



燃煤锅炉烟气高效除微细颗粒物新技术

谭厚章 教授

西安交通大学 热能工程系

1/4/2022

2013年发电企业节能减排技术论坛





主要内容

1. 治理背景
2. 微细颗粒物控制技术
3. 湿式毛细相变PM控制技术



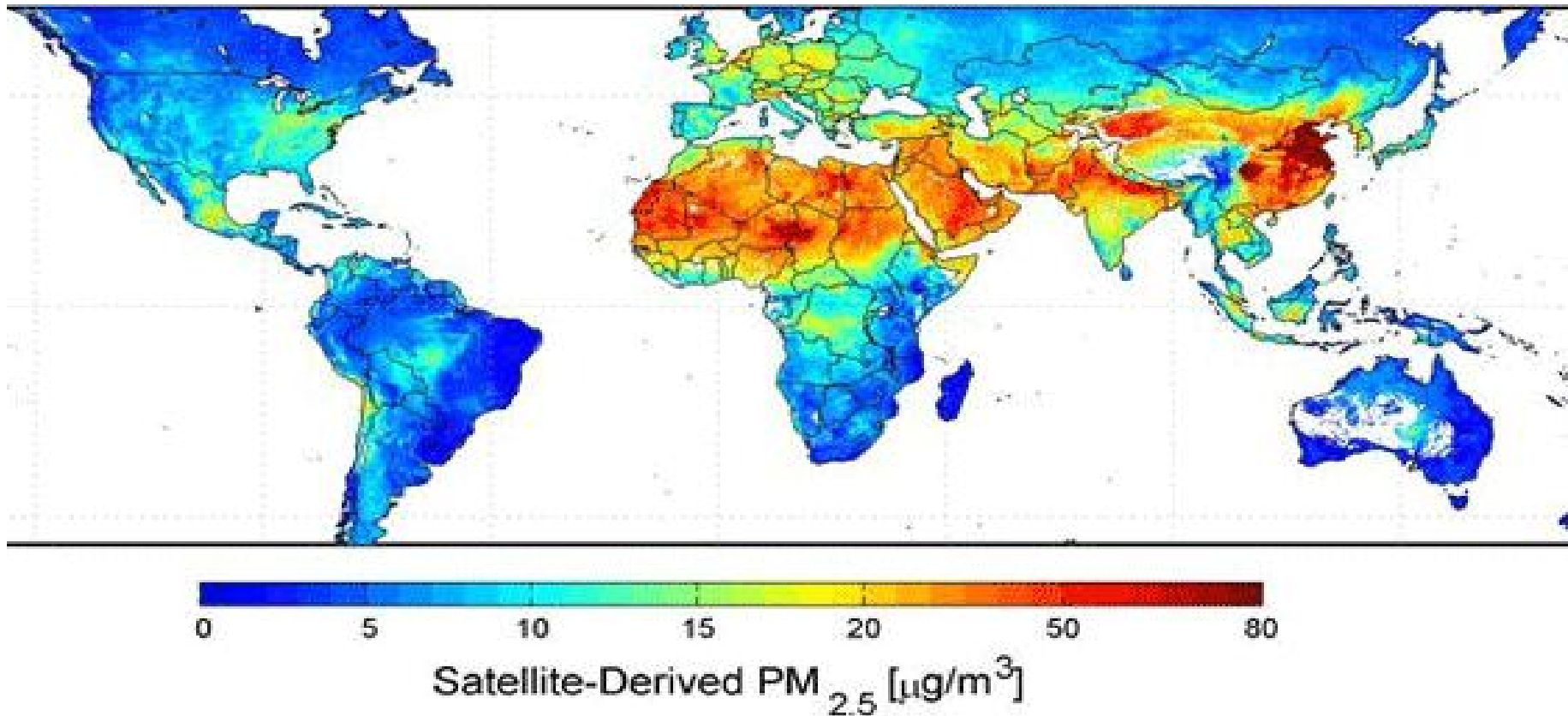


1. 治理背景





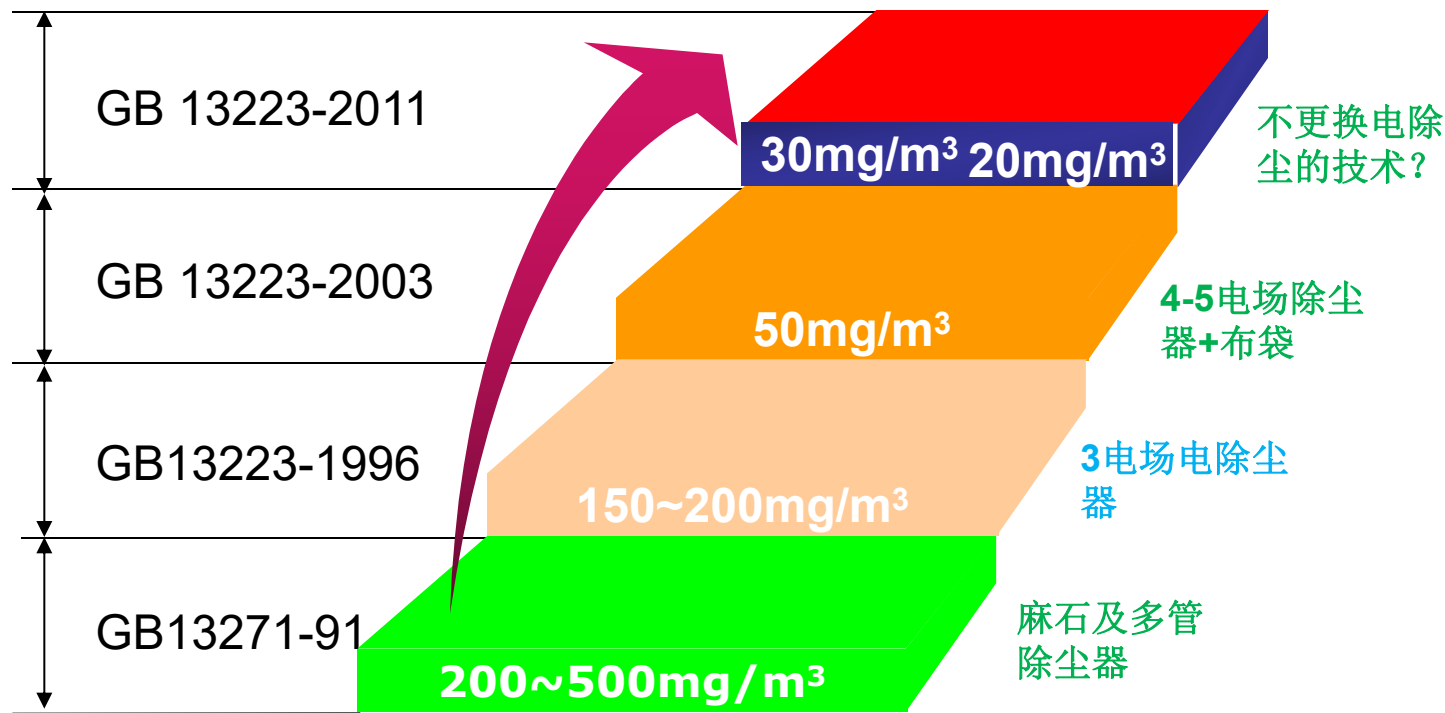
1.3 微细颗粒物的排放现状



NASA于2010年9月发布的卫星监测PM_{2.5}数据，2001-2006平均值。

【图中：颜色由深蓝，浅蓝，到黄色，暗红，代表着PM_{2.5}的浓度越来越高】





GB 13223-2011被称作史上“最严格”的标准，最新标准的出台，意味着相关单位面临着更加巨大的减排压力！





重点区域大气污染防治 “十二五”规划

