

垃圾焚烧发电的优点及其主机配置方案研究

赵琪

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 随着经济发展, 城市生活垃圾越来越多, 对比了三种处理生活垃圾方式, 阐述了垃圾用于填埋和堆肥不是主要的处理垃圾方式; 焚烧方式则更为清洁环保, 并已得到大量运用, 是城市垃圾处理的主要发展趋势。并对参考垃圾电站采用 3×350 t/d、 3×400 t/d、 2×500 t/d 和 2×600 t/d 四个配置方案进行分析比较, 阐述主机如何配置和选型。垃圾电站的技术方案选择应结合工程的实际情况, 从技术成熟和应用业绩、运行稳定性、维护工作量、占地面积、投资造价及运行经济性等方面综合考虑, 选取最佳工程方案。

关键词: 垃圾处理方式; 垃圾电站; 机械炉排炉; 配置和选型; 垃圾焚烧

中图分类号: TM619

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)03-0075-05

Advantages of Waste Incineration Power Generation and Garbage Power Station Research on Unit Configuration Scheme

ZHAO Qi

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: There are more and more municipal solid waste with the development of economy, This paper compares the three ways of living garbage disposal; waste landfill and composting for this is not the main way of garbage disposal; compared to incineration is more clean and environmental protection, and has been widely used, not necessarily is the main development trend of city garbage disposal. And reference garbage power plant using four configuration schemes— 3×350 t/d、 3×400 t/d、 2×500 t/d 和 2×600 t/d are analyzed and compared, to explain how to configure and select the unit. Technical scheme of garbage power plant selection should be combined with the actual situation of the project, from the technology and application performance, operation stability, maintenance workload, covers an area of, considering the investment cost and economic operation etc., and select the best project.

Key words: garbage treatment method; garbage power plant; mechanic grate boiler; unit collocation and selection; waste incineration

近年来随着城市化快速推进、经济快速发展和人民生活质量逐渐提高, 城市生活垃圾越来越多, 面对垃圾泛滥的情况, 各国的专家们建议应采取更为有力的措施处理利用垃圾, 而不仅限于控制和销毁^[1]。据技术研究分析, 垃圾中的所蕴藏的二次能源所含的热值较高, 20 t 垃圾焚烧后产生的热量与 10 t 煤基本相当。充分利用垃圾的二次能源用于发电, 每年将节省大量一次能源, 具有可观的经济效益。

1 发展前景^[2]

据调查, 我国每年城市生活垃圾, 用于填埋占三分之二, 焚烧和堆肥等仅占十分之一, 剩余 20% 难以回收。用于垃圾焚烧发电不到 10%, 被丢弃的“垃圾”价值可观。

填埋处理垃圾容易对地下水造成严重污染, 且填埋场用地长达几十年无法使用; 堆肥处理垃圾虽然规模较小, 但并不是主要的处理方式; 相比较焚烧方式更为清洁环保。

焚烧方式处理垃圾的最大优点就是占地面积小, 处理相同规模的垃圾所需用地不到填埋方式的

收稿日期: 2017-06-28

作者简介: 赵琪(1978), 女, 辽宁鞍山人, 工程师, 硕士, 主要从事发电厂热机专业设计研究工作(e-mail) zhaopi@gedi.com.cn。

表1 生活垃圾处理三种方式对比:

Tab. 1 Comparison of garbage disposal three methods

方式	填埋	堆肥	焚烧
占地面积	大	较小	小
选址	困难,特别在大城市极为困难。需要考虑地形地质条件,防止地表水、地下水污染,需要远离市区	较易,仅需避开居民密集区,气味影响半径小于约200 m,	可靠近市区建设,但是近年来,选址问题越来越敏感
风险	甲烷(沼气)聚集易引起爆炸,填埋场地渗漏或产生渗滤液二次污染	处理前需进行垃圾成份分析再堆肥,无重大风险	燃烧不稳定容易影响发电机组连续生产,烟气治理困难易大气污染
垃圾运输	距离较远	距离中	距离较近
污染	易有地下水污染;对大气有轻微污染	对大气有轻微气味,应设除臭装置,需控制堆肥区土壤重金属含量和pH	排放的气体含酸性气体、重金属和二恶英等,灰渣不能随意堆放

