同济大学数学建模C题



组长：

同济大学数学建模竞赛

垃圾焚烧厂布袋式除尘系统运行稳定性分析

摘要

本文以附件中垃圾焚烧厂部分实际运行数据及收集所得信息等为依据，研究了垃圾焚烧厂布袋式除尘系统运行稳定性问题。分析现行布袋式除尘器影响烟尘排放量的各项因素，并在国家标准单位面积排放总量限额条件下，对焚烧厂扩建规模做了定量计算，并对提升除尘模型稳定性做了相关探讨。

第一问，将布袋式除尘系统简化为利用滤袋将含尘气流中粉尘捕集下来的干式过滤系统，结合实际运行数据，考虑过滤风速、滤料、布袋磨损、除尘气流的温压性质、过滤层产生的总阻力等对布袋工作的影响，引入布袋捕集效率、更换效率及过滤效率，建立稳定性模型，利用统计软件对所得数据进行回归分析，得出相关系数。

第二问，在已得稳定性模型基础上，查找污染物单位面积排放总量国家标准，根据模型所定义的捕集效率、过滤效率等反向计算得出处理烟尘总量，结合文献得到单位质量垃圾的烟气转换率，得出垃圾焚烧厂扩建环境允许上限为183.5t/d。并基于研究过程，提出环境保护综合监测建议。

第三问，综合考虑影响布袋稳定性因素后，从滤料、废气排放标准、导流装置、布袋间距、布袋规格参数等方面合理设计袋式除尘系统，选择新型超净除尘工艺，并根据稳定性模型计算出除尘模型稳定性提升比例。

最后对模型的不足提出了改进方向和建议。

关键词 布袋式除尘系统 稳定性模型 布袋捕集效率 过滤效率 更换效率

参赛队号：2016028498

1 问题重述

随着社会对垃圾焚烧了解逐步深入，公众对垃圾焚烧排放污染问题担忧日益剧增，其根本原因在于现行垃圾焚烧除尘工艺不能持续稳定运行。结合附件1某垃圾焚烧发电厂布袋式烟气处理系统的部分实际运行数据和资料，综合研究除尘系统影响烟尘排放量的各项因素，请完成以下任务：

1：构建数学模型分析袋式除尘系统运行稳定问题，并分析其稳定性对周边环境烟尘排放总量的影响。

2： 如果给定焚烧厂周边范围单位面积排放总量限额（地区总量/地区面积），基于稳定性模型，分析讨论焚烧厂扩建规模的环境允许上限是多少？并结合讨论结果，向政府提出环境保护综合监测建议方案；

3：现采用一种能够完全稳定运行、且除尘效果超过布袋除尘工艺的新型超净除尘替代工艺，基于稳定性模型，计算袋式除尘系统稳定性能提升多少？

2 问题分析

2.1 问题一分析

从附件1中某垃圾焚烧发电厂布袋式烟气处理系统的部分实际运行数据可知，布袋除尘工艺环节对整个袋式烟气处理系统的运行稳定性有决定性影响。袋式除尘器是利用多孔纤维滤袋将含尘气流中粉尘捕集下来的一种干式高效除尘装置。其除尘效率受单位面积布袋吸收率、过滤风速、滤料、布袋磨损、除尘气流的温压、过滤层产生的总阻力有关，利用Spss软件对附件更换布袋数量及更换前后浓度变化做相关性分析及曲线拟合处理。结合文献资料，引入布袋捕集效率、更换效率及过滤效率，建立稳定性模型，利用统计软件对所得数据进行回归分析，得出相关系数。

2.2 问题二分析

已知焚烧厂周边范围单位面积排放总量限额，结合焚烧厂周围地区面积，可得到环境允许的烟尘排放总量，结合除尘效率可得满足稳定性模型的能处理的烟气总量，根据焚烧单位垃圾所产生烟气含量计算出焚烧厂扩建规模的环境允许上限，并结合计算结果，提出环境综合监测建议方案。

2.3 问题三分析

采用过滤性能、抗压性能更好的滤料，采用导流装置使气体均匀分布，合理密布布袋间距，控制好喷嘴与布袋口对正关系，选择新型超净除尘工艺，根据稳定性模型计算出除尘模型稳定性提升比例。

3 模型的基本假设

1. 假设袋式除尘器所处理的气体为理想气体，不计重力影响，流动状态为湍流状态，入口气流分布均匀，流场恒温，不考虑传热等的影响。
2. 假定垃圾厂每日处理垃圾数量不变，产生烟气体积恒定。
3. 假定每个布袋受气流冲击影响相同。
4. 假设附件中除尘器同一炉中布袋理化性质一致，即不受厂商影响。

4 数据处理

4.1原始数据选择

原始数据见附件1，利用Spss软件进行非参数检验，把更换滤袋前后三天浓度进行两个相关样本检验，基于数据特性，我们使用威尔科克森符合等级检验（Wilcoxon Signed-Rank test）。

Wilcoxon等级检验原理：对于每个样品，在排序前，现计算成对观察值之间的差异和。将所有非零的绝对差排列成升序并赋值。在有结的情况下，对结点使用平均秩。计算对应于正差异的秩和和负差异的秩和。正秩的均值为 ，负秩的均值为，式中，是有正差异的样品的数量；是有负差异的样品的数量。所要作的原假设为：对称中心=0.

