



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX/ISO 23044:2020

工业废水回用软化除盐指南

Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse

(ISO 23044:2020, 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 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

4 总则 3

5 进水水质要求 4

6 软化工艺 5

7 除盐工艺 6

附录 A（资料性） 预处理工艺 9

附录 B（资料性） 除盐技术的典型性能 10

参考文献 12

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 23044:2020《工业废水回用软化除盐指南》。

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、南京大学宜兴环保研究院、中国标准化研究院、山西大学、上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司、中国冶金地质总局矿产资源研究院、中冶生态环保集团（滁州）研究院有限公司、江苏水污染防治装备技术发展有限公司、河南工业大学、盛林环境科技（天津）有限公司、东北电力大学、江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司、深圳前海华睿诺美智慧水务有限公司、重庆大学、华电郑州机械设计研究院有限公司、远大健康科技（天津）股份有限公司、贵州乌江页岩气勘探有限公司、中煤（北京）环保股份有限公司、上海华闵环境股份有限公司、内蒙古农业大学、鲁信天地人环境科技（安徽）集团有限公司。

本文件主要起草人：任洪强、许柯、白岩、王庆、耿金菊、郭杨、黄开、梁明武、万东锦、王文凤、张晓毅、梁延东、范怀蒙、王锦、于清淼、张蕊、宋丹、朱巧莲、郭新茹、贾敬春、李海龙、李庭、王爽、芦新建、高信刚、刘晓民、张伟、杨耀天、阙勇。

工业废水回用软化除盐指南

1 范围

本文件为工业废水回用及再利用中废水软化与除盐工艺的评估与比选提供指导，重点涉及化学沉淀法、离子交换法、纳滤（NF）、反渗透（RO）、电渗析（ED）、电去离子（EDI）等6种工艺。本文件还提供了进出水水质（如硬度、碱度等）的表征方法，以及上述工艺对水质指标的影响。软化与除盐的目的仅限于对硬度和含盐量有特定要求的回用场景，例如循环冷却水、锅炉用水、生产工艺用水及清洗用水等。

本文件包括废水软化除盐工艺的以下子类：

- a) 基于化学沉淀法、离子交换法和纳滤（NF）的废水软化工艺，主要目的在于去除硬度离子（如镁离子 Mg^{2+} 和钙离子 Ca^{2+} ）；
- b) 基于离子交换、RO、ED、EDI 和 NF 的除盐工艺，其目的是去除大部分的总溶解固体（TDS）。

本文件适用于：

- a) 工业含盐废水（必要时废水需经预处理去除大部分有机物）；
- b) 工业废水回用的软化除盐工艺的选择或设计。

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

再生 regeneration

将使用后的离子交换树脂恢复至其能有效工作状态的过程。

注：可能出现两种再生类型：顺流再生和逆流再生。顺流再生是一种传统的向下流动工艺，在该工艺中进水和再生剂沿相同方向流动；而逆流再生是一种向上流动的工艺，在该工艺中进水和再生剂沿不同方向流动。

3.1.2

电去离子 electrodeionization

在电渗析器中结合混合床离子交换和电渗析来去除离子的方法，其中淡水室填充混合床离子交换树脂，并且离子交换树脂可在电渗析过程中通过极化进行电化学再生。

注：一般来说，该工艺通常作为反渗透（RO）之后的精处理工序，用于制备超纯再生水。

3.1.3

电渗析 electro dialysis

用于水去离子化的过程，在电场的作用下，离子从某一水体中被去除，并通过离子交换膜转移到另一水体中。

[来源：ISO 6107-1:2004，32]

3.1.4

工业含盐废水 industrial saline wastewater

含有无机盐且盐度不满足回用要求的工业废水。

3.1.5

离子交换 ion exchange

水通过离子交换材料床层时，水中的某些阴离子或阳离子被其他离子所取代的过程。

3.1.6

机械蒸汽再压缩 mechanical vapour recompression

通过提升二次蒸汽的温度，利用二次蒸汽的热量来替代新鲜蒸汽作为热源，同时借助压缩机的部分功来实现循环蒸发。

3.1.7

膜蒸馏 membrane distillation

利用微孔疏水膜在不同温度下分离两种水溶液的过程。

3.1.8

微滤 microfiltration

由压力驱动的物理过滤过程，让受污染的液体通过具有特定孔径（ $0.1\ \mu\text{m}\sim 1\ \mu\text{m}$ ）的膜，从而将微生物和悬浮颗粒从工艺液体中分离出来。

