

第二届国际电除尘会议论文
扩展摘要 (译文)

1984.11于日本京都

武汉安全技术研究所印

前 言

第二届国际电除尘会议于1984年11月12日至15日在日本京都国际会议大厦召开。出席会议的我国代表有武汉冶金安全技术研究所严兴忠、杨羽军、冶金部有色设计研究总院程一聪、朱竹年、冶金部建筑研究院张迪光、电力部西安热工研究所陈国桢、北京工业大学李瑞年、诸般电除尘器研究所俞寿成。为使会议资料及时向国内同行交流，会议结束后将会议资料论文扩展摘要分由严兴忠、程一聪、张迪光、陈国桢、俞寿成和杨羽军等六同志翻译印。由于时间匆促，水平有限，错误在所难免，请批评指正。

1—2 电除尘器在印度 它的现状和展望

作者 p.C.Mehendru, Suresh chand, T.K.Chaudhuri

印度, 国立物理研究所。

前言:

电除尘器广泛应用于电厂、钢厂、水泥厂、造纸厂以清除悬浮烟尘、烟、雾、飞尘等。但是在印度电除尘的应用离需要相差很远。印度是发展中国家, 需要更多的发展工业, 发展工业的结果将增加环境的污染, 带来一系列问题。为了解决环境的污染在印度从工业发展的观点看将需要大量电除尘器。

印度空气污染的现状。和别的国家一样, 工业化和汽车是造成污染的主要原因。但是在印度燃烧非工业燃料(如木柴、牛粪、农业废料等)亦造成对大气的大量污染。在印度热电厂都是烧煤的, 它将产生飞灰, 烟尘和 SO_2 。印度煤灰分很高(25~40%), 含硫较低(一般<1%)。一个20万千瓦的电厂使用以上煤种一天将排出550吨以上烟, 这给人们一个概念电厂将给环境带来污染。

据估计印度大约超过500万辆汽车, 其产生的污染物有 CO 、碳氢化合物和烟尘等。例如印度的两个重要城市孟买和德里据估计大气中40%烟尘(不包括大量 CO 和碳氢化合物)是汽车排出的。家庭用的燃料, 牛粪等对环境污染亦是严重的, 印度有80%的人口住在农村, 妇女成天围了锅台转, 烟害对她们是严重的。

未来的规划:

为了印度工业的发展将建设更多的热电厂, 其结果环境污染日趋严重。为此将做出长远规划预防环境污染, 电除尘器将优先应用于印度工业。设计适合于不同燃煤锅炉使用的电除尘器, 为此要注意以下参数的测定: 烟气温度、烟气湿度, 煤的含硫量, 飞灰的化学成份对

烟尘比电阻的影响等。

1—3 苏联电除尘器研究工作的一些成果

作者 I.P.Vereschagin, G.Z.Mirzabekyan

苏联，莫斯科电力设计院

电除尘器广泛应用于热电厂，水泥厂，有色金属工业和化学工业。苏联使用卧式板式电除尘器比较多，高温电除尘器有采用立式的。绝大部分采用锯齿线电晕电极和宽带S型收尘电极。

苏联计算电除尘器除尘效率一般根据电极间的物理过程，电风效应，相邻电晕极间粒子附加电荷等因素来考虑。计算电晕场的工业装置已投入使用，在工业企业中计算数据和测量数据是吻合的。

本文所讨论的问题是日前电除尘器存在的问题例如：

1. 研究如何提高高比电阻烟尘的除尘效率。
2. 研究最佳电压控制系统。
3. 研究烟尘形成烟尘层的特殊的物理化学性质。

高比电阻烟尘捕集的一个最重要问题就是消除反电晕。采取如下方法可消除反电晕。

1. 采用特殊的电极系统。
2. 采用脉冲供电。
3. 改变供电电压的极性。

改变电压极性的方法正在开展讨论。

1—4 中国电除尘技术的发展

作者 杨羽军 林尤文

冶金工业部安全技术研究所

有原文

Session2 电除尘器用于微粒控制对策

2-1 电除尘器用于综合环境控制系统

作者 R. Shirafo

日本电力公司

前言：

东京电力公司为燃煤电厂烟气的综合治理（包括除尘、脱氮、脱硫）进行了试验研究工作。试验是从1979年4月开始的，为期一年半。试验是和TohKu电力公司，Joban Joinf电力公司合作进行的。

