

2016 年同济大学数学建模校赛

参赛题号 (A/B/C/D) : C

3024615

—

—

—

—

—

—

—

日期：2016 年 5 月 2 日

垃圾焚烧厂布袋式除尘系统运行稳定性分析

摘要

垃圾焚烧除尘工艺对污染达标排放至关重要。针对现行垃圾焚烧除尘工艺所存在问题，分析研究布袋式除尘系统运行稳定性，有利于垃圾焚烧的技术合理设计与日常运营管理，减少环境恶化、满足居民的环保诉求。

为了评价影响除尘系统烟尘排放量的几个主要因子，我们首先对附件 1 所提供数据在 excel 中进行统计整合，利用 matlab 绘制 1#炉和 2#炉的日均消耗布袋数（更换布袋数与间隔天数之比）图像和含尘量随时间变化曲线图，据图像进行了分析，并根据文献资料确定了几个影响除尘器性能的因素。

其次做出合理假设，通过各个因子对除尘器烟尘排放量影响的数据的分析，采用熵权法建立数学模型来判断出各个因子的作用大小。为了建立一个稳定性评价体系，选取几个能综合、全面、准确评判一个除尘器性能的指标，包括处理气体流量、压强损失、除尘效率等，进行模糊综合评价，量化稳定性，形成一个除尘系统运行稳定性评价体系。在评估各影响因子的作用大小时，由于题中缺乏数据，我们需要通过检索同类产品的有关数据，进行模型求解。

最后，利用所建立的数学模型，分析回答了题目中提出的两个问题，讨论给定排放标准下的焚烧厂扩建规模上限和新型超净除尘工艺稳定性能提升空间，并对模型做出了综合评价。

关键词：曲线拟合 熵权法 模糊综合评价

1 问题重述

垃圾焚烧除尘工艺对污染达标排放至关重要。针对现行垃圾焚烧除尘工艺所存在问题，分析研究布袋式除尘系统运行稳定性，有利于垃圾焚烧的技术合理设计与日常运营管理，减少环境恶化、满足居民的环保诉求。附件 1 中给出了某垃圾焚烧厂布袋除尘系统基本运行情况，并对系统工作原理和可靠性及进行了简要阐述。我们需要讨论解决下列问题：

1. 分析影响袋式除尘系统排放量的各项因素，并确定哪些为主要因素。
2. 构建数学模型，量化分析袋式除尘系统运行稳定性。
3. 构建数学模型，分析烟尘排放总量与除尘系统稳定性的关系。
4. 利用数学模型，讨论给定排放标准下的焚烧厂扩建规模上限（问题一）。
5. 利用数学模型，计算附件 2 中新型超净除尘工艺稳定性能提升空间（问题二）。
6. 基于分析结果，向政府提出环境保护综合监测建议方案。

2 数据分析

对附录 1 中表 4 数据在 excel 中进行统计。利用 1#和 2#炉的更换数目/更换间隔天数，可近似得到更换间隔期内每日平均消耗的布袋数。用 matlab 作最邻近插值曲线如图 1 和图 2 所示，根据图容易看出 1#炉和 2#炉布袋的损耗在 100-150 天和 350 天附近存在两个高峰，猜想与特定月份的降水量有关。同时对图一图二进行对比可发现 2#炉布袋消耗量高于 1#炉，据附件 1 中表格数据知布袋的损耗与各种装置中的各种压差有关。

