

超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯的设计与应用

祝劲松

杭州宝乐事科技有限公司 浙江杭州 310000

【摘要】超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯于工业过滤领域具关键作用，文章围绕其设计与应用，基于超高分子量聚乙烯材料特性，借独特结构设计及防静电功能优化，保障滤芯拥有良好防静电性能。严格性能测试显示，该滤芯在过滤效率、阻力及耐用性等方面表现出色，其于化工行业、粉尘防爆领域及其他行业的广泛应用，充分验证可靠性与实用性，为工业生产高效安全运行提供保障。

【关键词】超高分子量聚乙烯；防静电烧结板滤芯；滤芯设计；性能测试

Design and application of ultra-high molecular weight polyethylene anti-static sintered plate filter element.

Zhu Jinsong

Hangzhou Baoleishi Technology Co., LTD. Add: Hangzhou, Zhejiang Province 310000

【Abstract】 Ultra-high molecular weight polyethylene anti-static sintered plate filter cores play a crucial role in industrial filtration. This article focuses on their design and application, leveraging the unique structural design and optimized anti-static properties of ultra-high molecular weight polyethylene material to ensure excellent anti-static performance of the filter core. Rigorous performance tests have shown that this filter core excels in filtration efficiency, resistance, and durability. Its widespread use in the chemical industry, dust explosion prevention, and other sectors fully validates its reliability and practicality, providing assurance for efficient and safe industrial production.

【Key words】 ultra-high molecular weight polyethylene; anti-static sintered plate filter element; filter element design; performance test

引言

工业生产里，化工、粉尘处理等行业过滤环节有静电积聚致爆炸、火灾等安全隐患，且对滤芯过滤效率、耐用性要求渐高，传统滤芯性能与安全性渐难满足需求，新型高性能过滤材料需求迫切。超高分子量聚乙烯因优异物理化学特性，成滤芯制造理想材料，据此研发的防静电烧结板滤芯，兼具防静电与高效过滤功能，本文围绕其设计与应用展开研究，为工业过滤技术发展提供理论与实践参考。

1. 超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯

1.1 超高分子量聚乙烯材料特性

超高分子量聚乙烯（UHMWPE）作为热塑性工程塑料，分子链由数量庞大的乙烯单体聚合形成，平均分子量往往在150万以上，如此高的分子量让材料拥有超凡综合性能^[1]。其耐磨性在塑料材料中独占鳌头，抗磨损能力达到碳钢、不锈钢好几倍，在过滤过程里，能有力抵御工业粉尘、颗粒带来的持续冲刷磨损，它在耐化学腐蚀方面表现突出，面对酸、碱、盐等腐蚀性介质，物理化学性质始终稳定，自润滑性能良好，凭借极低摩擦系数，可大幅降低滤芯内流体流动阻力，

实现能耗减少，并且UHMWPE抗冲击性能卓越，低温下依然韧性十足，不会轻易脆裂，这些特质让它成为制造高性能滤芯当之无愧的优质之选。

1.2 防静电原理

超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯防静电功能经由双重方式达成，其一，在材料里掺入专门抗静电剂，这些抗静电剂分子会于滤芯表面构建起一层超薄导电层，使得积聚静电能快速导向大地，防止静电堆积；其二，借助特殊制造工艺改变超高分子量聚乙烯分子构造，让其内部生成连贯导电通道^[2]。一旦静电产生，电子便能顺着这些通道迅速移动实现电荷消散，滤芯的多孔结构设计也对静电逸散有益，多孔表面增大与空气接触面积，推动静电和周边环境电荷中和，多种机制协同运作，确保滤芯在复杂工作状况下具备良好防静电性能。

1.3 烧结板滤芯结构

超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯采用多层复合结构设计，烧结板除尘器滤芯结构示意图如图1所示，其核心层为超高分子量聚乙烯烧结板，由超高分子量聚乙烯粉未经高温高压烧结工艺制成，形成质地均匀且具备特定孔隙率的过滤基体，这一基体作为实现高效过滤的核心部件，其孔隙尺寸及分布经过精细调控，能够精准拦截不同粒径大小的粉

