ICS 13.020.01
J 88

T/CAMIE 10—2020

团　体　标　准

T/CAMIE 10—2020

给水处理臭氧系统应用规程

Application Specification for Ozone System for Water Supply Treatment

2020-09-08 发布　　2020-10-09 实施

中国环保机械行业协会　发 布

中国环保机械行业协会标准
给水处理臭氧系统应用规程
T/CAMIE 10—2020
开本 880×1230　1/16　印张 1.75　字数 43.34 千字
2020 年 11 月第一版　2020 年 11 月第一次印刷

目　　次

前言……III
1　范围……1
2　规范性引用文件……1
3　术语和定义、缩略语……2
3.1　术语和定义……2
3.2　缩略语……2
4　基本要求……2
4.1　一般规定……2
4.2　安全……3
4.3　材料……3
5　臭氧发生器……4
5.1　一般规定……4
5.2　设备应用……4
6　气源装置……5
6.1　一般规定……5
6.2　装置应用……5
7　接触反应装置……6
7.1　一般规定……6
7.2　装置应用……6
8　尾气处理装置……7
8.1　一般规定……7
8.2　装置应用……7
9　仪器仪表与控制装置……8
9.1　一般规定……8
9.2　配置功能及要求……8
9.3　装置应用……9
10　安装调试与验收……10
10.1　综述……10
10.2　安装……10
10.3　调试……10
10.4　验收……11
11　运行与维护……11

11.1 综述 …… 11
11.2 运行与维护 …… 12
附录A（规范性附录） 臭氧浓度与安全、臭氧基础知识 …… 13
A.1 概述 …… 13
A.2 臭氧浓度限值 …… 13
A.3 臭氧的毒性及安全性 …… 13
A.4 暴露于各级别臭氧浓度及生理影响 …… 13
A.5 常用臭氧物理性质 …… 14
A.6 臭氧的不稳定性 …… 14
A.7 臭氧的强氧化性 …… 14
附录B（资料性附录） 臭氧发生器集成设计选择 …… 16
B.1 概述 …… 16
B.2 臭氧发生器集成设计选择 …… 16
B.3 设计图纸与说明书 …… 16
B.4 质保与服务 …… 17
附录C（资料性附录） 气源装置介绍及选型对比计算 …… 18
C.1 空气源装置 …… 18
C.2 氧气源装置 …… 18
C.3 富氧源装置 …… 18
C.4 选型对比计算 …… 19
附录D（资料性附录） 给水处理常用臭氧应用浓度与基本系统控制方式 …… 21
D.1 概述 …… 21
D.2 常用臭氧应用浓度 …… 21
D.3 “恒定臭氧浓度，调节氧气流量”方式 …… 21
D.4 “根据水中余臭氧浓度自动调节臭氧产量”方式 …… 22
D.5 臭氧应用注意事项 …… 22
附录E（资料性附录） 臭氧系统运行参数记录 …… 23
E.1 臭氧系统运行参数记录 …… 23
参考文献 …… 24

前　言

本规程按GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本规程由中国环保机械行业协会提出并归口。

本规程起草单位：青岛国林环保科技股份有限公司、山东省城市供排水水质监测中心、中国市政工程华北设计研究总院有限公司、中国市政工程中南设计研究总院有限公司、南昌大学、济南水务集团有限公司、昆山市水务集团有限公司、山东省臭氧工程技术研究中心、江苏康尔臭氧有限公司、济南三康环保科技有限公司。

本规程主要起草人：王承宝、张磊、丁香财、肖盛隆、王欣明、贾瑞宝、郑兴灿、刘海燕、魏林生、孙韶华、潘章斌、郭兴芳、孙健、徐慧、顾迎弟、乐飞、王东升、薛飞、张国民。

本规程为首次发布。

给水处理臭氧系统应用规程

1 范围

1.1 为提高给水处理臭氧系统应用水平，保障给水处理中臭氧系统的工程设计、安装调试与验收、运行与维护质量，保证臭氧系统应用效果，制定本规程。

1.2 本规程规定了给水处理臭氧系统的基本要求、臭氧发生器、气源装置、接触反应装置、尾气处理装置、仪器仪表与控制装置、安装调试与验收、运行与维护等。

1.3 本规程适用于给水处理中采用介质阻挡放电方式产生臭氧的臭氧系统。

1.4 给水处理臭氧系统除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准和设计文件的规定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 150 （所有部分）压力容器

GB/T 151 热交换器

GB 3095 环境空气质量标准

GB 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB 5083 生产设备安全卫生设计总则

GB 5749 生活饮用水卫生标准

GB 14050 系统接地的型式及安全技术要求

GB/T 17248.3 声学 机器和设备发射的噪声 采用近似环境修正测定工作位置和其他指定位置发射声压级

GB 19517 国家电气设备安全技术规范

GB/T 20801 压力管道规范 – 工业管道

GB/T 37894 水处理用臭氧发生器技术要求

GB 50013 室外给水设计标准

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50029 压缩空气站设计规范

GB 50235 工业金属管道工程施工规范

GBZ 2 工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素

CJJ 58 城镇供水厂运行、维护及安全技术规程

HG 20202 脱脂工程施工及验收规范

JB/T 6427 变压吸附制氧、制氮设备

TSG 07　特种设备生产和充装单位许可规则

TSG D0001　压力管道安全技术监察规程——工业管道

3　术语和定义、缩略语

下列术语和定义、缩略语适用于本文件。

3.1　术语和定义

3.1.1

臭氧系统　ozone system

臭氧发生器、气源装置、接触反应装置、尾气处理装置、仪器仪表与控制装置等组合成的系统。

3.1.2

标准状态　normal temperature and pressure

在温度 T=273.15 K（0℃），压力 P=101.325 kPa（标准大气压）时的气体状态。

注：除非特别指明，本标准中提到的气体体积、气体流量以及臭氧浓度均为标准状态下的值。

3.1.3

臭氧发生器　ozone generator

氧气或空气通过介质阻挡放电方式产生臭氧的装置。

3.1.4

气源装置　feed gas device

为臭氧发生器提供合格原料气体的装置或成套设备。

3.1.5

接触反应装置　ozone contactor

臭氧投加到水中并和水中还原性物质进行反应的装置。

3.1.6

尾气处理装置　vent ozone destructor

将接触反应残留的臭氧气体经过处理降低到臭氧浓度允许排放限值的装置。

3.2　缩略语

PSA——变压吸附　**pressure swing adsorption**

VPSA——真空变压吸附　**vacuum pressure swing adsorption**

4　基本要求

4.1　一般规定

4.1.1　应根据给水处理整体要求，按 GB 50013 完成臭氧系统工艺流程设计，并结合臭氧系统投资及运行费用确定臭氧系统总体设计方案，主要包括：

a）臭氧发生器规格、台数及备用方案；

b）气源装置类型、各装置选型；

c）臭氧接触装置的布置方式和尺寸，臭氧一点投加或多点投加；

d）尾气处理装置的规格、台数及备用方案；

e）臭氧系统控制方式。

4.1.2　臭氧系统各设备及装置应根据臭氧发生和投加的工艺操作顺序，按相关图纸资料、安装要求及说明、运行维护说明、检修所需空间等资料进行布置。臭氧发生器应尽量靠近接触反应装置。

