节能新技术在有机硅废气处理中的应用

王关栋
鲁西化工集团股份有限公司硅化工分公司　山东　聊城　252000

摘　要：有机硅生产过程持续释放多组分废气，传统治理手段普遍存在能耗偏高、工况适配能力不足等问题。结合废气组分特征与排放规律，本文梳理低温催化降解、吸附再生、余热回收、耦合治理几类节能新技术的作用原理，分析各类技术落地应用内在逻辑，提出参数调控、技术组合、能耗管理、体系升级多条优化方向，为有机硅生产废气低能耗治理提供可行思路。

关键词：有机硅；废气治理；节能新技术；催化降解；余热回收

引言：有机硅化工生产流程较长，多道工序不间断产出挥发性废气，污染组分构成复杂，排放点位分散。传统净化工艺运行阶段资源消耗量大，难以匹配连续化化工生产的治理要求。各类节能治理技术不断发展，能够改变原有高耗能治理模式。理清技术运行原理与废气工况之间的匹配关系，持续优化技术运用方式，可以推动废气净化工作向着低能耗方向推进。

1 有机硅废气产生特性与常规处理工艺现状

1.1 有机硅生产废气的来源与组分特征

有机硅产品生产工序繁杂，各类化学反应与物料处理环节都会生成废气物质。单体合成、水解裂解、精馏提纯是废气产出的主要工序，物料在高温反应与相变分离过程中会释放多种挥发性物质。废气组分包含多种有机烃类、硅烷类物质，部分组分带有较强的挥发性与活性，容易在空气环境中形成气态污染物[1]。不同生产工序产出的废气组分存在明显差异，反应阶段废气组分复杂度更高，提纯阶段废气杂质相对单一。各类污染组分物理化学性质各不相同，对处理工艺的适配性有着差异化要求，也让有机硅废气的净化处理具备较高的专业门槛。

1.2 有机硅废气排放与扩散运行特点

有机硅生产属于连续性化工作业，废气排放状态具备持续性、稳定性的行业特质。生产设备不间断运行，废气可以稳定从反应釜、精馏塔、物料储存装置等点位持续溢出。排放点位分布较为分散，无集中单一排放口，给废气统一收集治理带来一定难度。废气初始排放温度偏高，普遍维持在40℃～65℃区间，携带少量水汽与微量粉尘，扩散过程会随环境气流逐步稀释蔓延。车间内部空间相对封闭，废气容易在设备间隙与高位区域积聚，长期堆积会改变车间内部空气环境，对整体治理工作形成客观制约。

1.3 传统有机硅废气处理常用工艺类型

有机硅行业长期沿用多类成熟的废气处理工艺，适配常规废气治理工作需求。燃烧处理、吸附处理、吸收洗涤是现阶段应用范围较广的基础工艺，各自依托不同的净化原理完成废气污染物的去除。燃烧工艺依靠高温氧化分解废气中的有机组分，常规运行温度普遍突破800℃，适用于高浓度有机废气的治理场景。吸附工艺利用多孔介质的吸附作用截留气态污染物，多用于低浓度废气的精细化处理。洗涤工艺借助液相药剂与废气组分发生反应，实现污染物的转化与去除，普遍应用于组分复杂的混合废气治理场景。多种工艺独立或搭配使用，构成传统有机硅废气治理的主流体系。

1.4 常规处理工艺运行存在的短板问题

传统处理工艺虽然可以完成基础废气净化任务，但长期运行过程中暴露出诸多短板。多数工艺运行需要依托高温、高药剂投入或频繁耗材更换，整体运行能耗与物料消耗偏高。部分单一工艺对复杂有机硅废气组分的净化针对性不足，难以适配多组分混合废气的全面治理需求。工艺运行管控较为粗放，运行过程中的能量损耗无法得到有效管控，资源浪费现象普遍存在。部分设备运行稳定性偏弱，长期连续作业后容易出现处理效率波动的问题，难以适配现代化有机硅生产长效、稳定的废气治理需求[2]。

2 有机硅废气处理节能新技术类别与技术原理

2.1 低温催化降解节能处理技术原理

低温催化降解技术突破传统高温焚烧工艺的运行局限，利用专属催化材料完成有机硅废气污染物的分解转化。该技术可以在较低温度环境下激活废气中的有机组分与硅类污染物，推动污染物分子发生氧化裂解反应，转化为无害的气态物质。催化材料具备特殊孔隙结构与活性位点，能够降低污染物反应所需的活化能，弱化治理过程对

外部热能的依赖。整套处理流程无需持续高温供热，大幅缩减热能消耗。技术运行过程依托温控系统维持恒定低温反应环境，规避温度过载带来的能源损耗问题，适配有机硅废气常态化、连续性的净化处理场景。

