

新排放标准与 火电厂烟气除尘技术

二〇一四年五月









新排放标准与火电厂烟气除尘技术

- 一、十二五期间国家对燃煤电厂的环保政策要求
- 二、当前主流除尘技术介绍
- 三、其它除尘新技术

一、十二五期间国家对燃煤电厂的环保政策要求

- 1) 《中国的能源政策》白皮书
- 2) **GB13223-2011** 《火电厂大气污染物排放标准》
- 3) 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》
- 4) 环保部环办[2013]2号 《关于进一步做好重污染天气条件下空气质量监测预警工作的通知》
- 5) 国家发展改革委环境保护部发改价格[2014]536号关于印发《燃煤发电机组环保电价及环保设施运行监管办法》的通知

1) 《中国的能源政策》白皮书

- 建设清洁高效燃煤机组和节能环保电厂
- 清洁高效发展火电。严格控制燃煤电厂污染物排放，新建煤电机组同步安装除尘、脱硫、脱硝设施，加快既有电厂烟气除尘、脱硫、脱硝改造。

2) GB13223-2011 《火电厂大气污染物排放标准》

- 烟尘排放一般区域 $<30\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，重点区域 $<20\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。
- 本标准适用于使用单台出力65t/h以上除层燃炉、抛煤机炉外的燃煤发电锅炉；各种容量的煤粉发电锅炉；单台出力65t/h以上燃油、燃气发电锅炉；各种容量的燃气轮机组的火电厂；单台出力65t/h以上采用煤矸石、生物质、油页岩、石油焦等燃料的发电锅炉。整体煤气化联合循环发电的燃气轮机组执行本标准中燃用天然气的燃气轮机组排放限值。

2) GB13223-2011 《火电厂大气污染物排放标准》

自2014年7月1日起，现有火力发电锅炉及燃气轮机组执行表1规定的烟尘、二氧化硫、氮氧化物和烟气黑度排放限值。

表1 火力发电锅炉及燃气轮机组大气污染物排放浓度限值

单位：mg/m³（烟气黑度除外）

序号	燃料和热能 转化设施类型	污染物项目	适用条件	限值	污 染 物 排 放 监 控 位 置
1	燃煤锅炉	烟尘	全部	30	烟 囱 或 烟 道
		二氧化硫	新建锅炉	100 200 ⁽¹⁾	
			现有锅炉	200 400 ⁽¹⁾	
		氮氧化物 (以NO ₂ 计)	全部	100 200 ⁽²⁾	
		汞及其化合物	全部	0.03	
2	以油为燃料的锅炉 或燃气轮机组	烟尘	全部	30	

续表1火力发电锅炉及燃气轮机组大气污染物排放浓度限值

单位：mg/m³（烟气黑度除外）

3	以气体为燃料的锅炉或燃气轮机组	烟尘	天然气锅炉及燃气轮机组	5	
			其他气体燃料锅炉及燃气轮机组	10	
		二氧化硫	天然气锅炉及燃气轮机组	35	
			其他气体燃料锅炉及燃气轮机组	100	
		氮氧化物 (以NO ₂ 计)	天然气锅炉	100	
			其他气体燃料锅炉	200	
			天然气燃气轮机组	50	
			其他气体燃料燃气轮机组	120	
4	燃煤锅炉，以油、气体为燃料的锅炉或燃气轮机组	烟气黑度 (林格曼黑度，级)	全部	1	烟囱排放口

注：(1) 位于广西壮族自治区、重庆市、四川省和贵州省的火力发电锅炉执行该限值。
(2) 采用W型火焰炉膛的火力发电锅炉、现有循环流化床火力发电锅炉，以及2003年12月31日前建成投产或通过建设项目环境影响报告书审批的火力发电锅炉执行该限值。

2) GB13223-2011 《火电厂大气污染物排放标准》

重点地区的火力发电锅炉及燃气轮机组执行表2规定的大气污染物特别排放限值。执行大气污染物特别排放限值的具体地域范围、实施时间，由国务院环境保护行政主管部门规定。

表2 大气污染物特别排放限值

单位：mg/m³（烟气黑度除外）

序号	燃料和热能转化设施类型	污染物项目	适用条件	限值	污染物排放监控位置
1	燃煤锅炉	烟尘	全部	20	烟囱或烟道
		二氧化硫	全部	50	
		氮氧化物（以NO ₂ 计）	全部	100	
		汞及其化合物	全部	0.03	
2	以油为燃料的锅炉或燃气轮机组	烟尘	全部	20	
		二氧化硫	全部	50	
		氮氧化物（以NO ₂ 计）	燃油锅炉	100	
			燃气轮机组	120	
3	以气体为燃料的锅炉或燃气轮机组	烟尘	全部	5	
		二氧化硫	全部	35	
		氮氧化物（以NO ₂ 计）	燃气锅炉	100	
			燃气轮机组	50	
4	燃煤锅炉，以油、气体为燃料的锅炉或燃气轮机组	烟气黑度（林格曼黑度，级）	全部	1	烟囱排放口

3) 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》

- 重点区域：三区九群，重点区域烟尘排放 $<20\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，区域PM_{2.5}等多污染物逐年递减。

4) 环保部环办[2013]2号 《关于进一步做好重污染天气条件下空气质量监测预警工作的通知》

- 在重点地区建立最严格的大气污染物排放标准特别排放限值制度和新建项目污染物总量倍量替代制度。

5) 国家发展改革委环境保护部发改价格[2014]536号关于印发《燃煤发电机组环保电价及环保设施运行监管办法》的通知

- 第十五条 燃煤发电机组二氧化硫、氮氧化物、烟尘排放浓度小时均值超过限值要求仍执行环保电价的，由政府价格主管部门没收超限时段的环保电价款。超过限值1倍及以上的，并处超限时段环保电价款5倍以下罚款。

6) 电力行业内部企业不断自我加压

- 电力行业内部企业不断自我加压，有些电厂提出达到燃气机组排放标准，有的发电公司更是提出了“近零排放”理念。

二、当前主流除尘技术介绍

(一) 电除尘器

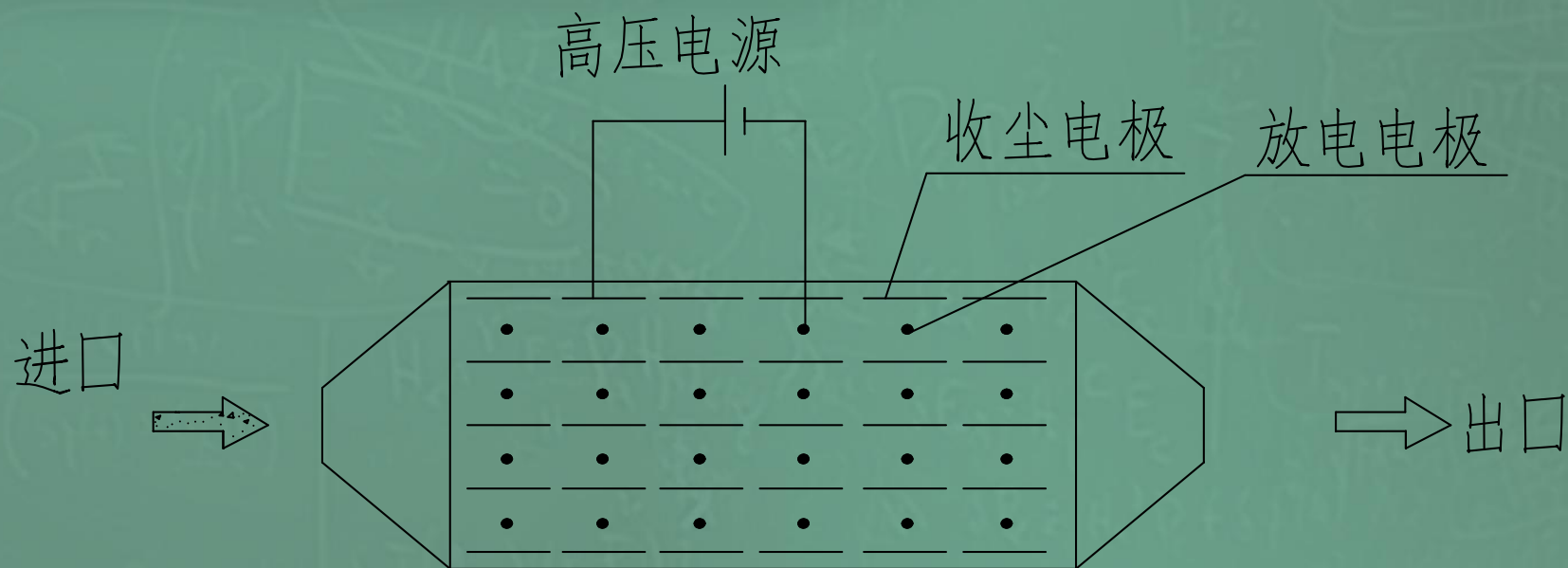
(二) 袋式除尘器

(三) 电袋复合除尘器

（一）电除尘器

- 1、工作原理：
- 电除尘器是在一个箱体内部，有规律的布置曲率半径不等的两种电极（如线对板），并通以高压直流电，形成场强分布不均匀的电场，使负极线产生电晕放电，从而使电场空间充满负电荷。当向箱体内通入含尘气体时，粉尘颗粒会吸附离子而带电，并在电场力作用下向阳极板沉积，完成烟气的净化。

(一) 电除尘器



(一) 电除尘器

电除尘器捕集气体中悬浮尘粒主要包括过程：

- (1) 施加高电压产生强电场，使气体电离产生电晕放电。
- (2) 悬浮尘粒荷电。
- (3) 荷电尘粒在电场力的作用下向电极运动。
- (4) 荷电尘粒在电场中被捕集。
- (5) 电极清灰。

