含量较大，且有一定的溶解性，因此在渗沥液中也有较高的浓度。

尽管渗沥液的组成状况极其复杂，但理论分析和大量的现场监测资料表明，渗沥液的特征污染物是耗氧性有机物(COD、BOD)和  $\text{NH}_3\text{-N}$ ，同时由于生成环境长期处于厌氧状态，厌氧生化过程使渗沥液具有典型的高色度与恶臭特征。

由于垃圾物理成分的复杂性，渗沥液中不可避免地含有大、小颗粒悬浮物及漂浮物。

### 4.8.2 渗沥液处理工艺比选

随着垃圾焚烧技术的逐步推广，为防止焚烧过程中产生的“二次污染”，垃圾渗沥液必须经过处理达标后才能排放，因此渗沥液的处理技术受到国内外环保界的广泛关注。

渗滤液在进行处置之前需要进行预处理，去除颗粒悬浮物和漂浮物，以减少后续工艺的负荷。根据污水处理大量工程经验，去除 SS 的工艺较为成熟，主要为经过粗细格栅分离不同等级的颗粒物及漂浮物。然后通过调节池调节水量并均质，最后进入混凝沉淀池采用絮凝剂去掉大部分的 SS 和不溶性有机物，为后续深度处理渗滤液污染物作好准备。目前垃圾渗滤液的主要工艺归纳起来，主要有三大类，即：

- 1) 生化+膜处理工艺（厌氧 UASB+MBR+膜<RO 或 RO+NA>）；
- 2) 两级 DT 工艺；
- 3) 蒸发技术。

#### 4.8.2.1 生化+膜处理工艺

MBR+双膜法(NF/RO)是近年发展较快的一种生化+膜处理组合工艺，是以 MBR 单

元为工作核心的一种新型系统。膜分离技术与活性污泥法相结合是该工艺的技术特点。该工艺是从达到原标准 GB16889-1997 的一级排放标准的处理工艺上，根据出水增加总氮和重金属排放要求，通过增加和强化脱硝的基础而形成，工艺流程图如下。

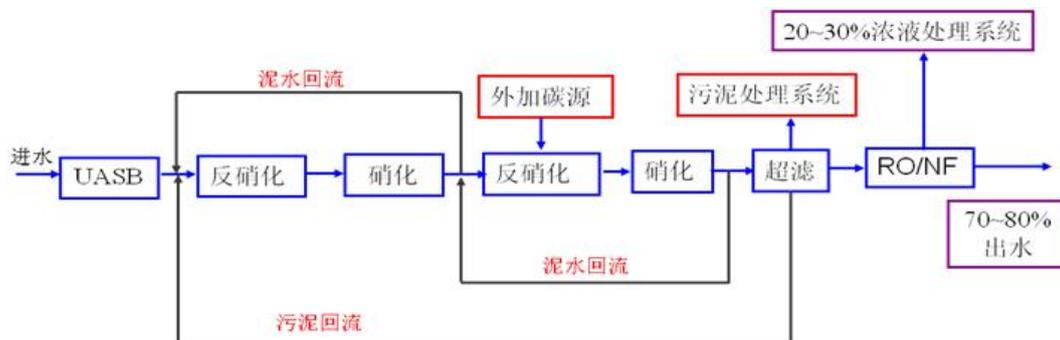


图4-12 厌氧 UASB+MBR+膜工艺流程图

膜生物反应器(MBR) 由于污泥龄长，富集了大量难降解有机物分解菌和硝化菌等增殖速度慢的微生物，从而大大提高了难降解有机物的去除率。MBR 具有如下优势：

- 1) 能有效降解主要污染物 COD、BOD 和氨氮；
- 2) 100%生物菌体分离，使出水无细菌和固性物；
- 3) 反应器高效集成，占地面积小；
- 4) 剩余污泥量小、不存在浓缩液处理的问题；
- 5) 运行费用小等优点。

然而，单一的 MBR 工艺出水不能达到国家二级以上的排放标准，往往需要配合 NF、RO 等后续处理工艺以满足新的渗滤液排放标准。超滤(UF)和纳滤(NF)都是采用具有细微孔径的滤膜对污水过滤以实现固液分离的水处理技术。研究表明，纳滤膜对 MBR 系统出水 COD 的去除效果显著的主要原因是：纳滤膜截留分子量介于 2~2000 之间，而 MBR 出水分子量 10000 以下的占 55.9%，主要是难以降解的腐殖酸、棕黄酸等，其分子量大于纳滤膜截留的分子量，所以纳滤处理可以取得很好的去除效果。

在 MBR/NF 工艺中，MBR 的生化降解和过滤作用大大降低了废水的有机物浓度，为 NF 提供了良好的前处理条件；而纳滤工艺则能够滤除 MBR 所不能去除的不可生化降解有机物，而且对高价重金属离子也有较好的净化效果。

可见，于垃圾渗滤液的处理工艺而言，单独采用生化法无法达到高标准的严格要求，而单独使用膜处理技术由于有机负荷过高，初期投入和运行费用都相对较贵。生化法和 MBR/NF(RO)组合综合处理垃圾渗滤液的工艺是低成本和高稳定性的有效结合，但仍然

需要采用厌氧/好氧结合等手段强化生化阶段的预处理效果，或增加一些混凝沉淀、微过滤等手段以减轻膜的污染物负荷。

通过硝化反硝化过程，生化法可以去除大部分的氨氮含量，但由于垃圾渗滤液中的容易被微生物用作反硝化的有机碳源缺乏，使得反硝化进行得不彻底，对总氮的去除率仍然较低。同时，微生物在新陈代谢过程中也产生了比较容易堵塞膜孔的代谢产物，给膜的长期稳定运行增加了困难。因此，如何调控好生化阶段的处理效果关系到整个工艺能否完善运行，需要有足够的耐心和信息。

反渗透、纳滤等技术产生的浓缩液常采用回喷入炉或垃圾池的方法，结果往往使垃圾渗滤液中的盐浓度上升，导致操作压力上升、膜寿命缩短、能耗增加等问题。

#### 4.8.2.2 两级 DTRO 工艺

碟管式反渗透(DTRO)是反渗透的一种形式，是专门用来处理高浓度污水的膜组件，其核心技术是碟管式膜片膜柱。把反渗透膜片和水力导流盘叠放在一起，用中心拉杆和端板进行固定，然后置入耐压套管中，就形成一个膜柱。DTRO 克服了一般反渗透系统在处理渗滤液时容易堵塞的缺点，使系统更加稳定、运行费用更低。DT 膜柱的使用寿命可长达三年以上。

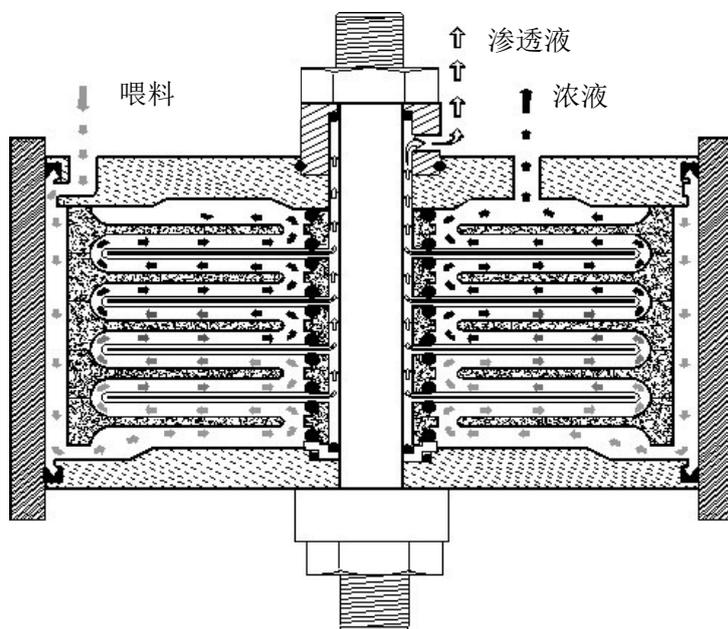


图4-13 DTRO 工艺示意图

对于城市生活垃圾渗滤液的处理，如果要达到国家一级排放标准，一般提供两级 DTRO 处理系统，包括中央控制系统、砂滤器、第一级反渗透系统、第二级反渗透系统、渗滤液储罐、硫酸储罐、净水储罐、清洗剂储罐、脱气塔等。DTRO 系统的处理效果不

依赖于渗滤液的可生化性，故适用于不同时期的垃圾渗滤液及堆肥沥渗滤液处理，且均具有系统运行稳定、处理效率高，出水水质良好等特点，DTRO 系统占地面积小，安装方便，可根据工程的实际情况，因地制宜，结合不同预处理及浓缩液处理方式。两级 DTRO 的工艺流程图见下图。

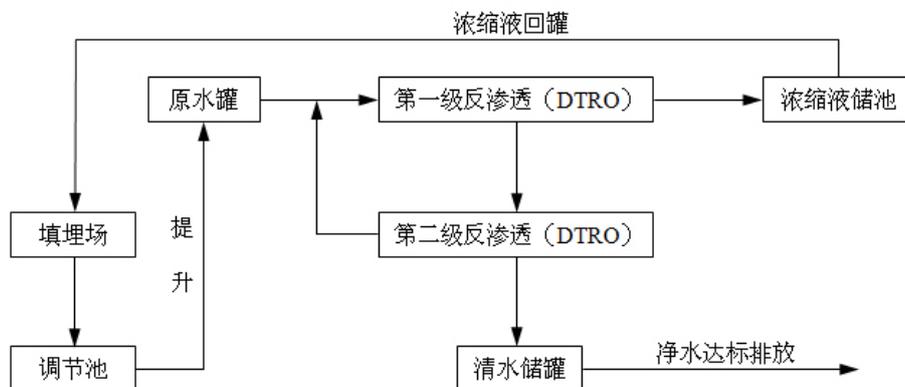


图4-14 两级 DTRO 工艺流程图

#### 4.8.2.3 蒸发技术

蒸发技术是一个把挥发性组分与非挥发性组分分离的物理过程，由 2 部分组成：加热溶液使水沸腾气化和不断除去气化的水蒸气。垃圾渗滤液蒸发处理时，水分从渗滤液中沸出，污染物残留在浓缩液中。所有重金属和无机物以及大部分有机物的挥发性均比水弱，因此会保留在浓缩液中，只有部分挥发性烃、挥发性有机酸和氨等污染物会进入蒸气，最终存在于冷凝液中。冷凝液再经过低压反渗透膜，确保出水达标。这里的反渗透膜不同于常规概念的反渗透膜，需要的操作压力低、盐分阻力低（趋于无）、微生物污染低。但由于蒸发的成本较高，应用受到限制。

随着蒸发技术的进步，多效蒸发技术也逐渐应用于垃圾渗滤液处理。其原理是，在机械压缩蒸发过程中，蒸汽的汽化潜热被完全利用；同时，高温蒸馏水在排出系统前与来液进行热交换，可进一步回收能量，从而实现低能耗蒸发。其优势是可以有效地降低常规蒸发工艺的能耗，同时改善有机物和氨氮的去除效果，但由于渗滤液成分的复杂性，换热器结垢较为严重，目前只能通过频繁停机酸洗进行维护，否则会影响换热效率；另外，氨氮指标并不能完全满足排放标准。工艺流程图见下图。

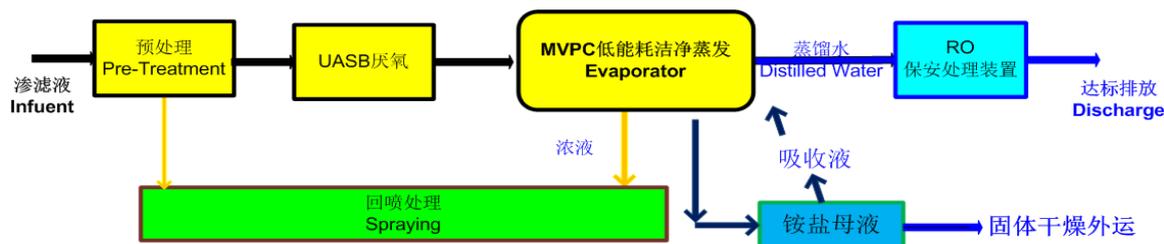


图4-15 蒸发法渗滤液处理工艺流程图

#### 4.8.2.4 方案比选

上述三个方案的技术经济比较见下表。

表4-6 渗滤液处理工艺比选

类别	多效蒸发技术	生化+膜工艺	两级 DTRO
工艺复杂程度	系统较简单。	系统复杂	系统较简单
产水率	产水率 80~90%，出水水质好 浓液产率 5~10%，回喷垃圾池，进入焚烧炉。	反渗透清液产水率约 70~80%；浓液产率约 20~30%，回喷垃圾池，进入焚烧炉。	产水率 75%~80%，长期运营可能下降。浓液量为 25~50%，需单独处理，处理难度高。对后续运行有影响。
运行管理	运行管理简单，一般的机械维修工可管理。但由于结垢问题，停机清洗频率较高。	需熟悉生物好氧、厌氧和膜技术及运行的工程师管理。	需有熟悉传统 RO 膜技术及运行的人员管理。
反渗透膜更换	RO 膜为低压反渗透膜，投资低，寿命长（盐分少、微生物少、压力低）	超滤膜的寿命一般不超过 1 年，RO/NF 膜在连续生产情况下，一般不超过 2 年。	RO 分离膜将所有的有机物和盐分都累积在浓缩液中。RO 膜寿命短暂。
占地	1.5~4 m <sup>2</sup> /吨	10~20 m <sup>2</sup> /吨	3~5m <sup>2</sup> /吨
造价	10~15 万元/（吨/天）	10~15 万元/（吨/天）	7~10 万元/（吨/天）
总运行成本	25-40 元/吨	45-60 元/吨	35~55 元/吨
处理效果	效果稳定，但氨氮的去除效果不稳定。	处理效果稳定。	长期运行处理效果下降；对氨氮处理效果较差。
业绩	国内部分使用	国内广泛应用	国内部分使用

可见，三种技术均较为成熟。从渗滤液的处理要求上看，处理技术的成熟程度和处理效果的稳定性是选择相关处理工艺时优先考虑的因素，经济性能次之。因此，本项目渗滤液处理工艺推荐采用目前国内应用最为广泛的“生化+膜处理”工艺。

#### 4.8.3 推荐工艺

根据本工程渗沥液的水质、水量特点和处理要求，以及国内垃圾焚烧厂的渗沥液处

---

理工程实践，本项目推荐渗沥液采取“**预处理+UASB 厌氧反应器+MBR 生化处理系统+NF 纳滤膜系统+RO 反渗透系统**”处理工艺。可确保处理出水水质达到《城市污水再生利用-工业用水水质标准》（GB/T19923-2005）和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）的有关规定要求后，回用作为循环冷却补充水。

## 第5章 工程技术方案

### 5.1 垃圾处理工艺流程

垃圾焚烧作为一种成熟的垃圾处置方法，在国内外有着广泛的应用。但其受各个国家技术力量、经济实力以及各个国家、地方垃圾特性的影响，工艺和技术也各不相同，但最基本的工艺和技术组合形式大致是相同的。

本项目通过垃圾的焚烧达到垃圾无害化、减容化、资源化的目的。垃圾进入焚烧炉经过干燥、燃烧、燃烬过程，使腐败性的有机物因燃烧而成为无机物，病原性生物因在高温焚烧下死灭。

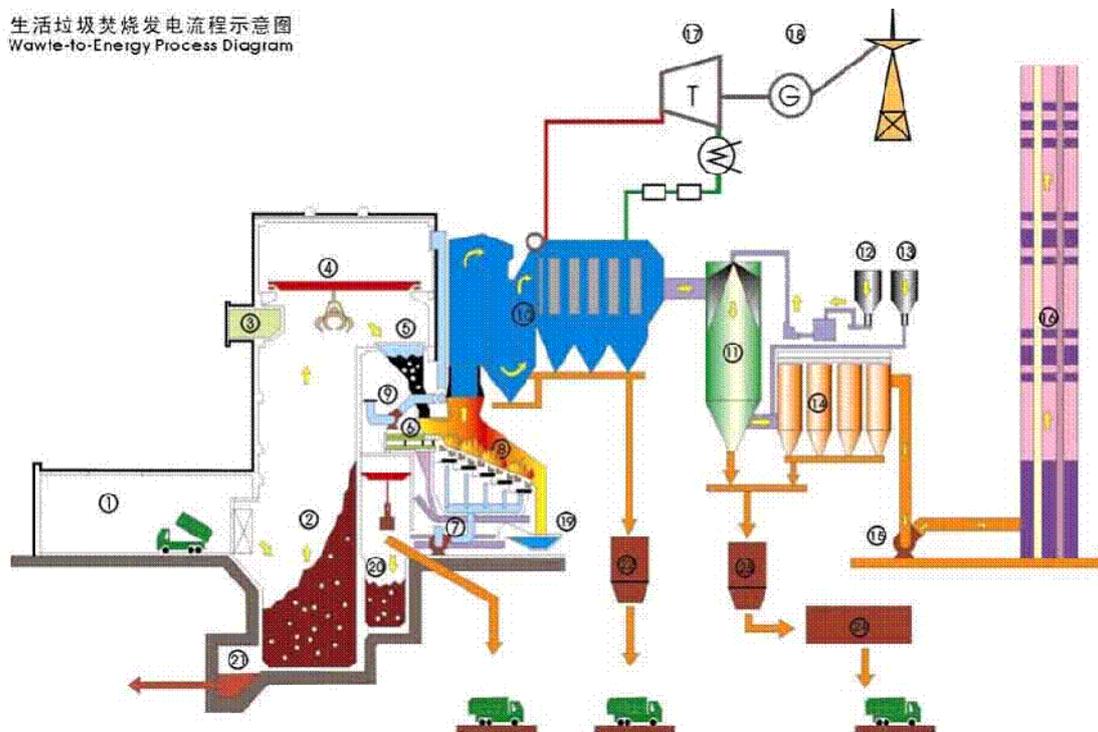


图5-1 典型垃圾焚烧处理工艺流程图

本项目整个工艺流程包括了垃圾接收、焚烧及余热利用、烟气净化处理、灰渣收集处理等系统。

垃圾车从物流口进入厂区，经过地磅秤称重后进入垃圾卸料平台，卸入垃圾池。垃圾池是一个封闭式且正常运行时空气为负压的建筑物，采用半地下结构。贮坑内的垃圾通过垃圾吊车抓斗抓到焚烧炉给料斗，经溜槽落至给料炉排，再由给料炉排均匀送入焚烧炉内燃烧。

垃圾燃烧所需的助燃空气因其作用不同分为一次风和二次风。一次风取自于垃圾池，使垃圾池维持负压，确保坑内臭气不会外逸。一次风经蒸汽空气预热器加热后由一次风机送入炉内。二次风从锅炉房上部吸风，由二次风机加压后送入炉膛，使炉膛烟气产生强烈湍流，以消除化学不完全燃烧损失和有利于飞灰中碳粒的燃烬。

焚烧炉设有点火燃烧器和辅助燃烧器，用柴油作为辅助燃料。点火燃烧器供点火升温用。当垃圾热值偏低、水份较高，炉膛出口烟气温度不能维持在 850℃ 以上，此时启用辅助燃烧器，以提高炉温和稳定燃烧。停炉过程中，辅助燃烧器必须在停止垃圾进料前启动，直至炉排上垃圾燃烬为止。

垃圾在炉排上通过干燥、燃烧和燃烬三个区域，垃圾中的可燃份已完全燃烧，灰渣落入除渣机，除渣机起水封和冷却渣作用，并将炉渣推送至灰渣贮坑。灰渣贮坑上方设有桥式抓斗起重机，可将汇集在灰渣贮坑中的灰渣抓取，装车外运，送至填埋场处理。

垃圾燃烧产生的高温烟气经余热锅炉冷却后进入烟气净化系统。每台焚烧炉配一套烟气净化系统，采用“SNCR 炉内脱硝+半干法脱酸+干石灰喷射+活性炭吸附+布袋除尘”工艺。首先在焚烧炉膛高温区域喷入氨水溶液以降低锅炉排烟  $\text{NO}_x$  浓度，烟气经余热锅炉冷却后进入反应塔，与喷入的石灰浆粉充分混合反应后，烟气中的酸性气体被去除，在反应塔与除尘器之间的烟道内喷入活性炭，随后烟气进入布袋除尘器，在布袋除尘器表面进一步脱除酸性气体。烟气经布袋除尘器除掉烟气中的粉尘及反应产物后，符合排放标准的烟气通过引风机送至烟囱排放至大气。

余热锅炉以水为工质吸收高温烟气中的热量，产生 4.0MPa，450℃ 的蒸汽，供汽轮发电机组发电。产生的电力除供本厂使用外，多余电力送入地区电网。

## 5.2 总平面布置

### 5.2.1 总平面布置原则

垃圾焚烧发电厂的总平面布置和土建工程，主要考虑到工艺生产、运输、防火、环境保护、卫生、施工和生活等方面的要求，结合厂址现状地形、周边环境、地质和气象等自然条件，按照厂区每日焚烧 1500t 生活垃圾为设计依据，对所有建构物、管线及运输线路进行统筹安排，通过合理的规划布局，力求创建一个布置合理、紧凑，用地少，建设快，运行安全经济和检修方便，环境优美的现代工业生产厂区。概括有以下几条设计原则：

- 1) 满足生产工艺和各设施功能要求；

- 2) 功能分区明确，布局合理，有效利用土地；
- 3) 注重与厂外环境和交通的合理衔接，优化布局；
- 4) 合理安排厂区道路，各交通流线高效顺畅，洁污分流，人车分流；
- 5) 竖向设计合理，便于场地排水，减少土石方工程量；
- 6) 合理布置厂区管线管网，力求顺畅经济；
- 7) 创造良好的生产生活环境，降低各类污染对生产人员的危害；
- 8) 满足国家现行的防火、卫生、安全等技术规程及其它技术规范要求。

### 5.2.2 总平面布置

功能分区及车间组成：

- 1) 生产区——由主厂房、主厂房附屋、烟囱、坡道组成；
- 2) 辅助生产区——由综合水泵房、冷却塔、油罐区、渗沥液处理站、地磅房、生产水池、初期雨水收集池等组成。
- 3) 生活区——由综合楼、门卫室组成。

根据工艺生产、运输、防火、环境保护、卫生、施工和生活等方面的要求，并结合厂址地形、周边环境、道路交通、地质和气象条件等自然条件，按照规划容量，对所有建筑物和构筑物、管线及运输线路进行统筹安排，布置了本方案。

生产区是焚烧发电厂的核心设施和建筑物，考虑工艺生产流程、交通运输、当地主导风向等主要因素，将生产区主厂房，主厂房附屋，烟囱一体化设计，布置在厂区中部。根据垃圾发电厂的工艺流程要求，主厂房平面分别由主体生产区、生产辅助用房和垂直交通运输通道等组成。主体生产车间由南到北包括卸料大厅、垃圾池、锅炉焚烧间、烟气净化间、烟囱；主厂房东侧由南往北有主变室、入口大堂、10kV 配电室、汽机间等；其它生产辅助用房包括大堂、办公室、接待室、走道、卫生间更衣室等以方便日常生产需要为原则分散布置。主厂房生产区每一区域分隔面积都做到既满足工艺使用要求又满足生产活动要求。平面形式规整，占地面积精简。

辅助生产区主要集中在主厂房的东边和西北边，东边由西往东依次布置了综合水泵房、冷却塔、生产水池。油罐区布置在东北角。渗滤液/处理站位于厂区西北角。

办公生活区位于厂区东南部，建有综合楼（含餐厅），主要作为员工宿舍另布置有活动室，餐厅等。

总平面布置在满足工艺生产、消防等要求的前提下，紧凑的场区布置，提高了土地的利用率，更符合经济利益。

### 5.2.3 竖向设计

厂址场地大致呈梯形，结合生产工艺，交通运输，防洪排水，建筑总平面设计以及采光通风要求，本着因地制宜，节约基建投资，方便施工的原则，为了尽量减少土方量，整个场地采用平坡式布置。雨水通过道路两侧雨水口收集，排至厂外排水系统。

### 5.2.4 交通组织

厂区沿道路分别设置人流和物流出入口。人流出入口设置在西南角，靠近生活区，办公人员、车辆经此口出入，物流出入口设置在西南偏中部，垃圾车、灰渣车等车均由该大门进入厂区。交通组织达到了洁污分流、人车分流的效果。

厂区内道路为城市型混凝土沥青道路，主要道路宽 7.00 米，物流运输进厂道路 21.00 米宽，坡道宽 9.00 米。

### 5.2.5 绿化设计

绿化布置注意点、线、面结合，充分利用道路两旁，建筑物周围空地进行绿化，以草坪和常绿树木为主，发挥绿化对于建筑的点缀、陪衬、指引、组织空间、美化环境的作用。主厂房厂前区布置有集中绿化区，设置有水景。办公生活区和综合楼围合的景观水池绿化区作重点处理，种植常绿树和灌木，配植露地草花，点缀水景，营造生机勃勃，开阔舒畅的环境气氛。

### 5.2.6 总图运输和车辆配置

垃圾车、灰渣车由物流出入口入厂，垃圾车经地磅计量后，通过坡道驶入 7.000 米标高卸料大厅，将垃圾卸入垃圾池。渣车同样由物流出入口到达主厂房东侧灰渣出口区域进行装卸。厂区人流出入口作为对外交流的出入口，人员经此进入厂区，厂前集中绿化广场，充分展现企业绿色环保形象。

主要建筑物主厂房四周采用环形通道设计，在满足生产工艺流程的条件下，力求运输畅通，运距短捷，避免不必要的迂回。并且消防道路和运输道路相结合，消防车辆可以迅速驶达厂内各个建筑物。

### 5.2.7 总平面主要指标

表5-1 建构筑物一览表

序号	建(构)筑物名称	占地面积(m <sup>2</sup> )	建筑面积(m <sup>2</sup> )	计算容积率面积(m <sup>2</sup> )	层数	建筑高度(m)	火灾危险性类别	耐火等级
1	主厂房	21963.48	46123.31	62266.47	1(局部5层)	47.80	丁	二级
2	烟囱	81.00				80.00	戊	二级
3	坡道	315.42				24.04	丙	二级
4	综合水泵房	745.08	589.50	589.50	1	6.80	戊	二级
5	冷却塔	1024.65				8.50	戊	二级
6	油罐区	1029.03	25.00	25.00	1	4.20	乙	二级
7	渗沥液处理站	4045.41	2022.71	3034.06	2	10.00	戊	二级
8	地磅	578.42						二级
9	综合楼	1033.50	1560.75	1560.75	2	7.05		二级
10	地磅房	43.20	43.20	43.20	1	3.90		二级
11	门卫室	33.60	33.60	33.60	1	3.60		二级
12	初期雨水收集池	136.00					戊	二级
13	合计	30892.79	50398.06	67552.57				

表5-2 主要技术经济指标

名称	单位	数值
用地面积	m <sup>2</sup>	82000.00
建筑占地面积	m <sup>2</sup>	30892.79
总建筑面积	m <sup>2</sup>	50398.06
计算容积率面积	m <sup>2</sup>	67552.57
道路面积	m <sup>2</sup>	11568.92
维修硬地及硬质铺地面积	m <sup>2</sup>	28058.29
容积率		0.61
建筑密度	%	0.38
绿地面积	m <sup>2</sup>	11480.00
绿地率		0.14
小汽车泊位数	辆	13.00
围墙长度	m	1141.09

## 5.3 燃料接收、贮存及输送系统

### 5.3.1 系统流程及设施构成

该系统流程是：垃圾运输车进厂时经检视、称重，再进入垃圾接收厅将垃圾卸入垃圾池暂时贮存，并用垃圾吊车搅拌混合垃圾后再将垃圾送入焚烧炉。系统主要包括以下设施：地磅、垃圾接收厅、垃圾自动倾卸门、垃圾池、垃圾起重机及自动计量系统。

### 5.3.2 检视及称重

#### 5.3.2.1 检视

在地磅入口前之道路旁设检视平台，配备专门人员和必要的工具、仪器。检视平台前设车辆检验标志，检验人员认为垃圾运输车可疑，可指挥其进入检视区专门停车处接受检验，垃圾运输车辆及所装垃圾应符合《垃圾供应与运输协议》要求，如属于以下几种情况之一，可视为不合格车辆：

- 1) 非协议双方认定的车辆；
- 2) 协议规定不可处理废弃物；
- 3) 非双方认定的非许可垃圾；

对此几种车辆，负责检视的人员可拒绝其称量，并指挥其开出厂外。合格车辆进入磅站称量。

#### 5.3.2.2 称重

根据生活垃圾处理总规模，以及垃圾焚烧后炉渣运输需求，全厂设置 3 套全自动电子式地磅。地磅规格相同，单套磅台尺寸为 18m×3.4m，地磅刻度 0~60 吨，分度为 20 公斤。每套磅称含 6 个以上荷重单元并可以全自动方式操作，从读卡至完成作业时间不超过 15 秒，每一磅称前均设红、绿灯标志，以调整进、出厂的车流量。每套地磅称量装置配备有一套包括微电脑在内的数据处理系统，可以完成入厂垃圾数量的统计、累加以及打印票据等一系列双方商定的工作。在地磅房内，还设一套工业级计算机作档案记录用，正常操作时具有监控台功能，可同时控制执行相关报表打印功能，留有数据通讯接口，并与中央控制室联网。正常时地磅与计算机一对一运行，出现故障时，任何一台计算机均可对任何一套地磅进行操作。

地磅采用 SCS 系列无基坑全自动电子汽车衡，主要由称重秤体、称重传感器、称重显示器等部分组成。主要特点及功能：秤体模块化、无基坑，安装简捷方便；具有独特的传力机构，可自动保持垂直受力状态以减缓冲击，保持限位；全密封传感器防潮、防

水、精度高、长期稳定性好。智能化称量显示仪表可显示毛重、皮重、净重，可皮重预置，存储并长期记忆、多功能、高精度、显示速度快；具有标准的串行输出接口及打印机输出接口，可连接计算机、打印机，并实现大屏幕显示。

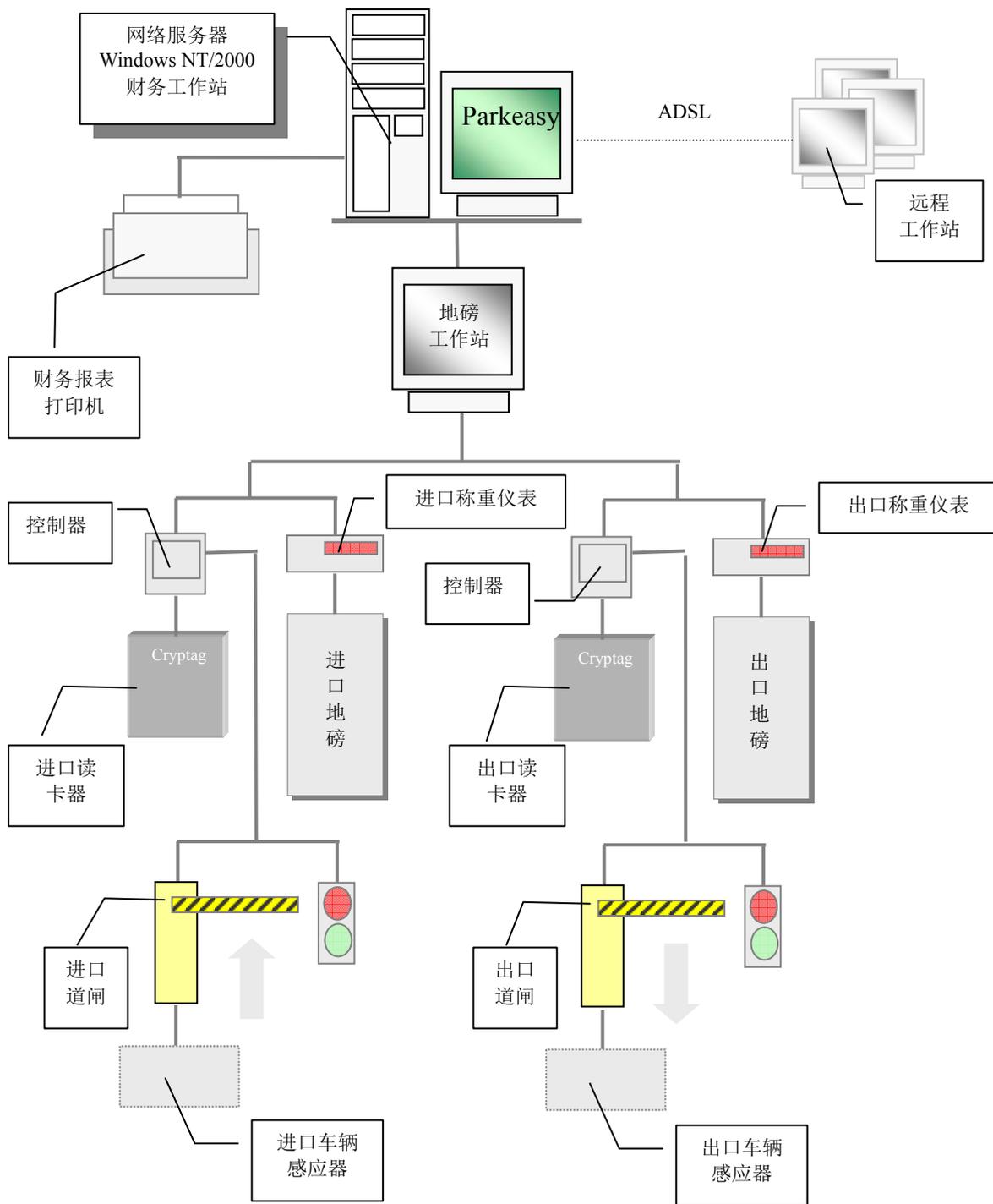


图5-2 地磅称量硬件网络结构框图

每座地磅站均为独立的建筑，包括管理室、地磅、等待称量的车辆缓冲区和紧急旁通道等设施。管理室设空调及盥洗室，供地磅管理人员和司机使用。

### 5.3.3 垃圾卸料厅

经称量后的垃圾运输车按指定路线和信号灯指示驶入卸料大厅。垃圾卸料大厅供垃圾车辆的驶入、倒车、卸料和驶出，以及车辆的临时抢修。卸料平台地面标高 8.0m，顶标高 17.5m，长度为 96.6m，宽度为 27m，满足最大可能车辆转弯半径的 2~3 倍。

在垃圾吊控制室设有垃圾门控制盘，垃圾吊操作人员根据垃圾池内垃圾堆放情况，选择垃圾车在几号垃圾门倾倒垃圾，通过信号指示灯，指示垃圾车倒车至指定的卸料台，此时垃圾池的卸料门自动开启，垃圾倒入池内。

垃圾卸料大厅见下图。



图5-3 垃圾卸料大厅

垃圾卸料大厅为密闭式布置，卸料区为室内布置了气幕机，以防止卸料区臭气外逸以及苍蝇飞虫进入。为了保障安全，在垃圾卸料口设置阻位拦坎，以防垃圾车翻入垃圾池。

垃圾卸车平台采用高位、封闭布置，进厂垃圾运输车在汽车衡自动称重后，通过引道进入卸车平台。

卸车平台在宽度方向有 1%坡度，坡向垃圾仓侧，垃圾运输车洒落的渗沥液，流至垃圾仓门前的地漏，汇集到管道中，导入渗沥液收集池。

### 5.3.4 垃圾自动倾卸门

本方案设计中打破常规垃圾门一跨一门的设置方式，减少垃圾门设置数量，卸料平

台采用 8 座垃圾卸料门。在既能保证垃圾车顺利卸料的前提下，有利于增加垃圾池垃圾储量、有利于减少停炉时垃圾池臭气的外逸点、有利于节省投资。

垃圾卸料平台设置 8 座垃圾卸料门，以保证本厂的垃圾运输车的快速、便捷进厂卸车。卸料门前装有红绿灯的操作信号，指示垃圾车卸料。设防止车辆滑入垃圾池的车挡及防止车辆撞到门侧墙、柱的安全岛等设施。为保证卸料门开启与垃圾抓斗作业相协调，卸料门的开启信号传至垃圾抓斗操作室。为防止有害噪音、臭气及粉尘从垃圾池扩散至大气，卸料门采用气密性设计，并能耐磨损与撞击。

由于实现自动控制及安全方便措施到位，垃圾车卸料时间（从计量磅站计量开始、上卸料大厅、卸料至空车离开地磅站）将不会超过 10 分钟，一般在 5 分钟内可完成。

卸料门的控制方式为半自动提升门，并能实现远程控制功能。

### 5.3.5 垃圾池

垃圾池贮存垃圾，对垃圾数量调节，并可利用其对垃圾进行搅拌、脱水和混合等处理，对垃圾的质量调节。垃圾池的设计应考虑远期扩建。

确定垃圾池的容积一要考虑到平衡垃圾日供应量可能出现的大波动；二要考虑到进厂原生垃圾含水量较大，不适合直接进炉焚烧，需要在垃圾池内堆存 7 天以上便于垃圾渗沥液的析出，保证焚烧炉的稳定燃烧。为减少垃圾池占地面积，增加储坑的有效容积，垃圾池设计为单面堆高的形式。

本项目垃圾池为钢筋混凝土结构，半地下结构。其占地面积为  $30 \times 78.75 \text{m}^2$ ，地下深度为 6 米，有效容积约  $33000 \text{m}^3$ ，可贮存约 14880 吨垃圾，可满足本期工程约 10 天垃圾焚烧量的要求。垃圾池为密闭、且具有防渗防腐功能，并处于负压状态的钢筋混凝土结构储池。

垃圾池内的空气由一次风机抽至焚烧炉，以控制臭气外逸和甲烷气的积聚，并使垃圾池区保持一定的负压。抽风口位于垃圾池的上部，所抽出的空气作为焚烧炉的燃烧空气，收集到的渗沥液送至本厂污水处理站渗沥液处理系统处理。

垃圾池一侧上部设有吊机操作室，操作室有着良好的通风条件，保持不断地向室内注入新鲜空气。并与垃圾池完全隔离。吊机操作人员视线可覆盖整个垃圾池。

由于垃圾含有较高水分，在存放过程中将有部分水份从垃圾中渗出，因此垃圾池的设计必须有利于垃圾渗沥液疏导，垃圾池底部按防渗设计，有一定的纵坡，垃圾池前墙的底部装有不锈钢格筛，以将垃圾渗沥液排至渗沥液收集池，收集池有效容积为  $600 \text{m}^3$ ，收集到的垃圾渗沥液用泵送入厂内渗沥液处理站处理。

垃圾池以及垃圾渗沥液收集沟、收集池均采用重防腐处理，以免渗沥液腐蚀混凝土墙壁。垃圾渗沥液收集沟、收集池还增加吸风装置，以当检修时将臭味气体吸入垃圾池内。

在贮坑适当位置设摄像头，以便监视贮坑的运行情况，并将信号传至中央控制室。

垃圾池上部吊车轨道面相对标高为 35m，设有足够的空间以便吊车的搅拌、混合和堆置等运行操作；在垃圾池两端设吊车检修平台，垃圾吊车上部设电动葫芦可对垃圾吊车进行检修。贮存坑设有消防、防爆系统；侧壁和坑底强度能抗抓斗冲击。

### 5.3.6 垃圾吊车

#### 5.3.6.1 设备比选

本项目采用全自动控制电动双梁抓斗起重机（简称：垃圾吊车）。

##### 1) 垃圾吊车数量和布置方式的选择

由于本项目设计总规模较大，为满足总处理规模下垃圾上料需求，本项目主厂房设置 3 台垃圾吊车。

##### 2) 抓斗的选择

常用的垃圾抓斗有蚌式和桔瓣式两种，蚌式多用于处理规模小于 200t/d 的垃圾焚烧厂，本项目选用桔瓣式，爪张开时，其尖端垂直向下，便于尽可能深地插入垃圾堆中，其抓深大。抓斗材料是碳钢，爪的材料采用硬的合金，以防止磨损和腐蚀。

抓斗的驱动型式有两种，比较如下：

表5-3 抓斗驱动型式比较表

项目	液压驱动	机械驱动	备注
抓取垃圾力度	靠液压缸，力量大；对不均匀垃圾和斜面垃圾效果好	靠抓斗自重，力量小；对不均匀垃圾和斜面垃圾效果差	
稳定性	较好	较差	
投资	较高	较低	
自重	较小	较大	
自高	较低	较高	
维修	周期短、备件费用较高	周期长、备件费用较低	液压维修要求较高

经比较选择**液压驱动抓斗**，取其抓取垃圾效果好的优点。

为了保证运行平滑、加减速及准确定位，综合考虑垃圾吊车的使用性能，本垃圾吊车电气系统，采用比可控硅控制、脉冲转换控制性能更为优越的国内外先进的“触摸屏

+PLC+变频调速”控制方案，实现整机综合监控、自动控制及高精度的调速功能。

### 5.3.6.2 设备功能

垃圾池上方设 3 台垃圾吊车。吊车小车架上设置一套称量装置，具有自动去皮、计量、预报警、超载保护及防摆、防倾、自定位、防撞等功能，并能在吊车控制室显示、统计投料的各种参数，并与垃圾卸料门的开启进行联锁控制。