2.2 吸附再生式节能净化技术原理

吸附再生式净化技术采用多孔吸附材料完成废气污染物的截留富集，搭配再生工序实现材料循环复用。多孔吸附介质可以充分捕捉有机硅废气中的挥发性组分，完成废气初步净化。吸附材料达到饱和状态后，通过温和脱附方式完成污染物剥离，恢复吸附介质的孔隙性能与吸附能力。再生处理无需更换全新耗材，减少物料资源的持续投入。脱附产生的高浓度污染物可集中开展后续处理，简化治理流程的同时控制能源消耗。技术通过循环再生模式替代传统一次性吸附工艺，弱化耗材更换带来的成本与能耗损耗，适配低浓度有机硅废气的长效治理。

2.3 余热回收式废气处理技术原理

余热回收式废气处理技术聚焦废气治理过程中的热能利用，挖掘有机硅生产废气自带的热能价值。有机硅生产排放的废气携带稳定余热，传统工艺会直接散失这部分热能，造成能源浪费。该技术通过专属换热装置捕捉废气余热，将回收热能输送至预处理或反应工序，用于废气升温、设备预热等作业环节。合理利用废热资源可以减少外部供热设备的启动频次与运行负荷，降低燃煤、电能等常规能源的消耗。技术以废热循环利用为核心，重构废气治理的能源供给模式，实现废气净化与能源回收的双向推进。

2.4 耦合式低能耗废气治理技术原理

耦合式低能耗治理技术整合多种单一节能技术的优势，搭建复合型废气处理体系。技术根据有机硅废气的组分特点与排放工况，将催化降解、吸附再生、余热回收等单元进行合理搭配排布。各处理单元分工明确，分别负责污染物富集、低温分解、热能回收等不同作业环节，补齐单一治理技术的应用短板。系统可以根据废气浓度、组分变化自主调节各单元运行状态，规避无效能耗输出。复合型耦合模式优化整体治理流程，精简冗余作业环节，持续降低整套废气处理系统的运行能耗，适配复杂组分有机硅废气的低能耗治理需求。

3 节能新技术适配有机硅废气处理的应用逻辑

3.1 技术原理与有机硅废气组分的适配性

有机硅废气组分结构复杂，不同污染物质的理化性质存在明显差异，对治理技术的作用条件有着不同要求。各类节能新技术具备自身独特的作用机理，对应匹配废气内部各类污染物的净化需求。低温催化降解技术针对有机硅废气中活性较强的挥发性组分，利用低温活化反应机制完成污染物分解，解决传统高温工艺能耗偏高的问题。吸附再生技术针对低浓度、多微量组分的废气物质，依靠多孔介质的截留能力完成污染物富集，适配连续排放的轻质污染气体治理场景[3]。余热回收技术不直接作用于污染物去除，针对废气自带的热能属性开展资源再利用，弥补传统工艺热能肆意散失的缺陷。耦合治理技术可以根据废气组分的复杂程度，灵活组合各类技术单元，应对多组分混杂的有机硅废气治理工况。

3.2 低能耗运行模式与废气处理流程的适配方式

有机硅废气完整处理流程包含收集、预处理、净化、末端排放多个环节，各环节运行都会产生能源消耗。节能新技术的低能耗运行模式，围绕流程耗能节点开展针对性优化。低温催化体系降低反应环节的温度门槛，减少供热设备的持续做功时长，压缩核心净化环节的能量投入。吸附再生体系取消频繁换料工序，减少物料生产、运输、更换过程产生的间接能耗，简化日常运维的作业流程。余热回收体系挖掘废气自身热能资源，替代部分外部能源输入，减轻整套系统的能源供给压力。耦合技术体系精简重复作业环节，规避单一技术独立运行带来的能耗浪费，让各流程环节的能源投入更加合理可控。

3.3 新技术对传统处理流程的优化路径

传统有机硅废气处理流程工序繁琐，运行模式固定，难以适配动态变化的生产工况。节能新技术对传统治理体系的优化，体现在流程结构与运行模式的多重升级。新技术弱化高温燃烧、高频换料、持续药剂投加等高耗能工序的使用占比，改变传统流程依靠高能耗换取净化效果的治理模式。引入再生循环、热能回用、智能调参等新型运行方式，提升整套处理系统的资源利用效率。对传统流程中的冗余环节进行删减合并，缩短废气从收集到净化的作业链路。结合有机硅生产产废节奏调整治理工序排布，让处理流程贴合生产工况变化，打破传统工艺固定运行模式的局限性。

