# 活性炭 技术白皮书

活性炭作为一种具有高度发达孔隙结构、超大比表面积、优异吸附性能的多孔炭材料，是工业环保、废气治理、水处理、食品医药、空气净化等领域的核心吸附材料，广泛应用于 VOCs 治理、漆雾净化、工业废水深度处理、饮用水净化、异味去除、溶剂回收等场景。随着 “双碳” 目标推进、环保政策趋严、工业精细化生产升级，活性炭已成为环保治理与工艺优化的关键耗材，其性能直接决定治理效率、运行成本与合规水平。

本白皮书围绕活性炭的吸附原理、原料分类、生产工艺、核心性能指标、产品形态、选型逻辑、应用场景、安装运维、再生技术及行业趋势展开系统阐述，结合 GB/T 30202-2023《煤质颗粒活性炭》、LY/T 3284-2021《工业有机废气净化用活性炭技术指标及试验方法》等国家与行业标准，为企业在活性炭选型、系统设计、环保达标、成本优化等方面提供专业、精准、可落地的技术参考，助力企业实现高效治理、稳定运行、降本增效的综合目标。

## 一、活性炭的吸附原理与核心价值

活性炭的核心作用是通过物理吸附（范德华力）与化学吸附（表面官能团键合），高效捕获气体、液体中的有机污染物、异味、重金属、色素、VOCs、漆雾颗粒等杂质，实现净化、分离、回收、脱色等功能。其本质是通过多孔结构提供巨大的比表面积，为污染物分子提供吸附位点，实现高效、稳定的净化效果。

吸附机理：物理吸附（范德华力）：活性炭表面与污染物分子间通过分子间作用力结合，无化学反应、可逆、吸附速度快、适用于大多数有机气体与小分子污染物（如 VOCs、甲醛、苯系物、漆雾颗粒）。

化学吸附（表面官能团）：活性炭表面含羟基、羧基、酚基等官能团，与污染物发生化学反应形成化学键，吸附力强、不可逆、适用于重金属、酸性 / 碱性气体、高极性有机物。

核心价值：高效净化：比表面积达 800－2000㎡/g，微孔（<2nm）、中孔（2－50nm）、大孔（>50nm）分级分布，可精准捕获不同粒径污染物，VOCs 去除率≥90%、重金属吸附率≥95%。

适配性强：适配气相（废气、空气）、液相（废水、饮用水）、固相（脱色、脱味）

全场景，可定制孔隙结构与表面特性。

经济环保：使用寿命长、再生性强、无二次污染，相比催化燃烧、光氧催化等工艺，运行成本降低 40%－60%。

工艺保障：为涂装、化工、食品、医药等行业提供稳定净化，保护后端设备、提升产品质量、满足环保排放要求。

## 二、原料分类与特性

活性炭性能由原料、活化工艺、孔隙结构决定，主流原料分为四大类，适配不同工况。

煤质活性炭（最通用）

以无烟煤、烟煤、褐煤为原料，经炭化、活化制成。优点：成本低、强度高、耐磨损、孔隙结构稳定、气相吸附能力强（VOCs、漆雾、异味）。缺点：灰分高、表面官能团少、液相吸附（脱色、重金属）较弱。适用：工业废气治理、VOCs 净化、漆雾过滤、空气净化、溶剂回收。

果壳活性炭（椰壳 / 核桃壳，高端）

以椰壳、核桃壳、杏壳为原料，经高温活化制成。优点：微孔发达、比表面积大（1000－1500 ㎡/g）、强度高、灰分低、吸附速度快、再生性能好。缺点：成本高、产量有限。适用：饮用水净化、食品脱色、医药精制、黄金提取、高端废气治理。

木质活性炭（木屑 / 竹炭，液相专用）

以木材、木屑、竹材为原料，经化学活化（磷酸、氯化锌）制成。优点：中孔发达、脱色能力强、表面官能团丰富、液相吸附优异。缺点：强度低、易粉化、不耐高温。适用：食品饮料脱色、工业废水深度处理、医药脱色、色素去除全国标准信息公共服务平台。

