

# 新型催化臭氧氧化工艺及高级氧化技术 及发展前景

---

京津冀绿色产业创新战略联盟专家委员会

丁淑芬 副主任

2026-3-23



# 深刻把握党的二十届四中全会 和中央经济工作会议 对能源发展的新部署新要求



**人工智能为能源发展带来空前机遇，必须双向赋能抢占战略制高点。**

我国生态环境治理目前已进入以**节能减排降碳**为重点战略方向的关键时期。

其中，工业高难**污水处理行业**是打好污染防治攻坚战的重要阵地。

为此，新技术新工艺的推广、应用、更新换代，实现节能减排低碳，是现代企业进一步发展的重要的环节和目标。

- 2019年，住建部、生态环境部、发展改革委制定了《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019-2021年)》
- 2020年，国家发改委、住建部联合印发《城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案》
- 2020年12月，《中华人民共和国长江保护法》通过
- 2023年发改委、住建部、生态环境部联合印发《关于推进污水处理减污降碳协同增效的实施意见》
- 2024年发改委印发《关于开展污水处理绿色低碳标杆厂遴选工作的通知》
- 2024年3月，国务院也印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》的通知，习近平总书记提出加快发展新质生产力，扎实推进高质量发展。



# 目 录

---

- 1 高效臭氧催化氧化技术概述.
- 2 高效臭氧催化氧化应用.
- 3 高效臭氧催化氧化技术展望.

## 冶金行业主要面临的能源管理挑战

- **减碳压力大：** 冶金行业面临着严峻的节能减排压力，在“双碳”目标提出后压力更甚，钢铁行业、有色金属行业规划2025年实现碳达峰。

- **能耗高：** 冶金行业生产设备必须长时间持续可靠运行，单机设备能耗高，大功率设备多，导致企业整体能耗偏高。

- **能源管理强度大：** 冶金行业具有规模大、设施分布广等特点，其日常能源的管理强度极大，  
依靠传统的管理模式无法满足企业需求。

- **能源管理意识不足：** 冶金行业普遍认为优化工艺是提升生产运营效率的主要抓手，缺乏能源管理的意识。这会导致管理人员在决策中往往缺少能源数据作为支撑，无法从根本上提升能效水平。

# 冶金行业环保岛演进：从达标到降碳



## 环保岛定义

环保岛是指从烟气出口到烟囱之间的全套环保设备系统，是冶金行业实现环保达标的关键环节。

第一阶段达标排放已基本完成，但个别领域在继续提升，为环保岛的进一步升级奠定了基础。

## 达标排放阶段



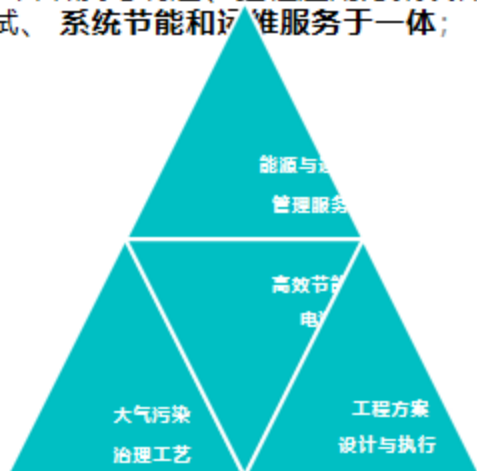
## 节能降碳阶段

第二阶段节能降碳，降低运行成本与碳排可以带来收益，同时满足欧盟准入标准，成为了时代发展的新机遇。



# 厦门锐传公司简介

- 厦门锐传科技股份有限公司成立于2007年；
- 以特种电源技术为核心的国家级高新技术企业；
- 以大气污染和水治理为业务核心，提供烟气治理、污水治理的节能综合解决方案；
- 环保装备研发与制造、工程应用方案设计、安装调试、系统节能和运维服务于一体；



## 我司业绩清单 (部分)

| 序号 | 业主名称                      | 项目名称              | 规格型号                   | 节能减排效果                  |                                            | 项目类型   | 供货时间 | 数量 |
|----|---------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|--------|------|----|
|    |                           |                   |                        | 改造前                     | 改造后                                        |        |      |    |
| 1  | 青山控股集团有限公司                | 回转窑电除尘高压电源项目      | 72KV/1.8A              | 新建                      | 执行中                                        | 节能买断   | 2022 | 8  |
| 2  | 新疆八一钢铁有限公司                | 烧结机头电除尘器电源改造项目    | 1.5A/80kv<br>1.2A/80kv | 新建                      | 执行中                                        | 节能买断   | 2022 | 48 |
| 3  | 青山控股集团有限公司                | 回转窑电除尘高压电源项目      | 72KV/1.8A              | 新建                      | 执行中                                        | 节能买断   | 2022 | 6  |
| 4  | 青山控股集团有限公司                | 回转窑电除尘高压电源项目      | 72KV/1.8A              | 新建                      | 执行中                                        | 节能买断   | 2022 | 6  |
| 5  | 青山控股集团有限公司                | 回转窑电除尘高压电源项目      | 72KV/1.8A              | 新建                      | 执行中                                        | 节能买断   | 2022 | 18 |
| 6  | 抚顺新钢铁有限责任公司               | 180平机头电除尘提效改造项目   | 1.2A/80kv              | 改造前 98mg/m <sup>3</sup> | 平均值 < 45mg/m <sup>3</sup><br>平均能耗 35KW/h/台 | 节能提效改造 | 2021 | 4  |
| 7  | 上海鼎信投资（集团）有限公司            | 回转窑电除尘高压电源项目      | 72KV/1.8A              | 新建                      | 执行中                                        | 节能买断   | 2021 | 12 |
| 8  | 国家电投河南开封发电分公司             | #1机组电除尘变频电源改造项目   | 72KV/2.0A              | 284.79KW/h              | 51.34KW/h（节能率81.94%）                       | 节能改造   | 2021 | 4  |
| 9  | 青山控股集团有限公司                | 回转窑电除尘高压电源项目      | 72KV/1.8A              | 新建                      | 执行中                                        | 节能买断   | 2021 | 12 |
| 10 | 福建宽文宏贸易有限公司               | 回转窑电除尘高压电源项目      | 72KV/1.8A              |                         | 设备已安装验收                                    | 节能买断   | 2021 | 12 |
| 11 | 玉溪汇溪金属铸造制品有限公司            | 2#烧结机头电除尘智能变频电源改造 | 80kv/0.8A              | 52.08 KW/h              | 5.2 KW/h（节能率50%）                           | 节能改造   | 2021 | 8  |
| 12 | 山东国舜石横特钢集团有限公司            | 1#烧结湿式除尘系统改造项目    | 1.8A /80kv             |                         | 设备已安装验收                                    | 节能买断   | 2021 | 2  |
| 13 | 青山控股集团有限公司                | 干燥窑电除尘智能变频电源项目    | 72KV/1.8A              |                         | 设备已安装验收                                    | 节能买断   | 2021 | 10 |
| 14 | 国家电投集团河南电力有限公司<br>开封发电分公司 | #2机组电除尘变频电源改造项目   | 72KV/2.0A              | 284.79KW/h              | 51.34KW/h（节能率81.94%）                       | 节能改造   | 2021 | 4  |
| 15 | 上海鼎信投资（集团）有限公司            | 电除尘器智能变频电源工程      | 1.8A/72kv              |                         | 设备已安装验收                                    | 节能买断   | 2020 | 10 |
| 16 | 天津钢管制造有限公司                | 105m2烧结机          | 电源+本体                  | 90KW/h                  | 20 KW/h（节能率76.5%）                          | 节能改造   | 2020 | 4  |
| 17 | 上海鼎信投资集团有限公司              | 青山印尼佳德改烧电除尘器      | 1.6A/72KV              |                         | 节能 > 50%                                   | 节能买断   | 2020 | 5  |
| 18 | 青山控股集团有限公司                | 年产30万吨钢铁冶炼全电除尘器   | 1.6A/72KV              |                         | 节能 > 50%                                   | 节能买断   | 2020 | 24 |

## 我司业绩清单 (部分)

| 序号 | 业主名称          | 项目名称                       | 规格型号      | 节能减排效果 |             | 项目类型 | 供货时间 | 数量 |
|----|---------------|----------------------------|-----------|--------|-------------|------|------|----|
|    |               |                            |           | 改造前    | 改造后         |      |      |    |
| 19 | 青山控股集团有限公司    | 回转窑电除尘器                    | 1.6A/72KV |        | 节能 > 50%    | 节能买断 | 2020 | 20 |
| 20 | 浙江华友控股集团有限公司  | 30万吨镍铁冶炼全电除尘器              | 1.6A/72KV |        | 节能 > 50%    | 节能买断 | 2020 | 3  |
| 21 | 上海鼎信投资集团有限公司  | 30万吨镍铁冶炼全电除尘器              | 1.2A/80KV |        | 节能 > 50%    | 节能买断 | 2020 | 20 |
| 22 | 青山控股集团有限公司    | 30万吨镍铬合金回转窑电除尘器            | 1.6A/72KV |        | 节能 > 50%    | 节能买断 | 2020 | 20 |
| 23 | 浙江瑞浦科技有限公司    | 30万吨镍铬合金回转窑电除尘             | 1.6A/72KV |        | 节能 > 50%    | 节能买断 | 2020 | 30 |
| 24 | 印尼纬达贝镍业有限公司   | 30万吨镍铬合金回转窑电除尘器扩建          | 1.6A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能改造 | 2019 | 12 |
| 25 | 印尼纬达贝镍业有限公司   | 30万吨镍铬合金回转窑电除尘器            | 1.6A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能买断 | 2019 | 48 |
| 26 | 青山控股集团有限公司    | 30万吨镍铬合金回转窑电除尘器            | 1.6A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能买断 | 2019 | 4  |
| 27 | 印尼永恒冶炼有限公司    | 30万吨镍铬合金回转窑电除尘器            | 1.6A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能买断 | 2019 | 16 |
| 28 | 印尼小山冶炼有限公司    | 30万吨镍铬合金回转窑电除尘器            | 1.6A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能买断 | 2019 | 8  |
| 29 | 广东广青金属科技有限公司  | 180m <sup>2</sup> 烧结机头电除尘器 | 1.2A/80KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能改造 | 2018 | 9  |
| 30 | 广东广青金属科技有限公司  | 30万吨镍铬合金回转窑电除尘器            | 1.2A/80KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能改造 | 2018 | 16 |
| 31 | 印度尼西亚广青镍业有限公司 | 15万吨镍铬合金回转窑电除尘器            | 1.2A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能改造 | 2018 | 8  |
| 32 | 印尼瑞浦镍铬合金有限公司  | 30万吨镍铬合金回转窑电除尘器            | 1.5A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能改造 | 2018 | 16 |
| 33 | 印尼恒嘉镍业有限公司    | 45万吨镍铬合金回转窑                | 1.5A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能改造 | 2018 | 24 |
| 34 | 福建鼎信实业有限公司    | 30 万吨镍铬合金回转窑电除尘器           | 2.0A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能改造 | 2017 | 21 |
| 35 | 福建青拓实业股份有限公司  | 200m <sup>2</sup> 烧结机机头    | 1.0A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能改造 | 2017 | 8  |
| 36 | 福建青拓镍业有限公司    | 126m <sup>2</sup> 烧结机头、机尾  | 1.0A/72KV |        | 改造后节能 > 50% | 节能改造 | 2016 | 24 |

## 我司服务客户群体 (覆盖国内主要知名钢铁企业与能源企业)



太原钢铁集团

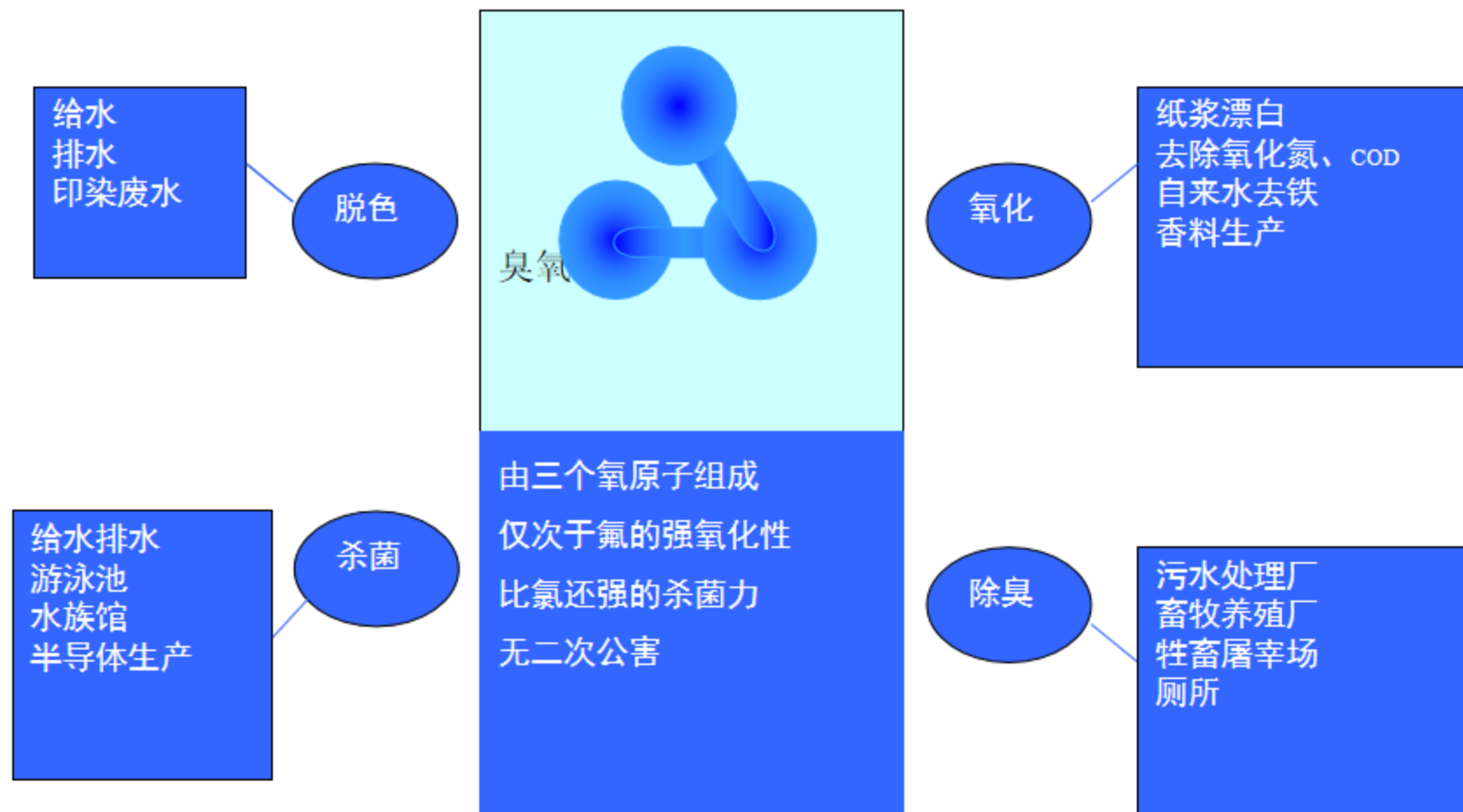


Partner  
Customer



# 高效臭氧催化氧化技术概述

## 臭氧的性质



# 臭氧性质

臭氧在常温常压下是一种不稳定、具有特殊刺激性气味的浅蓝色气体

## □° 性质

分子式：O<sub>3</sub>

分子量：48 g/mol

密度：2.14 kg/m<sup>3</sup> （0°C，1atm）

水溶性：1体积水溶解0.494体积臭氧

## □ 强氧化性

氧化还原电位2.07V，仅次于氟（2.87V），  
最环保的氧化剂、消毒剂、脱色剂、除臭剂

## □ 不稳定性

在高温条件下极易分解为氧气，使用后无残余。需现场制备

- 水中半衰期一约30min
- 空气中半衰期一小于12hrs

## 氧化剂的比较

|       |      |
|-------|------|
| 羟基自由基 | 2.8V |
| 臭氧    | 2.07 |
| 双氧水   | 1.77 |
| 高锰酸钾  | 1.7  |
| 次氯酸盐  | 1.49 |
| 氯     | 1.36 |
| 二氧化氯  | 1.27 |
| 氧气    | 1.23 |