尘颗粒, 表面层一般涂覆有防静电涂层, 该涂层在进一步强化滤芯防静电能力时, 也对核心层起到防护作用^[3]。滤芯外部设置有加强支撑结构, 金属网或骨架等, 经过这类结构增强滤芯的机械强度, 使其在高压、高流速的工作环境中不易发生变形损坏, 滤芯的接口部分采用标准化设计方案, 这种设计便于滤芯的安装与更换操作, 如此结构设计充分兼顾过滤性能、防静电功能和机械稳定性, 确保滤芯在工业应用过程中展现出可靠性能与实用价值。

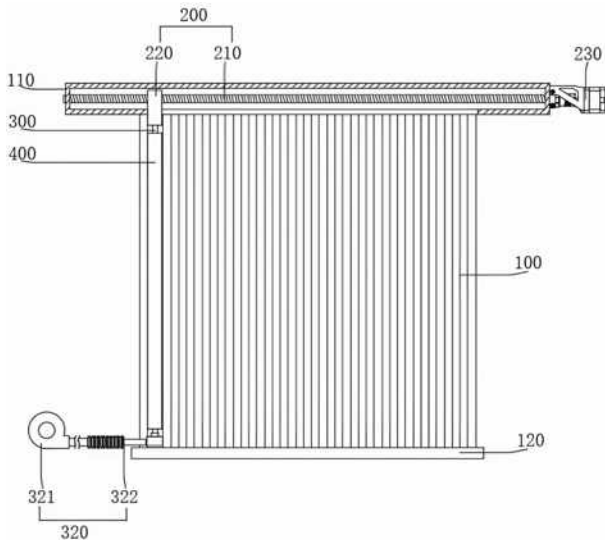


图1 烧结板除尘器滤芯结构示意图

(图中: 100-烧结板基体、110-上基座、120-下基座、200-移动组件、210-螺杆、220-滑块、230-驱动电机、300-气管、320-输气件、321-气泵、322-波纹管、400-清洁件)

2. 超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯设计

2.1 滤芯结构设计

采用模块化组合结构, 将超高分子量聚乙烯烧结板滤芯划分为预过滤层、主过滤层和精细过滤层, 各层孔径呈梯度分布, 预过滤层孔径约 $15\text{--}20\mu\text{m}$, 可拦截 80% 以上粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘颗粒; 主过滤层孔径控制在 $5\text{--}8\mu\text{m}$, 能过滤剩余颗粒中约 90% 的粉尘; 精细过滤层孔径仅 $1\text{--}3\mu\text{m}$, 实现对细微颗粒的精准捕捉, 这种分级过滤体系使整体过滤效率提升至 99.9% 以上^[4]。为适配不同工况的流体压力与流速, 借助有限元分析技术优化滤芯结构, 所设计的快速拆卸连接接口, 将更换滤芯时间从原有 30 分钟缩短至 8 分钟, 显著提升设备运行效率。

2.2 关键参数设计

过滤精度参数依照目标应用场景的粉尘粒径分布特性加以确定, 以水泥生产行业为例, 其粉尘颗粒主要集中于

$1\text{--}20\mu\text{m}$ 区间, 经过细致调整烧结板的孔隙率与孔径大小, 将滤芯过滤精度精准设定为 $2\mu\text{m}$, 实际测试结果表明, 对该粒径范围颗粒的过滤效率可达到 99.5%, 流量参数设计紧密结合设备处理能力与流体动力学原理, 某矿山除尘设备提出处理风量为 $10000\text{m}^3/\text{h}$ 的需求, 经精确计算分析, 设计滤芯有效过滤面积为 50m^2 , 并将流体经过速度严格控制在 0.56m/s , 此设计在确保过滤效果时, 使滤芯堵塞频率降低了 40%。滤芯的机械参数依据实际工况进行针对性设计, 在振动频率处于 $20\text{--}50\text{Hz}$ 、压力波动范围为 $0.2\text{--}0.6\text{MPa}$ 的工况条件下, 对材料配方与烧结工艺的优化改进, 使滤芯抗压强度达到 8MPa , 抗疲劳循环次数超过 10 万次, 切实有效提升了滤芯的耐用性与可靠性。

