



中华人民共和国国家标准

GB/T XXX. 3—XXXX/ISO 20468-3:2020

水再利用系统处理技术绩效评价指南 第 3 部分：臭氧处理技术

Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse
systems—Part 3: Ozone treatment technology

(ISO 20468-3:2020, IDT)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

4 系统构成 2

 4.1 概述 2

 4.2 臭氧水处理系统 3

5 绩效评价原则与通用指南 4

 5.1 一般情况 4

 5.2 功能性绩效 4

 5.3 非功能性绩效 6

附录 A（资料性） 水再利用系统的典型处理技术及其作用 8

附录 B（资料性） 水再利用水质参数 9

附录 C（资料性） 臭氧浓度监测点 15

附录 D（资料性） 臭氧生成控制方法 16

参考文献 17

前 言

本文件按照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。

本文件是GB/T XXXXX《水再利用系统处理技术绩效评价指南》的第3部分。GB/T XXXXX已经发布了以下部分：

- 第1部分：通则；
- 第2部分：基于温室气体排放的处理系统性能评价方法；
- 第3部分：臭氧处理技术；
- 第4部分：紫外线消毒；
- 第5部分：膜过滤。

本文件等同采用ISO 20468-3:2020《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第3部分：臭氧处理技术》。

本文件做了最小限度的编辑性改动：

- 第3章增加了术语和定义的说明性的注。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国水再利用标准化技术委员会提出并归口。

本文件起草单位：中国标准化研究院、清华大学深圳国际研究生院、清华苏州环境创新研究院、清华大学、深圳市水务（集团）有限公司、广东北控石犀科技股份有限公司、天津万峰环保科技有限公司、四川大学、同济大学、福建龙净新陆科技发展有限公司、交通运输部公路科学研究所、新疆准能化工有限公司。

本文件主要起草人：王文龙、吴乾元、刘佳琳、胡洪营、邹启贤、楚文海、阳重阳、战树岩、巫寅虎、白雪、杜烨、温德春、陈卓、黄文章、常淑斌、王志帅、徐傲、肖鹿、丁志波、曹戈、赵激。

引 言

GB/T XXXXX《水再利用系统处理技术绩效评价指南》是基于ISO 20468系列标准，结合我国国情制定的，拟由以下部分构成。

- 第1部分：通则。
- 第2部分：基于温室气体排放的处理系统性能评价方法。
- 第3部分：臭氧处理技术。
- 第4部分：紫外线消毒。
- 第5部分：膜过滤。
- 第6部分：离子交换和电渗析。
- 第7部分：高级氧化处理技术。
- 第8部分：基于生命周期成本的处理系统评价。
- 第9部分：电氯化技术指南和要求。
- 第10部分：处理系统可靠性评价。

《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第1部分：通则》（ISO 20468-1:2018）中评价了多种应用情景下的水再利用系统处理技术的绩效，规定了水再利用系统处理技术的功能性要求和非功能性要求。《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第3部分：臭氧处理技术》（ISO 20468-3:2020）规定了水再利用系统处理技术中臭氧处理绩效评价的具体方式。本文件以ISO 20468-1:2018为通用标准，参考ISO 20468-3:2020，规定了我国水再利用系统臭氧处理绩效评价的具体方式。

水再利用系统处理技术绩效评价指南 第3部分：臭氧处理技术

1 范围

本文件给出了水再利用系统中臭氧处理技术的系统构成、功能性绩效和非功能性绩效的指南。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

ISO 20670 水再利用 术语（Water reuse—Vocabulary）

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

ISO 20670界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

环境臭氧浓度 ambient ozone concentration

臭氧处理设备周围环境空气中的臭氧浓度。

注：从GB/T 37894—2019第6.1.2条中整理得到。

3.1.2

尾气残余臭氧浓度 exhaust residual ozone concentration

尾气处理装置出口处的臭氧浓度。

注：从GB 50013—2018第9.10.4条中整理得到。

3.1.3

臭氧产量 generated ozone amount

臭氧发生器单位时间产生的臭氧量。

注：常用单位为克每小时（g/h）或千克每小时（kg/h）。

[来源：GB 37894—2019，3.1.9]

3.1.4

臭氧发生浓度 generated ozone concentration

臭氧发生装置出口处气相中的臭氧浓度。

注：从GB 50013—2018第12.2.2条中整理得到。

3.1.5

尾气臭氧浓度 off-gas ozone concentration

臭氧接触装置出口处的臭氧浓度。

[来源：GB 50013—2018，12.2.2]

3.1.6

臭氧浓度 ozone concentration

臭氧发生器产生的单位体积气体或水中所含臭氧质量。

注：常用单位为毫克每立方米（ mg/m^3 ）或毫克每升（ mg/L ）。

[来源：GB 28232—2020, 3.6]

3.1.7

臭氧浓度监测装置 ozone concentration monitor

能连续测量水中/空气中臭氧浓度的装置。

注：从GB 50013—2018第9.10.29条中整理得到。

3.1.8

臭氧需求量 ozone demand

氧化水中物质所消耗的臭氧量。

3.1.9

臭氧投加量 ozone dose

单位体积水中加入的臭氧质量。

注：臭氧投加量以质量-体积浓度单位（ g/m^3 或 mg/L ）表示；我国标准也叫臭氧投入量。

3.1.10

残余臭氧浓度 residual ozone concentration

在给定接触时间后水中溶解臭氧浓度。

[来源：GB 28232—2020, 3.6]

注：常用单位为 mg/L 。

3.1.11

臭氧传输量 transferred ozone dose

传输进入单位体积水中的臭氧质量。

注：臭氧传输量以质量-体积浓度单位，单位为克每立方米（ g/m^3 ）或毫克每升（ mg/L ）。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CT: 臭氧投加量与时间的乘积 (product of residual concentration and time)

EPDM: 乙烯丙烯二烯单体 (ethylene propylene diene monomer)

FRP: 纤维增强塑料 (fiber-reinforced plastic)

GHG: 温室气体 (greenhouse gases)

LOX: 液氧 (liquid oxygen)

LRVs: 对数去除率 (log-reduction values)

PTFE: 聚四氟乙烯 (polytetrafluoroethylene)

SS: 不锈钢 (stainless steel)

UV: 紫外线 (ultraviolet)

4 系统构成

4.1 概述

臭氧水处理系统由以下单元组成：

- 气源供应单元；
- 臭氧发生单元；
- 臭氧接触单元；
- 尾气臭氧处理单元。

根据水处理效率和性能需求，对臭氧处理系统增加前处理和/或后处理。砂滤作为典型预处理工艺，用于去除悬浮态杂质，提高处理水质并减少无效臭氧消耗。后处理工艺（如生物活性炭工艺）用于去除未分解或由反应生成的残留颗粒物和溶解物质。为保持杀菌效果，可补充消毒工艺（如氯消毒）。

4.2 臭氧水处理系统

4.2.1 气源供应单元

气源供应单元为臭氧发生装置提供空气或氧气。空气气源直接使用压缩空气；氧气气源使用液氧（LOX）或通过氧气浓缩装置获得高浓度氧气。氧气浓缩装置通过选择性吸附去除空气中的氮气提高氧气浓度。

4.2.2 臭氧发生单元

臭氧发生单元通常包括：

- 臭氧发生装置；
- 电源；
- 冷却装置。

臭氧发生方法一般为电晕放电法。

4.2.3 臭氧接触单元

臭氧接触单元通常包括：

- 臭氧溶解装置；
- 臭氧接触装置。

臭氧溶解装置将臭氧气体溶解于水。臭氧接触装置是溶解臭氧与目标物质反应的反应器，是臭氧处理的关键环节。常用的溶解装置包括气泡扩散器、下流管注入器、文丘里射流器、径向扩散器、静态混合器和机械搅拌装置等。溶解方式的选择取决于安装空间、电费成本、臭氧传质效率、系统设计和臭氧发生方法等。

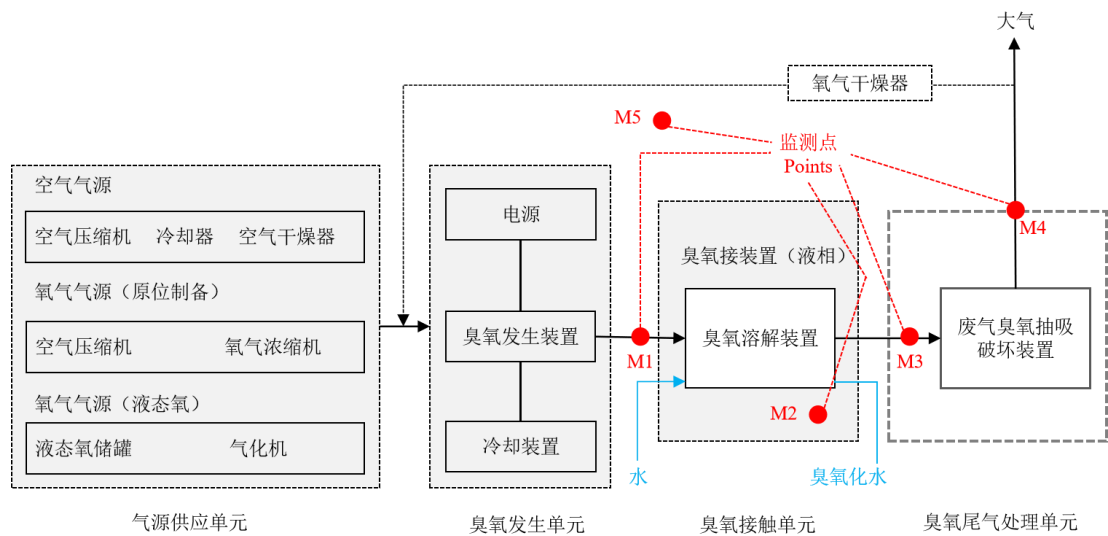
4.2.4 尾气臭氧处理单元

尾气残余臭氧会危害环境和人体健康，应对尾气残余臭氧进行处理，将其转化为氧气后方可排放。

尾气臭氧处理单元包括臭氧破坏装置和抽吸装置。抽吸装置将尾气从臭氧接触装置中抽出并通入臭氧破坏装置。臭氧破坏装置采用催化剂、加热或两者组合的方法，将残余臭氧转化为氧气。

4.2.5 臭氧监测

可采用多种仪器监测臭氧浓度。典型监测点布置如图1所示。



标引符号说明：

M1——监测点，用于监测臭氧发生浓度；

M2——监测点，用于监测残余臭氧浓度；

M3——监测点，用于监测尾气臭氧浓度；

M4——监测点，用于监测尾气残余臭氧浓度；

M5——监测点，用于监测环境臭氧浓度。

图1 臭氧水处理系统组成及臭氧浓度监测的典型位置

为了控制臭氧发生量和投加量（详见附录D），在系统关键位置监测臭氧发生浓度、剩余臭氧浓度和尾气臭氧浓度监测点。

系统通过监测尾气残余臭氧浓度和环境臭氧浓度，保障运行安全。控制单元在必要时自动关闭系统或停止臭氧发生。

5 绩效评价原则与通用指南

5.1 一般情况

基于ISO 20468-1:2018的绩效评价原则和通用指南，本文件规定了两类绩效评价：

- 功能性绩效；
- 非功能性绩效。

5.2 功能性绩效

5.2.1 基本说明

功能性绩效包括水质绩效和工艺绩效。

水质绩效指标包括致病微生物去除效率及色度和嗅味去除效率等（详见附录A）。微生物去除效率采用对数去除率或残余微生物浓度进行评价，色度和嗅味去除效率采用去除率或残余污染物浓度进行评价。紫外线吸光度和紫外线透射率去除率可作为溶解有机碳去除效率的替代性评价指标。上述水质参数和指标宜符合相关水再利用法规和标准（详见附录B）。