# 高效臭氧催化氧化技术概述

---

## 臭氧氧化法

臭氧氧化体系具有较高的氧化还原电位，能够氧化废水中的大部分有机污染物，被广泛应用于工业废水处理中。臭氧能氧化水中许多有机物，但臭氧与有机物的反应是有选择性的，臭氧氧化后的产物往往为羧酸类有机物。率以分钟计。在废水处理中，臭氧氧化通常不作为一个单独的处理单元，通常会加入一些强化手段，如光催化臭氧化、碱催化臭氧化和多相催化臭氧化等。此外，臭氧氧化与其他技术联用也是研究的重点，如臭氧/超声波法、臭氧/生物活性炭吸附法等。

将臭氧氧化与活性炭吸附相结合可使废水中的芳烃质量浓度降到 $0.002 \mu\text{g/L}$ 。用臭氧氧化法去除工业循环水中的表面活性剂可有效增加城市污水处理场的净化度、提高排水的水质，利用臭氧—生物活性炭工艺去除水中的有机微污染物也取得了较好的效果。

## 臭氧的产生机理

---

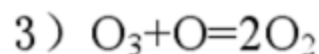
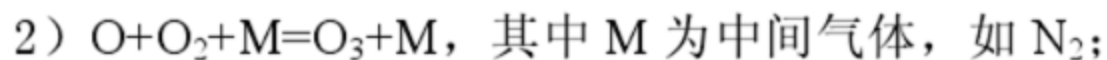
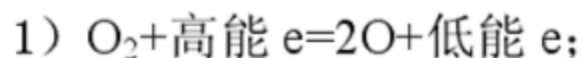
产生臭氧的方法有紫外照射法、电解法、放射化学法和介质阻挡放电法。

介质阻挡放电法，也称无声放电法(简记为**DBD**法)，通过交变高压电场在气体中产生电晕，电晕中的自由高能电子离解氧气分子，经碰撞聚合为臭氧分子。介质阻挡放电法具有能耗相对较低，单机臭氧产量大，气源可用干燥空气、氧气或含氧浓度较高的富氧气体等优点，因此工业上制备臭氧大多采用此法。将干燥的空气或氧气通过两个高压电极之间的间隙，在外加交流高压的作用下，气体中发生电晕放电，气体被电离，间隙中的活性氧原子急剧增加，与氧分子结合，生成臭氧。

# 臭氧的产生机理

---

主要概括为一下三个化学反应方程式：



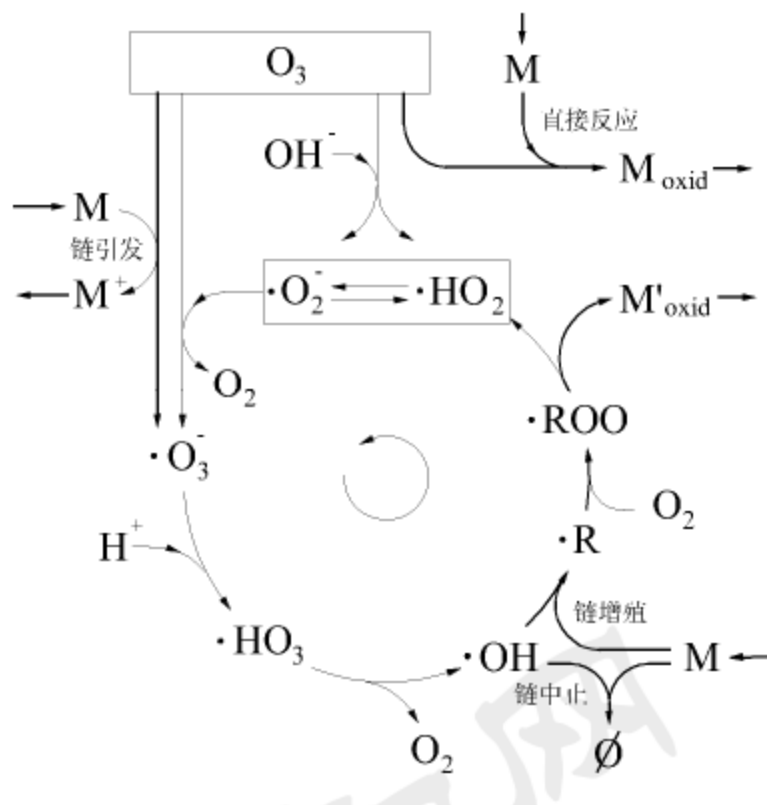
因此，生成臭氧的反应是可逆反应，当臭氧生成与分解处于相对平衡时，臭氧浓度达到某一个限值。

# 高效臭氧催化氧化技术概述

## 臭氧分子的直接氧化

臭氧分子有选择性与有机物反应（与饱和性有机物、带吸电基芳香类化合物反应速率较低），且很难将有机物彻底矿化，TOC变化较小，有机物大多以中间产物形式存在水中，通常有较高的极性和可生化性。

### 臭氧分解产生羟基自由基间接反应



## 有机物存在时O<sub>3</sub>的分解反应

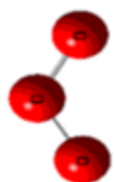
# O<sub>3</sub>降解甲苯和二噁英反应机理

获得了活性分子O<sub>3</sub>对甲苯和二噁英的反应途径及降解机理

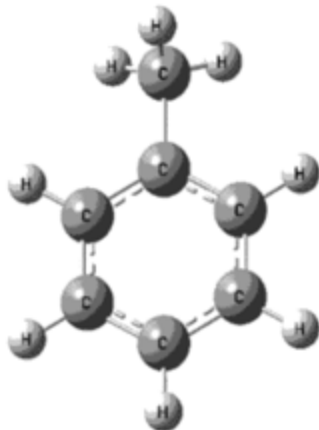
O<sub>3</sub>+甲苯

C=C键第一次断裂

O<sub>3</sub>



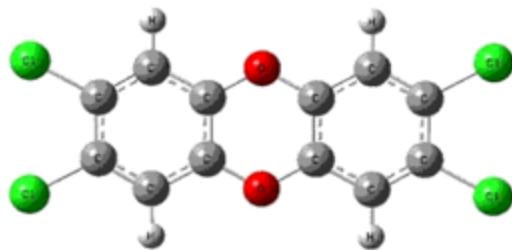
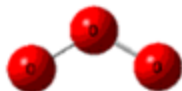
甲苯



臭氧加成

臭氧加成—臭氧化合物—断键—更小分子化合物，如此循环。  
苯环断裂是第一步，亦是最关键一步

O<sub>3</sub>+2,3,7,8-TCDD



臭氧对二噁英降解路径是臭氧加成后苯环的断裂。

# 高效臭氧催化氧化技术概述

## 臭氧—生物活性炭工艺原理

臭氧—生物活性炭（O<sub>3</sub>-BAC）深度处理工艺由两部分组成：**臭氧氧化和生物活性炭的物理吸附、生物降解。**

臭氧初步氧化分解水中的一部分简单的有机物及其还原性物质，特别是降低UV<sub>254</sub>；

臭氧氧化能使水中难以生物降解的大分子有机物，如天然有机物（NOM）断链、开环、氧化成短链的小分子有机物或分子的某些基团被改变从而使原来不能生物降解的有机物转化成可降解的有机物，提高了处理水的可生化性；

同时使个别有机物（POC）转化（DOC），如腐植酸等，分解后的小分子有机物的极性和亲水性得到了提高，更容易被活性炭吸附和附着在活性炭上的细菌生物降解；

**臭氧氧化可有效去除水中的酚、氰、硫、铁、锰，并能脱色、除嗅和味、以及杀菌消毒等**

臭氧分解产生氧气，不产生二次污染，又可增加水中溶解氧，使生物活性炭滤池有充足的溶解氧（DO），因此促使好氧微生物在活性炭上繁殖，加快有机物的降解和硝化作用，延长了活性炭使用寿命；

**臭氧氧化也是减少溴酸化合物形成的有效方法，加强了活性炭对溴酸化合物的高效去除。**

# 高级氧化技术简介及应用分类

## 高级氧化技术（AOPs）

高级氧化技术又称作深度氧化技术，以产生具有强氧化能力的羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ）为特点，在高温高压、电、声、光辐照、催化剂等反应条件下，将大分子难降解有机物氧化成低毒或无毒的小分子物质，具有氧化活性电位高、去除有机物能力强等优点。

| 氧化剂   | 分子式                          | 标准电极电位/V |
|-------|------------------------------|----------|
| 氟     | $\text{F}_2$                 | 2.87     |
| 羟基自由基 | $\cdot\text{OH}$             | 2.80     |
| 臭氧    | $\text{O}_3$                 | 2.07     |
| 过氧化氢  | $\text{H}_2\text{O}_2$       | 1.78     |
| 高锰酸根  | $\text{MnO}_4^-$             | 1.67     |
| 二氧化氯  | $\text{ClO}_2$               | 1.50     |
| 氯气    | $\text{Cl}_2$                | 1.36     |
| 重铬酸根  | $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ | 1.33     |
| 氧气    | $\text{O}_2$                 | 1.23     |



# 高级氧化技术简介及应用分类

---

## 臭氧接触池的两个功能：

让臭氧有较高的溶解率（较高的臭氧吸收率）

较高的反应效率（较高的去除率）

## 臭氧预氧化的功能：

臭氧预氧化，将NOM难降解大分子变为可降解小分子

臭氧预氧化提供了一种微絮凝作用，提高了后端絮凝效果

臭氧预氧化臭氧用量较小

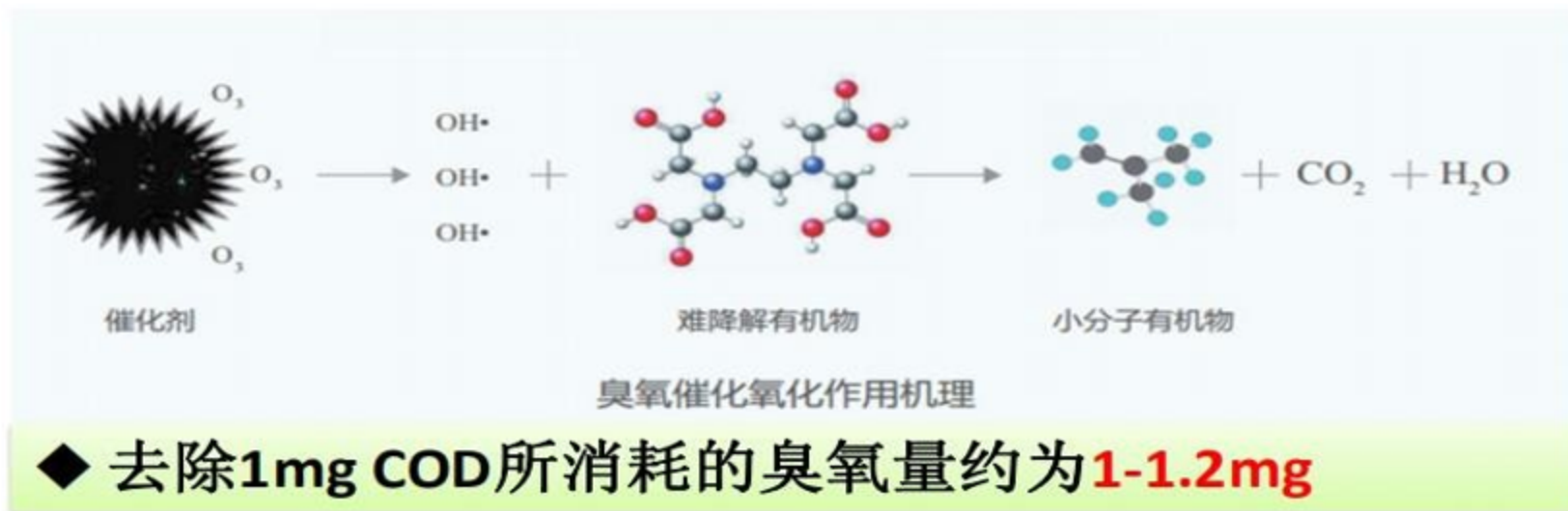
## 主臭氧接触池的功能：

让臭氧有较高的溶解率（较高的臭氧吸收率）

# 高级氧化技术简介及应用分类

## 臭氧催化氧化技术

催化氧化技术指在常温常压下，利用催化剂将臭氧分解成氧化能力更强的羟基自由基（ $\text{OH}\cdot$ ），进而氧化分解水中的有机污染物的过程。



# 高级氧化技术简介及应用分类

---

## 1、COD降解效率高

COD去除效率大于50%，是传统臭氧氧化工艺的2倍。

## 2、臭氧利用率高

臭氧投加量更小，是传统臭氧氧化工艺的2~3倍。

## 3、运行成本低

COD实际工程运行：进水COD~100mg/L，出水COD~50mg/L，吨水处理

成本是传统臭氧氧化工艺的50%。

## 4、操作简捷

不加药、无污泥，全自动控制运行。

# 高级氧化技术简介及应用分类

## (1) 去除污水中的难降解有机物



- 市政/工业污水深度处理，满足排放要求。
- 膜浓水处理，实现达标排放。

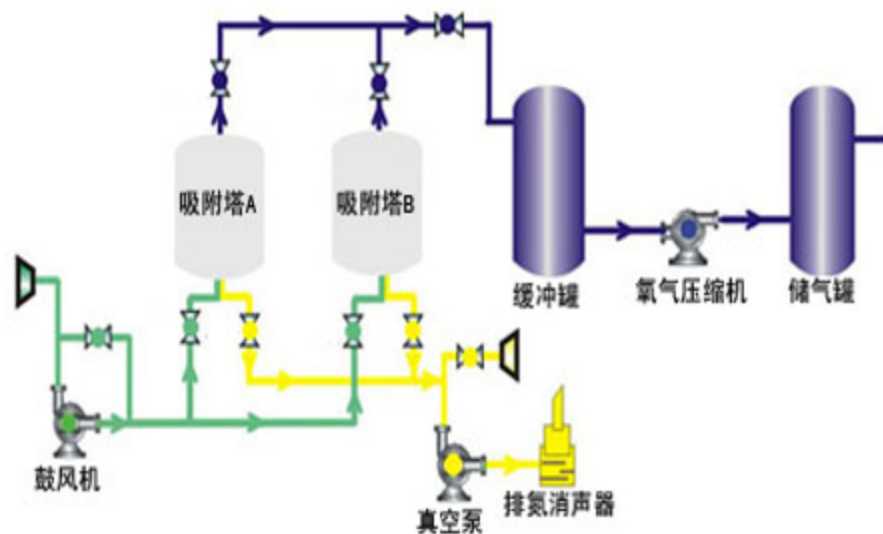
## (2) 提高污水可生化性



- 生物毒性、难降解污水预处理，提高废水的可生化性。

# VPESA分子筛变压吸附制氧单元

- ◆ VPESA制氧系统主要由**鼓风机**、**真空泵**、**切换阀**、**吸附塔**和**氧气缓冲罐**组成。
- ◆ 空气经过滤器除去灰尘颗粒后，被罗茨鼓风机增压至0.3-0.5bar进入其中吸附塔。吸附塔内装填吸附剂， $H_2O$ 、 $CO_2$ 被装填于底部的活性氧化铝所吸附， $N_2$ 被装填于活性氧化铝上部的沸石分子筛所吸附。而氧气为非吸附组分排至氧气缓冲罐。
- ◆ 当该吸附塔吸附饱和后，通过切换阀利用真空泵对之进行抽真空，真空度为0.65-0.75bar。已吸附的 $H_2O$ 、 $CO_2$ 、 $N_2$ 及少量其它气体组分被抽出并排至大气，吸附剂得到再生。
- ◆ VPESA的每个吸附塔都交替执行以下步骤：  
---吸附---解吸---冲压



工艺流程图

# 系统配套设备--VPSA制氧系统



## 系统组成

罗茨风机、真空泵、吸附塔、氧压机  
储气罐等

## 优劣势

优势：运行费用最低

劣势：投资大、占地大、噪音大

## 1kg臭氧运行成本（元）

|          |        |
|----------|--------|
| VPSA制氧成本 | 3.2元/h |
| 臭氧发生器电耗  | 7kw. h |

# 系统配套设备--液氧系统



## 系统组成

液氧储罐、空温式汽化器、减压装置



## 优劣势

优势：稳定性好、运行维护简单、可租赁

劣势：定时补充液氧、压力容器、地区价格差异

## 1kg臭氧运行成本（元）

|         |         |
|---------|---------|
| 液氧成本    | 6-12元/h |
| 臭氧发生器电耗 | 7kw. h  |

