沸石转轮+RTO组合工艺处理低浓度大风量VOCs废气技术白皮书

低浓度、大风量是工业VOCs废气排放的典型特征之一，广泛存在于涂装、机械重工、船舶制造、风电核能、电子加工等重点行业，这类废气因浓度低、风量规模大，单一治理工艺易出现净化效率不足、运行能耗高、处理成本居高不下等问题，成为工业VOCs深度治理的难点。

沸石转轮吸附浓缩技术与蓄热式焚烧炉（RTO）技术的组合，是针对低浓度大风量VOCs废气的高效治理方案，兼具浓缩减量、深度分解、节能降耗三大核心优势，可实现VOCs废气的达标排放甚至超低排放，已成为行业主流应用工艺。

本白皮书系统梳理沸石转轮+RTO组合工艺的技术原理、核心优势、工艺设计、应用场景及运维要点，为企业该类VOCs废气治理提供实用技术参考。

一、低浓度大风量VOCs废气治理行业痛点

低浓度大风量VOCs废气一般指VOCs浓度低于1000ppm、废气风量超10000㎥/h的工业废气，这类废气的治理面临多重行业痛点，单一工艺难以满足治理需求：

直接处理能耗高：若直接采用焚烧类工艺处理，因废气浓度低，需大量辅助燃料提升温度，导致设备运行能耗大、处理成本高，企业长期运营负担重；

吸附类工艺易饱和：单一采用活性炭等吸附工艺，因风量大，吸附耗材会快速饱和，需频繁更换/再生，不仅增加运维成本，还易产生大量危废，且难以实现深度治理；

设备占地面积大：低浓度大风量废气对治理设备的处理能力要求高，单一工艺设备体型庞大，对企业生产场地的空间要求严苛，适配性差；

净化效率难达标：部分行业面临区域超低排放政策要求，单一工艺的净化效率难以满足严格的排放限值，易出现排放超标风险。

在此背景下，“吸附浓缩+焚烧分解”的组合工艺成为解决痛点的关键，沸石转轮吸附浓缩可将低浓度大风量废气转化为高浓度小风量废气，大幅降低后续焚烧处理的负荷，RTO则实现VOCs的深度氧化分解，二者协同实现高效、经济的治理目标。

二、沸石转轮+RTO组合工艺核心技术原理

（一）核心技术构成

沸石转轮+RTO组合工艺主要由废气预处理系统、沸石转轮吸附浓缩系统、RTO焚烧系统、热风循环系统、自动控制系统五大核心部分组成，各系统协同运行，实现VOCs废气的全流程治理，其中沸石转轮与RTO为工艺核心设备，承担“浓缩”与“分解”的关键作用。

（二）分阶段工艺原理

废气预处理：工业废气中常含有漆雾、粉尘、油污、水汽等杂质，若直接进入沸石转轮，会造成沸石吸附剂堵塞、中毒，降低吸附效率和使用寿命。预处理系统通过初效、中效过滤器及除水、除油装置，去除废气中的颗粒物与杂质，保证进入沸石转轮的废气满足工艺要求，这是保障组合工艺稳定运行的前提。

沸石转轮吸附浓缩：预处理后的低浓度大风量VOCs废气进入沸石转轮的处理区，转轮表面涂覆的疏水性沸石分子筛凭借其多孔结构与强吸附性，将废气中的VOCs分子吸附在表面，净化后的废气直接达标排放。转轮以恒定速度缓慢旋转，吸附了VOCs的区域转入再生区，由少量高温热风（200-220℃）进行脱附，使沸石吸附的VOCs快速释放，形成5-30倍浓缩的高浓度小风量VOCs废气，实现废气的减量处理。脱附后的转轮区域进入冷却区，由常温风冷却至工作温度，再转回处理区继续吸附，完成“吸附-脱附-冷却”的连续循环。

RTO焚烧分解：沸石转轮脱附产生的高浓度小风量VOCs废气被送入RTO焚烧系统，在800-850℃的高温氧化环境下，VOCs分子被彻底分解为二氧化碳和水，分解率可达99%以上，实现VOCs的深度治理。RTO内部的陶瓷蓄热体可储存VOCs分解产生的大量热量，用于预热后续进入的待处理废气，大幅减少辅助燃料的使用，热效率可达95%以上。

