

ICS 13.020

F01



中华人民共和国国家标准

GB/T ××××—20××

城镇水回用 集中式水回用系统指南

第 1 部分：集中式水回用系统的设计指南

Water reuse in urban areas — Guidelines for centralized water reuse system —
Part 1: Design principle of a centralized water reuse system

20××-××-××发布

20××-××-××实施

国家市场监督管理总局

国家标准化管理委员会 发布

目录

前 言	4
引 言	5
1 范围	6
2 规范性引用文件	6
3 术语和定义	6
4 缩写形式	7
5 集中式水回用系统的规划与设计	8
5.1 总则	8
5.2 需水量估算	9
5.2.1 总则	9
5.2.2 再生水量	9
5.2.3 潜在再生水最终用户及用途的评审	9
5.3 现场条件	9
5.4 系统组成部分	10
5.5 系统可能的模型	10
5.5.1 总则	10
5.5.2 模型 I 单一应用	10
5.5.3 模型 II 多种应用	11
5.5.4 模型 III 环境贮存和回用应用	11
5.5.5 模型 IV 再生水梯级利用	12
5.6 基本原则	12
6 源水的考虑	13
6.1 源水类型	13
6.1.1 总则	13
6.1.2 WWTP 处理后的污水	13
6.1.3 来自污水系统未经处理的污水	13
6.1.4 其他来源	13
6.2 源水水质考虑	14
6.2.1 总则	14

6.2.2 合适的源水	14
6.2.3 不合适的源水	14
6.3 可靠性方面的考虑	14
6.3.1 水量	14
6.3.2 水质	14
6.3.3 可靠性评价	15
6.4 经济考虑	15
7 再生水处理系统	15
7.1 总则	15
7.2 集中式水回用处理系统设计原则	15
7.2.1 总则	15
7.2.2 安全性	16
7.2.3 可靠性	16
7.2.4 稳定性	16
7.2.5 经济可行性	16
7.2.6 环境	17
7.3 可能的集中式水回用处理系统配置	17
8 再生水贮存系统	18
8.1 总则	18
8.2 贮存类型	18
8.2.1 总则	18
8.2.2 露天水库	18
8.2.3 封闭的水库	18
8.2.4 蓄水层贮存与恢复	18
8.3 贮存注意事项	19
8.4 贮存设施的规模和周转考虑	19
8.5 水质控制	20
8.6 露天水库的具体考虑	20
8.6.1 总则	20
8.6.2 蒸发	20
8.6.3 水质控制	20

8.6.4 后处理设施	21
9 再生水输配系统	21
9.1 总则	21
9.2 配水系统组成及模型	21
9.2.1 组成部分	21
9.2.2 模型	21
9.2.3 设计原则	22
9.3 泵站	22
9.3.1 总则	22
9.3.2 污水输送压力	22
9.3.3 再生水流速	22
9.4 再生水配水系统	23
9.4.1 避免滞流状态	23
9.4.2 管道布置及材料	23
9.4.3 配水系统水质	23
9.4.4 颜色编码系统、水标志和标签	23
9.4.5 服务连接和用户站点	24
10 监测系统	24
10.1 总则	24
10.2 监测地点和设施	24
10.3 源水监测	24
10.4 处理设施的监测和控制	24
10.5 配水的监测	25
10.6 贮存的监测	25
10.7 监视用户站点	25
11 应急预案	25

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020 给出的规则起草。

本文件使用翻译法等同采用 ISO27060-1: 2018《城镇水回用 集中式中水回用系统指南 第1部分：集中式水回用系统管理指南》（英文版）。

本文件由国家发展和改革委员会提出

本文件全国环保产业标准化技术委员会（SAC/TC275）归口。

本文件起草单位：中国标准化研究院等。

本文件主要起草人：

引言

随着经济的发展、气候的变化、人口的增加和城市化进程的加快，水资源已成为一种战略性资源，特别是在干旱和半干旱地区。水资源短缺被认为是对社会可持续发展的最严重威胁之一。为了解决这些短缺，越来越多的人使用再生水来满足水的需求，这一战略已证明在许多缺水地区提高长期供水的可靠性是有用的。

在许多国家的城市地区，水回用的作用日益增加，包括景观灌溉、工业用途、厕所和小便器冲洗、消防和灭火、街道清洁、环境和娱乐用途(观赏水景、水体补给等)和洗车。这些集中的水回用系统已经发展到被认为是城市水管理的有效组成部分的程度，并在许多城市和国家得到使用。

集中式水回用系统的主要组成部分包括源水、污水收集系统(污水渠及泵站)、污水处理设施、污水配水系统、污水贮存系统、水质监测系统，以及由经验丰富及持牌营办商提供的运作及维修服务。源水的多变性质和多样性对确保每个系统部件的水安全和可靠性提出了挑战。分配再生水的另一个复杂问题是，不同的水回用应用程序可能有不同的水质水平，这将考虑安装卫星处理。

本文件提供了城市集中式水回用系统的设计原则。它在设计不同系统组成部分时考虑和处理了关键问题和因素，旨在协助水利工程师、当局、决策者和利益相关者考虑可行的和成本效益高的方法，以实现安全和可靠的合适用途的水回用。有关集中式水回用系统的管理，请参阅 ISO 20760 -2。

城镇水回用 集中式水回用系统指南

第 1 部分:集中式水回用系统的设计原则

1 范围

本文件为城镇地区集中式水回用系统及水回用应用的规划和设计提供了指南。

本文件适用于有意以安全、可靠和可持续的方式实施集中式水回用原则和决定的从业员和主管部门。

本文件全面阐述集中式水回用系统，并且适用于任何回用系统组成部分(例如源水、处理、贮存、分配、操作及维修及监测)。

本文件提供了：

- 标准术语和定义；
- 集中式水回用系统的系统组成部分及可能的模型；
- 集中式水回用系统的设计原则；
- 水质参数的共同评价标准和相关示例，但均未设定任何目标值或阈值；
- 考虑和应急反应的具体方面。

集中式水回用系统的设计参数和调节值不在本文件的范围之内。

2 规范性引用文件

以下文件在文本中引用的方式是，它们的部分或全部内容构成本文件的要求。凡是注日期的应用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

ISO 20670: 2018, 水回用 术语

3 术语和定义

基于本文件的目的，应用 ISO 20670 及以下所载的术语及定义。

ISO 和 IEC 维护术语数据库，用于标准化，其地址如下：

- ISO 在线浏览平台：[https:// www .iso .org/ obp](https://www.iso.org/obp)
- IEC Electropedia：[https:// www .electropedia .org/](https://www.electropedia.org/)

3.1

回流 backflow

流体在装置内从下游流向上游的运动

[来源:EN 1717: 2000, 3. 5]

3. 2

回流保护装置 backflow protection device

防止倒流污染饮用水的装置(3. 1)

[来源:EN 1717: 2000, 3. 6]

