

城镇污水再生利用技术指南

（试行）

中华人民共和国住房和城乡建设部
二〇一二年十二月

前 言

城镇污水再生利用不仅是缓解区域水资源短缺的有效途径，也能有效减轻污水排放对生态环境的压力。为进一步规范城镇污水再生利用，推动城镇节水减排，依据《中华人民共和国城乡规划法》、《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国循环经济促进法》、《中华人民共和国水污染防治法》和《城市节约用水管理规定》等法律法规和规章，根据原建设部、科学技术部发布的《城市污水处理再生利用技术政策》，编制本指南。

本指南提出我国城镇污水再生利用的原则框架，用于指导我国城镇污水处理再生利用的规划，设施建设、运行、维护及管理。在编制过程中，借鉴了国外的先进经验，广泛征求了有关方面的意见，对主要问题开展了专题论证，对具体内容进行了反复讨论和修改，总体上反映了近年来我国城镇污水再生利用的实践经验和研究成果。

本指南的主要内容包括总则、城镇污水再生利用技术路线、城镇污水再生处理技术、城镇污水再生处理工艺方案、城镇污水再生利用工程建设与设施运行维护、城镇污水再生利用风险管理，共六章。

本指南由中华人民共和国住房和城乡建设部组织编制。

本指南主要起草单位：中国科学院生态环境研究中心、住房和城乡建设部城镇水务管理办公室、清华大学、天津中水有限公司、北京城市排水集团有限责任公司、天津大学、天津工业大学、天津城市建设学院。

本指南由住房和城乡建设部城市建设司负责管理，中国科学院生态环境研究中心负责技术解释。请各单位在使用过程中，总结实践经验，提出意见和建议。

目 录

第一章 总 则	1
第二章 城镇污水再生利用技术路线	2
第一节 城镇污水再生利用基本原则.....	2
第二节 再生水利用需求分析.....	2
第三节 规划布局.....	3
第四节 利用途径及单元技术选择.....	4
第三章 城镇污水再生处理技术	7
第一节 常规处理技术.....	7
第二节 深度处理技术.....	9
第三节 消毒技术.....	14
第四章 城镇污水再生处理工艺方案	16
第一节 工业利用.....	16
第二节 景观环境利用.....	18
第三节 绿地灌溉利用.....	20
第四节 农田灌溉利用.....	21
第五节 城市杂用.....	23
第六节 地下水回灌.....	24
第五章 城镇污水再生利用工程建设与设施运行维护	26
第一节 城镇污水再生利用工程建设.....	26
第二节 设施运行维护管理.....	29
第六章 城镇污水再生利用风险管理	30
第一节 生产风险管理.....	30
第二节 终端用户风险管理.....	31
第三节 科学研究和公众参与.....	32
附 录	35

第一章 总 则

1 适用范围

本指南适用于城镇集中型污水处理再生利用技术方案选择，涵盖城镇污水从收集、处理到再生利用全过程的管理，指导城镇污水再生利用的规划以及设施的建设、运行、维护及管理。

再生水的主要用途包括工业、景观环境、绿地灌溉、农田灌溉、城市杂用和地下水回灌等。

2 总体目标

城镇污水再生利用的总体目标是充分利用城镇污水资源、削减水污染负荷、促进水的循环利用，缓解区域水资源短缺，推动城镇节水减排，提升我国城镇水资源综合利用效率和水平，推动资源节约型和环境友好型社会的建设。

3 指导思想

本指南的指导思想是针对我国城镇污水再生利用的实际需求，结合相关政策的要求和现有城镇污水再生利用设施的运行实践，借鉴国际相关成果和经验，体现系统性、整体性、合理性、前瞻性和水质安全性，科学确定城镇污水再生利用规划以及设施建设、运行、维护及管理的技术要求。

系统性：城镇污水再生利用应涵盖从污水收集、处理到利用的全过程，城镇污水处理厂建设和改造应统筹考虑污水再生利用。

整体性：城镇污水再生利用应纳入城镇排水与污水处理的整体规划。

合理性：城镇污水处理、再生及输配等设施的布局，应充分考虑再生利用的便利性，根据再生水用户的需求进行合理布局。

前瞻性：城镇污水再生利用的规划和建设应具有一定的前瞻性，充分借鉴国内外取得的科研和实践成果。

水质安全性：城镇污水再生利用的核心问题是水质安全。应加强源头管理，确保排入下水道的污水达到污水排入城镇下水道水质标准，同时要提高再生处理工艺及输配过程的可靠性，从系统上保障再生水水质安全。

第二章 城镇污水再生利用技术路线

第一节 城镇污水再生利用基本原则

为保障城镇污水再生利用工作的顺利开展，集中型城镇污水再生利用应遵循以下基本原则：

(1) 城镇污水再生利用规划应以系统的调研和现状分析为基础，包括污水水源、城镇污水排放和处理情况、城镇再生水生产与使用现状等，并对制约城镇污水再生利用的各种因素进行分析，明确需要重点解决的问题。

(2) 城镇污水再生利用规模与布局应根据城镇的自身特点和客观需求确定。资源型缺水城镇应以增加水源为主要目标，水质型缺水城镇应以削减水污染负荷、提高城镇水环境质量和改善人居环境为主要目标。

(3) 再生水应优先用于需水量大、水质要求相对较低、综合成本低、经济和社会效益显著的用水途径。选择处理工艺时应考虑不同再生水利用途径水质需求的差异，以及从常规处理到深度处理和后续消毒工艺流程的整体性，同时需兼顾远期发展的需要。

第二节 再生水利用需求分析

城镇污水再生利用需求分析包括现状分析和水质水量需求分析。其中现状分析包括：

(1) 污水水源分析：包括产业结构、主要排水大户的水质特性及水量变化特点等。

(2) 城镇污水排放和处理情况分析：包括污水排放量及变化趋势、污水处理设施的工艺特点、处理能力、运行状况和出水水质等。

(3) 城镇再生水生产现状分析：包括城镇污水再生处理设施的工艺类型、生产规模、运行状况和再生水水质，以及再生水输配方式、输配设施布局和运行状况等。

(4) 城镇再生水使用现状分析：包括主要用户分布、再生水主要利用途径及再生水使用量变化等。

(5) 问题分析：对制约城镇污水再生利用的各种因素进行分析，明确需要重点解决的问题。

需求分析应依据城市水资源供需现状及变化趋势、潜在用户分布，确定不同用途的再生水水质水量需求。具体包括：

（1）工业：宜在对当地产业结构以及工业用水大户的用水特点与现状进行充分调研的基础上确定工业用再生水的水质水量需求。

（2）景观环境：宜根据水体功能、环境及质量标准、容量、蒸发耗散量、换水周期、地下渗透量、水体流动性（流速）、封闭或开放性等因素确定景观环境用再生水的水质水量需求。

（3）绿地灌溉：宜根据当地的气候条件、土壤特征、绿地类型以及灌溉面积和灌溉周期等确定绿地灌溉用再生水的水质水量需求。

（4）农田灌溉：宜统筹考虑气候条件、地理位置、土壤性质、农作物类型以及灌溉面积和灌溉周期等因素确定农业灌溉用再生水的水质水量需求。

（5）城市杂用：宜在对现有城市杂用水量调查的基础上，根据不同利用途径的特征和季节变化确定城市杂用再生水的水质水量需求，其中冲厕等用水量宜根据可接管用户数量进行确定。

（6）地下水回灌：宜根据水文地质条件、地下水资源现状、回灌方式等确定地下水回灌用再生水的水质水量需求。

第三节 规划布局

城镇污水再生利用规划是城镇排水与污水处理规划的重要内容，其制定应依据城镇总体规划，与城镇供水、排水、节水、市容环卫、园林绿化、暴雨内涝防治等有关规划相协调，并遵循国家及地方现有的法律、法规、规范及标准。规划应遵循因地制宜、经济合理的原则，根据城镇的自身特点和客观需求，统一规划、合理布局。再生处理设施规模和技术的选择应依据水源和用户需求确定，以满足近期再生利用需求为主，同时兼顾远期发展需要。应确保再生水水源水质水量满足再生水生产与供给的可靠性、稳定性和安全性要求，符合现行的相关标准，并对后续再生利用过程不产生危害。

城镇污水处理厂的建设应考虑再生利用的需求，统一规划、统筹建设，对于暂时没有再生水需求的地方可以在污水处理厂规划过程中预留深度处理设施位置和接口。

污水处理工艺的选择应考虑与再生利用途径相匹配。城镇污水再生处理水质目标和处理工艺的确定应考虑不同用户的需求。在不能同时满足不同用户需求时，应进行技术经济比选，确定优先利用方向。

污水再生处理、储存和输配设施的布局应综合考虑水源和再生水用户的分布，统筹规划。再生水可通过压力管网、河道或供水车等方式输送至用户，管网的布置形式可选择环状或枝状管网，枝状管网末端需设置泄水设施；应考虑输配过程的加压、消毒及维护抢修站点用地等。再生水的储存和输配可充分利用城市景观水系。

第四节 利用途径及单元技术选择

城镇污水再生利用主要途径包括工业、景观环境、绿地灌溉、农田灌溉、城市杂用和地下水回灌。水质要求分别详见有关国家标准 GB/T 19923-2005、GB/T 18921-2002、GB/T 25499-2010、GB 20922-2007、GB/T 18920-2002、GB/T 19772-2005。不同用途应重点关注的水质指标见表 2-1。

