



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX/ISO 20468-4:2021

水再利用系统处理技术绩效评价指南 第 4 部分：紫外线消毒

Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse
systems — Part 4: UV Disinfection

(ISO 20468-4:2021, 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 术语和定义及缩略语 1

4 目的与功能 3

 4.1 目的 3

 4.2 功能 3

5 系统构成 3

 5.1 概述 3

 5.2 紫外线装置 3

 5.3 进水水质监测设备 3

 5.4 流量计 4

 5.5 电源控制柜 4

6 功能性要求 4

 6.1 概述 4

 6.2 紫外线装置绩效评价 4

 6.3 紫外线处理系统绩效监测方法 4

 6.4 系统故障原因诊断 6

7 非功能性要求 6

 7.1 环境绩效 6

 7.2 安全 7

 7.3 系统经济性——全生命周期成本（LCC）评价 7

 7.4 可靠性与韧性 7

附录 A（资料性） 水再利用系统的主要处理技术与目标污染物 8

附录 B（资料性） 紫外线装置试验评价方法 9

附录 C（资料性） CFD-I 模拟联合试验评价方法 10

参考文献 14

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4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 20468-4:2021《水再利用系统处理技术绩效评价指南—第4部分：紫外线消毒》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 删除了3.1.8、3.1.9中国内不常用的术语；
- 图1、6.3.3增加了说明性的注；
- 资料性附录C.5删除了计算流体力学模拟使用的软件。

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（SAC/TC618）提出并归口。

本文件起草单位：清华大学深圳国际研究生院、四川大学、中国标准化研究院、清华苏州环境创新研究院、广东北控石犀科技股份有限公司、深圳市水务（集团）有限公司、清华大学、福建龙净新陆科技发展有限公司、佛山柯维光电股份有限公司、交通运输部公路科学研究所。

本文件主要起草人：吴乾元、杜烨、刘佳琳、胡洪营、阳重阳、邹启贤、赖波、王文龙、巫寅虎、陈卓、白雪、吴志军、徐傲、邓根明、李志平、何志明、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4部分：紫外线消毒》（ISO 20468-4:2021）规定了水再利用系统处理技术中紫外线消毒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 20468-4:2021，规定了我国水再利用系统紫外线消毒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4部分：紫外线消毒

1 范围

本文件给出了水再利用系统中紫外线消毒的系统构成、功能性与非功能性的指南。

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 术语和定义及缩略语

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。

国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）维护相关标准化的术语的数据库，信息如下：

——ISO 在线浏览平台 <https://www.iso.org/obp>

——IEC 电工百科 <http://www.electropedia.org/>

3.1.1

生物验证 **biodosimetry**

测量特定微生物在紫外线装置中的紫外线灭活当量剂量（3.1.7），并将结果与通过生物测定（通常为准平行光束法）确定的该微生物紫外线剂量-反应曲线进行比对的过程。

3.1.2

受试微生物 **challenge microorganisms**

用于生物验证（3.1.1）的微生物。

注：常用受试微生物包括噬菌体（MS2、Q β 、T1UV）以及枯草芽孢杆菌孢子。

3.1.3

计算流体力学-光强模拟 **computational fluid dynamics-intensity**

通过计算流体力学（CFD）与光学分析相结合，对紫外线单元进行建模的模拟方法。

3.1.4

灯保护组件 **lamp protection components**

包括灯保护套管、灯管或其他组件等保护光源的装置。

注：灯管保护套管——包裹并保护紫外线灯管的石英管或石英罩，其外表面直接与待处理水接触。

3.1.5

低压灯 **low pressure lamp**

工作时内部压力为0.13 Pa~1.3 Pa，输入电功率为0.5（W/cm）的汞蒸气灯。

注：输出基本为单频谱，波长253.7 nm。

3.1.6

中压灯 medium pressure lamp

工作时内部压力为13 kPa~1,300 kPa, 输入电功率为50 (W/cm)~300 (W/cm) 的汞蒸气灯。

注: 输出为多波长(宽频谱)光, 波长通常在200 nm~400 nm之间。

3.1.7

灭活当量剂量 reduction equivalent dose

通过生物验证(3.1.1)确定的给定装置的紫外线剂量。

注1: 见“紫外线剂量”(3.1.8)和“生物验证”(3.1.1)。

注2: 此处的紫外线剂量通过测量受试微生物在紫外线装置中照射后的灭活率, 并与平行光束试验确定的同种受试微生物紫外线剂量响应曲线比对得到。

3.1.8

紫外线剂量 ultraviolet dose

以紫外线强度(W/m²)的时间积分表示的紫外线能量。

注: 通常以mJ/cm²或J/m²表示。

3.1.9

紫外线强度 ultraviolet intensity

单位时间内与紫外线传播方向垂直的单位面积上接受到的紫外线能量。

注: 通常以W/m²或mW/cm²表示。

3.1.10

紫外线强度传感器 ultraviolet intensity sensor

用于测量紫外线强度(3.1.9)的紫外线辐照度计或辐射测量仪器。

3.1.11

紫外线透射率 ultraviolet transmittance

紫外线光谱中透过水、石英等材料的光子比例。

注1: 鼓励安装在线紫外线透射率传感器用于监测紫外线透射率。

注2: 宜明确紫外线透射率的测量波长[用百分数(%)表示], 光程通常为1 cm, 以超纯水(ISO 3696中的一级水或同等水质)为校准基准。

注3: 紫外线透射率(UVT)与紫外线吸光度(A)的关系(1 cm光程): %UVT=10^{-A}×100%。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AOPs: 高级氧化工艺(advanced oxidation processes)

BOD: 生化需氧量(biochemical oxygen demand)

CFD-I: 计算流体力学-光强模拟(computational fluid dynamics-intensity)

DNA: 脱氧核糖核酸(deoxyribonucleic acid)

E.coli: 大肠埃希氏菌(Escherichia coli)

LCC: 生命周期成本(life cycle cost)

PCD: 节圆直径(pitch circle diameter)

POPs: 持久性有机污染物(persistent organic pollutants)

RED: 灭活当量剂量(reduction equivalent dose)

RNA: 核糖核酸(ribonucleic acid)

TDS: 总溶解固体(total dissolved solids)

TSS: 总悬浮固体(total suspended solids)

UV: 紫外线 (ultraviolet)

UVT: 紫外线透射率 (ultraviolet transmittance)

4 目的与功能

4.1 目的

为进行水再利用,需要对经过二级或三级处理的污水进行消毒,必要时还可采用更深度的工艺进一步处理。经处理与消毒的出水可用于城镇、农业、工业,以及环境等各种用途。

4.2 功能

紫外线可有效杀灭细菌、原生动物、病毒等微生物(见附录A)。紫外线消毒主要通过微生物基因组吸收光子,导致DNA/RNA形成嘧啶二聚体,阻碍微生物自我复制使其丧失感染性。紫外线消毒无需投加化学药剂,几乎不生成副产物。

5 系统构成

5.1 概述

用于水再利用的紫外线消毒系统可由下列组件构成,根据消毒应用需求可配置多套同类组件。

- a) 紫外线装置;
- b) 进水水质监测设备;
- c) 流量计;
- d) 电源控制柜。

各组件的详细说明见5.2至5.5。

5.2 紫外线装置

紫外线装置主要包括辐照腔、光源、自动清洗系统、紫外线强度传感器。根据应用需求,一套紫外线装置可配置一个或多个紫外线强度传感器、一个或多个辐照腔与光源。按辐照腔结构形式,紫外线装置分为封闭式与敞开式。封闭式将紫外线灯管及套管置于密闭过流腔体内。敞开式将紫外线装置浸没于明渠或敞式腔体内,采用重力流并配备水位控制装置。紫外线系统也可采用非接触式设计,灯管悬挂在输送污水的透明管道外侧。

- a) 光源: 紫外线消毒光源应具备杀菌有效波长,通常为 253.7 nm 波长或 200 nm~385 nm 组合波长,可选类型包括低压汞灯、中压汞灯、准分子灯、脉冲氙灯、紫外线发光二极管等。光源应安装在灯保护组件内。
- b) 清洗系统: 清洗系统为电动、液压、气压或超声波等驱动的擦拭装置,可选形式包括: 机械擦拭器,例如毛刷、环刷等; 机械化学擦拭器,例如带清洗液腔室与擦拭环的装置。
- c) 紫外线强度传感器: 紫外线强度传感器用于测量紫外线辐照度,追踪辐照水平并判断是否达到设计剂量要求。
- d) 镇流器: 采用紫外线灯管作为光源时应配置镇流器,为灯管提供电能并转换为紫外线光子能量。