(一) 电除尘器

2、效率计算：

最重要的指标是比收尘面积。

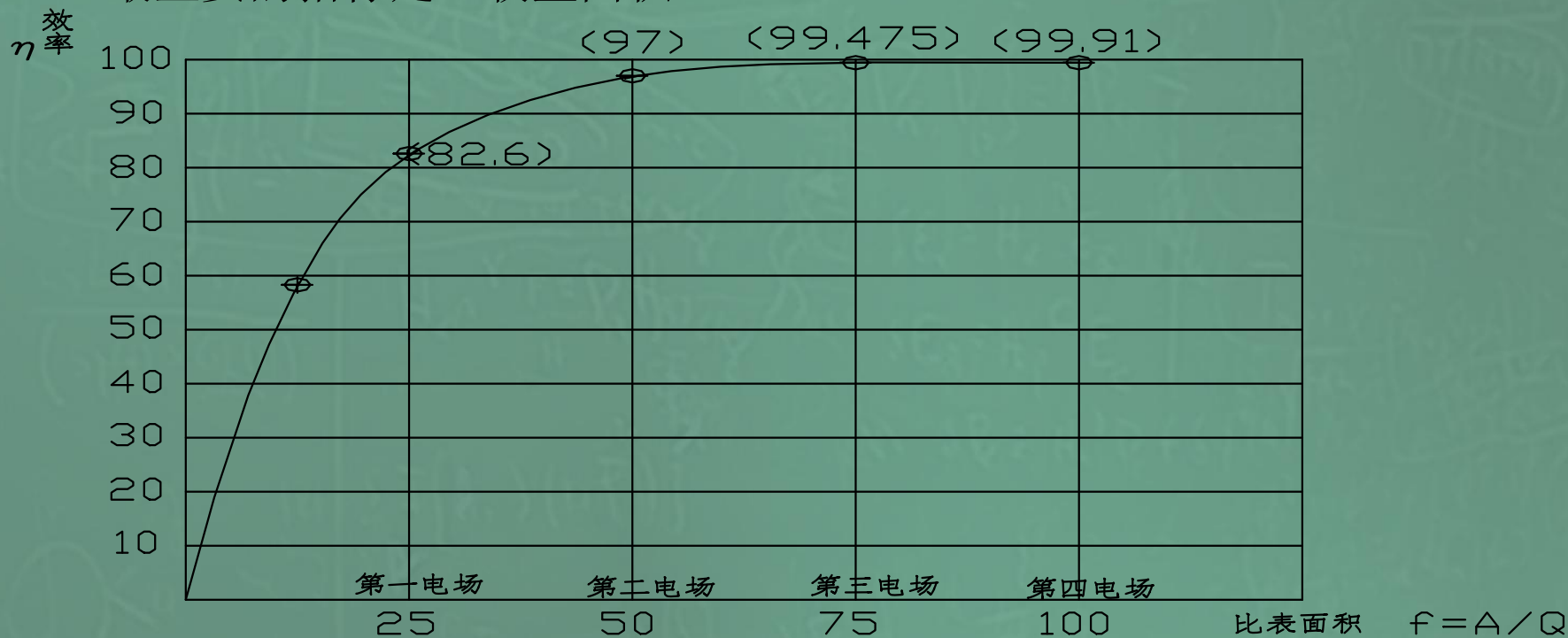


图 2 效率—比表面积曲线 $(\omega=0.07\text{m/s})$

(一) 电除尘器

例如，有一台电除尘器，入口烟气含尘浓度为 $50\text{g}/\text{Nm}^3$ ，要求出口排放浓度为 $45\text{mg}/\text{Nm}^3$ ($\eta=99.91\%$)，粉尘在电场运动的驱动速度按 0.07m/s ，计算比表面积。

(一) 电除尘器

根据多依奇效率公式：

$$\eta = 1 - e^{-\frac{A}{Q}\omega}$$

式中：

A——极板投影面积 m^2

Q——处理烟气量 m^3/s

ω ——粉尘的驱动速度 m/s

$$\therefore \frac{A}{Q} = \frac{-\ln(1-\eta)}{\omega} = 100$$

(一) 电除尘器

若除尘器为四电场，则每个电场的比表面积有 $25 \text{ m}^2/\text{m}^3/\text{s}$ (s/m)，相应的收尘效率为：

电场	一	二	三	四	
A/Q	25	50	75	100	
总效率 %	82.6	97	99.475	99.91	
该电场收集的粉尘 g/Nm ³	41.3	7.2	1.2375	0.2175	$\Sigma 49.955$

(一) 电除尘器

由上表可看出，烟气中的粉尘绝大部分已在第一电场被收集，后几个电场仅收集不到 $10\text{g}/\text{Nm}^3$ 的粉尘。也就是说，用75%的设备投资仅收集很少的粉尘，这从方法论上说是很不合理的。

由于除尘机理的限制，除尘效率按指数曲线变化，后级电场的收尘量少，细颗粒粉尘捕集较难。

（一）电除尘器

3、电除尘器的形式：

从烟气运动方向区分，可以分为卧式和立式。

从阳极（收尘极）形式区分，可以分管式和板式，其中板式占绝对主导地位，板式又分为波浪板、C型板等等。

从阴极（电晕极）形式区分，可以分为芒刺线、螺旋线、鱼刺线等等。

从清灰方式区分，可以分为声波、机械等方式，其中机械占主导地位，包括顶部振打和侧部振打等方式。

(一) 电除尘器

4、电除尘器的优点：

(1) 能处理高温烟气： $\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，由于电除尘器内部构件是由钢材制成，可耐温至 400°C ，当采用耐热钢时，可耐温至 600°C 。

(2) 除尘器阻力小： $\sim 300\text{Pa}$ ，因为除尘器内部烟气通道基本上是通过式，所以阻力小，一般为 $200\sim 300\text{ Pa}$ 。

(3) 维护费用低：除尘器内部构件中的锤头、电晕线等是易损件，但一般也有5年或更长的使用寿命，内部构件寿命长，所以其维护费用低。

(4) 可获得较高除尘效率：对一般性能的烟尘，只要有足够的收尘面积，通常可达到99%以上的除尘效率。

(一) 电除尘器

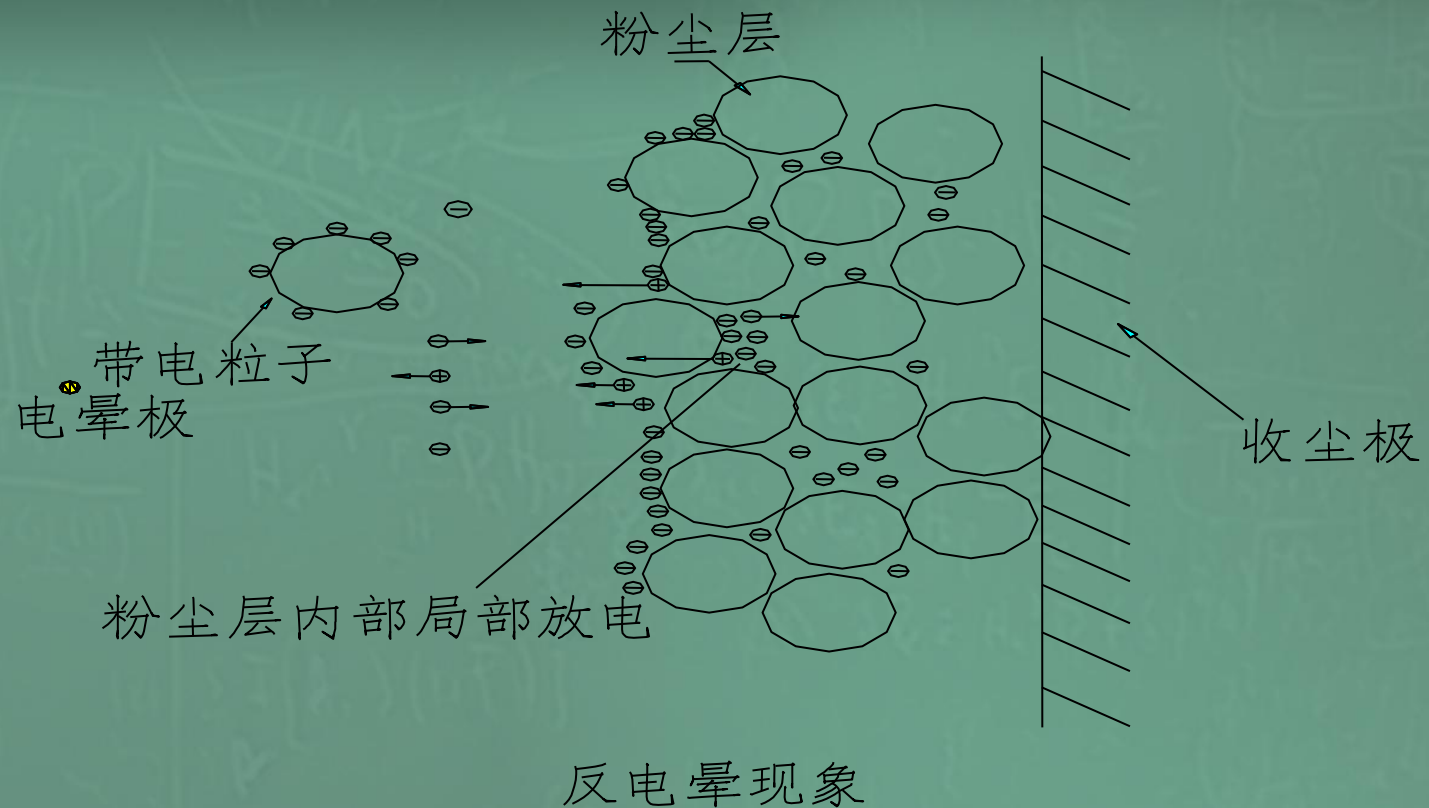
5、电除尘器的缺点：

(1) 除尘效率受粉尘性质（化学成分和颗粒级配）和烟气参数（烟气量、烟气温度、烟气化学组成）影响大。

粉尘比电阻高，容易产生反电晕现象。一般认为，适宜于电除尘器工作范围的比电阻为 $10^4 \sim 5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 。当粉尘比电阻太高时，会产生反电晕现象，而使电除尘器的工作不稳定，除尘效率下降。

