

# 《水回用指南 再生水化学稳定性评价》

## 征求意见稿编制说明

《水回用指南 再生水化学稳定性评价》标准编制组

二零二零年六月

项目名称：2019 年中国环境科学学会标准（第一批）

承担单位：中国科学院生态环境研究中心

项目联系人：高 强 010-62246242

编制组负责人：魏东斌 010-62923549

编制组联系人：魏东斌 010-62923549

# 目次

1 工作简况.....	3
1.1 任务来源.....	3
1.2 标准编制目的.....	3
1.3 标准工作过程.....	4
2 标准编制依据和原则.....	5
3 标准主要内容.....	错误！未定义书签。
3.1 标准适用范围.....	错误！未定义书签。
3.2 标准文本主要章节.....	6
3.3 化学稳定性评价体系.....	6
3.4 化学稳定性评价指标.....	错误！未定义书签。
3.4.1 单一指标.....	错误！未定义书签。
3.4.2 复合指标.....	7
3.4.2 评价指标选择原则.....	11
3.5 针对典型管网的化学稳定性评价指标选择.....	11
3.6 针对常用设备的化学稳定性评价指标选择.....	12
3.7 化学稳定性评价结果复核.....	13
4 标准实施建议.....	13
参考文献.....	14

# 1 工作简况

## 1.1 任务来源

本标准由中国环境科学学会提出并归口，2018 年申请立项，被列入中国环境科学学会 2019 年第一批标准编制计划（中环学办字[2019]80 号）正式批准立项，由中国科学院生态环境研究中心牵头起草。

## 1.2 标准编制目的

随着经济的飞速发展和城市化水平的提高，人类对水资源的需求量不断增加。由于不合理的开发和利用，我国水资源短缺和水环境污染等问题日益严峻。污水再生利用不仅能有效缓解水资源短缺，而且能减轻水污染，已成为缓解水资源危机的重要手段。2015 年国务院发布的《水污染防治行动计划》要求到 2020 年，缺水城市再生水利用率应达到 20%以上，京津冀区域应达到 30%以上，工业生产等领域应优先使用再生水。

污水中含有多种致病菌、化学污染物和营养物质，传统水处理无法有效去除所有污染物，在再生水的长期利用过程中，残留污染物会影响人体健康（如威胁公众和水厂工人的身体健康）、生态环境（如污染受纳水体、土壤等）和生产安全（如导致设备腐蚀或结垢，影响正常运行）。再生水的水质是安全利用的前提，对再生水水质进行监测和管理是保证再生水安全供应的必要手段。化学稳定性是再生水安全利用的重要组成部分，水质的化学不稳定性通常会导致腐蚀和结垢等问题的发生，增加能源消耗，缩短设备使用寿命。因此，再生水的化学稳定性评价及管理对再生水的安全利用至关重要。

尽管我国有关污水再生利用的标准化工作已取得一定成果，但仍缺乏水回用安全评价和管理方面的标准研制，尤其是化学稳定性评价。目前化学稳定性评价体系尚不明确，化学稳定性评价指标的选择存在争议。为规范再生水安全评价工作，准确评价再生水的化学稳定性，有必要建立再生水化学稳定性评价指南。针对上述问题，本标准以确保再生水储存、运输、利用等多个过程的化学稳定性为目标，根据再生水的不同用途，提供相对应的化学稳定性评价指标和方法，为再

生水的安全利用提供技术支撑，确保再生水回用系统的高效稳定运行。本标准的制定和实施，有利于保障再生水的高效、安全利用。

标准规范是再生水行业健康发展的重要保障，再生水标准的制定、颁布和实施可为行业开展项目规划、设计、管理、评价等工作提供专业指导意见和规范。目前，污水再生利用实践越来越多，但该领域的标准化工作却远远滞后于实践。污水再生利用领域仍然存在重要标准缺失、统筹协调不足、系统风险管理和过程控制程度不高、方法不统一等突出问题。现有的再生水水质标准的制定多依赖于污水排放标准的思路，难以全面表征和评价再生水利用风险，存在水质指标不全面、标准值确定依据不足、较少考虑用户和利用条件差异等问题。因此，急需开展面向实际需求、符合再生水特点的标准化体系研究和标准的研制。为满足再生水标准化工作需求，有必要结合国内外再生水利用经验，科学、规范地表征和标识再生水，指导再生水研究和再生水利用项目的规划、设计、管理和评价工作，保障再生水安全高效利用，推动我国再生水行业规范化发展。

