



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX/ISO 22524:2020

以水回用为目标的工业废水处理设施中试 方案

Pilot plan for industrial wastewater treatment facilities in the objective of water reuse

(ISO 22524:2020, 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
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	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 中试研究的生命周期	2
4.1 总则	2
4.2 中试方案生命周期阶段	2
5 方案和项目管理	6
5.1 总则	6
5.2 监督委员会	6
5.3 中试研究团队	6
5.4 质量管理体系	7
5.5 风险管理	7
5.6 进度计划	7
6 中试方案的目标、范围和边界的说明	7
6.1 目标	7
6.2 安全性	8
6.3 可持续性	8
6.4 有效性	8
6.5 效率	8
7 中试方案研究方案	8
7.1 总则	8
7.2 中试方案研究方案的内容和结构	9
7.3 技术和设施说明	9
7.4 中试设施环境及选址说明	9
7.5 中试方案的正确性和覆盖范围	10
7.6 中试方案灵活性	10
7.7 计划审查	10
7.8 统计方法、工具和技术	10
7.9 中试方案研究方案批准	10
8 中试装置/设施的开发和建设	10
8.1 总则	10
8.2 设计基础	11
8.3 概念和初步设计	11
8.4 详细工程设计	11
8.5 承包和施工	11

8.6 验收测试 11

8.7 移交给调试和运行团队 12

9 建立运行框架 12

9.1 总则 12

9.2 中试装置/设施程序手册 12

9.3 取样和测量 13

10 中试装置/设施调试阶段 13

10.1 总则 13

10.2 调试过程的基本阶段 14

11 中试方案运行阶段 14

11.1 总则 14

11.2 降低负载性能（最佳情况） 15

11.3 正常负载性能（典型情况） 15

11.4 压力负载性能（最坏情况） 15

12 研究总结和报告 15

13 永久停机和退役 15

参考文献 17

前 言

本文件按照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。

本文件等同采用ISO 22524: 2020《以水回用为目标的工业废水处理设施中试方案》。

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/TC 618）提出并归口。

本文件起草单位：南京大学、中国标准化研究院、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、南京大学宜兴环保研究院、江苏水污染防治装备技术发展有限公司、江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司、河南工业大学、深圳市海川实业股份有限公司、黑龙江科技大学、华电郑州机械设计研究院有限公司、南京市给排水工程设计院有限公司、重庆大学、内蒙古农业大学。

本文件主要起草人：任洪强、耿金菊、张蕊、杨忠平、许柯、马思佳、王庆、范怀蒙、万东锦、陈橙、白岩、朱巧莲、何唯平、李立欣、郭新茹、李颖、王苏红、于清淼、刘晓民、杨耀天。

以水回用为目标的工业废水处理设施中试方案

1 范围

本文件提供了工业废水处理技术中试研究的基本原则和指导。

本文件适用于以回用为目的的各种工业水处理系统。不涉及特定技术的实验室研发、研究或测试，也不涉及灌溉等回用应用或操作。

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

中试方案 pilot plan

计划 plan

方案 programme

在限定时间与预设特定条件下，对拟采用方案（技术/工艺/处理工艺流程）开展的小规模代表性预研或试运行测试，以评估该方案的可行性、有效性、效率、合规性与可持续性，从而识别所有潜在缺陷并在规模化项目实施前予以解决。

注1：中试方案是一个能开展验证的框架。

注2：在本文件中，中试方案、计划和方案互换使用。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BoD：设计基础（Base of Design）

CSP：连续取样方案（Continuous Sampling Plan）

DCS：分布式控制系统（Distributed Control System）

DoE：实验设计（Design of Experiments）

DR：设计评审（Design Review）

FLS：疲劳极限状态（Fatigue Limit State）

FMEA：失效模式与效应分析（Failure Mode and Effect Analysis）

HLD：高层设计（High-Level Design）

HSE：健康、安全和环境（Health, Safety and Environment）

IQ：安装确认（Installation Qualification）

IT: 信息技术 (Information Technology)
LLD: 低层设计 (Low-Level Design)
LLI: 长周期项目 (Long Lead Items)
NDCS: 非分布式控制系统 (Non-Distributed Control System)
OQ: 运行确认 (Operational Qualification)
P&I: 管道和仪表 (Piping and Instrumentation)
PMBok: 项目管理知识体系 (Project Management Body of Knowledge)
PMI: 项目管理协会 (Project Management Institute)
PQ: 性能确认 (Performance Qualification)
QA: 质量保证 (Quality Assurance)
QC: 品质控制 (Quality Control)
RFP: 需求建议书 (Request For Proposal)
R&R: 重复性和再现性 (Repeatability and Reproducibility)
SLS: 正常使用极限状态 (Serviceability Limit State)
SOP: 标准作业程序 (Standard Operating Procedure)
WBS: 工作分解结构 (Work Breakdown Structure)

4 中试研究的生命周期

4.1 总则

为实现预期目标,中试研究需大量投入资源,通常包含长期运行。开展中试前,宜全面分析预期目标与潜在结果。宜权衡中试系统建造、运行与维护的合理成本与达成中试方案目标的预期收益。

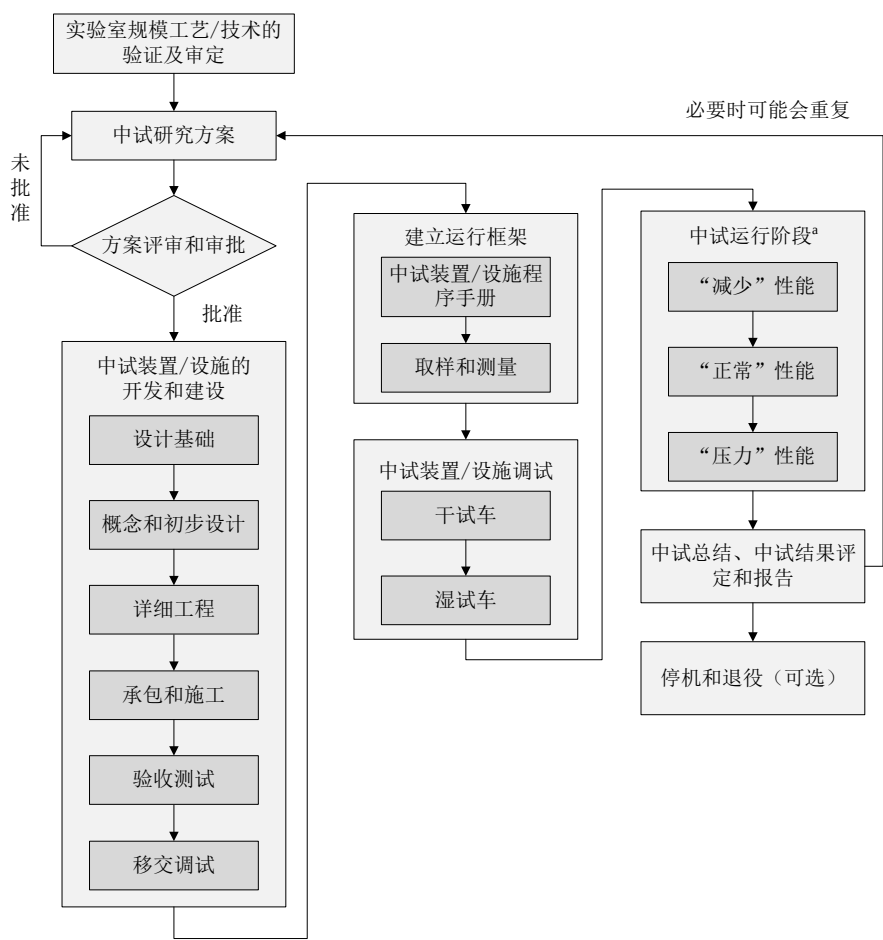
是否开展中试方案宜由所有相关利益方直接决策。

通过开展中试方案获取的知识与经验,能用于规模化水处理系统与工程化产品设计,明确后续研发目标,降低投资决策的技术与财务风险。再生水工艺的中试试验还能验证技术在保护公众与环境健康安全方面的有效性与稳健性,有助于争取公众对新技术的支持,也能用于规模化工程人员的培训。

4.2 中试方案生命周期阶段

4.2.1 总则

在中试方案生命周期中,一个中试方案可经历图1中所示的部分或全部阶段。



^a 关于术语“减少”、“正常”和“压力”性能的解释，参见 11.2、11.3 和 11.4。

图1 中试方案各阶段框图

4.2.2 中试方案目标说明

可基于实验室研发成果、工业废水特征及相关法规要求、技术需求与约束，明确中试方案的目标、范围和边界。

4.2.3 中试研究方案

可建立一个中试研究（实验）综合方案，以确保中试方案结果能外推并应用于规模化设计，同时最大限度降低工艺失败的风险。

中试方案作为实验室研究的延伸，编制之初宜梳理实验室成果、建议与实验室测试中确定的工艺参数，尤其要重点关注对投资与运行成本影响显著的关键环节。

包括但不限于考虑以下问题：

- 工艺的哪些方面需要验证和优化；
- 宜测量或评估哪些参数，以及如何分析、处理和最终使用收集到的数据；
- 中试方案应涵盖哪些运行条件范围；
- 应进行哪些实验和测试；
- 每个实验的范围是什么，如何能判定实验目标达成；
- 每个实验需要多长时间，考虑时间波动性，中试研究的总持续时间宜为多少；