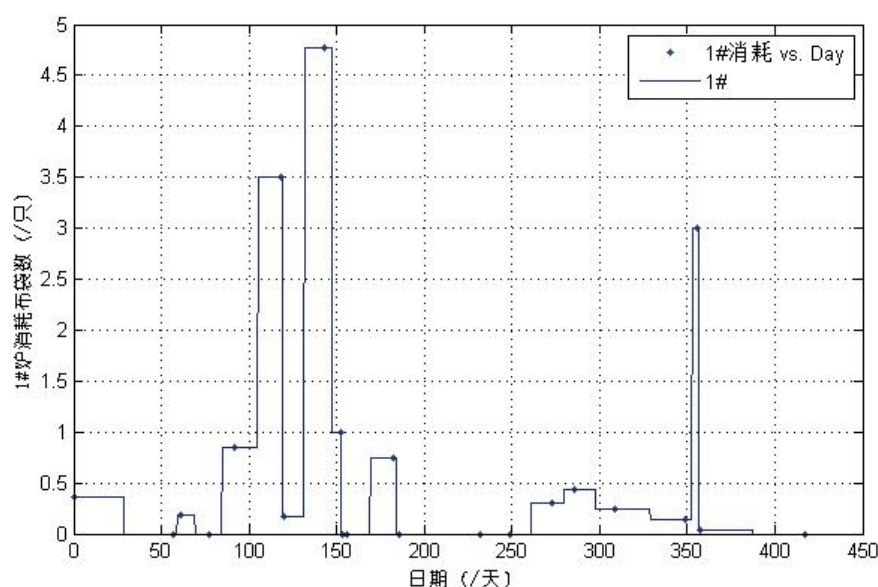


图 1 1#炉更换数目/更换间隔天数

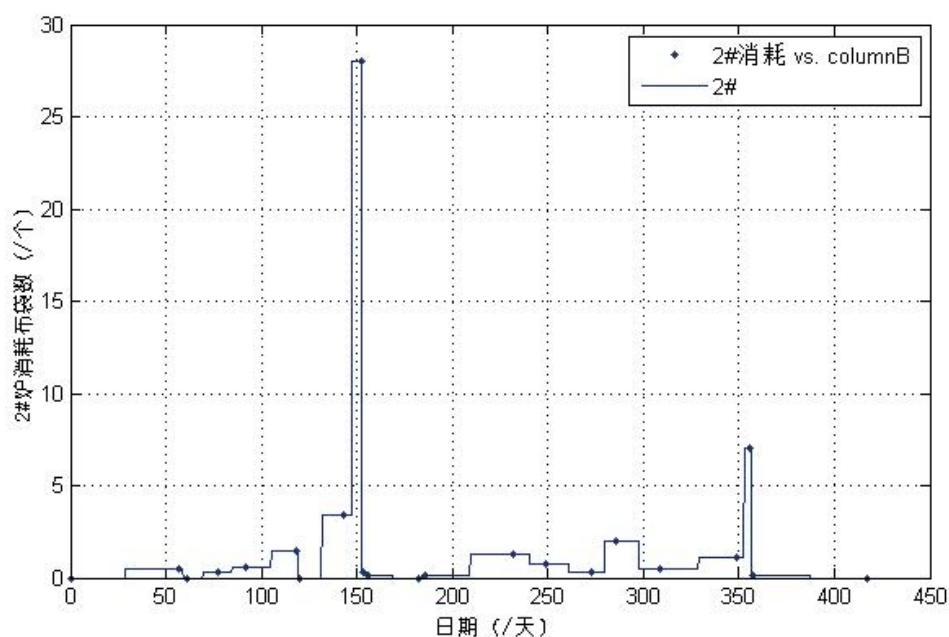


图 2 2#炉更换数目/更换间隔天数

利用 matlab 中 cftool 工具箱作大烟囱含尘量随时间变化的光滑曲线如图 3。可见大烟囱含尘量存在多个峰值和谷值。且在更换时间右侧斜率最小，说明更换布袋后烟尘含量有明显下降。

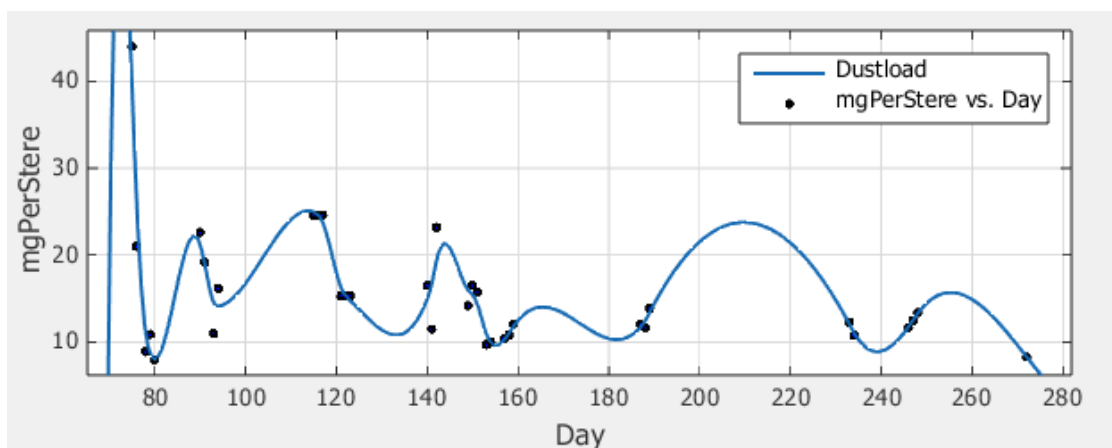


图 3 大烟囱含尘量随时间变化曲线图

结合附件 1 提供信息，可以将除尘系统效率下降原因大致归结为两类：

1. 布袋的磨损与使用寿命：

① 布袋本身材质强度及对压力与温度的承受范围：

- 控制布袋间和布袋与其它部件的间隙；
- 减小炉压差，保持较低喷吹压力；
- 完善输灰系统，避免高温飞灰堆积损毁布袋；

- ② 布袋受到烟尘碰撞造成磨损：
 - a. 避免局部气流过高导致的粉尘加剧冲击；
 - b. 对正喷嘴管喷嘴与布袋口中心；
- 2. 烟道和本体部件是否精密：
 - ① 漏风导致飞灰结块，堵塞布袋；
 - ② 烟气结露形成的酸性液体腐蚀仪器；
 - ③ 漏水加重布袋的堵塞与仪器的腐蚀。

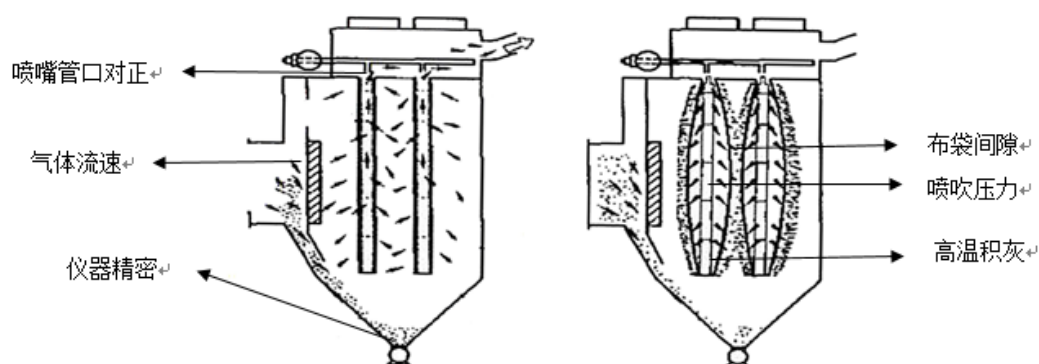


图 4 布袋除尘器效率下降主要原因

3 模型的假设与符号的约定

3.1 模型的假设与说明

- (1) 焚烧废气中所含烟尘种类单一；
- (2) 烟尘为粒径大于 1 μm 的粒子，除尘器对其的过滤作用主要通过拦截和惯性碰撞；
- (3) 该厂除尘器连续不间断运行，不考虑换袋时的时间间隔
- (4) 除尘器不发生重大故障或意外灾害

3.2 符号的约定与说明

符号	符号的含义
m	评价对象的个数
n	影响因子的个数
x_k	第 k 个影响因子

D	判断矩阵
a_{ij}	判断矩阵 D 中第 i 行 j 列的元素
b_{ij}	a_{ij} 的无量纲值
B	以 b_{ij} 为元素的矩阵
R_1	处理气体流量
R_2	压强损失
R_3	除尘效率
R_4	换袋频率
Q_d	除尘器参数表上设计的处理风量范围的中间数值

