



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

数学建模竞赛论文

学号:
学号:
学号:

电话:
电话:
电话:

题目：用垃圾焚烧厂布袋式除尘系统运行稳定性的分析

摘要

现行垃圾焚烧除尘工艺不能持续稳定运行的缺陷，是致使社会公众对垃圾焚烧产生危害疑虑的主要原因。因此，量化分析布袋除尘器运行稳定性问题，不仅能深入揭示现行垃圾焚烧烟气处理技术缺陷以期促进除尘技术进步，同时也能对优化焚烧工况控制及运行维护规程有所帮助。

对于问题一，其特点是变量较多，切互相影响，而题目所给数据较少。问题一需要首先建立布袋除尘系统运行稳定性的模型，通过题目所给数据及收集到的不同型号袋式除尘器参数，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，最后建立模型析其运行稳定性对周边环境烟尘排放总量的影响。对于系统除尘稳定性，我们从布袋破损程度角度进行分析，研究其影响因素，通过积分建立阻力与破损程度的关系，进而建立破损程度与影响因素的指数模型 I，并求出其与时间的关系；定义稳定性与布袋破损程度成正相关，得出系统稳定性与时间的关系。接下来分析影响周边环境烟尘排放总量的因素，由于变量多且具有相关性，建立主成分分析模型 II，运用 matlab 求解各因素之间的关系，得出烟尘排放量与系统稳定性以及时间的关系；最后根据国家标准得出理论扩建面积上限，并根据模型提出了环境综合检测建议方案。

对于问题二，认为滤料的选择是一种方案决策问题，其中滤料的密度、抗拉强度、断裂伸长率等性能为影响因素，所以对于此类问题我们采用了层次分析结构模型 III，确定各因素权重，进而确定滤料系数，用于问题一模型中。然后基于问题一建立的关于布袋破损程度的模型，在假定使用工况如工作温度、过滤风速等参数不变的情况下，探究滤料及滤料系数对除尘系统的影响，从而通过研究布袋的破损情况定量的分析布袋除尘系统的稳定性提升问题。

关键词：指数模型 积分 破损程度 主成分分析法 层次分析法

目录

一.问题重述.....	4
二.问题分析.....	5
三.模型的建立与求解	
1. 问题一.....	6
1) 模型假设	6
2) 定义与符号说明	7
3) 模型建立	12
4) 模型求解	12
2. 问题二.....	13
1) 模型假设	13
2) 定义与符号说明	13
3) 模型建立	13
4) 模型求解	15
四.参考文献.....	17
五. 附录.....	18

一、问题重述

今天，以焚烧方法处理生活垃圾已是我国社会维持可持续发展的必由之路。然而，随着社会对垃圾焚烧技术了解的逐步深入，民众对垃圾焚烧排放污染问题的担忧与日俱增，甚至是最新版的污染排放国标都难以满足民众对二恶英等剧毒物质排放的控制要求（例如国标允许焚烧炉每年有 60 小时的故障排放时间，而对于焚烧厂附近的居民来说这是难以接受的）。事实上，许多垃圾焚烧厂都存在“虽然排放达标，但却仍然扰民”的现象。国标控制排放量与民众环保诉求之间的落差，已成为阻碍新建垃圾焚烧厂选址落地的重要因素。而阻碍国标进一步提升的主要问题还是现行垃圾焚烧除尘工艺存在缺乏持续稳定性等重大缺陷。另外，在各地不得不建设大型焚烧厂集中处理垃圾的情况下，采用现行除尘工艺的大型焚烧厂即便其排放浓度不超标，却仍然存在排放总量限额超标的问题，也会给当地的环境带来重大的恶化影响。

总之，现行垃圾焚烧除尘工艺不能持续稳定运行的缺陷，是致使社会公众对垃圾焚烧产生危害疑虑的主要原因。因此，量化分析布袋除尘器运行稳定性问题，不仅能深入揭示现行垃圾焚烧烟气处理技术缺陷以期促进除尘技术进步，同时也能对优化焚烧工况控制及运行维护规程有所帮助。

附件 1 是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，从中可以看出，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。请收集资料，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，构建数学模型分析袋式除尘系统运行稳定性问题，并分析其运行稳定性对周边环境烟尘排放总量的影响。基于你的模型请回答下述问题：

1、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），在考虑除尘系统稳定性因素的前提下，试分析讨论焚烧厂扩建规模的环境允许上限是多少？并基于你的分析结果，向政府提出环境保护综合监测建议方案；

2、如果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，你的除尘模型稳定性能提升多少？

二、问题的分析

问题一：

此问题侧重于对除尘系统的稳定性的分析及求解过程，其特点是变量较多，切互相影响，而题目所给数据较少。在保证布袋除尘系统的稳定性的前提下，我们要研究排出的烟气对于环境的影响。

问题一需要首先建立布袋除尘系统运行稳定性的模型，通过题目所给数据及收集到的不同型号袋式除尘器参数，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，最后建立模型析其运行稳定性对周边环境烟尘排放总量的影响。

对于系统除尘稳定性，我们从布袋破损程度角度进行分析，研究其影响因素，包括布袋的破损因素还有布袋不破损的情况下灰尘积累量的因素，以及外部因素还有人为因素。通过我们对于问题的假设找出了各种因素对于最终排出的烟气含尘量的影响条件，并针对附录 1 中的数据进行了细致的分析及统计，通过积分建立阻力与破损程度的关系，进而建立破损程度与影响因素的指数模型 I，并求出其与时间的关系；定义稳定性与布袋破损程度成正相关，得出系统稳定性与时间的关系。接下来分析影响周边环境烟尘排放总量的因素，由于变量多且具有相关性，建立主成分分析模型 II，运用 matlab 求解各因素之间的关系，得出烟尘排放量与系统稳定性以及时间的关系；最后并根据计算得到的稳定性数据对比国家的空气污染物排放标准求出了垃圾焚烧厂的扩建规模面积，并根据模型提出环境综合检测建议方案。

问题二：

该问题的意义在于，布袋除尘器的核心是滤袋，除尘器能否正常且平稳地工作取决于滤袋是否能够在长时间运行下保持完整的结构即滤袋牢固程度。因此，在所有不可控外界因素下，改善滤袋性能有着重要意义，如何选择更好的滤料成为厂家不容忽视的一大难题。