这个试验的试验厂情况，除尘效果和实际使用情况简要叙述如下

半工业试验：试验厂建于Joban Joinf电力公司的Nakoso电厂内。从7号锅炉（25万瓩）系统中引出 $4000\text{Nm}^3/\text{h}$ 烟气，试验厂的流程见图一，可适应两个系统的试验。从图二可以看出即使电除尘器出口含尘量波动在 $100\sim300\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，但经脱硫的湿式洗涤塔后其出口含尘量可稳定于 $10\sim20\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

工厂的实际应用：根据试验的良好结果在我公司的Yokosuka热电厂1号和2号机组（每机组为26.5万瓩）建成了综合治理系统。该机组由原来的烧油改为煤油混烧。烟气综合治理系统采用低温电除尘器。根据烟尘量的波动可控制电除尘器出口含尘量能达到排放标准。

这些电除尘器将于1984年11月末投入运行。

情况一

高含尘，除 NO_x ——高含尘飞灰——低温电除尘器——除 SO_x

情况二

高温电除尘器——低含尘除 NO_x ——低含尘飞灰——除 SO_x

图一 系统图

图二 除尘的综特性

2-2 炉内喷射吸附剂以控制 SO_2 的电除尘技术和结构

作者 J. H. Abbott 美国环保局

J. P. Gooch 美国南方研究所

J. D. Kilgroe 美国环保局

前言：

美国环保局正在开发一种新技术即在燃烧器和炉内喷射含钙吸附剂以降低燃煤锅炉烟气中的 NO_x 和 SO_x 排放量。这种技术和石灰法处理 NO_x 和 SO_x 是相似的，特点如下

1. 吸附剂的特性，喷射方式，烟灰和吸附剂的混合特性都影响

电除尘器的操作。

2. 烟灰和吸附剂混合物的除尘效率和经济效果，收尘流程有关。

本文介绍美国环保局研究的石灰法混合物的捕集情况和最近研究的咽附剂喷射的试验数据，及其除尘器的有关问题。

试验过程介绍：石灰法试验的过程为：试验室试验，半工业试验和工业试验。试验室试验和小型半工业试验1982年7月开始在南方研究所进行的。大型半工业试验（ ~ 3000 acfm）预计1985年在环保局的可调设备中进行。工业试验计划1985年在西德Weiher电厂进行。这是美国向西德转让石灰法技术项目的一部份。

用石灰石喷射法净化燃煤锅炉烟气的工业试验将于1985年以后在pennsylvania 电力公司Homer City电厂进行。设备运行试验和特性测定计划1987年在环保局工业试验电厂进行。

结论：

半工业试验表明烟气温度的 $297 \sim 308^{\circ}\text{F}$ 时烟灰现场比电阻为 $8 \times 10^8 \sim 1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ ，烟气 SO_3 含量为 $26 \sim 31$ PPM，印度煤的含S量为2.6%。燃烧器中喷射Vicon45-3石灰石，钙硫比为1.8，烟气中不含 SO_3 ，烟尘比电阻当烟气温度的 $302 \sim 317^{\circ}\text{F}$ 时为 $1 \sim 2 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 。试验证明当烟气中含有 SO_3 30～40 PPM时烟灰和吸附剂混合物的比电阻可降至 $5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ ，或更低一些。初步数据表明氢氧化钙喷射和燃烧器顺流时可能影响咽附剂的喷射温度但对 SO_3 的含量影响很小。

用超细过滤系统分析烟尘粒度，当燃烧器喷射Vicon石灰石，钙/硫为2:1时烟尘粒度从 $0.1 \sim 0.5 \mu$ 增至 $3 \sim 4 \mu$ 。喷射Vicon石灰石或氢氧化钙和燃烧器顺流时用超细过滤装置测定烟尘粒度很少超过 0.5μ 。由于吸附剂喷射作用的影响可使烟尘粒度从

0.5 μ 增至 5 μ 。

从上面这些结果表明喷射吸附剂将影响电除尘器的运行。可采取修正测量数据和改进烟灰，吸附剂混合物以提高收尘效率。

2—3 电除尘器用于捕集相同的煤在沸腾床燃烧器和粉煤炉中燃烧产生的飞灰

作者 C.A.J. Paulson 和 J.S. Vale 澳大利亚

前言：

用相同的煤在半工业试验的沸腾床燃烧器和粉煤燃烧炉中燃烧，采用电除尘器进行捕集其烟气飞灰的试验。

设备：

沸腾床燃烧器的燃煤量为 500 kg/h，煤的粒度小于 37.5 mm 烟气飞灰的 80% 在旋风除尘器中捕集，剩余的进入电除尘器进行试验。过去这个工厂采用滤袋除尘器。在沸腾床上部喷水以控制温度保证电除尘器的正常操作条件。