十分之一,目前一二线城市地价飙升,寸土寸金,很多地区的垃圾填埋场库容已经接近极限,而开设新的垃圾填埋场又要耗费大量的土地资源,处理成本也将越来越高,因此面对土地资源的珍贵、稀缺,焚烧发电方式更容易得到地方政府的青睐。焚烧之后产生的热能可以供暖,也可以发电,具有一定的经济效益,更符合未来发展的需求。

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》明确规定“对城市生活垃圾应当及时清运,逐步做到分类收集和运输,并积极开展合理利用和实施无害化处置。”生活垃圾填埋场无法实现清洁生产,且每年要毁大量土地资源,焚烧方式处理垃圾正遵循“减量化、资源化、无害化”的原则,必然是生活垃圾处理的发展趋势。

2 垃圾发电简述

垃圾发电就是把收集后各种垃圾,进行分类处

理。其中燃烧值较高部分垃圾的进行高温焚烧(彻底消灭了病源性生物和腐蚀性有机要物),焚烧的热能通过高温蒸气介质转化为动能,推动汽轮机和发电机同步转动从而产生电能。另外,对不易燃烧的有机物进行发酵、厌氧处理,最后干燥脱硫,产生甲烷。同样经过燃烧过程,实现热能-动能-电能的转换。生产工艺流程如图1所示。

3 垃圾发电机组炉型选型

3.1 焚烧炉炉型选择

目前,城市的生活垃圾主要来自社会、街道保洁和居民产生的生活垃圾等。社会产生的社会垃圾主要指由企事业单位、机关产生的垃圾,其组成大部分都是以包装物为主;街道保洁产生的垃圾中泥沙、枯枝落叶、包装物品等较多,所含易腐物较少;居民生活垃圾主要是腐有机物、塑料和纸张等构成,其组分受季节性及时间的影响较大。

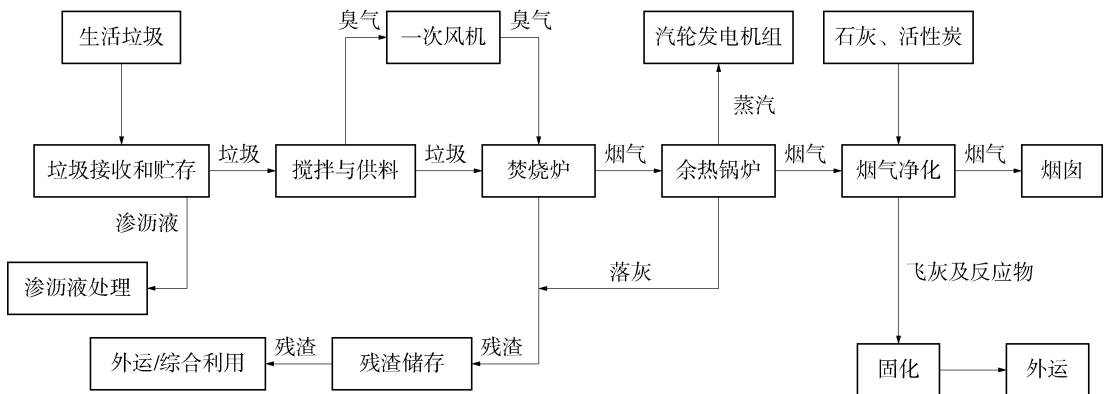


图1 建设项目生产工艺流程图

Fig. 1 The construction project production process flow chart

目前国内外技术比较成熟的垃圾炉炉型主要有流化床焚烧炉、机械炉排炉、热解焚烧炉及回转窑焚烧炉等。国外是以炉排型焚烧炉为主流设备，占有绝对优势；我国以炉排型焚烧炉和流化床焚烧炉为主，且前者更具优势。

3.1.1 机械炉排炉^[3]

机械炉排炉是目前世界最常用、处理量最大的生活垃圾焚烧炉，具有对垃圾热值适应范围广、对垃圾的预处理要求不高、运行及维护简便等优点，主要采用层状燃烧技术。已经运行的单台炉最大处理能力为900 t/d，技术成熟可靠。