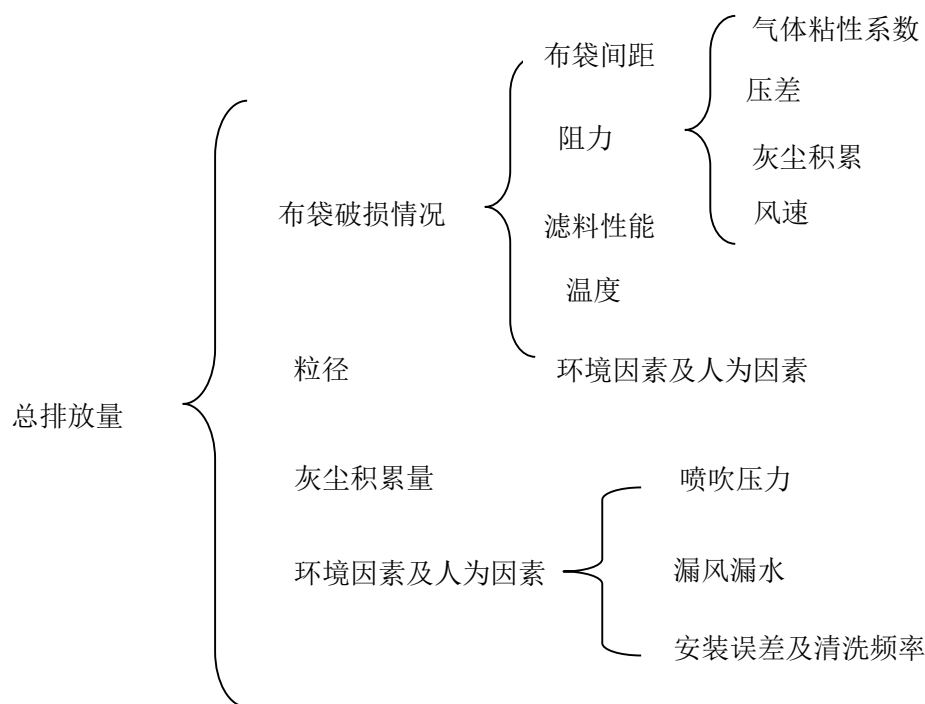
我们认为滤料的选择是一种方案决策问题，其中滤料的密度、抗拉强度、断裂伸长率等性能为影响因素，所以对于此类问题我们采用了层次分析结构模型，确定各因素权重，进而确定滤料系数，用于问题一模型中。

回到问题上，该问题侧重于对布袋除尘系统的工艺的提升问题，在附录 2 所示的工艺改进措施之后要探究工艺的改进对于系统稳定性的提升情况。而与系统的稳定性直接挂钩的就是布袋的破损情况，于是我们基于问题一建立的关于布袋破损程度的模型，在假定使用工况如工作温度、过滤风速等参数不变的情况下，探究滤料及滤料系数对除尘系统的影响，从而通过研究布袋的破损情况定量的分析布袋除尘系统的稳定性提升问题。

三、模型的建立与求解

1. 问题一：

此模型的逻辑结构如图：



1) 模型假设

考虑到实际情况与模型的建立中存在的确定关系，我们做如下假设：

- 1、 假设环境因素和人为因素考虑为一个定量的系数
- 2、 假设清灰的过程进行的时间极短可忽略
- 3、 假设滤袋上的粉尘负荷随时间线性变化滤布的破损程度
- 4、 假设风速不随时间发生变化但可以作为变量影响
- 5、 假设每个滤袋的使用寿命相同且系统对每个滤袋的影响等同

2) 定义符号分析

C_1	除尘器入口含尘浓度 (kg/m^3)
m	粉尘负荷 (kg/m^2)
ΔP_d	粉尘层阻力 (kPa)
ΔP_c	结构阻力 (Pa)
ΔP_f	清洁滤袋阻力 (Pa)
ΔP	除尘器的总阻力 (kPa)
ψ_i	第 i 个因素对滤布破损程度的影响
v	风速 (m/s)
m_0	初始状态的粉尘负荷 (kg/m^2)
t	时间 (s)

λ	单个布袋的破损率
c_i	第 i 个影响布袋破损因素的权重
d	布袋直径 (mm)
S	排放气体的烟尘含量 (mg/m^3)

3) 模型建立

在求解除尘系统的排除气体粉尘量之前,首先要就影响除尘效果的变量进行研究。对于布袋除尘器的效果,其影响因素大概可以分为布袋的破损情况,灰尘积累量,还有环境的影响。其中布袋的破损情况是最主要的原因。针对布袋的破损情况,我们又探讨了影响布袋的破损的主要因素,包括阻力,滤料性能,还有温度的影响。在这几种因素中,阻力又是影响最为巨大的,因此,对于阻力我们进行数据的分析还有资料的分析,得到以下的求解过程。

布袋除尘器阻力 Δp 由结构阻力 Δp_c 、清洁滤袋阻力 Δp_f 和滤袋上积附粉尘层阻力 Δp_d 构成:

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_f + \Delta p_d$$

结构阻力 Δp_c 是指除尘器进、出口及气流分布装置、内部通道挡板等造成的流动阻力,通常 $\Delta p_c < 300\text{Pa}$ 。

清洁滤袋阻力 Δp_f 为: $\Delta p_f = \xi \mu v$, 式中 μ 为气体的粘度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$), ξ 为滤袋的阻力系数 m^{-1} , v 为过滤风速 m/s 。

粉尘层阻力 Δp_d 与滤袋、粉尘粒度分布、化学成分、烟气温度的、含湿量等因素有关,需通过试验确定。特定条件下粉尘层阻力如图 1 所示,在相同过滤速度下,随着粉尘沉积厚度增加,粉尘层阻力增大;当过滤速度小于 $0.5\text{m}/\text{min}$ 时,粉尘层厚度与阻力无关;当过滤速度小于 $1.2\text{m}/\text{min}$ 且大于 $0.5\text{m}/\text{min}$ 时,粉尘层厚度增加到一定程度继续增加粉尘层厚度则阻力呈线性变化。