3. 3

层化消退系统 destratification system

使用机械装置(例如气泡羽流、通风管混合器或无限制混合器)减少水柱分层, 增加水池/水库内溶解氧和热量的垂直输送, 以改善化学水质及控制浮游植物的生长。

3. 4

可靠性评价 reliability assessment

正式确定及评审再生水系统组成部分及设备的可靠性。

注 1: 填海设施的运作标准、可维护性、关键运作条件、备件要求和可用性, 以及任何其他影响填海设施的可靠性或处理效能的问题, 均有评价评审及详细说明。

3. 5

水再生设施 water reclamation facility

适合于有益用途的优质再生水的回用设施

3. 6

城镇水回用 water reuse in urban areas

在城镇地区作非饮用及/或间接饮用用途时, 再生水的有益使用。

例如: 景观用途、街道清洁、消防、工业用途、改善环境、康乐用途、冲厕及其他家居用途等。

4 缩写形式

AI	碱度指数
AGP	藻类增长潜力
AOC	可吸收的有机碳
BDOD	可生物降解的解有机碳
BGP	细菌的增长潜力
BOD	生化需氧量
CAPEX	资本费用

COD	化学需氧量
HPC	异养平皿计数
LR	拉森比
LSI	朗格利尔饱和指数
OPEX	运营费用
POU	使用点
RSI	雷兹纳稳定指数
TN	总氮
TP	总磷
TSS	总悬浮固体
TWW	经过处理的污水
WWTP	污水处理厂

5 集中式水回用系统的规划与设计

5.1 总则

规划是确保集中式水回用系统有效性的基础。在拟订再生水总体规划时，应当考虑及仔细规定以下各方面：

- 规划原则和目标，包括人类健康和环境保护；
- 规划范围和项目时间线；
- 水再生设施建设，运营和维护以及潜在的运营挑战；
- 再生水生产、贮存、输配系统的可靠性和冗余性；
- 再生水的应用及有关水质和水量；
- 提供再生水的市区；
- 系统的规模和布局，以及关联/符合本地或区域水资源规划的情况；
- 经济可行性和资金供应，包括关税战略和特许协议；
- 进行客户调查，以确定工业和家庭需求、再生水的价值(支付意愿)、经济可行性和可持续性；
- 具有环保意识的设计，尽量减少对环境的影响；
- 公众意见和社会接受度。

再生水总体规划应当定期(由主管部门)审查,并在获得新的资料时予以更新和修订。例如:在整个过程中,水当局可以与内部和外部利益相关者合作,包括潜在的再生水使用者和公众,以确保问题和关注得到理解和考虑^{[10][11]}。

5.2 需水量估算

5.2.1 总则

在规划阶段,应当评价每种水回用的需求,包括再生水的水量和水质。可采用各种方法评估当前的需求和分析应用。此外,在由标准饮用水或污水系统过渡至饮用水循环系统时,应当严格评估饮用水基础设施的规模,以确保水质/水龄仍然完好无损(即避免过度维修、水龄增加和消毒剂残留量降低)。

5.2.2 再生水量

在确定可供再用的再生水数量时,应当考虑以下几个因素:

- a) 从不同来源(例如:工业、商业和机构排放的类型,房屋数量,过滤/流入,地表径流,组合或单独的下水道等)排放到污水渠的污水的数量及水质特征;
- b) 现有污水处理设施的服务范围及地区的地形;
- c) 收集和处理的污水量的每日和每季动态;
- d) 处理和贮存后可再生水的体积。

5.2.3 潜在再生水终端用户及用途的评审

应当进行评估以确定再生水的潜在使用者、他们的位置,以及他们对水量和水质的考虑,特别是那些有大量和/或水质需要及具成本效益用途的使用者。应当特别注意使用再生水的潜在动力和益处,特别是对大型的终端用户。

5.3 现场条件

在选择集中式水回用系统的地址时,应当考虑下列准则:

- a) 现时及预计未来再生水需求及使用者的位置及邻近程度;
- b) 为必要的处理、贮存、输配系统和抽水设施提供土地、路线和道路空间的权利;
- c) 土地面积范围评价;
- d) 土地利用冲突和当地水回用政策;
- e) 邻近性(污水来源的位置和数量);
- f) 水力和土建因素;
- g) 与其他机构合作的机会;
- h) 气候、地理、地形等环境框架;
- i) 地表水或地下水等水资源;
- j) 社会对回用水的接受程度。

一个集中式水回用系统可以有两种配置:

- 在现有的污水集中处理设施中增加深度处理方法;

- 兴建新的集中再生设施，以处理额外的污水及/或清洁及生产再生水。

可能很难找到一个所有的条件都是最佳的位置，可以考虑通过调整来弥补位置的不足。对于所有潜在再生水用途，规划应当同时考虑当前和未来需求，并且考虑的各种用水需求的增长情况可能有所不同。应当进行市场评价，特别是在已建立基础设施的社区，以确定对再生水的需求。还应当考虑的其他问题包括潜在的土地用途分区变化的影响和未来土地开发的可能性。

5.4 系统组成部分

在规划集中式水回用系统时，应当考虑以下五个基本的再生水组成部分：

- 源水(水质和水量)；
- 工艺；
- 再生水贮存；
- 再生水分配；
- 监测。

根据配水系统的水力设计，贮存系统可以设置在主输水管道的前面和/或之后，并应当平衡再生水量和压力。

5.5 可能的系统模型

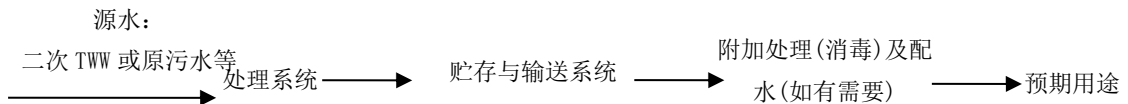
5.5.1 总则

集中式水回用系统有四个通用模型，即单一应用、多种应用、环境贮存和回用应用以及梯级利用，从简单到更复杂的水使用模式，在本文中都有涉及。

5.5.2 模型 I 单一应用

模型一所生产的再生水只适用于一种水质应用。这个模型比较简单(图 1)，在集中式水回用系统中，二级 TWW 通常用作源水。在某些情况下，当水再生与污水处理结合，达到预期的水回用目的时，来自下水道系统的未经处理的污水被认为是源水(见 6.1 的详细说明)。

图 1 给出了模型 I 的一个典型示例。



注：附加处理是可选的，并非强制性的，根据再生水的水质及用途而定。

图 1 - 单个应用的典型模型 I 示例

在如下情况下应当考虑模型 I：

- 向单个用户(例如：一个工业工厂或单个建筑)提供再生水，或者

- b) 再生水作为单一用户或类似用户(例如:以区域或社区为基础的居民区)的单一再生水用途或作为标准用水,再生水的质量应当满足所有的水回用应用。

采用公认的设计原则,选择处理技术或技术组合,以达到特定用途的污水水质指标和污水系统的整体绩效,见标准 ISO 20761、ISO 20468-1 和参考文献[12]。