臭氧用于病原微生物灭活时，功能性绩效指标包括大肠杆菌、肠球菌、耐热大肠菌群和总大肠菌群的对数去除率或残余浓度。微生物定量分析方法见ISO 6222:1999。

臭氧用于特定途径的水再利用时，功能性绩效指标包括药物和个人护理产品、色度和嗅味等污染物的去除率。色度和嗅味分析方法参考《水和废水检验标准方法》^[12]。

臭氧投加量与时间的乘积（CT）法可用于评价臭氧处理效率。臭氧投加量宜适量，使得出水能达到目标水质并含有一定的剩余臭氧浓度。臭氧投加量的设定，宜使得臭氧接触池的尾气臭氧浓度不为零，以便正确估算水中的臭氧传输量。

工艺绩效包括核心单元（如臭氧发生单元和臭氧接触单元）绩效及可靠性和关键监测位置臭氧浓度（详见附录C和附录D）等。臭氧发生装置和/或接触装置故障可能导致水中的臭氧传输量不足。

尾气臭氧处理单元故障会导致臭氧气体泄漏，严重时可能造成人员伤亡和财产损失。尾气臭氧处理单元的可靠性宜纳入非功能性绩效。

5.2.2 绩效评价步骤

5.2.2.1 步骤 1—设定绩效目标

臭氧处理可有效去除大肠杆菌、耐热大肠菌，并降低色度和嗅味等。宜根据水再利用目的，设定上述参数的水质绩效。

针对景观环境利用，相关标准制定了再生水水质参数要求（示例见附录B）。

再生水水质参数要求宜采用ISO 20761:2018（详见附录A）。

针对高暴露风险用途，宜重点关注病原体的对数去除率。针对特定的非饮用水用途[如ISO 16075（所有部分）的农业灌溉]，宜关注其它相关水质参数（ISO 16075-1:2015，ISO 16075-2:2015，ISO 16075-3:2015，ISO 16075-4:2016）。关于风险评价与管理的详细信息，可参见ISO 20426:2018、ISO 20761:2018和《澳大利亚水再利用指南》^[13]。

宜将臭氧运行参数作为工艺绩效指标，以保障系统运行和出水水质。

5.2.2.2 步骤 2—开展绩效评价

水质绩效评价的主要内容是定期检测水质参数。检测频次宜满足运行参数、监管要求和感官指标等需求。检测程序和采样频率应符合相关标准。

水质绩效评价还包括定期检测关键位置的臭氧浓度。宜重点观测M1位置监测的臭氧发生浓度和M3位置监测的尾气臭氧浓度（详见图1和附录C）。当各位置的臭氧浓度符合要求时，臭氧接触单元的臭氧投加量和传输量符合要求，能够达到相关水质绩效。

工艺绩效评价主要包括以下参数：

- a) 臭氧发生量：
 - 1) 臭氧发生量计算公式为：臭氧发生量=臭氧发生浓度×臭氧气流量；
 - 2) 臭氧发生量宜大于臭氧需求量。
- b) 臭氧投加量：
 - 1) 臭氧投加量计算公式为：臭氧投加量=（臭氧气流量×臭氧发生浓度）/水流量；
 - 2) 宜提供足够的臭氧投加量来达到目标出水水质。
- c) 臭氧传输量：
 - 1) 臭氧传输量计算公式为：臭氧传输量=臭氧气流量×（臭氧发生浓度 - 尾气臭氧浓度）/水流量；
 - 2) 尾气臭氧浓度低于检出限时，臭氧投加量等于臭氧传输量。

d) 传质效率:

- 1) 传质效率表示臭氧发生量中传递到水中的臭氧量, 计算公式为: 传质效率= (臭氧发生浓度 - 尾气臭氧浓度) / 臭氧发生浓度 × 100%;
- 2) 臭氧传质效率与溶解方法有关, 通常为 80%~100%。

5.2.2.3 步骤 3—绩效异常诊断

工艺绩效或水质绩效低于目标时, 臭氧处理系统可能出现故障, 需要予以维护。故障包括臭氧发生量下降或传质效率下降等。

- a) 臭氧发生量下降时, 宜采取以下诊断和维护措施:
 - 1) 检查 M1 位置处臭氧发生浓度监测仪是否正常工作;
 - 2) 检查气源质量 (如氧气纯度、泄露) 和流量;
 - 3) 检查臭氧发生装置和/或控制面板的错误提示信息。
- b) 臭氧传质效率下降时, 宜采取以下诊断和维护措施:
 - 1) 检查曝气仪器是否损坏;
 - 2) 检查增压泵是否故障;
 - 3) 检查喷射器或静态混合器是否损坏;
 - 4) 检查气体流量比是否符合溶解装置要求。

若未发现臭氧发生量和传质效率方面的故障, 宜:

- a) 检查处理水质和水量, 并调整臭氧投加量以满足臭氧需求量;
- b) 检查并优化上游二级处理和三级处理, 改善待处理污水水质。

5.3 非功能性绩效

5.3.1 绩效特征

非功能性绩效指标包括:

- a) 环境与经济指标;
- b) 安全指标。

5.3.2 环境与经济指标

臭氧处理系统的环境与经济指标包括:

- 氧气和臭氧发生消耗的电量;
- 臭氧传输消耗的电量;
- 尾气臭氧破坏/处理单元消耗的电量;
- 氧气消耗量。

宜管理和优化环境与经济指标, 以减少温室气体 (如CO₂) 的直接排放和间接排放。

5.3.2.1 耗电量

臭氧需求量与水中待处理物质负荷相关。根据水质负荷的年度波动, 计算低负荷、中负荷和高负荷下的臭氧需求量, 并分别乘以相应的天数后求和, 得出年度臭氧需求量, 并用于后续计算年度耗电量。

基于臭氧需求量, 计算气源供应装置、臭氧发生装置、臭氧接触装置和尾气臭氧处理装置的耗电量, 以确定每日运行成本。

臭氧传输方面，应计算喷射泵和电动阀等设备的耗电量；尾气处理方面，应计入加热器和抽吸装置的耗电量。

5.3.2.2 氧气消耗量

氧气消耗量与臭氧发生浓度和臭氧需求量相关。将低负荷、中负荷、高负荷条件下的臭氧需求量分别除以臭氧发生浓度，计算得各负荷下的氧气消耗量，再乘以相应的天数后求和，得出年度氧气消耗量。

5.3.3 安全指标

臭氧处理系统运行过程中，各单元可能发生多种故障。臭氧泄漏是最严重的故障。宜通过以下环节评价系统的安全性。

- a) 使用耐臭氧材料：评价处理设备中与臭氧气体和/或臭氧水接触的部件（如设备、管道、阀门、传感器、接头、仪表、密封剂和垫圈）是否使用耐臭氧材料，如 304 不锈钢、316L 不锈钢、EPDM、PTFE 和 FRP 等（详见 JIS B 9946）。
- b) 设置安全保护：
 - 1) 臭氧水处理系统及其周围环境中检测到臭氧时，应采取安全措施，包括紧急停机。环境臭氧浓度超过一定水平时，宜立即自动停止臭氧发生并向操作人员发出警报。
 - 2) 测量尾气残余臭氧浓度（M4）和/或环境臭氧浓度（M5）（如图 1 和附录 C 所示），评价尾气处理单元运行状态和臭氧泄漏情况。M4 和 M5 是安全保护监测点，而非工艺运行监测点。
 - 3) 宜评价设备周围是否设置环境臭氧浓度监测点，评价监测仪和检测器是否符合相关规范（参考 JIS B 9946）。
- c) 定期维护和校准。

评价维护计划和维修配件是否满足要求：

 - a) 制定并执行维护计划；
 - b) 保障维修备件。

维护工作包括检查和校准臭氧水处理设备、臭氧监测仪和检测仪。

附 录 A
(资料性)

水再利用系统的典型处理技术及其作用

表A. 1给出了水再利用系统的典型处理技术及其作用。

表A. 1 水再利用系统的典型处理技术及其作用

处理过程		物理分离	消毒			脱盐	氧化或其他		
水质参数		浊度或TSS	病原体			电导率或总溶解性固体	色度	嗅味	持久性有机污染物
			细菌	病毒	原生动物				
膜过滤	微滤	√	√	√	√				
	超滤	√	√		√				
	纳滤/反渗透		√	√		√	√	√	√
离子交换	离子交换树脂					√	√		
	离子交换膜					√			
紫外线			√	√	√				
臭氧			√	√	√		√	√	√
高级氧化			√	√	√		√	√	√
注1：√表示处理技术对水质参数有提升效果。									
注2：数据来源于参考文献ISO 20468-1:2018。									

附 录 B
(资料性)
水再利用水质参数

表B. 1～表B. 5列出了部分国家或地区对景观环境和其他用途的再生水水质参数。

表B. 1 水再利用的水质标准（日本）（JIS B 9946:2011）

	适用情况	冲厕用水	喷洒用水	景观用水	娱乐用水
大肠杆菌	再生水处理设施的出口	不得检出 ^a	不得检出 ^a	参见备注 ^a	不得检出 ^a
浊度		2度或以下（控制目标值）	2度或以下（控制目标值）	2度或以下（控制目标值）	2度或以下
pH		5.8-8.6	5.8-8.6	5.8-8.6	5.8-8.6
感官		不宜令人反感	不宜令人反感	不宜令人反感	不宜令人反感
色度		—— ^b	—— ^b	40度或以下 ^b	10度或以下 ^b
嗅味		不宜令人反感 ^c	不宜令人反感 ^c	不宜令人反感 ^c	不宜令人反感 ^c
余氯	责任分界点	（控制目标值）游离余氯：0.1 mg/L或以上；或结合性余氯：0.4 mg/L或以上 ^d	（控制目标值 ^e ）游离余氯：0.1 mg/L或以上；或结合性余氯：0.4 mg/L或以上 ^d	参见备注 ^f	（控制目标值 ^e ）游离余氯：0.1 mg/L或以上；或结合性余氯：0.4 mg/L或以上 ^d
设施标准	—	宜安装砂滤设施，或安装处理功能相当或更优的设施	宜安装砂滤设施，或安装处理功能相当或更优的设施	宜安装砂滤设施，或安装处理功能相当或更优的设施	宜安装沉淀、砂滤设施或安装处理功能相当或更优的设施
^a 样品水量宜为 100 mL（采用特定酶底物培养基法）。 ^b 宜根据用途设定标准值。 ^c 宜根据用途设定嗅味标准值。 ^d 如在用水末端额外加氯时，可根据实际需求设定其他标准值。 ^e 如对持续消毒效果无特别要求时，不采用该标准值。 ^f 宜根据生态需求采用氯以外的其他消毒方式；且该类水再用不应与人体接触。					

