

中国工程建设标准化协会标准

臭氧催化高级氧化工业废水处理技术规程

Technical specification of ozone catalytic advanced oxidation
for treatment industrial wastewater

启动会专家建议名称修改为：

工业废水臭氧催化氧化处理技术规程

Technical specification for industrial wastewater treatment by catalytic
ozonation

征求意见稿

2025.04.28

xx 出版社

前 言

《工业废水臭氧催化氧化处理技术规程》（以下简称规程）根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2023〕50 号）的要求进行编制。编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 8 章和附录 A、B，主要内容包括：总则、术语、符号和缩略语、基本规定、工艺设计、电气和控制设计、施工安装、调试和验收、安全运行和维护。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会工业给水排水专业委员会归口管理，由中国市政工程华北设计研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给中国市政工程华北设计研究总院有限公司（地址：天津市南开区卫津南路西侧奥体道星城 33 号楼；邮编：300381，邮箱：1024706890@qq.com）。

主 编 单 位： 中国市政工程华北设计研究总院有限公司
天津万峰环保科技有限公司

参 编 单 位： 青岛国林环保科技股份有限公司
哈尔滨市多相水处理技术有限公司
中国水务投资集团有限公司
中水北方勘察设计研究有限责任公司
浙江艾米微晶新材料科技有限公司
江苏众信绿色管业科技有限公司
天津群峰环保科技有限公司
江苏省五环水务工程有限公司

主 要 起 草 人： 李 晶 战树岩 王承宝 王 淼 陈汪洋
吕中维 许吉专 贺忠臣 高 涛 李海明
刘彦华 贾振睿 王美娟 颜 妮 袁 飞
李一川 刘 燕 孟宪虎 柯 俊 李 江
郭庆英 杜静轩 丁香才 宋启浩 徐丽娜

吕祥瑞 王小松 陈 祥 范恺峰 徐扬纲

主 要 审 查 人：

目次

1 总则	(1)
2 术语、符号和缩略语	(2)
2.1 术语	(2)
2.2 符号	(3)
2.3 缩略语	(3)
3 基本规定	(5)
4 工艺设计	(7)
4.1 一般规定	(7)
4.2 工艺流程	(7)
4.3 臭氧预氧化单元	(8)
4.4 臭氧催化氧化单元	(9)
4.5 臭氧催化氧化-生物滤池组合工艺	(14)
4.6 臭氧发生装置	(15)
4.7 管道及套管材质	(20)
5 电气和控制设计	(23)
5.1 一般规定	(23)
5.2 电气	(23)
5.3 自控仪表	(23)
5.4 自动化控制	(23)
5.5 智慧控制	(24)
6 施工安装	(26)
6.1 一般规定	(26)
6.2 设备安装	(27)
6.3 管道安装	(28)
7 调试和验收	(31)
7.1 一般规定	(31)
7.2 臭氧预氧化、臭氧催化氧化单元调试	(32)
7.3 臭氧发生装置调试	(32)

7.4 验收	(33)
8 安全运行和维护	(34)
8.1 一般规定	(34)
8.2 臭氧预氧化池	(35)
8.3 臭氧催化氧化池	(36)
8.4 臭氧发生装置	(37)
8.5 液氧站内装置	(37)
8.6 低碳运行	(38)
8.7 应急预案	(39)
附录 A 工业废水臭氧催化氧化处理系统构成.....	(41)
附录 B 气相臭氧（纯氧气源）浓度换算表（标准状态）	(47)
用词说明	(48)
引用标准名录	(49)
附：条文说明	(51)

Contents

1 General provisions	(1)
2 Terms and symbols and abbreviation.....	(2)
2.1 Terms.....	(2)
2.2 Symbols.....	(3)
2.3 Abbreviation.....	(3)
3 Basic requirements.....	(5)
4 Process design	(7)
4.1 General requirements	(7)
4.2 Process flow	(7)
4.3 Pre-ozonation unit	(8)
4.4 Catalytic ozonation unit	(9)
4.5 Catalytic ozonation-biological filter combined process.....	(15)
4.6 Ozone generation equipment	(15)
4.7 Material of pipe and casting.....	(20)
5 Electric and control design	(23)
5.1 General requirements	(23)
5.2 Electric	(23)
5.3 Automatic control instrument.....	(23)
5.4 Automatic control.....	(23)
5.5 Intelligent control.....	(24)
6 Construction installation	(26)
6.1 General requirements	(26)
6.2 Installation of equipment	(27)
6.3 Installation of pipeline	(28)
7 Commissioning and acceptance.....	(31)
7.1 General requirements	(31)
7.2 Commissioning of pre-ozonation and catalytic ozonation unit	(32)
7.3 Commissioning of ozone generation equipment.....	(32)
7.4 Acceptance	(33)

8 Safety operation and maintenance.....	(34)
8.1 General requirements	(34)
8.2 Pre-ozonation tank	(35)
8.3 Catalytic ozonation tank.....	(36)
8.4 Ozone generation equipment	(37)
8.5 Liquid oxygen station equipment.....	(37)
8.6 Low-carbon operation	(38)
8.7 Emergency Plan	(39)
Appendix A System composition of industrial wastewater treatment by catalytic ozonation.....	(41)
Appendix B Gas phase ozone (pure oxygen source) concentration conversion table (standard state)	
.....	(47)
Explanation of wording	(48)
List of quoted standards	(49)
Addition: Explanation of provisions	(51)

1 总则

1.0.1 为规范工业废水臭氧催化氧化处理工程的建设，做到安全可靠、经济合理、技术先进，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于采用臭氧催化氧化处理技术新建、扩建和改建的以工业废水为主的处理厂（站）臭氧催化氧化系统的工艺设计、电气和控制设计、施工安装、调试和验收、安全运行和维护。

1.0.3 工业废水臭氧催化氧化处理技术的应用除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语、符号和缩略语

2.1 术语

2.1.1 臭氧催化氧化 catalytic ozonation

臭氧在催化剂的作用下形成羟基自由基，通过羟基自由基对工业废水中难降解污染物进行氧化降解的过程。

2.1.2 臭氧预氧化 pre-ozonation

采用臭氧氧化对工业废水进行预处理提高其可生化性、减轻生物毒性或强化水中胶体去除效果。

2.1.3 均相催化 homogeneous catalysis

催化剂和反应物处于同一相界的催化反应。

2.1.4 均相催化剂 homogeneous catalyst

能起均相催化作用的催化剂。

2.1.5 非均相催化 heterogeneous catalysis

催化剂和反应物处于不同相界的催化反应。

2.1.6 非均相催化剂 heterogeneous catalyst

能起非均相催化作用的催化剂。

2.1.7 脱脂 degreasing

除去臭氧、纯氧管道及配套管件和阀门中与气体接触部位的油脂类有机物的过程。

2.1.8 臭氧溶气装置 dissolved ozone equipment

一种利用电磁切变场或其他技术提高臭氧在工业废水中溶气效率的装置。

2.1.9 均相催化氧化池 homogeneous catalysis tank

采用均相催化方式的臭氧催化氧化池。

2.1.10 非均相催化氧化池 heterogeneous catalysis tank

采用非均相催化方式的臭氧催化氧化池。

2.1.11 臭氧催化氧化抑制剂 catalytic ozonation inhibitor

工业废水中具有抑制羟基自由基产生的物质。

2.1.12 臭氧溶气效率 efficiency of ozone solution

臭氧溶解到水中的量占臭氧投加量的百分比。

2.1.13 臭氧尾气消除装置 off-gas ozone destructor

降低臭氧尾气中臭氧含量达到规定排放要求的成套装置

2.1.14 气源装置 feed gas equipment

为臭氧发生器提供合格原料气体的装置。

2.1.15 富氧气源装置 oxygen-enriched source equipment

为臭氧发生器提供纯度不小于 90%的臭氧气体的装置。

2.2 符号

C_0 —— 臭氧催化氧化池设计进水化学需氧量 (COD_{cr}) 浓度；

C_e —— 臭氧催化氧化池设计出水化学需氧量 (COD_{cr}) 浓度；

D —— 臭氧需求量；

K —— 臭氧 (O_3) 投加量和工业废水中去除的化学需氧量 (COD_{cr}) 的质量比值 ($O_3/\Delta C$)；

Q —— 臭氧催化氧化池设计最大小时流量；

T —— 与臭氧反应的接触反应时间；

V —— 臭氧催化氧化池反应区有效容积；

η —— 臭氧溶气效率。

2.3 缩略语

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物；
BIM	Building Information Modeling	建筑信息模型；
COD_{cr}	Chemical Oxygen Demand	化学需氧量；
DCS	Distributed Control System	分布式控制系统；
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer	三元乙丙橡胶；
FFKM	Perfluoroelastomer	全氟醚橡胶；
PC	Polycarbonate	聚碳酸酯；
PE	Polyethylene	聚乙烯；
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器；
PP	Polypropylene	聚丙烯；

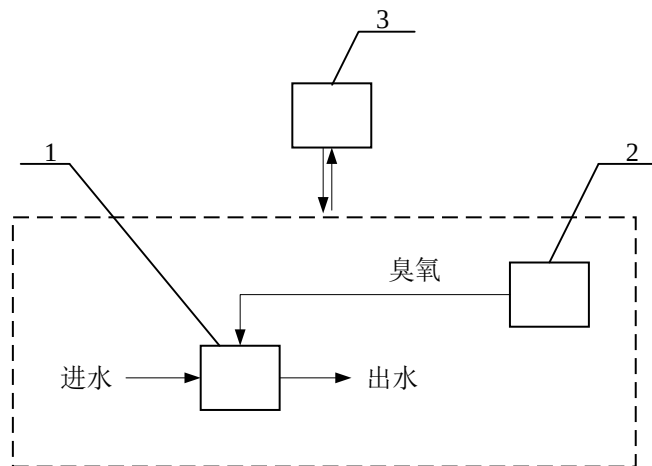
PSA	Pressure Swing Adsorption	空气变压吸附制氧系统；
PTFE	Polytetrafluoroethylene	聚四氟乙烯；
SS	Suspended Solids	悬浮物浓度；
TN-S	Terre-Neutre Separated	TN-S 接零保护系统；
VPSA	Vacuum Pressure Swing Adsorption	空气真空变压吸附制氧系统。

3 基本规定

3.0.1 工业废水臭氧催化氧化处理系统由臭氧预氧化单元和臭氧催化氧化单元构成。

3.0.2 工业废水臭氧催化氧化处理系统在设计中可单独采用臭氧预氧化单元或臭氧催化氧化单元，也可同时采用臭氧预氧化单元和臭氧催化氧化单元。

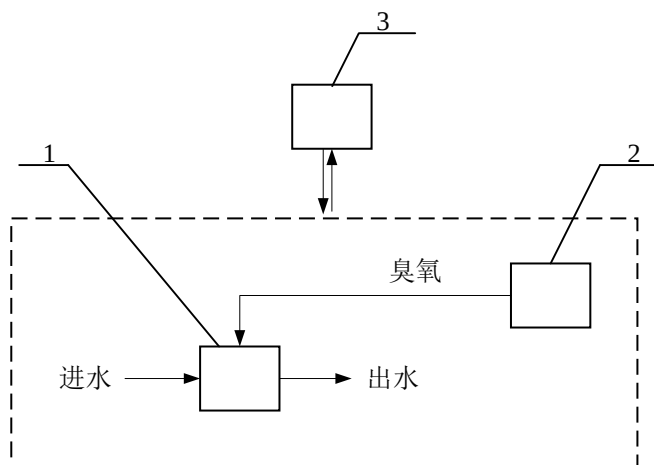
3.0.3 臭氧预氧化单元由臭氧预氧化池和臭氧发生装置以及检测控制装置组成（图 3.0.3）。



1-臭氧预氧化池；2-臭氧发生装置；3-检测控制装置

图 3.0.3 臭氧预氧化单元示意图

3.0.4 臭氧催化氧化单元由臭氧催化氧化池和臭氧发生装置以及检测控制装置组成(图3.0.4)，并宜符合本规程附录 A 的规定。



1-臭氧催化氧化池；2-臭氧发生装置；3-检测控制装置

图 3.0.4 臭氧催化氧化单元示意图

3.0.5 臭氧发生装置的气源装置宜采用氧气源或富氧源。

3.0.6 检测控制装置应由检测和控制仪表组成。

3.0.7 当工业废水温度超过 43℃时，不宜直接采用臭氧预氧化、臭氧催化氧化工艺。

4 工艺设计

4.1 一般规定

4.1.1 臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池的工艺参数、催化类型，应根据水质状况，采用小试或中试试验后确定或参考类似工程案例确定。

4.1.2 当工业废水中臭氧催化氧化抑制剂浓度较高时，宜通过试验确定处理方案。

4.1.3 臭氧投加方式可选用射流投加或曝气盘投加。

4.1.4 臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池应设置臭氧尾气消除装置。

4.1.5 工业废水进入臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池前应按下列规定进行预处理：

- 1 当进水温度大于 33℃ 时，宜采用降温装置进行降温处理；
- 2 当进水碱度大于 500 mg/L 时，宜进行 pH 调整处理；
- 3 当进水硬度大于 450 mg/L 时，宜进行除硬度处理。

4.1.6 臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池后不应接反硝化生物滤池。

4.1.7 工业废水臭氧催化氧化处理系统所有接触臭氧和氧气的设备和装置以及管道和零部件必须进行脱脂处理，并应符合现行行业标准《脱脂工程施工和验收规范》HG20202 的有关规定。

4.2 工艺流程

4.2.1 工业废水处理厂（站）工艺流程的选择，应根据不同类型水质、进水及出水指标要求，通过技术、经济及环境影响等因素综合评估后确定。

4.2.2 在臭氧催化氧化工艺提高工业废水生化性的条件下，使用臭氧催化氧化-生物滤池组合工

艺。**4.2.3** 臭氧预氧化、臭氧催化氧化或臭氧催化氧化-生物滤池组合工艺在水厂工艺流程中的位置，应根据不同水质、进水及出水指标需求选择。

4.2.4 当工业废水生化性差、毒性大，宜在生化工艺单元前设置臭氧预氧化池。

4.2.5 当工业废水经过生化处理后胶体含量高，宜在絮凝沉淀单元前设置臭氧预氧化池。

4.2.6 采用臭氧预氧化作为改性、去除毒性处理工艺的流程如下：

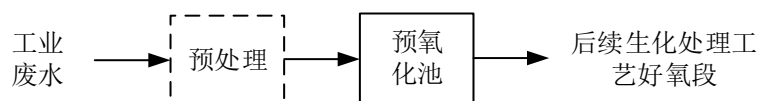


图 4.2.6 臭氧预氧化工艺流程图（一）

4.2.7 采用臭氧预氧化作为强化去除胶体处理工艺的流程如下：

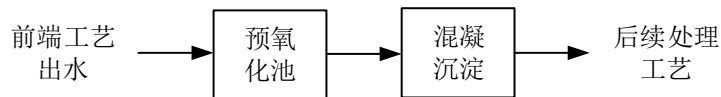


图 4.2.7 臭氧预氧化工艺流程图（二）

4.2.8 采用臭氧催化氧化作为深度处理工艺的流程如下：

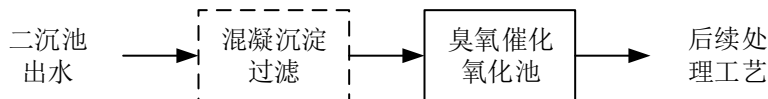


图 4.2.8 臭氧催化氧化工艺流程图

4.2.9 采用臭氧催化氧化-生物滤池组合工艺作为深度处理工艺的流程如下：

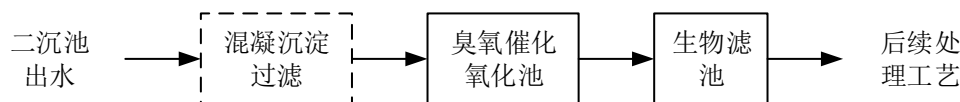


图 4.2.9 臭氧催化氧化-生物滤池组合工艺流程图

4.3 臭氧预氧化单元

4.3.1 采用射流投加时，臭氧预氧化单元应由臭氧预氧化池、臭氧溶气装置、射流泵、二次混合装置和配套设备等组成。

4.3.2 采用曝气盘投加时，臭氧预氧化单元应由臭氧预氧化池、曝气盘和配套设备等组成。

4.3.3 高硬度工业废水应设置防结垢装置。

4.3.4 高温工业废水应缩短每段反应时间，并增加臭氧投加量。

4.3.5 臭氧预氧化池臭氧投加量应根据现场小试、中试试验或参考类似工程案例确定，一般臭氧投加量不宜大于 20 mg/L。

4.3.6 臭氧预氧化池的设计应符合下列规定：

- 1 宜采用下进水方式，池内流态应采用竖向流形式；
- 2 导流隔板间净距宜大于 0.8 m；
- 3 设计有效水深宜为 6 m~9 m，超高不宜小于 0.5 m；
- 4 臭氧预氧化池应由一段或两段以上接触反应池串联而成，单段接触反应时间宜为 10min~20min。