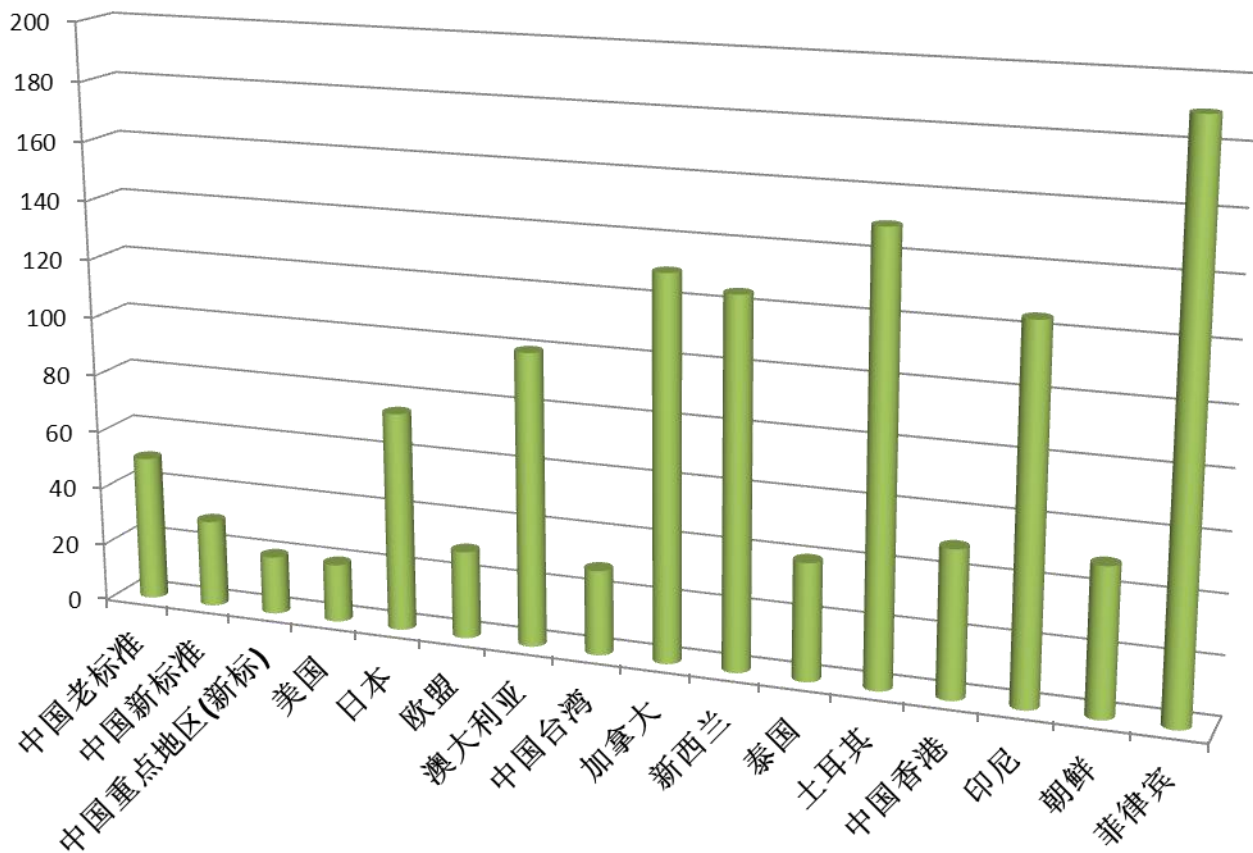
根据《中华人民共和国大气污染防治法》与《中华人民共和国国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》，制定《重点区域大气污染防治“十二五”规划》。规划范围为**京津冀**、**长江三角洲**（以下简称“长三角”）、**珠江三角洲**（以下简称“珠三角”）地区，以及**辽宁中部**、**山东**、**武汉及其周边**、**长株潭**、**成渝**、**海峡西岸**、**山西中北部**、**陕西关中**、**甘宁**、**新疆乌鲁木齐城市群**（具体范围详见附表），共涉及 19 个省、自治区、直辖市，面积约 132.56 万平方公里，占国土面积的 13.81%。

二〇一二年十月





各国火电机组排放限值(mg/m³)