表B. 2 水再利用的水质标准（印度）^[15]

	参数	冲厕用水	消防用水	洗车用水	非接触式蓄水池	景观、园艺和农业			
						园艺和高尔夫球场	作物类型		
							不可食用作物用水	可食用作物用水	
							生食	熟食	
1	浊度（NTU）	<2	<2	<2	<2	<2	AA	<2	AA
2	悬浮颗粒物	未要求	未要求	未要求	未要求	未要求	30	未要求	30
3	总溶解性固定	2100							
4	pH	6.5-8.3							
5	温度（℃）	环境温度							
6	油脂	10	未要求	未要求	未要求	10	10	未要求	未要求
7	最小余氯	1	1	1	0.5	1	未要求	未要求	未要求
8	总凯氏氮（以N计）	10	10	10	10	10	10	10	10
9	生物需氧量	10	10	10	10	10	20	10	30
10	化学需氧量	AA	AA	AA	AA	AA	30	AA	30
11	溶解磷（以P计）	1	1	1	1	2	5	2	5
12	硝态氮（以N计）	10	10	10	5	10	10	10	10
13	粪大肠菌数（以100 mL计）	未要求	未要求	未要求	未要求	未要求	230	未要求	230
14	蠕虫卵/升	AA	AA	AA	AA	AA	<1	<1	<1

	参数	冲厕用水	消防用水	洗车用水	非接触式蓄水池	景观、园艺和农业			
						园艺和高尔夫球场	作物类型		
							不可食用作物用水	可食用作物用水	
								生食	熟食
15	色度	无色	无色	无色	无色	AA	无色	无色	
16	嗅味	无腐败、无异味							
注1：若无特别说明，单位均为mg/L。 注2：AA当满足其他参数时，需关注该项指标。 注3：年平均值允许向上偏差5%。									

表B.3 再生水的化学、物理和生物水质参数建议值^a（ISO 16075-2:2015）

等级	水质情况	BOD ^{b, k}		TSS ^k		浊度 ^c		耐热大肠菌群 ^d		肠道线虫 ^{e, l}		无需处理即可利用的途径	可能包括的处理方法
		mg/L		mg/L		NTU		个/100 mL		个虫卵L ⁻¹			
		平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	95 %分位	最大值	平均值	最大值		
A	超高水质 ^d	≤5 mg/L	10 mg/L	≤5 mg/L	10 mg/L	≤2	5	≤10或低于检测限	100	—	—	不受限制的城镇灌溉 ^l 和可生食的粮食作物灌溉 ^l	二级 ^l 接触过滤 ^l 和膜过滤 ^l 和消毒 ^h
B	高水质 ^d	≤10 mg/L	20 mg/L	≤10 mg/L	25 mg/L	—	—	≤200	1000	—	—	受限制的城镇灌溉和需加工后食用的粮食作物灌溉 ^l	二级 ^l ，过滤 ^l 和消毒 ^h
C	良好水质	≤20 mg/L	35 mg/L	≤30 mg/L	50 mg/L	—	—	≤1000	10000	≤1	—	粮食作物灌溉 ^l	二级 ^l 和过滤 ^l
D	中等水质 ^[11]	≤60 mg/L	100 mg/L	≤90 mg/L	140 mg/L	—	—	—	—	≤1	5	工业及种子作物的限制性灌溉 ^l	二级 ^l 或高速澄清，包括混凝、絮凝 ⁱ
E	一般水质	≤20 mg/L	35 mg/L	—	—	—	—	—	—	≤1	5	工业及种子作物的限制灌溉 ^l	稳定塘和湿地 ^j

注：经处理后的再生水，如其水质优于某一用途的水质要求，则将其用于该用途或其他水质要求更低的用途。

^a 建议值依据世界卫生组织（WHO，2006）和美国环境保护署（USEPA，2012）等文件制定，适用于处理设施出水口处的再生水。经开放式水池贮存后以及用于喷洒灌溉或局部灌溉时，可视需要增设过滤措施。采样频率和平均值计算方法按 ISO 16075-4 的规定执行。

^b BOD 采用五日生化需氧量法测定。

^c 浊度宜连续监测，平均值按 24 h 周期计算。若以悬浮固体 SS 替代浊度作为控制指标，则 SS 平均值不宜超过 5 mg/L；若采用膜过滤工艺，则出水浊度不宜超过 0.2 NTU。

^d 对于高水质和超高水质的再生水，消毒接触 30 min 后，余氯量宜控制在 0.2 mg/L-1.0 mg/L 之间。采用其他消毒方式时，也宜设置相应的监测措施。

^e 若未经处理的污水中蠕虫卵数量持续低于 10 个/L，则可不将肠道线虫（蠕虫卵）列为常规监测项目。

^f 二级处理工艺包括活性污泥法、滴滤池法、旋转生物接触器法、生物滤池法、生物反应器法和序批式反应器等。

^g 过滤工艺包括微筛过滤、滤芯过滤、高速砂滤、双介质过滤、布滤器过滤、带或不带化学投加的盘式过滤器（接触过滤）以及膜处理工艺（含膜生物反应器）。
^h 消毒工艺可采用紫外线照射、臭氧氧化、氯化处理，或其他化学消毒、物理化学消毒及膜处理工艺。
ⁱ 高速澄清工艺包括混凝、絮凝和薄片沉淀等。
^j 设计合理的稳定塘系统，在无需增设消毒工艺的条件下，可满足大肠菌群限值要求。设计计算时宜采用可溶性 BOD 值。
^k BOD、TSS 等理化指标可根据当地废水处理相关标准进行调整，并可增加 COD 作为控制指标。
^l 若存在气溶胶扩散风险，温室灌溉用水中的军团菌含量宜控制在 1000 CFU/L 以下。

表B.4 用于马桶和便池冲厕的再生水水质建议值 ^{a[16]}

参数	单位	水质参数	
		中位值	最大值
BOD ₅	mg/L	≤10	≤20
TSS ^b	mg/L	≤10	≤20
浊度 ^b	NTU	≤2	≤5
大肠杆菌 ^c	CFU/100 mL	未检出	≤200
耐热大肠菌群 ^c	CFU/100 mL	未检出	≤200
总余氯 ^d	mg/L	≥0.5	

^a 在消毒前测定。在同一系统中，仅需监测 TSS 或和浊度。

^b 若无特别说明，水质限值适用于处理设施或处理单元出水口处的再生水；BOD₅ 为五日生化需氧量；TSS 为总悬浮固体；NTU 为散射浊度单位；CFU 为菌落形成单位。

^c 在同一系统中，仅需监测大肠杆菌或耐热大肠菌群。

^d 在再生水进入管道或水泵输配系统前测定。

表B.5 再生水用途分类及水质建议指南 ^{a[17]}

用途	处理要求	水质建议 ^b	监测项目	退线距离 ^c	备注
城镇利用 包括景观灌溉（例如高尔夫球场、公园、墓园）车辆清洗、冲刷、消防、空调冷却及其他类似接触或暴露程度的用途	• 二级处理 ^d • 过滤 ^e • 消毒 ^f	• pH=6-9 • BOD ₅ ≤10 mg/L ^g • 浊度≤2 NTU • 粪大肠菌群不得检出/100 mL ^{i, j} • 余氯最低值 1 mg/L ^k	• pH：每周 • BOD ₅ ：每周 • 浊度：连续 • 大肠菌群：每天 • 余氯：连续	• 距饮用水源 15 m	• 其他建议值见美国环境保护署（USEPA）《水再利用指南》（2014）的表2-7。 • 若采取有效管控措施降低公众接触风险，可放宽至粪大肠菌群<14个/100 mL。 • 过滤前可根据需要投加混凝剂或絮凝剂等 • 再生水中不宜检出活性病原体。 ¹ • 再生水宜清澈无味。 • 病毒和寄生虫灭活可能需要提高余氯量和/或延长消毒接触时间。 • 配水系统中余氯宜≥0.5 mg/L，以减少异味和微生物再生。 • 处理可靠性参见美国环境保护署（USEPA）《水再利用指南》（2014）的第3.4.3节
限制性区域的灌溉 包括草皮农场、造林场和其他不常对公众开放的限制性区域	• 二级处理 ^d • 消毒 ^f	• pH=6-9 • BOD ₅ ≤30 mg/L ^g • TSS≤30 mg/L • 粪大肠菌群≤200 个/100 mL ^{i, m, n} • 余氯最低值 1 mg/L ^k	• pH：每周 • BOD ₅ ：每周 • TSS：每天 • 大肠菌群：每天 • 余氯：连续	• 距饮用水源 90 m • 距公众可进入区30 m（喷洒灌溉时）	• 其他建议值见国环境保护署（USEPA）《水再利用指南》（2014）的表2-7。 • 喷洒灌溉时，TSS宜低于30 mg/L以防喷头堵塞。 • 处理可靠性见国环境保护署（USEPA）《水再利用指南》（2014）的第3.4.3节
农业灌溉（未	• 二级处理 ^d	• pH=6-9	• pH：每周	• 距饮用水源	• 其他建议值见国环境保护署（USEPA）《水再利用指南》（2014）的表2-7。