在原假设为真时，大样本下，统计量



式中，n为非零差异样品的数量;l为结的数量；为第j个结的长度。

当时，拒绝原假设。显著性水平取0.05。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **表1 检验统计量a** | | | | | | | | | |
| 含尘量（mg/m3） | 更换后1天含尘量 - 更换前1天含尘量 | 更换后2天含尘量 - 更换前1天含尘量 | 更换后3天含尘量 - 更换前1天含尘量 | 更换后1天含尘量 - 更换前2天含尘量 | 更换后2天含尘量 - 更换前2天含尘量 | 更换后3天含尘量 - 更换前2天含尘量 | 更换后1天含尘量 - 更换前3天含尘量 | 更换后2天含尘量 - 更换前3天含尘量 | 更换后3天含尘量 - 更换前3天含尘量 |
| Z | -2.173b | -2.827b | -1.577b | -2.315b | -2.809b | -2.207b | -1.682b | -2.207b | -1.069b |
| 渐近显著性(双侧) | .030 | .005 | .115 | .021 | .005 | .027 | .092 | .027 | .285 |
| a. Wilcoxon 带符号秩检验 | | | | | | | | | |
| b. 基于正秩。 | | | | | | | | | |

数据选择分析：根据Wilcoxon等级检验可知：更换前后1天、2天数据显著性小于0.05，拒绝原假设，由此我们认为前后第三天数据有效性较低，选择使用前后2天内数据进行处理。

4.2 缺失数据填充

根据附件部分实际运行数据知:更换滤袋前后烟尘浓度随机缺失，缺失和变量取值无关，即MCAR(Missing Completely at Random)假设成立，选用期望值最大化方法（Expectation Maximization,EM）填充。

EM算法是一种迭代优化算法,它受缺失思想以及考虑给定己知项下缺失项的条件分布而激发产生。算法的最大优点源自于在大样本条件下,它能非常简单地执行并且能通过稳定、上升的步骤可靠地找到全局最优值。

设和分别表示观测数据和完全数据的密度,缺失数据的假设等同一个边际化模型,是缺失的,亦可看作是某种多到少的映射的应用。在该模型中观测到了有密度,注意到给定观测数据下缺失数据的条件密度为 .而EM算法迭代就是寻求关于的最大化。设表示在迭代时估计的最大值点,。定义为观测数据条件下的完全数据的联合对数似然的期望,即







EM算法从开始,然后在两步之间交替:E表示期望给定完全数据和前一次迭代所得的的参数估计的情况下计算完全数据对应的对数似然函数的条件期望；M表示最大化步，用极大化对数似然函数以确定参数的值，并用于下一步迭代。算法在E步和M步之间不断迭代直至收敛。

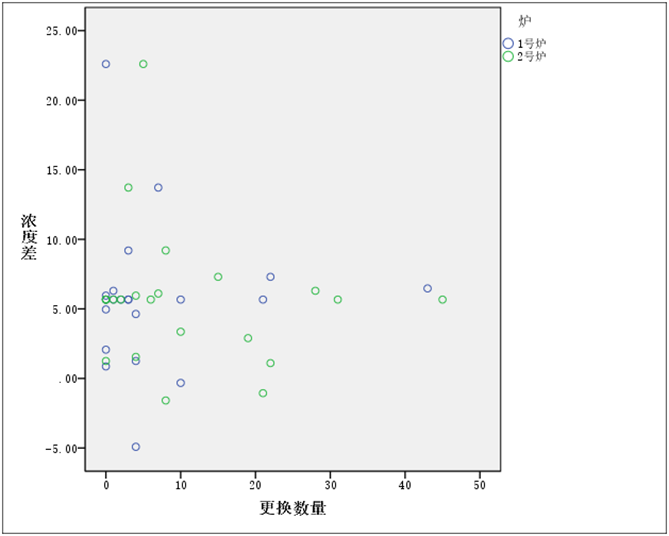
利用SPSS对更换滤袋前后两天浓度值进行EM缺失值填充得到附表2的数据。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **表2 更换前2天烟尘浓度单变量统计及EM相关性a** | | | | | | | | | | | | | |
|  | N | | | 均值 | | | 标准差 | | 缺失 | | | 极值数目a | |
| 计数 | | 百分比 | 低 | 高 |
| 更换前2天含尘量 | 17 | | | 18.876 | | | 10.9037 | | 29 | | 63.0 | 0 | 2 |
| 更换前1天含尘量 | 21 | | | 15.429 | | | 6.3848 | | 25 | | 54.3 | 0 | 0 |
| 1. 超出范围（Q1 - 1.5\*IQR，Q3 + 1.5\*IQR）的案例数。 | | | | | | | | | | | | | |
| **EM 相关性a** | | | | | | | | | |
|  | | 更换前2天含尘量 | | | 更换前1天含尘量 | | | | |
| 更换前2天含尘量 | | 1 | | |  | | | | |
| 更换前1天含尘量 | | .533 | | | 1 | | | | |
| a. Little 的 MCAR 检验:卡方 = 3.806，DF = 1，显著性 = .051 | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **表3 更换后2天烟尘浓度单变量统计及EM相关性a** | | | | | | | | | | | | | |
|  | N | | | 均值 | | | 标准差 | | 缺失 | | | 极值数目a | |
| 计数 | | 百分比 | 低 | 高 |
| 更换后1天含尘量 | 20 | | | 10.840 | | | 2.3774 | | 26 | | 56.5 | 0 | 0 |
| 更换后2天含尘量 | 19 | | | 11.311 | | | 2.7740 | | 27 | | 58.7 | 2 | 4 |
| 1. 超出范围（Q1 - 1.5\*IQR，Q3 + 1.5\*IQR）的案例数。 | | | | | | | | | | | | | |
| **EM 相关性a** | | | | | | | |
|  | | | 更换后1天含尘量 | | | 更换后2天含尘量 | |
| 更换后1天含尘量 | | | 1 | | |  | |
| 更换后2天含尘量 | | | .688 | | | 1 | |
| a. Little 的 MCAR 检验:卡方 = 2.027，DF = 2，显著性 = .363 | | | | | | | |