电力公司-----巨大的减排压力！
环保产业-----巨大的机遇！

高效除尘---脱硫---脱硝---精细除尘





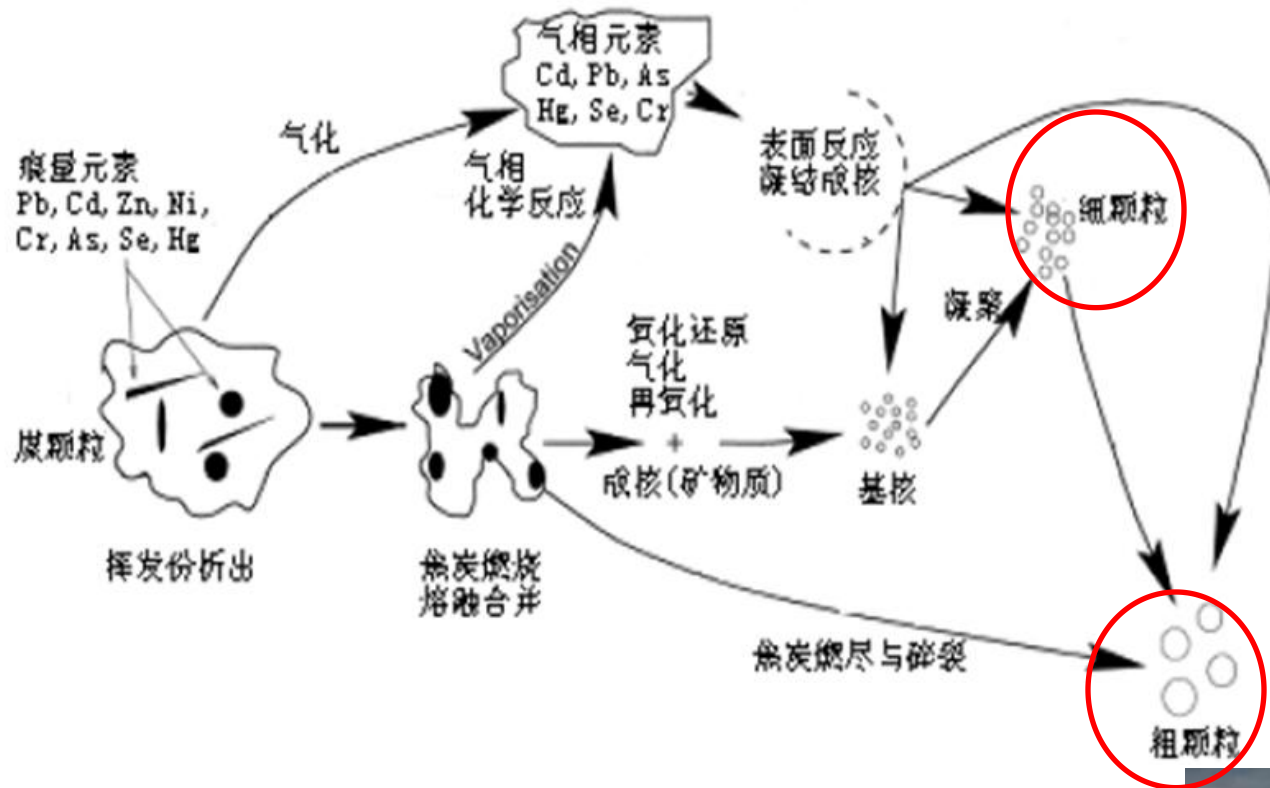
2. 燃煤锅炉微细颗粒物控制技术





2.1 燃烧过程微细颗粒物的生成机理

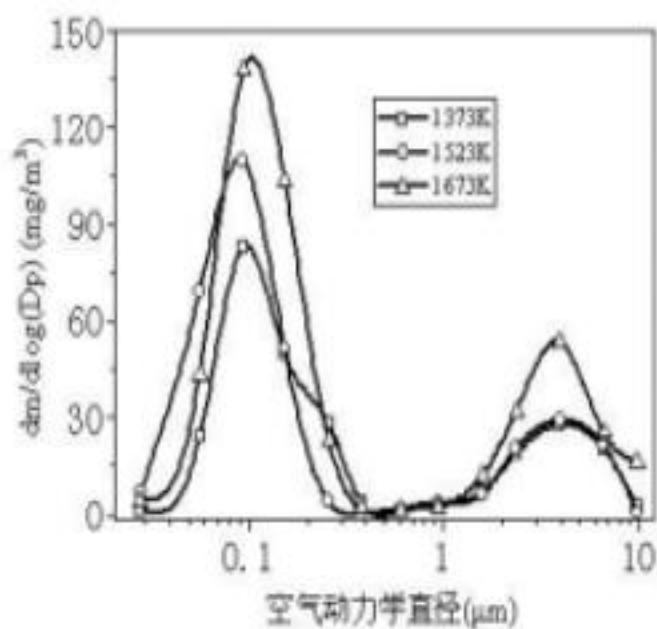
(1) 煤燃烧过程中微细颗粒物的形成机理



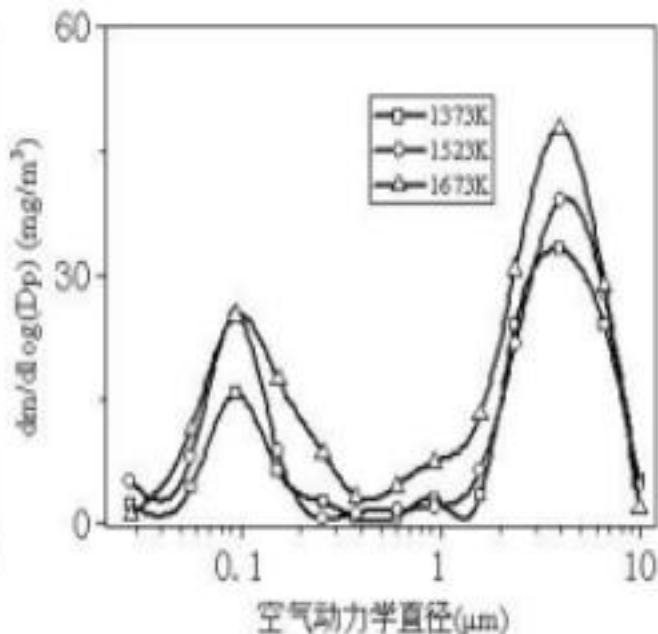


2.2 燃煤微细颗粒物排放特性

(1) 形成过程-粒径分布



(a) 平顶山烟煤、 $N_2:O_2=4:1$



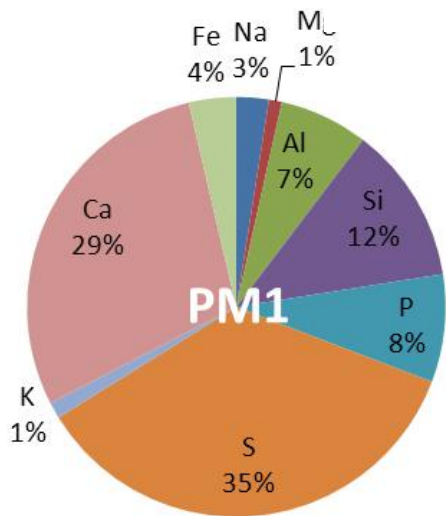
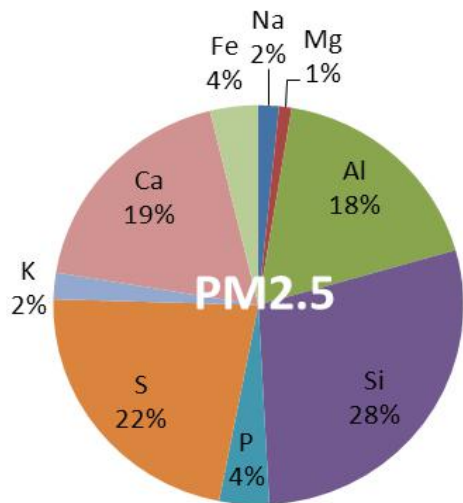
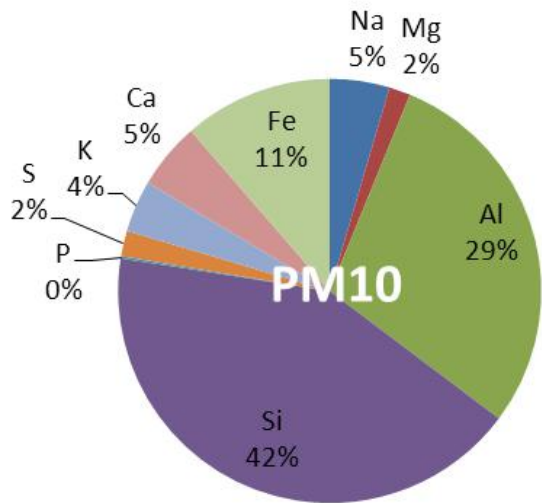
(b) 六盘水烟煤、 $N_2:O_2=4:1$

双峰分布





2.3 颗粒元素组成





2.4 燃煤微细颗粒物控制技术

(1) 总体控制思路

一、使细颗粒物长大再脱除

- 利用电场、声场、磁场、喷入少量化学团聚剂等，增进细颗粒物间的有效碰撞接触，促进其团聚长大；
- 喷蒸汽、水雾，在细颗粒物表面核化凝结、长大等；





目前电厂技术路径

- 1、布袋除尘器：可达标，维护费用、改造费用高；
- 2、电除尘器改造（高频电源、电凝并、旋转电极）：难达标；
- 3、电除尘器+湿式静电除尘器：
 - 可达标，维护费用高，可靠性需检验；
- 4、电除尘器+相变毛细除尘器：
 - 可达标，维护费用低，可靠性需检验；