5.3 进水水质监测设备

可采用紫外线透射率监测仪向系统控制器传输数据,调节灯管功率以保证达到设计剂量。为核查进水水质是否偏离设计条件,宜配置紫外线透射率监测仪、浊度仪等水质监测设备。

5.4 流量计

紫外线装置宜配置流量计，用于确认装置在验证流量范围内运行。流量测量数据可传输至控制柜，用于光源控制、监测与运行，保障系统性能。宜根据水厂流量变化特性与安装条件选择流量测量方式。

5.5 电源控制柜

控制柜具备电源接入、供电、控制、监测、操作及光源与其他设备联动功能。

6 功能性要求

6.1 概述

针对进水转化为再生水的过程，处理技术的功能要求涵盖水质与水量参数。

紫外线处理系统的核心功能要求为持续提供充足紫外线剂量，使出水水质满足再利用目标要求。紫外线剂量为紫外线强度对时间的积分值。实现该目标需选用适宜紫外线强度的紫外线光源，并使再生水在辐照腔内停留预设时长。

实际设备中，受腔体形状、光源位置与数量等因素影响，辐照腔内辐照时间与紫外线强度分布不均；悬浮物、紫外线吸收组分等水质因素会降低紫外线透射率，影响紫外线剂量分布。宜综合考虑上述影响，确保流经辐照腔的水流持续获得不低于设计值的紫外线剂量。

本章给出设计阶段紫外线装置性能评价方法，以及运行阶段紫外线消毒系统性能监测方法。

6.2 紫外线装置绩效评价

宜对紫外线装置绩效开展评价，可采用附录B所述试验方法，附录C方法可作为备选方案。

注：放大比例依据相关法规，从不放大至允许特定比例放大不等。

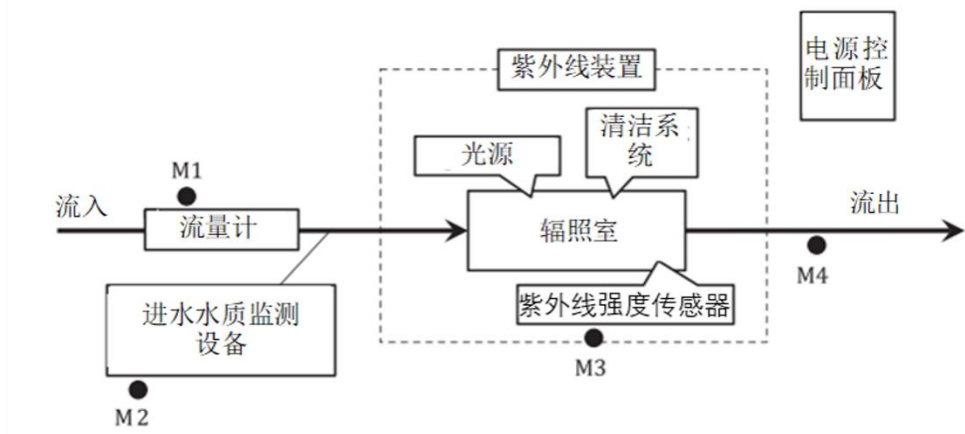
示例：

方法 I：附录 B（试验评价法）
I-1：采用受试微生物的试验测试
I-1-1：预实验
I-1-2：实际规模装置试验
I-2：确定 RED
方法 II：附录 C（CFD-I 模拟联合试验评价方法）
II-1：采用受试微生物对参比装置进行试验测试
II-2：紫外线光源辐照度测试
II-3：建立 CFD-I 模拟模型
II-4：确定目标装置的 RED

6.3 紫外线处理系统绩效监测方法

紫外线处理系统可自动运行，日常操作较其他消毒工艺简便。日常维护重点包括处理目标水量与水质监测、紫外线剂量监测。

图1给出了紫外线处理系统水流路径与系统监测点位。



标引序号说明：
M1、M2、M3、M4——监测点位

图1 紫外线消毒系统的典型配置和紫外线消毒系统的监测点

6.3.1 进水流量监测[M1]

为检查流经紫外线装置的水流量是否偏离设计流量，宜配备流量计作为辅助设备。流量计宜按制造商规定周期校准，确保正常工作。

示例：制造商建议的校准周期为每年一次。

6.3.2 进水水质控制[M2]

胶体颗粒、悬浮颗粒、色度和溶解性固体（尤其溶解性有机化合物）会吸收紫外线辐射，降低紫外线透射率，从而降低紫外线消毒效果。此外，水中若存在铁、锰、亚硫酸、亚硝酸和苯酚等紫外线吸收物质，也会降低紫外线透射率，从而影响处理效果。铁、钙、镁等成分易产生结垢，干扰紫外线辐照和强度。设计阶段宜评估上述组分对消毒的不利影响，制定运维清洗措施，降低或消除其影响。

宜定期监测上述水质参数。若处理目标水质不满足紫外线适用条件，应考虑暂停处理。

注：通常经预处理有效控制后，上述水质参数波动较小，但受预处理规模与性能影响可能出现显著波动。

6.3.3 紫外线辐照监测[M3]

紫外线装置评价阶段需确定最大流量、最低进水紫外线透射率条件下的最低紫外线辐照度。

日常运维中无法采用生物验证测定监测紫外线辐照，宜通过安装在辐照腔的在线紫外线强度传感器，将紫外线辐照度控制在设计范围。为维持适宜辐照度，宜监测下列项目并按需开展维护：

- a) 紫外线光源：监测光源累计使用时长，按制造商规定使用寿命（运行时间）或性能参数更换光源；
- b) 灯保护组件：灯保护组件表面附着污垢会降低入水紫外线剂量，可通过紫外线强度传感器信号监测套管污垢程度。多数紫外线系统配置低强度报警，提示组件污垢过量。但仅依赖传感器信号判断污垢程度不足，宜定期目视检查组件表面污垢（检查前关闭光源），并及时清洗。

可采用的清洗方式包括在线自动清洗及离线化学清洗；

示例：在线自动物理或化学清洗：详见 5.2 节该类自动清洗装置的相关技术要求；离线化学清洗：用柠檬酸和磷酸等酸性物质浸泡和/或清洗保护组件。

- c) 紫外线强度传感器保护玻璃：若紫外线强度传感器的保护玻璃窗格污染，会导致读数低于紫外线灯和套管的正常读数。宜经常清洗保护玻璃窗格；
- d) 紫外线强度传感器接收器老化：接收器长期受紫外线照射会老化，导致读数偏差，宜按制造商标明的周期校准或更换；

注：紫外线强度传感器校准。除紫外线装置自带的紫外线强度传感器外，还需配备标准紫外线强度传感器。定期使用标准紫外线强度传感器校准自带的紫外线强度传感器。对于标准紫外线强度传感器，需在制造商规定的时间内进行校准。

- e) 紫外线透射率：如果监测紫外线剂量的方法基于紫外线辐照度设定值法，需定期检查紫外线透射率是否低于设定的下限值。若采用的是计算剂量法，因剂量计算需要，需连续监测紫外线透射率。紫外线透射率可以通过水样测定，但由于水中的成分和浓度可能会对紫外线透射率产生干扰，宜安装在线紫外线透射率传感器，并利用该传感器验证紫外线透射率；
- f) 电源控制柜：灯管电源对温度敏感，多数系统控制柜配置通风或空调冷却。应定期清洁冷却风扇/空调排气口滤网，防止柜内灯管电源过热。

6.3.4 出水水质监测[M4]

宜监测出水中微生物浓度（如大肠杆菌等指示微生物），验证紫外线消毒效果。
可依据紫外线消毒绩效的各项具体指标，对比初始设计要求与长期实际运行绩效。

6.4 系统故障原因诊断

当系统一项或多项运行目标或水质要求未达到时，需判定紫外线消毒系统发生故障并采取相应措施。本节列举了紫外线消毒系统各类故障的处置示例。

- a) 紫外线强度降低：
 - 1) 检查光源老化或熄灭；
 - 2) 检查供电系统；
 - 3) 检查紫外线强度传感器工作状态，通过校准或与标准光源初始强度比对确认传感器老化；
 - 4) 检查灯保护组件污垢/结垢，污垢/结垢会降低清洗系统效果。
- b) 出水水质下降：
 - 1) 按 a) 核查紫外线辐照度；
 - 2) 检查进水紫外线透射率，若低于设计值，可临时暂停处理或降低流量以保障必要剂量，待水质恢复。
- c) 光源温度过高：为降低设备损坏的风险，需立即停机。
- d) 漏水。