4.3 处理填充数据

将填充所得数据进行以下处理：

1. 取换袋前1、2天与后1、2天浓度平均值和，并求出其浓度差；
2. 将换袋数量与浓度差做散点图分析，得到图1.
3. 浓度差与换袋数量做相关性分析，得到表4 ，发现显著性大于0.05，支持原假设，即证明二者无线性相关。



**图1 浓度差与更换数量散点图**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | |
|  | | 更换数量 | 浓度差 |
| 更换数量 | Pearson 相关性 | 1 | -.079 |
| 显著性（双侧） |  | .611 |
| N | 44 | 44 |
| 浓度差 | Pearson 相关性 | -.079 | 1 |
| 显著性（双侧） | .611 |  |
| N | 44 | 44 |

**表4 更换数量与浓度差相关性分析**

5模型I：袋式除尘器运行稳定性（问题1）

5.1本问符号说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 符号 | 意义 | 单位 |
|  | 单个微元过滤纤维层捕集效率 | 无 |
|  | 一个布袋（即过滤纤维层）的捕集效率 | 无 |
| h | 过滤纤维层厚度 | μm |
| dh | 微元过滤纤维层厚度 | μm |
|  | 更换布袋前后两天的含尘量差 | mg/m3 |
|  | 被更换的布袋的数量 | 个 |
|  | 更换效率 | 无 |
| i | 指标集，从1到7的自然数 | 无 |
| j | 指标集，仅取1和2，分别表示1号炉和2号炉 | 无 |

5.2假设

（1）假设微元过滤纤维层中仅有纤维对外界粉尘有捕集效果，忽略纤维层中已捕集的粉尘对外界粉尘的捕集效果；

（2）假设微元选取厚度dh足够小，认为通过每层微元过滤纤维层时被捕集的效果和效率近似相同；

（3）假设各微元过滤纤维层之间为串联关系。

（4）假设布袋更换当天，被换掉的布袋不工作。

（5）假设每个布袋的工作效率均相同。

（6）假设布袋工作期间环境状况均相同（即温度、压强、风速、垃圾焚烧量）。

（7）忽略不可控因素，如气候、地质灾害、工厂修建等因素对除尘系统的影响。

5. 3 模型的建立与求解

5.3.1布袋捕集效率

布袋捕集效率，用于定义某种布袋（即纤维、基布、化学处理方式、连续运行温度、瞬时耐受温度、化学抗酸性、化学抗碱性、化学抗水解性、化学抗氧化性、化学抗磨损性、喷吹压力、强制吹灰压力均相同）对粉尘捕集能力。

采用微元法，将厚度为h的过滤纤维层，分为厚度为dh的微元过滤纤维层，用单层过滤纤维层去对整个过滤纤维层进行推断，在单位时间单位面积上理论上可粘附的粉尘数量即为布袋捕集效率。由于这个定义的提出是建立在布袋出厂时本身的理论性质上的，即由定值决定，并不受外界因素影响，所以每种布袋的布袋捕集效率应为相同的。

由于缺少实验和数据检验，此处仅对该定义和概念做简单阐释，即认为为定值。直观上可以理解布袋捕集效率与稳定性有关，但是由于其特殊性，不列入稳定性的计算公式中。

|  |
| --- |
|  |
| **图2 过滤纤维层和微元过滤纤维层的示意图** |

5.3.2更换效率

更换效率，主要考虑更换布袋前后的浓度差和更换布袋数量之间的简单除法关系。可以提出合理假设，令布袋更换当天，被换掉的布袋不工作，即不进行除尘，而其余布袋除尘率相同且不变（即每个布袋都作为独立的个体，不考虑互相的摩擦等不可控因素）。由之前的数据分析可知更换布袋前后两天天里的浓度具有相关性（前后三天的数据经相关性检验其显著性不达标），将前两天及后两天浓度做平均处理，得出更换布袋前后浓度差值。由前面提出的假设，该差值即为被更换的布袋作出的对含尘量变化的贡献值。

更换效率 

**表5 1号炉处理后数据**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 炉 | 更换数量 | 浓度差 | 更换效率 |
| 1 | 21 | 5.670208 | 0.270009905 |
| 1 | 3 | 5.670208 | 1.890069333 |
| 1 | 22 | 7.3 | 0.331818182 |
| 1 | 7 | 13.71853 | 1.95979 |
| 1 | 4 | 1.251674 | 0.3129185 |
| 1 | 43 | 6.468534 | 0.150431023 |
| 1 | 1 | 6.3 | 6.3 |
| 1 | 3 | 5.670208 | 1.890069333 |
| 1 | 4 | -4.91324 | -1.22831 |
| 1 | 10 | 5.670208 | 0.5670208 |
| 1 | 10 | -0.32124 | -0.032124 |
| 1 | 1 | 5.670208 | 5.670208 |
| 1 | 3 | 9.19796 | 3.065986667 |
| 1 | 2 | 5.670208 | 2.835104 |
| 1 | 4 | 4.632378 | 1.1580945 |

