

国外机械技术资料

电收尘器供电装置

第一机械工业部情报所

前 言

随着我国国民经济的迅猛发展，冶金、石油、化工、轻工、水泥、电力等各工业部门都广泛要求使用电收尘器，用于石油原油脱水、除尘、除雾、杂质分离和回收有用原料（如硫酸、稀有金属）等，它是保护环境，治理三废，发展综合利用等方面的重要设备。

高压硅整流装置是保证电收尘器在高效率下，稳定可靠运行的重要电源设备，也是电子技术在工业生产中推广应用的一个重要方面。我国高压硅整流装置是在无产阶级文化大革命中发展起来的，近几年来，发展很快。

遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，为了配合该项电子技术的推广应用，我们从国外资料中收集了七篇文章，着重介绍了电收尘器的工作原理，运行特性，对供电电源的要求，并具体介绍了日本、芬兰等国的几种电收尘器电源设备——高压硅整流装置的线路、工作特性、控制原理、元件的参数规格等，以供有关制造、科研和使用单位的广大工人和技术人员参考。

本资料分别由沈阳铝镁设计院、上海整流器厂、上海交通大学、福建青州造纸厂和一机部情报所等单位提供。

本资料如有错误和不当之处，请予批评指正。

编 者

1975年6月

目 录

1. 电收尘器的供电.....	(1)
2. 日本60千伏 200 毫安高压硅整流装置工作原理分析.....	(22)
3. 碱回收喷射炉静电收尘装置.....	(38)
4. 电收尘装置.....	(57)
5. 电收尘器.....	(64)
6. 电收尘器的脉冲供电.....	(70)
7. 电收尘器使用脉冲电压工作情况研究.....	(73)

电收尘器的供电

电收尘器要想获得高的收尘效率，供电的质量必须很好。作为供电负载的电收尘器也必须和高压供电设备互相配合才行。为达到这个目的而给出的基本原则和技术措施是多年试验研究的结果。虽然收尘效率和供电质量有这样明显的关系，其实质和重要性在实践中却常常受到忽视，以致于本来别的方面都很好的收尘器，工作得却很差。本篇叙述了高质量稳定供电的基本原则，以及它们在电收尘问题上的实际应用。

一、分离尘粒所需的能量

从气流中分离尘粒所需的电能是非常小的，可从气体的粘滞拖力和尘粒向沉淀极移动的距离确定之。根据斯托克定律，球形粒子的摩擦阻力 D 为：

$$D = 6 \pi \eta a w \quad (1)$$

(η ——流体动力粘度； a ——粒子半径——译者注)

则使尘粒经过气体向沉淀极移动距离 s 所耗费的功 W 为：

$$W = Ds = 6 \pi \eta a w s \quad (2)$$

取一典型的例子，一微米的粒子，向沉淀极移动距离 $s = 5$ 厘米，驱进速度 $w = 30$ 厘米/秒，用式(2)计算 W ：

$$\begin{aligned} W &= 6 \pi \eta a w s = 6 \pi \times 1.8 \times 10^{-4} \times 0.5 \times 10^{-4} \times 30 \times 5 \\ &= 2.54 \times 10^{-5} \text{ 尔格} = 2.54 \times 10^{-12} \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

进一步假定含尘浓度为 2.28 克/米³ (1格林/呎³)，灰尘比重为 1 克/厘米³，尘粒的数量为：

$$\begin{aligned} N_0 &= \frac{C}{\frac{4}{3} \pi a^3 \rho} = \frac{2.28}{\frac{4}{3} \pi (0.5 \times 10^{-4})^3 \times 1} = 4.36 \times 10^{12} \text{ 颗/米}^3 \\ &= 1.24 \times 10^{11} \text{ 颗/呎}^3 \end{aligned}$$

于是，可算出将一立方呎内全部灰尘除去所需的功为：

$$\begin{aligned} W_0 &= W N_0 = 2.54 \times 10^{-5} \times 1.24 \times 10^{11} = 1.1 \times 10^6 \text{ 尔格} \\ &= 3.1 \times 10^{-1} \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

这是一个非常小的数字。

一般地说，从分体中分离一定数量的尘粒所需的功与气体的粘度 η ，平均沉淀距离 s ，含尘浓度 C 和尘粒驱进速度 w 成正比，而与尘粒直径平方和尘粒比重成反比。显然，当灰尘数量一定时，分离细粒所需的功要大些，因为它的分散度大。可用图 1 来解释，图示为气量 100000 呎³/分，含尘量为 1 格林/呎³ 时，分离不同尺寸尘粒所需功的计算值。移去 1 微米

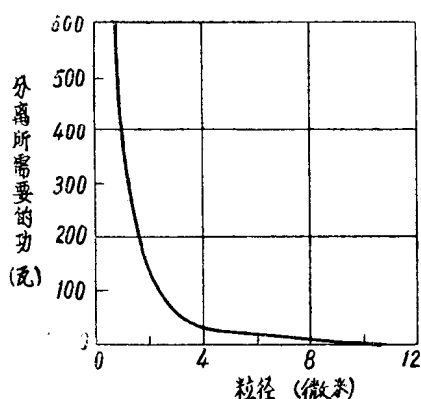


图1 从气流中分离尘粒耗功计算

粒子需功约500瓦，而10微米者仅需5瓦。因此从气体中分离悬浮尘粒实际需用的功是异常小的，即使气量很大、含尘量很高也是如此。分离细灰尘时耗功虽然较粗粒者为大，但仍然微不足道。

与机械收尘的比较 实际上电收尘耗功较以上初步计算者要大得多，因为，移动粒子的功只占实际功率的一小部分。但是即使如此，电收尘所需的总功，包括电晕在内，与机械收尘，如旋风收尘器和洗涤塔相比仍然是少的，大约仅为其2~10%，因此从耗功观点来看，电收尘比机械收尘要优越。这是由于在电收尘器中分离尘粒的力是直接作用在尘粒上的，而机械收尘的力是间接作用的。例如在旋

风收尘器中，为了产生使尘粒分离所需的离心力，必须使全部气体一同旋转，大部分能量用于加速气体，只有极小部分的能量用于分离尘粒。电收尘的价格虽比机械收尘器高，但收尘器所耗能量少，可足以弥补这一缺陷。

