

电除尘器性能的计算机模拟

黄 荣 阳

(鞍山黑色冶金矿山设计研究院)

一、概 述

半个世纪以来,电除尘器的计算理论已经有了许多发展和专题论著^[1,2]。但是,由于影响电除尘器效能的因素很多,计算过程复杂,以致成为系统计算的一大障碍。目前人们往往略去某些环节,只作些简化假定后的粗略计算,并据此进行电除尘器性能的评价,因而片面性大,可靠性差。

近年来,国内外瞩目于使用电子计算机来计算电除尘器的结构及其除尘效率,以求进一步推动电除尘器理论研究与应用技术的发展者,已不乏其人^[3,4]。1975年 J. P. Gooch 等发表了在选定几种运行电流密度后,电除尘器性能的电算研究成果^[5]。

本文叙述作为辅助设计工具而建立的一个模拟电除尘器性能的动态模型,以及用它在计算机上对实例计算后所得的各项除尘性能数据成果,及其与实测值的比较。

实践表明,电除尘器的设计因素和设备结构参数相比,高压供电状况同样会对除尘效能产生显著影响。这是因为即使设备结构相同而操作电压不同时,粒子驱进速度就会不同,因而净化效果各异。这就要求在设计阶段,不仅要对结构参数的合理性,且要对选配的整流机组的供电运行情况是否合适,都能事先分别计算出系统的数值,以资考核。很明显,用手工进行这种系统计算是既费时又困难的。至于选配不同设计参数,作多方案的比较而又能即时观察其效果,手工计算就无

能为力了。

这里提出的动态模型,是在程序中安排逐渐升高电压,直至该方案允许之最高操作电压后,进行各项除尘性能参数的计算。模型包括了大部分设计因素:设备结构参数,整流机组规格;和烟尘因素:烟气和粉尘的物理化学特征值。它能对每个电场依次计算其伏安特性和除尘性能,最后求解出总的除尘效率。作为辅助设计工具,它为设计研究者预先考核某一电除尘器的各项性能参数,即时观察调正后的效果提供了方便。

二、设计参数分析

下列各项设计参数,可借这个模型来作分析和调整,以求达到预期的除尘效能。

1. 收尘极板总面积及板间距:不同的设计方案,收尘极板总面积数不同,但在极板总面积相等的情况下,变更极板间距,则伏安特性和收尘性能也会不同。

2. 电晕线总长度和线间距及线半径:这是一个与收尘极板总面积相关联的问题,具有某些类似的性质,如电晕线总长度相等,但线间距不同时,或线半径大小不同时,则伏安特性与电场强度也都各异。

3. 电场个数:在电场总长度相同的情况下,电场个数增多,对提高除尘效率有利。

4. 整流机组的能率:对一定规格的电场,所配整流供电机组能率的大小,直接影响到除尘器内的最高操作电压、电场强度、尘粒驱进速度和除尘效率。

5. 烟气流速: 在处理一定量的烟气时, 它与电场横截面积及电场总长度相关连。流速增加, 恶化气流分布, 还会使除尘效率下降得比理论计算值更多一些。

至于烟尘特征因素则包括: 烟气的成份、压力和温度; 粉尘的初始含量、粒度组成、重度以及尘粒的介电性质指数。这些变量连同所要求的净化程度一起, 被视为设计依据。但在程序中均安排为原始数据输入, 因而可按任务要求作任意改变, 分析其对除尘效能的影响。

三、数学模型的形成

模型中采用的各主要计算关系式如下:

1. 临界电场强度

$$E_0 = 31\delta \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta \cdot r}} \right) \alpha \text{ 千伏/厘米} \quad (1)$$

$$E'_0 = E_0 \times \exp(3 \times P_a \times H) \text{ 千伏/厘米} \quad (2)$$

空载时按式(1), 除尘运行时按式(2)。

式中, δ ——气体密度; r ——电晕线半径; α ——粗糙度修正系数(此处取 0.6); P_a ——单位体积的烟气内所含粉尘的表面积, 平方厘米/立方厘米; H ——正负极间距, 厘米。

2. 临界电晕电压

$$V_0 = E_0 r \left(\frac{\pi H}{d} - \ln \frac{2\pi r}{d} \right) \text{ 千伏} \quad (3)$$