4.3.7 当后续工艺有厌氧、缺氧处理工艺时，臭氧预氧化池末端宜设置脱气池，脱气池停留时间不宜小于 20min。

4.3.8 臭氧需求量宜按下列公式计算：

$$D = \frac{Q \times C}{1000} \quad (4.3.8)$$

式中：D —— 臭氧需求量，单位为 kg/h；

Q —— 臭氧预氧化池设计最大小时流量，单位为 m³/h；

C —— 臭氧预氧化池设计臭氧投加量，单位为 mg/L。

4.3.9 臭氧预氧化池的臭氧投加方式、池体形式和防腐等设计应符合本规程第 4.4 节的规定。

4.4 臭氧催化氧化单元

I 一般规定

4.4.1 当采用射流投加时，臭氧催化氧化单元应由臭氧催化氧化池、臭氧溶气装置、射流泵、二次混合装置、均相催化极板装置或非均相催化装置和配套设备等组成。

4.4.2 当采用曝气盘投加时，臭氧催化氧化单元应由臭氧催化氧化池、曝气盘、均相催化极板装置或非均相催化装置和配套设备等组成。

4.4.3 臭氧催化氧化的催化方式宜根据进水水质及处理要求确定，可以单独采用均相催化、非均相催化或两者串联催化方式。

4.4.4 高硬度工业废水应设置防结垢装置。

4.4.5 高温工业废水应缩短每段反应时间，并增加臭氧投加量。

4.4.6 臭氧催化氧化池 O₃/ΔC 比取值宜根据现场小试、中试试验或参考类似工程案例确定，一般宜为 1.0~4.0。

4.4.7 臭氧催化氧化工业废水处理系统的进水 SS 不应大于 10 mg/L。

II 均相催化氧化池

4.4.8 均相催化氧化池的工艺设计应符合下列规定：

- 1 宜采用下进水方式，池内流态应采用竖向流形式；
- 2 导流隔板间净距宜大于 0.8m；
- 3 设计有效水深宜为 6 m~9 m，超高不宜小于 0.5 m；
- 4 单级接触反应时间不应小于 60 min；
- 5 若采用两级及以上，每一级接触反应时间不应小于 60min；
- 6 池内应设置均相催化极板装置和二次混合装置等设施。

4.4.9 均相催化极板装置处宜配套设置用于更换极板的起重设备，其导轨伸出池外的长度不宜

小于 1.5m。

4.4.10 均相催化极板装置底部应预埋钢板。

4.4.11 均相催化极板装置顶部应设置设备吊装孔，吊装孔上覆镂空格栅盖板。

4.4.12 均相催化极板材质宜采用过渡金属合金，更换周期宜大于 1 年。

III 非均相催化氧化池

4.4.13 非均相催化氧化池与均相催化氧化池串联组合使用时，应设置在均相催化氧化池的后端。

4.4.14 非均相催化氧化池的工艺设计应符合下列规定：

- 1 宜采用下进水方式，池内流态应采用竖向流形式；
- 2 池内从上至下应由非均相催化剂、承托层、布水布气装置和二次混合装置等组成；
- 3 单级接触反应时间不宜小于 60 min；
- 4 若采用两级及以上，每一级接触反应时间不宜小于 60 min；
- 5 非均相催化剂填充厚度不应小于 0.5 m；
- 6 敷设于非均相催化剂底部的卵石承托层宜采用分层级配，承托层厚度不宜小于 0.3 m；
- 7 设计有效水深宜为 6 m~9 m，超高不宜小于 0.8 m；
- 8 池内应采取防止催化剂流失的措施。

4.4.15 非均相催化氧化池的水力设计，应考虑布水布气装置和催化剂填充厚度对水头损失的影响。

4.4.16 滤头应采用长柄滤头，滤帽缝隙宽度不宜小于 2 mm。

4.4.17 滤头材质宜采用 PC 或 316L 不锈钢；滤头配套模板材质宜采用 ABS。

4.4.18 布水布气装置的材质及防腐措施应根据水中臭氧浓度、氯化物、含盐量和经济成本等因素综合确定。

4.4.19 臭氧催化氧化池内布水布气装置设计应符合下列规定：

- 1 采用滤板滤头布水布气形式时，滤板距离池底不应小于 1.5 m；
- 2 滤板支撑宜采用滤梁形式；
- 3 滤梁顶部的滤板支撑梁预埋钢筋之间应设置 $\Phi 40\text{ mm} \sim \Phi 60\text{ mm}$ 的平衡气孔。

4.4.20 滤板宜采用整体浇筑滤板，其设计除应符合本规程规定外，尚应符合现行协会标准《气水冲洗滤池整体浇筑滤板及可调式滤头应用技术规程》T/CECS 178 的有关规定。

4.4.21 非均相催化氧化池反洗系统设计应符合下列规定：

- 1 反冲洗进水宜采用清水池出水或臭氧催化氧化池进水。

- 2 反冲洗周期宜为 1~3 个月，应根据实际运行情况确定。
- 3 宜采用气-水联合反冲洗，依次按气洗、气-水联合洗、清水漂洗的顺序进行。
- 4 气洗时间宜为 3 min~5 min；气水联合冲洗时间宜为 4 min~10 min；单独水漂洗时间宜为 8 min~20 min。
- 5 气冲洗强度宜为 $12 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \sim 16 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。
- 6 水冲洗强度宜为 $4 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \sim 6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。
- 7 反冲洗排水宜先进入废水池，废水池有效容积不宜小于 1.5 倍的单个反应池反冲洗总水量。
- 8 反冲洗排水宜设置反洗排水渠及排水管。

4.4.22 非均相催化剂的材质及寿命要求应符合下列规定：

- 1 非均相催化剂材质宜含有以铝基、硅铝基、炭基、活性氧化铝等为基材的过渡金属氧化物；
- 2 非均相催化剂应具有比表面积大、孔隙率高、持有足够的机械强度的特性；
- 3 炭基催化剂寿命不宜小于 3 年，其他材质催化剂使用寿命不宜小于 5 年；
- 4 当采用炭基催化剂时，应设计单独的臭氧投加区，与反应区分开。

IV 射流投加臭氧

4.4.23 射流投加装置应由臭氧溶气装置、射流泵、二次混合装置及配套管道、阀门组成。

4.4.24 臭氧溶气装置、射流泵和二次混合装置过流部件应选用 316L 不锈钢、2205 双相钢或 2507 双相钢等耐臭氧腐蚀的材质。

4.4.25 臭氧溶气装置的设计应符合下列规定：

- 1 臭氧溶气装置的臭氧溶气效率不应小于 90%，并应设置防倒流设施；
- 2 臭氧溶气装置进气支管上应设置开关阀。

4.4.26 射流泵的设计应符合下列规定：

- 1 射流泵安装高度应满足离心泵自灌需求；
- 2 宜采用变频调速控制，电机宜采用变频电机。

4.4.27 二次混合装置设计应符合下列规定：

- 1 由管道、喷嘴组成；
- 2 水头损失宜小于 3 m。

4.4.28 臭氧气体管道设计应符合下列规定：

1 池顶臭氧气体管道应设计为环形；

2 池顶管道最低处应设置排水阀。

4.4.29 臭氧投加配比应符合下列规定：

1 臭氧应采用多点投加，一般单级设置三段：第一段投加量不宜小于 40%，第二段和第三段宜为等比例分配；

2 两级及以上臭氧催化氧化池之间的臭氧投加量分配宜根据试验或工程经验确定。

4.4.30 臭氧需求量计算宜按下列公式计算：

$$D = \frac{Q \times (C_0 - C_e) \times K}{\eta \times 1000} \quad (4.4.30)$$

式中：D —— 臭氧需求量，单位为 kg/h；

Q —— 臭氧催化氧化池设计最大小时流量，单位为 m³/h；

C₀ —— 臭氧催化氧化池设计进水 COD_{cr} 浓度，单位为 mg/L；

C_e —— 臭氧催化氧化池设计出水 COD_{cr} 浓度，单位为 mg/L；

K —— 臭氧投加量和工业废水中去除的化学需氧量的质量比值（O₃/ΔC），无量纲，取值范围 1.0 ~ 4.0；

η —— 臭氧溶气效率，单位为%；取值范围 ≥90%。

4.4.31 射流投加系统投加能力应能满足臭氧发生器产生的臭氧出气量要求，其臭氧出气量宜按公式 4.6.9 计算。

V 曝气盘投加臭氧

4.4.32 曝气盘投加装置应由臭氧曝气分配器、曝气盘、臭氧布气管组成。

4.4.33 臭氧曝气盘的材质应选用钛合金、刚玉等耐臭氧材料；水下固定件材质宜选用 316L 不锈钢等耐臭氧腐蚀的材质。

4.4.34 臭氧分配器的材质应选用 316L 不锈钢等耐臭氧腐蚀的材质。

4.4.35 臭氧分配器由臭氧气体流量计、压力表或压力变送器、开关阀、调节阀、主支管等组成。

4.4.36 臭氧曝气盘的设计应符合下列规定：

1 曝气盘的数量应根据臭氧气体流量、单个曝气盘出气量和服务面积综合确定；

2 曝气盘的布置应保证布气量均匀；

3 臭氧溶气效率不应小于 50%；

4 曝气盘的水下安装深度宜为 5.5 m ~ 6.0 m。

4.4.37 臭氧布气管的设计应符合下列规定：

- 1 臭氧布气主管气体流速宜为 5 m/s ~10 m/s，支管宜为 4 m/s ~5 m/s；
- 2 布气支管应设置调节阀门；
- 3 臭氧管路最低处应设置冷凝水排放口，并接入臭氧催化氧化池内；
- 4 立管上宜安装清洗接口。

4.4.38 臭氧宜采用多点投加，其中第一段布气区的布气量不宜小于总布气量的 40%。

4.4.39 臭氧需求量宜按下列公式计算：

$$D = \frac{Q \times (C_0 - C_e) \times K}{\eta \times 1000} \quad (4.4.39)$$

式中：D —— 臭氧需求量，单位为 kg/h；

Q —— 臭氧催化氧化池设计最大小时流量，单位为 m³/h；

C₀ —— 臭氧催化氧化池设计进水 COD_{cr} 浓度，单位为 mg/L；

C_e —— 臭氧催化氧化池设计出水 COD_{cr} 浓度，单位为 mg/L；

K —— 臭氧投加量和工业废水中去除的化学需氧量的质量比值（O₃/ΔC），无量纲，取值范围 1.0 ~ 4.0；

η —— 臭氧溶气效率，单位为%；取值范围 ≥50%。

4.4.40 曝气盘投加装置投加能力应能满足臭氧发生器产生的臭氧出气量要求，臭氧出气量宜按公式 4.6.9 计算。

VI 池体设计

4.4.41 当后续工艺有好氧生化处理工艺时，臭氧催化氧化池末端应设置脱气池，脱气池停留时间不宜小于 20min。

4.4.42 臭氧催化氧化池的池型设计应符合下列规定：

- 1 宜采用下进水方式，池内流态应采用竖向流形式；
- 2 臭氧催化氧化池出水应采用淹没出水；
- 3 臭氧催化氧化池不宜少于 2 组，每组可分为单级或多级；
- 4 每级应由三段及以上接触反应池串联而成；
- 5 池内隔墙顶部、池顶下面的梁顶部应设置通气孔，底部应设置流水孔；
- 6 池顶每段反应区应设置自动双向压力平衡阀（呼吸阀）；
- 7 臭氧催化氧化池应全密闭，且应设置检修人孔；

8 池内宜有放空设施；若不能完全放空，应设计排水坑，采用临时潜水泵排空；

9 在寒冷地区，臭氧催化氧化池池顶应设置设备间保护池顶设备，且自动双向压力平衡阀（呼吸阀）应采用管道连接到设备间外。

4.4.43 臭氧催化氧化池反应区有效容积宜按下列公式计算：

$$V = \frac{Q \times T}{60} \quad (4.4.43)$$

式中：V —— 臭氧催化氧化池反应区有效容积，单位为 m³；

Q —— 臭氧催化氧化池设计最大小时流量，单位为 m³/h；

T —— 与臭氧接触反应时间，单位为 min。

VII 池（罐）体防腐

4.4.44 臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池的池体防腐应符合下列规定：

1 臭氧催化氧化池内壁采取涂覆涂料防腐时，应选用耐臭氧氧化的涂料；

2 臭氧催化氧化池内壁采用混凝土自防腐时，宜符合下列规定：

1) 内壁混凝土保护层厚度不宜小于 50 mm；

2) 池内裂缝宽度不宜大于 0.15 mm；

3) 池体结构混凝土材料的水胶比、最大氯离子含量、最大碱含量等耐久性基本要求均应按强腐蚀环境等级选取，宜添加抗裂防水剂。

4.4.45 臭氧预氧化罐、臭氧催化氧化罐体防腐应符合下列规定：

1 当工业废水中氯离子浓度 ≤ 500 mg/L 时，宜采用材质为 316L 不锈钢的罐体或碳钢防腐；

2 当工业废水中氯离子浓度 > 500 mg/L 时，宜采用搪瓷罐体、2205 双相钢、2507 双相钢或碳钢防腐。

4.4.46 臭氧预氧化池（罐）、臭氧催化氧化池（罐）配套人孔防腐应符合下列规定：

1 检修人孔的材质宜选用 316L 不锈钢；

2 密封材质宜选用 EPDM 或 PTFE 等耐臭氧腐蚀的产品；

3 检修人孔应具有良好的密封性，尺寸应满足吊装设备需求。

4.5 臭氧催化氧化-生物滤池组合工艺

4.5.1 臭氧催化氧化-生物滤池组合工艺系统应包括臭氧催化氧化池、生物滤池、臭氧投加装置、臭氧发生装置、臭氧尾气消除装置、催化填料及滤池配套反洗设备等。

4.5.2 臭氧催化氧化池末端应设计脱气池，脱气池停留时间不宜小于 20min。

4.5.3 臭氧催化氧化池的臭氧投加方式、池体形式和防腐等设计应符合本规程第 4.4 节的有关规定。

4.5.4 臭氧投加量宜根据水质和试验或参考类似工程案例确定。

4.5.5 生物滤池滤料可选择生物陶粒滤料、颗粒活性炭或其他形式滤料，滤料厚度宜为 1.5~3.5 m。

4.5.6 生物滤池水力负荷宜为 $3\sim 12\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，空床停留时间 15~50 min。