用途	处理要求	水质建议 ^b	监测项目	退线距离 ^c	备注
经商业加工) 包括所有粮食作物灌溉及可生食作物灌溉	• 过滤 ^e • 消毒 ^f	• BOD ₅ ≤ 10 mg/L • NTU ≤ 2 ^h • 粪大肠菌群不得检出/100 mL ^{i, j} • 余氯最低值 1 mg/L ^k	• BOD ₅ : 每周 • 浊度: 连续 • 大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续	15m	用指南》(2014)的表2-7。 • 过滤前可根据需要投加混凝剂或絮凝剂。 • 再生水中不宜含有可检测水平的活性病原体。 • 病毒和寄生虫灭活可能需要提高余氯量和/或延长消毒接触时间。 • 高营养水平可能会对某些作物生长产生不利影响 • 处理可靠性参见美国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
农业灌溉 (经商业加工)¹⁵ 包括果园、葡萄园等地面灌溉	• 二级 ⁴ • 消毒 ^f	• pH=6-9 • BOD ₅ ≤ 30 mg/L ^g • TSS ≤ 30 mg/L • 粪大肠菌群 < 200个/100 100 mL ^{i, m, n} • 余氯最低值 1 mg/L ^k	• pH: 每周 • BOD ₅ : 每周 • TSS: 每天 • 大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续	• 距饮用水源 90 m • 距公众可进入区域30 m (喷洒灌溉时)	• 其他建议值见国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的表2-7。 • 喷洒灌溉时, TSS宜低于30 mg/L以防喷头堵塞。 • 高营养水平可能会对某些作物生长产生不利影响。 • 处理可靠性参见美国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
农业灌溉 (粮食作物) 包括乳畜牧场、饲料、纤维和种子等	• 二级处理 ⁴ • 消毒 ^f	• pH=6-9 • BOD ₅ ≤ 30 mg/L ^g • TSS ≤ 30 mg/L • 粪大肠菌群 < 200个/100 100 mL ^{i, m, n} • 余氯最低值 1 mg/L ^k	• pH: 每周 • BOD ₅ : 每周 • TSS: 每天 • 大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续	• 距饮用水源 90 m • 距公众可进入区域30 m (喷洒灌溉时)	• 其他建议值见国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的表2-7。 • 喷洒灌溉时, TSS宜低于30 mg/L以防喷头堵塞。 • 高营养水平可能会对某些作物生长产生不利影响。 • 停止灌溉15天内不宜乳畜放牧。若确需乳畜放牧, 宜提供提高消毒水平至粪大肠菌群 ≤ 14个/100 mL。 • 处理可靠性参见美国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
娱乐性蓄水池 包括意外接触暴露 (如钓鱼和划船) 和接触性场景	• 二级处理 ⁴ • 过滤 ^e • 消毒 ^f	• PH=6-9 • BOD ₅ ≤ 10 mg/L ^g • NTU < 2 ^h • 不得检出粪大肠菌群/100 mL ^{i, j} • 余氯最低值 1 mg/L ^k	• pH: 每周 • BOD ₅ : 每周 • 浊度: 连续 • 大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续	• 如底部未密封, 距饮用水源水井150 m	• 可视需要脱氯以保护水生动植物。 • 再生水对皮肤和眼睛应无刺激性, 清澈无味。 • 宜去除营养物以避免藻类生长。 • 过滤前可根据需要投加混凝剂或絮凝剂。 • 再生水中不宜检出活性病原体 ¹² 。 • 病毒和寄生虫灭活可能需要提高余氯量和/或延长消毒接触时间。 • 渔获可食用。 • 处理可靠性参见美国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
景观利用/蓄水池 包括不允许人体接触的各类景观和蓄水场景	• 二级处理 ⁴ • 消毒 ^f	• BOD ₅ ≤ 30 mg/L ^g • TSS ≤ 30 mg/L • 粪大肠菌群 < 200个/100 100 mL ^{i, m, n} • 余氯最低值 1 mg/L ^k	• pH: 每周 • TSS: 每天 • 大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续	• 如底部未密封, 距饮用水源150 m	• 宜去除营养物以避免藻类生长。 • 可视需要脱氯以保护水生动植物。 • 处理可靠性参见美国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
建筑利用 包括土壤压实、除尘、清洗骨料、制作混凝土	• 二级处理 ⁴ • 消毒 ^f	• BOD ₅ ≤ 30 mg/L ^g • TSS < 30 mg/L • 粪大肠菌群 < 200个/100 100 mL ^{i, m, n} • 余氯最低值 1 mg/L ^k	• BOD ₅ : 每周 • TSS: 每天 • 大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续		• 宜避免工人接触再生水。 • 频繁接触时宜提供消毒水平, 例如粪大肠菌群 ≤ 14个/100 mL。 • 处理可靠性参见美国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
工业利用 包括直流冷却	• 二级处理 ⁴ • 消毒 ^f	• pH=6-9 • BOD ₅ ≤ 30 mg/L ^g	• pH: 每周 • BOD ₅ : 每周	• 距公众可进入区域90 m	• 风吹喷雾不宜进入工人或公众可接触区域。

用途	处理要求	水质建议 ^b	监测项目	退线距离 ^c	备注
		• TSS ≤ 30 mg/L • 粪大肠菌群 ≤ 200个/100 mL^{i, m, n} • 余氯最低值 1 mg/L^k	• TSS: 每天 • 大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续		
工业利用 包括循环冷却塔	• 二级处理^d • 消毒^f (可增加化学混凝和过滤^e)	• 可变, 取决于再循环比率 (见第2.2.1节) pH=6-9 • BOD₅ ≤ 30 mg/L^g • TSS ≤ 30 mg/L • 粪大肠菌群 ≤ 200个/100 100 mL^{i, m, n} • 余氯最低值 1 mg/L^k	• pH: 每周 • BOD₅: 每周 • TSS: 每天 • 大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续	• 距公众可进入区域90 m。若消毒效果强时,可降低或去除该要求	• 风吹喷雾不宜进入工人或公众可接触区域。通常需额外处理以防结垢、腐蚀、生物生长和起泡。 • 处理可靠性参见美国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
其他工业用途	根据具体地点和用途确定水质限值 (见美国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)第2.2.3节)				
环境利用 包括湿地沼泽、野生动物栖息地、河道补水等	• 可变 • 二级处理^d和消毒^f (最低限度)	• 可变, 但不超过: • BOD₅ ≤ 30 mg/L^g • TSS ≤ 30 mg/L • 粪大肠菌群 ≤ 200个/100 100 mL^{i, m, n}	• BOD₅: 每周 • TSS: 每天 • 大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续		• 可视需要脱氯以保护水生动植物。 • 宜评估对地下水的影响。 • 接纳水体水质要求可能需额外处理。 • 再生水温度不宜影响生态系统。 • 处理可靠性见国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
地下水回灌 包括不用于公共供水的地下水分散式或注入式回灌	• 根据具体地点和用途确定 • 优先使用分散式回灌 • 其次使用注入式回灌^d	• 根据具体地点和用途确定	• 根据处理方法和用途确定	• 根据具体地点和用途确定	• 设施应确保再生水不进入饮用水源含水层 • 详见国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第2.5节。 • 分散式回灌时需要二级处理以防堵塞。 • 注入式回灌时需要过滤和消毒以防堵塞。 • 处理可靠性见国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
间接饮用回用 包括用于饮用供水的地下水分散式回灌	• 二级处理^d • 消毒^f • 过滤^e和/或深度处理^o	• 二级处理^d • 消毒^f • 通过渗透带渗滤后达到饮用水标准	• 包括但不限于以下: • pH: 每天 • 大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续 • 饮用水标准: 每季度 • 其他17取决于成分 • BOD₅: 每周 • 浊度: 连续	• 距提取井150 m, 根据处理方法和具体地点条件而异	• 地下水最大抬升处包气带厚度宜 ≥ 2 m。 • 再生水地下保留时间宜 ≥ 6个月。 • 处理工艺视土壤类型、渗滤速率、包气带厚度、本地水质和稀释度而定。 • 需设置监测井用于检测对地下水的影响。 • 详见国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第2.5节和第2.6节。 • 包气带渗滤后不宜检出活性病原体¹²。 • 处理可靠性见国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
间接饮用回用 包括用于饮用供水的地下水分散式回灌	• 二级处理^d • 过滤^e • 消毒^f • 深度处理¹⁶	• 包括但不限于以下: • pH=6.5-8.5 • NTU ≤ 2^h • 总大肠菌群不得检出/100 mL^{i, j} • 余氯最低值 1 mg/L^k • TOC ≤ 3 mg/L • TOX ≤ 0.2 mg/L • 符合饮用水标准	• 包括但不限于以下: • pH: 每天 • 浊度: 连续 • 总大肠菌群: 每天 • 余氯: 连续 • 饮用水标准: 每季度 • 其他17取决于成分	• 距提取井600 m, 根据地点条件而异	• 再生水地下保留时间宜 ≥ 9个月。 • 需设置监测井用于检测对地下水的影响。 • 注入点应满足推荐水质限值。 • 包气带渗滤后不宜检出活性病原体¹² • 详见国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第2.5节和第2.6节。 • 病毒和寄生虫灭活可能需要提高余氯量和/或延长消毒接触时间。 • 处理可靠性见美国环境保护署 (USEPA)《水再利用指南》(2014)的第3.4.3节
间接饮用回用	• 二级处理^d	包括但不限于以下:	包括但不限于以下:	根据具体地	处理水平视接纳水体水质、到取水点的时间和

用途	处理要求	水质建议 ^b	监测项目	退线距离 ^c	备注
包括用于饮用供水的地表水补给	• 过滤 ^e • 消毒 ^f • 深度处理 ¹⁶	下： • pH=6.5–8.5 • NTU≤2 ⁸ • 总大肠菌群不得检出/100 mL ^{i, j} • 余氯最低值 1 mg/L ^k • TOC≤3 mg/L • 符合饮用水标准	于以下： • pH：每天 • 浊度：连续 • 总大肠菌群：每天 • 余氯：连续 • 饮用水标准：每季度 • 其他17取决于成分	点和用途确定	距离、稀释度及饮用水处理工艺而定。 • 再生水中不宜含有可检测水平的活病原体 ¹² • 详见国环境保护署（USEPA）《水再利用指南》（2014）的第2.6节。 • 病毒和寄生虫灭活可能需要提高余氯量和/或延长消毒接触时间。 • 处理可靠性见美国环境保护署（USEPA）《水再利用指南》（2014）的第3.4.3节
^a 本文件依据美国水回用与再利用实践经验制定，尤其面向尚未制定相关法规或指南的地区。虽可供其他国家和地区参考，但当地条件可能影响其适用性（见美国环境保护署（USEPA）《水再利用指南》第8章）。需特别说明，USAID 不将该指南作为强制性依据。 ^b 除另有规定外，推荐水质限值均指处理设施出水口处的再生水水质。 ^c 建议退线距离旨在保护饮用水源免受污染，并降低因接触再生水对人体造成不合理健康风险。 ^d 二级处理工艺包括活性污泥法、滴滤池法、旋转生物接触器法，以及稳定塘系统等。二级处理出水中的 BOD 和 TSS 均不宜超过 30 mg/L。 ^e 过滤指污水通过天然未受扰动的土壤、滤布或过滤介质（如砂和/或无烟煤），亦包括微滤及其他膜处理工艺。 ^f 消毒指通过化学、物理或生物手段破坏、灭活或去除病原微生物，可采用氯化、紫外线照射、臭氧氧化及其他化学消毒剂、膜处理或其他工艺。采用氯消毒时，不排除使用其他消毒方式作为再生水消毒的可接受方法。 ^g BOD 采用五日生化需氧量法测定。 ^h 消毒前应达到推荐浊度限值，平均浊度宜按 24 h 周期计算，任何时刻浊度均不宜超过 5 NTU。若以 TSS 替代浊度，则 TSS 不应超过 5 mg/L。 ⁱ 除另有规定外，推荐大肠菌群限值为最近 7 d 内细菌学检测结果的中位值，可采用膜过滤法或多管发酵法进行分析。 ^j 任何样品中粪大肠菌群数均不宜超过 14 个/100 mL。 ^k 总余氯量应在接触时间不少于 30 min 后满足要求。 ¹ 再生水回用项目投运前，宜对其微生物学质量进行全指标检测与评价。 ^m 任何样品中粪大肠菌群数均不宜超过 800 个/100 mL。 ⁿ 部分稳定塘系统在无消毒工艺条件下亦可满足大肠菌群限值要求。 ^o 商业加工粮食作物系指在售予公众或其他方之前，已经过化学或物理加工，足以杀灭病原体的作物。 ^p 深度处理工艺包括化学澄清、活性炭吸附、反渗透及其他膜处理、气提、超滤和离子交换等。 ^q 监测项目宜包括已知或疑似具有毒性、致癌性、致畸性或致突变性、但尚未列入饮用水水质标准的无机和有机化合物或其类别。					

表B. 6 再生水中可能检测到的为了化学物质（天然和合成）类别和示例^[13]