3.4 新技术应用过程的运行调控逻辑

节能新技术的稳定落地，需要搭配科学的运行调控逻辑适配复杂生产场景。调控工作围绕废气浓度波动、产废时段变化、设备运行状态展开动态调整。生产负荷较高的时段，废气产出量更大，系统可强化催化反应强度、提升吸附单元运行效率，保障净化质量稳定。生产负荷较低的时段，系统可缩减无效运行模块的投入，降低基础能耗支出。针对余热回收单元，根据废气温度变

化调整换热设备运行参数，最大化挖掘热能利用价值。耦合系统可依据实时工况切换技术单元组合方式，规避单一技术运行短板。这套调控逻辑让新技术始终适配现场工况，维持净化效果与能耗控制的平衡状态。

4 有机硅废气处理节能技术应用优化与完善路径

4.1 技术运行参数的精细化调整方式

各类节能废气处理技术的运行效果，与设备参数设置紧密关联。粗放的参数设置模式容易造成能源浪费，也会影响污染物处理的稳定程度。针对低温催化降解技术，可结合废气入口温度、污染物浓度区间设定梯度化反应参数，合理匹配催化模块运行负荷，减少热能冗余投入。吸附再生技术可依据污染物富集速度调整脱附时长与再生强度，避免过度再生造成的资源损耗。余热回收设备可根据废气温度区间调整换热频次与介质流通速度，提升热能回收利用效率[4]。持续细化各类技术的参数调控标准，能够让设备运行状态匹配实际产废工况，实现能耗与净化质量的双向平衡。

4.2 多类节能技术的组合应用思路

单一节能技术的适用场景存在局限，无法覆盖有机硅生产全过程的复杂废气治理工况。不同节能技术拥有独特的技术优势与适用场景，科学搭配能够弥补单一技术的应用短板，构建稳定性更强、能耗更低的治理体系。生产工况稳定、废气浓度偏低的场景，可将吸附再生技术与余热回收技术搭配使用。利用吸附介质截留废气中的污染组分，借助换热装置回收废气余热，实现污染物治理与能源回收同步落地。废气组分复杂、浓度波动幅度大的生产时段，可前置布置低温催化降解单元。提前分解废气中高活性污染物质，降低后端治理单元的运行负荷。严格按照废气治理工序逻辑排布各类技术单元，理顺各模块衔接关系，搭建分层递进的复合型治理模式，拓宽节能技术的工况适配范围。

4.3 废气处理系统能耗管控优化方法

能耗管控优化聚焦废气治理全流程的能源损耗节点，开展系统性整改升级。日常运行过程中，梳理设备空载、过载、参数失衡等各类耗能异常情况，建立常态化排查机制，保持每日1次专项能耗巡检，及时整改不合理运行状态。优化设备启停逻辑，依据车间产废节奏规划设备运行时段，减少无效运转产生的能源消耗。定期检查换热结构、吸附介质、催化组件的工作状态，及时维护性能衰减部件，避免设备性能下降引发的能耗上升。细化各治理单元的能耗管控细则，明确运维工作重点，搭建常态化排查养护机制，逐步压缩系统整体能耗空间。

4.4 节能处理技术体系的完善方向

有机硅生产工艺处于持续优化更新的状态，废气排放的组分特点与运行工况也会随之改变，节能治理体系需要同步迭代完善。技术升级优化可以围绕运行稳定性、工况适配性、能源利用率三个方向推进，针对性补齐特殊工况下的治理短板。贴合生产工艺的更新节奏，调整节能技术的布设形式与运行逻辑，适配新型生产工序产生的废气治理需求。积累不同生产负荷、不同废气组分条件下的设备运行经验，梳理规范运维调控方案，搭建标准化、规范化的节能治理体系。持续优化多技术耦合运行逻辑，精简治理流程中的冗余环节，提升各治理单元的协同运行效能。循序渐进的技术优化与体系完善，能够稳步提升废气治理的节能效果，契合有机硅行业绿色低碳生产的发展趋势。

结束语

有机硅废气组分复杂、排放工况动态变化，常规净化工艺的能耗短板逐步凸显。多种节能治理技术可以从反应条件、热能利用、物料循环等角度改善废气治理模式。合理调整运行参数，搭配不同技术单元，完善能耗管控举措，持续推进技术体系迭代，能够降低废气净化过程能源消耗，推动有机硅行业废气治理模式持续优化。

参考文献

[1]展飞,展宗城,侯肖,等.含硅有机废气预处理剂的开发与应用[J].中国环保产业,2024(2):49-51.

[2]张文英.有机硅废气资源化利用及环保治理[J].节能与环保,2022(5):33-34.

[3]张彦辉.有机硅生产废气中硅氧烷回收工艺及关键技术研究[D].石家庄:河北科技大学,2022.

[4]黎剑.有机硅生产焚烧废气资源化利用、能源回收方案的研究及工程化运用[D].南昌:南昌大学,2025.