- 宜按什么顺序开展实验；
- 宜从哪些地点收集样本以涵盖特殊及常见变异情况。

上述问题的答案取决于许多因素，包括具体的中试方案（定制化解决方案）、被测试的技术、相关法规要求、可用的设备和环境。指导原则宜基于成本效益考虑；中试方案宜在合理可行的范围内尽可能有效和全面。

在制定中试研究方案时需要考虑的重要特征是废水的水量、物理、生物和化学性质以及其组分浓度，这些指标常随时间显著波动。如条件允许且相关，中试测试计划宜涵盖或模拟废水水流的季节性变化，包括流量、浓度及温度。由于在实际操作中往往难以进行长时间测试，未够充分暴露此类变化，因此有必要在中试试验方案计划中设置极限特征条件作为应力测试或极限工况。中试方案宜确定所有预处理与后处理要求（如漂浮物去除）。

方案最终确定前，宜披露、澄清、记录并严格审核所有显性与隐形假设（评估其准确性及对中试结果的潜在影响）。中试方案的指导原则宜符合DoE统计方法学理念与原则。

4.2.4 中试装置/设施的设计和建造

中试装置/设施的设计和建造宜考虑运行环境，如中试装置/设施的面积、场地可行性和场地改造需求、进入场地的通道和运行条件；包括确定中试测试的范围是涵盖整个系统的单元工艺还是系统内单独的单元工艺操作，以及中试装置/设施的规模和容量。

中试装置/设施设计的第一步宜为绘制框图，框图由一系列连接的矩形模块组成，每个模块代表一个单元工艺组件，并按流程顺序由箭头连接。在中试方案计划的初期该框图能作为有效工具，因为它能全面概述各实施阶段，并能纳入絮凝剂、混凝剂和阻垢剂等外部投加药剂。

宜考虑工艺是采用间歇式还是连续进料方式。在设计阶段绘制框图的同时，能依据进出工艺系统的不同物料流，来编制初步物料平衡与能量平衡图。

中试装置/设施设计宜重点关注灵活性，这是适配现场不同工况的关键。

宜在中试装置/设施设计阶段考虑潜在改造需求，以便在测试过程中对待测工艺中的不确定方面或要素进行调整。

装置的设计宜考虑到可能需要更换设备或引入新的部件。例如，如果某一单元工艺未达到预期效果，或发现某部件无效，则可能需要安装替代部件。

宜仔细考虑从中试装置/设施到工程装置的放大系数。中试装置/设施越大，所获取的信息可靠性越高，可降低项目的技术风险和财务风险，但其建造和运营成本会更高。反之，在小型装置/设施中，难以精准控制流速和化学品投加速率，从而导致工艺故障和管道堵塞。中试装置/设施的布局宜紧凑简洁，预留充足操作与维护装置的空间。

框图绘制完成后，宜为每个模块绘制工艺图，包括特定工艺段的所有相关设备，通常省略管道和电气细节，这些细节可通过绘制P&I图来解决。

宜编制基础工程文件，明确项目设计标准，同时综合考虑设计中的物理、化学和微生物过程、土木工程、机械工程、仪器仪表和电气工程等方面。该文件将作为编制详细工程文件（含施工图纸）的依据。

4.2.5 运行和维护程序及规程

宜考虑中试装置的选址，同时确定是将待处理的原水直接送入现场的中试装置，还是运送到能提供更可控运行条件的实验室（例如低温室，用以评估气候条件对系统运行产生的影响）。

还宜考虑选址、水电供应及设施的整体进出通道，当中试装置/设施在基础设施薄弱的乡村地区运行时，上述事项尤为重要。

4.2.6 行动计划

宜为中试试验方案规划资本和运营预算、方案和时间表。

通过制定方案和时间表，并跟踪数据收集是否达到预期目标，可显著缩短测试所需时间并从根本上降低成本。过程中需对照并跟进试验设计方案与配套统计分析方法，以此判断相关假设是否已得到充分验证，从而为既定目标得出结论。合理的制定实验设计与选择统计分析方法，可以减少人为偏差的影响，明确某项测试路径何时得出结论或陷入死胡同，避免低效实验，并以最低成本获取最大信息量。宜采用合适的参数或非参数统计检验，对与集中趋势和离散程度测量相关的所有基础统计假设进行检验。

4.2.7 中试装置/设施调试

宜开展中试装置/设施调试，以确保中试设施的所有系统与组件（如设备、仪表、控制系统）以及基础设施系统和部件均按照运行要求设计、安装、测试、运行和维护。

中试装置/设施调试宜包括以下内容：

- 施工期间的检查；
- 单元组件安装与测试监督；
- 确定中试设施功能符合设计要求的整体过程。

4.2.8 中试装置/设施的运行和管理

根据中试方案目标的规模和范围，其管理可从非正式的组织结构到相对复杂的组织结构。

管理职能包括计划、人员配备和运行控制。运行过程宜遵循现场测量、样品采集和设备维护的常规程序，包括传感器校准和全面的QA/QC方案。

根据运行环境与运行团队规模，在整个测试方案中可能需要开展持续的培训，特别是在有轮班的情况下。

由设备故障、损坏或其他机械问题导致的进度延误，是超出预算和成本超支最常见的原因，因此予以重视。

宜考虑备件的可可用性和有效的预防性/预测性维修方案，以控制成本和预算。

4.2.9 样品收集计划

样品收集计划包括合理使用瞬时样与时间/流量比例混合样、现场测量和校准规程、取样设计、QA/QC样品、现场处理和保存、样品处理和运送、样品存储时间、分析程序和分辨率要求，以及分析实验室的协调工作。

实验室测试结果可用于确定项目的工艺设计与运行参数。虽然考虑通过实验室小试或台架试验确定的参数值（如反应时间、试剂剂量、温度），但仍宜对基准参数及修正区间开展评估，筛选出适配工艺的最优参数。

中试装置/设施的设计和建造应具有足够的灵活性，以允许对这些参数进行潜在调整，同时对每个阶段进行同等程度的分析。

4.2.10 中试方案总结

宜进行数据分析、中试方案总结和报告，以评估所测试的技术/工艺/设施是否可推荐用于以回用为目标的工业废水处理设施。

中试方案报告宜根据选定的置信水平（默认置信水平为95%），估算所有基于数据的关键结论的不确定度。

4.2.11 中试装置/设施的停机和退役

宜实施中试装置永久停机和退役（全部或部分），例如拆卸装置和设备、清洁和废弃物处置。

5 方案和项目管理

5.1 总则

中试方案宜作为一个方案加以管理。5.2~5.6描述了确保中试方案正常运行和实现其目标的关键组成部分。

5.2 监督委员会

在相对大型和/或复杂的项目中，宜任命监督委员会，但并非所有中试方案均强制要求设立该机构。监督委员会也可称为指导委员会或授权委员会。

建立中试方案监督委员会，负责对中试方案从批准至终止全过程的决策与执行跟踪。中试方案监督委员会总结中试方案的中期和最终结果，并向上级主管部门提交报告。

如需上级主管部门决策，中试方案监督委员有时可处理由中试团队提交的中试方案决策事项。

无论是否设立监督委员会，以下流程负责人均宜参与中试方案的准备工作：

- 投资者：作为主要利益相关方，投资者派代表参与，以便在中试方案进行过程中充分了解机遇和风险，并参与中试方案期间的关键决策；
- 研发专家：由于大多数中试方案都涉及尚未经过验证的新技术，因此研发专家的参与尤为重要；
- 管理员：派管理员支持所有中试方案管理需求；
- 工程师：工程师派代表参加，以提供技术专业知识、见解和支持；
- 操作员（包括 QA 操作员）：操作和 QA 活动是每个中试方案的关键部分；
- 监管机构：如果中试方案与任何监管要求有关，则考虑监管代表的参与。

5.3 中试研究团队

5.3.1 总则

成立一个跨学科团队，包括所有相关部门（如：研发、工程、维护、人身安全、环境安全、质量）的代表。团队成员宜参与中试方案、准备、实施、数据收集、结果分析和报告编写等工作。

在某些情况下，更倾向于采用独立第三方检测。由第三方团队进行测试可有助于实现稳健且客观的评估，因此予以考虑。

5.3.2 团队成员

随着中试方案的推进，明确界定中试团队的角色和职责。团队成员宜熟悉中试方案，并接受过相关领域的培训，具备所需的相关技能和经验。在中试方案阶段宜明确对团队成员的要求。

5.3.3 团队负责人

宜任命一名团队负责人（中试方案经理），并赋予以下权力和责任：

- 确保测试方案的技术质量；
- 监督和控制项目成本；
- 确保项目按时安全完成。

团队负责人宜熟练掌握工程、财务管理、人力资源和培训技能等多领域技能，具有较强的领导能力，并能在关键时刻作出正确的决定。团队负责人负责整个中试方案活动，包括中试方案、中试方案准备、中试方案启动、向下一阶段过渡、中试方案暂停、中试方案变更（如有必要）和中试方案过程中的重复，并对中试设施的运行承担主要的技术和行政责任。