4.5.7 采用颗粒活性炭生物滤池反冲洗周期宜采用 1d~7 d；采用气、水分别反洗，气冲洗强度宜为 $50\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 60\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ；水冲洗强度宜为 $20\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 30\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

4.5.8 采用生物陶粒滤料生物滤池经常性冲洗周期宜采用 1d~7 d；采用气、水分别反洗，气冲洗强度宜为 $55\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 100\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ；水冲洗强度宜为 $15\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 30\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

4.5.9 根据去除的可生物降解有机物量，确定生物滤池是否需要设置曝气设备。

4.5.10 生物滤池设计应符合现行国家标准《室外排水设计标准》GB50014 和协会标准《曝气生物滤池工程技术规程》T/CECS 265 的有关规定。

4.6 臭氧发生装置

I 一般规定

4.6.1 臭氧发生装置应由气源装置、臭氧发生器、冷却水循环装置、臭氧气体输送管道和臭氧尾气消除装置等构成。

4.6.2 臭氧发生装置中工作介质为氧气、臭氧的相关装置和设备严禁设置于地下或半地下。

4.6.3 气源装置宜采用液氧储罐或富氧源装置。

4.6.4 富氧源装置分为 PSA 制氧装置和 VPSA 制氧装置。

4.6.5 臭氧发生器间应设置高位新鲜空气进口和低位空气排至室外高处的通风系统，1h 换气次数应为 8 次~12 次。

4.6.6 臭氧发生器间入口处的室外应设置防护器具、抢救设施和工具箱，并应设置室内照明和通风设备的室外开关。

4.6.7 臭氧发生装置的设计除应按本规程规定外，尚应符合现行国家标准《室外给水设计标准》GB50013、《室外排水设计标准》GB50014、《建筑设计防火规范》GB50016、《氧气站设计规范》GB50030 和《水处理用臭氧发生器技术要求》GB/T37894 的有关规定。

II 气源装置

4.6.8 臭氧发生装置的气源装置，应根据设备投资、运行费用、场地条件以及臭氧发生的综合单位成本等因素选择氧气源或富氧源。

4.6.9 气源装置提供的气量应能满足臭氧发生器所需臭氧出气量要求，臭氧出气量宜按下列公式计算：

$$q = \frac{D \times 1000}{C} \quad (4.6.9)$$

式中：q —— 臭氧出气量，单位为 m³/h；

D —— 臭氧需求量，单位为 kg/h；

C —— 臭氧气体浓度，单位为 mg/L。

注：按照公式 4.6.9 计算出的流量，应按照臭氧浓度修正为进气状态的流量，具体公式参照国家标准《水处理用臭氧发生器技术要求》GB/T37894-2019 的第 8.1 节。

4.6.10 以液氧作为氧气源时，液氧站的室外环境设计应符合下列规定：

- 1 液氧站应建设在室外；
- 2 液氧储罐周围 5m 范围内不应有可燃物；
- 3 液氧储罐周围 5m 范围应采用砾石地坪，不得采用沥青混凝土地坪；
- 4 液氧站与其他建筑物的防火距离应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016 和《氧气站设计规范》GB50030 的有关规定；
- 5 液氧站防雷装置的设置应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB50057 的有关规定。

4.6.11 以液氧作为氧气源时，液氧站配套装置的设计应符合下列规定：

- 1 液氧站应由液氧储罐、汽化器、复热器（如需）、减压装置、过滤器等组成；
- 2 液氧储罐容量应根据当地运输条件、槽车容量、工业废水处理厂（站）运行状况等因素确定，且不宜小于最大日需氧量的 3d 用量；
- 3 汽化器一般选用空温式汽化器，并按一用一备交替使用设计；
- 4 汽化器应在正常选型计算的基础上考虑安全裕量，并符合下列规定：
 - 1) 北方或类似气候地区汽化量宜为铭牌规格的 1/4；
 - 2) 南方或类似气候地区汽化量宜为铭牌规格的 1/3。
- 5 产量大于 1kg/h 的液氧源臭氧发生器宜设置氮气添加装置，并应符合以下规定：
 - 1) 液氧经汽化、减压后宜加入 0.1%~3.0%氮气或干燥净化后的压缩空气，并宜设置用于仪表风和吹扫的空气源装置；

- 2) 氮气添加装置投加的流量应根据臭氧产量调节；
- 3) 氮气添加装置应由无油型空气压缩机、冷干机、吸附式干燥机、过滤器等组成；
- 4) 氮气添加装置添加的空气质量应符合表 4.6.11-1 的规定：

表 4.6.11-1 氮气气源质量要求

序号	指标	参数
1	原料	压缩空气
2	露点(1 个标准大气压下) (°C)	≤-50
3	供气压力 (MPa)	0.55~0.7
4	供气温度 (°C)	5~30
5	压缩空气中颗粒尺寸 (μm)	≤0.1
6	压缩空气中含油量 (mg/m ³)	≤0.01

6 外购液氧的气源质量，除应符合现行国家标准《水处理用臭氧发生器技术要求》GB/T37894 的有关规定外，尚应符合表 4.6.11-2 的规定：

表 4.6.11-2 液氧源气源质量要求

序号	指标	参数
1	氧气的浓度（体积分数） (%)	≥99.5
2	氧气露点(1 个标准大气压下) (°C)	≤-70
3	供气压力 (MPa)	≥0.25
4	氧气中颗粒尺寸 (μm)	≤0.1
5	氧气温度 (°C)	5~30
6	氧气中总碳氢化合物 (ppm)	≤15
7	氧气中含油量	无
8	氧气中氟里昂或相似物和溶剂	无

4.6.12 富氧源制氧装置应符合下列规定：

1 富氧源气源质量，除应符合现行国家标准《水处理用臭氧发生器技术要求》GB/T37894 的有关规定外，尚应符合表 4.6.12 的规定：

表 4.6.12 富氧源气源质量要求

序号	指标	参数
1	氧气的浓度（体积分数） (%)	≥90

2	氧气露点(1 个标准大气压下) (°C)	≤-60
3	供气压力 (MPa)	≥0.2
4	氧气中颗粒尺寸 (μm)	≤0.1
5	氧气温度 (°C)	5~30
6	氧气中总碳氢化合物 (ppm)	≤15
7	氧气中含油量	无
8	氧气中氟里昂或相似物和溶剂	无

2 富氧源制氧装置应根据设备投资、运行费用以及场地条件等因素选择 VPSA 制氧装置或 PSA 制氧装置。

3 PSA 制氧装置应符合下列规定：

1) PSA 制氧装置应包括空气压缩机、储气缓冲罐、除水除油过滤器、空气干燥机、PSA 制氧机、除尘过滤器等设备；

2) PSA 制氧机一般采用双塔吸附，通过程控阀门实现双塔交替循环压力吸附、常压解吸，得到连续的不宜小于 90%高纯度氧气；

3) 制氧主机前宜设置储气缓冲罐。

4 VPSA 制氧装置应符合下列规定：

1) VPSA 制氧装置应包括鼓风机、真空泵、吸附器、储气缓冲罐、仪表空气系统、仪表控制系统、电气控制系统、切换系统、氧气压缩机等设备；

2) VPSA 制氧机采用单塔、双塔或多塔吸附，一般采用双塔吸附，通过程控阀门实现吸附塔交替循环加压吸附、真空解吸，得到连续的不小于 90%高纯度氧气。

5 PSA 和 VPSA 制氧装置应符合现行行业标准《变压吸附制氧、制氮设备》JB/T6427 的有关规定。

III 臭氧发生器

4.6.13 根据处理工业废水的臭氧需求量、场地条件及经济情况等综合确定臭氧发生器的规格选型、数量，并应考虑安全系数。

4.6.14 臭氧发生器应符合下列规定：

1 应选用介质阻挡放电方式的臭氧发生器；

2 氧气源臭氧气体浓度不应小于 150 mg/L；

3 臭氧出气气体压力范围宜为 0.095 MPa~0.098 MPa；

4 臭氧出气气体温度不宜高于 35℃；

5 臭氧产量应能在 25%~100%范围进行调节和控制；

6 臭氧发生器在额定功率下连续运行满 1 年时，额定技术指标下降率不应大于 5%，臭氧发生单元击穿率不应超过 0.5%；

7 臭氧发生器主体器件寿命应大于 15 年；

8 臭氧发生器应根据设备选型方案设置备用；

9 臭氧发生器的其他技术要求应符合现行国家标准《水处理用臭氧发生器技术要求》GB/T37894 的有关规定。

4.6.15 臭氧发生器应配套设置冷却装置和必要的温度、压力等检测仪表，并应根据具体的应用条件设置保护或报警值进行连锁控制。

4.6.16 臭氧产量大于 1kg/h 的臭氧发生器宜由冷水机、冷却水泵、热交换器及压力平衡水箱或膨胀罐等全部或部分组成的纯水闭式循环冷却系统。

4.6.17 臭氧发生器正常工作条件应符合下列规定：

1 臭氧发生装置应尽可能靠近臭氧催化氧化池；

2 环境温度 $\leq 45^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 85\%$ ；

3 外冷却水进水温度 $\leq 33^{\circ}\text{C}$ ；

4 氧气源型的冷却水流量应 $\leq 2\text{ m}^3/\text{kgO}_3$ 。

4.6.18 采用热交换器或水冷型冷水机的纯水闭式循环冷却系统，内环冷却水应采用纯水。

4.6.19 采用热交换器或水冷型冷水机的纯水闭式循环冷却系统，外循环冷却水水质应符合下列规定：

1 总硬度 $\leq 450\text{ mg/L}$ ；

2 氯含量 $\leq 250\text{ mg/L}$ ；

3 $6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$ ；

4 浑浊度 $\leq 1\text{NTU}$ ；

5 其他水质应符合国家标准《工业循环冷却水处理设计规范》GB/T50050-2017 中表 3.1.8 “间冷开式系统循环冷却水水质指标（换热设备为板式）”的规定。

4.6.20 采用热交换器或水冷型冷水机的纯水闭式循环冷却系统，外循环冷却水压力应符合下列规定：

1 循环冷却水压力宜为 0.2MPa~0.3MPa；

2 应保证能克服热交换器或水冷型冷水机压损，并能回到回水管网。

4.6.21 按设备或管道等级设置相应的安全阀等压力卸放装置。

4.6.22 氧气、臭氧的压力安全卸放装置，卸放口应通过管道连接到室外安全处。

4.6.23 臭氧发生器车间的设计应符合现行国家标准《室外给水设计标准》GB50013 的有关规定，并应设置臭氧泄漏报警仪。

IV 臭氧尾气消除装置

4.6.24 臭氧尾气消除装置应包括气液分离罐、尾气输送管、尾气浓度监测仪、尾气除湿器、抽气风机、剩余臭氧消除器以及排放气体臭氧浓度监测仪及报警设备等。

4.6.25 臭氧尾气消除装置的设计气量不应小于臭氧发生装置设计气量的 110%。

4.6.26 臭氧尾气消除装置可采用电加热分解或非活性炭催化剂接触分解方式。

4.6.27 臭氧尾气消除装置设置应符合下列规定：

- 1 可设置在臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池池顶，且应设置防雨、防冻、防晒措施；
- 2 另设他处时，臭氧尾气抽送管道的最低处应设凝结水排除装置；
- 3 臭氧尾气消除装置配套风机选型时应考虑管损；
- 4 臭氧尾气消除装置排放气体应排放至室外安全处；
- 5 室内设尾气消除装置时，室内应设有强排风设施、臭氧泄漏报警仪；
- 6 臭氧催化氧化池每段接触室顶部均应设尾气收集管；
- 7 尾气消除装置入口前应根据尾气参数设置除雾器、气液分离罐等除湿装置；
- 8 气液分离罐底部、尾气消除装置入口管道最低处应设放空阀；
- 9 尾气消除装置每个单独的吸气口宜设阀门。

4.6.28 臭氧尾气消除装置处理后的尾气浓度不应大于 0.1ppm。

4.6.29 臭氧尾气消除装置应设置备用。

4.7 管道及套管材质

I 一般规定

4.7.1 预氧化池和臭氧催化氧化池内臭氧和臭氧投加系统管道和阀门均应进行脱脂处理。

4.7.2 臭氧、氧气、液氧输送管道配套的阀门中与臭氧气体接触部位严禁采用含铜、锌材质。

4.7.3 臭氧预氧化、臭氧催化氧化池内金属管道配套支架和预埋件材质应与管道材质相同。

II 含臭氧工业废水管道

4.7.4 含臭氧工业废水输送管道材质宜选用 316L 不锈钢、PE、2205 双相钢或 2507 双相钢等耐臭氧腐蚀的材质。

4.7.5 含臭氧工业废水输送管道配套阀门材质的选择，应符合下列规定：

1 密封材质宜选用 EPDM、PTFE、FFKM 等耐臭氧腐蚀的材质；

2 过流部件材质宜选用 316L 不锈钢、2205 双相钢、2507 双相钢、PTFE 等耐臭氧腐蚀的材质。

4.7.6 含臭氧工业废水输送管道配套伸缩器、补偿器、柔性接头材质的选择，应符合下列规定：

1 伸缩器、补偿器材质宜选用 316L 不锈钢、2205 双相钢、2507 双相钢；

2 柔性接头材质宜选用 EPDM 等耐臭氧腐蚀的材质。

III 臭氧气体输送管道

4.7.7 臭氧气体输送主干管道上应设置防倒流装置。

4.7.8 当臭氧气体管道输送干燥气体时，应采用 304 不锈钢材质。

4.7.9 当臭氧气体管道输送潮湿气体时，应采用 316L 不锈钢材质。

4.7.10 臭氧气体输送管道达到最大输气量的要求时，其管道设计流速不宜大于 15m/s。

4.7.11 露天设置的臭氧气体管道应外包绝热材料。

4.7.12 臭氧气体输送管道配套阀门的密封材料、过流部件材料应选用 316L 不锈钢、PTFE 等耐臭氧腐蚀的材质。

IV 氧气输送管道

4.7.13 氧气输送管道应采用不锈钢无缝钢管，其材质应选用 304 不锈钢。

4.7.14 氧气输送管道配套阀门应选用氧气专用型。

V 液氧输送管道

4.7.15 液氧输送管道应采用不锈钢无缝管，其材质宜选用 304 不锈钢等适用于低温氧气的材质。

4.7.16 液氧输送管道配套阀门应选用低温氧气专用型。

VI 套管和支架材质

4.7.17 输送臭氧气体、含臭氧工业废水管道位于混凝土池壁的套管材质应采用 316L 不锈钢、2205 双相钢、2507 双相钢。

4.7.18 臭氧预氧化、臭氧催化氧化池内二次混合、管道支架和预埋件材质应采用 316L 不锈钢、

2205 双相钢、2507 双相钢。

4.7.19 臭氧预氧化、臭氧催化氧化池外和泵房内的管道支架和预埋件材质应采用 304 不锈钢、镀锌材质。

4.7.20 不同材质的金属管道与支架之间应采用橡胶垫隔开。

4.7.21 臭氧预氧化、臭氧催化氧化池侧壁穿墙的管道应采用金属管，该金属管配套套管宜采用刚性套管。

5 电气和控制设计

5.1 一般规定

5.1.1 各类机电设备的运行状况宜在人机界面上显示，并应显示数据齐全，可读性强，操作界面实用便捷。

5.1.2 臭氧催化氧化单元宜设置独立的控制室。

5.1.3 电缆接头、接线端子等直接接触臭氧等腐蚀气体的部位，应做防腐处理。

5.2 电气

5.2.1 变配电装置的工作电压、工作负荷和温度应控制在额定值的允许变化范围内。

5.2.2 臭氧预氧化池和臭氧催化氧化池按第三类防雷建筑物设计，各配电柜进口装设 1 级浪涌保护器。

5.2.3 低压配电系统的接地形式应采用 TN-S 系统。

5.3 自控仪表

5.3.1 臭氧发生装置的检测、监测仪器仪表应包括各类臭氧浓度监测仪、流量监测仪、压力及温度检测仪、露点仪、臭氧气体流量计等。

5.3.2 臭氧发生器间应设置独立的氧气泄漏报警仪、臭氧泄漏报警仪等环境监测报警装置。

5.3.3 臭氧发生器间内环境监测报警装置应与臭氧发生装置和排风装置联动报警保护。

5.3.4 臭氧发生器间应设置臭氧泄漏低、高检测极限的检测仪和报警设施。

5.3.5 臭氧发生器电源装置应有相应的主要电气参数检测仪表。

5.4 自动化控制

5.4.1 工艺核心设备宜实现就地控制和集中远程控制。

5.4.2 远程控制、全自动等操作方式可对运行参数进行设定、修改、调节，并实现故障的智能识别和报警。

5.4.3 控制系统应能实时显示机电设备的工作状态和仪表的检测数据，并根据控制和报警要求制定人机对话界面，可通过相关通讯协议与上位系统连接，历史数据应定期自动保存。