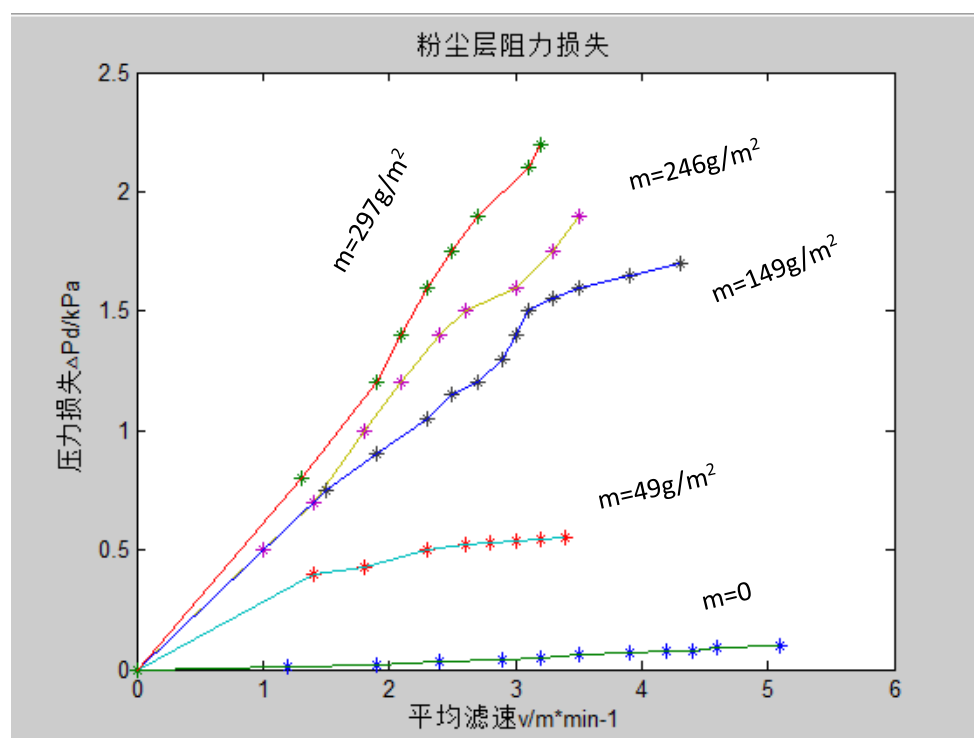


图 1

当平均滤速 v 取 1.2m/min 时

$m=49$ 时 $\Delta P_d=0.4\text{kPa}$

$m=149$ 时 $\Delta P_d=0.6\text{kPa}$

$m=246$ 时 $\Delta P_d=0.6\text{kPa}$

$m=297$ 时 $\Delta P_d=0.7\text{kPa}$

代入 matlab 中拟合得到曲线的解析式为（曲线如图 2）：

$$\Delta P_d = 0.157 * (0.6224 * m^{(1/3)} + 0.07566) + 0.02607$$

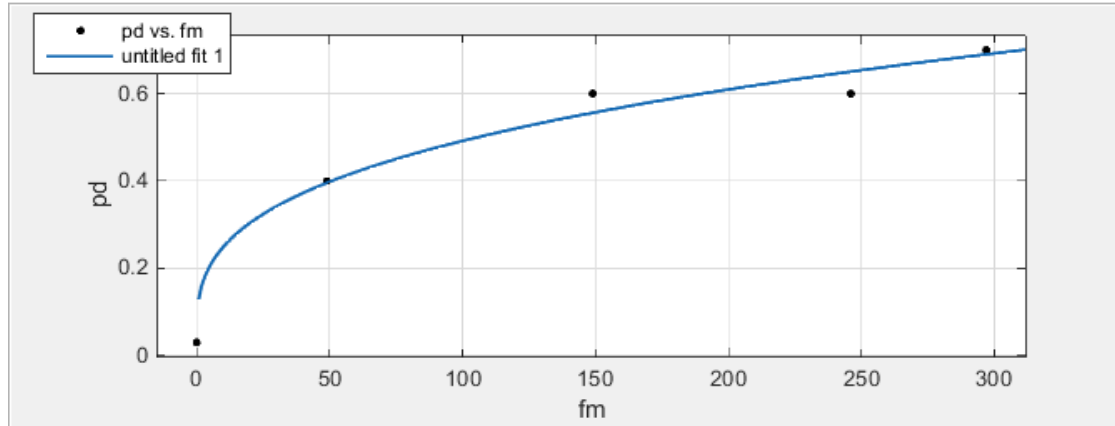


图 2

结合实际给出的数据分析，取 Δp_c 为 100Pa，取 Δp_f 为 100Pa，故可以得到最终的总压强损失为：

$$\Delta P_d = 0.157 * (0.6224 * m^{(1/3)} + 0.07566) + 0.22607$$

根据假设 3，有：

$$m = C_1 vt + m_0$$

将该式带入上面的压强损失公式得：

$$\Delta P_d = 0.157 * (0.6224 * (C_1 vt + m_0)^{(1/3)} + 0.07566) + 0.22607$$

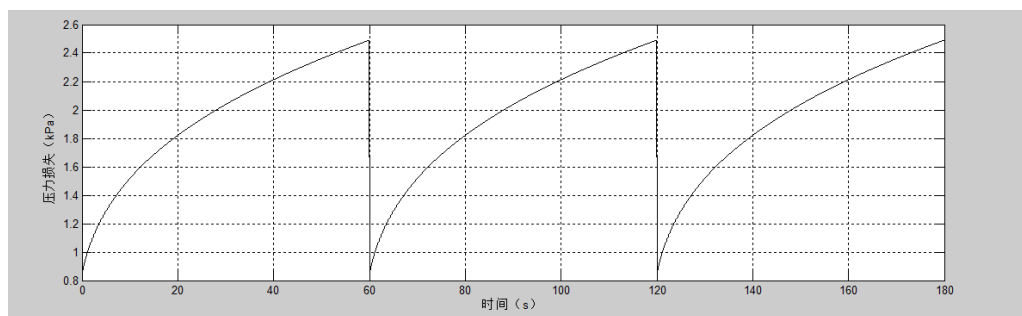
由于滤布在装上之后较短的时间即可得到一个较大的粉尘积累量，因此 m_0 的取值将以正常情况清灰过后滤布上的粉尘积累量为计算依据。取 m_0 为 0.24g/cm³。 m_0 的获得满足如下过程：