4.1.3　臭氧系统各设备及装置应符合 GB 5083 的规定。

4.1.4　臭氧发生器、臭氧接触池、尾气处理装置的设置与配置应符合 GB 50013 的规定。

4.1.5　臭氧系统机电设备及装置正常工作环境条件应符合 GB/T 37894 的要求。

4.1.6　臭氧系统工作时的噪声值按 GB/T 17248.3 的方法检测不应高于 85 dB(A)。

4.2　安全

4.2.1　臭氧系统应用应符合有关的臭氧浓度和安全性要求。常用臭氧浓度和安全性等资料见附录 A。

4.2.2　臭氧系统中属于压力容器的相关装置的设计、制造、安装、改造、维修应符合 TSG 07、GB/T 150（所有部分）及 GB/T 151 的规定。

4.2.3　臭氧系统中所有管道应按照 GB 50235 进行气密性试验或压力试验，属于压力管道的相关管道的设计、制造、安装、改造、维修应符合 TSG 07、TSG D0001 及 GB/T 20801 的规定。

4.2.4　臭氧系统中接触生活饮用水的部分应符合《生活饮用水卫生监督管理办法》的相关要求。

4.2.5　电气设备的设计应符合 GB 19517 的规定。

4.2.6　电气设备防护等级应符合 GB 4208 的规定，不应低于 IP 44。

4.2.7　臭氧系统均应可靠接地，接地应符合 GB 14050 的规定。

4.2.8　电气设备应采用防止电击危险的绝缘保护措施，装置内任何带电部件只有在通过联锁开关断开电源后才能被触及。

4.2.9　采用氧气源的臭氧系统，电气设备设计布置应符合 GB 50016 的规定。

4.2.10　臭氧系统中的设备、管道、阀门、仪表等所有接触氧气、富氧气及臭氧化气的零部件应进行脱脂处理，脱脂处理应符合 HG 20202 的规定。

4.2.11　应按设备或管道等级设置相应的安全阀等压力卸放装置，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。

4.2.12　臭氧系统设备间内的泄漏臭氧浓度应符合 GBZ 2 的规定。

4.2.13　臭氧发生器设备间应按 GB 50013 的规定设置臭氧泄漏报警仪，氧气源型臭氧系统还应设置氧气泄漏报警仪。

4.2.14　臭氧发生器设备间应按 GB 50013 的规定设置机械通风设备、防护器具、照明及开关装置。

4.3　材料

4.3.1　臭氧系统中接触生活饮用水的装置，其材料及施工应符合《生活饮用水卫生监督管理办法》的相关要求。

4.3.2　臭氧系统中一些部件、管道等应使用不锈钢材料，并不应低于表 1 的规定。

表 1　臭氧系统中使用不锈钢材料要求

序号	范围	材质
1	接触干燥臭氧气体的金属材料	06Cr19Ni10（S30408）不锈钢
2	潮湿臭氧气体、臭氧水的金属材料	022Cr17Ni12Mo2（S31603）不锈钢
3	氯离子浓度较高的臭氧水	022Cr22Ni5Mo3N（S32205）双相不锈钢
4	液氧管道	022Cr19Ni10（S30403）不锈钢
5	氧气管道、PSA 富氧气管道（产品氧气缓冲罐后）、VPSA 富氧气管道（氧气增压后）、空气管道（吸附式干燥机之后）、臭氧发生器内循环冷却水管道	06Cr19Ni10（S30408）不锈钢

4.3.3　接触臭氧气体、臭氧水、尾气臭氧的密封圈、垫片、塑料管道等应使用耐臭氧氧化材料。

4.3.4　臭氧系统中主体材料使用时间应大于 15 年。

5　臭氧发生器

5.1　一般规定

5.1.1　臭氧发生器应符合 GB/T 37894 的规定。

5.1.2　臭氧发生器技术资料中应有“臭氧产量——冷却水温度特性曲线”等选型技术参数修正资料。

5.1.3　臭氧发生器应根据可靠性、稳定性、技术指标先进综合选型。

5.1.4　臭氧发生器宜集成后成套供应，集成设计选择参见附录 B。

5.1.5　臭氧发生器用于生活饮用水消毒的，应具有涉及饮用水卫生安全的《卫生许可批件》。

5.2　设备应用

5.2.1　应根据臭氧系统的总臭氧量、技术参数要求、场地条件、臭氧发生器运行及备用套数、设备投资、运行费用、建设费用、管理费用等因素，经技术经济比较后选择确定臭氧发生器选型方案。

5.2.2　按现场实际气源、电源、冷却水等条件设计的臭氧发生器，其控制装置及有关的报警及连锁设置应能适合现场工作条件，在工况参数正常的波动范围内不应导致频繁报警及保护停机。

5.2.3　臭氧系统中臭氧发生器的工作压力宜小于 0.1 MPa。

5.2.4　臭氧发生器的产量应结合工艺最大臭氧需求量、工艺正常臭氧需求量的要求综合配置。

5.2.5　臭氧发生器应考虑备用设计，备用方式可采用软备用或硬备用，备用设计方案宜按照 GB 50013 的要求。当有液氧源（设计液氧源或有备用液氧）、臭氧发生器的台数只设计 2 台时，单台臭氧发生器的最大产量（此时臭氧产量高于额定臭氧产量，通过增大气量等调整运行参数实现）应满足臭氧系统最大臭氧需求量。

5.2.6　臭氧发生器首次开机或停机较长时间后再开机时，应对臭氧发生器气路进行吹扫，吹扫应采用符合 GB/T 37894 要求的原料气体，流量应不低于额定气量的 20%，吹扫时间应不低于 4 h。短期停机的吹扫时间大致可按停机一天吹扫 1 h 计。

5.2.7　臭氧系统应设置冷却装置，冷却装置应有必要的温度、压力等检测仪表，并应根据具体应用条件设置保护或报警值进行连锁控制。

5.2.8　大型臭氧系统宜采用纯水闭式循环冷却，循环水量、水压、热交换器等应按臭氧发生器容量与环境条件匹配选择。

5.2.9　臭氧电源装置可采用直接风冷却和空调冷却，冷却装置选型应结合当地环境条件。

6　气源装置

6.1　一般规定

6.1.1　气源装置分为空气源装置、氧气源装置、富氧源装置，各类型气源装置的组成及要求参见附录 C。

6.1.2　各类型气源装置提供的气源质量应符合 GB/T 37894 的规定。

6.1.3　气源装置提供的气量应能满足臭氧发生器所需臭氧化气流量（即臭氧出气流量）要求，臭氧化气流量为臭氧发生器的臭氧产量与臭氧浓度的比值，计算公式为式（1）：

$$Q=\frac{D}{C} \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

D —— 臭氧产量，单位为克每小时（g/h）；

C —— 臭氧浓度（质量浓度），单位为克每立方米（g/m^3）；

Q —— 臭氧化气流量，单位为立方米每小时（m^3/h）。

或式中：

D —— 臭氧产量，单位为克每小时（kg/h）；

C —— 臭氧浓度（质量分数），单位为百分比（%）（wt）；

Q —— 臭氧化气流量，单位为千克每小时（kg/h）。

当臭氧浓度采用质量浓度时，精确计算气源装置提供的气量时还应通过臭氧出气流量（即臭氧化气体积流量）换算得出，计算公式为式（2）：

$$Q_{in}=Q_{out}\times\left(\frac{48\times 2+C\times 0.0224}{48\times 2}\right) \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中：