湿式静电除尘技术-WESP

一、收尘原理

与干式电除尘器一样。

二、特点：

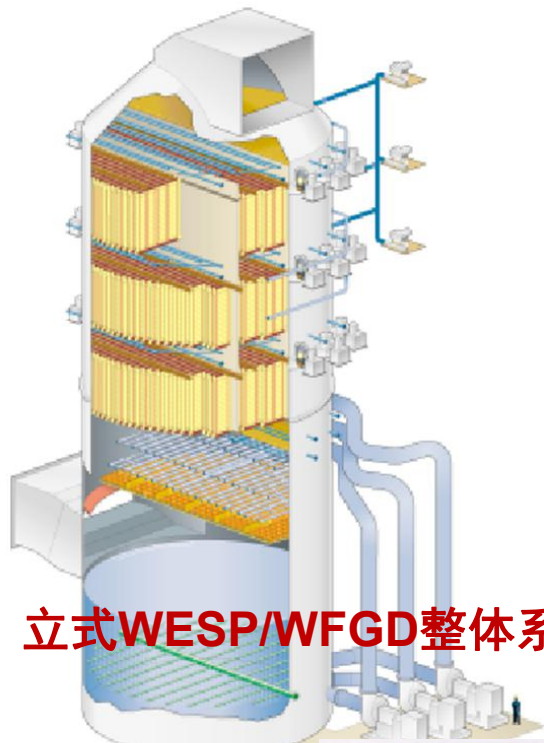
- 采用液体冲刷集尘极表面来进行清灰，代替震打清灰；
- 烟尘排放可达**20mg/m**以下；甚至更低。

问题：集尘极表面的水膜均匀稳定，不产生断流和干区；
集尘极的腐蚀问题。

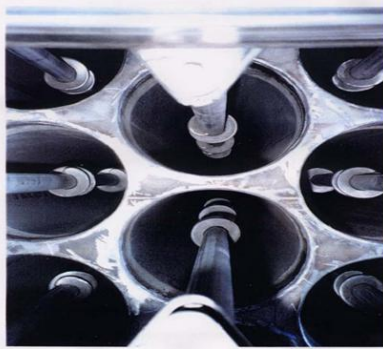
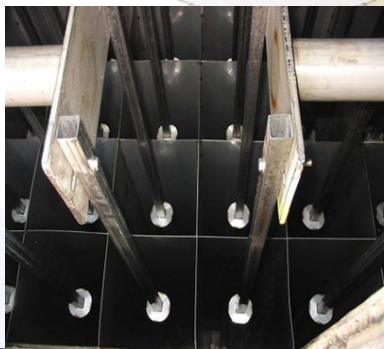




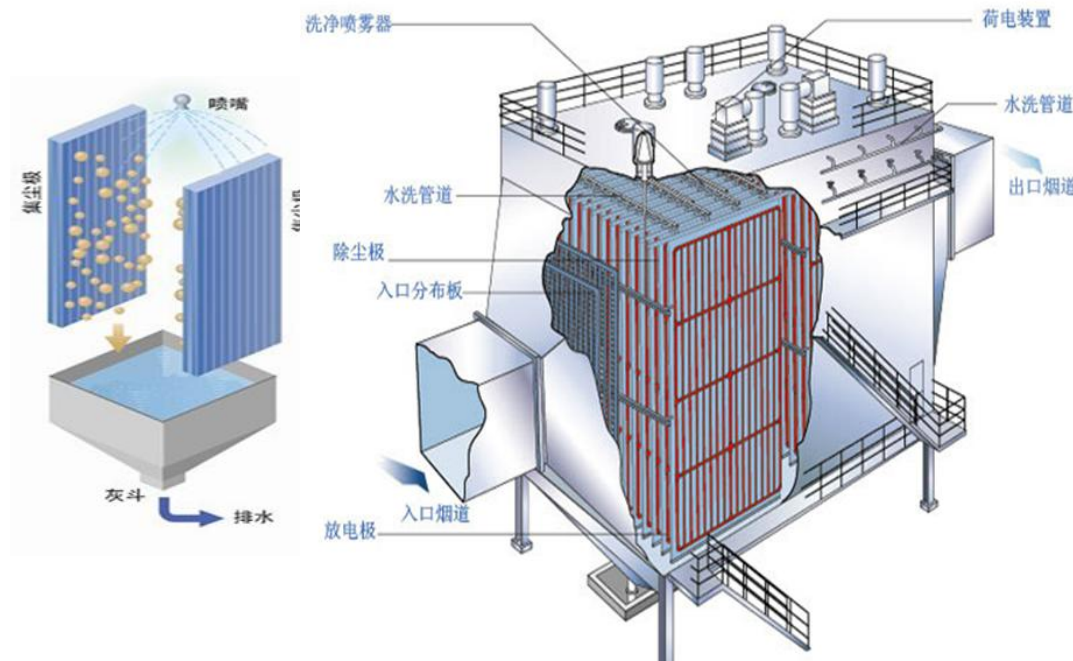
(2) WESP的结构



立式WESP/WFGD整体系统



卧式(大烟气量)湿式电除尘系统结构





(5) WESP的应用现状

国外:

- WESP已经在制酸和冶金等有广泛和成功的应用。在电厂应用还不普及，目前在**北美**仅有几家美国电厂使用WESP来控制烟气混浊度及收集酸雾、粉尘颗粒。
- 在**日本**，日本三菱的WESP已有10多套在燃煤电厂中应用。

国内: 国电环保院、龙净、菲达、西安重型机械研究所（钢铁）、扬州中兴环保（硫酸行业）、山东国舜、热工院





- ❑ **龙净环保**：2011年12月，福建20t/h锅炉上中试，2013年1月，龙净在上海长兴岛第二发电厂一次成功投运。 $< 10\text{mg}/\text{m}^3$
- ❑ **南环院**：2012年底，国电益阳300MW机组投运。阳极材料采用耐酸碱腐蚀柔性布；
成果：颗粒排放为18.5毫克/立方米， **除尘效率=?**
- ❑ **山东国舜工程**：日钢，颗粒物排放17.1、13.92mg/Nm³。
除尘效率70-80%。
- ❑ **西安重型机械研究所**：钢铁工艺除尘， $< 10\text{mg}/\text{m}^3$ ，除尘效率80%以上
- ❑ **扬州中兴环保**：（硫酸行业），除雾效率 $> 90\%$ ，没除尘效率数据。
- ❑ **热工院秦岭电厂中试报告**：出口烟尘浓度16mg/m³；除尘效率80%。