# 系统配套设备--PSA制氧系统



## 系统组成



空压机、冷冻式干燥机、吸附式干燥机、制氧机、储气罐、过滤器等

## 优劣势



优势：占地小，投资低

劣势：运行成本较高，不适合大机组

## 1kg臭氧运行成本（元）

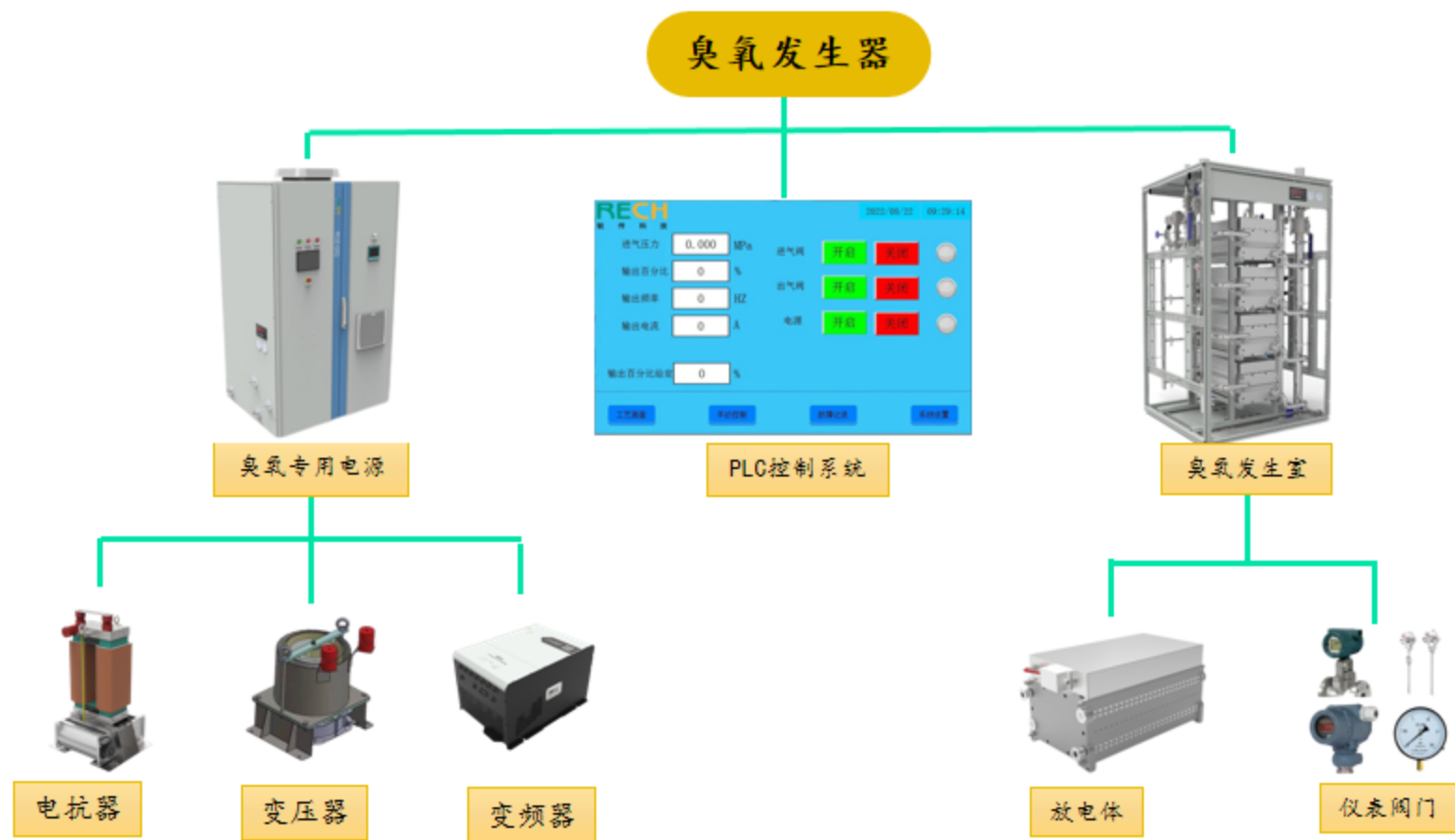
PSA制氧成本

10.5元/h

臭氧发生器电耗

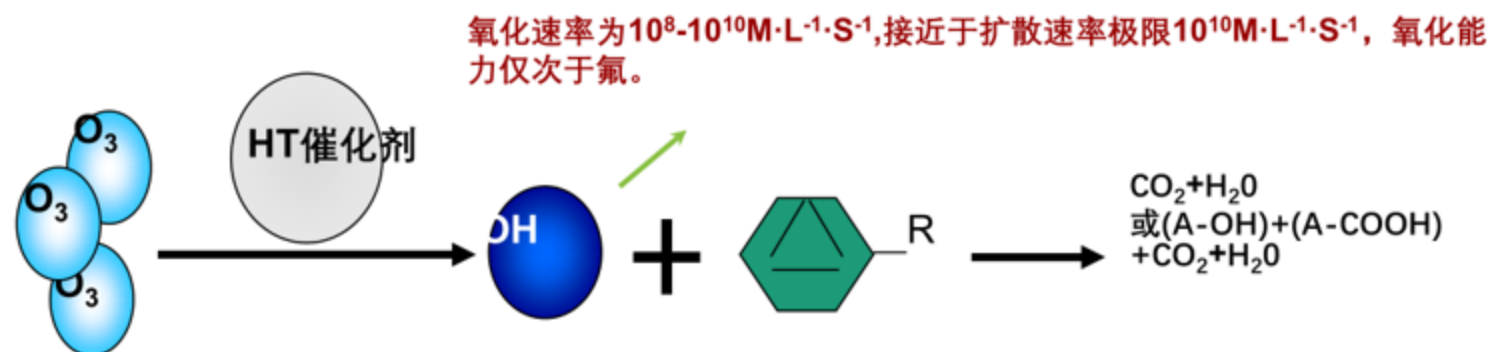
7kw. h

# 臭氧发生系统组成



# 多级循环催化氧化技术原理

多级循环催化氧化技术的核心是HPOD多级反应组件，由多级串联反应室和钛系催化剂组成，其工作原理是利用臭氧在催化剂表面产生的羟基自由基，去氧化水中微量的、难生物降解的有机物，以达到深度去除COD、高度净化水质的目的，出水COD最低可稳定控制在 20 mg/L 以下，稳定可靠地满足各级排放或者回用水水质要求，是目前催化效率（羟基自由基产率）最高的臭氧催化氧化装置。



# 多级循环催化氧化技术流程与控制

01

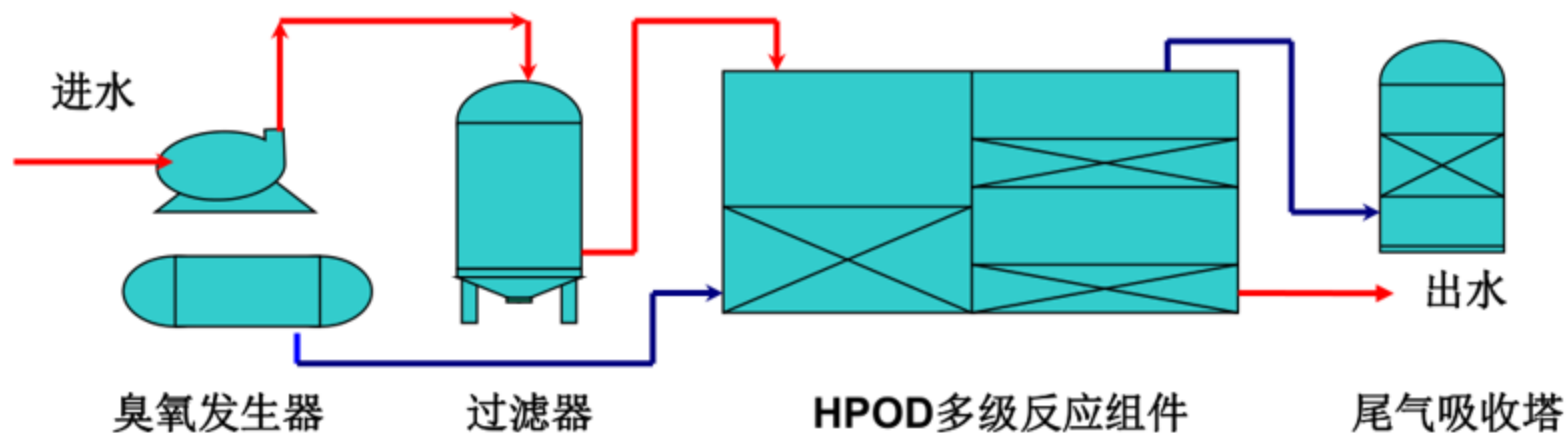


独立应用



当废水 $COD \leq 120$  mg/L时，采用单独的HPOD系统

HPOD系统产生的大量羟基自由基，深度去除废水中的COD物质和色度，出水COD最低可小于20 mg/L，色度小于20倍，稳定可靠地满足排放要求。可应用于煤化工、石化、印染、农药、医药等的污水生化处理后的进一步深度净化处理。



# 多级循环催化氧化技术应用与组合方案

02

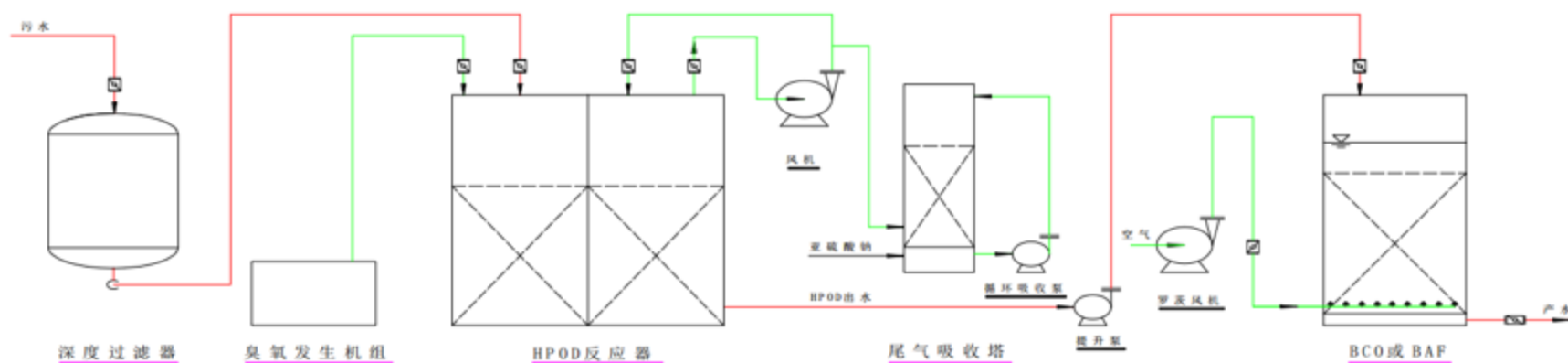


生化组合应用模式



当废水COD大于200 mg/L时，采用HPOD改性+生化+HPOD氧化组合技术。

HPOD系统产生的羟基自由基，无选择性地深度氧化、分解废水中的难生化有机物，降低废水COD值的同时提高废水的BC比，再经MBR或者BAF系统进一步生化处理，使排水达到国家一级排放指标或者回用指标要求。可应用于石化、医药、印染、农药企业等生产过程排放的毒性或难生物降解的有机废水深度净化处理。