粉尘比电阻低，会产生粉尘跳跃现象，进而影响除尘效率。

(一) 电除尘器



(一) 电除尘器

(2) 对于排放标准严格的地区，如果要设计一台满足于多种煤种的电除尘器则设备投资将大幅度增加，有时需采用6~8个电场的电除尘器（印度有些电厂采用电除尘器做八~十个电场）。

(3) 电除尘器受自身工作原理的限制，对微细粉尘（PM10以下）的收集效率低仅为90%左右，因此电除尘器要达到99.9%的除尘效率是非常困难的。

(4) 进口含尘量大，容易产生电晕封闭,会对电除尘器除尘效率产生不利影响。

(5) 气流均布较为关键，增加了一定的系统阻力。

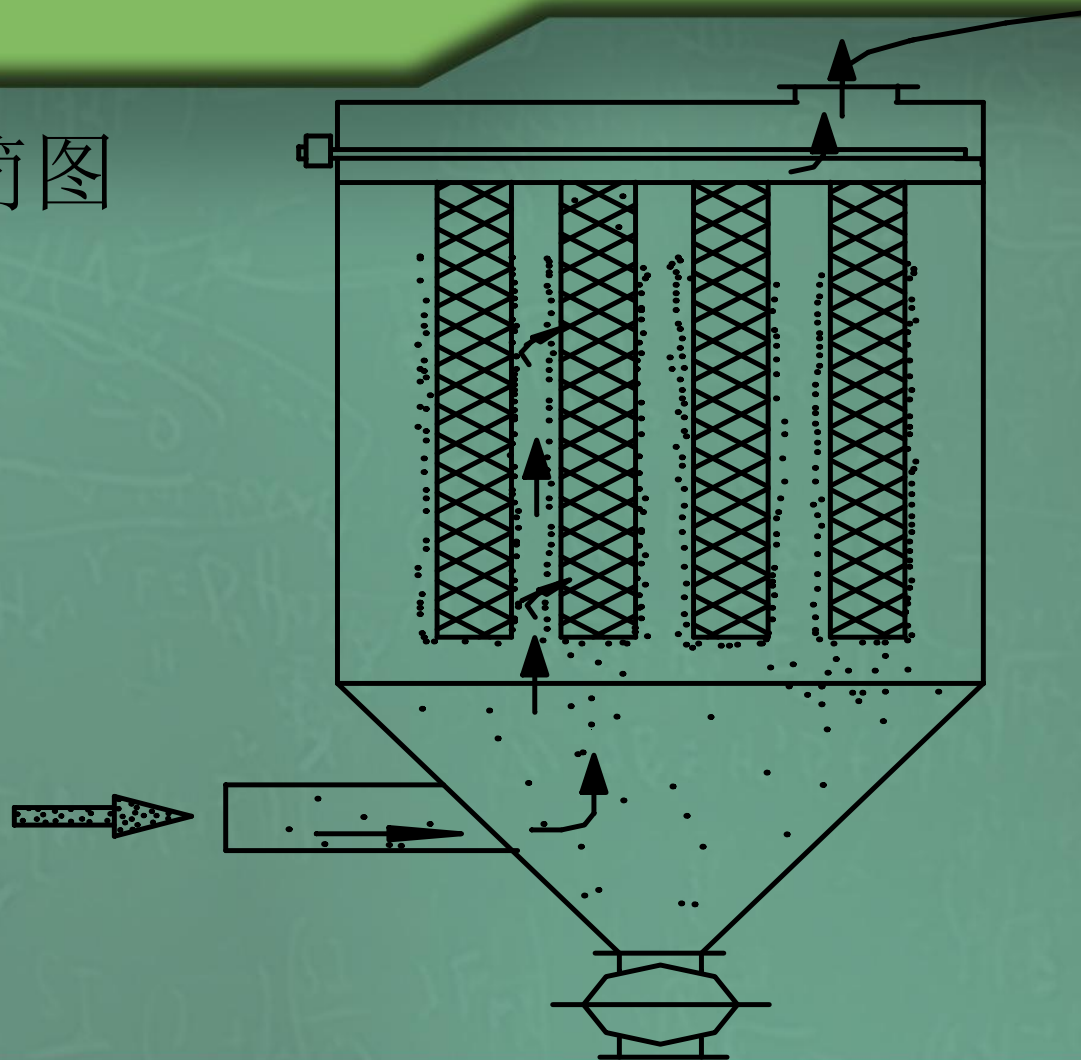
(一) 电除尘器

6、节能运行方式

可以通过调解充电比的方式进行节能运行，能够减少粉尘跳跃，对后部电场节能作用非常明显。

(二) 袋式除尘器

1、工艺简图



(二) 袋式除尘器

袋式除尘器是在一个箱体内安装滤袋，当含尘烟气通过滤布时，烟尘被阻挡在滤布表面，纯净气体从滤布的另一侧排出，从而实现烟气的净化。

(二) 袋式除尘器

2、布袋除尘器分类

主要依据其结构等,如滤袋形状、过滤方向、进风口位置以及清灰方式进行分类。

按滤袋形式分类:圆袋式除尘器、扁袋式除尘器。

按过滤方向分类:内滤式袋式除尘器、外滤式袋式除尘器。

按进气口位置分类:下进风袋式除尘器、上进风袋式除尘器、侧进风袋式除尘器。

按清灰方式分类:机械震打、压缩空气反吹。

(二) 袋式除尘器

布袋除尘器的性能特点：

除尘效率高、排放浓度低、漏风率小、
能耗少、钢耗少、占地面积少、运行稳定
可靠。

（二）袋式除尘器

3、袋式除尘器的优点：

（1）由于其除尘机理为过滤拦截，只要滤料有足够的密集度，便容易实现烟尘低排放，（一般可 $< 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，低至 $3\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）；

（2）除尘效率基本上不受烟尘性质的影响，即烟气的量、烟气温度、烟气含尘浓度的波动对排放量影响不大。

(二) 袋式除尘器

4、袋式除尘器的缺点：

- (1) 运行阻力高（一般为1200Pa），风机能耗大。
- (2) 滤袋寿命短（一般3年左右），维护费用高。
- (3) 滤袋承受高温、 SiO_2 、 SO_3 、 NO_2 、 H_2O 等能力较弱。

（二）袋式除尘器

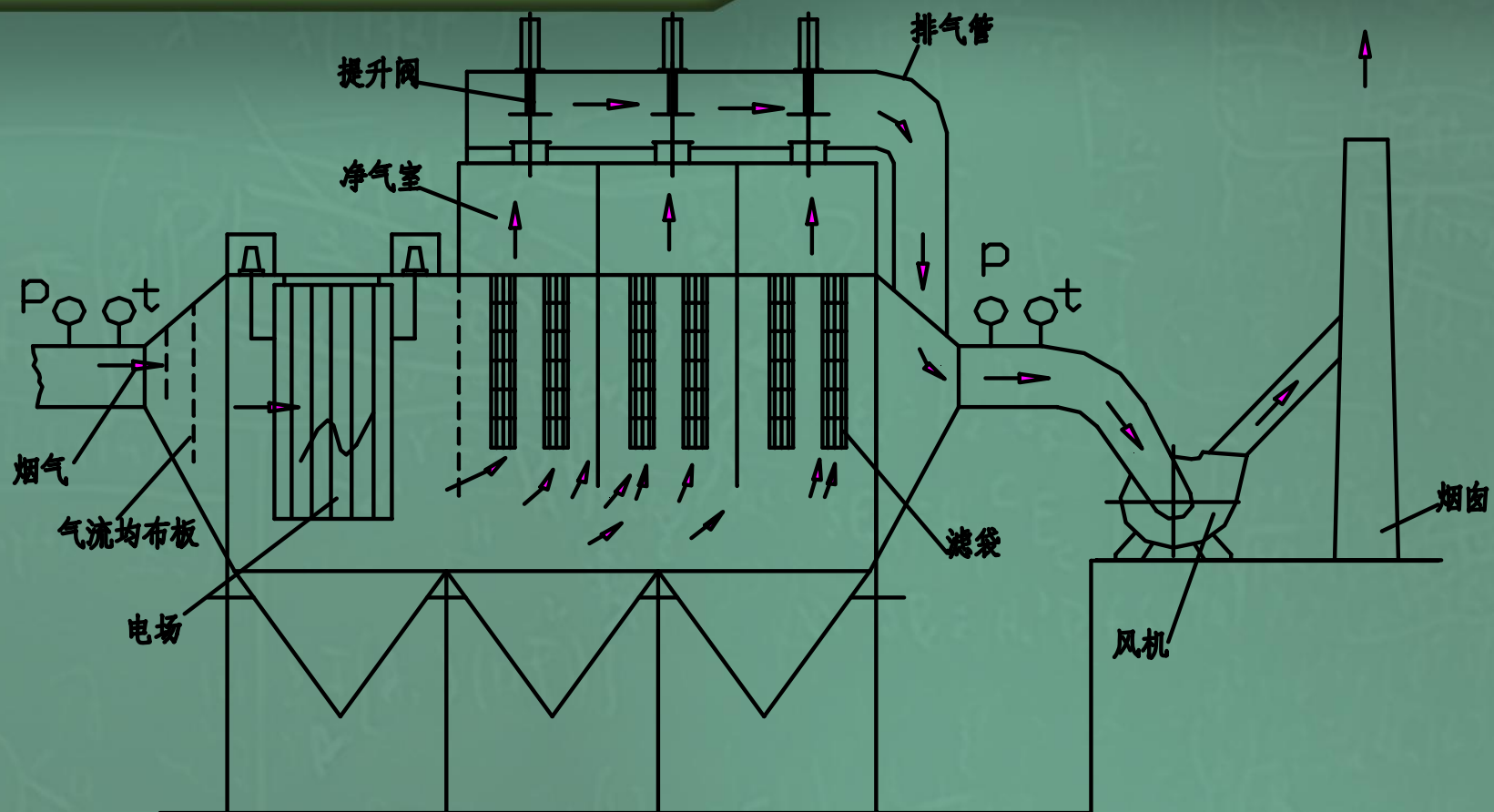
为了克服袋式除尘器的缺点，国内外许多学者进行了多方研究，寻找适合于锅炉烟气的滤料（有一定抗酸、抗碱、耐高温、抗水解性能），目前，燃煤锅炉烟气净化普遍选用性价比很高的PPS滤料（聚苯硫醚）。近几年来，在国内研究成功了具有更好性能的PPS+P84、PPS+PTFE混纺、PPS+PTFE覆膜等复合滤料，并在大批电厂中应用，获得了优良的净化性能。