5.5.3 模型 II 多种应用

模型 II 产生多个再生水流,每一条都有不同的水质准则。该模型在设计和操作上较为复杂,处理过程采用层次结构。模型 II 的一个典型例子如图 2 所示。

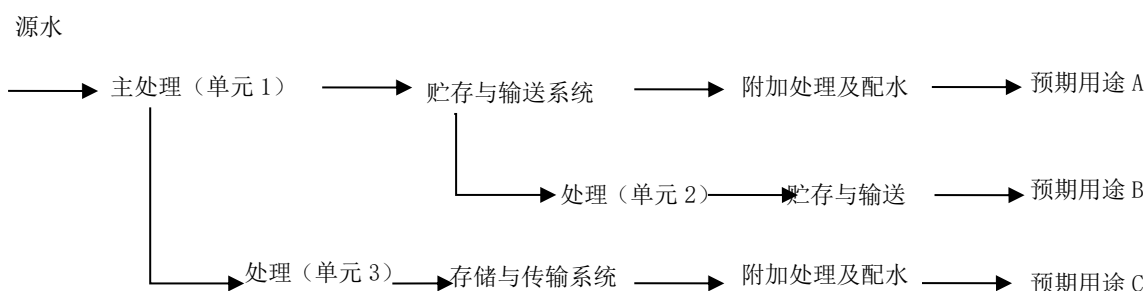


图 2 多种应用的典型模型 II 示例

当具有不同水质的再生水供应给多种最终用途时,例如在具有多个工业的工业园区中,或在具有工业和家庭应用的再生水的区域中,应当使用模型 II。

在选择再生水处理技术或技术组合时,应当考虑以下问题:

- 处理单元 1 是为满足大用户、高优先级用户的水质和数量特点而设计的;
- 质量要求较高的小用户可以连接到主处理单元(单元 1),在分发前或在使用点(POU)提供额外的处理单元。公用事业站点的最终用户的控制和责任将需要一份非常详细的合同和访问站点的权限,以确保质量符合他们的需要。可以应用到两种场景中:
 - 再生水公用事业公司与最终用户就某一特定数量和质量的系统订立合约,并控制额外的处理;
 - 小型用户就所提供的数量订立合约,并在其拥有系统建设和运作的控制权和责任的地方自行建造强化处理设施;
- 水质要求一般低于生产的再生水水质的小用户,可直接接入主处理单元(单元 1),无需考虑后续处理。

最低水质应当由服务提供者(操作者)保证。对特定用户的水质要求可以通过额外的处理(例如单元 2 和单元 3)来实现。

5.5.4 模型 III 环境贮存和回用应用

当天然/人工湿地、池塘、湖泊、河流及溪涧等水体位置接近处理系统,并且可用作蓄水库及/或处理单元,以进一步净化再生水的情况下,则应当考虑模型 III。贮存的目的是提供缓冲容量及/或改善环境,以达致较高的环境效益,并避免对使用者造成不良影响。现场贮存和处理可根据用户需要选择。模型 III 的一个典型示例如图 3 所示。

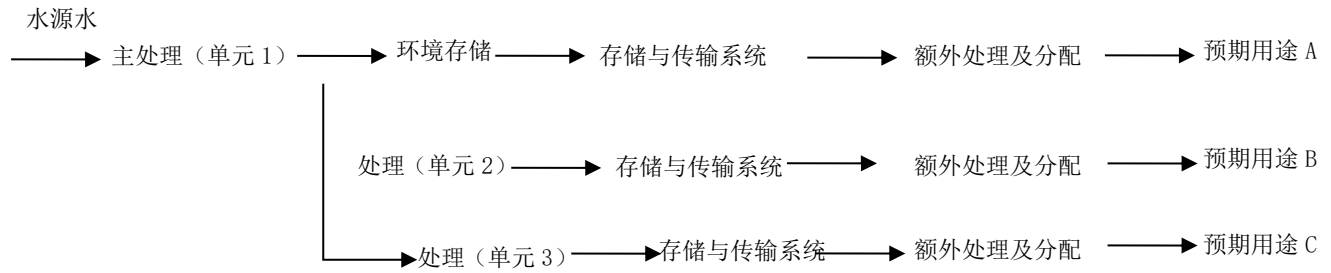


图3 -环境贮存和重用应用模型III的典型示例

5.5.5 模型 IV 再生水梯级利用

模型 IV 为再生水梯级利用系统，在不同的回用应用中，污水可按次序或级联使用。例如，当再生水应用于工业用途时，污水可以从同一工业过程中回用，并应用于后续的回用应用，例如清洁或观赏景观灌溉，而不需要额外的特定水质要求。如果日后的水回用应用需要较高的水质，可提供额外的处理，或将回用水与较高水质的水混合，以达到所需的水质。模型 IV 的一个典型示例如图 4 所示。

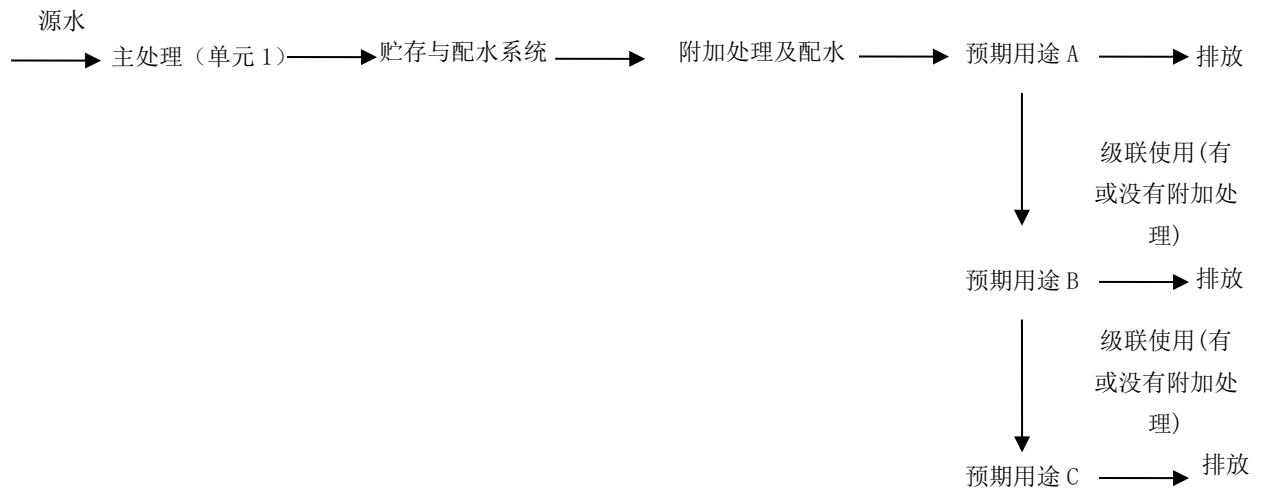


图 4. 梯级利用模型 IV 的典型示例

5.6 基本原则

在设计集中式水回用系统时，应当在所有适用条款中纳入安全、可靠、稳定和经济可行性的基本原则。

6 源水的考虑

6.1 源水类型

6.1.1 总则

源水水质不应当对其后的回用应用、人类健康和环境造成任何负面影响。

水再生设施源水可包括从下水道系统未经处理的污水或污水处理厂 (WWTP) 处理过的污水 (TWW)，其处理技术和水平处理基于水源的水和再生水质量需求原则，考虑安全、可靠性、稳定性、经济可行性和保护环境和公共卫生。