以下情况可能会导致漏水警报。

 - a) 灯保护组件密封件破损；
 - b) 灯保护组件破损；
 - c) 冷凝水导致的误报。

7 非功能性要求

7.1 环境绩效

7.1.1 能效

符合水再利用系统绩效要求的紫外线装置需进行绩效评价，指标为单位处理水量电耗（ $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ）或单位电量处理水量（ $\text{m}^3/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ）。

7.1.2 药剂消耗

宜评价清洗所用化学药剂与水量消耗。

7.2 安全

在紫外线系统运行时，需注意以下安全事项，并采取必要的预防措施。

- a) 紫外线照射：在紫外线装置旁工作时，全程佩戴个人防护设备（手套、紫外线护目镜和长袖衬衫）；
- b) 用电安全；
- c) 高温灯管或设备造成灼伤；
- d) 灯管或套管破损造成的擦伤或割伤；
- e) 灯管破损可能导致汞暴露风险；
- f) 运动部件伤害。

7.3 系统经济性——全生命周期成本（LCC）评价

紫外线消毒系统的全生命周期成本（LCC）包括建设成本、运行成本和处置成本。

- a) 建设成本：包括紫外线消毒系统的工程建设费用、装置购置费用及配套管道、仪表和控制系统费用；
- b) 运行成本：包括系统运行所需的电费、光源更换费、清洗药剂费和人工费等；
- c) 处置成本：包括消耗品处置费用及设施拆除产生的废弃物处置费用。

为进行公正评价，宜使用按项目生命周期内处理水量确定的生命周期成本（即单位为“成本/ m^3 ”）。

7.4 可靠性与韧性

紫外线消毒系统的可靠性通过以下组件的正常运行予以保障。

- a) 流量计；
- b) 进水水质监测仪；
- c) 光源；
- d) 清洁系统；
- e) 紫外线强度传感器；
- f) 灯管电源。

其中，紫外线强度传感器的定期校准尤为重要。当紫外线强度传感器显示异常值时，宜检查包括传感器在内的上述所有组件的运行状态，对存在故障的组件进行修复或更换，以恢复紫外线消毒系统的正常功能。

此外，宜预先制定针对各类预设故障事件的应急预案，确保系统发生故障时能够快速恢复。当存在未达标再生水供给用户的风险时，应急预案中应包含及时通知再生水用户及相关主管部门的程序。

附 录 A
(资料性)

水再利用系统的主要处理技术与目标污染物

表A.1列出了水再利用系统去除BOD后的主要处理技术和目标污染物。表中总结了ISO 20468-1中所述的深度处理和消毒的典型技术，以及水再利用所需的相关功能。

表A.1 主要处理技术及目标污染物（BOD 去除后）

所需功能		分离	消毒			脱盐	氧化或其他		
		目标污染物							
技术类别		浊度或TSS	病原体			电导率或TDS	颜色	气味	POPs（持久性有机污染物）
			细菌	病毒	原生动物				
膜分离	微滤	√	√		√	—	—	—	—
	超滤	√	√	√	√				
	纳滤/反渗透	—	√	√	—	√	√	√	√
离子交换	树脂	—	—	—	—	√	√		
	膜	—	—	—	—	√			
蒸馏（制备用）		—		—	—	—			
臭氧		—	√	√	√	—	√	√	√
紫外线		—	√	√	√	—	—	—	—
高级氧化		—	√	√	√	—	√	√	√
（注）		典型监测指标 ^a			其他目标污染物				
注：“√”表示该处理技术的目标污染物；“—”表示非该处理技术的目标污染物									
^a 参考：ISO 20468—1。									

附录 B

(资料性)

紫外线装置试验评价方法

生物验证是紫外线消毒装置常用的试验评价方法，其流程概述如下。

该方法的详细规定可参见以下公共机构发布的标准：德国燃气与水工业协会(DVGW)技术规范W294、奥地利标准协会(ÖNORM) M 5873-1和M 5873-2、美国环境保护署(USEPA)相关指南、美国国家水研究所(NWRI)相关指南。

B.1 预实验

通常采用平行光束仪进行预试验，以确定受试微生物的紫外线剂量-响应关系。试验中，紫外线通过平行光管照射已知浓度的受试微生物样品，在规定照射时间后分析样品，得到不同紫外线剂量下的对数灭活率。

B.2 全规模测试

试验时，将受试微生物投加至紫外线消毒装置上游，在规定的流量、紫外线透过率、灯管状态及紫外线强度传感器测得的辐照度条件下，采集出水样品分析计算对数灭活率。全规模试验可在水处理厂现场进行，也可在第三方性能评价机构的实验室进行。

可使用在线紫外传感器监测UVT。

B.3 测定 RED

结合B.1与B.2试验结果，将规模化试验测得的受试微生物对数灭活率代入紫外线剂量响应方程，计算装置的RED值。

RED与下列因素特定相关：

- a) 实验测试中使用的受试微生物；
- b) 全规模装置测试期间的条件（流速、UVT、灯状态和紫外线强度传感器测得的紫外线辐照度）。

附录 C
(资料性)

CFD-I 模拟联合试验评价方法¹⁾

C.1 概述

本方法适用于采用与参照紫外线消毒装置相同设计理念制造的、设计流量更大的紫外线消毒装置的辐照性能评价，评价过程采用CFD-I模拟技术。

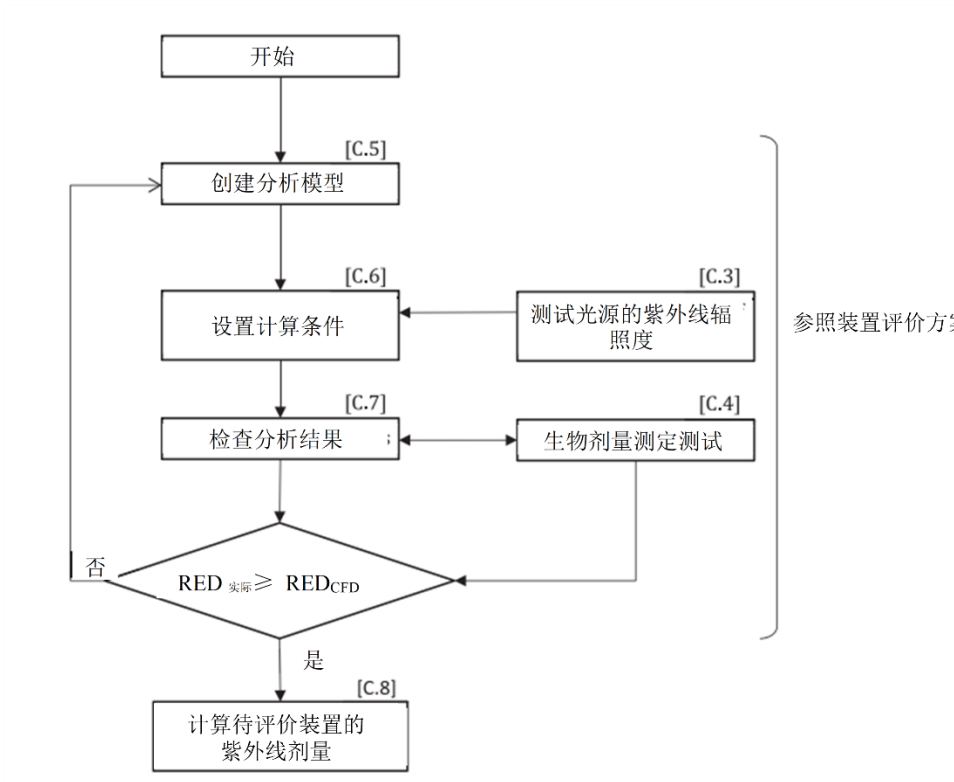
上述“相同设计理念”是指：

- a) 装置配有相同的光源或具有相同发射特性的光源；
- b) 辐照腔的结构、材料、监测及控制系统等采用相同的设计理念。

参照装置是指用于构建CFD-I模拟模型的装置，该模型用于计算待评价装置的紫外线剂量。参照装置应具有通过实际测量得到的已知RED。

C.2 评价程序

CFD-I模拟的评价程序如图C.1所示。



图C.1 CFD-I 模拟评价程序

C.3 灯管紫外线辐照度测试

1) 摘自“紫外线辐照设备技术检查标准”日本水研究中心（2012年）。

紫外线消毒装置所用灯管的辐照度测试方法如下。

- a) 石英辐照腔测试法：采用水温控制器将石英辐照腔的环境温度保持恒定，将待测紫外线灯管插入辐照腔，通过稳压器保持供电电压稳定并点亮灯管。待紫外线输出稳定后，在规定距离处采用紫外线辐照计²⁾或化学感光计测量紫外线辐照度。随后通过水温控制器改变石英辐照腔内的环境温度，测定不同水温下的紫外线辐照度。
- b) 空气测试温度修正法：在空气中通过稳压器保持供电电压稳定，点亮紫外线灯管并待其输出稳定后，在规定距离处采用紫外线辐照计²⁾或化学感光计测量紫外线辐照度，测量时辐照度应不低于规定值。为评价水温对紫外线灯管辐照度的相对影响，应采用带有紫外线辐照度测量石英窗的装置及水温控制器，测定不同水温下紫外线辐照度的相对变化。