吊车可供两台焚烧炉加料及对垃圾进行搬运、搅拌和倒垛。按顺序堆放到预定区域，以确保入炉垃圾组分均匀，燃烧稳定。鉴于垃圾池内环境恶劣，吊车操作工是在位于垃圾池侧上方的吊车控制室内进行操作。吊车配备手动操作系统、半自动操作功能，并能快速切换。

垃圾吊的主要功能：

- 1) 将垃圾池内的垃圾投入到焚烧炉的料斗内，使料斗的料位保持在一个适当范围，确保垃圾的入炉供料。
- 2) 对卸入垃圾池内的垃圾进行给料、移料、混料、堆料和破料，并按顺序堆放到预定区域，力争入炉垃圾的组份均匀，并能根据焚烧工艺的要求，使垃圾有一定的发酵时间，
- 3) 抓取垃圾池中渗沥液排泄口的垃圾，以便及时排泄坑中的渗沥液。

进炉垃圾通过垃圾吊车的称重装置进行称量，计量信号通过计算机进行处理，并与中央控制系统连接，便于统计及掌握垃圾焚烧总量。

### 5.3.6.3 起重机的控制

起重机所有的运动控制都在一个固定的控制室内操作，具有以下 2 种运行模式可以选择：

- 1) 手动模式；

通过联动台操作杆来控制，配有可旋转的座椅。

- 2) 半自动模式（带自动喂料功能）

可实现功能：移料、喂料、混料、堆料，能设计为一台起重机运行或多台起重机同时运行。

控制室里的每一台控制椅控制一台起重机，此外还配有一台无线遥控器，作为紧急情况与维修时用。

每一台起重机配一套 PLC，进行起重机的控制信号和位置信号处理，并通过供电系

统跟 DCS 系统进行数据交换，并与上一级控制单元有信号接口，实时打印机放置在控制室中，用来打印重量、输出信息。

#### 5.3.6.4 垃圾吊车设备选型

本项目设置 3 台单台起重量 18t、抓斗容积为 12m<sup>3</sup> 的桔瓣式抓斗吊车，采用变频调速控制及 PLC 自动控制系统。能实现半自动操作（程序化操作状态）和手动操作两种方式，两种方式均能满足工艺要求并能快速切换。设置 4 台垃圾抓斗。

垃圾抓斗选用电动液压桔瓣式抓斗，该类型抓斗力矩大，抓取容量多，对于大的、不均匀垃圾和斜面垃圾抓取效果好，稳定性好。

垃圾吊车及抓斗拟选用知名厂商的产品，拟选设备除具有上述所要求的性能外，还具有下述特点：

1) 重级工作负荷设计：垃圾吊车由于运行环境恶劣，工作频率高，具有防爆功能，设计时按 M8 工作级别设计。

2) 自动边抓边提：原生垃圾水分多、灰土含量高、粘性大、经压缩和堆放后变实，抓取时阻力大，需边抓边提。吊车司机只需闭合抓斗，控制系统自动实现边抓边提，直到抓斗完全闭合，一次完成抓取作业，该功能在手动操作和自动控制时均有效，不仅提高抓满率、提高生产率、降低劳动强度，同时防止了钢丝绳过分松弛发生抓斗倾覆。

3) 可视屏监控系统：实现上料、混料、移料、堆料的半自动（手动）控制，同时提供大量数字和图形信息，提高焚烧炉的稳定性。

4) 故障自动诊断和报警：鉴于抓斗吊车使用环境恶劣，工作繁重，停车检修时间过长造成生产损失，本工程采用的垃圾抓斗吊车具有故障自动诊断和报警功能，在触摸屏上通过故障代码显示，便于检修人员判断并大大缩短检修时间。

5) 称量、统计、报表功能：抓斗吊车设有垃圾量计算机称重系统，实时显示抓斗去皮重量（即物料重量），同时称量系统与编程控制器交互信号参与控制（防倾翻、防松绳、超载保护等），给料时能自动称重、信号自动输入并在屏幕上显示。系统按某台起重机、某给料口、某班、某日、某月、某年等需求完成计量、累计、打印报表作业，并留有串口通讯，可将称量结果等信号传输到中央控制室。

6) 设有红外线防碰撞装置，防止吊车之间碰撞，具有防爆功能。

在吊车控制室显示统计投料的各种参数，并与垃圾卸料门的开启进行联锁控制。

### 5.3.7 点火辅助燃料系统

锅炉点火系统由燃油系统、锅炉燃烧器本体、点火装置、火焰探测器以及相应的控制器和安全保护装置构成。

燃油系统由油罐、油过滤器和供油泵组成，系统采用母管制，供、回油母管接至焚烧炉燃烧器附近。

本项目设有埋地钢制油罐 2 只，容积  $20\text{m}^3$ 。供油泵 3 台，2 用 1 备，油泵流量为： $3.6\text{m}^3/\text{h}$ ，排油压力：2.5MPa，型号：3Gr42×6A。

### 5.3.8 渗沥液收集与输送系统

由于垃圾含有较高水分，在存放过程中将有部分水份从垃圾中渗出，因此垃圾池的设计必须有利于垃圾渗沥液疏导，垃圾池底部按防渗设计，垃圾池前墙的底部装有不锈钢格筛，以将垃圾渗沥液排至渗沥液收集池。垃圾渗沥液排出后汇集于垃圾池外的渗沥液沟内，经渗沥液沟流至垃圾渗沥液收集池内暂存。收集池有效容积为  $600\text{m}^3$ ，当渗沥液收集池内渗沥液达一定数量时，通过渗沥液泵将其抽送至厂内渗沥液处理站处理。

生活垃圾含有大量水份，贮存于垃圾池的垃圾产生一定数量的渗沥液，由布置于垃圾池底部的隔栅渗出。垃圾池渗沥液收集见下图。

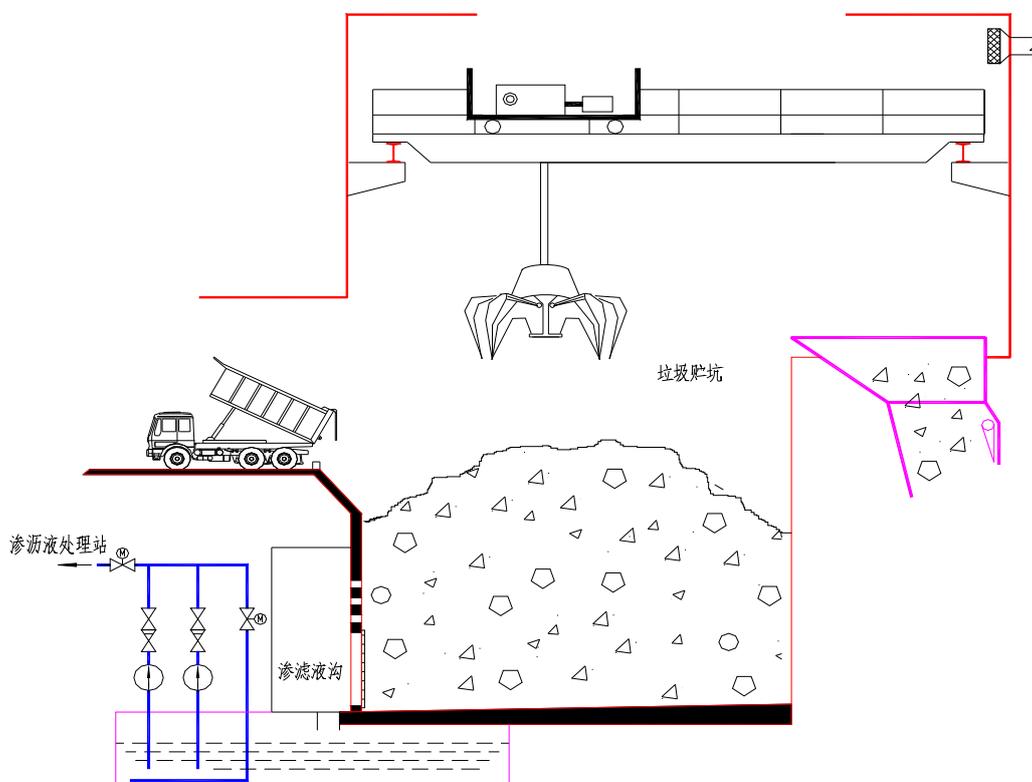


图5-4 垃圾池渗沥液收集图

## 5.4 燃烧系统

### 5.4.1 炉前垃圾给料系统

每台垃圾焚烧炉都配有垃圾进料斗、溜槽和给料器，进料斗内的垃圾通过溜槽落下，由给料器均匀布置在炉排上。给料器根据余热锅炉负荷和垃圾性质调节给料速度。

进料斗底部设密封性能良好的隔离闸门，在必要情况下将进料斗与焚烧炉垃圾入口隔离。焚烧炉给料器下面设计有渗沥液收集斗。收集后的渗沥液用管道输送到渗沥液收集池进行集中处理。给料器的控制进入 DCS。

焚烧炉垃圾给料系统由垃圾进料斗、溜槽（含膨胀节）和给料器组成。

#### （1）垃圾进料斗

其功能是接受垃圾起重机抓斗的给料。同时利用垃圾的自重连续不断地向炉内提供垃圾。进料斗做成梯形漏斗式框架，料斗的形状和进口尺寸使得抓斗全部张开时垃圾不会飞溅。料斗壁较光滑利于垃圾移动，产生的噪音很小。料斗的设计不会出现架桥现象，普通大件垃圾也完全能顺利进入。

#### （2）垃圾溜槽

溜槽连接着进料斗和焚烧炉，溜槽分为上下两部份，上下两部分之间有金属膨胀节，用于吸收受热产生的热膨胀。溜槽内的垃圾为焚烧炉的供料提供足够的储备量，同时利用垃圾本身的厚度形成密封层，防止空气漏入炉内和烟气外逸，起到使焚烧炉膛与外界隔离的作用。

#### （3）给料器

给料平台设置在溜槽的底部，液压驱动的给料小车在滑动平台上往复运动，从而将垃圾均匀的送到炉排。同时设计时考虑热值低垃圾密度较高的特性，确保给料器尖峰负载下不会过载，给料器导轮及轨道不会磨损。

垃圾在给料过程中被挤压后会析出一定量的渗沥液，因此焚烧炉给料器下面设计有渗沥液收集斗。每台炉布置 8 个渗沥液斗。每台炉进料斗渗沥液收集斗的渗沥液接入总管排至垃圾池垃圾渗沥液收集池。

### 5.4.2 垃圾焚烧炉

垃圾焚烧炉系统是垃圾焚烧发电厂的心脏，其性能直接影响垃圾焚烧处理的综合排放指标和全套设备的运转率。本方案暂时按多级机械炉排炉论述。

表5-4 垃圾焚烧炉主要技术参数表

序号	性能参数名称	单位	数据
1	焚烧炉数量	台	2
2	焚烧炉单台处理量	t/h	750
3	焚烧炉超负荷运行时的处理量	t/h	825
4	焚烧炉 MCR 点入炉垃圾热值	kJ/kg	8374
4	焚烧炉年正常工作时间	h	8000
5	折算额定处理量的年利用小时数	h	7446
6	垃圾在焚烧炉中的停留时间	h	1.5-2.5
7	烟气在燃烧室中的停留时间	s	≥2
8	燃烧室烟气温度	℃	950
9	助燃空气过剩系数	/	1.70
10	助燃空气温度	℃	220/45
11	焚烧炉允许负荷范围	%	60~110
12	燃烧室出口烟气中 CO 浓度	mg/Nm <sup>3</sup>	≤50
13	燃烧室出口烟气中 O <sub>2</sub> 浓度	%	6-12
14	焚烧炉渣热灼减率	%	<3

### 5.4.3 燃烧空气系统

#### 5.4.3.1 助燃空气系统

助燃空气系统包括一、二次风吸风口、风管、一、二次风喷嘴出口，一次风、二次风。

一、二次风系统都由风机、风管及支架组成，一次风系统还要增加预热器。为了对垃圾起到良好的干燥及助燃效果，一次风空气进入焚烧炉之前，先通过蒸汽式空气预热器加热，然后从炉排下部分段送风。同时，为了提高燃烧效果及保持燃烧室的温度，我们在焚烧炉的前后拱喷入二次风，以加强烟气的扰动，延长烟气的燃烧行程，使空气与烟气的充分混合，保证垃圾燃烧更彻底。一、二次风风量较大，可安装消音器降低噪音。

由于设计进炉垃圾热值较高，一次风、二次风额定设计温度为 20℃，但为保证低负荷炉温控制需要，一次风设置蒸汽式空气预热器系统，利用汽机抽汽和汽包抽汽可将一次风加热到 220℃。

一次风从垃圾池抽取，二次风在炉后给料平台处设一个吸风口。进风方式：一次

风由炉排下的风室（灰斗）经过炉排片的风孔进入炉膛，对垃圾进行干燥和预热，同时也起到对炉排片的冷却作用。

焚烧炉两侧墙与垃圾直接接触，局部温度较高。对两侧墙的保护采用冷却风的方式。侧墙是由耐火砖砌成的中空结构，炉墙外部安装保温层。冷却风从侧墙下部进入，流经耐火砖墙，达到冷却炉墙的目的。冷却风由单独设置的冷却风机提供，便于启停炉的控制。密封风用于焚烧炉驱动部件和炉排前部框架间隙的密封。

#### 5.4.3.2 空气预热器

为了能使低热值垃圾更好地燃烧，燃烧空气必须经过加热器加热后，才能送入焚烧炉。进入焚烧炉炉膛的燃烧空气保持在稳定的温度，这个温度需要通过调节加热蒸汽的流量或送风量来维持。在结构设计上，考虑预热器断面和风管的对齐方式、受热面的热膨胀问题。

蒸汽-空气预热器利用蒸汽加热空气，蒸汽在管内流动，空气在管外流动，从而有效的防止了空预器的积灰现象，同时把空气加热到设计值；为方便检修和清扫，在空预器护板上设有检修门，另外在空预器下部设有疏水管。预热器需要保温，并采取必要的防腐措施。

#### 5.4.4 启动点火与辅助燃烧系统

辅助燃烧系统包括点火和辅助燃烧设施，燃料为 0# 轻柴油。

在入炉垃圾热量低于设计额定热负荷的 70%时需添加辅助燃料。根据当地的燃料供应情况，本项目拟采用 0# 轻柴油作为启动和辅助燃烧的燃料（油质分析资料见下表）。每台焚烧炉共 4 台燃烧器，其中 2 台启动燃烧器，2 台辅助燃烧器。

表5-5 助燃用油油质分析

项目名称	单 位	数 值
硫	%	≤0.2
10%蒸余物残炭	%	≤0.3
灰 分	%	≤0.01
水 分	%	≤痕迹
机械杂质	%	无
运动粘度 (20℃)	mm <sup>2</sup> /s	3~8
凝 点	℃	≤0
闪点 (闭口)	℃	≤55
密度 (20℃时)	t/m <sup>3</sup>	0.82
水溶性酸或碱		无
低位发热量	kJ/kg	42278
	kcal/kg	10100

启动燃烧器布置在炉膛的侧壁，其作用是用于焚烧炉由冷态启动时的升温 and 停炉时的降温。当焚烧炉启动后，启动燃烧器投入运行，使整个炉膛从冷态均匀加热至约 850℃。启动燃烧器布置在炉膛上部喉口附近，离炉排较远，故对炉排的辐射不会造成炉排过热。同时，在启动过程中，可微开一次风冷风冷却炉排，进一步保护炉排不过热。

辅助燃烧器布置在炉膛的后墙，其作用是：在入炉垃圾热量低于设计额定热负荷的 70%时，保证焚烧炉炉膛烟气温度高于 850℃停留时间不少于 2s。当垃圾热值低时，辅助燃烧器可根据燃烧室的温度情况自动投运。辅助燃烧器在不运行期间有自动退出炉膛的功能。

#### 5.4.5 除渣系统

完全燃烧后的炉渣从落渣口落入除渣机；焚烧炉炉排漏渣由炉排落渣输送装置收集、输送至除渣机，最终排入灰渣坑，并由灰渣吊车转运至炉渣运输车辆送至综合利用企业；余热锅炉积灰通过落灰管输送至除渣口进入除渣系统。

锅炉除渣系统本系统由漏渣和落渣清除系统，余热锅炉转弯烟道的沉降灰清除系统等组成。

##### 5.4.5.1 漏渣清除系统

炉排漏渣清除系统采用机械输送方式。

炉排下每个灰斗出口均装设气动双层卸灰阀和金属膨胀节。每列炉排下漏灰采用刮

板输渣机。每台焚烧炉设置两台刮板式输渣机。从刮板输渣机出来的炉渣进入除渣机中。

#### 5.4.5.2 除渣系统

除渣机安装于炉排尾部的落渣口下方用于冷却及排出垃圾燃烧后的炉渣、炉排灰斗和锅炉灰斗收集的灰渣。

除渣机为液压推杆式，冷渣方式为水冷。除渣机台数和出力与焚烧产生的渣量相适应。冷却水的流量能自动控制，设水位高、低报警信号。除渣机考虑必要的防磨损和腐蚀措施。

除渣机采用水封方式，腔体中的水既能及时对燃烧后的炉渣进行熄火冷却，同时又能确保炉膛始终与外界隔离，炉渣冷却过程中产生的蒸汽不传到设备外。液压驱动的推头体在除渣机腔体内来回往复运动，冷却后的炉渣随着推头体的运动向上缓慢移动，经过一段距离的移动及脱水后排出除渣机。除渣机内侧合理设计耐磨板，提高使用寿命；设置液位控制器，确保除渣机的正常运行，又能合理节约水资源。

### 5.5 热力系统

#### 5.5.1 主设备选型

该焚烧厂无向外供热需要，因此，汽轮机定为凝汽式，与锅炉配套，也为中温中压，其抽汽供预热燃烧空气、加热锅炉给水并除氧，作功后的乏气用循环冷却水进行冷却。

#### 5.5.2 余热利用系统

余热利用系统流程：初步预热的冷凝水经除氧加热加压后送入余热锅炉，垃圾焚烧产生的热量将水加热成 4.0MPa、450℃ 的中温中压过热蒸汽供汽轮发电机组发电，作功后的乏汽经凝汽器冷凝成水后由凝结水泵泵送至汽封加热器、低压加热器加热，最后进入除氧器，又开始下一次循环。

主要设备有：汽轮机、发电机。

辅助设备有：凝汽器、凝结水泵、汽封加热器、低压加热器、除氧器、给水泵、连续排污扩容器、定期排污扩容器、疏水箱、疏水扩容器、交直流油泵、油箱、冷油器、空气冷却器、减温减压器、旁路冷凝器等。

#### 5.5.3 余热锅炉系统

垃圾焚烧产生的热能通过余热锅炉产生蒸汽，蒸汽通过汽轮发电机组变成电能。

余热锅炉是整个垃圾焚烧电厂中的关键设备之一。余热锅炉最重要的特点是：高效、

灵活，良好的适应性和维护性能。由于垃圾发热值的变化，良好的适用性尤其重要，尽可能产生稳定的蒸汽，汽轮发电机组才能有效的工作。

本余热锅炉为单锅筒、自然循环水管锅炉。该余热锅炉受热面的设置使烟气以快速降至 250℃ 以下，由于在 250~500℃ 温度范围内极易生成二噁英，因此，在余热锅炉的设计中尽量减少了烟气在该温度范围内的停留时间，以防止二噁英的生成。

在锅炉支承结构以下的三个辐射烟道部分向下膨胀，其它部分和水平烟道自由向上膨胀，对流管束由侧墙的上部联箱支撑，并能自由膨胀。

#### 5.5.4 汽轮发电机组

根据前文计算与方案论证，本期项目拟设置 1 台容量为 35MW 的次中温中压凝汽式汽轮发电机组。

汽轮发电机组由汽轮机、发电机、凝汽器、凝结水泵、汽封加热器、低压加热器等组成。汽轮机为单缸、凝汽、冲动式汽轮机，三级非调整抽汽。发电机为空冷式发电机，无刷励磁。汽轮发电机组采用 DEH 控制，可以实现汽轮发电机组的启停、负荷调整、以及事故处理。并采用 TSI 系统，对汽轮机的超速、振动等进行监测保护。

由余热锅炉供应的次高温中压过热蒸汽经汽轮机膨胀做功后将热能转化为机械能，带动发电机产生电能。另外从汽轮机中抽出三路低压蒸汽，一路作为蒸汽空气预热器热源，一路作为除氧器除氧热源，一路作为低压加热器加热凝结水热源。做功后的乏汽经凝汽器冷凝为凝结水，再经低压加热器加热，经除氧器除氧后供余热锅炉。空气预热器和除氧器的加热蒸汽除汽机抽汽外，均由公用减温减压器作为备用汽源。

#### 5.5.5 热力系统

##### 5.5.5.1 主蒸汽系统

本项目采用两炉一机运行方式，主蒸汽系统采用母管制系统，两台锅炉产生的蒸汽先引往一根蒸汽母管集中后，再由该母管引往汽轮机和各用汽处。同时主蒸汽系统设有一根启动旁路蒸汽管，锅炉启动蒸汽通过旁路减温减压器后进入旁路凝汽器冷凝成水。该系统阀门少、系统简单、可靠，适合小容量机组。

主蒸汽母管上接有一台减温减压器，经减温减压后的蒸汽作为汽机一级抽汽和开机时除氧器的补充汽源。

##### 5.5.5.2 凝结水系统

凝结水管道采用母管制系统。汽机冷凝器下装设 2 台凝结水泵，每台泵的容量为最

大凝结水量的 110%(一用一备)。凝结水经凝结水泵加压后,经汽封加热器、低压加热器进入除氧器。

### 5.5.5.3 回热抽汽系统

汽轮机设有 3 级不可调抽汽:一路作为蒸汽空气预热器热源,一路作为除氧器除氧热源,一路作为低压加热器加热凝结水热源。空气预热器和除氧器的加热蒸汽除汽机抽汽外,均由辅助减温减压器作为备用汽源。三级抽汽管道由汽轮机接到低压加热器的加热蒸汽入口上。一级、二级抽汽管道上均设有抽汽逆止速关阀。除氧器加热蒸汽进口管道上设有电动调节阀,用于调节除氧器的运行压力和运行温度。

汽轮发电机组配设 1 台处理能力为每小时 180 吨的除氧器和 1 台 80m<sup>3</sup> 除氧水箱,除氧水箱可满足锅炉约 30 分钟的用水量。

### 5.5.5.4 给水系统

给水管道采用母管制系统。两台锅炉共设置三台电动锅炉给水泵,预留二期工程一台给水泵的安装位置;正常工况下,两台运行,一台备用。由于垃圾热值变化大,为节约能源和维持系统运行稳定性,给水泵采用变频控制。

由于不设高压加热器,本系统共设两根给水母管,即给水泵吸水侧的低压给水母管,给水泵出口侧的高压给水母管。两根给水母管均采用单母管制。

### 5.5.5.5 冷却水系统

汽轮机排汽采用水冷方式降温凝结,冷油器、发电机空气冷却器等由闭式循环冷却水系统供给,冷却塔为机力冷却塔。其它如泵、风机等的冷却由工业水供水管供给。

### 5.5.5.6 真空系统

为保证凝汽器有一定的真空,及时抽出凝汽器内不凝结气体,设置有抽真空系统。本系统的主要设备有水环真空泵,为汽机厂配套。

### 5.5.5.7 排污及疏放水系统

本项目设置 1 台连续排污扩容器和 1 台定期排污扩容器。连续排污扩容器的二次蒸汽接入除氧器的汽平衡管,锅炉排污水接入定期排污扩容器扩容后,统一排入废水处理系统。

锅炉和汽轮机的疏放水采用母管制,设 1 台 20m<sup>3</sup> 的疏水箱,同时设有两台疏水泵,(一用一备),可将疏水送入除氧器,同时疏水箱也可作为停炉放水的收集水箱。除氧器

的溢放水也通过疏水扩容器后排入疏水箱内，疏水箱上装有除盐水补水管路。

汽机低压加热器的疏水利用压差自流至冷凝器，汽机本体及本体部分的蒸汽管道疏水接入本体疏水膨胀箱，扩容后接入冷凝器。部分的蒸汽管道疏水接入疏水扩容器。

#### 5.5.5.8 化水补水系统

来自化水间除盐水主要补入除氧器和凝汽器，部分补入疏水扩容器作蒸汽降温用。汽包水位通过三冲量串级调节，并可通过摄像头在中控室工业电视上监视。

#### 5.5.5.9 主蒸汽旁路冷凝系统

在《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》中明确要求，必须设置主蒸汽（汽机）旁路系统。本系统包括旁路冷凝器（由汽机凝汽器充当）、减温减压器、冷凝水泵等设备。

垃圾焚烧发电厂应以处理垃圾为主，为保证垃圾发电厂的常年运行，本项目配有一套蒸汽旁路系统，当汽轮发电机组检修或故障停机时，焚烧炉/余热锅炉产生的蒸汽通过旁路系统冷凝。做到停机不停炉，保证垃圾的处理量。

汽机停机时，主蒸汽由旁路经减温减压装置后进入旁路冷凝器，冷凝后的冷凝水由冷凝水泵送入到除氧器。系统正常运行时，旁路系统处于备用的状态，由旁路切断阀断开。系统中的减温减压器的降温减压用水来自给水母管。

1)主蒸汽旁路设置的主要意义如下：

- (1) 汽轮发电机组检修和事故时，保障焚烧炉仍能运行。
- (2) 改善汽轮发电机组的启动性能。机组在启动时，旁路系统可缩短机组启动时间、减少汽机损耗。
- (3) 汽轮发电机组正常运行时，可作为蒸汽系统超压保护安全装置。
- (4) 汽轮发电机组调负荷时，调节更方便。
- (5) 锅炉及汽机启动过程中回收除盐水、减少余热锅炉启动排空的噪声。

2)蒸汽旁路系统的设备选择

(1) 减温减压器的蒸汽

蒸汽流量： 190t/h（满足汽轮机蒸汽量的 120%）

一次蒸汽压力： 4.0MPa

一次蒸汽温度： 450℃

二次蒸汽压力： 0.8MPa

二次蒸汽温度： 180℃

## 5.5.5.10 余热利用系统性能参数

表5-6 余热利用系统性能参数汇总表

项目	单位	参数
余热锅炉		
余热锅炉数量	台	2
额定垃圾处理量	t/d	750
设计点下连续蒸发量	t/h	153.477
额定蒸汽出口压力	MPa (G)	4.0
额定蒸汽出口温度	℃	450
锅筒工作压力	MPa (G)	4.4
锅筒工作温度	℃	257
锅炉给水温度	℃	130℃
排污率	%	~2
排烟温度	℃	200 (-5, +10)
锅炉热效率 (含焚烧炉)	%	≥81
汽轮机组		
汽轮机数量	台	1
型号		N35-3.9/435
额定功率	MW	35
额定转速	r/min	3000
进汽压力	MPa	3.90
进汽温度	℃	435
设计点下进汽流量	t/h	148.873
排汽压力	MPa(a)	0.0047(绝对)
发电机组		
发电机数量	台	1
额定功率	MW	35
额定电压	kV	10.5
功率因数		0.8
额定转速	r/min	3000

## 5.5.6 上网电量

在焚烧炉 MCR 点，日均处理入炉生活垃圾 1500 t/d，入炉垃圾低位热值 8374 kJ/kg (2000kCal)。按每日入厂生活垃圾 1500 吨计算，全年处理入厂生活垃圾量为 54.75 万吨。

根据热力计算，MCR 点余热锅炉实际出力为 153.477t/h，考虑到管道汽水损失，实际进入汽轮发电机组的过热蒸汽量为 148.873t/h，考虑 4.7kg/kWh 的汽耗率，对应发电机组发电功率为 31.015MW。

根据计算，项目年发电量为 23093.85 万度，厂用电率暂定为 16%，则年上网电量为 19398.84 万度。折算每吨入厂生活垃圾上网电量为 354.32kWh。

## 5.6 烟气净化系统

### 5.6.1 概述

在生活垃圾焚烧过程产生的烟气中，含有大量的污染物，主要的污染物质有下列几种：

不完全燃烧产物（简称 PIC）：燃烧不良而产生的副产品，包括一氧化碳、炭黑、烃、烯、酮、醇、有机酸及聚合物等。

粉尘：废物中惰性金属盐类、金属氧化物或不完全燃烧物质等。

酸性气体：包括氯化氢、卤化氢（氟、溴、碘等）、硫氧化物（SO<sub>2</sub> 及 SO<sub>3</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>），以及五氧化磷（PO<sub>5</sub>）和磷酸（H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>）。

重金属污染物：包括铅、铬、汞、镉、砷等元素态、氧化物及氯化物等。

二噁英：PCDDs/PCDFs

上述这些物质视其数量和性质，对环境都有不同程度的危害。高效的焚烧烟气净化系统的设计和运行管理，是防止垃圾焚烧厂二次污染的关键，也是烟气净化效果达到规定排放指标的保证。

### 5.6.2 烟气污染物排放标准

根据国内外的垃圾焚烧经验，结合本项目的实际情况和相关标准要求，本项目执行《生活垃圾焚烧处理污染控制标准》（GB18485-2014）及欧盟 EU2000/76/EC 标准，具体排放限值指标如下：

表5-7 烟气净化系统处理后的污染物排放限值

序号	污染物	单位	GB18485-2014	EU2000/76/EC	本项目 排放限值	
1	颗粒物	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	30	—	30
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	30	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	20	10	10
2	NO <sub>x</sub>	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	300	—	300
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	400	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	250	200	200
3	SO <sub>2</sub>	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	100	—	100
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	200	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	80	50	50
4	HCl	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	60	—	60
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	60	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	50	10	50
5	CO	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	100	—	100
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	—	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	80	—	80
6	汞及其化合物（以 Hg）计（测定均值）	mg/Nm <sup>3</sup>	0.05	0.05	0.05	
7	镉、铊及其化合物（以 Cd+Tl 计）（测定均值）	mg/Nm <sup>3</sup>	0.1	0.05	0.05	
8	锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物（测定均值）	mg/Nm <sup>3</sup>	1.0	0.5	0.5	
9	二噁英	ng TEQ/Nm <sup>3</sup>	0.1	0.1	0.1	

注：（1）表中各项标准限值均以标准状态下含 11%O<sub>2</sub> 的干烟气为参考值换算。

### 5.6.3 烟气净化工艺的选择

为确保垃圾焚烧厂尾气达标排放，本期项目烟气净化处理采用“SNCR 炉内脱硝+半干法脱酸+干石灰喷射+活性炭吸附+布袋除尘”组合方案，处理后的烟气可以满足项目的环保要求。考虑到未来烟气排放标准将进一步提高，同时为了保证将来烟气排放提标改造的便捷性，本项目在主厂房内预留 SCR 脱硝装置的安装位置。

### 5.6.4 烟气净化系统

#### 5.6.4.1 脱硝系统

为保证烟气中 NO<sub>x</sub> 日均值排放指标满足 200 mg/Nm<sup>3</sup> 限值要求，本项目设有炉内

SNCR 脱硝系统。

垃圾焚烧厂氮氧化物的形成主要与垃圾中氮氧化物和燃烧温度有关，即垃圾中含氮物质（主要指含氮的有机化合物）通过燃烧氧化而成，空气中的氮在高温条件下与氧反应生成氮氧化物。这一复杂过程主要与燃烧时局部的氧含量、温度，和氮含量有关。

本项目可采用以下两种方法减少氮氧化物排放：

1) 通过优化燃烧和后燃烧工艺，来减少氮氧化物的产生，控制燃烧温度 850~1000℃，根据现有运行经验可以降到 350mg/Nm<sup>3</sup> 以下。

2) 设置一套 SNCR（选择性非催化还原法）脱硝装置，通过在锅炉第一通道喷射氨水溶液进行化学反应去除氮氧化物，将 NO<sub>x</sub> 还原成 N<sub>2</sub>，可以将烟气中 NO<sub>x</sub> 含量降到 200mg/Nm<sup>3</sup> 以下。根据 NO<sub>x</sub> 原始排放浓度的不同，采用 SNCR 法的脱硝效率为 50% 左右。

SNCR 法是向烟气中喷氨水溶液，在高温（900~1100℃）区域，通过氨水分解产生的氨自由基与 NO<sub>x</sub> 反应，使其还原成 N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub>，达到脱除 NO<sub>x</sub> 的目的。其工艺流程示意图见下图。本项目选择 25% 氨水溶液作为脱硝还原剂。

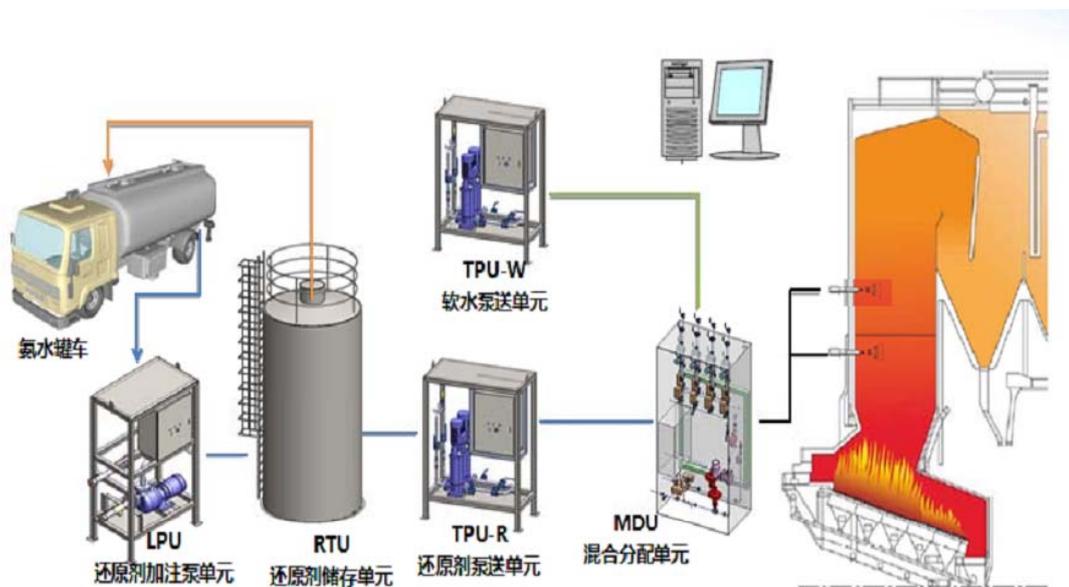


图5-1 SNCR 法工艺流程示意图

氨水溶液供应泵根据烟囱出口的 NO<sub>x</sub> 浓度供应氨水溶液。氨水溶液流量由 DCS 控制。稀释水供应泵是为了用除盐水稀释氨水溶液而设置的。由氨水溶液供应泵送来的氨水溶液与水通过管道混合器混合后，送到氨水溶液喷射喷嘴。本项目设置一个容积为 40m<sup>3</sup> 的氨水储罐，可满足全厂 5~7 天的氨水用量。

稀释后的氨水溶液用压缩空气雾化喷入到锅炉的第一烟道，降低 NO<sub>x</sub> 浓度。压缩

空气通过套管连续冷却喷嘴。

SNCR 控制系统分为手动和自动两种运行模式。在自动运行时，能自动控制制溶液罐的液位、自动控制泵出口的压力、自动控制雾化空气压力、自动调节溶液流量、自动检测锅炉尾部烟道的  $\text{NO}_x$  的含量，当大于设定的  $\text{NO}_x$  值时，自动开启脱硝系统等。

控制系统能够完成脱硝装置内所有的测量、监视、操作、自动控制、报警及保护和联锁、记录等功能。控制系统具有实时趋势查询、历史趋势查询、报表查询等功能。

#### 5.6.4.2 脱酸反应系统

##### 5.6.4.2.1 工艺流程

脱硝之后的烟气，从反应塔顶部经过导流板均匀地进入塔内。旋转喷雾器布置在塔顶部中心，石灰浆经高度雾化后与烟气同向喷入中和反应塔。在塔内，流体的速度减慢，烟气中的酸性气体和碱性水膜有较长的接触时间。由于水的蒸发可以使烟气快速冷却，降到合理温度，从而提高反应效率。同时，一部分的反应物和灰尘沉降到反应塔底部排出。经初步净化的气体入布袋除尘器前的烟道内喷入活性炭，在布袋除尘器中，反应剂和活性炭被吸附在布袋表面，进一步与烟气中的未完全反应的酸性气体发生反应，以及吸附二噁英和重金属。除尘器灰斗的反应灰和中和反应塔的飞灰通过机械输送系统或气力输送系统送到灰仓。

垃圾焚烧烟气净化系统一般由石灰制浆系统、半干法反应塔、旋转喷雾系统、活性炭喷射装置、布袋除尘器和飞灰输送系统等组成。

##### 5.6.4.2.2 石灰制浆系统

石灰制浆系统用于半干法烟气净化系统石灰浆的制备、储存和输送，系统由  $\text{CaO}$  粉末输送系统、石灰粉储仓、石灰粉末计量装置（计量小料仓或电子失重称）、硝化槽、储浆罐、石灰浆泵、阀门和管道组成。

在控制系统的控制下，石灰粉从石灰粉储仓进入计量装置，硝化槽内的工业水的计量由液位控制装置完成，通过石灰粉和水的计量可以方便地控制石灰浆浓度。计量后的石灰粉被输送到硝化槽进行搅拌，打开硝化槽至储浆罐的电动阀门，石灰浆溢流到储浆罐备用。

石灰浆也可以由人工配制：先把水加入到硝化槽内固定水位，启动搅拌电机，再把一定量的袋装石灰粉末解包后直接倒入硝化槽，搅拌均匀后放入储浆罐备用。

本期设一个石灰储仓，储仓顶上装有 1 台布袋除尘器，在装料时除尘器可自动投入

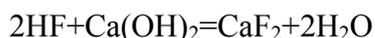
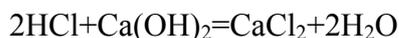
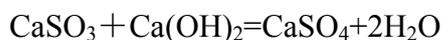
运行，也可手动投入。除尘器用压缩空气清扫。储仓装有料位开关：高料位（H）时，料位开关发出声响报警通知汽车司机，储罐已装满；高高料位（HH）时，料位开关报警并自动关闭卸料管线上的阀门。储仓底部振动器确保石灰的排出；下部检修时，储罐出料口气动关断阀门关闭。

储浆罐的石灰浓度（20%）由计量螺旋（变频控制）的排出量和加入的水量来确定。消化后的石灰经溢流至稀释罐，在稀释罐稀释到所要求的浓度。通过储浆罐和稀释罐加入的水量来获得所要求的浓度。

石灰浆循环泵将石灰浆输送至反应塔，石灰浆在循环管路内的流速计算应考虑既防止石灰的沉积又使管路的磨损最小。循环泵的流量设计值大大超过正常石灰浆用量，使得由于石灰浆耗量的变化而引起的循环回路输送速度仅产生微小的变化。为使雾化器入口压力恒定，采用控制阀控制循环管路的压力。设置一台备用泵，泵与主回路之间采用软管连接。

#### 5.6.4.2.3 反应塔

反应塔是垃圾焚烧尾气除酸脱硫的设备，在反应塔内，反应剂与烟气中的酸性气体都发生反应。主要反应为：

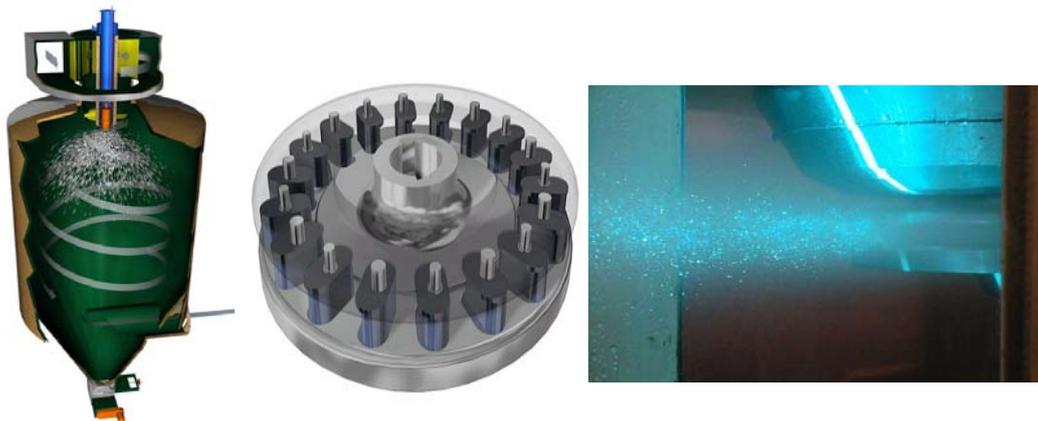


同时，喷入中和反应塔内的水分在高温下蒸发，降低了烟气的温度，使上述反应更加强烈，提高烟气净化效率。另一方面，也可以使烟气进入布袋除尘器时的温度控制在许可范围之内。