化学品物质类别	示例
化工原料	1,4-二恶烷、全氟辛酸、甲基叔丁基醚、四氯乙烷
杀虫剂、杀菌剂和除草剂	阿特拉津、林丹、敌草隆、氟虫腈
天然化学物质	激素（17β-雌二醇）、植物雌激素、土腥素、2-甲基异冰片
药物和代谢物	抗菌药（磺胺甲恶唑）、镇痛药（对乙酰氨基酚、布洛芬）、β-受体阻断剂（阿替洛尔）、抗癫痫药（苯妥英、卡马西平）、兽用和人用抗生素（阿奇霉素）、口服避孕药（炔雌醇）
个人护理用品	三氯生、防晒成分、香料、颜料
家用化学品和食品添加剂	三氯蔗糖、双酚A、邻苯二甲酸二丁酯、烷基酚聚氧乙烯醚、阻燃剂（全氟辛酸、全氟辛烷磺酸）
转化产物	二甲基亚硝胺、卤乙酸类、三卤甲烷类

附录 C
(资料性)
臭氧浓度监测点

图1所示M1至M5监测点上臭氧浓度监测情况见表C. 1。

表C. 1 M1 至 M5 上的臭氧浓度监测点

监测位置	检测目标	装置	相态	备注
M1	臭氧发生浓度	臭氧发生器	气相	监测从臭氧发生装置到臭氧接触装置的气体中的臭氧浓度。
M2	残余臭氧浓度	臭氧接触装置	液相	监测臭氧接触装置水中的溶解臭氧浓度。为消除悬浮固体等干扰物质的影响，水中的残余臭氧通过曝气气化，然后由在线紫外线吸收法检测臭氧浓度。
M3	尾气臭氧浓度	尾气臭氧处理装置	气相	a) 监测臭氧接触装置中未溶解和未使用的气相臭氧浓度。 b) M3 上的监测宜为实际尾气臭氧浓度，不允许外界空气进入。 c) M3 上的采样宜配备具有干燥和净化能力的吸附泵
M4	尾气残余臭氧浓度	尾气臭氧处理装置	气相	检测处理后废气臭氧破坏装置中的残余臭氧浓度
M5	环境臭氧浓度	周围所有装置	气相	检测装置泄漏等导致的环境臭氧浓度

附 录 D
(资料性)
臭氧生成控制方法

在正常运行期间，宜检查产生的臭氧量或浓度来控制臭氧水处理系统。运行控制包括臭氧投加量控制和尾气臭氧浓度控制。宜在图1中的位置M1和M3监测臭氧浓度。

在运行期间，宜监测至少一个位置上的臭氧浓度来控制臭氧水处理系统。监测位置和所用检测方法宜由相关方共同决定。

- a) “臭氧投加控制”法是指，将臭氧投加量调节在恒定水平。当臭氧浓度偏离设定值时，调节臭氧发生浓度（控制电功率输入）或气体流量（控制气体流速），控制臭氧投加量。总臭氧需求量随水流量的波动而变化。
- b) “尾气臭氧浓度控制”法是指，根据臭氧接触器尾气臭氧浓度调节臭氧投加量。当尾气臭氧浓度偏离设定值时，调节臭氧发生器电功率和/或气体流速。尾气臭氧浓度宜控制在尽可能低的水平。

参 考 文 献

- [1] ISO 6222:1999 Water quality—Enumeration of culturable micro-organisms—Colony count by inoculation in a nutrient agar culture medium
- [2] ISO 16075-1,2,3:2015, -4:2016 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects
- [3] ISO 16075-2:2015 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 2: Development of project
- [4] ISO 20426:2018 Guidelines for health risk assessment and management for non-potable water reuse
- [5] ISO 20468-1:2018 Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems—Part 1: General
- [6] ISO 20468-2:2019 Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems—Part 2: Methodology to evaluate performance of treatment systems on the basis of greenhouse gas emissions
- [7] ISO 20761:2018 Water reuse in urban areas—Guidelines for water reuse safety evaluation: assessment parameters and methods
- [8] GB 50013—2018 室外给水设计标准. 北京: 中国计划出版社, 2018
- [9] GB/T 37894—2019 水处理用臭氧发生器技术要求. 北京: 中国标准出版社, 2019
- [10] GB 28232—2020 臭氧消毒器卫生要求. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [11] JIS B 9946:2011 Ozone treatment apparatus for waste and water in industry and other oxidation uses—Specification of apparatus and measurement methods for ozone concentration
- [12] American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
- [13] National Research Council (2012). Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater, National Academies Press
- [14] Ministry of Land Infrastructure and Transport (2005), Manual of reuse water quality standards of sewage effluent
- [15] Central Public Health & Environmental Engineering Organisation (2013), Manual on Sewerage and Sewage Treatment Systems
- [16] Health Canada (2010), Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing
- [17] US EPA (2012), Guidelines for Water Reuse
-

《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第3部分：臭氧处理技术》（征求意见稿）

编制说明

一、工作简况，包括任务来源、制定背景、起草过程等

（一）编写目的及任务来源

水再利用是缓解水资源短缺、保护生态环境的重要途径，臭氧处理技术作为水再利用系统中常用的消毒和高级氧化技术，其性能评价的标准化是保障再生水水质安全的关键环节。当前国际社会对于水再利用系统处理技术绩效评价已形成系列标准框架，但各国在臭氧处理技术性能评价的具体指标和测试方法上存在差异，亟需通过国际统一规范实现评价结果的互认与可比。

ISO 20468-3 国际标准作为水再利用系统处理技术绩效评价的系列标准之一，聚焦臭氧处理技术在水再利用系统中的性能评价，提出了臭氧处理系统的基本构成、功能性绩效和非功能性绩效的评价方法，填补了水再利用领域臭氧处理技术绩效评价方面的标准空白。该标准明确了臭氧发生量、臭氧投加量、臭氧传输量、传质效率等核心工艺参数的计算方法，规定了关键监测点的设置要求，对推动臭氧处理技术在水再利用领域的规范化应用、保障再生水水质安全具有重要意义。

我国水资源供需矛盾突出，水再利用产业发展迅速，臭氧处理技术应用日益广泛。《关于推进污水资源化利用的指导意见》

《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》等政策文件明确提出要提升污水深度处理能力，推广高效消毒和氧化技术。臭氧处理技术以其高效杀菌、无化学残留、操作灵活等优势，已逐渐成为水再利用系统中最为常用的处理技术之一。但我国现有标准主要针对臭氧发生器的产品性能和卫生要求，尚未涉及水再利用系统中臭氧处理技术的系统性绩效评价。目前针对臭氧处理技术的性能评价缺乏统一的国家标准支撑，行业发展面临评价方法不统一、技术选型依据不充分、运行维护缺乏规范指导等问题。为保持与国际水再利用领域技术评价同步，满足我国再生水行业企业、监管部门、设计单位等对标准化评价方法的需求，及时将ISO 20468-3 转化为国家标准，能够完善我国水再利用标准化体系，为臭氧处理技术在水再利用系统中的规划、设计、运行和改造提供科学的性能评价依据。

本标准由全国水再利用标准化技术委员会（SAC/TC 618）提出并归口，由中国标准化研究院、清华大学深圳国际研究生院等单位负责组织相关专家共同转化起草。

标准立项信息如下：

项目编号：20140570-T-469

项目名称：水再利用系统处理技术绩效评价指南 第3部分：
臭氧处理技术

制、修订：制定

主管部门：国家标准化管理委员会

归口单位：全国水再利用标准化技术委员会（SAC/TC 618）

起草单位：中国标准化研究院，清华大学深圳国际研究生院，清华苏州环境创新研究院，清华大学，深圳市水务（集团）有限公司，广东北控石犀科技股份有限公司，天津万峰环保科技有限公司，四川大学，同济大学，福建龙净新陆科技发展有限公司，交通运输部公路科学研究所，新疆准能化工有限公司。

（二）水再利用领域臭氧处理技术绩效评价现状

1. 臭氧处理技术绩效评价现状

臭氧（ O_3 ）是氧气（ O_2 ）的同素异形体，是仅次于氟的强氧化剂。臭氧氧化能力强，是一种高效的消毒剂和水处理氧化剂。在高投加量条件下，臭氧可有效去除污水中的难降解微量污染物，实现水环境保护。消毒及色、嗅控制是水再利用系统的基本要求，臭氧处理常与污水二级处理、三级处理联用，可有效提升微生物、色度及臭味等水质指标，从而实现高效水再利用。

水再利用全流程中臭氧处理通常位于砂滤、膜过滤等固液分离单元之后，其性能直接影响再生水水质安全。臭氧处理系统的性能由臭氧发生单元、臭氧接触单元、尾气处理单元和监测系统的综合效能决定。臭氧发生量不足会导致消毒不彻底、氧化不充分；传质效率低下会造成臭氧浪费和运行成本上升；尾气处理不完善可能带来环境安全和职业健康风险。现行标准体系缺少专门

面向水再利用场景的臭氧处理技术绩效评价统一技术规范。现有臭氧相关标准(如 GB/T 37894《水处理用臭氧发生器技术要求》、GB 28232《臭氧消毒器卫生要求》、GB 50013《室外给水设计标准》等)聚焦于臭氧发生器产品的性能指标、安全要求及饮用水处理中的设计参数,未覆盖水再利用系统中臭氧处理的全流程系统性能评价,无法实现不同工艺配置、处理规模臭氧设施的处理效率横向对标和分级评价。

2.臭氧处理技术绩效评价国内外标准体系现状

当前水再利用中臭氧处理技术应用场景涵盖城镇污水再生、工业废水回用、分散式污水处理等多个领域,处理规模从数十吨/日到数十万吨/日不等。臭氧系统配置包括空气源和氧气源两种供气方式,接触方式包含气泡扩散、文丘里注入、静态混合等多种形式,不同工艺配置的处理效率和经济性差异显著,亟需统一的绩效评价方法实现横向对标和工艺优选。

国际层面,ISO 20468-3:2020《Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 3: Ozone treatment technology》于2020年发布,是ISO 20468系列标准中专门针对臭氧处理技术的专项国际标准。该标准统一规定了臭氧水处理系统的系统构成(气源供应单元、臭氧发生单元、臭氧接触单元、尾气臭氧处理单元、臭氧监测系统),明确了以臭氧发生量、臭氧投加量、臭氧传输量、传质效率为核心的工艺

绩效指标体系，规范了基于水质的性能（微生物去除、色度臭味去除等）和基于工艺过程的性能的双重功能性绩效评价框架，以及环境与经济因素、安全要求等非功能性绩效评价要求，完整覆盖了臭氧处理技术的系统性绩效评价。标准具有方法简明、指标可量化、适用性强的特点，适用于不同规模和工艺配置的水再利用臭氧处理系统。但该国际标准中的参考案例、部分参数基准和引用文件基于欧美、日本等国家和地区的实践，未适配我国臭氧发生器产品标准体系、电力能耗基准、水质标准体系和典型工程工况，无法直接作为国内统一评价依据。

国际标准化组织发布的 ISO 20468-1:2018 为该系列标准的通用框架标准，规定了水再利用系统处理技术绩效评价的通用原则和术语，为臭氧处理技术绩效评价提供了基础。该标准对水再利用处理技术提出了普遍适用的功能性要求和非功能性要求，但不涉及具体技术类型的个性化评价指标。