### 1.3 标准工作过程

标准起草组经过内部多次研讨和专家论证，形成了目前的送审稿及其编制说明。

#### （1）编制启动

中国科学院生态环境研究中心接到标准制定任务后，立刻组织落实标准制定工作。确定由中国科学院生态环境研究中心为牵头起草单位，并由中建环能科技股份有限公司、清华大学等高校、企业的相关专家组成起草组，形成标准送审稿。

#### （2）理论研究

2018年11月~2019年2月：为了按照文件要求，准确完成制定工作，标准起草组通过各种途径，收集并学习了《城市污水再生利用》系列标准（GB/T 18919-25499）、《金属和合金的腐蚀 工业冷却水系统中的腐蚀和结垢》（ISO 16784）、《城镇集中式水回用系统设计指南》（ISO 20760）、《城市污水再生利用 水回用安全评价指南 评价参数和方法》（ISO 20761）、《城市供水管网水质安全保障技术》等相关国家标准和书籍，收集和研究了众多国内外再生水化学稳定性评价实际案例。经过资料分析和共性总结，初步对再生水化学稳定性评

价方法和评价指标进行梳理和提炼。理顺了标准制定的方向和思路，形成标准编制大纲。

### （3）企业调研

为了使标准具有科学性和可操作性，标准起草组以资料分析为主，现场调研为辅，分别于 2018 年 11 月~2019 年 3 月赴典型企业进行实地考察，与相关技术人员和管理人员进行深入地探讨。

### （4）标准草稿

2018 年 11 月~2019 年 3 月：标准起草组召开起草工作研讨会，就标准起草过程中存在的问题进行集中研讨。标准起草组根据再生水不同利用途径的典型水质特征和相关设施材质，进一步完善再生水化学稳定性评价方法，经过若干次课题组内部研讨会和专家咨询会，形成了标准草稿。

### （5）标准立项

2018 年 11 月：标准起草组向中国环境科学学会提交制修订立项申请书。

2018 年 3 月：经中国环境科学学会审议进行立项公示。

2019 年 5 月：经中国环境科学学会审议进行正式立项。

### （6）标准征求意见稿

2019 年 5 月~9 月：标准起草组召开工作研讨会，通过多次修改和内部讨论，形成《水回用指南 再生水化学稳定性评价（征求意见稿）》。

## 2 标准编制依据和原则

本标准按照《中国环境科学学会标准管理办法（试行）》的要求和规定，确定标准的组成要素。

在标准制定过程中遵循了以下几个原则：

- （1）科学性和规范性；
- （2）保证标准的先进性和实用性；
- （3）与国际现行的节水政策、产业政策等相结合；
- （4）尽量与相关的标准、法规接轨；

(5) 充分考虑我国污水再生利用技术发展水平、再生水不同用途的用水特点、再生水行业产业升级和发展方式转变、符合再生水行业规范化发展需求。

## 3 标准主要内容

### 3.1 标准适用范围

本标准规定了再生水化学稳定性评价指标与方法。

本标准适用于再生水储存、运输、利用等多个过程的水质化学稳定性评价和管理。

### 3.2 标准文本主要章节

本标准针对再生水的不同需求、利用途径和水质特征进行编制，综合考虑储存、输配、利用等各个环节，提供与再生水常见设施相对应的化学稳定性评价指标。主要章节如下：

- 适用范围
- 规范性引用文件
- 术语和定义
- 化学稳定性评价体系
- 化学稳定性评价指标
- 针对典型管网的化学稳定性评价指标选择
- 针对常用设备的化学稳定性评价指标选择
- 化学稳定性评价结果复核

### 3.3 化学稳定性评价体系

再生水的用途包括工业用水、城市杂用、景观用水、地下水补给等，与之相关联的设施包括储存设施、管网、喷雾器、锅炉、空调、冲厕设备等。进行化学

稳定性评价时，针对再生水利用相关联的不同设施，分别提出对应的化学稳定性评价指标。再生水化学稳定性评价流程如图 1 所示，评价过程需要考虑以下要点：

（1）水质化学稳定性影响因素的确定。影响化学稳定性的因素主要包括设施特征、水质特征和运行状况。其中设施特征包括材料化学组成、材料内壁粗糙系数等；运行状况包括温度、流速、压力等。因此，再生水化学稳定性评价前首先需确定运行条件、管网和设备特征、水质特征，并在此基础上遴选评价指标。