Q_{in} —— 气源装置提供的气体体积流量，单位为立方米每小时（m^3/h）；

Q_{out} —— 臭氧化气体积流量，单位为立方米每小时（m^3/h）；

C —— 臭氧浓度，单位为克每立方米（g/m^3）。

6.1.5　气源装置应能与臭氧系统实现联动控制工作。

6.1.6　富氧源装置应符合 JB/T 6427 的规定。

6.2　装置应用

6.2.1　气源装置的总体设计和选型应根据设备投资、运行费用、运输等综合成本及便利条件。有关设备配置、系统运行条件、运行成本对比等具体选型及计算可参见附录 C。

6.2.2　应按空气、氧气的不同处理要求分级配置过滤器。

6.2.3　采用富氧源装置时，应结合富氧源装置的电耗与臭氧发生器的电耗综合确定节能运行方式。

6.2.4　VPSA 现场制氧按额定产氧量运行才能达到经济电耗指标。气源装置按“富氧装置额定运行 +

液氧调峰”的运行方式，具有较低的运行费用。

7 接触反应装置

7.1 一般规定

7.1.1 接触反应装置包括臭氧接触池、扩散导管、臭氧扩散器、射流器、臭氧混合器、满足工艺及测量控制必要的辅助装置等，实现臭氧与水体充分接触，并达到设计的臭氧吸收效率。

7.1.2 应按臭氧系统的工艺设计要求确定臭氧需求量、臭氧浓度、接触时间，再结合臭氧投加点的现有条件，选择确定可采用的臭氧接触方法。

7.1.3 臭氧需求量为需处理的水流量与水中臭氧投加浓度的乘积，计算公式为式：

$$D = Q \cdot C \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：

D —— 臭氧需求量，单位为克每小时（g/h）；

Q —— 需处理的水流量，单位为立方米每小时（m^3/h）；

C —— 臭氧投加浓度，单位为克每立方米（g/m^3）。

7.1.4 接触反应装置的容积为需处理的水流量与水和臭氧接触反应时间的乘积，计算公式为式（4）：

$$V = Q \cdot t \qquad \cdots\cdots(4)$$

式中：

V —— 臭氧接触反应装置的容积，单位立方米（m^3）；

Q —— 需处理的水流量，单位为立方米每小时（m^3/h）；

t —— 水和臭氧接触反应时间，单位为小时（h）。

7.1.5 臭氧投加位置及臭氧设计投加量应符合 GB 50013 的规定，一般分为预臭氧处理与后臭氧处理，水中溶解臭氧浓度及接触时间应符合 GB 5749 及 GB 50013 的要求，具体应用中的臭氧投加量、臭氧接触时间、水中溶解臭氧浓度等参见附录 D 给出的建议值。

7.1.6 臭氧投加管路应设计高于液位的臭氧气管路、止回阀、防倒流罐、连锁切断气路等一种或组合方式，避免工况异常或操作异常时有水倒灌入臭氧输送管道甚至倒灌入臭氧发生器。

7.2 装置应用

7.2.1 接触反应装置可根据规模采用臭氧接触池或臭氧接触塔的形式。

7.2.2 臭氧接触池采用扩散器底部曝气，应按扩散器的技术参数为各级臭氧投加设计扩散器的类型及数量，使曝气区域覆盖全部的接触工作截面。

7.2.3 扩散器的设计及布置应符合 GB 50013 的规定。

7.2.4 接触池或接触塔底部的曝气扩散导管的最低位应设计排水装置。

7.2.5 臭氧投加的接触室，池顶部应设置人孔，池壁上宜设置爬梯，爬梯应避免臭氧腐蚀。

7.2.6 臭氧接触池出水口应设置水样取样口。臭氧投加的接触室宜设置水样取样口，取样口可设置在池顶或池壁，并能实现从接触室中心取样。

7.2.7 预臭氧接触时间及预臭氧射流投加应符合 GB 50013 的规定，宜按每台射流器配一台水泵，水泵应有备用。

7.2.8 预臭氧采用射流投加时，宜把射流混合后的水导入反应装置的底部，并宜采用转流扩散器、混流喷嘴或喷管等增加二次混合效果。

8 尾气处理装置

8.1 一般规定

8.1.1 尾气处理装置可采用加热分解型装置、催化分解型装置等方式，使尾气臭氧浓度降低到相关标准规范或环保部门规定的允许排放的浓度限值。

8.1.2 加热分解型装置应由电加热器、热交换器、风机、控制装置与仪表等组成，催化分解型装置应由催化反应室、加热装置、风机、控制装置与仪表等组成，装置的工作原理、运行特点见表 2。

表 2 尾气处理装置工作原理、运行特点

装置类型		工作原理	运行特点
加热分解型	单加热、不回收热能	用加热器将尾气臭氧加热到 350 ℃以上彻底分解。一般加热温度高于370 ℃、反应时间 2.5 s。	彻底分解、运行可靠，设备简单，易实现自动化监控。排出的气体温度达到250 ℃~300 ℃，运行能耗高。
	带热交换器进行热回收	在单加热的基础上使用热交换器回收部分热能对尾气预加热。	彻底分解、运行可靠，易实现自动化监控，能耗显著降低。配置多级换热器，结构复杂，造价及占地大。
催化分解型		尾气中的臭氧在一定的温度、湿度等条件下，通过触媒催化剂作用快速有效分解为氧气。	分解效率高、设备紧凑自动化运行程度高。尾气中含有杂质及潮气时有催化剂中毒危险。

8.1.3 尾气处理装置结构应满足不同应用条件的外接臭氧系统连接要求，并应根据运行要求和工艺控制条件，设置有关的阀门、仪表等实现必要的控制、调节、保护、报警等。

8.1.4 尾气处理装置的额定技术指标应符合表 3 的规定。

表 3 尾气处理装置额定技术指标

额定进气流量 m^3/h	额定进气臭氧浓度 g/m^3	排气臭氧浓度 mg/m^3
（按臭氧系统气量选定）	7	≤ 0.16
注：1、当进气臭氧浓度高于额定进气臭氧浓度，此时实际处理臭氧量或气量会比额定处理指标相应减小。 2、设备应用时，额定进气流量、额定进气臭氧浓度不一定会同时达到。		

8.1.5 尾气处理装置中的电加热器应设计防护罩等措施防止因锈蚀、运行高温等造成操作安全影响。

8.2 装置应用

8.2.1 应根据臭氧应用中尾气臭氧浓度及其变化、工作气量及其变化、尾气破坏器的工作方式、催化剂（如有）效率及设计更换时间、设计余量等需要进行设计选型。

8.2.2 尾气处理装置一般为整体组装设计，通过自带控制装置实现现场手动控制及 PLC 自动控制。

8.2.3 催化分解型装置运行时应采取必要的措施防止潮气等造成的催化剂中毒，在进气端配置相应的尾气除湿装置。

8.2.4 装置运行中的流量参数应按 GB/T 37894 规定的标准状态及实际工况等因素进行修正。

8.2.5 尾气处理装置可设置在臭氧接触池池顶或设备间，设置在接触池顶时应有防雨设施。

8.2.6 多个或多分格的臭氧接触池、臭氧接触塔的系统，可采用汇总尾气管后多台尾气处理装置互为备用的方式，或采用独立尾气管后单台尾气处理装置上引风机备用的方式。

9 仪器仪表与控制装置

9.1 一般规定

9.1.1 控制装置分为总控制与单机控制，各级控制分为手动、全自动等操作方式对各运行参数进行设定、修改、调节，并可对故障实现智能识别。

9.1.2 臭氧系统的检测、监测仪器仪表应包括各类臭氧浓度检测仪、流量检测仪、压力及温度检测仪、露点仪、臭氧泄漏报警仪、氧气泄漏报警仪等、臭氧气体流量计等，臭氧发生器电源装置应有相应的电量检测仪表。