在反应塔内，也可去除一些重金属如 Hg、Pb 及二噁英 PCDDS/PCDDFs。

#### 5.6.4.2.4 喷雾系统

旋转喷雾系统由旋转喷雾器、变频器、油气润滑冷却单元、一套循环水冷却系统、一套管线及集合盖、一套自动控制系统、冲洗槽、一辆推车、一套工具构成。



旋转雾化器

旋转雾化器喷嘴

运行中的旋转雾化器

烟气通过蜗形的通道从反应塔上部进入，分配板保证烟气以均匀向下的速度通过喷雾器。在喷雾器前端，导向板使烟气产生一个额外的漩涡气流。这样，喷雾盘四周是旋转向下的烟气。

石灰浆和工业水经泵送至喷雾器。在喷雾器底部，一个特殊的分配器保证浆液恰到好处地提供给喷雾盘。在喷雾盘里，浆液被加速，在离心力的作用下，在喷雾盘周围变成细小的微粒。这些微小的石灰浆粒子具有充分的反应面积。

烟气的旋转方向和薄雾的旋转方向相反，这样二者之间产生剧烈的混合。来至锅炉的烟气在反应器里被喷雾器喷出的水冷却，同时其中的酸性物质被石灰浆中和。工业水的流量取决于烟气温度，石灰浆流量取决于烟气的酸碱度。

反应塔高度及直径保证了水蒸发及石灰的化学反应有充足的空间和时间。少部分反应产物沉积在反应器底部，由输送机输送到处理设备，大部分反应产物随烟气流入布袋除尘器烟气系统。

#### 5.6.4.2.5 干法脱酸系统

为了进一步去除烟气中酸性气体，提高脱酸效率，降低排放烟气中的污染物浓度，本项目设置干法脱酸系统。由于生石灰使用过程中易受潮，建议采用消石灰。干法脱酸系统可根据烟气中的污染物浓度来控制石灰粉的投入量，而不需要受到烟气温度的限制，是半干法脱酸工艺的有效补充。

干法脱酸系统主体设备为消石灰储存装置（石灰仓有效容积  $250\text{m}^3$ ）和喷嘴，采用管道喷入法，直接将消石灰粉通过高效喷嘴喷入反应塔和除尘器之间的管道内。烟气中反应剂与烟气中的酸性气体发生反应，进一步提高脱酸效率，使烟气中酸性气体达标排放。

#### 5.6.4.2.6 脱酸设备的选型

根据本项目的物料平衡计算结果，在入炉垃圾低位热值为 8374kJ/kg（2000kCal），单台入炉垃圾量为 750 t/d 的情况下，单台焚烧炉的烟气量约为 150800Nm<sup>3</sup>/h，考虑到垃圾热值的增长空间及裕量，在本方案中选用脱酸反应塔的参数如下表：

**表5-8 脱酸反应塔参数表**

序号	项 目	单 位	数 据
1	数 量	套	2
2	反应塔设计处理能力	Nm <sup>3</sup> /h	~166000
3	反应塔塔体直径	m	~12
4	反应塔塔体高度	m	~20.5
5	反应塔入口烟气温度	℃	~200
6	反应塔出口烟气温度	℃	~160
7	反应塔石灰浆流量	t/h	~0.7
8	反应塔冷却水供应量	t/h	~3.0
9	反应塔喷雾头转速	r/min	8000~12000

#### 5.6.4.2.7 脱酸反应原材料消耗量

额定工况下烟气净化系统所需吸收剂和吸附剂的耗量见下表：

**表5-9 脱酸原材料消耗表**

名 称	小时耗量	日耗量	年总耗量
	kg/h	t/d	t/a
氢氧化钙	1280.5	30.732	9535

#### 5.6.4.3 活性炭喷射系统

活性炭喷射系统是控制垃圾焚烧炉烟气中的重金属及二恶英最有效的净化技术。活性炭喷入喷雾反应脱酸塔出口烟道中，通过文丘里烟管与烟气充分混和，在烟气流向下流的布袋除尘器过程中，活性炭吸附烟气中的重金属（如 Hg）及二恶英。吸附了污染物的活性炭在布袋除尘器中被布袋拦截，从烟气中分离出来，因而除去了烟气中的重金属及二恶英，没有吸附污染物的活性炭在布袋形成滤饼的过程中继续吸附烟气残留的重金属及二恶英，保证烟气达标排放。

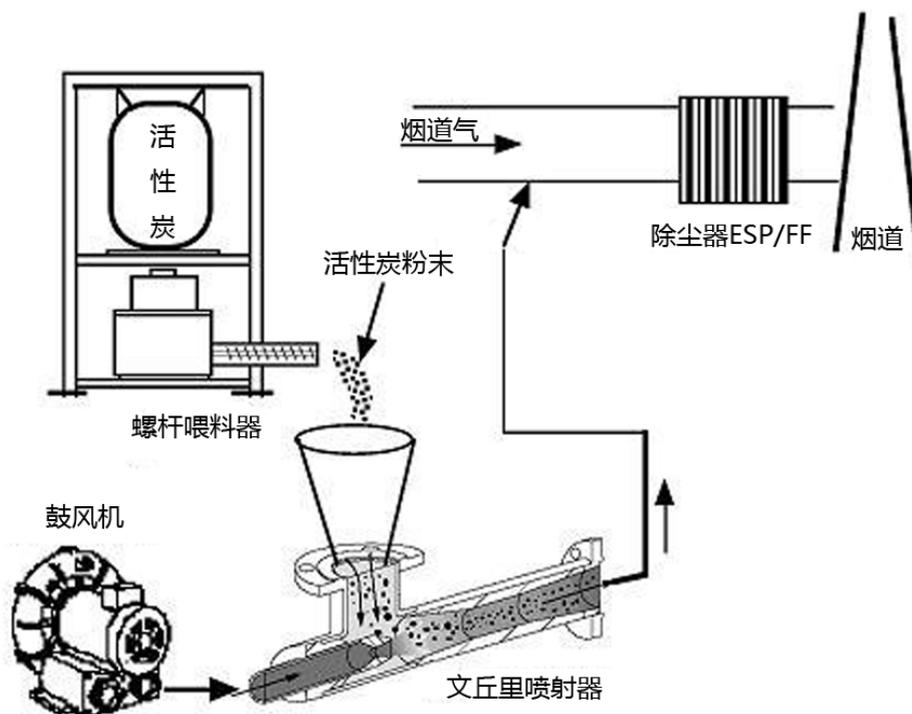


图5-5 活性炭喷射系统示意图

活性炭喷射系统包括活性炭料仓、喂料器、文丘里喷射器及鼓风机。活性炭在厂外采购入厂后进入活性炭料仓存储。料仓有效容积按总规模 5~7d 的耗量进行设计，密度按  $300\text{kg}/\text{m}^3$  计，活性炭料仓设置为  $25\text{m}^3$ 。料仓顶部装有袋式除尘器，在装料时除尘器应自动投入运行，也可手动投入。除尘器用压缩空气清扫。料仓底部设有活性炭流化装置确保活性炭的排出，它由流化板、止回阀及管道组成，当储存罐出料口阀门打开供料时，该系统投运，否则关闭。料仓顶部与料斗之间装有连通管，将活性炭带到计量系统中的空气返回到储罐，含活性炭的空气通过储罐顶部袋式除尘器过滤后排大气。该系统在活性炭卸料时必须关闭。

活性炭从料仓底部的喂料器通过鼓风机形成的气流由文丘里喷射器吹入烟气。鼓风机的风量尽量满足活性炭直接吹入烟道中间位置，并保证一定的吹入速率，以实现充分的混合效果，提高烟气处理的效果。为准确控制活性炭的用量，建议在活性炭料仓加装失重称，并附带自动控制系统。

#### 5.6.4.4 高效袋式脱酸除尘器

根据《生活垃圾焚烧污染控制标准》的要求，垃圾发电厂除尘装置必须采用布袋除尘器。对于垃圾焚烧烟气处理，为配合半干法、干法脱酸工艺，除尘设备采用袋式除尘器可相应提高脱酸效率和除尘效率，并更利于脱除部分重金属和二噁英。优质的滤料和先进的过滤工艺，必须辅以先进、高效的除尘设备，才能更好的发挥它的功用。

#### 5.6.4.4.1 布袋除尘设备的组成及工作原理

布袋除尘器选用脉冲式除尘器，离线清灰，适用于垃圾焚烧产生的高温、高湿及腐蚀性强的含尘烟气处理，将烟气中的粉尘除去，使烟气达到排放要求。

该布袋除尘器配有圆形笼架，布袋垂直悬挂。灰尘滤饼积累在布袋的外侧，布袋定期地通过脉冲压缩空气从布袋的清洁侧喷入布袋，一列列地吹扫。吹扫出的灰尘掉到灰斗中，通过飞灰输送系统送出。

在维护时，可更换布袋，手动隔离仓室更换故障布袋。此时其它仓室正常运行。布袋除尘器灰斗带有电加热器，确保可靠地排灰。

布袋除尘器带有旁路烟道和挡板装置及热风预热循环装置，通过自动控制系统调控，在起动和事故状态下保护除尘器。主要部件如脉冲阀、PLC、滤袋等采用进口产品，确保除尘器的正常运行和良好的可靠性。

由于本除尘器选用了具有表面过滤性能的聚四氟乙烯覆膜滤袋，使除尘效率、吸附剩余毒性污染物的能力、系统运行能耗和滤袋寿命等指标都达到世界先进的水平，并且可使除尘器在设备投资、运行和维护上所需要反映的综合技术经济性能等指标得到优化的实现。

布袋除尘器包括下列设备：灰斗、布袋、笼架、维护和检修通道装置、每个仓室进出口烟道的隔离挡板、旁路烟道和挡板装置、灰斗加热、布袋清扫控制器和脉冲阀等。每台布袋除尘器由气密式焊接钢制壳体及分隔仓组成，每个隔离仓清灰时可与烟气流完全隔离。壳体及分隔仓的设计能承受系统内的最大压力差。支承结构采用钢结构。

每个分隔仓都配备进口及出口隔离挡板。当一个隔离仓隔离时，能保持布袋除尘器正常工作。也就是说，当布袋除尘器在运行时，能在线更换分隔仓的滤袋。为此目的，配备足够的检查及维修门。

布袋除尘器的顶部和室顶之间的间隙足够大，以便更换布袋时进行操作。如有必要，还提供更换布袋用的吊机的钢梁。壳体、检修门及壳体上电气及机械连接孔的设计均能保证布袋除尘器的密封性能。

为了达到良好均匀的烟气分布，预先考虑在烟道内部内配备烟气均流装置。为了防止酸和/或水的凝结，布袋除尘器将配备保温及伴热。保温层厚度足以避免器壁温度低于露点。为了防止灰及反应产物在布袋除尘器、输送系统以及设备的有关贮仓内搭桥和结块（比如料斗、阀门、管道等），这些设备的外壁均考虑采用加热系统。布袋除尘器的料斗采用电伴热。

在启动和短期停止期间，启动烟气循环加热设备。该设备由挡板、烟道、再循环风机、电加热设备及必要的仪器和控制设备组成。在启动和短期关闭期间，关闭挡板，将布袋除尘器与主烟道隔离开来。布袋除尘器用循环热烟气加热。温度调节由电热器进行控制。

调试期间料斗必须干燥保温以防止冷凝。因为一旦有冷凝液水产生就会妨碍除灰的效果。灰尘料斗上配备成熟的灰拱破碎装置，该装置布置在每支灰斗的外壁上，作为永久设备，当布袋除尘器运行时，可在灰斗下的平台上对其进行操作。灰斗下部配备了输送机、旋转阀和旋转密封阀。在保证烟气在布袋表面均匀分布上进行了特殊的考虑。

布袋除尘器包括支架及附件，其设计保证能有效地清洁烟气，并具有长期的使用寿命。清扫系统经优化设计以保证除尘器除尘效率高、压降低、寿命长。清洁滤袋（即压缩空气脉冲系统）将使用仪表用压缩空气。压缩空气的性质应确保过滤介质内不会出现阻塞或结块。

#### 5.6.4.4.2 布袋除尘器特点

本布袋除尘器具有下列显著特点：

(1) 采用低压脉冲清灰，吹灰用压缩空气的压力为 0.25~0.35MPa，减少了滤袋的磨损，提高了滤袋的使用寿命。

(2) 适应高浓度烟尘处理，可达  $10\text{g}/\text{Nm}^3$ ；除尘效率高，可达 99.9% 以上，清洁滤袋附着粉尘初层后出口排尘浓度可达  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下；

(3) 运行阻力稳定，不会出现由于运行时间长而大幅上升的情况；

(4) 采用纯 PTFE（聚四氟乙烯）针刺毡覆膜滤袋，耐高温可达  $260^\circ\text{C}$ ，并有优秀的耐酸、抗氧化性能；

(5) 滤袋寿命长，可达 4 年以上；

(6) 运行稳定可靠，确保排放达标；

(7) 可实现在线和离线清灰，清灰间隔长，压缩空气耗量低。

#### 5.6.4.4.3 滤袋材料选择

袋式除尘器能否达到预期的除尘效果，关键是袋式除尘设备上所选用的滤料品质。目前，袋式除尘器采用的过滤技术主要有二类：薄膜滤料的“表面过滤”和普通滤料的“深层过滤”。

在“表面过滤”的薄膜滤料以前，袋式除尘器只能采用“深层过滤”的滤料实现过滤。

所谓“表面过滤”就是利用滤料上形成的粉尘层来达到过滤粉尘的目的。一般将滤料上初次形成的能起过滤作用的粉尘层称之为“初次粉尘层”。随着过滤的继续，粉尘层的逐渐加厚，除尘器的运行阻力就会增加。这时候，不同样式的除尘器就会各自利用自己的清灰方式（振打、反吹风和脉冲等）清除滤料上的粉尘，以降低运行阻力，保证除尘器的持续工作。

当然，清灰既要避免对“初次粉尘层”的破坏，以保证除尘器具有尽可能高的除尘效率；又要尽可能地去掉不断积厚的粉尘，以保证除尘器具有较低的运行阻力。对普通滤料来说，这是一对难以控制和解决的矛盾。并且，随着过滤的进行，粉尘还会顺气流的压力不断渗入普通滤料中间，或导致粉尘排放，或导致阻力增加。滤袋运行阻力的增加不但会使处理风量下降、风机运行能耗增加，而且还使滤袋的工作寿命大大缩短。

薄膜滤料作为一种过滤介质，它不但能截留含尘气流中的全部粉尘，而且能在不增加运行阻力的情况下保证气流的最大通量。介质的过滤表面是一层多微孔、极光滑的聚四氟乙烯薄膜。由于薄膜的纤维组织极为细密，能使粉尘粒子无法“穿越”薄膜而使粉尘排放量接近于零的水平；由于薄膜本身具有不粘尘、憎水和化学性能稳定，因此清灰性能极佳，结果使过滤工作压降始终保持在很低的水平，空气流量始终保持在较高的水平。尤其在布袋进行防酸处理，即使在气体湿度较大的情况下，薄膜滤料优越性能尤为明显。

综上所述，薄膜滤料不但过滤效率高，而且能在滤袋表面不断创造“两次吸附反应”效果。因此，本项目的布袋除尘器的滤料拟选用该薄膜滤料。

布袋除尘器性能的优劣、价格的高低、寿命的长短主要取决于用来制造布袋的滤料和袋笼、滤料的品种、价格、使用性能。选择滤料首先考虑滤料的性能是否能满足耐温、耐磨、耐酸、抗水解等的使用要求，然后是滤料的价格和滤料的使用寿命，所以要作全面的经济分析比较。下表列出了常用袋式除尘器滤袋材料的性能。

表5-10 不同滤袋材料的性能及价格比较

材料名称		PP	PES	PAC	PPS	APA	PI	PTFE	GLS
		聚丙烯	涤纶	DrlonT	Ryton	Nomex	P84	聚四氟乙烯	玻璃纤维
耐温性/°C	连续	90	135	125	180	200	240	230	240
	最高	95	150	140	200	220	260	260	280
耐酸性		5	4	4	4	2	4	5	4
耐碱性		5	2	3	4	4	2	5	3
抗水性		5	1	4~5	5	2	2	5	5
抗氧化		3	5	3	1	3~4	-	5	5
抗磨损		5	5	3~4	3	5	4	3	1
相对价格		1	1	1.6	5	5	6	15	2~3
注： 1—差； 2—一般； 3—较好； 4—好； 5—很好									

目前，垃圾焚烧厂常选用的滤料有 PPS、Nomex、P84、玻璃纤维、焚烧王、纯 PTFE 等。综合比较各种滤料性能和实际工程应用情况，玻璃纤维 PTFE 覆膜和 PTFE+ePTFE 覆膜滤料在耐温性、耐磨性、耐水解性、耐腐蚀性和抗氧化性方面均有着优越的性能，由于玻璃纤维的可折性差，对运输、贮存和安装要求很高，玻璃纤维热伸长率较大，反吹时会导致玻璃纤维折断，影响滤料的使用寿命。而采用 PTFE 作为基料则可避免以上问题。PTFE（聚四氟乙稀）薄膜是一种透气极好而又十分致密的材料，滤料覆上薄膜后灰尘就不会渗入到织物的内部而导致滤料堵塞失效，即所谓“表面过滤”，“表面过滤”不但延长了滤料的使用寿命，而且较原来的“深层过滤”阻力小。下表列出常用垃圾焚烧适用滤料的投资成本比较。

表5-11 布袋常用滤料投资及运行成本比较

材料名称	市场每平方米价格	使用寿命	十年长期运行成本每平方米（滤料更换）	十年长期运行成本每平方米（更换滤料人工）	停机损失和故障率	污染风险
PPS	150 左右	一个月到一年	1500	十次	最高	最高
P84	350 左右	一年到二年	1750	五次	高	高
PTFE+ePTFE	650 左右	五年以上	1300	二次	低	低

参考国内垃圾焚烧发电厂的应用情况，本项目的布袋除尘器滤料采用 PTFE+ePTFE 覆膜。虽然这种滤料价格昂贵，但使用寿命长，同类产品在国外已有连续正常运行 10 年以上的工程实例。

#### 5.6.4.4.4 布袋除尘器技术参数

根据本项目的物料平衡计算结果，在入炉垃圾低位热值为 8374kJ/kg（2000kCal），单台入炉垃圾量为 750t/d 的情况下，单台焚烧炉的烟气量为 150800Nm<sup>3</sup>/h，考虑到垃圾热值的增长空间，在本方案中选用布袋除尘器的参数如下：

设计处理能力：	~181000 Nm <sup>3</sup> /h
烟气流速：	0.8m/min
入口浓度：	<10g/Nm <sup>3</sup> ；
出口浓度：	<10mg/Nm <sup>3</sup> ；
使用温度：	130-230℃；
设备阻力：	<1500Pa；
清灰压力：	0.3-0.5Mpa
设备漏风率：	<1%；

经反应和吸附后的烟气进入布袋除尘器，气流由袋外至袋内，粉尘截留在滤袋外，净化后的烟气从布袋除尘器排出。为了在正常运行中能够检查、检测和更换滤袋以及进行维护工作，除尘器分成若干仓室。操作时，手动隔离需更换滤袋的仓室，并处于安全状态进行滤袋的更换。而除尘系统仍在运行中。

滤袋的清灰采用干燥的压缩空气有规则的间断脉冲从外部作用至袋内。这就确保滤袋的灰渣清下并收集在灰斗。

清灰周期通过布袋除尘器的压力降来控制，滤袋的清灰可在线也可离线，在线清灰使布袋除尘器及其部件运行更稳定。

设置一套热风循环系统防止滤袋内结露。此系统通过再循环风机、电加热器使循环烟气保持在一恒定的温度，在布袋除尘器启动时，除尘器预热到 140℃。在事故停机时空气加热系统保持布袋除尘器温度为 140℃。

布袋除尘器灰斗带有加热器，确保可靠排灰。

### 5.6.5 烟气净化系统的布置

烟气净化系统布置在每台余热锅炉之后，依次是反应塔、布袋除尘器、引风机和烟囱。反应塔、布袋除尘器、引风机为室内布置。石灰仓、活性炭料仓布置主厂房附近位置。

### 5.6.6 烟气净化在线监测系统

烟气净化系统由就地工业计算机自动控制；设有在线监测的烟气取样探测器、SO<sub>2</sub>、

NO<sub>x</sub>、HCl、HF、CO、NH<sub>3</sub>、粉尘等分析仪、烟气流量计以及其它监测信息均通过传感器传送至中央控制室，经计算机显示。采用进口设备，每条生产线配备一套在线监测装置。可实现与环保监测部门联网管理。

同时对烟气在线监测的结果对外公示、接受社会公众监督。

本系统的监测项目有：SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl、HF、CO、CO<sub>2</sub>、粉尘、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>、烟气流量、烟气温度、烟气压力等。

### 5.6.7 引风排烟系统

本项目每条焚烧线设置一台引风机，将布袋除尘器出口烟气通过烟囱排入大气。

因垃圾焚烧烟气波动较大，因此引风机宜加装调速设备，适应负荷变化的需要，本项目设置变频调速设备一套。处理达标后的烟气通过引风机排入新建的 80m 高烟囱排放。

垃圾发电厂的烟囱主要有以下两种。

第一种是单筒式烟囱，该烟囱仅为一根排烟通道，三台炉的排烟全部经过该烟囱排放，此种烟囱在每台引风机出口通道和烟囱上都需设置烟气取样点。

第二种是多管集束式烟囱，该烟囱采用内钢质排烟道和外部保护混凝土墙组成，此种烟囱排烟不会产生干扰，仅需在引风机出口烟道上设置烟气取样点。

多管套筒式烟囱管理维护方便，一座烟囱检修时不会影响其它烟囱运行，因此本项目推荐选用多管集束式烟囱。

本项目建设总规模为 3 条焚烧线，烟囱对应采用三管集束式烟囱，本期项目建设 2 根烟管，预留一根烟管安装位置。本项目单条焚烧线引风机后烟气量为~158400Nm<sup>3</sup>/h，考虑烟气安全流速，暂定烟囱单筒内径为 2.3m。

## 5.7 飞灰及炉渣处理系统

本项目灰渣处理系统包括：处理锅炉排出的底渣、炉排缝隙中泄漏垃圾、反应塔排灰、锅炉尾部烟道飞灰和除尘器收集的飞灰等几个部分。底渣和飞灰的处理以机械输送方式为主，灰渣外运采用汽车运输。锅炉尾部烟道灰排入湿渣系统一起处理。根据《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014)，焚烧炉渣与除尘设备收集的焚烧飞灰应分别收集、贮存和运输。本工程对炉渣和飞灰分别进行收集和处理。

### 5.7.1 除渣系统

#### 1) 炉渣产生量

本期工程按机组在额定工况下年运行时间 8000 小时计算，排渣量如下表：

表5-12 排渣量表

机组容量	小时排渣量 (t/h)	日排渣量 (t/d)	年排渣量 (t/a)
1×750t/d	6.98	167.43	51946
2×750t/d	13.95	334.86	103891

#### 2) 除渣系统

锅炉排出的底渣落入排渣机水槽中冷却后，由除渣机直接排入渣坑中，经灰渣吊车抓斗装入自卸汽车运送至厂外综合利用。从炉排缝隙中泄漏下来的较细的垃圾通过炉排漏灰输送机送至渣坑。

#### 3) 除渣系统设备选型

##### (1) 除渣机

除渣机与炉底密封有较好的性能，有利于提高锅炉效率。另外还具有省水、运行安全可靠、维护检修方便等优点。本工程在每台锅炉底部设置 2 台，单台出力为 8 t/h。

##### (2) 炉排漏灰输送机

炉排漏灰输送机设置在炉排下部，炉排中一些未燃烬的可燃物通过该设备送往灰渣坑中。每台炉设 2 台输送机，每台出力为 2.5 t/h。

##### (3) 渣坑

土建设置渣坑一座，长 52 m、宽 7.0m、深 4.5m，总容积 1638m<sup>3</sup>，可满足本项目炉渣贮存约 3~5 天的量。本期在渣坑内安装一台抓斗式灰渣吊车，并预留一台灰渣吊车及渣吊控制设备的安装位置。灰渣吊车额定起重重量为 8.0t，抓斗容积 3m<sup>3</sup>。

### 5.7.2 除灰系统

本项目产生的飞灰包括：反应塔底部收集的脱酸反应生成物和烟气中粗烟尘的混合物，以及由布袋除尘器捕集的烟气中的灰尘。

反应塔底部的飞灰和除尘器灰斗的飞灰分别由仓泵采用气力输送方式送入灰仓储存。飞灰经稳定化处理后送填埋场。

#### 1) 飞灰及反应物产生量

布袋除尘器分离下来的为飞灰及反应产物，两套烟气净化系统额定工况下的排放量

见下表：

**表5-13 排灰量表（稳定化前）**

机组容量	小时飞灰量 (t/h)	日飞灰量 (t/d)	年飞灰量 (t/a)
1×750t/d	1.46	34.98	10853
2×750t/d	2.92	69.96	21707

## 2) 飞灰输送及处理系统

本项目的飞灰由三部分组成，即锅炉尾部烟道排灰、反应塔排灰和除尘器排灰。锅炉尾部排灰采用螺旋输送机集中，排至焚烧炉尾部，与底渣混合后排到渣坑。

半干式吸收塔和布袋除尘器灰斗的飞灰，采用机械输送系统送入位于主厂房的飞灰稳定化车间进行稳定化处理。

### 5.7.3 飞灰稳定化方案的确定

#### 5.7.3.1 飞灰稳定化方案

目前常用的飞灰稳定化处理技术有熔融固化技术、水泥固化技术、化学药剂稳定化技术、湿式化学处理技术、水泥-稳定剂固化技术等。

##### 1. 熔融固化技术

熔融固化技术在应用中主要有两种处理方式：烧结法和高温熔融法。

###### 1) 烧结法

烧结法是将待处理的危险废物与细小的玻璃质，如玻璃屑、玻璃粉混合，经混合造粒成型后，在 1000~1100℃ 高温下熔融，通常 30min 左右(熔融时间视飞灰性质的不同而定)，待飞灰的物理和化学状态改变后，降温使其固化，形成玻璃固化体，借助玻璃体的致密结晶结构，确保固体化的永久稳定。

烧结法的优点是：

- a. 固化体系结构致密，在水、酸性、碱性水溶液中的渗出率很低；
- b. 减容系数大。

但是烧结法的装置比较复杂，而且高温环境需要提供热能，处理费用较高。另外，也存在熔融过程中重金属氯化物挥发的问题。

###### 2) 高温熔融法

高温熔融法是在燃料炉内利用燃料或电将垃圾焚烧飞灰加热到 1400℃ 左右的高温，使飞灰熔融后经过一定的程序冷却变成熔渣，熔渣可作为建筑材料，实现飞灰减容化、

无害化、资源化的目的。

除了具备烧结法处理飞灰的优点之外，熔融固化的最大优点是可以得到高质量的建筑材料。

但是熔融固化需要将大量物料加温到熔点以上，无论采用电或其它燃料，需要的能源和费用都相当高。

熔融固化技术具有减容率高、熔渣性质稳定、无重金属等溶出的优点，已受到广泛的关注，国外已研究出多种垃圾焚烧飞灰处理的高温熔融炉，并已在日本和欧洲有少量使用。但采用高温熔融工艺需要消耗大量的能源，同时由于其中的 Pb、Cd、Zn 等易挥发重金属元素需进行后续严格的烟气处理，故处理成本很高，目前只在少数经济发达的国家应用。

## 2. 水泥固化技术

水泥是目前常用的一种主要固化基材，水泥作为结构材料使用已有近百年的历史。水泥固化是将灰、水泥按一定比例混合，加入适量的水，使之固化的一种方法。其固化机理是在水泥水化的过程中，通过吸附、化学吸收、沉降、离子交换、钝化等多种方式，水泥中的硅酸二钙、硅酸三钙等经水合反应转变为  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$  凝胶和  $\text{Ca}(\text{OH})_2\cdot\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$  凝胶等，包容飞灰后逐步硬化形成机械强度很高的  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  稳定化体。而  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  的存在，固化体不但具有较高的 pH 值，而且使大部分重金属离子生成不溶性的氢氧化物或碳酸盐形式被固定在水泥基体的晶格中，有效防止重金属浸出。有时，还添加一些辅料以增进反应过程，最终使粒状的物料变成粘合的混凝土块。从而使大量的废物因固化而稳定化。

采用水泥的优点是：费用经济，有应用经验，技术成熟，处理成本低，工艺和设备比较简单。

但水泥的用量高，导致固化体增容率高，而且飞灰对水泥的硬化、抗压强度等方面存在负面影响，处理后的砌块均难以达到较高的强度，影响之后的填埋。而且水泥固化后的飞灰与含有大量有机质的生活垃圾混合填埋时，垃圾中所含的有机物由于降解会产生酸性物质（有机酸、二氧化碳等）必将会降低固化物中重金属的稳定性，酸雨也可能改变其稳定性。随着时间推移，固化体部分有毒物质可能会逐渐溶出，对环境存在长期的、潜在的威胁。

由此可见，单独使用水泥固化法，会随时间而产生很大的二次污染风险，由这样在很大程度上提高了对飞灰处置场建设和运行的要求，造成成本增加。

### 3. 化学药剂稳定化技术

由于常规的水泥固化技术存在缺陷,如固化物重量增加 15~20%以上,体积也增加,加大了填埋场库容压力,同时还存在着固化体受酸侵蚀的长期稳定性问题。针对这些问题,采用高效的化学稳定药剂特别是稳定剂进行无害化处理已成为重金属废物无害化处理领域新的研究方向。

化学药剂稳定技术(也称稳定剂稳定技术)主要是利用特殊的一类具有螯合功能,能从含有金属离子的溶液中有选择捕集、分离特定金属离子的化合物。当一种金属离子与一电子供体结合时,生成物称为络合物或配位化合物。如果与金属相结合的物质(分子或离子)含有两个或更多的供电子基团,以致于形成具有环状结构的络合物时,则生成物不论是中性的分子或是带有电荷的离子均称为螯合物或内络合物,这种类型的成环作用称为螯合作用,而电子给予体则成为稳定剂。螯合物通常比一般配合物要稳定,其结构中经常具有的五或六元环结构更增强了稳定性,化学实验中最常用 EDTA 能提供 2 个氮原子和 4 个羧基氧原子与金属配合,可以用 1 个分子把需要 6 配位的钙离子紧紧包裹起来,生成极稳定的产物。

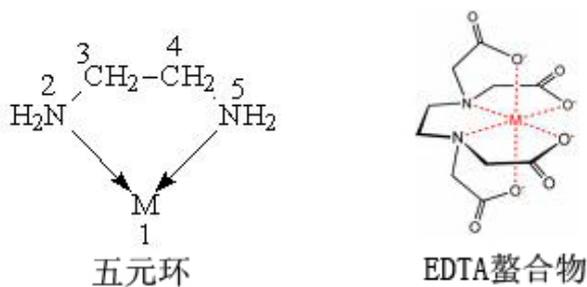


图5-6 螯合物结构举例

在一个螯合物内,金属离子与各给电子之间,由于键与键的极性大小不同,分为“基本上离子型”与“基本上共价型”两种,这主要取决于金属与给电子原子的类型。由于共价键强度比离子键强,所以当中心金属离子与配位体键共价性强时,形成的螯合物比较稳定。

稳定剂中作为配位原子的有第五族~第七族三族中的元素,又主要以 O、N、S 等元素为主。在以焚烧为处理生活垃圾主要手段的日本,稳定剂是处理飞灰的常用药剂。市面上应用于飞灰稳定化的稳定剂种类如下表。

表5-14 飞灰稳定化稳定剂种类

类型	官能团	特点
二醋酸型	$-\text{CH}_2\text{N} \begin{cases} \text{CH}_2\text{COO} \\ \text{CH}_2\text{COO} \end{cases}$	因为本身呈酸性，作用于碱性的飞灰(pH≈12)效果不佳。
磷酸盐型	$-\text{CH}_2\text{P} \begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \\   \\ \text{OH} \end{matrix}$	对重金属螯合效果初期不佳，经过长时间（几个月）养护后效果有所改善，但是因为磷酸的效果取决于 pH，所以遇到酸性雨环境时重金属容易再次浸出，所以焚烧厂使用较少。
硫氢基型	$-\text{SH}$	易与重金属结合，但单键结合容易断键，导致重金属溶出，而且与飞灰反应过程中产生硫化氢气体。
二硫胺基型	$-\text{NHC} \begin{matrix} \parallel \\ \text{S} \\ \text{S} \end{matrix}$	在高碱性 (pH≈12) 环境中仍具有强螯合能力。是目前世界上最广泛使用的稳定剂类型。

化学药剂稳定技术具有以下优点：

- 1) 具有很好的稳定效果，固化物达标填埋后重金属溶出顾虑小；
- 2) 有很好的减容率，利于固化物的运输和填埋处理；
- 3) 该技术的工艺较简单，化学药剂的消耗量不大，场地需求也不大。

但是目前该技术采用的化学药剂均为专利产品，造价较高，采购也有局限。而且单独采用化学药剂，飞灰固化物的成形存在一定困难，对药剂的配制和混炼设备的要求都较高。

#### 4. 湿式化学处理技术

湿式化学处理技术有加酸萃取、碱萃取、生物浸出萃取和烟气中和碳酸化法等。考虑到工艺操作和原料成本的因素，目前国际上对于酸萃取的研究较多。

该方法是依据某些重金属在酸性条件下溶解度较高的特性，将其提取出来。利用硫酸、盐酸、乙酸等酸洗飞灰，特别是二次飞灰（即熔融处理飞灰时产生的灰尘），可回收部分重金属，如锌、铅等。

该工艺运行成本较低，但是酸洗的缺陷在于会溶解一些不纯的物质，导致重金属的回收有困难，而且产生的废水、废气和污泥需要进行必要的处理。目前很少应用。

#### 5. 水泥-稳定剂固化技术

针对采用单一处理方式均有不足的情况，国内开始更多采用水泥固化和化学药剂稳

定技术结合的方式处理垃圾焚烧飞灰，形成水泥-稳定剂固化技术。该技术是在飞灰中同时添加水泥材料和化学药剂，使飞灰中的重金属离子被捕捉、螯合，最终固定在成型的固化物中。固化物满足一定的要求就可以直接填埋到水泥-稳定剂固化技术综合了水泥固化和化学药剂稳定化的优点：工艺简单，对设备的技术要求不高；成本较低，所需的水泥和稳定剂量都较小，购置也较方便；能源消耗小，无需加热和电解设备。

根据目前类似项目的建设经验和经济数据分析，水泥-化学药剂稳定化处理的飞灰固化物可作为普通废物直接填埋，成本很低，其综合处理的成本甚至低于水泥固化成本（水泥固化物填埋费用较高）。

### 5.7.3.2 本项目飞灰稳定化工艺技术的确定

根据上述分析可知，三种飞灰固化工艺各自存在优缺点，其中化学药剂稳定化技术由于工艺简单、产物增容率低及稳定性高较为突出，推荐作为本项目的飞灰稳定化方案，其中化学药剂采用螯合剂。

### 5.7.3.3 飞灰稳定化规模及其工艺设备

本项目日产生飞灰约 69.96t，飞灰固化系统按 1 班 8 小时作业记，每小时需处理约 8.75t 飞灰，考虑垃圾成分变化的因素，同进考虑总设计规模处理需求，飞灰固化规模确定为 15t/h。

飞灰固化设备主要有：灰库、水泥库、盘式定量给料机、可变速螺旋给料机、飞灰混炼机、螯合剂供给装置和养生皮带输送机。

本套设备采用全密封设计，有效防止有飞灰、气味的外扬，更好的保护环境。本机还配有通风加热系统，防止稳定化产物结露并适当烘干。

所采用飞灰固化工艺中水、螯合剂的添加量分别为飞灰量的 20%、3%。具体耗量见下表。

**表5-15 飞灰固化各物料消耗量**

物料	2×750t/d		
	小时消耗量 (t/h)	日消耗量 (t/d)	年消耗量 (t/a)
飞灰	15.00	69.96	21707
水	3.00	13.99	4341
螯合剂	0.45	2.10	651

飞灰固化物产量见下表。

表5-16 排灰量表（稳定化后）

机组容量	小时飞灰量 (t/h)	日飞灰量 (t/d)	年飞灰量 (t/a)
1×750t/d 炉排焚烧锅炉	1.79	43.03	13350
2×750t/d 炉排焚烧锅炉	3.59	86.06	26699

## 5.8 锅炉给水处理系统

### 5.8.1 设计出力的确定

根据《小型火力发电厂设计规范》，锅炉补给水处理系统出力计算如下：

- 1) 发电厂汽水系统损失： $153.477\text{t/h} \times 3\% = 4.604\text{t/h}$ ；
- 2) 锅炉排污损失：按锅炉蒸发量和饱和蒸汽抽汽量的 2%考虑，则为 3.233t/h；
- 3) 对外供汽损失：无；
- 4) SNCR 用水量：1.7 t/h；
- 5) 启动或事故损失：按单台锅炉额定蒸发量的 10%计算，则为 7.674t/h，按照规范本部分应取 10 t/h；

则正常情况化水补水量为： $4.604\text{t/h} + 3.233\text{t/h} + 1.7\text{t/h} = 9.537\text{t/h}$ ；

启动或事故损失情况下为： $9.537\text{t/h} + 10\text{t/h} = 19.537\text{t/h}$ ；

考虑本系统一般每天运行 8~12 个小时，系统出力需考虑在锅炉补给水系统停止期间的锅炉补给水需求。综合考虑上述因素，本项目锅炉补给水出力考虑为 30t/h。

### 5.8.2 锅炉补给水

锅炉补给水为除盐水，锅炉给水标准按《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》（GB12145-2008）执行。

3.8~5.8MPa 汽包炉锅炉补充水质量标准：

硬度	$\leq 2\ \mu\text{mol/L}$
电导率	$\approx 0\ \mu\text{s/cm}$
溶解氧	$\leq 15\ \mu\text{g/L}$
铁	$\leq 50\ \mu\text{g/L}$
铜	$\leq 10\ \mu\text{g/L}$

目前垃圾焚烧发电厂常用的锅炉给水处理技术有两种：“二级反渗透（RO）+电去离子（EDI）”和“一级反渗透+混床系统”。

“一级反渗透+混床系统”相对于“二级反渗透（RO）+电去离子（EDI）”虽然初投

资省一些，但设备多、系统复杂、操作繁琐、维护困难，占地面积大，且配有酸碱系统，增加了安全隐患。因此本工程的锅炉给水处理系统采用“二级反渗透（RO）+电去离子（EDI）”。采用双系统方式（一用一备）进行设置，单套化学水系统装置容量按 20t/h 设计。

方案采用“二级反渗透（RO）+电去离子（EDI）”，本方案在反渗透系统后采用了 EDI 系统，EDI 工艺的特点是在直流电场的作用下实现离子的定向迁移，从而完成水的深度除盐。在进行除盐的同时，水电解产生的氢离子和氢氧根离子对离子交换树脂进行再生，因此无需用酸、碱再生，也无含酸、碱液废水排放，对环境无污染。系统能连续运行，可实现全自动控制，产水水质稳定，占地面积小，运行费用低。

整个系统分为三大部分：预处理、反渗透及电去离子。

原水经过预处理后，达到反渗透进水要求，使反渗透装置能平稳、可靠运行。设备包括多介质过滤器、活性炭过滤器、投药装置等。

反渗透（RO）技术是利用逆渗透原理，采用具有高度选择性的反渗透膜，能去除水中各种无机盐、溶解性有机物、胶体。本工程设置两级反渗透装置，经预处理后的水经过一级反渗透装置后贮存在中间产水箱，再由纯水泵送至电去离子(EDI)装置和除盐水箱。

电去离子（EDI）技术是一种很好地融合了电渗析技术和离子交换技术、将混床树脂填充于离子交换膜之间，在直流电场作用下，实现连续除盐的新型水处理方法。它兼有电渗析技术的连续除盐和离子交换技术深度脱盐的优点，避免了电渗析技术浓差极化和离子交换技术中的酸碱再生等带来的问题。EDI 装置可连续生产高纯度的除盐水。

### 5.8.3 汽水取样及加药

设有一套汽水取样装置，供定期监测汽水品质。汽水取样为连续取样，满足在线仪表分析和人工取样分析。通过对汽水品质的监测分析，提示各系统操作人员调整有关参数，保障锅炉和汽轮机的安全运行。该装置主要由减温减压架、仪表屏、恒温装置、取样槽、冷却装置等组成，汽水取样装置冷却水为工业水。

设有一套化学加药装置，给水加氨和炉水加磷酸盐，以改善炉水品质。由分析仪器控制加药泵来实现加药量的自动控制。为保证蒸汽品质，锅炉设有连续排污和定期排污管，连续排污是通过导电率的测量来调节。连排和定排通过管道输入排污扩容器，经降温池后排至场内冷却水池。该装置主要由溶液箱、计量泵、控制设备以及管阀组成。取样加药系统布置在主厂房内。