（2）评价指标的遴选。评价指标的选择宜遵从“准确性、全面性、可操作性”原则，尽可能筛选较为客观、科学、简便的评价指标，避免引入繁琐的评价指标和计算程序。结合各地区实际情况，适当增补或删减个别指标。

（3）水质的化学稳定性测评。针对选定的指标进行测算，将测算结果与临界值进行比较，据此判定再生水发生腐蚀和结垢的倾向。临界值的确定往往需考虑多方面因素，包括社会经济水平、再生水的用途、再生水利用综合效益等，且临界值需随技术进步而不断更新。在设定的临界值下，宜保证评价结果的合理性，客观反映再生水的腐蚀或结垢倾向。建议选择普遍接受的数值作为临界值，并尽可能与国际标准接轨。根据再生水化学稳定性评价指标的测算值，评价结果分为严重腐蚀、轻微腐蚀、基本稳定、轻微结垢、严重结垢五个等级。

（4）水质化学稳定性评价结果的复核。针对化学稳定性评价的结果开展深入分析，复核所选择的化学稳定性评价指标是否合理、评价结果是否准确全面、不同评价指标获得的评价结果是否一致、评价过程是否存在偶然性。最后根据复核结果得出化学稳定性评价结论，并提出建议和改善措施。



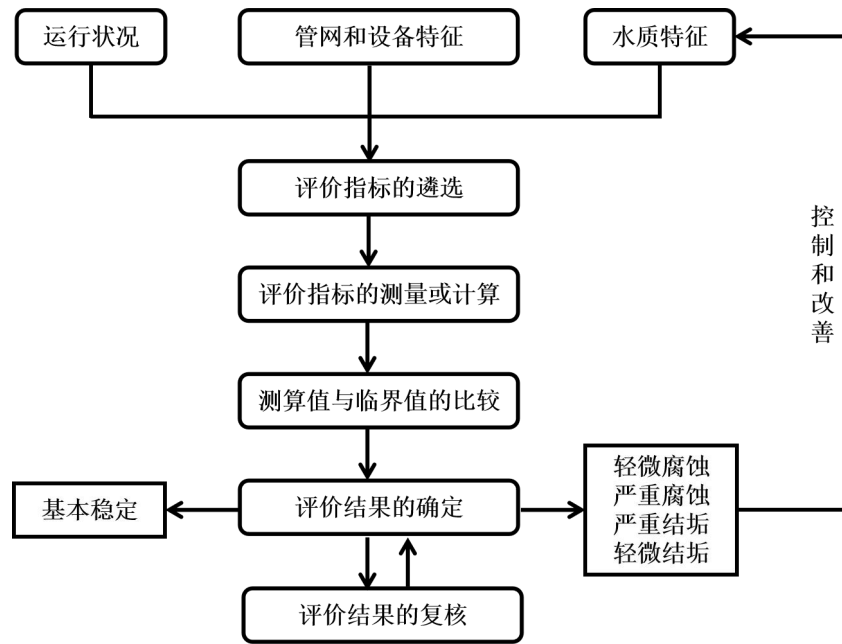


图 1 再生水化学稳定性评价流程图

### 3.4 化学稳定性评价指标

化学稳定性评价指标包括单一指标和复合指标。单一指标如 pH 值、硬度、碱度等，单一指标的数值易测算。复合指标的数值通常由多个单一指标经一定运算而得，复合指标的计算通常涉及多种影响化学稳定性的因素。两类指标中，建议选择独立且互补的评价指标表征再生水的化学稳定性。

#### 3.4.1 单一指标

可用于再生水化学稳定性评价的单一指标包括包括 pH、总硬度、总碱度、溶解氧(DO)、总溶解性固体(TDS)、总悬浮性固体(TSS)、浊度，列于表 1。

表 1 再生水化学稳定性评价单一指标

单一指标	单位	测定方法	注意事项
pH	-	ISO 3696	pH值改变会破坏许多动态平衡反应，影响与化学稳定性相关的离子浓度。 高硬度易导致结垢，低硬度易导致腐蚀。世界卫生组织在饮用水质量指南中提出硬度小于 100 mg/L CaCO <sub>3</sub> 或超过 200 mg/L CaCO <sub>3</sub> ，管道将分别发生腐蚀或结垢。
总硬度	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ISO 6059	世界卫生组织在饮用水质量指南中提出硬度小于 100 mg/L CaCO <sub>3</sub> 或超过 200 mg/L CaCO <sub>3</sub> ，管道将分别发生腐蚀或结垢。
总碱度	mg/L	ISO 9963-1	以铁管为例，增加碱度会促进中间腐蚀产物