9.1.3 臭氧系统采用 PLC 控制时，各种在线仪器仪表应有与 PLC 联机的模拟量、数字量或通讯功能接口。

9.1.4 控制装置应实现对臭氧系统参数及操作状态的显示和监控，根据控制和报警要求制定人机对话界面，并可通过相关协议与上位系统连接。

9.1.5 装置的运行、停止等工作状态及操作画面应可读性强、操作便捷，并不能因误操作带来故障。

9.2 配置功能及要求

9.2.1 装置通过控制处理水量、臭氧投加量、水中溶解臭氧浓度、臭氧气体浓度等的一个指标或几个指标来控制臭氧的发生量及投加量。

9.2.2 各位置臭氧浓度检测仪器应符合表 4 的要求。

表 4 各位置臭氧浓度检测仪器要求

检测位置	臭氧发生器出口臭氧浓度	水中溶解臭氧浓度	臭氧接触后臭氧浓度	尾气处理后臭氧浓度	环境臭氧浓度
检测要求	在线检测	在线检测	定期检测	在线或定期检测	在线检测
仪器类型	紫外吸收式	极谱化膜电极式或紫外吸收式	紫外吸收式	紫外吸收式、电化学传感器式或 MOS 传感器式	电化学传感器式或 MOS 传感器式
测量范围	0 ~ 200 g/m^3	0 ~ 2 g/m^3	0 ~ 50 g/m^3	0 ~ 20 mg/m^3	0 ~ 10 mg/m^3
分辨率	0.1 g/m^3	0.01 g/m^3	0.1 g/m^3	0.02 mg/m^3	0.02 mg/m^3
环境补偿	温度、气压	温度	温度、气压	温度、气压	温度、气压
其他	有信号输出，排气口装设臭氧分解器	可根据具体水中溶解臭氧浓度要求选择量程	仪器进气口的干燥装置应不吸收和分解臭氧	有声光报警功能或信号输出	有声光报警功能或信号输出
注：各臭氧浓度检测仪器可根据具体情况选择量程，量程应覆盖测量范围。					

9.2.3 臭氧发生器出口臭氧浓度、水中溶解臭氧浓度等也可采用符合相应标准规定的化学法或采样法等方法检测。

9.2.4 其他主要仪器仪表应符合表 5 的要求。

表 5 其他主要仪器仪表要求

仪器名称	氧气泄漏报警器	露点仪	臭氧气体流量计	压力传感器	温度传感器
检测位置	臭氧发生器设备间	臭氧发生器进气总管	臭氧发生室进气端或出气端	气路、水路关键点	气路、水路关键点
检测要求	在线检测	在线或定期检测	在线检测	在线检测	在线检测
测量范围	0 ~ 25% vol	−80 ℃ ~ +20 ℃	按需选定	按需选定	0 ~ 100 ℃
分辨率	0.1%	0.1 ℃	2.5%	2.5%	0.1 ℃
其他	有声光报警功能或信号输出		流量计应符合 GB/T 37894		

9.2.5 装置对臭氧系统进行在线检测、监测、控制及处理的主要内容如下：

a）实现系统各设备本地及远程自动开关机；

b）通过调节每台臭氧发生器的功率和供气量来调节臭氧产量，满足臭氧投加量需要；

c）实现臭氧发生器开机前吹扫及关机后续吹功能；

d）臭氧系统各运行条件参数在线检测及调节，按系统设定参数进行保护；

e）发生器出气臭氧浓度异常时，对臭氧发生器采取保护措施，并报警；

f）当有臭氧或氧气排放浓度超过安全容许值时，将检测信号就地及远传显示，启动声光报警，启动排风装置，延时之后仍然报警则根据设定降低运行负荷或停机；

g）根据水中溶解臭氧浓度调整臭氧产量和投加量设定，使出水的水中溶解臭氧浓度保持在设定范围内，并可在处理水量和水质波动时通过设定的方式智能化调整设备。

9.3 装置应用

9.3.1 参与控制的仪器仪表应选择在线仪表。当各臭氧仪表不参与控制时，臭氧接触后的臭氧浓度仪可选配，尾气处理装置后臭氧浓度仪、水中臭氧浓度检测仪可选择便携式。

9.3.2 各类仪器仪表在现场安装前，应有出厂检验合格证，安装、使用说明书及备件清单。

9.3.3 应对各类仪器仪表根据种类定期校验，校验合格应记录备案。

9.3.4 部分仪器仪表可集成在臭氧发生器或其他装置上。

9.3.5 控制方式应按实际应用的需求设置各设备开机、停机流程，并在不影响应用的前提下采用便捷直接的控制方式。

9.3.6 装置应在检测各运行条件满足后才允许臭氧系统启动，在不满足条件时输出检查及报警提示。

9.3.7 臭氧系统中基本的控制方式有“恒定臭氧浓度，调节氧气流量”和“根据水中余臭氧浓度自动调节臭氧产量”两种，应用中可参考附录 D 针对性选择。

9.3.8 控制装置应实现臭氧系统中各设备及装置与臭氧发生器的联动控制功能，在臭氧发生器开启之前按次序开启，在臭氧发生器关闭之后按次序关闭。

9.3.9 尾气处理装置风机的运行信号应反馈给控制装置，风机不运行或故障时进行报警、提示故障，并停机切换到备用机。

10 安装调试与验收

10.1 综述

10.1.1 安装调试与验收前应编制方案与计划大纲，包括准备工作（含安全文明施工）、调试内容与步骤、时间安排、操作步骤及方式、人员及岗位配置、施工设备、图纸及现场条件配合、必要的应急措施、验收大纲等。

10.1.2 安装调试前应熟悉臭氧系统设计文件和设备安装调试要求，进行施工图和安装调试技术交底。

10.1.3 安装应在土建合格性验收之后进行，并应在安装前将臭氧系统设计文件、设备安装调试要求、现场条件情况等进行核对，发现问题应及时解决或反馈。

10.1.4 各设备及装置安装前应对照清单进行开箱检查，发现问题应及时解决或反馈。

10.1.5 安装、调试及试运行过程中的各项工作过程及结果应记录备案。

10.1.6 安装、调试及试运行过程中宜结合工作进度同时进行岗位培训。

10.1.7 试运行达到约定的要求时应进行臭氧系统验收，签署相应验收文件。

10.2 安装

10.2.1 安装工作包括臭氧系统各设备的就位、固定，设备之间的管线及线缆连接。

10.2.2 安装应根据臭氧系统的安装图纸及要求，按照安装方案并按相应国家标准及规范进行。

10.2.3 设备就位时应按照平面布置图位置摆放、找平找正，横向纵向水平度应不大于 2.5 mm/m。

10.2.4 臭氧系统设备间地面应坚固、平整，安装应考虑地面要铺设瓷砖等处理时的应对调整。

10.2.5 设备包装在就位安装时应暂时保留。除底座、设备接口处包装外，其余部分包装应到安装结束、开始调试前拆除。

10.2.6 设备安装在室外的，应安装在一个水平的基础上，并应设置防雨的构筑物。

10.2.7 安装结束后，应对所完成的安装内容及安装质量进行系统检查，检查主要包括：

a）所有设备、仪器仪表、阀门、管道、线缆等的安装、连接正确、可靠并符合设计要求；

b）设备内部及连接管道已经做了清洁；

c）供电开关、配电设备和高压装置的安装与电试验符合设计文件及当地供电部门的要求。

10.3 调试

10.3.1 调试前应准备好所需的工具、材料、辅料及可能要更换的零部件，确保安全防护装置齐全可靠，并检查水、气、电等运行条件。

10.3.2 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，先单机后联动等方式及步骤进行。

10.3.3 各装置应先用不含臭氧的原料气进行模拟调试，管路连接应密封可靠。

10.3.4 气源装置的空气压缩机、罗茨鼓风机等各设备应能正常启停，液氧储罐、气化器、减压装置、补氮装置、供气管道的阀门等应工作正常，可按要求调整供气压力、流量。检测供气压力、露点、氧含量（富氧源时）等应符合设计要求，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。