- ❑ 除尘效率低原因：凝聚效率较低。



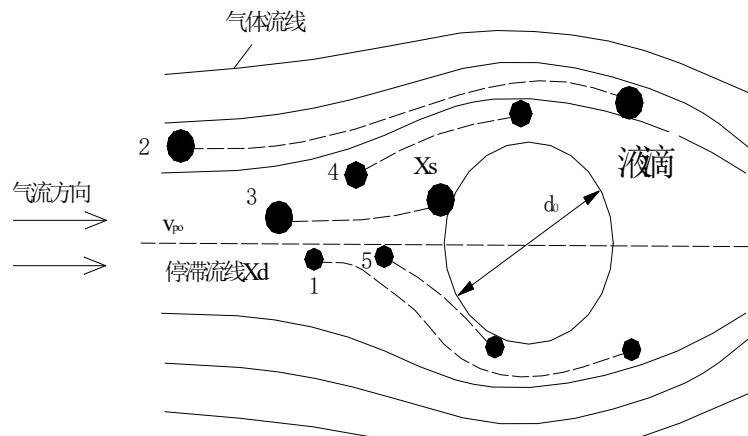


3. 湿式毛细相变PM控制技术



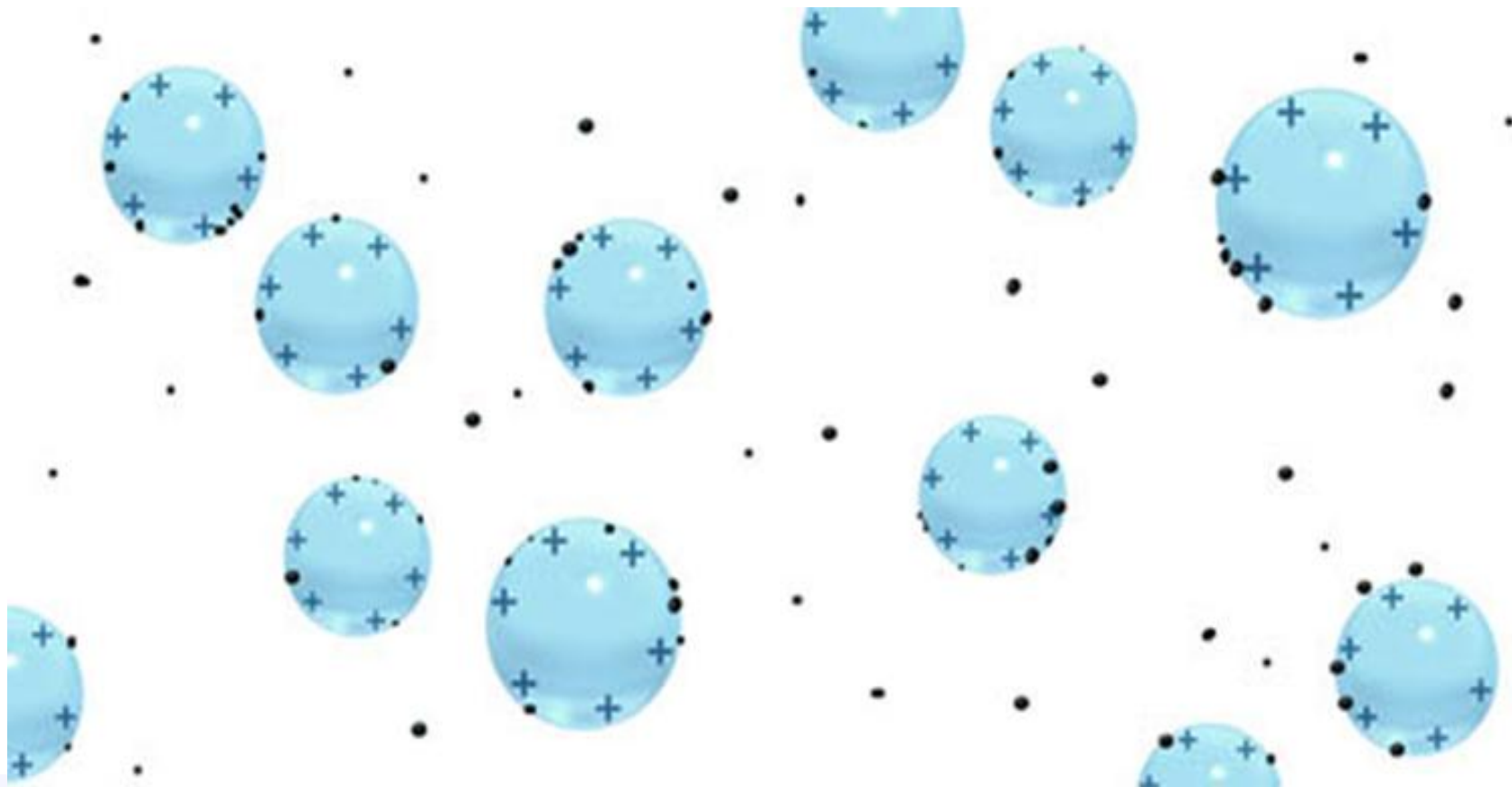
技术启发1：热泳力效应

灯罩、暖气墙壁变黑就是典型的热泳现象。





技术启发2： 雨室洗涤环境





3.1 物理模型建立

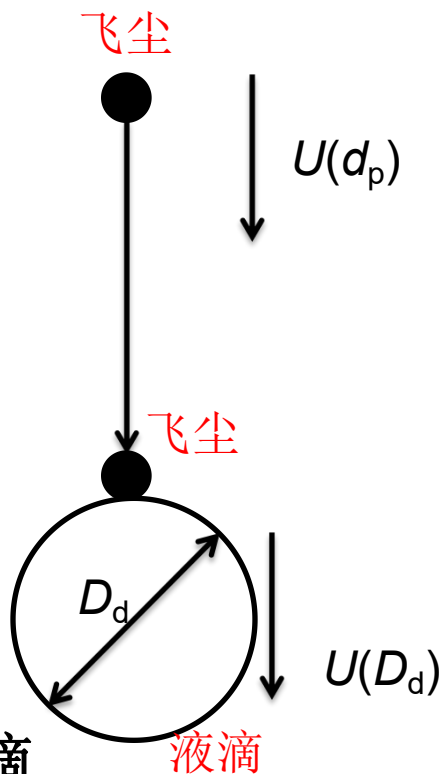
微细粉尘的湿去除可以采用湿沉降的通用动力方程进行描述：

$$\frac{\partial n_p(d_p, t)}{\partial t} = -\Lambda(d_p)n_p(d_p, t) = n_p(d_p, t) \int_{D_{d, \min}}^{D_{d, \max}} K(d_p, D_d)E(d_p, D_d)dD_d$$

其中： $\Lambda(d_p)$ — 飞尘的清除系数，

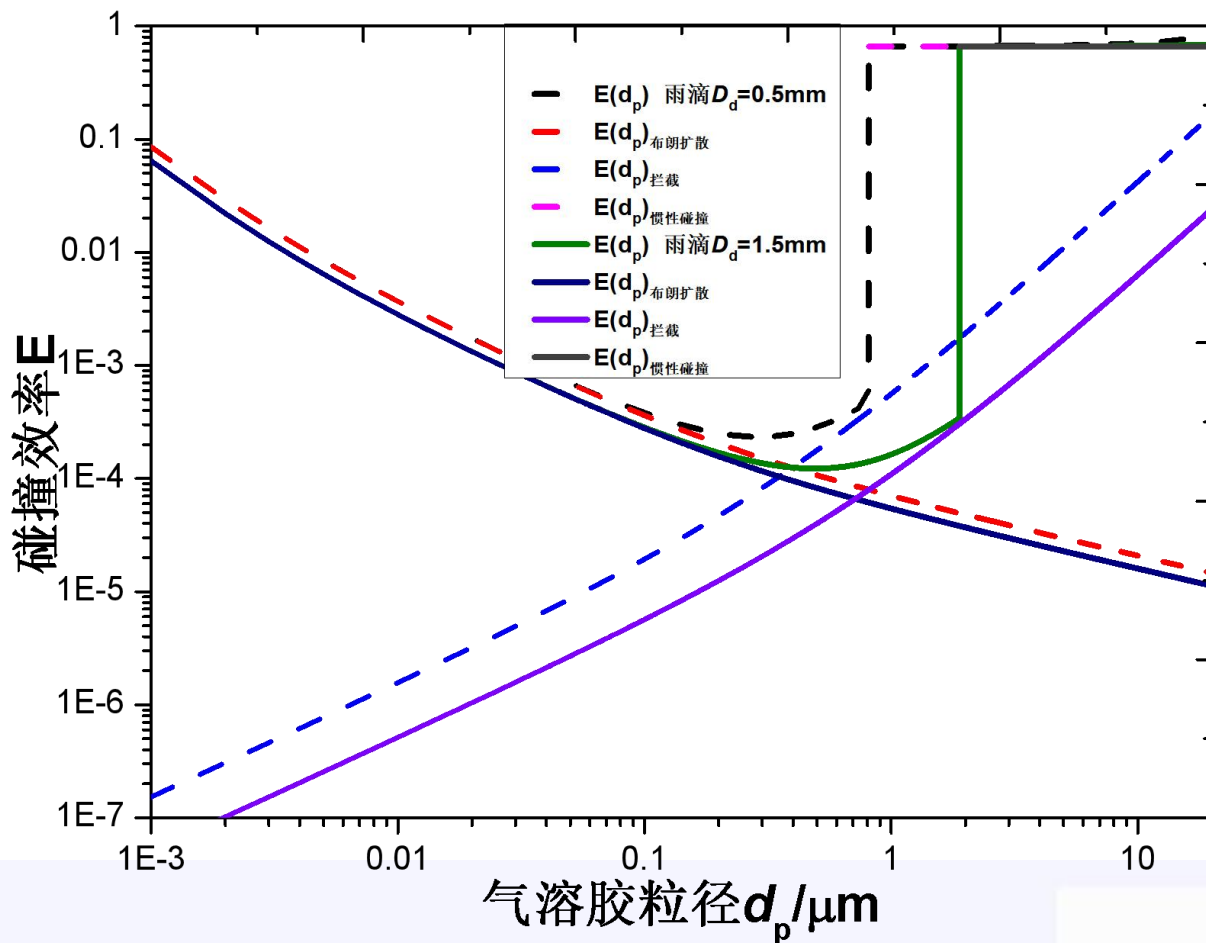
$K(d_p, D_d)$ — 碰撞核或碰撞概率，表示飞尘(d_p)与液滴(D_d)在同一时刻几何轨道发生交叉而碰撞的概率。