在大多数情况下，预计二级 TWW 将作为集中水回用系统的水源。二级 TWW 的质量通常是确定的。亦或者，水回用可以直接纳入一个 WWTP，以达到预期的水回用目的。在该综合系统中，只要处理工艺和可靠性 (水质和水量) 满足水回用需求，污水系统中未经处理的污水即为源水。

6.1.2 WWTP 处理后的污水

在污水集中处理设施已经存在的地区，二级 TWW 通常被用作再生水的来源。这通常应当考虑扩建或升级现有的 WWTP，或在附近兴建新的填海设施。对于现有污水处理厂的扩建或升级，与现有污水处理厂的兼容性是很重要的，应当考虑几个因素，包括二级 TWW 的质量、新设施的空间、水力发电厂的外形、管道改造、操作考虑和辅助系统。在所有情况下，都应当考虑未来的需求、区域规划和土地供应。

6.1.3 来自污水系统未经处理的污水

未经处理的污水通常被认为是来自下水道系统的源水，例如：

- 没有集中污水处理设施的新发展地区，及
- 污水处理设施有限的地区，例如一级处理厂。

下水道系统未经处理的污水一般按收集系统所覆盖地区的人口比例提供。

一般而言，污水渠系统未经处理的污水具有以下特点：

- a) 营养物和有机及无机化学污染物 (包括家居及工业化学品、药物及个人护理产品及内分泌干扰物) 的浓度高于二级 TWW；
- b) 可堵塞泵、过滤器和其他设备的大量固体物质 (例如：砂砾、纸张、塑料、抹布等)；
- c) 病原体负荷大、范围广；
- d) 一般收集在收集系统的较低海拔处。未经处理的污水的组成和数量的变化对后续处理、贮存、分配和应用阶段的设计非常重要，应当予以准确评价。

6.1.4 其他来源

在紧急情况下、意外情况下或源水供应中断时，应当备有符合水质规格的备用饮用水，以应付基本的供水服务 (例如冲厕)。可能的备用水资源包括靠近集中式水回用系统的饮用水、雨水、河流和/或湖泊水源。

当现有的再生水来源不足以应付使用者的需要时，应当尽可能考虑补充来源。在这种情况下，这些来源可能需要额外的处理、贮存或与其他来源混合。

如果饮用水用作备用源水或补充源水，则应当通过使用防回流装置(最好是气隙分离装置)保护饮用水配水系统不受再生水的潜在污染。

6.2 源水水质考虑

6.2.1 总则

源水的水质和水量应当满足再生水生产供应过程中对人体健康和环境安全的安全考虑。这两个问题应当得到解决。

6.2.2 合适的源水

以控制的工业污水比例的生活污水为源头的再生水可视为合适的源水，以供循环再造之用。

6.2.3 不合适的源水

虽然城市废水的来源通常包括家庭，工业，商业和机构（如医院）排放的混合物，但是含有超过规定的可接受水平的有毒化学品或病原体的工业和机构的废水应当不在考虑回收和有益再利用，因为高含量的污染物可能会对再生水的质量产生负面影响。特别是，当考虑到医院流出物中有相当比例的污水时应当特别谨慎，因为污水中可能含有高病原体含量，并且存在可能对生物处理过程产生负面影响的消毒剂和药物复合物。

应当采用良好实践来发现并尽量减少不利影响。这些可以包括源控制程序、许可的系统、行业的具体因素、监测和审计程序。当污染物被有效控制并在排入下水道之前预先处理到可接受的水平时，工业的、商业的和/或机构污水输入可以是适当的水源以供回用。

含有过量重金属和有毒化学物质的放射性污水和工业污水不能用作源水。

6.3 可靠性考虑

6.3.1 水量

再生水的水量取决于从下水道系统和/或二级 TWW 收集的未处理污水的水量。还应当考虑管道泄漏、工艺用水和不可预见的水损失。

水量会受时间和季节变化的影响，并且这些变化应当在设计中加以考虑。

6.3.2 水质

为了尽量减少源水水质的变化，应当处理工业污水源和暴雨雨水浸入/流入的冲击负荷可能造成的影响。一旦了解了工业排放的潜在影响并确定了关键污染物，就可以通过缓冲贮存、适当的处理过程、工业污染源控制和经过培训的工艺操作员来控制再生水的质量。

根据 ISO2076 所指明的预期用途，应当进行适当的水回用安全评估。作为参考，一般评价源水的水质参数包括微生物参数（例如：总大肠菌、粪大肠菌或大肠杆菌）、浊度、总悬浮物（TSS）、生化需氧量（BOD）（和/或化学需氧量 COD，作为补充）、色度、pH 值、总氮（TN）、总磷（TP）和美学指标。根据适合用途的方法选择应当要监测的参数清单。某些应用程序可能包含可选参数。在水质评价过程中，可能会考虑细菌再生等稳定性问题，以及健康危害、土壤影响或其他环境问题等潜在的不利影响。有关多个国家建议的水质标准的资料，可参阅 ISO 20761：2018 的附录 A，以及参考文献 [13]、[14]、[15] 及 [16]。

6.3.3 可靠性评价

每个再生水项目都应当进行可靠性评价，以确定哪些工艺和设备部件对产品水的生产、分配和最终使用是至关重要的，哪些是非关键的。该评价确定了关键的、重要的和非关键工艺和设备的损失对再生水质量的影响程度，因为它影响再生水的生产、分配和使用能力。评价将把这些发现纳入设施的设计中，以确保包括足够的冗余、厂内贮存、环境缓冲和警报。这些设计因素也决定了最少的和关键的操作员人员需求。

6.4 经济考虑

水资源再利用的经济可行性，包括资本支出（CAPEX）和运营支出（OPEX），应当逐个进行评估。采用源水进行水回用的成本效益应当与其他现有水资源（例如：资本支出、营运支出、水价、间接成本节省等）进行比较。

7 再生水处理系统

7.1 总则

再生水处理应当考虑以下因素：

- 源水水质；
- 再生水的处理目标及水质指标；
- 处理设施的技术绩效；
- 处理设施的位置及场地限制；
- 能源和经济考虑。

应当选择处理技术和工艺，以满足最终用途的要求和目标。

7.2 集中式水回用处理系统设计原则

7.2.1 总则

在设计集中的水回用处理系统时，应当考虑安全性、可靠性、稳定性和经济可行性的原则。

还应当考虑避免对环境造成不利影响。

7.2.2 安全性

再生水的安全性应当确保再生水水质适宜于预期用途，以保护人类健康和环境免受病原体、有毒化学污染物或营养素的不良影响。例如，含有高浓度盐（例如：钠和硼）的再生水对某些植物尤其有害。如果建议从饮用水系统提供备用或补充供应以确保可靠性，则建议在两个系统之间提供回流保护装置，以保护饮用水系统不受污染。建议将防回流保护装置的选择与确定的污染风险类别相关联。