示例：使用水温控制器将不锈钢辐照腔（装有石英玻璃窗格）内的温度维持恒定，将紫外线灯插入辐照腔，用稳压器将电源电压保持在恒定水平，在此条件下打开紫外线灯。紫外线灯稳定后，用紫外线辐照度计或插入辐照腔窗格的化学光量计测量紫外线辐照度。测量不锈钢消毒室中的水温随水温控制器变化时达到的紫外线辐照度，从而确定不同水温下紫外线辐照度的相对变化。

C.4 参照装置生物验证试验

按规定试验方法计算参照紫外线装置灭活当量剂量（RED_{实际}）。

C.5 参照装置分析模型建立

采用经试验充分验证的分析软件，建立准确反映参照装置外形尺寸与内部构件的模型。形状输入参数示例见表C.1。

表C.1 形状输入参数示例

类别	项目		符号	单位
紫外线辐照腔的形状和尺寸	内径		D_R	mm
	有效长度		L_R	mm
喷嘴的形状和尺寸	接合类型		U、L、S等类型	
	进口喷嘴内径		D_I	mm
	进口喷嘴长度		L_{NI}	mm
	出口喷嘴内径		D_o	mm
	出口喷嘴长度		L_{No}	mm
套管尺寸和套管数量	外径		d_s	mm
	厚度		t_s	mm
	有效长度		L_s	mm
	套管数量		N_s	件数
	阵列直径		PCD	mm
刮水器的形状和尺寸	内径		d_{wi}	mm
	外径		d_{wo}	mm
	高度		h_w	mm
刮水器支架的形状和尺寸	各零件的输入尺寸			mm
刮水器驱动轴的形状和尺寸	外径		d_{ed}	mm
	有效长度		L_{ed}	mm
	水平横截面坐标	x轴方向	X_d	mm
		y轴方向	Y_d	mm
刮水器驱动导向的形状和尺寸（如提供）	外径		d_g	mm
	有效长度		L_g	mm
	水平横截面坐标	x轴方向	X_g	mm

2) 紫外线辐照度计：应使用权威机构制定的国家标准校准合格的辐照度计。

	y轴方向	Y_g	mm
辐照腔中突出部分的尺寸和形状	各零件的输入尺寸		
	总数	M_n	件数
网格条件	标准尺寸	M_{std}	mm
	最大尺寸	M_{max}	mm
	最小尺寸	M_{min}	mm
注：网格创建注意事项：在内部构件附近创建更细的网格，使多边形接近圆形。无法为最小网格尺寸和网格数量制定统一标准值，因为二者的最优值需根据辐照水箱的具体形状视情况确定。因此，应根据内部结构件的尺寸，判断其附近区域的网格是否足够细密。			

C.6 计算条件设定

需按照表C.2设置合理的计算条件，包括湍流模型、辐照度分布计算方法、辐照条件、流动条件、水质条件及紫外线剂量计算方法等。

表C.2 计算条件项

条件项	标准条件			注
湍流模型条件	k- ε 模型			如果使用了不同的模型，说明选择的原因
辐照强度分布计算方法	点光源求和法	漫射光模型	标准	
		透明光模型	使用校正公式进行校正	
		半径光模型	使用校正公式进行校正	
辐照条件（灯、套管）	紫外线输出		W/灯	
	a) 253.7 nm的低压灯			
	b) 中压灯输出分布范围200 nm～300 nm			
	紫外线灯数量		件数	额定操作的灯数量
	紫外线灯的外径	d	mm	
	有效紫外线发射长度	L_g	mm	
	253.7 nm波长处的套管透射率	T_s	%	
	辐照腔中的反射率	f_{H}		
	考虑内部构件产生的阴影。			
流动条件	流速	Q	m ³ /h	实验流速
水质条件	水温	T_w	℃	实验水温
	253.7 nm波长处的透射率	UVT	%	95%或以下
紫外线剂量（辐射剂量）计算方法	颗粒迹线法	粒度	μ m	例如，1 μ m或更小（影响小）
		颗粒数量	件数	100个或更多
	标量积分法			使用出口喷嘴前横截面的积分值

C.7 分析结果评价

基于C.5中创建的模型以及C.3和C.6中测量和设定的计算条件，开展CFD-I分析。根据分析结果，通过以下公式（C.1）计算CFD-I的RED值（RED_{CFD}）：

$$RED_{CFD} = -D_0 \ln \left(\sum_{i=1}^n P_i e^{-\frac{D_i}{D_0}} \right) \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

D_0 ——紫外线剂量（辐射剂量），单位为毫焦每平方米（mJ/cm²）—C.4中使用的值；

D_i ——通过CFD-I计算获得的第*i*个粒子的紫外线剂量，单位为毫焦每平方米（mJ/cm²）；

P_i ——第*i*个粒子的剂量分布概率；

i ——粒子编号；

n ——粒子总数。

将模拟得出的 RED_{CFD} 与实测得出的 $RED_{实际}$ 进行比较。若 $RED_{实际} \geq RED_{CFD}$ ，判定所建立的CFD-I分析模型有效，可用于待评价装置的紫外线辐照性能评价。

C.8 目标装置紫外线剂量计算

采用C.7步骤验证有效的CFD-I分析模型，评价待评价装置的紫外线辐照性能。模拟过程中，需考虑表C.3所列因素对紫外线辐照度进行修正，避免评价结果偏高。

表C.3 影响紫外辐照度的可能因素

f_I	紫外线强度比	试验用灯管的实际紫外线辐照度 $I_{实际}$ 与评价对象设备中安装灯管的紫外线辐照度设计值 $I_{设计}$ 之比（ $I_{实际}/I_{设计}$ ）
f_L	紫外线辐照度维持系数	指由生产企业确定的、对应灯管使用时间的紫外线辐照度维持系数。应同时注明该维持系数所对应的使用时间
f	灯管保护组件的紫外线透射率	若灯管保护组件表面覆有树脂膜，应注明覆膜后保护组件的紫外线透射比
f_o	灯管保护组件透射比衰减系数	水流通过后受污染的灯管保护组件的紫外线透射比与水流通过前初始紫外线透射比之比。 若评价对象设备配备灯管保护组件自动清洗装置，取值为0.95；否则取值为0.8
f_T	水温影响系数	指10℃～30℃温度范围内，波动的紫外线辐照度的最小值与最大值之比
f_H	辐照腔反射率影响系数	指辐照室内壁及其他部位的紫外线反射材料的反射效果降至最低时的紫外线剂量衰减比
f_A	其他因素	若考虑其他影响因素，应予以注明

参 考 文 献

- [1] ISO16075-5: 2021, Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects —Part 5: Treated wastewater disinfection and equivalent treatments
- [2] ISO 3696:1987, Water for analytical laboratory use — Specification and test methods
- [3] Technical examination standard for UV irradiation equipment, Japan Water Research Center (2012)
- [4] Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule, USEPA (2006)
- [5] “Ultraviolet Disinfection” Guidelines for Drinking Water and Water Reuse 3rd Edition, NWRI (2012)
- [6] ISO 20468 (all parts), — Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems
- [7] ONORM M 5873-1: 2019, Units for the disinfection of water using ultraviolet radiation —Part 1: Requirements and testing of units equipped with UV low pressure lamps, Austrian Standards International
- [8] ÖNORM M 5873-2:2003, Plants for the disinfection of water using ultraviolet radiation — Requirements and testing Part 2: Medium pressure mercury lamp plants, Austrian Standards Institute
- [9] CABAJ A., SOMMER R., SCHOENEN D., Biodosimetry: model calculations for u.v.water disinfection devices with regard to dose distributions, Wat.Res.Vol.30, No.4, pp.1003-1009 (1996)
- [10] SCHMALWIESER A.W., HIRSCHMANN G., CABAJ A., SOMMER R., Method to determine the power efficiency of UV disinfection plants and its application to low pressure plants for drinking water. Water Science and Technology: Water Supply, Vol.17,4,pp.947-957 (2016) .
- [11] Verification Protocol for Secondary Effluent and Water Reuse Disinfection Applications, NSF International (2002)
-