5.3.4 其他团队成员

中试方案宜考虑到团队成员由于某些不可预见的原因（例如，生病、转向其他项目或业务）而不得不离开的情况。宜事先准备一份潜在补充团队成员名单（必要时可替换团队成员）。

5.3.5 技术专家

可邀请具备特定领域专业知识的技术专家在关键情况下提供协助，或解决中试方案实施过程中出现的复杂问题。相关技术专家随时待命以协助团队。中试方案启动前，宜将中试方案发送给所有相关技术专家，并征得他们的同意。

5.3.6 团队会议

在中试方案执行期间，可按中试团队负责人关于会议频率、时间和持续时间的指示，定期召开团队会议。首次协调会议宜在中试方案启动前召开。

5.4 质量管理体系

中试方案宜采用质量管理的最佳做法。QA和QC程序符合质量管理体系指南，并包括三阶段过程/系统确认的概念和原则：

- IQ：有书面客观证据表明，工艺设备、测量与控制装置以及辅助系统均已按照既定规格要求完成提供与安装；
- OQ：有书面客观证据表明，所安装设备在按照 SOP 使用时均能在预定范围内正常运行；
- PQ：有书面客观证据表明，该流程/系统能够持续产出符合预定规格和要求的结果。

5.5 风险管理

中试方案宜部署风险管理的最佳实践。

5.6 进度计划

5.6.1 总则

宜编制详细的中试方案时间表及其WBS。在项目中，WBS直观地将范围分解为项目团队能理解的可管理的工作部分，WBS的每个级别都提供了进一步的定义和细节。明确各阶段责任人，清晰界定职责边界。

5.6.2 时间储备

常规的中试方案时间表的时间储备为整个计划工期的10%~30%。这些数值是在不同工业项目的框架内，根据风险管理领域的良好工程实践确定的：

- 10%：适用于简单项目（在实施/测试“已使用和验证的技术/工艺”时，可使用此储备量）；
- 30%：适用于具有较大不确定性的高风险项目（在实施/测试“重大技术突破”时，可使用此储备量）。

6 中试方案的目标、范围和边界的说明

6.1 目标

中试方案的首要目标为证明某项技术具有工程化的价值，或证明某一特定工程单元工艺或单元工艺系统能实现所要求的总体水处理目标（例如，达到预期工业用途的再生水水质）。中试方案宜提供合理的置信度，证明全面实施后能够达到预期效果，证明工艺和出水水质（即特定废水质量参数的污水浓度）的一致性和稳定性。处理效果通过这些参数的去除效率来衡量，该效率计算方法为进水浓度与出水浓度之差除以进水浓度（即“相对差值”）。中试方案期间宜重点论证的其他关键方面包括：安全性（对人类和环境）、合规性和可持续性、可操作性和经济可行性（见6.2~6.5），并确定成功全面实施的关键设计和放大因素。

6.2 安全性

规模化工业设施的安装、操作、维护和拆卸不宜对人员、直接设施人员、其他组织员工或周围社区成员造成人身伤害，且证明对环境是安全的。

注：各类化学品分类分区、限量存放、严禁混存，配药投加规范操作，废液废药剂合规处置，保障化学品储存及使用安全。

6.3 可持续性

规模化工业设施的设计宜能够适应相关的法规、法律、标准和客户的不同/额外的要求。

为了实现可持续性，可根据处理废水类型对中试方案进行两类划分：

- a) 受控/非受控水体：处理出水是否需满足法规要求；
- b) 室内/室外回用：出水目标用户是谁，是处理单位自身还是其他需设定监管要求的单位。

在上述任何一种情况下，都应考虑监管要求能否适用于处理流程的其他环节（如污泥处置）。

该设施的可持续和环保运行（以及在需要时退役）能力宜作为评估技术成功性的核心标准之一。

6.4 有效性

规模化工业设施宜发挥其所有预期功能，产生预期的结果，同时避免对系统和环境造成任何不利影响。

6.5 效率

规模化工业设施可能需要合理数量的资源，如原材料、水、试剂、能源、劳动力和任何其他相关的成本驱动因素。在考虑效率时，还宜考虑与完全符合废弃物处理及环境修复要求的工艺流程相关的可持续运营成本（视具体情况而定）。

7 中试方案研究方案

7.1 总则

中试研究方案是整套中试方案的核心基石，也是界定中试各项实施原则的基础文件。由于中试方案研究方案对中试方案的所有阶段都有关键影响，所有中试方案活动、技术工作和专门知识均围绕该方案开展。

中试研究实施方案中试方案研究方案宜明确需进行的实验、这些实验的重要性、规划与设计方式，以及其实施顺序。还宜确定这些实验的优先级，同时确定各项试验的时长规范以及取样和测量全流程要求，涵盖取样频率和规模，此外还明确实验的成功/失败标准。

中试方案研究方案宜考虑到所有实验要求的后果，以便为开发和运行分配资源。中试方案的要求宜由多方仔细审查，以确保所有的要求都是正当合理的。技术权威（如工艺工程师）参与实验计划的规划和审查，以确保其要求符合“实际”限制。

实验规划宜采用现代方法，如DoE和田口稳健设计原则，以确保制定高效的方案。

注1：DoE是一种统计方法，采用系统的方式研究实验因素对相关响应变量的影响。DoE意味着：

- 对所研究的系统进行初步的计划改变；
- 统计评估这些改变对系统的影响；
- 比较分析—所有的影响评估都是根据某些规定的标准进行的。

注2：田口稳健设计是由日本工程师和统计学家田口玄一在20世纪80年代初提出的一种方法，用于设计对不可避免的不可控因素变化（所谓的噪音）不敏感的产品和流程，如原材料、制造流程、操作和环境现场条件（通常是最大的变化来源）。

7.2 中试方案研究方案的内容和结构

7.2.1 总则

中试方案研究方案的内容和结构宜按照7.2.2~7.2.5的规定执行。

7.2.2 背景和中试方案目标与宗旨

宜提供简要的背景资料（项目说明）以及明确和可实现的中试方案目标的声明，说明所有既定目标和宗旨的相对重要性。

7.2.3 项目前期历史、当前项目状态和中试方案后计划的活动

中试方案研究方案宜包括：

- 已完成的实验室研究/可行性研究的简要描述及其结果摘要；
- 与中试方案并行进行的项目活动，这些活动可能影响或受中试方案执行结果的影响；
- 中试后的决策、流程调整、计划和活动均依赖于中试方案结果。

7.2.4 中试方案范围（包含/不包含）

明确界定中试方案的覆盖范围，即说明中试方案期间将包含（调查/检查/测试/分析）哪些关键问题（“在中试方案的问题范围内”），不包含哪些问题（“在中试方案的问题范围之外”），并简要说明不包含的原因（不相关/不重要/推迟）。

7.2.5 中试方案成功/失败标准

中试方案研究方案包括定性（通过/失败）或定量（可衡量的）成功标准的定义，这些标准来自相关监管要求和/或适当的参考资料，用于在中试方案执行过程中和终止时进行决策。如果已任命监督委员会，则标准宜由监督委员会批准。

7.3 技术和设施说明

中试方案研究方案宜包括对所用技术、设备、仪器仪表、控制系统、P&I图、工艺流程图、图纸和布局图的目的和能力的简要说明。

7.4 中试设施环境及选址说明

中试方案研究方案宜包括对中试设施选址的说明和详细的进水废水特征描述，包括特定废水处理工艺的所有关键参数（如流速、pH值、化学成分、温度）及其平均值、峰值和最小值。还宜描述其环境（如果相关）。

7.5 中试方案的正确性和覆盖范围

全面的中试方案能验证和确认所有提出的要求的适用性，评估所提解决方案的有效性和效率，并揭示所提技术/工艺设计中可能存在的所有缺陷。

如果可能，中试方案宜在为大型设施/装置投入时间和资源之前，解决中试方案中的不足之处。

7.6 中试方案灵活性

由于所有中试方案存在固有的不确定性，中试方案宜具有足够的弹性，以便在中试方案执行过程中出现问题时能做出相应的调整。此外，该计划宜包含项目跟踪和反馈（当需要时）。

7.7 计划审查

任何中试方案测试的是未经验证的工艺/技术和/或已建立工艺/技术的现场特定应用，通常伴随着一些可能影响其性能的不确定性。因此在最终确定和批准中试方案之前，宜对其进行审查，以便尽早识别和分析中试方案执行过程中可能存在的所有风险。

FMEA技术可用于风险识别和表征。

注：FMEA是一种著名的风险评估方法之一。FMEA的主要目的是检查可能的失效模式，并确定这些失效对产品（设计FMEA-DFMEA）或工艺（工艺FMEA-PFMEA）的影响。FMEA程序意味着对与指定失效相关的相对风险进行排序和优先次序，并针对大多数关键问题制定风险降低/缓解计划。

7.8 统计方法、工具和技术

中试方案试验方案宜包括所有的统计方法、工具和技术的描述，并按中试方案总结的格式开展结果分析工作。其中包括中试方案说明和执行期间与计划的偏差、事件及其根本原因、中试方案结果、结论和建议。