3.1.2 流化床焚烧炉^[3]

流化床焚烧炉利用床料的大热容量来保证垃圾的着火和燃烬，其焚烧机理与燃煤流化床相似。流化床技术在70年代用来焚烧生活垃圾，但在90年

代后期，由于自身缺陷，在日益严格的排放标准下烟气污染物处理较为困难，在生活垃圾焚烧上的应用受到一定限制。近些年来流化床焚烧炉在国内得到了一定程度的应用，但该炉型多用于日处理垃圾500 t以下较小规模的垃圾处理，且存在一定争议，有待进一步技术提高和完善。

3.1.3 热解焚烧炉^[3]

热解焚烧采用炉热解技术来处理多种垃圾。垃圾中的有机物在缺氧或非氧化性环境中，热分解为可燃气体，然后利用可燃气体燃烧分解有机污染物，产生的热量用于发电、供热。但是，由于生活垃圾成分不稳定，导致产生的可燃混合气品质(热值、成分等)波动较大，不易控制其燃烧过程、难以燃烬垃圾且环保不易达标。此技术在美国和加拿大部分小城市得到一些应用。

表2 四类常见炉型特点比较

Tab. 2 Comparison of four kinds of furnace type characteristics

项目	机械炉排炉	流化床焚烧炉	热解焚烧炉	回转窑焚烧炉
目前单台炉最大处理规模	最大900 t/d	最大500 t/d	200 t/d	500 t/d
焚烧炉特点	选用的机械炉排面积及炉膛体积较大层燃燃烧方式	选用固定式炉床，炉膛体积一般较小流化燃烧方式	一般分为1~2个燃烧室，多选用立式固定炉排，	垃圾移动靠炉体的旋转带动
垃圾预处理	不需事先处理	必须垃圾事先破碎处理到15 cm以下，处理比较困难	热值较低时，需要	不需要处理
垃圾含水量	主要通过调整干燥段运动达到适应不同含水量的垃圾，一般进炉垃圾不宜过低	容易随垃圾含水量的变化而使炉温产生易波动	随垃圾含水量变化调节垃圾在炉内的停留时间	随垃圾含水量变化调节滚筒转速
垃圾不均匀性	垃圾通过炉排拨动从而反转达到垃圾均匀化的目的	较重垃圾容易迅速到达炉底，但较容易燃烧不充分	炉内垃圾翻动困难，大块垃圾不易燃烬	空气不能分段调节，大块垃圾燃烬度较差
炉渣热灼减率	进口设备≤3%，国产设备≤5%，易达标	达到0~2%，在连续助燃方面可达标	达标较难	达标较难
燃料在炉内停留时间	比较长	比较短	最长	长
燃烧介质	无需介质	需石英砂做载体	无需介质	无需介质
燃烧工况控制	易	不易	不易	不易
燃烧所需空气	根据工况较易调节	比较容易调节，但电耗高、风压高，	调节困难	调节困难
过量空气系数	大	中	小	大
锅炉出口粉尘	约3~5 g/Nm ³	约20 g/Nm ³	较低	高
设备占地	较大	较小	中	中
运行费用	较低	低	较高	较高
烟气处理	较易	较难	很难	较易
维修工作量	较少	较多	较少	较少
运行业绩	最多	国内较多，国外较少	少	主要用于工业垃圾
综合评价	适应性强，故障少，处理能力和环保性能好，成本较低对垃圾热值有一定要求	环保不易达标。故障率高，工程技术需完善，需加煤掺烧	不配置熔融热解炉较难燃烬，炉渣的热灼减率高，环保达标困难	对垃圾热值要求较高(4.186 kJ/kg以上)，运行成本高

3.1.4 回转窑焚烧炉^[3]