《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第 4 部分：紫外线消毒》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

水是人类赖以生存和发展的重要资源。中国是一个水资源大国，淡水资源总量名列世界第四，但是由于人口众多，人均水资源占有量只有 2100 m³ 仅为世界平均水平的 28%，是全球人均水资源最缺乏的国家之一。而且随着人口日益增长和以及污染日益严重，水环境污染引起的“水质型”缺水，更加剧了水资源的短缺。

水再利用是解决我国水资源短缺和水环境污染的重要途径。随着我国水环境治理和水生态修复的要求不断提高，污水深度处理和再利用的技术需求和市场需求持续增加。水再利用的基本前提是水质安全保障，但是污水中含有浓度较高、组分复杂的各类污染物，具有环境风险和健康风险，需经合适的水处理净化，以达到使用要求。污水经过二级处理后水质已经得到明显改善，但是其中含有大量病原微生物，这些微生物一旦与人接触容易感染人并引起各类疾病。消毒是控制水中病原(指示)微生物的关键，常用于污水深度处理的最后环节。常见的污水消毒技术包括氯消毒、臭氧消毒、紫外线消毒等。

紫外线(UV)处理技术广泛用于水再利用系统中的消毒处理。

紫外线通过照射水中微生物（细菌、病毒、寄生虫等），破坏其核酸等遗传物质，达到消毒效果。与化学消毒处理技术相比，紫外线消毒具有无化学药剂添加、无二次污染、不产生有害副产物等优点。近年来，随着微生物控制需求不断提高和紫外线光源及反应器发展，紫外线消毒在我国水再利用消毒中的应用越来越广泛，包括市政杂用、景观环境利用等。未来，随着我国产业升级和环保要求提高，紫外线消毒的需求将持续增加，为推动生态友好型社会构建和产业可持续发展提供重要支撑。

然而，我国目前暂无针对紫外线消毒绩效评价的相关标准。现有的相关标准在设备制造、工程设计、安装验收等环节形成一定支撑，但均未针对设施投入运行后的综合绩效评价形成系统方法。现有标准缺少运行效果验证、剂量实时监测、生物灭活效能评估、环境绩效、系统可靠性、生命周期成本等一体化评价体系，无法满足再生水紫外线消毒设施投运后常态化绩效评价、运行优化与精细化管理需求，水再利用紫外线消毒综合绩效评价标准仍属空白。

本标准编制的目的与意义。一是建立统一的绩效评价基准。全国再生水紫外线消毒规模越来越大，但缺乏统一的绩效评价标准，导致设备选型困难、商业利益主导技术评价、监管缺失。本标准可以提供一套被广泛认可的方法用于客观评估紫外线处理技术的绩效。传统紫外线消毒效果依赖经验判断，缺乏量化标准。

本标准明确定义紫外线灭活当量剂量的测量方法。通过生物验证，将微生物灭活效果与紫外线剂量直接关联，避免仅凭设备参数推断效果的误差；二是确保紫外线系统运行可靠性。本标准不仅仅关注紫外线设备出厂时的状态，更强调运行中的持续监控。提供了明确的故障诊断逻辑（如 UV 强度下降、水质恶化、漏水等），帮助运维人员快速定位问题（如灯管老化、套管结垢、传感器故障）。要求监控进水水质（UVT、浊度）、流量、UV 强度等关键参数，解决了再生水水质波动大导致消毒失效的难题，确保系统在最差工况下也能达标；三是助力水再利用行业降本增效，推动绿色消毒技术。标准引入了 LCC 概念，要求评估资本成本、运行成本（电费、灯管更换、清洗药剂）和处置成本，引导用户选择不仅“买得起”，而且“用得起”的高效节能设备，避免了“低价中标、高价运行”的陷阱。此外相比化学消毒，UV 技术不产生消毒副产物。该标准的推广进一步巩固了紫外线消毒在绿色水处理中的地位，减少了对环境的二次污染。

综上，将 ISO 20468-4: 2021 等同转化为国家标准，能够填补这一标准体系缺失环节，为再生水厂紫外线消毒设施的绩效验证、运行评价及优化管理提供统一的科学依据，确保紫外线消毒技术在剂量控制、穿透率监测和生物灭活效果等关键指标上的运行可靠性与安全性，助力水再利用行业精细化管理和降本增效。

为了使我国广大企业更好地与国际接轨，更好地采用和发展

水再利用技术，需及时将 ISO 20468-4: 2021 Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 4: UV Disinfection 转化为我国国家标准，从而更好地应用于水再利用。

本标准由全国水再利用标准化技术委员会（SAC/TC618）提出并归口，列入了国家标准化管理委员会 2025 年第十一批推荐性国家标准计划，项目编号为 20256288-T-469。由清华大学深圳国际研究生院、清华大学、四川大学、中国标准化研究院、清华苏州环境创新研究院、广东北控石犀科技股份有限公司、深圳市水务（集团）有限公司、福建龙净新陆科技发展有限公司、佛山柯维光电股份有限公司、交通运输部公路科学研究所等有关单位的专家共同转化起草。

标准立项信息如下：

项目编号：20256288-T-469

项目名称：水再利用系统处理技术绩效评价指南—第 4 部分：紫外线消毒

制、修订：制定

主管部门：国家标准委

归口单位：全国水再利用标准化技术委员会（SAC/TC618）

起草单位：清华大学深圳国际研究生院、四川大学、中国标准化研究院、清华苏州环境创新研究院、广东北控石犀科技股份

有限公司、深圳市水务（集团）有限公司、清华大学、福建龙净新陆科技发展有限公司、佛山柯维光电股份有限公司、交通运输部公路科学研究所。

（二）再生水紫外线消毒现状

1. 再生水紫外线工艺应用规模

紫外线在消毒领域的应用已经非常成熟，不仅广泛应用于空气和物体表面的消毒，还用于污水的消毒。据统计，紫外线技术在全球再生水项目中的采用率已远高于氯消毒等传统方法。这一增长趋势主要源于紫外线消毒技术对隐孢子虫、贾第鞭毛虫等耐氯病原体的高效灭活能力，以及其不产生消毒副产物（如三卤甲烷）的环保优势。紫外线消毒技术作为一种绿色消毒技术在欧美发达国家应用近百年，并在 2000 年左右引入我国。随着紫外线技术的发展及我国对污水消毒后再生利用需求的增加，国内越来越多的污水处理厂采用紫外线消毒工艺。

据统计，全国采用不同消毒工艺的污水处理厂数量占比从高到低排序为：紫外线消毒（46.8%）、石灰消毒（19.1%）、二氧化氯消毒（17.8%）、次氯酸钠消毒（9.1%）、液氯消毒（3.4%）、臭氧消毒（1.9%）和组合消毒（1.8%）。其中，采用紫外线消毒的污水处理厂数量远高于采用其他工艺的污水处理厂，占比高达 46.8%。

根据处理能力统计，全国不同消毒工艺的处理能力占比由大

到小排序为：紫外线消毒（53.5%）、二氧化氯消毒（18.5%）、次氯酸钠消毒（9.2%）、液氯消毒（8.8%）、石灰消毒（6.9%）、臭氧消毒（1.9%）和组合消毒（1.2%）。其中，紫外线消毒工艺的处理能力远高于其他消毒工艺，处理能力占 53.5%。这意味着我国多半以上的城镇人口受益于紫外线消毒这一环境友好型水处理技术。