水质的评估，应当考虑按最终用途进行“以目的为导向”的水回用安全评估。

7.2.3 可靠性

通过确定再生水的需求和保证供水量能满足高峰需要量，可评估水量和可利用性。可靠性评价用于证明，经处理后的再生水在输往配水系统时，其水质和水量均可接受。

为确保处理的可靠性，应当考虑以下几个方面：

- a) 后备水资源和电力供应；
- b) 备用或替代设备；
- c) 季节性或临时使用或缓冲贮存再生水（根据具体情况而定，例如：在冬季贮存、紧急贮存、季节性灌溉或溪流强化）；
- d) 处理和消毒过程的有效性和效率，以确保一致的绩效；
- e) 监测项目，例如：在线监测、报警系统、自动控制等，检测和控制城市污水收集系统的工艺故障和不规范排放；
- f) 设备的运行、维护和控制。

7.2.4 稳定性

稳定性评价可以包括操作稳定性和出水水质稳定性/合规性。

在设计处理系统时，重要的是根据水质方法进行绩效目标检查（例如：系统一致性和回弹性），以确保化学和微生物参数的残留浓度是可接受的。在某些情况下，对于直接与人类接触的风险较高的再生水，应当采用多重屏障或至少双重屏障处理，以降低微生物的风险。还可以考虑设备冗余，包括在确保一致性业绩指标的最低需求之外增加措施。冗余包括能够独立针对同一类型污染物的处理过程以及备用设备和电源的提供。

化学稳定性可以通过考虑 pH 值、碱度、温度、硬度、氯和硫酸盐等常规参数来评价。在一些非常特殊的情况下，朗格利尔饱和指数 (LSI)、雷兹纳稳定指数 (RSI)、碱度指数 (AI) 和拉尔森比率 (LR) 等其他参数也可以被监测，以及一些额外的指标例如异养微生物稳定板计数 (HPC)、同化有机碳 (AOC)、可生物降解溶解有机碳 (BDOC)、藻类增长潜力 (AGP) 和细菌增长潜力 (BGP)。

7.2.5 经济可行性

经济可行性评估应当考虑建筑和安装的初始资本投资以及运营和维护成本。处理成本受源水的位置、水质、预期用途的出水量和水质、能源成本和人工成本的影响。一般来说，制定具体的收费标准是为了促进水的可持续再利用。

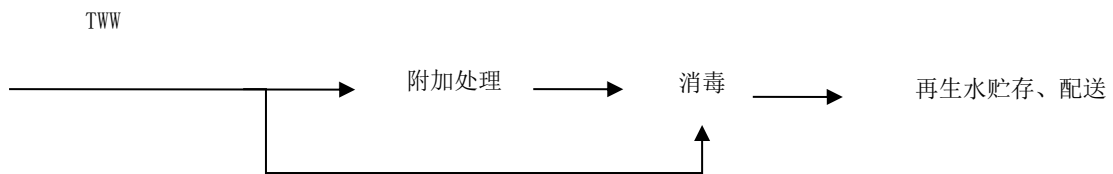
7.2.6 环境

保护环境和避免不利的环境影响是至关重要的[17] [18] [19]。为确保水回用的环境可持续性，可考虑以下各方面：

- a) 土地使用影响；
- b) 生态系统、物种或生物多样性(例如:湿地、受威胁物种、野生动植物及生境)；
- c) 漫滩、重要农田、公园或保护区；
- d) 地表或地下水质量或数量；
- e) 环境空气质量或噪音水平。

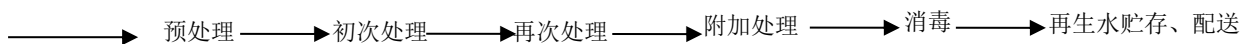
7.3 可能的集中式水回用处理系统配置

图 5 展示了一个典型的再生水处理系统的流程图。当水源为二级 TWW 时，系统通常包括额外的处理和消毒过程[图 5a)]。如果源水是来自下水道系统的未经处理的污水，则该系统应当包括初步的、初级的、次级的和额外的处理和消毒过程[图 5 b)]。附加处理和消毒是再生水处理的主要组成部分。个别用户如果对再生水的水质有特殊考虑(例如：除盐)，可进行其他辅助处理。



- a) 在污水处理厂的下游和附近建造填海设施

下水道系统中
的未处理废水



- b) 水回用设施集成在 WWTP 中

注:深度处理是可选的,应当根据再生水的水质和用途而定。

图5. 典型集中式水回用处理系统流程图

7.4 处理过程

在某些情况下，应当考虑进行深度处理。为确保处理系统的安全性和可靠性，建议根据再生水的应用情况，以及最低的技术需要(例如消毒)，考虑采用综合的多屏障处理方法和监测系统。多重障碍方法强调了组合措施作为一个集成系统使用。

常见的附加处理包括过滤技术(快速滤砂、布滤/盘滤或微筛)。

常见的消毒技术可以包括氯化消毒、紫外线消毒和臭氧消毒。

常见的深度处理技术包括活性炭吸附与离子交换、膜过滤(例如:微滤、超滤、纳滤和反渗透)和高级氧化(例如:电化学氧化、光化学催化氧化和辐射)^[20]。

8 再生水贮存系统

8.1 总则

再生水贮存设施是水回用系统的重要组成部分。设计和运行足够的水库以平衡水力流量变化、满足用水需求、减少压力波动,为消防、停电和其他紧急情况提供储备。贮存设施的建设应当考虑不同的贮存类型和特殊性。还应当保证系统的结构完整性,防止系统的泄漏和渗漏。

8.2 贮存类型

8.2.1 总则

贮存设施可以是开放的(水库或池塘)或封闭的结构(有盖的水池或地下蓄水层)。贮存类型受地形、美学、地震活动、冻结潜力、土地可用性、资本和运营成本以及以往经验的影响。

8.2.2 露天水库

露天水库常用于大型设施。它们可以作为处理和配水系统的一部分(例如:成熟池塘),也可以在将再生水抽入配水系统之前用来贮存。原位水库通常用于城市应用,例如:高尔夫球场和公园灌溉。

露天水库的大小取决于水库的目标应用。短期贮存是城市景观和高尔夫球场灌溉的主要选择。长期跨季贮存主要用于农业灌溉、大型城市水回用工程或间接饮用回用。有关灌溉用水回用的信息,可参阅标准 ISO16075-1、ISO16075-2、ISO16075-3 及 ISO16075-4。

注:如属间接饮用水回用,再生水会先排放到环境缓冲区,然后经滤水厂提取及处理,以作饮用之用。间接饮用水回用的环境缓冲区可以是露天水库、湖泊或蓄水层。有关间接可饮用回用的更具体信息,可参考其他相关标准^[21]。

8.2.3 封闭的水库

在填海系统中,有两种主要类型的封闭水库(也称贮水池):地下及地上水池。贮水池的选择和设计取决于地形、土地利用和成本考虑。地上水池总是比地下水池便宜。它们有一些优点,例如单位电力成本更低,因为它们可以在非高峰电力需求时间被填满,水可以在高峰电力需求时间通过重力输送。

8.2.4 蓄水层贮存与恢复

灌溉和生态系统恢复等非饮用水的再生水，在满足非饮用水水质要求的情况下，也可以贮存在非饮用水蓄水层中。用于再生水贮存的蓄水层不能直接(未经附加处理)用作饮用水源。重要的是要确保蓄水层与饮用水蓄水层没有联系。由于贮存情况和场地条件复杂，应当考虑水文地质问题，并应当采取预防措施，以防止地下水污染，可能导致砷等自然产生的有害化合物的释放以及可能与用于饮用水供应的地下水有联系。在每一种情况下，都应当考虑具体环境^{[22][23][24][25]}。