世界卫生组织（WHO）2017 年发布《再生水饮用回用：安全饮用水生产指南》、美国 EPA 2012 年发布《污水再生利用指南》、欧盟 2018 年出台《再生水农业灌溉和地下水回灌最低水质要求法规》等文件，均以再生水水质指标管控为核心，涉及臭氧消毒的内容仅限于消毒效果验证，未建立系统的臭氧处理技术性能评价指标体系。

我国已发布多项与臭氧相关的国家标准、行业标准，见表 1。

表 1 碳排放相关标准

标准编号	标准名称	主要技术内容
GB/T 37894-2019	水处理用臭氧发生器技术要求	臭氧发生器的分类、型号标记和规格、结构设计和材料、一般规定、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存
GB 28232-2020	臭氧消毒器卫生要求	臭氧消毒器的原材料要求、技术要求、应用范围、使用方法、检验方法、运输和贮存、铭牌和使用说明书
GB 50013-2018	室外给水设计标准	第 9.10 节“臭氧氧化”：臭氧氧化工艺的设置、气源装置、臭氧发生装置、臭氧气体输送管道、臭氧接触池、臭氧尾气消除装置的设计要求；第 12.2.2 条：臭氧制备车间和臭氧接触池的在线检测要求
GB/T 32107-2015	臭氧处理循环冷却水技术规范	臭氧处理循环冷却水系统的设计、处理后水质、检测方法、工程施工、运行维护管理、劳动安全与职业卫生
CJ/T 322-2010	水处理用臭氧发生器	臭氧发生器的分类和规格、结构和材料、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存

现有国家标准聚焦臭氧发生器产品性能及饮用水处理中的臭氧氧化设计规范，尚未建立面向水再利用全系统的臭氧处理技术绩效评价方法与指标体系。

（三）标准编制过程

1. 预研阶段

2025 年 9 月—12 月，中国标准化研究院、清华大学深圳国际研究生院等单位通过资料梳理分析、调研等方式开展相关研究论证，成立编制组，按照《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）和《标准化工作导则

第 2 部分：以 ISO/IEC 标准化文件为基础的标准化文件起草规则》（GB/T 1.2-2020）要求，起草标准草案，并开展标准立项准备工作。

2.立项阶段

2025 年 12 月，国家标准化管理委员会标准项目立项申请通过，项目编号为 20140570-T-469。

3.标准启动阶段

2026 年 5 月 11 日，由中国标准化研究院和清华大学深圳国际研究生院牵头，在北京召开了标准编制组成立会议暨第一次工作会议（启动会）。全国水再利用标准化技术委员会（SAC/TC 618）归口管理，来自中国标准化研究院，清华大学深圳国际研究生院，清华苏州环境创新研究院，清华大学，深圳市水务（集团）有限公司，广东北控石犀科技股份有限公司，天津万峰环保科技有限公司，四川大学，同济大学，福建龙净新陆科技发展有限公司，交通运输部公路科学研究所，新疆准能化工有限公司。

会议明确了标准转化的总体思路、核心技术指标及编制原则，确定标准编写需严格遵循 GB/T 1.1—2020 和 GB/T 1.2—2020 的相关要求。会议审议并通过了起草组组成方案及人员分工，确定了标准各章节的牵头起草单位和配合单位，明确了征求意见稿、送审稿、报批稿的关键时间节点和协作机制。会议决议正式启动《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第 3 部分：臭氧处理技

术》国家标准的制定工作，要求起草组严格按照分工开展工作，及时反馈工作进展。

4.标准起草阶段

2026 年 1 月—6 月，编制组完成了对 ISO 20468-3:2020 英文原版的全文翻译工作。2026 年 4 月—5 月，编制组重点对术语统一、句式转换、技术内容准确性等方面进行了把关。2026 年 5 月中旬至 6 月初，各章节负责单位按大纲起草内容，企业单位提交典型工程案例及数据，牵头单位整合完成标准《草案稿》和《编制说明》（初稿）。

2026 年 5 月 19 日，以线上形式召开标准专家咨询会，编制组成员代表、全国水再利用标准化技术委员会（SAC/TC 618）专家和再生水、市政给排水、标准化等领域相关专家参加，针对标准条款和核心技术内容讨论。

5.标准专家咨询阶段

2026 年 6 月 2 日，编制组以线上形式召开标准专家咨询会。来自国家市场监督管理总局国家标准技术审评中心、中国建筑设计研究院有限公司、北京排水集团、上海城投污水处理有限公司、北京工商大学等单位的专家参加会议。与会专家听取了编制组对标准编制情况的汇报，逐条审议了标准草案文本，围绕术语定义、系统构成、绩效评价方法、附录等关键技术条款展开深入讨论。专家咨询会形成以下主要意见：（1）标准内容符合 GB/T 1.1—

2020 和 GB/T 1.2—2020 的相关要求；（2）建议进一步完善标准文本翻译工作，结合我国实际情况对标准文本进行合理、必要的修改；（3）要求起草组根据专家意见对标准进行修改和完善，尽快完成标准征求意见稿及编制说明的起草工作。编制组根据专家意见对标准草案进行了逐条修改和完善。

（四）主要起草人员、起草单位及其所做的工作

标准主要起草人：王文龙，吴乾元，刘佳琳，胡洪营，邹启贤，楚文海，阳重阳，战树岩，巫寅虎，白雪，杜烨，温德春，陈卓，黄文章，常淑斌，王志帅，徐傲，肖鹿，丁志波，曹戈，赵激。

主要起草单位：中国标准化研究院，清华大学深圳国际研究生院，清华苏州环境创新研究院，清华大学，深圳市水务（集团）有限公司，广东北控石犀科技股份有限公司，天津万峰环保科技有限公司，四川大学，同济大学，福建龙净新陆科技发展有限公司，交通运输部公路科学研究所，新疆准能化工有限公司

本标准各主要起草单位立足自身专业领域与业务优势，各司其职、协同配合、聚力推进，共同完成标准编制全流程各项工作任务，各单位具体工作如表 2 所示。

表 2 参编单位具体工作分工

序号	起草单位	单位类型	核心职责
----	------	------	------

1	中国标准化研究院	科研机构	统筹协调起草组各项工作，制定起草工作计划，组织召开起草工作会议；牵头完成标准总体框架搭建、国际标准内容转化及全文整合；负责意见征集、汇总处理及标准修改完善工作；牵头编制标准编制说明、意见汇总处理表等相关材料；对接主管单位、技术委员会，汇报工作进展，协调解决起草过程中的重大问题；负责标准报批相关材料的整理、报送工作；对标准全文进行统稿、定稿和质量审核。
2	清华大学深圳国际研究生院	科研机构	与中国标准化研究院联合主持标准组织工作，包括统筹协调起草组各项工作，制定起草工作计划，组织召开起草工作会议；牵头完成标准总体框架搭建、国际标准内容转化及全文整合；负责意见征集、汇总处理及标准修改完善工作；牵头编制标准编制说明、意见汇总处理表等相关材料；对接主管单位、技术委员会，汇报工作进展，协调解决起草过程中的重大问题；负责标准报批相关材料的整理、报送工作；具体负责第4章“系统构成”内容的撰写与审核，绘制图1“臭氧处理系统的典型构造和臭氧浓度监测点”。
3	清华苏州环境创新研究院	科研机构	协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；负责附录A“水处理技术的可靠性”和附录B“再生水质参数要求”中各国水质标准（日本、印度、ISO、美国等）的整理、翻译与对标分析；配合牵头单位完成标准报批相关工作。
4	清华大学	科研机构	协助牵头单位开展国际标准内容转化工作；负责标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；负责第3章“术语和定义及缩略语”的准确性审核与定义完善；负责第5章“性能评价原则和通用指南”核心内容的撰写与技术论证，参与微生物去除效果、色度臭味去除、新污染物去除等核心指标的科学论证及理论依据提供。
5	深圳市水务（集团）有限公司	企业	参与国际标准转化过程中的工程适用性分析工作；参与标准技术指标的论证及试验验证工作；负责第5.2.2节“性能评价步骤”中臭氧发生量、臭氧投加量、臭氧传输量、传质效率等计算公式的工程验证；负责附录C“臭氧浓度监测点”M1至M5各监测点的工程验证；协助开展意见征集工作。
6	广东北控石犀科技股份有限公司	企业	提供城镇水再利用臭氧处理领域相关工程实践资料；负责第4.2.4节“臭氧尾气处理单元”的实际应用经验提供；参与第5.3节“非功能性要求”中电能消耗量、氧气消耗量等经济性指标的工程数据支撑；参与附录D“臭氧生成控制方法”的实践验证；协助开展意见征集工作。
7	天津万峰环保科技有限公司	企业	提供城镇水再利用臭氧处理领域相关工程实践资料；负责第4.2.3节“臭氧接触单元”中气泡扩散器、文丘里射流器、静态混合器等溶解装置的选型与应用经验提供；参与第5章中臭氧传质效率的工程数据支撑；协助开展意见征集工作。

8	四川大学	科研机构	负责国内同类国家标准、行业标准、地方标准梳理；负责国内外相关政策、法规、强制性文件收集与比对；负责第3章“缩略语”的定义准确性审核；参与第5.3.2节中温室气体排放计算方法的理论支撑（参照ISO 20468-2:2019）；协助开展意见征集工作。
9	同济大学	科研机构	负责国内同类国家标准、行业标准、地方标准梳理；参与第5章中药物和个人护理产品及其他新污染物去除效果的评价方法论证；参与附录B表B.6中痕量化学成分类别和示例化学品的学术审核与补充；协助开展意见征集工作。
10	福建龙净新陆科技发展有限公司	企业	负责国内同类国家标准、行业标准、地方标准梳理；负责第4.2.2节“臭氧发生单元”的技术参数与设备选型经验提供；负责附录D“臭氧生成控制方法”中臭氧发生浓度调节（功率输入控制、流速控制）的实践验证；协助开展意见征集工作。
11	交通运输部公路科学研究所	科研机构	提供公路交通领域水处理相关实践资料；参与标准技术适用性的论证工作；协助开展意见征集工作。
12	新疆准能化工有限公司	企业	提供化工行业水再利用臭氧处理领域的工程实践资料；参与标准技术指标的适用性分析工作；协助开展意见征集工作。

二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据

（一）国家标准编制依据与原则

依据：要依据《关于推进污水资源化利用的指导意见》《节约用水条例》《水污染防治行动计划》《关于加强非常规水源配置利用的指导意见》《国家节水行动方案》《城镇节水工作指南》《关于将非常规水源纳入水资源统一配置的指导意见》《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》等制度文件。

原则：本文件按照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》和GB/T 1.2—2020《标准化工作导则 第2部分：以ISO/IEC标准化文件为基础的标准

化文件起草规则》的规定起草。本标准应具有科学性、先进性、系统性和可行性，同时标准要具有普适性、操作性、规范性。

（二）调研分析

为科学转化 ISO 20468-3:2020 《Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 3: Ozone treatment technology》，使其符合我国水再利用系统臭氧处理技术绩效评价的实际需求，编制组针对我国水再利用领域臭氧处理技术的应用现状和绩效评价需求进行了调研梳理。