表5-17 取样点和分析内容一览表

序号	项目	取样点	分析内容
1	凝结水	凝结水泵出口	溶氧, 电导率
2	给水	除氧器出口	溶氧
3	给水	省煤器入口	PH, 电导率
4	炉水	汽包	PH, 电导率
5	饱和蒸汽	饱和蒸汽管道	电导率
6	过热蒸汽	过热蒸汽管道	电导率

#### 5.8.4 循环冷却水处理

在循环冷却水中加杀菌剂和稳定剂, 防止微生物吸附和管壁结垢, 以免影响凝结器和冷却塔填料。主要设备为溶液箱、计量泵, 布置在综合水泵房内。

#### 5.8.5 化学分析

设化验室, 对汽、水、油品质进行人工分析, 对垃圾热值等主要参数进行分析, 布置在主厂房。

### 5.9 除臭系统

根据国内已运行的生活垃圾焚烧厂情况, 垃圾焚烧发电厂臭气主要来自以下几方面:

- 1) 垃圾运输过程中滴漏和卸料过程中撒漏的垃圾渗沥液;
- 2) 垃圾收集池中的垃圾渗沥液和生活垃圾发酵产生的臭味;
- 3) 生活垃圾在垃圾收集池发酵过程中, 在氧气足够时, 垃圾中的有机成分如蛋白质等, 在好氧细菌的作用下产生刺激性气体  $\text{NH}_3$  等; 在氧气不足时, 厌氧细菌将有机物分解为低分子量的有机化合物, 例如, 有机酸、醛、酮、含硫的化合物如  $\text{H}_2\text{S}$ 、硫醇、硫醚类化合物等和含氮的化合物如各种胺类等恶臭气体。生活垃圾在焚烧过程中会生成  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{HCl}$ 、重金属、飞灰及有机氯等污染物。它们具有挥发性强、还原性强、极易溶于水、沸点低、气味表征值大等特点, 对环境的污染也很严重。

上述产生的臭气主要成分为氨、硫化氢、胺类、硫醇、甲醇、低分子量有机酸及其它臭味有机物质等。

控制隔离恶臭的重要措施有:

- 1) 采用封闭式的垃圾运输车;
- 2) 进卸料大厅的大门上带有空气幕帘;

3) 垃圾卸料大厅设置半自动开启门, 平时保持 1~2 个门开启, 以利于垃圾池进新风, 同时使卸料大厅保持负压状态, 防止臭气外逸;

4) 在垃圾池上方抽气作为锅炉燃烧空气, 使坑内区域形成负压, 以防恶臭外逸;

5) 卸料大厅定期喷洒除臭液;

6) 渗滤液收集池易产生臭气区域设置臭气密闭收集系统, 经除臭风机和管道排入主厂房垃圾池内, 再通过垃圾池的排风和除臭装置去除臭味气体;

生活垃圾所产生的恶臭主要成分为硫化物、低级脂肪胺等。防治方法主要有: 吸附、吸收、生物分解、化学氧化、燃烧等。按治理的方式分成物理、化学、生物三类。主要防治措施:

#### 1) 药液吸收法处理

药液吸收法应针对不同恶臭物质成分采用不同的药液、恶臭中的碱性成分如氨、三甲胺可用 PH 值为 2~4 的硫酸、盐酸溶液来处理; 酸性成分如硫化氢、甲基硫醇可用 PH 值为 11 的氢氧化钠来处理; 中性成分如硫化甲基、二硫化甲基、乙醛可用次氯酸钠来氧化, 次氯酸钠也可用于胺、硫化氢等气体的处理。

药物处理中, 药物量随着吸收反应的进行而下降, 需要不断更新和补充; 脱臭效率还取决于气液接触效率、液气比、循环液的 PH 值及生成盐的浓度, 同时要防止塔内结垢以及游离硫析出的堆积。

药液吸收法由于运行成本昂贵, 在垃圾发电项目方面, 目前还没有实施项目。

#### 2) 燃烧法处理

高温燃烧法适用于高浓度、小气量的挥发性有机物场合, 且净化效率在 99% 以上。高温燃烧法要求焚烧设备设计必须遵守“3T+E”

原则: 焚烧温度应高于 850℃, 臭气在焚烧炉内的停留时间应大于 0.5s、臭气和火焰必须充分混合, 以及充足的空气, 这四个因素决定了高温燃烧净化脱臭效率。

目前所有垃圾发电项目都采用燃烧法处理, 使用锅炉送风机在垃圾池上方抽气排往焚烧炉, 使恶臭物质在高温条件下分解, 同时使垃圾池内形成负压, 恶臭气体散发量很小。

#### 3) 生物法处理

填充式生物脱臭装置一般由填充式生物脱臭塔、水分分离器、脱臭风机、活性炭吸附塔构成。在填充塔内喷淋水可将填充层生成的硫酸洗净排除; 也可将氨、三甲胺等氨基恶臭物质被硝化菌氧化分解生成的亚硝酸铵等排除, 同时喷淋也补充由于臭气干燥填

充层水分的损失。

#### 4) 吸附吸收处理

锅炉事故停运或检修时，垃圾池排气需经除臭处理，换气次数约为1~1.5次/h，采用活性炭废气净化器装置除臭。活性炭废气净化器分进风段、过滤段、出风段，臭气由进风口进入后，在有活性炭的过滤段进行过滤，有机废气大部分被吸附在活性炭颗粒上，最后经排风风机排入大气。活性炭废气净化器净化效率高，结构紧凑占地面积小，耐腐蚀，耐老化性能好，运行成本低，操作、管理、维护简便。

经综合比选，本项目推荐采用吸附吸收法处理臭味气体，采用活性炭作为吸附剂，除臭装置安装在垃圾池旁的建筑物内。技术要求如下：

a) 经本除臭系统处理后，净化空气品质必须满足下列要求：

氨、硫化氢、甲硫醇和臭气浓度厂界排放限值根据垃圾焚烧厂所在区域，分别按照GB14554-93《恶臭污染物排放标准》表2相应级别指标值执行，见下表：

**表5-18 恶臭指标值**

序号	控制项目	单位	二级（新扩改建）
1	氨	mg/m <sup>3</sup>	1.5
2	三甲胺	mg/m <sup>3</sup>	0.08
3	硫化氢	mg/m <sup>3</sup>	0.06
4	甲硫醇	mg/m <sup>3</sup>	0.007
5	甲硫醚	mg/m <sup>3</sup>	0.07
6	臭气浓度	无量纲	20

b) 工艺流程：

在垃圾池上方开多个抽气孔，通过管道，将废气收集管道接入除臭装置中，当含有废气成分气体的空气进入活性炭净化装置吸附层后，净化后达标的气体经排风机、风管排出，从而达到气体净化的目的。

c) 设备选型、布置及系统组成：

本项目垃圾池设计面积为63.65×24m<sup>2</sup>，有效容积约60000m<sup>3</sup>。根据垃圾池内保持5~10Pa左右的负压计算，除臭风量设计为垃圾池空仓换气次数的1~1.5次/h，则本项目垃圾池活性炭除臭设计处理风量为：60000 m<sup>3</sup>×1.5h<sup>-1</sup>=90000m<sup>3</sup>/h(换气次数取1.5次/h)。除臭风管采用2000mm×2000mm的无机玻璃钢风管，风管布置于垃圾池垃圾吊车上部，屋面梁底的位置，风管底标高约35.0m。

活性炭除臭系统主要由活性炭除臭装置、风机和风机减震支架、电动调节阀、通风管道及就地控制柜等组成。

风管采用玻璃钢材质，活性炭除臭装置采用 Q235 材质，活性炭除臭装置本体设有检修门，便于更换滤料和装置本体维护。除臭风机出口排气管高于 15m 排放即可。

## 5.10 压缩空气系统

### 5.10.1 依据和范围

本系统编制依据是：

- 1) 《压缩空气站设计规范》(GB50029-2014)
- 2) 生产工艺提供的用气量及对空气质量的要求。

设计范围：空压机间及系统设计。

### 5.10.2 压缩空气负荷参数

空压机间负责供应全厂所有作业点的压缩空气用量。依据设备要求，本项目设计工艺用压缩空气系统和仪表用压缩空气系统两部分。

工艺用压缩空气系统主要为生产工艺用户，如烟气处理、飞灰固化、锅炉、化水间、汽机检修、吹灰器、燃烧器等，本期全厂共需工艺用压缩空气约 27.67Nm<sup>3</sup>/min，压缩空气压力 0.6~0.8MPa，压缩空气内含油量小于 0.1ppm，含尘粒径小于 0.1μm，0.8MPa 下的气体压力露点温度为 2℃。

仪表用压缩空气系统是为烟气处理系统和气动仪表提供气源，包括控制阀、调节阀、旋转喷雾器等。本期全厂共需仪表用压缩空气约 49.2Nm<sup>3</sup>/min，压缩空气压力 0.6~0.8MPa，压缩空气内含油量小于 0.01 ppm，含尘粒径小于 0.01μm，0.8MPa 下的气体压力露点温度为-40℃。

### 5.10.3 设计方案的确定

主要流程图：

大气→水冷螺杆空气压缩机→缓冲罐→初过滤器→冷冻式干燥机→精过滤器→储气罐→生产车间工艺用气

大气→水冷螺杆空气压缩机→缓冲罐→初过滤器→冷冻式干燥机→精过滤器 →吸附干燥机→粉尘过滤器→储气罐→生产车间仪表用气

#### 5.10.4 设备选型

压缩空气机选用排气量 26.0Nm<sup>3</sup>/min，排气压力 0.85MPa 的水冷螺杆空气压缩机三台，其中一台备用，空气压缩机每台的电机功率为 160kW；配缓冲罐一个，初过滤器、精过滤器、冷冻式干燥机、精过滤器各三台，其中一台备用；吸附式干燥机、粉尘过滤器各三台，其中一台备用；工艺用储气罐和仪表用储气罐各一台。空压机间内预留二期空压机、冷冻式干燥机各一台的位置。

为防止压缩空气用量不均衡时的压力波动及静置压缩空气内的水分，在螺杆式空压机出口及冷冻式干燥机出口、吸附式干燥机出口各设置容积分别为 20.0m<sup>3</sup>、15.0m<sup>3</sup>、15.0m<sup>3</sup>的压缩空气储罐各 1 个。经过冷冻式干燥机和精密过滤器的净化处理，压缩空气的品质完全可以达到生产工艺用压缩空气系统的使用标准；通过吸附式干燥机和高效精密过滤器的净化处理，压缩空气的品质则完全可以满足仪表用压缩空气系统的使用要求。

空压机间压缩空气生产全自动化，远程监测，需要时，备用空压机可自动启动。空压机主要运行参数直接进入 DCS 系统进行监测和控制。

### 5.11 给水排水工程

#### 5.11.1 设计依据

- 1) 《建筑给水排水设计规范》(GB50015-2003 (2009 年版))
  - 2) 《室外给水设计规范》(GB50013-2006)
  - 3) 《室外排水设计规范》(GB50014-2006 (2016 年版))
  - 4) 《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)
  - 5) 《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》(CJJ90-2009)
  - 6) 《工业循环冷却水处理设计规范》(GB50050-2007)
  - 7) 《工业循环水冷却设计规范》(GB/T50102-2014)
  - 8) 《小型火力发电厂设计规范》(GB50049-2011)
  - 9) 《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014)
  - 10) 《城市污水再生利用-工业用水水质》(GB/T19923-2005)
  - 11) 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)
- 其它按国家现行有关给水排水设计规范执行。

### 5.11.2 设计原则

1) 厂区内给水工程的设计从全局出发, 考虑水资源的节约、水生态环境保护和水资源的可持续利用, 合理处理各种用水的关系, 符合节水的要求。

2) 厂区各供水系统在满足生产生活供水的要求前提下, 力求简单、安全可靠、经济合理、节约能源。

3) 厂区排水系统遵循雨、污分流, 清、污分流的排水体制, 防止污水外排造成的污染。

4) 厂区内建筑给水、排水设计符合安全、卫生、实用、经济的基本要求。

5) 工业循环水冷却设施的设计符合安全生产、经济合理、保护环境、节约能源、节约用水和节约用地, 以及便于施工、运行和维修等方面的要求。

6) 给排水系统设备选型, 力求技术先进、节能环保、运行、维护管理方便。

### 5.11.3 设计范围

- 1) 生活给水系统
- 2) 生产清水供水系统
- 3) 生产工业水供水系统
- 4) 汽轮发电机组循环冷却水系统
- 5) 生产生活排水系统及处理系统
- 6) 雨水排水系统
- 7) 初期雨水收集排水系统
- 8) 垃圾渗滤液排水及处理系统

### 5.11.4 给水系统

#### 5.11.4.1 生产、生活用水量

厂区夏季最大日用水量约  $3383.7\text{m}^3/\text{d}$ , 其中生产用水约  $3360.7\text{m}^3/\text{d}$ , 生活用水量  $23\text{m}^3/\text{d}$ 。总用水量按夏季 10% 平均气象条件设计, 总用水量见下表:

表5-19 生产生活用水表

序号	用水种类	最大日用水量 (m <sup>3</sup> /d)	水压要求 MPa	备注
1	循环冷却水蒸发损失补充水	2901.9	0.20	消耗, 按循环水量 1.25%计
2	循环冷却水风吹损失补充水	232.2	0.20	消耗, 按循环水量 0.1%计
3	车间清洁等用水	12	0.25	消耗, 利用生产清水
4	锅炉化水间除盐水制备用水	235.8	0.25	消耗, 利用生产清水, 排水处理后回用
5	污水处理站用水	24	0.25	消耗, 利用生产清水
6	飞灰处理车间用水	14.4	0.25	消耗, RO 浓缩液二次利用
7	出渣机生产补给用水	112.8	0.25	消耗, 循环冷却水排污废水二次利用
8	炉排漏灰渣输送机用水	96	0.25	消耗, 利用循环冷却水排污废水
9	地磅区域冲洗用水	6	0.30	消耗, 利用循环冷却水排污废水
10	垃圾车运输引桥冲洗用水	6	0.30	消耗, 利用循环冷却水排污废水
11	垃圾卸料区冲洗用水	18	0.30	消耗, 利用循环冷却水排污废水
12	反应塔、石灰浆制备用水	148.8	0.25	消耗, RO 浓缩液、化水浓水、循环冷却水排污废水二次利用
13	给料斗及溜槽冷却用水	24	0.25	消耗, 利用循环冷却水排污废水
14	生活用水量	21	0.25	自来水, 消耗
15	化验室用水	2	0.25	自来水, 消耗
16	绿化用水	36	0.25	消耗, 利用生活生产污水处理后回用水
17	道路洒水	36	0.25	消耗, 利用生活生产污水处理后回用水
18	一体化净水器反冲洗用水	85.7	0.25	利用净化后清水, 排水经简单沉泥后打回前端继续处理使用, 排泥 17m <sup>3</sup> /d
	用水量合计	4012.6		
	实际耗用水量合计	3383.7		已扣出厂区可回用水部分 628.9m <sup>3</sup> /d

表5-20 生产生活用水主要指标表

序号	项 目	指 标	备 注
1	装机发电量	1*35MW.h	
2	年运行时间	8000 小时	
3	夏季最大日耗水量	3383.7m <sup>3</sup> /d	
4	夏季发电装机最大耗水指标	1.119m <sup>3</sup> /(s.GW)	装机取水量
5	夏季最大单位发电量取水量	4.028m <sup>3</sup> /(MW.h)	
6	处理垃圾夏季最大耗水量	2.256m <sup>3</sup> /吨垃圾	
7	年平均日生活耗水量	3100.6m <sup>3</sup> /d	
8	年平均生产耗水量	1.0335×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /a	

#### 5.11.4.2 供水水源

生活用水由厂外市政自来水接管，经水表计量后进入生活水箱，再由生活供水泵供厂区生活用水。厂区夏季最大日自来水需水量约为 23m<sup>3</sup>/d。

厂区生产用水及消防用水采用乌石水库和葫芦水库水源。在两个水库适当位置建取水水泵房取水，由输水管输送到厂区，经水表计量、投加絮凝剂和助凝剂，经集混凝反应、沉淀、过滤于一体的一体化全自动反冲洗净水器处理、消毒后，一部分供循环冷却补充用水，自流至循环冷却水系统集水池；另一部分进入生产消防水池，其有效容积约为 1200m<sup>3</sup>，由生产清水泵供厂区生产用水。厂区夏季最大日需取水量约为 3360.7m<sup>3</sup>/d。

取水加压泵房配加压水泵 3 台，2 用 1 备。水泵参数：Q=200m<sup>3</sup>/h，水泵扬程待定。输水管道采用球墨给水铸铁管或焊接钢管。

净水系统配一体化自动反冲洗净水器 2 台，处理水量为 200m<sup>3</sup>/h，处理出水浊度 ≤3NTU。净水系统配絮凝剂投药装置 1 套，配助凝剂投药装置 1 套。

#### 5.11.4.3 生活供水系统

生活用水采用生活水箱储水和变频调速供水设备加压的联合供水方式。最大小时用水量约 10m<sup>3</sup>/h。厂区设独立的生活给水管道系统，经变频调速供水设备供厂区生活用水。

系统配 16m<sup>3</sup>不锈钢水箱 1 个，变频调速供水设备 1 套，额定供水量 10m<sup>3</sup>/h，额定供水压力 0.45MPa。

#### 5.11.4.4 生产清水泵供水系统

生产清水泵系统给水采用生产水池储水和变频调速供水加压泵的联合供水方式。加

压泵由生产储水池吸水，通过供水压力管道供水。主要供锅炉除盐制备用水、生活污水处理站生产用水、车间清洁用水等。

生产清水最大小时用水量约  $75\text{m}^3/\text{h}$ 。系统配生产清水泵 2 台，1 用 1 备，配变频调速器。

水泵参数： $Q=75\text{m}^3/\text{h}$

$P=0.32\text{MPa}$

$N=11\text{kW}$

#### 5.11.4.5 生产工业水泵给水系统

生产工业泵给水系统采用循环冷却塔集水池储水和变频调速供水加压泵的联合供水方式。加压泵由循环冷却塔集水池吸水，通过供水压力管道供水。主要供引风机、汽水取样冷却器、一、二次风机、锅炉给水泵、凝结水泵等设备冷却用水，这部分水冷却设备后回流至汽机循环冷却水系统经冷却塔冷却后进入集水池，循环使用；另一部分供飞灰加湿机飞灰固化用水、烟气处理降温用水、反应塔用水、出渣机冷渣用水、炉排漏渣输送机冷却用水。

生产工业水最大小时用水量约  $190.45\text{m}^3/\text{h}$ 。系统配生产工业水泵 2 台，1 用 1 备，配变频调速器。

水泵参数： $Q=200\text{m}^3/\text{h}$

$P=0.50\text{MPa}$

$N=45\text{ kW}$

#### 5.11.5 循环冷却水系统

##### 5.11.5.1 循环冷却水量

汽机、发电机冷却水采用循环冷却水系统，循环冷却供水量见下表：

**表5-21 本期循环冷却水系统供水量表**

用水种类	最大时用水量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	备注
汽机凝汽器冷却	9060	经冷却塔冷却后回流至集水池循环使用
汽机冷油器冷却	260	
发电机空气冷却器冷却	210	
辅机设备冷却	143.1	
合计	9673.1	

汽机冷油器、发电机空冷器和辅机设备夏季最大循环冷却水量约  $9673.1\text{m}^3/\text{h}$ 。循环

冷却水设备进口水温 41℃，冷却后出口水温 33℃，冷却温差 8℃。循环冷却水由循环冷却水泵从冷却塔集水池吸水并吸水，提升加压至汽机及发电机设备进行冷却，冷却出水经机力通风逆流式冷却塔冷却至 33℃后，回流到冷却塔下集水池，循环使用。

循环冷却集水池→循环冷却水泵→循环水管→设备冷却→冷却塔→回流循环冷却集水池。

#### 5.11.5.2 循环水泵

综合水泵房设循环水泵 4 台，3 用 1 备。循环水泵参数： $Q=3500\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=0.22\text{MPa}$ ， $N=315\text{kW}$ ，循环冷却水量可达  $10500\text{m}^3/\text{h}$ ，满足冷却循环水量的要求。

#### 5.11.5.3 冷却塔

冷却塔选用规模为  $3\times 3500\text{m}^3/\text{h}$  机械通风工业型低噪音逆流式方形冷却塔台 1 组布置。循环冷却总水量  $10500\text{m}^3/\text{h}$ ，风机功率 160kW/台，其中配变频电机。

冷却塔标准设计技术参数：干球温度 31.5℃，湿球温度 28℃，大气压力 99.40kPa，进水温度 43℃，出水温度 33℃，冷却温差 10℃。根据天气季节变化，可通过调整电机功率达到节省用电的目的。

#### 5.11.5.4 循环冷却水旁流水处理系统

为了保持循环水有较好的水质，减少循环水的排污水量，节约用水，有效的去除水中的悬浮物、泥垢、盐垢、污垢、锈垢等杂质和控制藻类、微生物的繁殖，循环冷却水系统设旁流水处理系统。循环冷却水经无阀过滤器过滤处理旁流回至冷却塔集水池。

循环冷却水旁流水处理系统配无阀过滤器过滤器 2 台，单台处理水量  $150\text{m}^3/\text{h}$ 。

#### 5.11.5.5 循环冷却水处理加药系统

为了更好的有效控制藻类、微生物的繁殖，在循环冷却水中投加杀菌灭藻剂的方法杀菌灭藻，单位循环冷却水杀菌灭藻投加量为  $1\text{-}5\text{g}/\text{m}^3$ 。采取定期加药装置的投加方式。

为防止设备及管道腐蚀、结垢，在循环冷却水中投加缓蚀阻垢剂，采取定期加药装置的投加方式。

#### 5.11.6 设计节能措施

在设计中本着节约用水的原则，根据各用水点不同的用水水质、水温及水压要求，做到尽量回收重复利用，尽可能地减少排水量。具体节水措施如下：

1) 汽轮发电机组空冷器、冷油器及辅机等设备冷却采用闭式循环冷却水供水系统，冷却水循环使用。

2) 循环冷却水系统排污损失清洁废水二次利用，供飞灰固化、出渣机冷渣、烟气处理降温用水、垃圾车运输引桥、地磅区域及垃圾卸料平台区域等冲洗水等二次利用。

3) 厂区排放生产、生活污水，经处理后，回用于绿化用水、道路洒水及循环冷却水补充水。垃圾渗滤液经处理后回用作为循环冷却水补充水，反渗透浓缩液用作烟气处理石灰浆制备用水。

4) 除盐水制备过程中产生的浓水，作为设备反冲洗用水和锅炉排污降温井降温用水。降温井排水，作为冷却水补充水，二次重复利用。

5) 循环冷却水系统设水净化杀菌灭藻和阻垢缓蚀加药系统，减少循环水排污废水量，节约用水。

6) 汽水管道设计上采取措施，防止“跑、冒、滴、漏”，减少汽水损失。

7) 汽机的乏汽经凝汽器冷却后，变为凝结水，全部进入除氧器利用，减少了化学水补水量。

8) 厂区工艺等生产设备选用耗水量较低的，技术先进的产品。

9) 循环冷却水系统选择技术先进，蒸发损失和风吹损失率较小的冷却塔节能节水产品。

10) 厂区各重要的用水点设置用水计量装置，从生产指标方面，加强管理，强化节约用水。

11) 厂区所有水池、水箱均装设液位控制阀，设水位显示装置，避免可能因溢流造成的排水损失。

12) 卫生器具等选用国家规定的节水型节能产品。小便器冲洗阀采用节水型光电自动冲洗阀。大便器冲洗水箱采用配置有大、小档，冲洗水量不大于 6L/次的节水型产品。

13) 厂区用水计量按一、二、三级计量装置配置计量，企业制定有效的节约用水制度，严格按用水指标执行，并进行考核

#### 5.11.7 给水管道材料

给水管道除工艺特殊要求外，生活给水管道：室外埋地给水管采用 HDPE 塑料给水管，室内给水管采用 PP-R 塑料给水管，电热熔连接和管件连接。生产清水管采用 HDPE 塑料给水管，电热熔连接。汽机循环冷却水管道及工业生产给水管道采用焊接钢管，焊接和法兰连接。

### 5.11.8 排水系统

厂区排水采用清污分流排放方式，共设 4 个系统：即雨水排水系统；生产废水、生活污水排水系统；初期雨水收集排水系统；垃圾渗滤液收集排水系统。

#### 5.11.8.1 雨水排水系统

雨水排放采用雨水口、雨水检查井、雨水管道及雨水沟相结合的雨水排放方式。屋面雨水经雨水斗收集后，通过雨水立管、排出管排入室外雨水井或雨水口。室外及道路雨水经雨水口收集，经雨水管道排入雨水井。雨水最终经厂区雨水管道排入至厂外市政雨水管道或自然水体。

雨水设计流量按下列公式计算：

$$Q=q\Psi F$$

Q--雨水设计流量 (L/s)

q--设计暴雨强度 (L/s.ha)

$\Psi$ --径流系数  $\Psi=0.65$

F--汇水面积 (ha)

根据汕头市暴雨强度公式计算：

$$q=1042 \times (1+0.56LgP) / t^{0.488}$$

P--设计重现期 (a)，采用 2 年。

t--降雨历时，当 5min 时

设计暴雨强度： $q_5=555.170$  升/秒.公顷

室外排水系统按下式计算：

降雨历时-- $t=(t_1+t_2)$

式中： $t_1$ --地面集水时间，采用 10min

$t_2$ --管渠内雨水流行时间 (min)

#### 5.11.8.2 初期雨水收集排水系统

对厂区垃圾车运输易造成污染的道路、坡道、地磅区域的前 30mm 初期降雨量设雨水收集池收集。

初期雨水收集汇水面积约 4000m<sup>2</sup>，最大初期雨水需收集量：

$$W=4000 \times 0.03 = 120 \text{ m}^3。$$

厂区设地下初期雨水收集池(有效容量 V= 150m<sup>3</sup>)1 座。初期雨水经过专用管道排至

初期雨水收集池，收集池满容量后雨水可切换溢流排入厂区雨水管。

初期雨水收集池内初期雨水由初期雨水提升泵定时定量输送入厂区污水处理站生产、生活污水调节池，经污水处理系统处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》GB19923-2005 和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T18920-2002 的有关水质标准后，回用作为厂区生产循环冷却水补充水和绿化用水、道路洒水。

### 5.11.8.3 污水排水系统

#### 1. 生产、生活排水量

全厂夏季最大日生产、生活总排水量大约为 832.9m<sup>3</sup>/d，其中回用水量 832.9m<sup>3</sup>/d，生产、生活实际排水量 0m<sup>3</sup>/d。排水包括垃圾渗滤液、垃圾卸料区地面洗废水 465m<sup>3</sup>/d；生产废水 288.3m<sup>3</sup>/d；生产生活污水 79.6m<sup>3</sup>/d。总排水量按夏季 10%平均气象条件设计，见下表。

表5-22 生产、生活排水量表

序号	排水种类	最大日排水量 (m <sup>3</sup> /d)	排水水质指标	备注
1	垃圾渗滤液、垃圾卸料区冲洗排水	465	BOD <sub>5</sub> =10000-30000 mg/L COD <sub>cr</sub> =30000-50000 mg/L SS=2000-10000 mg/L NH <sub>3</sub> -N=1000-2000 mg/L PH=4-8	高浓度有机污水，含重金属离子，处理后回用，浓缩液回用或回喷
2	锅炉化水间除盐水制备设备反冲洗排水	20	BOD <sub>5</sub> =10-40mg/L COD <sub>cr</sub> =30-70 mg/L SS=50-100mg/L PH=10-11	低浓度无机废水，处理后回用
3	锅炉定连排污清洁废水及降温废水、锅炉化水间除盐水制备浓水	202.6	BOD <sub>5</sub> =10-30mg/L COD <sub>cr</sub> =10-50mg/L SS=50-100mg/L PH=6-10	低浓度无机废水，直接回用
4	车间清洁冲洗排水	10	BOD <sub>5</sub> =60-100mg/L COD <sub>cr</sub> =80-150mg/L SS=80-150mg/L	低浓度无机废水，处理后回用
5	化验室用水	1.6	BOD <sub>5</sub> =60-100mg/L COD <sub>cr</sub> =80-150mg/L SS=80-150mg/L	低浓度无机废水，处理后回用
6	垃圾运输坡道冲洗排水	5	BOD <sub>5</sub> =100-200mg/L COD <sub>cr</sub> =100-250mg/L SS=80-150mg/L	低浓度有机污水，处理后回用
7	地磅区冲洗排水	5	BOD <sub>5</sub> =100-200mg/L COD <sub>cr</sub> =100-250mg/L SS=80-150mg/L	低浓度有机污水，处理后回用
8	生活污水	18	BOD <sub>5</sub> =80-150/L COD <sub>cr</sub> =100-250mg/L SS=100-200mg/L PH=6-8 NH <sub>3</sub> -N =20-30mg/L	低浓度有机污水，处理后回用

序号	排水种类	最大日排水量 (m <sup>3</sup> /d)	排水水质指标	备注
9	污水处理站排水	20	BOD <sub>5</sub> =80-150/L COD <sub>cr</sub> =100-250mg/L SS=100-200mg/L PH=6-8 NH <sub>3</sub> -N=20-30mg/L	低浓度有机污水，处理后回用
10	一体化自动反冲洗净水器反冲洗排水	85.7	BOD <sub>5</sub> =10-40mg/L COD <sub>cr</sub> =30-70 mg/L SS=50-100mg/L PH=10-11	低浓度无机废水，处理后回用，
	<b>污、废水排量合计</b>	<b>832.9</b>		
	<b>实际对外排水量</b>	<b>0</b>		污废水经处理后全部回用，不外排

## 2. 生产生活污水排水系统

生产生活污水排水主要包括：垃圾车运输引桥冲洗排水、地磅区域冲洗排水、初期雨水和生活污水排水等。夏季最大排放水量约 79.6m<sup>3</sup>/d，污水水质指标如下：

BOD<sub>5</sub>=100-200mg/L

COD<sub>cr</sub>=150-350mg/L

SS=150-250mg/L

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N=20-35mg/L

TP=1-5mg/L

PH=6-9

厂区生活污水，其中排放的粪便污水先经化粪池处理，厨房及餐厅含油污水先经隔油池处理后，与生产污水一同排入厂区的污水管道后，最终排至厂区生产生活污水处理系统，经处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》GB19923-2005 和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T18920-2002 的有关水质标准后，回用作为汽机循环冷却水补充水、绿化用水及道路洒水。

## 3. 生产废水排水系统

生产废水排水主要包括：锅炉化水除盐水制备排水、锅炉定连排污废水、一体化净水器反冲洗排水，夏季最大排放水量约 288.3m<sup>3</sup>/d。该无机废水经简单处理达标后回用作生产用水。

## 4. 垃圾渗滤液排水系统

夏季垃圾池渗滤液、垃圾卸料区冲洗排放污水量日平均约 240m<sup>3</sup>/d，属于高浓度有机污水，氨氮含量高。渗滤液中除 COD<sub>cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>4</sub>-N 等污染物严重超标外，还含有卤代芳烃、重金属和病毒等污染物。垃圾渗滤液水质指标如下：

BOD<sub>5</sub>=10000-30000mg/L

COD<sub>cr</sub>=30000-50000mg/L

SS=2000-10000mg/L

NH<sub>3</sub>-N=1000-2000mg/L

TN=1500-3000 mg/L

TP=3.0-5.0 mg/L

PH=4-8

垃圾渗滤液由垃圾池渗滤液收集池收集，渗滤液提升泵提升输送至厂区渗滤液处理站集中进行处理，经污水处理系统处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》（GB/T19923-2005）的有关水质标准后，回用作为厂区循环冷却水补充水。

## 5. 排水管道材料

排水管道除工艺生产特殊要求的管材外，室内排水管采用 UPVC 塑料排水管；室外排水管：当管径 D≤150 时，采用 UPVC 塑料排水管；当管径 D≥200 时，采用高密度聚乙烯双壁波纹排水管；垃圾渗滤液输送管采用高密度聚乙烯（HDPE）塑料给水管。

### 5.11.9 生产生活污水处理系统

#### 5.11.9.1 处理规模及进、出水水质指标要求

厂区需处理的生产、生活废水排放量约 79.6m<sup>3</sup>/d，平均小时排水量 3.32m<sup>3</sup>/h。污水处理站设计总规模定为 96m<sup>3</sup>/d。

处理出水水质达到《城市污水再生利用-工业用水水质》（GB19923-2005）和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）的有关水质标准后，回用作为厂区道路洒水、绿化用水及循环冷却补充水。

污水处理设计进、出水水指标见下表：

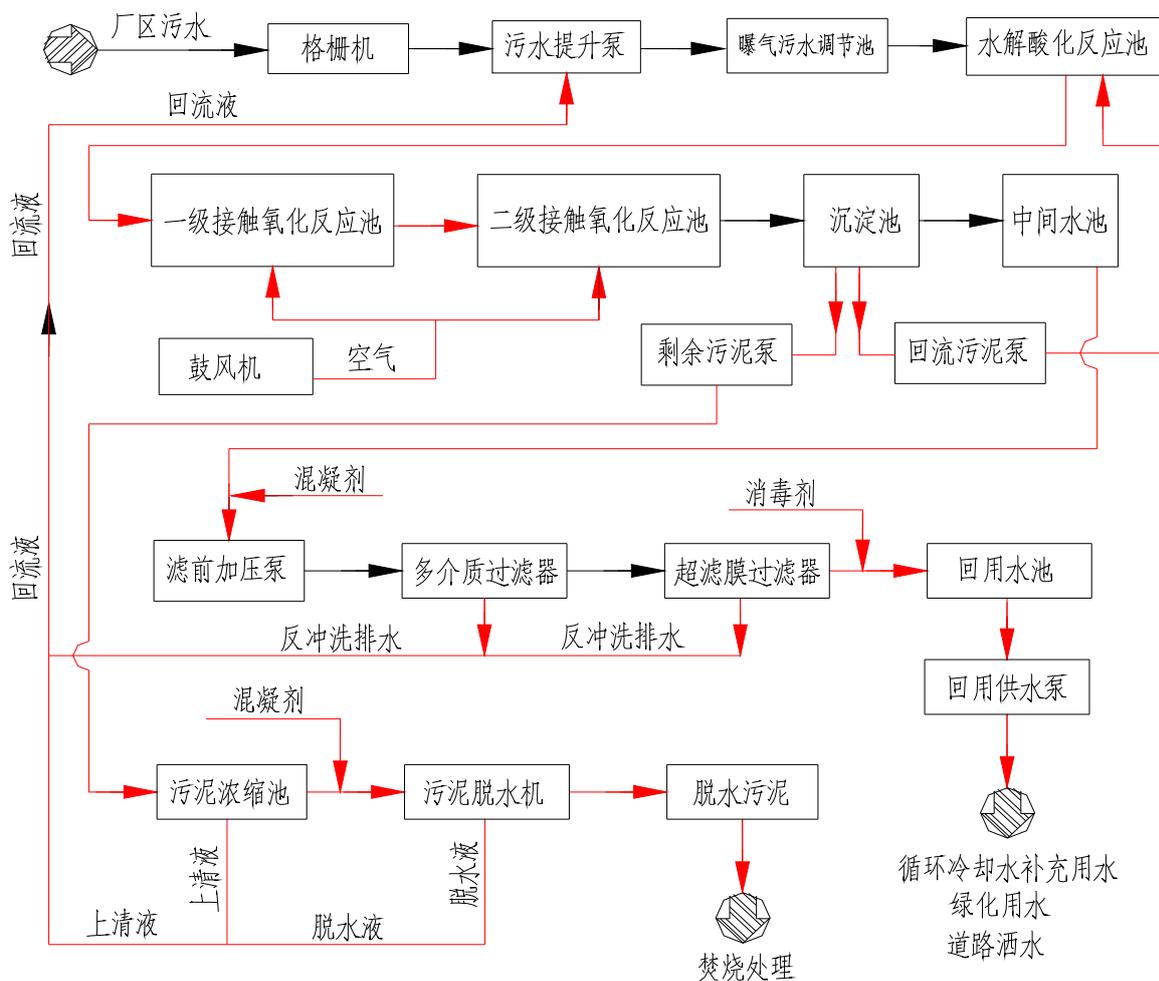
表5-23 污水处理设计进、出水水指标表

污水生化处理设计进、出水水指标					
项目	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD <sub>cr</sub> (mg/L)	SS (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	TP (mg/L)
进 水	180	400	250	30	3.0
出 水	≤10	≤60	≤10	≤10	1.0
去 除 率	≥94.45%	≥85%	≥96%	≥66.67%	≥66.67%

#### 5.11.9.2 污水处理工艺流程

污水及中水处理推荐采用“水解酸化+二级接触氧化生化处理+中水深度处理”的处

理系统工艺。污水处理工艺流程如下图：



厂区排放污水先进入格栅渠，经格栅机去除较大颗粒悬浮物和较大固体的杂物后，进入污水调节池进行水质和水量调节。调节池污水经污水提升泵提升，依次进入水解酸化反应池、一级接触氧化反应池、二级接触氧化反应池进行生化处理，去除有机污染物。经生化处理后的废水流入沉淀池进行固液分离，经沉淀后水自流至排放水池。污水生化处理，出水水质优于《污水综合排放标准》GB8978-1996中的一级排放标准后进入中水处理中间水池。

中间水池水通过滤前加压泵加压，同时投加混凝剂，依次经过多介质机械过滤器、UF超滤膜过滤处理，再投加消毒剂消毒处理后进入回用储水池储存。回用水水质达到《城市污水再生利用-工业用水水质标准》(GB/T19923-2005)和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T18920-2002的有关规定要求后，回用作为厂区道路洒水、绿化用水及循环冷却补充水。

沉淀池大部分沉淀污泥经污泥泵回流至水解酸化反应池，以进一步脱氮处理，剩余

污泥排至污泥浓缩池，浓缩后的污泥加絮凝剂进行污泥脱水，脱水污泥运至垃圾贮坑与垃圾混合后，进行焚烧处理。污泥浓缩上清液及脱水液回流到污水调节池重新进行处理。

### 5.11.10 垃圾渗滤液处理系统

#### 5.11.10.1 渗滤液处理方案

##### 1) 垃圾渗滤液来源、产生量及处理规模

垃圾渗滤液来源于垃圾池生活垃圾渗出的水分液体。垃圾渗出的渗滤液由垃圾池集液沟收集进入渗滤液收集贮存池，再由渗滤液输送泵加压输送至渗滤液处理站调节池，进行处理。

根据国内类似城市生活垃圾焚烧厂的运行经验，同时结合汕头地区垃圾的特性，垃圾池内垃圾渗滤液产生量平均约为垃圾焚烧处理量的 15% 计算。本项目垃圾焚烧处理量为 1500t/d，垃圾渗滤液年日平均的产生量约为 225m<sup>3</sup>/d。

垃圾渗滤液按日最大产生量，留有一定余量进行处理工艺设计。全厂总规模下渗滤液处理站设计处理能力约为 700m<sup>3</sup>/d，本期渗滤液设计处理能力规模定为 500m<sup>3</sup>/d。渗滤液处理站土建工程一次性建成，预留二期处理设备安装位置。

##### 2) 垃圾渗滤液的水质特性及进水指标

垃圾池垃圾渗滤液，属于高浓度有机污水，色度高，有臭味。垃圾渗滤液中有机物主要含低分子量的脂肪酸类物质、腐殖质类高分子的碳水化合物类物质、中等分子量的黄霉酸类物质。渗滤液中 BOD<sub>5</sub>、COD<sub>cr</sub>、SS 浓度很高，氨氮、金属离子含量高，并含有病源体等污染物。

垃圾渗滤液水质特性如下：

PH=4-8

BOD<sub>5</sub>=10000-30000mg/L

COD<sub>cr</sub>=30000-50000mg/L

SS=1500-10000mg/L

NH<sub>3</sub>-N=1000-2000mg/L

TN=2000-3000mg/L

臭味---恶臭、略有氨味。

颜色---黄褐色、黑色。

色度---500-10000 倍

碱度 (CaCO<sub>3</sub>) --5000-15000mg/L

有机酸---50-24000mg/L

氯化物---2000-10000mg/L

**表5-24 垃圾渗滤液设计进水水质指标表**

	<b>BOD<sub>5</sub></b> (mg/L)	<b>COD<sub>cr</sub></b> (mg/L)	<b>SS</b> (mg/L)	<b>NH<sub>3</sub>-N</b> (mg/L)	<b>TP</b> (mg/L)	色度
进水指标	30000	50000	10000	2000	3.0	10000

本项目垃圾渗滤液处理出水水质达到《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB19923-2005)和循环水补充水水质标准等有关水质标准后,回用作为循环冷却补充水。垃圾渗滤液处理设计出水水质指标见下表。

**表5-25 垃圾渗滤液处理出水水质指标**

	<b>BOD<sub>5</sub></b> (mg/L)	<b>COD<sub>cr</sub></b> (mg/L)	<b>SS</b> (mg/L)	<b>NH<sub>3</sub>-N</b> (mg/L)	<b>TP</b> (mg/L)	色度
出水指标	≤10	≤60	≤10	≤10	≤1.0	≤30