4 模型建立与求解

4.1 模型一的建立

由于熵值越小，指标值的变异程度越大，提供的信息量越多，在综合评价中所起的作用越大，故可通过比较各因子的权重大小，判定出影响除尘系统稳定性的主要因子。

首先运用熵权法建立模型一，找到各影响因子对除尘系统稳定性的权重。设有 n 个影响因子与 m 个评价对象。

步骤一：构建 m 个评价对象， n 个影响因子的判断矩阵 D

$$D = (a_{ij})_{m \times n} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

步骤二：将判断矩阵 D 中的元素 a_{ij} 进行无量纲化处理，得到矩阵 B ， B 中的元素 b_{ij} ：

1) 当评价对象的值随着第 j 个影响因子的增大而增大时，

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - \min\{a_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\}}{\max\{a_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\} - \min\{a_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\}} \quad (1.1)$$

2) 当评价对象的值随着第 j 个影响因子的增大而减小时，

$$b_{ij} = 1 - \frac{a_{ij} - \min\{a_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\}}{\max\{a_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\} - \min\{a_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\}} \quad (1.2)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

步骤三：根据熵的定义，确定第 j 个影响因子的熵值 HH_j ：

$$HH_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (2)$$

$$f_{ij} = \frac{1+b_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1+b_{ij})}。$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

步骤四：利用熵值计算第 j 个影响因子的熵权 WW_j ：

$$WW_j = \frac{1-HH_j}{n-\sum_{i=1}^n HH_j} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

4.2 建立除尘系统稳定性评价体系

主要从处理气体流量、压强损失、除尘效率，换袋频率四个方面建立除尘系统稳定性评价体系。

4.2.1 处理气体流量

处理气体流量是指除尘器在单位时间内所能处理的含尘气体流量，是代表除尘装置处理气体能力大小的指标，此处用体积流量 Q （单位： m^3 / h ）表示。考虑到实际运行时系统有可能漏风，使得进出口的气体流量不一致，故采用进出口气体流量的平均值作为该除尘器的处理气体流量。

即除尘器的处理气体流量：

$$Q = \frac{1}{2} (Q_i + Q_o) \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

式中 Q_i ：除尘器进口气体流量 (m^3/s)；

Q_o ：除尘器出口气体流量 (m^3/s)。

装置漏风率可用下式表示：

$$\sigma = (Q_i - Q_o) / Q_i \times 100\%$$

通过查询资料找到了影响处理气体流量的主要因素：

总过滤面积 (平方米)；

过滤风速 (m/min)；

滤袋数量 (条)；

入口浓度 ($\text{g}/\text{立方米}$ n)；

喷吹压力 (MPa)；

承受负压 (Pa)；

设备阻力 (Pa)。

取除尘器参数表上设计的处理风量范围的中间数值 Q_d ，则实际处理气体流量与设计流量相差越小越好：

$$R_1 = \frac{|Q - Q_d|}{Q_d}$$

4.2.2 压力损失

除尘器的压力损失是代表其能耗大小的技术经济指标，一般用除尘器进、出口断面上气流平均全压之差 Δp (单位：pa) 表示：

$$\Delta p = \zeta \rho u^2 / 2$$

式中 ζ ：除尘器的压力损失系数 (pa)；

ρ ：含尘气体的密度 (kg/m^3)；

u ：装置进出口的平均气体流速 (m/s)。

除尘装置的压力损失实质上是气流通过装置时所消耗的机械能，它与通风机所耗功率成正比，故压力损失越小越好。通过查看各种布袋除尘器的技术参数，

可知一般布袋除尘器的压损都在 1000pa 左右，取 $p_0=1000\text{pa}$ ，则

$$R_2 = \frac{\Delta p}{p_0}$$

4.2.3 总除尘效率

这里不考虑分级效率，认为所含的都是粒径大于 $1\ \mu\text{m}$ 的粉尘（实际上查询文献知粉尘的粒径确实为 $1\text{—}100\ \mu\text{m}$ ），故用的是除尘器的总效率（ η ），即由除尘器除下的烟尘量与未经除尘前含尘气体中所含烟尘的百分比。

用 Q_i ， Q_o 分别表示进口，出口的气体流量；

用 S_i ， S_o ， S_e 分别表示进口处的烟尘质量流入量，出口处的烟尘质量流出量，以及除尘器除下的烟尘量；列式：

$$\eta = \frac{S_e}{S_i} \times 100\%$$

$$S_e = S_i - S_o$$

$$\eta = \left(1 - \frac{S_o}{S_i}\right) \times 100\%$$

若以含尘浓度和含尘气体流量表示，则由 $S_o = C_o Q_o$ ， $S_i = C_i Q_i$ ，因此

$$\eta = \left(1 - \frac{C_o Q_o}{C_i Q_i}\right) \times 100\%$$

取题目所给资料中的参考除尘效率 $\eta_0 = 99.9\%$ ，除尘效率越高越好，则：

$$R_3 = \frac{\eta}{\eta_0}$$

4.3 模型二的建立

采用上述定义的处理气体流量、压强损失、除尘效率作为除尘器稳定性的评价指标建立模型二，即采用模糊综合评判方法对除尘系统的稳定性进行评价。

步骤一：确定被评判对象的因素论域 U ，

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_n) = (\text{处理气体流量、压强损失、除尘效率})$$

步骤二：确定评语等级论域 V ， $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ ，此处将评语级分为 4 个级别，各评价因素的分级指标见表格 1。

除尘系统稳定性	R_1 (处理气体流量)	R_2 (压强损失)	R_3 (除尘效率)
v_1 (很稳定)	≤ 0.100	≤ 0.800	≥ 1.000
v_2 (较稳定)	$0.100 \sim 0.200$	$0.800 \sim 1.200$	$0.900 \sim 1.000$
v_3 (较不稳定)	$0.200 \sim 0.400$	$1.200 \sim 1.600$	$0.800 \sim 0.900$
v_4 (很不稳定)	≥ 0.400	≥ 1.600	≤ 0.800