**表6 2号炉处理后数据**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 炉 | 更换数量 | 浓度差 | 更换效率 |
| 2 | 2 | 5.670208 | 2.835104 |
| 2 | 5 | 22.6 | 4.52 |
| 2 | 15 | 7.3 | 0.486666667 |
| 2 | 3 | 13.71853 | 4.572843333 |
| 2 | 31 | 5.670208 | 0.182909935 |
| 2 | 28 | 6.3 | 0.225 |
| 2 | 1 | 5.670208 | 5.670208 |
| 2 | 4 | 5.951674 | 1.4879185 |
| 2 | 8 | 9.2 | 1.15 |
| 2 | 22 | 1.1 | 0.05 |
| 2 | 19 | 2.895 | 0.152368421 |
| 2 | 4 | 1.55 | 0.3875 |
| 2 | 45 | 5.670208 | 0.126004622 |
| 2 | 21 | -1.05942 | -0.050448571 |
| 2 | 8 | -1.58147 | -0.19768375 |
| 2 | 7 | 6.104733 | 0.872104714 |
| 2 | 6 | 5.670208 | 0.945034667 |
| 2 | 10 | 3.358322 | 0.3358322 |

利用R软件和excel对处理后的浓度差及更换滤袋数量做统计分析，结果如下：

**表7 对1，2号炉统计分析结果**

|  |  |
| --- | --- |
| 1号炉 | 2号炉 |
| > b<-read.delim("clipboard")  > summary(b)  Min. :-1.2283  1st Qu.: 0.2915  Median : 1.1581  Mean : 1.6761  3rd Qu.: 2.3974  Max. : 6.3000  标准差：2.097662 | > c<-read.delim("clipboard")  > summary(c)  Min. :-0.1977  1st Qu.: 0.1600  Median : 0.4371  Mean : 1.3195  3rd Qu.: 1.4034  Max. : 5.6702  标准差：1.815733666 |
|  | |
| **图3 1,2号炉盒形图分析结果** | |

结果分析：

从表格7和图3可以看出，1号炉的更换效率数据比2号炉要分散，1号炉的极差也比2号炉的大，从定义上可分析为1号炉中的布袋对除尘量的贡献（影响）较2号炉要大，但是在有记录的天数中，1号炉的布袋较2号炉稳定性要差一些。从直观上可以理解，因为2号炉中的布袋差压较1号炉中的布袋差压要大，而布袋与布袋间的间距较1号炉中的布袋间距要小，所以2号炉中布袋损坏概率较高。但是从定量角度分析，可以从更换效率简单看出2号炉中布袋的稳定性较好。（稳定性的定义将在稳定性模型中给出）

5.3.3过滤效率：

经典过滤理论指出，纤维过滤中起主要作用的过滤机理是: 拦截效应、惯性效应、扩散效应、重力效应和静电效应。国内外专家对过滤理论做了大量的工作，已有以下结论：

1 当过滤速度较小时，扩散机制起主导作用，导致过滤效率必然下降;

2相反惯性机理的捕集效率随过滤速度的提高逐渐增强,在高过滤速度时，惯性机理起主导作用,捕集效率随着过滤速度增加而增大。

该焚烧厂采用的是目前国内先进的脉冲式袋式除尘器，过滤速度一般在1.2~2.0m/s之间，故可认为过滤效率主要由惯性机理决定。

由Landahl , Hermanin等的研究公式有：



则碰撞效率主要是Stokes数的函数，其中



为滑动修正系数 :



其中



则过滤效率可表示为：



上式中：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T | 绝对温度(℃) |  | 过滤器填充率 |
| P | 标准大气压（Pa） | V | 过滤速度(m/s) |
|  | 纤维直径（um） |  | 微粒直径(um) |
|  | 粘滞系数 |  | 微粒密度(um) |

因为我们处理的是特定的垃圾焚烧，且采用确定规格的布袋，分析中采用滑石粉密度,取

，

且查表可知，当温度确定时，可确定过滤气体中粘滞系数的大小，则需要输入的参数还有，。那么输入不同的变量就可以得到相应的过滤效率。用Matlab 产生一定范围的，V，T。则可以得到效率的值(表9)。

纤维直径、微粒密度、温度、过滤速度取值范围如表8所示：

**表8 具体参数范围**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 纤维直径（um） | 微粒密度(um) | 温度  (℃) | 过滤速度(m/s) |
| 8~30 | 0.1~10 | 220~225 | 1.2~2.0 |

**表9 各参数下的过滤效率值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 纤维直径（um） | 微粒密度(um) | 温度 | 过滤速度(m/s) | 效率 |
| 25 | 6.59112345678860210 | (℃) | 1.550995488 | 0.999999998966900 |
| 28 | 0.453545617884477 | 207 | 1.505246766 | 0.999999999941626 |
| 4 | 8.506380128100894 | 213 | 1.812413431 | 0.999999955434777 |
| 28 | 9.346533152799751 | 218 | 1.836159921 | 0.999999999013600 |
| 19 | 6.819478033091957 | 223 | 1.349498084 | 0.999999997873339 |
| 3 | 7.601627292725501 | 224 | 1.591811517 | 0.999999919387968 |
| 9 | 7.457011434436670 | 214 | 1.556468961 | 0.999999991013988 |
| 17 | 3.983047493388265 | 204 | 1.717050408 | 0.999999998780570 |
| 29 | 6.589123456787811 | 204 | 1.767491865 | 0.999999999326545 |
| 29 | 1.794748209334462 | 207 | 1.803749346 | 0.999999999820263 |
| 5 | 7.089856271394127 | 222 | 1.420820062 | 0.999999969676079 |
| 30 | 0.415145179136465 | 207 | 1.743762141 | 0.999999999959823 |
| 29 | 2.841537551112811 | 221 | 1.724078403 | 0.999999999702274 |
| 15 | 0.557096767248424 | 207 | 1.330089388 | 0.999999999717245 |
| 25 | 1.061604634234891 | 224 | 1.295198145 | 0.999999999800782 |
| 5 | 8.252232500440197 | 209 | 1.598691242 | 0.999999968631386 |
| 13 | 6.978803367460588 | 205 | 1.967795167 | 0.999999996811827 |
| 28 | 3.239284852602519 | 207 | 1.472308581 | 0.999999999573663 |
| 24 | 9.507198283499713 | 216 | 1.668214201 | 0.999999998496832 |
| 29 | 0.441016196978797 | 212 | 1.379049552 | 0.999999999942244 |

