

垃圾焚烧发电项目一次风机运行分析

王晓亮

广州华科工程技术有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i10.7253

[摘要] 随着垃圾焚烧技术的广泛应用, 风机作为其的重要辅助设备, 选型和运行效率对发电厂的经济效益有重大影响。本文以某垃圾焚烧发电项目为例, 详细分析了一次风机的选型及实际运行工况。通过对风机特性曲线和阻力曲线的对比分析, 设计与实际运行工况之间的偏差主要由垃圾热值波动、过量空气系数不同和料层阻力估算偏差等因素导致。针对这些问题, 提出了合理的风机选型优化建议, 以提高实际运行效率, 降低能耗并提升整体效益。

[关键词] 垃圾焚烧发电; 一次风机; 选型优化; 运行效率; 特性曲线; 阻力分析

Operation analysis of the primary fan of the waste incineration power generation project

Xiao-liang wang

Guangzhou Huake Engineering Technology Co., Ltd.

[Abstract] With the wide application of waste incineration technology, the fan, as an important auxiliary equipment, type selection and operation efficiency have a significant impact on the economic benefits of the power plant. This paper takes a waste incineration power generation project as an example, and analyzes the selection and actual operation conditions of the primary fan in detail. Through the comparative analysis of the characteristic curve and resistance curve of the fan, the deviation between the design and the actual operating condition is mainly caused by the fluctuation of garbage calorific value, the different excess air coefficient and the deviation of material layer resistance estimation. In view of these problems, reasonable fan selection and optimization suggestions are put forward to improve the actual operation efficiency, reduce energy consumption and improve the overall efficiency.

[Key words] Waste incineration for power generation, primary fan, selection optimization, operation efficiency, characteristic curve, resistance analysis

绪论

城市垃圾热值达到一定水平后, 可使用垃圾焚烧的方式无害化处理生活, 垃圾焚烧发电技术作为一种高效的垃圾处理方式, 具有减量效果好, 污染排放低, 能源利用高等优点, 目前垃圾焚烧技术已得到广泛应用。

在垃圾焚烧发电厂中, 垃圾焚烧后产生的高温烟气经过余热锅炉, 由余热锅炉回收热量产生蒸汽并送至汽轮发电机组发电, 每吨垃圾大约焚烧发电 350~550 度 (与垃圾热值, 设备参数, 设备选型有关), 其中自耗电量约为 15%。在生活垃圾焚烧发电厂中, 除四大主机 (垃圾焚烧炉、余热锅炉、汽轮发电机组、烟气净化系统) 外, 还配有多种辅助设备, 如垃圾吊、渣吊、风机、水泵等。风机包括一次风机、二次风机、引风机、炉墙冷却风机、燃烧器助燃风机、密封风机等, 重要性仅次于四大主机。风机运行时总耗电量约占厂用电率 15% 左右, 目前一次风机、二次风机、引风机三大风机均普遍采用变频调速用以节能。

风机的选型参数决定了风机运行效率, 因此, 针对风机选型提出合理的风机参数至关重要, 对垃圾焚烧发电厂效益影响

重大。本文将对一次风机选型及运行中问题进行详细分析, 并提出相应的优化建议, 以期对相关项目的设计和运行提供参考。

典型一次风机选型

国内生活垃圾焚烧发电项目主要有炉排炉、流化床焚烧两种技术, 但循环流化床垃圾预处理要求较高, 产生飞灰较多, 需添加辅助燃料, 且排放较难控制, 根据国家建设部、国家环保总局发布的《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》要求: “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”, 当前国内新建生活垃圾焚烧发电项目普遍采用炉排炉焚烧技术。

在垃圾焚烧发电厂的设计中, 风机选型通常按以下流程进行: 获取原始数据

1) 原始风量的确定:

当前机械炉排炉技术成熟, 主要的机械炉排炉简述如下: 上海康恒环境股份有限公司往复式顺推列动机械炉排炉 (日立造船-VON ROLL 机械炉排炉技术)、三菱马丁式垃圾焚烧炉、西格斯往复式顺推机械炉排炉、意大利英波基洛公司炉排炉、日本田雄 Takuma 炉排炉、JFE 超级往复移动炉排炉、荏原高速