注:对于蓄水层的贮存和回用，重要的是那些使用蓄水层水的人必须了解，以便在补充蓄水层之前能够商定某些质量标准，或者在使用地点能够实施适当的监测/处理过程。

8.3 贮存注意事项

根据目标的不同，可以考虑将贮存分为运作性的和季节性的。这些方面应当在贮存设计中加以考虑，而且可以对系统的资本成本产生重大影响。

运作性贮存应当用于容纳每日或临时的流量波动，以：

- 平衡系统再生水的输入和输出，
- 为不可接受的处理再生水的保留、再处理或弃置之用进行紧急贮存
- 允许适当和可控的排放到环境中。

开放或有盖的设施，例如水库或水池，均可作运作性贮存之用。特别是，建议混凝土罐采用钢结构或柔性罩。低成本的塑料水库通常用于小型贮存系统。

季节性贮存用来：

- 在低需水量或高源水量的特定时期保留过量再生水，例如下雨或雨季；
- 确保有足够的水供应，以应付高峰期的用水需求；
- 尽量使用现有的再生水；
- 提供长期贮存。

一个大型的水回用系统可以包含一个以上的季节性贮存设施。

在选择最佳贮存地点时，应当考虑若干因素，包括水力和水文条件、接近用户、水的最终用途及有关水质、土地供应、区位、地形、地点可达性、土壤条件、危险和建筑。回用水也可以贮存在公用事业公司的设施中，例如：配电站，或客户指定的地点。

内衬泥土的池塘通常用于长期的季节性贮存。

8.4 贮存设施的规模和周转考虑

贮存容量的考虑因素通常可以从每日平均使用量(高峰和非高峰需求)、消防和/或其他紧急情况来估计以抵消维修或管道破裂和未来对能力的额外需求。还应当考虑其他因素，包括用户类型、潜在高峰需求(每日和季节性)和波动、同时出现高峰的可能性、供水压力、流速、最终用水消耗的交错时间、服务中断的可接受时间和其他供应品的可用性。

除了应付高峰需求外，在其他需求减少的时候，贮存设施的周转能力也应当足够。由于有机物和沉淀物的发酵，未使用的水会变得滞流不前，并产生不良味道和气味。在寒冷的气候中，当周转不足时可能发生冰冻。再循环或混合系统可以解决水的循环问题。

8.5 水质控制

物理、化学和生物过程(如表 1 所示)以及外部污染可能导致贮存的再生水质量恶化。

表1 与水回用贮存有关的常见水质问题

物理问题	化学的问题	生物问题
温度	pH 和碱度变化	藻类的生长
浊度	化学污染物	微生物再生
悬浮物	消毒副产物的形成	富营养化
感官(气味、色度和浑浊度)	味道和气味	微生物污染
摘自美国环保署(2012)。		

水质问题是相互关联的。水质控制应当以水回用安全评价为基础，根据最终用途设计适宜的水回用安全评价。应当实施管理战略，例如通过去除营养物质、浊度管理、剩余氯管理、限制光源和水力保持时间来控制源和/或减少危险。藻类的有效控制可以通过水池分层、营养物质控制、化学处理或在水库出口安装细网筛或超声波处理来实现。若采用蓄水层储集，应当控制盐度。应当进行额外的处理，包括再氯化处理，以维持再生水在使用地点的水质。

8.6 露天水库的具体考虑

8.6.1 总则

与露天贮存设施(例如地面水库及池塘)有关的蒸发及水质问题备受关注。

8.6.2 蒸发

露天贮存设施会发生大量蒸发。装置的单位体积表面积越大，蒸发损失越大。蒸发损失应当计算在内，并纳入贮存设施规模的估计。长期蒸发不仅会造成水的损失，还会导致再生水的盐度增加。补偿直接降水或其他来源的流可以抵消蒸发损失。

8.6.3 水质控制

露天贮存系统的特点是水质恶化的风险很高。水质可能会受到外部污染物的影响，例如：来自鸟类和其他动物的粪便，

来自风吹的尘埃和碎片、有机物、藻华、微藻生长和不受控制的表面流入的微生物。应当特别注意藻类生长和外部病原体污染(例如：鸟类和其他鸟类病毒污染)。因此，建议所有健康风险高(可能与再生水直接接触)的城市使用密闭水池。

应当实施适当的管理战略，防止水质退化(例如：在密闭的水池中可能产生厌氧条件)，或确保在分配之前进行额外的处理。

8.6.4 后处理设施

如果再生水在露天贮存期间水质恶化，应当根据水质指标及具体考虑，进行后处理。后处理方法可以包括以下一项或多项选择：

- 过滤设施，例如过滤器或人工湿地，以净化再生水；
- 控制水力停留时间或其他防止藻类过度生长的方法和设备(例如超声波技术)；
- 采用分层系统以保持再生水的均匀性；
- 再氯化，以确保额外的消毒，并保持贮存和配水系统中的剩余氯量。

9 再生水输配系统

9.1 总则

再生水输配系统的设计应当考虑系统组成、供水方式、管材、颜色标识、水质控制等因素^{[26] [27] [28]}。在许多方面，再生水配水系统的设计类似于饮用水配水系统，因为水质和水量应当满足高安全性和可靠性的标准。再生水配水系统和饮用水配水系统的系统设计的主要区别包括需求管理和交叉连接控制的具体考虑。

9.2 配水系统组成及模型

9.2.1 组成部分

回用水配水系统的主要组件应当包括泵站、储水及输配水管路(如图6所示)。配水贮存的相关讨论见第9.4条。

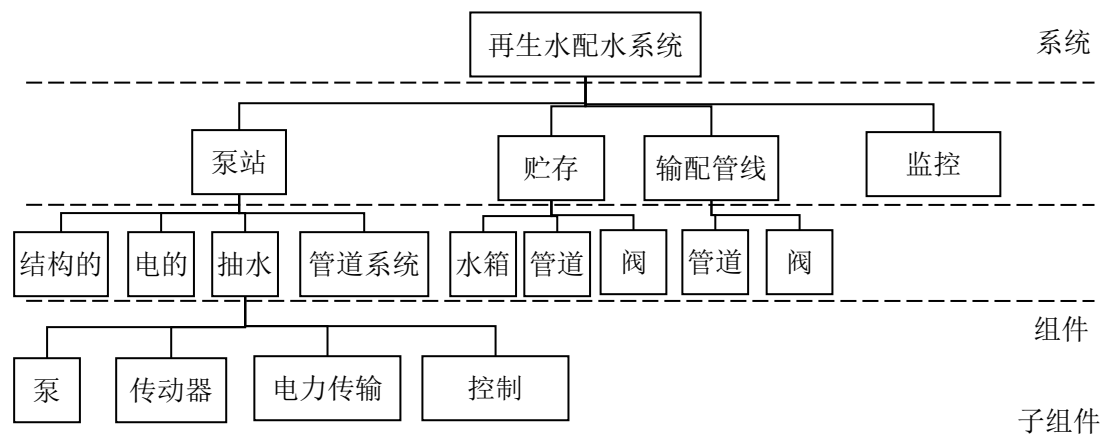


图6 水回用配水系统的组成部分示例

9.2.2 模型

在城镇地区，通常实行的“双配水系统”是指将水分配给用户的两个独立的水管系统，一个输送饮用水，另一个输送非饮用目的的再生水。回用水配水系统是与饮用水配水系统分开和/或并联的系统。