5.3.4稳定性模型

稳定性是指在外界和内部因素共同作用的情况下，布袋除尘量所受影响不大，即好的稳定性是指除尘量的变化极大部分由含尘气体总量决定，而与其他因素相关性极小。通过spss分析，得出稳定性应与过滤效率和更换效率相关，与其他因素相关性过小此处不做考虑。

由题知该垃圾焚烧厂技术较为成熟，布袋稳定性应较好，以此为标准建立稳定性、过滤效率与更换效率的函数。为了使模型符合共性，采用两个炉除尘含量的均值和过滤效率，经过matlab整合调试修改，最终得到一个较为完善的函数



其中：y表示稳定性； x1表示过滤效率； x2表示更换效率。

|  |
| --- |
|  |
| **图4 利用Matlab 得出的稳定性分析** |

结果分析：

函数图像横坐标为第i条数据，纵坐标为稳定性的定量显示。从图像和函数上可以看出，当除尘系统维持在一个稳定值的时候，函数图像是条几乎平滑的曲线，此时若因素发生改变，对稳定性的影响很小，这与定义相符合，且满足实际。图中在第11条数据处函数图像发生了非常大的弯折，通过比较观察发现第十一条数据为

0.300000000000000 0.004151451791365 0.017437621414829 2.070000000000000 0.009999999999598（全部数据见过滤效率模型），其中第一项为纤维半径，第二项为微粒密度，从过滤模型的结论中可以看出，这两项分别是同类项中的最大和最小值。从定性的角度可以理解函数图像的变化完全符合合理，因为纤维半径变大到极端、微粒密度变小到极端时，布袋会难以过滤粉尘微粒，过滤密度和更换密度都会骤然变小。而其余数据均不触及极端，所以仍符合一般图像。

6模型II：环境允许上限及政策建议（问题2）

6.1 环境允许上限

由国家生活垃圾焚烧污染控制标准可知，排放气体的含尘量均值不能超过20mg/m3。则可代入上面的计算公式可知：进口出烟尘含量为40mg/m3.

对目前1,2炉焚烧的出口浓度的已有监测数据取均值，为C= 12.659(mg/m3).同理可根据效率，算出进口浓度为25.319(mg/m3)， 则进口处的浓度与上限差为14.681（mg/ m3）.

由相关研究资料表明，1吨垃圾可产生烟尘0.4kg.产生气体5000 m3.则

1吨垃圾产生尘尘浓度为0.08（mg/m3）.所以每日处理能力能扩建14.681/0.08=183.51(t)

6.2政策建议

随着人们生活水平的不断提高和国民经济的发展，产生了大量的生活垃圾。

对环境造成的污染日益严重，在研究垃圾焚烧处理过程中，我们发现生活垃圾和工业垃圾有所不同，其烟尘危害大，尤其是废气中二噁英对人体健康有严重危害。

生活垃圾烟气含湿量大，露点温度高，极易导致除尘系统的腐蚀和堵塞。烟尘颗粒细，密度小，给清灰和卸灰带来困难。腐蚀性较强，对设备的防腐措施提出了较高要求。于是我们结合实际情况对工厂扩建选址、垃圾焚烧厂运行和政府监管做出相关建议.

6.2.1选址要求：

1 符合当地的城乡总体规划、环境保护规划和环境卫生专项规划，并符合当地的大气污染防治、水资源保护、自然生态保护等要求。

2在对厂址进行环境影响评价时，应重点考虑生活垃圾焚烧厂内各设施可能产生的有害物质泄漏、大气污染物（含恶臭物质）的产生于扩散及可能的事故风险等因素。根据其所在地区的环境功能区类别，综合评价其对周围环境、居住人群的身体健康、日常生活和生产活动的影响，确定生活垃圾焚烧厂与常住居民居住场所、农用地、地表水体及其他敏感对象之间合理的位置关系。

6.2.2运行要求：

1 焚烧炉在启功时，应先将炉膛内焚烧温度升至标准温度后才能投入生活垃圾。自投入生活垃圾开始，应逐渐增加投入量直至达到额定垃圾处理量，焚烧炉应在4小时内达到稳定工况。

2焚烧炉在运行过程中发生故障，应及时维修尽快恢复正常。如果无法修复应立即停止投加生化垃圾，每次故障或者事故持续排放污染物时间不应超过4小时。

3 生活垃圾焚烧厂运行期间，应建立运行情况记录制度，如实记载运行管理情况，至少包括废物接收情况、入炉情况、设施运行参数及环境监测数据等。

4 垃圾分类。焚烧单一成分时，温度可以被更精确地控制， 从而能使焚烧炉的排放更容易达标。在垃圾分类上多投入， 则焚烧厂就可以减少投入，降低运行成本。

6.2.3监测要求：

1 生活垃圾焚烧厂运行企业应按照有关法律和《环境监测管理办法》等规定，建立企业监测制度，制定监测方案，并向当地环境保护行政主管部门和行业主管部门备案。对污染物排放状况及其对周边环境质量的影响开展自行监测，保存原始监测记录，并公布监测结果。