粉尘在滤布上的堆积密度为 1.2g/cm³，滤布上的粉尘厚度取 2mm。故

$$m_0 = \frac{1.2g}{cm^3} * 0.2cm = 240g/m^2$$

由于风速在考虑问题的过程中根据假设 4，不随时间的变化而变化，故其并非时间的函数。在 m 的表达式中 C_1 代表进入系统的空气含尘量。根据垃圾焚烧厂排出尾气的含尘量，可以得到 C_1 的值可以取为 10000mg/m³。

此时计算的压强损失为一个短暂的时间周期内的压强损失，且由于清灰过程的存在，滤布上的压强损失不会随时间的变化而无限的增长，因此，我们认为在每一个清灰周期内压强损失的变化都是相同的，且都是满足周期性变化的，如图所示。

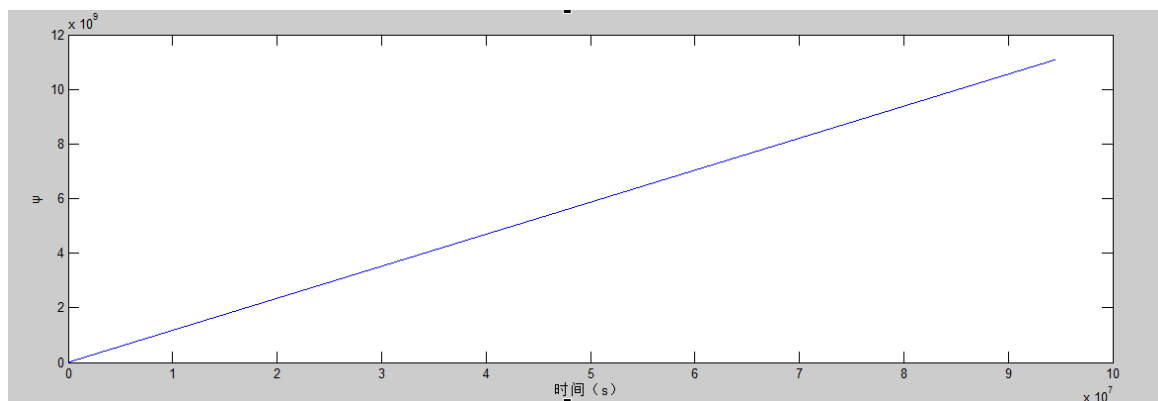


对每一个类似的小的变量进行积分即可得到在一个漫长的时间阶段上布袋除尘系统的单个布袋的破损程度对时间的关系。利用 matlab 进行数据的分析求解可得：

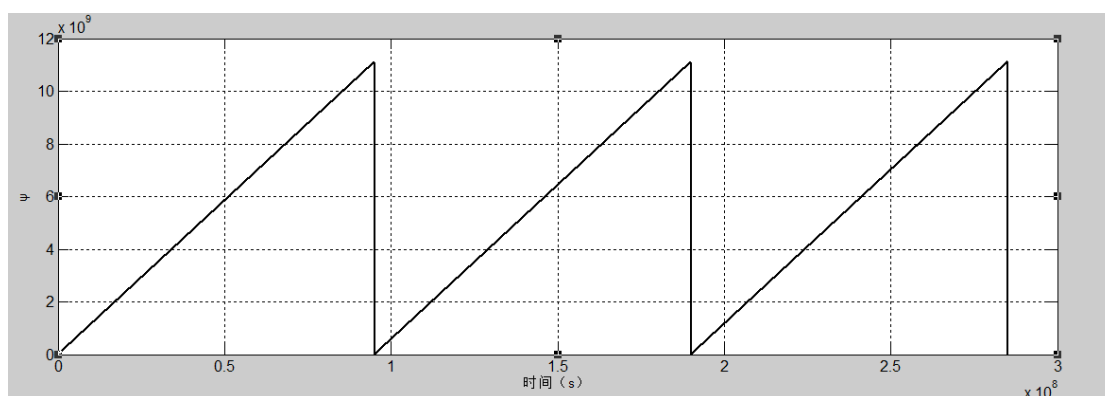
$$\psi_1 = \int_0^{60} 0.24 * t + 7.33 * 10^{(-6)} * (10000 * t * v + 240)^{(4/3)}/v dt$$

当 $v=0.02\text{m/s}$ 时 $\psi_1 = 117.2364$

则可以得到单个滤布的破损程度随时间的变化图像为：



布袋的一个生命周期时间为 $9.5 \times 10^7 \text{s}$ 。故在该除尘系统中布袋的破损情况随时间的变化关系如图：



针对我们对于模型的影响因素之间的关系的理解，我们假设布袋的破损程度在布袋的生命周期中与时间的关系满足指数型的增长模式。即在每个布袋的有效工作周期中，满足破损程度随时间指数型增长。而在其中作为影响因素的有：阻力（上文已经求解提到），布袋间距，滤料性能，温度，人为及环境因素。

分析各个成分对于破损程度的影响，并作为指数：

$$\psi = a \cdot \psi_1 \psi_2 \psi_3 \psi_4$$

单个布袋的破损率为

$$\lambda = e^{\psi}$$

其中

$$\psi_1 = \int_0^{60} 0.24 \cdot t + 7.33 \cdot 10^{(-6)} \cdot (10000 \cdot t \cdot v + 240)^{(4/3)} / v \, dt$$