# 产品应用领域

## 市政给水

预氧化/+后氧化  
提高絮凝、去除铁锰  
去除TOC、微污染物、杀菌

## 市政污水

提标改造  
中水回用

## 工业废水

印染废水、化工废水、园区废水  
养殖废水、焦化废水、垃圾渗滤液  
医药/农药废水。。

## 应用领域

## 烟气脱硝

低温脱硝  
多种污染物协同一体化脱除

## 化工氧化

医药中间体合成  
化学过程催化剂  
精制剂

## 空间消毒

食品保鲜、冷藏库、养殖场、  
粮食储存、饲料厂、医院

# 多级循环催化氧化技术应用与组合方案

03



膜系统组合应用模式

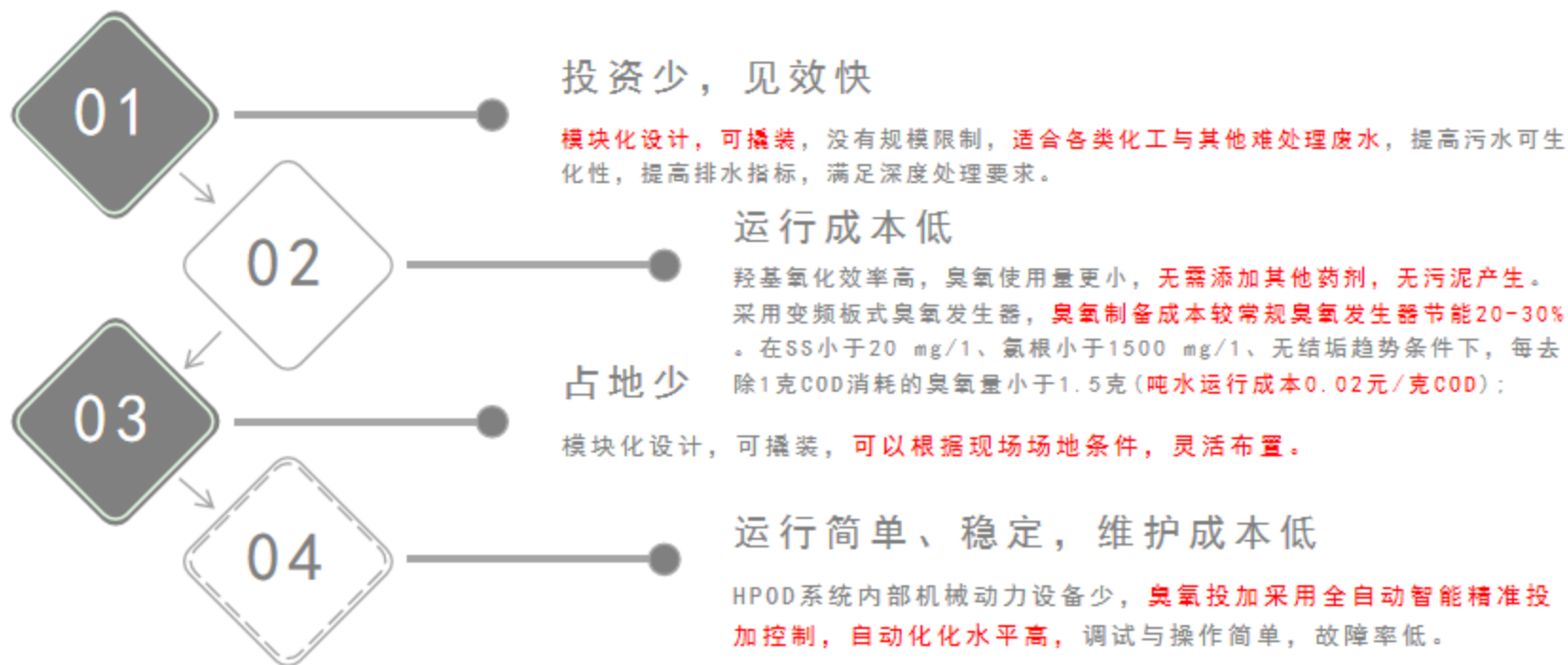


当膜系统进水COD $\geq$ 100 mg/L时，采用HPOD系统  
+膜系统。

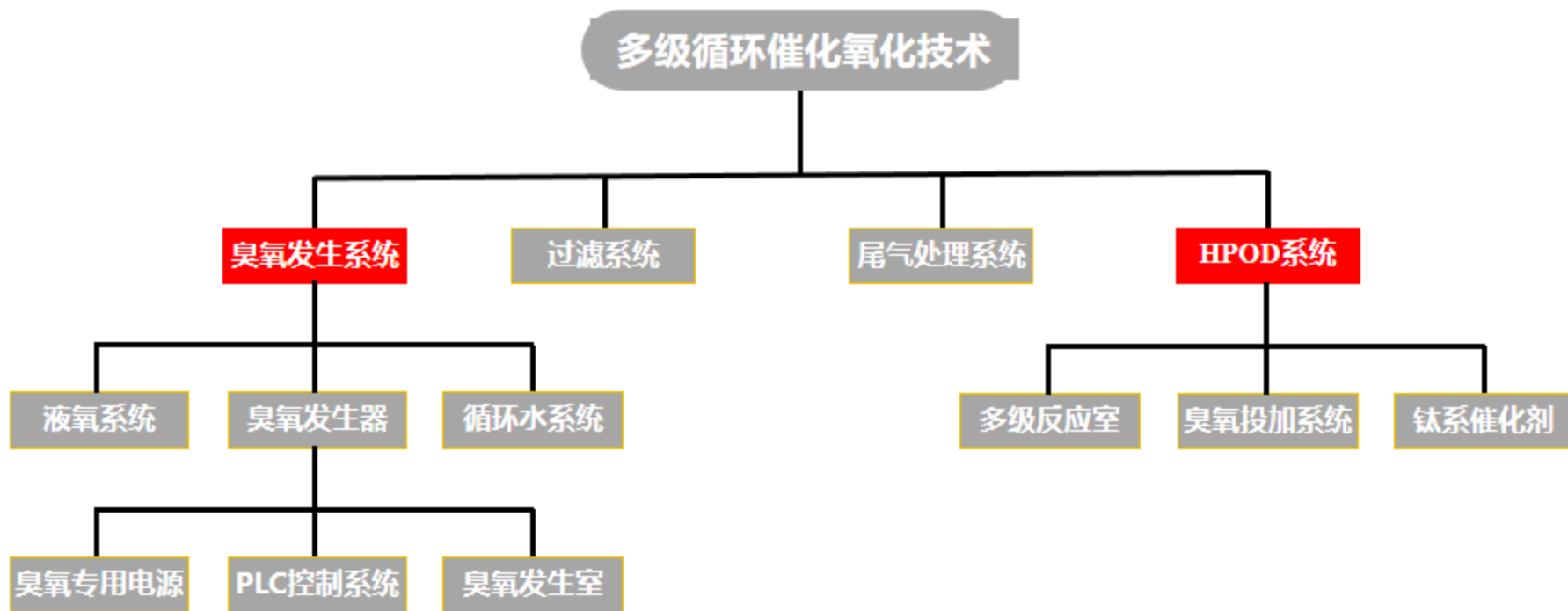
HPOD系统对水中的有机物（包括油类物质）进行深度氧化去除，将出水COD控制在50mg/L以下，可确保系统的正常运行。可应用于石油开采、石化、医药、印染、农药等企业的废水回用RO前的预处理。



# HPOD技术优势

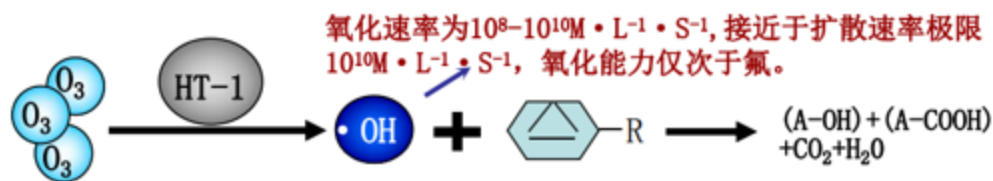


# 系统构成

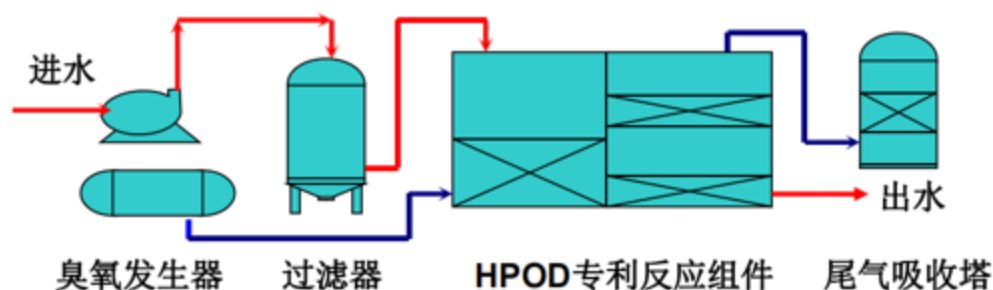


# 系统构成——HPOD系统

- HPOD系统由多级串联反应室和专利钛系催化剂组成，组件的第一级是多段逆流异相催化氧化室，第二级是大气量循环反应室，是目前催化效率(羟基自由基产率)最高的臭氧催化氧化装置。



羟基氧化反应方程式



HPOD系统经典配置

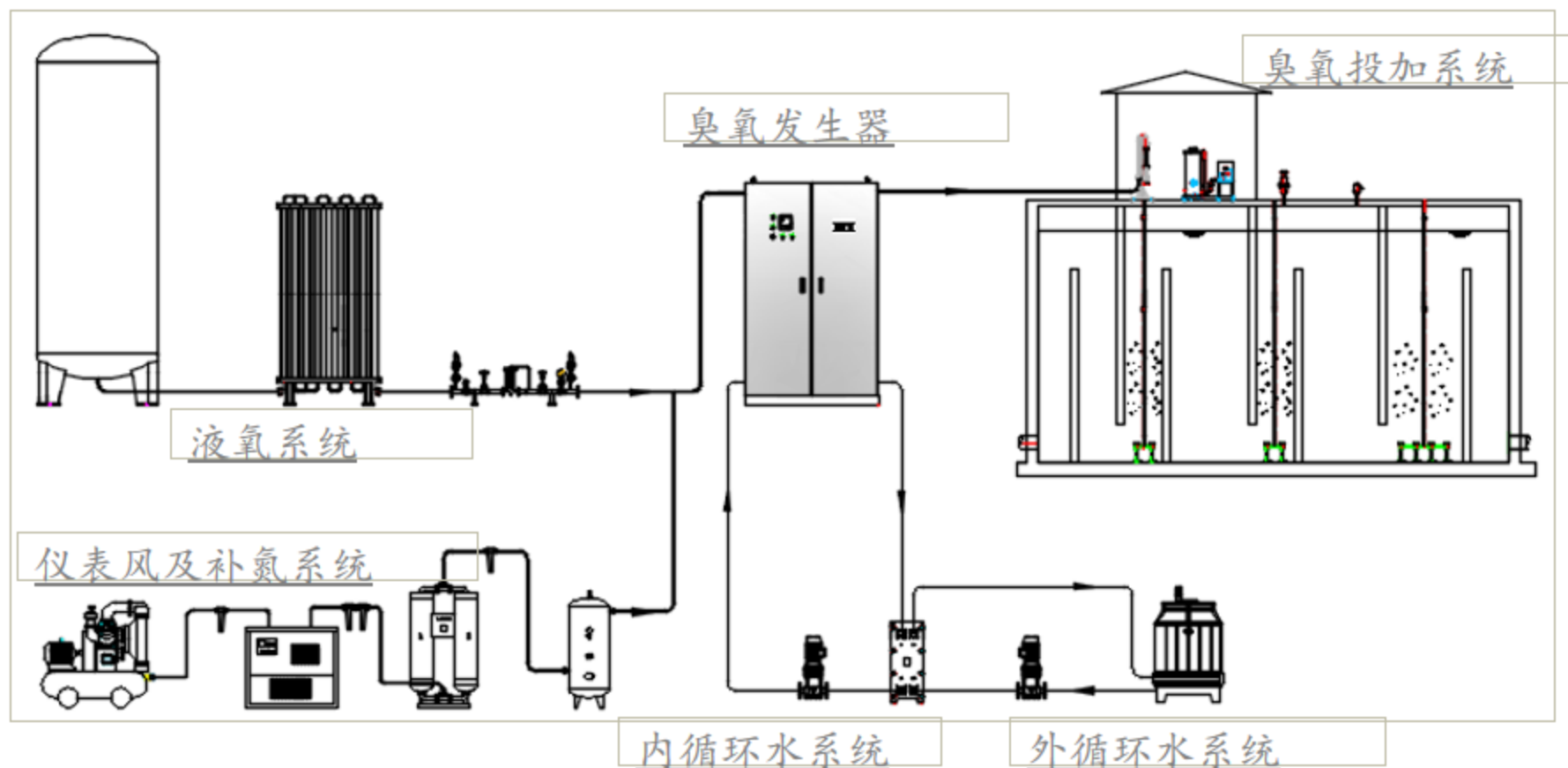
| 序号 | 指标名称              | 参数          | 说明                                                               |
|----|-------------------|-------------|------------------------------------------------------------------|
| 1  | OC比<br>(克臭氧/克COD) | 1-1.5       | 系统运行参数是在PH值8.0-8.5、SS小于20 mg/l, 如废水中氯根超过1500 ppm, 将增加臭氧耗量、催化剂用量。 |
| 2  | 催化剂使用寿命<br>(年)    | $\geq 10$   |                                                                  |
| 3  | 运行成本<br>(元/克COD)  | $\leq 0.02$ |                                                                  |

# 系统构成——HPOD系统

## HPOD系统性能特性

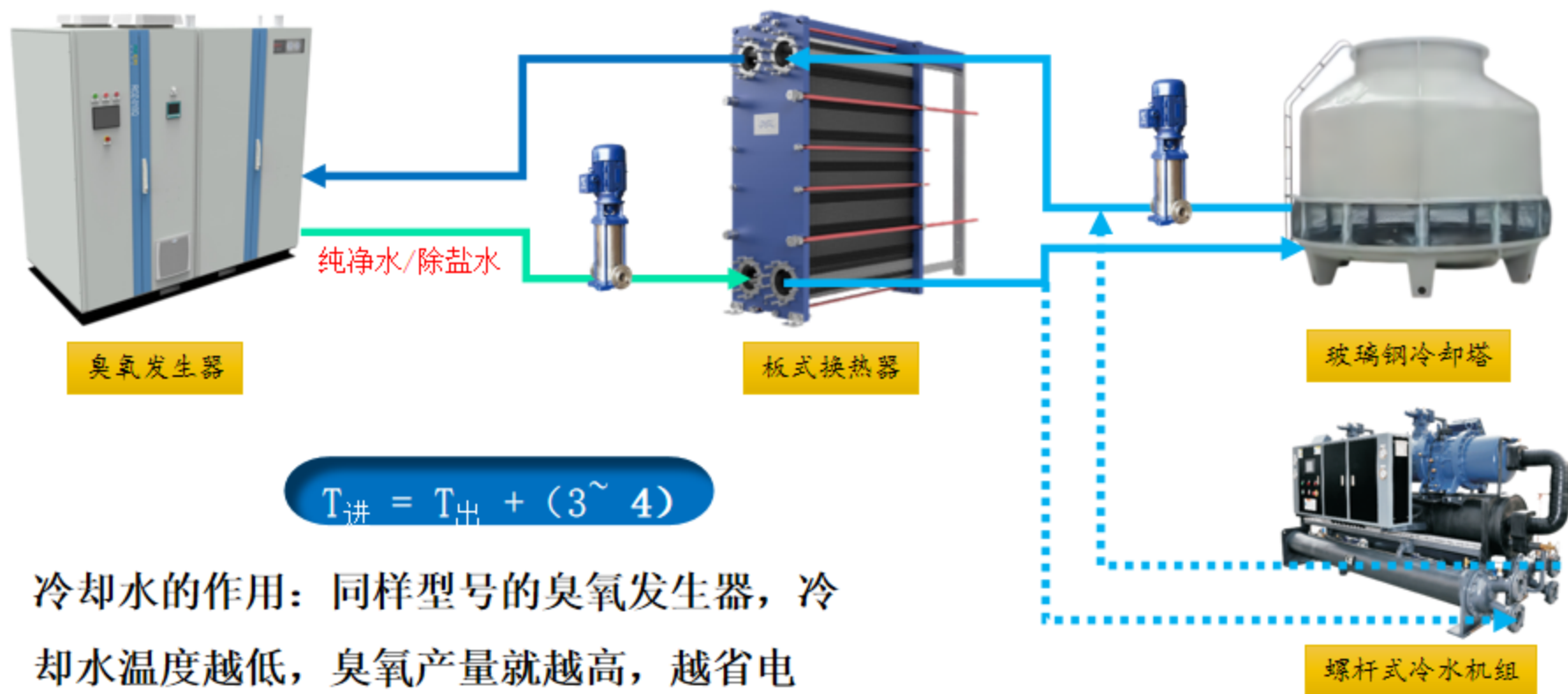
- (1)HPOD系统进出水的PH差值范围为0.3-0.8,说明HPOD系统比其它高浓度臭氧催化氧化系统的羟基自由基产率更高,可无选择性氧化废水中的有机物质,使之变成醇类和羧酸类小分子有机物,大幅提高污水的BC比,更可稳定控制出水COD在20 mg/1以下;
- (2)在SS小于20 mg/1、氯根小于1500 mg/1、无结垢趋势条件下,每去除1克COD消耗的臭氧量小于1.5克(吨水运行成本0.02元/克COD);
- (3)HPOD反应组件采用全封闭结构,氧化过程无需加药,氧化过程不新增污泥和有害气体,过程可实现全自动控制,较其它臭氧氧化工艺优势显著。