2. 再生水紫外线消毒影响因素

影响紫外线消毒效果的因素主要包括紫外照射系统、污水的性质及微生物特性等。

（1）紫外线照射系统

紫外线照射系统的设计直接影响消毒效率和运行稳定性。

紫外线剂量（即紫外线强度和照射时间的乘积）是紫外线消毒系统设计的重要参数，也是影响紫外线消毒效果的一个主要因素。一般来说，紫外线剂量越大，对微生物的灭活性越好。但是考虑到工程应用，紫外线剂量有一定的限制，否则不能经济地杀灭微生物。系统中微生物失活的程度取决于微生物吸收收到的紫外线剂量，而吸收到的剂量与紫外线强度及微生物在紫外线中的暴露时间有关。紫外线的强度取决于紫外线输出功率、紫外线灯源发出有效波长的能量转换率和紫外线弧长等。

紫外线照射方式影响消毒效果。照射方式分为水下照射和水面照射。水下照射时水和灯直接接触，灭菌效果相对于紫外灯在

水面上照射好。目前多采用水下照射式。

此外，灯管排列方式和反应器结构也会影响紫外线消毒效果。明渠式紫外线消毒系统将多个独立的紫外灯模块安装在开放的明渠中，水流依靠重力自然流过消毒装置。明渠式系统的优势在于安装便捷、成本低，但存在水力条件不稳定、紫外线剂量分布不均等问题。封闭式紫外线消毒系统通过管道约束流态，确保了紫外线剂量分布的均匀性。封闭式系统特别适合处理流量波动较大或水质较差的再生水，能提供更稳定的消毒效果。

石英套管的透光率和结垢情况是影响紫外线消毒效果的另一重要因素。高纯度石英套管的透光率 $\geq 90\%$ ，但在实际运行中，石英套管表面会因水中悬浮物和微生物附着而结垢，导致透光率下降。因此，再生水紫外线消毒系统通常配备自动清洗装置（如机械刷洗、高压喷淋等），以保持石英套管的透光率。

（2）污水的性质

污水与饮用水最大的区别之一，即污水中颗粒物含量相对较高、浊度较大，污水中含有较为复杂的影响紫外线穿透率的物质存在。悬浮颗粒吸收并分散了紫外线能量，降低微生物可吸收到的紫外线剂量；另一方面，微生物隐藏在颗粒中受到保护，避免受到紫外线破坏。吸收紫外线或阻挡紫外线物质的存在，会导致紫外线穿透率（UVT）降低，从而减少到达微生物表面的紫外线强度。一般来说，UVT 越低，消毒效果越差。影响 UVT 大小的因

素有很多，例如污水中悬浮物含量、有机物含量、微生物负荷等。此外，若进水中含有大量的铁、钙、镁等成分，其氧化物沉淀极易附着在石英套管表面，形成难以清除的锈垢，严重阻碍紫外线辐射。

根据国外的文献报道以及几千座污水处理厂的运行经验可知，如果处理后污水/再生水的 $SS \leq 30 \text{ mg/L}$ （即国家二级排放标准），采用紫外线消毒可使大肠菌群控制在 10000 个/L 以下，若 $SS \leq 10 \text{ mg/L}$ ，则可有效控制在 1000 个/L 以下。为了达到较好的紫外线消毒效果，需对 SS 有一定的规定。加拿大专家推荐 SS 不宜超过 20 mg/L。美国规定了确保一定卫生学指标所需紫外线消毒前的水质要求，其中要求 SS 的浓度低于 10 mg/L，浊度应低于 5 NTU。

（3）微生物特性

污水中细菌、病毒的种类繁多，且对紫外线的抗性不同，对于不同类型的污水/再生水，呈现出不同的消毒效果。微生物的种类、微生物浓度等因素均会影响紫外线消毒效果。

从微生物种类看，有些微生物对于紫外线比较敏感，灭活率较高，如粪大肠菌。相比之下，病毒（如流感病毒、冠状病毒）需要更高的剂量（30-60 mJ/cm^2 ），而细菌芽孢（如炭疽芽孢）和某些耐药病毒可能需要超过 100 mJ/cm^2 的剂量才能有效灭活。

微生物浓度也是影响紫外线消毒效率的一大因素，较高的微

生物浓度必然要求更高的紫外线剂量。且微生物浓度高的情况下，微生物易形成菌胶团，紫外线难以到达菌胶团内部微生物，造成消毒效果不稳定。

3. 紫外线消毒效果评价方法现状

紫外线消毒效果的评价方法主要包括生物验证和模型法。

(1) 生物验证

生物验证是各国标准规定的紫外线消毒设备灭活当量剂量（RED）测定方法，同时也是国际公认的有效剂量验证方法。生物验证通常在专业的测试场地，测定特定工况（如流量，紫外灯功率）及环境条件下（如水温）紫外线消毒设备对单一受试微生物的 RED。首先，在实验室通配制受试微生物悬液，在平行光束仪下测定受试微生物的这种紫外线剂量-灭活率曲线；其次，在测试现场的不同工况和环境条件下测定紫外线消毒设备进水与出水中微生物浓度；最后，计算不同工况和环境条件下的灭活率，与准平行光束仪下测定受试微生物的紫外线剂量-灭活率曲线对比后得到紫外线消毒设备的 RED。

尽管生物验证目前已经广泛应用于当前的 RED 测定，但仍具有一定的局限性。首先，生物验证通常由第三方在专业测试场地进行，测试专业性强，测试费用较高；其次，测试专业场地与实际消毒设备的安装地点存在出入，不同的测试环境（水温、环境温/湿度）导致测试结果与实际有所误差；再者，生物验证只

能给出反应器 RED 值，无法提供紫外线反应器的剂量分布，也无法进行现场长期监测物理参数法主要通过测量紫外线剂量来评估消毒效果。受试微生物的选择直接影响消毒效果的评估。通常来说，用于生物验证的受试微生物本身不应该对目标系统产生生物风险，在理想情况下，受试微生物应具有与目标致病微生物相同或更强的抗性，且易于培养，便于测定。当前常见的受试微生物有噬菌体 MS2、枯草芽孢杆菌孢子、大肠杆菌等。

（2）模型法

计算流体力学（CFD）模型模拟法能够模拟消毒器内部的流场、光场和病原微生物的运动轨迹，可用于计算紫外线消毒器的 RED 值。CFD 软件内嵌有相应的流态子模型、辐射子模型、离散相子模型，每个子模型包含多种选项，根据模拟对象的结构和特点选择合适的子模型，可对反应器内水流流态、紫外线强度分布以及粒子运动进行准确模拟。紫外线消毒器的 CFD 模拟过程大致可以分为以下 4 个步骤：1) 建立消毒器几何模型并划分空间网格；2) 选择合适的湍流模型。工程模拟中常用的湍流模型有标准 $k-\varepsilon$ 型、重整化群 $k-\varepsilon$ 型、可实现 $k-\varepsilon$ 型、雷诺应力模型等，设定入口与出口的边界条件，运行模型至收敛；3) 选择合适的紫外线辐射模型，常用的紫外线强度分布模型有多点源假设模型（MPSS）、多柱源假设模型（MSSS）、线光源积分模型（LSI）、径向线光源积分模型（RAD-LSI）和离散相辐射模型（DO），

设定光源、消毒器内壁等与辐射相关的边界条件，运行模型至收敛；4) 打开离散相模型，设定模拟微粒的投加方式，激活拉格朗日随机行走算法，模拟消毒器内微生物的运动轨迹。对每个模拟微粒沿程进行辐射强度的时间积分，从而计算得到各模拟微粒接受到的紫外线剂量与 RED 值。

相对于实际测试，模型模拟具有应用灵活、工作量小、成本/时间相对较低等优势。如前所述，模型模拟的主要问题在于输入参数必须依赖于厂家给定或经验数值。此外，模型（光场和流场）准确性、模型计算时间等方面仍需相关研究予以完善。作为一种相对低成本、高自由度的工具，模型法广泛应用于反应器的优化设计和初步评估。

生物验证是测量 RED 值的传统和标准方法，结果直观且易于理解，但成本与工作量大，需要在有资质的第三方实验室进行。模型模拟法不需要实验场地，同时成本低，工作量小，但模型关键输入参数只能为标称值（如灯效、套管紫外线穿透率等）而非实际值，计算结果需其他方法辅以修正。

4. 现有紫外线消毒相关标准

我国现有再生水紫外线消毒相关标准已在设备性能、工程设计、剂量测试、特定场景应用等方面形成技术支撑，覆盖设备制造、工程设计、安装验收等关键环节。

（1）设备本体技术性能要求

以《城镇给排水紫外线消毒设备》GB/T 19837-2019、《环境保护产品技术要求 紫外线消毒装置》HJ 2522-2012 为代表，聚焦设备本体技术性能，明确紫外线消毒设备的结构、规格、处理能力、材料耐腐蚀、电气安全等基础指标，规定设备运行稳定性、可靠性、水处理效果等核心要求，为消毒设备生产制造提供统一技术依据。