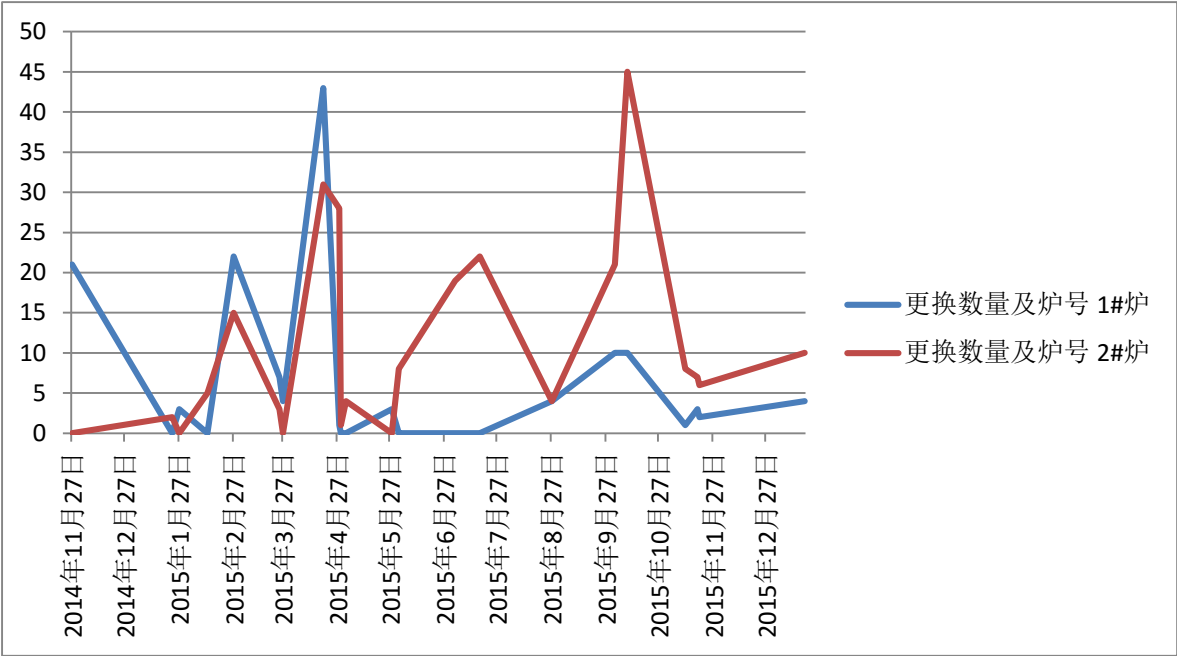
Arrhenius Rule 规则认为:温度每升高 10℃ ,氧化性增加 1 倍。如:烟气温度由 140℃ 增加到 160℃ , Δ t=20℃ ,氧化性增加 4 倍,布袋寿命只有原来的 1/4。

$$\psi_2 = \ln 2 \cdot \Delta T$$

考虑到第二题利用层次分析法建立的滤料系数ξ模型, 得到:

$$\psi_3 = \xi$$

将附件 1 中表 4 的数据进行筛选, 得到 1 炉和 2 炉改造前后破损袋数的变化如下图, 其中布袋直径在两炉的改造前后由 120mm 变成 165mm



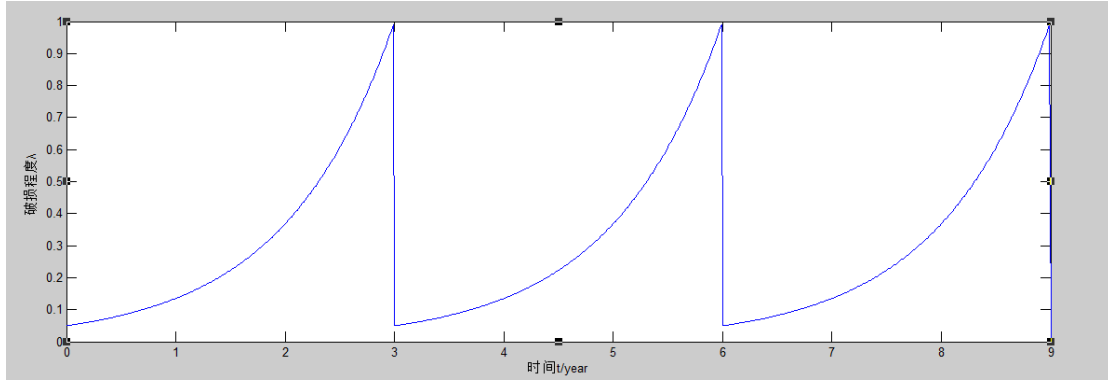
得到:

	1 炉改造前	1 炉改造后	2 炉改造前	2 炉改造后
袋数	104	34	25	214
月数	8	5	4	9
袋数/月数	13	6.8	6.25	23.78

设 $\psi_4 = cd$, 利用 2 炉的两个数据得到 $c=0.019205$ 和 0.015974 , 取平均值得到 $\psi_4 = 0.0176d$

最终得到:

$$\lambda = e^{\ln 2 \cdot \Delta T \cdot (0.0176d) \cdot \xi \cdot \int_0^{60} 0.24 \cdot t + 7.33 \cdot 10^{(-6)} \cdot (10000 \cdot t \cdot v + 240)^{(4/3)} / v \, dt}$$



影响排放量的因素包括：布袋破损情况，灰尘粒径，不考虑破损情况的灰尘积累量，喷吹压力还有人为环境因素。利用查找到的相关数据（见附录），应用主成分分析法分析这些因素对排出气体含尘量的影响，模型如下：

设 x_1, x_2, \dots, x_5 表示这几种因素， c_1, c_2, \dots, c_5 表示各种因素的权重，那么加权之和可以表示烟尘排放量 $S = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5$

设 X_1, X_2, \dots, X_5 分别表示以 x_1, x_2, \dots, x_5 为样本观测值的随机变量，找到 c_1, c_2, \dots, c_5 ，使得

$$\text{Var}(c_1X_1 + c_2X_2 + c_3X_3 + c_4X_4 + c_5X_5) \quad (1)$$

的值达到最大并规定 $c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_5^2 = 1$ 再此约束下，求 (1) 式的最优解，设 Z_i 表示第 i 个主成分 ($i=1, 2, 3, 4, 5$)，可设

$$\begin{cases} Z_1 = c_{11}X_1 + c_{12}X_2 + \dots + c_{1p}X_p, \\ Z_2 = c_{21}X_1 + c_{22}X_2 + \dots + c_{2p}X_p, \\ Z_3 = c_{31}X_1 + c_{32}X_2 + \dots + c_{3p}X_p, \\ \vdots \\ Z_p = c_{p1}X_1 + c_{p2}X_2 + \dots + c_{pp}X_p, \end{cases}$$