10.3.5 接触反应装置扩散器气泡应均匀、射流器吸气口真空度应正常，调节符合设计要求。

10.3.6 尾气处理装置设备及仪器仪表工作正常，加热、保护参数符合设计要求。

10.3.7 臭氧发生器的调试过程如下：

a）臭氧发生室、电源装置、控制装置等检查，确认电、气、水各部分连接正确；

b）进行通气、通冷却水、控制装置通电试验，验证操作及调节功能应符合设计要求；

c）在气源装置、冷却装置、接触混合装置、尾气处理装置调试工作正常且所产臭氧气体能被破坏时，通电调试验证各项技术性能参数，应符合设计要求。

10.3.8 仪器仪表与控制装置的调试时，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。

10.3.9 按操作顺序开启臭氧系统与对应的给水处理系统，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，应达到性能指标要求。

10.3.10 调试完毕后应进行试运行，试运行时间宜按 48 h。如臭氧系统因故障停机或需要停机进行调整，应重新计算试运行时间。

10.3.11 试运行期间应对臭氧系统运行参数进行全面检测，各参数均应达到设计指标要求。

10.4 验收

10.4.1 应按验收大纲要求对设备、资料、安装、调试等各过程进行验收。

10.4.2 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。

10.4.3 在安装调试过程中有对以上资料调整的，应按照最新调整后进行验收。

10.4.4 臭氧发生器技术性能指标应按设计指标要求进行验收，无设计指标要求的应按 GB/T 37894 的规定进行验收，可就主要技术指标进行重点验收。

10.4.5 气源装置提供的原料气成分、温度、压力、流量、露点等应符合 6.1 的规定。

10.4.6 尾气处理装置性能验收应在最大水量负荷、最大臭氧投加量时进行，尾气处理装置应符合 8.1 的规定。

10.4.7 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、设置功能。有与上位机通讯要求的应进行验证。

10.4.8 安全及连锁装置验收应确认如下装置动作及功能可靠：

a）接触反应装置双向透气阀（如果有）正、负压动作可靠；

b）臭氧发生器工作间臭氧泄漏、氧气泄漏监测仪报警及连锁动作可靠。

11 运行与维护

11.1 综述

11.1.1 臭氧系统运行与维护应按 CJJ 58 的规定。

11.1.2 接触生活饮用水的设备，在运行维护时应符合《生活饮用水卫生监督管理办法》相关要求。

11.1.3 臭氧系统操作运行与维护的说明书、操作手册或规程等资料中应有各单体设备、装置和臭氧

系统的相关资料，主要包括空间布置图、功能描述、工艺流程图、操作说明、维护说明等。

11.1.4 工作人员应通读所有的操作手册及规程，并应经过专门培训，按手册的规定进行臭氧系统的运行与维护工作。

11.1.5 应配备防臭氧面具以及装有臭氧过滤吸附的呼吸装备，并保证工作人员能熟练使用呼吸装备。

11.1.6 进入有较高浓度臭氧的场所以及进入运行过的臭氧接触反应室的工作人员应佩戴呼吸装备。

11.1.7 应定期对臭氧设备间及尾气处理装置构筑物的环境臭氧浓度进行检测。

11.1.8 应建立臭氧泄漏的常规处理方案、应急处理方案，并张贴在臭氧系统设备间显著位置。

11.1.9 臭氧系统各项运行与维护还应符合国家、地方政府各项标准及法规的要求。

11.1.10 运行及维护中应对性能数据、运行条件、工作参数等应建立相应的记录及保管制度，参数记录参见附录 E。

11.2 运行与维护

11.2.1 应按臭氧系统操作手册或规程等进行臭氧系统日常运行操作。

11.2.2 臭氧系统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，气源质量差时维护周期要缩短。

11.2.3 臭氧系统应提供安装调试及检修维护、操作运行所需的备品备件、易损件。

11.2.4 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”类警示标识。

11.2.5 在打开臭氧发生室之前，应对臭氧发生室进行吹扫，清除残留臭氧等气体，并应保证氧气安全排放。

11.2.6 检查维护臭氧发生器时，如需接触放电管（板）、电感、电容等储能器件时，应先进行放电，防止可能的电击危险。

11.2.7 臭氧发生器的维护中应检查和更换失效或损坏的放电管，检查损坏比例是否在预计的范围以内。如果放电管损坏比例超出范围，应检查原因并及时处理。

11.2.8 应定期检查接触反应装置的运行情况，发现异常时应进行检查。有观察窗的接触反应装置可通过观察窗检查臭氧扩散情况。

11.2.9 尾气处理装置的运行及维护中应检查或更换失效的催化剂，检查、判断催化剂是否可有效工作到下一个维护周期，检查加热器、风机的工作状态。

附 录 A

（规范性附录）

臭氧浓度与安全、臭氧基础知识

A.1 概述

A.1.1 本附录规定了常用的臭氧基础知识、臭氧浓度限值及有关生理安全影响。

A.1.2 臭氧系统工程设计中应对排放臭氧或可能接触臭氧的环节采取安全措施。

A.2 臭氧浓度限值

A.2.1 臭氧系统设备间内的泄漏臭氧浓度应符合 GBZ 2 的规定，一个工作日内、任何时间接触最高容许浓度不超过 0.3 mg/m^3。

A.2.2 环境空气中臭氧浓度限值应符合 GB 3095 规定，日最大 8 h 均值二级标准为 160 $\mu g/m^3$、日最大 8h 均值一级标准为 100 $\mu g/m^3$，1 h 均值二级标准为 0.200 $\mu g/m^3$、1 h 均值一级标准为 0.160 $\mu g/m^3$。

A.3 臭氧的毒性及安全性

A.3.1 臭氧对眼、鼻、喉有刺激的感觉，接触后会出现头疼及呼吸器官局部麻痹等症，其毒性与浓度和接触时间有关。

A.3.2 人身暴露于臭氧中的早期症状为对鼻腔及咽喉刺激、咳嗽、头痛、疲劳感、慢性支气管炎、胸痛，并可出现呼吸困难症状。

A.3.3 人能感知到气味的臭氧浓度为 0.01 ppm ~ 0.02 ppm，长期接触 4 ppm 以下的臭氧会引起永久性心脏障碍，但接触 20 ppm 以下的臭氧不超过 2 h，对人体无永久性危害。