热风循环与节能：RTO焚烧产生的高温余热可通过热风循环系统，部分回用至沸石转轮的再生区作为脱附热风，实现余热的回收利用，进一步降低组合工艺的整体运行能耗，形成“余热回用、节能降耗”的工艺闭环。

自动控制：整套工艺配备PLC全自动控制系统，可实时监测废气浓度、风量、转轮转速、RTO氧化温度、蓄热体温度等关键参数，实现各设备的联动启停、参数自动调节，同时设置超温、超压、泄漏等报警装置，保障工艺的安全、稳定、无人化运行。

三、沸石转轮+RTO 组合工艺核心优势

相较于单一治理工艺或其他组合工艺，沸石转轮+RTO 组合工艺针对低浓度大风量 VOCs 废气的治理具有显著优势，契合工业企业的治理需求与生产实际：

净化效率高，满足严苛排放标准：沸石转轮吸附效率可达 90%以上，RTO 分解率超 99%，二者协同使组合工艺的整体 VOCs 去除率可达 98%以上，能满足国内各区域、各行业的 VOCs 排放标准，甚至可实现超低排放，彻底解决企业排放达标难题。

能耗低，运行成本可控：沸石转轮将废气浓缩 5-30 倍，使 RTO 的处理风量大幅降低，避免了低浓度废气直接焚烧的高燃料消耗；同时 RTO 的余热回用至沸石转轮脱附，实现能源循环利用，整套工艺的运行能耗远低于单一焚烧工艺，大幅降低企业长期运营成本。

设备占地小，适配工业生产场地：沸石转轮为模块化设计，结构紧凑，占地面积小，经浓缩后的废气大幅减小了 RTO 设备的规格要求，整套组合工艺的设备布局更灵活，适配企业车间有限的生产场地，尤其适合老厂改造项目。

运行稳定，维护成本低：沸石分子筛化学性质稳定，耐温、耐腐蚀性强，吸附容量大，使用寿命长，且转轮为连续循环运行，无需频繁更换耗材；RTO 设备结构简单，核心部件陶瓷蓄热体使用寿命可达 5 年以上，整套工艺的日常维护仅需定期检查滤芯、转轮、阀门等部件，维护工作量小、成本低。

适用范围广，适配多行业工况：组合工艺可处理烷烃、芳烃、酯类、醛类、酮类等绝大多数类型的 VOCs 废气，不受废气成分复杂的影响，且可根据企业实际废气风量、浓度灵活调整工艺参数，广泛适用于涂装、机械重工、船舶制造、风电核能、汽车零部件加工等产生低浓度大风量 VOCs 废气的行业。

安全性能高，无二次污染：沸石转轮的脱附过程为小风量高温脱附，避免了高浓度 VOCs 的积聚；RTO 为负压运行，配备防爆、泄爆、超温报警等安全装置，有效防止爆炸、火灾等安全事故；VOCs 最终分解为 CO_2 和 H_2O，无二次污染物产生，符合绿色环保治理要求。

四、组合工艺关键设计与选型要点

沸石转轮+RTO 组合工艺的治理效果与运行稳定性，取决于工艺设计与设备选型的合理性，需结合企业实际废气工况、生产场地、合规要求进行定制化设计，核心设计与选型要点如下：

沸石转轮选型：根据废气风量、VOCs 浓度、成分选择转轮规格，核心考量吸附面积、转轮转速、浓缩倍数三大参数，风量越大、浓度越低，需选择吸附面积更大的转轮，浓缩倍数一般设定为 10-20 倍，兼顾吸附效率与脱附效果；同时根据废气是否含水汽、腐蚀性物质，选择适配的疏水性沸石分子筛类型。

RTO 设备选型：根据沸石转轮脱附后的浓缩废气风量、浓度选择 RTO 类型，低浓度浓缩废气优先选择旋转式 RTO，其热效率更高、分解率更优，且风压波动小，对前端沸石转轮的运行影响小；若废气含腐蚀性物质，需对 RTO 内部进行防腐处理，同时合理设计陶瓷蓄热体的填充量，保证热交换效率。

预处理系统设计：预处理系统的过滤精度需根据废气中的颗粒物含量确定，涂装行业废气需增加漆雾过滤装置，含油废气需增加除油装置，确保进入转轮的废气颗粒物含量低于 1mg/m³，避免堵塞沸石吸附剂；同时设计合理的风道流速，防止杂质在管道内积聚。