（三）电袋复合除尘器

1、工作原理

电袋复合除尘器是在一个箱体内紧凑安装电场区和滤袋区，有机结合静电除尘和过滤除尘两种机理。电袋复合除尘器工作时，烟气从进口喇叭进入电场区，粉尘在电场区荷电并大部分（约80%左右）被收集，粗颗粒烟尘直接沉降至灰斗，少量已荷电难收集粉尘随烟气均匀进入滤袋区，通过滤袋过滤后完成烟气净化过程，粉尘被阻留在滤袋外表面，纯净的气体从滤袋内腔流入上部的净气室，然后经提升阀进入排气烟道，最后从出口烟道排出。

(三) 电袋复合除尘器



(三) 电袋复合除尘器

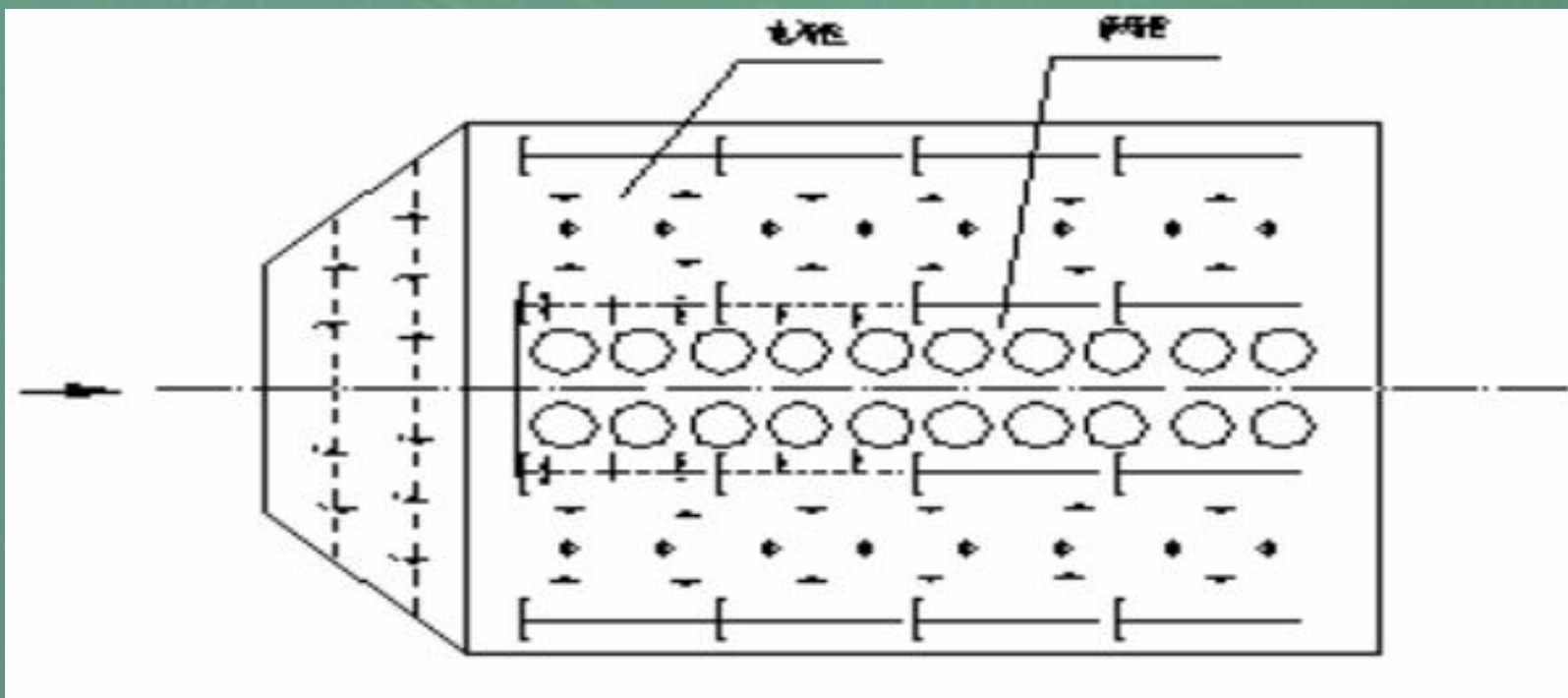
电袋除尘器不是电除尘和布袋除尘的简单叠加。这种技术发扬了两种除尘技术的优点，避开其弱点，二者结合在一起，收尘机理科学先进。如对滤袋的保护：吹扫周期大大延长、水冷壁泄露等事故保护能力提升等等。

电凝并：在布袋场中的粉尘颗粒由于从电区荷电，产生电凝并现象，粉尘在后续布袋场中形成透气性好、空隙率高、剥落性好的粉尘层。

(三) 电袋复合除尘器

2、电袋复合除尘器的分类：

(1) 电场区与袋区横向排列的型式



(三) 电袋复合除尘器

气流从左端引入，经气流分布板进入电场区的每个通道，电场区的通道与袋区的每排滤袋相间横向排列，烟尘在电场通道内荷电，荷电粉尘和未荷电粉尘随气流流向孔状极板，部分荷电粉尘沉积在极板上，另一部分带电或不带电粉尘进入袋场的滤袋，粉尘被阻留在滤袋外表面，纯净的气体从滤袋内腔流入上部的净气室，然后从排气烟道排出。

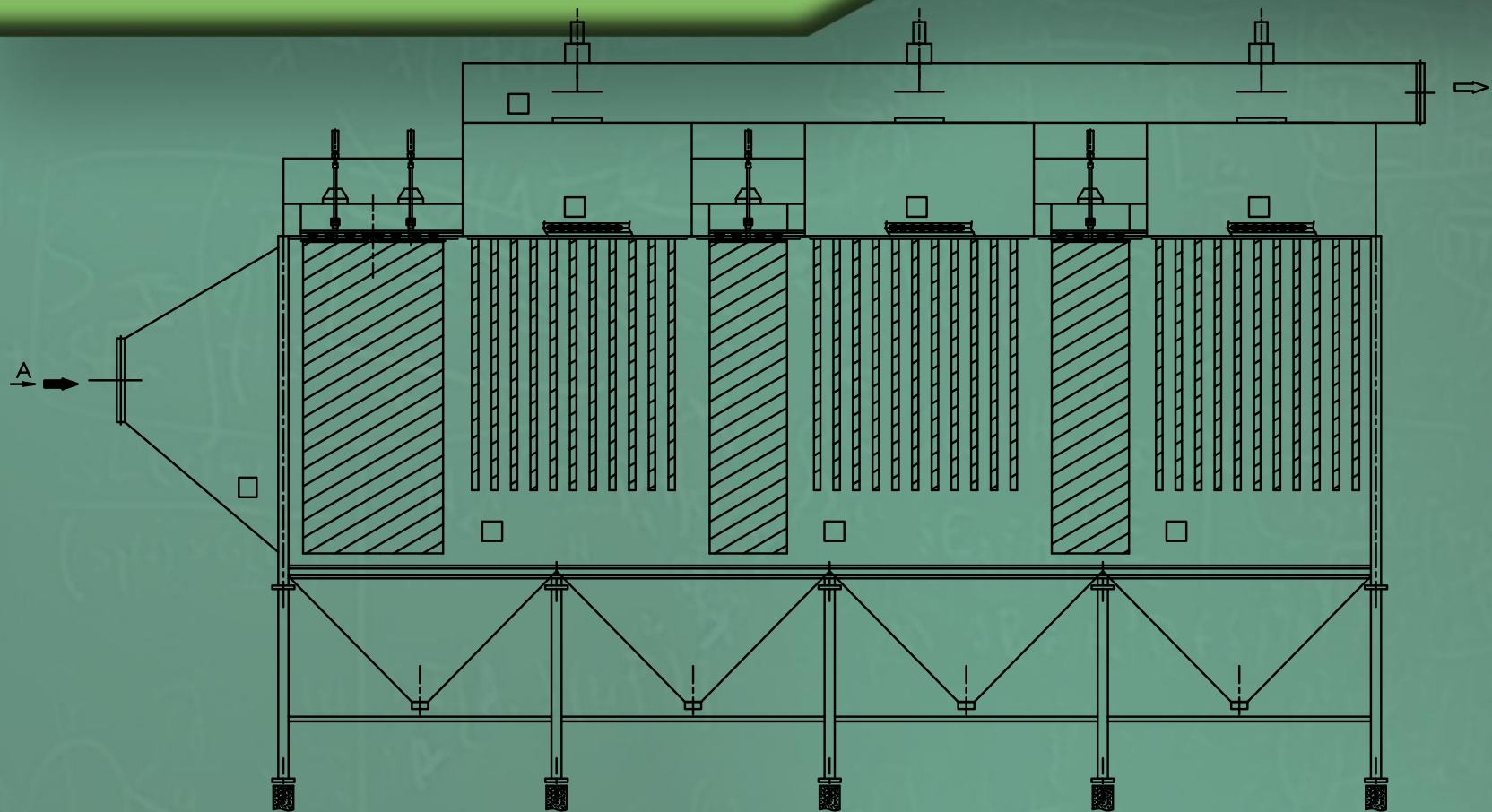
(三) 电袋复合除尘器

这种型式的优点是电区中的带电粉尘与滤袋的流动距离短，荷电粉尘不易在流动过程丢失电荷。但有下列缺点：火花放电影响滤袋寿命；荷电粉尘趋向极板后，由于气流的带动会重新脱离极板进入滤袋，降低了极板的收尘作用；除尘器的宽度较大，占地面积大。