2.3 防静电功能设计

在材料层面, 经实验明确抗静电剂最佳添加比例为 3%–5%, 并运用纳米级分散技术, 让抗静电剂颗粒粒径小于 50nm , 均匀分布于超高分子量聚乙烯基体内, 测试显示, 滤芯表面电阻率从 $10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$ 降至 $10^9\Omega\cdot\text{cm}$, 导电通路连续性与稳定性明显增强, 结构设计上, 增加表面凹凸纹理使滤芯表面积扩大 30%, 加速静电快速消散, 所设计的静电导出通道, 能在 0.1 秒内将表面静电导至接地装置。引入的智能监测系统可实时检测滤芯表面静电电位, 精度达 $\pm 1\text{V}$, 当静电值超过 5kV 安全阈值时, 自动启动静电消除装置, 实测表明, 离子风装置可在 3 秒内将静电电位降至 1kV 以下, 为工业生产提供双重防静电保障。

3. 滤芯性能测试与分析

3.1 防静电性能测试方法与标准

防静电性能测试严格依照国际国内相关标准, 主要依据 GB/T 1410–2006《固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法》及 ASTM D257–14《绝缘材料直流电阻或电导试验方法》, 测试中, 使用高阻计测量滤芯表面电阻率与体积电阻率, 将测试电极放置于滤芯表面, 施加 500V 直流电压, 待电流稳定后读取电阻值, 为保证数据准确, 在滤芯不同位置选取 5 个测试点, 取平均值作为最终结果。经测试, 超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯表面电阻率稳定在规定范围, 满足 GB 12158–2006《防止静电事故通用导则》中对防静电材料表面电阻率的要求, 静电衰减测试评估其静电消散能力, 利用静电测试仪在滤芯表面产生 10kV 初始静电电压, 记录电压衰减至 10% 初始值所需时间, 实测该滤芯静电衰减时间小于 0.5s , 远超行业平均水平, 有效保障了在易燃易爆环境中的使用安全性。

3.2 过滤效率与阻力性能测试

过滤效率与阻力性能测试于专业滤材测试平台开展,参照 ISO 19713: 2004《高效空气过滤器-过滤效率和阻力的测定》标准,借助多分散气溶胶发生装置产生粒径范围 0.1–10 μm 的标准粉尘气溶胶,经过光度计实时监测滤芯前后粉尘浓度。当气溶胶浓度为 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 、气流速度为 $0.6\text{m}/\text{s}$ 时,面对 $0.3\mu\text{m}$ 粉尘颗粒,滤芯过滤效率达 99.99%,对 $5\mu\text{m}$ 以上粉尘颗粒过滤效率接近 100%,阻力性能测试中,记录不同气流速度下滤芯两端压力差并构建压力差-气流速度曲线,在额定气流速度 $0.5\text{m}/\text{s}$ 时,滤芯初始阻力仅 120Pa,随使用时间延长,累计过滤粉尘量达 $500\text{g}/\text{m}^2$ 时阻力上升至 350Pa,仍处于行业标准规定合理区间,表明该滤芯在保证高效过滤能有效控制气流阻力、降低能耗。