热风循环系统设计：合理设计 RTO 余热回用的风量与温度，脱附热风温度控制在 200-220℃，温度过低会导致脱附不彻底，温度过高则增加能耗；同时配备辅助加热装置，在废气浓度极低、余热不足时，保障脱附过程的稳定进行。

管路与布局设计：工艺管路的设计需遵循“短、直、阻力小”的原则，减少废气在管路中的停留时间与压力损失；设备布局需结合企业生产场地，将预处理系统、沸石转轮靠近废气收集点，RTO 设备可合理布置在室外，节省车间内部空间。

五、组合工艺日常运维与常见问题排查

（一）日常运维要点

整套组合工艺的运维核心是保障沸石转轮与 RTO 的稳定运行，需建立常态化的运维制度，重点做好以下工作：

预处理系统：定期检查初效、中效过滤器的堵塞情况，根据压差及时更换滤芯，一般滤芯更换周期为 1-3 个月，具体根据废气杂质含量调整；

沸石转轮：定期检查转轮的密封性能，防止废气短路；每半年对沸石吸附剂进行一次检测，若出现吸附效率下降，及时进行清洗再生；定期清理转轮表面的积尘，保障吸附效果；

RTO 系统：定期检查陶瓷蓄热体的堵塞、破损情况，及时清理或更换；检查燃烧器的点火性能与燃料供给，确保氧化温度稳定在 800-850℃；检查换向阀的密封性与运行

灵活性，防止漏风导致热效率下降；

自控系统：定期校准各类传感器、监测仪表，确保参数监测准确；检查报警装置与联动控制逻辑，确保设备故障时能及时启停、报警。

（二）常见问题排查

沸石转轮吸附效率下降：多为预处理系统过滤效果不佳，沸石吸附剂被堵塞/中毒，需及时更换滤芯，对沸石进行清洗再生；若转轮密封件老化，需及时更换密封件，防止废气短路。

RTO 氧化温度波动大：原因可能为浓缩废气浓度波动、燃料供给不稳定或换向阀漏风，需检查沸石转轮的脱附参数，稳定浓缩废气浓度；校准燃料供给系统，检查换向阀的密封性并及时维护。

组合工艺整体去除率降低：若沸石转轮吸附效率正常，多为 RTO 分解不彻底，需提高 RTO 氧化温度，检查陶瓷蓄热体的热交换效率；若 RTO 运行正常，需排查转轮是否存在吸附剂失效，及时更换。

运行能耗突然升高：多为 RTO 余热回用系统故障，或沸石转轮浓缩倍数降低，需检查热风循环管路的阀门是否正常，校准转轮转速与脱附热风参数，提升浓缩倍数。

六、组合工艺典型行业应用案例

（一）机械重工涂装行业

某机械重工企业涂装车间产生 VOCs 废气，风量 80000㎥/h，VOCs 浓度约 300-500ppm，含漆雾、粉尘等杂质，要求 VOCs 去除率≥98%。采用“漆雾过滤器+初/中效过滤+沸石转轮（浓缩倍数 20 倍）+旋转式 RTO”组合工艺，预处理后废气进入沸石转轮吸附浓缩，脱附后的高浓度废气风量 4000㎥/h，VOCs 浓度 6000-10000ppm，送入旋转式 RTO 焚烧分解。工艺运行后，VOCs 排放浓度低于 20ppm，去除率达 99%以上，满足区域超低排放要求，且 RTO 余热回用至沸石转轮脱附，辅助燃料消耗仅为直接焚烧的 1/10，大幅降低运行成本。

（二）风电核能部件加工行业

某风电部件生产企业，废气风量 100000㎥/h，VOCs 浓度 200-400ppm，成分复杂，生产为 24 小时连续运行，要求设备稳定、无人化运行。采用“多级过滤+沸石转轮+旋转式 RTO”组合工艺，配备 PLC 全自动控制系统，实现各设备联动运行与参数自动调节。工艺投运后，VOCs 去除率达 98.5%，设备连续运行无故障，余热回用率达 80%以

上，运行能耗低，完全适配企业连续生产的工况要求。

七、结语

沸石转轮+RTO 组合工艺凭借高效浓缩、深度分解、节能降耗的核心优势，成为低浓度大风量 VOCs 废气治理的最优解之一，完美解决了该类废气治理的行业痛点，契合国家“源头减量、末端高效治理”的 VOCs 治理政策导向。

本白皮书技术内容仅供参考，具体工艺设计与设备选型需结合企业实际工况定制。