$E(d_p, D_d)$ — 碰撞效率，表示同一轨道上交叉的两颗粒由于湍流扩散/布朗扩散等作用滑移开来的效率。



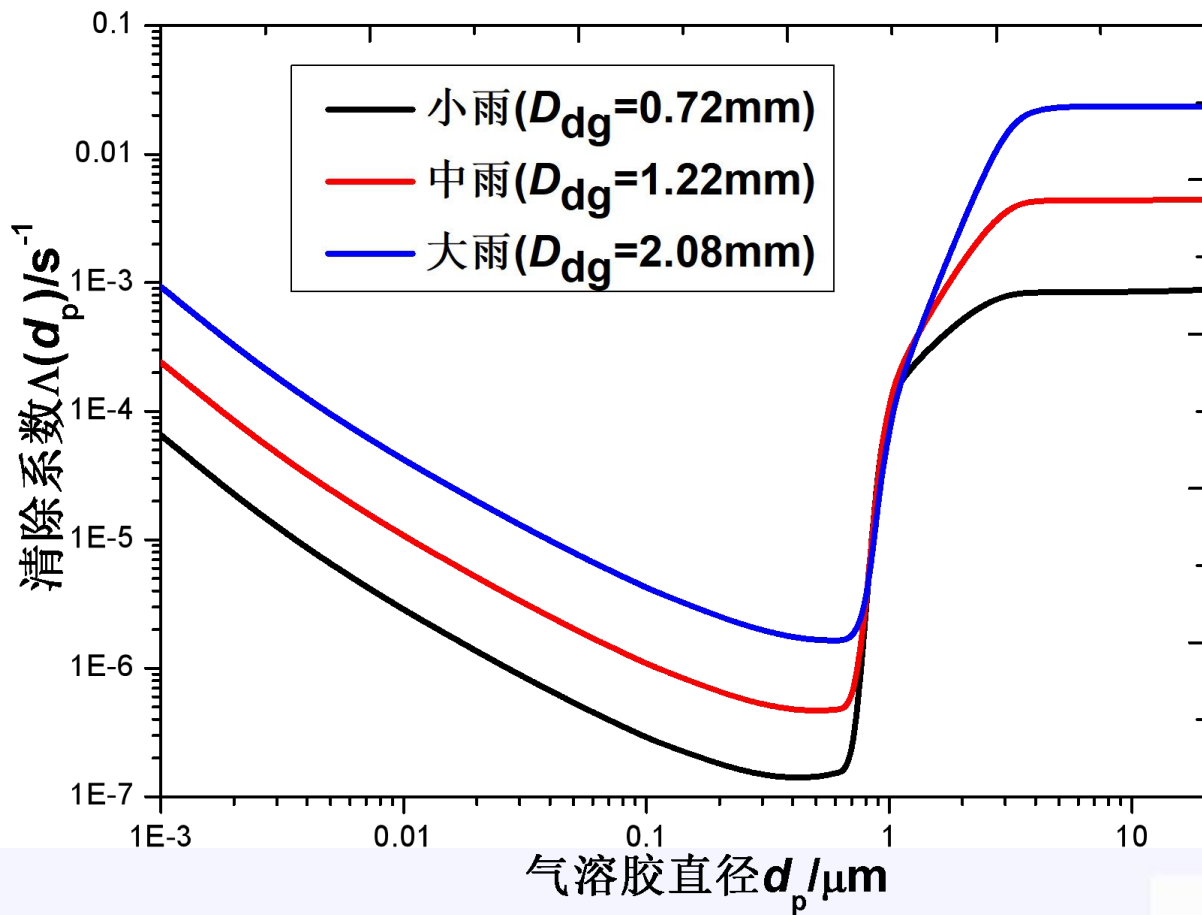


碰撞效率 $E(d_p, D_d)$





清除系数 $\Lambda(d_p)$

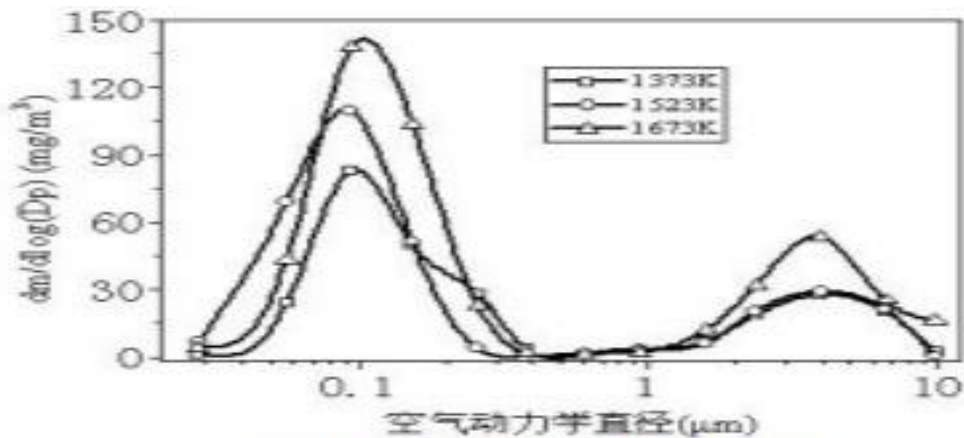
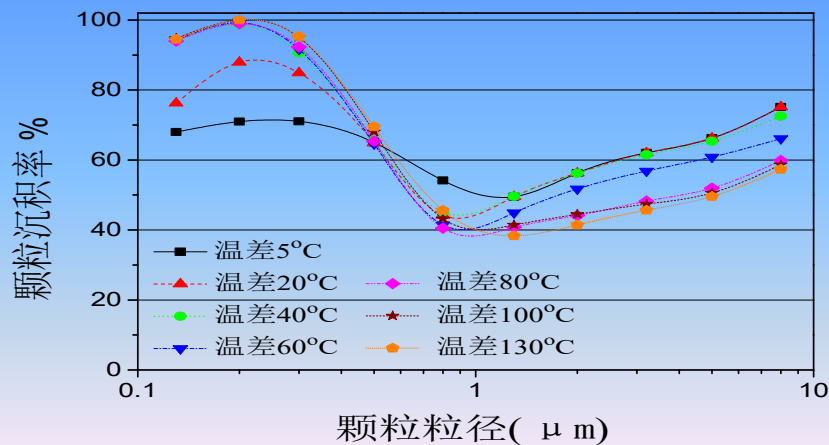