表 2-1 不同利用途径应重点关注的再生水水质指标

主要用途		应重点关注的水质指标
工业	冷却和洗涤用水	氨氮、氯离子、溶解性总固体（TDS）、总硬度、悬浮物（SS）、色度等指标。
	锅炉补给水	TDS、化学需氧量（COD）、总硬度、SS 等指标。
	工艺与产品用水	COD、SS、色度、臭味等指标。
景观环境	观赏性景观环境用水	营养盐及色度、臭味等指标。
	娱乐性景观环境用水	营养盐、病原微生物、有毒有害有机物、色度、臭味等指标。
绿地灌溉	非限制性绿地	病原微生物、浊度、有毒有害有机物及色度、臭味等指标。
	限制性绿地	浊度、臭味等感官指标。
农田灌溉	直接食用作物	重金属、病原微生物、有毒有害有机物、色度、臭味、TDS 等指标。
	间接食用作物	重金属、病原微生物、有毒有害有机物、TDS 等指标。
	非食用作物	病原微生物、TDS 等指标。
城市杂用		病原微生物、有毒有害有机物、浊度、色度、臭味等指标。
地下水回灌	地表回灌	重金属、TDS、病原微生物、SS 等指标。
	井灌	重金属、TDS、病原微生物、有毒有害有机物、SS 等指标。

为了达到不同用途的水质要求，需要将各种污水再生处理单元技术进行有机组合。主要单元技术功能和特点见表 2-2。具体单元技术要求及特点等详见第三章。

表 2-2 污水再生利用主要单元技术功能和特点

单元技术		主要功能及特点	
常规处理	一级处理	去除 SS，提高后续处理单元的效率，主要包括格栅、沉砂池和初沉池。	
	二级处理	去除易生物降解有机污染物和 SS，主要为生物处理工艺，如传统活性污泥法。	
	二级强化处理	强化营养盐（氮、磷）的去除，如厌氧/缺氧/好氧（AAO）工艺。	
深度处理	混凝沉淀	强化 SS、胶体颗粒、有机物、色度和总磷（TP）的去除，保障后续过滤单元处理效果。	
	介质过滤	砂滤	进一步过滤去除 SS、TP，稳定、可靠，占地和水头损失较大。
		滤布滤池	进一步过滤去除 SS、TP，占地和水头损失较小。
		生物过滤*	进一步去除氨氮或总氮以及部分有机污染物。
	膜处理	膜生物反应器	传统生物处理工艺与膜分离相结合以提高出水水质，占地小，成本较高。
		微滤/超滤膜过滤	高效去除 SS 和胶体物质，占地小，成本较高。
		反渗透	高效去除各种溶解性无机盐类和有机物，水质好，但对进水水质要求高，能耗较高。
	氧化	臭氧氧化	氧化去除色度、臭味和部分有毒有害有机物。
		臭氧-过氧化氢	比臭氧具有更强的氧化能力，对水中色度、臭味及有毒有害有机物进行氧化去除。
		紫外-过氧化氢	比臭氧具有更强的氧化能力，对水中色度、臭味及有毒有害有机物进行氧化去除。比臭氧-过氧化氢反应时间长。
消毒	氯消毒	有效灭活细菌、病毒，具有持续杀菌作用。技术成熟，成本低，剂量控制灵活可变。易产生卤代消毒副产物。	
	二氧化氯	现场制备，有效灭活细菌、病毒，具有一定的持续杀菌作用。产生亚氯酸盐等消毒副产物。	
	紫外线	现场制备，有效灭活细菌、病毒和原虫。消毒效果受浊度的影响较大，无持续消毒效果。	
	臭氧	现场制备，有效灭活细菌、病毒和原虫，同时兼有去除色度、臭味和部分有毒有害有机物的作用。无持续消毒效果。	

*本指南将生物过滤也包括在介质过滤中。

城镇污水再生处理工艺方案应根据再生水的用途选择不同的单元技术进行组合，并考虑工艺的可行性、整体流程的合理性、工程投资与运行成本以及运行管理方便程度等多方面因素，同时宜具有一定的前瞻性。对于向服务区域内多用户供水的城镇污水再生处理设施，供水水质应符合用水量最大的用户的水质要求；个别水质要求更高的用户，可自行增加处理措施，直至达到其水质要求。具体工艺方案建议详见第四章。

第三章 城镇污水再生处理技术

城镇污水再生处理技术主要包括常规处理、深度处理和消毒。

常规处理包括一级处理、二级处理和二级强化处理。主要功能为去除 SS、溶解性有机物和营养盐（氮、磷）。深度处理包括混凝沉淀、介质过滤（含生物过滤）、膜处理、氧化等单元处理技术及其组合技术，主要功能为进一步去除二级（强化）处理未能完全去除的水中有机污染物、SS、色度、嗅味和矿化物等。消毒是再生水生产环节的必备单元，可采用液氯、氯气、次氯酸盐、二氧化氯、紫外线、臭氧等技术或其组合技术。

城市污水再生处理系统应优先发挥常规处理在氮磷去除方面的功能，一般情况下应避免在深度处理中专门脱氮。

第一节 常规处理技术

常规处理技术包括一级处理、二级处理和二级强化处理。

1 一级处理

是以去除水中呈悬浮状态的固体污染物质为主的处理过程，一般采用物理处理方法，主要处理单元包含格栅、沉砂池、初沉池。

(1) (适用范围) 一级处理宜作为二级处理的预处理步骤。

(2) (技术特点) 去除SS为主，可部分去除生化需氧量（ BOD_5 ）。

(3) (运行参数) 格栅：过栅流速宜采用 0.6-1.0 m/s；平流沉砂池：流速宜为 0.15-0.3 m/s，最高时流量时停留时间不小于 30 s；曝气沉砂池：水平流速宜为 0.1 m/s，最高流量时停留时间应大于 2 min，处理每立方米污水的曝气量宜为 0.1-0.2 m^3 ；旋流沉砂池：最高流量时停留时间不应小于 30 s，水力表面负荷宜为 150-200 $m^3/(m^2 \cdot h)$ ；初沉池：水力表面负荷宜为 1.5-4.5 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 。

(4) (处理效果) 正常运行条件下，以生活污水为主的城镇污水经过一级处理后， BOD_5 可去除 30%左右，SS可去除 50%左右。

2 二级处理

以去除悬浮态和溶解态有机污染物为主要目的生物处理技术，包括普通活性污泥

法、吸附再生法、生物接触氧化法等。

(1)(适用范围)适用于对营养盐去除要求不高的城镇污水再生处理。

(2)(技术特点)可有效去除BOD₅、SS和氨氮。

(3)(运行参数)BOD₅污泥负荷(L_s)宜为0.2-0.5 kg BOD₅/(kgMLSS·d),污泥回流比宜为25-100%。

(4)(处理效果)正常运行条件下,城镇污水经过二级处理后出水水质可达到:COD_{Cr}<60 mg/L, BOD₅<20 mg/L, SS<20 mg/L, 氨氮<15 mg/L, 总氮<50 mg/L, 总磷<5 mg/L。

3 二级强化处理

以强化氮、磷或同时强化氮磷去除为主要目的生物处理工艺,主要包括活性污泥法中的缺氧/好氧(A_NO)生物脱氮法、厌氧/好氧(A_PO)生物除磷法、厌氧/缺氧/好氧(AAO, 又称A²O)生物脱氮除磷法、氧化沟、序批式活性污泥法(SBR)等,目前主流工艺是兼具脱氮除磷功能的A²O、氧化沟和SBR等,其中氧化沟和SBR宜用于中小规模污水再生处理。

(1)(适用范围)适用于对营养盐去除要求较高的城镇污水再生处理。

(2)(技术特点)可有效去除BOD₅、SS、氮和磷等。

(3)(运行参数)宜根据试验资料确定;无试验资料时,A_NO、A_PO和A²O可按表3-1的规定取值,兼具脱氮或除磷或同时除磷脱氮功能的氧化沟和SBR的运行参数可分别参照此表A_NO、A_PO和A²O取值。

表 3-1 二级强化处理技术运行参数参考值

运行参数 技术	BOD ₅ 污泥负荷L _s (kgBOD ₅ /kgMLSS· d)	污泥浓度 MLSS (g/L)	污泥龄 c (d)	污泥回流 比 R (%)	混合液回流 比 R _i (%)
A _N O	0.05-0.15	2.5-4.5	11-23	50-100	100-400
A _P O	0.4-0.7	2.0-4.0	3.5-7	40-100	—
A ² O	0.1-0.2	2.5-4.5	10-20	20-100	200

(4)(处理效果)正常运行条件下,城镇污水经过二级强化处理后出水水质可达到:COD_{Cr}<50 mg/L, BOD₅<10 mg/L, SS<20 mg/L, 氨氮<1 mg/L, 总氮<15 mg/L, 总磷<1 mg/L, 色度<30 度。

第二节 深度处理技术

深度处理的目的是进一步去除二级（强化）处理未能完全去除的有机污染物、SS、色度、嗅味和矿化物等。常见的深度处理技术包括混凝沉淀、介质过滤（含生物过滤）、膜处理及氧化等，本指南将膜生物反应器（MBR）技术也包括在深度处理技术中。