二、供电与收尘的关系

供电对收尘有密切的关系，这可用一个通用的式子来表达：

$$\eta = 1 - e^{(-A/V)w} \quad (3)$$

式中 A ——收尘表面积；
 V ——气量；
 w ——电场中尘粒驱进速度。

$$w = \frac{aE_0 E_p}{2\pi\eta} \quad (4)$$

(E_0 ——荷电场强度； E_p ——沉淀电场强度——译者注)

粒子驱进速度 w 同时也直接表征了尘粒的沉淀率，因此它是电收尘器运行的一个基本参数。

从公式(4)可明显看出， w 与电场强度之乘积 $E_0 E_p$ 成正比，它是把电能与收尘作用联系起来的一个基本环节。最大的收尘效率要求 w ，也就是 $E_0 E_p$ ，尽可能的大。由于 E_0 和 E_p 都随着电压、电流增大而增大，所以 w 对电气运行情况和输入电收尘的有用电晕功率十分敏感。例如，对飞灰电收尘器的现场运行情况的测定表明，电压仅仅提高了3千伏收尘效率就从92%提高到97%以上。因此供电质量对电收尘效率有决定性的影响。

定量关系 公式(4)也为寻找供电与收尘效率的定量关系奠定了基础。这种关系一般说来是很复杂的，因为包含着许多可变的因素。但在实用上可以找到一个近似的关系，用于科研与工程设计中已足够准确。最简单的情况是纯直流供电的管式电收尘器， w 可以用以下的形式来表示：

$$w = \frac{a}{2\pi\eta} \left(\frac{2I}{K} + C \right) \quad (5)$$

式中 I ——单位长度电晕线上的电晕电流,

K ——离子活度;

C ——常数。

对于中等或较大数值的电流来说 $2I/K \gg C$, 所以 $2I/K$ 是起决定性作用的。从公式(5)可看出, 为要得到最佳的收尘效率, 应使电晕电流 I 尽量大。

对于板式电收尘器, 只需对公式(5)中电流 I 的数值系数略加修正即可, 然而最实用的办法是进行实验, 令此系数为 α , 则 w 可写成:

$$w = \frac{\alpha}{2\pi\eta} \left(\frac{\alpha I}{K} + C \right) \quad (6)$$

很难把这个结果推广到常用的脉冲电压的情况上去, 精确的数字计算不大可能。但是通常的目的是指导设计, 而不是精确的科学计算, 所以可以采用较粗略的方法。有一个最简单的方法, 在收油烟之类的电收尘器中已证明很有效, 就是采用电晕电流的时间平均值。在这类收尘器中二次扬尘和粒子的高电阻可以忽略不计。

例如, 实验室试验的一个 6 吋直径的管式电收尘器, 电晕线直径为 0.136 吋, 7.5 呎长, 收集约 1 微米大小的油烟, 结果如图 3 所示。电压波形共用了直流、全波、半波, 60 周/秒脉冲, 480 周/秒脉冲几种。实验点大致都在一条公共的曲线上。此外当电流 > 2 毫安时, 曲线大体上是一条直线。脉冲供电是由一特制的线型充氢闸流管脉冲发生器(与雷达所用者相似, 但电流脉冲较长, 为 22 微秒)来实现的。对电收尘器有足够的电容以使电流充分的平滑或使之滤波。

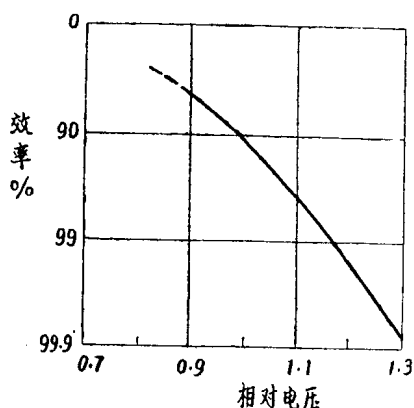


图 2 收尘效率随电压增加而增加 (根据 20 个飞灰电收尘器的结果)

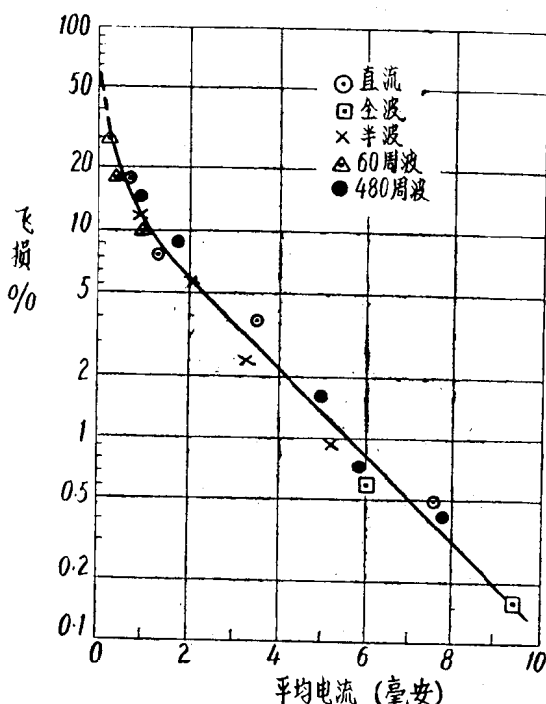


图 3 各种波形时收尘效率与电晕电流的关系

第二个寻找 w 与供电的函数关系的办法是用以下的近似关系:

$$E_0 \sim V_p \text{ (峰值电压)} \quad (7)$$

$$E_p \sim V_{av} \text{ (平均电压)} \quad (8)$$

$$\text{由此得到} \quad w \approx \beta V_p V_{av} \quad (9)$$

式中 β ，对特定的电收尘器来说是个常数。公式 (9) 对于半定量关系很有用。例如，在收尘器的设计和运行中进行大体估算时，式 (9) 表明峰值电压及平均电压都应尽可能地高。此外此式也指出，存在着一个最佳的电压波形。例如对于高电阻的灰尘来说，脉冲电压时火花电压较高，而直流电压时火花电压就低。因此，可以设想收集高电阻灰尘时用脉冲供电较好，而收集导电灰尘时，用近于直流的波形较好。这两种设想都已为实践所证实。