需要足够的预算和时间，以确保收集到足够的数据，以便利用适当和有效的统计技术得出有效的结论。

7.9 中试方案研究方案批准

如果任命了监督委员会，监督委员会宜批准中试方案研究方案。一旦研究的实验方案获得批准，即可启动中试装置/设施的开发阶段。经批准的实验方案及其关键要素，如成功/失败标准，从此时起被视为具有约束力的文件，并作为后续结果解读的依据。

8 中试装置/设施的开发和建设

8.1 总则

中试装置/设施开发宜被视为开发项目，并遵循最佳实践，如项目管理的PMI指南、PMBok和其他支持指南。

注：PMBok是在项目管理行业内被公认为标准的流程、最佳实践、术语和指导方针的集合。

作为一个开发项目，中试设施宜遵循以下阶段，这些阶段是每个开发项目的基本组成部分的一部分：——设计基础；

- 概念和初步设计；
- 详细工程；
- 承包和安装（施工）；
- 验收测试；
- 移交给调试和运营团队。

8.2 设计基础

作为中试装置/设施开发和建设的第一步，宜将既定目标和技术要求转化为技术文件，包括所有需要作为团队开展概念设计与初步设计的核心输入依据。BoD文件是一份全面的文件，涉及设计的所有相关方面。

8.3 概念和初步设计

在概念和初步设计阶段，设计团队宜准备一个早期的、非详细的拟议设计版本（HLD）。该版本符合BoD中定义的所有术语和要求的设计方法和概念，包括但不限于以下内容：

- 工业服务和基础设施（如电力、水、蒸汽）；
- 仪器仪表；
- 控制理念（基于DCS或NDCS的控制方法：DCS意味着大量的控制回路，其中自主控制器分布在整个系统中，而NDCS使用通常位于中央控制室或中央计算机内的中央控制器）；
- 控制可从工艺中泄露的废水；
- IT，控制，仪器仪表，通信。

概念设计步骤的最终产品宜是一个设计包，通常在发布之前由监督委员会审查。监督委员会宜进行审查，以发现概念设计中任何可能危及中试方案目标实现的潜在缺陷。为便于审查，需要一个多学科团队。可对概念设计进行审查的监督委员会的主要成员见条款5。

8.4 详细工程设计

完整的高分辨率设计工艺可由组织内部的工程部门进行，或外包给独立的工程机构。

高分辨率设计工艺的最终产品宜是一份经批准的全规模中试设施设计包，能用于招标或任何其他招标和承包流程。详细工艺设计也能适用于中试系统规模较小的情况，如示范规模的中试系统。

高分辨率的设计可能是一个漫长的过程，需要进行一些控制和管理。DRs可用于确保设计过程有效和高效。

8.5 承包和施工

这一阶段宜包括所有与现场设施建设相关的活动。宜通过招标/投标或RFP的方式指定一个项目安装施工承包商。一旦选定承包商，就可以开始施工。

宜在项目开始时完成法定和许可程序，例如建筑许可、运营许可证、LLIs预算和订购，以及其他业主能处理的行动。

在此阶段完成后，就可安装设施并进行测试。

8.6 验收测试

为确保被提名的承包商在其规定范围的所有方面交付了符合标准的设施，宜进行验收测试阶段。验收测试可涉及到提供给承包商的一些竣工和修正任务。

验收测试还包括性能测试和涵盖可靠性和可用性测试的验证。这个测试阶段宜在中试方案进行到下一阶段之前完成。

系统准备就绪前的最后一次检查宜为系统试运行启动，其中包括检查和确保安装符合设计和规范，以及对所有中试设施和设备的目视检查。宜特别注意所有的旋转设备、管道、容器、仪器仪表、基础设施（包括IT）、控制系统、所需的材料和润滑剂。宜仔细报告和修复所有缺陷和瑕疵。组长或监督委员会（对于严重偏离）批准偏离时，宜基于对其对中试方案执行的影响进行工程分析。

在这一阶段，宜检查所有中试方案文件（如图表、图纸、规范、检查表、说明）。在此阶段完成中试小组的培训。

8.7 移交给调试和运行团队

一旦设施获得批准，就可移交给运行团队。在某些情况下，主要是大型且复杂的项目，调试团队是一个独立的团队。在大多数普通中试方案中，运行团队将负责调试过程。在此阶段之后，施工承包商无需再参与，但施工承包商宜提供技术服务/故障排除以及任何保修范围内的服务。

9 建立运行框架

9.1 总则

运行框架宜包括不属于中试设施的物理设备、基础设施和机械组成部分的所有必要的组织基础设施和资源：

- 组织结构图、人员配备、角色和职责、职位定义；
- SOPs；
- 应急程序和计划；
- 维护政策、程序和计划；
- 报告和沟通方案；
- 培训和资格要求及计划；
- 与外部承包商和供应商提供的合作或服务相关的程序。

9.2 中试装置/设施程序手册

9.2.1 总则

在中试方案开始前，宜编制中试装置/设施手册。中试设施手册中提出的中试装置/设施研究程序宜：

- 简明扼要；
- 符合使用者的教育水平；
- 用适当的语言表达（中试团队可以理解）。

9.2.2 程序清单

中试装置/设施程序清单宜包括但不限于以下内容：

- 工艺监测和控制程序，包括给定废水处理工艺的所有关键参数（如流量、pH 值、化学成分、温度）、中试方案研究期间所有化学品的使用率和浓度以及耗电量；
- 取样和分析程序：严格定义所有取样、样品制备与分析程序。如果一些分析和/或测试由外部实验室进行，说明其程序和工具。所有这些程序在启动中试方案之前进行验证；
- 样品的采集、标记、保存、储存、运输和分析均采用行业标准技术和程序；
- 安全说明：由于中试方案在不发生任何事故的情况下实施，因此与安全说明的覆盖范围和正确性有关的所有问题都得到落实；
- 清洗程序包括在中试装置/设施手册中（宜特别注意设施清洗所用的溶液）；

- 维护程序包含在中试装置/设施手册中。规定在中试过程中如何以最安全、最高效和最有效的方式进行维护程序和检查。提供维护事件报告的格式，同时提供完整的可追溯性（日期、时间、运行条件、事件描述、完成工作和报告的人员姓名、已完成的工作和工作的结果）；
- 确定数据记录和分析的中试方案日志：说明数据收集和报告的程序，以及用于持续分析的统计工具和技术；
- 仪器和传感器的校准程序；
- 故障排除指南：列出可能的（预期的）故障/问题清单，以及为迅速解决这些故障/问题而推荐的解决方案。每个推荐的解决方案都有可能解决一个明显的问题；不产生新的问题，且在现有的限制下可行，例如，HSE 考虑、监管要求、资源可用性、预算限制、实施所需的时间以及质量和可靠性要求。

9.3 取样和测量

9.3.1 取样和分析计划

取样和分析计划宜与中试方案执行的每个阶段完全对应。在中试方案期间，考虑到取样、样品制备和实验室负荷通常是正常常规运行的3~4倍。通常在中试系统达到伪稳态条件后，经过一段规定时间，在应用工艺条件变化后（即对所应用工艺条件下的工艺性能进行代表性表征），并根据实验计划进行增加取样。

注：由H.F. Dodge在20世纪40年代开发的CSP是抽样程序规划的推荐基础。

9.3.2 测量和取样设备、分析仪和工具

所有使用的测量和取样设备、设施、分析仪和工具都宜具备可信、准确和可靠性。宜在中试方案开始之前对其进行校准。

9.3.3 取样频率和样本量

宜使用适当的统计技术确定最佳取样频率和样本量，以提供基于取样结果所需的置信度决策水平。在实验室进行平行分析/测试的次数宜根据给定工具和程序的精度或对这些工具和程序进行R&R研究的结果确定。

注：R&R研究是一种进行测量/测试精度评估的程序。精度的特点是测量/测试系统能够重现其自身的结果。R&R研究结果将精度误差分解为两个部分：

- 可重复性，其特征是在相同的条件下，即相同的量具、相同的测量/测试对象、相同的程序和相同的操作人员所获得的重复测量的变化；
- 再现性，其特征是在不同的条件下（例如不同的操作符或不同的环境下），重复测量所得平均值的变化。

9.3.4 取样和分析验证

在中试方案开始时，中试团队宜收集初步数据，并提出有力证据，证明样品是按照批准的计划收集和分析的。如有必要，可对计划进行修改或更正。所有的变更/更正都宜得到团队负责人的批准。重大变更/更正宜由监督委员会批准。

10 中试装置/设施调试阶段

10.1 总则

一旦中试设施建造完成并准备投入运行，即可开始调试。调试的目标宜为：

- 确保中试系统组件的正确安装和集成；
- 验证中试设施的可操作性；
- 校准和微调所有在安装阶段不能校准的系统；
- 确保所有系统、工作人员和机械都已准备就绪，并处于适当的状态，以便不间断地顺利开展研究（实验计划）。

调试阶段可由一个专门的专业调试团队来领导，也能由预定的运行团队来执行。

调试阶段宜包括成功地演示和模拟所有可能的运行情况 and 模式：常规、特殊情况和紧急情况。

10.2 调试过程的基本阶段

10.2.1 总则

调试过程宜包括两个基本阶段：

- 干试车；
- 湿试车。

10.2.2 干试车

本阶段为分项单机测试：废水管路系统处于“干涸”状态（系统内部排空，无清水及废水），逐个启动设备进行单机独立试运行。在干试车期间，宜评估每个元件的功能，并仔细检查温度、振动、噪音、能耗等反映系统运行状态与功能的关键参数。