回转窑焚烧炉与水泥工业的回转窑相类似，一般用于处理成分复杂、有毒有害的工业废物和医疗垃圾等，在处理生活垃圾焚烧中较少应用。

我国垃圾焚烧发电项目主要是炉排型与循环流化床型垃圾焚烧炉并存，通过上表对比分析，机械炉排型垃圾焚烧炉主要以下几个优点：

1) 技术成熟，世界各城市绝大部分垃圾焚烧厂大多采用机械炉排炉型，国内已建的大型焚烧厂也多采用此炉型。

2) 机械炉排炉操作可靠，对垃圾适应性强，具有对垃圾的预处理要求不高，确保垃圾完全燃烧。

3) 操作较为简单方便，不易造成二次污染。

4) 焚烧炉稳定可靠，设备寿命长，满足年运行时间大于8 000 h要求。

循环流化床型垃圾焚烧炉具有炉渣热灼减率低等优点，但存在如下较为明显的不足：

1) 运行稳定性尚不足，停炉频次高，年运行时间普遍在6 000~7 000 h。

2) 由于垃圾是以挥发分燃烧为主，固定碳燃烧仅占约20%，致使垃圾在流化床中燃烧速率过快，不能很好地实现自动燃烧控制(ACC)。

同时，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》中指出：“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”。

基于以上原因，在国内垃圾焚烧项目主机选型中，其炉型主要推荐选择机械炉排炉。

3.2 方案技术经济比较

下面对国内项目主要采用的垃圾焚烧炉单机处理能力350 t、400 t、500 t和600 t等多种垃圾处理方案进行初步技术经济比较，供类似项目参考使用，技术方案拟定的边界条件为暂定。

根据《城市生活垃圾焚烧处理工程建设标准》的规定和国内外垃圾焚烧发电厂建设的经验，焚烧生产线数量推荐设置2~4条。

工程技术方案比较中生活垃圾处理量处理规模暂定为1 000 t/d，按之后垃圾量每年50 t/d的增长量，焚烧线配置宜考虑一定富余量，建议按1 000~1 200 t/d考虑，可以选择的配置方案为3×350 t/d、4×300 t/d、2×500 t/d、3×400 t/d和2

×600 t/d，其中4×300 t/d的方案焚烧线数量较多，工程投资高，运行维护工作量大，因此方案比较中暂不考虑进行方案比较。综上，本次对焚烧线采用3×350 t/d、3×400 t/d、2×500 t/d和2×600 t/d四个配置方案进行分析比较。几种生产线配置方案各自的处理能力配置详见表3。

表3 技术方案配置表

Tab. 3 Configuration scheme

方案	单炉处理能力/(t·d ⁻¹)	焚烧线数量/条	全厂规模/(t·d ⁻¹)
方案一	350	3	1 050
方案二	400	3	1 200
方案三	500	2	1 000
方案四	600	2	1 200

3.2.1 技术可行性和应用业绩

焚烧炉：以上350 t/d、400 t/d、500 t/d和600 t/d单炉处理能力的焚烧炉都有成熟炉型，产品可靠，技术差别不大，均有大量成功建设和运行的经验，四种方案在技术和应用业绩上都是可行的。

小汽机：相对应的国内标准产品的小汽机机组类型一般是6 MW和12 MW，而7.5 MW和9 MW采用较少。采用非标产品7.5 MW(或9 MW)汽轮发电机组，性能不够稳定、投资偏高，交货时间较长。建议尽可能采用标准化产品，配置12 MW汽轮发电机组，具有性能稳定，维护期短，故障率低，工作寿命长等优点。

3.2.2 全厂稳定性和适应性

在设备维修时需充分考虑其对垃圾处理能力和发电出力的影响，配置焚烧线数量越多，备用裕度较大，必然能够保障故障和检修期间垃圾处理能力和汽轮发电机组稳定出力。方案一和方案二采用3条焚烧线，较方案三和方案四的2条焚烧线更加稳定。但从总容量上看，方案二3×400 t/d和方案四2×600 t/d处理量为1 200 t/d，总容量最高，随着项目投产后垃圾量逐年增加，方案适应性更强，方案三2×500 t/d的适应性最差。方案四2×600 t/d焚烧线方案排放指标更优，设备更先进，更适应垃圾电站大型化的发展要求。