加强饱和湿蒸汽相变程度，调节凝水量。





结构设计：加强布朗扩散，提高亚微米颗粒清除效率：



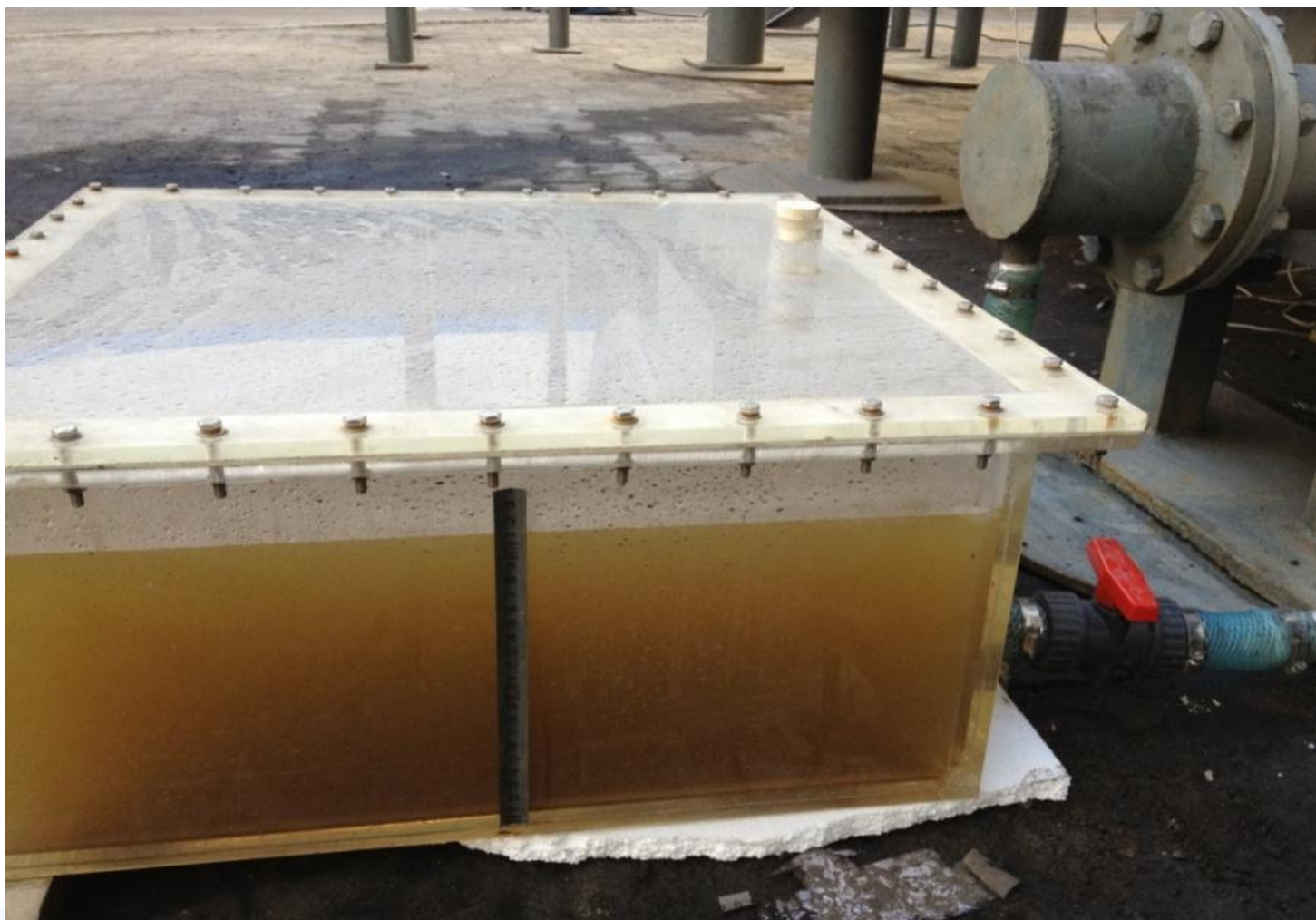
(a) 平顶山烟煤、 $N_2/O_2=4:1$





雨强控制实验台





[video1](#)





表3-1 除尘效果试验数据汇总

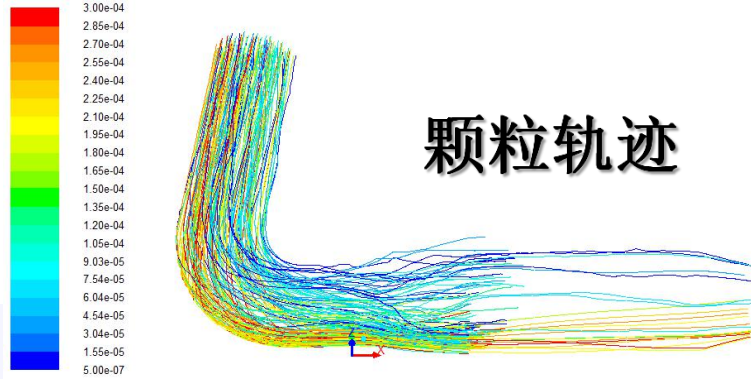
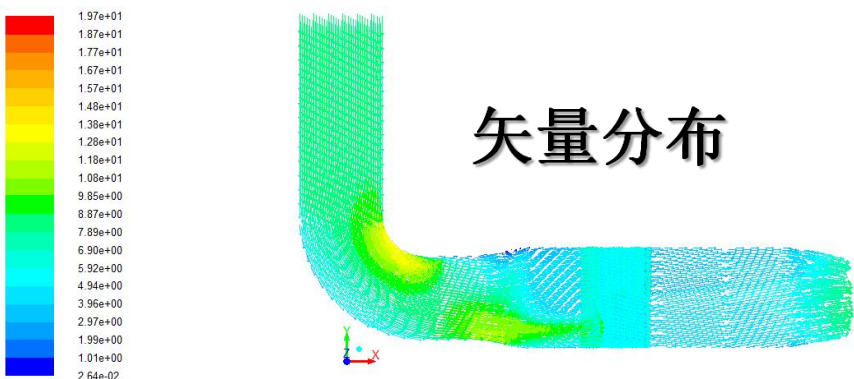
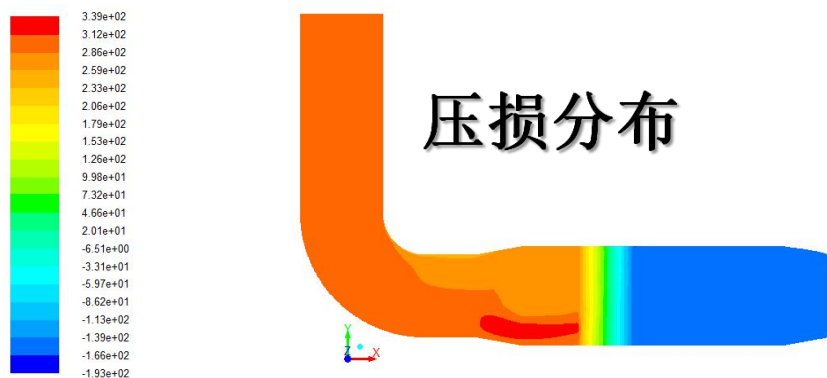
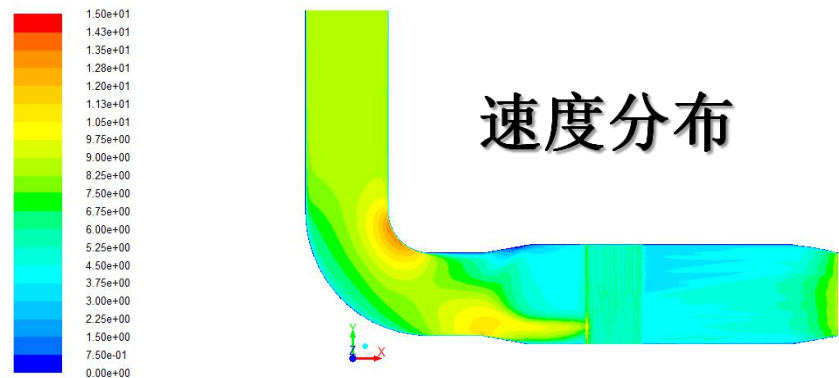
	名 称		符 号	单 位	数 据		
1	工 况				1	2	3
2	试 验 台 入 口	烟道尺寸	D	m	φ1.208	φ1.208	φ1.208
		入口烟气流速	u	m/s	5.8	5.8	5.8
3		烟气流量	Q'	Nm ³ /h	30524	30524	30524
4		烟气温度	θ'	℃	57	57	57
5		采样嘴直径	d	mm	8	8	8
6		采样物料净重	m ₁	mg	78.4	61.2	65.3
7		采样时间	τ	min	40	40	40
8		烟气固态物浓度		mg/Nm ₃	87.8	84.5	90.1
9	试 验 台 出 口	烟道尺寸	D	m	1.5×1.38	1.5×1.38	1.5×1.38
10		烟气流量	Q'	Nm ³ /h	28400	28400	28400
11		烟气温度	θ'	℃	53	53	53
12		采样嘴直径	d	mm	12	12	12
13		采样物料净重	m ₁	mg	50.9	66.7	45.2
14		采样时间	τ	min	180	180	180
15		烟气固态物浓度		mg/Nm ₃	10.9	12.1	10.4
16	除尘效率		η	%	88.4	88.0	88.7