（2）设备卫生安全要求

以《紫外线消毒器卫生要求》GB 28235-2020 为核心，侧重设备卫生安全指标，明确紫外线消毒设备在材料卫生、消毒卫生效果、使用安全等方面的强制要求，保障再生水经紫外线消毒后满足卫生安全标准，适用于市政回用、工业用水等场景的卫生管控。

（3）工程设计剂量参数要求

以《室外给水设计标准》GB 50013-2018 为依据，针对工程设计阶段作出剂量参数规定，明确紫外线消毒系统在给水与再生水处理工程中的设计原则、紫外线剂量计算、反应器选型、系统配置等技术要求，指导再生水紫外线消毒设施的工程化设计与布局。

（4）紫外线剂量测试方法要求

以《紫外线水消毒设备 紫外线剂量测试方法》GB/T 32091-2015 为支撑，提供紫外线剂量测试统一技术方法，规定

测试原理、仪器设备、测试步骤、结果计算与判定规则，为再生水紫外线消毒系统的剂量校准、效果验证提供标准化检测手段。

（5）特定场景专项技术规范

以《城镇给水紫外线高级氧化系统》T/CAMIE 01-2021、《降解电子级水总有机碳紫外线系统技术规程》T/CAMIE 15-2023 为补充，针对特定应用场景提出专项技术规范，明确高级氧化、电子级水处理等专用紫外线系统的设计、施工、运行、验收要求，覆盖细分领域的消毒与处理需求。

上述标准并没有明确规范紫外线消毒绩效评价，缺少运行效果验证、剂量实时监测、生物灭活效能评估等一体化评价体系。无法满足再生水紫外线消毒设施投运后常态化绩效评价、运行优化与精细化管理需求，水再利用紫外线消毒综合绩效评价标准仍属空白。

（三）标准编制过程

1. 预研阶段

2025年9月-10月，清华大学深圳国际研究生院、四川大学、中国标准化研究院、清华苏州环境创新研究院等通过资料梳理分析、调研等方式开展相关研究论证，成立编制组，按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文12件的结构和起草规则》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。

3. 标准起草阶段

2026 年 1 月至 2026 年 4 月，编制组根据前期调研情况，结合专家意见，完成标准初稿修改编制工作。

（四）主要起草人员、起草单位及其所做的工作

主要起草单位：清华大学深圳国际研究生院、四川大学、中国标准化研究院、清华苏州环境创新研究院、广东北控石犀科技股份有限公司、深圳市水务（集团）有限公司、清华大学、福建龙净新陆科技发展有限公司、佛山柯维光电股份有限公司、交通运输部公路科学研究所。

主要起草人：吴乾元、杜烨、刘佳琳、胡洪营、阳重阳、邹启贤、赖波、王文龙、巫寅虎、陈卓、白雪、吴志军、徐傲、邓根明、李志平、何志明、曹戈、赵激。

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，各单位具体工作如下：

清华大学深圳国际研究生院：1. 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；2. 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；3. 负责意见征集、汇总处理及标准修改完善工作；4. 牵头编制标准编制说明、意见

汇总处理表等相关材料；5. 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；6. 负责标准报批相关材料的整理、报送工作。

四川大学：1. 协助牵头单位开展国际标准内容转化工作；2. 负责标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 参与标准技术指标的论证及适用性分析工作。

中国标准化研究院：1. 负责国内同类国家标准、行业标准、地方标准梳理；2. 负责国内外相关政策、法规、强制性文件收集与比对；3. 协助开展意见征集工作，反馈相关单位意见。

清华苏州环境创新研究院：1. 负责国内同类国家标准、行业标准、地方标准梳理；2. 参与核心技术工艺内容解析、编制说明、立项材料、支撑附件撰写与完善；3. 协助开展意见征集工作，反馈相关单位意见。

广东北控石犀科技股份有限公司：1. 提供城镇水再利用紫外线消毒领域相关工程实践资料；2. 参与核心技术工艺内容解析、编制说明、立项材料、支撑附件撰写与完善；3. 协助开展意见征集工作，反馈相关单位意见。

深圳市水务（集团）有限公司：1. 提供城镇水再利用紫外线消毒领域相关工程实践资料；2. 参与核心技术工艺内容解析、编制说明、立项材料、支撑附件撰写与完善；3. 协助开展意见征集工作，反馈相关单位意见。

清华大学：1. 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；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 配合牵头单位完成标准报批相关工作。

福建龙净新陆科技发展有限公司：1. 参与国际标准转化过程中的工程适用性分析工作；2. 参与标准技术指标的论证及试验验证工作；3. 协助开展意见征集工作，反馈相关单位意见。

佛山柯维光电股份有限公司：1. 提供城镇水再利用紫外线消毒领域相关工程实践资料；2. 参与核心技术工艺内容解析、编制说明、立项材料、支撑附件撰写与完善；3. 协助开展意见征集工作，反馈相关单位意见。

交通运输部公路科学研究所：1. 提供城镇水再利用紫外线消毒领域相关工程实践资料；2. 协助开展意见征集工作，反馈相关单位意见。

二、国家标准转化原则、主要内容及其确定依据

（一）国家标准转化依据与原则

1. 等同采用的原则

本标准等同转化国际标准 ISO 20468-4。该标准与国际标准在技术内容上完全相同，但包含小的编辑性修改。这主要是由于汉语还不是 ISO/IEC 官方语言，为了适应中国的语言习惯，在采用国际标准时，不可避免的要进行一些编辑性修改。

2. 严格符合 GB/T 1.1 和 GB/T 20000.2 的相关要求

该标准在结构和编写规则上完全符合 GB/T 1.1 的规范要求，同时由于是等同转化国际标准，因此该标准也严格按照 GB/T 20000.2 的相关要求进行等同转化。

3. 以明确的语言表达国际标准的原意

对国际标准的翻译，要使文字尽可能易于理解，且不产生歧义。为了忠实传达国际标准的原意，一般采用直译（即贴近原文字面的翻译）的方式。但由于中英文表达习惯不同，如果过分拘泥于原文的一词一句，可能造成语言生涩费解，反而不利于忠实传达原意。对于这种情况，以不违背等同采用国际标准的原则为前提，进行意译，即突破原标准个别词句的限制，用本国读者易于接受和理解的语言来表述英文文本的原意。

4. 和其它系列标准的协调与兼容

此次国际标准 ISO 20468-4 转化的重点是完善 ISO 系列标准，并加强与 ISO 其它系列标准的兼容。因此，在国家标准的转化起草中，当英文文字相同或相近时，也参考了其它国标的内容，并考虑了采用其中译法的可行性，尤其是对于英文同源的术语。

5. 采用环境保护领域和广大用户熟悉的词汇

在这该标准等同转化的过程中，尽量采用环境保护领域和广大用户熟悉的词汇，以增强标准的可读性和理解性。

6. 和本系列中其他标准的术语和词汇保持一致

为了保证 GB/T 24000 系列国家标准的一致性，该标准在等同转化过程中尽可能的与系列标准的用语保持一致，同时对于源于其他系列标准的个别词汇（如源于 9000 系列标准），也尽可能的与现有的国标保持一致。

（二）主要内容说明及确定依据

1. 范围

本章节对应 ISO 20468-4:2021 第 1 章。本文件等同采用 ISO 20468-4:2021 范围章节核心内容，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》做了最小限度编辑性改动，无技术性差异。本文件给出了水再利用系统中紫外线消毒的系统构成、功能性与非功能性的指南。

2. 规范性引用文件

本章节对应 ISO 20468-4:2021 第 2 章。本文件规范性引用文件严格等同采用 ISO 20468-4:2021 要求，唯一规范性引用文件为 ISO 20670:2023《Water reuse — Vocabulary》。文件明确：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。

3. 术语和定义

本章节对应 ISO 20468-4:2021 第 3 章。明确了生物验证、受试微生物等术语的定义，ISO 20670:2023、GB/T 32092-2015 界定的术语和定义也适用于本文件。