式中, d ——电晕线间距, 厘米。

3. 击穿电压

$$V_s = 4H + 10 \text{ 千伏} \quad (4)$$

$$V_j = \delta \cdot \delta' \cdot V_s \text{ 千伏} \quad (5)$$

空载时按式(4), 除尘运行时按式(5)。

式中, δ' ——湿度系数, 且 $\delta' = 1 + 5K_h$, (K_h 为烟气中的水蒸汽百分含量)。

4. 伏安特性值, 自 V_0 始按 $V_i = V_{i-1} + 1$ 千伏升高电压, 连续计算电晕比电流值

$$A_i = \frac{4\pi^2 k_n \nu}{9d^2 \left(\frac{\pi H}{d} - \ln \frac{2\pi r}{d} \right)} V_i (V_i - V_0) \text{ 毫安/米} \quad (6)$$

$$A_i = A_i \times L, \text{ 毫安}; (i = 1, 2, \dots, n;$$

$$\text{及 } j = 1, 2, \dots, m),$$

至 $V_n = V_j$ 或 $V_n = V_{\max}$ 或 $A_n = A_{\max}$ 为止。

式中, k_n ——离子迁移率, 厘米/秒, (对空气取 2.1, 对烟气 k_n , 按烟气组成成份分别计算); L ——每个电场的电晕线总长度, 米; A_j ——每个电场总的电晕电流值, 毫安; A_{\max} ——整流机组最大输出电流, 毫安; V_{\max} ——整流机组最大输出电压, 千伏; ν ——决定于电极相互位置的系数, H/d 与系数 ν 的关系值存入计算机内。

5. 电晕区内电场强度

$$E_n = \sqrt{\frac{2A'_n \times 0.9 \times 9 \times 10^6}{k'_n}} \times$$

$$\times (1 + 2 \times P_a \times H) / 300 \text{ 静电单位} \quad (7)$$

6. 尘粒驱进速度

$$\omega_j = \frac{\beta \cdot E_n^2}{\mu} \rho_j \times 10^{-6} \text{ 厘米/秒},$$

$$(j = 1, 2, \dots, 8.) \quad (8)$$

式中, $\beta = D/6\pi$, 其中 $D = 1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}$,

(ϵ 为尘粒介电常数, 对金属氧化物 $\epsilon = 12-18$); μ ——烟气粘度, 克/厘米·秒 (泊), 按烟气的组成成份和烟气运行温度计算; ρ_j ——尘粒半径, 微米。

7. 除尘效率

由于 ω_j 的实际值约为理论值的一半^[1], 代入 Deutsch 公式得

$$\eta_i = \sum_{j=1}^n [1 - \exp(-F \cdot \omega_j / 2)], \% \quad (9)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 8;$$

n 为电场个数。)

式中, F ——每秒净化处理 1 立方米烟气所对应的沉淀极板面积数, 平方米/立方米/秒。

电除尘器性能模拟计算框图示于图 1, 程序用 ALGOL-60 语言写成, 在 DJS-121 计算机上应用于实际例题的模拟计算时间为 1—2 分钟。

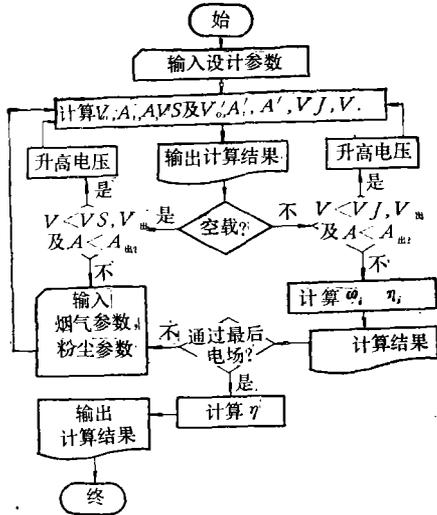


图1 电除尘器性能模拟计算框图

四、计算例题

某工程设计中,用一台40平方米电除尘器净化处理烧结机尾废气185000平方米/时,其烟尘特征及选定的设备结构参数、整流机组规格等,如下:

输入数据

大气表压: 毫米水柱	0.0
大气温度: °C	20.0
阴极线半径: 厘米	0.15
正负极间距: 厘米	15.0
阴极线间距: 厘米	20.0
收尘极板面积: 米 ² /个电场	946.0
电场截面积: 米 ²	40.0
阴极线长: 米/个电场	2268.0
整流机组电流(最大): 毫安	700.0
整流机组电压(最大): 千伏	72.0
烟气成份: N ₂ O ₂ H ₂ O CO ₂ CO SO ₂	
含量: 0.78 0.208 0 0.002 0 0	
烟尘含量: 克/立方米	1.0
烟气表压: 毫米水柱	-180
烟气温度: °C	100
电场个数:	2
烟气流速: 米/秒	1.3

粉尘介电系数 0.136
粉尘重度: 吨/立方米 3.76

粉尘粒度组成

半径(微米)	1.5	4.0	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5
含量(%)	3	9	10	32	18	14	8	6

计算结果

计算机输出的计算结果,及其与现场实测值的比较,可以归纳和分析如下。

电除尘器的主要技术性能和除尘效率的计算值和现场实测值的对比情况列于表1。

表1 计算值和现场实测值的对比

	运行电压 (最高) 千伏	工作电流 (最高) 毫安	除尘效率 %	出口含尘量 毫克/立方米
实测值	57—58	510—570	91.4—98.85	11.5—78
计算值	56.4	499	94.6	59