需要用水进行功能测试的设备不能进行干试车测试。成功执行干试车被视为系统正常运行和中试装置/设施可以启动的证据。在此阶段，宜对所有设备单元至少进行三次试运行。

10.2.3 湿试车

湿试车是对系统的端对端测试，进水水流是不含任何污染物的净水。进行该运行的目的是揭示管道和阀门可能存在的所有泄漏，检查设备在负载情况下的运行状况，评估系统的容量和稳定性，并测试控制系统的所有元件。湿试车是在实际条件下启动系统之前对系统行为的最后一次模拟。湿试车的成功执行证明中试方案可按原样执行。

11 中试方案运行阶段

11.1 总则

在中试方案运行阶段，宜对实际装置未来运行中可能出现的各种运行情况和模式进行测试 and 调查。这些情况和模式宜包括但不限于11.2~11.4中描述的情况。

在运行阶段，所有异常条件，即导致测试污水处理技术性能超出预定期望范围的条件，都被详细记录并报告。

在全部试验阶段的运行期间，均需监测污水处理工艺的进水与出水指标（如流量、废水温度、pH值、所有相关污染物的浓度）。这种监测宜在预先确定的有代表性的地点进行。

此外，在运行阶段，宜证明该技术的可持续性，即装置/设施的日常运行能以可持续的方式进行管理，如持续处理问题废物（如微生物、物理类、化学类废弃物），而不会使这些物质积累达到危险量级或超标量级。还宜评估其他可持续性方面，如包括噪声、臭气、污染物排放，以及所有与日常安全运行有关的参数。

通常，一旦证实拟选用工艺方案具备技术可行性，即可中止研究或试验的实施和测试。

11.2 降低负载性能（最佳情况）

当进水流是目标污染物的浓度和/或组合最少时系统启动，如废水流量减少、废水温度适宜（如果可能）（最佳情况下）。本阶段试验验证运行稳定达标后，方可进入下一中试关键运行阶段。

11.3 正常负载性能（典型情况）

当进水流是所有目标污染物的浓度和/或组合的典型值时系统启动，例如废水流的典型流量和典型的水流温度（典型情况条件）。通常，系统从前一阶段（降低负载性能）到正常负载性能的过渡是渐进的（例如：进料速率、污染物浓度的缓慢增加）。本阶段是中试方案测试方案的主要部分，因为所有计划中的实验通常都在这一阶段进行（包括敏感性分析）。因此，这是中试设施运行中的最长阶段。所有敏感性分析及工艺优化试验均宜在本阶段完成。通过该阶段试验，确定全部关键工艺参数的最优取值，并评估当前所选的系统配置、典型条件下系统的综合运行性能，包括处理效果、运行效率与运行稳定性。

11.4 压力负载性能（最坏情况）

当进水流是工业废水流量特性的所有极端水平的组合时系统启动，如所有目标污染物最不利的浓度和/或组合、最大废水流流量和极端水流温度（最坏情况条件下）。与从降低负载性能到正常负载性能的转变类似，从正常负载性能到压力负载性能的转变宜为渐进的（例如：流量、浓度）。应力负荷性能阶段宜作为系统在极端环境和条件下能运行并提供可接受的废水处理解决方案的明确证据。

12 研究总结和报告

对整个中试方案所产生的全部信息和数据的处理可能需要几个月才能完成。在此期间，中试团队宜编制详尽的经验总结报告，并将其提交给监督委员会（如果任命了监督委员会的话）。宜进行一些结论审查，以确保各方保持一致，并倡议将所有成员的观点共享并集成到一个全面的知识库中。

报告宜列明所有监测和维护活动，以及中试方案运行性能随时间推移发生的所有变化。报告还宜对废水处理设备的可靠性分析、化学品和电力消耗、成本分析以及废水处理工艺评估所需的所有其他相关关键参数进行总结。

宜事先确定中试方案结束时提交的最终成果。成果文件宜包括执行摘要，简要说明试点计划的进程、预期目标、范围、主要结果和最终结论。该摘要明确指出中试方案是成功还是失败。

如果中试方案没有达到成功标准，而中试团队仍确信中试方案仍然是成功的，则该团队宜发布偏差报告，并附上详细的论证依据。该报告通常提交给监督委员会，只有委员会做出书面决定，才可追溯修订成功判定标准，以适配实际试验情况。

最后，报告中宜提出配套建议，明确该工业废水处理工艺推向工业化应用所需开展的后续工作。

13 永久停机和退役

在许多情况下，在运行阶段结束时，装置需要永久或临时停机。由于拟验证的工业废水处理工艺未通过验证不予采用，或由于外部客观因素，如需要将设备转移到另一个地点，中试系统可能需要退役。除此之外，退役拆除也可能是中试项目成功推进至后续放大量产阶段的必要环节。

在所有这些情况下，都宜进行计划周密的退役拆除工作。包括拆卸装置、容器等设备清洗、废弃物处置（可能包括各种有害物质）以及建筑材料和其他不可使用的部件和设备的清理处置。

所有退役方面的考虑都宜作为设计团队的设计依据，针对退役各项工作（含部分经费回收）制定高效的处置方案。

中试装置并非都要在中试方案完成后即刻拆除。部分情况下，若整套系统在中试期间内验证运行效果达标，可以作为正式永久处理设施直接保留并长期投用。

参 考 文 献

- [1] ISO 5725-2, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method
 - [2] ISO 31000, Risk management — Guidelines
 - [3] EN 1990:2002, E, Eurocode — Basis of Structural Design, CEN, November 29, 2001
 - [4] American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, ‘Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition’, 2017
 - [5] United States Environmental Protection Agency (USEPA): Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, USEPA/600/4-79-020, 1983. Office of Research and Development, Washington, DC
 - [6] A Guide to Project Management Body of Knowledge, 2000, PMI Standards Committee, William R. Duncan, Director of Standards
 - [7] Report of the MITRE Corporation and US Government under Contract No. 19628-94-C-0001, 1997
 - [8] C.W. MAYERS, R.F. SHANGRAW, M.R. DEVEY, T. HAYASHI, Understanding Process Plant Schedule Slippage and Startup Costs, 1986, RAND, Santa-Monica, CA
 - [9] DAVID HULETT, Practical Schedule Risk Analysis, 2009, Gower Publishing Company, Burlington, USA
 - [10] DODGE, F. (1943). A sampling plan for continuous production. Ann. Math. Statist. 14, 3, 264-279
 - [11] J.M. BENNETT, D.S.K. HO, Project Management for Engineers, 2014, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
 - [12] MONTGOMERY, D. (2017), Design and Analysis of Experiments. 9th ed, Wiley
 - [13] MONTGOMERY, D. (2009), Introduction to Statistical Quality Control. 7th ed, Wiley
-

国家标准
《以水回用为目标的工业废水处理设施中试方案》
(征求意见稿)

编 制 说 明

《以水回用为目标的工业废水处理设施中试方案》编制组

2026 年 07 月

一、工作简况

1.1 任务来源及要求

计划下达文号：国家标准化委员会《国家标准委关于下达 2025 年第十一批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2025〕69 号）第 146 项任务

计划编号：20256284-T-469

下达日期：2025 年 12 月 2 日

计划要求：项目周期为 12 个月，主管部门为国家标准委，归口单位和执行单位为 TC 618 全国水再利用标准化技术委员会，主要起草单位是南京大学等

标准性质：推荐性国家标准

制订（修订）：制定

采标情况：等同采标 ISO 22524:2020

1.2 制定背景

（1）国内外产业现状及现存问题

在当今全球范围内，水资源紧缺已成为一个极为严峻的问题。《2024 年联合国水发展报告》指出，全球约有 20 亿人口生活在水资源严重短缺的地区，到 2025 年，这一数字预计将攀升至 40 亿，约占全球总人口的 47%。人口的持续增长、工业化进程的迅猛推进以及气候变化的综合影响，使得水资源的供需矛盾愈发突出。许多地区频繁陷入缺水困境，不仅对生态系统的平衡稳定构成严重威胁，也极大地限制了人类的生产生活。我国虽是水资源大国，水资源总量位居世界第 6 位，但人均淡水资源量仅为世界平均水平的 35%，约为 2200 立方米。全国近三分之二的城市不同程度缺水，16 个省、自治区、直辖市的人均水资源拥有量低于国际公认的 1700 立方米用水紧张线，其中 10 个低于 500 立方米的严重缺水线。水资源短缺形势依旧严峻。

废水处理与回用成为缓解这一困境的关键举措。科学合理地处理废水，将原本被废弃的污水转化为可再次利用的宝贵资源，不仅能在一定程度上缓解水资源短缺的压力，还能减少污水直接排放对环境造成的污染。据统计，若全球工业废水回用率平均提高 10%，每年可节约约 200 立方千米的水资源，这一水量相当于 2000