第三个已经在实用中证明是非常有效的办法是把 w 与供给电收尘器的有用电晕功率联系起来。虽然它是在实践中总结出来的，但有着充分的理论基础。为了从理论上考察，在前面已经表明，在某些理想情况下， w 是收尘器电流的函数，对于接近火花放电的大电流（如实际常用的那样），公式 (6) 中的常数 C ，可以忽略不计，因而 w 近似地与 I_{av} （平均电流）成正比。可以有几条途径去推导，其中用电压波形的峰值与最低值的平均值，似乎最为有用。以此为基准，可以写出一个描述 w 的公式：

$$w = \frac{k_1}{A} \cdot \frac{V_p + V_m}{2} i_{av} \quad (10)$$

式中 i_{av} ——总电晕电流；

k_1 ——取决于气体、灰尘和收尘器构造的参数。

电晕功率与收尘效率 电晕功率 P_c 可很近似地写成：

$$P_c = i_{av} \frac{V_p + V_m}{2} \quad (11)$$

因此 w 可以写成

$$w = k_1 \frac{P_c}{A} \quad (12)$$

公式 (12) 表明 w 与单位收尘表面积 A 上的电晕功率成正比。将公式 (3) 与 (12) 合并，可得到更为实用的式子：

$$-\log Q = k_2 \frac{P_c}{V} \quad (13)$$

式中 Q ——灰尘飞损；

k_2 ——参变数。

公式 (12) 与 (13) 尽管是近似的，但它们提供了一个广泛而有用的分析电收尘器的设计和运行的基本方法。参数 k_1 和 k_2 的数量级可以从理论上推导出来，但在工程上，最好是根据运行数据来计算。这样至少在某种程度上可以考虑到由于气流不平衡、灰尘二次飞扬等等而造成的损失。早期的关于电晕功率和收尘效率的关系的试验结果示于图 4，收尘器是用以收飞灰的（此处及以下所述“飞灰”，均指锅炉燃烧的煤灰——译者注），气量为 224000 呎³/分，收尘效率为 95%。此收尘器分为平行的两组，每组在长向上又分为三段，测定效率时

是在电极不振打时进行的，首先测定进口段的，然后再测进口段和中段串在一起的，实验点近似于直线，并显示出飞损和电晕功率的指数关系。

振打与二次扬尘将使飞损增加，特别是对于飞灰这类疏松地附着于极板上的灰尘更是如此。为了试验这种影响，用收飞灰的收尘器作了试验。图4为一组在沉淀极上有飞灰粘结而不加振打的结果。图5上的数据分为三组。第一组试验极板是清洁的，收尘时间仅为15分钟，第二、三组试验收尘时间分别为2小时与4小时。飞损逐渐增大的情况可以看得很明显。包括振打损失的逐日运行平均值的最大飞损曲线，在图5中用虚线表示。从结果可以看出电晕电流对极板收尘的强烈影响作为因素之一包括在电晕功率——飞损关系之中。

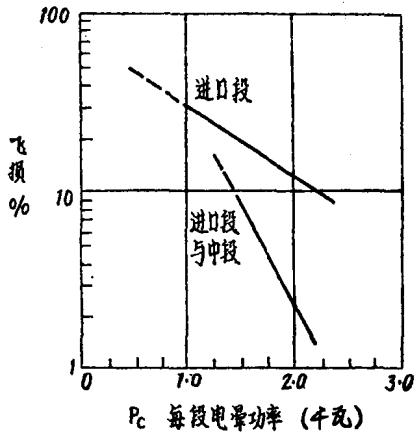


图4 典型的飞灰电除尘器的飞损与有用电晕功率的指数关系

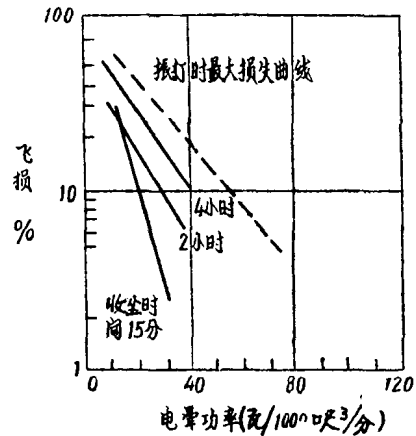


图5 沉淀极积灰对电收尘飞损与电晕功率的关系

在美国各地的九个电厂捕集飞灰的九个电收尘器的测定结果示于图6。尽管飞灰颗粒大小、运行情况、收尘器所在地区相差悬殊，但大多数试验数据都靠在指数曲线上。

将图6的数据按 w 与 $\frac{P_c}{A}$ 的关系重新绘出，结果载于图7，从图得到 $k_1 = 0.67$ ，因此得到：

$$Q = e^{-6.5(P_c/V)} \quad (14)$$

式中 P_c 单位为瓦， V 的单位是呎³/秒，相应的 w 为

$$w = 0.67 \frac{P_c}{A} \quad (15)$$

式中 A 以呎²、 w 以呎/秒表示。

Q 、 w 与 P_c 、 V 、 A 之间的这种简单函数关系在公式中表现得很明显，这对于理论研究和纯粹应用都是很有价值的。第一，电晕功率 P_c ，气量 V ，收尘面积 A ，和飞损 Q 的概念都很直观易懂。第二，它们都是便于直接进行测定的量。第三，这种函数关系是合乎逻辑的，即对于给定的收尘效率，当气量愈大时，所需的电晕功率也愈大；还有，沉淀率随着电晕功率密度（瓦/呎²）的增大而增大。最后一点，收尘器构造上的细节影响不在这个飞损与电功率关系的式子中出现也是很有利的。