3.2.3 运行维护量和人员配置

在焚烧处理规模一定的情况下，焚烧线数量越少，则维修、操作、管理更为方便，所需运行人员

比较少,同时由于设备相对较少,全厂故障率也随之降低。

3.2.4 占地面积

表4 参考占地面积

Tab. 4 Reference Area

项目	单位	方案一	方案二	方案三	方案四
锅炉房占地面积	m ²	65 × 70	65 × 70	92 × 46	92 × 46
汽机房占地面积	m ²	55 × 25	55 × 25	55 × 25	55 × 25

3.2.5 主要设备投资造价

经与主要设备厂家咨询,方案主要设备投资造价对比详见表5。

四个方案中,方案二3 × 400 t/d设备总投资最高,方案一3 × 350 t/d次之,方案四2 × 600 t/d第三,方案三2 × 500 t/d最低。

3.2.6 运行经济性

四种方案主要运行指标对比见表6。

综上所述,针对生活垃圾处理规模为1 000 t/d的参考垃圾电站,方案四投资造价适中、适应性强、运行经济性较佳、技术成熟可靠且适应大型化的技术发展趋势,可作为类似项目的参考推荐方案。

4 结论

当前国内经济发展日新月异,城市化水平快速推进,环境保护呼声日益高涨,国内大中型城市都面临垃圾围城的危机,垃圾继续采用填埋方式已不可持续。垃圾采用焚烧方式技术成熟可靠,并已得到大量运用,未来必然是城市垃圾处理的主要发展趋势。垃圾电站的技术方案选择应结合工程实际情况,从技术成熟和应用业绩、运行稳定性、维护工作量、占地面积、投资造价及运行经济性等方面综合考虑,选取最佳工程方案。

表5 主要设备投资造价对比

Tab. 5 The main equipment investment cost comparison

项目	单位	方案一	方案二	方案三	方案四
垃圾处理规模	t/d	3 × 350	3 × 400	2 × 500	2 × 600
配套汽轮发电机	MW	12 + 9	12 + 12	12 + 9	12 + 12
垃圾抓吊	万元	2 × 400	2 × 400	2 × 400	2 × 400
焚烧炉投资	万元	3 × 4 400	3 × 4 700	2 × 5 350	2 × 6 000
烟气后处理投资 (含飞灰输送和处理系统)	万元	2 300	2 600	2 200	2 500
汽轮机发电机组投资	万元	650 + 630	650 + 650	650 + 630	650 + 650
主要设备总投资	万元	17 580	18 800	14 980	16 600
主要设备总投资差	万元	基准	1 220	-2 600	980

注:上表仅列出投资有较大差异的主要系统设备,其他系统和设备及土建投资差役未计入。

表6 主要运行指标对比表

Tab. 6 The main operating indicators comparison table

项目	单位	方案一	方案二	方案三	方案四	备注
垃圾处理规模	t/d	3 × 350	3 × 400	2 × 500	2 × 600	—
配套汽轮发电机	MW	12 + 9	12 + 12	12 + 9	12 + 12	—
25年垃圾处理总量	万t	873	983	833	983	—
25年内总发电量	GWh	3 593	4 045	3 428	4 045	—
25年内总供电量	GWh	2 946	3 317	2 811	3 317	厂用电率暂按18%
25年垃圾处理总量对比	万t	基准	+110	-40	+110	—
25年内总供电量对比	GWh	基准	+371	-135	+371	—
运行经济性	—	较好	最好	一般	最好	—

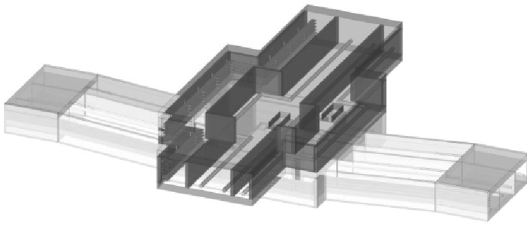


图6 管廊交叉节点三维示意图

Fig. 6 Three-dimensional plan of pipe gallery's cross-nodes

8 综合节点

综合节点是一种集约、高效的节点设计，将通风口、吊装口、逃生口、通风口、分变电所等合并设置，既保留了各节点的原有功能，又共用了部分设施，节约工程量。综合节点的设置应与各节点的间距、各舱室的防火分区要求相结合，如图7所示。