多个西湖的蓄水量。在众多行业中，废水处理与回用已经展现出显著成效。如我国在《工业废水循环利用实施方案》的推动下，2022 年规模以上工业用水重复利用率相比 2015 年提高了 4 个百分点以上，向着 2025 年力争规模以上工业用水重复利用率达到 94%左右的目标稳步迈进。

然而，工业废水处理领域面临着诸多难题。工业涵盖的行业极为广泛，不同行业产生的废水成分千差万别。以煤化工行业为例，每生产 1 吨煤制油产品，约产生 3~5 吨废水，这些废水中化学需氧量（COD）可高达数万 mg/L，总氮含量也能达到数千 mg/L。化工、制药、印染、电镀等行业的废水同样复杂，含有大量复杂的有害物质、重金属离子、难降解有机物等。每种废水独特的化学和物理性质，使得通用的处理方法难以发挥有效作用，必须根据废水特性制定针对性极强的处理方案。

鉴于传统处理技术在应对复杂工业废水时逐渐暴露出局限性，难以满足日益严格的环保标准和回用需求，积极开展工业废水处理新技术的研发刻不容缓。从新型材料的创新应用，到创新工艺的精心设计，从微生物群落的优化调控，到智能化处理系统的构建，每一项新技术的突破都为工业废水处理带来新的希望。

在新技术大规模推广应用之前，中试研究发挥着不可或缺的桥梁作用。废水处理中试是指废水处理技术从实验室小试到实际工程应用之间的一个关键环节，是在一定规模（比实验室规模大，但小于实际污水处理厂规模）的试验装置或系统中，对污水处理工艺、设备、药剂等进行试验研究的过程。以大连化物所研发的煤化工废水制氢联产淡水新技术为例，研究团队以新疆哈密地区兰炭废水为原料进行中试试验，该废水中 COD 为 51000mg/L，总氮为 2892 mg/L，盐度为 32000 ppm。通过 25 千瓦级中试装置运行，最终实现了高效制氢联产淡水，氢气产能达 3 万方/年，氢气纯度 $\geq 99.999\%$ ，在满足自身电解需求的基础上，还联产淡水 6 吨/年，淡水盐度 $\leq 50\text{ppm}$ ，淡水中 COD 与总氮含量均未检出（COD 检出限为 4 mg/L，总氮检出限为 20 $\mu\text{g/L}$ ），有力地证明了该新技术的可行性与先进性。通过中试规模的模拟实验环境，能够对新型技术或工艺进行全面测试与细致评估，精准掌握技术在实际运行中的稳定性、处理效率、成本效益以及可能出现的各类问题，为后续的工业化推广筑牢根基。

中试研究作为连接实验室研究与大规模生产实践的关键环节，是在实际生产环境下进行的小规模试验，具有极高的实践价值与指导意义。其主要目的在于确定污水处理技术的可行性、稳定性和经济性。首先，中试研究能够验证污水处理技术在实际生产环境中的适应能力，包括处理效率、处理效果等方面，从而确保该技术在实际应用中的可行性。其次，中试研究能够全面评估污水处理技术的稳定性，揭示其在长时间运行中的表现，包括技术参数的波动情况、设备的运行状态等，为技术的优化提供数据支持。最后，中试研究还能从经济效益的角度出发，评估污水处理技术的成本效益，包括投资成本、运行成本等，为决策者提供科学的依据。通过中试研究，可以全面了解污水处理技术的应用效果和经济效益，从而避免工程建设初期可能出现的各种问题，如技术不适应、设备故障、成本超支等。这不仅能够有效减少投资风险，还能提高技术的稳定性和经济效益，为后续的规模化生产奠定坚实的基础。因此，中试研究在污水处理技术的研发与应用过程中具有不可替代的作用。

因此，使用中试研究对工业废水处理新型技术进行测试和评估，对于提高废水处理和回收利用效率、降低成本、保护环境具有重要意义，有助于推进工业废水资源化利用进程。

（2）符合政策规划需求

为深入贯彻习近平生态文明思想，坚持“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路，以实现工业水资源节约集约循环利用为目标，我国先后发布了《清洁生产促进法》、新《环境保护法》、《水污染防治法》、《污水防治行动计划》、《工业废水循环利用实施方案》等多项政策，推进工业废水深度处理与回用，以标准引领污水资源化利用。2021年1月，国家发展改革委等十部门联合发布《关于推进污水资源化利用的指导意见》，明确指出要积极推动工业废水资源化利用，推进企业内部工业用水循环利用，提高重复利用率，意见还指出要加快制修订污水资源化利用相关装备、工程、运行等标准。2021年12月，工业和信息化部等六部门联合印发《工业废水循环利用实施方案》，提出到2025年工业用水重复利用率达到94%左右的目标，明确重点任务之一是要突出标准引领，推进重点行业水效对标达标，加快制修订工业废水循环利用技术、管理、评价等标准。鼓励行

业协会、科研院所、标准化组织等机构利用现有双多边机制，推进产业合作、标准对接和技术交流等。

近年来，国内各省市陆续出台政策支持中试平台建设。2021 年，中关村示范区领导小组印发《“十四五”时期中关村国家自主创新示范区发展建设规划》，提出要加大对中试转化的支持力度；2022 年，辽宁出台《中试基地建设发展实施方案（2022-2025）》，致力于构建一个功能完备、运行高效的中试基地网络，推动辽宁传统产业转型升级与新兴产业培育发展；2023 年，陕西印发《加快中试基地建设推进产业链创新链深度融合实施方案》，强调以中试基地为纽带，促进产业链上下游企业与高校、科研机构之间的深度合作，推动创新链与产业链精准对接、深度融合，实现科技成果的快速产业化应用。

一系列政策的出台为工业废水处理中试计划提供了有力的支撑。这些政策涵盖技术指导、资源协调、资金支持等多方面，为工业废水处理技术中试计划推进提供了坚实保障。因此，本标准的制定有助于推进我国工业废水资源化利用和废水处理技术中试研究目标的实现，符合国家政策规划要求。

（3）以中试推动工业废水处理技术创新、工艺研发与工程应用

近年来，我国践行绿色低碳发展理念，着力推动重点领域污水处理资源化循环利用，对高效低耗的废水处理技术的需求日益增长。废水处理中试是指废水处理技术从实验室小试到实际工程应用之间的一个关键环节，是在一定规模（比实验室规模大，但小于实际污水处理厂规模）的试验装置或系统中，对废水处理工艺、设备、药剂等进行试验研究的过程。中试研究作为连接实验室研究与大规模生产实践的关键环节，是在实际生产环境下进行的小规模试验，具有极高的实践价值与指导意义。其主要目的在于确定废水处理工艺的可行性、稳定性和经济性。中试研究能够帮助验证工业废水处理工艺在实际生产环境中的适应能力，包括处理效率、处理效果等方面，从而确保该技术在实际应用中的可行性。中试研究能够全面评估废水处理工艺的稳定性，揭示其在长时间运行中的表现，包括工艺参数的波动情况、设备的运行状态等，为工艺的优化提供数据支持。中试研究还能从经济效益的角度出发，评估污水处理工艺的成本效益，包括投资成本、运行成本等，为决策者提供科学的依据。

通过中试研究，可以全面了解污水处理工艺的应用效果和经济效益，从而避免工程建设初期可能出现的各种问题，如工艺不适应、设备故障、成本超支等。这不仅能够有效减少投资风险，还能提高工艺的稳定性 and 经济效益，为后续的规模化生产奠定坚实的基础。因此，中试研究在废水处理技术与工艺的研发和应用过程中具有不可替代的作用。

（4）以标准引领工业水回用领域技术可持续发展

目前，与工业废水处理和回用领域直接相关的国家标准仅有《工业废水处理与回用技术评价导则》（GB/T 32327-2015）、《工业废水电化学处理技术规范 第1部分：总则》（GB/T 45386.1-2025）等三项，其余为各工业领域的废水处理及回用技术规范等行业标准，缺少工业废水处理技术中试相关标准，因此亟需制定中试相关国家标准，以引导、规范我国工业废水处理技术中试研究的发展。

本标准编制组牵头组建了工业水回用领域首个国际标准化平台（ISO/TC 282/SC 4），主导研制系列工业水回用技术国际标准《Industrial wastewater classification》（ISO 22447: 2019）、《Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse》（ISO 23044: 2020）、《Evaluation methods for industrial wastewater treatment reuse processes》（ISO 23043: 2021）等10项，这些标准的推广应用，构建了亚/欧/美/非24个国家的工业水处理技术标准化创新体系，支撑中国恩菲、大唐环境等30余家大型企业在加拿大、澳大利亚、俄罗斯、南非、印度等36个国家的162项工业水处理及回用工程的顺利实施。因此，通过充分借鉴国内外标准贯标的成熟经验，进行标准的转化升级，制定本项国家标准，为提升我国工业水处理技术与应用水平作出重要贡献。本项国家标准的制定为我国开展工业废水处理和回用技术创新研发、中试项目建设、工程应用指明了方向、为工业废水处理技术中试研究的实施提供了基本原则和指导方针。该标准的制定有助于推进我国工业水回用领域标准体系的完善和发展，对引领我国工业水处理产业健康、快速、可持续发展具有重要意义。