2 按照规定设计、建设、维护永久采样口、采样测试平台和排污口标志。

3 对生活垃圾焚烧厂运行企业排放废气的采样，应根据监测污染物的种类，在规定的污染物排放监控位置进行；有废气处理设施的，应在该设施后监测。

4 生活垃圾焚烧厂运行企业对烟气中重金属类污染物和焚烧炉渣热灼减率的监测应每月至少开展一次；对烟气中二噁英的监测应每年至少开展一次，其浓度为连续3次测定的算术平均值。

5 环境保护行政主管部门应采用随机方式对生化垃圾焚烧厂进行日常监督性监测，对炉渣热灼减率与烟气中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氯化氢、重金属类污染物和一氧化碳的监测应每季度至少开展一次。

6严格监管。各地应引进有实力、有经验的公司，规范运作。要加强对垃圾焚烧发电投资、运营商的监督检查，保证环保措施到位，并按规定要求运行，保证烟气以及其他废物的达标排放。对于违章企业，一经发现则在全国范围内停批其类似项目。

7模型III：稳定性提升模型（问题3）

7.1 改进办法

结合袋式除尘器稳定性模型，从滤料、滤袋间距、喷口对正关系、选择新型超净除尘工艺，来提升系统稳定性和除尘效率。

1滤料选择：湿含尘气体可使滤料表面收集的粉尘潮湿,板结甚至“糊袋”,因此,宜选用表面光洁、滑爽、纤维材质等易清灰的滤料,如尼龙、玻璃纤维等,并对其表面进行硅油处理,或者在滤料表面使用聚四氟乙烯等滤料进行涂布处理或选用覆膜滤料

2 在安装过程中，需控制好喷吹管的喷嘴与布袋口的对正关系；在运行初期，需保持较低的喷吹压力和较长的喷吹周期，保证在布袋的表面保持一定厚度的粉尘初始层。

3 控制有毒气体排放。控制焚烧炉在炉膛内的停留时间和温度，在850℃时停留2S以上；使垃圾充分燃烧；控制进入除尘器入口的温度低于200℃。在除尘器前的烟气管道内喷入活性炭，通过在布袋除尘器的滤袋上和烟气的接触，吸附去除重金属和二噁英类物质。

4 在设计时合理布置布袋，均衡气流，避免局部气流速度过高。在工程设计中，可采用导流装置均流气体或分流装置分流气体等措施来解决局部气流速度过高致使布袋磨损的问题，采用挡灰板来解决烟尘直接与布袋碰撞造成的磨损问题。

5选择半干法除尘。袋式除尘器有干法、半干法、湿法三种，其中干法工艺简单，运行费用低，污染物去除率相对较低；湿法工艺复杂，投资高，运行费用高，污染物去除率高，有废水需要处理；半干法则介于二者之间，工艺效果较干法好，投资较湿法低。我们选择半干法代替原来的干法作为新型除尘技术。

7.2 稳定性提升分析

根据超净除尘工艺的特点，对稳定性模型中的自变量重新赋值，并通过matlab进行绘图，得到程序和图像如下：

|  |
| --- |
|  |
| **图5 改进工艺后的稳定性** |

首先做数据说明：过滤效率 认为100%过滤，更换效率 认为更换除尘装置前后差别尽可能小（由于如果将更换效率全部认为是0，那稳定性将趋于无穷大，失去图像的可观察性，所以此处取0.01）。

从图中可以看出在新条件下，系统可以说完全稳定，且计算出的稳定性数值较原布袋除尘系统更高。（如果更换效率继续缩小，即更换除尘装置前后除尘能力变化量尽可能小，那计算出的稳定性数值将继续增大）

该模型计算出的数值不能作为一个绝对的指标，只能用于两个不同的系统的稳定性好坏的比较，即只能作为一个相对的指标。

8 模型评价

本文将布袋式除尘器简化为粉尘捕集过滤装置，考虑捕集效率、过滤效率和换袋效率，从而构建除尘系统稳定性模型。

第一问中由于缺乏实时的数据对经典过滤效率公式的修正，无法得到每个单因素变化时效率的变化情况，则不能通过改进各个要素来优化过滤器的效率。假定气流在各方向强度一致，从而认为每个布袋受力一致，但这与实际情况中6U,6D布袋受损较多事实有所出入。

第二问中，由于缺乏垃圾焚烧厂具体位置及周边地理环境，无法定量考虑浓度扩散情况。

文中模型仅使用了题目所给和填充所得数据，但是不失一般性，因为计算过滤效率 时使用的因素的值全为在合理范围内随机生成的数字，所以可以看出本模型在脱离本道题目时，也有一定推广性。且只要纤维半径和微粒密度不触及规定的极端值，都可以认为系统稳定性较好。

9 参考文献：

[1]卢纹岱，朱红兵,《SPSS统计分析》（第五版）,北京,电子工业出版社，2015.

[2]谢龙汉，尚涛，《SPSS统计分析与数据挖掘》，北京，电子工业出版社，2012.

[3]沈恒根，苏仕军，钟秦，《大气污染控制原理与技术》，北京，清华大学出版社，2009.

[4] 马广大，《大气污染控制技术手册》，北京，化学工业出版社，2010.