在已有饮用水配水系统运行的发达地区，在进一步的再生水配水系统规划、设计和建设中应当解决改造问题。

在新开发地区，综合规划、设计和建设饮用水和再生水配水系统，在水资源管理和节约成本方面具有优势。

9.2.3 设计原则

在设计回用水配水系统时，应当考虑到安全性、可靠性、稳定性和经济可行性的原则。

安全起见，在设计任何回用水配水系统时，防止交叉连接、不当使用再生水及不当操作是重要的考虑因素。保障措施可以根据效用、用户和监管机构的具体情况进行调整。

回用水配水系统的可靠性通常不如饮用水配水系统的可靠性高。在很多情况下(例如使用中间贮存系统，再生水配水系统可以承受中断(例如数小时或一天)，而不会造成不当的损害。用户服务协议可以包括与可接受的服务中断时间有关的条款。

从稳定性考虑，配水系统中的再生水应当被保护起来避免微生物和/或化学污染。建议定期对配水系统进行取样和分析。

对于经济问题，应当分析再生水配水系统的成本效益。可以评估设计、施工和系统开发的初始资本成本，以及运行和维护费用(例如：水表、交叉连接控制措施和管道改造、计划检查和质检的费用)。

在环境方面，可考虑再生水输配系统对环境土地、生态系统、空气质量、噪音水平及地表水和地下水的质量和数量的潜在影响。

9.3 泵站

9.3.1 总则

泵站的设计应当确保配水系统足够可靠，以达到输送压力的范围和供水的流速。如果该系统的设计目标是为所有客户提供集中的服务，则应当采用高架贮存、地面贮存和升压泵站相结合的方式维持系统的压力和流速。此外，泵站的设计可以考虑可能的扩建。因此，应当为额外的泵和设备提供足够的空间。

9.3.2 再生水输送压力

应当维持足够的系统输送压力，以满足服务区内客户的需求。在确定最小和最大输送压力时，应当考虑若干因素，例如：最终用途的种类、最终用途需求、峰值需求、管道材料限制和水管与使用点之间的压力损失。

峰值需求和压力考虑范围大意味着很难在恒定压力下保持输送状态。在这种情况下，可以对用户的输水系统进行优化，为大用户提供现场贮存。

为提供额外的安全水平，建议回用水配水网络在低于饮水系统的压力下运行，同时保持可用性，以限制未经授权的交叉连接造成饮用水污染的风险。

9.3.3 再生水流速

在设计再生水配水系统时,应当仔细评估最小和最大流速和水头损失。流速主要取决于生产的再生水水量、消耗需求和调节能力。

9.4 再生水配水系统

9.4.1 避免滞流状态

在可能的理想情况下,应当对再生水配水系统进行循环,以尽量减少分支网络中可能出现的滞流状态。初配网应当安全可靠地向用户输送再生水。如有可能,应当避免或尽量减少(包括在建筑物内)管线死角,以避免因长时间水力滞流、细菌滋长和管道腐蚀而可能造成的水质变化。在滞流状态下,氯残留可能难以维持,氧气可能会随着潜在气味的产生而流失。因此,可以采取一些措施来处理这些情况(例如:可以安装一个排污装置,该排污装置可以定期打开,以便对管道进行排水或冲洗,以便进行维护或检查)。在设计一个有效的分配系统时,应当考虑未来的需求和成本。

9.4.2 管道布置及材料

配水网络通常由一个或多个主管道和几个小管道组成,以确保将再生水输送到最终目的地。主要最终使用的位置及其在社区内的空间分布,是设计管道路线的主要准则。主水管应当建在一个能够连接到未来管道和之前确定的大型用水户的位置。在与再生水管或污水管平行运作时,应当保护饮用水水管,并使其位于水管上方,并有适当的水平分隔。此外,再生水管道的的设计应当与污水管道进行足够的垂直和水平分离。

在选择管道材料时应当考虑各种因素,例如:再生水的预期质量、压力、水流、地质条件以及技术经济可行性。应当考虑氯气等化学物质对管道材料的副作用。再生水系统中使用的管道材料包括球墨铸铁、钢材、聚氯乙烯、高密度聚乙烯和玻璃纤维增强聚酯。

9.4.3 配水系统水质

为了保持再生水的水质,氯通常被用作残留消毒剂,以控制配水系统中生物膜的生长。余氯水平由再生水在配水系统中的停留时间和再生水对氯的需求决定。在使用前,应当考虑在中间贮存库和升压泵房进行再氯化处理,以维持所需的余氯水平。如果排放再生水提高流量,同样重要的是在水释放之前要考虑必要性脱氯,以保护水生环境或考虑替代消毒技术(如臭氧氧化、紫外线、硫酸铜、过醋酸和巴氏灭菌),以避免潜在的消毒副产物的形成,减少水生动物毒性。

使用再生水清洗街道时,也应当考虑潜在的环境影响。

9.4.4 颜色编码系统、水标志和标签

不允许在不适于饮用的再生水配水系统和任何其他实用系统(包括饮用水供应系统和污水或雨水系统)之间进行没有保护的直接物理连接。应当采取有效措施防止非饮用水再生水管网与饮用水配水系统的交叉连接和回流。

非饮用水再生水管道应当与饮用水管道区分识别。例如,一些管辖区会把非饮用再生水配水组件涂上紫色或贴上紫色标签。如有需要,可透过喷漆、标签或包装等方式进行识别。暴露在地面上的部件,例如:阀门和管道,也应当适当地做上标记或标记,以表明它们是非

饮用的再生水。埋藏的附属物也应当加以适当识别。可以对地面看见的阀门覆盖物进行喷漆和标记，以指示不适于饮用的再生水供应。

使用油漆或黏合剂作标签固定剂，会影响塑胶管/配件或透过渗透输送的液体的质量(例如：黏合剂标签)。在这种情况下，应当征求塑料管制造商的意见，以确定所使用的任何油漆或粘合剂的适用性。

9.4.5 服务连接和用户站点

当回用水系统要向多个用户提供服务时，应当考虑标准的服务连接细节。内容可能包括颜色编码系统、水标志和标签；用户场地内的饮用水系统应当有预备或补充供水系统，以避免交叉污染时，提供适当的回流保护。

10 监测系统

10.1 总则

应当监测再生水，以确保再生水系统的安全性、可靠性、管理效率和可持续性。监测系统可包括水量监测和水质监测，并应当根据预期用途，即“适合用途”(见 ISO 20761)，以安全评估为基础进行设计。水质监测是控制系统绩效和限制风险的关键管理策略。

监测系统应当包括与运行监测和控制有关的参数，以供参考。例如：pH 值、BOD、COD、TSS、浊度、余氯、营养物、毒性、电导率、微生物指示物等常用来检测再生水水质。有关水质监测参数的选择取决于各个系统的规范。此外，应当为每一参数制订明确的准则和监测频率，以一致地实现再生水的水质和回用目标。如果水质和回用目标没有达到，就应当采取适当的行动。

