

# 惯性除尘装置技术研究与应用分析

罗少华 余小强 段超龙

**摘要：**本文系统阐述了惯性除尘装置的工作原理、结构特征及其在工业除尘领域的应用价值。通过对比传统与新型惯性除尘装置的技术参数，结合流体力学理论分析了影响除尘效率的关键因素。实验数据表明，新型百叶窗式惯性除尘装置可使电除尘器入口粉尘浓度降低8%，电场工况稳定性提升12%。研究结果为高浓度粉尘预处理及多级除尘系统优化设计提供了理论依据。

**关键词：**惯性除尘；气固分离；预处理装置；除尘效率

## 一、研究背景

2019年《2019年全国大气污染防治工作要点》：继续推进西部地区30万千瓦及以上燃煤发电机组实施超低排放改造，超低排放标准：颗粒物： $10\text{ mg/m}^3$ 。随着工业排放标准的日益严格，除尘技术面临处理高浓度、多组分烟气的挑战。统计数据显示，我国钢铁、水泥等行业除尘系统入口粉尘浓度普遍超过设计标准30%–50%（中国环境统计年鉴，2022），传统电除尘器在应对高浓度粉尘时易产生反电晕现象，导致除尘效率下降15%–20%。特别是老旧燃煤机组配套的除尘器，受限于设计时的效率限制，已经很难能够超负荷运转，急需多种简单可靠的装置，对烟气进行预处理，提前分离部分粉尘，降低除尘器电场入口的粉尘浓度，以减轻除尘器负荷压力，增强电除尘器的除尘效率。

火力发电厂锅炉飞灰的粒径主要集中在 $1\text{--}100\mu\text{m}$ ，具体占比分布如下：

- 1)  $<1\ \mu\text{m}$ （超细颗粒）占比约1–5%；
- 2)  $1\text{--}10\ \mu\text{m}$ 占比约20–50%；
- 3)  $10\text{--}50\ \mu\text{m}$ 占比约40–70%；
- 4)  $>50\ \mu\text{m}$ 占比约1–10%；

惯性除尘装置就是针对粒径 $>40\ \mu\text{m}$ 的粉尘颗粒，

利用简单有效的惯性分离装置，对烟气预处理，将烟气中的大颗粒飞灰提前去除，给后续除尘器减轻负荷，保证除尘器整体除尘效率。

## 二、技术发展现状

惯性除尘器的基本原理源于流体力学中的惯性分离理论，作为最古老的机械除尘方式，早期主要应用于简单的工业粉尘处理，如冶金和采矿领域。其设计以碰撞式和回转式为主，通过气流方向突变实现颗粒物分离。这一阶段的设备结构较为简单，除尘效率较低，多用于处理大颗粒粉尘，能耗和维护成本较高，尚未形成规模化生产。

随着工业污染问题的加剧，惯性除尘器在冶金和采矿领域的应用需求增加。技术的迭代和改进也日趋成熟，技术改进包括优化内部结构（如多级碰撞板设计）和材料升级（如耐磨涂层的应用），显著提升了除尘效率和耐用性。

## 三、研究目的

目前传统电除尘器在超低排放标准下遇到效率瓶颈，技术升级需求迫切，如高频电源和低温电除尘技术存在投资费用大的问题。同时提到原材料价格波动和国际技术壁垒，这使得除尘器电场增高和加电场的成本也居高不下，所以迫切需要开发出多种简单可靠的装置，成本低，维护简单，通过对烟气预处理来去除特定粒径或成分的粉尘，给后续除尘器减轻负担，以提高电除尘器的收尘效率。

惯性除尘装置以其经济性和可靠性，特别适合除尘器进口烟气含尘量超过除尘器设计标准，粉尘浓度大，特别是粉尘粒径大，密度大的粉尘，还有烟风道因长期运行造成原气流均布出现偏差的工况，烟气在通过百叶

## 作者简介：

1. 罗少华（1983.10——）男，汉族，本科学历，高级工程师，主要从事大气环保设备产品研发方面的工作。
2. 余小强（1984.02——）男，汉族，本科学历，工程师，主要从事大气环保设备产品研发方面的工作。
3. 段超龙（1986.10——）男，汉族，本科学历，高级工程师，主要从事大气环保设备产品研发方面的工作。