[5] 张鹏峰,袋式除尘器过滤性能的研究.2005.1

[6]中华人民共和国国家标准,GB 1845-2014,生活垃圾焚烧污染控制标准,中华环境科学出版社,2014

[7] 邓银燕,缺失数据的填充方法研究及实证分析,2010

[8] 刘军伟，雷廷宙，杨树华，李在峰，何晓峰,浅议我国垃圾焚烧发电的现状及发展趋势,河南省科学院能源研究所有限公司，河南省生物质能源重点实验室，河南郑州.

[9] 张鹏峰,袋式除尘器过滤性能的研究,2005年1月6日

附表1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 更换时间 | 更换数量 | 更换前3天含尘量 | 更换前2天含尘量 | 更换前1天含尘量 | 更换前 | 更换后1天含尘量 | 更换后2天含尘量 | 更换后 | 更换后3天含尘量 | 炉 | 浓度差 |
| 2014/11/27 | 21 |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |  |
| 2015/1/23 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |  |
| 2015/1/27 | 3 |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |  |
| 2015/2/12 | 0 |  | 44 | 21 | 32.5 | 8.9 | 10.9 | 9.9 | 8 | 1 | 22.6 |
| 2015/2/17 | 22 |  | 22.6 | 19.2 | 20.9 | 11 | 16.2 | 13.6 |  | 1 | 7.3 |
| 2015/3/25 | 7 | 24.6 | 24.6 | 24.6 | 24.6 |  |  |  |  | 1 |  |
| 2015/3/27 | 4 |  |  |  |  | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 1 |  |
| 2015/4/19 |  | 16.5 | 11.5 | 23.2 | 17.35 |  |  |  |  | 1 |  |
| 2015/4/28 | 1 | 14.2 | 16.5 | 15.8 | 16.15 | 9.7 | 10 | 9.85 |  | 1 | 6.3 |
| 2015/4/29 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |  |
| 2015/5/2 | 0 |  |  |  |  | 10.4 | 10.8 | 10.6 | 12.1 | 1 |  |
| 2015/5/28 | 3 |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |  |
| 2015/6/1 | 0 |  |  |  |  |  | 12 | 12 | 11.7 | 1 |  |
| 2015/7/17 | 0 |  |  | 11.1 | 11.1 | 12.3 | 10.8 | 11.55 |  | 1 | -0.45 |
| 2015/7/3 | 0 | 11.7 | 12.5 | 13.4 | 12.95 |  |  |  |  | 1 |  |
| 2015/8/27 | 4 | 9.4 | 8.1 | 8.3 | 8.2 | 15.2 |  | 15.2 | 8 | 1 | -7 |
| 2015/10/9 | 10 |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |  |
| 2015/10/2 | 10 | 8 | 7.7 | 7.2 | 7.45 | 7 |  | 7 |  | 1 | 0.45 |
| 2015/11/11 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |  |
| 2015/11/18 | 3 |  |  |  |  |  | 6.4 | 6.4 | 5.7 | 1 |  |
| 2015/11/19 | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |  |
| 2016/1/18 | 4 |  |  | 10.7 | 10.7 | 8.3 | 6.5 | 7.4 |  | 1 | 3.3 |
| 2014/11/27 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |
| 2015/1/23 | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |
| 2015/1/27 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |
| 2015/2/12 | 5 |  | 44 | 21 | 32.5 | 8.9 | 10.9 | 9.9 | 8 | 2 | 22.6 |
| 2015/2/17 | 15 |  | 22.6 | 19.2 | 20.9 | 11 | 16.2 | 13.6 |  | 2 | 7.3 |
| 2015/3/25 | 3 | 24.6 | 24.6 | 24.6 | 24.6 |  |  |  |  | 2 |  |
| 2015/3/27 | 0 |  |  |  |  | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 2 |  |
| 2015/4/19 | 31 |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |
| 2015/4/28 | 28 | 14.2 | 16.5 | 15.8 | 16.15 | 9.7 | 10 | 9.85 |  | 2 | 6.3 |
| 2015/4/29 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |
| 2015/5/2 | 4 |  |  |  |  | 10.4 | 10.8 | 10.6 | 12.1 | 2 |  |
| 2015/5/28 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |
| 2015/6/1 | 8 | 13.9 | 14.9 | 27.2 | 21.05 | 12 | 11.7 | 11.85 | 13.9 | 2 | 9.2 |
| 2015/7/17 | 22 | 26.3 | 12.3 | 13 | 12.65 | 12.3 | 10.8 | 11.55 |  | 2 | 1.1 |
| 2015/7/3 | 19 | 11.7 | 12.5 | 13.4 | 12.95 | 11 | 9.11 | 10.055 | 12.1 | 2 | 2.895 |
| 2015/8/27 | 4 | 25.2 | 16.9 | 8.3 | 12.6 | 11.1 | 11 | 11.05 | 12.4 | 2 | 1.55 |
| 2015/10/9 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |
| 2015/10/2 | 21 |  |  | 6.7 | 6.7 | 8.8 |  | 8.8 |  | 2 | -2.1 |
| 2015/11/11 | 8 | 10.7 | 9.1 | 9.5 | 9.3 |  |  |  |  | 2 |  |
| 2015/11/18 | 7 |  |  |  |  |  | 10.2 | 10.2 | 14.1 | 2 |  |
| 2015/11/19 | 6 |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |
| 2016/1/18 | 10 |  |  | 10.8 | 10.8 | 8.2 |  | 8.2 |  | 2 | 2.6 |