1 混凝沉淀技术

利用混凝剂使水中的悬浮颗粒物和胶体物质凝聚形成絮体，然后通过沉淀的方式去除絮体。混凝剂混合反应方式可采用管道混合或机械搅拌等方式。宜选择铝盐和铁盐为主的混凝剂，必要时可投加有机高分子助凝剂。沉淀设施主要有平流、竖流、辐流和斜板（管）沉淀池，也可利用澄清池去除絮体。

（1）（适用范围）适用于城镇污水二级处理/二级强化处理出水的深度处理，同时也可作为预处理技术，保障后续处理工艺过程稳定运行。

（2）（技术特点）经济、简便、适用范围广，对浊度、磷及表观色度均有较好的去除效果。

（3）（运行参数）混凝剂投量与进出水水质、混凝剂种类有关，一般运行情况下宜为 2-10 mg/L（以铁或铝计）；混合反应时间宜为 10-15 min，沉淀时间宜为 60-120 min。

（4）（处理效果）以二级处理出水为进水，混凝沉淀出水浊度可达到 1-5 NTU； COD_{Cr} 去除率约为 10-30%；根据来水总磷浓度，总磷去除率通常为 40-80%。

2 介质过滤技术

包括砂滤、滤布滤池等 SS 去除技术，本指南将生物过滤也包括在介质过滤中。

2.1 砂滤

利用一定粒径的石英砂等无机介质过滤截留悬浮物、胶体物质。

（1）（适用范围）适用于混凝沉淀出水或其他有除浊要求水的深度处理。城镇污水二级处理/二级强化处理出水浊度较低时可采用微絮凝-过滤。常用的砂滤池有 V 型滤池等。

（2）（技术特点）简单、经济、实用，运行稳定可靠，其中微絮凝-过滤具有一定的除磷效果。

（3）（运行参数）粒径、滤层厚度及滤速等运行参数与采用的滤池形式有关。当采用 V 型滤池时，均质滤料滤层厚度宜为 1.0-1.5 m 左右，滤速宜采用 4-8 m/h，根据

来水浊度确定反冲洗周期。

(4)(处理效果)砂滤出水浊度 <2 NTU；微絮凝-过滤对磷的去除与进水浓度以及絮凝剂投加量有关，去除率通常为 20-50%。

(5)(注意事项)采用微絮凝-过滤时，设计操作不当可能导致滤池反冲洗周期缩短、出水浊度升高。

2.2 滤布滤池

利用一定孔径的滤布过滤去除总悬浮固体。滤布滤池技术为表面过滤技术，可以替代传统的深床过滤。

(1)(适用范围)适用于混凝沉淀出水或其他有除浊要求水的深度处理。

(2)(技术特点)节省能耗，一般是常规气水反冲滤池能耗的 $1/3$ ；过滤水头小；占地面积小，维护使用简便。

(3)(运行参数)水力负荷宜为 $6-16\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，滤盘直径一般为 $0.90-3.00\text{ m}$ ，滤盘反洗转速一般为 $0.5-1.0\text{ r/min}$ 。

(4)(处理效果)对 SS 的去除率可达 50%以上。

(5)(注意事项)当 SS 过高或黏附性较强时，滤布易发生污染和堵塞。

2.3 生物过滤

利用滤料及其表面附着的生物膜去除氮、有机污染物和悬浮物。根据处理目标不同分为曝气生物滤池和反硝化滤池。

(1)(适用范围)适用于以城镇污水二级处理/二级强化处理出水的深度处理，也可用于臭氧氧化出水的后处理。曝气生物滤池适用于氨氮的去除，反硝化滤池适用于硝态氮的去除。

(2)(技术特点)去除氨氮(或总氮)和有机污染物。

(3)(运行参数)曝气生物滤池以氨氮为去除目标时，容积负荷一般为 $0.2-0.6\text{ kg 氨氮}/(\text{m}^3\text{滤料}\cdot\text{d})$ ，滤速宜为 $3-6\text{ m/h}$ ，供气量宜为 $70\text{ m}^3/\text{kg 氨氮}$ 左右；处理臭氧氧化出水时，滤速宜为 $4-10\text{ m/h}$ ；反硝化滤池容积负荷一般为 $1-1.5\text{ kg 硝态氮}/(\text{m}^3\text{滤料}\cdot\text{d})$ ，滤速宜为 $5-8\text{ m/h}$ ，外加碳源可按去除硝态氮的 5-6 倍($\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{N}$)计。

(4)(处理效果)以二级处理出水为进水时，曝气生物滤池氨氮去除率可达 90%以上， COD_{Cr} 的去除率可达 10-30%，出水 SS 一般 15 mg/L ；以臭氧氧化出水为进水

时，可有效去除臭氧氧化产生的小分子有机物，如醛类等；反硝化滤池硝态氮去除率主要取决于投加的碳源量，一般为 50-90%。

(5)(注意事项)曝气生物滤池在水温低时硝化效率会下降；反硝化滤池对碳源投加控制要求高，供应不足时会产生亚硝酸盐积累，过量时会导致出水有机物含量升高，而且应注意因生物生长而导致的滤床堵塞问题；原则上氮的去除应优先在二级强化处理单元完成。

3 膜处理技术

本指南所指膜处理技术包括基于微滤和超滤的固液分离技术，以及基于反渗透的脱盐及溶解性污染物去除技术。具体包括：膜生物反应器（MBR）技术、微滤/超滤膜过滤技术；反渗透（RO）技术等。

3.1 膜生物反应器

将膜分离技术与活性污泥生物处理单元相结合，以膜过滤取代传统二沉池的水处理技术。常用组件类型主要有板式和中空纤维两种。

(1)(适用范围)适用于以城镇污水为水源的污水再生处理。

(2)(技术特点)可克服传统活性污泥法的污泥流失和膨胀问题；容积负荷高，处理效果稳定，出水水质总体上优于常规生物处理技术。

(3)(运行参数)膜通量一般为 10-20 L/(m²·h)，操作压力宜小于 0.05 Mpa，气水比宜为 10-30。

(4)(处理效果)出水COD_{Cr}<30 mg/L，浊度<1 NTU。

(5)(注意事项)容易出现膜污染问题，对运行管理要求高，检修及化学清洗较复杂，需进行定期在线清洗和离线清洗；膜组件采用中空纤维更换周期一般为 3-5 年，采用板式更换周期一般为 5-8 年，需要考虑膜组件更换费用；由于受膜通量限制，遇到水力冲击负荷时调节余量较小；反应器内污泥浓度高，膜组件出现损坏等问题时，需注意出水的水质安全。

3.2 微滤/超滤膜过滤

利用微滤膜或超滤膜去除水中 SS 和胶体物质的处理技术，主要包括外置式和浸没式两种应用方式。常用组件类型主要有板式、管式和中空纤维三种。

(1)(适用范围)适用于以城镇污水二级处理/二级强化处理出水的深度处理。

(2)(技术特点)可替代常规的沉淀-过滤工艺,具有高效去除悬浮物和胶体物质的能力,出水水质优于常规介质过滤;占地面积小,自动化程度高;浸没式适用于使用沉淀-过滤工艺的城镇污水再生处理设施的升级改造。

(3)(运行参数)运行参数与膜的过滤方式有关。外置式:操作压力宜 0.2 Mpa,膜通量宜为 40-70 L/(m²·h),反冲洗周期宜为 30-60 min;浸没式:操作压力宜 0.05 Mpa,膜通量宜为 30-50 L/(m²·h),反冲洗周期宜为 30-60 min。

(4)(处理效果)COD_{Cr}去除率约为 5-30%,浊度<0.2 NTU,水回收率 90%。

(5)(注意事项)浸没式采用负压抽吸方式出水,运行成本较外置式低 20-50%;外置式具有产水通量大,相同处理规模使用膜面积少,投资节省的优点。需定期进行在线和离线化学清洗,膜组件更换周期约为 3-5 年。

3.3 反渗透技术

利用只能透过水而不能透过溶质的反渗透膜进行水中溶解性物质去除的膜分离技术。

(1)(适用范围)适用于对溶解性无机盐类和有机物含量有特殊要求的再生水生产。

(2)(技术特点)出水水质好,有机质和无机盐含量远低于其他膜处理技术的出水;可通过对反渗透浓水回收提高产水率。

(3)(运行参数)进水污染指数(SDI₁₅)<3,运行压力 2.0 Mpa。

(4)(处理效果)一级两段反渗透产水率可大于 70%,一级 RO 系统的脱盐率可大于 95%,二级 RO 的脱盐率可大于 97%。

(5)(注意事项)反渗透对预处理要求高,一般要求有超滤或微滤预处理,并使用一次性的保安过滤器(一般采用 5 微米滤元);反渗透出水的 pH 值偏低,需根据水质需求进行调整;有大量浓水产生,浓水无机盐和有机质含量高,其处理处置需要给予充分的考虑;反渗透膜用于污水再生处理容易产生膜污染问题,每年需进行 2-6 次膜的化学清洗,3-5 年需更换膜组件;实际运行中,进水泵不能停水,冬季低温期需采取适当的保温措施。