1.3 起草过程

（1）前期准备阶段

2025年12月～2026年5月，展开标准编制前期准备工作，主要包括筹备组建编制组、调研并收集相关资料、编制标准工作大纲、撰写标准初稿等工作。

（2）启动与起草阶段

2026 年 6 月，南京大学、中国标准化研究院、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司和南京大学宜兴环保研究院在宜兴以线上+线下结合的方式组织召开标准启动会，全国水再利用标准化技术委员会的有关领导和标准编制组成员参加了此次会议。会议对标准初稿、重点问题、起草组分工及下一步工作计划进行了讨论，形成了修改建议与意见。

会后，编制组对标准启动会确定的重点内容进行了深入研究和交流，并根据讨论意见对标准草案进行完善，形成了标准的征求意见稿。

二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据

2.1 编制原则

本标准的制定遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，本着先进性、科学性、合理性和可操作性，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》相关要求编写。

2.2 编制依据

本标准的编制以国家环境保护现有法律、法规、政策为主要依据，确定本标准的技术要求，总结编制了本标准。

本标准依据的法律、法规、政策主要有：

《中华人民共和国环境保护法》（主席令第九号）

《中华人民共和国环境影响评价法》（主席令第四十八号）

《中华人民共和国标准化法》（主席令第七十八号）

《中华人民共和国消防法》（主席令第八十一号）

《中华人民共和国科学技术进步法》（主席令第八十二号）

《中华人民共和国水污染防治法》（主席令第八十七号）

《中华人民共和国水污染防治实施细则》（国务院令 284 号）

《水污染防治行动计划》（国发〔2015〕17 号）

《国家节水行动方案》（发改环资规〔2019〕695 号）

《国家标准化发展纲要》（国务院公报 2021 年第 30 号）

《“十四五”水安全保障规划》（国家发展改革委、水利部印发）

《关于推进污水资源化利用的指导意见》（发改环资〔2021〕13号）

《工业废水循环利用实施方案》（工信部联节〔2021〕213号）

《工业水效提升行动计划》（工信部联节〔2022〕72号）

《减污降碳协同增效实施方案》（环综合〔2022〕42号）

《关于推进污水处理减污降碳协同增效的实施意见》（发改环资〔2023〕1714号）

《节约用水条例》（国令第776号）

《促进环保装备制造业高质量发展的若干意见》（工信部联节〔2025〕49号）

本文件参考的标准主要有：

表1 参考与引用的标准清单

标准编号	标准名称
ISO 22447:2019	工业废水分类
ISO 22449-1:2020	工业冷却系统中再生水的使用 第1部分：技术导则
ISO 22449-2:2020	工业冷却系统中再生水的使用 第2部分：成本分析指南
ISO 23044:2020	工业废水的软化和脱盐再利用指南
ISO 22524:2020	以水回用为目标的工业废水处理设施中试计划
ISO 23043:2021	工业废水处理回用过程评价方法
ISO 4789:2023	火电厂废水处理和回用指南
ISO/TS 21152:2024	火电厂循环冷却水节水技术规范
ISO 12370:2025	发酵类制药废水处理与回用技术指南
GB/T 14848-2017	地下水质量标准
GB 18918-2002	区域地下水水质监测网设计规范
CJ/T 51-2018	城镇污水处理厂污染物排放标准
GB/T 18920-2020	城市污水再生利用 城市杂用水水质
GB/T 39481-2020	海水淡化利用 工业用水水质
GB 5084-2021	农田灌溉水质标准
GB/T 41016-2021	水回用导则 再生水厂水质管理
GB/T 19923-2024	城市污水再生利用 工业用水水质
CJ/T 474-2015	城镇供水管理信息系统 供水水质指标分类与编码
DZ/T 0290-2015	地下水水质标准
FZ/T 01107-2011	纺织染整工业回用水水质
SL 368-2006	再生水水质标准
GB/T 21814-2008	工业废水的试验方法 鱼类急性毒性试验
GB/T 32327-2015	工业废水处理与回用技术评价导则
GB/T 45386.1-2025	工业废水电化学处理技术规范 第1部分：总则
HG/T 6237-2023	有机氮工业废水处理及回用技术规范
HG/T 6236-2023	工业废水深度处理及回用技术规范 吸附法

标准编号	标准名称
HJ 1279-2023	钛白粉工业废水治理工程技术规范
HJ 1278-2023	陶瓷工业废水治理工程技术规范
HJ 1277-2023	氮肥工业废水治理工程技术规范
HJ 471-2020	纺织染整工业废水治理工程技术规范
HJ 2054-2018	磷肥工业废水治理工程技术规范
HJ 2051-2016	烧碱、聚氯乙烯工业废水处理工程技术规范
HJ 2045-2014	石油炼制工业废水治理工程技术规范
HJ 2036-2013	染料工业废水治理工程技术规范
HJ 2030-2013	味精工业废水治理工程技术规范
HJ 2019-2012	钢铁工业废水治理及回用工程技术规范
HJ 575-2010	酿造工业废水治理工程技术规范

2.3 主要内容及其确定依据

本文件等同采用 ISO 22524:2020 《Pilot plan for industrial wastewater treatment facilities in the objective of water reuse》。

本文件提供了工业废水处理技术中试研究的基本原则和指导。

本文件适用于以回用为目的的各种工业水处理系统。不涉及特定技术的实验室研发、研究或测试，也不涉及灌溉等回用应用或操作。

2.4 起草单位和起草人员信息及分工

起草单位：南京大学、中国标准化研究院、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、南京大学宜兴环保研究院、江苏水污染防治装备技术发展有限公司、江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司、河南工业大学、深圳市海川实业股份有限公司、黑龙江科技大学、华电郑州机械设计研究院有限公司、南京市给排水工程设计院有限公司、重庆大学、内蒙古农业大学。

主要起草人：任洪强、耿金菊、张蕊、杨忠平、许柯、马思佳、王庆、范怀蒙、万东锦、陈橙、白岩、朱巧莲、何唯平、李立欣、郭新茹、李颖、王苏红、于清淼、刘晓民、杨耀天。

各主要参加单位及工作组成员所做工作见表 2。

表 2 主要参加单位及工作组成员所做工作

标准章节	主要工作	牵头单位及 主要负责人	主要负责单位	参与人员
1 范围 2 规范性引用文件	范围的编写、论证，规范性引用文件的检查更新	牵头单位：南京大学、中国标准化研究院、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、南京大学宜兴环保研究院 主要负责人：任洪强、耿金菊、张蕊、杨忠平	江苏水污染防治装备技术发展有限公司 江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司	许柯 范怀蒙 马思佳
3 术语、定义和缩略语	术语、定义和缩略语的编写、核实和论证		江苏水污染防治装备技术发展有限公司 河南工业大学	许柯 万东锦 马思佳
4 中试研究的生命周期	中试研究的生命周期等内容的资料调研、方法论证、草案编写		江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司 华电郑州机械设计研究院有限公司 江苏水污染防治装备技术发展有限公司	范怀蒙 郭新茹 许柯 王庆
5 方案和项目管理	方案和项目管理等内容的资料调研、方法论证、草案编写		河南工业大学 南京市给排水工程设计院有限公司	万东锦 王苏红 陈橙
6 中试方案的目标、范围和边界的说明	中试方案的目标、范围和边界的说明等内容的资料调研、方法论证、草案编写		深圳市海川实业股份有限公司 江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司	何唯平 范怀蒙 白岩
7 中试方案研究方案	中试方案研究方案等内容的资料调研、方法论证、草案编写		黑龙江科技大学 河南工业大学	李立欣 万东锦 朱巧莲
8 中试装置/设施的开发和建设	中试装置/设施的开发和建设等内容资料调研、方法论证、草案编写		华电郑州机械设计研究院有限公司 江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司	郭新茹 范怀蒙 李颖

标准章节	主要工作	牵头单位及 主要负责人	主要负责单位	参与人员
9 建立运行框架	建立运行框架等内容资料调研、方法论证、草案编写		华电郑州机械设计研究院有限公司 黑龙江科技大学	郭新茹 李立欣
10 中试装置/设施调试阶段	中试装置/设施调试阶段等内容资料调研、方法论证、草案编写		南京市给排水工程设计院有限公司 深圳市海川实业股份有限公司 内蒙古农业大学	王苏红 何唯平 杨耀天
11 中试方案运行阶段	中试方案运行阶段等内容资料调研、方法论证、草案编写		重庆大学 南京市给排水工程设计院有限公司 黑龙江科技大学	于清淼 王苏红 李立欣
12 研究总结和报告	研究总结和报告等内容资料调研、方法论证、草案编写		重庆大学 深圳市海川实业股份有限公司 内蒙古农业大学	于清淼 何唯平 刘晓民
13 永久停机和退役	永久停机和退役等内容资料调研、方法论证、草案编写		重庆大学 内蒙古农业大学	于清淼 刘晓民 杨耀天

三、技术论证和效益分析

3.1 试验验证的分析、综述报告

本文件等同采用 ISO 22524: 2020 Pilot plan for industrial wastewater treatment facilities in the objective of water reuse, 与我国工业水处理行业现状高度契合、无冲突, 本项标准的采标与宣贯有利于工业废水处理技术的研发、中试及工程应用, 对引领我国及全球工业水处理产业健康、快速、可持续发展具有重要意义。