#### 5.11.10.2 垃圾渗滤液处理工艺

垃圾渗滤液的处理结合垃圾渗滤液的污水性质、垃圾渗滤液处理目前国内外较先进的技术、已运行的成功经验和实例及回用水有关标准,本项目垃圾渗滤液处理推荐采用:  
“**预处理+ UASB 厌氧反应器+MBR 生化处理系统+NF 纳滤膜+RO 反渗透膜**”的处理工艺,处理工艺流程示意图如下:

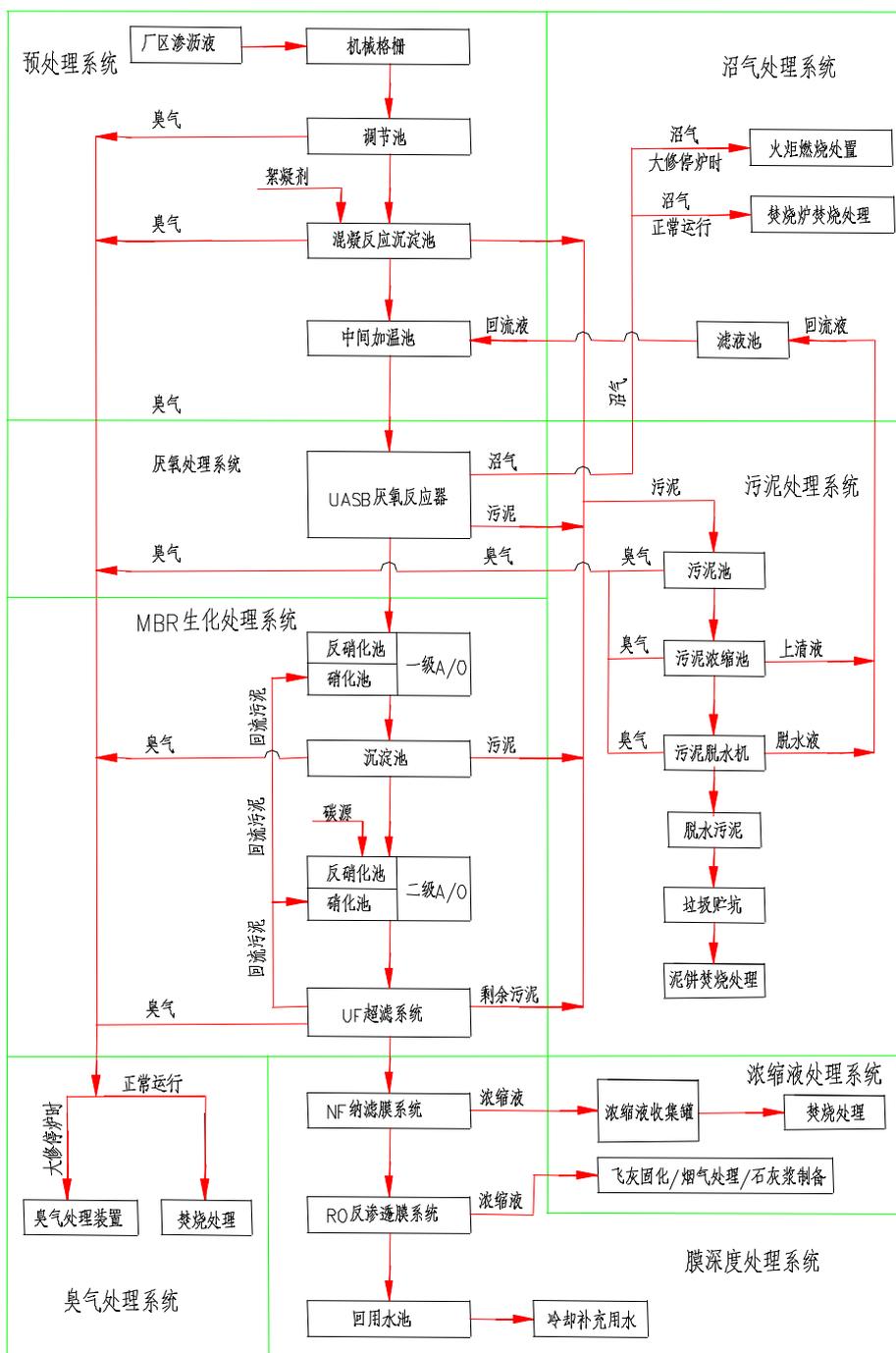


图5-7 渗滤液处理工艺流程图

### 5.11.10.3 垃圾渗滤液处理工艺流程简述

1) 垃圾池中渗出垃圾渗滤液经导流引出沟流出，通过粗格栅除去渗滤液中的大颗粒悬浮物及漂浮物后进入渗滤液收集池。

2) 收集池渗滤液经渗滤液输送泵输送进入细格栅渠，通过细格栅进一步去除渗滤液中的颗粒悬浮物及漂浮物后进入渗滤液调节池。

3) 调节池，进行水量调节，同时调节池中设置潜水搅拌设备，实现均质均量，并且

渗滤液中的有机物颗粒在调节池中发生水解作用，提高了废水的生化性。

4) 调节池中渗滤液均质均量后由提升泵提升至混凝沉淀池，投加絮凝剂，经沉淀处理，去除大部分的 SS 及部分不溶性有机物。

5) 沉淀池出水自流入中间加温水池，通过蒸汽加温，提高渗滤液水体温度，达到厌氧生化处理的最佳温度要求。

6) 中间加温水池渗滤液经厌氧进水泵提升进入 UASB 厌氧反应器，进行厌氧发酵处理，打开高分子物质的链节或苯环，将大分子难降解有机物分解成较易生物降解的小分子有机物质，并最终转化为甲烷、二氧化碳和水。

7) 经 UASB 厌氧反应器处理的渗滤液出水，进入 MBR 膜处理系统，MBR 膜处理系统包括一、二级缺氧/好氧 (A/O) 生化脱氮处理系统和 UF 超滤系统。渗滤液出水自流依次进入一、二级缺氧/好氧 (A/O) 生化脱氮处理系统。在缺氧/好氧 (A/O) 系统中，渗滤液在硝化池 (O 段) 好氧的条件下，硝化菌将氨氮氧化成硝态氮。硝化池中处理的渗滤液经大回流量回流反硝化池，与渗滤液进入原液混合，在反硝化池 (A 段) 缺氧的条件下，反硝化菌将硝态还原成氮气脱出。在缺氧、好氧状态交替处理，达到去除大部分的有机物及脱氮目的。其中二级 A/O 作为强化硝化反硝化设计，确保氨氮及总氮的水质处理要求。经两段 A/O 生化系统处理出水，通过 UF 超滤系统进水泵加压进入外置 MBR 超滤膜系统进行泥水分离，水中大部分的颗粒和胶体有机物被截留，出水进入纳滤系统处理进水池。

8) MBR 超滤膜系统处理出水进入 NF 纳滤膜系统去除大部分二价离子和分子量在 200-1000 的有机物后，出水进入 NF 纳滤清液罐。

9) NF 纳滤系统处理出水通过 RO 反渗透进水泵加压进入 RO 反渗透系统进一步处理，可去除水中几乎所有杂质——各种一价离子、无机盐、分子、有机胶体、细菌、病源体等。确保出水中 COD<sub>Cr</sub>、氨氮，总氮、重金属离子等达到有关回用水标准要求。RO 反渗滤出水进入回用水池，最终经回用水泵输送回用作为厂区道路洒水、绿化用水及循环冷却补充水。

10) UASB 厌氧反应器、混凝沉淀池、沉淀池、UF 超滤系统排出的污泥先进入污泥池，污泥经污泥泵提升进入污泥浓缩池，经过污泥浓缩处理，浓缩污泥通过污泥脱水机脱水处理后，污泥含水率降至 75-80%后，运至垃圾池通过焚烧炉焚烧处置。

11) NF 纳滤系统产生的浓缩液储存在浓缩液储池，定量均匀的回喷垃圾池中后进锅炉焚烧处理。RO 系统产生的浓缩液储存在浓缩液储池，用作石灰浆制备用水。

12) 垃圾渗滤液的处理过程中，格栅间、调节池、混凝沉淀池、污泥池、污泥浓缩池、污泥脱水间产生的臭气经收集，由引风机通过风管送至垃圾池负压区进入焚烧炉焚烧处置。在生产大修停运时，利用备用臭气处理装置处理臭气后排入大气，防止臭气的污染。

#### **5.11.10.4 污泥处理系统**

污泥主要来自 UASB 厌氧反应器、沉淀池、反硝化池、硝化池排出的污泥和自生物处理产生的剩余污泥及潮阳区污水处理厂产生污泥。污泥排到污泥浓缩池，经过污泥浓缩，上清液回流至 UASB 厌氧反应器后面沉淀池重新生化处理，浓缩污泥通过离心脱水机脱水处理含水率低于 40%后运至垃圾池焚烧处置，可处理脱水后污泥量约 350 吨/天。

#### **5.11.10.5 浓缩液处理系统**

NF 纳滤膜系统和 RO 反渗透系统产生的浓缩液，储存在浓缩液储池，定量均匀的回喷垃圾池垃圾中或回喷焚烧炉中焚烧处理。

#### **5.11.10.6 臭气处理系统**

垃圾渗滤液的处理过程，臭气产生源主要分为污水处理系统和污泥处理系统。污水处理系统中的臭气源主要分布在格栅间、调节池、反硝化池等。污泥处理系统中的臭气来源主要分布在污泥浓缩池、污泥脱水和污泥堆放、外运过程。

臭气经收集，由除臭风机通过风管送垃圾池负压区最终进入焚烧炉焚烧处置。在生产大修停运时，利用备用臭气处理装置处理臭气后排入大气，防止臭气的污染。

#### **5.11.10.7 沼气处置系统**

UASB 厌氧反应器产生的沼气经收集后，通过管道输送至垃圾贮坑进入锅炉燃烧处理。

#### **5.11.10.8 主要处理单元处理效果去除率**

表5-26 各单元处理效率表

项 目		COD <sub>cr</sub> (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	SS (mg/L)
预处理系统	进水	50000	30000	2000	10000
	出水	35000	22500	1500	2000
	去除率	30%	25%	25%	80%
UASB系统	进水	35000	22500	1500	2000
	出水	7000	3375	1200	1400
	去除率	≥80%	≥85%	20%	30%
AO/MBR系统	进水	7000	3375	1200	1400
	出水	≤350	168.75	12	28
	去除率	≥95%	≥95%	98.9%	98%
NF纳滤系统	进水	350	168.75	12	28
	出水	70	33.7	6	1.4
	去除率	80%	80%	50%	95%
RO反渗透系统	进水	70	33.7	6	1.4
	出水	21	6.75	0.9	0
	去除率	70%	80%	85%	100%
设计出水水质标准要求	总出水	≤60	≤10	≤10	≤10

## 5.12 电气系统

### 5.12.1 电气主接线

#### 5.12.1.1 工程概况

本工程总建设规模为：设 3 台垃圾焚烧处理能力为 750t/d 的机械炉排炉，分两期工程建设。

本期工程建设规模为：拟装设 2 台垃圾焚烧处理能力为 750t/d 的机械炉排炉，相应搭配 1 台额定功率 35MW 发电机组，发电机出口额定电压 10.5kV、功率因数 0.8，配套无刷励磁系统。其余部分为二期工程建设内容，本期不考虑。

根据业主方提供的现有边界条件，本期工程拟采用一回 110kV 电压等级联络线路就近接入当地变电站与电力系统并网方案考虑。

### 5.12.1.2 主接线配置方案

电气主接线方案详见附图。

本工程 10kV 配电系统采用发变线组接线方式，设发电机出口母线与专设 10kV 厂用工作段母线，两者经电抗器并联，为 10kV I 段、II 段母线，两段母线本期一并建成。高压厂用电源直接引自对应的专设 10kV 厂用工作段母线。

本工程发电机组所发电能经 1 台 110kV 主变升压至 110kV 后，经 1 回 110kV 上网线路与电力系统联络。110kV 配电系统采用单母接线，110kV 配电装置选用 SF6 气体绝缘全封闭组合电器（GIS）。

### 5.12.2 厂用电系统

#### 5.12.2.1 厂用电概述

厂用电系统采用 10.5kV 和 380/220V 两级电压。10.5kV 系统供给低压厂用变压器和（一般容量不小于 250kW）的高压电动机负荷，380/220V 系统供低压电动机，以及照明、检修、电加热等负荷。10.5kV 系统采用中性点不接地方式，380/220V 系统为采用中性点直接接地方式。

#### 5.12.2.2 厂用电负荷

本工程厂用电中除引风机为 10kV 高压设备外，其余均为 380/220V 低压设备。高压电动机均直接接在相应的 10kV 母线上。

本期工程低压厂用电拟选用 2000kVA 变压器 3 台，其中 2 台（41B、42B）为工作变压器、另 1 台（40B）为备用变压器。厂用电低压母线采用按锅炉分段方式接线，设置低压 I、II 厂用电工作母线，2 台工作变压器（41B、42B）对应引接低压 I、II 段母线，分别为#1 锅炉、#2 锅炉、汽机及公用负荷供电。另一台专用备用变压器（40B）则通过低压 0 段备用母线为 2 台工作变压器提供明备用。任何一台工作变压器故障跳闸时，备用变压器自动投入，由备用变压器承担故障变压器的用电负荷。

#3 锅炉为二期工程时建设，其对应的 10kV 引风机电源和低压辅机电源分别由 10kV III 母线和低压 III 段母线引接。

厂前区综合楼用电负荷由主厂房 380/220V 工作母线段引接一路低压电源。

渗沥液/污水处理站用电负荷由主厂房 10kV 工作母线段引接一路高压电源，通过设置在渗沥液/污水处理站的低压变压器降压后为 380/220V 负荷供电。

### 5.12.2.3 保安电源

自地区电网引接一回独立于本工程主电源外的 10kV 线路作为全厂生产应急保安电源，经一台 800kVA 保安变压器降压后，分别馈电至低压应急保安 I 段母线和低压应急保安电源 II 段母线，作为重要负荷备用电源和事故保安负荷电源。保安电源和工作电源之间设置电气及机械联锁，并带自投自复装置，确保两电源不同时投入。低压应急保安电源两段母线本期一并建成。

交流事故保安用电设备主要有一台锅炉给水泵、盘车电机、交流油泵、热力系统自动化阀门、充电装置、不停电电源和消防水泵等。

### 5.12.2.4 配电装置布置

10kV 高压配电装置布置在主厂房中部 10kV 配电间室内。

110kV 高压配电装置布置在主厂房 110kV 配电间室内。

110kV 主变压器布置主变压器室内。

### 5.12.3 电气系统设备选型

10kV 配电装置：选用铠装式金属封闭高压开关柜 KYN28-12、配 ABB 公司的 VD4 系列真空断路器，短路开断电流暂按 31.5kA 考虑。

110kV 配电装置：气体绝缘金属封闭开关设备（GIS），短路开断电流暂按 40kA 考虑。

110kV 主变压器：选用高效节能型、低噪声、自然油循环的三相两线圈铜绕组自冷式升压变压器，型号 S11-40000/121， $121\pm 2 \times 2.5\%/10.5\text{kV}$ ， $U_k\%=10.5$ ，YNd11。

0.4kV 配电装置：选用低压抽出式开关柜 MNS 型、配知名品牌（如 ABB、西门子等）塑壳、框架断路器，额定短路开断电流按不小于 50kA 考虑。

低压厂用变压器选用国产知名品牌（如山东金曼克、江苏华鹏等）：干式变压器 SCB13-2000/10.5 10.5/0.4kV，2000kVA， $U_k\%=6$ ，Dyn11。

保护装置的选型：选国电南瑞或国电南自等国内名牌厂家生产的微机自动化电气保护系统，包括自动化监控系统、通讯管理系统、测控装置等，在全国各大中小型电厂都曾经应用，设计先进质量可靠的产品。

### 5.12.4 直流系统

根据直流负荷估算，本期工程选择直流系统输入额定电压为 380V、输出额定电压为 220V，电池容量为 500Ah 的 1 套全封闭免维护铅酸蓄电池组成的成套直流装置，为

全厂的继电保护、自动装置、UPS、控制、信号、通讯、事故照明和发电机事故油泵直流电机等提供直流电源。

### 5.12.5 控制系统及继电保护

#### 5.12.5.1 调度自动化部分

##### 1、调度关系

本生活垃圾焚烧发电厂项目建成后，电站的相关信息通过远动通讯装置传送到当地调度。

本生活垃圾焚烧发电厂项目的远动信息经采集后远传调度。传输规约采用 DL/T634.5101-2002/IEC60870-5-101 规约；同时为满足以后远动信息网络传输的需要，远动装置应能支持 DL/T634.5104 -2002/IEC60870-5-104 规约。

##### 2、信息内容

###### 1) 遥测

- a) 110kV 线路有功功率、无功功率、电流；
- b) 110kV 母线电压、频率；
- c) 发电机有功功率、无功功率、电流、电压、频率；
- d) 各变压器、高压电机有功功率、无功功率、电流、电压。

###### 2) 遥信

- a) 各断路器位置信号；
- b) 所有反映运行状态的刀闸位置信号。

##### 3、电能量计费系统

本生活垃圾焚烧发电厂项目配置一套电能量采集装置，其电能计量计费系统应能满足《电能计量装置技术管理规程》及广东电网相关规程的要求。

电能量的计量关口点和校核点按接入系统报告或当地电力局要求设置，计量装置 PT 为 0.2 级、CT 为 0.2S 级，计量表计为 0.2S 级。

#### 5.12.5.2 控制和保护

##### 1、监控系统

控制室与热控系统合用一个控制室。发电机组、联络线路和厂用电系统的监视、控制、数据采集及保护设备均设于主控室内。汽轮发电机、厂用变压器、联络线、高压出线柜除在配电柜上可进行控制外，均集中在主控制室计算机上进行控制。厂用电动机原

则上在热控 DCS 系统上控制，而在配电柜上及电动机附近设有就地控制设备，供事故及检修时用。计算机控制部分详见自控专业说明。

继电保护均采用微机继电保护，保护装置均设通讯口，可与系统通讯，进行数据交换，将保护的定值，动作次数等送监控系统。

本工程的综合自动化系统可进行如对断路器合闸、分闸遥控操作，备用电源自动投入、继电保护动作的显示、记录，电量的显示、记录，便于分析事故，减少停机的时间，增加经济效益，分清操作责任。

## 2、系统继电保护及安全自动装置

发电机保护：纵联差动保护、复压闭锁过电流保护、过电压保护、定子过负荷保护、负序过流保护、失磁保护、失步保护、逆功率保护、零序过流保护、转子接地保护、匝间短路保护、定子接地保护、励磁回路保护等。

主变保护：纵联差动保护、高低压侧复压闭锁过电流保护、过负荷保护、非电量保护等。

110kV 联络线保护：按照当地供电部门要求设置。

高压电动机保护：两相式电流速断、过电流、过负荷、零序、低电压保护。

低压厂用及备用变压器保护：装设差动、过流、过负荷保护、高温报警超高温跳闸保护。

同期装置：本工程装设一套手、自动同期装置，便于发电机与电网并列运行，提高供电的可靠性。同期点设置在：发电机出口、主变低压侧、母线分段开关、联络线开关。

除 110kV 联络线保护、发电机保护装置、主变保护装置、同期装置、失步解列保护屏、公共测控屏、备自投装置屏、故障录波屏单独组屏外，其它保护均就地安装在高压配电柜上。

### 5.12.6 节能设计

为满足国家对节能减排的要求，降低厂用电率，设计中采取以下节能措施：

本项目所用机电设备均选用国家新型节能产品，变压器采用低损耗、低噪音免维护的树脂绝缘干式节能型变压器。

对引风机、锅炉给水泵等大功率电机，采用变频调速器（采用国际知名品牌如 ABB、西门子或施耐德）以达到更好节能效果。

本工程照明的灯具均选用节能型灯具，光源采用新型的节能灯、日光灯、无极灯等。

## 5.12.7 安全防护设计

### 5.12.7.1 防电伤

防雷击：全厂设置统一的接地网。主厂房、烟囱及各独立建筑物顶采取防直击雷措施；油系统等采取防静电接地措施；电气设备及管道的接地满足有关规定的要求。

带电设备与操作人员间隔防护措施：所有带电设备的安全净距不应小于各有关规程规定的最小值；开关柜均采用封闭式开关柜，符合五防要求；电气设备的外壳应接地或接零。

### 5.12.7.2 安全照明

从安全角度出发，在电厂易造成爆炸、火灾或人身伤亡等严重事故的场所，装设因正常照明系统发生故障，供继续工作或人员疏散用的事故照明，灯具及照度等按符合有关规定的要求设计。

### 5.12.7.3 设置安全标志

按照国家标准设置安全标志和安全标志使用导则，各有危险部位设立安全警示牌，在烟囱的顶部设置航空障碍指示灯。

## 5.12.8 照明与检修设备

正常照明：工作照明电压为 220V，照明和动力在低压配电室分开，按防火分区、功能分区采用树干式、放射式配电。照明线路采用铜芯塑料绝缘电线穿钢管敷设。主厂房采用节能灯具，控制室采用日光灯或光带。

备用照明：在主控室、配电室、继保室等主厂房内重要场所均装设备用照明，照明电压为 220V，由备用直流屏供电，光源采用高光效荧光灯，平时可兼作工作照明，当交流电源断电时，由直流屏逆变装置切至直流电源供电。

检修网络：各车间均装设供检修用的专用回路，供锅炉本体、金属容器检修用的携带式作业灯，其电压应为 12V。检修时采用自携式照明变压器 220/12V 降至安全电压使用。

远离主厂房的重要辅助车间、疏散通道、疏散楼梯处采用自带可浮充蓄电池式应急灯。

## 5.12.9 电缆敷设

主厂房内电缆选用铜芯阻燃聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆和铜芯阻燃聚氯乙烯绝缘编织屏蔽控制电缆；易燃易爆场所选用铜芯阻燃型聚乙烯绝缘电力电缆和铜芯控

制(屏蔽)电缆；消防负荷配电电缆室内共沟或桥架敷设时选用矿物绝缘电力电缆，单独敷设时选用铜芯耐火型电力电缆和铜芯控制(屏蔽)电缆。

室外电缆采用电缆沟敷设。室内电缆采用电缆沟、电缆桥架铺设，局部穿钢管埋地敷设。按有关的规定对上述敷设地点分区域、分机组、分层次进行防火封堵，以确保电缆敷设安全可靠。

## 5.12.10 防雷与接地

### 5.12.10.1 防雷

防直击雷过电压：在烟囱与冷却塔顶装设接闪杆，在建筑物屋面上装设接闪带(网)及利用金属屋面板（钢板厚不小于 0.5mm）作接闪器，利用建筑物的柱内钢筋、烟囱及冷却塔钢爬梯等作引下线，地梁及基础钢筋及人工接地体作接地装置。

在发电机机端、主变高低压侧、110kV 母线、0.4kV 低压进线母线侧和各就地照明、动力配电箱上相应装设各级避雷器，作为设备防雷电过电压和操作过电压的保护装置。

### 5.12.10.2 接地

本期 110kV 系统采用中性点直接接地方式，10kV 系统采用中性点不接地方式，变配电室采用独立的人工接地方式，其工作接地、保护接地、防静电接地、防雷接地共用同一接地网，接地电阻要求不大于 1.0Ω。

发电机中性点通过避雷器接地，厂用变压器 0.4kV 侧中性点直接接地、0.4kV 系统采用 TN-S 接地型式。

电厂内所有电气设备（电机，变、配电装置等）的外露可导电部分，金属屋架、金属管道等所有金属构件应可靠接地或等电位连接；厂用变压器中性点、重要设备及设备构架等应有两根与主接地网不同地点连接的接地引下线。

全厂采用综合接地系统方式，工作接地、保护接地、防静电接地、防雷接地共用同一接地网，接地电阻要求不大于 1.0Ω。

### 5.12.11 电信

为满足生产管理、行政联系及生产联络的需要，设立全厂电话网。电话网连通行政办公、生产车间及其它职能部门，并与市话接通。

厂区电话网的施工图设计，委托电信部门负责。

## 5.13 自动控制系统

### 5.13.1 设计依据

- 1) 《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》(CJ90-2009);
- 2) 《火力发电厂可行性研究报告内容深度规定》(DL/T5375-2008);
- 3) 《小型火力发电厂设计规范》(GB50049-2011);
- 4) 《火力发电厂热工控制系统设计技术规定》(DL/T 5175-2003);
- 5) 《生活垃圾焚烧厂评价标准》(CJJ/T137-2010)。

### 5.13.2 设计范围

本期工程规模为: 2 台 750t/d 炉排炉、1 台 35MW 凝汽式汽轮发电机组及相应热力系统、烟气处理、化学水处理系统等有关热工控制系统设计,同时预留 1 台 750t/d 炉排炉和 1 台 15MW 凝汽式汽轮发电机组的二期扩建规模。

### 5.13.3 中央控制室及电子设备间

中央控制室位于主厂房 7.0m 层, 靠近锅炉房和汽机房, 与汽机运转层为同一标高。与中央控制室相邻且在同一标高的还有电子设备间、工程师室。电子设备间主要布置 DCS 机柜、ETS 柜、TSI 柜、电源柜等设备。电子设备间下层设电缆夹层。

### 5.13.4 控制方式

根据垃圾发电厂工艺流程和运行特点, 以及设备的配置情况, 采用以下控制方式:

(1) 在中央控制室, 采用一套 DCS 对 2 台炉排垃圾焚烧炉、1 台汽轮发电机组及相应热力系统、烟气处理系统进行集中监视和控制,同时预留一炉一机的扩建位置。在中央控制室内以彩色 LCD/键盘作为主要的监视和控制手段, 实现炉、机、电统一的监视与控制, 还设有紧急按钮, 以便在 DCS 全部故障时, 能进行紧急停炉、停机操作, 并使炉内垃圾燃烬。在控制室设置有工业电视, 可对全厂重要区域进行监视。

(2) 对厂内一些相对独立的辅助系统, 如烟气处理系统、化学水处理系统等, 在就地设有独立的控制设备和人机操作接口, 用于调试、启动和异常时在就地进行监视和操作。为实现正常运行时无人值守, 采用通讯接口方式或将辅助控制系统的上位机远距离设在中央控制室方式, 在中央控制室进行监视和操作。

### 5.13.5 控制水平

- (1) 垃圾电厂的运行有以下特点:

- a) 在正常运行和启停过程中，均应使垃圾焚烧充分，达到全量燃烧。
  - b) 在燃烧过程中对有关参数进行调节，使烟气及废料的排放达到满足环境保护标准要求。
  - c) 当燃烧线因故非正常停运时，由于炉内垃圾仍能自燃一段时间，需维持锅炉的汽水循环，防止水冷壁等受热面过热变形。
  - d) 要求高可靠性和安全性，保证焚烧炉长期安全稳定运行。
  - e) 充分利用余热发电，提高运行经济性。
  - f) 改善运行人员工作条件，减少现场操作监视人员，提高运行管理水平。
- (2) 自动化水平如下：
- a) 除机组启动前的准备工作和垃圾卸投料及灰渣输送控制外，整套机组启动、停止、正常运行和事故处理均能在中央控制室内通过LCD及鼠标、键盘完成。
  - b) 辅助车间正常运行时实现无人值班。
  - c) 中央控制室内设5名运行值班人员，（机组及辅助车间启停及运行工况中的少量现场操作由3名巡视人员配合完成），实现全厂的运行控制管理。
  - d) 机组设计有较完善的模拟量控制系统（MCS），主辅机保护、联锁及以功能子组为主的顺序控制（SCS），能满足机组安全、经济运行的需要。

### 5.13.6 控制系统的总体结构

本工程控制系统主要由以下几大部分组成：

- (1) 分散控制系统（DCS）
- (2) 烟气处理系统；（DCS）
- (3) 炉排控制系统（ACC）；（独立系统，与DCS通讯交换信号）
- (4) 点火及辅助燃烧器系统；（独立系统，与DCS通讯和硬接线交换信号）
- (5) 锅炉吹灰控制系统；（独立系统，与DCS通讯和硬接线交换信号）
- (6) 化学水处理系统；（独立系统，与DCS通讯交换信号）
- (7) 污水处理系统；（独立系统，与DCS通讯交换信号）
- (8) 汽轮机控制系统（DEH）；（独立系统，与DCS硬接线和通讯交换信号）
- (9) 汽轮机紧急跳闸系统（ETS）；（独立系统，与DCS硬接线交换信号）
- (10) 汽轮机安全监视仪表（TSI）；（独立系统，与DCS硬接线交换信号）
- (11) 工业电视监视系统、常规仪和必要的后备操作设备（如开关等）
- (12) 就地监视仪表及控制设备

其中(3)~(10)项随主设备供货。

### 5.13.7 控制系统配置

分散控制系统（DCS）由控制站、通讯总线、人机接口设备（包括运行人员站及工程师站）等三部分构成。

(1) 控制站实现对工艺过程的数据采集（DAS）、闭环控制（MCS）、开环顺序控制（SCS）及连锁保护等功能。控制站功能分散，控制器均按冗余配置。

(2) 通讯总线完成各站之间的数据通讯，实现数据共享，亦采用冗余配置。

(3) 操作员站和大屏幕是运行人员与控制系统的主要人一机接口，根据 DCS 的监控范围，设置 5 台操作员站。每台操作员站都是冗余通讯总线上的一站，带有独立的冗余通讯处理模块与冗余通讯总线连接，任何显示和控制功能均能在任一操作员站上完成，即任一操作员站的故障不会导致失去人一机接口功能。

(4) 工程师站主要用于控制策略的组态和修改及参数的重新整定（设定值的整定由操作员站完成），投入运行后工作量很小，只需设置 1 台。

(5) 人一机接口设备的配置

a. 操作员站及显示器(LCD)/键盘	5 套
b. 记录打印机	1 台
c. 彩色图形打印机	1 台
d. 工程师工作站	1 套
e. 值长站	1 套
f. 历史数据站	1 套

随主设备成套提供的独立控制系统，通过通讯接口与 DCS 连接，拟作为 DCS 的一个控制站，可在操作员站对其进行监控，并实现数据共享。与 DCS 系统通讯的独立控制系统和设备有：

- a) 垃圾吊控制系统
- b) 化学水处理系统；
- c) 污水处理系统。

DCS 的监视控制范围包括以下内容：

- a) 燃烧系统（包括炉排系统、余热锅炉、风机系统、烟气净化系统等）
- b) 热力系统（包括除氧给水系统、疏水系统、蒸汽系统、循环系统等）
- c) 汽轮发电机组系统

- d) 循环水系统
- e) 燃油系统
- f) 发电机—变压器组
- g) 厂用电系统

### 5.13.8 烟气在线监测系统（CEMS）

在每条焚烧线烟气出口处各设置一套烟气在线监测设备，在线监测烟气的流量、温度、压力、湿度、氧浓度、粉尘、氯化氢（HCL）、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、一氧化碳（CO）、氟化氢（HF）、二氧化碳（CO<sub>2</sub>）等参数，数据可以通过通讯接口与环保部门联网，方便政府在线监督管理。同时CEMS系统能与DCS或SIS系统连接，实现远方监测。

另CEMS所有数据传至厂房大门口的户外大屏，公布烟气实时排放值，以便社会公众监督。

### 5.13.9 SIS 和 MIS

根据项目要求预留 DCS 与监控信息系统（SIS）和管理信息系统（MIS）的接口。

SIS 主要功能有：生产过程信息采集、处理和监视；机组经济性能计算、分析和操作指导；运行调度；工艺设备状态监测和故障诊断；控制系统优化和故障诊断；机组在线试验；发电厂远程技术服务网络的连接。

MIS 主要功能有：生产管理；设备管理；供应管理；财务管理；辅助管理；办公自动化等。

## 5.14 建筑结构

### 5.14.1 主要设计依据

本设计系根据工艺等各专业提供的技术条件，以及国家、行业及地方现行相关设计规范、标准及规定和招标文件提供的相关数据。依据的主要规范如下：

- 1) 《工业企业总平面设计规范》（GB50187-2012）
- 2) 《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》（CJJ90-2009）
- 3) 《建筑设计防火规范》（GB 50016-2014）
- 4) 《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229-2006）
- 5) 《建筑地面设计规范》（GB50037-2013）

- 6) 《建筑采光设计标准》(GB50033-2013)
- 7) 《工业企业设计卫生标准》(GBZ1-2010)
- 8) 《工业企业噪声控制设计规范》(GB/T 50087 -2013)
- 9) 《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB50046-2008)
- 10) 《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)
- 11) 《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)
- 12) 《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)
- 13) 《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)
- 14) 《公共建筑节能设计标准》(GB 50189-2015)
- 15) 《无障碍设计规范》(GB 50763-2012)
- 16) 《民用建筑设计通则》(GB 50352-2005)

#### 5.14.2 建筑设计

全厂新建、构筑物主要由主厂房，主厂房附屋、烟囱、坡道、综合水泵房、生产水池、冷却塔、油罐区、渗沥液处理站、综合楼、门卫室、地磅房、地磅等组成。

主厂房/主厂房附屋/烟囱作为全厂的核心标志性建筑物，建筑造型设计时，充分考虑垃圾生产工艺的功能需要，以简洁、实用、高效的形象，体现工业建筑的韵律、简练和美感。在建筑材料的选用上采用性能优良的节能、环保型建材。

##### 1) 功能组成

主厂房、主厂房附屋及烟囱为一体化布置，主厂房包括垃圾卸料大厅、垃圾池、锅炉间、烟气净化设备及其它一些设备用房；主厂房附屋包括汽机间、综合车间。

建筑总长为 179.7m，总宽为 122.5m，主要采用钢筋混凝土柱和轻钢屋面、网架屋面结构。

##### (1) 垃圾卸料大厅

垃圾池外侧为封闭式垃圾卸料大厅，垃圾卸料大厅标高 8.0 米，现浇钢筋混凝土结构，轻钢屋面。在垃圾卸料平台下布置了化水控制室、药品储藏间、空压机房等。

##### (2) 垃圾池

垃圾池采用现浇钢筋混凝土全封闭结构，现浇钢筋混凝土柱，屋面为轻钢屋面，预制钢筋混凝土吊车梁。垃圾池底部夯实后预置防水垫层，底部及四周采用钢筋混凝土浇注，四角及构筑物接合处采用防水水泥进行防渗处理。

垃圾池采用半地下形式，底部标高-6.000 米，顶部标高约 46.5 米，垃圾池设计具

有足够的强度，支撑池中垃圾的重量以及来自池外部的压力。四周采用钢筋水泥加强，并且采用防水技术，避免将渗沥液泄漏到地下水中去，也避免高水位的地下水影响垃圾池，垃圾渗沥液由沟收集排入渗沥液池。

### (3) 锅炉间

锅炉间采用现浇钢筋混凝土柱，楼板结构，锅炉间配标高约 46 米高的网架屋面。

### (4) 汽机间

汽机间布置在主厂房东北端。结构为现浇钢筋砼结构，轻钢屋面，生产火灾危险性属丁类，建筑耐火等级为二级。

### (5) 综合车间

综合车间（中央控制室、电子间、各配电室等），二层建筑，结构为现浇钢筋砼结构，生产火灾危险性属丁类，建筑耐火等级为二级。

### (6) 烟囱

烟囱为多管集束式烟囱，高度暂定 80 米（最终以环评批复为准），每根烟筒出口直径 2.3 米。

## 2) 功能布局及交通组织

(1)平面布局及功能分区：建筑设计紧密配合生产流程展开布局，将主厂房、主厂房附屋、办公区有机地连为一体。

### (2)主厂房、主厂房附屋、办公区内部交通组织

主厂房、主厂房附屋与办公区按生产工艺人员流动的要求分为三大交通系统：垃圾输送系统(物流)；生产、维护人员系统(人流)和垂直交通系统。

#### a) 垃圾输送交通系统

外部垃圾输送交通系统主要围绕卸料大厅组织。利用室外输送坡道，垃圾运输车进入车间垃圾卸料平台，将垃圾倒入垃圾池内；空车沿原路线返回。

#### b) 人员交通系统

工作人员可从各个疏散楼梯、疏散口进入主厂房、主厂房附屋，也可进入办公区后通过参观走廊进入主厂房、主厂房附屋。

#### c) 垂直交通系统

主厂房、主厂房附屋与综合楼的垂直交通由电梯和疏散楼梯组成，能够同时满足人流、物流的竖向运输要求和防火要求。内部设备操作人员同时也可利用设备自带的钢楼梯及平台流动。

### 3) 建筑造型

主厂房、主厂房附屋是全厂的核心建筑，建筑造型设计既要符合实际功能要求，又要突出自己的特点，营造新时代的工业建筑风格。

设计上以经济、实用、美观、现代为指导思想。良好的设计思想、先进的设计理念是整个设计的基础。通过对建筑形式的选择、色彩的搭配和现代材料的运用，使整个外观、体形丰富，层次分明，虚实对比强烈，体现了现代工业建筑稳重而不失活泼，大气而不失细腻的特点。

厂房的体型设计上，严格根据工艺专业提出的功能要求，做到形式追随功能，从而使空间得到最合理的利用。体型简洁，颇具工业建筑的特点。将体量各不相同的体块融合到一起，并考虑各体块的比例尺度，使整个建筑造型高低错落有致，变化丰富，比例协调。

主厂房部分的建筑设计充分结合内部空间的使用和功能，垃圾卸料部分在满足采光的同时尽可能少开窗，垃圾池部分外墙基本为实体墙，仅通过屋顶采光，以形成更好的密闭空间，防止垃圾臭味溢出。由于厂房高度变化较多，汽机厂房和综合楼设计力求简洁、统一。

建筑整体色调清新，活泼，削弱了高大工业建筑的厚重感，使建筑与人更亲近，突出了以人为本的设计理念。

### 4) 主要技术措施

(1) 外墙：工业建筑外墙主要采用页岩烧结多孔砖，响应国家政策；另外一种外墙材料是压型钢板，局部铝板，能体现工业建筑特点的同时又可以缩短施工周期，并是一种可循环使用的建筑材料。

外墙上有条件处开窗以取得良好的自然通风效果，局部使用机械通风措施以补偿，满足日常使用要求。

(2) 内墙：主厂房等工业建筑内墙主要采用页岩烧结多孔砖，局部有保温和隔声要求的房间则采用蒸压加气混凝土砌块。其它综合楼，门卫等民用建筑采用蒸压加气混凝土砌块。

(3) 楼地面：楼板采用现浇钢筋混凝土板。根据各专业不同功能的要求，楼地面面层分别采用抛光地砖、防静电活动地板、环氧砂浆地面、普通水泥地面等，有水的房间楼地面设防水层。垃圾池底板及侧壁内表面采用防腐蚀材料。

(4) 装修：压型钢板的外墙面为自清洗保洁型，宜于清洁整理，缩短施工周期。砌

体外墙采用外墙涂料，颜色与金属板色彩取得对比统一。内墙面喷刷耐擦洗内墙涂料，厕所、浴室等处墙面贴瓷砖。门窗的选择根据位置和使用性能的不同，采用密闭门、防火门、隔声门、木门、钢门、铝合金门和密闭窗、节能铝合金窗、不锈钢窗等。

屋面及防水：主厂房屋面承重构件采用轻钢屋面或网架，结合造型处理，形成工业建筑独特的建筑风格；屋面板选用耐久性能不小于 20 年的保温隔热复合压型彩钢板，彩钢板厚不小于 0.6mm，其热工、防水性能好。综合楼：屋面：采用现浇钢筋混凝土板，建筑找坡，挤塑聚苯乙烯泡沫塑料板保温层，SBS 改性沥青卷材防水层；外墙：采用岩棉玻璃棉保温，刷防水腻子两道。其它建筑：屋面：现浇钢筋混凝土板，结构找坡，SBS 改性沥青卷材防水层；外墙：采用岩棉板保温，刷防水腻子两道。

### 5.14.3 结构设计

#### 5.14.3.1 设计依据

- |                         |              |
|-------------------------|--------------|
| 1) 《建筑结构可靠度设计统一标准》      | GB50068-2001 |
| 2) 《建筑结构荷载规范》           | GB50009-2012 |
| 3) 《建筑抗震设计规范》2016 年局部修订 | GB50011-2010 |
| 4) 《建筑地基基础设计规范》         | GB50007-2011 |
| 5) 《混凝土结构设计规范》          | GB50010-2010 |
| 6) 《钢结构设计规范》            | GB50017-2003 |
| 7) 《冷弯薄壁型钢结构设计规范》       | GB50018-2002 |
| 8) 《建筑桩基技术规范》           | JGJ94-2008   |
| 9) 《冷轧带肋钢筋混凝土结构技术规范》    | JGJ95-2003   |
| 10) 《建筑地基处理技术规范》        | JGJ79-2012   |
| 11) 《给水排水工程构筑物结构设计规范》   | GB50069-2002 |
| 12) 《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》    | CJJ90-2009   |
| 13) 《动力机器基础设计规范》        | GB50040-96   |
| 14) 《烟囱设计规范》            | GB50051-2013 |
| 15) 《网架结构与施工规程》         | JGJ7-91      |
| 16) 《小型火力发电厂设计规范》       | GB50049-2011 |
| 17) 《工业建筑防腐蚀设计规范》       | GB50046-2008 |