5.4.4 采用PLC或DCS控制时,各种在线仪器仪表应有与PLC或DCS联机的模拟量、数字量或通讯功能接口。

5.4.5 臭氧催化氧化单元控制的设置应符合下列规定:

- 1 采集或控制的参数应包括臭氧气体流量、压力等;
- 2 变频调速控制的射流泵,应设计单机逻辑PLC与自控系统PLC或者DCS与DCS组网连接;
- 3 臭氧催化氧化池停止运行前,应自动停止臭氧发生装置等相关单元和设备运行。

5.5 智慧控制

I 一般规定

5.5.1 有条件的情况下,臭氧催化氧化工业废水处理系统宜建设工艺智慧管理系统。

5.5.2 工业废水处理厂应开展减污降碳、协同增效等工艺优化工作。

II 智慧管理系统

5.5.3 智慧管理系统的建设应结合传感体系、控制系统及管理平台等基础条件,并应符合下列规定:

- 1 应增加感知手段,提升臭氧催化氧化系统数据质量;
- 2 应具备对臭氧发生器和臭氧催化氧化系统设备运行状态、工艺参数以及运行中出现的问题进行实时解析和动态预警的功能。

5.5.4 智慧管理系统的建设目标应符合下列规定:

- 1 应实现水质、设备等系统数据互通;
- 2 应综合利用数字孪生、大数据、物联网、人工智能等技术手段,实现臭氧发生器和臭氧催化氧化系统的全过程控制。

5.5.5 智慧系统管理应采用数字化设备,构建在线监测和监控系统、智慧化中央控制系统,以及数字化运维管控与决策支持系统。

III 数字化设计

5.5.6 智慧管理系统数字化设计应选用数字化设备,采用工艺感知手段,智能调节工艺参数,并基于数字化信息实现工艺智慧化运行。

5.5.7 臭氧发生器间、臭氧催化氧化池构筑物数字化设计宜符合下列规定:

- 1 具备智慧运行能力，可自动识别工艺单元运行模式；
- 2 可提供预测、预警功能；
- 3 可根据信息反馈将工艺参数调整到最佳区间。

5.5.8 臭氧催化氧化池前、后宜设置监测设备，并应符合下列规定：

- 1 臭氧催化氧化池宜对进水 COD_{Cr} 浓度进行监控；
- 2 臭氧催化氧化池宜对出水 COD_{Cr} 浓度进行监控，并按设计参数设定阈值，当监测值超过阈值时系统发出预警，可自动调整相关工艺运行参数。

5.5.9 臭氧催化氧化池进水管应设置流量计，并应符合下列规定：

- 1 宜实时采集进水流量；
- 2 宜根据采集数据实时计算所需臭氧产量。

5.5.10 臭氧发生器间宜采用人工智能技术对重点设备运行状态视频进行图像识别，在发生异常时应及时预警。

IV 数字化运维

5.5.11 宜根据不少于 1 年的进水水质、水量数据，构建人工智能数据模型，对未来 1 h~2 h 的进水水量、水质进行预测。

5.5.12 宜在臭氧发生器间、臭氧催化氧化池工艺环节实施闭环的智能控制，智能控制方案宜采用模型预测控制算法。

5.5.13 臭氧催化氧化工艺仿真建模可采用机理模型或基于人工智能的数据模型。

5.5.14 臭氧催化氧化工艺仿真模型宜涵盖整个工艺处理单元，模拟处理的全流程，并应符合下列规定：

- 1 模型所需数据应来源于臭氧催化氧化系统数字化建设的全过程；
- 2 模型数据宜包括物理特征、设计参数、控制参数、仪器仪表参数等。

5.5.15 宜结合视频、音频以及设计图纸等数据，建设数字孪生系统。

5.5.16 臭氧催化氧化工艺设备模型宜满足数字化资产管理的要求，显示设备性能和运行状况。

5.5.17 数字孪生宜结合工艺仿真模型、BIM、设备模型等，整合静态数据、动态数据和预测数据，并可对工艺全生命周期状态进行数字化呈现。

6 施工安装

6.1 一般规定

6.1.1 臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池土建完工后，应进行满水试验和气密性试验。

6.1.2 工业废水臭氧催化氧化处理系统的施工安装内容应包括各设备的就位、固定，设备之间的管线及线缆连接。

6.1.3 设备安装前应由监理单位、土建单位、安装单位等同时在现场对基础外观、质量、强度、高程、中心线、预埋件、预留孔等进行交接验收。

6.1.4 交接验收复核无误后，土建施工人员提交施工、测量记录及其它施工技术资料，安装单位方可进行设备安装。

6.1.5 设备安装就位前应会审施工图，按工艺布置图并根据测量控制网或构筑物轴线、边缘线、标高线划定安装基准线和基准点。

6.1.6 设备安装前应对设备基础混凝土强度、基础位置、几何尺寸、外观质量、预埋地脚螺栓等相关内容进行验收。

6.1.7 设备包装在就位安装时除底座、设备接口处包装外，其余部分包装应到安装结束、且开始调试前拆除。

6.1.8 按设计要求安装结束后，对安装内容及质量的检查应符合下列规定：

- 1 确认所有设备、仪器仪表、阀门、管道、线缆等的就位和连接状况；
- 2 采用惰性气体对管道和设备内部进行清扫；
- 3 供电开关、配电设备的安装与电试验应符合设计文件及当地供电部门的要求。

6.1.9 工业废水臭氧催化氧化处理系统的施工安装除应符合本规程规定外，尚应符合下列现行国家标准的规定：

1 构筑物的施工应符合现行国家标准《给水排水构筑物工程施工及验收规范》GB50141 的有关规定；

2 设备的施工安装应符合现行国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231 的有关规定；

3 电气装置的施工安装应符合现行国家标准《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》GB50254 的有关规定；

4 液氧站内和液氧站到臭氧发生器车间的氧气管道为压力管道，其施工安装应符合现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第4部分：制作与安装》GB/T 20801.4的有关规定；

5 PE管的施工安装应符合《给排水管道工程施工及验收规范》GB50268的有关规定；

6 316L 不锈钢、2205 双相钢、2507 双相钢管道的施工安装应符合《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》GB50236 和《工业金属管道工程施工规范》GB 50727 的有关规定。

6.2 设备安装

6.2.1 臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池相关设备的施工安装，应符合下列规定：

1 均相催化反应器、臭氧溶气装置、二次混合装置的纵、横向水平度允许偏差不应大于5/1000；

2 防倒流罐的脱脂应符合现行行业标准《脱脂工程施工和验收规范》HG20202 的有关规定；

3 射流泵、放空泵、反冲洗风机等设备的施工安装除应符合本规程规定外，尚应符合《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》GB50275 的有关规定。

6.2.2 非均相催化氧化池整体浇筑滤板的施工安装，应符合下列规定：

1 滤板安装前，滤梁各项允许偏差，应符合下列规定：

1) 整池滤梁顶面允许水平度偏差 ± 5 mm；

2) 直线度允许偏差 ± 10 mm；

3) 平行度允许偏差 ± 5 mm；

4) 宽度允许偏差 ± 5 mm；

5) 垂直度允许偏差 ± 5 mm。

2 滤板安装后，整个池内滤板表面的水平允许偏差为 ± 3 mm；

3 滤头安装前，应对滤板预埋套管内进行清理，且不得损坏套管内螺纹；

4 非均相催化氧化池的单格池内所有布水布气滤头滤帽或滤柄顶表面应在同一水平高程，其偏差允许范围应为 ± 5 mm；

5 滤池滤板接缝养护完成后应进行滤板气密性能试验；

6 滤头安装后应进行布水、布气均匀性及气密性的试验，具体步骤应按下列规定执行：

1) 向滤池内注水，水面应超过滤头顶部高度 50 mm；

2) 从滤池反冲进气管按正常冲洗气量进气，进气时间 2 min~3 min；

3) 观察从滤头释放而形成的水花是否均匀。

7 卵石承托层填装时应按设计级配自下而上、从大到小分层填装，并应避免损坏滤头；

8 卵石承托层填装后，应进行第二次布水布气均匀性检查合格；然后才能填装催化剂（填料），填装后应均匀平整；

9 整体浇筑滤板的施工安装除应符合本规程规定外，尚应符合现行协会标准《气水冲洗滤池整体浇筑滤板及可调式滤头应用技术规程》T/CECS 178 的有关规定。

6.2.3 臭氧发生器及配套设备的施工安装应符合下列规定：

1 臭氧发生器及配套设备应找平找正，横向纵向水平度应不大于 2.5mm/m；

2 臭氧发生室、臭氧和氧气气体仪表等所有接触臭氧和氧气的零部件的脱脂处理应符合现行行业标准《脱脂工程施工和验收规范》HG20202 的有关规定；

3 臭氧发生器及其相关设备的施工安装除应符合本规程规定外，尚应符合现行国家标准《水处理用臭氧发生器技术要求》GB/T37894 的有关规定。

6.2.4 液氧站设备安装应符合下列规定：

1 液氧站应设安全出口；

2 液氧站周围应设置安全标志，其设置要求应符合现行国家标准《安全标志及其使用导则》GB2894 的有关规定；

3 液氧站基础必须无油脂及其他可燃物，严禁使用沥青地面；

4 设置在室外的液氧站，应设有导除静电的接地装置和防雷击装置；

5 防止静电的接地电阻不应大于 10Ω；

6 防止雷击装置的最大冲击电阻不应大于 30Ω；

7 液氧储罐的施工安装除应符合本规程规定外，尚应符合现行国家标准《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG21 的有关规定；

8 液氧站设备施工安装除应符合本规程规定外，尚应符合现行国家标准《氧气站设计规范》GB50030 的有关规定。

6.3 管道安装

I PE 管道

6.3.1 PE 管道的安装采用热熔连接时，应按下列步骤进行：

1 将管道或管件置于平坦位置，放于对接机上，并应留足 10mm~20mm 的切削量；

2 切削所焊管段、管件端面杂质和氧化层，应保证两对接面平整、光洁、无杂质；

3 对接温度宜为 210℃~230℃，两端面熔融长度宜为 1 mm~2 mm；

4 将加热板挪开后，迅速让两热熔端面相粘并加压，其切换周期越短越好；

5 熔融对接过程应始终处于熔融压力下进行，其卷边宽度宜为 2 mm~4 mm；

6 在对接压力始终不变的状态下，让接口缓慢冷却；冷却时间长短以手摸卷边生硬，感觉不到热为准。

6.3.2 PE 管道安装在室外时应采取防晒措施。

II 不锈钢、双相钢管道

6.3.3 316L 不锈钢、2205 双相钢、2507 双相钢管道宜采用焊接方式连接，且应符合下列要求：

1 切割应采用管刀或角磨机等无油机具进行冷切割，严禁用等离子切割机进行切割；

2 所有的焊缝宜采用手工氩弧焊打底，电弧焊盖面，氩气纯度不宜小于 99.99%；

3 坡口按设计规定加工成 60°~70°的“V”型坡口，钝边厚度宜为 1mm；

4 在确保定位焊和衬底焊时所用焊条相同的情况下，定位焊后的间隙应控制在 2 mm~3 mm；且衬底焊接时应从管道端面间隙较小处向间隙较大处焊接；

5 焊接外观不得有咬边现象；

6 经检查合格的 316L 不锈钢、2205 双相钢、2507 双相钢焊缝及热影响区，应用酸洗钝化膏进行酸洗钝化。

6.3.4 316L 不锈钢管道输送臭氧气体且安装在室外时，应采取防晒措施。

III 氧气、臭氧管道及阀门

6.3.5 氧气、臭氧管道严禁采用折皱弯头。

6.3.6 氧气、臭氧管道的连接应采用焊接，但与设备、阀门连接处可采用法兰或螺纹连接。

6.3.7 氧气、臭氧管道应设置导除静电的接地装置，其接地电阻不应大于 10Ω。

6.3.8 氧气、臭氧气体管道施工安装除应符合本规程规定外，尚应符合现行国家标准《氧气站设计规范》GB50030 的有关规定。

IV 脱脂处理

6.3.9 管道及配套阀门的脱脂处理宜按下列步骤执行：

1 管道和阀门脱脂后，应在洁净的场地通风处自然风干；

2 清洗后的物件用紫光灯进行脱脂质量检查，无紫蓝荧光即为合格；

3 符合脱脂要求的管道经清扫后，应用洁净塑料布严实封装。

6.3.10 管道及配套阀门脱脂除应符合本规程规定外，尚应符合现行行业标准《脱脂工程施工及验收规范》HG20202 的有关规定。

7 调试和验收

7.1 一般规定

7.1.1 调试前应按下列规定执行：

- 1 对相关人员进行安全和技术培训、交底；
- 2 制定调试方案和应急预案；
- 3 检查水、液氧、电等状况；
- 4 确认每个单元的连接管道、阀门、装置以及构筑物的位置，并清理干净；
- 5 预先准备调试用的工具及专用工具、油脂、耗材、备品备件及可能要更换的零部件，并确保安全防护装置齐全可靠。

7.1.2 各类构筑物和容器应经闭水试验合格后方可进行调试。

7.1.3 应按调试大纲要求先辅机后主机，先部件后整机，先空载后带载，先单机后联动等顺序进行。

7.1.4 各单元的清水调试期间，设备应连续运转 24h，并应确认所有管路、阀门无泄漏。

7.1.5 对仪器仪表与控制装置进行调试时，单机与总控在本地及远程数据显示传输与操控功能应正确通畅，系统应能按设计流程及程序运行及调节，并能根据现场的实际情况进行设置调整。

7.1.6 调试过程中应对进出水各项指标以及各工况参数进行检测、记录、统计、分析。

7.1.7 调试完成后应根据水量和水质对各设备参数进行合理匹配，并应编制调试报告，制定操作规程。

7.1.8 设备、仪器与备件清单，各类图纸、说明书、合格证、检测报告、系统操作与维护的运行规程（手册），培训教材、操作规程等资料均应验收、存档。

7.1.9 土建工程的施工与验收，应符合现行国家标准《给水排水构筑物工程施工及验收规范》GB50141、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204、《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 和《城镇污水处理厂工程质量验收规范》GB50334 的有关规定。