粉煤燃烧炉燃煤量为 50 kg/h，全部烟气都进入电除尘器。粉煤的粒度 75% 小于 7.5 微米，以上两种情况采用的电除尘器都是管式供电电压从零调至最大测量其重量效率，对飞灰的化学和物理性质进行比较。

结果：

· 这两种燃烧方式所产生的飞灰性质是不同的。沸腾床燃烧器产生的飞灰优于粉煤炉产生的飞灰，几乎有九次飞灰中保留较多的炭。

沸腾床燃烧器产生的飞灰是多角状的，而粉煤炉产生的飞灰是圆形或球形。

两种飞灰的电性能很相似。除低电压或很高电压外电场电流密度

关系是相同的，平时最大电流密度为 $200 \mu\text{A}/\text{m}^2$ ，两种情况的电场强度为 $0.26 \text{ KV}/\text{mm}$ 。但是这两种飞灰在电除尘器中的情况却不同。沸腾床飞灰很容易捕集，这是由于飞灰中含有较多的碳，同时在进入电除尘器前已有80%的飞灰已被清除，这就是说电除尘器只要捕集类似粉煤炉烟气中飞灰重量的 $1/3$ 。这表明沸腾床飞灰的收尘效率较高是由于其颗粒是多角状便于再次捕集，便于凝聚，颗粒增大形成烟尘层而防止了烟尘的再飞扬。

2-4 电除尘器温度，压力的极限条件

作者 E. Weber 西德 Essen 技术大学

无 原 文

2-5 美国的高压高温电除尘技术

作者 G. Rinard, D. Rugg, M. Durham, J. Armsfrong

美国 Denver 研究所

T. Yamamoto

美国 Triangle 研究所

电除尘器 (ESP) 可作为燃煤系统高温高压烟气的最终净化设备。现在在美国加压沸腾床燃烧室 (PFBC) 联合系统的应用已引起人们的很大重视。该系统要求电除尘器的操作温度为 900°C (1650°F) 压力为 10 atm 。Turbo 用加压沸腾床燃烧室来改装原有锅炉用于蒸汽发电，其电除尘器的操作温度可降至 425°C (800°F)。温度的降低有利于电除尘器的操作，这是因为降低了烟气的体积，增

加了烟气的密度。另可应用于煤的气化，这里标准温度为 870°C (1600°F)，压力为 30 atm 。

美国高温高压电除尘器的研究是从1960年开始的。先进行了高温高压电除尘器的模拟性半工业试验。直到1980年这个技术才开始被人们重视。美国能源部制订了为煤的利用而发展高温烟气净化的计划。试验工作正在试验室和半工业性电除尘装置中进行。试验采用模拟的和实际的加压沸腾床燃烧室烟气。

试验室试验是在Colorado, Denver研究所热烟气试验室进行的。电除尘器利用一个单管电除尘器，管径为 30 Cm (12 in)，管长为 4.6 m (15 ft)。试验条件，收尘极的比表面积 (SCA) 为 36 S/m ($183\text{ ft}^2/\text{Kacfm}$)。烟尘条件模拟Curfiss-Wright小型烟气透平试验台返回的烟尘。试验采用不同的电晕电极以适应电除尘器不同的操作温度 760 和 900°C (1400 和 1650°F) 和压力 6.4 和 10 atm 。低温时除尘效率可大于 99% ，高温时除尘效率为 $94\sim95\%$ 。高温时加入飞灰能较大的增加电晕电流。试验中没有发现热电离现象但发现电极上有飞灰积存的现象。除尘效率是电晕电压的函数，电流的增加仅增加功率的消耗。设计合适的振打机构和电晕电极可控制电流在最佳水平。

半工业试验用的电除尘器安装在Curfiss-Wright小型透平试验台上，电除尘器是由9管组成，管径为 30 Cm (12 in) 管长为 4.6 m (15 ft)，试验条件：比表面积为 82 S/m ($417\text{ ft}^2/\text{Kacfm}$)。进口温度为 760 和 815°C (1400 和 1500°F) 压力为 5.8 atm ，收尘效率为 $90\sim99.5\%$ 。进口温度为 870°C (1600°F)，压力为 6.4 atm 时收尘效率为 $75\sim85\%$ 。以后又试验了顺流加压洗涤塔，效果是不好的，这是

由于降低了电除尘器的火花电压。

能源部 (DOE) 现正制订另一个用于实际加压沸腾床燃烧室的半工业试验计划, 执行这个试验计划的机构已经组成。

2-6 滤袋除尘器和电除尘器的技术经济比较

作者 Robert C. Cary, Walfer Piulle

美国电力研究院

Vicfor H. Belba, Fay A. Horney

Sfeams Catalytic 公司

前言:

1978年电力研究院 (EPRI) 发表了一篇论文, 就滤袋除尘器和电除尘器用于煤粉锅炉烟气除尘进行经济比较。那篇论文的结论是: 为达到烟尘的排放量低于 NSPS 标准 $0.116/10^6 \text{ Btu}$ 当时滤袋除尘器的经济比较要高于电除尘器。自1978年论文发表后 NSPS 标准进行修改为 $0.0316/10^6 \text{ Btu}$, 电除尘器和滤袋除尘器的市场位置发生了变动, 电除尘和滤袋除尘技术亦有新的发展。由于这些原因电力研究院写了第二篇论文来修整滤袋除尘器和电除尘器经济比较的结论。这篇论文介绍于本文中。

结论:

经济比较从两方面进行。一方面不考虑烟气烟尘的特点只作滤袋除尘器和电除尘器总的投资比较, 这些分析假定基于50万瓩机组的烟气条件, 其经济比较只限于滤袋除尘器的气布比 A/C 和电除尘器的比表面积。第二方面选用五种美国煤和其烟尘性质比较其除尘效果的经济价值。这五种煤是 Appalachian 中硫煤, Utah Wasatch Plateau 煤, 中东部的 Illinois 6号煤, 北 Dakota lign-

if e 煤和Wyoming Powder Riverbasin 煤。

电除尘器和滤袋除尘器的气布比 2.0 acfm/ft^2 其经济比较高于钢结构的电除尘器当其比表面积大于 $500 \text{ ft}^2/\text{acfm}$ 。各种特殊煤种的详细结果如下：对高，中硫煤，东部煤和北 Dakota lignifluous 煤电除尘器和滤袋除尘器捕集飞灰的经济效果大体相等如排放标准要求低于 NSPS 标准，对低硫煤，西部煤滤袋除尘器在经济上是优越的。滤袋除尘器从经济评价来考虑为气布比 A/C 从 2.0 acfm/ft^2 增加至 2.5 acfm/ft^2 ，投资将减少 $7 \sim 18\%$ 。以上结果启示为采用脉冲式滤袋除尘器来代替常规的反吸风滤袋除尘器其潜在的经济优越性还是很大的。脉冲式滤袋除尘器有高的除尘效率和低压力降。抖动和压瘪的清灰方法亦可使投资和经营费降低，它允许高的气布比而压力降较低。最后根据气体力学的原理用简单而又便宜的方法来改进滤袋除尘器的喷吹管可降低总压力降的 $10 \sim 20\%$ 。

本文还介绍由于电除尘技术的进步和电除尘器可捕集高比电阻烟尘, 这样电除尘器在捕集 Powder River Basin 煤的烟尘方面就能和常规的反吸风滤袋除尘器在经济上进行竞争。

2-7 工业化国家排放物和黑度标准的现状和展望

作者 Saburo Kafo

日本政府环境局

前言：

1982年日本大气中悬浮烟尘附合空气质量的只有49% 远低于SO₂和NO₂的水平。因此发展测量技术去降低大气中悬浮烟尘是当前日本空气污染控制迫切需要解决的严重问题。

现参考各主要工业国家的排放规定进行比较为将来的烟尘测量和

和控制烟尘排放服务。

主要内容：

1. 空气质量标准

现将美国，西德，法国和日本的烟尘空气质量标准进行比较。首先回顾一下这些国家空气质量标准制定的法律依据。其次空气质量标准的编制过程。根据各国的法律对以下三点进行比较，a 标准的评价 b 平均时间/参考时间，c 颗粒物的定义/测量方法。表 1，表示各国烟尘环境标准的概要，但表中未列出不透明物的质量标准，可参阅这些国家的标准。

2. 对烟尘的要求（烟尘的排放标准）

比较一下美国，西德，法国和日本对烟尘的要求，回顾净化自然环境的立法过程，空气质量标准包括不透明物标准和设备标准。而直接控制烟尘要考虑如下因素，a 排放标准的价值，b 各种装置的规格 c 包括如下五种装置，锅炉·烧结机 加热炉 烘干炉 废物焚烧炉，并进行比较。表 2 表示各国锅炉的排放标准。