# 系统构成——臭氧发生器系统



# 系统配套设备--冷却水系统

臭氧合成过程中电功率被转换成热能，具有稳定高效的冷却系统是发生器长期运行的根本保障。



# 系统配套设备--臭氧尾气破坏器



去除泡沫及水汽

分解臭氧

监测尾气排放

除雾器/  
气液分离罐

催化剂

尾气监测仪

电加热器

风机

加热气体至60°C

负压抽取气体

# 系统配套设备--投加方式

01

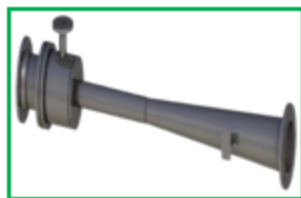
曝气盘



钛或者刚玉曝气盘  
投资低、臭氧利用率低

02

射流器



采用文丘里原理气水混合

03

溶气泵



齿轮结构  
用于小水量气水混合

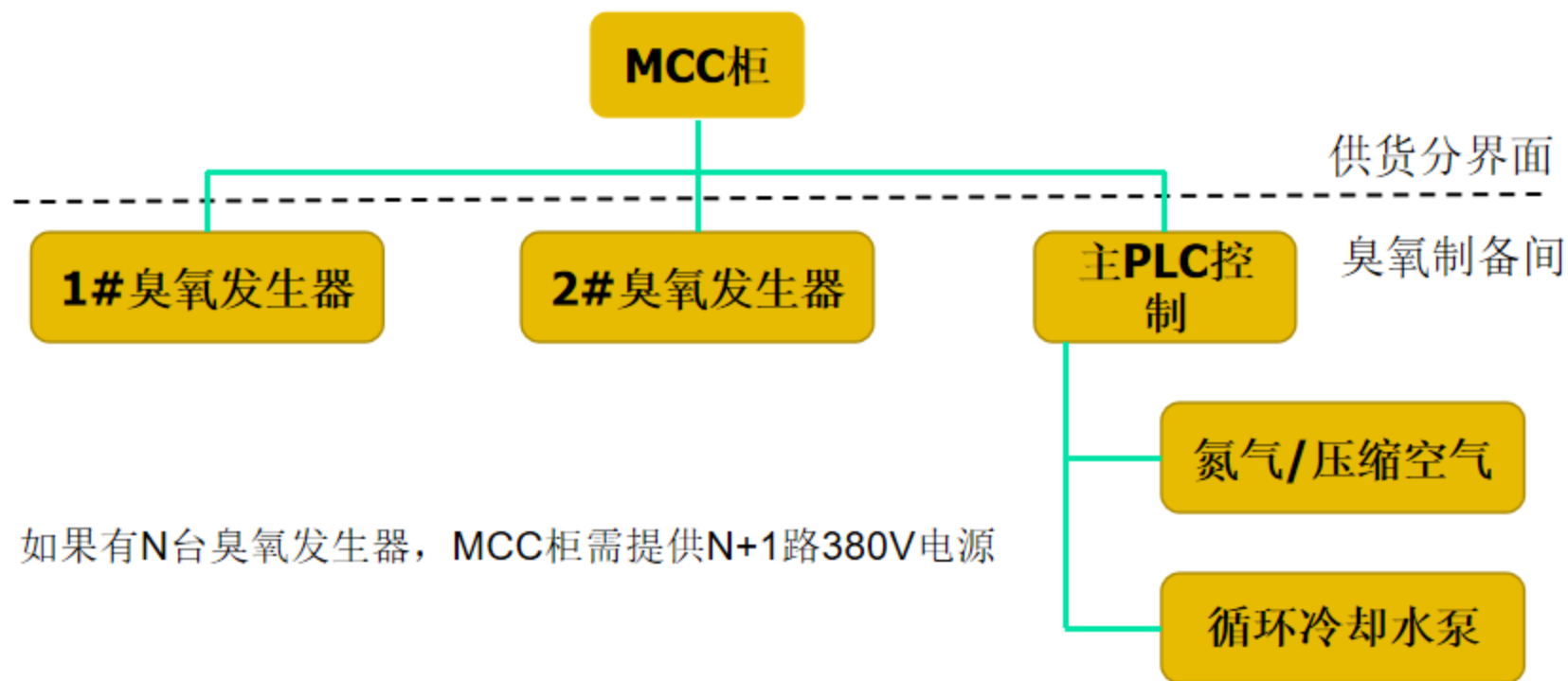
04

高效溶气  
装置

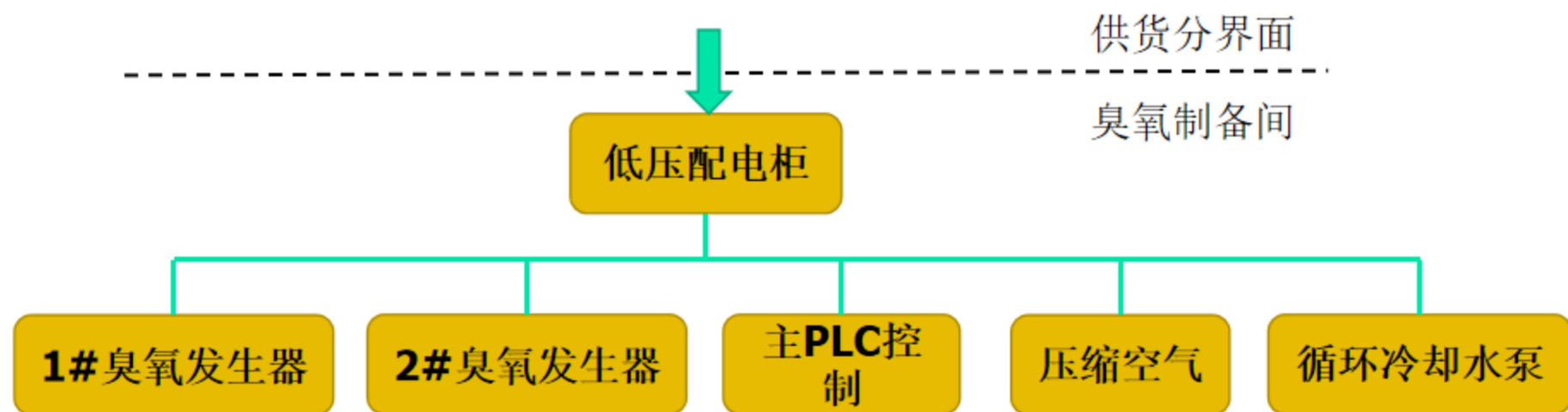


高效纳米溶气技术，混合效率高

# 系统配套设备--供配电与自控1



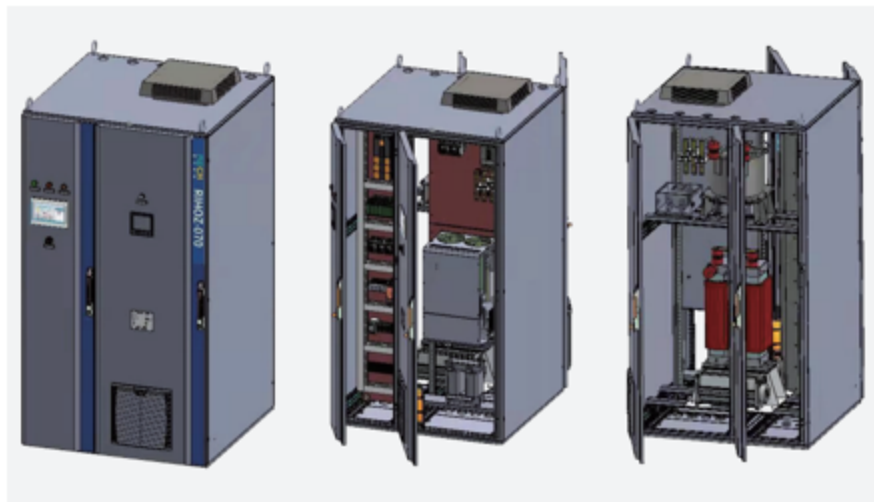
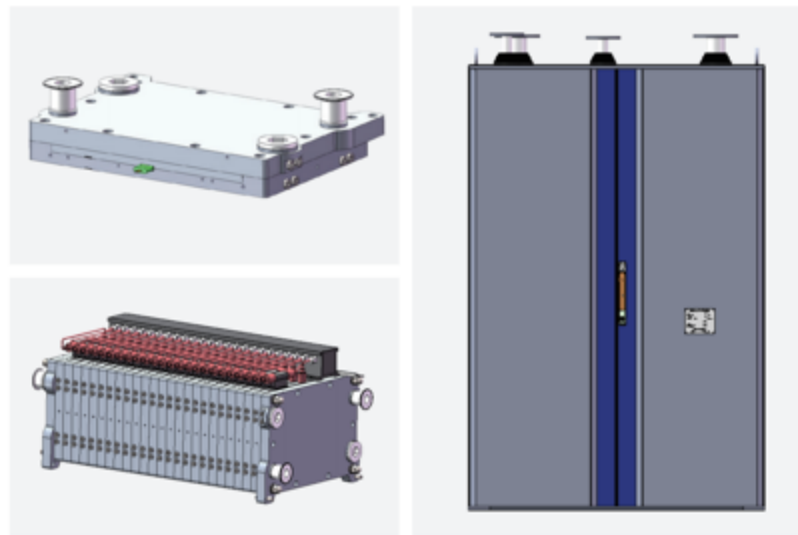
## 系统配套设备--供配电与自控2



只需1路380V电源，卖方提供低压配电柜为配套的设备供货

# 高级氧化技术简介及应用分类

**厦门锐传**机柜式臭氧发生系统采用独特的板式放电结构，该结构能充分利用平板的加工优势最大程度的缩小放电间隙，同时实现所有单元模块的模块化装配。模块化装配的优势在于，运行过程中单元模块的故障不影响到其他正常模块可在线对故障模块进行检修，为不停机连续生产带来巨大便利。放电板采用微弧氧化表面陶瓷化处理工艺，进一步提升材质的耐受性能大大提升了板式臭氧发生器的使用寿命。模块化装配能够实现任意臭氧产量的集成最大单机臭氧发生器产品的产量可达150Kg/h。

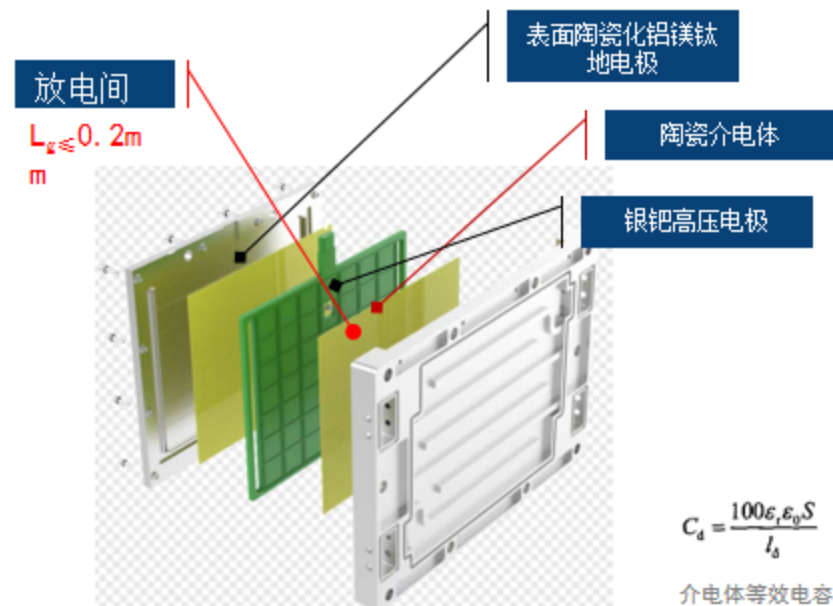
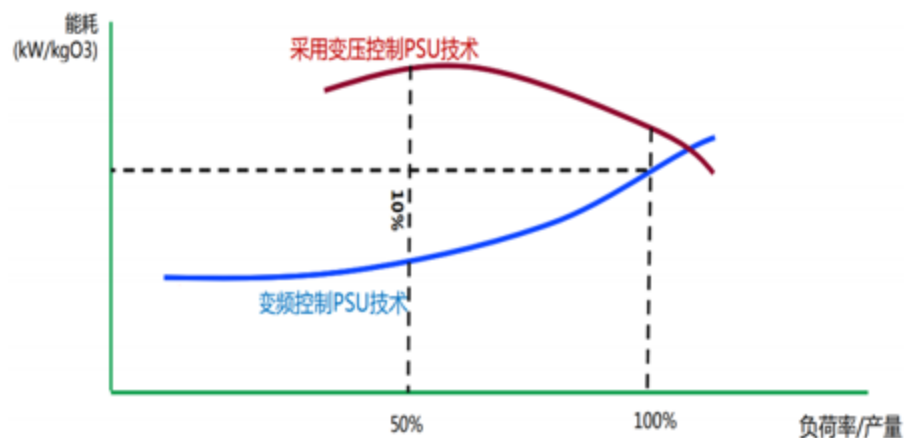


# 高级氧化技术简介及应用分类

厦门锐传为臭氧发生器单独开发了智能变频脉冲电源，该电源产生的脉冲电场强度较普通高频高压电源高**30%**以上，能将臭氧发生器供电频率与谐振频率连锁，让全套系统在任意工况下工作于谐振频率。优秀的全数字控制系统能将IGBT温度控制在**40℃**以下，将电感温度控制在**45℃**以下，整个电源系统具有极高的稳定性。具有臭氧发生器电源研发、测试、生产的全套产业链，能够保证电源系统的可靠性与稳定性。

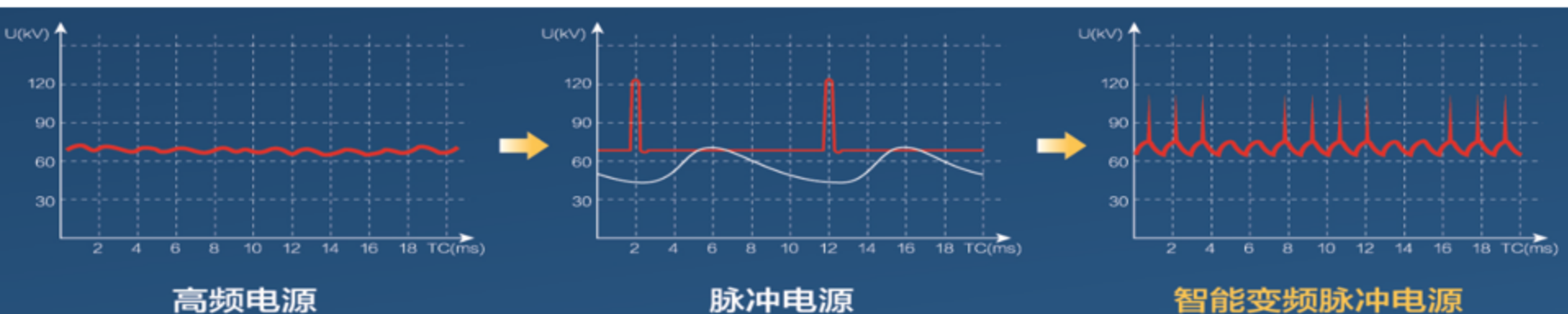


## 臭氧发生器原理(高浓度、低能耗)



厦门锐传通过**智能变频技术**来调节设备产量的技术，在臭氧产量降低的情况下单位电耗（KWh/kg O<sub>3</sub>）也是随之下降，另外我们设备的产量调节范围足够大从10-100%。

## 锐传智能变频脉冲电源——综合了高频和脉冲电源优势



### 高频电源

- 转换效率高
- 纹波系数小
- 平均电压高
- 电压恢复快

### 脉冲电源

- 在直流基波上叠加高压窄脉冲
- 峰值电压高
- 有效去除高比电阻和细微粉尘

### 智能变频 脉冲电源

## 应用案例4

### 中原环保新密市洧水河污水处理厂提标改造工程



# 高级氧化技术简介及应用分类

大型模块化板式臭氧发生器及其系列产品可广泛应用于市政饮用水处理、污水处理、工业废水处理、烟气脱硝、纸浆漂白、精细化工氧化等领域，是国家“十三五”以及未来在饮用水安全、环境保护和节能减排等方面“转方式，调结构”的重要发展方向，也是我国面向环保工程应用并可替代进口的重大技术装备。



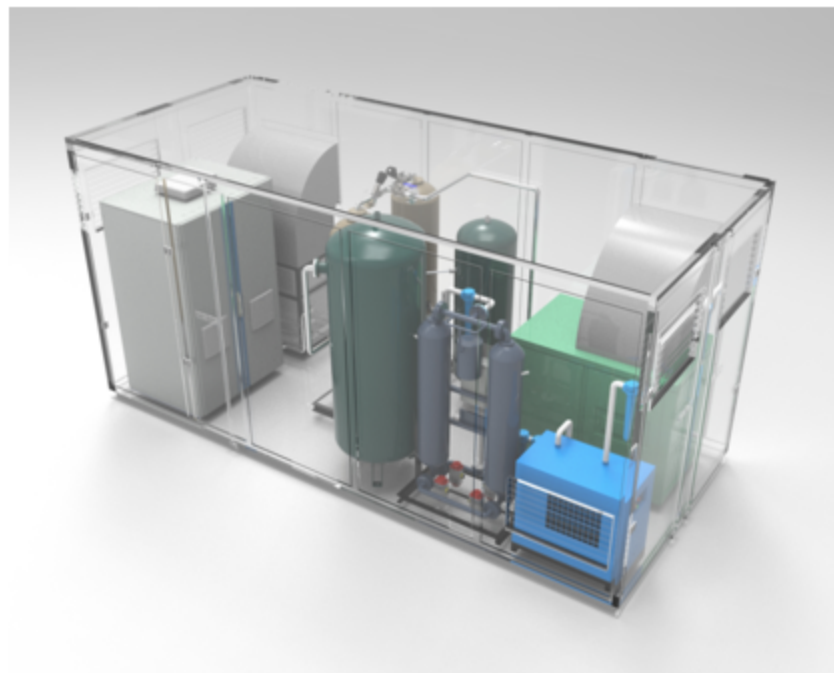
# 高级氧化技术简介及应用分类

板式大型臭氧发生器可以根据客户需求定制DCS智能化控制系统，可以根据水量水质变化自动启动或关闭臭氧模块，自动控制臭氧投加量，避免造成臭氧投加量远高于实际使用量，提高运营效率，减少运营成本，为客户提供更优质的服务。



## 应用案例5

### 牧原集团股份有限公司臭氧催化氧化系统（黄梅、巢湖、临海等）



## 应用案例6

### 宁夏石嘴山市经开区工业污水处理厂提质扩容项目

处理规模：25000m<sup>3</sup>/d；

发生器产量：2x15kg/h

投加量：20mg/L

处理工艺：预处理+A2O生物池+曝气生物滤池+  
转盘滤池+臭氧接触氧化

排放标准：《城镇污水处理厂污染物排放标准》  
一级A标准

水质：COD:进水≤400，出水≤50

氨氮：进水≤25，出水≤5

BOD<sub>5</sub>:进水≤140，出水≤10



# 应用案例——东华公司东至化工园污水臭氧催化氧化工程（投运时间**2022年5月**）

## 项目简介

处理水量：12500 t/d

## 工艺流程

污水→HPOD系统羟基氧化→去生化

## 操作参数

(1) 进水水质1:  $\text{COD} \leq 95 \text{ mg/L}$ , 含盐量  $\leq 3000 \text{ mg/l}$ 时。

HPOD出水1:  $\text{COD} \leq 55 \text{ mg/L}$ ,  $\text{BC比} \geq 0.3$ ;