3.2 技术经济论证

(1) 技术成熟度

随着工业化的快速发展, 工业废水排放问题日益严峻, 对环境和人类健康构成了严重威胁。为了有效应对这一挑战, 近年来, 工业废水处理领域不断创新与发展, 涌现了许多新技术和研发成果。中试研究是连接实验室研究与大规模生产实践的关键环节, 可用于在较小规模上检查通过实验室研究开发的水处理工艺。通过运行中试工厂/设施所获得的经验, 可以确定全面成功实施的可能性, 从而有助于决定是否继续建设大规模工厂。本标准中提供的工业废水处理技术中试研究的基本原则和指导方针, 适用于以回用为目的的各种工业水处理系统, 为中试规划提供了全面的总体指导, 以验证实验室规模的研究结果和商业化潜力, 从最初的规划到中试后对中试研究期间收集的数据进行分析, 包含了每项中试计划研究都需要考虑的关键因素、方法、标准和流程, 旨在为成功实施中试计划提供重要的指导原则和注意事项。

本标准编制组牵头组建了工业水回用领域首个国际标准化平台 (ISO/TC282/SC4), 主导研制系列工业水回用技术国际标准《Industrial wastewater classification》(ISO 22447:2019)、《Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse》(ISO 23044:2020)、《Evaluation methods for industrial wastewater treatment reuse processes》(ISO 23043:2021) 等 11 项, 这些标准的推广应用, 构建了亚/欧/美/非 24 个国家的工业水处理技术标准化创新体系, 支撑中国恩菲、大唐环境等 30 余家大型企业在加拿大、澳大利亚、俄罗斯、南非、印度等 36 个国家的 162 项工业水处理及回用中试及工程的顺利实施。通过充分借鉴国内外标准贯标的成熟经验, 对国际标准 ISO 22524:2020 《Pilot plan for industrial

wastewater treatment facilities in the objective of water reuse》进行采标，制定本项国家标准，为工业废水处理中试计划的成功实施提供重要的指导，也为提升我国工业水回用技术水平作出重要贡献。因此，本标准的制定与实施在技术上是可行的。

（2）经济性

根据住建部公布的《城乡建设统计年鉴》数据，2023 年，我国城市污水处理厂数量攀升至 2967 座，处理能力达 22653 万立方米/日；我国县城污水处理厂数量为 1849 座，处理能力为 4378 万立方米/日，我国城市与县城污水处理厂数量及处理能力都呈上涨趋势。

从我国治理废水项目完成投资额来看，据统计，2009~2016 年国内工业废水治理项目投资金额都超过 100 亿元，2017 年项目投资金额下降较为明显为 76.38 亿元，2018-2022 年我国工业废水治理项目投资金额整体呈下降态势，截至 2022 年我国工业废水治理项目投资金额为 37.72 亿元，同比增长 4.42%。根据住建部公布的《城乡建设统计年鉴》数据，2023 年我国工业用水重复利用量达 1127 亿立方米，较 10 年前提高了 2 倍；2022 年我国各省市城市污水处理及其再生利用固定资产投资额为 758.1 亿元，较 2022 年提升 7.05%。

我国污水处理行业正处于持续扩张和稳步发展阶段，工业废水处理市场规模逐年扩大，工业废水回用量不断增加，废水处理中试投资和规模也将不断提升，因此本标准的制定和实施在经济上是可行的。

3.3 预期效益

（1）经济效益

工业水回用蕴藏着巨大经济效益。当下工业生产各环节对水需求大，废水产生不可避免。经处理达标后的废水回用于冷却、清洗、工艺用水等环节，能替换高价新鲜水，大幅削减外购水费。此外，回用废水还能降低废水处理成本。企业无需为大量外排废水投入高额处理费，减少药剂、设备能耗等开支，每立方米废水处理成本可降 1~3 元。而且，废水排放量减少，规避了超标排污罚款，提升企业环保形象，利于吸引投资与合作，全方位助力企业降本增效、稳健发展。

中试作为废水处理领域中的一个关键环节，是验证实验室研究成果在实际规模下可行性的重要步骤。在这一阶段，通过模拟真实环境中的污水处理过程，可以全面评估处理技术的效率、稳定性和经济性，为后续的大规模应用提供科学、可靠

的依据。中试阶段不仅是对技术可行性的考验，更是对经济性的全面评估。通过中试，企业可以更加准确地估算处理成本、运行能耗及维护费用，为项目预算和投资决策提供科学、可靠的依据。此外，成功的中试项目往往能够更容易地获得政府补贴、银行贷款或投资者的青睐，为项目的融资和推进提供有力支持。

中试过程优化处理工艺，降低药剂、能源等运营投入，精准的药剂投加与高效节能设备应用，使每立方米废水处理成本得到有效控制。通过中试规模验证废水处理工艺的稳定性与回用水质达标率，可量化评估水资源循环利用带来的直接成本节约（如新鲜水采购费用降低）和间接效益（如排污费减少、水资源税优惠）。同时，结合设备投资、运维成本、能耗等全生命周期成本，可以计算投资回收期与净现值，综合评估技术经济性。中试阶段的经济效益数据可为规模化应用提供决策依据，通过优化工艺参数与成本结构，可显著提升工业水回用的经济可行性，助力企业实现节水降耗与绿色转型的双重目标。

（2）社会效益

直接将未经充分验证的工业废水处理技术应用于大型工程项目，往往伴随着技术失败、投资浪费及环境污染等高风险。中试则如同一个“试错”的平台，允许在较小的规模内识别并解决问题，从而有效避免大规模实施时可能出现的风险。通过中试研究，企业可以全面了解废水处理工艺的应用效果和经济效益，为后续的工程建设和提供有益的参考；同时可以更加稳健地推进技术创新，确保污水处理项目的成功实施。

从资源可持续利用角度出发，工业废水处理回用中试研究推动了水资源的循环再生，在工业领域实现废水变“活水”，缓解当下社会日益紧张的水资源供需矛盾，为子孙后代留存更多可用之水。在环保层面，工业废水处理回用显著减少工业废水直接外排，降低水体污染风险，守护江河湖海的生态健康，维护生物多样性，确保水生态系统稳定运行，让周边居民免受污水之害，享受优质水环境。在就业与产业带动方面，一方面中试计划催生专业的废水处理运营、维护及技术研发岗位，吸纳高技能人才就业；另一方面，促进上下游相关产业协同发展，如环保设备制造、水质监测等，形成新的经济增长点。

成功的工业废水处理中试计划为同行业树立标杆，加速环保理念与技术扩散，提升全社会环保意识，引领工业走向绿色发展新时代，助力构建资源节约型、环境友好型社会大局。

（3）生态效益

中试在工业废水处理领域中的一个重要作用是环境适应性评估。中试有助于评估处理技术对不同环境条件的适应性和灵活性，确保处理方案能够满足当地特定的环保要求。通过中试，企业可以深入了解当地水质、气候等环境因素对处理效果的影响，从而制定出更加科学、合理的处理方案。同时，中试还可以探索如何在保持高效处理的同时，减少对环境的影响，促进绿色发展，实现经济效益与环保效益的双赢。

在水体生态保护层面，中试助力工业废水达标回用，极大削减了未经处理或处理不充分的废水向自然水体的排放量，有效遏制了诸如重金属、有机物、氮磷营养盐等各类污染物进入江河湖海，避免造成水体富营养化、水质恶化以及水生生物栖息地破坏等问题，维护水域生态系统的健康稳定，为鱼类、水生植物等众多生物提供了清洁、适宜的生存繁衍环境。从水资源可持续性视角出发，推动工业废水由废弃污染物向可再利用资源的转化，实现水资源循环闭合回路，减缓淡水资源的消耗速率，在全球水资源紧张的大背景下，相当于为生态系统的“血液循环”补充了新鲜动力，保障未来生态用水需求。此外，工业废水回用可实现水资源循环利用，大幅减少新鲜水开采，缓解区域水资源压力；减少对自然水体的依赖，间接维护流域生态平衡，助力区域绿色可持续发展。

四、与国际或国外同类标准一致性情况对比

本文件等同采用 ISO 22524:2020，技术水平一致。

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 22524:2020。

引用、采用国际国外标准合规。

六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本文件与相关法律法规及强制性标准协调配套，不存在违法相关法律法规及

强制性标准的技术内容。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

八、涉及专利的有关说明

本文件不涉及专利内容。

九、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

为了贯彻实施本文件，应在实施前保证标准文本的充足供应。在实施过程中，向涉及设计、建设、使用中试方案的单位与监管部门进行宣传、贯彻，根据贯彻实施情况反馈信息，不断修订完善。同时，随着中试技术的不断发展创新以及实践经验的积累，根据实际需要，标准内容应不断得到完善、拓展、深入和更新，使其实用性和可操作性与时俱进，不断满足环境保护的需要。因此，本标准发布与实施后，建议建立相关信息的反馈机制，适时解决标准应用中的问题，及时了解和总结中试技术的新动向，推动标准的贯彻执行。

十、其他应当说明的事项

无

《以水回用为目标的工业废水处理设施中试方案》编制组

2026年7月

国家标准《以水回用为目标的工业废水处理设施中试
计划》（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 standard@njuyi.cn。