	CaCO <sub>3</sub>		FeCO <sub>3</sub> 的生成, 进而氧化为稳定的三价铁氧化物(Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 、FeOOH等), 沉积在管道上形成钝化膜, 防止进一步腐蚀。
DO	mg/L	ISO 5814和ISO 17289	DO作用于金属管道内壁表面时, 会加速腐蚀; DO作用于已形成腐蚀产物的表面时, 会加速钝化膜形成, 延缓或防止进一步腐蚀。
TDS	mg/L	ISO 7888	高浓度的SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、Cl <sup>-</sup> 会增加水体电导率, 加速离子和电子迁移速度, 促进铁、铝、锰的腐蚀, 但对铜、铬、锌、镍的腐蚀无影响。NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 会大大加速铁在酸性溶液中的腐蚀, 中性溶液中影响不大。
TSS	mg/L	ISO 11923	TSS可加剧水流对管道内壁的冲刷, 破坏腐蚀表面层, 促进腐蚀。悬浮固体可作为无机盐结晶的晶核, 过量TSS会促进结垢。
浊度	NTU	ISO 7027-1	TSS的粒径大于1 μm, 浊度的粒径在1 nm~1 μm之间, 也叫作胶体物质, 胶体物质在结垢过程中起到关键作用, 用浊度代替TSS评价水质化学稳定性更准确。

### 3.4.2 复合指标

再生水化学稳定性评价的复合指标分为两类, 一类是基于碳酸钙溶解平衡的评价指标, 另一类是基于多参数分析的评价指标。复合指标包括 Langelier 饱和指数(LSI)、Ryznar 稳定指数(RSI)、碳酸钙沉淀势(CCPP)、侵蚀指数(AI)、Larson 腐蚀指数(LR)和改进 Larson 腐蚀指数(ILR)、Riddick 腐蚀指数(RI)。

#### (1) LSI 指标

LSI 指标基于碳酸钙结垢, 适用于定性评价无防腐内衬金属管道如钢管、铸铁管、镀锌钢管等中无外加药剂水体的化学稳定性。LSI 指标具有一定局限性, 一是 LSI 值相等的两个水样不能进行水质化学稳定性的比较, 二是当 LSI 值接近零时, 容易得出与实际相反的结论。

$$LSI = pH - pH_s$$

式中,

pH 水体 pH 值

pH<sub>s</sub> 碳酸钙处于平衡状态时的 pH 值

pH<sub>s</sub> 可由计算法、表格法、图像法得出，pH<sub>s</sub> 与碳酸氢盐碱度、钙离子浓度、水温、含盐量、钙离子络合离子等密切相关，一般推荐：

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$A = \frac{[\text{Log}_{10}(\text{TDS}) - 1]}{10}$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10}(\text{°C} + 273) + 34.55$$

$$C = \text{Log}_{10}(\text{Ca}^{2+} \text{ as } \text{CaCO}_3) - 0.4$$

$$D = \text{Log}_{10}(\text{Alkalinity as } \text{CaCO}_3)$$

A 水质溶解固体系数

B 温度系数

C 硬度系数

D 总碱度系数

## (2) RSI 指标

RSI 指标是针对 LSI 指标的不足，在大量实验基础上提出的半经验性指标。RSI 指标适用于间冷开式循环冷却水系统，在 pH6.5-8 范围较为准确。美国环境保护署建议共同使用 LSI 和 RSI 指标评估水的腐蚀或结垢倾向。

$$RSI = 2pH_s - pH = pH_s - LSI$$

式中，

pH 水体 pH 值

pH<sub>s</sub> 碳酸钙处于平衡状态时的 pH 值

## (3) CCPP 指标

CCPP 指标可定量反映水中碳酸钙的理论沉淀值或溶解值，CCPP 指标同时受到水温、pH、碱度、钙硬度等多个参数的影响。一般情况下，CCPP 值可有效判别水质的化学稳定性，但当水中存在腐蚀性离子（如氯离子）时，仅凭 CCPP 指标无法准确判断水质的化学稳定性。