(三) 电袋复合除尘器

(2) 在袋区相间增加若干个短电场，同时气流在袋区的流向从由下而上，改为水平流动。粉尘从电场流向袋场时，在流动一段距离后，流经复式电场，再次荷电，增强了粉尘的荷电量和捕集量。

(三) 电袋复合除尘器

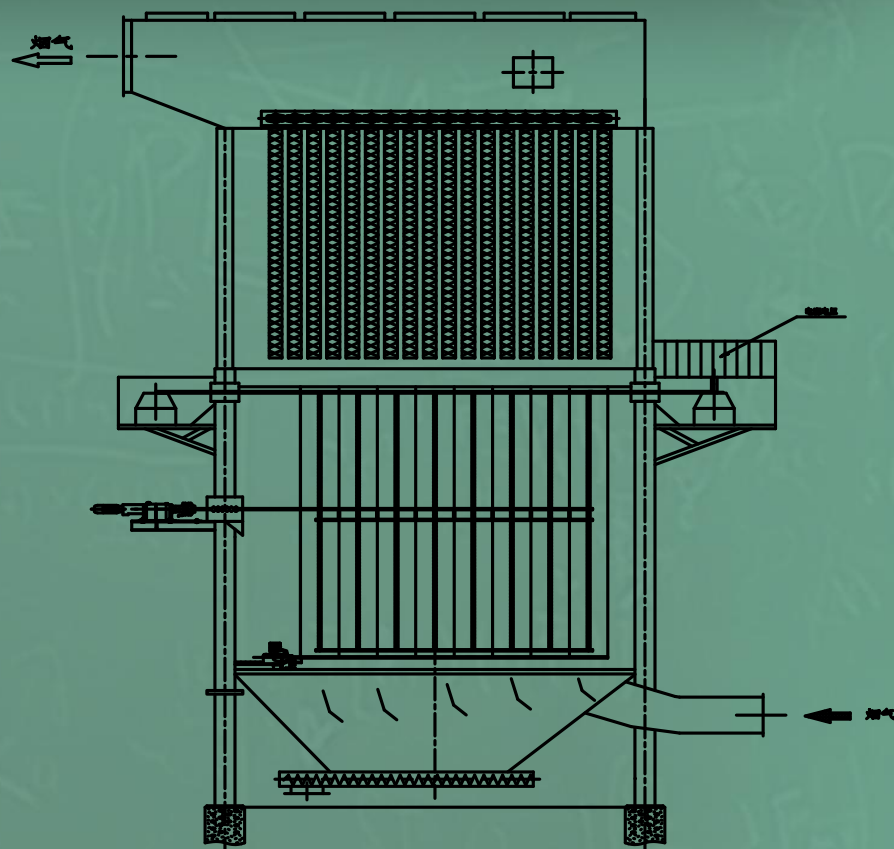


(三) 电袋复合除尘器

(3) 立式电袋复合除尘器

对于大型电袋除尘器，由于除尘器设计高宽比的限制，一般极板高达15m，而滤袋长度由于技术上的原因，目前仅为8~10m，这样，若采用上述几种结构，便会造成袋区下部有很大的空间，设备的容积利用率低。

(三) 电袋复合除尘器



除尘器箱体下部分设置电场区，上部设置袋区，含尘烟气从下部进入灰斗，再向上首先流经电场区，在电场区除去大部分粉尘，未被净化的烟气向上进入袋区，粉尘被阻留在滤袋表面，纯净气体从滤袋内腔排入上部的净气室，然后从侧面排出。

这种型式的电袋复合除尘器的结构紧凑，设备重量轻，经济性好，但大机组应用中高度较高。

（三）电袋复合除尘器

3、电袋除尘器优点：

（1）电袋复合除尘器解决了电除尘器对煤种适应性差、除尘效率不稳定，对高比电阻、高 Fe_2O_3 等低比电阻粉尘难以收集的难题。

（2）解决了燃煤电厂燃烧劣质煤，采用多电场电除尘器电耗过高的问题，与电除尘器相比，节电20%左右。

（3）解决了袋式除尘器运行阻力高的问题，减少引风机功率消耗。解决了清灰频率高、滤袋寿命短、更换频繁的难题，降低了运行维护费。

(三) 电袋复合除尘器

4、电袋除尘器缺点：

- (1) 运行阻力远高于电除尘，但低于布袋除尘，风机能耗相对偏大大。
- (2) 滤袋寿命较短，更换费用高。
- (3) 滤袋承受高温、 SiO_2 、 SO_3 、 NO_2 、 O_2 、 H_2O 等能力较弱。
- (4) 对干灰系统可靠性要求较高。

新排放标准颁发后除尘技术应用情况

电袋除尘、电除尘及布袋除尘并存，电袋除尘明显增多，电除尘及布袋除尘相对减少。

据不完全统计，2010年到2012年三年中，电袋除尘明显增多，电除尘及布袋除尘相对减少，2010-2012年各除尘方案招标情况统计见下表：

新排放标准颁发后除尘技术应用情况

机组容量 除尘方式		1000MW 等级	600MW 等级	300MW 等级	200MW 等级
电袋复合 除尘器	新建	2	16	41	3
	改造	0	19	67	11
静电除尘 器	新建	22	16	81	14
	改造	0	2	18	1
布袋除尘 器	新建	0	3	23	0
	改造	0	2	12	2

三、其它除尘新技术

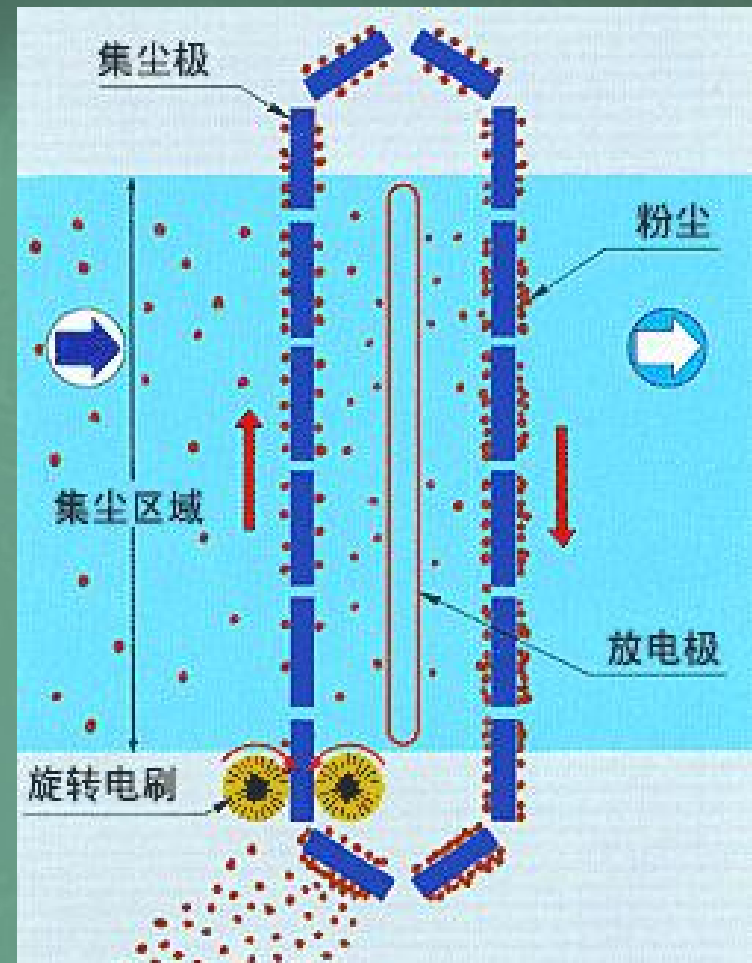
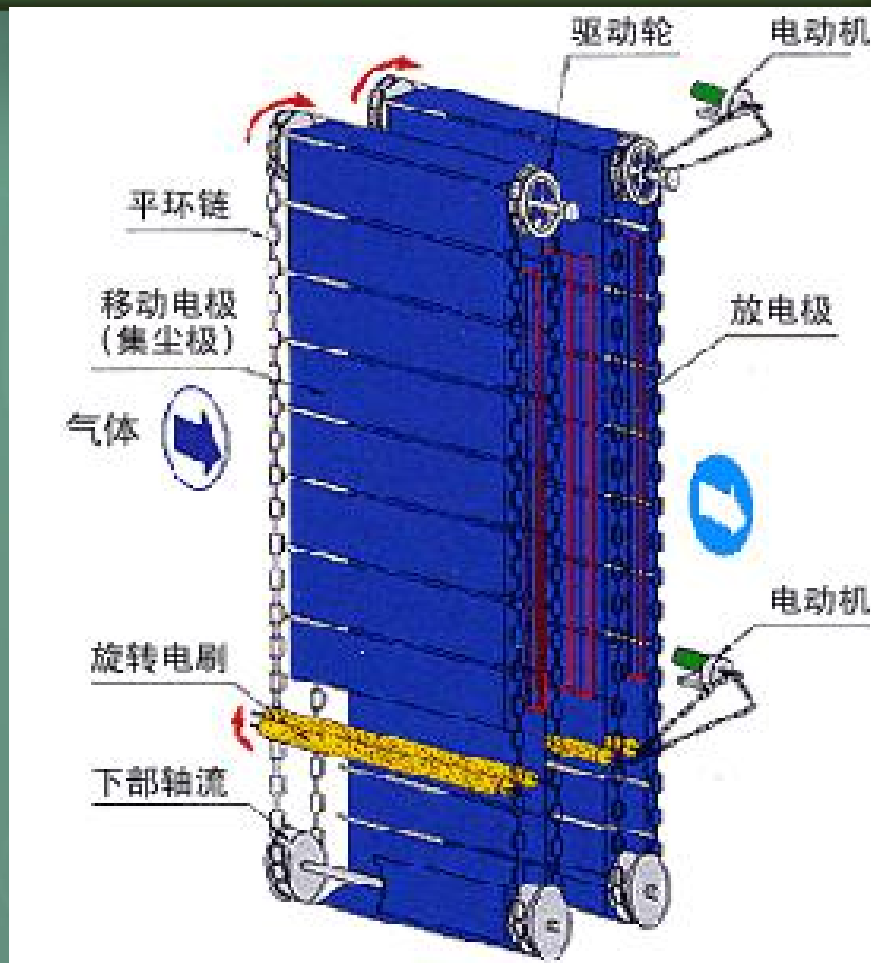
新技术主要是克服原有除尘器的固有问题。
下列技术得到较为广泛的应用：