对于 c_1 到 c_p 设定限制为

$$c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \dots + c_p^2 = 1$$

(1) 对原始数据进行标准化处理。将本论文附录中的数据进行主成分分析，其中变量有 5 个，分别为 x_1, x_2, \dots, x_5 ，共有 50 个评价对象，第 i 个对象的第 j 个指标为 a_{ij} ，将各指标值 a_{ij} 转化为标准化指标值 b_{ij} ， b_{ij} 有 $b_{ij} = (a_{ij} - \mu_j)/s_j$, $i=1, 2, \dots, 50$; $j=1, 2, \dots, 5$,

其中：

$$\mu_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij}$$

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_{ij} - \mu_j)^2}, \quad j=1, 2, 3, \dots, 5$$

称 b_j 为标准化指标变量。

(2) 计算相关系数矩阵 $R = (r_{ij})_{5 \times 5}$ ，有

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n b_{ki} \cdot b_{kj}}{n-1}, \quad i, j=1, 2, 3, 4, 5$$

其中： $r_{ii} = 1$ ， $r_{ij} = r_{ji}$ ， r_{ij} 是第 i 个指标与第 j 个指标的相关系数。

(3) 计算特征值和特征向量。计算相关系数矩阵 R 的特征值 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_m > 0$ ，以及对应的特征向量 u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 并计算主成分，分析主成分的综合评价价值。

(4) 所有的评价指标可以部分由本论文后附录中获得。

由于最终的烟尘排放的含尘量与时间的关系满足指数型，由于题目所附数据有限，所以此处的数据分析将以指数函数的形式近似替代。

4) 模型求解

设排放量和时间的关系在一个时间周期内满足：

$$S = \Gamma_1 e^t + \chi_1$$

根据附录一的数据对于一号炉可以得到两个方程即：

$$S = \Gamma_1 e^0 + \chi_1 = 10.98$$

$$S = \Gamma_1 e^{0.35} + \chi_1 = 15.45$$

解得：

$$\Gamma_1 = 10.64$$

$$\chi_1 = 0.34$$

根据附录一的数据对于二号炉可以得到两个方程即：

$$S = \Gamma_2 e^0 + \chi_2 = 10.79$$

$$S = \Gamma_2 e^{0.35} + \chi_2 = 16.06$$

解得：

$$\Gamma_2 = 12.55$$

$$\chi_2 = -1.57$$

故对于这两个炉的稳定性我们可以利用积分求平均的方法得到两个炉的稳定排放量的值：

$$s = \frac{\int \Gamma e^t + \chi dt}{t}$$

解得 $s_1 = 13.09 \text{ mg/m}^3$

$s_2 = 13.46 \text{ mg/m}^3$

根据此处计算得到的烟尘的排放含量，结合如图的排放标准：

	污染物项目	限值	取值时间
颗粒物 (mg/m^3)		30	1 小时均值
		20	24 小时均值

取一小时的均值为 30 mg/m^3 计算，由于该垃圾焚烧厂的烟尘排放的总量 1, 2 两炉均在 13 mg/m^3 左右，故得到的结论是该垃圾焚烧厂可以扩建两倍的面积，即上限的扩充面积位为原来的两倍。

由于涉及到除尘系统稳定性的讨论，因此讨论除尘系统的效率问题也是一大重点，对于除尘系统的效率，查找相关专业文献可以知道，系统入口空气中的含尘量为

10000mg/m³, 根据公式:

$$\eta = 1 - \frac{s}{Q}$$

得到效率为 99.87%。故符合工业的需要，模型的建立合理。

2. 问题二

1) 模型假设

假设新技术替代老工艺更换成固体滤料后，布袋使用工况如工作温度、设备阻力等均不变，仅改变滤料性质即滤料系数发生改变。在此基础上，代入由问题 1 得出的稳定性模型，求得除尘稳定性能提升数值，解答问题二。

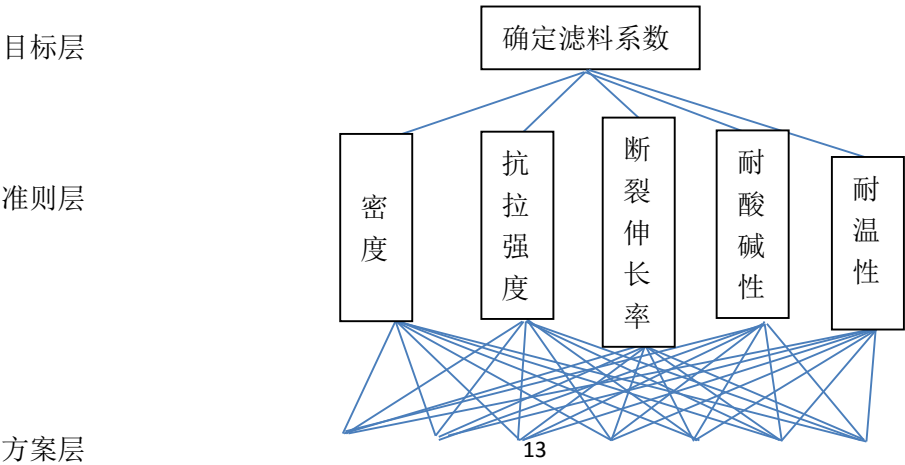
2) 定义符号说明

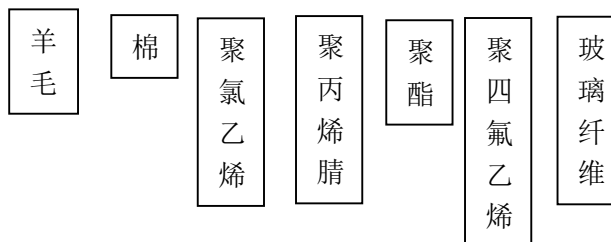
ρ	密度 (g/cm ²)
σ	抗拉强度 (MPa)
δ	断面伸长率 (%)
ε	耐酸碱性
ε_T	耐高温性

