

电袋结合除尘器技术综述

嵇敬文 陈安琪

摘要: 由于可吸入性粉尘直径小(一般小于 10 微米)并能在空气中长久悬浮,对人的健康带来危害,最近北京市对汽车尾气排放的可吸入性粉尘提高了要求。实际上,国外很多国家对锅炉排放的可吸入性粉尘也很关注。美国在这方面就开展了许多研究。为更好的捕集细颗粒粉尘,电和滤袋相结合不失为一种好而可行的方法。本文就此介绍一些国外在这方面开展的研究和实践。

关键词: 静电 布袋 除尘器 复合

早在 1961 年 Frederick 就在其文章中指出,织物、烟尘上的静电荷对织物过滤的除尘率、阻力以及清灰难易有影响。

1970 年美国精密工业公司试验生产了一种名为 Apitron 的除尘器。其原始的设计是在金属丝网做成的圆筒形管子中心放一根电晕线,管子外面套一个滤袋。轴向进入管子的粉尘因电晕作用而荷电,一部分被接地的金属丝网管电极捕集,在转变为径向流动后,其余荷电粉尘最终为最外层的滤袋捕集。但是,这种早期的设计后来被废弃了,因为高压电晕放电有时会损坏滤袋。第二种 Apitron 的构造型式是将金属极线和钢板圆管组成的荷电器与滤袋分开,移往滤袋的下端,与滤袋相接。含尘气体从下端进入荷电器内,尘粒荷电后一部分被管状电极捕集,然后含尘气体向上流动,穿过滤袋流出去,此时滤袋又将剩下的粉尘捕集。实际上它就相当于普通的管式电除尘器和袋式除尘器二级串联。Apitron 也是用脉冲喷吹清灰。清灰时压缩空气从荷电器上端喷出,诱导二次空气从滤袋外面向内流动,使滤袋内壁附着的粉尘脱落,一次和二次清灰空气的混合气流又把电晕线和金属管壁上的粉尘吹掉。这种脉冲清灰滤袋和通常脉冲喷吹袋式除尘器的有所不同,其差异在于:(1)脉冲空气是在滤袋的底部喷入而不是在滤袋顶部;(2)滤袋是内侧过滤而不是外侧过滤。为了解决荷电部分的反电晕问题,其收尘圆管的管壁是中空的,可用水冷却。

美国南方研究所在美国环境保护局的支持下,曾经用移动式 Apitron 除尘器在现场抽取一部分粉煤工业锅炉所产生的烟气进行试验。Smith 等人报告对一台总过滤面积约 55.74 m² 的 Apitron 中间试验设备(含 24 条滤袋,滤袋长 3.66m,直径 203 mm,每条滤袋下面接一由金属线和圆管组成的荷电器)从一台粉煤锅炉抽取部分烟气进行试验,试验用的滤料有 Nomex 针刺毡、Teflon 针刺毡和玻纤布。

上述这些试验结果表明,Apitron 在降低压力降提高除尘率两方面都是有效的。除此之外,据 Helfritch 试验,Apitron 还有一大优点就是它的气布比可以大大提高。从他的试验来看,对 Apitron 施加电压后,一旦达到电晕始发值,压力损失即突然下降;随着电压的升高,压损下降愈多。这是因为荷电尘粒形成的疏松粉尘层透气性较好,而且有一些粉尘沉降在金属管上之故。在常温下,用 Nomex 针刺毡捕集 50% 小于 7 μm 的硅尘,施加 38kV 电压的 Apitron,过滤风速比不加电压时提高到 4 倍,方达到同样的压损,除尘率还高一些。利用电力来提高袋式除尘器性能的第二种方法是在滤料附近施加外电场。美国纺织研究所的 Lamb 等人曾经在实验室做过广泛的研究。为什么有电场时的压力损失比较低?这是由于粉尘在滤料内的分布不同所致。以毡滤料来看,在无电场时,粉尘进入滤料中部纤维比较密的部分形成粉尘层,而在有电场时,由于电的作用使大部分粉尘停留在表面纤维比较稀的部分,留下宽得多的缝隙让空气通过,所以要使外加电场的织物过滤取得最佳效果,滤料应具有纤维较稀的表面层。

Lamb 等人的许多实验工作所用细金属丝电极很脆弱,容易损坏,还可能引起电晕电流,

从而使达到一定程度的压力损失下降所消耗的电力增多。因此, VanOsdell 等人设计出一种在远低于电晕始发电压下工作的直径较粗的电极, 实际上就是标准笼骨的 3 mm 垂直钢筋。这种电笼骨用绝缘的特氟隆套管或陶瓷隔片将极性相反的笼骨竖筋隔离。在运行电压显然不会导致显著的电晕电流的情况下, 电场仍使压力损失明显地降低。

实际上, 定性地说, 不同的电极结构和不同的滤料及粉尘相结合, 都可以取得降低压力损失的效果。表 1 是 Hovis 发表的另一项用来源不同的飞灰和不同的滤料与电极相组合进行试验取得的结果。表中数据说明, 在各种情况下, 加电场后压力损失都是下降的, 在高温下同样能取得这种效果。