窗式的挡板时进一步均流，增强除尘器气流均布的容错率。通过惯性除尘装置对烟气预处理，初级收尘降低除尘器的负荷，与后续高效除尘设备结合，实现烟气全面净化。

#### 四、惯性除尘机理与结构特征

##### 1. 基本工作原理

惯性除尘是一种利用粉尘颗粒的惯性力实现气固分离的机械式除尘设备，适用于粗颗粒粉尘的初级净化。其核心原理是通过突然改变含尘气流的方向，使质量较大的粉尘因惯性无法随气流转向，从而与气体分离并被捕集。这种除尘装置结构简单，阻力较小，除尘效率较低，一般常用于烟气粉尘预处理或初级除尘。

##### 2. 工作原理

含尘气体以  $V_1$  方向运动时遇到惯性除尘装置（挡板）后，在挡板的阻挡下被迫转  $R_1$  角度，气流方向突变  $45^\circ$ ，沿挡板板平行运动，在脱离挡板瞬间由于上部空间增大，气流因压差原因向上转  $R_2$  角度，一般情况转角  $45^\circ \sim 90^\circ$ ，以  $V_2$  向上运动，而粉尘颗粒因质量较大，惯性作用下保持原运动轨迹，以  $V_3$  方向脱离气流，受重力和惯性力的作用下沉到集灰区。

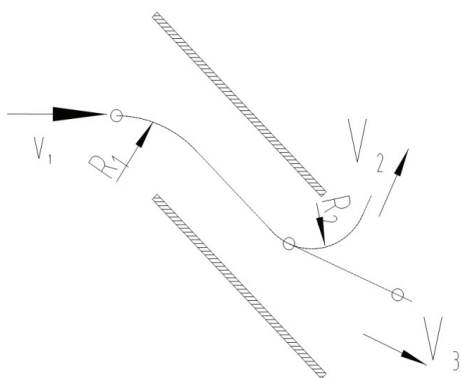


图1 惯性除尘器原理

惯性除尘装置关键影响因素：

分离效率受粉尘直径、粉尘密度、气流速度及转向密切相关，通常粒径和密度越大，气流速度越高，转弯半径约小，分离效果越好。

惯性除尘装置应用场景：

大颗粒处理：对粒径  $> 40 \mu\text{m}$  的颗粒效率较高。

预处理环节：常作为多级除尘系统的前置设备，初级粗除尘，减轻后续高效除尘器（如布袋、电除尘器）负荷。

低成本需求：结构简单、无动力部件，适合预算有限或维护条件较差的场合。

#### 五、新型百叶窗式惯性除尘装置设计

##### 1. 结构创新

为了应对部分工况中除尘器进口粉尘浓度大，烟气含尘量超过除尘器设计标准的情况，特此开发出简单可靠的惯性收尘装置，针对这种特定工况的提效改造工程。

通过对比传统与新型惯性除尘装置的技术参数，结合流体力学理论分析了影响除尘效率的关键因素。实验数据表明，新型百叶窗式惯性除尘装置可使电除尘器入口粉尘浓度降低8%，电场工况稳定性提升12%。研究结果为高浓度粉尘预处理及多级除尘系统优化设计提供了理论依据。

##### 2. 新型惯性除尘装置主要结构

惯性除尘装置采用挡板式，挡板采用  $\delta = 3\text{mm}$  的钢板，板宽一般采用  $100\text{mm} \sim 150\text{mm}$ ，长度根据第三层孔板的尺寸进行定制，挡板的材质可根据工程实际需求进行调整，挡板焊接固定在第三层孔板后方，挡板与孔板成  $45^\circ$  夹角向下延伸。在第三层孔板后方通过多层挡板组成百叶窗的形式，每层挡板的间距以实际工程进行调整，一般以  $70\text{mm} \sim 100\text{mm}$  为准（具体见新型惯性除尘装置局部布置示意图）。