A.3.4 臭氧浓度为 0.1 ppm 时人们就明显感觉到并及时采取避害措施，相对于氯气、甲醛、一氧化碳等气体，臭氧属于比较安全的气体。

A.4 暴露于各级别臭氧浓度及生理影响

暴露于各级别的臭氧浓度时带来的有关生理影响见表 A.1。

表 A.1 暴露于各级别臭氧浓度下的生理影响

臭氧浓度 /ppm	生理影响
0.01 ~ 0.02	多少会有些可感知的气味（但不久后会适应）
0.1	厌恶的气味，鼻腔和咽喉会感受到刺激
0.2 ~ 0.5	3 h ~ 6 h 的暴露可使视力降低
0.5	上呼吸道会有明显的刺激感觉
1 ~ 2	2 h 的暴露会引起头痛、胸痛、咳嗽，上呼吸道会感觉干燥，反复暴露会引起慢性中毒的发生
5 ~ 10	脉搏增加、身体疼痛，出现麻痹症状，如继续暴露会导致肺水肿的发生
15 ~ 20	小动物会在 2 h 内死亡
50	会使人的生命处于危险中

A.5 常用臭氧物理性质

臭氧是一种具有腥臭气味的不稳定气体，与氧气比较臭氧比重大、有腥臭味、较氧气易溶于水。臭氧与氧气的常用物理性质对比见表 A.2。

表 A.2 氧气和臭氧的常用物理性质

项目	氧气	臭氧
分子式	O_2	O_3
相对分子质量	32	48
一般情况下的形态	气态	气态
气味	无	腥臭味
气体颜色	无色	淡蓝色
液体颜色	淡蓝色	暗蓝色
1 个大气压，0 ℃时的溶解度（mg/L）	49.1	640
1 个大气压，0 ℃时的密度（g/L）	1.429	2.144

A.6 臭氧的不稳定性

A.6.1 臭氧在空气和水中都会慢慢分解成氧气，臭氧分解时放出大量热量，反应式为式 A.1：

$$2O_3 \rightarrow 3O_2+285\ kJ \qquad \cdots\cdots(A.1)$$

A.6.2 当臭氧含量在 25% 以上时，在急剧压缩时容易爆炸，可通过在冷却条件下缓慢加压的方式获得更高压力的臭氧气体。

注：一般臭氧化气中，氧气源臭氧的含量一般在 10% 左右，很难超过 20%，在臭氧应用历史过程中还没有发生臭氧爆炸的事例。

A.6.3 含量为 1% 以下的臭氧，在常温常压的空气中分解半衰期为 16 h 左右。随着温度的升高分解速度加快，温度超过 100 ℃时，分解非常剧烈，达到 350 ℃时瞬间分解为氧气。

A.7 臭氧的强氧化性

A.7.1 臭氧具有高的标准电极电位，常见的氧化剂与臭氧的标准电极电位比较见表 A.3。

表 A.3 常见的氧化剂与臭氧的标准电极电位比较

名称	分子式	标准电极电位 /V
氟气	F_2	2.87
羟基自由基	•OH	2.80
原子态氧	O	2.42
臭氧	O_3	2.08
过氧化氢	H_2O_2	1.78
高锰酸钾	$KMnO_4$	1.67
二氧化氯	ClO_2	1.50
氯气	Cl_2	1.36
氧气	O_2	1.23

A.7.2 臭氧可与 F^{2+}、Mn^{2+}、硫化物、硫氰化物、氰化物、氯、NO_X 等无机物发生氧化反应。除了金和铂外，臭氧几乎对所有的金属都有腐蚀作用。铝、锌、铅与臭氧接触会被强烈氧化。

A.7.3 臭氧可与烯烃类化合物、芳香族化合物、核蛋白（氨基酸）系、有机氨等发生氧化反应。

A.7.4 臭氧和芳香族化合物的反应较慢，反应速度常数按苯＜萘＜菲＜嵌二萘＜蒽的顺序逐渐增大。

A.7.5 臭氧在下列混合物的氧化顺序为：链烯烃＞胺＞酚＞多环芳香烃＞醇＞醛＞链烷烃。

附 录 B

（资料性附录）

臭氧发生器集成设计选择

B.1 概述

B.1.1 本附录提出了臭氧发生器集成设计与选择，以及臭氧发生器资料与质保要求。

B.1.2 选定臭氧发生器的规格后，应按 B.2 的要求综合臭氧发生器集成设计选则。

B.1.3 对于选定的臭氧发生器，应有按 B.3 的要求的资料与质保。

B.2 臭氧发生器集成设计选择

B.2.1 臭氧发生器集成设计选择应注意以下条件要求：

a）臭氧水处理工艺设计与臭氧系统设计、安装、调试与运行管理的能力，臭氧水处理系统的设计和配套设备、仪器优化选型的能力；

b）良好的加工条件和丰富的生产、应用经验，具有加工、装配、调试、检验与试验的厂房、动力、原料气体、冷却设备、尾气处理等基础条件；

c）检测各项技术指标的仪器、方法及专门的检验人员，相关仪器应在有效的校验期内；

d）规范的技术管理、生产管理规程，具有三年以上生产同规格臭氧设备的历史和 ISO9000 等认证；

e）能够提供良好的售后服务和技术培训，具有三年以上同类型设备服务经验的技术服务工程师。

B.2.2 同规格或相近规格应通过省部级产品鉴定或成果评估，具有连续工作一年以上的应用案例。

B.3 设计图纸与说明书

B.3.1 臭氧系统集成设计所需的相关技术资料如下：

a）系统工艺与臭氧系统相关的流程设计及相关参数；

b）工程所处地理位置、海拔高程、气候条件、冷却水条件、气源供应条件、地质状况（地震烈度）等；

c）臭氧系统配套的工程及土建等方面的工程界面资料。

B.3.2 设计文件主要包括如下：

a）臭氧系统工艺流程图、系统控制流程图，并标明各设备规格、性能、参数等；

b）带控制点及连锁的管道和仪表流程图（P&ID）及说明控制方式的文件；

c）臭氧系统各设备图、设备基础图、设备布置图、管道和管件布置图、电缆电线敷设图；

d）接触反应装置的工艺图、管道及扩散器布置图；

e）电气及控制系统的原理图、接线图及 PLC 控制系统程序；

f）土建负荷资料；

g）臭氧系统所需配套的水、电、气等公用工程设计条件及消耗资料。

B.3.3 臭氧系统的随机资料应包括如下：

a）臭氧系统描述及各设备描述，设备清单（注明设备名称、规格型号、制造商、原产地、数量，

并附有相关技术指标、说明书和资料）；

b）臭氧发生器的操作说明书，内容包括工作方式及性能描述、臭氧产量、臭氧浓度、臭氧电耗、放电电压、频率等技术参数，性能曲线，电源装置的工作方式及性能描述等，以及臭氧发生器的维护、保养、常见故障及排除方法、放电管更换方法等；

c）尾气处理装置的操作说明书，内容包括工作方式、性能描述、技术参数等，结构简图与使用、维护、检修说明资料，触媒催化剂的名称、型号、生产厂与更换周期、用量等；

d）接触反应装置的投加方式说明、接触时间、技术参数等；

e）气源装置的操作说明书，内容包括工作方式及性能描述、维护与修理、运行的操作等，干燥机、制氧机的操作使用说明书中应准确提供吸附剂、制氧分子筛等的品牌、型号、用量、更换时间及用量等；

f）设备出厂的检验测试报告、设备检验合格证书等；

g）臭氧系统操作说明书，包括系统的操作、使用、维护以及异常现象和事故处理的技术文件。

B.3.4 上述文件资料应以文字、图纸、表格相结合的形式出现，并应有纸质文件和电子文件，可配合工程执行过程分阶段提供。

B.4 质保与服务

B.4.1 臭氧系统质保期应不少于 12 个月，其中单体设备、仪器仪表等的质保期按具体规定。出现臭氧系统不能按期进行安装、调试及验收的，可另约定臭氧系统的质保期。