特种活性炭（定制化）

椰壳柱状 / 颗粒：高强度、高碘值、适用于高流速废气、连续化生产。

蜂窝活性炭：蜂窝结构、风阻低、填装量大、适用于大风量废气、低浓度 VOCs。

改性活性炭：载银、载铜、酸碱改性，提升重金属、甲醛、硫化氢吸附能力。

# 三、生产工艺

物理活化法（主流，气相专用）

炭化：原料在 600－800℃无氧条件下炭化，去除挥发分、形成初步孔隙。

活化：800－1000℃通入水蒸气、$CO_2$ ，与炭反应扩孔，形成发达微孔 / 中孔。优点：无化学残留、强度高、适用于气相吸附。

化学活化法（液相专用）

浸渍：原料浸泡磷酸、氯化锌等活化剂。

炭化活化：400－600℃加热，活化剂脱水、扩孔，形成中孔发达结构。优点：中孔丰富、脱色强、适用于液相。

新兴技术（微波 / 等离子体活化）

微波活化 5－15 分钟完成，效率提升 80%、能耗降低 45%，比表面积达 2600－2900 ㎡/g，适用于高端定制化产品。

# 四、核心性能指标

1. 碘吸附值（mg/g）—— 微孔能力（金标准）

定义：每克活性炭吸附碘的量，反映微孔（<2nm）发达度、小分子（VOCs、甲醛）吸附能力。

国标：工业 VOCs 处理≥1100 mg/g（GB/T 30202-2023）。

等级：普通≥800、优质≥1000、高端≥1200。

2. 四氯化碳吸附率（CTC，%）—— 气相吸附能力

定义：气相吸附能力指标，适用于 VOCs、废气治理。

国标：工业废气专用≥70%（GB/T 12496.5）。

3. 比表面积（BET，㎡/g）—— 总吸附容量

定义：单位质量活性炭总表面积。

国标：工业合格≥1000、高端≥1200。

4. 强度 / 耐磨度（%）—— 耐用性

定义：抗破碎、抗磨损能力。

国标：颗粒炭≥95%（球盘法）。

5. 灰分（%）

煤质≤15%、木质≤5%（GB/T 30201-2013）。

6. 水分（%）

工业≤5%、食品≤10%。

7. 亚甲基蓝吸附值（mg/g）—— 中孔能力

定义：中孔（2－50nm）发达度、大分子（染料、有机废水）吸附能力。

适用：废水处理、脱色。

8. 堆积密度（g/L）

煤质 500－600、椰壳 400－500。

9. 粒度（目数 / 直径）

颗粒：8－18 目、18－30 目。

柱状：1.5－4mm。

# 五、产品形态与适用场景

1. 颗粒活性炭（最常用）

形态：柱状（1.5－4mm）、颗粒（8－30 目）。

优点：强度高、风阻适中、再生性好、适用于中高浓度 VOCs、漆雾、废气治理。

适用：喷漆房废气、涂装线 VOCs、化工废气、溶剂回收。

2. 蜂窝活性炭（大风量专用）

形态：蜂窝状、孔径 2－5mm。

优点：风阻低（<600Pa）、填装量大、处理风量 500－20000 ㎥/h。

适用：低浓度、大风量废气、车间排风、异味治理。

3. 粉状活性炭（液相专用）

形态：粉末状。

优点：比表面积大、吸附速度快、脱色强。

适用：工业废水、食品脱色、饮用水深度处理全国标准信息公共服务平台。

4. 纤维活性炭（高端）

形态：纤维状、毡状。

优点：吸附速度极快、再生容易、适用于精密净化。

适用：医药、电子、精密仪器、高端空气净化。

# 六、选型逻辑与适配原则

1. 按应用场景选型

VOCs / 漆雾废气（涂装、喷漆房）：选煤质柱状 / 颗粒（碘值≥1000、CTC≥70%、强度≥95%）。

大风量、低浓度废气（车间排风）：选蜂窝活性炭（碘值≥650、风阻＜600Pa）。