- （一）旋转电极
- （二）湿式电除尘器
- （三）烟气调质技术
- （四）高频电源

（一）旋转电极

“旋转电极式电除尘”是一种通过改变末级电场清灰方式、避免末电场电晕因积灰而电晕封闭、抑制末电场二次飞扬而提高除尘效率的电除尘技术，其收尘机理与常规电除尘器相同。清灰方式不同在于转动阳极板，利用清灰刷来进行清灰：附着于集尘极上的粉尘在随旋转阳极板（即作回转运动的集尘极）运动到非收尘区域后，被正反旋转的两把清灰刷刷除，如下图所示。由于集尘极能保持清洁状态而提高了电晕功率，有效克服末电场细黏粉尘的粘附性问题和二次扬尘直接逃逸等问题，较明显地提高除尘效率。

(一) 旋转电极



(一) 旋转电极

优势：

在最后一个电场用旋转电极，提高末电场清灰效果，减少二次扬尘。

(一) 旋转电极

缺点：

无法在线检修；

清灰刷与极板磨损后的补偿技术没有突破，过盈配合较难控制；

机械故障很高，电场内部运动部件多，容易受烟气温度的变化和烟尘磨损而影响动作；

前端电场同常规电除尘器，提高局部电场效率有时也无法力挽狂澜，对煤种变化没有更好的适应性，无法长期稳定达到低排放；

比收尘面积较低。

(一) 旋转电极

案例：西安热工院2012年6月通过在达拉特发电厂#5炉330MW机组上进行转动电极电除尘器性能试验，对达拉特发电厂#5炉分别燃烧达拉特电厂和魏家峁电厂典型煤种，对几种工况进行对比试验研究：西安热工院得出结论：达拉特电厂的煤种条件使用旋转电极除尘器取得的效率低，除尘器出口排放达不到30mg/Nm³。

（一）旋转电极

- 工况一（达拉特煤种，电场全投）：电除尘器效率为99.72%，电除尘器出口平均烟尘排放浓度为71.71mg/m³（标、干、6%氧）；电除尘器总电耗为912kW。脱硫后粉尘排放49.76 mg/m³（标、干、6%氧）。
- 工况二（魏家峁煤种，电场全投）：电除尘器效率为99.66%，电除尘器出口平均烟尘排放浓度为94.69mg/m³（标、干、6%氧）；电除尘器总电耗为912kW。
- 工况三（魏家峁煤种，转动电极电场停运）：除尘效率为99.55%，电除尘器出口平均烟尘排放浓度为125.64mg/m³（标、干、6%氧）；电除尘器总电耗为816kW。脱硫后粉尘排放66.50mg/m³（标、干、6%氧）。

(二) 湿式电除尘器

国外一部分国家采用湿式电除尘器（Wet Electrostatic Precipitator，简称WEP）来降低最终排放浓度，除去石膏、微细粉尘和SO₃。欧美和日本部分地区应用此工艺使烟囱出口排放浓度在10mg/Nm³以内，日本中部电力碧南电厂五台机组，将湿式电除尘器布置在湿式脱硫系统后，其排放浓度长期稳定在2-5 mg/Nm³。

（二）湿式电除尘器

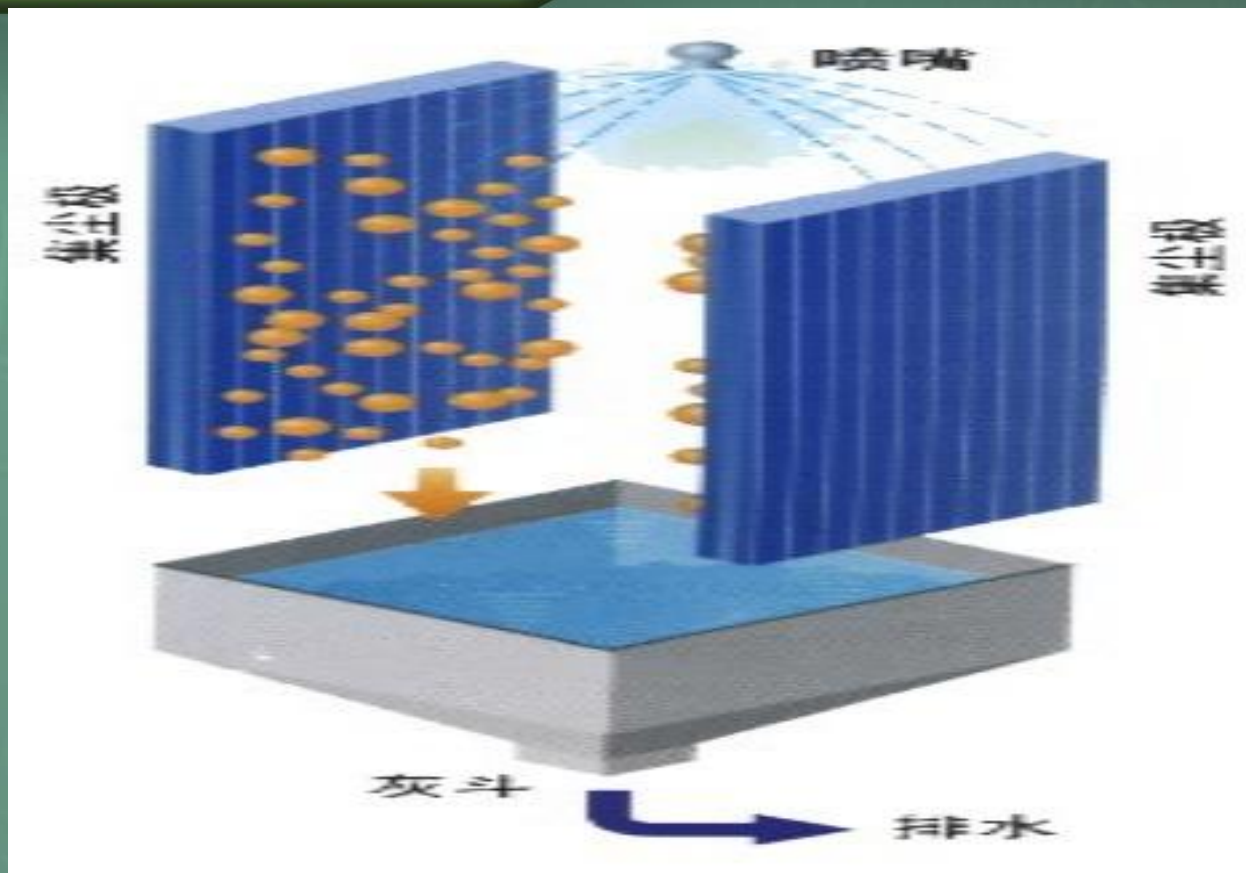
早期的湿式电除尘器主要应用于硫酸和冶金工业生产中，1986年后，国外燃煤电厂也开始采用湿式电除尘器，用于除去烟气中粉尘等污染物，取得了良好的效果。湿式电除尘器广泛应用于冶金、化工等行业，在控制烟气中的酸雾、细微颗粒方面效果显著。

（二）湿式电除尘器

1、湿式电除尘器的主要工作原理：

湿式电除尘器也是电除尘器的一种，是直接将水雾喷向电极和电晕区，水雾在芒刺电极形成的强大的电晕场内荷电后分裂进一步雾化，在这里，电场力、荷电水雾的碰撞拦截、吸附凝并，共同对粉尘粒子起捕集作用，最终粉尘粒子在电场力的驱动下到达集尘极而被捕集；与干式电除尘器通过振打将极板上的灰振落至灰斗不同的是：湿式电除尘器则是将水喷至集尘极上形成连续的水膜，采用水清灰，无振打装置，流动水膜将捕获的粉尘冲刷到灰斗中随水排出。原理图如下

（二）湿式电除尘器



（二）湿式电除尘器

理论上的优势：

从原理上来讲，首先由于水滴的存在对电极放电产生了影响，要形成发射离子，金属电极中的自由电子必须获得足够的能量，才能克服电离能而越过表面势垒成为发射电子。让电极表面带水是降低表面势垒的一种有效措施。水覆盖金属表面后，将原来的“金属-空气”界面分割成“金属-水”界面和“水-空气”界面，后两

种界面的势垒比前一种界面的势垒低很多。这样，金属表面带水后，将原来的高势垒分解为两种低势垒，大大削弱表面势垒对自由电子的阻碍作用，使电子易于发射。另外，水中的多种杂质离子在电场作用下，也易越过表面势垒而成为发射离子。这些都改变了电极放电效果，使之能在低电压下发生电晕放电。

其次由于水滴的存在，水的电阻相对较小，水滴与粉尘结合后，使得高比阻的粉尘比电阻下降，因此湿式静电除尘的工作状态会更加稳定。

由于湿式电除尘器采用水流冲洗，没有振打装置，所以不会产生二次扬尘。

（二）湿式电除尘器

2、湿式电除尘器安装在湿法脱硫之后具有以下优点：

（1）稳定实现微量排放，满足国家新排放标准的要求。据国外经验，湿式电除尘器对酸雾、有毒重金属以及 PM10，尤其是PM2.5的细微粉尘有良好的脱除效果。

（2）有效脱除SO₃，缓解下游烟道、烟囱的腐蚀，节约防腐成本。湿式电除尘器冲洗水对烟气有洗涤作用，可除去烟气中部分SO₃微液滴，虽然三菱和日立公司均无法提供具体除去率，但是国内外研究表明湿式电除尘器对SO₃有很高的去除率。