B.4.2 臭氧系统的臭氧发生器等主要设备的质保期自验收合格、签署验收文件之日开始计算，配套的单体设备、仪器仪表等的质保期应按设备到达现场、现场签署接收文件之日开始计算。

B.4.3 单体设备、仪器仪表等在质保期内因产品质量问题而更换的，该单体设备、仪器仪表质保期应从更换后重新开始计算。

B.4.4 在质保期临近结束时应对设备进行一次全面质量检查。

B.4.5 应保证臭氧系统在整个使用寿命期内有正常使用所需的售后服务与配件供应。

附 录 C

（资料性附录）

气源装置介绍及选型对比计算

C.1 空气源装置

C.1.1 空气源装置应由空气压缩机、储气缓冲罐、冷冻式干燥机、吸附式干燥机、空气过滤器等组成。

C.1.2 应根据空气压缩机设备类型、效率、管路损漏系数、备用系数、干燥设备的工作原理及气量损耗等确定选型，并按当地环境条件、海拔高程等对空压机排气量进行修正。空气压缩机宜选用最高排气压力为 0.7 MPa 型。

C.1.3 应根据吸附式干燥机的再生原理确定吸附式干燥机的再生耗气量，并按进气压力、进气温度等进行实际处理气量修正，选择适应空气处理要求的吸附式干燥机。

C.1.4 冷冻式干燥机的选型应根据气源的进气压力、进气温度等参数来选择，并按进气压力、进气温度、环境温度（风冷型）、冷却水温度（水冷型）等进行实际处理气量修正。

C.1.5 应按空压机的工作类型、最高排气压力、排气量等来选型压缩空气储气缓冲罐，储气缓冲罐上应包含安全阀、压力表组件、排污 / 放空阀等配件。

C.1.6 空气压缩机、干燥装置、储气罐、过滤器、工艺阀门的配置可参考 GB 50029 规范。

C.2 氧气源装置

C.2.1 氧气源装置应由液氧源装置，包括液氧贮罐、汽化器、热交换器（根据需要选用）、减压装置、过滤器等组成。

C.2.2 液氧贮罐容量一般宜在 GB 50013 的基础上适当增大，并根据当地运输便捷条件、槽车一次送货的规模、使用现场的运行管理便利等因素最终确定。

C.2.3 汽化器一般选用空温式汽化器，应在正常选型计算的基础上留有必要的安全裕量以应对可能出现的极端恶劣气候条件。一般北方或类似气候地区宜按铭牌汽化量规格的 1/4 左右，南方或类似气候地区宜按铭牌汽化量规格的 1/3 左右。

C.2.4 空温式汽化器宜按一用一备设计，改善汽化能力并实现化霜便利。

C.2.5 大型液氧源臭氧系统宜设计氮气添加装置，液氧汽化、减压后加入约0.5%～3%氮气，氮气添加可采用氮气或干燥空气。可设计一套用于吹扫的空气源装置以节约吹扫氧气。

C.3 富氧源装置

C.3.1 富气源装置分为 PSA 富氧源装置和 VPSA 富氧源装置，PSA 富氧源装置包括空气压缩机、储气缓冲罐、冷却器、除水除油过滤器、空气干燥机、PSA 制氧主机、除尘过滤器等设备的部分或全部，VPSA 富氧源装置包括鼓风机、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、氧气压缩机等设备和系统。

C.3.2 PSA 制氧主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，得到连续的不低于 90% 高纯度氧气。

C.3.3 VPSA 制氧主机采用单塔、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，得到连续的不低于 90% 高纯度氧气。

C.3.4 为实现 PSA 制氧主机吸附罐稳定快速进气，宜在制氧主机前配置储气缓冲罐。

C.3.5 VPSA 富氧源装置比 PSA 富氧源装置具有更低的能耗，一般在产氧量较大时采用。

C.4 选型对比计算

C.4.1 选型对比应先假定条件。按 20 kg/h 臭氧系统举例计算设备运行费用（不包含设备投资、折旧、维护及管理费用）假定条件如下：

a）氧气源臭氧电耗 7.5 kW·h/kg，臭氧浓度 10 wt%；

b）液氧价格按 1400 元 /t；

c）PSA 型制氧机产生 1 m^3 氧气需要电能 1.4 kW·h(0.7 MPa 排气压力空压机)；

d）VPSA 型制氧机产生 1 m^3 氧气需要电能 0.42kW·h(海拔高程 500 m 以内)；

e）空气源臭氧电耗 15 kW·h/kg，臭氧浓度 25 mg/L，气源功耗 5.5 kW·h/kg；

f）电价按 1 元 /kW·h。

C.4.2 根据 C.4.1 的条件核算每小时的直接运行费用，对比如表 C.1。

表 C.1 各类型气源每小时直接运行费用对比

系统类型	臭氧浓度，mg/L	臭氧发生器运行电费，元		气源费用，元		合计费用，元
		计算	结果	计算	结果	
液氧源系统	147.8	7.5 × 20 × 1	150	0.2 × 1400	280	430
PSA 富氧源系统	147.8	7.5 × 20 × 1	150	1.4 × 140 × 1	196	346
VPSA 富氧源系统	147.8	7.5 × 20 × 1	150	0.42 × 140 × 1	58.8	208.8
空气源系统	25	15 × 20 × 1	300	5.5 × 20 × 1	110	410

C.4.3 按假定条件计算对比得出的相对结论如下：

a）氧气源型系统的臭氧发生器运行费用相同，直接对比气源装置的运行费用；

b）VPSA 富氧源装置比 PSA 富氧源装置液氧源系统的运行费用低；

c）PSA 富氧源系统、VPSA 富氧源系统、空气源系统的直接运行费用只与电费有关，空气源系统的直 d 接运行费用最高；

e）电价相对稳定，液氧价格随市场波动较大。当按 C.4.1 的假定条件中的电价及液氧价格变化时，液氧源装置的运行费用变化较大，可按具体市场价重新核算对比；

f）臭氧浓度、电耗指标、液氧价格、电价等与假定数据不同时，应按实际数据计算。

C.4.4 臭氧系统的综合运行费用核算时还应关注设备造价及折旧、维护保养、运行管理费用等。空气源装置、富氧源装置中包括大量的动设备、阀门、仪表、联动控制，故障点多、稳定性受到影响。液氧源装置的稳定性最高。

C.4.5 VPSA 富氧源装置、液氧源装置可采用租赁方式，应将租金与设备采购费用、折旧及运行管理费用等进行综合对比，并充分评估设备全年运行时间，综合选择确定（租赁方式 VPSA 制氧机停机影