#### 5.14.3.2 主要设计参数

- (1) 基本风压、雪压

根据《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012),参考汕头市(50年)的基本风压为 $0.80\text{kN/m}^2$ ,基本雪压为 $0.00\text{kN/m}^2$ ,本工程暂按此参数设计,后续设计时再与当地建设部门确认后采用。本工程场地地面粗糙度为B类。

### (2) 抗震设防烈度

根据《建筑抗震设计规范》GB50011-2010(2016年局部修订版),广东省汕头潮阳抗震设防烈度为7度,设计基本地震加速度值为 $0.15g$ ,设计地震分组为第一组。

### (3) 其他设计参数

结构的安全等级	二级
设计使用年限	50年
抗震设防类别	丙类
地基基础设计等级	乙(主车间)、丙级
混凝土结构的环境类别: 地下结构	二b类
地上结构	一类
垃圾池	按五类设计
垃圾抓斗桥式起重机额定起重重量	220kN, A8级工作制
汽轮机发电间桥式起重机额定起重重量	320/50kN, A5级工作制
垃圾卸料平台活荷载取值为:	25 kN/m
中央控制室活荷载:	6 kN/m <sup>2</sup>
电子、继保室活荷载:	5 kN/m <sup>2</sup>
电缆夹层活荷载:	4 kN/m <sup>2</sup>

其它相关活荷载标准值按建筑结构荷载技术规范和工艺专业要求执行。

#### 5.14.3.3 概述及结构选型

结构选型首先考虑满足工艺要求,在结合以往设计经验基础上,同时考虑安全适用和施工方便,缩短土建施工周期并注意节约投资。

本工程主要建(构)筑物有:主厂房、主厂房附屋、烟囱、坡道、综合水泵房、冷却塔、油泵房、埋地油罐、地磅房、门卫室、综合楼、渗滤液/污水处理站等。其中主厂房由垃圾卸料大厅、垃圾池、锅炉间、烟气净化间和综合车间等部分组成。

其中垃圾卸料大厅、垃圾池、汽机间考虑承重及使用功能要求,主体结构采用现浇钢筋混凝土框排架结构,屋面则考虑跨度大和高度因素,采用轻钢结构系统。其中,垃圾池和汽机间屋面分别考虑其密闭性、维护和美观等要求,拟采用实腹钢大梁或钢网架

+薄壁型钢檩条+彩钢板结构体系；锅炉间和烟气处理间的围护结构拟采用钢格构柱和钢网架屋面结构体系（墙体和屋面均采用彩钢板）。钢格构柱截面形式一般采用三角形或四方形，具有双向良好的稳定性，柱网布置相对灵活。经分析比较这种形式相对较为经济，外表美观，更加适合本工程的实际情况、并能满足使用要求，且设备、管线布置也更加方便。

在不影响使用的前提下，在主厂房与附屋之间设置一道变形缝，垃圾池考虑防水、防渗问题不便设缝，超长结构措施拟采用混凝土添加微膨胀剂和工程纤维，留设两道加强带（无缝施工），另加设温度钢筋来抵抗温度应力。

垃圾池的防腐问题从两个方面加以解决：一是采取结构措施,如增加钢筋混凝土结构保护层厚度、混凝土内添加防裂膨胀剂和工程纤维等方法，二是采取外防护措施，如在垃圾池表面分区域做五布七油或三布五油重防腐面层等。

垃圾卸料平台的表面主要需要解决耐磨和防腐问题。设 30-50mm 磨损层及表面金刚砂耐磨层，要求施工时一次成型，初凝前撒金刚砂用机械打磨起浆压光，再涂环氧树脂防腐漆。坡道在混凝土面层做透层沥青和粘层沥青各一道后，铺设 50 厚沥青混凝土面层。

由于垃圾池较深，设计时须根据详细地质报告中的地下水抗浮设计水位情况考虑垃圾池的抗浮问题。可以在垃圾池下设一定数量的抗浮桩、增加配重或其他方法来解决垃圾池的整体和局部抗浮问题。

汽轮发电机基座采用独立钢筋混凝土框架结构形式，与主厂房附屋主体结构脱离，基础采用整体性好的筏板基础或桩筏基础，增强自身刚度又减小对主体结构的影响。面板四周与厂房楼面完全脱开，以免因振动影响厂房的正常使用。汽机基础面板采用整板暗梁结构保证汽机设备的动力性能，面板同时保证一定的厚度重量和配筋来抵抗汽机设备转子的挠力影响。

烟囱高约 80m，考虑防腐蚀问题拟采用套筒式结构。矩形钢筋混凝土外壁用以抵抗水平风力等，内设圆形钢烟囱分段固定于外筒，内筒仅仅考虑烟气排放要求即可。钢内筒壁涂刷耐酸耐热防腐涂料并设保温措施。烟气控制室可设于烟囱底部才或侧面。

坡道、冷却塔、综合水泵房、综合楼、门卫室、油泵房、地磅房拟采用钢筋混凝土框架结构；油罐区、地磅、渗滤液处理站采用现浇钢筋混凝土结构。

#### 5.14.3.4 建筑物分类及抗震等级

表5-27 主要建筑物抗震类别及抗震等级

建构筑物名称	建筑抗震类别	结构型式	设防烈度	抗震等级
主厂房	丙	钢筋混凝土框排架	7	二
主厂房附屋	丙	钢筋混凝土框排架	7	三
烟囱	丙	钢筋混凝土筒体	7	二
坡道	丙	钢筋混凝土框架	7	三
综合水泵房	丙	钢筋混凝土及框架	7	三
冷却塔	丙	钢筋混凝土框架	7	三
油泵房	丙	钢筋混凝土框架	7	三
地理油罐	丙	钢筋混凝土		
地磅房	丙	钢筋混凝土框架	7	三
地磅	丙	钢筋混凝土		
门卫室	丙	钢筋混凝土框架	7	三
综合楼	丙	钢筋混凝土框架	7	三
渗滤液/污水处理站	丙	钢筋混凝土		

#### 5.14.3.5 地基基础

由于本工程现阶段尚未进行工程地质详细勘察，根据以往工程经验，并结合各建（构）筑物具体情况，暂分为几类进行设计。

1) 主厂房、主厂房附屋、烟囱主要建（构）筑物由于柱底内力较大，相对于本工程的重要性高，对沉降较为敏感，因此拟考虑采用桩基础形式。锅炉基础、汽机基础亦考虑采用桩基础。

2) 对于厂区内的其他建、构筑物、设备基础等，由于柱底内力相对较小，则视其重要性、对沉降的敏感性，视地质情况的好坏，分别采用天然地基基础或人工处理地基基础，具体基础形式需待详细勘探后再确定，使工程基础设计更符合实际情况，更安全经济。

3) 厂房地坪、道路按允许使用荷载情况对地基分别进行处理，以满足承载力和变形要求。

4) 如果厂区平整后出现边坡支挡工程，应在设计之前，进行专门的边坡勘查，对厂区地貌、基岩面形态坡度、地下水地表水情况、岩土的物理力学性质、软弱结构面抗剪强度、边坡的整体稳定性等进行说明和评价。大型边坡应对边坡变形、地下水动态、

岩石风化情况布置监测点，定期进行监测。

建议场地平整结合边坡支护、场地管线预埋等综合考虑，尽量同时施工，减少二次开挖，节约工期和造价。

垃圾坑开挖采用放坡时，基坑周边应做好防水、排水和降水工作，以防地表水影响基坑稳定性；基坑内应设置集水井及排水沟排水，防止上层滞水浸泡基坑底板降低地基承载力。垃圾坑开挖时需注意对周围成桩进行保护。

#### 5.14.3.6 主要建筑材料

钢材	采用 Q235 和 Q345 钢
钢筋	采用 HPB300 和 HRB400
水泥	不低于 42.5MPa 普通硅酸盐水泥
机制砖	等级不低于 MU10

### 5.15 通风空调

#### 5.15.1 设计依据和范围

- 1) 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019-2015)；
- 2) 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50736-2012)；
- 3) 《小型火力发电厂设计规范》(GB50049-2011)；
- 4) 《工业企业设计卫生标准》(GBZ1-2010)；
- 5) 《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》(CJJ90-2009)；
- 6) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)；
- 7) 《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014)；
- 8) 《恶臭污染物排放标准》(GB14554-1993)；
- 9) 《建筑设计防火规范》(GB50016-2014)；
- 10) 《公共建筑节能设计标准》(GB50189-2015)；
- 11) 《电子计算机房设计规范》(GB5017-1993)；
- 12) 《火力发电厂供暖通风与空气调节设计技术规程》(DL/T5035-2004)。

设计范围：主厂房及附屋的通风、空调工程的设计。

#### 5.15.2 设计原始资料

##### 5.15.2.1 汕头市室外气象资料

冬季通风室外计算温度：13.8℃

冬季采暖室外计算温度:	9.4℃
冬季空调室外计算温度:	7.1℃
夏季空调室外计算干球温度:	33.2℃
夏季空调室外计算湿球温度:	27.7℃
夏季通风室外计算温度:	30.9℃
冬季空调室外计算相对湿度:	78%
夏季空调室外计算相对湿度	72%
冬季大气压力:	1020.2hpa
夏季大气压力:	1005.7hpa

### 5.15.2.2 主要房间室内冬夏季温湿度的要求

表5-28 主要房间室内夏季温湿度的要求

房间名称		夏季		备注
		温度℃	相对湿度%	
(一) 主 厂 房	1.汽机房			
	2.锅炉房			
	3.除灰间			
	4.汽水取样间(干盘)	≤30		
	5.各类就地值班室	≤35		
	6.化学加药间			
(二) 电 气 控 制 楼 、 电 气 建 筑	1.中央控制室	26±1	60±10	
	2.电子间、继电室	26±1	60±10	
	3.工程师室	26±1	60±10	
	4.变压器间	≤45		
	5.厂用配电装置室	≤35		
	6.出线小室	≤40		
	7.电缆夹层	≤40		
	11.电梯机房	≤40		
(三) 化 学 建 筑	1.化水处理间			
	2.化水控制室	26±1	60±10	
	3.化验室	26±1	60±10	
	4.药剂室			
	5.其他生产办公室	≤30		
(四) 生 产 辅 助	1.烟气净化设备间			
	2.飞灰固化车间			
	3.引风机室			
	4.空压站			

	房间名称	夏季		备注
		温度℃	相对湿度%	
建筑	5.各类水泵房			
	6.各类库房			
	7.卸料大厅			
	8.烟气检测室	26±1	60±10	按工艺要求、当地标准设空调
	9.实验类建筑			
	10.各类修配类建筑			
(五)其他福利建筑	1.各类楼梯间			
	2.浴室			
	3.卫生间			
	4.办公室			按当地标准设空调
	5.宿舍			

### 5.15.2.3 空调通风对建筑围护结构的热工要求

各空调房间建筑围护结构 K 值，根据节能规范规定如下：

屋面： $K \leq 0.9 \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$

外墙： $K \leq 1.5 \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$

内墙和楼板： $K \leq 2.0 \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$

门： $K \leq 2.0 \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$

窗： $K \leq 3.0 \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$

### 5.15.2.4 水、电、冷、热的来源和参数

-----水源接自厂区生产用水供水管网，水压 0.2MPa；

-----电源来自厂区变电所，3N/380V；

-----冷源由设备自配；

表5-29 夏季各建筑物通风表

建筑物名称	换气次数（次/h）	气流组织
垃圾池	1-1.5	自然进风、机械排风
锅炉房、汽机间	根据设备发热量计算	自然进风、汽楼排风
高、低压变频器间	25	自然进风、机械排风
渗滤液沟、池	12	机械进风、机械排风
110KV 配电房	18	机械进风、机械排风
10KV 配电房	18	自然进风、机械排风
电缆夹层	6	自然进风、机械排风
卫生间	12	自然进风、机械排风
空压机房	8	自然进风、机械排风
化水处理间、锅炉给水泵间	6	自然进风、机械排风
其他需要通风的工艺车间，如机修间、燃料分析间等	6	自然进风、机械排风

### 5.15.3 设计方案

本工程的通风、空调工程按要求分别设置全面通风、局部空调系统，下面就各车间的通风空调分述如下：

#### 5.15.3.1 通风

采用全面通风方式进行通风换气，以保证车间内的环境温度符合《工业企业卫生标准》（GBZ1-2002）的要求，各生产工段分述如下：

1) 110KV 配电室设置机械排风系统，配电室的换气次数为 18 次/h，侧墙的低窗或孔洞自然进风。

2) 化学水处理间等其他需要通风的工艺车间设置机械通风系统，侧墙的低窗自然进气，换气次数为 6 次/h。

3) 加药间在侧墙设置机械排风，侧墙的低窗自然进气，换气次数为 15 次/h。

4) 污水泵房、渗滤液沟、渗滤液池的通风，为排除污水的浊气，设置排风装置，将浊气排至垃圾池统一处理；污水泵房、渗滤液沟、渗滤液池采用机械进风和机械排风，新鲜空气由室外吸取，排风排至垃圾池。污水泵房、渗滤液沟、渗滤液池的换气次数为 12 次/h。

5) 电缆夹层设置机械通风系统，侧墙的低窗自然进气，换气次数为 6 次/h。

6) 出线小室在侧墙设置轴流风机排风，侧墙的低窗自然进气，换气次数为 15 次/h。

7) 空压机间在侧墙设置轴流风机排风，侧墙的低窗自然进气，换气次数为 8 次/h。

空压机选用水冷型。

8) 机修间、化验间等通过设置管道离心式风机排风,侧墙的低窗自然进气,各房间的换气次数为 6 次/h。

9) 卫生间的排风由排气扇排往大气,低窗进气,换气次数为 12 次/h。

10) 高低压变频器间设置机械通风系统,侧墙低窗自然进气,换气次数为 25 次/h。

### 5.15.3.2 主厂房及附屋空调

主厂房的中央控制室、继保室、电子间、工程师室、休息室等采用一套变制冷剂流量多联分体式冷暖空调机组;主厂房办公室、化验室、垃圾吊机控制室、烟气检测室等采用一拖一分体冷暖空调机,根据需要独立启停,方便使用和管理。各配电房采用一拖一分体式单冷空调机。

### 5.15.3.3 生产辅助建筑、厂区公共福利建筑的通风与空调

生产辅助建筑、厂区公共福利建筑包括综合水泵房、油泵房、地磅房、门卫室、综合楼等。

#### 1) 通风

综合水泵房在侧墙设置轴流风机排风,侧墙的低窗自然进气,换气次数为 6 次/h。卫生间的排风由排气扇排往大气,低窗进气,换气次数为 12 次/h。

#### 2) 空气调节

生产辅助建筑、厂区公共福利建筑空调房间采用一拖一分体单冷空调机。

### 5.15.3.4 通风空调节能系统

1) 选用的分散式房间空气调节器符合国家标准《房间空气调节器能效限值及能源效率等级》(GB12021.3)和《转速可控型房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》(GB21455)中规定的节能型产品。

2) 锅炉间,汽机房优先利用自然通风方式换热。

3) 空气调节系统的冷水管的绝热厚度,按国家现行标准《设备及管道绝热设计导则》GB/T8175 中的经济厚度和防止结露的保冷层厚度的方法计算。

4) 空气调节风管绝热层的最小热阻按下表选用:

**表5-30 风管最小热阻表**

风管类型	最小热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )
一般空调风管	0.81

## 5.16 二期工程预留

本项目的主厂房土建工程、渗沥液处理站土建工程、公用设施等建设内容在本期工程中一次性建成，预留二期工程设备安装基础。本期工程建设内容中的二期预留情况详见下表。

表5-31 二期预留统计表

序号	系统名称	二期预留
1	建筑工程	主厂房土建工程、渗沥液处理站土建工程、公用设施等建设内容在本期工程中一次性建成，预留二期工程设备安装基础
2	燃料接收、贮存及输送系统	主厂房土建工程在本期工程中一次性建成，垃圾池、卸料大厅、垃圾吊车、地磅等设施可满足二期工程使用需求
3	燃料系统	预留二期工程焚烧炉安装位置。辅助燃油设施一次性建成，预留二期工程输油管道接口
4	热力系统	预留二期工程余热锅炉安装位置。预留二期工程汽轮发电机组扩建场地
5	烟气净化系统	预留二期工程烟气净化设施安装位置。预留二期工程烟筒安装位置
6	飞灰稳定化及炉渣处理系统	渣坑及飞灰稳定化设施可满足二期工程使用需求。炉渣吊车及控制室预留二期安装位置
7	锅炉给水处理系统	本期化学水处理采用双系统（一用一备）设置，系统出力可满足二期工程使用需求
8	除臭系统	本期工程一次性建成
9	压缩空气系统	预留二期工程设备安装位置
10	给水排水系统	取水设施本期工程一次性建成。渗沥液处理系统土建工程一次性建成，预留二期工程设备安装位置
11	电气系统	预留二期工程设备安装位置
12	自动控制系统	预留二期工程监控信号端子接口及附加设备安装位置
13	通风空调	主要设施在本期工程一次性建成，预留附加设备安装位置

## 5.17 主要设备清单

本工程的主要设备涉及垃圾接收系统、垃圾进料系统、焚烧炉/余热锅炉系统、烟气处理系统、余热利用系统等，主要设备技术参数见下表。

为保证本工程建设的稳定性、安全性，全厂主要工艺设备应选用国际、国内较好的产品。由于目前国内市场的日益完善，很多国际厂商在国内投资建厂，本项目设备选型时以满足工程需要为前提，主要设备选用国内一流设备（包括外商独资厂、中外合资厂）。

表5-32 主要设备清单

序号	设备名称	性能参数	数量	备注
1	汽车衡	最大称量：60 t	3	
2	垃圾池卸料门	型式：电动垂提 卸料门尺寸：7350×4800mm	8	
3	桥式垃圾抓斗起重机	型式：双梁桥式 起重量：18t	3	
4	垃圾抓斗	型式：电动液压多瓣式 传动方式：液压 抓斗容积：12m <sup>3</sup>	4	
5	焚烧炉/余热锅炉	型式：炉排炉 额定垃圾处理量：750t/d 蒸汽温度：450 °C 蒸汽压力：4.0 Mpa 单台设计点连续蒸发量：76.739t/h 给水温度：130°C 排烟温度：200°C 热效率：81%	2	
6	凝汽式汽轮机	额定功率：35MW 额定转速：3000rpm 额定进汽压力：3.90Mpa(a) 额定进汽温度：435°C 额定进汽量：148.873t/h	1	
7	发电机	额定功率：35MW 功率因数：0.8 额定转速：3000rpm 出线电压：10500 V 励磁方式：无刷励磁	1	
8	反应塔	设计处理能力：~166000Nm <sup>3</sup> /h 进口烟气温度的：200°C	2	
9	布袋除尘器	设计处理能力：~181000Nm <sup>3</sup> /h 进口烟气温度的：150°C 过滤速度：0.80m/min	2	
	布袋滤料	PTFE+ePTFE 覆膜		

## 第6章 环境保护方案

垃圾焚烧厂在垃圾运输、储存、焚烧过程中会产生恶臭、烟尘、残渣、废水、噪声及其它污染物的污染，故本工程在设计中应贯彻执行国家现行的环境保护法规和标准及当地环保的有关规定。

### 6.1 环境现状

本项目厂址为汕头市潮阳区和平镇竹棚医院旧址，位于潮阳区中心位置的山里，距离城区及较远的谷饶镇、金灶镇均约为 15 公里。项目厂址处于山顶深处，周边村民极少。

根据《汕头环境状况公报》（2015 年），汕头市区空气质量良好，环境空气质量指数（AQI）范围在 23~147 之间，AQI 达标天数 342 天。市区环境空气质量日报优的天数为 159 天，良的天数为 183 天，轻度污染的天数为 22 天。

### 6.2 环境保护标准

采用的环境保护标准及规范包括但不限于：

- 1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年）；
- 2) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2005 年 4 月实施）；
- 3) 《中华人民共和国大气污染防治法》（2015 年修订版）；
- 4) 《中华人民共和国水污染防治法》（2008 年修订版）；
- 5) 《中华人民共和国噪声污染防治法》（1996 年）；
- 6) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- 7) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院[1998]253 号令）；
- 8) 《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB18485-2014）；
- 9) 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
- 10) 《污水排入城镇下水道水质标准》（CJ 343-2010）；
- 11) 《恶臭污染物排放标准》（GB14554-1993）；
- 12) 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；

- 13) 《工业企业设计卫生标准》(GBZ1-2010);
- 14) 《危险废物标准鉴别—浸出毒性鉴别》(GB5085.3-2007);
- 15) 《固体废物浸出毒性浸出定方法》(GB 5086.1-1997);
- 16) 《固体废物浸出毒性浸出定方法》(HJ 557-2010);
- 17) 《固体废物浸出毒性浸出定方法》(HJ/T 299-2007);
- 18) 《固体废物浸出毒性浸出定方法》(HJ/T 300-2007);
- 19) 《固体污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》(GB/T16157- 1996);
- 20) 《锅炉烟尘测试方法》(GB5468-91);
- 21) 《工业固体废物采样制样技术规范》(HJ/T20-1998);
- 22) 《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB16889-2008);
- 23) 《危险废物填埋污染控制标准》(GB18598-2001);
- 24) 国务院令(98)第 253 号发《建设项目环境保护管理条例》;
- 25) 国环字(87)第 002 号《建设项目环境保护设计规定》;
- 26) 《污水再生利用工程设计规范》(GB50335-2002);
- 27) 《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014);
- 28) 《欧盟烟气排放标准》(2000/76/EC)。

### 6.2.1 烟气排放标准

根据国内外的垃圾焚烧经验,结合本项目的实际情况和相关标准要求,本项目执行《生活垃圾焚烧处理污染控制标准》(GB18485-2014)及欧盟 EU2000/76/EC 标准,具体排放限值指标如下:

表4-1 烟气净化系统处理后的污染物排放限值

序号	污染物	单位	GB18485-2014	EU2000/76/EC	本项目排放限值	
1	颗粒物	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	30	—	30
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	30	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	20	10	10
2	NO <sub>x</sub>	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	300	—	300
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	400	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	250	200	200
3	SO <sub>2</sub>	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	100	—	100
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	200	—

序号	污染物		单位	GB18485-2014	EU2000/76/EC	本项目 排放限值
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	80	50	50
4	HCl	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	60	—	60
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	60	—
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	50	10	50
5	CO	1 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	100	—	100
		半小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	—	—	
		24 小时均值	mg/Nm <sup>3</sup>	80	—	80
6	汞及其化合物（以 Hg）计（测定均值）		mg/Nm <sup>3</sup>	0.05	0.05	0.05
7	镉、铊及其化合物（以 Cd+Tl 计）（测定均值）		mg/Nm <sup>3</sup>	0.1	0.05	0.05
8	锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物（测定均值）		mg/Nm <sup>3</sup>	1.0	0.5	0.5
9	二噁英		ng TEQ/Nm <sup>3</sup>	0.1	0.1	0.1

注：（1）表中各项标准限值均以标准状态下含 11%O<sub>2</sub> 的干烟气为参考值换算。

### 6.2.2 废水排放标准

厂区生活污水，与生产污、废水一同排入厂区的污水管道后进入厂区污水处理站生 产生活污水调节池，经污水处理系统处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》（GB19923-2005）和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）的有关水质标准后，回用作为厂区绿化用水、道路洒水及循环冷却水补充水。

垃圾渗沥液由垃圾池渗沥液收集池收集，渗沥液提升泵提升输送至厂区渗沥液处理 站集中进行处理，处理出水水质达到《城市污水再生利用-工业用水水质》（GB19923-2005）的有关水质标准和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》标准（GB/T18920-2002）后，回用作为厂区循环冷却水补充水。

### 6.2.3 噪音标准

本项目的噪声来源于冷却塔、综合水泵房、主发电车间、焚烧区及空气预热器等区 域的转动机械振动和气动噪声。

声环境执行国家标准《城市区域环境噪声标准》（GB3096-2008）中的 2 类标准。即 本项目运营期场区边界的声环境达到国家标准《工业企业厂界环境噪声控制标准》（GB12348-2008）中的 2 类标准要求，即昼间等效声级≤60dB（A），夜间等效声级≤50 dB（A）。

施工期场区边界执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的要求。

见下表。

**表6-1 建筑施工场界环境噪声排放限值** 单位：dB (A)

昼间	夜间
70	55

此外，噪声控制还应满足《工业企业设计卫生标准》(GBZ1-2010)、《工业企业噪声控制设计规范》(GB/T50087-2013)规定的限值，见下表。

**表6-2 各类工作场所噪声限值**

工作场所	噪声限值 [dB(A)]
生产车间	85
车间内值班室、观察室、休息室、办公室、实验室、设计室室内背景噪声级	70
正常工作状态下精密装配线、精密加工车间、计算机房	70
主控室、集中控制室、通信室、电话总机室、消防值班室，一般办公室、会议室、设计室、实验室室内背景噪声级	60
医务室、教室、值班宿舍室内背景噪声级	55

注：1 生产车间噪声限值为每周工作 5d，每天工作 8h 等效声级；对于每周工作 5d，每天工作时间不是 8h，需计算 8h 等效声级；对于每周工作日不是 5d，需计算 40h 等效声级；

2 室内背景噪声级指室外传入室内的噪声级。

#### 6.2.4 恶臭控制标准

在垃圾卸料过程、垃圾贮存及渗沥液处理过程中易散发出的厌恶性气味，成分包括硫化氢、氨、甲硫醇等多种物质，主要来源于垃圾中厨余物发酵及垃圾本身产生的异味。

本项目采用建筑隔臭、负压引臭、焚烧解臭、喷淋除臭、吸附脱臭、绿化减臭等措施，使厂界恶臭浓度控制在《恶臭污染物排放标准》(GB14554-1993)厂界标准值中的二级标准，见下表。

表6-3 恶臭污染物厂界标准值

序号	控制项目	单位	一级	二级		三级	
				新扩改建	现有	新扩改建	现有
1	氨	mg/m <sup>3</sup>	1.0	1.5	2.0	4.0	5.0
2	三甲胺	mg/m <sup>3</sup>	0.05	0.08	0.15	0.45	0.80
3	硫化氢	mg/m <sup>3</sup>	0.03	0.06	0.10	0.32	0.60
4	甲硫醇	mg/m <sup>3</sup>	0.004	0.007	0.010	0.020	0.035
5	甲硫醚	mg/m <sup>3</sup>	0.03	0.07	0.15	0.55	1.10
6	二甲二硫	mg/m <sup>3</sup>	0.03	0.06	0.13	0.42	0.71
7	二硫化碳	mg/m <sup>3</sup>	2.0	3.0	5.0	8.0	10
8	苯乙烯	mg/m <sup>3</sup>	3.0	5.0	7.0	14	19
9	臭气浓度	无量纲	10	20	30	60	70

### 6.2.5 飞灰控制

根据《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014)第9.1.2条,焚烧炉渣按一般固体废物处理,焚烧飞灰应按危险废物处理,其他尾气净化装置排放的固体废物按GB5085.3危险废物鉴别标准判断是否属于危险废物,如属于危险废物,则按危险废物处理。

根据《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB16889-2008)第6.3条,生活垃圾焚烧飞灰医疗废物焚烧残渣(包括飞灰、底渣)经处理后满足下列条件,可以进入填埋场填埋处理。

- (1) 含水率<30%;
- (2) 二噁英含量低于3 $\mu$ gTEQ/kg;
- (3) 按照HJ/T300制备的浸出液中危害成分浓度低于下表规定的限值。

表6-4 浸出液污染物浓度限值

序号	污染物项目	浓度限值 (mg/L)
1	汞	0.05
2	铜	40
3	锌	100
4	铅	0.25
5	镉	0.15
6	铍	0.02
7	钡	25
8	镍	0.5
9	砷	0.3
10	总铬	4.5
11	六价铬	1.5
12	硒	0.1

## 6.3 污染物及治理措施

### 6.3.1 废气治理措施

#### 6.3.1.1 废气产生量

拟建项目废气主要是垃圾焚烧时产生的烟气，烟气中主要包含以下几类污染物：①烟尘；②酸性气体，如 NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、HCl 等；③重金属，主要是 Hg、Pb、Cd 及其化合物；④有机污染物，主要是二噁英、呋喃和恶臭。

按处理垃圾的元素分析，焚烧炉锅炉尾部烟气排放量约为 150800Nm<sup>3</sup>/h（单台炉）。

表6-5 垃圾焚烧烟气量及其成分

序号	污染物名称	单位	数值
1	烟气量	Nm <sup>3</sup> /h	~150800
2	烟温	°C	190~205
3	CO <sub>2</sub>	%	~14.0
4	烟尘	mg/ Nm <sup>3</sup>	~8000
5	HF	mg/ Nm <sup>3</sup>	~50
6	SO <sub>x</sub>	mg/ Nm <sup>3</sup>	~550
7	HCl	mg/ Nm <sup>3</sup>	~550
8	CO	mg/ Nm <sup>3</sup>	~50
9	NO <sub>x</sub>	mg/ Nm <sup>3</sup>	~350
10	Hg	mg/ Nm <sup>3</sup>	~5
11	Cd	mg/ Nm <sup>3</sup>	~1
12	Pb+As+Sb+Cu	mg/ Nm <sup>3</sup>	~50
13	PCDD	ng. TEQ/ Nm <sup>3</sup>	~5

### 6.3.1.2 酸性气体的治理措施

氮氧化物在垃圾焚烧时产生，它的形成与炉内温度及空气含量有关，主要成分为 NO，一般在 1200°C 以上开始生成。本工程的燃烧温度控制在 850~950°C，并控制过量空气系数，本项目烟气中氮氧化物排放浓度低于 350mg/Nm<sup>3</sup>，超出国家标准。此外，焚烧炉设置一套 SNCR 炉内脱硝装置，排放的氮氧化物浓度可达到 200mg/Nm<sup>3</sup> 以下。

硫氧化物主要以 SO<sub>2</sub> 的形式存在，由生活垃圾中的硫元素和氧燃烧合成。由于垃圾中的含硫量很低，属低硫分燃料，硫氧化物排放量较低，烟气中 SO<sub>2</sub> 经半干法反应塔系统及干法管道喷射的石灰中和后，其排放浓度低于允许标准。

氯化氢主要来自垃圾中含有卤化聚合物（如 PVC 塑料）和带无机盐的厨余类物质，在焚烧过程中，这些物质会分解反应生成氯化氢气体。烟气中氯化氢经半干法反应塔系统的石灰中和处理后，其排放浓度低于允许标准。

一氧化碳是由于垃圾中有机可燃物不完全燃烧产生的。本工程中焚烧炉的燃烧温度、过量空气量及烟气与垃圾在炉内的滞留时间，足可保证垃圾完全燃烧，可使产生的废气中的 CO 符合排放标准，不必经过特殊处理。

### 6.3.1.3 颗粒物的治理措施

与其他固体物质的燃烧一样，生活垃圾在焚烧过程中，由于高温热分解、氧化的作用，燃烧物及其产物的体积和粒度减小，其中的不可燃物大部分以炉渣的形式排出，一

小部分质小体轻的物质在气流携带及热泳力的作用下，与焚烧产生的高温气体一起在炉膛内上升，经过与锅炉的热交换后从锅炉出口排出，形成含有颗粒物即飞灰的烟气流。本工程采用“SNCR 炉内脱硝+半干法脱酸+干石灰喷射+活性炭吸附+布袋除尘”的烟气净化工艺，可以做到达标排放。

#### 6.3.1.4 重金属及其化合物的治理措施

重金属类污染物源于焚烧过程中生活垃圾所含的重金属及其化合物的蒸发。由于不同种类重金属及其化合物的蒸发点差异较大，生活垃圾中的含量也各不相同，所以它们在烟气中气相和固相存在形式的比例分配上也有很大差别。“高效的颗粒物捕集”和“低温控制”是重金属净化的两个主要方面。本工程在半干法烟气处理系统喷入活性炭吸附，再配以高效的布袋除尘器，可以有效去除重金属，达标排放。

布袋除尘器本来是用来除去废气中的粉尘等浮游物质的装置，但用于生活垃圾焚烧炉后的布袋除尘器，由于在气体中加入反应药剂消石灰和吸附药剂活性炭，废气中的有害气体被反应吸附，然后通过袋式除尘器过滤而除去；关于利用袋式除尘器除去有害物质的机理如下：

废气中的粉尘是通过滤袋的过滤而被除去的；首先是由粉尘在滤袋表面形成一次吸附层，随着吸附层的形成，废气中的粉尘在通过滤袋和吸附层时被除去；考虑到运行的可靠性，一次吸附层的粉尘量大致为： $100\text{g}/\text{m}^2$ 。

一般生活垃圾焚烧炉废气中的重金属种类如下表所示，基本上可被布袋除尘器除去，汞（Hg）的去除率略低些，这是由于汞（Hg）的化合物作为蒸汽存在的原因。

表6-6 某垃圾焚烧炉布袋除尘器实测废气重金属含量及去除率

重金属	除尘器入口 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	除尘器出口 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	去除效率（%）
Hg	0.04	0.008	80
Cu	22	0.064	99.7
Pb	44	0.064	99.8
Cr	0.95	0.064	93.2
Zn	44	0.032	99.9
Fe	18	0.23	98.7
Cd	0.55	0.032	94.1

可见，布袋除尘器已不单单是用来解决除尘问题，还充当气体反应器功能。国外主要采用的是玻璃纤维与 PTFE 混防滤料。为提高其可靠性，本设计布袋除尘器的布袋选用 PTFE+ePTFE 覆膜。

### 6.3.1.5 有机污染物的治理措施

有机污染物的产生机理极为复杂，伴随有多种化学反应。有机污染物的形成机理，目前还没有成熟的理论，有待于进一步研究。在垃圾焚烧产生的有机污染物中，以二噁英及呋喃对环境的影响最为显著。

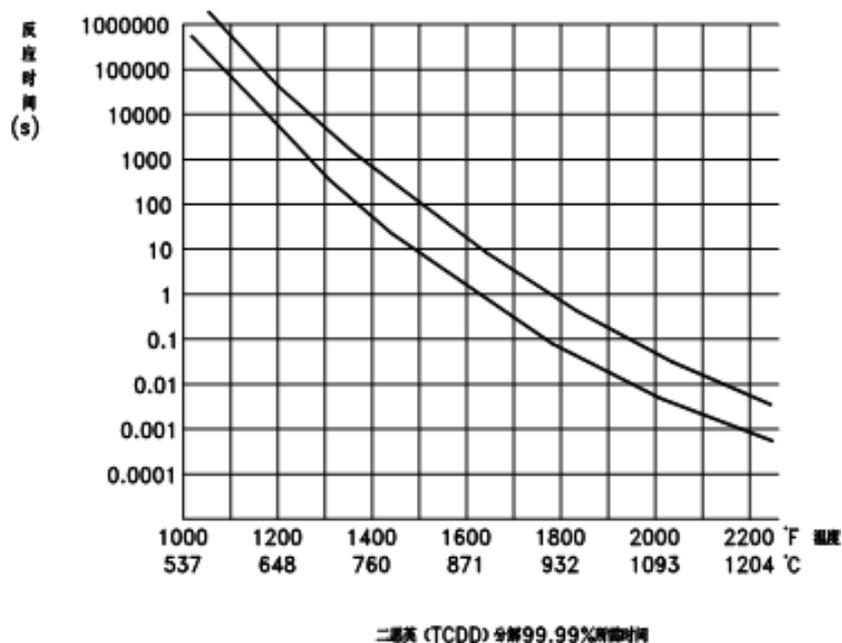
二噁英(PCDD)及呋喃(PCDF)是到目前为止发现的无意识合成的副产品中毒性最强的物质，是由苯环与氧、氯等组成的芳香族有机化合物，被认为是能致癌、致畸形、影响生殖机能的微量污染物。PCDD 有 75 种以上的同分异构体，PCDF 有 135 种以上的同分异构体，其中毒性最强的是 2、3、7、8 四氯联苯(2、3、7、8TCDD)。

二噁英的生成机理相当复杂，已知的生成途径可能有以下几方面：

①垃圾中本身含有微量的二噁英。由于二噁英具有热稳定性，尽管大部分在高温燃烧时得以分解，但仍会有一部分在燃烧以后排放出来。

②在燃烧过程中由含氯前体物生成二噁英。含氯前体物包括的聚氯乙烯、氯代苯、五氯苯酚等，在燃烧中前体物分子通过重排、自由基缩合、脱氯或其他分子反应等过程会生成二噁英。这部分二噁英在高温燃烧条件下大部分也会被分解。二噁英在一定温度下分解 99.99%所需时间见下图。

③当燃烧不充分时，烟气中产生过多的未燃尽物质，在 450~500℃ 的温度环境下，若遇到适量的触媒物质（主要为重金属，特别是铜等），在高温燃烧中已经分解的二噁英将会重新生成。



为降低烟气中的二噁英浓度，首先从焚烧工艺上要尽量抑制二噁英的生成。除选用

合适的炉膛结构，使垃圾充分燃烧外，控制二噁英的产生的最有效的方法是“3T+E”法，即控制：

1) 温度 (Temperature)。保证烟气在进入余热锅炉前温度不低于 850℃，将二噁英在炉内完全分解。

2) 时间(Time)。烟气在炉膛及二次燃烧室内的停留时间大于 2 秒。

3) 涡流(Turbulence)。优化炉型和二次空气喷入方法，充分混合搅拌烟气达到完全燃烧。

4) 过量的空气(ExcessAir)。氧气浓度不小于 6%，保证充分燃烧。

另外，在烟气处理过程中，尽量缩短 250~800℃特别是 300~500℃温度区域温度域的停留时间，降低除尘器前的烟气温度，避免二噁英再次产生。对已产生的二噁英可采取如下处理措施：

- (1) 喷入粉末活性材料吸收二噁英；
- (2) 设置触媒装置（分解器）分解二噁英；
- (3) 设置活性炭塔吸收二噁英。

本项目选用高效的袋式除尘器，控制除尘器入口处的烟气温度低于 180℃，并在进入袋式除尘器前，在入口烟道上设置活性炭喷射装置，进一步吸附二噁英；设置先进、完善和可靠的全套自动控制系统，使焚烧和净化工艺得以良好执行。其次，如有条件，还可通过分类收集或预分拣，控制生活垃圾中氯和重金属含量高的物质进入垃圾焚烧厂。本工程通过采取上述措施，可使烟气中的二噁英浓度达标排放。

通过上述烟气净化处理工艺，大气污染物排放浓度均可控制在标准限值以内。

## 6.3.2 废水治理措施

### 6.3.2.1 废水产生量

全厂夏季最大日生产、生活总排水量大约为 832.9m<sup>3</sup>/d，其中回用水量 832.9m<sup>3</sup>/d，生产、生活实际排水量 0m<sup>3</sup>/d。排水包括垃圾渗滤液、垃圾卸料区地面洗废水 465m<sup>3</sup>/d；生产废水 288.3m<sup>3</sup>/d；生产生活污水 79.6m<sup>3</sup>/d。

### 6.3.2.2 废水的治理

#### 1. 生产、生活污水排水系统

厂区生活污水，其中排放的粪便污水先经化粪池处理，厨房及餐厅含油污水先经隔油池处理后，与生产污水一同排入厂区的污水管道后，最终排至厂区生产污水处理

系统，经处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》GB19923-2005 和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T18920-2002 的有关水质标准后，回用作为汽机循环冷却水补充水、绿化用水及道路洒水。

## 2. 生产废水排水系统

生产废水排水主要包括：锅炉化水除盐水制备排水、锅炉定连排污废水、一体化净水器反冲洗排水。该无机废水经简单处理达标后回用作生产用水。

## 3. 垃圾渗沥液排水系统

垃圾渗滤液由垃圾池渗滤液收集池收集，渗滤液提升泵提升输送至厂区渗滤液处理站集中进行处理，经污水处理系统处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》（GB/T19923-2005）的有关水质标准后，回用作为厂区循环冷却水补充水。

### 6.3.2.3 污水、渗沥液处理工艺

#### 1. 污水处理回用系统

污水及中水处理推荐采用“水解酸化+二级接触氧化生化处理+中水深度处理”的处理系统工艺。详细工艺流程见“5.11.9 生产生活污水处理系统”。

#### 2. 垃圾渗沥液处理系统

垃圾渗滤液的处理结合垃圾渗滤液的污水性质、垃圾渗滤液处理目前国内外较先进的技术、已运行的成功经验和实例及回用水有关标准,本项目垃圾渗滤液处理推荐采用：“预处理+ UASB 厌氧反应器+MBR 生化处理系统+NF 纳滤膜+RO 反渗透膜”的处理工艺。详细工艺流程见“5.11.10 垃圾渗滤液处理系统”。