3.1.9

多效蒸发 multi-effect evaporation

利用蒸发浓缩结晶系统，将废液中的无机盐通过蒸发的方式加以去除的方法。

3.1.10

纳滤 nanofiltration

过滤精度为 $0.001\ \mu\text{m}\sim 0.01\ \mu\text{m}$ 的膜分离技术，用于分离蛋白质和低分子有机化合物。

3.1.11

沉淀 precipitation

在溶液中形成固体产物的化学反应。

[来源：ISO 11074:2015，6.4.30]

3.1.12

预处理 pre-treatment

在软化与脱盐工艺之前进行的一道或多道处理工艺。

3.1.13

反渗透 reverse osmosis

在浓溶液一侧施加一个超过其自然渗透压的压力，迫使水分子透过过滤精度为 $0.0001\ \mu\text{m}\sim 0.001\ \mu\text{m}$ 的膜，从浓溶液流向稀溶液。

注：增加了膜的过滤精度信息。

[来源：ISO 6107-1:2004，61]

3.1.14

软化 softening

部分或完全去除水中造成水硬度的钙、镁离子。

注：在这种情况下。不仅去除钙和镁离子，还包括其他无机离子和阳离子。

[来源：ISO 6107-1:2004, 68]

3.1.15

超滤 ultrafiltration

使用过滤精度为 $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 的微孔膜，通常采用施加压差的方式，从水中过滤分离出大分子物质或极其细微的悬浮物。

注：增加了微孔膜的过滤精度信息。

[来源：ISO 6107-6:2004, 100]

3.2 缩略语

以下缩略语适用于本文件。

BOD₅: 五日生化需氧量 (Biochemical oxygen demand after 5 days)

COD: 化学需氧量 (Chemical oxygen demand)

DO: 溶解氧 (Dissolved oxygen)

ED: 电渗析 (Electrodialysis)

EDI: 电去离子 (Electrodeionization)

MF: 微滤 (Microfiltration)

NF: 纳滤 (Nanofiltration)

RO: 反渗透 (Reverse osmosis)

TDS: 总溶解固体 (Total dissolved solids)

TOC: 总有机碳 (Total organic carbon)

TSS: 总悬浮固体 (Total suspended solids)

UF: 超滤 (Ultrafiltration)

MD: 膜蒸馏 (Membrane distillation)

MEE: 多效蒸发 (Multi-effect evaporation)

MVR: 机械蒸汽再压缩 (Mechanical vapor recompression)

4 总则

水质指标宜包括但不限于TSS、TOC、COD、pH值、温度、TDS、离子种类和浓度。

废水软化除盐处理过程产生的水，建议回用于城市非饮用水、环境用水，并作为纯水或超纯水用于冷却水、锅炉补给水、工艺用水、漂洗用水等。

废水软化除盐工艺的选择宜根据进水水质、产品质量、水量要求、场地条件和环境保护要求等因素进行技术经济比较后确定。

废水在进入软化除盐装置之前进行预处理。

预处理工艺的选择宜考虑废水的水质、软化除盐工艺对进水水质的要求、水处理量和试验数据，建议结合当地实际情况参考同类项目的运行经验，用户还可通过技术经济对比确定采用的技术。