10.2 监测位置和设施

应当在整个水回用系统的关键位置设立监测站点，定期从这些站点收集水样进行实验室分析。建议在健康风险较高(可能与再生水直接接触)的水回用系统中，安装设有报警系统、在线传感器、压力表及自动控制的在线监测设施，以提供系统性能的实时数据。

一般来说，再生水厂的出口均设有在线监测系统，并设有设备完善的自动及冷藏水采样器。

10.3 源水监测

可以安装在线监测和预警系统，监测源水水质(例如：二级排放)和水量。特别应当密切监测和控制工业和医院大量输入的城市污水的毒性。当源水水质和水量波动较大，或源水水质特别低时，必须更频繁地监测和缓冲贮存。

10.4 处理设施的监测和控制

应当监测处理设施的绩效,以确保处理过程的运行效率及出水水质符合目标。建立在线监测、报警和控制系统,以检测工艺故障(例如膜完整性试验、消毒剂用量等)。在主要的处理单元和再生水设施的出口也可以安装在线水质监测仪器。

在再生水设施的出入口设置水采样装置,对再生水水质进行常规监测和分析。如果产生的再生水有很高的健康风险或不符合规定,除了关键的处理过程外还建议定期进行额外的监测。

10.5 配水的监测

在配水系统中应当监测水压、流量和余氯。尽可能使用在线设备。建议对分配的水,特别是对其中的微生物指示物,进行定期取样和分析。

10.6 贮存的监测

还应当定期监测贮存系统的水质。推荐的监测参数包括温度、pH值、浊度、电导率或总溶解固体(TDS)、余氯和微生物指示物(如大肠菌群)。

10.7 监视用户站点

应当在用户地点建立水质监测程序,以确保人类健康受到保护,特别是对直接接触高风险的再生水系统和有严格要求的情况下。每个站点的监测所需考虑的因素可以是不同的。在连接之前,应当检查用户站点的合规性,特别是可能导致最终用户站点受到污染的未交叉连接处。用户应当制定管理计划,其中包括只允许训练有素的合格操作人员从事水回用系统的工作。

11 应急预案

应当制订应急预案,以处理和尽量减少可能危及再生水水质的事件或紧急情况的影响,例如:极端天气情况、自然灾害、过程失败、意外交叉连接及疾病爆发等。应急预案的制订程序应当包括:

- 所有有关机构和/或地方当局之间进行沟通,以规定可能发生的事件和紧急情况;
- 制订应急预案和有关文件程序。可采用风险评价程序确定临界点、潜在风险情况和降低风险水平的最佳管理办法,见 ISO 20426;
- 定期检查应急预案;
- 定期更新计划。

事件及应急预案的重点范畴包括:

- 各领导机构和(或)地方当局为潜在的健康或环境影响而预先商定的协定;
- 响应措施,例如:增加监测的频率;

- 提供替代供水；
- 沟通协定和战略，包括通知程序；
- 加强卫生或环境监测的机制。

还应当建立有关事故或紧急情况的适当文件和报告。工程师和操作人员应当尽可能从事事故中吸取教训，以改进预防措施和对其他故障的纠正措施的计划。

参考文献

- [1] ISO 20760-2, *Water reuse in urban areas — Guidelines for centralized water reuse system — Part II: management of a centralized water reuse system*
- [2] ISO 20761:—3), *Water reuse in urban areas — Guidelines for water reuse safety evaluation: Assessment parameters and methods*
- [3] ISO 20468-1:—4), *Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 1: General*
- [4] ISO 16075-1, *Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 1: The basis of a reuse project for irrigation*
- [5] ISO 16075-2, *Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 2: Development of the project*
- [6] ISO 16075-3, *Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 3: Components of a reuse project for irrigation*
- [7] ISO 16075-4, *Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 4: Monitoring*
- [8] ISO 20426:—5), *Risk and performance evaluation of water reuse systems — Guidelines for health risk assessment and treatment for water reuse*
- [9] EN 1717, *Protection against pollution of potable water in water installations and general requirements of devices to prevent pollution by backflow, 2000*
- [10] GWA (Government of Western Australia). *Draft guidelines for the use of recycled water in Western Australia*, Perth, Australia, 2009
- [11] WateReuse Association (WRA). *Manual of Practice, How to Develop a Water Reuse Program*. WateReuse Association. Alexandria, VA, 2009
- [12] DNRW (Department of Natural Resources and Water). *Water quality guidelines for recycled water schemes*. Office of the Water Supply Regulator, Brisbane, Australia, 2013
- [13] LAZAROVA V., ASANO T., BAHRI A., ANDERSON J. *Milestones in water reuse: the best success stories*. IWA Publishing, London, UK, 2013, pp. 1–375
- [14] Ministry of Housing and Urban-Rural Development (MOHURD). *Guideline for the reclaimed water application in urban areas*, Beijing, China, 2013
- [15] NRMMC-EPHC-AHMC. *Australian guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks, Phase 1*. Canberra, Australia, 2006

- [16] U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). *Guidelines for water reuse, EPA/600/R-12/618*. U.S. EPA and U.S. Agency for International Development, Washington, 2012
- [17] DPIWE (Department of Primary Industries Water and Environment). *Environmental guidelines for the use of recycled water in Tasmania, Australia*. Department of Primary Industries Water and Environment, Tasmania, Australia, 2002
- [18] EPA Victoria. *Guidelines for environmental management — Use of reclaimed water, Publication 464.2*. EPA Victoria, Southbank, Victoria, 2003
- [19] EPAPEHS (Environment Protection Agency & Public and Environmental Health Service). *South Australian reclaimed water guidelines*. Adelaide, Australia, 1999
- [20] HAMOUDA M.A., ANDERSON W.B, HUCK P.M., Decision support systems in water and wastewater treatment process selection and design: A review. *Water Sci. Technol.* 2009, **60** (7) pp. 1757-1769
- [21] World Health Organization (WHO). *Potable reuse: guidance for producing safe drinking-water, CC BY-NC-SA 3.0 IGO*. WHO, Geneva, Switzerland, 2017
- [22] NRMMC-EPHC-AHMC. *Australian guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks, Phase 2: Augmentation of drinking water supplies*. Canberra, Australia, 2008
- [23] NRMMC-EPHC-AHMC. *Australian guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks, Phase 2: Managed aquifer recharge*. Canberra, Australia, 2009
- [24] State of California. *Proposed guidelines for groundwater recharge with recycled municipal wastewater*, Sacramento, CA, USA, 2001
- [25] State of California. *Recycled water related regulations — refer to published codes Title 22 and 17 California code of regulations*, California, USA, 2015
- [26] AWWA (American Water Works Association). *Planning for the Distribution of Reclaimed Water, AWWA Manual M24*, Denver, USA, 2009
- [27] MAYS L.W. *Water distribution system handbook*. McGraw-Hill Professional, USA, 1999
- [28] State of California. *Guidelines for the preparation of an engineering report for the production, distribution and use of recycled water*, California, USA, 2001