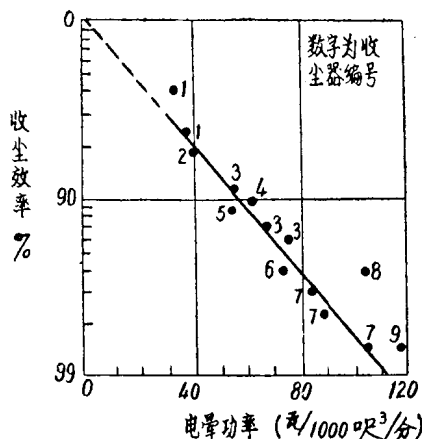


图6 9个电厂飞灰收尘器试验得出的收尘效率与有用电晕功率的关系

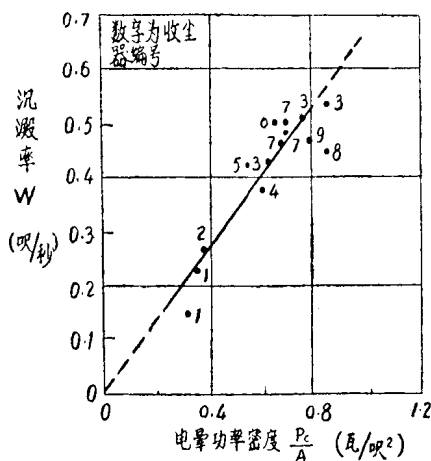


图7 沉淀率参数 w 和电晕功率密度的直线关系

当把公式 (12) 与 (13) 这种普遍形式的公式扩大应用到捕集其它灰尘与烟尘的干收尘器时, 结果也是很符合的。参数 k_1 和 k_2 的数量级可以从基本理论算出, 在工程实用上最好根据运行数据去计算。在不同的应用范围中这些参数会有一些变化, 因此在各主要使用场合下应分别计算。公式 (14) 和 (15) 中参数的数值是代表飞灰电收尘器的, 而且包括了振打损失。如果试验时没有振打而且是在沉淀极刚刚清理过时进行, 收尘效率当然要高得多, k_1 和 k_2 会有更佳的数值。但是, 这样所得的结果将会造成错误, 因为它不能代表一般真实情况, 真实的情况如图 5 所示是要差很多的。因此, 关于 Q 和 w 的电晕功率公式, 虽然基本上是很好的, 而且有很大的意义, 但在进行试验去求参数 k_1 和 k_2 时, 对于不同应用范围和试验结果的可靠性方面都应特别注意。

电晕电流和电晕功率在通常接近火花放电运行范围内都随着电压的升高而急剧增加。图 8 表明的电晕电流曲线很陡这个特性, 在一般的应用中是具有代表性的。电压稍微升高, 电流就会大大增加, 所以电晕功率主要是取决于电晕电流的。以典型情况为例来说, 收尘器的峰值电压每增加 1%, 电流就增加 5%, 电功率增加 5.5%。因此运行电压峰值即使只提高 1~2 千伏, 收尘效率就可以提高许多。

电收尘器电压对收尘效率的决定性影响, 最好是用现场的实例来说明。在下二例中为了求得最佳的运行电压和得到最高的收尘效率, 使用了高压电气测量仪表。

例 1: 捕集飞灰的电收尘器当气量为 474000 呎³/分, 设计效率为 95%, 实测效率为 92%。用仪表测量实际收尘器电压、电流与火花率并调整到最佳数值后, 电压峰值提高 3.5 千伏, 收尘效率就提高到 97.4%, 超过了预期的效果。

例 2: 捕集飞灰的电收尘器当气量为 400000 呎³/分时, 设计效率为 95%, 在变压器一次回路仪表上观测电压电流读数, 实际效率仅 88%, 用高压仪表测量并调整后, 在进口段及中段的峰值电压提高 1~2 千伏, 出口段提高 8 千伏, 总效率就提高到 96%。

双区电滤器 (因双区电滤器主要应用于空气调节, 工业收尘上很少用, 故此段文字和图均从略)

结论 根据理论和试验研究, 在收尘器的工作与供电的关系方面可以得到以下几个基本的结论:

第一, 为了达到高的收尘效率, 供电和其他最主要的因素一样, 也是一个最基本的因素, 必须提高质量。

第二, 尽管收尘器的机械设计很好, 例如气流分布、振打、电极的设计与安装等各方面都很好, 但它们代替不了供电的作用。

第三, 沉淀率 w 这一参数是把收尘器与供电联系起来的一个基本环节。

第四, w 可通过几种不同的途径与供电联系起来: (1) 用峰值电压与平均电压; (2) 用平均电流; (3) 用有用电晕功率。其中以电晕功率在实际中最为有用, 并且可以考虑到一些不利因素如振打及二次扬尘等, 这些不利因素虽然不希望有, 但在目前电收尘器的技术水平上来说却是不可避免的。

第五, 供电与收尘的关系可以用定量的关系表示出来, 在设计及运行中可利用这些公式进行数量上的分析。

三、火花放电与电压波形的影响

收尘器的运行电压经常受到电晕极与沉淀极之间闪弧的限制。一般来说, 运行电压希望保持在一个较高的水平上, 在这个电压之下, 收尘器内部有一定程度但是并不过量的火花放电, 这时收尘效率最高。收尘器内的火花放电是许多变量的复杂函数, 其中最主要的有: 极距、电极型式、气体密度与成份、电晕极与沉淀极积尘情况、捕集尘层的电阻、灰尘由电极落入漏斗的情况、气体含尘浓度、电压波形、高压机组的稳定性、一个机组或一根电缆所供给的电极数量等。为了得到高的效率, 所有这些变量在设计及运行中都要加以考虑。

收尘器中的火花现象, 可以很明显地和常见的火花放电区别开来, 例如与球形空气间隙的放电击穿区分开来。也许最明显的区别是收尘器中的火花可在很宽的电压范围内发生, 开始时每分钟偶尔有一两次火花出现, 电压升高时每分钟可达几百次以至于几千次。这是可以估计得到的, 因为在低压时, 需要有较大的扰动才能产生一个火花, 而在高压时, 很小的扰动就能产生火花。

图 8 表明接近火花放电时, 电晕电流急剧增加, 它也可以作为产生火花或然率的标志。

现场研究表明许多收尘器的火花率 S 按照指数定律:

$$S = e^{b(V_p - V_1)} \quad (16)$$

式中 V_p ——峰值电压(千伏);

V_1 ——火花率为每分钟一次时的起始电压(千伏);

b ——经验常数, 数量级大约为 1。

一个飞灰收尘器的火花率与电压函数关系的典型例子示于图 9。火花开始出现时 $V_1 = 44$ 千伏, 47 千伏时火花率达到每分钟 100 次, 在此例中经验常数 $b = 1.5$ 。