4 氧化技术

利用臭氧等强氧化剂对水中色度、嗅味及有毒有害有机物等进行氧化去除的技术,

根据来水水质状况和出水水质要求还可以采用臭氧 - 过氧化氢、紫外 - 过氧化氢等高级氧化技术。

4.1 臭氧氧化

利用臭氧作为氧化剂对水中色度、臭味及有毒有害有机物进行氧化去除。

(1)(适用范围) 主要用于水中色度、臭味及有毒有害有机物等的去除。适用于城镇污水二级处理/二级强化处理出水的深度处理。

(2)(技术特点) 现场制备, 操作简便, 可综合改善水质, 并强化病原微生物的去除。

(3)(运行参数) 臭氧投量宜为 3-8 mg/L, 接触时间宜为 5-10 min。

(4)(处理效果) 对色度、臭味以及含不饱和键的有毒有害有机物去除效果显著, 出水色度一般小于 10 度, 可有效去除臭味, 并具有降低生物毒性的效果。

(5)(注意事项) 具有强氧化性, 与臭氧接触的相关设施应采用耐氧化材料; 臭氧有毒, 气味难闻, 必须设置尾气破坏装置, 并采取防止臭氧泄漏的措施; 宜采用后置生物过滤技术(如生物活性炭过滤)去除臭氧氧化中间产物(醛类物质等), 详见本指南 2.3。

4.2 臭氧 - 过氧化氢

利用臭氧 - 过氧化氢联用技术对水中色度、臭味及有毒有害有机物进行氧化去除。

(1)(适用范围) 适用于城镇污水二级处理/二级强化处理出水的深度处理。

(2)(技术特点) 利用氧化能力比臭氧更强的羟基自由基进行氧化; 运行方式灵活, 根据实际情况可选择单独臭氧氧化、臭氧-过氧化氢联用等方式, 采用联用方式时, 可在多级臭氧接触池的后段投加过氧化氢; 与紫外-过氧化氢技术相比较而言, 不受浊度影响, 反应时间短。

(3)(运行参数) 臭氧投量宜为 3-8 mg/L, 过氧化氢与臭氧的投加比一般为 0.3-0.5 (质量比), 接触时间宜大于 5 min。

(4)(处理效果) 色度、臭味去除效果与单独臭氧氧化相当, 比单独臭氧氧化具有更强的氧化能力。

(5)(注意事项) 与臭氧氧化相同, 需要关注臭氧的氧化性和毒性; 过氧化氢在高温下容易分解, 储运要注意安全; 出水中可能有过氧化氢残留, 对过氧化氢含量有

要求时，需采用活性炭床进行过氧化氢分解处理。

4.3 紫外 - 过氧化氢

利用紫外 - 过氧化氢联用技术对水中色度、臭味及有毒有害有机物进行氧化去除。

(1)(适用范围)适用于城镇污水二级处理/二级强化处理出水的深度处理。

(2)(技术特点)利用氧化能力强的羟基自由基进行氧化，同时兼有消毒效果。

(3)(运行参数)紫外线有效剂量 20 mJ/cm^2 ，过氧化氢投量宜为 $3\text{-}8 \text{ mg/L}$ ，接触时间宜大于 30 min 。

(4)(处理效果)比臭氧具有更强的氧化能力，具有一定的除色除嗅效果。

(5)(注意事项)水中 SS 及紫外灯管表面的积垢易降低紫外线消毒效率；紫外灯管寿命一般为一年，会产生含重金属的废弃灯管，需采取相应的安全处置措施。

第三节 消毒技术

消毒以灭活水中病原微生物为目的，常见消毒方式包括氯消毒、二氧化氯消毒、紫外线消毒、臭氧消毒或其组合技术。

1 氯消毒

利用液氯、次氯酸钠或次氯酸钙等消毒剂灭活致病细菌和病毒。

(1)(适用范围)适用于污水再生处理设施出水的消毒及管网末梢的余氯保持等。

(2)(技术特点)技术成熟，成本低，具有广谱的微生物灭活效果，余氯具有持续杀菌作用，剂量控制灵活可变。

(3)(运行参数)常规消毒投加量宜为 $6\text{-}15 \text{ mg/L}$ (以有效氯计)，氯与再生水的接触时间应不小于 30 min ，再生水余氯含量及管网末端余氯含量应符合国家有关标准要求。

(4)(注意事项)使用液氯消毒应注意储存与运输安全；再生水用于补给景观水体和观赏性水生动、植物养殖，在保证消毒效果的同时应避免过度消毒，防止余氯及消毒副产物对水生生物影响，在条件许可的情况下建议采用臭氧或紫外消毒技术；氯消毒对病原性原虫灭活效果差，可考虑采用联合消毒方式提高病原性原虫灭活效果，降低卤代消毒副产物生成量。

2 二氧化氯消毒

利用二氧化氯的强氧化性，灭活水中各类病原微生物。

(1)(适用范围)适用于污水再生处理设施出水消毒。

(2)(技术特点)现场制备，具有优良的广谱微生物灭活效果和氧化作用。

(3)(运行参数)二氧化氯与水应充分混合，投加量宜为 4-10 mg/L(以有效氯计)，与再生水的有效接触时间应不少于 30 min。

(4)(注意事项)使用氯酸钠和盐酸制备二氧化氯时应注意储存与运输安全；二氧化氯消毒产生亚氯酸、氯酸等消毒副产物。

3 紫外线消毒

利用低压或中压紫外线灯灭活水中各类病原微生物。

(1)(适用范围)适用于污水再生处理设施出水消毒。

(2)(技术特点)不使用化学药品，具有广谱的微生物灭活效果；接触时间短，基本上不产生消毒副产物。

(3)(运行参数)紫外线有效剂量参照《城市给排水紫外线消毒设备》(GB/T19837-2005)，接触时间宜为 5-30 s。

(4)(注意事项)不具有持续消毒效果，输配时宜采取投加次氯酸钠等措施，防止病原微生物的复活和再生长；其他注意事项与紫外-过氧化氢氧化技术相同。

4 臭氧消毒

利用臭氧作为消毒剂，灭活水中各类病原微生物。

(1)(适用范围)适用于污水再生处理设施出水消毒。

(2)(技术特点)现场制备，具有广谱的微生物灭活效果；同时兼有去除色度、嗅味和部分有毒有害有机物的作用。

(3)(运行参数)臭氧投加量宜为 8-15 mg/L，接触时间宜为 10-20 min。

(4)(注意事项)不具有持续消毒效果，输配时宜采取投加次氯酸钠等措施，防止病原微生物的复活和再生长；其他注意事项与臭氧氧化技术相同。

第四章 城镇污水再生处理工艺方案

在污水再生处理工程中单独使用某项单元技术很难满足用户对水质的要求，应针对不同的水质要求采用相应的组合工艺进行处理。根据国内外城镇污水再生处理与利用研究成果和实践经验，本章针对不同再生水利用途径推荐相应的主要组合工艺方案，以供参考。

本章建议采用的工艺流程中括号内单元技术表示为可选，“/”表示应从两个或多个技术中选择一种技术。

第一节 工业利用

城镇污水再生后作为工业用水有如下用途：冷却用水、洗涤用水、锅炉补给水、工艺与产品用水，水质应满足《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T19923-2005)要求。用户可根据需要采取进一步的处理措施。

1 冷却和洗涤用水

1.1 应重点关注的水质指标

用于冷却水和洗涤用水时，应考虑防止结垢、腐蚀、生物孳生等，重点关注氨氮、氯离子、TDS、总硬度、SS、色度等指标，循环冷却水应考虑盐度和硬度的控制。

1.2 建议采用工艺

表 4-1 冷却和洗涤用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(臭氧)→消毒	一般 ;使用臭氧可去除色嗅。	投资运行成本低 ;出水可以用于直流冷却水和一般洗涤用水。
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝沉淀)→介质过滤→(臭氧)→消毒	使用介质过滤对 SS 有一定去除效果 ;使用臭氧可去除色嗅。	投资运行成本低。
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝)→超滤/微滤→(臭氧)→消毒	使用超滤/微滤对 SS 去除效果好 ;使用臭氧可去除色嗅。	投资运行成本较高 ;需关注膜污染和膜寿命。
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝)→超滤/微滤→反渗透→(臭氧)→消毒	使用反渗透对无机盐和各种污染物均有良好去除效果。	投资运行成本高 ;适合用于高含盐量地区和高品质再生水的生产要求 ;需关注膜污染、膜寿命及浓盐水排放。

工艺	处理效果	特点
城镇污水→膜生物反应器出水→(臭氧)→消毒	使用膜生物反应器对 SS 去除效果好；使用臭氧可除色嗅。	投资运行成本较高；膜生物反应器占地面积小；运行过程需关注膜污染和膜寿命。

2 锅炉补给水

2.1 应重点关注的水质指标

应考虑防止结垢、腐蚀等，重点关注 TDS、COD、总硬度、SS 等指标。用于锅炉补给水的水质与锅炉压力有关，锅炉蒸汽压力越高对水质要求越高，用户可根据需要采取进一步的脱盐和软化处理措施。