9 结论

随着综合管廊的发展和新技术、新工艺的应用，必然会对管廊的设计提出更高的要求，也会对过去的知识体系存在更新。因此，综合管廊的设计仍需不断探索与研究，完善和改进。

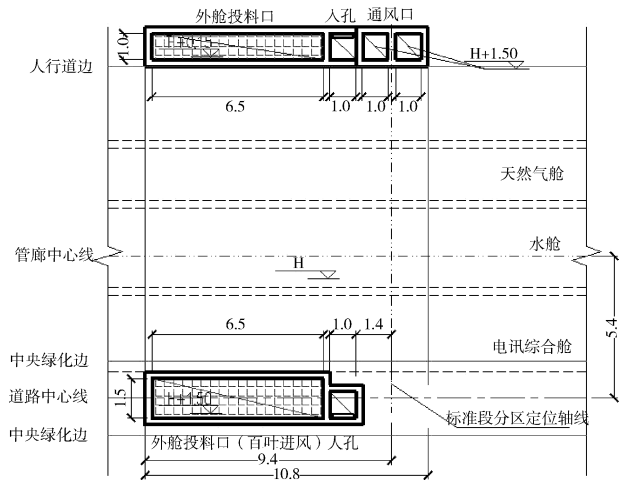


图7 综合节点平面图

Fig. 7 Plan of comprehensive nodes

参考文献:

[1] 上海市市政工程设计总院有限公司. 城市综合管廊工程技术规范: GB 50838—2015 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.

[2] 樊亮亮, 谢敏. 《湖南省城市综合管廊标准图集》设计要点探讨 [J]. 中国给水排水, 2017, 33(2): 51-55.

[3] 刘承东, 唐宏辉, 谢艺强, 等. 城市综合管廊通风系统风亭设计及优化 [J]. 中国市政工程, 2016, 23(增刊1): 91-94.

[4] 刑岷峰. 浅谈综合管廊电气设计 [J]. 智能建筑电气技术, 2013, 11(1): 120-122.

(责任编辑: 高春萌)

(上接第79页 Continued from Page 79)

参考文献:

[1] 刘宏. 丰厚利润引企业介入, 垃圾发电迎来并购潮 [N]. 中华工商时报, 2013-05-10(1).
LIU H. Lucrative profits lead enterprises to intervene, Garbage power ushered in mergers and acquisitions [N]. China Business Times, 2013-05-10(1).

[2] 徐文龙, 刘晶昊. 我国垃圾焚烧技术现状及发展预测 [J]. 中国环保产业, 2007(11): 24-29.
XU W L, LIU J H. Present situation and development prediction of waste incineration technology in China [J]. Chinese Environmental Protection Industry, 2007(11): 24-29.

[3] 杜军, 王怀彬, 金霄. 国内外垃圾焚烧炉技术概述 [J]. 工业锅炉, 2003(5): 15-19.
DU J, WANG H B, JIN X. Overview of domestic and foreign waste incinerator Technology [J]. Industrial Boiler, 2003(5): 15-19.

[4] 余水工. 我国垃圾发电发展现状及前景分析 [R]. 深圳: 前

瞻产业研究院, 2015.

YU S G. Development status and prospect analysis of waste power generation in China [R]. Shenzhen: Foresight Industry Research Institute, 2015.

[5] 杨佳珊. 我国垃圾焚烧发电现状与焚烧炉的选择 [J]. 可再生能源, 2004(3): 59-61 +64.

YANG J S. Power status and incineration of waste incineration in our country to choose [J]. Renewable Energy, 2004(3): 59-61 +64.

[6] 龙吉生, 徐文龙. 城市生活垃圾处理技术的国际发展趋势——论城市生活垃圾焚烧处理的合理性和有效性 [J]. 中国城市环境卫生, 2004(3): 34-41.

LONG J S, XU W L. International development trend of municipal solid waste treatment technology——Discussion on the rationality and effectiveness of municipal solid waste incineration [J]. City Environmental Sanitation China, 2004(3): 34-41.

(责任编辑 高春萌)