7.1.10 臭氧催化氧化池等密闭空间作业，应符合现行国家标准《密闭空间作业职业危害防护规范》GBZ/T 205 的有关规定。

7.1.11 工业废水臭氧催化氧化处理系统验收前后的工作，应符合本规程规定外，尚应符合现行国家标准《城镇污水处理厂工程质量验收规范》GB50334 的有关规定。

7.2 臭氧预氧化、臭氧催化氧化单元调试

- 7.2.1 臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池应经闭水、气密性试验合格后方可进行调试。
- 7.2.2 调试前应先检查全部设备，调试和运行过程中电机最高温度不应大于 85℃。
- 7.2.3 臭氧尾气消除装置设备及仪器仪表工作正常，加热、保护等参数符合设计要求。
- 7.2.4 自动双向压力平衡阀（呼吸阀）应正、负压动作可靠。
- 7.2.5 调试应按单机调试、系统清水调试、系统联动调试的顺序进行。
- 7.2.6 单机调试应先确认单机的运转方向、电路、通信等并做好记录。
- 7.2.7 联动调试前应对进水水质进行分析、化验，确定臭氧投加量。
- 7.2.8 各单元联动调试时，应按设计要求检查设备和自控系统性能，并应根据进水流量及工业废水进水和出水有机污染物浓度，合理调整臭氧发生器和臭氧投加装置的相关运行参数。

7.3 臭氧发生装置调试

I 气源装置

- 7.3.1 各装置应先用不含臭氧的原料气进行模拟调试，确保管路连接密封可靠。
- 7.3.2 液氧储罐、汽化器、减压装置、补氮装置、供气管道的阀门等应按设计要求调整供气压力、流量。
- 7.3.3 富氧源装置的空气压缩机、罗茨鼓风机、罗茨真空泵、氧气压缩机等各设备应能正常工作及启停。
- 7.3.4 检测供气压力、露点、氧含量（富氧源时）等的仪表应符合设计要求。
- 7.3.5 温度、压力、流量等仪表应正常工作；气路安全保护装置动作应准确可靠。
- 7.3.6 气源装置提供的原料气成分、温度、压力、流量、露点等应符合臭氧发生器的需求。

II 臭氧发生器

- 7.3.7 臭氧发生器的调试应按下列步骤进行：
 - 1 检查臭氧发生装置、电源装置、控制装置等，应保证电、气、水各部分按照图纸连接；
 - 2 按操作顺序开启臭氧发生装置与对应的水处理系统；
 - 3 进行通气、通冷却水、控制装置通电试验，应保证操作及调节功能符合设计要求；
 - 4 气源装置、冷却装置、臭氧尾气消除装置经调试后进入正常工作。
- 7.3.8 通电调试验证各项技术性能参数均应符合设计要求。

7.3.9 臭氧发生装置调试期间应按设计文件调节臭氧参数,检查、记录臭氧系统各部分参数值,各参数均应达到性能指标要求。

7.3.10 调试完毕后应连续试运行 48h,一旦停机应重新计算试运行时间。

7.3.11 臭氧发生器间的臭氧泄漏、氧气泄漏监测仪应报警及连锁动作可靠。

7.3.12 臭氧发生器气路吹扫应符合下列规定:

- 1 原料气流量应不低于额定气量的 20%;
- 2 停机 1 天内再开机时,吹扫时间应不低于 1h;
- 3 首次开机或停机时间超过 1 天再开机时,吹扫时间应不低于 4h。

7.4 验收

7.4.1 调试结束后,应按合同技术文件要求对设备、资料、安装、调试等各过程进行验收。

7.4.2 臭氧发生器技术性能指标应按设计指标要求进行验收,并应符合现行国家标准《水处理用臭氧发生器技术要求》GB/T37894 的有关规定。

7.4.3 仪器仪表与控制装置验收应检查各仪表合格证、校验记录等,并验证单机与总控系统的显示及通讯功能和操作调节功能、参数设置功能。有与上位机通讯要求的应进行验证。

7.4.4 安全及连锁装置验收应确认如下装置动作及功能可靠:

- 1 臭氧催化氧化池池顶的自动双向压力平衡阀(呼吸阀)正、负压动作可靠;
- 2 臭氧发生器车间臭氧泄漏、氧气泄漏报警仪报警及连锁动作可靠。

7.4.5 化验取样方法为 24h 混合样,按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918-2002 中 4.1.4 取样与监测内容执行。

7.4.6 水质检测方法应符合现行国家相关标准的规定。

7.4.7 设备联动试车验收合格后,且在进水条件不超过设计条件的情况下,通过连续 168 小时(7 天)的性能测试即通过性能验收。

8 安全运行和维护

8.1 一般规定

8.1.1 运营方应制定管理制度、岗位操作规程、安全操作规程、设施和设备维护保养手册及应急预案。

8.1.2 操作人员应掌握工业废水臭氧催化氧化处理工艺的运行和维护，在发生故障及意外事故时，应能采取紧急安全措施。

8.1.3 工业废水臭氧催化氧化处理系统的安全运行和维护应符合下列规定：

1 操作人员应每日巡视检查臭氧预氧化池、臭氧催化氧化处理池、臭氧发生装置和液氧站各设备、仪表、阀门等运行现状，如出现异常应根据使用说明书逐一排除故障；

2 定期检查处理系统中连接预氧化池、深度处理池、臭氧发生装置等的管道、工业废水管道、原料气管道、臭氧管道和冷却水管道及各接口运行现状；如出现泄漏，应进行故障排除和多次密封试验，直至无泄漏；

3 应按维护（修）保养手册维护各种设备和装置；

4 设备维护时，应确认电源已经切断，并在供电开关处悬挂“禁止合闸”等警示标识；

5 每日工作记录应包括机械设备、电气、仪表等累计运行记录和维护（修）与保养记录；

6 应保持设备表面清洁；

7 设备出现故障后应立即更换易损部件，并应做维护和交接班记录；

8 应定期检查库存备品备件情况，并立即订货、补充；

9 应定期对各类仪器、仪表进行检查和校验，属国家强检范围的仪器、仪表应按周期进行标定；

10 对各种在线仪表应按说明书要求定期进行校准，并确保测量准确；

11 室外仪表箱应有防腐蚀功能，并应做好维护保持清洁。

8.1.4 臭氧预氧化池和臭氧催化氧化池的运行，应符合下列规定：

1 应定时巡视各设备的工况条件，并做好设备维修保养记录；

2 臭氧气源应按工艺运行要求进行补充；

3 当进水水质、水量发生变化时，应调整臭氧投加量；

4 应重点巡视臭氧溶气装置进水压力、出水压力、气路压力及臭氧气体流量计，如出现比正常运行过程中数值偏差较大的情况时，应立即查找原因。

8.1.5 系统运行中出现故障时，应按下列步骤执行：

- 1 在泵房供电发生故障而导致射流泵停运时，应立即关闭臭氧发生器电源、停止产生臭氧，并防止臭氧因断水而泄漏；
- 2 遇到突发事件时，应直接按下急停开关切断液氧供应，并切断臭氧发生器电源，使臭氧发生器立即停止运行；
- 3 在感知臭氧发生器间中有臭氧泄漏时，迅速启动臭氧发生器室的排风装置，并戴上防毒面具。

8.1.6 安全运行和维护除应符合本技术规程规定外，尚应符合现行行业标准《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》CJJ 60 的有关规定。

8.2 臭氧预氧化池

8.2.1 水、电、臭氧等在满足现场运行条件下，臭氧预氧化池启动应按下列步骤执行：

1 准备工作：

- 1) 确认臭氧溶气装置的进气阀处于关闭状态，放空阀处于开启状态；
- 2) 射流泵进、出口阀门处于开启状态；
- 3) 气源、臭氧发生器具备启动条件。

2 开机步骤：

- 1) 启动射流泵；
- 2) 启动臭氧溶气装置；
- 3) 检查臭氧溶气装置放空阀处，是否有倒吸力；
- 4) 检查臭氧溶气装置内电动阀是否开启；
- 5) 判断射流泵是否正常运行；
- 6) 打开臭氧溶气装置进气阀，通知臭氧发生装置开机；
- 7) 在臭氧发生器预吹时，关闭臭氧溶气装置放空阀；
- 8) 调整臭氧溶气装置内的调节阀，确定臭氧投加量，使系统处于稳定运行状态。

8.2.2 臭氧预氧化池在停运时，应按下列步骤执行：

- 1 关闭臭氧发生装置，使用氧气吹扫并置换管道内臭氧气体；
- 2 吹扫结束后，关闭气源；
- 3 打开臭氧溶气装置放空阀，关闭臭氧溶气装置进气阀，关闭臭氧溶气装置；

4 关闭射流泵。

8.2.3 臭氧预氧化池有一台射流泵因故障停止后，应关闭其对应的臭氧溶气装置，再关闭进气阀，打开放空阀。

8.3 臭氧催化氧化池

8.3.1 水、电、臭氧等满足现场运行条件下，臭氧催化氧化池启动应按下列步骤执行：

1 准备工作：

- 1) 确认臭氧溶气装置的进气阀处于关闭状态，放空阀处于开启状态；
- 2) 射流泵进、出口阀门处于开启状态；
- 3) 气源、臭氧发生器具备启动条件。

2 开机步骤：

- 1) 启动均相催化反应装置（如有）；
- 2) 启动射流泵；
- 3) 启动臭氧溶气装置；
- 4) 检查臭氧溶气装置放空阀处，是否有吸力；
- 5) 检查臭氧溶气装置内电动阀是否开启；
- 6) 判断射流泵是否正常运行；
- 7) 打开臭氧溶气装置进气阀，通知臭氧发生装置开机；
- 8) 在臭氧发生器预吹时，关闭臭氧溶气装置放空阀；
- 9) 调整臭氧溶气装置内的调节阀，确定臭氧投加量，使系统处于稳定运行状态。

8.3.2 臭氧催化氧化池在停运时，应按下列步骤执行：

- 1 关闭臭氧发生装置，使用氧气吹扫/置换管道内臭氧气体；
- 2 吹扫结束后，关闭气源；
- 3 打开臭氧溶气装置放空阀，关闭臭氧溶气装置进气阀，关闭臭氧溶气装置；
- 4 关闭均相催化反应装置；
- 5 关闭射流泵。

8.3.3 臭氧催化氧化池有一台射流泵因故障停止后，应关闭其对应的臭氧溶气装置，再关闭进气阀，打开放空阀。

8.4 臭氧发生装置

8.4.1 应按设备操作手册或规程等进行臭氧发生装置的日常运行操作。

8.4.2 臭氧发生装置大修维护应根据设备情况、气源类型、实际运行时间并结合现场的大修维护计划合理安排。

8.4.3 应提供安装调试及检修维护、操作运行时所需的备品备件、易损件。

8.4.4 设备维护时，应确认电源已经切断，并在供电开关处悬挂“禁止合闸”等警示标识。

8.4.5 在打开臭氧发生器之前，应对臭氧发生室的残留臭氧等气体进行吹扫，并应保证臭氧安全排放。

8.4.6 检查维护臭氧发生器时，如需接触放电单元、电感、电容等储能器件时，应先进行放电，防止电击危险发生。

8.4.7 臭氧发生器的维护中，应检查和更换失效或损坏的放电管；如果放电管损坏比例大于 0.5% 时，应立即查找原因，并采取措施。

8.4.8 臭氧尾气消除装置的运行及维护中，应检查或更换失效的催化剂，并检查加热器、风机的工作状态。

8.5 液氧站内装置

8.5.1 投入使用前，应按《深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程》GB16912 和《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG21 的规定检查各种阀门、仪表、安全装置是否有效。

8.5.2 液氧储罐在使用前，应用无油干燥氮气吹扫干净，在罐内气体露点不高于-45℃时，方可投入使用。

8.5.3 汽化器出口应设有温度过低报警联锁装置，汽化器出口的气体温度应不低于-10℃。

8.5.4 液氧储罐在初次或停用 7 天以上后充灌时，开始应缓慢充灌，然后逐渐加快。

8.5.5 液氧储罐的最大充装量为几何容积的 95%，严禁过量充装。

8.5.6 严禁使用没有经过脱脂处理的液氧储罐充装液氧。

8.5.7 应定期化验液氧储罐内的液氧乙炔含量，其含量体积分数不应超过 0.1×10^{-6} ，否则应排放液氧。

8.5.8 当设备上的阀门和仪表、管道连接接头等被冻结时，应用 70℃~80℃ 干净无油的热空气、热氮气或温水进行融化解冻。

8.5.9 使用单位必须制定安全使用操作规程。

8.5.10 操作人员应熟悉产品使用说明书,且在发生故障及意外事故时应能独立采取紧急安全措施。

8.5.11 设备维护(修)应符合下列规定:

1 液氧储罐以及压力表、液面指示计、安全装置应按《深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程》GB16912 和《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG21 的规定进行定期检查和校验;

2 防雷、静电接地装置应定期检测接地电阻,至少每年检测一次;

3 液氧储罐的外壳上大面积结霜、结露时,应即使进行检修;

4 设备修理前,应做如下准备工作:

1) 必须用无油干燥空气吹除置换,并使设备温度升至常温;

2) 在设备检修前排放液氧或气体,应排放到通气良好的大气中或专用排放处,且必须有专人监护;

3) 排放处应设有明显的标志和警告牌,以保证排放安全;

4) 排放液氧时,排放波及区内严禁明火。

8.5.12 操作人员安全防护应符合下列规定:

1 在充灌或处理低温液体时,应戴上干净易脱的皮革、帆布或棉手套;

2 若有产生液体喷射或飞溅可能,应戴上护目镜或面罩;

3 处理大量低温液体或低温液体严重泄漏时,应穿上无钉皮靴,裤脚套在皮靴外面;

4 在充灌或处理液氧时,不得穿戴被油脂沾污的工作服和个人防护装备、有静电效应的化纤服装、有钉鞋;

5 操作人员的服装若已渗透了氧,不得进入有明火的场所;

6 操作人员接触低温液体或低温气体皮肤被冻伤时,处理方式如下:

1) 放入温水中浸泡或冲洗,勿干加热;

2) 严重的冻伤应迅速到医院治疗。

8.5.13 液氧储罐附件发生火灾,若环境温度有可能加速液体汽化时,可使用冷却水配射到液氧储罐外壳上进行降温。

8.6 低碳运行

8.6.1 含电机的设备采用工频电机时,电机能效等级应不小于《电动机能效限定值及能效等级》

GB 18613-2020 中规定的 2 级能效。

8.6.2 射流泵宜采用变频电机。

8.6.3 通过试验或工程经验选择合适的催化剂、均相催化反应器极板，提高催化效果。

8.6.4 对臭氧催化氧化池进水 SS 进行严格控制，并定期进行反冲洗。

8.6.5 臭氧催化氧化工业废水处理系统工艺智慧管理系统可根据水量、进出水水质调整臭氧投加量、调整射流泵运行频率。

8.7 安全防护与应急预案

8.7.1 臭氧毒性防护应符合下列规定：

1 设备间内泄漏臭氧浓度应符合现行国家标准《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》GBZ2.1-2019 条款 4.1 中表 1 “臭氧的最高容许浓度（一个工作日内、任何时间接触最高容许浓度）为 0.3 mg/m³” 的规定。