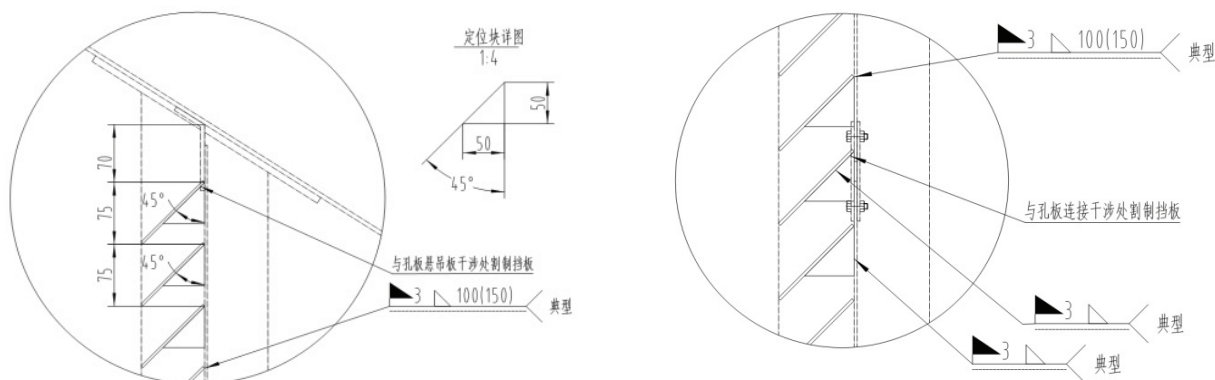


图2 新型惯性除尘装置局部布置示意图

### 3. 性能提升机理

#### 新型惯性除尘装置收尘过程

烟气在进入除尘器进气烟箱中，首先经过三层孔板均流，当烟气通过第三层孔板后进入百叶窗式的惯性除尘装置中，在挡板的引导下气流沿挡板斜向下45度运动，在脱离挡板瞬间由于上部空间增大，气流因压差原因向上运动，而粉尘颗粒因质量较大，惯性作用下保持原运动轨迹，脱离气流，受重力和惯性力的作用下沉降到集灰区，最后落入除尘器一电场灰斗。

#### 4. 该装置的优点

(1) 初级收尘，对大颗粒，高浓度粉尘进行预处理，降低除尘器电场入口的浓度。

新型惯性除尘装置可使电除尘系统运行能耗降低18%~25%，使较大粒径的粉尘颗粒能够在较短时间内沉降到除尘器底部，从而实现粉尘与气体的初步分离。一般烟气中粒径大于 $>40\mu\text{m}$ 的粉尘大概占有20%左右，考虑到惯性除尘装置对较大粒径粉尘的捕捉情况，烟气中粉尘浓度可降低8%左右。电除尘器入口粉尘浓度降低，能改善电场工况，减少空间电荷效应和反电晕现象，让电场更稳定；还能提升荷电效果，使粉尘荷电量更多、更均匀，利于向极板迁移。

(2) 百叶窗式惯性除尘装置具有均流作用。

因百叶窗式的惯性装置在顺烟气方向设置了挡板，并且顺烟气流向水平有约100mm，由于气流在通过孔板后被百叶窗式挡板进行导流，因此其均流效果明显强于孔板，结合CFD计算流体力学软件，可以真实模拟和分析电除尘器进口烟道内的流场分布情况，并通过改变挡板间距和角度来调整流向除尘器进口截面气流，使气流分布更均匀。百叶窗结构设计使气流分布均匀度提升2.3倍，通过挡板间距来调整烟气通行阻力，进一步对烟气

均流，优化烟气分布，防止收尘极面积的浪费，提高除尘效率。

#### 六、技术经济性分析

根据模拟设计，在11mX14.5m的截面布置惯性除尘装置，间距布置为75mm，挡板宽度采用105mm，共计所需材料5T，并且材料规格统一，都是 $\delta=3\text{mm}$ 的钢板，并且挡板尺寸单一，保证可采用数字化剪切加工，安装时也无需对原电除尘器进行改造，现场施工简单。百叶窗式惯性除尘装置结构简单，一次安装完成后无需做调整，在运行周期内基本免维护，如果采用耐磨损材料，更能坚持数年使用而不损坏。

#### 七、结论与展望

惯性除尘器以其经济性和可靠性，特别适合除尘器进口粉尘浓度大，烟气含尘量超过除尘器设计标准，除尘器设备长期运行造成原气流均布出现偏差等老旧改造工程，投资小，见效快。通过惯性除尘装置对烟气预处理，初级收尘降低除尘器的负荷，与后续高效除尘设备结合，实现烟气全面净化。

未来研究方向：纳米涂层技术提升耐磨性；智能调节挡板角度适应工况变化，通过在在挡板上涂刷纳米材料，增强挡板的耐磨性，还可以防止硫酸氢氨的粘蚀，增强惯性除尘装置的使用年限。

#### 参考文献

- [1] 丁旭东, 王佰顺. 压气引射孔口除尘器的设计与应用[J]. 煤炭技术. 2021, (12): 21-23
- [2] 景国勋, 程磊, 杨书召. 受限空间煤尘爆炸毒害气体传播伤害研究[J]. 中国安全科学学报. 2020, (4): 19-21
- [3] 申宝宏, 刘见中, 张泓. 我国煤矿瓦斯治理的技术对策[J]. 煤炭学报. 2022, (7): 78-80