表格 1 各评价因素分级指标

步骤三：进行单因素评判，建立模糊关系矩阵 R ， $R_{v_i}(x_j)$ 表示因素 R_i 的评价对等级 v_j 的隶属度。

$$R = \begin{pmatrix} R_{v_1}(x_1) & R_{v_2}(x_1) & R_{v_3}(x_1) & R_{v_4}(x_1) \\ R_{v_1}(x_2) & R_{v_2}(x_2) & R_{v_3}(x_2) & R_{v_4}(x_2) \\ R_{v_1}(x_3) & R_{v_2}(x_3) & R_{v_3}(x_3) & R_{v_4}(x_3) \end{pmatrix}$$

步骤四：确定评判因素权向量 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ ， A 是 U 中各因素对被评事物的隶属关系，它取决于人们进行模糊综合评判时的着眼点，即根据评判时各因素的重要性分配权重，权系数的确定可用层次分析法 (AHP) 得到。

由于处理气体流量、气压损失是越小越优性指标，所以 R_1 、 R_2 各评语级可构造如下隶属函数：

$$R_{v_1}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a_{i1} \\ \frac{a_{i2} - x}{a_{i2} - a_{i1}}, & a_{i1} < x \leq a_{i2} \\ 0, & x > a_{i2} \end{cases}$$

$$R_{v_2}(x) = \begin{cases} \frac{x}{a_{i1}}, & x \leq a_{i1} \\ 1, & a_{i1} < x \leq a_{i2} \\ \frac{a_{i2} - x}{a_{i2} - a_{i1}}, & a_{i2} < x \leq a_{i3} \\ 0, & x > a_{i3} \end{cases}$$

$$R_{v_3}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_{i1} \\ \frac{x}{a_{i2}}, & a_{i1} < x \leq a_{i2} \\ 1, & a_{i2} < x \leq a_{i3} \\ \frac{a_{i4} - x}{a_{i4} - a_{i3}}, & a_{i3} < x \leq a_{i4} \\ 0, & x > a_{i4} \end{cases}$$

$$R_{v_4}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_{i2} \\ \frac{x}{a_{i3}}, & a_{i2} < x \leq a_{i3} \\ 1, & a_{i3} < x \leq a_{i4} \\ \frac{a_{i4}}{x}, & x > a_{i4} \end{cases}$$

由于除尘效率是“越大越优”性指标，所以对于 R_3 各评语级可构造如下隶属函数：

$$R_{v_1}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq a_{i1} \\ \frac{a_{i2} - x}{a_{i2} - a_{i1}}, & a_{i2} \leq x < a_{i1} \\ 0, & x < a_{i2} \end{cases}$$

$$R_{v_2}(x) = \begin{cases} \frac{a_{i1}}{x}, & x \geq a_{i1} \\ 1, & a_{i2} \leq x \leq a_{i3} \\ \frac{a_{i3} - x}{a_{i3} - a_{i2}}, & a_{i3} < x \leq a_{i4} \\ 0, & x < a_{i4} \end{cases}$$

$$R_{v_3}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq a_{i1} \\ \frac{a_{i2}}{x}, & a_{i2} \leq x < a_{i1} \\ 1, & a_{i3} \leq x < a_{i2} \\ \frac{a_{i3} - x}{a_{i3} - a_{i4}}, & a_{i4} \leq x < a_{i3} \\ 0, & x < a_{i4} \end{cases}$$

$$R_{v_4}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq a_{i2} \\ \frac{a_{i3}}{x}, & a_{i3} \leq x < a_{i2} \\ 1, & a_{i4} \leq x < a_{i3} \\ \frac{x}{a_{i4}}, & x < a_{i4} \end{cases}$$

步骤五：选择评价的合成算子，将 A 与 R 合成得到 $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 。

$$R_u = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \circ \begin{pmatrix} R_{v_1}(x_1) & R_{v_2}(x_1) & R_{v_3}(x_1) & R_{v_4}(x_1) \\ R_{v_1}(x_2) & R_{v_2}(x_2) & R_{v_3}(x_2) & R_{v_4}(x_2) \\ R_{v_1}(x_3) & R_{v_2}(x_3) & R_{v_3}(x_3) & R_{v_4}(x_3) \end{pmatrix}$$

$$B = A \circ$$

有多种模糊算子 \circ ，经过比较研究， $M(\bullet, \oplus)$ 对各因素按权数大小，统筹兼顾，综合考虑，比较合理。

步骤六：对模糊综合评价结果 B 作分析处理，即选取与 $\text{Max}\{b_{ij}\}$ 对应的评语为区域除尘系统稳定性的评判结果。

步骤七：对函数表达式 $\hat{x}^{(1)}(i+1)$ 及 $\hat{x}^{(1)}(i)$ 进行离散，并将二者做差以便还原 x 原序列，得到近似数据序列 $\hat{x}^{(0)}(i+1)$ 如下：

$$\hat{x}^{(0)}(i+1) = \hat{x}^{(1)}(i+1) - \hat{x}^{(1)}(i)$$

步骤八：对建立的灰色模型进行检验：

①计算 $x^{(0)}(t)$ 与 $\hat{x}^{(0)}(t)$ 之间的残差 $e(t)$ 和相对误差 $q(t)$ ：

$$e(t) = x^{(0)}(t) - \hat{x}^{(0)}(t)$$

$$q(t) = \frac{e(t)}{x^{(0)}(t)}$$

3 求原始数据 $x^{(0)}(t)$ 的方差 s_1

4 求残差 $e(t)$ 的方差 s_2

- 4 计算方差比 $C = \frac{s_2}{s_1}$ 和 $q(t)$ 的平均值 q
- 5 灰色模型精度检验如表格 2 所列

等级	相对误差 q	方差比
I	<0.01	<0.35
II	<0.05	<0.50
III	<0.10	<0.65
IV	>0.20	>0.80

表格 2 精度等级

5.4 模型求解

综合研究现行垃圾焚烧发电厂袋式除尘系统影响烟尘排放量的各项因素通过研读附件和查找文献资料，可知影响排烟量的主要因素有：处理风量，进口烟温，过滤风速，设备阻力，处理气体的烟尘浓度，滤料，布袋规格，布袋数量，清灰频率，，烟道和本体泄漏率等等。