3. 重视烟尘问题的发展过程

注重五种类型设备的烟尘排放标准发展编年史列于美国，西德，法国和日本的一些附件中。

表 1 烟 尘 的 排 放 标 准

国 家	排放标准 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	平均时间	参 考 时 间	允许波动范围 *
日 本	100	1天	1年	98% (100%)
	200	1小时	1年	(100%)
美 国	75 (第一次)	1年**	1年	100%
	60 (第二次)	1年**	1年	100%
	260 (第一次)	24小时	1年	一次 ***
	150 (第二次)	24小时	1年	一次 ***
法 国	80	1天	1年	50%
	130	1天	10月1日~3月31日	50%
	250	1天	1年	98%
	150 (专期)	1/2小时	1年	100%
德 国	300 (短期)	1/2小时	1年	95%

* 平均监测数和允许的标准数的比值 ** 几何平均值 *** 超标准范围

表 2 锅炉 (燃煤) 烟尘的排放标准

国 家	排 放 标 准 数	设 备 规 格	燃 料
日 本	0.1 g/Nm ³	≥200000 Nm ³ /R*	煤
	0.2	40000 ~ 200000	
	0.3	< 40000	
美 国	0.1 16/10 ⁶ Btu	>250 (mil, Btu / h)	煤
		71年8月17日以后建设的	煤和木材
	0.03	>250 (mil, Btu / h)	固体燃料
		78年9月18日以后建设的	
法 国	0.86 (g / Nm ³)	<3483 (KW) 76年1月	煤
	0.22	≤9288 (KW) 1日后建	煤
	0.13	≥9288 设	煤
	0.86	76年1月1日前建设的	煤
德 国	50 (mg / Nm ³)	≥50 MW (新建)	煤
	125	≥50 MW (旧的)	煤
	* 烟气体积		

3-1 电晕功率对电除尘性能的影响

美国 wheelabrator-Frye Inc

由电晕功率对电除尘性能影响的研究首先在156MW锅炉机组电除尘器上进行。接着在1300MW锅炉机组电除尘器上继续试验。后来又在黑液回收锅炉电除尘器上作进一步的研究。试验内容包括减少比收尘面积和电晕功率两个方面。

试验工作分三种情况：

第一种在两室六电场电除尘器上进行减少电晕功率的试验。使电除尘器六个电场、五个电场和四个电场运行于每一个电场的最大电晕功率。减少电晕功率的试验仅仅只利用四个或两个电场。

第二种情况，试验电除尘器八个电场中的七个、五个或三个电场运行于最大电晕功率。减少电晕功率后相当于五个或三个电场最大电晕功率的水平。但电晕功率的分布遍及所有七个工作电场。

第三种情况是被试验电除尘器的三个电场运行于最大电晕功率，而另外三个或两个电场减少电晕功率。这九组试验即上述三种情况中的每一种中的三组都进行了试验。

试验工作也包括半工业中间试验在不同电晕功率水平下的试验和实验室新几何形状电极。企图使他们组合成的 I/V 特性适合于多电场电除尘器的运行。

试验结果：具有六电场的电除尘器如某一种情况所述，比电晕功率为 $2360WS/M^3$ 。一个或二个电场减少电晕功率到87%和74%，结果收尘效率仅仅只有很小的下降。（从99.92%降到99.91%和99.87%）。在四个电场中更进一步降低电晕功率到58%和39%，收尘效率降低到99.82%和99.84。仅仅只是在有巨大的电晕功率

下降,才能导致效率的明显下降。第二种情况具体地示出对于三种不同的电晕功率(100 65和31%)具有相同的排放浓度(大约是 0.003 克/米^3);也是对两种不同的比表面积(7和5个电场)。仅仅是当三个电场运行于34%最大电晕功率时,排放浓度才有明显增加。第三种情况被试电除尘器比电晕功率在 2450 WS/M^3 和 2750 WS/M^3 之间。而且所有电场都运行于 440 WS/M^3 以及更进一步有两个电场运行于更低的电晕功率。

减少电晕功率而不使烟囱超过排放标准获得节能效果,也为更经济的电除尘器设计指出了方法。

3-2 计算机优化控制电除尘器

—运行经验和试验结果

F. Neulinger and H. Schummer

Lurgi GmbH West Germany

采用最新微型计算机技术的电除尘控制系统包括:

① 微计算机控制系统,用于控制各个整流变压器使之运行电压尽可能接近额定电压。

② 程序逻辑控制,用于电除尘器的驱动和其他有关方面。

电除尘器的这些分散单元由管理计算机协调、管理,并使之优化运行。以电除尘器排出的粉尘浓度和其他重要工艺参数作为控制信号进行控制。利用彩色VDVS集中监测。重要工艺数据存入存储器进行评定。