### 6.3.3 固体废物处理措施

#### 6.3.3.1 固体废物来源

固体废物主要包括从垃圾焚烧炉排出的炉渣、炉灰，和袋式除尘器等烟气净化设备捕集到的飞灰。固体废物来源于生活垃圾中不可燃的无机物以及部分未燃尽的可燃有机物。

#### 6.3.3.2 灰渣的处理措施

垃圾焚烧后产生的固体废物主要由两部分组成：从焚烧系统中排出的炉渣、炉灰及烟气净化系统中排出的飞灰。按《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB18485-2014）规定，焚烧炉渣可按一般固体废物处理，焚烧飞灰则应按危险废物处理。其他尾气净化装置排放的固体废物按《危险废物鉴别标准》（GB5085.3）判断是否属于危险废物，如属危险

废物，则按危险废物处理。

本工程中，为避免飞灰和炉渣随意倾倒对环境造成危害，焚烧炉排出的炉渣采用机械输送系统送至渣坑，再用汽车运至厂外综合利用。

从烟气处理系统和袋式除尘器收集的飞灰，集中到灰库，飞灰送至飞灰稳定化车间，飞灰稳定化并检测合格后运往填埋场分区安全填埋。

### 6.3.4 噪声治理措施

#### 6.3.4.1 噪声

噪声是由不同频率和振幅组成的无调杂音，它让人烦躁、厌恶，对人体危害极大。按照产生机理可分为空气动力性噪声、机械振动噪声和电磁性噪声。本工程的噪声源主要来自设备，如汽轮发电机、锅炉排汽系统、风机、水泵等；另外，车辆也会产生一定的噪声。设备噪声源强见下表。

**表6-7 设备噪声源强**

序号	名称	噪音值 (dBA)	频率
1	汽轮发电机	105~110	中低频
2	空冷风机	75~85	中低频
3	送风机、引风机	90~95	中低频
4	空气压缩机	80~85	中低频
5	安全阀	95~110	高频
6	循环水泵	85~90	中低频

#### 6.3.4.2 运行期噪声治理

采用工艺先进、噪声小的机械设备，设备采购合同中提出设备噪声的限制要求，从噪声源头控制。

对高噪音设备采取降噪措施，如在高压蒸汽紧急排放口、风机进出口、余热锅炉安全阀排气和点火排汽口、开机抽气口、主蒸汽母管排汽口都装有消声器；发电机和水泵等设备外加噪音隔离罩；风机进出口、水泵进出口加装橡胶接头等振动阻尼器；水泵等基础设减振垫，从传播途径控制噪声的传播。

提高自动控制水平，风机、水泵等高噪声设备的参数检测和自控运行做到无需要人员在现场工作。检修时应对有关人员的工作时间作出相应规定以减少人员受噪声危害。

主厂房合理布置，噪声源相对集中，控制室、操作间采用隔音的建筑结构。

总图合理布局并加强厂区绿化，充分利用厂内建筑物的隔声作用，利用绿化带降低

噪声，减少噪声对周围环境的影响。

车辆产生的噪声，可以通过加大车辆行驶管理力度，如限制鸣笛和车速来降低交通噪声。

以上措施可使车间噪声水平符合《工业企业设计卫生标准》(GBZ1-2010)所规定的限值。再经过厂房建筑的隔声、空气的吸收以及噪声传播过程中的衰减，厂界噪声水平能符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)二类标准要求，对环境不会产生大的影响。

### 6.3.4.3 施工期噪声治理

合理安排施工时间，尤其对噪声大的施工设备的作业时间的安排，是避免设备噪声扰民的必要措施。高噪音设备安装位置要远离人集中区，并采取适当声屏障（如绿化带）以降低噪声对周围环境的影响。

## 6.3.5 恶臭防治措施

### 6.3.5.1 恶臭

垃圾在堆放和焚烧过程中，会产生恶臭等有毒物质。恶臭物质多为有机硫化物或氮化物，它们刺激人的嗅觉器官，引起人们厌恶或不愉快，有些物质还会损害人体健康。尽管垃圾焚烧厂的恶臭并不严重，但由于恶臭对厂区周围的影响较大，所以必须加以有效处理。

### 6.3.5.2 恶臭治理

本项目产生的恶臭主要为垃圾池内垃圾发酵产生的  $H_2S$  等臭味气体，控制恶臭主要采用隔离的方法。

1) 为了防止垃圾储运车辆中的臭气外逸和渗沥液流失，必须采用全封闭、具有自动装卸结构车型。

2) 垃圾储运车进入车间后，通过自动门将垃圾倾倒入垃圾池中。垃圾池为密闭式，鼓风机的吸风口设置在垃圾池上方，使垃圾池和整个焚烧系统处于负压状态，不但能有效地控制了臭气外逸，又同时将恶臭气体作为燃烧空气引至焚烧炉，恶臭气体在焚烧炉内高温分解，恶臭气味得以清除。当锅炉停运时，通过吸风管将贮坑中的臭味气体吸入装置在贮坑平台上的除臭装置处理，以免臭气外逸。

3) 在建筑设计上尽量减少气流死角，防止气味堆积。

4) 在厂区总平面布置时，根据当地的主导风向，把生产区和生活区分开合理布置，将恶臭的影响降低到最低程度。

5) 设活性炭除臭装置, 将储坑内臭气经旁通除臭装置排至室外, 除臭效率可达 80%, 停炉时使用。

6) 渗沥液收集池为密闭结构, 其内部的恶臭气体以自然流动的方式通过 PVC 管道连接到垃圾池, 与垃圾池中的恶臭气体一并作为一次进风燃烧处理。

根据工程实践, 采取上述措施可使厂界恶臭浓度控制在要求的《恶臭污染物排放标准》(GB14554-1993) 厂界标准值中的二级标准。

### 6.3.6 环境绿化

绿化布置注意点、线、面结合, 充分利用道路两旁, 建筑物周围空地进行绿化, 以草坪和常绿树木为主, 发挥绿化对于建筑的点缀、陪衬、指引、组织空间、美化环境的作用。综合楼前绿化广场作重点处理, 种植常绿树和灌木, 配植露地草花, 点缀水景, 营造生机勃勃, 开阔舒畅的环境气氛。

## 6.4 污染物年排放量

经过各种处理措施后, 本项目的各种污染物排放指标均能达到本项目的要求, 各种污染物年排放量见下表。

表6-8 污染物年排放量

序号	项目	排放单量	年排放量	备注
1	烟尘	10mg/Nm <sup>3</sup>	25.34 t/a	
2	CO	80mg/Nm <sup>3</sup>	202.69 t/a	
3	NOx	200mg/Nm <sup>3</sup>	506.72 t/a	
4	SOx	50mg/Nm <sup>3</sup>	126.68 t/a	
5	HCl	50mg/Nm <sup>3</sup>	126.68 t/a	
6	Hg 及其化合物	0.05mg/Nm <sup>3</sup>	0.13 t/a	
7	Cd 及其化合物	0.05mg/Nm <sup>3</sup>	0.13 t/a	
8	Pb 及其它重金属	0.5mg/Nm <sup>3</sup>	1.27 t/a	
9	二噁英类	0.10 ng TEQ/Nm <sup>3</sup>	0.25 TEQ/a	
10	炉渣	13.95 t/h	103891.41 t/a	综合利用
11	飞灰固化物	3.56 t/h	26518.50 t/a	填埋处理
13	垃圾渗滤液	9.38 t/h	82125.00 t/a	厂内处理后回用

注：全年运行时间按 8000 小时，渗沥液按 8760h。

## 6.5 环境管理

### 6.5.1 环境管理

垃圾焚烧厂是一个环保项目，如因管理不善，会产生更大的污染；根据我国环保法的有关规定，企业亦应设置环境保护管理机构，负责组织、落实、监督企业内部的环境保护工作。本工程由副厂长和工艺工程师主管全厂的环境管理和监测工作。环境管理机构的主要职责是：

- 贯彻执行环境保护法规和标准；
- 组织制定本企业的环境保护管理规章制度；
- 领导和组织本企业的环境监测；
- 检查本单位的环保设施运行情况；
- 向环保部门申报污染物排放情况。

### 6.5.2 环境监测

环境监测工作可在环境管理部门的领导下进行，监测项目有：大气中的烟气含氧量，SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、HCl、二噁英、烟尘的浓度和排放量；废水中的 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS、氨氮等。

表6-9 监测项目和时间表

监测种类	监测项目	监测方法	监测频率
烟气	烟气量、烟尘、SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 、HCl、CO、HF、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub>	按 GB/T16157 执行	实时在线监测
污水	BOD <sub>5</sub> 、COD <sub>CR</sub> 、NH <sub>3</sub> -N、SS、PH、污水量	按有关规范规范执行	实时监测
噪声监测	汽轮机、发电机、各种泵、风机、空压机等噪声源	按 GB12344 执行	每年 2 次
垃圾分析	垃圾容重、含水率、热值	按有关规范规范执行	每月 1 次
炉渣	热灼减率	按有关规范规范执行	每月 1 次
二噁英	烟气和环境空气中的二噁英	委托专业机构取样测定	烟气二噁英每年 1 次，环境空气二噁英每两年 1 次
恶臭污染物	环境空气中的恶臭	委托专业机构取样测定	每季度 1 次
飞灰浸出毒性	飞灰固化物浸出毒性	委托专业机构取样测定	每年 2 次
重金属	烟气中重金属	委托专业机构取样测定	每月 1 次

以上监测项目可采取在线监测和取样监测相结合的办法，部分项目可在当地的环境监测部门的协助下进行。

## 6.6 环境保护设施投资估算

本项目焚烧城市生活垃圾，本身即为环保投资项目，但为避免垃圾焚烧后的二次污染，对烟气、灰渣、噪声、污水、恶臭等均采取了可靠的处理措施，确保二次污染严格控制在规范范围内。

环保工程包括：烟气治理、污水治理、臭气治理、灰渣处理和水土保持绿化等。本工程环保设施投资估算见下表：

表6-10 工程环保设施投资估算

项目	投资（万元）
垃圾卸料区	93.26
垃圾池及防渗处理	1069.70
烟气治理	4229.78
污水处理	1154.49
臭气治理	50
噪声治理	40
烟气在线监测设备	554.66
灰渣处理	897.58
烟囱	825.87
环保监测站仪器	30
水土保持与绿化	60
合计	9005.34
总投资	80033.70
占投资比例	11.25%

## 第7章 劳动安全卫生

劳动安全与工业卫生是保证职工在劳动生产活动中的安全与健康，改善职工的劳动条件。本工程应贯彻执行国家及部颁发的有关法规、标准及规定，在技术、设备、组织制度等方面采取相应措施，确保劳动安全，改善职工的劳动条件，防止发生职业性伤害及健康危害，保护劳动者在劳动过程中的安全与健康。

### 7.1 设计依据

- 1) 《工业企业设计卫生标准》(GBZ1-2010)
- 2) 《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ2.1、2-2007)
- 3) 《生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准》(建标[2010]142号)
- 4) 《建筑设计防火规范》(GB50016-2014)
- 5) 《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)
- 6) 《火力发电厂采暖通风与空气调节设计技术规定》(DL/T5035-2004)
- 7) 《火力发电厂劳动安全和工业卫生设计规程》(DL/T5053-1996)
- 8) 《工业企业厂界噪声排放标准》(GB12348-2008)
- 9) 《锅炉安全技术监察规程》(TSG G0001-2009)
- 10) 《固定式压力容器安全技术监察规程》(TSG R0004-2009)
- 11) 《中华人民共和国安全生产法》中华人民共和国主席令 70 号(2014 修订版)
- 12) 《安全标志及其使用导则》(GB2894-2008)
- 13) 《公共建筑节能设计标准》(GB 50189-2015)
- 14) 《无障碍设计规范》(GB 50763-2012)
- 15) 《民用建筑设计通则》(GB 50352-2005)

### 7.2 生产过程中职业危险及危害因素的分析

城市垃圾焚烧厂在生产过程中主要存在以下几种危害及危险因素：

- 1) 垃圾卸料时带菌垃圾散落地面及垃圾储存时有机物发酵产生的强烈异味、沼气等，危害人的健康及安全。

- 2) 垃圾燃烧时，产生粉尘、有害气体及有毒气体。
- 3) 锅炉、汽机烟风道及热力管道均为高温或有火焰的设备，生产过程中存在烫伤危险；对于发电设备及高低压配电等存在电伤危险因素。
- 4) 垃圾中的部分水份在垃圾池内沥出，渗沥液为高浓度有机废水，还有微量的重金属元素。
- 5) 在垃圾焚烧电厂的运行过程中，存在着噪声污染，主要噪声源如汽轮发电机、空气压缩机、送风机、引风机及水泵等在运行过程中都会产生较大的噪声。

### 7.3 防范措施

根据劳动安全卫生的有关规定及垃圾焚烧厂在生产过程中可能会产生的危害，本设计采取了有效的防范措施，即在焚烧厂各生产环节设置了有关防火、防爆、防毒、防尘、防噪音、防雷电，通风降温、采光照明等一系列安全及卫生设施。

#### 7.3.1 防火

主厂房按建筑防火规范属于丁类生产厂房，为一、二级耐火等级，故设计所采用的建筑材料均为非燃烧体材料，主要建筑物出入口不少于 2 个，主厂房、汽机间、主控间、垃圾池、预处理车间等均设有消火栓并在垃圾池内设手动喷淋装置。厂区内设有 7m 宽的环形消防通道，便于消防车辆便捷地到达各建筑物。

#### 7.3.2 防尘、防有害气体

焚烧炉烟气净化以消石灰、活性炭作为吸收剂和吸附剂，吸收剂加料口处会产生粉尘。为减小粉尘飞扬，改善劳动条件，在吸收剂料仓顶部均设置除尘系统，每个料仓均配有 1 台除尘机组。

为防止排灰渣时产生扬尘，除渣采用封闭的除渣机组排除。

垃圾抓斗运行时会产生灰尘飞扬。为此，垃圾抓斗控制室设在垃圾池上方，并用大玻璃窗封闭。清洗装置能自动清除玻璃窗外壁上的粉尘，不会影响操作人员的操作。

在总体布置时，将人员出入通道与垃圾、灰渣出入通道分开，将办公区尽量远离粉尘产生地。

其它场所，将加强绿化，以尽量减少粉尘的危害。

#### 7.3.3 防毒、防化学伤害

在产生有害气体的室内设机械通风设施，强制通风，避免对人体的毒害作用。

当需要检修人员进入垃圾池或其它有毒区域检修时，应戴防毒面具，身着防护服，检修时间不超过 2h。

### 7.3.4 防有毒液体及防异味气体排放

垃圾卸料平台设有冲洗设施，冲洗过的水及生活污水集中收集进行生化处理；垃圾池渗沥液集中收集，并在渗沥液收集池设有排风装置，将有毒有味气体排入垃圾池内。为防止垃圾池异味外逸，在垃圾卸料平台出入口设气幕；垃圾斗检修孔±0.00m 层大门采用气密大门；同时用一次风机从垃圾池顶部吸风，保持储仓内成微负压状态，全厂停运时采用活性炭吸附除臭装置，消除臭味对周围环境的影响。垃圾预处理车间输送线均采用密闭输送，有异味地方均加装吸风罩和排气风扇，将异味气体排入垃圾池。

### 7.3.5 防噪音

焚烧厂主要噪声源为汽轮发电机、空气压缩机、一、二次送风机、引风机和循环水泵等工艺设备。控制噪声的主要措施是优先选择低转速设备，降低噪声源头，设置消声器，装饰必要的吸声材料，对控制室、操作室除单独设置外，采用隔声门窗等措施。

设备基础作减振处理。

对可能产生振动的管道，特别是泵和风机出口管道，采取柔性连接的措施，以控制振动噪声。

### 7.3.6 防爆

为防止意外事故发生，保证人身安全，防止设备受损，设置了焚烧炉出口蒸汽温度过高、压力过高等报警装置及连锁停炉保护措施。垃圾池内设烟雾报警装置。对易燃易爆的场所设计中考虑加强通风，选用防爆电器元件，防爆电机，防爆灯具。

选用压力容器符合压力容器的等级标准，并取得劳动监察部门的认可，设备均安装有安全阀、压力表和报警器，设计和选型均符合现行的有关标准和规定。

### 7.3.7 电气设施防电伤

防雷击接地、工作接地和保护接地工程采用复合人工接地装置，并尽量利用基础工程进行接地以降低电阻并减少接地工程投资。所有电气设备外壳均做保护接地，在接地网附近和通道交叉处采取降低跨步电压的措施。厂用电和配电装置故障都配备声和光信号报警，根据生产工艺及技术要求对必要设备进行连锁控制。检修照明、焚烧炉照明都采用安全电压，并加装漏电保护开关。

### 7.3.8 其它

1) 厂区内道路围绕焚烧发电厂房环形布置，既可满足垃圾、灰渣运输车辆行驶要求，又作为消防车道使用，同时满足事故疏散要求。

2) 变压器设过流断电保护装置，以避免意外人身伤亡事故的发生。

3) 事故停电时，电厂设有事故照明，事故照明平时由交流电供电，当交流电源消失后自动切换至直流供电。事故照明有应急灯和有蓄电池供电的直流灯，在各出入口及重要部位设应急照明灯。所有照明电源插座，均为单向三孔式插座。利用 36V 及以下的低压照明。

4) 垃圾焚烧厂所有机械运转部分均加装防护罩。

5) 厂房内外工作场所的井、坑、孔、洞及沟道等有坠落危险处，应设防护栏杆或盖板。

6) 为了保证仪表的正常运行，改善操作人员的操作条件，设置了集中主控室，并在主控室内装设了空调装置，在各配电间等设有通风设施，上料控制室设有新风进气。

7) 为防止人体烫伤，介质温度大于 50℃ 的设备和管道，应进行保温。

8) 为改善职工生活卫生条件，设置了浴室、卫生间等卫生设施。

9) 按照国家标准《安全标志》及《安全标志使用导则》的规定，在各危险部位设立安全警示牌。在烟囱的顶部装设飞机航行指示灯。

10) 通过提高设备的自动化率，减轻运行、检修人员的劳动强度。对操作频繁的阀门采用电动阀。

11) 定期进行安全卫生教育，制订安全操作规程，严格管理。

## 7.4 劳动卫生措施

### 7.4.1 给水卫生

生活饮用水水质符合《生活饮用水卫生标准》。

### 7.4.2 安全防护

对工作环境较恶劣的场所如垃圾分拣岗位，加强个人劳动防护，穿戴特制防护服等措施。

### 7.4.3 工作照明

采用高效节能灯具，焚烧发电厂房采用钠汞混光灯，办公室采用节能型日光灯，照

明照度不低于 60LUX，以保护工作人员视力。

#### 7.4.4 自动化水平

本厂的焚烧炉给料、燃烧控制系统，烟气净化控制系统，发电机组控制系统以及除氧给水系统的自动化水平均较高，大大减轻了岗位工人的劳动强度。

#### 7.4.5 厂区保洁

垃圾车在出垃圾坡道后在洗车房进行清洗，随时清扫厂区撒落的垃圾入垃圾池。

#### 7.4.6 绿化

厂区绿地率满足规范要求，净化与美化环境，改善微小气候。

#### 7.4.7 定期体检

每年对岗位工人进行一次体检。

### 7.5 安全卫生机构

为了满足安全及卫生的需要，本工程拟设立相应的安全卫生机构，并配备专职与兼职的安全卫生设施维修、保养、日常监测检验人员与监督管理人员，负责厂区的安全卫生工作；设置环境监测室，定期对主厂房各生产车间及厂区内的粉尘及有害物质进行采样，提出化验报告。

### 7.6 应急措施

本项目为生活垃圾焚烧发电厂，以焚烧处理生活垃圾为主要功能，但遇到外界突发事件时，应能采取必要的措施，避免事故，应对外界变化。

焚烧厂设备发生故障时，应迅速查清故障点和故障原因，采取必要的应急措施。主要故障与应对措施有：

- 1) 循环水泵、给水泵等设备发生故障时，迅速启动备用设备，避免对运行造成影响。
- 2) 汽轮机产生故障和隐患，采取降低负荷、停机等措施。
- 3) 焚烧炉发生故障时，可以采取降负荷、停炉、排空等措施。
- 4) 尾气处理系统出现故障时，设置备用喷水系统和燃气加热系统，以避免袋式除尘器损害。

## 7.7 预期效果

遵照“安全第一，预防为主”的方针，本工程采用国内安全可靠的设备并致力提高生产过程的机械化、自动化程度，因而大大减少了危害工人健康的因素和不安全隐患。同时针对本项目焚烧垃圾的特点，对垃圾臭气、渗沥液、恶臭等的防范作了周到的设计，并在防火、防人身伤亡事故方面采取了防患于未然的、积极的措施。可以预见，本项目投产后，在取得环保效益，社会效益，经济效益的同时，也保障了工人在生产过程中的劳动安全与卫生。

## 第8章 消防

### 8.1 设计原则及依据

#### 8.1.1 消防设计原则

消防设计遵循“预防为主、防消结合”的方针。消防设计严格按国家有关消防规范、规定及标准进行设计，并按各车间的火灾危险性类别、建构筑物耐火等级、防火分区的划分，各工作场所可能发生的火灾性质和特点，配置消防灭火系统和设施，确保有效的扑灭火灾，确保人身、设备安全，确保生产的正常运行。

厂区不设消防站和配备消防车，火灾事故时利用市政有关消防设施。

#### 8.1.2 消防设计依据

- 1) 《火力发电厂与变电所设计防火规范》(GB50229-2006);
- 2) 《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB50974-2014);
- 3) 《建筑设计防火规范》(GB50016-2014);
- 4) 《火灾自动报警系统设计规范》(GB50116-2013);
- 5) 《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》(CJJ90-2009);
- 6) 《小型火力发电厂设计规范》(GB50049-2011);
- 7) 《建筑内部装修设计防火规范》(GB50222-95)(2001年版);
- 8) 《建筑灭火器配置设计规范》(GB50140-2005);
- 9) 《火力发电厂设计技术规程》(DL5000-2000);
- 10) 《火力发电厂建筑设计规程》(DL/T5094-1999);
- 11) 《电力设备典型消防规程》(DL5027-2015);
- 12) 《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB50058-2014);
- 13) 《低倍数泡沫灭火系统设计规范》(GB50151-92)(2000年版);
- 14) 《火灾自动报警系统施工及验收规范》(GB50166-2007);
- 15) 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50736-2012);
- 16) 《采暖通风与空气调节设计规范》(GB50019-2003);
- 17) 国家其它现行有关消防设计规范、标准及消防安全管理部门的有关规定;
- 18) 项目设计建筑、工艺、电气等相关专业提供的有关设计资料。

## 8.2 设计范围

消防设计范围包括：厂区围墙以内的，厂区总平面消防车道布置；各建、构筑物之间防火间距布置；各车间防火分区及安全疏散通道等的布置；室内消火栓灭火系统、室外消火栓灭火系统；防烟及排烟系统；火灾自动报警系统、消防电力设计；油罐区灭火设施配置；建筑灭火器的配置等。

## 8.3 总平面消防

本项目垃圾由政府提供，通过进厂道路运入厂区。

厂区道路分别为垃圾专用道路和管理、生活及消防道路。大门至主厂房垃圾卸料大厅约 145m（含坡道）为垃圾专用运输道。厂区内道路，其中 7.0m 宽为人流道路，21.0m 宽为货运道路。消防车由物流入口进入。主厂房、烟囱，循环水泵房四周设环形消防车道，一般道路宽度为 7.0m。

## 8.4 建筑消防

总平面布置在考虑生产工艺流程的同时，重点考虑防火区域的划分。设计中各主要建筑、构筑物间距均满足《火力发电厂设计技术规程》和《火力发电厂及变电所防火设计规范》的要求。本项目主要建、构筑物的实际防火间距见下表。

表8-1 主要建、构筑物防火间距表

相邻两建筑物的类型及耐火等级		规程或工艺要求的最小防火间距 (m)	实际间距 (m)
主厂房（丁）	循环水泵房（戊、二）	10	25.7
主厂房（丁）	油泵房（乙、二）	10	30.7

## 8.5 消防灭火系统和灭火设施

### 8.5.1 消防灭火系统

厂区设置如下消防系统：

- 1) 室外消火栓灭火系统
- 2) 室内消火栓灭火系统
- 3) 垃圾贮坑固定消防炮灭火系统；
- 4) 火灾自动报警系统

- 5) 防烟、排烟系统
- 6) 建筑灭火器配置及防火、防毒面具配置
- 7) 油罐区消防灭火设施配置

### 8.5.2 消防水源、贮水量

厂区生产用水水源采用乌石水库和葫芦水库水源。在两个水库适当位置建取水泵房取水，由输水管输送到厂区，经水表计量、投加絮凝剂和助凝剂，经集混凝反应、沉淀、过滤于一体的一体化全自动反冲洗净水器处理、消毒后，一部分供循环冷却补充用水，自流至循环冷却水系统集水池；另一部分进入生产消防水池，其有效容积约为 1200m<sup>3</sup>，分成 2 个。消防用水采取在生产水泵吸水管上设置真空破坏孔和液位控制的方式确保消防用水平时不会被动用，满足消防灭火要求。同时消防车可从生产消防水池抽水加压供水进行灭火。消防储水总容积 700m<sup>3</sup>，满足一次灭火的需要。

### 8.5.3 消防用水量

消防用水量按用水量最大的主厂房设计。主厂房其生产火灾危险性为丁类，建筑物耐火等级为二级。根据《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB50229-2006)、《建筑设计防火规范》(GB50016-2014)、《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB50974-2014)和《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》(CJJ90-2009)规定的要求，消防用水量如下：

表8-2 厂区消防用水量表

灭火系统名称	消防用水量	火灾延续时间	一次火灾灭火最大需水量
室外消火栓灭火系统	35L/s(126m <sup>3</sup> /h)	2h	252m <sup>3</sup>
室内消火栓灭火系统	25L/s(90m <sup>3</sup> /h)	2h	180m <sup>3</sup>
焚烧炉进料斗入口	10L/s(36m <sup>3</sup> /h)	1h	36m <sup>3</sup>
垃圾贮坑固定消防炮灭火系统	60L/s(36m <sup>3</sup> /h)	1h	216 m <sup>3</sup>
一次消防最大用水量	648m <sup>3</sup>		

厂区同一时间发生火灾次数为 1 次，发生火灾最不利情况为主厂房室内外消火栓灭火系统和垃圾贮坑固定现场电动控制消防炮灭火系统同时使用灭火，一次消防最大用水量不小于 648m<sup>3</sup>。

### 8.5.4 消火栓灭火供水系统和设备

消火栓灭火系统采用室内、外消火栓合用的临时高压消防供水系统。消防主泵、稳压泵及稳压罐布置综合水泵房内。平时通过消防稳压泵及稳压罐维持管网压力，消防灭

火时，可根据电接点压力表或压力开关控制消防泵启动供水灭火。

在主厂房的高位水箱间另设有有效容积为  $18\text{m}^3$  的高位消防水箱，确保满足初期火灾消防用水量的要求。

消火栓灭火系统配消防供水泵 2 台，1 用 1 备，额定供水量为  $Q=216\text{m}^3/\text{h}$ ，额定供水压力  $P=0.75\text{MPa}$ ，电机功率为  $75\text{kW}$ 。

消火栓灭火系统配稳压泵 2 台，1 用 1 备，额定供水量为  $Q=18\text{m}^3/\text{h}$ ，额定扬程为  $P=0.85\text{MPa}$ ，电机功率为  $7.5\text{kW}$ 。

消火栓灭火系统配气压罐 1 个( $\varnothing 1200*\text{H}2450$ )。

消防供水泵的控制方式：

- (1) 压力开关（电接点压力表或压力变送器），压力信号启动消防水泵。
- (2) 厂区控制中心设有消防水泵开、停启动的控制按钮。
- (3) 消防泵房设有消防水泵开、停启动的控制装置。
- (4) 室内消火栓箱旁设消防报警按钮。

#### 8.5.4.1 室外消火栓灭火系统

室外消火栓灭火系统用水量为  $35\text{L/s}(126\text{m}^3/\text{h})$ ，与室内消火栓系统合用，供水量和水压由主消防供水泵、消火栓系统消防气压供水设备保证。

室外消火栓灭火系统管网沿厂区建筑物四周道路边布置成  $\text{DN}200$  环状给水管网，管网上设  $\text{SS}150/65-1.6$  型室外消火栓，供室外消防用水。室外消火栓的布置间距按 60 到 100 米之间布置，保护半径不超过 120 米。

#### 8.5.4.2 室内消火栓灭火系统

室内消火栓灭火系统用水量为  $25\text{L/s}(90\text{m}^3/\text{h})$ ，供水量和水压由主消防供水泵、消火栓系统消防气压供水设备保证。

室内消火栓灭火系统供水管网布置成环状。室内消火栓的布置，保证建筑物内同层有两股充实水柱同时达到室内任何部位进行灭火，室内消火栓的布置间距主车间不大于  $30\text{m}$ ，其余不大于  $50\text{m}$ 。室内消火栓箱配置  $\Phi 19$  水枪 1 支， $\text{DN}65$  长  $25\text{m}$  水带 1 条，同时设置  $\text{DN}25$  自救式小口径消防卷盘栓。消火栓箱旁设破碎玻璃按钮，警铃，指示灯，可连通消防联动器启动消防水泵，并向消防中心控制室报警。系统配设消防水泵接合器 2 套。

### 8.5.5 垃圾贮坑固定消防炮灭火系统

厂房垃圾贮坑采用固定现场电控操作消防水炮灭火系统。消防水炮设计供水量 60L/s (216m<sup>3</sup>/h)，消防延续时间 1 小时，一次灭火最大用水量 216m<sup>3</sup>。

消防水炮布置在垃圾池焚烧炉进料斗一侧，消防水炮布置确保同时有两门消防水炮的水射流同时到达垃圾贮坑保护区域的任何部位进行灭火。系统设消防水炮 2 台可满足要求。

系统配 ZDMS0.8/30S 型电控消防水炮 2 台：额定流量 30L/s，入口工作压力 0.8MPa，最大保护半径 62m，射流半径 60m。垃圾贮坑消防炮灭火系统设独立的环状消防管道。

消防炮灭火系统配供水设备 1 套，额定供水量为 Q=216m<sup>3</sup>/h，供水额定压力 P=1.30MPa。设备配主消防泵 (XBD13.3/60-150) 2 台，1 用 1 备，额定供水量为 Q=216m<sup>3</sup>/h，额定扬程为 P=1.33MPa，电机功率为 110KW；配稳压泵 (XBD14.4/5-50G) 2 台，1 用 1 备，额定供水量为 Q=18m<sup>3</sup>/h，额定扬程为 P=1.44MPa，电机功率为 11kW；配气压罐 1 个 (Φ 1200\*H2450)。

消防炮供水泵的控制方式：

- 1) 电接点压力表，压力信号启动消防炮水泵。
- 2) 消防炮旁现场手动电动控制，可直接启动消防炮水泵。
- 3) 消防泵房设有消防炮水泵开、停启动的控制装置。

### 8.5.6 建筑灭火器设置

按《建筑灭火器配置设计规范》GB50140-2005 的规定和要求，在全厂建筑物内的不同场所，配置磷酸铵盐手提式和推车式 ABC 类干粉灭火器和二氧化碳灭火器。另按有关消防法规的要求在建筑物内的不同场所按要求，配备相应的防火、防毒面具。。

### 8.5.7 油罐区及油泵房灭火设施

- (1) 配置磷酸铵盐手提式和推车式 ABC 类干粉灭火器
- (2) 埋地油罐区及油泵房设移动式水力空气泡沫灭火装置
- (3) 埋地油罐区及油泵房设移动式水枪冷却水系统
- (4) 配置灭火毯 2 条，灭火沙 3.0m<sup>3</sup>
- (5) 配置消防使用灭火桶及灭火铲

### 8.5.8 建筑物灭火系统配置形式

表8-3 建筑物灭火系统形式

建筑物名称	灭火系统
一、主厂房	
汽机间	消火栓系统、手提和推车式干粉灭火器
锅炉间	消火栓系统、手提和推车式干粉灭火器
中央控制室，电子设备间	手提和推车式二氧化碳灭火器、
高、底压配电间	手提和推车式二氧化碳灭火器、
电缆层	手提和推车式二氧化碳灭火器、
垃圾池	消火栓系统、手提和推车式干粉灭火器、固定消防炮系统
生产办公部分及其它车间	消火栓系统、手提和推车式干粉灭火器
二、综合水泵房，循环水冷却塔	手提和推车式干粉灭火器、室外消火栓
三、油罐区	室外消火栓、手提和推车式干粉灭火器、灭火毯，灭火沙
四、综合楼	室内、外消火栓系统、手提干粉灭火器
五、渗滤液处理站	室外消火栓、手提式干粉灭火器
六、门卫室、地磅房	室外消火栓、手提式干粉灭火器

### 8.5.9 消防管道材料

室外埋地消防给水管道采用钢丝网骨架塑料复合管道，管件电热熔和法兰连接；室内消火栓给水管道采用内外热镀锌钢管，用法兰或沟槽式卡箍连接。消防炮灭火系统采用内外壁热浸锌无缝钢管，用法兰或沟槽式卡箍连接。

### 8.5.10 建筑物灭火系统配置形式

表8-4 建筑物灭火系统形式

建、构筑物名称	灭火系统形式
一、主厂房	
汽机间	室内外消火栓灭火系统 手提和推车式干粉灭火器
锅炉间	室内外消火栓灭火系统 手提和推车式干粉灭火器
电子设备间	推车式和手提式干粉灭火器，二氧化碳灭火器
高、底压配电间	推车式和手提式干粉灭火器，二氧化碳灭火器
电缆层	推车式和手提式干粉灭火器，二氧化碳灭火器
垃圾池	室内消火栓灭火系统 手提和推车式干粉灭火器 固定消防炮灭火系统
二、中央控制室	推车式和手提式二氧化碳灭火器
三、综合水泵房	室外消火栓灭火系统 手提式和推车式干粉灭火器
四、冷却塔	室外消火栓灭火系统
五、油罐区及油泵房	室外消火栓系统 手提和推车式干粉灭火器、灭火毯，灭火沙 移动式水力空气泡沫灭火系统 移动式水枪冷却水系统
六、综合楼	室内外消火栓灭火系统 手提和推车式干粉灭火器
七、垃圾渗沥液处理站	室内外消火栓灭火系统 手提式和推车式干粉灭火器

## 8.6 火灾自动报警系统

本系统根据《火灾自动报警系统设计规范》（GB50116-2013）、《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229-2006）、《建筑设计防火规范》（GB50016-2014），以及消防安全管理部门的有关规定，结合本厂实际情况，采取安全可靠的自动防火措施，保障当发生火灾时，能及时发现，并能迅速采取可靠的控制方式，使火灾损失减少至最低限度。

本厂之火灾自动报警系统，是由火灾报警控制器、消防联动控制器、消防图形显示装置、火灾探测器、手动火灾报警按钮、火灾声光警报器、消防应急广播及消防专用电话等组合而成。消防控制室内另设有可直接报警的外线电话。

根据相关规范在厂区相应区域设置火灾报警探测器、报警按钮及警铃。火灾报警控制器接收报警信号后，即时在显示屏上显示报警地点，报警时间，并打印记录；同时根据要求通过火灾报警控制器，经消防联动控制柜启动相关的消防设备。

火灾自动报警系统的主电源采用消防电源，消防电源由电气专业在低压配电间用单

独回路供电，直流备用电源采用火灾报警控制机的专用蓄电池(后备时间不少于3小时)，并配备用充电器，保证市电停电时，系统仍能正常工作，消防联动柜的直流操作电压采用24VDC。

在厂区可能存在可燃气体泄露或积聚的场所设可燃气体报警系统。当所在区域可燃气体浓度达到预设值时，发出报警信号并显示于报警控制器。可燃气体报警控制器预留与全厂火灾自动报警系统通讯的数据接口。

## 8.7 防烟及排烟系统

参观走廊长度超过 40m，按《建筑设计防火规范》(GB50016-2014)，需考虑设置排烟设施。排烟量按每平方米的排烟量  $60\text{m}^3/\text{h}$  计算确定。

按《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》(CCJ90-2009)，垃圾池应设事故排烟，排烟量按每平方米的排烟量  $60\text{m}^3/\text{h}$  计算确定。可考虑将除臭装置风管与排烟风管合用。

其余区域采取自然排烟措施。

主厂房的消防楼梯间和前室，按《建筑设计防火规范》(GB50016-2014)，需考虑设置防烟设施，设置加压风机防烟。

### 1) 自控要求

- (1) 火灾时，自动关闭所有与消防无关的通风、空调系统。
- (2) 火灾时，自动开启本防火分区的排烟风机进行排烟，当烟气温度超过  $280^\circ\text{C}$  时，排烟风机入口总管上的排烟防火阀自动熔断，联锁关闭排烟风机。

### 2) 材料与设备

- (1) 防排烟风机和防火阀选用消防部门认证产品。
- (2) 机械排烟系统的风管材料采用不燃材料(镀锌钢板)制作，风管软接头采用不燃材料制作。

管道和设备保温材料采用不燃材料。

## 8.8 消防电力

消防用电设备由两回路电源供电，按防火分区分别设置配电箱，在线路最末一级配电箱处设置双电源自动切换装置，并采用电气与机械联锁装置，以防止并列运行。应急备用电源由独立于厂用电源的保安变压器提供。

在中控室、配电室、汽机间、锅炉间、化水处理间等重要场所设置备用照明，由应

---

急直流屏供电，光源采用交流供电的荧光灯，当交流电源断电时，由交、直流事故照明切换装置（逆变装置）自动切至直流电源，直流电源由专用蓄电池组提供。

在水泵房、主厂房出入口、疏散通道、疏散楼梯等重要场所装设满足消防工作供电及人员疏散要求的自带可浮充蓄电池式应急灯作为应急照明。

## 第9章 节约能源

节约能源是我国经济发展的一项长期战略任务，因此设计中认真贯彻国务院《节约能源管理暂行条例》的有关规定，设计中注意采用节能措施，注意采用新技术、新工艺、新材料是本次设计的宗旨。

本项目为生活垃圾焚烧发电项目，利用垃圾焚烧处理的余热发电，变废为宝，本身就是一个节能、环保工程。项目本期规模为日焚烧生活垃圾 1500 吨，配置 2 台 750t/d 的机械炉排焚烧炉，配置 1 台 35MW 的凝汽式汽轮机组和 1 台 35MW 的发电机组，年均可发电 23093.85 万 kWh，上网电量 19398.84 万 kWh，年处理垃圾量 54.75 万吨。

### 9.1 用能标准和节能规范

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》提出了全面推动能源节约的主要纲领，要求推进能源消费革命。实施全民节能行动计划，全面推进工业、建筑、交通运输、公共机构等领域节能，实施锅炉（窑炉）、照明、电机系统升级改造及余热暖民等重点工程。大力开发、推广节能技术和产品，开展重大技术示范。实施重点用能单位“百千万”行动和节能自愿活动，推动能源管理体系、计量体系和能耗在线监测系统建设，开展能源评审和绩效评价。实施建筑能效提升和绿色建筑全产业链发展计划。推行节能低碳电力调度。推进能源综合梯级利用。能源消费总量控制在 50 亿吨标准煤以内。

#### 9.1.1 相关政策法规

- 1) 《中华人民共和国节约能源法》（主席令 2007 第 77 号）
- 2) 《中华人民共和国可再生能源法》（修正案）主席令[2009]第 23 号
- 3) 《中华人民共和国电力法》（主席令 1995 第 60 号）
- 4) 《中华人民共和国建筑法》（主席令 1997 第 91 号）
- 5) 《中华人民共和国清洁生产促进法》（主席令 2002 第 72 号）
- 6) 《中华人民共和国循环经济促进法》（主席令 2008 第 4 号）
- 7) 《中华人民共和国计量法》（主席令 1985 第 28 号）
- 8) 《重点用能单位节能管理办法》（原国家经济贸易委员会 1999.3.10）

- 9) 《节约用电管理办法》(经贸委、发改委[2000] )
- 10) 《国务院关于发布促进产业结构调整暂行规定的通知》(国发[2005]40 号)
- 11) 《国家鼓励发展的资源节约综合利用和环境保护技术》(国发 [2005] 65 号)
- 12) 《国务院关于加强节能工作的决定》(国发[2006]28 号)
- 13) 《国家发改委关于加强固定资产投资项目节能评估和审查工作的通知》(发改投资[2006]2787 号)
- 14) 《国家发展改革委关于印发固定资产投资项目节能评估和审查指南的通知》(发改环资[2007]21 号)
- 15) 《固定资产投资项目节能评估和审查暂行办法》(国家发改委 6 号令);

### 9.1.2 合理用能标准

- 1) 评价企业合理用电技术导则 (GB/T3485-1998)
- 2) 评价企业合理用热技术导则 (GB/T3486-1993)
- 3) 工业炉窑保温技术通则 (GB/T16618-1996)
- 4) 蒸汽供热系统凝结水回收及蒸汽疏水阀技术管理要求 (GB/T 12712-1991)
- 5) 设备及管道保温保冷技术通则 (GB/T11790-1996)
- 6) 设备及管道保温保冷设计导则 (GB/T15586-1995)
- 7) 设备及管道保温效果的测试与评价 (GB/T8174-2008)
- 8) 节电技术经济效益计算与评价方法 (GB/T13471-2008)
- 9) 工业锅炉及火焰加热炉烟气余热资源量计算方法与利用导则 (GB/T 17719-2009)