表1说明,按动态模型的模拟计算值与现场实测值基本符合。

从模拟计算中还获得了以下一系列有关除尘性能的其他计算结果,可供分析研究。

各电场的除尘运行情况如表2。

表2 各电场的除尘运行情况

项 目	第一电场	第二电场
起晕电压,千伏	23.3	23.25
击穿电压,千伏	54.9	56.3
最高操作电压,千伏	54.3	56.2
最高操作电流,毫安	453.4	498.7
电场除尘效率,%	82.67	65.73
出口含尘浓度,克/米 ³	0.173	0.059

伏安特性图2示出,空载时电压只升至62.5千伏,低于击穿电压计算值70千伏,是因此时电流受到整流机组 A_{max} 的限制。而除尘运行时,最高操作电流只498毫安,还小于 A_{max} ,是因此时操作电压受到击穿电压 $V_j = 56.2$ 千伏的限制。外加电压高于40千伏后的线段,空载时的计算值或实测值有偏离,估计为存在漏泄电流的影响。

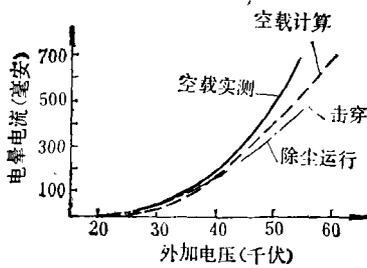


图2 空载及除尘运行伏安性图示

图3示出两个电场中不同粒度的尘粒驱进速度,及其在不同电场中被收除的效率.图4示出运行时电除尘器内各段的粉尘粒度组

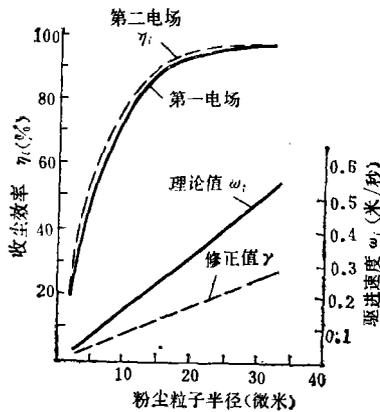


图3 尘粒的驱进速度与收尘效率

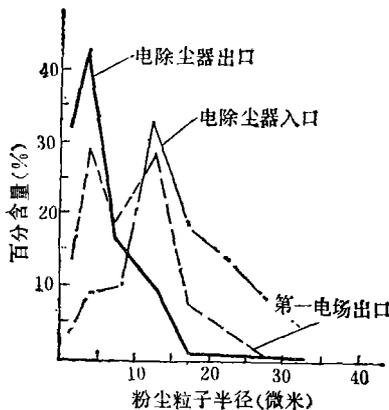


图4 粉尘粒度组成的变化

成的变化.由图可看出,经第一电场后,细粒粉尘的含量百分数增加,这就引起了第二电

场的除尘效率较之第一电场降低(见表2).

以上模拟计算结果,不但使设计和使用可以较全面地了解掌握该电除尘器的除尘效能,而且为进一步研究改进措施提供了信息.

五、结 语

使用这个动态模型能模拟电除尘器实际运行条件下的除尘性能.实例计算结果与现场实测基本符合,因而动态模型可作为辅助设计工具,用它来观察、分析各项设计参数的变动对除尘效能的影响,这就为选定符合净化要求程度的合理设计方案提供了方便.

模拟计算输出的性能数据齐全.其中伏安特性、除尘总效率和出口含尘浓度,目前一般还能取得测试值可与之比较;但还有很大一部份其他除尘性能数据,如各分电场(有的电场数多至3—4个)的除尘效率 η_i ,及其进出各电场的粉尘粒度组成的变化等,目前一般还没有测试过.至于要取得与各电场不同粒度粉尘的驱进速度计算值 ω_i ;相比较的现场实测值,则还有待于研究运用现代化的测试手段来实现.这些问题的解决,将会促进电除尘器计算理论研究的深入,从而也将使这个动态模型在今后得到改善.

参 考 文 献

- [1] УЖОВ, В. Н. 工业气体的电滤法净化,华南工学院无机物教研组译,(1966)
- [2] White, H. J., Industrial Electrostatic Precipitation, (1961)
- [3] 池田实,电除尘器的技术现状和将来展望,叶广蓉译,鞍山矿山设计研究院《国外矿山》,No. 2. (1977).
- [4] 谭天佑,电除尘器的发展概况,《电除尘器专辑》,武汉冶金安全技术研究所,(1979).
- [5] Gooch, J. P., and Francis, N. L. A Theoretically Based Mathematical Model for Calculation of Electrostatic Precipitator Performance. Journal of the APCA No. 2 (1975)