为定性判断这些影响因子对排放量的作用，我们借鉴了一些已有的实验数据和结果，用以初步研究它们是如何影响除尘器排放量的。

1、处理风量的影响

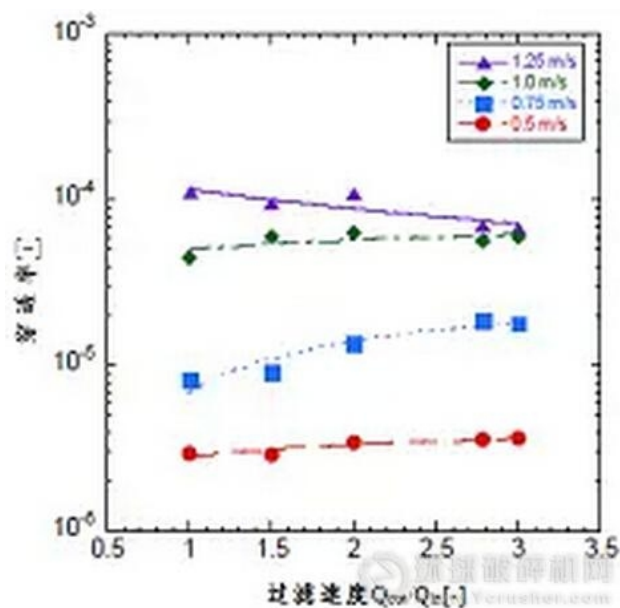
一般的，处理风量越大，过滤效果越差，布袋磨损越快，排放总量增加。

2. 进口烟温的影响

由附件 1 中表 1 所给数据知，该厂进口烟温高于规定温度范围的最低值，且可能出现高于上限 22℃ 的情况，故不考虑低温影响，在此范围内，温度越高越易加速布袋损坏甚至烧袋，降低除尘效果，使排放量增加。【1】

3. 过滤风速的影响

过滤风速对设备的阻力影响极大，同时也对设备的排放浓度有一定的影响。在机织布条件下，较小的过滤速度有助于建立粉尘层，从而明显提高除尘效率。如图是过滤速度与穿透率的关系：随着过滤速度的增加，粉尘更易穿透滤料，同时清灰频率也将增加，而后者也是导致粉尘排放增加的一个因素。【2】



4. 设备阻力的影响

设备阻力即压力损失，一般的，其他条件一定的情况下，设备阻力越大，气体通过的流速越快，排放量越大。

5. 过滤面积的影响

其他条件一定时，过滤面积越大，除尘效果越好，排放量越小。

6. 布袋数目的影响

过滤面积一定的情况下，布袋越多，布袋之间距离越小，布袋损坏率越高，排放量增加。

7. 入口含尘浓度的影响

图 5 给出了穿过滤料的粉尘泄漏量与时间的变化关系。由图可见，当粉尘浓度从 $2.5\text{mg}/\text{m}^3$ 增加到 $7.5\text{mg}/\text{m}^3$ 后，清灰周期明显缩短，粉尘泄漏的峰值有所增加。图 6 给出的是对应于图 5 的 6 个清灰周期，每个清灰周期中累计的粉尘排放量。由图 6 可见，尽管粉尘浓度增加到原先的 3 倍，粉尘泄漏的峰值也有所增加，但 1 个清灰周期中，粉尘的累计泄漏量并没有增加。这可理解为由于粉尘浓度的增加，由于清灰造成的一次粉尘层的破坏可以更快地得到修复，而一旦修复完成后，粉尘的泄漏量几乎降至为 0，因而，就一个清灰周期来说，粉尘的泄漏量不会增加。【3】