燃烧式 (HPCC) 炉排炉、瑞士 VON-ROLL 焚烧炉、丹麦 VOLUND 焚烧炉、中国二段式炉排炉。

不同机械炉排炉的焚烧技术、控制逻辑有所不同，过量空气系数取用也不同，因此，在风机选型时，风机的原始风量均由各焚烧炉厂家提出。

2) 原始阻力^[1]

风机阻力主要由局部阻力，管道阻力，空预器阻力、炉排及料层阻力构成；

a) 局部阻力

主要包括入口阻力、管件阻力，可通过 $\Delta P=0.5\rho v^2\zeta$ 算出，其中 ρ 为空气密度， v 为空气速度， ζ 为阻力系数。

b) 管道阻力

使用达西-魏斯巴赫公式 $\Delta P=f(L/D)0.5\rho v^2$ 计算。

c) 空预器阻力

与空预器型式相关，实际项目中通常由空预器厂家提供；也有部分空预器由焚烧炉厂家供货，并且提供空预器阻力，也可在招标时对空预器阻力提出合理要求；

d) 炉排及料层阻力

空气流过垃圾焚烧炉的炉排时所产生的阻力，与垃圾层厚度和密度有关，可通过公式 $\Delta P=\rho gh\zeta$ 计算，通常由焚烧炉厂家提供；不同厂家提资范围偏差较大，在几百到 3000 多 Pa 之间；

3) 确定选型风量和压力

由原始数据，根据规范及业主运行方式进行修正，最终得

出选型风量和风压；

风机选型依据：一、二次风机的最大流量，应为最大计算流量的 110%~120%，风压应有不小于 20% 的余量，一、二次风机的风压应有不小于 20% 的余量。^[2] (条文说明：应针对不同季节垃圾成分进行核算并按超负荷 10% 时的最大计算风量确定)^[3]。

根据厂家提供数据，风量、炉排阻力，一次空气应从垃圾池上方抽取，一次风吸风垃圾池经过 5-7 天的发酵，池内温度夏季维持在 30-40℃ 之间，南方项目夏季维持在 20℃-30℃，北方项目通过垃圾池加热手段也能维持 15℃ 以上，故风机计算时按 30℃ 增加温度裕量。基本风量使用厂家提资的焚烧炉 110%MCR 工况的一次风量，

4) 制定风机招标技术规范书

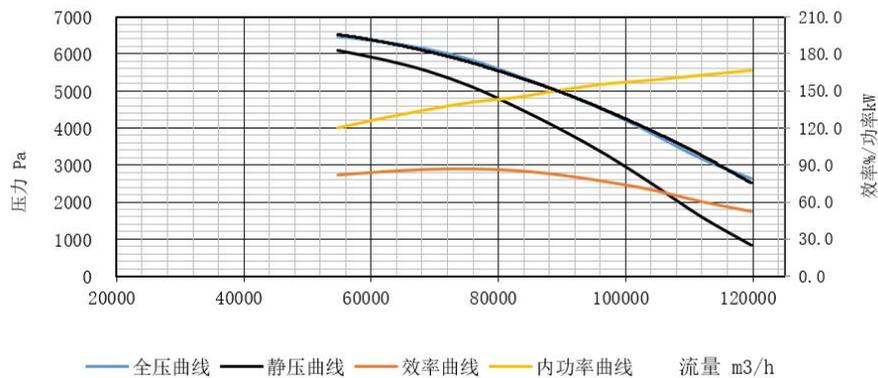
焚烧炉一、二次空气量调节宜采取连续方式^[2]；如条件许可，(风机)以采用变频调节方式为好^[3]，当前设计项目一二次风机均使用变频调节，将选型风量及压力作为风机技术规范书中风机参数，最终风机设备匹配该工况点。