表 1 各种情况下加电场后压力损失的下降

飞灰来源	清灰方式	滤料/电极	$PDR = \frac{(\Delta P_f - \Delta P_i)_e}{(\Delta P_f - \Delta P_i)_o}$		
			27°C	49°C	149°C
Detroit Edison	脉冲	特氟隆毡/电笼骨	58	68	48
Mercer 电站	脉冲	特氟隆毡/电笼骨	64	56	49
Waynesboro 1 号中间试验设备	脉冲	特氟隆毡/电笼骨	63	84	62
Waynesboro 2 号中间试验设备	脉冲	特氟隆毡/电笼骨	64	79	58
Waynesboro 3 号中间试验设备	反吹	玻纤布/织入电极	—	—	60
Harrington 电站	脉冲	特氟隆毡/电笼骨	81	69	57
Harrington 电站	反吹	玻纤布/织入电极	—	—	0.51

注: 1. 电场状况: 特氟隆毡/电笼骨 4.8 kV/cm

玻纤布/织入电极 2.7 kV/cm

2. ΔP_f ——最终压力损失;

Δp_i ——开始压力损失;

角标 e——加电场;

角标 o——不加电场。

表中的“织入电极”是在织造滤料时就把不锈钢纱线(90 根根直径 $2 \mu\text{m}$ 的长丝构成)织进去(每隔 2 cm 一根经线)。可以供反吹风袋式除尘器使用的电极结构, 除了这一种外, 还有人研究过其它在滤料的适当位置添加金属线的方式, 例如在滤袋内侧缝上金属线、在滤袋内侧或外侧加上金属螺旋线等。但是, 看来织入电极更好, 因为织进滤料的金属纱线具有纺织品的机械性质, 更适应通常袋式除尘器的工作。此外, 在滤料表面印制电极也是有人研究的一种方法。这种方法经济实用, 问题在于印制的电极在滤袋工作过程中容易开。

在 Waynesboro 现场用电笼骨做的中间试验还表明:

(1) 在长期使用过程中, 如果有外电场, 可以提高清灰效果。加电场时由于清灰后剩余粉尘较少, 所以剩余压力损失也较低。

(2) 加电场可以增加尘块的孔率。试验时取出有电场与无电场的除尘室灰斗所收集的飞灰进行比较, 前者的气孔比后者的多 15~20%。这说明电场引起了尘块的结构改变, 而且经过清灰和灰斗贮存, 长时间脱离电场, 这种改变还存在。

(3) 用级联冲击器分别在有电场与无电场的除尘室出口以同样多的时间取样测出的不同粒度飞灰的通过率。因为加电场的除尘室压力损失比不加电场的低, 所以前者的清灰频率也较少, 图中显示出的前者飞灰通过率明显下降可能是由于这一取样条件的不同而造成的。其后对一段时间内的飞灰总量取样, 在此时间内二者于同一时间清灰, 则二者的除尘率没有明显差异。这和前面所述实验室的试验结果是不一致的。

(4) 与预荷电一样, 外加电场也可以大大提高过滤速度。加电场后可以在 2.4 m/min 的过滤速度下稳定地运行。

上面分别讲述了单独使用预荷电或外加电场来提高袋式除尘器性能的方法与效果,如果同时使用这两项措施结果会如何呢? Penney 曾经在实验室用玻纤布袋加外电场(平均 3.4 kV/cm)捕集荷电粉尘进行试验,加电场后除尘率提高,如果再使尘粒预荷电,则除尘率又进一步提高。但是,另据 Donovan 等人的实验报告,增加尘粒的电荷并不能使外加电场提高的除尘率再提高。他们认为,如果把电晕荷电器设在远离滤袋的上游,则粉尘的电荷会丧失而使空间电荷对滤袋表面电场的增强减至可以忽略的程度。

Lamb 等人曾经在表面加外电场的滤袋附近设置电晕荷电器进行实验。内侧过滤的(反吹风清灰),在滤袋入口处设高压电晕线;外侧过滤的(脉冲清灰),在邻近滤袋表面处设高压电晕线。这时给电晕线施加电压,即使没有粉尘流动,也在织物表面产生电场,当过滤含尘气流时,附着于滤袋上的荷电粉尘又在整个滤袋表面产生电场。图 102 是实验取得的内侧过滤滤袋上粉尘分布和压力降减少的数据。该图表明,在距离滤袋底部的不同位置上,沉积粉尘的面积质量密度是不同的,而且随着滤袋的电场和电晕线电压的变化而有差异。即使是在不加电场不荷电(B、P 皆为 0)的情况下,面积质量密度也随滤袋高度的增加而下降,这大概是因为气流沿着滤袋向上的速度是愈来愈小的,能够被向上的气流提升的尘粒粒度也逐渐减小,这样就使滤袋从下到上沉积的粉尘重量逐渐减轻;但在靠近滤袋入口处,因为气流紊乱,会在某种程度上阻碍尘粒沉降,所以粉尘负荷并不是最重。当加上外电场时(B、P 分别为 4 和 0 的曲线),由于电场增强了捕集粉尘的能力,所以在滤袋底部的粉尘质量密度增大,留下较少的粉尘沉积在滤袋的较高位置。而再加上电晕荷电后,由于静电沉降的作用,滤袋底部粉尘质量又有大的增加,而且负电晕(B、P 分别为+4 和-15 的曲线)比正电晕(+4 和+15 的曲线)增加得更显著。