2.2 建议采用工艺

表 4-2 锅炉补给水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→混凝沉淀→介质过滤→消毒	使用介质过滤对 SS 有一定去除效果。	投资运行成本低。
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝)→超滤/微滤→消毒	使用超滤/微滤对 SS 去除效果好。	投资运行成本较高；需关注膜污染和膜寿命。
城镇污水→膜生物反应器出水→消毒	使用膜生物反应器对 SS 去除效果好。	投资运行成本较高；膜生物反应器占地面积小；运行过程需关注膜污染和膜寿命。
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝)→超滤/微滤→反渗透→消毒	使用反渗透对无机盐和各种污染物均有良好去除效果。	投资运行成本高；适用于高含盐量地区和高品质再生水的生产要求；需关注膜污染、膜寿命及浓盐水排放。

3 工艺与产品用水

3.1 应重点关注的水质指标

不同工艺与产品用水水质需求差异较大，通常需关注 COD、SS、色度、嗅味等指标。

3.2 建议采用工艺

表 4-3 工艺与产品用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝沉淀)→介质过滤→(臭氧)→消毒	使用介质过滤对 SS 有一定去除效果;使用臭氧可去除色嗅。	投资运行成本低。
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝)→超滤/微滤→(臭氧)→消毒	使用超滤/微滤对 SS 去除效果好;使用臭氧可去除色嗅。	投资运行成本较高;需关注膜污染和膜寿命。
城镇污水→膜生物反应器出水→(臭氧)→消毒	使用膜生物反应器对 SS 去除效果好;使用臭氧可去除色嗅。	投资运行成本较高;膜生物反应器占地面积小;运行过程需关注膜污染和膜寿命。
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝)→超滤/微滤→反渗透→(臭氧)→消毒	使用反渗透对无机盐和各种污染物均有良好去除效果。	投资运行成本高;适合用于高含盐量地区和高品质再生水的生产要求;需关注膜污染、膜寿命及浓盐水排放。

4 注意事项

为保证工业生产过程的连续性和安全性,当再生水供应可靠性不能保证时,工业用户应设有备用水源或应急供水方案。

第二节 景观环境利用

城镇污水再生作为景观环境水体补水可分为:观赏性景观环境用水和娱乐性景观环境用水,水质应满足《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921-2002)要求。

1 观赏性景观环境用水

1.1 应重点关注的水质指标

观赏性景观环境用水应重点关注营养盐及色度、嗅味等指标。

1.2 建议采用工艺

表 4-4 观赏性景观环境用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级强化处理出水→(混凝沉淀)→(介质过滤)→(臭氧)→消毒	采用二级强化处理以强化氮和/或磷去除;使用混凝沉淀过滤进一步去除总磷和 SS;使用臭氧可去除色嗅。	投资成本低;运行管理简便。
城镇污水→二级强化处理出水→臭氧→(生物过滤)→消毒	采用二级强化处理以强化氮和/或磷去除;使用臭氧可去除色嗅;使用生物过滤可进一步脱氮。	投资运行成本较高。
城镇污水→膜生物反应器出水→臭氧→(生物过滤)→消毒	使用膜生物反应器对 SS 去除效果好;使用臭氧可去除色嗅;使用生物过滤可消除臭氧氧化副产物。	投资运行成本高;膜生物反应器占地面积小;运行过程需关注膜污染和膜寿命。

2 娱乐性景观环境用水

2.1 应重点关注的水质指标

娱乐性景观环境用水应考虑人体接触的健康风险及水体富营养化的风险,因此应重点关注营养盐、病原微生物、有毒有害有机物及色度、嗅味等指标。

2.2 建议采用工艺

表 4-5 娱乐性景观环境用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级强化处理出水→(混凝沉淀)→介质过滤→臭氧→(生物过滤)→消毒	采用二级强化处理以强化氮和/或磷去除;使用混凝沉淀过滤进一步去除总磷和 SS;使用臭氧可去除色嗅、部分有毒有害有机物,并强化病原微生物的去除;使用生物过滤可消除臭氧氧化副产物。	投资运行成本较高。
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝)→超滤/微滤→(臭氧)→消毒	使用超滤/微滤对 SS 和病原微生物去除效果好;使用臭氧可去除色嗅。	投资运行成本较高;需关注膜污染和膜寿命。
城镇污水→膜生物反应器出水→臭氧→(生物过滤)→消毒	使用膜生物反应器对 SS 有良好去除效果,对病原微生物有一定的去除效果;使用臭氧可去除色嗅、部分有毒有害有机物,并强化病原微生物的去除;使用生物过滤可消除臭氧氧化副产物。	投资运行成本高;膜生物反应器占地面积小;运行过程需关注膜污染和膜寿命。

3 注意事项

(1) 景观环境用水在保证消毒效果的同时应避免过度消毒，防止余氯及消毒副产物对水生生物影响。在条件许可的情况下建议采用臭氧或紫外消毒技术。

(2) 对有毒有害有机物、色度和嗅味的去除，建议采用臭氧氧化或臭氧氧化 - 生物过滤组合工艺。

第三节 绿地灌溉利用

城镇污水再生利用用于绿地灌溉，根据与公众接触程度不同分为非限制性绿地和限制性绿地，水质应满足《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》(GB/T 25499-2010) 要求。

1 非限制性绿地用水

1.1 应重点关注的水质指标

非限制性绿地为完全对公众开放的绿地，如公园、居民区及校园绿地等。因此用于该用途的再生水应重点关注病原微生物、浊度、有毒有害有机物及色度、嗅味等指标。

1.2 建议采用工艺

表 4-6 非限制性绿地用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级处理/ 二级强化处理出水→ (混凝沉淀)→介质过 滤→(臭氧)→消毒	使用介质过滤对 SS 有一定去除效果；使用臭氧可去除色嗅、部分有毒有害有机物，并强化病原微生物的去除。	投资运行成本低。
城镇污水→二级处理/ 二级强化处理出水→ (混凝)→超滤/微滤→ (臭氧)→消毒	使用超滤/微滤对病原微生物和 SS 去除效果好；使用臭氧可去除色嗅。	投资运行成本较高；需关注膜污染和膜寿命。
城镇污水→膜生物反应 器出水→(臭氧)→消 毒	使用膜生物反应器对 SS 有良好去除效果，对病原微生物有一定的去除效果；使用臭氧可去除色嗅、部分有毒有害有机物，并强化病原微生物的去除。	投资运行成本高；膜生物反应器占地面积小；运行过程需关注膜污染和膜寿命。

2 限制性绿地用水

2.1 应重点关注的水质指标

限制性绿地为限制公众进入的绿地，如高速公路绿化隔离带等绿地。应重点关注浊度、嗅味等感官指标。

2.2 建议采用工艺

表 4-7 限制性绿地用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝沉淀)→(介质过滤)→消毒	使用介质过滤对 SS 有一定去除效果。	投资运行成本低。
城镇污水→膜生物反应器出水→消毒	使用膜生物反应器对 SS 有良好去除效果。	投资运行成本高；膜生物反应器占地面积小；运行过程需关注膜污染和膜寿命。

3 注意事项

(1) 可能存在公众人体暴露，应确保卫生安全。

(2) 城镇污水二级处理/二级强化处理出水 TDS 较高时，应注意使用量和使用频次，或增加相应除盐措施。

第四节 农田灌溉利用

再生水用于农田灌溉可按照作物直接食用、间接食用和非食用等不同情况进行工艺选择，水质应满足《城市污水再生利用 农田灌溉用水水质》(GB/T 20922-2007)要求。

1 直接食用作物

1.1 应重点关注的水质指标

应重点关注重金属、病原微生物、有毒有害有机物、色度、嗅味、TDS 等指标。

1.2 建议采用工艺

表 4-8 直接食用作物灌溉用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝沉淀)→介质过滤→臭氧→消毒	使用介质过滤对 SS 有一定去除效果；使用臭氧可去除色嗅、部分有毒有害有机物，并强化病原微生物的去除。	投资运行成本较高。

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝)→超滤/微滤→(臭氧)→消毒	使用超滤/微滤对病原微生物和SS去除效果好;使用臭氧可去除色嗅。	投资运行成本较高;需关注膜污染和膜寿命。
城镇污水→膜生物反应器出水→臭氧→消毒	膜生物反应器对SS有良好去除效果,对病原微生物有一定的去除效果;使用臭氧可去除色嗅,部分有毒有害有机物,并强化病原微生物的去除。	投资运行成本高;膜生物反应器占地面积小;运行过程需关注膜污染和膜寿命。

2 间接食用作物

2.1 应重点关注的水质指标

应重点关注重金属、病原微生物、有毒有害有机物、TDS等指标。

2.2 建议采用工艺

表 4-9 间接食用作物灌溉用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(介质过滤)→消毒	使用介质过滤对SS有一定去除效果。	投资运行成本低。
城镇污水→膜生物反应器出水→消毒	使用膜生物反应器对SS有良好去除效果,对病原微生物有一定的去除效果。	投资运行成本高;膜生物反应器占地面积小;运行过程需关注膜污染和膜寿命。

3 非食用作物

3.1 应重点关注的水质指标

应重点关注病原微生物和TDS等指标。

3.2 建议采用工艺

表 4-10 非食用作物灌溉用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→消毒	一般。	投资运行成本低。
城镇污水→膜生物反应器出水→消毒	使用膜生物反应器对SS有良好去除效果,对病原微生物有一定的去除效果。	投资运行成本高;膜生物反应器占地面积小;运行过程需关注膜污染和膜寿命。