附表2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 更换时间 | 更换数量 | 更换前3天含尘量 | 更换前2天含尘量 | 更换前1天含尘量 | 更换后1天含尘量 | 更换后2天含尘量 | 更换后3天含尘量 | 炉 | 更换前 | 更换后 | 浓度差 |
| 2014/11/27 | 21 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/1/23 | 0 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/1/27 | 3 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/2/12 | 0 | 36.54267 | 44 | 21 | 8.9 | 10.9 | 8 | 1 | 32.5 | 9.9 | 22.6 |
| 2015/2/17 | 22 | 21.67277 | 22.6 | 19.2 | 11 | 16.2 | 15.21678 | 1 | 20.9 | 13.6 | 7.3 |
| 2015/3/25 | 7 | 24.6 | 24.6 | 24.6 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 24.6 | 10.88147 | 13.71853 |
| 2015/3/27 | 4 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 1 | 16.55167 | 15.3 | 1.251674 |
| 2015/4/19 | 43 | 16.5 | 11.5 | 23.2 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 17.35 | 10.88147 | 6.468534 |
| 2015/4/28 | 1 | 14.2 | 16.5 | 15.8 | 9.7 | 10 | 10.28576 | 1 | 16.15 | 9.85 | 6.3 |
| 2015/4/29 | 0 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/5/2 | 0 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.4 | 10.8 | 12.1 | 1 | 16.55167 | 10.6 | 5.951674 |
| 2015/5/28 | 3 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/6/1 | 0 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 11.18295 | 12 | 11.7 | 1 | 16.55167 | 11.59148 | 4.960198 |
| 2015/7/17 | 0 | 15.6556 | 13.72935 | 11.1 | 12.3 | 10.8 | 11.25517 | 1 | 12.41468 | 11.55 | 0.864675 |
| 2015/7/3 | 0 | 11.7 | 12.5 | 13.4 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 12.95 | 10.88147 | 2.068534 |
| 2015/8/27 | 4 | 9.4 | 8.1 | 8.3 | 15.2 | 11.02647 | 8 | 1 | 8.2 | 13.11324 | -4.91324 |
| 2015/10/9 | 10 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/10/2 | 10 | 8 | 7.7 | 7.2 | 7 | 8.542472 | 8.79859 | 1 | 7.45 | 7.771236 | -0.32124 |
| 2015/11/11 | 1 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/11/18 | 3 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 8.307428 | 6.4 | 5.7 | 1 | 16.55167 | 7.353714 | 9.19796 |
| 2015/11/19 | 2 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 1 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2016/1/18 | 4 | 15.40963 | 13.36476 | 10.7 | 8.3 | 6.5 | 7.410882 | 1 | 12.03238 | 7.4 | 4.632378 |
| 2014/11/27 | 0 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 2 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/1/23 | 2 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 2 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/1/27 | 0 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 2 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/2/12 | 5 | 36.54267 | 44 | 21 | 8.9 | 10.9 | 8 | 2 | 32.5 | 9.9 | 22.6 |
| 2015/2/17 | 15 | 21.67277 | 22.6 | 19.2 | 11 | 16.2 | 15.21678 | 2 | 20.9 | 13.6 | 7.3 |
| 2015/3/25 | 3 | 24.6 | 24.6 | 24.6 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 2 | 24.6 | 10.88147 | 13.71853 |
| 2015/3/27 | 0 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 2 | 16.55167 | 15.3 | 1.251674 |
| 2015/4/19 | 31 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 2 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/4/28 | 28 | 14.2 | 16.5 | 15.8 | 9.7 | 10 | 10.28576 | 2 | 16.15 | 9.85 | 6.3 |
| 2015/4/29 | 1 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 2 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/5/2 | 4 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.4 | 10.8 | 12.1 | 2 | 16.55167 | 10.6 | 5.951674 |
| 2015/5/28 | 0 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 2 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/6/1 | 8 | 13.9 | 14.9 | 27.2 | 12 | 11.7 | 13.9 | 2 | 21.05 | 11.85 | 9.2 |
| 2015/7/17 | 22 | 26.3 | 12.3 | 13 | 12.3 | 10.8 | 11.25517 | 2 | 12.65 | 11.55 | 1.1 |
| 2015/7/3 | 19 | 11.7 | 12.5 | 13.4 | 11 | 9.11 | 12.1 | 2 | 12.95 | 10.055 | 2.895 |
| 2015/8/27 | 4 | 25.2 | 16.9 | 8.3 | 11.1 | 11 | 12.4 | 2 | 12.6 | 11.05 | 1.55 |
| 2015/10/9 | 45 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 2 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2015/10/2 | 21 | 12.94988 | 9.718817 | 6.7 | 8.8 | 9.737656 | 9.961372 | 2 | 8.209409 | 9.268828 | -1.05942 |
| 2015/11/11 | 8 | 10.7 | 9.1 | 9.5 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 2 | 9.3 | 10.88147 | -1.58147 |
| 2015/11/18 | 7 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.69388 | 10.2 | 14.1 | 2 | 16.55167 | 10.44694 | 6.104733 |
| 2015/11/19 | 6 | 18.3174 | 17.67478 | 15.42857 | 10.73828 | 11.02465 | 11.21348 | 2 | 16.55167 | 10.88147 | 5.670208 |
| 2016/1/18 | 10 | 15.47112 | 13.4559 | 10.8 | 8.2 | 9.339261 | 9.573778 | 2 | 12.12795 | 8.769631 | 3.358322 |

**附表3 程序代码**

>> x1=[0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01]

>> x2=[0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01]

>> y=exp(x1).^2+x2.^(-3);

>> plot(y)