### 9.1.3 节能设计规范

- 1) 工业企业能源管理导则 (GB/T 15587-2008)
- 2) 火力发电厂节约能源规定 (试行) (能源节能【1991】98 号)
- 3) 火力发电厂和变电所照明设计技术规定 (DLT5390-2007)
- 4) 火力发电厂燃料平衡导则 (DL/T606.2-1996)
- 5) 火力发电厂热平衡导则 (DL/T606.3-1996)
- 6) 火力发电厂电能平衡导则 (DL/T606.4-1996)
- 7) 工业设备及管道绝热工程设计规范 (GB50264—2013)
- 8) 工业设备及管道绝热工程质量检验评定标准 (GB 50185-1993)

- 9) 用能单位能源计量器具配备和管理通则 (GB17167-2006)
- 10) 公共建筑节能设计标准 (GB50189-2005)
- 11) 绿色建筑评价标准 (GB/T50378-2006)
- 12) 绿色建筑技术导则(建科【2005】199号)
- 13) 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 (JCJ134-2001)
- 14) 民用建筑节能设计标准 (采暖居住建筑部分) (JGJ26-95)
- 15) 采暖通风与空气调节设计规范 (GB50019-2003)
- 16) 通风与空调工程施工质量验收规范 (GB50243-2002)
- 17) 外墙外保温工程技术规程 (JGJ144-2004)
- 18) 民用建筑热工设计规范 (GB50176-93)
- 19) 建筑照明设计标准 (GB50034-2004)
- 20) 建筑采光设计标准 (GB/T 50033-2001)
- 21) 空调通风系统运行管理规范 (GB50365-2005)

## 9.2 能耗状况和能耗指标分析

本项目生产原料包括生活垃圾、熟石灰粉、活性炭等，耗量见下表。

本厂生产运行时的能源消耗主要是水、电和燃料油，处理一吨固体废物的能耗指标如下：

电耗	~67.49kWh/t 垃圾
水耗	~2.26m <sup>3</sup> /t 垃圾
轻柴油消耗	~0.18kg/t 垃圾

## 9.3 能源管理

### 9.3.1 管理机构主要职责

- 1) 贯彻落实国家有关能源及节能工作的政策、法律法规和要求。
- 2) 制定本公司的能源耗用及节能工作规划。
- 3) 组织制定和实施企业节能规划和年度计划，督促检查用能情况，定期进行能耗分析（包括能源消耗、用能效率、节能效益分析），提出节能整改措施。
- 4) 建立健全能源计量、统计制度，严格按照国家法定计量单位进行工作，定期上报能源使用情况。

- 5) 制订各种能源消耗定额，并认真进行定额考核、实施奖惩。
- 6) 推广节能新技术、新工艺，开展节能宣传教育和节能培训教育。
- 7) 协调有关部门的节能工作。
- 8) 切实加强避风运行调控，努力实现电力系统经济运行。
- 9) 安排节能工程或项目所需的投入资金。
- 10) 监督、检查所属单位、部门节能工作的落实情况。
- 11) 制订节能激励机制，保证落实到位。

### 9.3.2 节能管理主要工作

1) 节能工作领导小组和节能管理办公室，加强对节能工作的领导、协调和监督以及节能项目资金落实。

2) 节能管理主要针对生产过程中电、水的消耗管理，加强提高资源的回收率和利用率。

3) 全体员工参与节能工作，贯穿于生产各个环节，贯彻国家及各级政府在节能方面的法律、法规和各项政策，加强节能工作的协调和监督，切实做到节能工作全员参与，长期坚持。

能源和计量管理机构全面负责节能降耗及计量设备管理工作，并协同工段对全厂计量设施进行维护、改造和更新，以保证确定的能耗指标的实施。

## 9.4 节能管理机构及人员配备

设置专门的能源管理部，专门负责能源管理及日常工作。

## 9.5 生产节能措施

### 9.5.1 总体布局节能措施

生活垃圾焚烧发电厂项目是一项环境保护工程，也是一项能源回收、循环利用的生态工程。本项目在总体布局上将采取多种节能措施，主要为以下几项：

- 1) 合理规划厂区的布置，各处理设施和管线流程畅顺，减少能量损耗。
- 2) 合理设计厂房，充分利用自然光与自然通风。

### 9.5.2 设备选型节能措施

- 1) 选择效率高、吸收剂消耗量低技术先进的尾气处理装置。

- 2) 一、二次风机、引风机、水泵、电机、变压器等设备均选用节能产品。
- 3) 锅炉给水泵、一次、二次风机、引风机等采用变频控制，节约电能。
- 4) 选用低损耗的节能型厂用变压器。
- 5) 引风机、循环水泵等选用高压节能产品。

由于实际运行功率比设备额定功率有一定程度的降低，因此关键设备采用变频调速后，可以节能 15%~20%。

### 9.5.3 系统节能措施

- 1) 除氧器所用蒸汽为汽轮机做功后的抽汽。
- 2) 连续排污扩容器二次蒸汽回收，接至除氧器。
- 3) 凝汽器要定期清洗，循环冷却水加絮凝剂和阻垢剂，保持凝汽器铜管的清洁，降低凝汽器背压，提高汽机热经济性。
- 4) 烟、风管道上尽可能不设与控制操作无关的风门，在布置上充分做到流向合理，以降低管道阻力，节省风机电耗。
- 5) 设备管道采用可靠的保温措施，防止热量损失，以节约能源。
- 6) 大容量电机采用 10.5kV 的电压等级。
- 7) 热工控制采用先进的 DCS 控制系统，以实现最佳控制状态，提高系统热效率。
- 8) 回收连续排污的排污水余热，用于职工的淋浴用热。
- 9) 热力设备和热管道，均采用良好的绝热保温材料和经济保温层厚度，减少管道散热带来的能量损失。
- 10) 在能源供应入口安装电、水、气等计量装置，对所用能源进行计量，以控制消耗、降低成本。
- 11) 汽水管道、设备安装严密，采用品质优良、密封性能好的阀门和蒸汽疏水器，防止在生产过程中的汽、水损失。

## 9.6 节约用水措施

本工程在设计中本着节约用水的原则，根据各用水点不同的水质、水温及水压要求，做到尽量回收重复利用，尽可能地减少排水量。

- 1) 汽轮发电机凝汽器采用空气冷却方式，大大节约了用水。
- 2) 汽轮发电机空冷器、冷油器及辅机等设备冷却采用闭式循环冷却水供水系统，冷却水循环使用。

- 3) 循环冷却水系统排污损失清洁废水二次利用，供飞灰固化，炉渣冷却、烟气降温、垃圾车冲洗、垃圾车运输引桥、地磅区域及垃圾卸料平台区域冲洗水等二次利用。
- 4) 生产生活污水处理后用作绿化用水、道路洒水等重复利用。
- 5) 除盐水制备过程中产生的浓水，作为设备反冲洗用水和锅炉排污降温井排水，二次利用。
- 6) 循环冷却水系统设水净化杀菌灭藻和阻垢缓蚀加药系统，减少循环水排污废水量，节约用水。
- 7) 汽水管道设计上采取措施，防止“跑、冒、滴、漏”，减少汽水损失。
- 8) 厂区工艺等生产设备选用耗水量较低的，技术先进的产品。
- 9) 循环冷却水系统选择技术先进，蒸发损失和风吹损失率较小的冷却塔。
- 10) 卫生器具等选用国家规定的节水型节能产品。
- 11) 厂区各重要的用水点设置用水计量装置，从生产指标方面，加强管理，强化节约用水。
- 12) 厂区所有水池、水箱均装设液位控制阀，设水位显示装置，避免可能因溢流造成的排水损失。

## 9.7 建筑节能

- 1) 总平面设计尽量保证主要建筑物较多的日照。
- 2) 建筑平、立面设计尽量考虑规整，减少凹凸面，以减少外表面积，减小体型系数。建筑外墙选用较深颜色的暖色调饰面材料，以吸收太阳的辐射热能。
- 3) 建筑外窗在满足采光要求的前提下，尽量减少开窗面积，选用质量可靠的断热铝合金窗，减少窗户缝隙长度。
- 4) 建筑外墙和屋面在施工图设计阶段进行验算，以保证传热阻大于当地节能部门要求的最小传热阻，并重点处理好柱、梁嵌入处、散热器、管道嵌入的地方及伸缩缝等有可能产生热桥的部位。屋面保温材料采用质量可靠的预制保温隔热板。

## 9.8 效益评价

本工程利用垃圾焚烧发电，在正常运行情况下，每年可处理生活垃圾 54.75 万吨，扣除焚烧工程所需的厂用电量后，年可外供电 19398.84 万度，折合节约标准煤为 6.13 万吨。

---

一般炉排炉垃圾发电厂厂用电率为 15%~21%，由于采用空冷设备，热效率较低，本厂采用以上节能措施后，厂用电率可降低到 16%左右。

采用垃圾焚烧方案，垃圾减容量可达 90%，减重量可达 70%以上，可大量减少填埋垃圾处置用地。

## 第10章 机构组织与劳动定员

### 10.1 组织机构

组织机构将按现代企业管理制度要求设置，实行董事会领导下的总经理负责制。行政总监和生产运行总监为副手。项目公司将设置生产运行部、生产技术部、行政人事部、财务管理部四大管理部门，公司员工总编制为 100 人。

生产运行部和生产技术部是一线生产部门。生产技术部应根据有关规程、制度，按照运行部提出的要求，进行设备的维护工作。生产运行部和生产技术部须相互配合，以满足安全、经济、环保的工作目标为宗旨。

财务管理部和行政人事部是为一线生产部门服务的服务性部门。服务性部门必须树立为一线生产部门服务的观念，以保证焚烧厂的正常运营。一线生产部门具有配合其他部门工作的义务。

### 10.2 工作制度及劳动定员

本项目参照国家计委和建设部制定的《城市生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准》（建标[2001]213号）的规定，本着精简高效、提高劳动生产率、分工合理、职责分明的原则，进行人员设定。

项目公司总定员 100 人。垃圾焚烧发电厂生产运行为连续工作制，4 班 3 运转运行，即每天 3 班，一个班休息，每班 8 小时。管理人员根据实际工作情况可以调整工作制。

表10-1 人员编制明细表

部门	岗位名称	班制	人员编制
管理部门	总经理	1	1
	行政总监	1	1
	生产运行总监	1	1
	综合办公室	1	2
	财务办公室	1	2
技术部门	生产技术部经理	1	2
	专工	1	6
生产部门	生产运行部经理	1	2
	值长	4	8
	焚烧炉、烟气处理、热力系统	4	40
	地磅	2	3
	垃圾吊机	4	16
	灰渣处理	4	8
	化验	4	4
	维修	1	4
合计			100

### 10.3 人员组成和培训

#### 10.3.1 人员来源

项目公司的人员按照《劳动法》及当地用工制度进行人员聘用，其中，运行管理人员、主要技术人员将由项目业主指派具有长期相关工艺技术和生产管理经验丰富的人员担任，生产工人和部分技术人员在社会上招聘，由于本项目的机械自动化程度较高，所聘人员应具有相关岗位的学历或资格。

#### 10.3.2 人员培训

由于垃圾焚烧发电厂系统复杂，设备众多，自动化水平较高，在管理上、技术上都需要掌握较高的水平，人员培训是生产技术及质量保证的重要手段。人员培训的内容包括生产技术，生产管理，主要设备仪器操作、生产调试、维修及产品质量控制等。培训对象主要为工人。技术人员和管理人员应有同类生产厂的管理经验。

全部操作工人应进行岗前培训，部分人员将到国内同类型工厂进行培训、实习，以便能尽快掌握管理及生产技术。

## 第11章 工程实施条件和进度安排

### 11.1 工程实施条件

本项目工程用地根据地形条件，因地制宜布置厂房布局，尽量减少工程土石方量，减少投资。施工道路由当地政府铺设。施工用水、用电可从附近供水、供电系统中接入。施工用的建筑材料均可由当地供应。

### 11.2 进度安排

本项目的设计、设备采购、场地准备、土建施工、设备安装、调试和试生产总进度为 12 个月，工程实施计划进度如下：

1) 项目前期（2 个月）

包含：可行性研究、环境影响评价、项目立项等。

2) 开工准备（5 个月）

包含：主要设备招标、初步设计及评审、场地平整（含拆除工程）、辅助设备招标、施工图设计等。

3) 项目建设（6.5 个月）

包含：设备采购、设备安装等。

4) 调试（1 个月）

包含：总体调试、试运行等。

表 11-1 项目实施进度表

## 项目进度表

编号	工作名称	持续时间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>1</b>	<b>项目前期</b>	<b>60</b>	<b>项目前期</b>											
1.1	可行性研究	15	可行性研究											
1.2	环境影响评价	30	环境影响评价											
1.3	项目立项	15		项目立项										
<b>2</b>	<b>开工准备</b>	<b>150</b>		<b>开工准备</b>										
2.1	主要设备招标	45		主要设备招标										
2.2	初步设计及评审	45		初步设计及评审										
2.3	场地平整（含拆除）	45		场地平整（含拆除）										
2.4	辅助设备招标	44		辅助设备招标										
2.5	施工图设计	91		施工图设计										
<b>3</b>	<b>项目建设</b>	<b>195</b>		<b>项目建设</b>										
3.1	设备采购	75		设备采购										
3.2	土建施工	135		土建施工										
3.3	设备安装	120		设备安装										
<b>4</b>	<b>调试</b>	<b>30</b>											<b>调试</b>	
4.1	总体调试	30											总体调试	
4.2	试运行	0											试运行	

## 第12章 投资估算

### 12.1 工程概况

#### 12.1.1 工程概况

本项目是由潮阳区城市综合管理局筹建的汕头市潮阳区生活垃圾焚烧发电厂 BOT 项目。本项目为焚烧发电项目，本期建设规模为日处理生活垃圾 1500 吨，炉机配置为：2×750t/d 机械炉排焚烧炉，配置 1×35MW 凝汽式汽轮机组和 1×35MW 发电机组。

#### 12.1.2 编制范围

本估算内容包括：建筑工程、设备购置、安装工程以及按国家规定为进行基本建设所需要的其他费用。

#### 12.1.3 编制依据

- 1) 《市政工程投资估算编制办法》(2007)；
- 2) 《市政工程投资估算指标》(2008)；
- 3) 《市政公用设施建设项目经济评价方法与参数》(2008)；
- 4) 《建设工程工程量清单计价规范》(GB50500-2013)；
- 5) 《火力发电工程建设预算编制与计算标准》；
- 6) 《电力建设工程预算定额》(2013 年版)；
- 7) 《生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准》(建标 142-2010)；
- 8) 《房屋建筑与装饰工程工程量计算规范》(GB50854-2013)；
- 9) 《建筑安装工程费用项目组成》(建标〔2013〕44 号)；
- 10) 《广东省安装工程预算定额(2010)》；
- 11) 《广东省建筑工程预算定额(2010)》；
- 12) 《广东省市政工程预算定额(2010)》；
- 13) 财政部财建(2002)394 号；
- 14) 国家发改委计价格(2002)1980 号；
- 15) 发改价格[2007]670 号；
- 16) 国家发改委计价格(1999)1283 号；

- 17) 发改投资[2012]2492 号;
- 18) 国家计委、建设部发布的《工程勘察设计收费标准》(2002 年修订版);
- 19) 《火力发电工程建设预算编制与计算标准》;
- 20) 广东省及汕头市建设工程主管部门的相关规定;
- 21) 参照同类项目经济指标。

#### 12.1.4 编制方法

- 1) 建筑工程费根据设计资料估算, 部分参照同类工程造价指标, 并结合该地区材料价格、人工费编制工程造价;
- 2) 设备购置费是根据近期制造厂提供的价格资料计算。设备运杂费根据《火力发电工程建设预算编制与计算标准》规定的指标计算, 列入设备价值内;
- 3) 安装工程费是根据地方定额标准及参照同类工程造价指标估算, 费用中已包括管道、电线电缆、阀门、保温、刷油等主要安装材料费和人工费。
- 4) 基本预备费按 8%估算;

### 12.2 投资估算表

本项目投资由建筑工程费、设备购置费、安装工程费、工程建设其他费用、预备费、建设期贷款利息、铺底流动资金组成。

项目投入资金: 本期工程项目建设总投资 80033.70 万元, 其中建设投资 77105.19 万元、建设期利息 2374.40 万元、铺底流动资金 554.11 万元, 详见投资估算表(下表)。

表12-1 投资估算表（单位：万元）

序号	工程或费用名称	估算金额（万元）					比例 (%)
		建筑工程	设备购置	安装工程	其他费用	合计	
1	2	3	4	5	6	7	8
一	工程费用						
(一)	垃圾接收、储存和输送系统		1038.08	124.88		1162.96	1.45%
1	垃圾称重系统		85.80	7.46		93.26	0.12%
2	垃圾卸料设施		952.28	117.42		1069.70	1.34%
(二)	辅助燃料系统		32.00	3.84		35.84	0.04%
1	燃油系统		32.00	3.84		35.84	0.04%
(三)	焚烧/热力系统		17404.20	3964.17		21368.37	26.70%
1	焚烧炉/锅炉系统		15039.16	2767.77		17806.93	22.25%
1.1	焚烧炉（包括耐火材料）		8025.00	1389.93		9414.93	11.76%
1.2	燃烧空气系统		185.01	46.25		231.26	0.29%
1.3	余热锅炉与辅助设备		6292.55	1208.17		7500.72	9.37%
1.4	炉内脱氮系统		536.60	123.42		660.02	0.82%
2	汽轮发电机系统		2167.50	205.21		2372.71	2.96%
2.1	汽轮发电机组		1900.50	180.55		2081.05	2.60%
2.2	汽轮机辅助设备		196.00	16.21		212.21	0.27%
2.3	旁路系统		71.00	8.45		79.45	0.10%
3	锅炉给水系统		197.54	29.63		227.17	0.28%
4	管道阀门			705.17		705.17	0.88%
5	保温油漆			256.40		256.40	0.32%
(四)	烟气净化系统		3740.60	489.18		4229.78	5.29%
1	石灰浆系统		96.12	24.03		120.15	0.15%
2	活性炭及干粉系统		188.87	24.93		213.80	0.27%
3	反应塔		1815.45	190.62		2006.07	2.51%
4	布袋除尘器		1489.50	174.27		1663.77	2.08%
5	排烟系统		150.66	75.33		225.99	0.28%
(五)	灰渣处理系统		780.10	117.48		897.58	1.12%
1	除渣系统		263.00	43.40		306.40	0.38%
2	除灰系统		119.50	27.96		147.46	0.18%
3	飞灰稳定化系统		397.60	46.12		443.72	0.55%
(六)	锅炉补给水处理系统		410.60	63.98		474.58	0.59%

序号	工程或费用名称	估算金额（万元）					比例
		建筑工程	设备购置	安装工程	其他费用	合计	(%)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	除盐水处理系统		359.70	53.96		413.66	0.52%
2	加药系统		50.90	10.03		60.93	0.08%
(七)	污水处理系统		701.84	452.65		1154.49	1.44%
1	垃圾渗滤液输送系统		24.30	127.43		151.73	0.19%
2	污水处理系统		677.54	325.22		1002.76	1.25%
(八)	供水系统		365.34	534.72		900.06	1.12%
1	综合水泵房（含消防）		154.00	52.00		206.00	0.26%
2	循环水管道			336.48		336.48	0.42%
3	工业水管道			118.76		118.76	0.15%
4	冷却塔		211.34	27.47		238.81	0.30%
(九)	通风空调		148.50	269.22		417.72	0.52%
1	通风工程		114.00	266.60		380.60	0.48%
2	空调工程		34.50	2.62		37.12	0.05%
(十)	电气系统		1669.70	1563.51		3233.21	4.04%
1	发电机电气与引出线		21.30	7.65		28.95	0.04%
2	厂用变系统		1036.30	181.35		1217.65	1.52%
3	继电保护及安全自动装置		108.90	25.59		134.49	0.17%
4	全厂电缆			1240.23		1240.23	1.55%
5	主变系统		503.20	108.69		611.89	25.77%
(十一)	自动控制系统		1276.13	755.88		2032.01	2.54%
1	自控公用部分		380.03	59.66		439.69	0.55%
2	自控锅炉部分		708.70	113.39		822.09	1.03%
3	自控汽机部分		83.40	15.68		99.08	0.12%
4	自控系统材料			554.66		554.66	0.69%
5	火灾自动报警系统		62.50	9.38		71.88	0.09%
6	弱电系统		41.50	3.11		44.61	0.06%
(十二)	附属生产工程		357.55	63.43		420.98	0.53%
1	空压机房		240.00	53.04		293.04	0.37%
2	化验室设备		37.43	6.74		44.17	0.06%
3	维修设备		28.12	3.66		31.78	0.04%
4	运输设备		52.00			52.00	0.06%

序号	工程或费用名称	估算金额(万元)					比例
		建筑工程	设备购置	安装工程	其他费用	合计	(%)
1	2	3	4	5	6	7	8
(十三)	建筑工程	27847.58		217.00		28064.58	35.07%
1	主厂房及设备基础	15681.93				15681.93	19.59%
2	坡道	94.63				94.63	0.12%
3	烟囱	825.87				825.87	1.03%
4	地磅房及地磅基础	49.20				49.20	0.06%
5	油罐区	15.50				15.50	0.02%
6	综合水泵房	176.76				176.76	0.22%
7	冷却塔基础	512.33				512.33	0.64%
8	垃圾渗滤液处理站	3236.00				3236.00	4.04%
9	生产消防水池	37.56				37.56	0.05%
10	初期雨水收集池及消防事故池	24.48				24.48	0.03%
11	综合楼	507.24				507.24	0.63%
12	门卫与大门	22.82				22.82	0.03%
13	厂区性建筑	2278.26		217.00		2495.26	3.12%
13.1	厂区道路广场	404.91				404.91	0.51%
13.2	厂区硬地	561.17				561.17	0.70%
13.3	厂区围墙	68.47				68.47	0.09%
13.4	厂区工程(照明、排水、消防)	356.60		217.00		573.60	0.72%
13.5	绿化	126.28				126.28	0.16%
13.6	场地平整费	760.84				760.84	0.95%
14	厂外工程	4385				4385.00	5.48%
14.1	施工临时用电保安电源	65				65.00	0.08%
14.2	厂外取水	3000				3000.00	3.75%
14.3	厂外线路	1320				1320.00	1.65%
	一 小 计	27847.58	27924.64	8619.95		64392.17	80.46%
二	其他费用						
1	建设管理费				504.96	504.96	0.63%
2	招标费				72.96	72.96	0.09%
3	工程监理费				819.08	819.08	1.02%
4	工程勘察费				643.92	643.92	0.80%

序号	工程或费用名称	估算金额（万元）					比例
		建筑工程	设备购置	安装工程	其他费用	合计	(%)
1	2	3	4	5	6	7	8
5	工程设计费				1623.65	1623.65	2.03%
6	建设项目前期工作咨询费				131.51	131.51	0.16%
7	施工图预算编制费				162.36	162.36	0.20%
8	竣工图文件编制费				129.89	129.89	0.16%
9	施工图设计审查费				25.00	25.00	0.03%
10	工程质量监督检测费				72.94	72.94	0.09%
11	特殊设备安全监督检验费				43.29	43.29	0.05%
12	水土保持项目编制及验收费				15.00	15.00	0.02%
13	环境保护监理费				20.00	20.00	0.02%
14	节能评估及验收费				15.00	15.00	0.02%
15	劳动安全卫生评审费				96.59	96.59	0.12%
16	场地准备费及临时设施费				643.92	643.92	0.80%
17	工程保险费				386.35	386.35	0.48%
18	环境监测验收费				25.00	25.00	0.03%
19	桩基检测及主体结构等检测费				139.24	139.24	0.17%
20	联合试运转费				482.86	482.86	0.60%
21	办公及生活家具购置费				20.00	20.00	0.02%
22	生产职工培训及提前进厂费				660.00	660.00	0.82%
23	项目技术咨询费				50.00	50.00	0.06%
24	环境影响咨询服务费				150.00	150.00	0.19%
25	社会稳定风险评估咨询服务费				68.01	68.01	0.08%
	二 小 计				7001.53	7001.53	8.75%
	一、二合计	27847.58	27924.64	8619.95	7001.53	71393.70	89.20%
三	预备费				5711.50	5711.50	7.14%
四	建设投资					77105.19	96.34%
五	建设期利息				2374.40	2374.40	2.97%
六	铺底流动资金				554.11	554.11	0.69%
七	项目总投资	27847.58	27924.64	8619.95	15641.53	80033.70	100.00%
	占总比例%	34.79%	34.89%	10.77%	19.54%	100%	

## 第13章 财务评价

### 13.1 资金筹措

资金来源：由建设单位以直接注入资本金的方式进行投资。

项目总资金中，资本金 24398.00 万元（包括建设投资 23843.89 万元及铺底流动资金 554.11 万元），债务资金 56928.61 万元（包括长期借款 53261.30 万元、流动资金借款 1292.91 万元及建设期利息 2374.40 万元）。详见投资计划与资金筹措表。

根据项目运营所需的原材料、燃料等周转天数按分项详细法测算的流动资金为 1847.02 万元，详见流动资金估算表。

### 13.2 财务预测分析

项目特许经营期 30 年（含建设期），本财务分析计算期按 30 年计算，包括 2 年建设期和 28 年生产运营期。

#### 13.2.1 成本分析

##### 1) 成本估算依据

- a. 根据各设计专业提供的物料消耗资料；
- b. 外购原材料、辅助材料、燃料等按现行市场价格计算；
- c. 垃圾处理费按 90 元/吨计算；
- d. 固定资产折旧：建筑物按 28 年计提折旧，机器设备按 15 年计提折旧，净残值率为 5%，其他资产按 10 年摊销。
- e. 人均工资及福利费按 12 万元/年估算。
- f. 修理费用按固定资产原值的 2.0%估算，包括大修、年修及日常维护等。每年除尘布袋更换费用平均估算为 210.98 元。
- g. 其他费用主要包括其他制造费用、其他管理费用，是参照同类型垃圾发电厂资料估算，除此外还包括保险费及摊销费及排放物化验监测费用。

##### 2) 成本估算分析

生产运营期平均每年总成本费用 10309.67 元，年经营成本 7052.81 元。详见总成本费用估算表。

### 13.2.2 盈利能力分析

#### 1) 销售收入及销售税金估算

a. 根据国家发展改革委关于完善垃圾焚烧发电价格政策的通知（发改价格[2012]801号）：“以生活垃圾为原料的垃圾焚烧发电项目，均先按其入厂垃圾处理量折算成上网电量进行结算，每吨生活垃圾折算上网电量暂定为 280 千瓦时，并执行全国统一垃圾发电标杆电价每千瓦时 0.65 元（含税，下同）；其余上网电量执行当地同类燃煤发电机组上网电价”。本项目年售电收入 11797.51 万元。

b. 垃圾处理费按照每吨 90 元计算，年垃圾处理费收入 4927.50 万元。

c. 销售税金及附加税：根据财政部和国家税务总局《关于资源综合利用及其他产品增值税政策的通知》（财税〔2008〕156号）文件规定，本项目售电收入可实行增值税即征即退的优惠政策；根据财政部和国家税务总局《资源综合利用产品和劳务增值税优惠目录》（财税〔2015〕78号）文件规定，本项目垃圾处理劳务收入可实行增值税即征即退 70%的优惠政策，则本项目平均年缴纳增值税 173.40 万元。城市建设维护税、教育附加费及地方教育附加费分别是 7%、3%和 2%，项目平均年附加费 149.50 万元。详见营业收入、营业税金及附加和增值税估算表。

#### 2) 利润估算

根据《中华人民共和国企业所得税法实施条例》规定，企业所得税税率 25%、从事环境保护、节能节水项目，包括公共污水处理、公共垃圾处理等行业的企业能享受“三免三减半”的优惠，所以本报告按此税率和优惠计算。法定盈余公积金按 10%提取，年平均利润总额 6092.44 万元。详见利润与利润分配表。

#### 3) 现金流量分析

根据逐年现金流量计算，税前财务内部收益率 10.43%，投资回收期 10.70 年，财务净现值（ic=7%）27025.43 万元；税后财务内部收益 8.49%，投资回收期 12.12 年，财务净现值（ic=7%）11099.69 万元；从投资者角度看，资本金税后内部收益 12.12%，投资回收期为 12.90 年。详见项目投资现金流量表和项目资本金现金流量表。

### 13.2.3 清偿能力分析

本项目长期借款 53261.30 万元，生产期利息逐年摊入成本，还款资金来源为未分配利润、折旧费、摊销费，借款偿还期为 10.99 年。

### 13.2.4 生存能力分析

通过财务计划现金流量表可以看出，各年资金均有盈余，并能达到资金平衡。

### 13.2.5 不确定性分析与风险分析

#### 1) 盈亏平衡分析

以生产能力利用率表示的盈亏平衡点(BEP)为 57.26%，即按正常的生产经营计划，当预期营业收入达到 9491 万元时，就可保持盈亏平衡。其盈亏平衡点一般，表明项目有一定的抗风险能力。

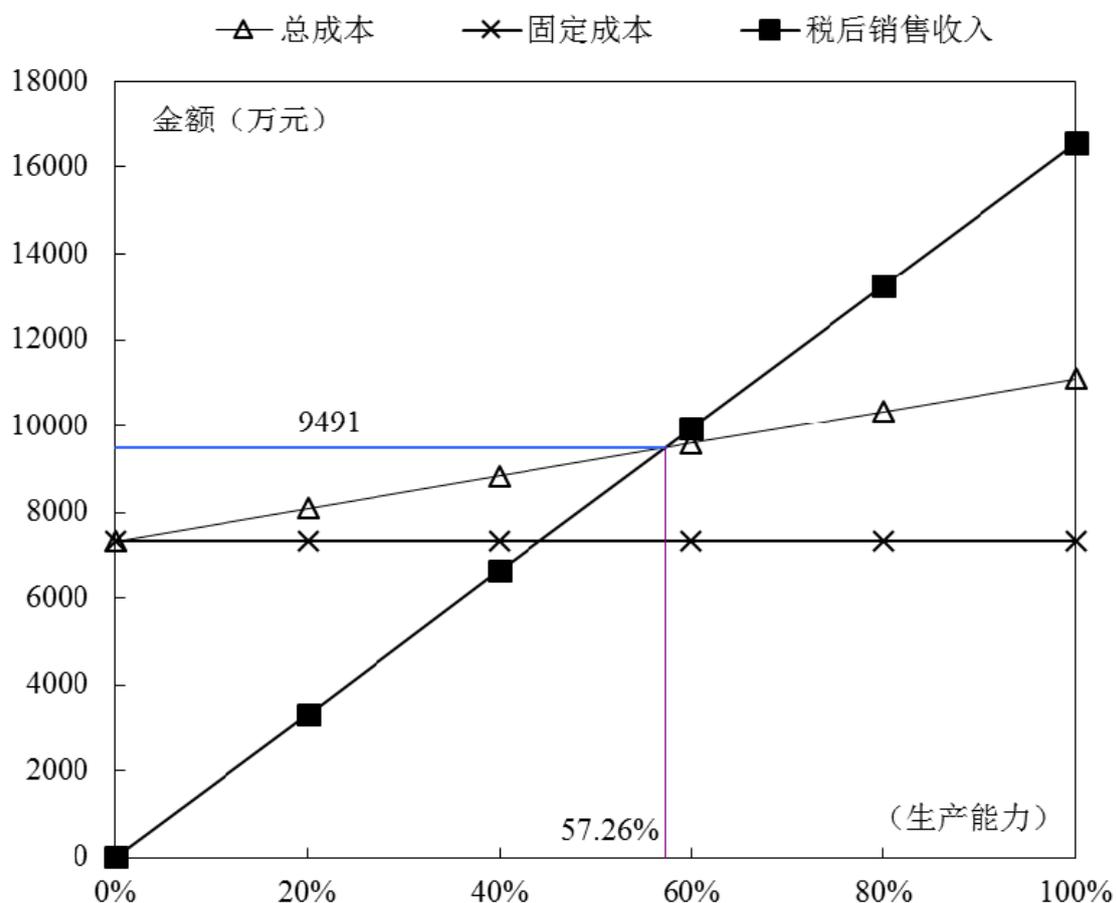


图 13-1 敏感性分析图

#### 2) 敏感性分析

对本项目的 4 个较为敏感的因素作敏感性分析，当售电收入、垃圾补贴、经营成本、固定资产投资作±10%的单独变化时，对税前内部收益率的影响程度。

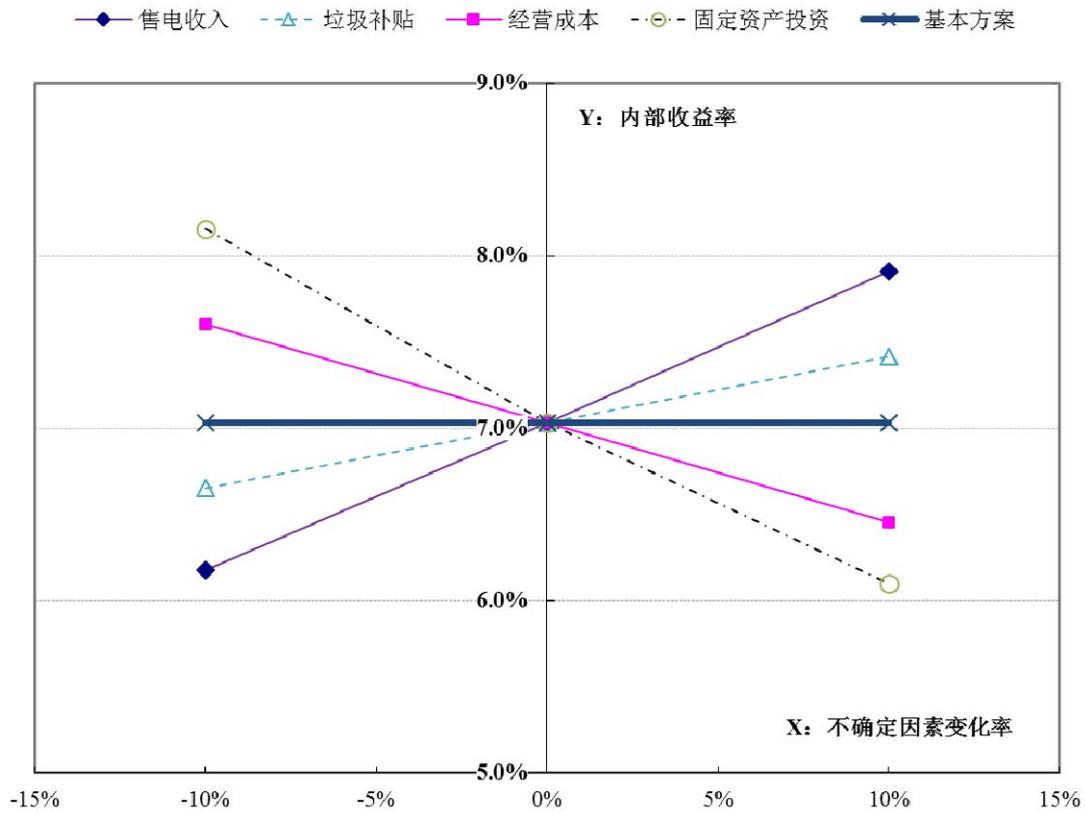


图 13-2 敏感性分析图

表 13-1 敏感性分析表

序号	变动因素	变动幅度	内部收益率 (%)	敏感系数	敏感程度
1	基本方案		8.49%		
2	固定资产投资	10%	7.79%	-8.22%	3
		-10%	9.25%	8.94%	
3	经营成本	10%	7.49%	-11.85%	2
		-10%	9.46%	11.47%	
4	售电收入	10%	9.67%	13.86%	1
		-10%	7.26%	-14.47%	
5	垃圾补贴	10%	8.98%	5.75%	4
		-10%	7.99%	-5.85%	

根据分析结果显示，最为敏感的因素是售电收入和经营成本的变化，应引起足够的重视。

### 3) 风险分析

纵观以上各项分析，影响本项目实现预期经济效益的风险因素主要有以下几种：政

策风险、项目收益风险、运营成本费用风险。

### （1）政策风险

本项目对国家的税收优惠政策依赖较大，随着国人环保意识的逐年增强，国家越来越重视环境污染问题，估计对现有优惠政策作出重大逆向调整的可能性不大，此类风险较低。

### （2）项目收益风险

收益风险主要来源两方面：发电量、电价与预测的垃圾处理费收入。

本项目发电量能否达到预期主要受垃圾量影响，如当地政府能与投资方签订保证垃圾量等协议，将会减少此类风险。未来电价可能受政策调整影响，此类风险一般。垃圾处理费是基于现行成本价格预测的，未来成本价格上涨时可能影响项目的收益，此类风险一般。

### （3）运营成本费用风险

未来成本费用上涨的可能性较大，特别是油价、飞灰处理费用、渗沥液处理费用、工资等因素的上升。如敏感性分析结果显示成本上涨时内部收益率有一定幅度的下降，应引起重视。此类风险一般，根据本项目的特点和实际情况，可在签署协议时要求一旦出现此类情况时（给予一定的幅度）提高垃圾处理费以防范此类风险。

以上各项防范风险的措施未必能达到预定的效果，但可尽量减低风险，使企业能最大限度地平稳经营，只有保持发电量及控制成本才能保持正常的生产运营，及提高防范未来风险的能力。

## 13.3 初步财务评价

以上各项分析表明，本项目内部收益率、投资回收期及借款偿还期等各项指标在本行业中均属一般范围。但由于本项目是以处理生活垃圾为主，综合利用为副的环保工程，社会效益显著，通过政府给予垃圾处理费收入补贴，使生产运转得以维持正常，并有一定的经济效益，所以本项目在经济上还是可行的。

## 13.4 项目财务分析表格

## 第14章 结论与建议

### 14.1 结论

1) 汕头市潮阳区生活垃圾焚烧发电厂 BOT 项目总建设规模为 2250t/d，本期建设规模 1500t/d，新建 2 台 750t/d 机械炉排垃圾焚烧炉，有效地解决了服务区域内的生活垃圾处理问题；提高了潮阳区生活垃圾的无害化利用率和资源利用率，减少了填埋量；有效改善了服务区域内的生态环境，因此建设汕头市潮阳区生活垃圾焚烧发电厂 BOT 项目是必要的。

2) 通过多种焚烧炉型的分析比较，本项目推荐采用 2×750t/d 炉排炉垃圾焚烧炉。该炉型是以炉排炉为基础的成熟技术，有较多的应用业绩，它比较符合我国国情，具有适合焚烧处理高水分、多变化、低热值城市生活垃圾的特点。应用实例表明，该种垃圾焚烧炉，各项技术指标均能达到设计要求。

3) 通过烟气净化处理方法比较，本项目推荐采用了“SNCR 炉内脱硝+半干法脱酸+干石灰喷射+活性炭吸附+布袋除尘”烟气净化处理工艺，烟气排放执行《生活垃圾焚烧处理污染控制标准》（GB18485-2014）及欧盟 EU2000/76/EC 标准。

4) 本项目厂区生产生活污水经处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》GB19923-2005 和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T18920-2002 的有关水质标准后，回用作为汽机循环冷却水补充水、绿化用水及道路洒水。渗滤液经处理达到《城市污水再生利用-工业用水水质》（GB/T19923-2005）的有关水质标准后，回用作为厂区循环冷却水补充水。

5) 本工程的主要设备——垃圾焚烧炉、烟气净化系统核心设备、垃圾吊核心设备等拟采用国产设备，在保证技术、性能指标先进的前提下，可节约投资成本和运行费用。初步估算本项目总投资为 80033.70 万元，垃圾处理费为 90 元/t。经财务测算后，本项目税后财务内部收益 8.49%，投资回收期 12.12 年。

综上，建设本项目技术方案可行，污染物达标排放，可实现垃圾处理“无害化、减量化、资源化”，具有显著社会效益和环境效，同时具有一定的财务收益和抗风险能力，在经济上是可行的。

## 14.2 建议

垃圾供应量是影响本工程的决定性因素，因此，建议加大与政府协调力度，督促政府加大垃圾收集与运输的管理力度，适当扩大垃圾收集范围，为工程正常运行提供基本条件，同时在特许经营协议里对垃圾结算及供应进行详细谋划，落实照付不议原则，以提高经营效益。

4) 城市垃圾发电厂是一个跨行业的综合性项目，希望在政府部门统一管理下进一步加强市政、环卫、电力行业之间的合作，对现有的垃圾管理体制进行改进，健全垃圾收费制度，为垃圾处理提供必要的经费，使垃圾发电厂运营正常，减少政府的负担。

5) 政府环卫部门应加强垃圾收运体系建设，扩大收运范围，提高清运率，满足项目垃圾供应需要；采购更规范的垃圾运输车，减少垃圾运输对居民的影响。

6) 建设单位在下一步工作中应按季度取足量样本垃圾进行检测，以对后面的施工设计和运营管理提供更合理的决策依据。