2 环境空气中臭氧浓度限值应符合现行国家标准《环境空气质量标准》GB 3095-2012 中条款 4.2 的有关规定：

1) 日最大 8 小时均值二级标准为 160 μg/m³；

2) 日最大 8 小时均值一级标准为 100 μg/m³；

3) 1 小时均值二级标准为 200 μg/m³、1 小时均值一级标准为 160 μg/m³。

3 臭氧发生器间应有包括手持式臭氧预警设备和防毒面具等完备的防毒措施。

4 臭氧发生器间应安装通风换气设备，并设置具有明显标识的逃生通道。

5 设置在臭氧发生器间的臭氧、氧气泄漏报警仪应正常运行。

8.7.2 系统运行中出现故障时，应按下列步骤执行：

1 在泵房供电发生故障而导致射流泵停运时，应立即关闭臭氧发生器电源、停止产生臭氧，并防止臭氧因断水而泄漏；

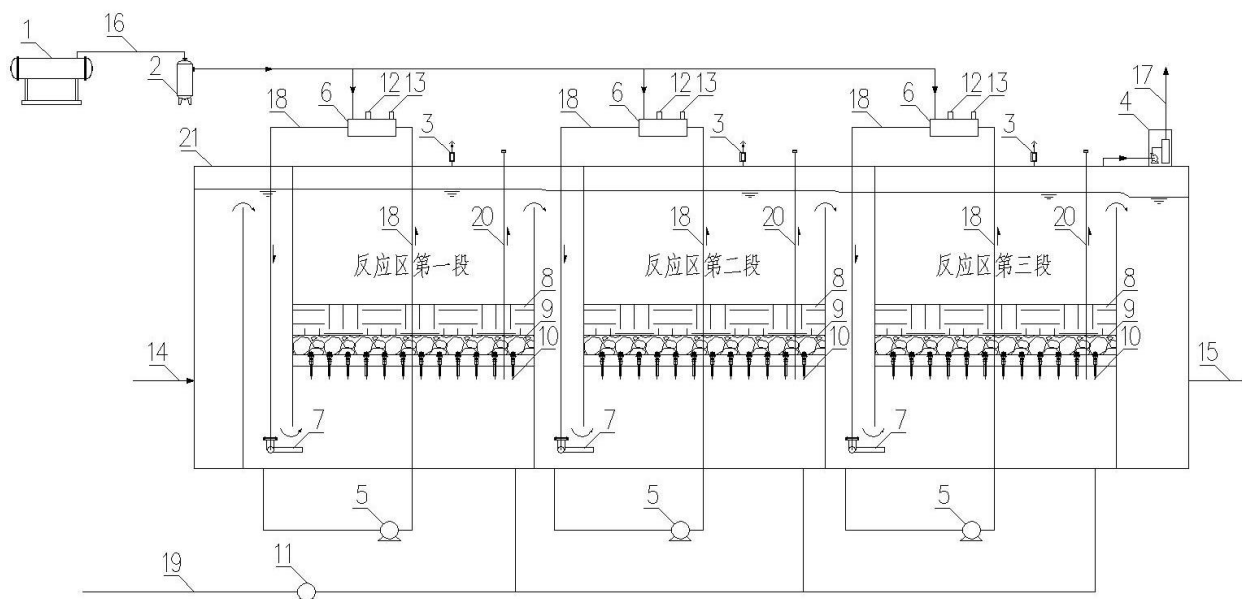
2 遇到突发事件时，应直接按下急停开关切断液氧供应，并切断臭氧发生器电源，使臭氧发生器立即停止运行；

3 在感知臭氧发生器间中有臭氧泄漏时，迅速启动臭氧发生器室的排风装置，并戴上防毒面具。

8.7.3 如操作人员接触到高浓度臭氧产生危险，急救措施应按以下步骤进行：

1 施救人员做好防护措施后进入现场，带受伤者到通风的环境中呼吸新鲜空气；

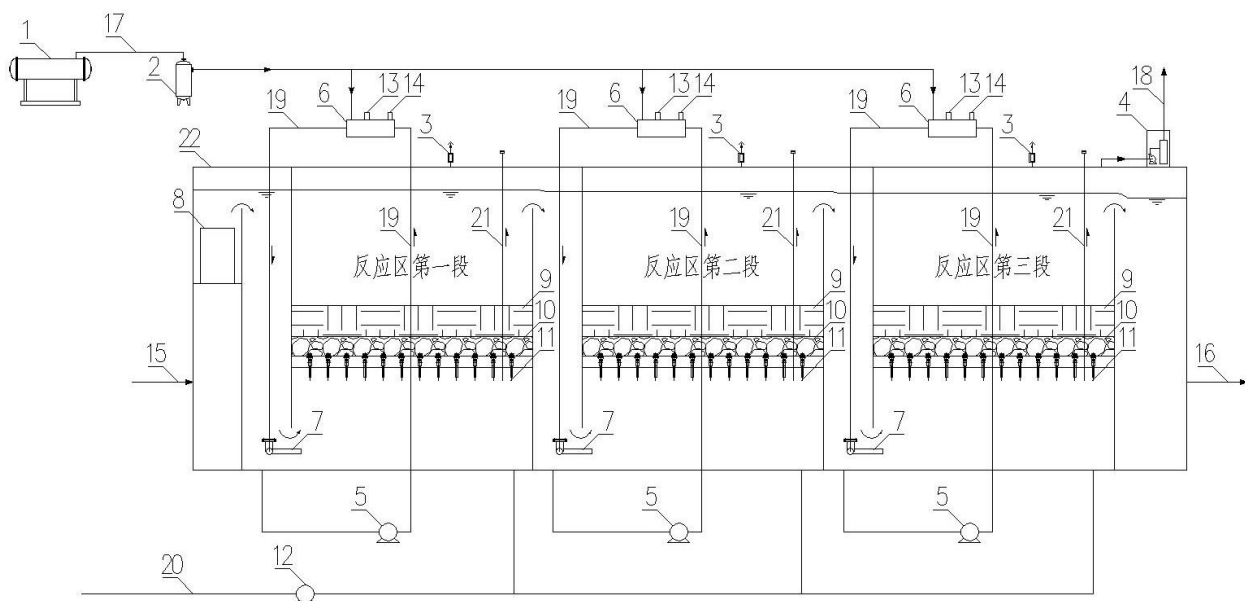
- 2 提供医用氧气，并致电急救中心；
- 3 使受伤者平静下来，并检测脉搏、呼吸及意识；
- 4 受伤者如已失去意识，应使其侧卧；受伤者已停止呼吸，应进行人工呼吸。



1—臭氧发生装置；2—防倒流罐；3—自动双向压力平衡阀；4—臭氧尾气消除装置；5—射流泵；6—臭氧溶气装置；7—二次混合装置；8—非均相催化剂；9—鹅卵石；10—布水布气装置；11—放空泵；12—臭氧气体流量计；13—压力变送器；14—进水管路；15—出水管路；16—臭氧管路；17—臭氧尾气排出管路；18—射流管路；19—放空管路；20—反冲洗管路；21—臭氧催化氧化池

图 A.0.2 非均相射流投加臭氧催化氧化单元流程图

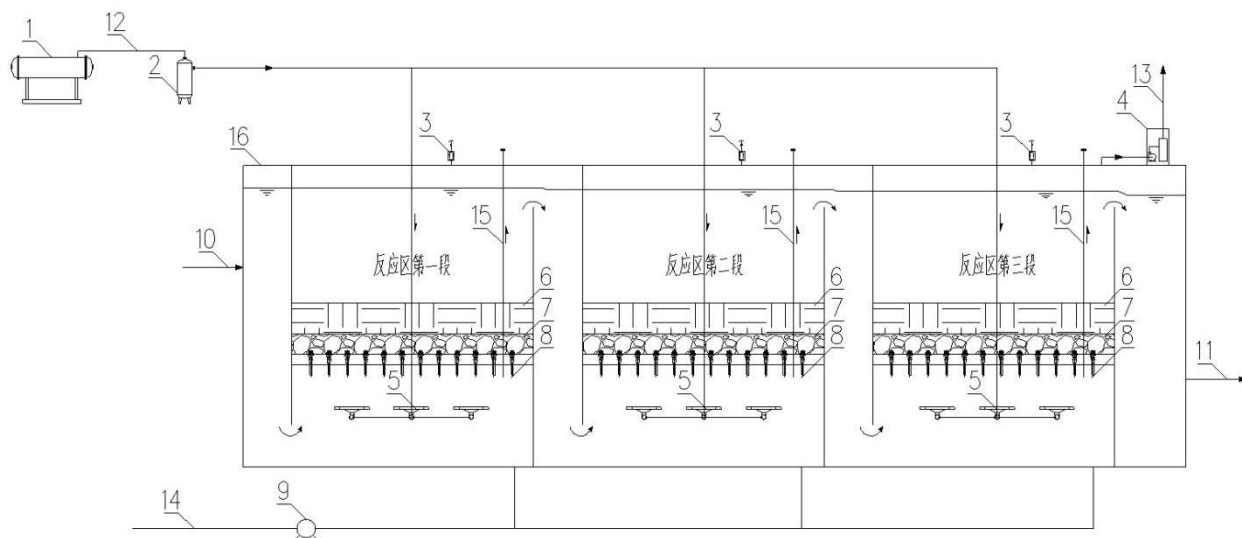
A.0.3 均相和非均相射流投加臭氧催化氧化单元水路包括射流泵、臭氧溶气装置、二次混合装置、均相催化反应器、非均相催化剂、鹅卵石、布水布气装置、放空泵、进水管路、出水管路、射流管路、放空管路、反冲洗管路、臭氧催化氧化池，气路包括臭氧发生装置、防倒流罐、自动双向压力平衡阀、臭氧尾气消除装置、臭氧气体流量计、压力变送器、臭氧管路、臭氧尾气排出管路、反冲洗管路（图 A.0.3）。



1—臭氧发生装置；2—防倒流罐；3—自动双向压力平衡阀；4—臭氧尾气消除装置；5—射流泵；6—臭氧溶气装置；7—二次混合装置；8—均相催化反应器；9—非均相催化剂；10—鹅卵石；11—布水布气装置；12—放空泵；13—臭氧气体流量计；14—压力变送器；15—进水管路；16—出水管路；19—射流管路；20—放空管路；17—臭氧管路；18—臭氧尾气排出管路；21—反冲洗管路；22—臭氧催化氧化池

图 A.0.3 均相和非均相射流投加臭氧催化氧化单元流程图

A.0.4 非均相曝气盘投加臭氧催化氧化单元水路包括非均相催化剂、鹅卵石、布水布气装置、放空泵、进水管路、出水管路、放空管路、臭氧催化氧化池，气路包括臭氧发生器单元、防倒流罐、自动双向压力平衡阀、臭氧尾气消除装置、曝气盘、臭氧管路、臭氧尾气排放管路、反冲洗管路（图 A.0.4）。

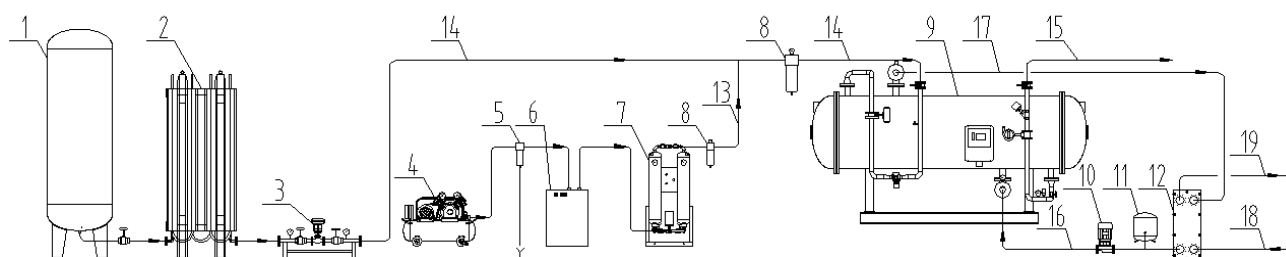


1—臭氧发生器单元；2—防倒流罐；3—自动双向压力平衡阀；4—臭氧尾气消除装置；5—曝气盘；6—非均相催化剂；7—

鹅卵石；8—布水布气装置；9—放空泵；10—进水管路；11—出水管路；12—臭氧管路；13—臭氧尾气排放管路；14—放空管路；15—反冲洗管路；16—臭氧催化氧化池

图 A.0.4 非均相曝气盘投加臭氧催化氧化单元流程图

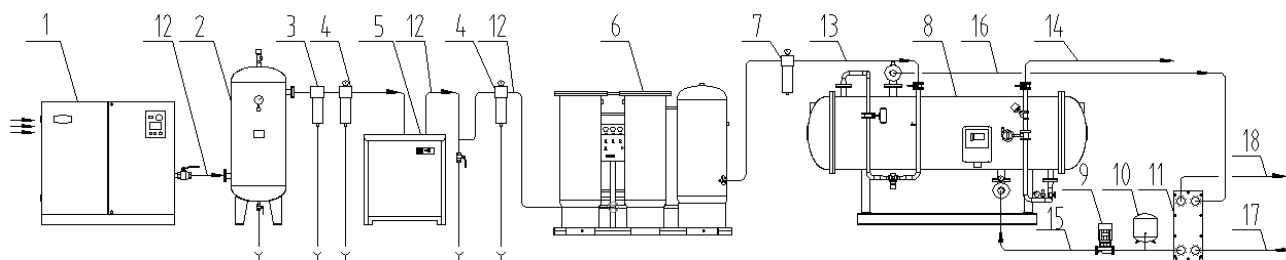
A.0.5 液氧源臭氧发生器装置包括液氧储罐、汽化器、减压阀组、空气压缩机、除水过滤器、冷干机、吸干机、除尘过滤器、臭氧发生器、冷却水泵、膨胀罐、板式换热器、空气管路、氧气管路、臭氧管路、内循环进水管路、内循环回水管路、外循环进水管路、外循环回水管路（图 A.0.5）。



1—液氧储罐；2—汽化器；3—减压阀组；4—空气压缩机；5—除水过滤器；6—冷干机；7—吸干机；8—除尘过滤器；9—臭氧发生器；10—冷却水泵；11—膨胀罐；12—板式换热器；13—空气管路；14—氧气管路；15—臭氧管路；16—内循环进水管路；17—内循环回水管路；18—外循环进水管路；19—外循环回水管路

图 A.0.5 液氧源臭氧发生器装置流程图

A.0.6 PSA 制氧源臭氧发生器装置包括空气压缩机、储气罐、水分离器、除水过滤器、冷干机、制氧机、除尘过滤器、臭氧发生器、冷却水泵、膨胀罐、板式换热器、压缩空气管路、氧气管路、臭氧管路、内循环进水管路、内循环回水管路、外循环进水管路、外循环回水管路（图 A.0.6）。

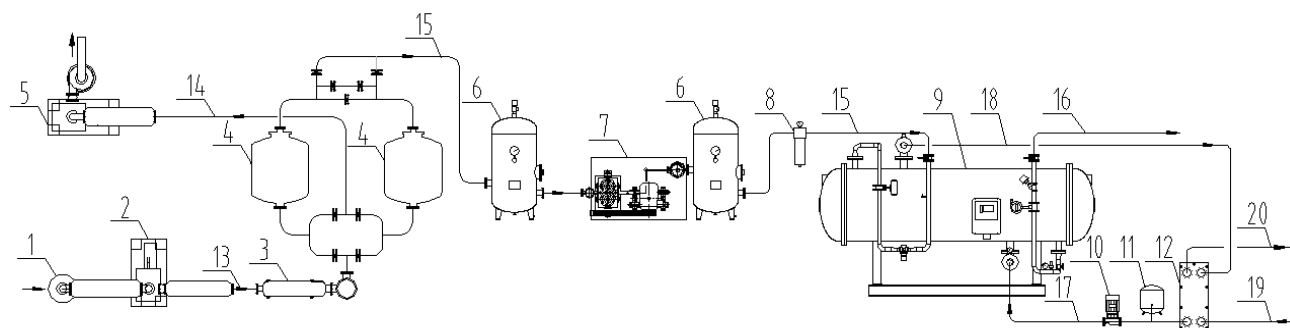


1—空气压缩机；2—储气罐；3—水分离器；4—除水过滤器；5—冷干机；6—制氧机；7—除尘过滤器；8—臭氧发生器；9—冷却水泵；10—膨胀罐；11—板式换热器；12—压缩空气管路；13—氧气管路；14—臭氧管路；15—内循环进水管路；16—内循环回水管路；17—外循环进水管路；18—外循环回水管路