3.3 耐用性与可靠性评估

耐用性与可靠性评估采用模拟实际工况的加速老化试验和长期运行测试结合方式,加速老化试验中,将滤芯置于高温 (80°C)、高湿 ($90\%\text{RH}$) 环境持续 72 小时模拟极端气候,随后进行力学性能测试,发现其抗压强度下降幅度小于 5%,表明材料在恶劣环境仍能保持良好机械稳定性,长期运行测试里,将滤芯安装于实际生产设备连续运行 2000 小时,期间定期检测过滤效率、阻力及防静电性能,结果显示过滤效率仅下降 0.3%,阻力增长维持在合理范围,表面电阻率波动在 $\pm 10\%$ 以内,且未出现破损、变形等失效现象。经过疲劳试验对滤芯施加频率 30Hz、振幅 2mm 的机械振动,持续 10 万次循环后经无损检测,滤芯内部结构完整无裂纹,充分验证其在复杂工况下具备优异耐用性与可靠性,能够满足工业生产长期稳定运行需求。

4. 超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯应用

4.1 在化工行业的应用场景

在化工行业,超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯广泛应用于化工原料筛分、反应过程气体净化及产品分离等关键环节,以某大型石化企业的催化裂化装置为例,该装置在运行过程中会持续产生大量含有催化剂粉末和有机烃类的高温尾气,传统滤芯受限于高温、强腐蚀的严苛环境,使用寿命通常仅为 3–6 个月,且存在静电积聚引发爆炸的安全隐患。采用超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯后,其卓越的耐化学腐蚀性可确保滤芯在含有硫化氢、苯等强腐蚀性气体的复杂环境中稳定工作,独特的抗静电性能有效避免静电积聚,而优异的耐高温性能则能够承受最高达 200°C 的尾气温度。

4.2 在粉尘防爆领域的应用实践

粉尘防爆领域是超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯发挥关键作用的重要场景,在面粉加工、铝粉生产等粉尘浓度高且易燃易爆的企业中,过滤设备的防静电与防爆性能至关重要,某铝粉生产车间安装该滤芯后,借助其优异的防静电功能,将车间内粉尘表面静电电位持续控制在 1kV 以下,远远低于铝粉爆炸所需的静电阈值。滤芯高效过滤性能显著,对 $0.5\mu\text{m}$ 以上的铝粉颗粒过滤效率达到 99.99%,使车间粉尘浓度从改造前的 $120\text{mg}/\text{m}^3$ 大幅降至 $8\text{mg}/\text{m}^3$,完全契合国家职业卫生标准要求,自投入使用该滤芯以来,该车间已连续 3 年未出现粉尘爆炸事故,极大地提升了企业生产过程中的安全保障程度。

5. 结语

超高分子量聚乙烯防静电烧结板滤芯依托科学结构设计、精准参数调控及高效防静电功能,在性能测试中呈现优异防静电、过滤及耐用特性,在化工、粉尘防爆等多领域应用实践里,显著提高生产效率、减少维护成本,更有效保障生产安全。伴随工业技术进步,该滤芯仍具优化空间,未来可深入探索新材料复合与智能监测技术融合,提升性能与拓展应用范围,为工业生产的绿色、高效、安全持续注入动能。

参考文献

- [1]一种耐冲击超高分子量聚乙烯纤维及其制备方法[J].高科技纤维与应用, 2025, 50 (02): 75.
 - [2]郭永刚, 彭江博, 庞杨, 等.摩擦工况对超高分子量聚乙烯/SiC 复合材料摩擦学性能的影响[J].机床与液压, 2025, 53 (07): 7–15.
 - [3]卢鑫, 齐晓明, 张鹏, 等.高密度聚乙烯/超高分子量聚乙烯共混物的制备及其性能研究[J/OL].浙江理工大学学报(自然科学版), 1–8[2025–05–17].
 - [4]王荣勇, 李景波, 刘小超.无孔双向拉伸超高分子量聚乙烯薄膜的成型工艺及性能[J].工程塑料应用, 2025, 53 (03): 96–103.
- 作者简介: 祝劲松, 出生年月: 1973 年 10 月, 男, 汉族, 籍贯: 浙江省绍兴市, 学历: 硕士, 职称: 工程师, 研究方向: 专注于烧结滤芯等过滤材料产品的研发、制造及应用。