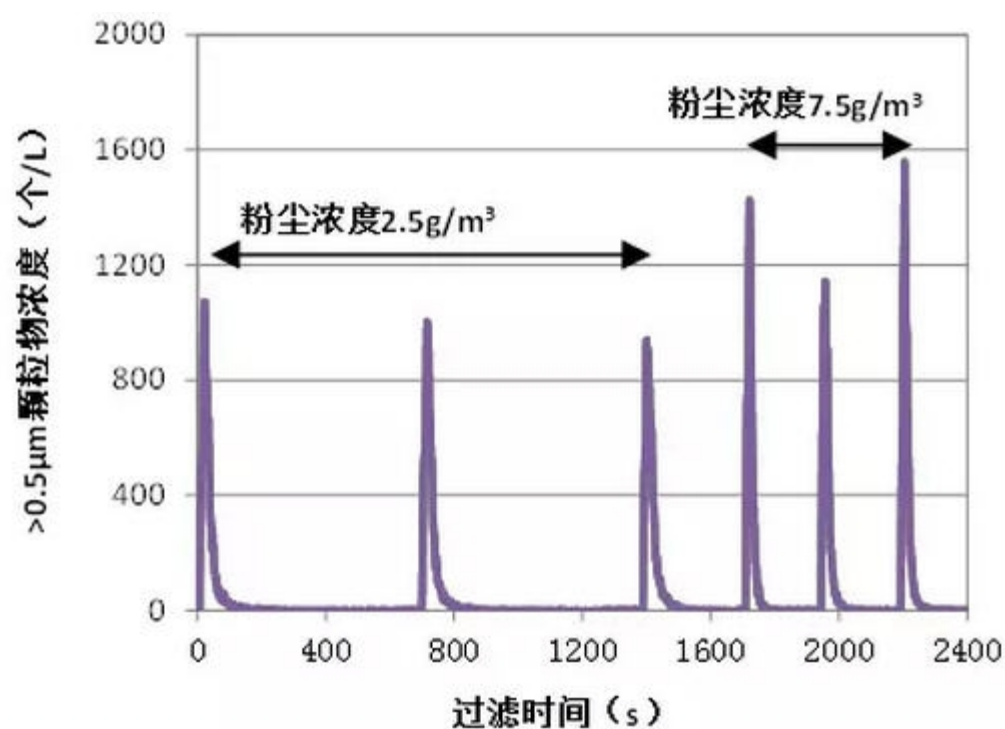


图5 不同浓度下粉尘泄漏量的时间变化关系

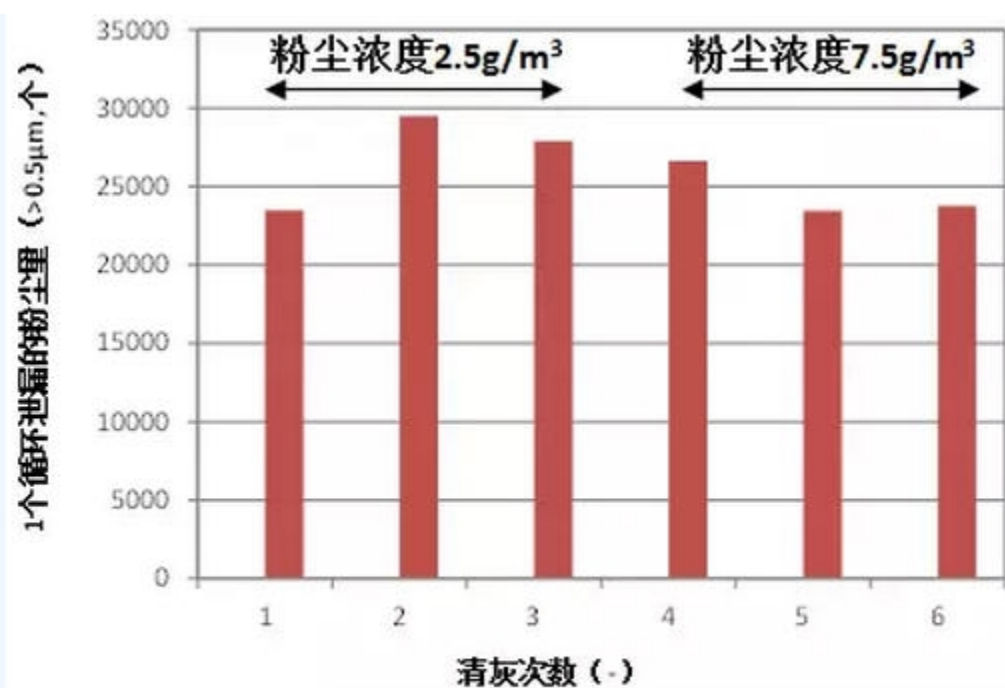


图6 1个清灰周期中累计的粉尘排放量

就上述试验结果可知，在其他条件相同的情况下，若粉尘浓度增加，会使滤料的清灰周期缩短从而造成相同一段时间内排放量增加。即粉尘浓度对滤料的排放浓度造成的影响是由于清灰次数增多所造成的。

8. 清灰频率的影响

清灰太频繁会加速布袋磨损。

由上述 6、7 知，清灰频率受过滤风速和入口含尘浓度影响，因此在选取了过滤风速和入口含尘浓度为影响因子的情况下，我们可以省去对清灰频率的研究。

9.漏风率的影响

这里我们用 $\sigma = (Q_1 - Q_2) / Q_1 \times 100\%$ 来计算漏风率。

假设除尘器花板处有一漏焊，其长度为 1m，宽度为 3mm，花板上下的压差为 1000Pa，根据 CFD 数值模拟计算可知，漏焊处的气流速度可达 35m/s。对于一台入口浓度为 20g/m³，烟气量为 2,000,000m³/h 的袋式除尘器来说，这样一处漏焊贡献的粉尘量可使除尘器的粉尘排放浓度增加约 3.8mg/m³。如该除尘器的某条滤袋上有 1 个直径 100mm 的破洞，则其粉尘排放将因此破洞增加约 10mg/m³，如折算到标况条件下，约可增加 15mg/Nm³。从上述粗略的计算可知，除尘器本体部分的泄漏可对粉尘排放造成极大的影响，除尘器厂家必须严把安装质量关，更需防止破袋现象的发生。【4】

由此可见，漏风率越高，除尘器的排放量越高。

由于漏风率较难获得，我们先不考虑漏风率。

根据搜集到的一系列相似产品的参数，我们选定了处理风量，过滤面积，过滤风速，滤袋数量，设备阻力，入口粉尘浓度为主要影响因子进行熵权计算。

型 号	DMC-32	DMC-48	DMC-64	DMC-80	DMC-96	DMC-112
技术参数						
处理风量 (m ³ /h)	1500-2100	2100-3200	2900-4300	4000-6000	5200-7000	6000-9000
总过滤面积 (m ²)	24	36	48	60	72	84
过滤风速 (m/min)	1.0-1.5	1.0-1.5	1.0-1.7	1.2-1.7	1.2-1.7	1.2-1.8
滤袋数量 (条)	32	48	64	80	96	112
设备阻力 (Pa)	≤1200					
入口粉尘浓度 (g/m ³)	<200					

根据模型一, $m=6, n=6$,

$$D_{6 \times 6} = \begin{pmatrix} 1800 & 24 & \cdots & 1200 & 200 \\ 2650 & 36 & \cdots & 1200 & 200 \\ . & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ . & & \cdots & & \\ 6100 & 84 & \cdots & 1200 & 200 \end{pmatrix}。$$