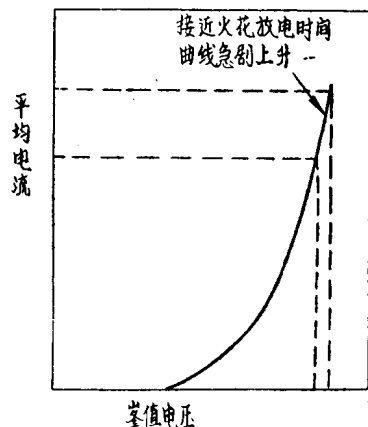


图 8 接近火花放电时电晕电流随电压升高而急剧增加

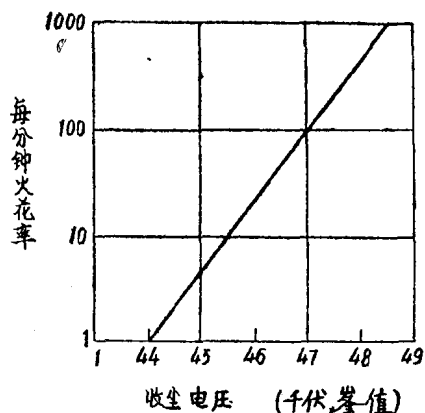


图9 火花率与峰值电压的指数关系

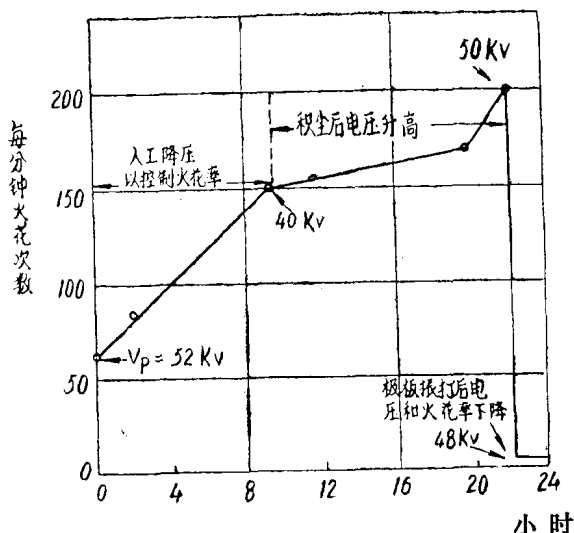


图10 积尘对火花率和电压的影响

起始火花电压与火花率曲线的斜率都随情况而变。例如，灰尘含量较大的进口段的斜率，即火花随电压的增加率，一般来说比气体较为干净的出口段者为小。火花电压范围主要取决于灰尘含量、灰尘电阻与波形。含尘量和电阻大时，火花起始与每分钟几百次火花之间的电压范围也宽，约为4或5千伏。一般说来脉冲电压比直流或稳定的电压时的火花电压值较高，火花电压范围也宽些。

火花率随着沉淀极上灰尘厚度增大而增加的情况，见于图10。火花率的测定是在一典型的飞灰收尘器中在二十四小时的期间内测定的。在开始的十个小时中，人工地保持电压在较低的水平上，以限制火花率。二十二小时之后，强烈地振打极板以敲落大部分积灰。注意这时由于除去了极板上的灰尘，火花率和电压都立即下降。许多干式收尘器都有这种现象。近来的连续振打的收尘率，灰尘厚度比较稳定，但是就在这种情况下，灰尘和气体性质的改变也会反映到火花率、操作电压电流水平的改变上来。

最佳火花率与最佳电压 虽然火花对收尘器的捕尘和电气运行有扰动作用，但这种扰动可以用正确的线路设计和使用脉冲电压，使它保持在一个较小的水平上。大量现场观察表明，存在着一个最佳火花率，其数值在每个收尘段内约为每分钟一百次左右，这时由于电压升高所获得的收益刚好可以与收尘器内由于火花造成的损失相平衡。电压再超过这个水平，收益将补偿不了火花所造成的损失。更高的最佳火花率在实践中未能得到，从电气设计上来尽量减少由于火花造成的损失是必要的。

图11的结果表明确实存在着一个最佳火花率。从此例中可看出，当火花率每分钟一次时，收尘效率约为70%，60次/分时上升到82%的最佳值，到170次/分时又下降到70%。峰值电压从每分钟一次时约45千伏升高到每分钟50次时的49千伏。从最佳火花率的原理出发，可以根据火花率反馈来实现收尘器的电压自动调整。

在火花率和收尘器的时间平均电压之间存在着直接的关系。当没有火花时，收尘器的平均电压随着输入功率增大而增加。当火花率加大时，愈来愈多的功率消耗在火花上，愈来愈少地用在产生电晕上。正如预计的那样，收尘器的时间平均电压达到最高值以后，当火花损失超过增大的功率输入时，平均电压就要下降。收尘器的这种电压变化，示于图12。一般地

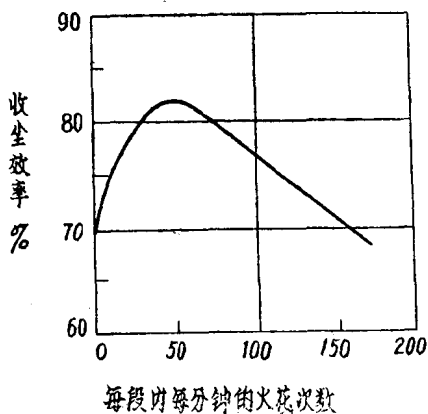


图11 某收尘器单段最佳火花率

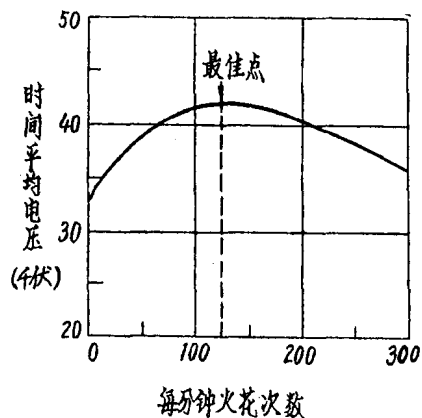


图12 某收尘器内单段的最佳运行电压

说，收尘器平均电压最高时的火花率，也就是收尘效率最高时的火花率。因此在收尘器线路上安装直流电压表是使收尘器调整到最佳工况的准确而合理的方法。

波形影响 考特来尔在他的早期试验中同时使用了从未滤波的整流机组中得到的脉冲电压和加了滤波电容后得到的稳定直流电压。肯定地证明了脉冲电压比较优越，而直流电压的火花特性则不能满足要求。这个结果已被长期实践所证实。因而不滤波的电压在单区电收尘器中是常用的。电收尘中用的通常称之为半波和全波的脉冲电压，是从未滤波的高压机组中得到的。电收尘器使用的

的全波与双半波机组的线路示于图13与14中，图上同时画出了电压与电流的波形。图13是常用的带限流电阻的电子管整流器，在一次线路中有自动调压变压器。图14是近来时兴的带调压限流饱和电抗器的高压整流器。许多其他型式的高压整流机组都采用过，但仍有许多新的设备不断出现，目的