(2) 进水水质:  $\text{COD} \geq 95 \text{ mg/L}$ , 含盐量  $\leq 3000 \text{ mg/l}$ , HPOD出水:  $\text{COD去除量} \geq 40 \text{ mg/L}$ ,  $\text{BC比} \geq 0.3$ ;



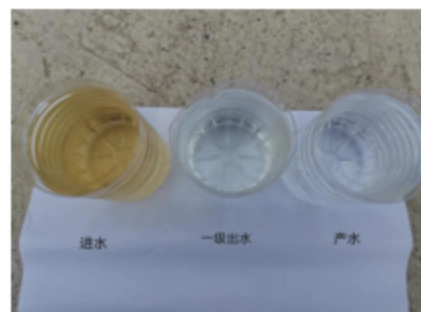
HPOD反应组件



HPOD一级反应器



HPOD二级反应池



进水与产水

# 应用案例——岳阳云溪工业园污水深度净化工程

## 项目简介

本工程为岳阳云溪污水处理厂污水的末端深度净化工程，通过采用二段专利HPOD系统+BAF组合设备，确保了污水处理厂排水稳定可靠的达标排放。

## 工艺流程

原水→羟基改性 (HPOD1) →BAF→羟基氧化 (HPOD2) →达标排放

## 操作参数

进水水质：COD $\leq$ 110 mg/L，含盐量 $\leq$ 3000 mg/l；HPOD出水：COD $\leq$ 50 mg/L，氨氮 $\leq$ 3mg/L；处理水量：5000 t/d



# 应用案例——山纳氯丁橡胶污水回用工程

## 项目简介

本工程为山纳公司污水深度净化和回用处理工程，通过采用深度净化+一段专利HPOD系统+超滤+反渗透组合设备，即可确保了污水稳定达标排放，又可做到污水膜处理回用。

## 工艺流程

原水→高效斜板澄清→深度过滤→羟基氧化（HPOD2）→达标排放→超滤→反渗透→回用

## 操作参数

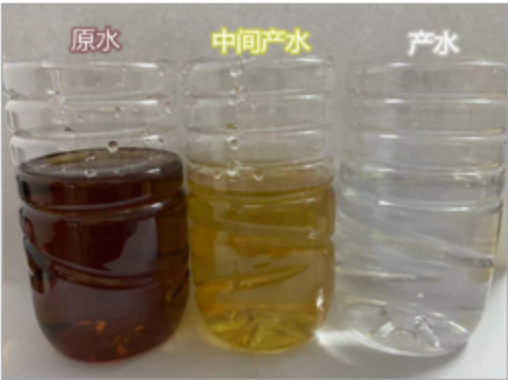
进水水质：COD=120 mg/L，HPOD出水：  
COD≤40 mg/L，处理规模：7000 t/hr  
RO出水：COD≤5 mg/L，含盐量≤150 mg/L，处  
理规模：5280 t/hr



# 应用案例——岳阳县垃圾填埋场垃圾渗滤液深度净化验证实验

## 项目简介

为了解决目前岳阳县垃圾填埋场垃圾渗滤液处理工艺中存在的处理水量低、出水水质差的难题，我们研发了二级臭氧催化氧化+段间生化的新型垃圾渗滤液处理工艺，试验获得了圆满成功，既能够解决排水达标问题，还解决了污水回头的问题。



## 工艺流程

超滤出水→HPOD1→AO生化→HPOD2→达标排放

## 操作参数

进水水质：COD=1500 mg/L，含盐量≤8000 mg/L，出水水质：COD≤100 mg/L，处理规模：0.1 t/hr

| 序号 | 原水         |           |           |           | 产水         |           |           |           |
|----|------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
|    | COD (mg/l) | 氨氮 (mg/l) | 总氮 (mg/l) | 总磷 (mg/l) | COD (mg/l) | 氨氮 (mg/l) | 总氮 (mg/l) | 总磷 (mg/l) |
| 1  | 1520       | 35        | 80        | 8         | 90         | 2.7       | 38.2      | 0.52      |
| 2  | 1500       | 30        | 90        | 7         | 90         | 2.8       | 36.9      | 0.50      |
| 3  | 1500       | 34        | 104       | 7.5       | 88         | 2.7       | 35.9      | 0.52      |
| 4  | 1530       | 40        | 110       | 8.2       | 93         | 2.8       | 38.1      | 0.54      |
| 5  | 1510       | 40        | 90        | 8.2       | 92         | 2.7       | 38.2      | 0.56      |
| 6  | 1520       | 35        | 95        | 8         | 90         | 2.9       | 38.2      | 0.50      |
| 7  | 1460       | 32        | 85        | 7.5       | 88         | 2.6       | 38.0      | 0.54      |

# 应用案例——贵港垃圾填埋场垃圾渗透液全量化处理

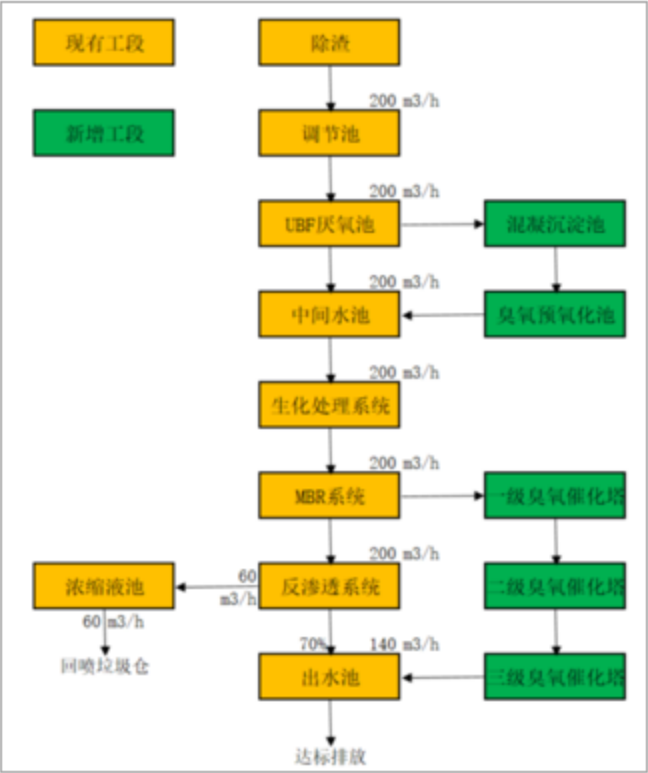
## 项目简介

广西贵港北控水务环保有限公司渗滤液处理项目，调试运行过程中出现生化效率低，泡沫严重，膜系统产水率低，易堵塞等问题。产生以上问题的原因复杂，主要原因是：垃圾渗滤液属于高浓度、难生化降解有机废水，现有系统缺少有效的预处理措施、废水生化效率低，长期高负荷运行，微生物负荷能力低，泡沫严重，膜系统进水水质差，易堵塞，产水率低。

### 设计水质水量

设计处理规模为200m<sup>3</sup>/d，通过改造，保证出水COD达到排放标准。

| 序号 | 水质指标       | 进水水质   | 出水水质      |
|----|------------|--------|-----------|
| 1  | CODcr mg/L | ≤21000 | ≤100      |
| 2  | 氨氮 mg/L    | ≤2500  | 20 ~ 50   |
| 3  | 总氮 mg/L    | ≤3000  | 100 ~ 200 |
| 4  | 总磷 mg/L    | ≤100   | ≤10       |
| 5  | 电导率 μs/cm  | ≤57000 | —         |



# 应用案例——贵港垃圾填埋场垃圾渗透液深度净化验证中试

## 工艺简介

采用二级臭氧催化氧化的垃圾渗滤液处理工艺，一则解决排水COD达标问题，二则测定系统能耗和运行成本等工程化数据。

## 工艺流程

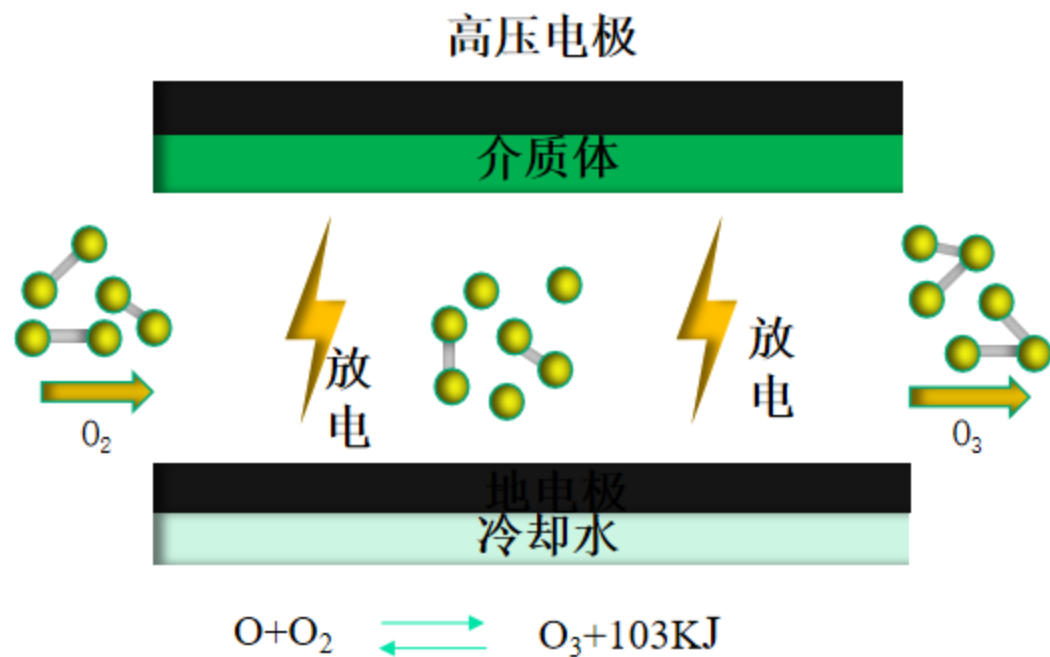
超滤出水→HPOD1→HPOD2→达标排放

## 操作参数

进水水质：COD=1000mg/L，含盐量≤8000 mg/L，出水水质：COD≤100 mg/L，处理规模：0.2 t/hr

| 名称      | 规格（mm）         | 功率（KW）           | 数量（台） | 备注        |
|---------|----------------|------------------|-------|-----------|
| HPOD-1  | 2000×2000×2800 | 0.75             | 1     | 中蓝长化（供）   |
| HPOD-2  | 2300×2300×2800 | 0.75             | 1     |           |
| 吨桶      | 1000×1000×1000 | 0                | 2     |           |
| 臭氧发生器   |                | 500g（分2股，每股250g） |       | 锐传科技（供）   |
| 氧气源     | 40升/瓶          |                  | 100   | 贵港电厂协助购买  |
| 项目      | 名称             |                  | 数量    | 备注        |
| 仪器      | COD消解仪、滴定仪器    |                  | 1台    | 中蓝长化（供）   |
| COD检测试剂 | COD化学检测试剂      |                  |       | 北控贵港协助（供） |