排放量随着处理风量, 进口烟温, 滤袋数量, 过滤风速, 入口含尘浓度的增大而增大, 随滤袋数目的增大而减小。由此根据模型建立中的式 (1.1) (1.2), 相应地将 D 中的每一个元素 $a_{ij} (i = 1, 2, \cdots, 6; j = 1, 2, \cdots, 6)$ 无量纲化得到 b_{ij} ,

$$B_{6 \times 6} = (b_{ij})_{6 \times 6} = ()。$$

根据式 (2) 求出每个因子的熵值

$$HH \{ x_1, , x_2, , x_3, , x_4, , x_5, , x_6, \}。$$

根据式 (3), 利用熵值计算影响因子的熵权

$$WW \{ x_1, , x_2, , x_3, , x_4, , x_5, , x_6, \}。$$

当熵值越小时, 熵权越大, 表明相应的影响因子的信息量越有效, 该影响因子越重要, 由此便可大致得出影响烟尘排放量的各项因素各自对其的影响大小。

5 问题一的分析与解决

5.1 问题分析

我们以一天内该厂的排放情况为研究对象,

除尘系统烟尘排放总量 (吨/日) = 焚烧废气中烟尘总量 (吨/日) \times 除尘效率

$$W = W_0 \eta$$

由质量守恒知, 焚烧废气中烟尘总量 (吨) = 一天处理的垃圾总量 (吨) \times 焚烧废气中烟尘的质量分数

$$W_0 = M \omega$$

焚烧废气中烟尘的质量分数 = $10^{-6} \times$ 入口烟尘浓度 (g/m^3) \div 焚烧废气的密度 (g/cm^3)

$$\omega = 10^{-6} \times \frac{C_i}{\rho}$$

$$\text{综上, } W = M \omega \eta \rightarrow M = \frac{W}{\eta \omega}$$

假设焚烧废气中烟尘种类单一， ω 为可测得的定值，且由题意，周围范围单位面积排放总量限额 w_{\max} （单位：吨/日）已知，地区面积 S （单位： km^2 ）也为已知量，则地区烟尘排放总量限额 $W_{\max} = w_{\max} S$ 计算出，故要求建设规模（这里我们用每日垃圾处理量表示）的环境允许上限 $M_{\max} = \frac{W_{\max}}{\eta\omega}$ ，转化为求除尘效率 η 。

而考虑到除尘系统的稳定性因素， η 是随时间变化的，因而我们需要研究 η 随时间的变化情况。

5.2 问题解决

由

$$\eta = \frac{Q_i C_i}{Q_i C_i} \approx \frac{C_e}{C_i} = 1 - \frac{C_e}{C_i}$$

$$\frac{C_e}{C_i} = \frac{p_o}{p_i} = \frac{p_i - \Delta p}{p_i} = 1 - \frac{\Delta p}{p_i}$$

（其中即为已知的布袋气源压力）

可知 η 与 p_i 的大致关系，进而可推出 η 与时间的关系。

又因为除尘器的允许压损，过滤风速，进口含尘浓度和清灰时间间隔是相互制约的，故可根据该厂除尘器的已知参数求出清灰时间间隔，从而求出 η 工作周期 T （单位：秒）（即两次清灰之间经历的时间）内对在一个对时间 t 的积分

$$\int_0^T \eta(t) dt$$

所以一天的垃圾处理限额

$$M_{\max} = \frac{W_{\max}}{\omega} \times \frac{24 \times 3600}{T} \times \int_0^T \eta(t) dt$$

综上分析，政府对区域污染物排放质量目标总量的控制必须考虑到污染源治污能力的经济、技术可行性，考虑排污工艺的运行稳定性因素，实施总量监管，对污染源的排放总量进行核查、监督并保证污染源治理设备和监测设备的正常运转，以及进行排污工艺和技术的监管督促。

6 问题二的分析与解决

6.1 问题分析

此问是基于除尘模型对稳定性进行量化后去求得新型超净除尘替代工艺的稳定性性能，并与现有工艺进行比较，只需找出其相对原工艺有所提升的稳定性评估指标，再依据前面已建立的稳定性评估模型，即可求解。

6.2 问题解决

由题目中所给的附件 2，新型工艺采用固体滤料，故不存在气体流量过大造成的纤维滤料的磨损问题；具有更高的排放标准，说明除尘效率更高；运行成本降低，对应原来布袋除尘器稳定性评估指标中压损所代表的经济指标——从这三个评估指标入手，运用前面的 APH 模型，可得到新型工艺的稳定性提升量。

7 评价与建议

本题数据较少，相关变量较多，需要合理进行假设，并明确解题过程中所需要的大多数数据是可以通过检索系统查找到的，在熵权法和层次分析法的综合运用中，需要对大量真实数据进行分析处理，从而得出较为科学的评估方式，减少主观性增加科学性。此外，还需要学习大量相关的环境保护知识，包括大气污染的相关法律法规，大气污染物的治理体系，以及布袋除尘系统的工艺理论，才能对问题有清晰的认识和解题思路。

附录 1

参考文献:

- [1]钱忠永,《布袋除尘器使用问题及改进研究》,无锡市东方工业节能环保有限公司,中国机械,学术:125
- [2]凌海明《布袋除尘器运行中的维护与使用寿命密切相关》,科技创新与应用 1,第 31 期:90,2013 年
- [3]中华人民共和国环境保护部,《生活垃圾焚烧污染控制标准》, http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/gthw/gtfwwrkzbz/201405/t20140530_276307.htm, 2016.5.1
- [4]《垃圾焚烧环评报告书》, <http://www.docin.com/p-470807816.html>, 2016.5.1
- [5]文毅,韩文程,毕彤,《大气污染物总量控制管理技术研究》,北京:中国环境科学出版社,2009 年

附录 2

程序源代码:

1. 求熵值

(1)

```
function [ H ] = h1( a )
a=a';%
amax=max(a);%
amin=min(a);%
for i=1:6
b(i)=(a(i)-amin)./(amax-amin);
end
bsum=sum(b);%
for i=1:6
f(i)=(b(i)+1)./(bsum+6);
end
for i=1:6
g(i)=f(i)*log10(f(i));
end
H=sum(g)./log10(6)*(-1);%
end
```