①以碱度定义：

$$CCPP = 50000(\text{Alk}_i - \text{Alk}_{eq})$$

Alk<sub>i</sub> 水体碱度(以 CaCO<sub>3</sub> 计，mg/L)

Alk<sub>eq</sub> 碳酸钙平衡后的碱度(以 CaCO<sub>3</sub> 计, mg/L)

②以钙离子的浓度定义:

$$CCPP = 100([Ca^{2+}]_i - [Ca^{2+}]_{eq})$$

[Ca<sup>2+</sup>]<sub>i</sub> 水体钙离子浓度(mol/L)

[Ca<sup>2+</sup>]<sub>eq</sub> 碳酸钙平衡后的钙离子浓度(mol/L)

#### (4) AI 指标

AI 指标适用于评估水泥管中的水质化学稳定性, 考虑了碱度、硬度和 pH 对腐蚀的影响。

$$AI = pH + \text{Log}(Alk \cdot \text{Hardness})$$

Alk 水体碱度(以 CaCO<sub>3</sub> 计, mg/L)

Hardness 水体硬度(以 CaCO<sub>3</sub> 计, mg/L)

#### (5) LR 及 ILR 指标

LR 指标通常用于表征水对铁质管材的腐蚀性, 可评价氯离子、硫酸根离子等阴离子对水质化学稳定性的影响。

$$LR = \frac{[Cl^-] + [SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

[Cl<sup>-</sup>] 水体 Cl<sup>-</sup>浓度(mol/L)

[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] 水体 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度(mol/L)

[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] 水体 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度(mg/L)

当水体 pH 值、碱度、硬度等参数有明显变化时, 仅凭 LR 指标难以评价水质的稳定性特征。因此, 以 LR 为基础, 综合考虑水温、停留时间、硬度、溶解氧等各项影响因素, 提出了改进指标 ILR, 弥补 LR 指标的不足。

$$\text{Log}(ILR) = -1.922 + 0.385\text{Log}(LR) + 9.968\text{Log}\left(\frac{\text{Hardness}}{100}\right) - 0.277\text{Log}\left(\frac{DO}{8}\right) - 2.417\text{Log}\left(\frac{T}{25}\right) - 0.088\text{Log}\left(\frac{HRT}{6}\right)$$

ILR 改进 LR 指数

LR LR 指数

Hardness 水体硬度(以 CaCO<sub>3</sub> 计, mg/L)

DO 水体 DO 浓度(mg/L)

T 水温(°C)

HRT 水力停留时间(h)

(6) RI 指标

RI 指标适用于硬度较低的水体，除了包含与腐蚀相关的常规参数外，考虑了水中硬度、碱度、硝酸盐、溶解氧、氯离子、二氧化硅等影响因素。若二氧化硅或 DO 数据缺乏，也可删除二氧化硅和 DO 的乘积项。

$$RI = \frac{75}{Alk} \left[ CO_2 + \frac{1}{2}(Hardness - Alk) + [Cl^-] + 2[NO_3^-] \right] \left( \frac{10}{SiO_2} \right) \left( \frac{DO+2}{DO_s} \right)$$

DO 水体 DO 浓度(mg/L)

DO<sub>s</sub> 水体饱和溶解氧浓度(mg/L)

表2和表3分别列出了各复合指标化学稳定性评价结论和相关参数的测定方法。

表2 复合指标化学稳定性评价结论

复合指标	数值	评价结论
LSI	< 0	具有腐蚀倾向
	= 0	基本稳定
	> 0	具有结垢倾向
RSI	< 3.7	严重结垢
	3.7-6	轻微结垢
	= 6	基本稳定
	6-7.5	轻微腐蚀
	> 7.5	严重腐蚀
CCPP	< -5	严重腐蚀
	-5-0	轻微腐蚀
	0-4	基本稳定
AI	4-10	轻微结垢
	> 10	严重结垢
	< 10	严重腐蚀
LR	10-12	轻微腐蚀
	≥ 12	基本稳定
	< 0.3	基本稳定
RI	0.3-0.7	轻微腐蚀
	> 0.7	严重腐蚀
	< 25	基本稳定
RI	25-50	轻微腐蚀
	> 50	严重腐蚀

表3 复合指标中各参数测定方法

参数	测定方法
----	------

Ca <sup>2+</sup>	ISO 6058
Cl <sup>-</sup>	ISO 9297 和 ISO 10304-1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ISO 10304-1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ISO 9963
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ISO 7890-3 和 ISO 10304-1
CO <sub>2</sub>	ASTM D513-02
SiO <sub>2</sub>	GB/T 12149
DO	ISO 5814 和 ISO 17289