响生产时应提供备用液氧）。

C.4.6　不考虑氧气制备的费用时，氧气源型臭氧系统具有以下优点，臭氧系统规模越大时越应该采用氧气源装置，具体应根据项目实际条件综合选择：

a）同等臭氧产量的臭氧发生器电耗约为空气源型的50%左右，装机容量约为空气源型的50%左右；

b）可以实现 147.8 g/m^3（10 wt%）或更高的臭氧浓度；

c）同等臭氧产量的臭氧发生器设备体积小、投资低，约为空气源型的 50% 左右；

d）由于臭氧浓度高、供气量低，臭氧输送管道及臭氧接触反应装置随之减小规格，投加效率更高，进一步降低系统投资；

e）液氧源气源洁净、露点低，臭氧系统长期运行的稳定性高；

f）液氧源时的臭氧系统的自动化控制装置等投资降低，管理简单。

附 录 D

（资料性附录）

给水处理常用臭氧应用浓度与基本系统控制方式

D.1　概述

D.1.1　本附录描述了给水处理系统中常用的臭氧应用浓度与两种常用的基本系统控制方式。

D.1.2　控制方式有“恒定臭氧浓度，调节氧气流量”和“根据水中余臭氧浓度自动调节臭氧产量”两种。

D.2　常用臭氧应用浓度

D.2.1　GB 5749 规定水中溶解臭氧浓度 0.3 mg/L，臭氧与水接触时间≥ 12 min。

D.2.2　GB 50013 规定一般预臭氧宜为0.5 mg/L ~ 1.0 mg/L，后臭氧宜为1.0 mg/L ~ 2.0 mg/L。

D.2.3　臭氧–活性炭深度处理水厂臭氧投加量应根据原水水质经试验后确定，未作试验的可参照表D.1。一般情况下主臭氧单位最大投加量约为0.5 mg O_3/mg COD_{Mn}，运行中一般按臭氧接触池出水余臭氧值在0.05 mg/L ~ 0.1 mg/L来控制投加量。

表 D.1　不同水源条件下臭氧投加浓度值

有机物（COD_{Mn}）浓度 /mg/L	水源类型	臭氧投加量 /mg/L
<3	湖库水	0.5 ~ 1.5
	河网水	1.0 ~ 2.0
3 ~ 6	湖库水	1.0 ~ 2.5
	河网水	1.5 ~ 2.5
>6	湖库水	1.5 ~ 3.0
	河网水	1.5 ~ 4.0

D.2.4　自来水臭氧净化，国际常规水中溶解臭氧浓度标准为 0.4 mg/L，保持 4 min，即 CT 值为 1.6。

D.2.5　水中溶解臭氧浓度保持在0.1 mg/L ~ 0.5 mg/L作用5min ~ 10min可达消毒目的。

D.2.6　在水中溶解臭氧浓度达 4 mg/L，在 1 min 内乙肝病毒灭活率为 100%。

D.2.7　水中溶解臭氧浓度为0.25 mg/L ~ 38 mg/L时，仅需几秒或几分钟完全灭活甲型肝炎病毒(HAV)。

D.2.8　矿泉水中溶解臭氧浓度在0.4 mg/L ~ 0.5 mg/L时，即可满足杀菌保质要求。合理的臭氧投加量为1.5 mg/L ~ 2.0 mg/L。

D.2.9　瓶装水处理应达到0.3 mg/L ~ 0.5 mg/L的水中溶解臭氧浓度，一般要求臭氧投加量为2.0 mg/L。

D.3　“恒定臭氧浓度，调节氧气流量”方式

D.3.1　控制方式是根据水处理需要计算出臭氧需求量，按照设定的臭氧浓度，计算、调节出所需要的臭氧气的流量。

D.3.2　控制方式依赖高测量精度、高稳定性的臭氧浓度监测仪。在臭氧浓度监测仪出现故障或测量失真时会导致臭氧发生器运行功率大比例波动，无法实现稳定控制。

D.3.3　控制方式的应对解决办法如下：

a）装置增加臭氧发生器功耗异常判断功能，当功耗异常时即可判定出现了臭氧浓度监测仪故障或问题，及时改用其他控制方式；

b）预先将臭氧发生器的臭氧产量、功率、气量等数据存入装置，当功耗异常时用“臭氧发生器功率 + 氧气流量来对应一定的臭氧量”的方法，代替臭氧浓度计算的臭氧量的方法参与自动控制；

c）对于可以固定气量的臭氧发生器，采用“恒定气体流量，调节臭氧功率”的控制方式；

d）必要时切换至人工调节。

D.4 “根据水中余臭氧浓度自动调节臭氧产量”方式

D.4.1 控制方式是根据水中溶解的臭氧浓度调节臭氧的投加量。（即调节臭氧系统的臭氧发生量、投加分配量等）

D.4.2 直接用该控制方式在大型系统中难以实现，原因如下：

a）在臭氧投加量相对较小、氧化反应快及臭氧分解速度快时，水中溶解臭氧浓度较小或难以监测到；

b）水中溶解臭氧浓度仪探头易受污染，使用一段时间后仪表的精度、快速响应、重复性等容易出现问题，准确性变差，检测值不准直接影响臭氧投加量控制；

c）大型臭氧系统接触反应时间较长，检测点的浓度值有较长时间滞后，仪表检测到的水中溶解臭氧浓度不能较快反映出当时的臭氧投加量大小，由此导致的臭氧投加量调节频繁、投加量波动较大，无法快速实现稳定；

d）处理水量波动、水质波动，进一步影响运行平衡。

D.4.3 控制方式应对性解决办法如下：

a）实际控制采用“单位臭氧投加量 + 关联处理水量”的办法，单位臭氧投加量按照经验数据在操作屏上设定，装置检测处理水量信号，用“单位臭氧投加量 × 处理水量”的方式控制臭氧产量，并根据水中溶解臭氧浓度仪检测的结果或水质分析化验结果修正单位臭氧投加量；

b）水中溶解臭氧浓度仪不参与控制，检测到的水中溶解臭氧浓度数据作为对臭氧投加量的校核参考。

D.5 臭氧应用注意事项

D.5.1 应考虑水中有机物的含量对臭氧量的影响。水的混浊度小于 5 mg/L 时对臭氧消毒灭菌的效果影响极微，混浊度增大影响消毒效果。有机物含量高时臭氧的消耗量会升高。

D.5.2 应考虑采用多种方式的联合使用。比如，臭氧和氯联合使用、臭氧和紫外联合使用、臭氧和双氧水联合使用等。

D.5.3 在生活饮用水处理方面，臭氧和氯气的优点是互补的，臭氧和氯联合使用是当前生活饮用水系统消毒较为理想的方式。臭氧具有快速杀菌和灭活病毒的作用，对于除嗅、味和色度一般都有较好的效果，氯具有持久、灵活、可控制的杀菌作用，在管网系统中连续杀菌。

附 录 E

（资料性附录）

臭氧系统运行参数记录

E.1 臭氧系统运行参数记录

臭氧系统运行参数记录参见表 E.1。

表 E.1 臭氧系统运行参数记录

日期：_____ 环境温度：____℃ 相对湿度：____% 大气压力：_____kPa 气源：_____ 氧含量：____% 常压露点：_____℃

臭氧浓度测定方法：_____ （仪器 / 化学法）仪器编号：_____ 电量测定仪器及编号：_____ 臭氧发生器编号：_____

地点：_____

时间	标准气量 m^3/h	气体流量读数 m^3/h	发生室气压 MPa	臭氧出气温度 ℃	冷却水出水温度 ℃	输入功率 kW	输入电压 V	输入电流 A	功率因数 $\cos\phi$	臭氧浓度 g/m^3	接触后臭氧浓度 g/m^3	排放臭氧浓度 mg/m^3	后臭氧投加流量 m^3/h	预臭氧投加流量 m^3/h	处理水量 t/d	后臭氧投加量 g/m^3	预臭氧投加量 g/m^3
异常问题																	
记录人员																	

参 考 文 献

[1] オゾンハンドブック [修订版]。日本オゾン协会，2016。

[2] 生活饮用水净化用臭氧系统设备选用指南。李汉忠、王占生。中国建筑工业出版社，2013。