(2)

```
function [ H ] = h2( a )
a=a';%
amax=max(a);%
amin=min(a);%
for i=1:6
```

```

b(i)=1-(a(i)-amin)./(amax-amin);
end
bsum=sum(b);%
for i=1:6
f(i)=(b(i)+1)./(bsum+31);
end
for i=1:6
g(i)=f(i)*log10(f(i));
end
H=sum(g)./log10(6)*(-1);%
end

```

2. 求熵权

```

data=[1800 24 1.25 32 1200 200
2650 36 1.25 48 1200 200
3600 48 1.35 64 1200 200
5000 60 1.45 80 1200 200
6100 72 1.45 96 1200 200
7500 84 1.5 112 1200 200];
for i=1:6
a1(i)=data(0*6+i);
end
for i=1:6
a2(i)=data(1*6+i);
end
for i=1:6
a3(i)=data(2*6+i);
end
for i=1:6
a4(i)=data(3*6+i);
end
for i=1:31
a5(i)=data(4*6+i);
end
HH=[h1(a1),h2(a2),h1(a3),h1(a4),h1(a5), h1(a6)]
for i=1:6%求熵权
WW(i)=(1-HH(i))./(6-sum(HH));
end

```

3. 作图

```

[xData, yData] = prepareCurveData( Day, Consumption2 );
ft = 'nearestinterp';
opts = fitoptions( ft );
opts.Normalize = 'on';

```

```
[fitresult, gof] = fit(xData, yData, ft, opts );  
figure('Name', '2#' );  
h = plot(fitresult, xData, yData );  
legend( h, 'Consumption2 vs. Day', '2#', 'Location', 'NorthEast' );  
xlabel('Day' );  
ylabel('Consumption2' );  
gridon
```

原始数据整理:

天数间隔	天数	1#平均消耗	1#更换	1#累计更换数	2#平均消耗	2#更换	2#累计更换数	合计平均消耗	合计更换	合计累计更换	大烟囱含尘量	1#含尘量	2#含尘量
0	0		21	21		0	0		21	21			
57	57		0	21		2	2		2	23			
4	61		3	24		0	2		3	26			
14	75		0	24		0	2		0	26	44		
1	76		0	24		0	2		0	26	21		
1	77		0	24		5	7		5	31			
1	78		0	24		0	7		0	31	8.9		
1	79		0	24		0	7		0	31	10.9		
1	80		0	24		0	7		0	31	8		
10	90		0	24		0	7		0	31	22.6		
1	91		0	24		0	7		0	31	19.2		
1	92		22	46		15	22		37	68			
1	93		0	46		0	22		0	68	11		
1	94		0	46		0	22		0	68	16.2		
21	115		0	46		0	22		0	68	24.6		
1	116		0	46		0	22		0	68	24.6		
1	117		0	46		0	22		0	68	24.6		
1	118		7	53		3	25		10	78			
2	120		4	57		0	25		4	82			
1	121		0	57		0	25		0	82	15.3		
1	122		0	57		0	25		0	82	15.3		
1	123		0	57		0	25		0	82	15.3		
17	140		0	57		0	25		0	82	16.5		
1	141		0	57		0	25		0	82	11.5		
1	142		0	57		0	25		0	82	23.2		
1	143		43	100		31	56		74	156			
6	149		0	100		0	56		0	156	14.2		
1	150		0	100		0	56		0	156	16.5		
1	151		0	100		0	56		0	156	15.8		
1	152		1	101		28	84		29	185			
1	153		0	101		1	85		1	186	9.7		
1	154		0	101		0	85		0	186	10		
2	156		0	101		4	89		4	190			
1	157		0	101		0	89		0	190	10.4		
1	158		0	101		0	89		0	190	10.8		
1	159		0	101		0	89		0	190	12.1		
23	182		3	104		0	89		3	193			
2	184		0	104		0	89		0	193			14.9
1	185		0	104		0	89		0	193			27.2
1	186		0	104		8	97		8	201			
1	187		0	104		0	97		0	201	12		
1	188		0	104		0	97		0	201	11.7		
1	189		0	104		0	97		0	201	13.9		
40	229		0	104		0	97		0	201			26.3
1	230		0	104		0	97		0	201			12.3
1	231		0	104		0	97		0	201		11.1	13
1	232		0	104		22	119		22	223			
1	233		0	104		0	119		0	223	12.3		
1	234		0	104		0	119		0	223	10.8		
12	246		0	104		0	119		0	223	11.7		
1	247		0	104		0	119		0	223	12.5		
1	248		0	104		0	119		0	223	13.4		
1	249		0	104		19	138		19	242			
1	250		0	104		0	138		0	242			11
1	251		0	104		0	138		0	242			9.11
1	252		0	104		0	138		0	242			12.1
18	270		0	104		0	138		0	242		9.4	25.2
1	271		0	104		0	138		0	242		8.1	16.9
1	272		0	104		0	138		0	242	8.3		
1	273		4	108		4	142		8	250			
1	274		0	108		0	142		0	250		15.2	11.1
1	275		0	108		0	142		0	250			11
1	276		0	108		0	142		0	250		8	12.4
10	286		10	118		45	187		55	305			
20	306		0	118		0	187		0	305			
1	307		0	118		0	187		0	305			
1	308		0	118		0	187		0	305		8	
1	309		10	128		21	208		31	336		7.7	
1	310		0	128		0	208		0	336		7.2	6.7
36	346		0	128		0	208		0	336			10.7
1	347		0	128		0	208		0	336			9.1
1	348		0	128		0	208		0	336			9.5
1	349		1	129		8	216		9	345			
7	356		3	132		7	223		10	355			
1	357		2	134		6	229		8	363			
2	359		0	134		0	229		0	363		6.4	10.2
1	360		0	134		0	229		0	363		5.7	14.1
56	416		0	134		0	229		0	363		10.7	10.8
1	417		4	138		10	239		14	377			
1	418		0	138		0	239		0	377		8.3	8.2
1	419		0	138		0	239		0	377		6.5	