4 注意事项

(1) 灌溉作物用于直接食用时，应确保卫生安全。

(2) 应严格控制水源水中重金属及有害化学物质含量，防止重金属及有害化学物质在土壤中富集，并进入食物链。

(3) 城镇污水二级处理/二级强化处理出水 TDS 较高时，应注意使用量和使用频次，或增加相应除盐措施。

(4) 农田灌溉时应考虑尾水排放的有效管理，防止面源污染。

第五节 城市杂用

再生水作为城市杂用有以下用途：冲厕、道路清扫、车辆冲洗等。应满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002) 要求。

1 城市杂用

1.1 应重点关注的水质指标

应重点关注病原微生物、有毒有害有机物、浊度、色度、臭味等指标。

1.2 建议采用工艺

表 4-11 城市杂用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝沉淀)→介质过滤→(臭氧)→氯消毒	使用介质过滤对 SS 有一定去除效果。	投资运行成本低。
城镇污水→二级处理/二级强化处理出水→(混凝)→微滤/超滤→(臭氧)→氯消毒	使用微滤/超滤对 SS 有良好去除效果；使用臭氧可去除色嗅、部分有毒有害有机物，并强化病原微生物的去除。	投资运行成本较高。
城镇污水→膜生物反应器出水→(臭氧)→氯消毒	使用膜生物反应器对 SS 有良好去除效果，对病原微生物有一定的去除效果；使用臭氧可去除色嗅、部分有毒有害有机物，并强化病原微生物的去除。	投资运行成本高；膜生物反应器占地面积小；运行过程需关注膜污染和膜寿命。

2 注意事项

(1) 要充分保证消毒效果，建议采用臭氧或紫外与氯的复合消毒工艺。

- (2) 对有毒有害有机物、色度和嗅味的去除，建议采用臭氧氧化技术。
- (3) 城镇污水二级处理/二级强化处理出水 TDS 较高时，可增加相应除盐措施。

第六节 地下水回灌

城镇污水处理再生后回灌到地下含水层，主要目的是补充地下水，防止因过量开采地下水而造成的地面沉降和海水入侵。地下水回灌包括地表回灌和井灌两种方式。水质应满足《城市污水再生利用 地下水回灌水质》(GB/T 19772-2005) 要求。

1 地表回灌

1.1 应重点关注的水质指标

应重点关注重金属、TDS、病原微生物和 SS 等指标。

1.2 建议采用工艺

表 4-12 地表回灌用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级强化处理出水→消毒	一般。	投资运行成本低。
城镇污水→二级强化处理出水→(混凝沉淀)→介质过滤→消毒	使用介质过滤对 SS 有一定去除效果。	投资运行成本略高。
城镇污水→膜生物反应器出水→消毒	使用膜生物反应器对 SS 有良好去除效果，对病原微生物有一定的去除效果。	投资运行成本高；膜生物反应器占地面积小；运行过程需关注膜污染和膜寿命。

2 井灌

2.1 应重点关注的水质指标

应重点关注重金属、TDS、病原微生物、有毒有害有机物、SS 等指标。

2.2 建议采用工艺

表 4-13 井灌用水建议工艺

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级强化处理出水→(混凝)→超滤/微滤→反渗透→消毒	使用反渗透对无机盐和各种污染物均有良好去除效果。	投资运行成本较高；需关注膜污染和膜寿命。

工艺	处理效果	特点
城镇污水→二级强化处理出水→(混凝)→超滤/微滤→反渗透→臭氧/臭氧-过氧化氢联用/紫外-过氧化氢联用/→消毒	使用反渗透对无机盐和各种污染物均有良好去除效果；使用氧化工艺可高效去除有毒有害有机物。	投资运行成本高；需关注膜污染和膜寿命。
城镇污水→膜生物反应器出水→反渗透→消毒	使用反渗透对无机盐和各种污染物均有良好去除效果。	投资运行成本高；膜生物反应器占地面积小；运行过程需关注膜污染和膜寿命。

3 注意事项

在进行地下水回灌前要对回灌区进行充分的水文地质状况调研和风险评价，防止由于回灌导致的地下水污染；消毒宜采用紫外或臭氧技术。

第五章 城镇污水再生利用工程建设与设施运行维护

第一节 城镇污水再生利用工程建设

城镇污水再生利用工程建设包括再生处理设施、再生水储存设施及再生水输配管网的建设。有关工程的设计和建设应符合《城市污水再生利用技术政策》(建科[2006]100号)要求,并遵循《污水再生利用工程设计规范》(GB 50335-2002)。

1 再生处理设施建设

包括选址、设计、设备选型、施工与验收。

1.1 选址

城镇污水再生处理设施选址应在综合考虑水源供应、现有污水处理设施和各用户的水量水质需求的前提下确定,并遵循相关原则(参见本指南第二章)。

1.2 设计

城镇污水再生处理设施工程设计单位应具备相应的资质,建立质量管理体系;设计方案应在针对城镇污水再生处理工艺、再生水用途以及潜在用户进行系统调研基础上统筹考虑,工艺选择应具有一定的前瞻性,并经过充分的专家论证;再生处理设施应设置多个系列或备用单元,确保再生水稳定生产和供应;设备布置、单元构筑物和工艺管线设计应考虑操作维护的简便和运行调整的灵活性。

1.3 设备选型

城镇污水再生处理所用各种设施设备,必须符合国家有关环保、卫生、防火、防水、防冻、防爆炸、防腐蚀等标准的规定;其品种、规格、质量、性能应符合设计文件要求和国家现行有关标准规定。

1.4 施工

城镇污水再生处理设施工程的施工单位,应具备相应的资质,建立质量管理体系,并应对施工全过程实行质量控制。

(1) 在开工前施工单位必须提交施工方案,提出保证工程质量的具体措施,并履行相应的审批手续。施工单位应严格按设计文件及施工方案组织施工。

(2) 施工单位应遵守有关安全生产的法律、法规,并应根据城镇污水再生处理设施工程特点,提出安全保障措施,确保施工安全。

(3) 施工单位的项目经理、技术负责人和特殊工种操作人员，应取得相应职业资格证书。

1.5 验收

城镇污水再生处理设施工程验收程序包括：工程主要部位质量验收；单位工程质量验收；设备安装、单机及联动试运转验收；工程交工验收等。

2 储存设施建设

考虑到生产与使用的时间差异，城镇污水再生利用需考虑再生水储存，根据目的不同分为运行性储存和后备储存。再生水储存设施的建造应保证结构完整性并应防止渗漏。

储存设施可以是封闭式或敞开式，取决于再生水的用途、储存规模和位置、可能受到污染的风险大小以及储存成本；对于运行性的储存，要求采用封闭式储存池或配水池；对于季节性储存或紧急储存，宜用敞开式储存池。

再生水储存设施必须有清楚的标识标明储存的是非饮用水，储存水的水质应定期监测以确保再生水的水质满足其用途的要求。

3 输配管网建设

输配管网建设是保障再生水推广利用的关键，包括干管和将再生水从干管输送到用户区域的管道。输配管网布局与规划应遵循相关原则（参见第二章）。常见再生水管材特性及选择建议方案见表 5-1。

表 5-1 常见再生水管材特性及选择建议方案

管材类型	抗腐蚀性能	水质适应性	机械性能	应用情况	建议管径范围
球墨铸铁管	用于再生水输配需要内外防腐处理	水泥内衬不适合低 pH 值、低碱度水和软水，环氧树脂涂层可提高其水质适应性	承压能力强，韧性好、施工维修方便	广泛应用于饮用水和再生水的输配，水泥内衬成本较低、环氧树脂涂层成本较高	DN300-DN1200
钢管	用于再生水输配需做内外防腐处理	环氧树脂涂层可提高其水质适应性	机械性能好、施工维修方便	用于大口径输水管道，局部施工较复杂，价格相对较低	DN600

管材类型	抗腐蚀性能	水质适应性	机械性能	应用情况	建议管径范围
预应力钢筒混凝土管 (PCCP)	具有较好的抗腐蚀性能	水泥砂浆与水接触, 不适合低 pH、低碱度水及软水	承压能力强, 抗震性能好、施工方便	一种新型的刚性管材, 抢修、维护比较困难	DN1200
高密度聚乙烯 (HDPE) 管	耐腐蚀	水质适应范围广	重量轻、易施工	新型管材, 价格较高、适合 DN300 以下的管道	DN300
玻璃钢夹砂管 (RPMP)	耐腐蚀	水质适应范围广	相对较轻, 拉伸强度低于钢管、高于球墨管和混凝土管	适用于大口径输水管道	范围较广
硬聚氯乙烯 (UPVC) 管	耐腐蚀	水质适应范围广	重量轻、施工连接方便、强度相对较低	常用的输水管材, 不适合承压大的施工环境, 易脆	DN300

管材的选取与管径相关。管径 DN600 以上宜选用钢管, DN600 以下可选用铸铁管或塑料管。

再生水输配管网属于承压管网, 且面临一定的腐蚀问题, 其建设应参照《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB50268-2008), 并充分考虑各种防腐措施。其中, 反渗透产水 pH 值较低, 在管材选择时应充分考虑管材防腐问题。