（3）湿式电除尘器布置在湿法脱硫后，脱硫后的饱和烟气中携带部分水滴，在通过高压电场时也可捕获并被水冲洗走，这样可降低烟气中总的携带水量，减小石膏雨形成的几率。

（二）湿式电除尘器

3、湿式电除尘器的发展技术瓶颈主要如下：

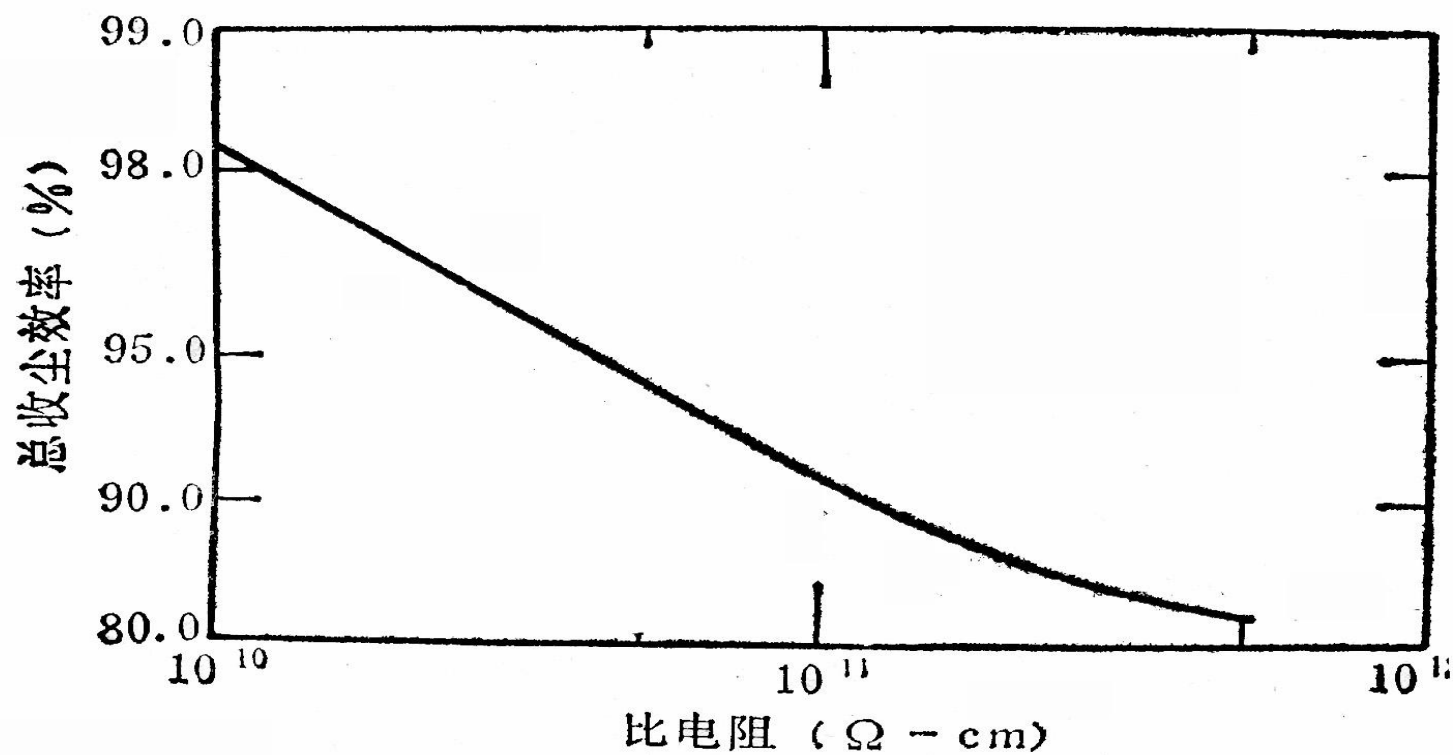
- （1）在烟气高流速工作条件下如何使阳极板的水膜厚薄均匀。
- （2）如何解决收集具粘性的石膏等液固状物体后不挂瘤。
- （3）轻型化、大型化的结构以及防腐与绝缘子防爬电技术的突破。
- （4）如何在有限的设备容量里，提高粒径和质量的微小粒子荷电后的驱进速度（供电技术问题），若按流速 $3\text{-}4\text{m/s}$ 、停留时间 $2\text{-}3$ 秒、异极距 15CM 计算, $\text{PM}_{2.5}$ 颗粒的趋进速度要大于 7.5cm/s 以上。
- （5）对前端设备的烟气条件要求高，即适用的入口烟气条件。
- （6）如何降低设备造价和运行维护费用以及产业化。

（三）烟气调质技术

理论基础：飞灰比电阻对总除尘效率存在较大影响。

现在部分燃煤锅炉燃用的低硫煤，粉尘比电阻极高（甚至大于 10^{13} ），高比电阻粉尘的驱进速度小，粘附性强，容易产生反电晕，使电除尘器工电压大幅度降低，电除尘器效率明显下降。尽管电除尘本体和电气控制系统采用了各种新的设计，但对部分特殊煤种的粉尘目前仍无法达到电除尘器的设计效率。

(三) 烟气调质技术



飞灰比电阻对总除尘效率的影响

（三）烟气调质技术

1、烟气调质应用的条件

烟气调质技术的应用是有条件的，并不是所有的燃煤煤种在除尘时都要使用烟气调质系统。当下述条件存在（或大部分存在）而不利于电除尘性能发挥时，使用烟气调质技术，将会使得除尘设备产生出奇的效果：

(三) 烟气调质技术

- (1) 含硫量低，一般小于0.8%时，煤种本身S的调质作用不够；
- (2) Al_2O_3 含量较高，一般大于35~40%时，表明粉尘较细；
- (3) SiO_2 含量也较高，一般大于35~40%时，表明粉尘较硬且不易荷电；
- (4) K、Na的含量较低，一般合小于1%时，表明粉尘物理性能不够活跃，不易荷电；
- (5) 其它一些重金属（如铅、钒等）含量偏高时，此条件较少见。

上述因素的综合体现就是粉尘的比电阻较高，一般在120°C比电阻达到 $10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ 、或150°C比电阻达到 $10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$ 时，就属于高比电阻粉尘。这对于电除尘性能的发挥起到了极大的抑制作用。

（三）烟气调质技术

2、烟气调质技术方案

- 对烟气进行调质，国外曾经采用各种各样的方法对烟气进行调质处理以降低粉尘比电阻，主要有加硫、加氨、或加湿等几种方法，由于受使用条件的限制，工程中使用最多的方法是用 SO_3 调质。
- 三氧化硫烟气调质系统中三氧化硫的生成是基于硫磺制酸工艺，硫磺制酸工艺是非常成熟的工艺，已经有一百多年的历史。三氧化硫烟气调质系统在原工艺基础上采用先进的PLC控制技术，通过智能化计算机集控系统对系统中各工艺参数进行连续监测、反馈和调整处理。系统通过在粉尘颗粒的表面施加稀释的酸溶液（ $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$ ）来降低粉尘比电阻。烟气调质系统可降低烟气粉尘的比电阻10倍以上，大幅提高电除尘器在捕集高比电阻粉尘时的除尘效率。