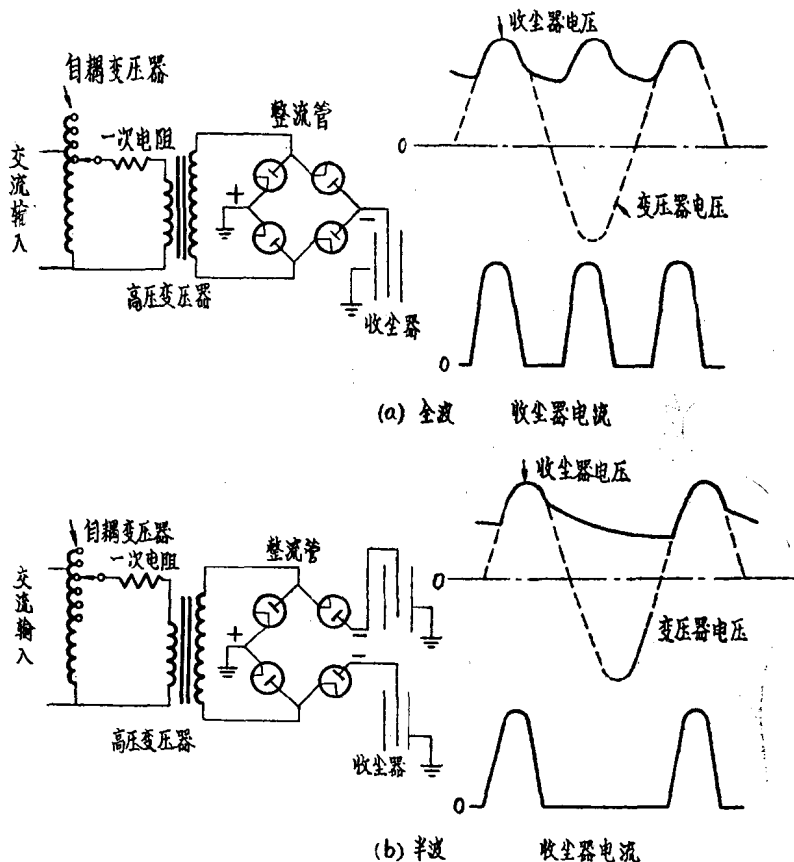


图13 电子管整流器全波与双半波线路图和电压、电流波形

压硅整流器。许多其他型式的高压整流机组都采用过，但仍有许多新的设备不断出现，目的

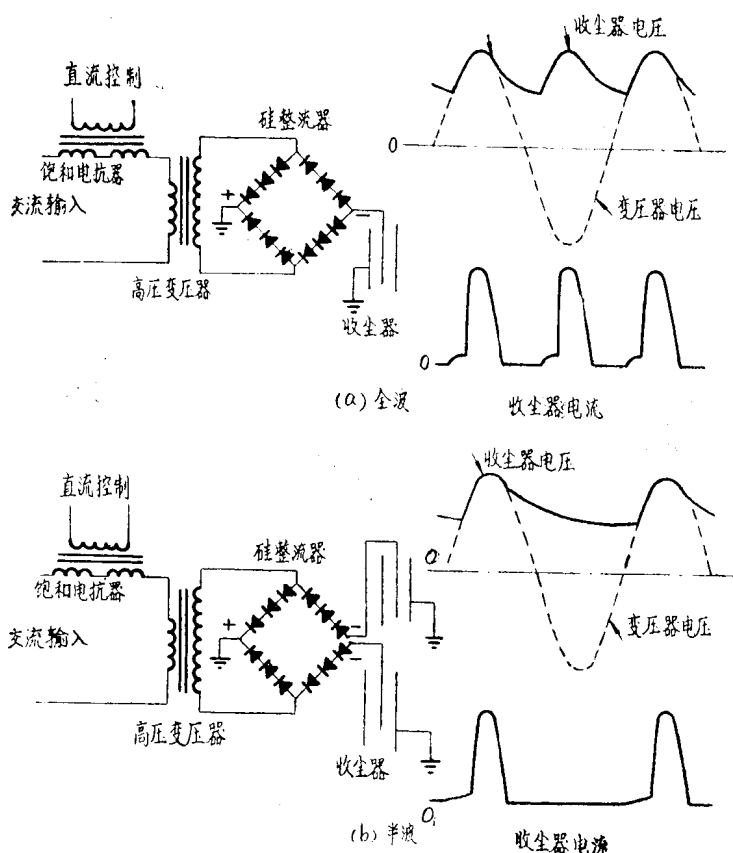


图14 带饱和电抗器的硅整流器线路图

在于降低设备造价，延长元件寿命，减少维护以及提高控制性能。设计使用得好时，所有这些型式的机组都是可以用的。

利用阴极示波器观察到的典型的全波与半波电压与电流图形示于图15和图16。应特别注意半波与全波电压的区别。半波电压有较长的间歇时间，可使火花在电流脉冲的间隙时间之内熄灭。全波与半波电流波形的区别仅在于半波时交流电流脉冲消失了。对于通常 60 周/秒的动力线路，全波电压时两次电流脉冲之间的间歇时间约为 $1/8$ 周或者 2 毫秒，而半波电压时约为 $5/8$ 周或 10 毫秒。

半波电压时收尘器的火花情况示于图15 (c)，图上的阶梯形，延续时间约为一周，数值上近于 0。相应的电流火花情况示于图16 (b)，它的火花电流峰值平均高出正常值 35%。个别的火花闪烁偶而还可高出正常电流峰值的 75%。所用的整流器为通常用的电子管型的，带有足量的初级电阻，大约为 5 欧，以限制火花电流。如果限流措施不足，火花闪烁多，电气设备运行就不稳定，收尘效率随之降低。因此对高压收尘设备设计的重要要求之一就是要具备充分的限流能力与熄灭火花的措施，但实践中这些要求常常被忽视。

最佳的电压波形 因为收尘效率既取决于荷电场也取决于沉淀场，所以最佳波形的问题乃是要在峰值电压（主要决定荷电场强度 E_0 ）与平均电压或平均电流（主要控制极板或极管附近的电场强度 E_p ）之间求得一最好的平衡。这种平衡当然不应该造成过量的火花。已