为防止再生水长期滞留于管网中时出现水质恶化现象, 在管网建设时应考虑管道泄水口, 或设置跨越装置。

再生水输配管网中所有的组件和附属设施都需在显著位置进行明确和统一标识。依据《城市污水处理厂管道和设备色标》(CJ/T158-2002) 和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T18920-2002), 再生水管道及其配件应采用天酞蓝 (PB09) 识别色, 并清楚标识“再生水”字样, 以区别饮用水管道。

应采取措施避免再生水管道与饮用水管道的交叉连接, 遵循与饮用水及污水管道分隔的原则。再生水管道与给水管道、排水管道平行埋设时, 其水平净距不得小于 0.5

m；交叉埋设时，再生水管道应位于给水管道的下面、排水管道的上面，其净距均不得小于 0.5 m。具体参见《污水再生利用工程设计规范》(GB 50335-2002)。

第二节 设施运行维护管理

1 再生处理设施运行维护管理

污水再生处理设施运营单位应加强对来水水质的日常监测，应依据污水排放—污水处理—再生水利用三者之间的水质关系，以及再生水用途和水质要求，建立水源水质控制目标。

污水再生处理设施运营单位应制定并严格执行针对设施运行的质量控制方案，建立健全污水再生处理设施运行档案和资料管理制度，落实安全生产管理制度，遵守各项安全操作规程，制定针对发生灾害或者事故、突发事件时的应急预案，建立相应的应急管理体系，保证设施稳定运行，供水水质、水量、水压符合国家和行业的相关标准。污水再生处理设施运营单位不得擅自间断供水或者停止供水，因工程施工、设备检修或维修等原因需要停止向用户供水时，应当提前通知用户，并按期恢复供水。

污水再生处理设施运营单位应制定详细的检修维护制度并配备专业的技术人员，当再生水生产过程中发生爆管泄漏等突发性事故时，能够及时进行事故的排除和设备抢修。

在再生水生产过程中应贯彻清洁生产理念，降低能耗，减少废水、废弃物产生量。应针对季节性用水量的变化制定合理的生产计划，确保生产设施充分发挥功能。在设施闲置时应进行妥善管理与维护。

2 储存设施及输配管网运行维护管理

应定期对储存设施进行检查，防止再生水泄漏或污染物入渗；定期对存储的再生水水质、水量进行监测，防止水质恶化；再生水作为城市河道或其他景观水系用水时，在汛期时，应服从统一调度，确保排水排涝畅通。

应对输配管网进行定期检查，掌握管网的水质、水量和水压的动态变化，及时发现管网运行的异常情况，防止发生水质恶化、泄漏或爆管。

第六章 城镇污水再生利用风险管理

城镇污水再生利用风险管理主要包括生产风险管理和终端用户风险管理，应加强科学研究和宣传，降低再生水生产和使用风险。

第一节 生产风险管理

城镇污水再生利用工程的新建、改建、扩建工程应确保设施规模与布局合理，遵循本指南第二章提出的基本原则，工程的设计和建设应符合《城市污水再生利用技术政策》（建科[2006]100号），并遵循《污水再生利用工程设计规范》（GB 50335-2002），确保再生水储存和输配设施的所有组件和附属设施都有明确的标识。

城镇污水再生利用必须保证再生水水源水质水量的可靠、稳定与安全，水源宜优先选用生活污水或不包含重污染工业废水在内的城市污水。要加强对污水接入城镇排水管网的许可管理，禁止含重金属、有毒有害有机物和病原微生物超标的工业或医疗等污水进入排水管网，确保排放污水符合《污水排入城镇下水道水质标准》（CJ343-2010）要求。

城镇污水再生利用的核心问题是水质安全。污水再生处理、存储及输配设施运营单位应具备相应的水质检测能力，按照国家和行业相关标准的要求对水源水质和产品水质进行检测，并定期对设施的稳定性进行评价，确保水源水质和产品水质均符合相关标准要求。应加强对储存、输配过程的风险管理，建立针对管网和储存设施中再生水水质的检测制度。水质检测所涉及的化验记录、数据分析报告及相关的水质管理资料应准确完整，归档保存。不同利用途径水质控制项目及监测频率应按照相关标准执行，主要项目及监测频率见表 6-1。

污水再生处理、存储及输配设施运营单位应制定针对重大事故和突发事件的应急预案，建立相应的应急管理体系，并按规定定期开展培训和演练。应急预案至少要包括对紧急事件的界定、应急预案的启动程序、相关部门和人员的职责、与相关部门和机构及用户的联络、停产安排、不符合标准的再生水的储存和处置方法等。

第二节 终端用户风险管理

再生水用户应制定管理措施，避免或降低再生水利用过程中的人体健康风险和生态风险。用户应明确再生水的使用范围和水量，不得擅自改变用途。除紧急情况外，禁止再生水用于人体直接接触用水（如洗浴业、游泳池用水等）、食品加工过程、医疗或医药品加工过程和洗衣业。特定用户应设有备用水源或应急供水方案（如工业冷却用户等）。

再生水用于工业时，应考虑再生水对产品质量和生产过程的影响。用于循环冷却水时，用户应采取适宜的防腐、防垢措施；用于锅炉补给水时，应根据锅炉工况，对其进行进一步的软化、除盐等处理；再生水用于工业生产过程时，用户应进行再生水水质对产品质量的影响评价。

再生水用于景观环境时，包括人工湖泊、景观池塘、人工小溪、河流等，应考虑再生水中的污染物和病原微生物对水体美学价值、水生生物生长和人体健康的危害。再生水用于河流补给时，用户应根据河流水体的功能定位和维持河流中水生生物生长的要求，确定其水质需求，当供水水质不能满足其要求时，应停止使用再生水或采取提升水质的相关措施。再生水用于娱乐和景观人工水体时，要严格控制再生水中营养盐的含量以控制藻类的生长。再生水用于自然和人工湿地时，用户应考虑盐度对湿地植物生长的影响，可选择耐盐植物或选择盐分低的再生水。随着水体与人体发生接触可能性的增加，再生水的水质要求也要相应提高。使用再生水的景观水体应在显著位置明确标识，禁止游泳和洗浴，禁止食用水体中的水生动、植物。

再生水用于绿地灌溉时，应考虑对公众及从业人员的健康风险以及对土壤、植物以及地下水环境的影响。灌溉作业应尽量安排在公众暴露少的时间段，并在显著位置进行清晰的标识；宜采用滴灌或微喷灌，若采用普通喷灌方式应设有缓冲距离；用户可适当调整园林景观结构，采取相关管理措施，降低再生水盐分的危害。古树名木不得使用再生水灌溉，特种花卉和新引进的植物，谨慎使用再生水灌溉。有突发事件发生时，应立即停止使用再生水。

再生水用于农田灌溉时，应充分考虑再生水灌溉对食物安全和土壤质量的影响。用户应依据土壤特征、气候条件和植被类型等确定合理的灌溉量。为最大程度利用再生水中的营养盐，并避免其负面效应，用户应根据实际情况调整其肥料管理策略。为

防止再生水中的盐分在土壤中的累积与危害，用户应综合考虑管理策略，包括：将再生水与含盐量较低的水混合使用或者用两种水进行轮灌；增加灌溉量以洗去过量的盐分；采取措施增加土壤淋溶潜力；选择种植耐盐植物。用户应依据实际情况选择合适的再生水灌溉系统，当灌溉植被叶片对再生水敏感时，宜采用滴灌或植被底部直接灌溉等方式；当灌溉可生食作物时，禁止使用喷洒方式，避免再生水与作物直接接触。用户应建立末端水回流设施以防止再生水外排，减少面源污染。可采取缩短灌溉时间、增加灌溉频率的灌溉方式以减少地表径流。灌溉区要远离饮用水井和饮用水源地。

再生水用于城市杂用时，应考虑再生水对公众和从业人员的健康风险。再生水用于街道清扫时，清洁车辆应清楚地标识使用的是再生水，作业应尽量安排在公众暴露少的时间段，工作人员应采取必要的防护措施以保证其身体健康不会受到不必要的影响。再生水用于洗车、冲厕等用途时，应标识明确，严禁私自改建管线和更改供水设备位置，严防交叉连接和误用；洗车宜采用隧道式洗车机，若采用龙门式洗车机洗车或手工洗车时，洗车工人应采用必要的防护措施。

再生水用于地下水回灌时，应强化污染物的去除，避免污染地下水。回灌位置应设在各级地下水饮用水源保护区外，并结合实际情况选择合适的回灌方式，经过详细的环境风险评估，经有关管理部门审核合格后方可进行。回灌工程应布设监测井，监测地下水水质本底值；回灌过程中应动态监测回灌水水质，发现异常应立即停止回灌。回灌水在被抽取利用前，应在地下停留足够的时间，以保证卫生安全；采用地表或井灌方式进行回灌的，回灌水在被抽取利用前应分别停留6个月以上和12个月以上。

第三节 科学研究和公众参与

为提升城镇水资源利用效率，保障城镇污水再生利用的系统性、整体性、合理性、安全性和前瞻性，应加大科技投入，加强能力建设，支持新技术、新工艺和新设备的研究开发、工程示范和产业化；组织开展针对再生水中病原微生物、有毒有害有机物等的人体健康风险和生态风险评价与控制研究，保障再生水利用安全；针对不同再生水利用途径，组织进行跟踪监测研究，积累相关数据为再生水水质标准的制定和完善提供科学依据；组织开展再生水利用政策研究，促进再生水利用。