3.2 模型计算及理论分析

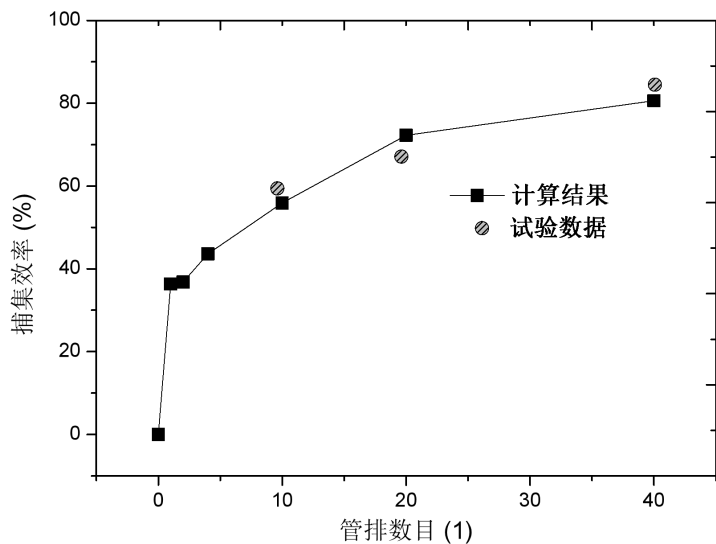
(1) 某应用案例的CFD模型计算结果



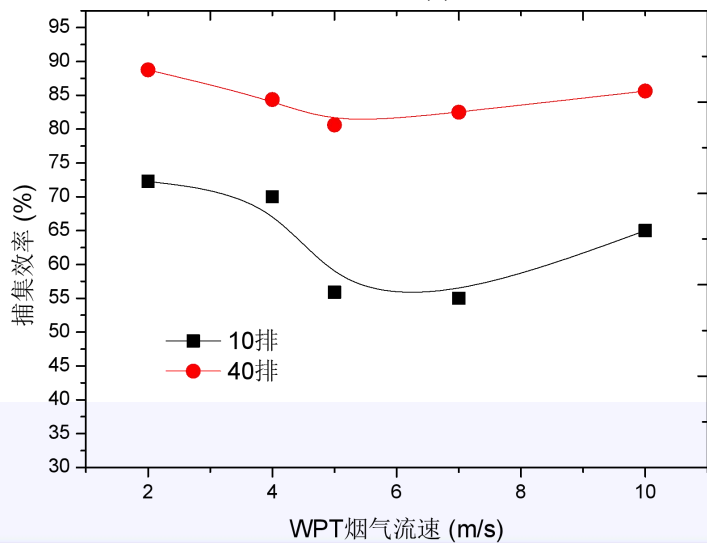
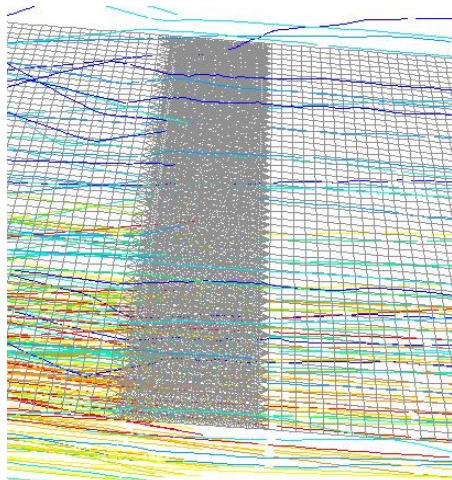


(2) WPT装置的优化设计

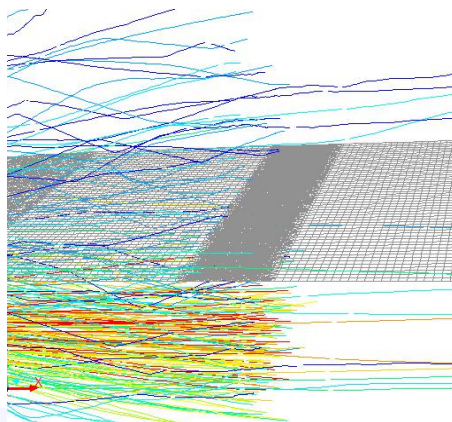
顺错列布置和管排数的影响



布置方式1



布置方式2





3.3 相变毛细技术与WESP技术

湿式电除尘（WESP）	相变毛细除尘（WPT）
对颗粒荷电	对颗粒冷凝凝聚+雨室团聚长大
粒子漂移到极板的距离长350mm	粒子漂移距离短，仅0.1-5mm
总能耗高	总能耗低
适用于粉尘负荷低时，	对高低粉尘负荷的适应性强
高电流引起极板腐蚀加速	不腐蚀（高分子材料）
水膜不均引起极板放电以及积灰	无积灰和水膜不均问题
维护费用高	维护费用低
不可回收余热	可回收大量汽化潜热（唯一）
耗水量大	可回收大量水（唯一）





Thank you !

2022/1/4