3) 模型建立

(1) 建立层次结构模型

我们从滤料这一影响因素出发，将选择何种滤料定为决策问题，并分解为 3 个层次：最上层为目标层，即确定滤料系数；中间层为准则层，是不同滤料的不同性质对于布袋破损率的影响因素，我们总结出有密度 (g/cm²)、抗拉强度 (MPa)、断裂伸长率 (%)、耐酸碱性、耐高温性 5 个准则；最下层为方案层，包括多种滤料的选择，如羊毛、棉、聚氯乙烯、聚四氟乙烯、玻璃纤维等。各层间的联系用相连的直线表示 (如图)。





(2) 构造成对比较矩阵

假设密度、抗拉强度、断裂伸长率、耐酸碱性、耐温性等 5 个准则在确定滤料系数这个目标的重要性分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 ，每次任取两个因素 C_i 、 C_j ，用 a_{ij} 表示 C_i 和 C_j 对上一层的影响之比，全部比较结果可用成对比较矩阵

$A = (a_{ij})_{m \times n}$ ， $a_{ij} > 0$ ， $a_{ji} = 1/a_{ij}$ 来表示，其中对角线上的元素为 1。

根据 Saaty 等人提出的比较尺度，如下表

尺度 a_{ij}	含义
1	C_i 和 C_j 的影响相同
3	C_i 比 C_j 的影响稍强
5	C_i 比 C_j 的影响强
7	C_i 比 C_j 的影响明显的强
9	C_i 比 C_j 的影响绝对的强
2, 4, 6, 8	C_i 和 C_j 的影响之比在上述两个相邻等级之间
1, 1/2, 1/3, ..., 1/9	C_i 和 C_j 的影响之比为上面 a_{ij} 的互反数

用成对比较法得到的成对比较矩阵（正互反阵）为

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/5 & 3 & 1/3 & 1/3 \\ 5 & 1 & 7 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1/7 & 1 & 1/5 & 1/5 \\ 3 & 1/3 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 1/3 & 3 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

(3) 计算权向量及做一致性检验

通过 matlab 进行矩阵的求解之后，得到该矩阵的最大特征值为 5.1269，最大特征值对应的特征向量为 (0.1549, 0.8424, 0.0767, 0.3609, 0.3609)

检验一致性：

(1) 计算一致性指标

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = 0.0317$$

(2) 随机一致性指标

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

当 $n=5$ 时 $RI=1.12$

(3) 计算一致性比率

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0.0283$$

经计算, $CR = 0.0283 < 0.1$, 一致性检验通过, 上述 w 可作为权向量

(4) 根据权向量及各参数值确定滤料系数

由附录中滤料的性能参数, 其中耐酸性、耐碱性以及耐温性由客观评价模糊成确定等级数值 1~5 记为 ε 和 ε_T ,

..再进行权重计算, 最后取其倒数作为滤料系数, 得出以下表格:

性能	天然纤维		合成纤维				玻璃纤维
	羊毛	棉	聚氯乙烯	聚丙烯腈	聚酯	聚四氟乙烯	
滤料系数	0.073	0.032	0.035	0.036	0.024	0.018	0.019

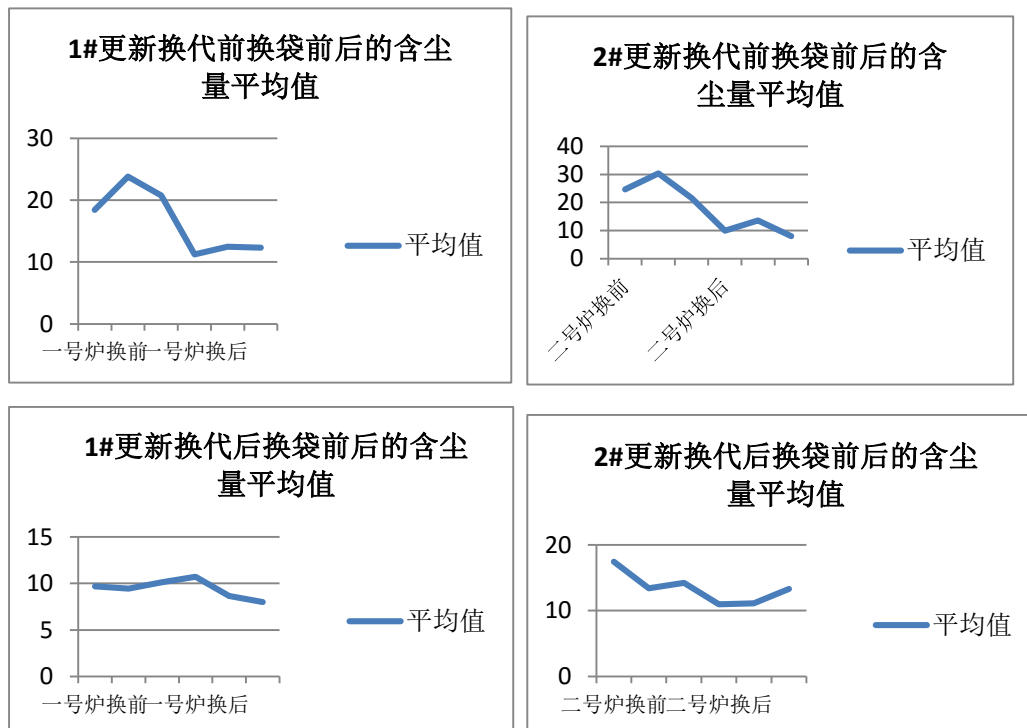
4) 模型求解

由问题一的稳定性模型出发, 有推导出的稳定性的描述公式为:

$$\lambda = e^{\ln 2 \cdot \Delta T \cdot (0.0176d) \cdot \xi \cdot \int_0^{60} 0.24 \cdot t + 7.33 \cdot 10^{(-6)} \cdot (10000 \cdot t \cdot v + 240)^{(4/3)} / v dt}$$

对于该公式得使用条件, 我们已经讨论到了阻力 (上文已经求解提到), 布袋间距, 滤料性能, 温度, 人为及环境因素。我们通过上述的对于材料性能的分析也明显可以看到滤料的性能对于布袋除尘系统的稳定性的影响最大。