在减少压力损失方面有类似的结果。不加电力时(B、P 均为 0),没有压力损失的减少,故 PDR 为 1。加外电场或加电晕荷电器后,PDR 在 0.55~0.68 之间;如果二者并用,则 PDR 更显著地下降。

1970 年代以来,美国的发电厂为了达到愈来愈严格的政府对控制烟尘排放的要求,采取了多种措施来提高电除尘器的性能,其中一项措施就是采用 COHPAC 系统。

COHPAC 是 Compact Hybrid Particulate Collector(紧缩混合型除尘器)的缩写。这一系统是美国加利福尼亚州 Palo Alto 的电力研究所(EPR)在 1980 年代后期开发的,其基本构思比较简单,就是在原有电除尘器的下游加一台袋式除尘器,来捕集电除尘器未能捕集的微细烟尘,使排放浓度能满足法规的要求。因为大部分烟尘已被电除尘器捕集,到达其下游脉冲袋式除尘器的烟尘量较少,所以袋式除尘器的气布比可以提高,一般是将单用脉冲袋式除尘器时的 1.2 m/min 提高至 2.4~3m/min,这样袋式除尘器的体积和投资便可大大缩小。

下面是这一系统在美国的几个发电厂试用的一些情况:

(1) TU 电气公司 Big Brown 电站的 1MW 系统安装了一套 COHPAC 中间试验设备,试验证明在高的气布比下可以保持袋式除尘器阻力在 1500 Pa 左右,排尘浓度平均小于 10mg/Nm³。然后又安装了一套处理 1176000m³/h 的 COHPAC 系统,于 1992 年 5 月投入使用,运行 7000 小时以上所积累的试验数据证明这套系统能保持排尘浓度小于 10mg/Nm³,不透明度低于 5%。

(2) Alabama 电力公司 Miller 电站于 1995 年 9 月安装了 COHPAC 中间试验设备,经过 2500 小时的试验表明,在气布比为 2.7 m/min,在线清灰的情况下,袋式除尘器阻力可以保持在 1250 Pa 以下。

(3) California Edison 公司 Mohave 电站的 1 台 1MW 的 COHPAC 中间试验设备,运行了大约 2000 小时,其气布比高达 3.6 m/min,排尘浓度保持低于 10mg/Nm³,袋式除尘器阻力在 850~1050 Pa 的范围。

AHPC 是 Advanced Hybrid Particulate Collector(先进混合型除尘器)的缩写。这一技术是在

1990 年代中期由美国北达科他大学能源与环境研究中心开发的, 于 1999 年 8 月取得美国专利。其构造大体如图 103 所示, 在除尘器内由一行电除尘器部件和一行滤袋相间排列而构成。进入除尘器的气流和粉尘首先被导向电除尘区域, 将大部分粉尘除去, 然后还含有一部分粉尘的气体通过多孔极板上的小孔流向滤袋, 经滤袋过滤, 将剩余的粉尘除去。在滤袋脉冲清灰时, 脱离滤袋的尘块经多孔极板回流, 在电除尘区域被捕集, 这样就大大减少了粉尘重返滤袋的机会。同样的, 收尘极板震打清灰时未落入灰斗的粉尘也会被滤袋捕集。滤袋以戈尔塔克斯覆膜滤料制成。多孔极板除了捕集荷电的尘粒外, 还能保护滤袋免受放电的破坏。这一技术的中间试验设备于 1999 年 7 月开始运行, 处理 Otter Tail 电力公司大石燃煤发电厂排放的 $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ 烟气, 烟气中含有电除尘器难以捕集的高比电阻飞灰, 滤袋气布比为 $3.35\sim 3.66 \text{ m}/\text{min}$ 。该设备长期运行性能稳定, 除尘率能达到 99.99% 以上, 阻力保持在 $1600\sim 2000 \text{ Pa}$ 。

从美国已发表的资料来看, 与现有其它除尘设备相比, AHPC 具有以下优点:

- (1) 除尘效果极好, 中间试验设备的排尘浓度只有 $0.1\sim 0.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。
- (2) 滤袋的气布比可达一般脉冲袋式除尘器的 3 倍, 大大减少了滤袋数量; 电除尘部分的部件也比普通电除尘器的少一半还多。因此, AHPC 的大小大约只有普通电除尘器的 $1/3$, 投资也降低不少。
- (3) 滤袋的清灰频率比普通袋式除尘器的低, 可以延长滤袋寿命, 运行费用也随之降低。

北京联系电话: 010-68715456; 13601086592

北京联系人: 陈安琪

http://www.c-bic.com