实际项目运行经验：

以河北某 500t/d 垃圾焚烧发电项目为例，该项目焚烧炉厂家提资一次风参数：100%MCR 工况下一次风量为 62160Nm³/h，一次风压 3900Pa。空预器及风管阻力按 400Pa 考虑，风量裕量取用 15%，风压裕量取用 20%；最终选型标况参数为 78632Nm³/h, 5160Pa, 对应 30° 运行工况为 87269m³/h, 5160Pa。

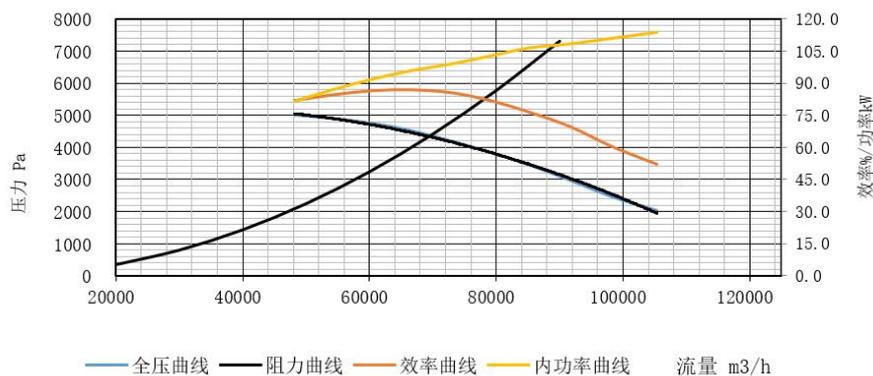
风机根据该点选型，其特性曲线如下：

图 3-1 风机特性曲线 (全压、静压、效率、内功率曲线)



设计 100%MCR 工况运行时，风机工况点为 68987m³/h，在 44Hz，功率 102kW，效率 87%。4300Pa，根据 $\Delta P=SQ^2$ ，绘制出阻力曲线，得出此时风机运行

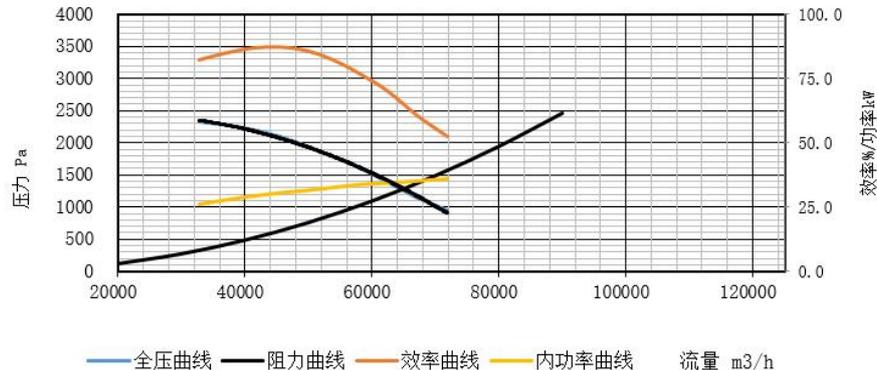
图 3-2 100%MCR 设计工况风机特性曲线 (44Hz，全压、阻力、效率、内功率曲线)



在实际运行中，一次风机较多时候运行在频率 30Hz，风量约为 100%MCR 工况风量，考虑流量计测量误差，使用 100%MCR

工况风量且分析时认为入口调节风门全开。由图可得实际运行 工况风量为 65539Nm³/h, 风压 1300Pa, 此时风机效率约为 65%。

图 3-2 实际运行时风机特性曲线 (30Hz, 全压、阻力、效率、内功率曲线)



通过对特性曲线及阻力曲线的分析, 可知实际运行时风压远小于设计风压, 导致风机实际运行效率偏低。

实际工况下效率偏低的问题并非个例, 多数垃圾焚烧发电项目均有反馈当前三大风机选型偏大, 设计裕量偏大, 亟需优化选型以提高运行效率, 实际运行时:

一次风机: 通常运行在 30~40Hz 频率之间,

二次风机: 通常运行在 20~35Hz 频率之间,

引风机: 通常运行在 30~40Hz 频率之间;

原因分析

由于垃圾成分、热值不稳定性, 一次风机设计选型时需满足多种复杂工况使用要求, 并留有裕量, 导致在多数运行工况中裕量过大, 风机效率偏低, 主要原因包括:

1) 垃圾成分复杂, 可能当前垃圾热值与设计热值不同, 单位垃圾所需空气量与计算值不同, 焚烧炉典型垃圾热值与理论空气量对照, 不同地域不同热值的垃圾成分差异较大。

典型元素分析所对应理论空气量

工况	垃圾热值 (kJ/kg)	参考理论空气量 (Nm ³ /kg)
设计热值 (下限)	5250	1.64
设计热值	7500	2.18
设计热值 (上限)	9375	2.67

2) 运行时过量空气系数与厂家计算时选用不同, 焚烧炉厂家为考虑全工况运行, 提供的过量空气系数通常较大, 而运行时出于节能及控制燃烧的考虑会使用较低的过量空气系数。

3) 垃圾池空气温度未达到设计温度 30℃, 对应的温度工况下流量小于设计工况流量;

4) 可能由于某些项目运行时局部料层过厚, 使用的风压过高, 焚烧炉厂家考虑最大料层厚度较大, 提资料层阻力过高; 运行时为保证燃烧效率和稳定性, 炉排与料层阻力远低于焚烧炉设计值;

选型优化建议

在垃圾焚烧过程中, 完全燃烧同种垃圾所需的理论空气量为定值, 故在实际运行中, 通常风量变化较小; 根据变频风机特性, 风量与频率为成正比关系, 风压与频率的平方成正比关系, 风机低频运行时风压降低远大于风量降低, 实际运行效率点将由风机最高效率点向右移动。

为了提高风机实际运行时运行效率, 降低总体能耗, 提高

经济效益, 在风机选型时可考虑以下优化措施:

1) 结合实际运行经验:

焚烧炉厂家应结合不同用户运行经验, 如用户运行时料层厚度, 合理提出炉排与料层阻力, 避免设计时保守设计导致过大裕量;

2) 优化阻力计算:

合理计算局部阻力, 管道阻力, 空预器阻力, 避免阻力估算偏差影响风压的准确性;

3) 调整风机设计裕量:

结合实际项目同炉型运行经验适当降低风压裕量及增加风量裕量, 使变频后实际运行工况点更靠近风机最高效率点;

4) 要求风机设计工况点尽可能靠近最高效率点:

在本文实例中, 风机设计工况点效率约为 83.5%, 而风机最高效率点为 87.1%, 实际运行时偏离最高效率点较大。

5) 其他建议

根据当地垃圾特性, 可考虑使用同一风机配备不同叶轮的形式, 针对不同运行工况使用不同叶轮; 或考虑远、近期相结合, 采用远期增加风机或更换更大风机的设计以获取更高经济效益。

通过对垃圾焚烧发电项目一次风机的选型及运行分析, 本文针对当前设计和实际运行中的问题, 提出了相应的优化建议。未来, 随着垃圾焚烧技术进一步发展, 设备选型和控制策略将不断优化, 为垃圾焚烧发电的高效运行提供更有力的支持。

[参考文献]

[1]白良成.生活垃圾焚烧处理工程技术[M].北京: 中国建筑工业出版社.2009: 184.

[2]中华人民共和国住房和城乡建设部.生活垃圾焚烧处理工程技术规范: CJJ90-2009[S].北京: 中国建筑工业出版社.2009: 15.

[3]中华人民共和国住房和城乡建设部.生活垃圾焚烧处理工程技术规范: CJJ90-2009[S].北京: 中国建筑工业出版社.2009: 80.

作者简介: 王晓亮 (1984-), 男 (汉族), 广东广州, 学士, 主要从事发电厂热机专业设计工作。