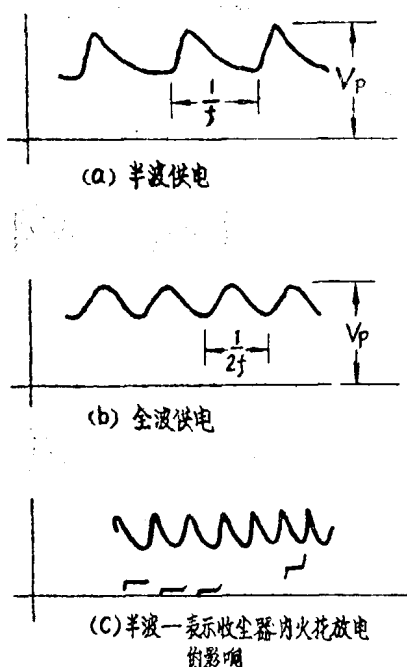


图15 某收尘器60周/秒的全波与半波电压示波图

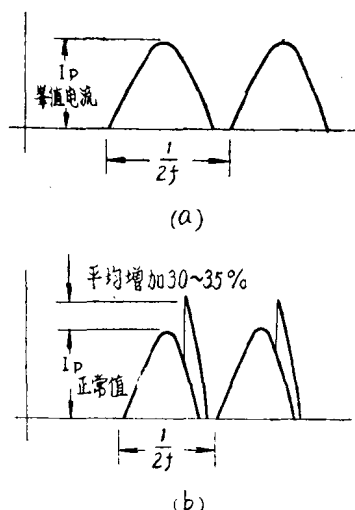


图16 图15的60周/秒机组的电流波形

经证实运行电压峰值经常受到收尘器电晕极与沉淀极间火花放电的限制。此外，火花电压是波形的函数，直流时最低而极尖锐的脉冲电压时为最高。最佳的波形应使 $V_p V_{av}$ 的乘积最大，所以很清楚，对大多数的收尘器来说，无论是直流或是极尖锐的脉冲都不是最好的。最佳的波形常介于此两种极端情况之间，视气体与灰尘的情况而定，特别是取决于灰尘的电阻。导电性极好的灰尘用近于直流的电压沉淀得最好，而电阻大的灰尘则适宜用脉冲的电压。前者波形系数

$$\frac{V_{av}}{V_p} \text{ 接近于 } 1, \text{ 后者 } \frac{V_{av}}{V_p} \text{ 之值较低, 约为 } 0.5 \text{ 或者更低一些。}$$

然而最佳波形的问题不能脱离高压分组数目和线路稳定性来考虑。例如，常用的双半波整流机组可供给两个互相独立高压电场，但全波时却只能供给一个。脉冲发生器在工业规模试验中成功地使用了一年或更长的时间，试验中一个机组供给四个高压电场，供给更多的电场也是可能的。高压机组的稳定性也是很重要的。这里，半波仍然较全波稳定，而具有适宜特性的脉冲电压比半波和全波都更为稳定。

总之，最佳电压波形的概念是存在的，但是没有有一个适应所有情况的最佳波形。它的选择要根据许多因素，其中灰尘电阻、灰尘浓度、收尘器尺寸、高压电场数目和线路稳定性是最重要的因素。在工业上 60 周/秒的全波与半波整流机组在目前占绝大多数。不久的将来，使用脉冲电压将占主要地位，因为可以预料在经济上是合理的，同时具有许多优越的性能。

自动电压控制 第一个实用的自动控制系统诞生于1949年。近来陆续出现了更好的自动控制系统，采用了快速电子计算机和反馈回路，并配备有特别设计的饱和电抗器和磁放大器，已广泛的用于电收尘器上。图17是一个典型的收尘器自动控制设备的方框图。

自动控制的优点有两方面：第一，自动控制时收尘器的输入功率在任何时候都可以根据火花率保持在最大值上，当然要在机组规定电流和电压输出值的范围之内。第二，常常也是更主要的方面是自动控制避免了人工控制时常有的偏向，即人为地降低运行参数，以避免频繁地调节和可能出现的跳闸。从这两个方面所获得的收益很大，大大改变了收尘器电气设备的运行情况。一个典型的例子示于图18，这是在一个收尘器上用新近的自动控制系统和用一般人工控制的比较。可以看出自动控制时电压和电流增大了很多，平均电功率从人工的5.6千瓦增大到自动控制的9.3千瓦。

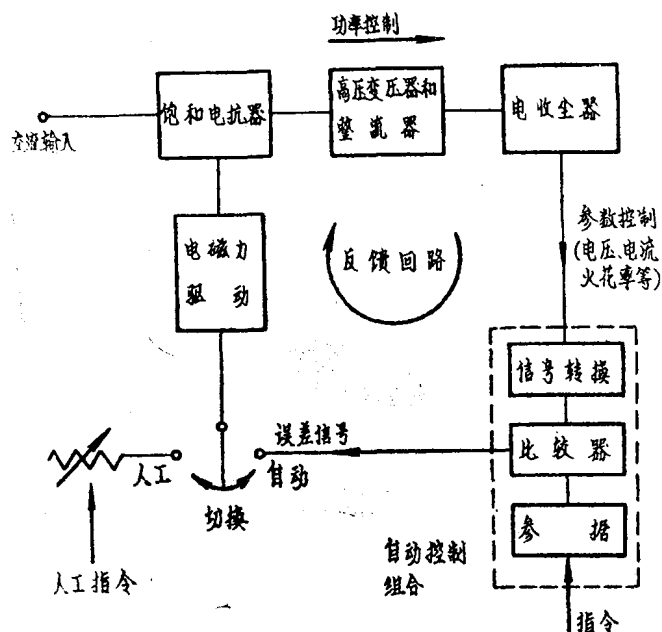


图17 用于电收尘器的快速反应电压电流自动控制方框图

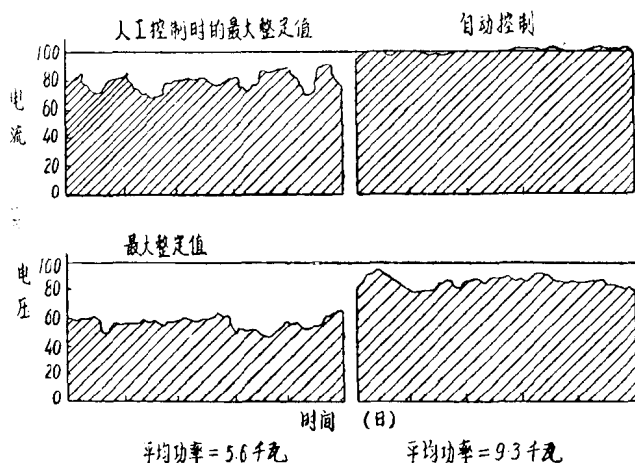


图18 根据捕集飞灰电收尘器的运行记录作出的自动控制和人工控制的比较

四、高压电场分组的影响

电收尘器运行的好坏和收尘器的大小有关，一般的说取决于收尘器的几何尺寸和气体流量。中间试验用的小的单管收尘器，相对于它的尺寸说来，常常比在同样的气体和灰尘运行下的工业用的大尺寸的收尘器的效率高2~3倍。这么大的差别并不是由于处理的气体 and 灰尘不同，因为无论在大小收尘器中它们都是同样的。原因要从收尘器本身去找。从大量的理论和试验报告的分析中，得出了肯定的结论，即电收尘器尺寸的影响主要由供电和气流的区别而引起，而前者是更为基本和重要的因素。