# 臭氧发生器原理



当含有氧气的气体通过两个电极之间的放电间隙时，氧气分子被分解为自由态的氧原子（O），部分自由态的氧原子与未分解的氧气分子重新结合生产臭氧（ $O_3$ ）

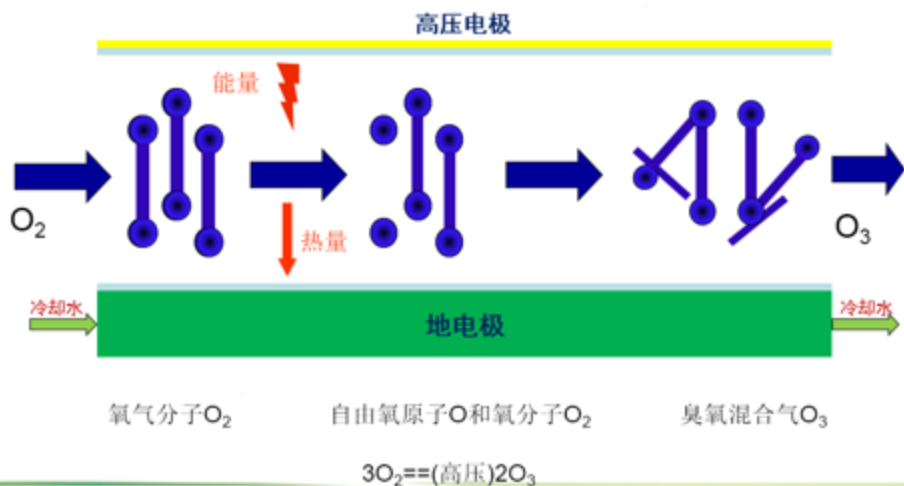


电能利用率约**15%**，如何降低臭氧发生器能耗！！

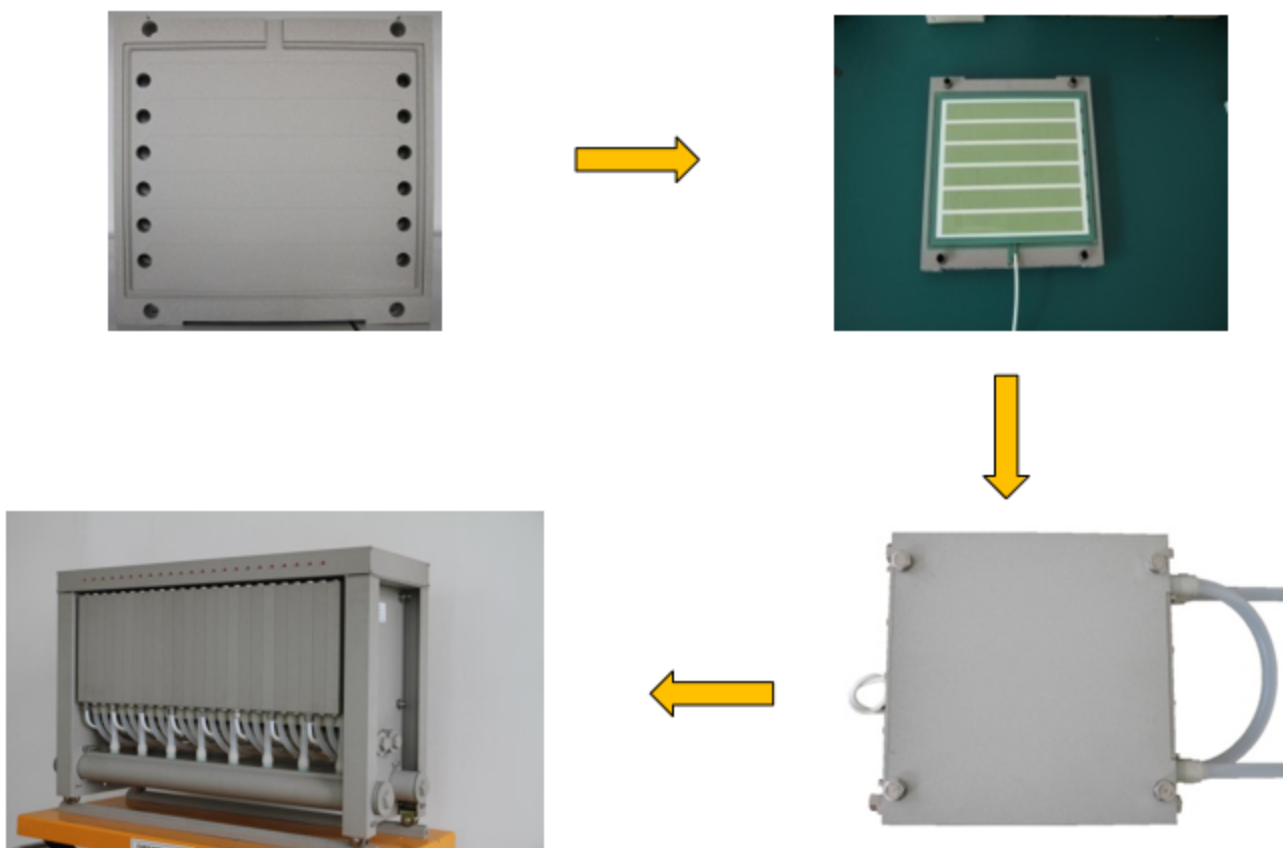
# 板式臭氧发生器

**原理：**依据介质阻挡放电法 来产生臭氧。

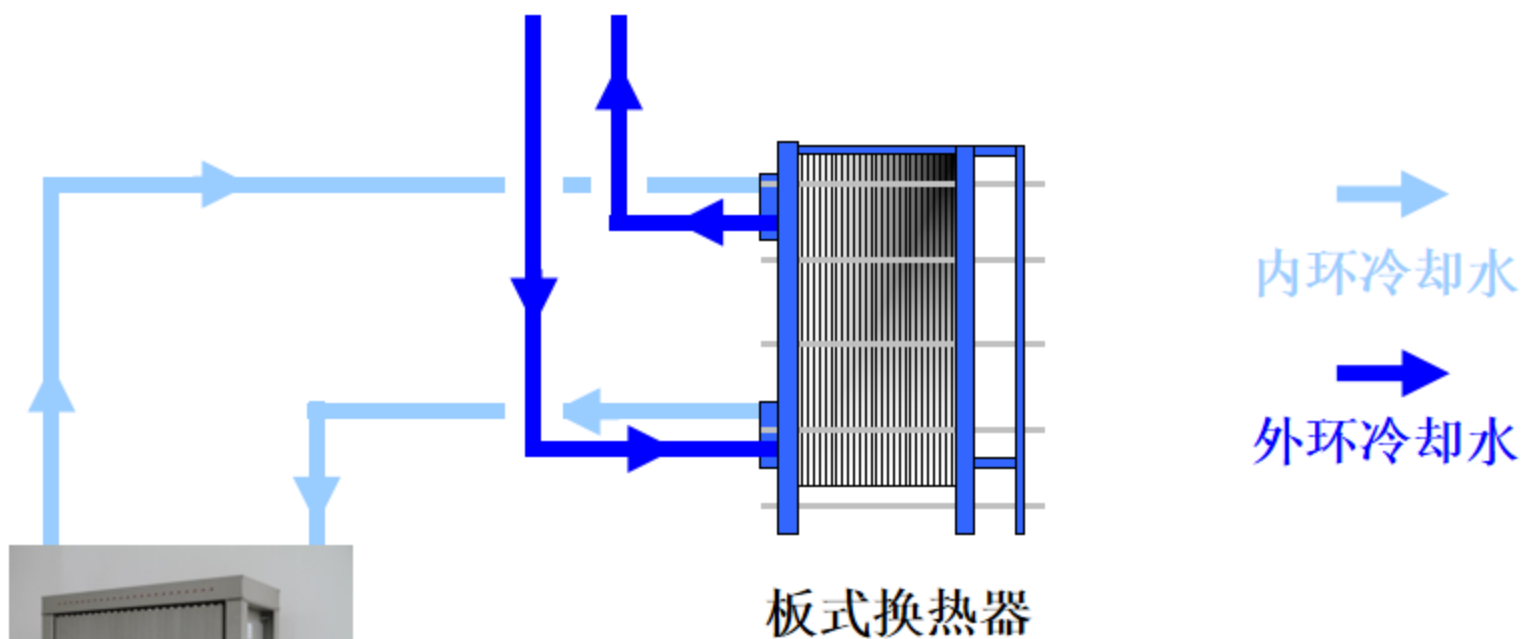
在两平行高压电极之间以一层绝缘介电体，并保持一定的放电间隙，当通入高压电流时，就会产生交变高压电场，空气或氧气通过放电间隙，氧分子受高能电子激发而获得能量，并相互碰撞形成臭氧分子。本公司自主研发的臭氧发生系统，可高效稳定的产生高浓度臭氧，且运行成本低每公斤臭氧运行能耗在8-9kw/h左右,为保证臭氧产量，对放电室进行了控制设计。



## 板式臭氧发生单元的结构形式



## 冷却水系统



板式换热器

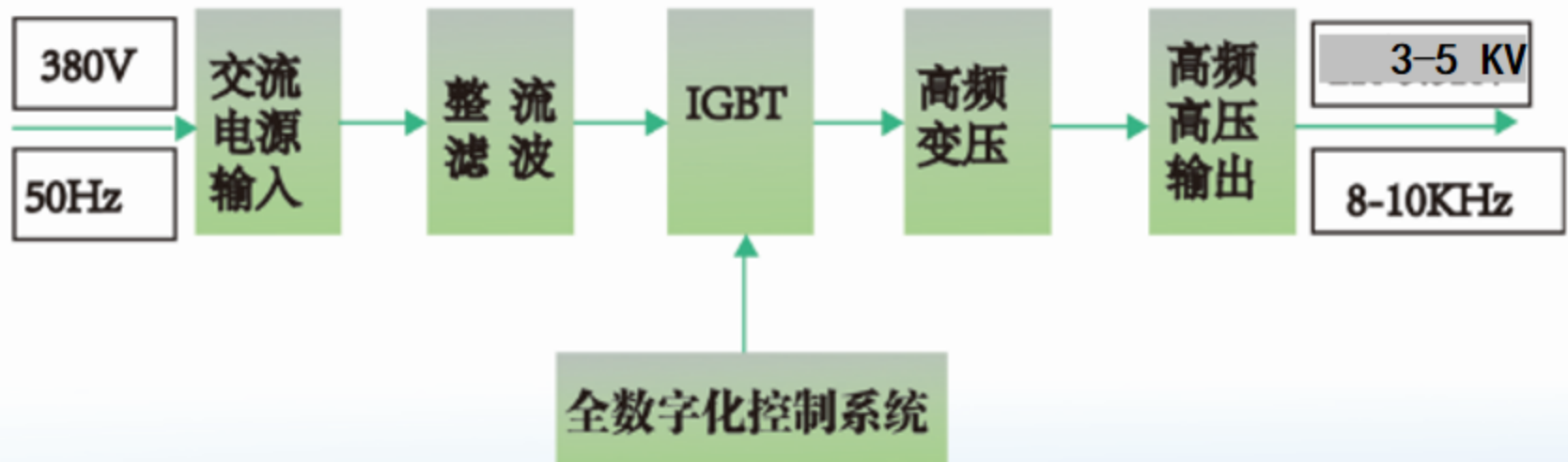


臭氧发生器

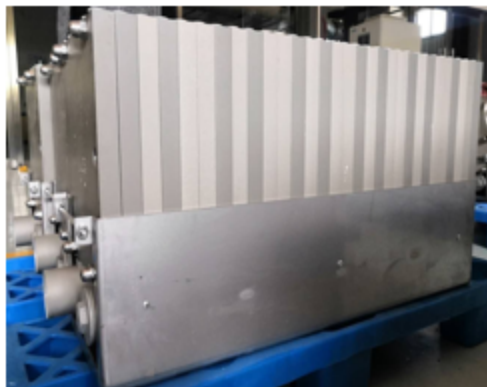
$$T_{\text{进}} = T_{\text{出}} + 4^{\circ}\text{C}$$

## 板式臭氧发生器的电源及控制

臭氧发生器的高频高压电源，采用全数字化控制技术，保证电源工作在最大功率曲线上。电源可实现过流、过压、短路、过热保护等功能，具有人机交互界面，可实时监控臭氧发生器运行状态。电源的结构框图如下：