要加强宣传教育和引导，制定并实施有效的信息公开制度和公众交流宣传计划，

鼓励公众参与再生水的使用和监督。充分利用各种媒体和宣传教育平台向公众普及城镇污水再生利用相关知识，提高公众对再生水的认知水平。及时公告有关再生水的规划、建设、运行和利用的信息，并把大型再生水生产和利用设施建成公众交流和教育平台。

表 6-1 不同再生水利用途径水质基本控制项目监测频率

利用类别		pH	色度	浊度	溶解氧	嗅	BOD ₅	COD _{Cr}	SS	TDS	氨氮	总氮	总磷	硝酸盐	亚硝酸盐	阴离子表面活性剂	铁	锰	蛔虫卵	粪大肠菌群数	总大肠菌群数	余氯	石油类	硫化物	氰化物	氟化物	氯化物	硫酸盐	氯离子	重金属(a)	挥发酚	总硬度	总碱度	二氧化硅	动植物油类
工业用水	冷却用水	每日	每日	—	—	—	每日	—	每日	每日	每周*	—	—	—	—	—	—	—	—	每日	—	每日	—	—	—	—	—	每月*	每周*	—	—	每周*	每月*	每月*	—
	敞开式循环冷却水系统补充水	每日	每日	每日	—	—	每日	每日	每日*	每日	每日	—	每日	—	—	每周*	每周*	每周*	—	每日	—	每日	每周*	—	—	—	—	每月*	每周*	—	—	每周*	每月*	每月*	—
	-洗涤用水	每日	每日	—	—	—	每日	—	每日	每日	—	—	—	—	—	—	每周*	每周*	—	每日	—	每日	—	—	—	—	—	每月*	每周*	—	—	每周*	每月*	—	—
	-锅炉补给水	每日	每日	每日	—	—	每日	每日	每日*	每日	每日	—	每日	—	—	每周*	每周*	每周*	—	每日	—	每日	每周*	—	—	—	—	每月*	每周*	—	—	每周*	每月*	每周*	—
	-工业与产品用水	每日	每日	每日	—	每日*	每日	每日	每日*	每日	每日	—	每日	—	—	每周*	每周*	每周*	—	每日	—	每日	每周*	—	—	—	—	每月*	每周*	—	—	每周*	每月*	每周*	—
景观环境用水	观赏性景观环境用水	每周	每日	每日*	每日	每日*	每周	—	(b)	—	每周	每周	每日	—	—	每周	—	—	—	每日	—	每日	每周	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	娱乐性景观环境用水	每周	每日	每日	每日	每日*	每周	—	(b)	—	每周	每周	每日	—	—	每周	—	—	每周*	每日	—	每日	每周	—	—	—	—	—	—	每月*	—	—	—	—	—
绿地灌溉		每日	每月	每日	—	每日	每月	—	—	每月	每月	—	—	—	—	每月	—	—	每月	每周	—	每日	—	—	—	—	每月	—	—	—	—	—	—	—	—
农田灌溉用水	非食用	每日*	—	—	每周*	—	每月*	每周*	每日*	每周*	—	—	—	—	—	每月*	—	—	每月*	每月*	—	每日*	每月*	每季*	—	—	每月*	—	—	两月*	每月*	—	—	—	—
	间接食用	每日*	—	—	每周*	—	每月*	每周*	每日*	每周*	—	—	—	—	—	每月*	—	—	每月*	每周*	—	每日*	每月*	每季*	—	—	每月*	—	—	两月*	每月*	—	—	—	—
	直接食用	每日*	—	—	每周*	—	每月*	每周*	每日*	每周*	—	—	—	—	—	每月*	—	—	每月*	每周*	—	每日*	每周*	每季*	—	—	每月*	—	—	两月*	每周*	—	—	—	—
城市杂用		每日	每日	每日2次	每日	每日	每周	—	—	每周	每周	—	—	—	—	每周	每周	—	—	每周3次	每日2次	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
地下水回灌		每日	每日	每日	—	—	每周	每日	—	每周	每日	—	每周	每日	每周	—	—	每周*	每周	—	—	每周	每周	每周	每周	每周	每周	每周	—	每季*	每周	每周	—	—	每周

不同利用途径具体水质标准参见GB/T 18920-2002, GB/T 18921-2002, GB/T 19923-2005, GB/T 19772-2005, GB 20922-2007, GB/T25499-2010

—表示没有监测要求 *本指南建议项目和频率 (a) 包括Hg、Cd、Pb、As、Cr; (b)本指南不建议监测项目。

附录

1 术语解释

(1) 城镇污水 municipal sewage：系指设市城市和建制镇排入城镇排水系统的污水的统称。在合流制排水系统中，还包括工业废水和截流的雨水。

(2) 污水再生处理 wastewater reclamation：系指污水按照一定的水质标准或水质要求、采取相应的技术方法进行净化处理并使其恢复特定使用功能及安全性的过程，主要包含水质的再生、水量的回收和病原体的有效控制。城镇污水再生处理技术方法包括但不限于二级处理、二级强化处理、三级处理（深度处理）和消毒处理。

(3) 污水再生利用 wastewater reuse：系指污水回收、再生和利用的统称，包括污水净化达到一定标准后再用、实现水循环的全过程。

(4) 再生水 reclaimed water, recycled water：系指污水经适当的再生工艺处理后，达到一定的水质标准，满足某种使用功能要求，可以进行有益使用的水。

(5) 一级处理 primary treatment：系指通过物理方法去除污水中悬浮的固体物的过程。

(6) 二级处理 secondary treatment：系指在一级处理的基础上，用生物处理方法进一步去除城镇污水中悬浮性和溶解性有机物的净化过程。

(7) 二级强化处理 upgraded secondary treatment：系指通过生物法、物化法，在二级处理工程基础上显著强化氮、磷营养物去除能力的污水处理过程。

(8) 深度处理 advanced treatment：系指在二级或二级强化处理基础上，采用包括但不限于混凝、沉淀、过滤等物化法构成的传统三级处理流程，以及膜技术或改进流程以及其他高效分离处理流程，进一步强化悬浮物、胶体、病原微生物和某些无机物去除的净化处理过程。

(9) 城市杂用水 urban miscellaneous water consumption：系指用于冲厕、道路清扫、消防、城市绿化、车辆清洗、建筑施工的非饮用水。

(10) 景观环境用水 scenic environment use：系指满足景观需要的环境用水，即用于营造城市景观水体和各种水景构筑物的水的总称。包括观赏性景观环境用水和娱乐性景观环境用水。

(11) 工业用水水源 raw water for industrial uses :系指指锅炉补给水、工艺与产品用水、冷却用水、洗涤用水水源。

(12) 城市绿地 green space :系指以植被为主要存在形态,用于改善城市生态,保护环境,为居民提供游憩场地和美化城市的一种城市用地,如公园绿地、生产绿地、防护绿地、附属绿地和其他绿地。

(13) 地下水回灌 groundwater recharge :系指一种有计划地将地表水、城镇污水再生水在内的水源,通过井孔、沟、渠、塘等水工构筑物渗入地面或注入地下补给地下水,增加地下水资源的技术措施。

2 编制依据

本指南内容引用了下列文件中的条款，且引用文件的有效版本适用于本指南。

- (1)《城市污水再生利用 分类》GB/T 18919-2002
- (2)《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T 18920-2002
- (3)《城市污水再生利用 景观环境用水水质》GB/T 18921-2002
- (4)《城市污水再生利用 工业用水水质》GB/T 19923-2005
- (5)《城市污水再生利用 地下水回灌水质》GB/T 19772-2005
- (6)《城市污水再生利用 农田灌溉用水水质》GB 20922-2007
- (7)《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》GB/T 25499-2010
- (8)《污水再生利用工程设计规范》GB 50335-2002
- (9)《建筑中水设计规范》GB 50336-2002
- (10)《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918-2002
- (11)《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268-2008
- (12)《污水综合排放标准》GB 8978-1996
- (13)《城市污水再生回灌农田安全技术规范》GB/T 22103-2008
- (14)《城市给排水紫外线消毒设备》GB/T 19837-2005
- (15)《污水排入城镇下水道水质标准》CJ 343-2010
- (16)《城市污水处理厂管道和设备色标》CJ/T158-2002
- (17)《循环冷却水用再生水水质标准》HG/T 3923-2007
- (18)《城市污水再生利用技术政策》建科[2006] 100 号
- (19)《建设项目竣工环境保护验收管理办法》国家环境保护总局令第 13 号
- (20)《建设项目环境保护设施竣工验收监测技术要求》环发[2000]38 号
- (21)《城市污水处理工程项目建设标准》建标[2001]77 号

主编单位： 中国科学院生态环境研究中心

参编单位： 住房和城乡建设部城镇水务管理办公室

清华大学

天津中水有限公司

北京城市排水集团有限责任公司

天津大学

天津工业大学

天津城市建设学院

主要起草人： 杨 敏、张 昱、徐慧纬、胡洪营、陈卫平、
唐福生、苑宏英、李魁晓、李殿海、牛璋彬、
陈 玮、李育宏、王 亮、赵新华、胡 春、
周 军、吴乾元、石宝友

主要审核人： 郑兴灿、杨向平、杭世珺、刘俊新、刘 红、
赵利君、陈 立、李成江、霍 健、黄晓家、
郑克白