安得森和霍恩的研究表明，单管收尘器在恒定电压下的效率是不受同样的与它并列工作的管式电收尘器的影响的。举例来说，用直径7.5吋、长16呎的管子在峰值电压为55千伏下运行，1根管子的效率是90.2%，6根时为91.3%，13根时为90.4%。但是当收尘器在更接近于实际情况的火花范围内工作时，结果就大不相同了，就是在早期的观测中也发现，当同一个供电机组所带的管子数目增加时，收尘器的运行电压和效率都要下降很多。

霍恩所作的定量试验结果载于表1。测定是用直径8吋、长16呎的管子在大气中用12千伏安全波整流机组供电下进行的。高峰值电压用球间隙测量，均方根电压用圆盘电表测量。在这些试验中，当管子数目从1根增加到91根时，峰值电压降低了29千伏即34%，这个数值足以破坏电收尘的工作。表1的数据近似地遵从指数定律

$$(KV)_{sp}^n = (KV)_{sp}^1 - \frac{\log_{10} n}{R} = 86 - 14 \log_{10} n \quad (17)$$

式中 $(KV)_{sp}^n$ —— n 根管子的火花电压；
 $(KV)_{sp}^1$ —— 1 根管子的火花电压；
 R —— 常数。

在海拔8000呎处，用三组每组48根管子的类似的管式电收尘器试验，得到的结果符合于下式：

$$(KV)_{sp}^n = 64 - 15.6 \log_{10} n \quad (18)$$

表1 并列供电管子数目加多时电压的下降

管数	电晕极长度 (呎)	火花电压	
		峰值电压 (千伏)	均方根电压 (千伏)
1	16	86	57.5
2	32	85	56.0
3	48	83	54.0
4	64	82	51.5
5	80	80	51.0
6	96	73	50.0
8	128	73	50.0
10	160	73	49.5
12	192	69	47.0
91	1456	57	—

安德逊将这些结果推广到电压下降对电收尘效率的影响方面来,借助于效率和电压的一个经验关系,得出了一个效率为收尘器尺寸的函数的公式。用收尘器参数 w 表示此公式为:

$$w = 0.48 - 0.046l \quad (19)$$

式中 l 为从一个高压电源供给的放电电极的总长度。这个关系如图19所示。注意当一高压电场中,电晕线有5000呎长时, w 从起始的0.48呎/秒下降到不足0.1呎/秒,从这个结果可以看出企图用一个供电机组带一个大电场是错误的。但是往往有这种倾向,即愈来愈把电场加大,试图以此来改善收尘器效率,结果却适得其反,使收尘器工作更为恶化。

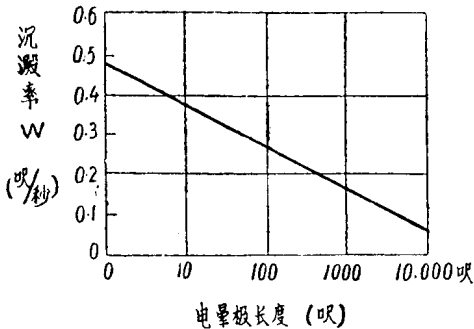


图19 一个机组供电时电晕线长度增大后收尘效率的下降

分组理论 首先考虑单管电收尘器。当输入电功率从较低数值上升时,到达起始火花点,然后超过这个点,火花愈来愈频繁,最后达到极点。在给定的机组、气体和灰尘时火花率是峰值电压和电压波形的函数。举例来说,在收尘器内某一点上积累了过量的灰尘时,便会产生一个火花,或者当捕集在管子上的灰尘有一部分掉落到漏斗里时,也会产生一个火花。低压时要产生一个火花需要有较强烈的扰动因素,而在高压时轻微的扰动就会产生火花,所以这时火花率增高了。显然火花的发生或多或少具有随意的性质。火花

率 S 作为电压 V 的函数可以用前节给出的指数经验公式 (16) 来描述。

进一步考虑由 n 根同样的管子组成,并且每根管子都在同样情况下运行的电收尘器内的火花现象。显然这是有利于限制火花的,因为如果有几根管子在比其他管子的电压低时产生了火花,则整个管组受到最薄弱的管子的限制。很清楚是 n 根相同的管子的火花率 S_n 将为一根管子的 n 倍,亦即

$$S_n = n e^{b(v_1 - v_0)} \quad (20)$$

另外, n 根管子的最佳火花率和一根管子的是一样的,换句话说, n 根管子中任一根管子产生了火花,将导致全部管子的电压下降,结果粉尘损失也就近似为单管的 n 倍。因此 n 根管子的最佳运行电压将比单管者为低。

一根管子和几根管子的当量电压,可从式 (16)、(20) 求出。令收尘效率最高时的最佳火花率为 S' , 则:

$$S' = e^{b(v_1 - v_0)} = e^{b(v_n - v_0)} \quad (21)$$

式中 V_1 、 V_n 分别为一根管和 n 根管时的最佳运行电压。解 V_n , 得

$$V_n = V_1 - \frac{1}{b} \log n \quad (22)$$

如令 n 表示放电电极的数目,则式 (22) 也适应于板式电收尘器。以 1 根管子与 100 根管子的对比为例,单管时 $V_0 = 40$ 千伏, $V_1 = 45$ 千伏, $b = 1$, 最佳火花率为 50 次/分。用式 (22) 计算 100 根管子的情况:

$$V_{100} = V_1 - \frac{1}{b} \log n = 45 - \log 100 = 40.4 \text{ 千伏}$$

电压降低这么多将导致飞损增加 2 或 3 倍,相应地效率从单管的 97% 降低到 100 根管子时的 90%。