工业废水、脱色、重金属：选木质 / 椰壳粉状（亚甲基蓝≥150 mg/g、中孔发达）。

饮用水、食品、医药：选椰壳颗粒（碘值≥1100、灰分≤5%、重金属达标）。

2. 按工况参数选型

浓度：高浓度（>500 mg/m³）→颗粒炭；低浓度→蜂窝炭。

风量：大风量→蜂窝炭；中低风量→颗粒炭。

流速：颗粒炭 0.2–0.6 m/s；蜂窝炭 < 1.2 m/s。

温度：≤120℃→常规；120–200℃→耐温改性。

湿度：高湿→抗湿改性；低湿→常规。

3. 按性能指标选型（工业废气）

碘值≥1000 mg/g（VOCs 吸附）。

CTC≥70%（气相吸附）。

强度≥95%（耐磨损、不易粉化）。

灰分≤15%（煤质）。

# 七、安装、运维与再生规范

1. 安装规范

颗粒炭：装填均匀、厚度 400－500mm、压实度适中、防短路。

蜂窝炭：垂直安装、层间密封、避免漏风。

前置过滤：装漆雾过滤棉、初效滤网，防止粉尘、漆渣堵塞孔隙。

风速控制：颗粒炭 0.2－0.6 m/s；蜂窝炭 < 1.2 m/s。

2. 更换周期判断

常规：颗粒炭 3－6 个月；蜂窝炭 6－12 个月（视浓度、风量）。

饱和信号：废气出口浓度超标、异味明显、风阻上升 2－3 倍。

3. 日常运维

每周：检查风阻、浓度、粉尘堵塞。

每月：清理前置滤网、检查炭层、防短路。

严禁：水洗、暴晒、高温烘烤（破坏孔隙）。

4. 再生技术（降本增效）

热再生：800℃高温脱附、恢复吸附能力（再生率≥80%）。

蒸汽再生：水蒸气脱附、适用于 VOCs、溶剂回收。

化学再生：酸碱、溶剂洗脱、适用于重金属、有机废水。

# 八、典型行业应用方案

1. 涂装 / 喷漆房废气治理（VOCs + 漆雾）

方案：漆雾过滤棉（预处理）→颗粒活性炭（煤质柱状，碘值≥1000）。

效果：VOCs 去除率≥90%、漆雾拦截≥95%、使用寿命 3－6 个月。

2. 工业 VOCs 废气（化工、印刷、电子）

方案：蜂窝活性炭（大风量）+ 颗粒活性炭（高浓度）。

效果：适配 500－20000 ㎥/h 风量、浓度 50－1000 mg/㎥、稳定达标。

3. 工业废水深度处理（印染、化工、电镀）

方案：粉状活性炭（木质 / 椰壳）。

效果：COD 去除率≥75%、重金属去除≥95%、脱色率≥90%。

4. 饮用水 / 食品脱色（自来水、饮料、食品）

方案：椰壳颗粒活性炭。

效果：去除余氯、异味、重金属、色度、符合饮用水标准。

# 九、技术发展趋势

1. 高性能化

超高碘值：≥1300 mg/g、比表面积≥1800 ㎡/g。

精准孔隙：微孔 / 中孔 / 大孔分级、适配不同污染物。

2. 多功能复合化

改性活性炭：载银、载铜、酸碱改性、吸附 + 催化一体化。

复合材料：活性炭 + 分子筛、活性炭 + 催化剂、提升吸附效率。

3. 绿色环保化

再生技术：热再生、蒸汽再生、化学再生、再生率≥80%。

环保原料：生物质、废弃木材、秸秆、减少煤炭依赖。

4. 智能化与数字化

在线监测：浓度、风阻、温度、实时预警。

AI 优化：自动调节风量、更换周期、精准运维。

# 十、结语

活性炭作为工业环保与净化领域的核心吸附材料，其性能直接决定治理效果、运行成本与环保合规。随着工业绿色化、智能化转型加速，高性能、多功能、定制化、可循环的活性炭已成为行业必然选择，是实现 “双碳” 目标、推动工业高质量发展的关键支撑。

本白皮书系统阐述活性炭的技术原理、性能指标、选型逻辑、运维规范与行业应用，结合国家最新标准与行业趋势，为企业提供全流程技术参考。