### 3.4.3 评价指标选择原则

选择再生水化学稳定性评价指标时，需遵循以下原则：

(1) 结合水质特征选择评价指标。对再生水进行化学稳定性评价时，建议结合水质特征选择相应的评价指标。水质特征未知时尽量选择对水体要求不高的评价指标。相对而言，单一指标通常对水体无过多要求，复合指标中仅 AI 指标适用于多种水体，LSI 指标适用于无添加防腐药剂的水体，RSI 指标在水体 pH6.5-8 范围更准确，水体含腐蚀性离子如 Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等，无法单独使用 CCPP 指标评价化学稳定性，当水体 pH 值、碱度、硬度等参数有明显变化时，LR 指标无法准确评价化学稳定性，RI 指标适用于低硬度水体。

(2) 针对管网和设备材料选择评价指标。水质化学稳定性与管网和设备材料密切相关，相同水质对不同材料的腐蚀或结垢倾向可能不同。在进行再生水化学稳定性评价时，建议明确管网和设备材料，针对性地选择评价指标。表 4 列出了常见管网材料可选择的复合指标，除 LSI、RSI、AI、LR、ILR 等指标外，其余复合指标和所有单一指标均适用于未做防腐内衬的各类材料。

(3) 联合使用各类指标。单个化学稳定性评价指标具有自身的局限性，往往无法准确评价水质化学稳定性。选择评价指标时，建议选择不同类别的评价指标，降低同一类别指标的数量。在评价再生水化学稳定性时，单一指标和复合指标联合使用，且复合指标中宜同时涵盖碳酸钙溶解平衡指标和多参数分析指标。

## 3.5 针对典型管网的化学稳定性评价指标选择

再生水在管网输配过程中水质化学稳定性受管网材料、水力条件等多个因素影响，管网材料的影响主要表现在管网材料的化学组分、表面粗糙系数两方面。目前供水管网种类繁多，常见的管网材料有金属型、非金属型和复合型，金属管

包括铸铁管、钢管、铜管等，非金属管包括塑料管、水泥管等。建议根据管网材料选择化学稳定性评价指标，表 4 列出了针对典型管网推荐的化学稳定性评价指标。

表 4 针对典型管网推荐的化学稳定性评价指标

评价指标		管网材料				
		钢管及镀锌钢管	水泥管、水泥砂浆内衬的金属管	塑料管	铸铁管及球墨铸铁管	有色金属管
单一指标	pH	•	•	•	•	•
	总硬度	•	•		•	•
	总碱度	•	•		•	•
	DO	•	•		•	•
	TDS	•	•		•	•
	浊度	•	•	•	•	•
	LSI				•	
复合指标	RSI	•				
	CCPP			•		•
	AI		•			
	ILR				•	
	RI	•				•

### 3.6 针对常用设备的化学稳定性评价指标选择

再生水用途广泛，包括城市杂用、景观用水、工业用水、地下水补给等，相关联的设备类型各不相同。建议根据设备类型选择化学稳定性评价指标，表 5 列出了针对常用设备推荐的化学稳定性评价指标。

表 5 针对常用设备推荐的化学稳定性评价指标

评价指标		设备类型			
		锅炉	空调	冲厕设备	喷雾器
单一指标	pH	•	•	•	•
	总硬度	•	•		•
	总碱度	•	•		•
	DO	•	•		•
	TDS	•	•		•
	浊度	•	•	•	•
	LSI				•
复合指标	RSI	•			
	CCPP		•	•	

再生水化学稳定性评价指标的选择受到多种因素影响,建议结合不同地区的实际情况,特殊条件下进行适当的删减或增补。

### 3.7 化学稳定性评价结果复核

完成再生水化学稳定性评价后,需针对化学稳定性评价结果开展深入分析,考虑以下三个方面:

- (1) 选择的化学稳定性评价指标是否合理,不同指标得到的评价结果是否一致;
- (2) 评价方法是否客观,评价过程是否存在偶然性,评价结果是否准确、全面;
- (3) 基于评价结果提出的建议及改善方案能否实现再生水水质的基本稳定。