图 A.0.6 PSA 制氧源臭氧发生器装置流程图

A.0.7 VPSA 制氧源臭氧发生器装置包括预处理器、罗茨鼓风机、冷却器、吸附塔、真空泵、

缓冲罐、氧气压缩机、除尘过滤器、臭氧发生器、冷却水泵、膨胀罐、板式换热器、空气管路、氮气管路、氧气管路、臭氧管路、内循环进水管路、内循环回水管路、外循环进水管路、外循环回水管路（图 A.0.7）。

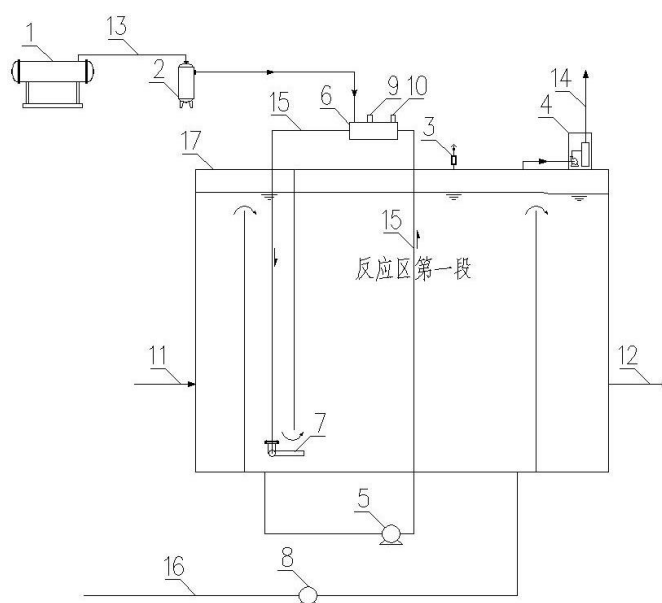


1—预处理器；2—罗茨鼓风机；3—冷却器；4—吸附塔；5—真空泵；6—缓冲罐；7—氧气压缩机；8—除尘过滤器；9—臭氧发生器；10—冷却水泵；11—膨胀罐；12—板式换热器；13—空气管路；14—氮气管路；15—氧气管路；16—臭氧管路；

17—内循环进水管路；18—内循环回水管路；19—外循环进水管路；20—外循环回水管路

图 A.0.7 VPSA 制氧源臭氧发生器装置流程图

A.0.8 射流投加臭氧预氧化单元水路包括射流泵、臭氧溶气装置、二次混合装置、放空泵、进水管路、出水管路、射流管路、放空管路、臭氧预氧化池，气路包括臭氧发生装置、防倒流罐、自动双向压力平衡阀、臭氧尾气消除装置、臭氧气体流量计、压力变送器、臭氧管路、臭氧尾气排出管路（图 A.0.8）。

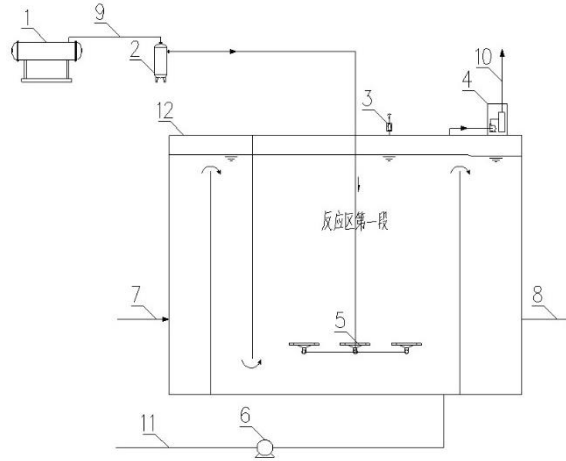


1—臭氧发生装置；2—防倒流罐；3—自动双向压力平衡阀；4—臭氧尾气消除装置；5—射流泵；6—臭氧溶气装置；7—二次混合装置；8—放空泵；9—臭氧气体流量计；10—压力变送器；11—进水管路；12—出水管路；13—臭氧管路；14—臭氧

尾气排出管路；15—射流管路；16—放空管路；17—臭氧预氧化池

图 A.0.8 射流投加臭氧预氧化单元流程图

A.0.9 曝气盘投加臭氧预氧化单元水路包括放空泵、进水管路、出水管路、放空管路、臭氧预氧化池，气路包括臭氧发生器装置、防倒流罐、自动双向压力平衡阀、臭氧尾气消除装置、曝气盘、臭氧管路、臭氧尾气排放管路（图 A.0.9）。



1—臭氧发生器装置；2—防倒流罐；3—自动双向压力平衡阀；4—臭氧尾气消除装置；5—曝气盘；6—放空泵；7—进水管路；8—出水管路；9—臭氧管路；10—臭氧尾气排放管路；11—放空管路；12—臭氧预氧化池

图 A.0.9 曝气盘投加臭氧预氧化单元流程图

附录 B 气相臭氧（纯氧气源）浓度换算表（标准状态）

序号	质量分数（%）	质量浓度（mg/L）
1	1	14.3
2	2	28.8
3	3	43.3
4	4	57.9
5	5	72.7
6	6	87.5
7	7	102.4
8	8	117.5
9	9	130.5
10	10	147.8
11	11	163.2
12	12	178.6
13	13	194.2
14	14	209.9
15	15	225.6
16	16	241.5
17	17	257.5
18	18	273.6
19	19	289.9
20	20	306.2

备注：臭氧浓度单位换算详见《水处理用臭氧发生器技术要求》GB/T37894 中的有关规定。

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

- 《室外给水设计标准》 GB50013
- 《室外排水设计标准》 GB50014
- 《建筑设计防火规范》 GB50016
- 《氧气站设计规范》 GB50030
- 《建筑物防雷设计规范》 GB50057
- 《给水排水构筑物工程施工及验收规范》 GB50141
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB50204
- 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB50205
- 《机械设备安装工程施工及验收通用规范》 GB50231
- 《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》 GB50236
- 《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》 GB50254
- 《给排水管道工程施工及验收规范》 GB50268
- 《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》 GB50275
- 《城镇污水处理厂工程质量验收规范》 GB50334
- 《工业金属管道工程施工规范》 GB 50727
- 《安全标志及其使用导则》 GB2894
- 《环境空气质量标准》 GB 3095-2012
- 《深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程》 GB16912
- 《城镇污水处理厂污染物排放标准》 GB18918-2002
- 《电动机能效限定值及能效等级》 GB 18613-2020
- 《压力管道规范 工业管道 第4部分：制作与安装》 GB/T 20801.4
- 《水处理用臭氧发生器技术要求》 GB/T37894-2019
- 《工业循环冷却水处理设计规范》 GB/T50050-2017
- 《密闭空间作业职业危害防护规范》 GBZ/T205
- 《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》 GBZ2.1-2019

《固定式压力容器安全技术监察规程》 TSG21

《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》 CJJ60

《脱脂工程施工及验收规范》 HG20202

《变压吸附制氧、制氮设备》 JB/T6427

《气水冲洗滤池整体浇筑滤板及可调式滤头应用技术规程》 T/CECS 178

《曝气生物滤池工程技术规程》 T/CECS 265

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

工业废水臭氧催化氧化处理技术规程

条文说明

制定说明

本规程制定过程中，编制组进行了大量的调查研究，总结了我国工程建设以工业废水为主的处理厂（站）的臭氧催化氧化系统的实践经验，同时参考了英国国家标准学会《水回用系统处理技术性能评价指南第3部分：臭氧处理技术和第7部分高级氧化工艺技术》（BS ISO 20468-3,7-2020）等国外先进技术文件，以指导实际工程，解决实际问题。

本规程以建立在工艺技术成熟基础上的原则进行编制。将本规程的编制内容限定在工业废水臭氧预氧化和臭氧催化氧化工艺段，更加科学、严谨。本规程的发布施行填补了国内外采用臭氧催化氧化技术用于工业废水预处理和深度处理的空白，使该系统的设计、检测和控制、施工安装、调试和验收、安全运行和维护等方面有章可循、有法可依。本规程适用于采用臭氧预氧化和臭氧催化氧化深度处理技术的新建、扩建和改建的以工业废水为主的处理厂（站）工程，但对本规程应用于所有行业工业废水处理的适用性问题尚需进一步研究。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《工业废水臭氧催化氧化处理技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1 总则	(53)
2 术语、符号和缩略语	(54)
2.1 术语	(54)
3 基本规定	(55)
4 工艺设计	(56) 57
4.1 一般规定	(56) 57
4.2 工艺流程	(57) 58
4.4 臭氧催化氧化单元	(57)
4.6 臭氧发生装置	(60)
4.7 管道及套管材质	(62) 64
5 电气和控制设计	(63)
5.3 自控仪表	(63)
6 施工安装	(64)
6.1 一般规定	(64)
8 安全运行和维护	(65)
8.7 安全防护	(65)

1 总则

1.0.1 本条阐述了本规程的编制目的。

工业废水臭氧催化氧化处理技术是目前方兴未艾,广泛应用于各行业以工业废水为主的处理厂(站)的新技术、新工艺、新产品。

该技术和其他臭氧水处理工艺比较具有以下两方面的技术特性:一是高效臭氧溶气工艺,即利用电磁的作用改变工业废水中分子的微观物质形态,达到提高臭氧气体的溶解效率,并有效减少臭氧投加量(臭氧溶气效率 $\geq 90\%$)。二是采用均相催化和非均相催化两种高效催化工艺。近十多年的生产实践证明:当重点去除有机污染物为 COD_{cr} 时,出水水质可以达到 $\text{COD}_{\text{cr}} \leq 20 \text{ mg/L} \sim 30 \text{ mg/L}$ 。

遵循 2022 年 05 月 22 日由国家质检总局、国家标准委、民政部共同颁发的《团体标准管理规定(试行)》中第八条“制定团体标准应当有利于科学合理利用资源,推广科学技术成果”的要求,为使工业废水臭氧催化氧化处理系统达到技术上更先进、经济上更合理,并在工程建设过程中有章可循、有法可依,主编单位协同具有区域性和代表性的参编单位,在认真总结成功运用于全国各地数百个以工业废水为主的处理厂(站)臭氧预氧化和臭氧催化氧化运行实践经验,编制了本规程。

2 术语、符号和缩略语

2.1 术语

2.1.1 本规程发布之前，臭氧催化氧化又称为臭氧催化高级氧化。是基于臭氧的氧化技术，将臭氧的强氧化性和催化剂的吸附、催化特性相结合，能有效地降解工业废水中的有机物。

2.1.5 本规程发布之前，非均相催化又称为多相催化。

2.1.7 当输送臭氧气体的管道中含油脂时，会有燃烧甚至爆炸的风险，因而造成人民生命和财产的重大损失，因此必须做脱脂处理。

2.1.8 臭氧溶气装置通过改变工业废水中水分子、有机污染物分子、离子氛的团簇结构，改变了其中的物理、化学、分子力学等性能，达到增加臭氧溶解能力、提高臭氧催化效率的目的。

3 基本规定

3.0.3 臭氧预氧化单元工艺流程为臭氧发生装置产生的臭氧气体通过管道输送到臭氧预氧化池，采用射流或曝气盘投加方式将臭氧溶解到工业废水中，利用臭氧的强氧化性提高工业废水可生化性、减轻生物毒性或强化胶体去除效果。

3.0.4 臭氧催化氧化单元工艺流程为臭氧发生装置产生的臭氧气体通过管道输送到臭氧催化氧化池，采用射流或曝气盘投加方式将臭氧溶解到工业废水中。在均相催化剂或非均相催化剂作用下产生羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ），利用羟基自由基的强氧化性去除工业废水中难降解污染物。

3.0.5 根据传质公式判断，水中臭氧浓度与臭氧气体中臭氧浓度差越大，传质速度越大，所以臭氧气体的浓度越高，越有利于臭氧溶解到水中。臭氧发生器装置空气源制备的臭氧气体浓度不小于 25 mg/L，氧气源或富氧源制备的臭氧气体浓度不小于 150 mg/L，因此推荐臭氧发生装置单元的气源采用氧气源或富氧源。

4 工艺设计

4.1 一般规定

4.1.1 由于臭氧预氧化、臭氧催化氧化工艺设施的设备投资和日常运行成本较高且工业废水处理难度较大， $O_3/\Delta C$ 、催化类型、接触反应时间确定合理与否将直接影响工程的投资和生产运行成本。处理工艺目的和待处理水的水质状况(进水中溶解性难生物降解 COD_{cr} 类型、 COD_{cr} 去除量、水中电导率、碱度、温度、硬度等)不同，所需臭氧预臭氧池和臭氧催化氧化池接触时间、 $O_3/\Delta C$ 、催化类型也不同，因此，要求通过一定的小试或中试试验，或参照相似条件下的成功工程案例运行经验来确定。

4.1.2 碳酸根和碳酸氢根等水中羟基自由基的猝灭剂浓度大于 500mg/L 时，需通过加酸去除碳酸根和碳酸氢根，具体的投加量需通过试验确定。

4.1.4 从臭氧预氧化池和臭氧催化氧化池排气管排入环境空气中的气体仍含有一定的残余臭氧，这些气体被称为臭氧尾气。空气中一定浓度的臭氧对人体有害，人在含臭氧百万分之一的空气中长期停留，会引起易怒、感觉疲劳和头痛等不良症状；而在更高的浓度下，除这些症状外，还会增加恶心、鼻子出血和眼黏膜发炎，经常受臭氧的毒害会导致严重的疾病。出于对人体健康安全的考虑，作出了本条规定。通常情况下，经尾气消除装置处理后，要求排入环境空气中的气体所含臭氧的浓度满足现行国家标准《环境空气质量标准》GB3095 的有关规定。

4.1.5 本条对工业废水进入臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池前需进行的预处理作出了规定。

1 温度对半衰期影响非常显著，所以需要通过试验或工程经验确定工艺参数；

2 碳酸根和碳酸氢根是水中羟基自由基的主要猝灭剂之一，根据工程经验确定进水碱度需小于 500mg/L；

3 为防止结垢，当采用曝气盘投加臭氧、非均相催化剂时，根据工程经验确定进水总硬度需小于 450mg/L。

4.1.6 臭氧在水中的溶解度大约是氧的 13 倍，臭氧预氧化池和臭氧催化氧化池出水中溶解氧非常高，根据多个工业废水处理厂（站）臭氧预氧化池和臭氧催化氧化池运行反馈情况，出水溶解氧普遍在 10 mg/L 以上。若将反硝化滤池设在臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池后端，高溶解氧的环境下，反硝化滤池无法形成缺氧环境，会抑制硝酸盐通过反硝化途径转化为气态氮。需采取相关措施将臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池出水残留的溶解氧脱除，额外增加处理成本。所以臭氧预氧化池和臭氧催化氧化池后不能接反硝化生物滤池。