臭氧处理技术已广泛应用于我国城镇污水再生处理、工业废水回用、分散式污水处理等领域。根据调研，臭氧在水再利用系统中的主要应用场景包括：一是作为消毒单元，灭活水中病原微生物；二是作为高级氧化单元，去除水中药品和个人护理品等新污染物；三是作为脱色除臭单元，改善再生水感官指标。处理规模从数十吨/日到数十万吨/日不等，气源配置包括空气源和氧气源两种方式，接触方式涵盖气泡扩散、文丘里注入、静态混合等多种形式，不同工艺配置的处理效率和经济性差异显著。

编制组调研了 GB/T 37894-2019 《水处理用臭氧发生器技术要求》、GB 28232-2020 《臭氧消毒器卫生要求》、GB 50013-2018 《室外给水设计标准》等现行国家标准。经调研分析，上述标准聚焦臭氧发生器产品性能指标、卫生安全要求及饮用水处理中的

臭氧氧化设计参数，尚未覆盖水再利用系统中臭氧处理的全流程系统性能评价。现行标准体系缺少统一的臭氧处理技术绩效评价方法，行业面临评价口径不一、技术选型缺乏依据、运行维护缺乏规范指导等问题。

（三）主要内容说明

1.范围

本文件给出了水再利用系统中臭氧处理技术的系统构成、功能性绩效和非功能性绩效的指南，适用于水再利用系统中臭氧处理技术的性能评价。

本文件涵盖了臭氧水处理系统的系统构成（气源供应单元、臭氧发生单元、臭氧接触单元、尾气臭氧处理单元、臭氧监测系统）、功能性绩效评价（基于水质的绩效和基于工艺过程的绩效）和非功能性绩效评价（环境与经济因素、安全要求）等核心内容。评价中所采用的臭氧浓度监测方法、关键监测点设置和工艺参数计算，等同于水再利用系统臭氧处理技术在运行阶段产生的实际处理效果和运行效能。

本文件定义了臭氧发生量、臭氧投加量、臭氧传输量、传质效率等核心工艺参数的计算方法，并给出了基于上述指标的处理技术绩效评价方法，形成了完整的水再利用系统臭氧处理技术绩效评价逻辑。

2.规范性引用文件

本文件引用了多领域核心标准，构建了完整的技术支撑体系：
引用了术语类标准 ISO 20670: 2023 水再生利用 术语
(Water reuse — Vocabulary) 确保关键概念在行业内认知统一，
避免歧义。

3.术语和定义

条文 3.1 术语和定义

条文 3.1.1 环境臭氧浓度 (ambient ozone concentration)

术语定义结合 ISO 20468-3:2020 原文，并参考 GB/T 37894-2019 第 6.1.2 条关于臭氧发生器正常工作条件“环境温度不高于 45℃，相对湿度不高于 85%”等要求的描述中整理得到，定义为“臭氧处理设备周围环境空气中的臭氧浓度”，贴合臭氧处理系统安全监测场景。

条文 3.1.2 尾气残余臭氧浓度 (exhaust residual ozone concentration)

术语定义从 GB 50013-2018 第 9.10.4 条（强制性条文）“臭氧氧化系统中必须设置臭氧尾气消除装置”中整理得到，定义为“尾气处理装置出口处的臭氧浓度”，作为衡量尾气处理单元性能的关键指标。

条文 3.1.3 臭氧产量 (generated ozone amount)

术语定义等同采用 GB/T 37894-2019 第 3.1.9 条“臭氧发生器单位时间产生的臭氧量”，注明了常用单位为克每小时 (g/h)

或千克每小时（kg/h），与臭氧发生器产品标准术语保持统一。

条文 3.1.4 臭氧发生浓度（generated ozone concentration）

术语定义从 GB 50013-2018 第 12.2.2 条第 4 款“臭氧制备车间应检测……臭氧发生器产出的臭氧浓度、压力与流量”中整理得到，定义为“臭氧发生装置出口处气相中的臭氧浓度”，作为 M1 监测点的对应参数。

条文 3.1.5 尾气臭氧浓度（off-gas ozone concentration）

术语定义等同采用 GB 50013-2018 第 12.2.2 条第 4 款“臭氧接触池应检测尾气臭氧浓度和处理后的尾气臭氧浓度”，定义为“臭氧接触装置出口处的臭氧浓度”，与臭氧接触池运行监测术语保持一致。

条文 3.1.6 臭氧浓度（ozone concentration）

术语定义等同采用 GB 28232-2020 第 3.6 条“臭氧发生器产生的单位体积气体或水中所含臭氧质量”，注明了常用单位为毫克每立方米（mg/m³）或毫克每升（mg/L），为臭氧浓度监测的基础术语。

条文 3.1.7 臭氧浓度监测装置（ozone concentration monitor）

术语定义从 GB 50013-2018 第 9.10.29 条“臭氧尾气消除装置应包括尾气中臭氧浓度监测仪”中整理得到，定义为“能连续测量水中/空气中臭氧浓度的装置”，明确了监测装置的功能要求。

条文 3.1.8 臭氧需求量（ozone demand）

本术语来源于 ISO 20468-3:2020 的 3.1.8，定义为“氧化水中物质所消耗的臭氧量”，目前尚无直接对应的国内标准定义，作为臭氧投加量确定的基础参数。

条文 3.1.9 臭氧投加量 (ozone dose)

本术语参考 ISO 20468-3:2020 的 3.1.9，定义为“单位体积水中加入的臭氧质量”，注明了以质量-体积浓度单位 (g/m^3 或 mg/L) 表示，我国标准中也称为臭氧投入量。

条文 3.1.10 残余臭氧浓度 (residual ozone concentration)

术语定义结合 GB 28232-2020 第 3.6 条关于臭氧浓度的定义，以及该标准中“消毒后水中臭氧残留量应 $\leq 0.3\text{mg/L}$ ”等要求的描述整理得到，定义为“在给定接触时间后水中溶解臭氧浓度”，注明了常用单位为 mg/L ，作为衡量臭氧消毒效果的重要指标。

条文 3.1.11 臭氧传输量 (transferred ozone dose)

本术语来源于 ISO 20468-3:2020 的 3.1.11，定义为“传输进入单位体积水中的臭氧质量”，注明了以质量-体积浓度单位，单位为克每立方米 (g/m^3) 或毫克每升 (mg/L)，区别于“臭氧投加量”，强调臭氧从气相向液相的实际转移量。

条文 3.2 缩略语

本节汇总标准全文高频使用缩略语，同步标注中英文全称，统一全文缩写表述，减少文字重复，提升标准可读性。其中 CT（臭氧投加量与时间的乘积）为臭氧消毒效果评价的通用指标，

EPDM、FRP、PTFE、SS 为臭氧系统设备材料常用缩写，GHG、LOX、LRVs、UV 分别为温室气体、液氧、对数去除率、紫外线的标准化缩写，与 ISO、国内相关标准缩写规则保持一致，便于第三方评价机构、运营单位、监管人员统一识别使用。

4.系统构成

条文 4.1 概述

本条文作为第 4 章统领性条款，明确臭氧水处理系统由气源供应单元、臭氧发生单元、臭氧接触单元、尾气臭氧处理单元四个核心单元组成，根据水处理效率和性能需求可增加预处理和/或后处理。该条文还规定了砂滤作为典型预处理工艺用于去除悬浮态杂质，生物活性炭等后处理工艺用于去除未分解或由反应生成的残留颗粒物和溶解物质，为保持杀菌效果可补充消毒工艺（如氯消毒）。

条文 4.2 臭氧水处理系统

条文 4.2.1 气源供应单元

本条文明确气源供应单元为臭氧发生装置提供空气或氧气，空气气源直接使用压缩空气，氧气气源使用液氧（LOX）或通过氧气浓缩装置获得高浓度氧气。氧气浓缩装置通过选择性吸附去除空气中的氮气提高氧气浓度。该条文与 ISO 20468-3:2020 第 4.2.1 条保持一致。

条文 4.2.2 臭氧发生单元

本条文明确臭氧发生单元通常包括臭氧发生装置、电源和冷却装置，臭氧发生方法一般为电晕放电法。该条文与 ISO 20468-3:2020 第 4.2.2 条保持一致。

条文 4.2.3 臭氧接触单元

本条文明确臭氧接触单元包括臭氧溶解装置和臭氧接触装置，臭氧溶解装置将臭氧气体溶解于水，臭氧接触装置是溶解臭氧与目标物质反应的反应器。常用的溶解装置包括气泡扩散器、文丘里射流器、静态混合器、机械搅拌装置等，溶解方式的选择取决于安装空间、电费成本、臭氧传质效率、系统设计和臭氧发生方法等。该条文与 ISO 20468-3:2020 第 4.2.3 条保持一致，并结合我国工程实践对溶解装置类型进行了细化。

条文 4.2.4 尾气臭氧处理单元

本条文明确尾气残余臭氧会危害环境和人体健康，应将其转化为氧气后方可排放。尾气臭氧处理单元包括臭氧破坏装置和抽吸装置，臭氧破坏装置采用催化剂、加热或两者组合的方法。该条文与 ISO 20468-3:2020 第 4.2.4 条保持一致。

条文 4.2.5 臭氧监测

本条文明确可采用多种仪器监测臭氧浓度，规定了典型监测点布置如图 1 所示（M1 至 M5 监测点）。为了控制臭氧发生量和投加量，在系统关键位置监测臭氧发生浓度、残余臭氧浓度和尾气臭氧浓度。系统通过监测尾气残余臭氧浓度和环境臭氧浓度

保障运行安全。该条文与 ISO 20468-3:2020 第 4.2.5 条保持一致。。

5.绩效评价原则与通用指南

条文 5.1 一般情况

本条文作为第 5 章统领性条款，明确基于 ISO 20468-1:2018 的绩效评价原则和通用指南，本标准规定了两类绩效评价：功能性绩效和非功能性绩效。

条文 5.2 功能性绩效

条文 5.2.1 基本说明

本条文明确功能性绩效包括水质绩效和工艺绩效。水质绩效指标包括致病微生物去除效率及色度和臭味去除效率等，微生物去除效率采用对数去除率或残余微生物浓度进行评价，紫外线吸光度和紫外线透射率去除率可作为溶解有机碳去除效率的替代性评价指标。臭氧用于病原微生物灭活时，功能性绩效指标包括大肠杆菌、肠球菌、耐热大肠菌群和总大肠菌群的对数去除率或残余浓度。臭氧用于特定途径的水再利用时，功能性绩效指标包括药物和个人护理产品、色度和臭味等污染物的去除率。

臭氧投加量与时间的乘积(CT)法可用于评价臭氧处理效率。臭氧投加量宜适量，使得出水能达到目标水质并含有一定的残余臭氧浓度。臭氧投加量的设定，宜使得臭氧接触池的尾气臭氧浓度不为零，以便正确估算水中的臭氧传输量。工艺绩效包括核心单元（如臭氧发生单元和臭氧接触单元）绩效及可靠性和关键监