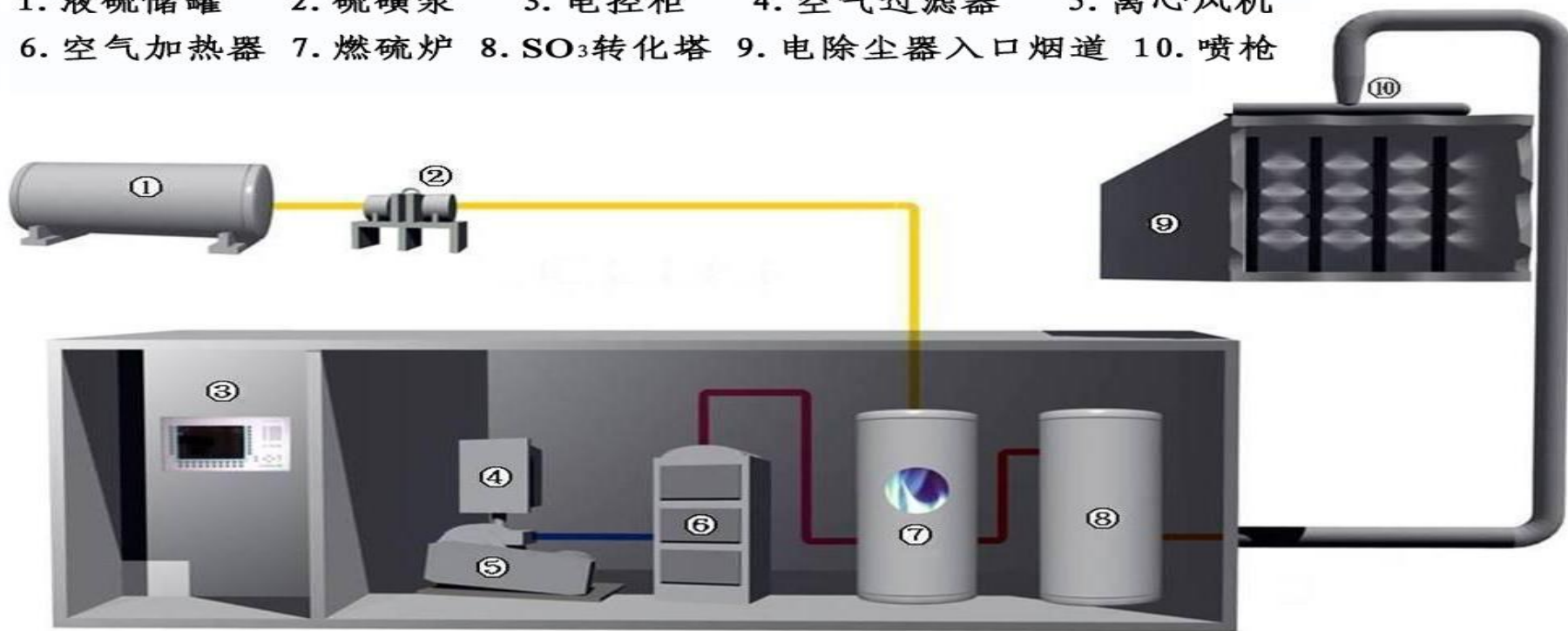
（三）烟气调质技术

3、烟气调质系统工艺流程

- 烟气调质系统由 SO_3 生成器、储硫罐、注入系统三大部件组成。 SO_3 生成器包括风机、电加热器、燃硫炉、转化器和PLC控制系统。
- 储硫罐分为熔区和储区两部分。在储硫罐熔区内用饱和蒸汽加热固体硫磺，使之变为液态硫磺储存在储区中。运行时，利用输送设备将液体硫磺输送到 SO_3 生成器，可编程控制器根据运行工况精确控制硫磺的输送量；硫磺在生成器内的燃硫炉与热空气相遇燃烧生成二氧化硫，二氧化硫在转化塔中经五氧化二钒催化作用生成三氧化硫。三氧化硫和空气的混合气体通过分配支管和注入器喷射到烟气中。
- 在世界各地，已经有五百多台三氧化硫烟气调质系统成功应用。

(三) 烟气调质技术

1. 液硫储罐 2. 硫磺泵 3. 电控柜 4. 空气过滤器 5. 离心风机
6. 空气加热器 7. 燃硫炉 8. SO_3 转化塔 9. 电除尘器入口烟道 10. 喷枪

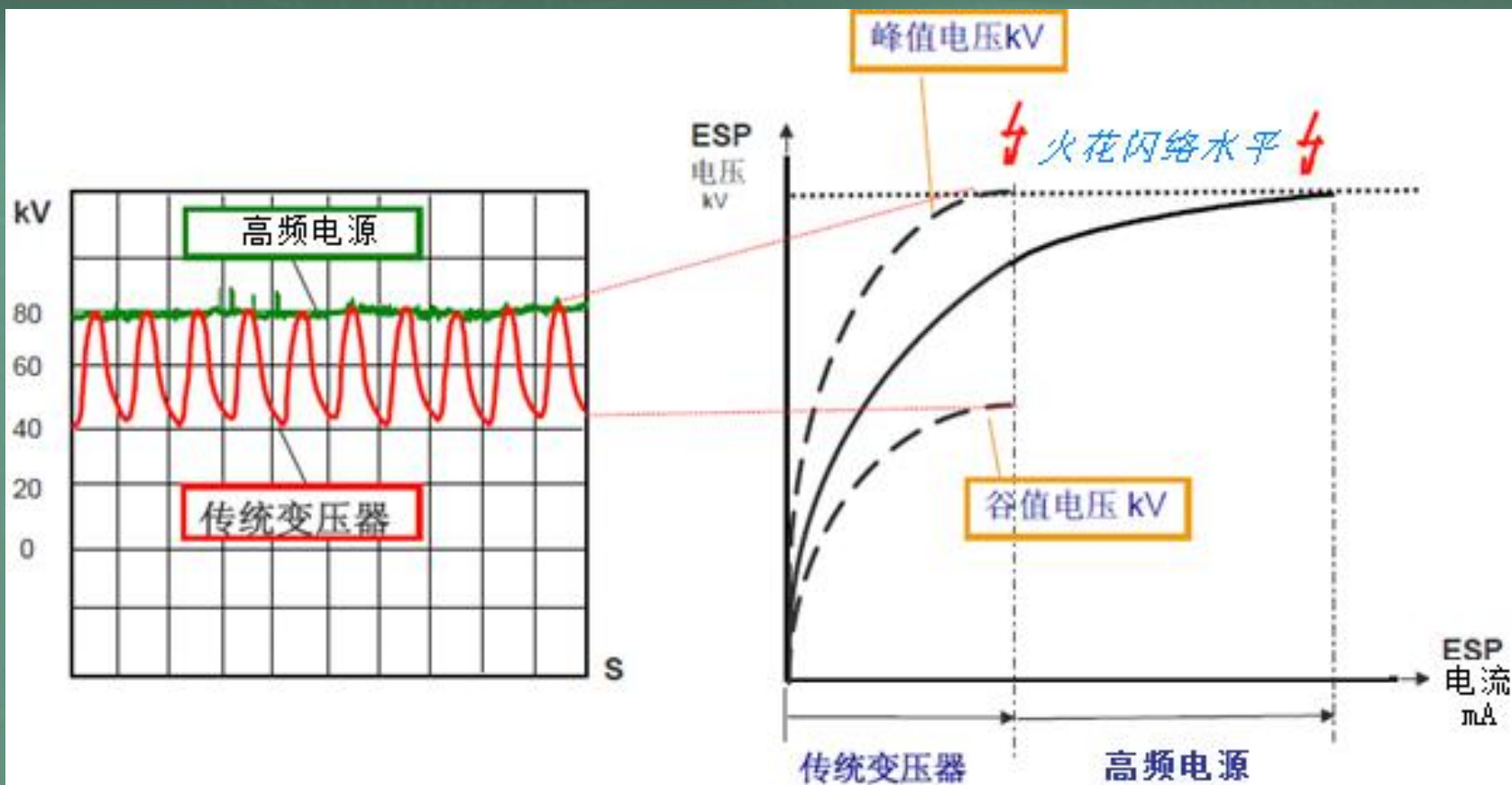


- 烟气调质系统工艺流程图

（四）高频电源

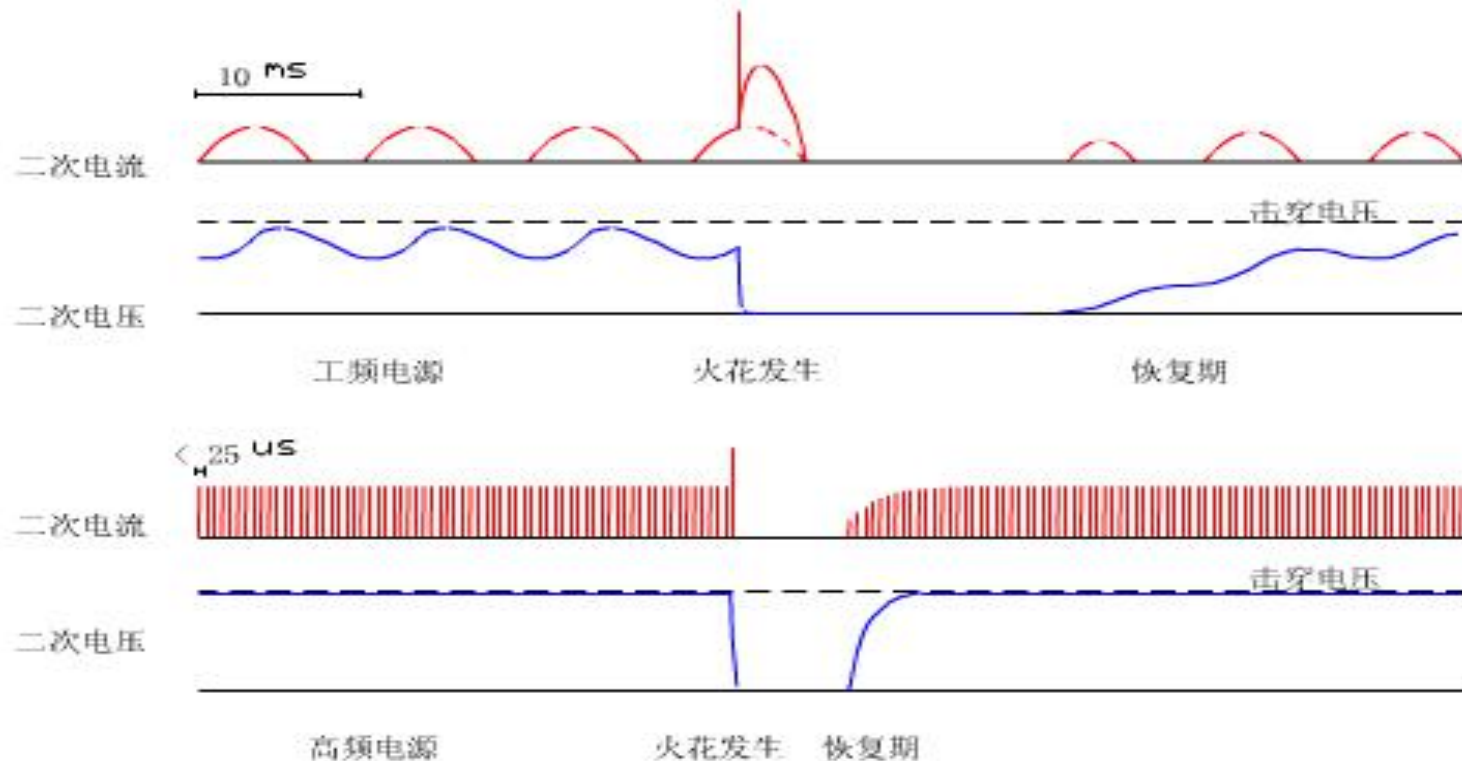
综合控制高频开关电源系统输出纹波极小，输出电压近乎是一条直线，二次平均电压比常规工频整流变压器电源高出约15%，但仍会低于工频峰值电压，在电除尘运行在临近闪络电压的情况下，通常没有火花闪络或有很少的火花闪络，大大减少了闪络时对地放电所耗费的电能，同时提高了电晕强度，进而提高了除尘效率。

(四) 高频电源



（四）高频电源

发生火花放电时，传统工频电源再次起晕时间较长，而高频电源再次起晕时间较短。



谢谢大家！