4.2 工艺流程

4.2.6 该流程中的臭氧预氧化池进水 SS 宜小于 20mg/L；后续生化处理系统要考虑协同设计。

4.2.7 该流程中的臭氧预氧化池对进水 SS 没有限制。

4.3 臭氧预氧化单元

4.3.3 当进水硬度大于 450mg/L 时，应在水厂前端工艺进行除硬处理，同时在臭氧预氧化池设置防结垢装置。

4.4 臭氧催化氧化单元

I 一般规定

4.4.4 当进水硬度大于 450mg/L 时，应在水厂前端工艺进行除硬处理，同时在臭氧催化氧化池设置防结垢装置。

4.4.6 由于 $O_3/\Delta C$ 关系到投资和运行费用，具体比值通过一定的小试或中试试验确定，如果设计投加方式和试验中的投加方式不一致，在确定设计臭氧投加量时需考虑不同投加方式的臭氧溶气效率偏差。经调查国内以工业废水为主的处理厂（站）设计及运行经验，考虑臭氧溶气效率后工业废水深度处理段 $O_3/\Delta C$ 取 1.0~4.0，可推荐作为设计参考。调查情况见表 1。

表 1 国内部分以工业废水为主的处理厂设计及运行数据

项目名称	规模 (万 m ³ /d)	进水 COD _{cr} 指标 (mg/L)	出水 COD _{cr} 指标 (mg/L)	反应 时间 (min)	臭氧投 加量 (mg/L)	池子 分组 (组)	几段投 加 (段)	催化形式	污水 性质
山东某污水处理厂	8	50	30	60	28	2	3	均相+非 均相	印 染、 纺织
湖北某污水处理厂	3.5	120	80	60	80	2	3	均相+非 均相	农药
江苏某污	5	50	25	60	37.5	2	3	均相+非	印染

水处理厂								均相	
------	--	--	--	--	--	--	--	----	--

4.4.7 为防止过高的悬浮物消耗臭氧，根据工程经验确定臭氧催化氧化池的进水 SS 需小于 10 mg/L。

II 均相催化氧化池

4.4.8 本条对均相催化氧化池的工艺设计作出了规定。

3 超高不含均相催化氧化池顶板厚度。

III 非均相催化氧化池

4.4.14 本条对非均相催化氧化池的工艺设计作出了规定。

7 超高不含非均相催化氧化池顶板厚度。

8 在反冲洗时，为避免催化剂流失，工程中可以通过控制适宜的冲洗强度、控制催化剂的相对密度和填充厚度、在出水口采用格网拦截等措施，均可起到较好的防流失效果。

4.4.15 随着运行时间累积，催化剂层会出现不同程度的堵塞，设计时需考虑内部结构设计对工艺高程的影响，需留有富裕的水头损失，避免淤水。水头损失根据理论计算和实际现场经验值相结合确定。

4.4.18 布水布气装置在正常运行中既起到均匀布水的作用，在反冲洗时又起到均匀布气的作用。工程项目中，臭氧催化氧化池的布水布气装置常用滤板滤头和长柄滤头可采用 ABS、316L 不锈钢材质滤头等，可根据水中臭氧浓度、氯化物、含盐量，以及单价成本等因素综合确定。

4.4.19 本条对臭氧催化氧化池内布水布气装置设计作出了规定。

1 滤板滤头布水布气装置下方区域为缓冲配水区，本条规定了缓冲配水区的高度。因在正常运行过程中，缓冲配水区有可能沉积细小泥沙，同时污水中的短纤维物质在长时间运行后可能堵塞部分滤头。工业污水若含盐量较高，也有可能导致曝气盘、滤头结垢，因此，检修人员需定期进入缓冲配水区进行检修和清理。为方便检修和清理，结合国内众多工程运行实际情况，规定了缓冲配水区的最小高度。

4.4.22 本条对非均相催化剂材质及寿命作出了规定。

3 为了保证催化效果并减少催化剂的更换费用，非均相催化剂应该保持长期效能，选择催化剂时，需进行技术经济综合评估。

IV 射流投加臭氧

4.4.24 由于臭氧溶气装置、射流泵和二次混合装置的过流部分与臭氧或者含臭氧的污水直接接

触，在材质选择上需考虑臭氧气体浓度、水中臭氧浓度、氯化物、含盐量等因素综合确定。

4.4.25 本条对臭氧溶气装置的设计作出了规定。

1 本条规定了臭氧溶气装置效率的最低要求，防倒流装置需设置在臭氧发生器与臭氧溶气装置之间的气路管道上，可以避免倒流水进入臭氧发生器内造成臭氧发生器的损坏，以保证臭氧发生系统的正常工作。

4.4.26 本条对射流泵的设计作出了规定。

2 根据实际臭氧投加量，通过变频器自动控制射流泵的转速。

4.4.29 本条对臭氧投加配比作出了规定。

1 由于第一段接触室需要与臭氧反应的物质含量最多，故规定其布气量不小于总气量的40%。

V 曝气盘投加臭氧

4.4.33 经调研，市场上曝气盘投加装置较多采用钛合金、刚玉等材质，当进水含盐量较高时，结垢影响使用寿命也是不可忽视的问题，ABS、PP、EPDM、PE 材质在低臭氧浓度下具有防腐蚀的优势。

4.4.36 本条对臭氧曝气盘的设计作出了规定。

2 每个曝气盘在一定的布气量变化范围内可保持其有效作用范围不变。考虑到总臭氧加注量和各段加注量变化时，曝气盘的布气量也将相应变化，因此曝气盘的布置需经过对各种可能的布气设计工况分析来确定，以保证最大布气量到最小布气量变化过程中的布气均匀。

3 本条规定了臭氧溶气效率的最低要求。

4 曝气盘的安装深度与臭氧溶气效率存在一定的关系，安装深度过浅，溶解于水中的臭氧气体很快逸出。安装深度较深时，受水压影响曝气盘出气阻力增大，出气量降低从而影响使用效率。根据对国内外有关应用实例的调查，使用曝气盘的臭氧催化氧化池水深一般为4m~6m。超过6m时，可采用加大臭氧气体压力的方法提高臭氧溶气效率。曝气盘投加臭氧的臭氧溶气效率与曝气盘种类、规格、安装深度均有关。

4.4.37 本条对臭氧布气管的设计作出了规定。

3 曝气系统的运行工况中，由于经常停机反洗，不可避免存在污水从曝气盘逆流进入管路的情况，为不影响气体均匀分配，故规定曝气管路需合理设置冷凝水排放口；

4 在工业废水含盐量较高的情况下，曝气盘可能会产生结垢，影响使用效果，故提出清洗的建议。

4.4.38 由于第一段接触室需要与臭氧反应的物质含量最多，故规定其布气量不小于总气量的40%。

VI 池体设计

4.4.41 臭氧稳定性极差，在常温下易自行分解为氧气，质量浓度约为1%的臭氧，在常温常压的空气中分解的半衰期为16h左右。臭氧在水中的分解速度比空气中快得多，水中臭氧浓度为3mg/L时，其半衰期仅5min~30min。臭氧在水中分解的半衰期与温度、pH有关，随着温度的升高，分解速度加快；pH值越高，分解也越快。当后续工艺有生化处理工艺时，水中残留的臭氧因有持续杀毒灭菌作用，影响后续生化工艺微生物生长，故规定脱气池水力停留时间不小于20min。

4.4.42 本条对臭氧催化氧化池的池型设计作出了规定。

3 在运行过程中，臭氧催化氧化池有时需要停池清洗或检修。为不致造成停产，故规定了臭氧催化氧化池的个数或系列数不少于2组。

5 在与池顶相连的导流隔板顶部设置通气孔是为了让积聚在池顶上部的尾气从排放管顺利排出。在与池底相连的导流隔墙底部设置流水孔是为了清洗臭氧催化氧化池时便于放空。

7 为了防止臭氧催化氧化池中少量未溶于水的臭氧逸出后进入环境空气而造成危害，臭氧催化氧化池需采取全封闭的构造。

VII 池（罐）体防腐

4.4.44 本条对臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池的池体防腐作出了规定。

1 当采用钢筋混凝土池体时，池体的防腐可以采用防腐涂料耐臭氧氧化，按本款执行。混凝土池体防腐可以选择耐臭氧防腐涂料无机材料水泥基渗透结晶型防水涂料、HFVC浓缩剂（改性聚氯乙烯结构胶及胶泥腐蚀控制技术规范中的底涂料产品）等，在选择涂料时需要考虑水质特点、涂料材质耐臭氧、涂覆是否容易脱落等情况。建议提供耐臭氧的成功工程案例（包含臭氧投加浓度、投加方式等）或国家权威机构出具的耐高浓臭氧报告，作为设计单位的选择依据。

2 当采用钢筋混凝土池体时，池体的防腐也可以采用钢筋混凝土自防腐，按本款执行。

4.4.45 本条对臭氧预氧化罐、臭氧催化氧化罐体的防腐作出了规定。

当采用技术材质罐体时，罐体的防腐可以选择耐臭氧防腐涂料有AWHFVC碳氢蜡（蜡性防腐涂料）或者内衬PE等，臭氧在选择涂料时需要考虑水质特点、涂料材质耐臭氧、涂覆是否容易脱落等情况。建议提供耐臭氧的成功工程案例（包含臭氧投加浓度、投加方式等）或国

家权威机构出具的耐高浓臭氧报告，作为设计单位的选择依据。

4.6 臭氧发生装置

I 一般规定

4.6.2 臭氧发生装置单元的气源采用氧气，氧气在现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016-2014（2018 年版）的第 3.1.3 条中规定为乙类助燃气体，因此，必须严格按此标准第 3.3.4“甲、乙类生产场所（仓库）不应设置在地下或半地下”的规定执行。本条规定的目的在于减少爆炸的危害和便于救援。

4.6.5 在臭氧发生器间内设置机械通风设备，首先可通过通风来降低室内环境温度，其次可排除从臭氧发生系统中可能泄漏出来的微量臭氧气体，即在室内环境空气中臭氧浓度达到 0.15 mg/m^3 时开启，以保持室内环境空气质量的安全。高位空气进口和低位空气出口需设置在对面的墙上，高位空气进口距地面 3.5 米，低位空气排出口距地面 0.5 米，至室外高处排放。

II 气源装置

4.6.10 本条对液氧站的室外环境设计作出了规定。

4 本条规定符合国家标准《氧气站设计规范》GB50030-2013 第 3.0.16 条有关液氧贮罐、低温液体贮槽室外布置的规定。

4.6.11 本条对液氧站配套装置的设计作出了规定。

5 本条对产量大于 1kg/h 的液氧源臭氧发生器配套的氮气添加装置作出了规定。

1) 对于产量大于 1kg/h 的大型液氧源臭氧系统，如需要避免出现放电中毒甚至零臭氧现象，降低臭氧产生能耗，提高氧气转化为臭氧的转化效率，可配置氮气添加系统。液氧经气化、减压后加入约 $0.1\% \sim 3\%$ 的氮气或干燥空气。配置的氮气添加系统还可考虑兼做仪表风气源和吹扫气源。

4.6.12 本条对富氧源制氧装置作出了规定。

2 VPSA 制氧装置比 PSA 制氧装置具有更低的能耗，但投资较高，所以一般在需氧量较大时采用 VPSA 制氧装置；

3 本条对 PSA 制氧装置作出了规定。

2) PSA 制氧机常用的是双塔吸附；

3) 储气缓冲罐的作用：实现 PSA 制氧机吸附罐稳定、快速进气。

4 本条对 VPSA 制氧装置作出了规定。

2) VPSA 制氧机常用的是双塔吸附。

III 臭氧发生器

4.6.14 本条对臭氧发生器的主要技术性能作出了规定。

1 电解式规格极小，无法做大并电耗高；紫外式浓度极低且电耗更高；因此，工业用最佳选型为介质阻挡放电方式的臭氧发生器；

2 臭氧浓度 150 mg/L 是综合了设备性能价格比、氧气利用率、综合经济运行费用后的考虑；

3 压力范围的规定既满足了工艺运行要求，又规避了压力容器管理；

4 臭氧极不稳定，高温时易分解成氧气；

5 臭氧发生器产量调节范围是为了适应水质水量的变化，及时调整运行参数，以保障处理效果；

7 臭氧发生器主体器件包括电源柜柜体、高压变压器、整流逆变装置及臭氧发生室罐体等。

4.6.16 因臭氧发生器的管壳换热器结构、壳程冷却不易清洗，且多数项目现场冷却水水质无法满足现行国家标准《水处理用臭氧发生器技术要求》GB/T 37894 的有关规定，存在结垢和腐蚀的危害，故需采用纯水闭式循环冷却系统。各项目现场条件不同，具体系统构成需因地制宜，选配合适的设备。

4.6.17 本条对臭氧发生器正常工作条件作出了规定。

1 臭氧有一定的半衰期，距离臭氧催化氧化池距离过长且流速较小时容易衰变。

IV 臭氧尾气消除装置

4.6.24 需根据工况条件选择能够使臭氧尾气排放达到排放标准要求的相关臭氧尾气消除装置的全部或部分配套设备，经处理尾气排放后的臭氧浓度需经监测，判断尾气是否能达到排放标准、尾气消除装置工作状态是否正常。

4.6.25 本条参照现行国家标准《室外给水设计标准》GB50013 的有关规定执行，并可保持臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池内微负压，防止正常工作时双向透气阀放出含有较高浓度的臭氧气体。

4.6.29 一旦臭氧尾气消除装置故障停运会导致整套臭氧氧化设施的停运，故需有备用。

4.7 管道及套管材质

III 臭氧气体输送管道

4.7.7 为防止臭氧预氧化池、臭氧催化氧化池中的水在突然停电或操作异常等工况时倒灌入臭氧发生器，损坏臭氧发生器，故在臭氧气体输送主管道上需设置防倒流装置。

4.7.8 干燥气体指的是臭氧发生器出来的臭氧气体。

4.7.9 潮湿气体指的是预氧化池、臭氧催化氧化池内与水接触的臭氧气体。

4.7.11 输送臭氧气体的管道均采用 316L 不锈钢管，夏季高温季节，阳光直射导致管道温度升高，管道中的臭氧分解速度加快。

5 电气和控制设计

5.3 自控仪表

5.3.2 臭氧和氧气泄漏报警仪探测和报警装置通常设置在臭氧发生器室内，用于监测臭氧发生器室内环境空气中可能泄漏出的臭氧和氧气浓度，对泄漏状况做出指示和报警，并根据泄漏量关闭臭氧发生器，同时与臭氧发生器间设置的排风装置联动，降低环境中的臭氧和氧气浓度，将空气质量控制在安全值范围内。

5.3.4 臭氧泄漏低、高检测极限分别对应现行国家标准《环境空气质量标准》GB3095 允许的臭氧浓度限值一级和二级。当室内环境空气臭氧含量达到一级时，需有报警提醒并自动开启排风装置；当室内环境空气臭氧含量达到二级时，需进行报警并自动关闭臭氧发生装置。

6 施工安装

6.1 一般规定

6.1.8 本条对安装内容及质量的检查作出了规定。

2 确认各设备内部及连接管道的清洁状况，需要脱脂的管道经过脱脂并检查合格。在管道焊接或热熔完成后，要对管道内部焊渣、细小 PE 颗粒、油脂、氧化物等污物进行化学清洗并吹扫合格，保证管道内壁表面和焊接接头的清洁、干净。

8 安全运行和维护

8.6 低碳运行

8.6.4 控制臭氧催化氧化池进水 SS 和非均相催化氧化池进行定期反冲洗，可以减少臭氧投加量。

8.7 应急预案

8.7.1 本条对臭氧毒性防护作出了规定。

3 人能感知到气味的臭氧浓度为 $0.01\text{ mg/m}^3 \sim 0.02\text{ mg/m}^3$ ，臭氧浓度为 0.1 mg/m^3 时人们就明显感觉到并需及时采取避害措施。