生物验证是指测量特定微生物在紫外线装置中的紫外线灭活当量剂量，并将结果与通过生物测定（通常为准平行光束法）确定的该微生物紫外线剂量-反应曲线进行比对的过程。该术语的翻译参考了 GB/T 32092-2015 中条文 2.6 的内容。受试微生物是指用于生物验证的微生物，常用的包括 MS2、Q β 、T1UV 噬菌体及枯草芽孢杆菌孢子。该术语的翻译参考了 GB/T 32092-2015 中条文 2.7 的内容。低压灯是指工作时内部压力为 0.13 Pa - 1.3 Pa 的汞蒸气灯，电气输入约为 0.5 W/cm，主要输出单色光 253.7 nm。该术语的翻译参考了 GB/T 32092-2015 中条文 2.17 的内容。中压灯是指工作时内部压力为 13 kPa - 1,300 kPa 的汞蒸气灯，电气输入约为 50 W/cm-300 W/cm，能输出 200 nm~400 nm 之间的光。该术语的翻译参考了 GB/T 32092-2015 中条文 2.19 的内容。灭活当量剂量是指通过生物验证确定的给定装置的紫外线剂量。该术语的翻译参考了 GB/T 32092-2015 中条文 2.15 的内容。紫外线剂量是指以通量率或辐照度的时间积分表示的紫外线能量。该术语的翻译参考了 GB/T 32092—2015 中条文 2.12 的内容。紫外线强度是指光源发射并入射到受照表面单位面积的紫外线输出。该术语的翻译参考了 GB/T 32092-2015 中条文 2.11 的内容。紫外线穿透率是指紫外线光谱中透过水、石英等材料的光子比例。该术语的翻译参考了 GB/T 32092—2015 中条文 2.10 的内容。

4. 紫外线消毒的目的与功能

本章节对应 ISO 20468-4:2021 第 4 章，等同采用国际标准全部核心内容，无技术性差异。

条文 4.1: 明确了紫外线消毒的目的是为水再利用提供水质安全保障，针对经二级或三级处理的污水开展消毒处理，使出水满足城镇、农业、工业，以及环境等各种用途。

条文 4.2: 明确紫外线消毒的功能是通过微生物基因组吸收光子，导致 DNA/RNA 形成嘧啶二聚体，阻碍微生物自我复制使其丧失感染性。紫外线消毒无需投加化学药剂，几乎不生成副产物。

以上条文的翻译参考了 GB/T 32092-2015《紫外线消毒技术术语》。

5. 系统构成

本章节对应 ISO 20468-4:2021 第 4 章，等同采用国际标准全部核心内容，无技术性差异，仅做符合国内行业表述习惯的编辑性改动。

条文 5.1: 水再利用紫外线消毒系统的核心组成，包括紫外线装置、进水水质监测设备、流量计、电源控制柜四大核心组件。

条文 5.2-5.5: 分别对紫外线装置的结构分类（封闭式、敞开式）、核心部件（光源、清洗系统、紫外线强度传感器、镇流器）技术要求，以及进水水质监测设备、流量计、电源控制柜的配置、功能、选型要求作出了明确规定，清晰界定了紫外线消毒绩效评价的核心对象与边界。

以上条文的翻译参考了 GB/T 32092-2015《紫外线消毒技术术语》。

6. 功能要求

本章节对应 ISO 20468-4:2021 第 6 章，等同采用国际标准全部核心技术内容，无技术性差异。

条文 6.1：明确了紫外线消毒系统的核心功能要求是持续提供充足紫外线剂量，使出水水质满足回用目标要求。

条文 6.2：规定了紫外线装置绩效评价的两种方法，分别为附录 B 的试验评价法（生物验证）、附录 C 的 CFD-I 模拟联合试验评价方法，细化了两类方法的核心流程。

条文 6.3：明确了系统运行阶段四大核心监测点位的管控要求，包括进水流量监测 [M1]、进水水质控制 [M2]、紫外线辐照监测 [M3]、出水水质监测 [M4]，对各点位的监测指标、设备校准、运维要求作出了详细规定。

条文 6.4：明确了紫外线辐照度降低、出水水质下降、光源温度过高、漏水四类典型系统故障的原因诊断路径与处置规范。

以上条文的翻译参考了 GB/T 32092-2015《紫外线消毒技术术语》。

7. 非功能要求

本章节对应 ISO 20468-4:2021 第 7 章，明确了紫外线绩效评价的四个维度，包括环境绩效、安全、系统经济性，以及可靠性与韧性，等同采用国际标准全部核心内容，无技术性差异。

条文 7.1：环境绩效评价包括能效和药剂消耗，能效核心评价指标为单位处理水量电耗（kWh/m³）或单位电量处理水量（m³/kWh），同时要求评价清洗环节的化学药剂与水消耗量。

条文 7.2：安全评价针对紫外线照射、用电安全、高温灼伤、汞暴露、机械部件伤害等风险，明确了安全防护要求与预防措施。

条文 7.3：系统经济性通过全生命周期评价进行，包括建设成本、运行成本、处置成本，规定采用单位处理水量生命周期成本（成本 /m³）开展公正评价。

条文 7.4：明确了保障系统可靠性的核心组件运维要求，重点强调紫外线强度传感器的定期校准规范，同时要求制定故障应急预案，明确应急处置流程。

以上条文的翻译参考了 GB/T 32092-2015《紫外线消毒技术术语》。

8. 附录

本文件设置三个附录，均等同采用 ISO 20468-4:2021 对应附录内容，无技术性改动，仅做规范化翻译与格式调整，为水再利用紫外线消毒绩效评价提供实操性技术支撑，各附录内容及编制参考的已有标准如下：

附录 A（资料性）水再利用系统的主要处理技术与目标污染物：本附录明确了水再利用系统 BOD 去除后，包括紫外线消毒在内的各类深度处理技术对应的目标污染物，清晰界定了紫外线消毒技术在水再利用全流程中的功能定位与处理对象。

附录 B（资料性）紫外线装置试验评价方法：本附录明确了基于生物验证的紫外线装置试验评价全流程，包括预实验（平行光束仪法）、全规模测试、灭活当量剂量测定三大核心步骤，细化了各环节的操作要求与数据处理规范。

附录 C（资料性）CFD-I 模拟联合试验评价方法：本附录明确了 CFD-I 模拟技术的适用场景、评价程序、灯管紫外线辐照度测试方法、参照装置分析模型建立与验证流程、目标装置紫外线剂量计算方法，同时明确了模拟过程中紫外线辐照度的修正系数体系。

以上附录的翻译参考了 GB/T 32092-2015《紫外线消毒技术术语》。

三、预期的经济效益、社会效益和生态效益

本标准对再生水运营单位、设计单位、行业管理部门等组织开展再生水紫外线消毒规划、设计、建设及运行管理等活动具有重要指导意义，经济效益、社会效益和生态效益显著。

经济效益方面：通过采用紫外线消毒技术与优化消毒运行管理，可减少化学药剂投加、储存、投加设备及人工管理成本，降低再生水处理日常运行费用；紫外线消毒设备自动化程度高、维护简便，能降低设备运维与检修成本，提升再生水处理效率；推动再生水安全高效回用，可扩大非常规水源利用规模，减少自来水取用与水费支出，同时带动紫外线消毒设备制造、智能监测、

水处理服务等节能环保产业发展，形成新的经济增长点。

社会效益方面：规范再生水紫外线消毒技术要求与绩效评价体系，保障再生水消毒效果稳定达标，提升再生水回用安全性，保障公众健康与用水安全；通过统一消毒技术标准、运行监测与效果评价规范，推动再生水行业标准化、精细化管理，提升行业整体运营水平；开展消毒技术培训与宣传，能提升从业人员污水资源化利用与安全消毒技能，普及再生水回用理念，助力节水型社会建设，树立行业绿色发展形象。

生态效益方面：推广紫外线物理消毒工艺，可避免化学消毒产生的消毒副产物污染，降低水体与土壤环境风险，保护水生态环境；提升再生水消毒可靠性与回用率，能减少新鲜水资源开采，缓解区域水资源供需压力；通过安全高效的再生水消毒与资源化利用，降低废水外排总量，减少水环境治理压力，助力绿色低碳发展与循环经济落地，为水资源可持续利用与生态环境保护提供行业示范。

四、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《节约用水条例》《国家节水行动方案》《中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》等。

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。

五、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。

六、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

本标准对水再利用运营单位、设计单位、管理部门等组织开展紫外线消毒规划、建设及运行管理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。建议标准发布后三个月实施。

七、其他应说明的事项

无。

《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第4部分：紫外线消毒》

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4部分：紫外线消毒》（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 duyeah@scu.edu.cn。