首先分析题目附件 1 给出的垃圾焚烧厂的更新换代前后的在换滤袋前后的数据情况统计结果:



通过横向的比较，不论是在更新换代之前还是在更新换代之后，炉 2 相比炉 1 排出的气体的含尘量都较多。通过数值的比较发现，更新换代之前两个炉更换滤袋之后排出的气体的含尘量均比更换滤袋前有大幅度的降低。但是更新换代之后，两个炉的更换滤布之后的排出的气体的含尘量跟更换之前没有太大的变化，所以更新换代的过程反而降低了滤袋的除尘效果，也就是降低了除尘系统的稳定性。而根据题目附录 1 中的解释，知道滤袋的性能，滤袋的面积，滤袋之间的间距都会影响除尘系统的稳定性。在附录 2 的讨论中，提到将滤料的材质换掉的想法，的确可以达到良好的除尘效果。通过上面的权向量的求解可以看出材料的滤料性质还有滤料的形态还有状态对于除尘系统的稳定性提升作用巨大。下面将进行定量的求解：

$$\lambda = e^{\ln 2 \cdot \Delta T \cdot (0.0176d) \cdot \xi \cdot \int_0^{60} 0.24 \cdot t + 7.33 \cdot 10^{(-6)} \cdot (10000 \cdot t \cdot v + 240)^{(4/3)} / v dt}$$

此公式中滤料的滤料系数在指数的位置上，故更换滤料前后的变化为：

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{e^{\xi_1}}{e^{\xi_2}}$$

取滤料系数 $\xi_1=0.018$ ， $\xi_2=0.1$

则可以计算得到稳定性的提升为： $\zeta = 8.55\%$

故在更换滤料之后除尘系统的稳定性提升幅度达到 8.55%，稳定性得到了较高的提升。从改变的原因角度大概可以推测出稳定性提升的原因所在。通过对上面计算的权向量的数值分析得到滤料的抗拉抗拉强度对于滤料的稳定性最重要，权值为 0.8424，进而对除尘系统的稳定性影响最大。

四、参考文献

- 【1】 胡传鼎，《通风除尘设备设计手册》，北京：化学工业出版社，2003
- 【2】 唐敬麟，张禄虎，《除尘装置系统及设备设计选用手册》，北京：化学工业出版社，2004
- 【3】 祁君田等，《现代烟气除尘技术》，北京：化学工业出版社，2008
- 【4】 姜启源，谢金星，叶俊，《数学模型（第三版）》，北京：高等教育出版社，2003
- 【5】 王鸿合，张斌，《布袋除尘器技术及其应用》，《吉林电力》，2004 年，第 5 期：16-17 页
- 【6】 中华人民共和国国家标准，《生活垃圾焚烧污染控制标准》（发布稿），GB 18485-2014

五、附录

1. 求解矩阵的特征向量还有特征值:

%把 a 的向量各个元素输入

```
[EigenVectors, EigenValues] = eig(a);
```

% 把特征根写成向量形式

```
DiagonalVal = diag(EigenValues);
```

% 把最大的特征值和对应的下标找到

```
[MaxEigenValue, Index] = max(DiagonalVal);
```

% 找到最大的特征值对应的特征向量

```
MaxEigenVector = EigenVectors(:, Index);
```

```
>> MaxEigenVector
```

```
MaxEigenVector =
```

```
-0.2206
```

```
-0.8256
```

```
-0.2285
```

```
-0.3298
```

```
-0.3298
```

获取分段函数的图像

```
y=exp(x).*(x>=0&x<5)+exp(x-5).*(x>=5&x<10)+exp(x-10).*(x>=10&x<15);
```

```
>> plot(x, y);
```

```
>>y=1/exp(5)*(exp(x).*(x>=0&x<5)+exp(x-5).*(x>=5&x<10)+exp(x-10).*(x>=10&x<15));
```

```
>> plot(x, y);
```

```
y=1/exp(3)*(exp(x).*(x>=0&x<3)+exp(x-3).*(x>=3&x<6)+exp(x-6).*(x>=6&x<9));
```

```
>> plot(x, y);
```

```
>> x=0:0.01:9;
```

```
x=0:0.01:9;
```

```
>> x=0:0.01:9;
```

```
>> plot(x, y);
```

```
>>y=1/exp(3)*(exp(x).*(x>=0&x<3)+exp(x-3).*(x>=3&x<6)+exp(x-6).*(x>=6&x<9));
```

```
>> plot(x, y);
```

2. 不同型号袋式除尘器参数

型号	过滤面积 /m2	处理风量 /m3·min-1	尺寸/mm	工作温度	设备阻力 /Pa	除尘效率	过滤风速 /m·min-1	喷吹压力 /Mpa
1	18	3240	120*2000	<120	1176-1470	99.5	2~4	0.5-0.7
2	27	4860						
3	36	6480						
4	45	8100						
5	54	9720						
6	63	11340						
7	72	12960						
8	81	14580						
9	90	16200						
10	18	3000	无	无	99			
11	27	4500						
12	36	6000						
13	45	7500						
14	54	9000						
15	63	11000						
16	72	13500						
17	90	15000						
18	24	1800		<=120	<=1200			
19	36	2600						
20	48	3100						
21	60	5000						
22	72	6100						
23	84	7500						
24	18	2000	120*2000	<120	1000-1500	99	0.5-4	
25	27	4000						
26	36	6000						
27	45	7000						
28	54	9000						
29	63	11000						
30	72	13000						
31	81	15000						
32	90	17000						
33	54	4000	120*3000	1200-1500	99.9	1-1.5		
34	68	4000	150*3000			0.8-1.2		
35	108	7500	120*3000			1-1.5		
36	136	7500	150*3000			0.8-1.2		

37	163	12000	120*3000				1-1.5	
38	204	12000	150*3000				0.8-1.2	
39	800	96000	1300*6000	无	800-1500	99.5	1.5-2.5	0.2-0.25
40	1600	19500						
41	2400	28000						
42	3200	38000						
43	4800	58000						
44	100	13200	120*3482		1200	99.5	2	0.5-0.7
45	150	19800						
46	200	26400						
47	250	33000						
48	300	39300						
49	350	46200						
50	400	52800						