## 4 标准实施建议

本标准为首次制订,随着污水再生利用行业的快速崛起和相关新技术的快速发展,本标准中的再生水化学稳定性评价指标和方法也可能会随之发生变化。因此,建议在本标准实施过程中,继续广泛听取和收集各方面的意见与建议,并根据实际应用情况,对本标准进行不断地修订与完善,使其实用性和可操作性与时俱进,为规范开展再生水化学稳定性评价工作提供依据和指导。



## 参考文献

- [1] ISO 20761: 2018, Water reuse in urban areas - Guidelines for water reuse safety evaluation - Assessment parameters and methods
- [2] ISO 20761: 2018, Water reuse in urban areas - Guidelines for water reuse safety evaluation - Assessment parameters and methods
- [3] Ma H. Y., Yang C., et al. Influence of nitrate and chloride ions on the corrosion of iron. *Corrosion*. 2003, 59(12) pp. 1112-1119
- [4] World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality*, 4th ed, 2011, WHO Press, Geneva, Switzerland
- [5] Wu J. J., Wu G. X., et al. Effect of ions on carbon steel corrosion in cooling systems with reclaimed wastewater as the alternative makeup water. *Desalination and water treatment*. 2014, 52(40-42) pp. 7565-7574
- [6] Gu J. N., Li Y. X., et al. Analysis of internal corrosion of pipe-loop systems for multi-water resources and its countermeasures. *City and town water supply*. 2010, 1 pp. 66-70
- [7] John C. C., Trussell R. R., et al. *Water treatment principles and design*, 3rd ed, 2005, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken
- [8] Awatif S. A., Basim H. K., et al. Evaluating water stability indices from water treatment plants in Baghdad city. *Journal of water resource and protection*. 2014, 14(6) pp. 1344-1351
- [9] ISO/DIS 22449-1, Use of reclaimed water in industrial cooling systems - Part 1: Technical guidelines
- [10] Merrill D. T., Sanks R. L. Corrosion control by deposition of CaCO<sub>3</sub> films: A practical approach for plant operators. *American water works association*. 1977, 69(11) pp. 592-597
- [11] Shock M. R., Buelow R. W. The behavior of asbestos-cement pipe under various water quality condition: Part 2, theoretical considerations. *American water works association*. 1981, 73(12) pp. 636-651

- [12]Lason T. E., Skold R. V. Corrosion and tuberculation of cast iron. American water works association. 1957, 49(10) pp.1294-1302
- [13]Ryznar J. W. A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water. American water works association. 1944, 36 pp.472
- [14]American Water Works Association. Internal corrosion control in water distribution systems, 2nd ed, 2017
- [15]AQUAREC. Guideline for quality standards for water reuse in Europe, 2006
- [16]APHA (American Public Health Association). Standard methods for examination of water and wastewater, 20th ed, 1998, Washington DC, USA
- [17]Gao Q., Zhang L. F., et al. Review of the research on the adjustment method for the water quality stability of circulating cooling water. Industrial water treatment. 2011, 10(31) pp. 20-24
- [18]Wan Y. J., Lu Z. L., et al. Effects of Larson ratio and calcium carbonate precipitation potential adjustment with different chemicals on iron release in distribution system. China water & wastewater. 2015, 19(31) pp. 1-7
- [19]Canadian guidelines for domestic reclaimed water for use in toilet and urinal flushing, 2010, Minister of Health, Canada
- [20]Rules for reclaimed water reuse in the city, for recreation and in the industry, 2003, Rules of the Ministry of Health of Israel, Israel
- [21]Technical guideline standards for treated wastewater reuse in Japan, 2005, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Tokyo, Japan
- [22]Royal Decree 1620/2007. Spanish regulations for water reuse, 2007, Spanish Association for Sustainable Water Reuse, Madrid, Spain
- [23]EPA/600/R-12/618. Guidelines for water reuse, 2012, United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA
- [24]GB/T 18919 《城市污水再生利用 分类》(2002). 国家质量监督检验检疫总局.
- [25]GB/T 18920 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(2002). 国家质量监督检验检疫总局.
- [26]GB/T 18921 《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(2002). 国家质量监督检验检疫总局.

[27]GB/T 19772 《城市污水再生利用 地下水回灌水质》(2005). 国家质量监督检验总局.

[28]GB/T 19923 《城市污水再生利用 工业用水水质》(2005). 国家质量监督检验总局.

[29]GB/T 50050 《工业循环冷却水处理设计规范》(2017). 国家质量监督检验总局.