测位置臭氧浓度等。尾气臭氧处理单元的可靠性宜纳入非功能性绩效。

本条文来源于 ISO 20468-3:2020 第 5.2.1 条，结合我国水处理行业术语习惯进行了语言优化。

条文 5.2.2 绩效评价步骤

5.2.2.1 步骤 1——设定绩效目标

本条文明确臭氧处理可有效去除大肠杆菌、耐热大肠菌，并降低色度和臭味等，宜根据水再利用目的设定上述参数的水质绩效。针对景观环境利用，相关标准制定了再生水水质参数要求（示例见附录 B）。再生水水质参数要求宜采用 ISO 20761:2018（详见附录 A）。针对高暴露风险用途，宜重点关注病原体的对数去除率。针对特定的非饮用水用途[如 ISO 16075（所有部分）的农业灌溉]，宜关注其他相关水质参数。宜将臭氧运行参数作为工艺绩效指标，以保障系统运行和出水水质。

5.2.2.2 步骤 2——开展绩效评价

本条文明确水质绩效评价的主要内容是定期检测水质参数和关键位置的臭氧浓度，宜重点观测 M1 位置监测的臭氧发生浓度和 M3 位置监测的尾气臭氧浓度。

工艺绩效评价主要包括以下参数：

a) 臭氧发生量： 臭氧发生量 = 臭氧发生浓度 × 臭氧气流量。臭氧发生量宜大于臭氧需求量。

b) 臭氧投加量: $\text{臭氧投加量} = (\text{臭氧气流量} \times \text{臭氧发生浓度}) / \text{水流量}$ 。宜提供足够的臭氧投加量来达到目标出水水质。

c) 臭氧传输量: $\text{臭氧传输量} = \text{臭氧气流量} \times (\text{臭氧发生浓度} - \text{尾气臭氧浓度}) / \text{水流量}$ 。尾气臭氧浓度低于检出限时, 臭氧投加量等于臭氧传输量。

d) 传质效率: $\text{传质效率} = (\text{臭氧发生浓度} - \text{尾气臭氧浓度}) / \text{臭氧发生浓度} \times 100\%$ 。臭氧传质效率与溶解方法有关, 通常为 80%~100%。

5.2.2.3 步骤 3——绩效异常诊断

本条文明确工艺绩效或水质绩效低于目标时, 臭氧处理系统可能出现故障, 需要予以维护。故障包括臭氧发生量下降或传质效率下降等, 并分别规定了诊断和维护措施。

条文 5.3 非功能性绩效

条文 5.3.1 绩效特征

本条文明确非功能性绩效指标包括环境与经济指标和安全指标。

条文 5.3.2 环境与经济指标

本条文明确臭氧处理系统的环境与经济指标包括氧气和臭氧发生消耗的电量、臭氧传输消耗的电量、尾气臭氧破坏/处理单元消耗的电量以及氧气消耗量, 宜管理和优化上述指标以减少温室气体排放。

5.3.2.1 耗电量

本条文明确臭氧需求量与水中待处理物质负荷相关，根据水质负荷的年度波动计算年度臭氧需求量，并用于后续计算年度耗电量。基于臭氧需求量，计算各单元的耗电量以确定每日运行成本。

5.3.2.2 氧气消耗量

本条文明确氧气消耗量与臭氧发生浓度和臭氧需求量相关，分别计算各负荷下的氧气消耗量，再乘以相应的天数后求和，得出年度氧气消耗量。

条文 5.3.3 安全指标

本条文明确臭氧泄漏是最严重的故障，宜通过使用耐臭氧材料、设置安全保护和定期维护校准三个环节评价系统的安全性。使用耐臭氧材料要求评价处理设备中与臭氧气体和/或臭氧水接触的部件是否使用耐臭氧材料，如 304 不锈钢、316L 不锈钢、EPDM、PTFE 和 FRP 等（详见 JIS B 9946）。设置安全保护要求环境臭氧浓度超过一定水平时宜立即自动停止臭氧发生并向操作人员发出警报，测量尾气残余臭氧浓度（M4）和/或环境臭氧浓度（M5）评价尾气处理单元运行状态和臭氧泄漏情况。定期维护和校准要求制定并执行维护计划，保障维修备件，维护工作包括检查和校准臭氧水处理设备、臭氧监测仪和检测仪。。

6.资料性附录

附录 A（资料性）水再利用系统的典型处理技术及其作用

本附录为资料性附录，提供水再利用系统典型处理技术及其对各类水质参数（浊度/TSS、细菌、病毒、原生动物、电导率/TDS、色度、嗅味、持久性有机污染物）的提升效果对照表，方便臭氧处理技术与其他处理技术的对比参照。

附录 B（资料性）水再利用水质参数

本附录为资料性附录，列出了部分国家或地区对景观环境和其他用途的再生水水质参数要求，包括日本、印度、ISO 和美国 EPA 等标准示例。同时明确了“经处理后的再生水，如其水质优于某一用途的水质要求，则可将其用于该用途或其他水质要求更低的用途”的水质分级使用原则。

附录 C（资料性）臭氧浓度监测点

本附录为资料性附录，详细说明了图 1 所示 M1 至 M5 五个监测点的检测目标、装置、相态和备注。包括：M1（臭氧发生浓度，臭氧发生器，气相）、M2（残余臭氧浓度，臭氧接触装置，液相）、M3（尾气臭氧浓度，尾气臭氧处理装置，气相）、M4（尾气残余臭氧浓度，尾气臭氧处理装置，气相）、M5（环境臭氧浓度，周围所有装置，气相）。该附录与 ISO 20468-3:2020 附录 C 保持一致，并结合我国臭氧监测实践对部分描述进行了细化。

附录 D（资料性）臭氧生成控制方法

本附录为资料性附录，规定了两种控制方法：臭氧投加控制法（将臭氧投加量调节在恒定水平，通过调节臭氧发生浓度或气体流量控制臭氧投加量）和尾气臭氧浓度控制法（根据臭氧接触器尾气臭氧浓度调节臭氧投加量，尾气臭氧浓度宜控制在尽可能低的水平）。该附录与 ISO 20468-3:2020 附录 D 保持一致。。

三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

本标准修改采用 ISO 20468-3:2020，适用于各类水再利用臭氧处理设施，可为运营单位、设计机构、第三方评价机构、行业管理部门开展臭氧处理技术绩效核算、技术对标、绿色认证提供全面指导，实施后具备显著的经济效益、社会效益与生态效益。

技术经济论证： 本标准绩效评价依托臭氧处理系统现有水电气、药剂等常规计量数据和臭氧浓度监测数据，无需新增大型监测设备，配套资料性附录简化了操作，落地门槛低、兼容性强。经济层面，企业无需大额固定资产投资，仅产生少量人工核算成本，同时可依托标准精准识别臭氧发生量不足、传质效率低下等故障，指导节能降耗改造，统一评价口径还可减少行业重复核查、第三方评估的综合管理成本，技术与经济均具备落地可行性。

经济效益方面： 通过本标准开展臭氧处理技术绩效评价，可精准定位臭氧发生量不足、传质效率低下等运行问题，实施节能降耗改造以降低日常运维成本；标准统一性能评价要求，带动

高效臭氧发生设备、耐臭氧材料等细分产业发展，培育水务低碳新经济增长点；臭氧规模化应用替代化学消毒剂，还可减少化学药剂采购成本。

社会效益方面：本标准填补国内水再利用领域臭氧处理技术绩效评价标准空白，完善水再利用领域标准体系，为行业主管部门开展技术评价提供统一依据；统一评价规则实现不同类型臭氧处理设施公平横向对标；借助标准宣贯培训提升从业人员技术能力，促进臭氧处理技术在水再利用领域的规范化应用。

生态效益方面：以标准化技术绩效评价引导臭氧处理技术在水再利用领域的规范化应用，臭氧处理可有效去除水中难降解有机污染物和病原微生物，替代传统氯消毒减少消毒副产物排放；臭氧具有高效杀菌、无化学残留等优势，是绿色低碳水处理技术；同时，臭氧处理可深度去除水中药品和个人护理品等新污染物，保障再生水水质安全，为资源循环利用提供技术支持。

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

本文件等同采用 ISO 20468-3:2020 《Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 3: Ozone treatment technology》，是 ISO 20468 系列标准中专门针对臭氧处理技术的专项标准。该国际标准由 ISO/TC 282/SC 3（水再利用技术委员会 风险与绩效评价分技术

委员会)制定,是专门针对水再利用系统臭氧处理技术绩效评价的标准文件。

目前国际上尚无其他专门针对水再利用系统臭氧处理技术性能评价的标准文件。本标准的技术内容与国际标准保持一致。在转化过程中,对部分术语和表述进行了本地化调整,以适配我国再生水处理系统实际情况,贴合国内水再利用项目绩效评价实践。

五、以国际标准为基础的起草情况,以及是否合规引用或者采用国际国外标准,并说明未采用国际标准的原因

本文件等同采用 ISO 20468-3:2020,合规采用该国际标准。做了最小限度的编辑性改动:

第3章“术语、定义和缩略语”部分:更新了部分术语定义,增加了说明性注释,使其更符合我国标准编写习惯;

更新附录A中典型处理技术及目标成分/参数表格,适配我国水再利用领域技术分类习惯;

更新文中和参考文献中重要英文资料的最新信息,补充国内相关重要标准、报告和文献资料信息。

六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

与本标准密切相关的法律及政策文件有《中华人民共和国水法》《中华人民共和国水污染防治法》《节约用水条例》《关于推进污水资源化利用的指导意见》《水污染防治行动计划》《关

于加强非常规水源配置利用的指导意见》《国家节水行动方案》
《城镇节水工作指南》《关于将非常规水源纳入水资源统一配置的指导意见》《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》等。

本标准引用的国内标准包括：

GB 50013-2018 《室外给水设计标准》

GB/T 37894-2019 《水处理用臭氧发生器技术要求》

GB 28232-2020 《臭氧消毒器卫生要求》

GB/T 32107-2015 《臭氧处理循环冷却水技术规范》

本标准与有关的现行法律、法规和强制性国家标准无交叉、无矛盾、无冲突。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准遵循各方参与原则，制定时充分吸收了有关领域专家的意见，无重大分歧意见。

八、实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

本标准对水再利用项目运营单位、工程设计单位、第三方评价机构、节水与生态环境行业管理部门等主体开展臭氧处理技术绩效评价、项目管控等活动具有重要指导意义。建议标准发布后，针对标准的使用者进行培训和宣传。

本标准为新制定标准，不涉及对现行标准的废止或替代。建

议标准发布后三个月实施。

九、其他应说明的事项

本文件等同采用 ISO 20468-3:2020 《Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 3: Ozone treatment technology》（水再利用系统处理技术绩效评价指南 第3部分：臭氧处理技术）。做了最小限度的编辑性改动：

第3章“术语、定义和缩略语”部分：更新了部分术语定义，增加了说明性注释，使其更符合我国标准编写习惯；

更新附录 A 中典型处理技术及目标成分/参数表格，适配我国水再利用领域技术分类习惯；

更新文中和参考文献中重要英文资料的最新信息，补充国内相关重要标准、报告和文献资料信息。

《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第3部分：臭氧
处理技术》国家标准起草组

2026 年 7 月

国家标准《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第3部分：臭氧处理技术》（征求意见稿）

意见反馈表

姓名		电话		E-mail	
单位 (盖章)		通信 地址		邮编	
章条号	修改建议	修改理由 (请详细说明修改的依据)			

(篇幅不足，可续页)
请于 2026 年 8 月 31 日前返回 wwl20@sz.tsinghua.edu.cn。