# 臭氧放电产生单元-主要设备



# 高级氧化技术简介及应用分类

## 饮用水处理强化工艺

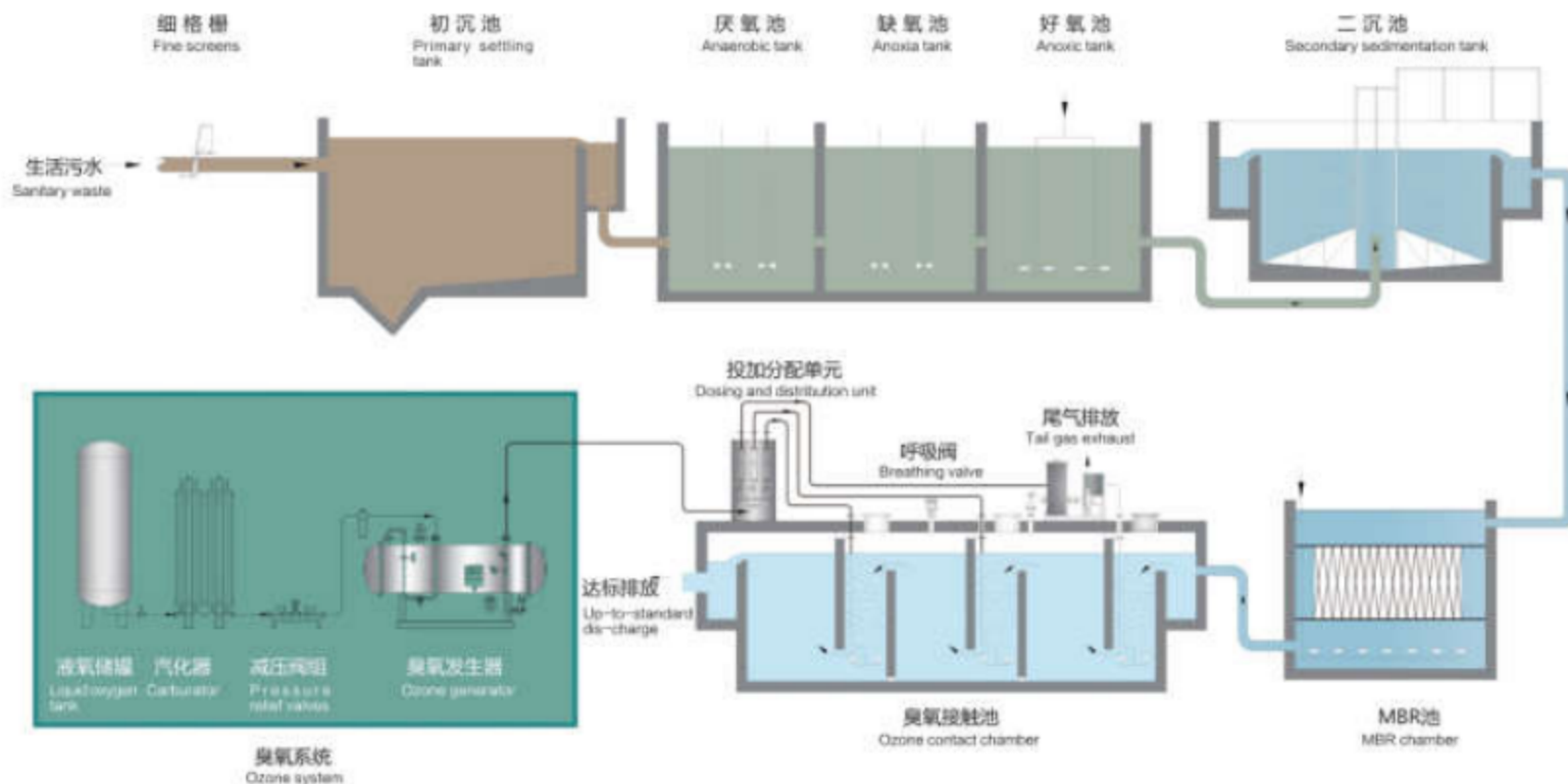


# 高级氧化技术简介及应用分类

## 市政污水处理及回用

### 污水处理流程图

### Waste Water Treatment Flow chart



# 高级氧化技术简介及应用分类

## 浙江金华污水处理厂



## 印染废水处理方案



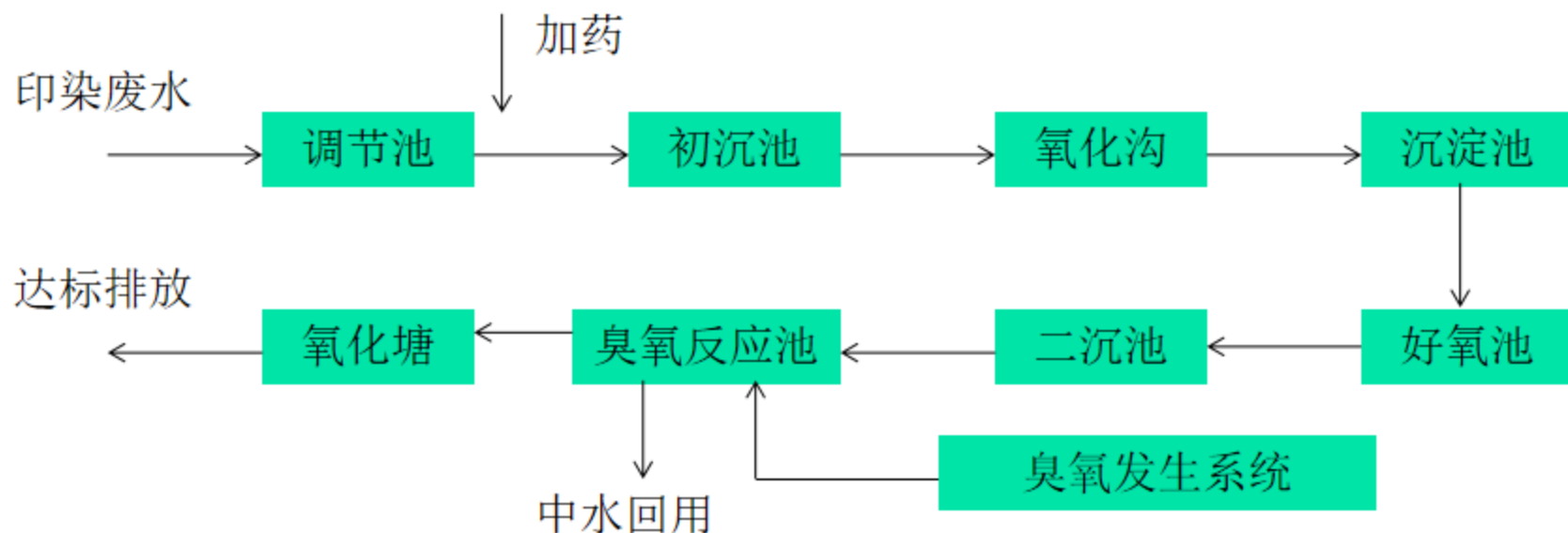
60公斤臭氧发生器系统



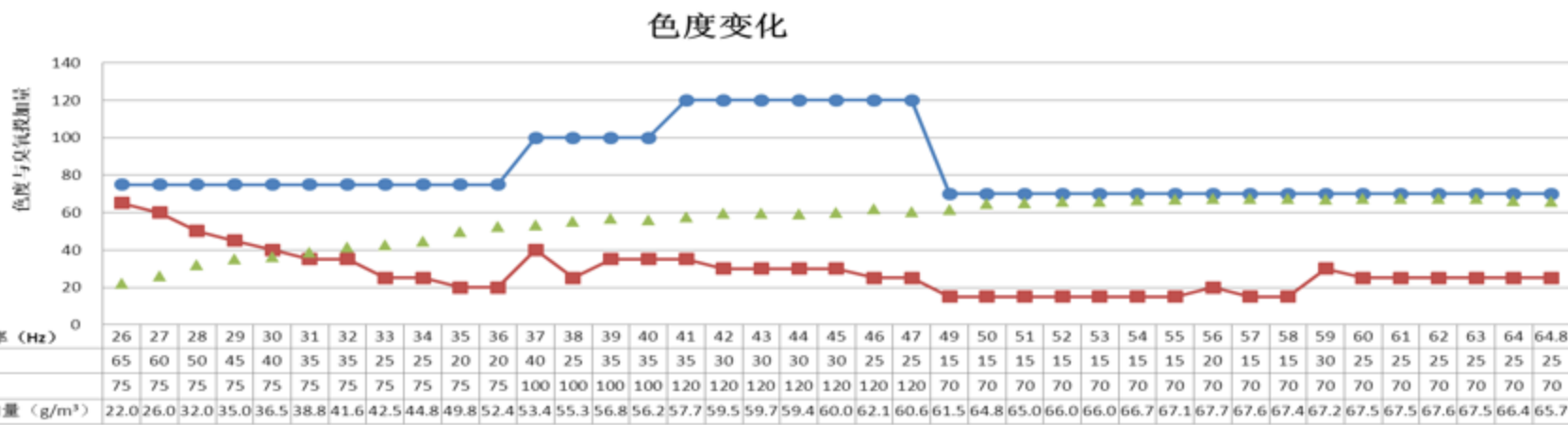
# 高级氧化技术简介及应用分类

## 佛山大塘工业园印染废水处理方案介绍

项目概况：广东佛山大塘工业园内有上百家印染企业，印染废水排放量为6万m<sup>3</sup>/d。废水由大塘污水处理厂集中处理，处理工艺流程如下：



# 高级氧化技术简介及应用分类

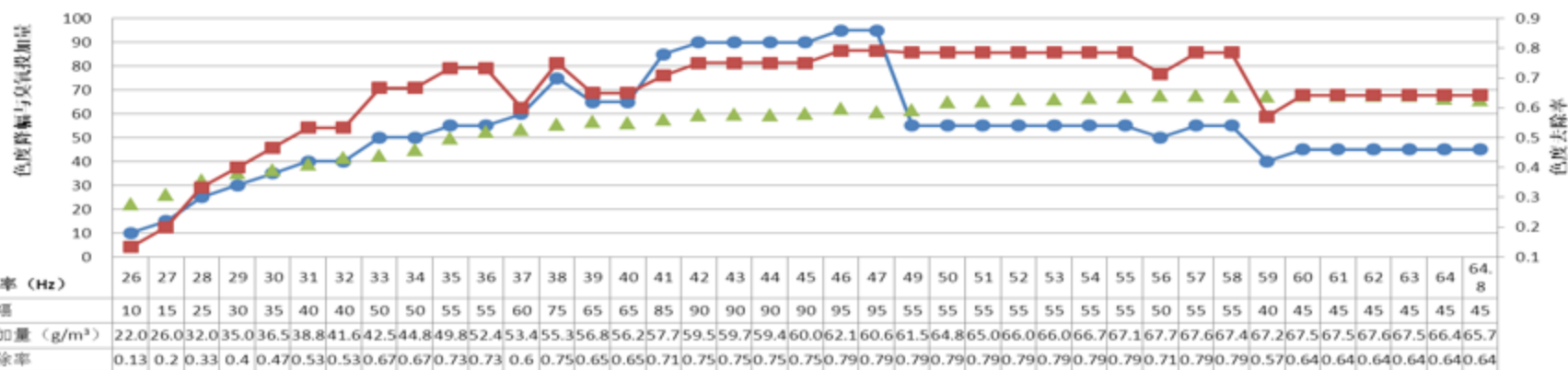


## 臭氧投加用于脱色

上图显示了不同臭氧投加量下色度的变化曲线及去除效率，可以看到不同的投加量下，色度都有明显降低，进水的色度在70-120之间，投加量大于 $30\text{g/m}^3$ 时，色度降幅都在30倍以上，投加量大于 $50\text{g/m}^3$ ，色度降幅达到55倍以上，投加量在 $60\text{g/m}^3$ 时，降幅超过90倍，从120倍降到25倍，出水的色度最好的可以达到15倍。

# 高级氧化技术简介及应用分类

色度去除效率



使用臭氧处理印染废水，色度的去除率普遍都可达50%，并可高达80%以上。

# 高级氧化技术简介及应用分类

---

## 什么是臭氧的催化剂

本身的质量和化学性质在化学反应前后都没有发生改变的物质叫催化剂，催化剂是指能改变化学反应速率，但在反应前后质量和化学组成均不改变的物质。

过渡金属的氧化物、羟基氧化物是臭氧的催化剂！判别“过渡金属”有一简便方法：常见的单质金属，除镁、铝、锡、铅外，都是过渡金属。由此，可以做臭氧催化剂的物质特别多，如： $\text{MnO}_2$ 、 $\text{Co}_3\text{O}_4$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{NiO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{V}_2\text{O}_5$ 、 $\text{CuO}$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{MoO}_3$ 等等。国内工程应用 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 作为催化剂的较多。

# 高级氧化技术简介及应用分类

---

不同催化剂产品性能比较判断,至少要考虑下述几方面:

- (1) 催化剂性能。不同的过渡金属(氢)氧化物催化臭氧,最适pH值不同,产生的自由基种类也有差异,即各种催化剂最佳工况不同;
- (2) 填料性质。整体的比表面积、空隙率、孔径大小与形状等都极大地影响工程效果;
- (3) 反应器条件。如臭氧布气方式、气液两相流型、催化剂填料区域高度等,都影响实际效果。
- (4) 使用寿命。不仅涉及催化机制,也与产品制备工艺、使用的水质条件有关。因此,除非大型企业或专职机构,一般企业并不具备全面评价催化剂产品的能力,不要奢想通过简单的对比实验,全面评价各种催化剂产品的性能。

# 高级氧化技术简介及应用分类

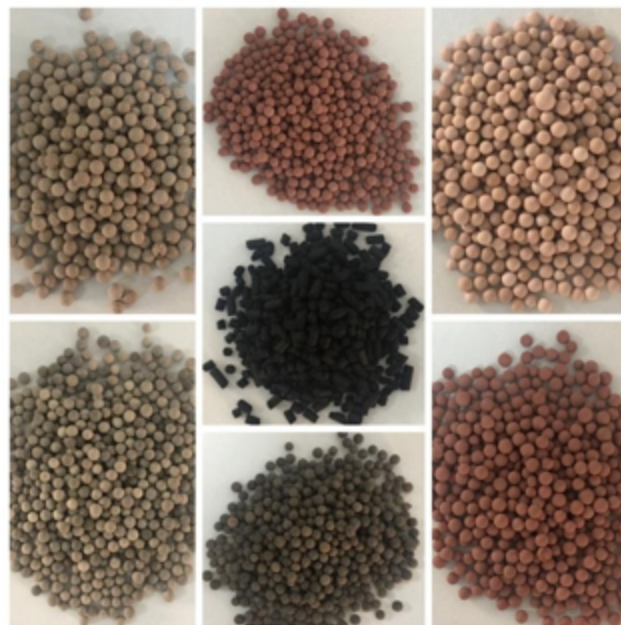
## 臭氧催化氧化技术—催化剂

- 活性组分：

主要为过渡金属氧化物、化合物及单质，

比如 $MnO_2$ 、 $TiO_2$ 、 $NiO$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $Cu$ 等；

- 载体： 活性炭、氧化铝、黏土等。



# 催化微电解材料及微电解反应装置

- FCM催化微电解产品材料技术优势如下；
- 该产品在应用时兼具氧化、还原以及混凝沉淀脱色功能，适应范围广处理成本低。去除化工医药类废水率cod约40--50%，去除每公斤成本很低，比生化工艺还低。

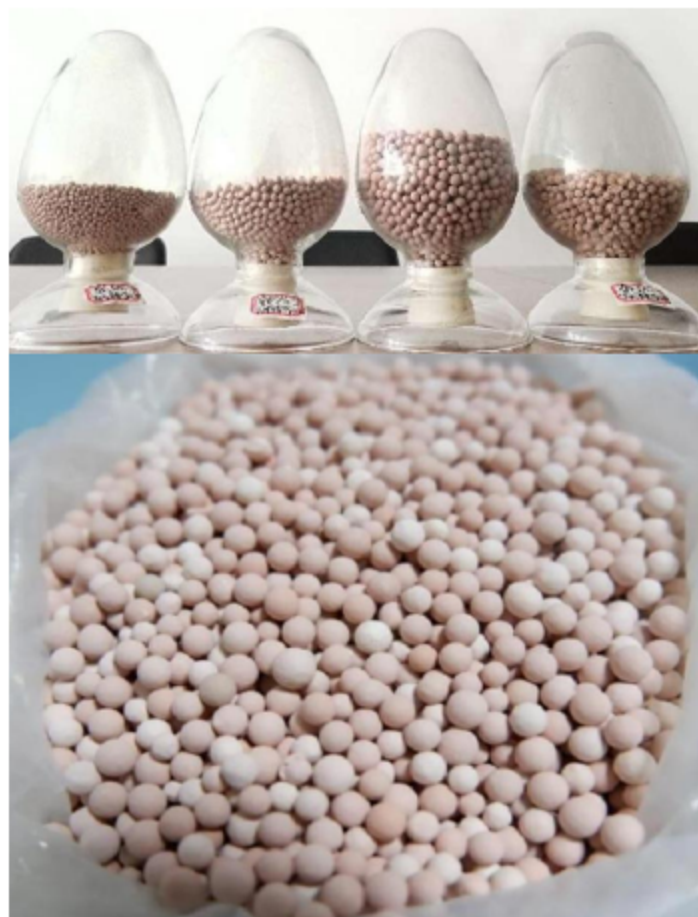
对有机物具有降解去除的同时对废水中的氨氮具有明显的去除作用，且总氮同时降低。

- FCM微电解材料利用供电子还原作用，与芳环、共轭双键等缺电子有机化合物发生氧化还原反应。将环状有机物降解易生化小分子化合物。

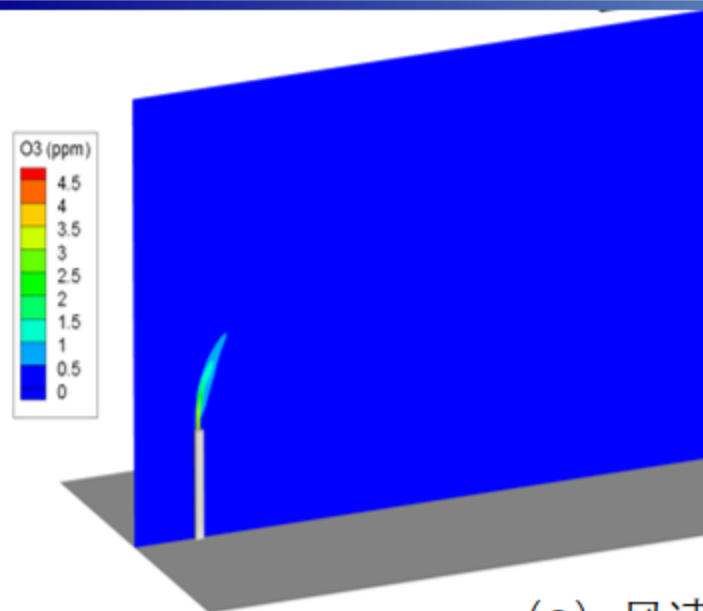


# SAO3臭氧催化剂作用机理如下：

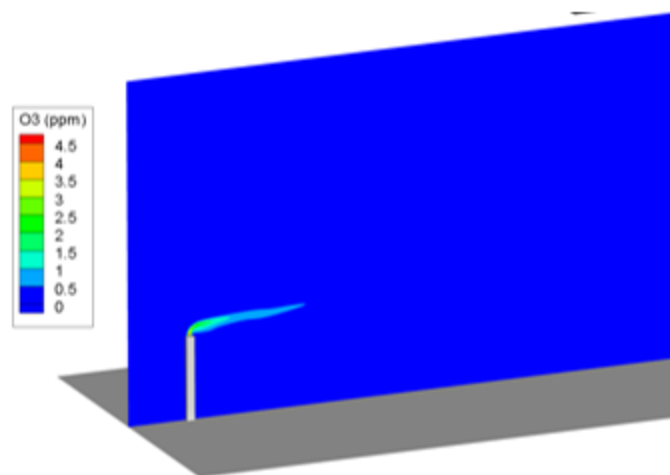
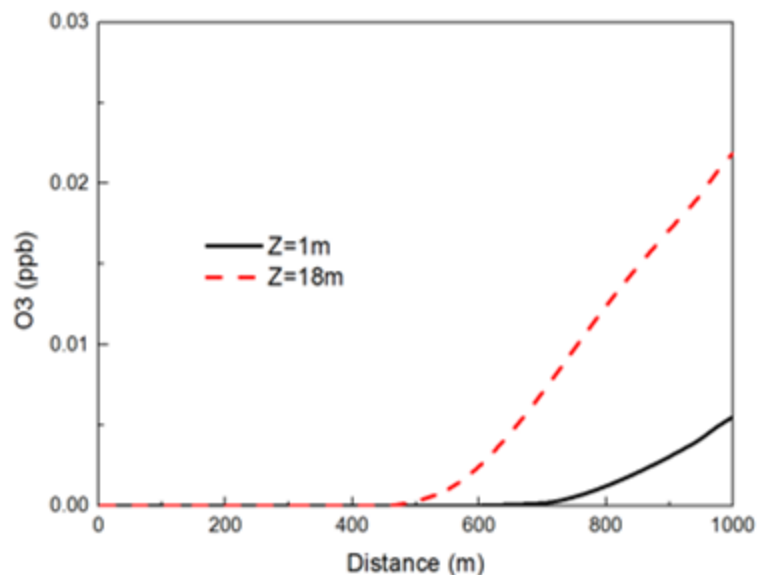
- 一.表面富集：该催化剂比表面积大,富集能力强，当废水与催化剂接触时，水中残余有机物快速被富集在催化剂表面，与臭氧接触快速反应。大幅度提高臭氧与有机物接触率，使有机杂质降解去除率更快更高。
- 二.催化活性：催化剂表面密布高能态活性物质及活性点，大幅度降低有机物断链降解反映的活化能，在臭氧作用下快速降解。另外，臭氧分子和水在催化剂活性物质作用下产生高活性羟基自由基（.OH），氧化能力更强，提高去除率和臭氧利用率，降低运行成本。
- 三.表面富集和活化协同作用：催化剂既能吸附水中有机污染物，又能催化活化臭氧分子产生大量的羟基自由基（.oh），实现有机污染物的吸附和氧化剂的活化协同作用，取得更好的催化臭氧氧化效果。



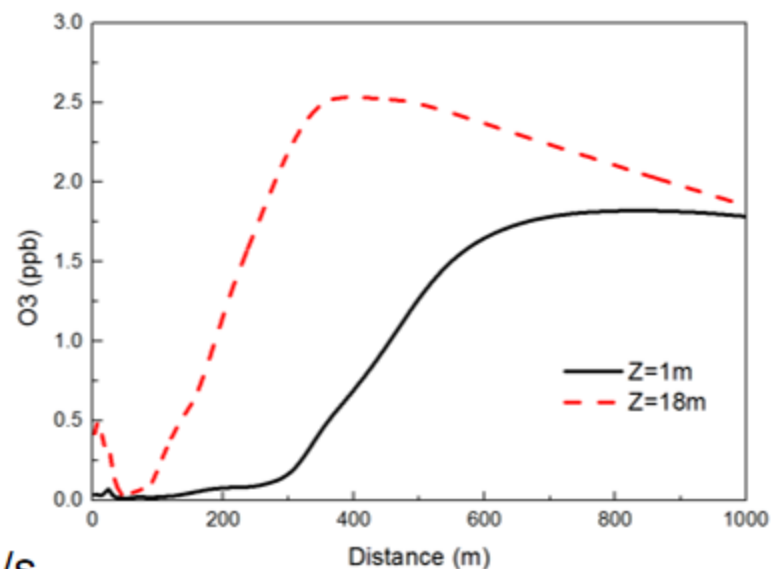
# 臭氧的大气扩散及自分解



(a) 风速1m/s



(b) 风速5m/s



# 应用前景和应用领域



市政污水



工业废水



养殖水处理



工程用水



废气处理

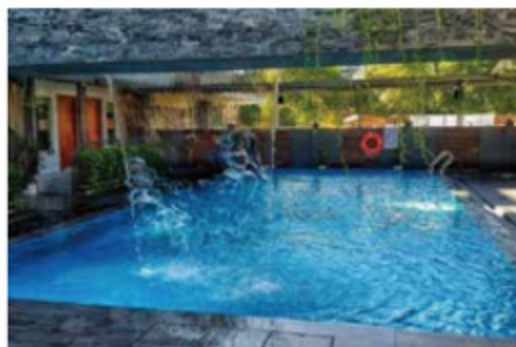


造纸工艺 纸浆漂白

# 应用前景和应用领域



脱硫脱硝 废气处理



游泳池水处理



食品饮料



化工制药工业



循环水利用



垃圾渗透液 污泥处理

## 应用前景和应用领域

---

目前臭氧催化氧化高级氧化技术已广泛应用于各种饮用水环境中。

随着水资源应用的市场增加以及污水排放标准升级提标，使得传统的处理系统已经无法满足排放标准要求。为此，给高级氧化技术带来了新的机遇和发展。臭氧催化氧化和高级氧化技术应用已成为治理工业高难度废水、生物难降解有机物废水、有毒污染物的重要技术工艺手段。

随着对臭氧催化氧化和高级氧化技术的深入研究，氧化技术在环保和水处理领域得到了更为广泛的应用。在今后贯彻落实可持续绿色发展道路上，为我国环境事业发展做出更多的贡献。

谢谢大家聆听!