在选择软化除盐工艺或装置时，尽量减少废酸、废碱、废渣及其他有害物质的排放量。宜采取处理和处置废弃物的措施，以满足相关的环境保护要求。

从软化除盐工艺中产生的废液（如离子交换树脂工艺的再生液、反渗透工艺的浓缩液等）根据废水水质特点进行单独收集。

工业含盐废水处理回用的工艺流程图见图1。

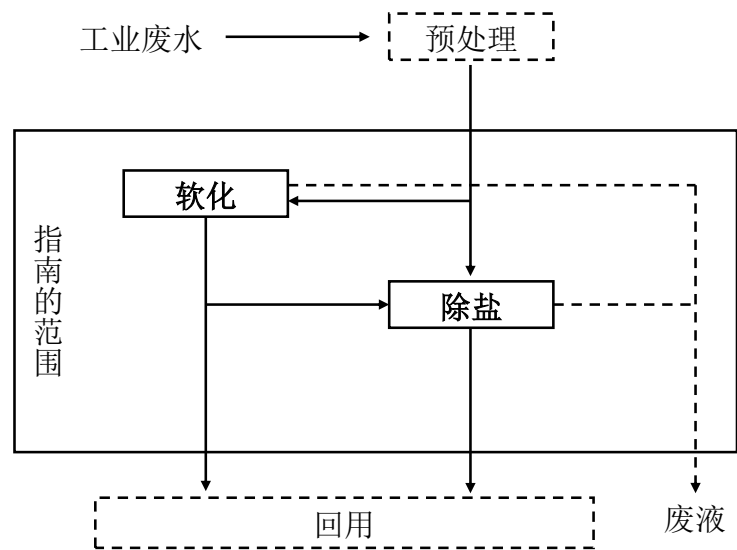


图1 工业含盐废水处理回用工艺流程图

5 进水水质要求

软化除盐装置的进水水质要求见表1。需要注意的是，本表所提供的数据均为典型的参考范围，建议根据具体情况以及装备制造商的规格说明使用此数据。表1中列出的各项参数对软化除盐装置的影响也将在下文予以说明。

- a) 淤泥密度指数（SDI）反映了进水中颗粒、胶体及其他堵塞软化除盐装置物质的含量。SDI 值高于限定值时，容易堵塞膜进而导致膜污染，缩短膜的使用寿命。
- b) 浊度表示进水中降低透明度的不溶物浓度。不溶物会附着在离子交换树脂表面，进而堵塞交换通道或污染树脂，造成膜污染。
- c) 水温会影响树脂的离子交换速率和离子吸收能力，也会影响膜通量和膜对 TDS 的去除能力。
- d) pH 值超过限定范围会影响膜对 TDS 的去除能力，并缩短膜的使用寿命。
- e) 化学需氧量是容易污染阴离子交换树脂的有机物，其与阴离子交换树脂反应后难以沉淀。
- f) 适当的余氯可确保水质具有消毒杀菌能力。但离子交换树脂由大分子有机化合物组成，高浓度余氯容易氧化有机物，破坏其化学结构，从而削弱树脂的离子交换能力。此外，高浓度余氯还会氧化膜元件，造成不可修复的损伤。
- g) 铁和锰可被树脂截留，从而形成不易冲洗掉的吸附物。由于该反应是不可逆的，导致树脂会失去功能。此外，铁和锰都会加速膜的氧化过程，并对膜元件造成无法修复的损害。
- h) 电导率越低表明离子含量越低，有利于形成更大的电势梯度。随着水解离度的增加，会产生更多的阳离子和阴离子，从而保持树脂的再生能力。
- i) 当水中总可交换阴离子浓度偏高时，产水电阻率会随之下降，此时应相应提高运行电流。但运行电流过大会产生更多余氯，对膜不利。
- j) 高硬度（200 mg/L~500 mg/L CaCO₃）会导致 EDI 装置结垢。低硬度（<200 mg/L CaCO₃）可延长清洗周期并提高 EDI 系统的水利用率。
- k) CO₂ 和 SiO₂ 均是弱电离物质，会导致水质恶化，建议安装脱碳机去除 CO₂。

表1 软化除盐装置的进水水质要求

参数		离子交换	NF或RO	ED	EDI
淤泥密度指数(SDI ₁₅)		<5	<5 ^a	<5	<1
浊度 (NTU) ^b	逆流再生	<2	<1	<1	<1
	顺流再生	<5			
水温 (°C)		5~40 ^c	5~35 ^d	5~40	5~40
pH值 (25°C)		— ^e	3~11	4~10	5~9
化学需氧量 (mg/L) (K ₂ Cr ₂ O ₇)		<50	—	<10	—
余氯 (mg/L)		<0.1	<0.1, 控制为0	<0.2	<0.05
铁 (mg/L)		<2 ^f	<0.05 (DO > 5 mg/L) ^g	<0.3	<0.01
锰 (mg/L)		—	<0.3	<0.1	<0.01
电导率 (25°C, μS/cm)		—	—	>10000 ^h	<40 ⁱ
总可交换阴离子 (mg/L, CaCO ₃)		—	—	—	<25
硬度 (mg/L, CaCO ₃)		<500 ^j	<200 (RO) <500 (NF) ^k	<10	<1
CO ₂ (mg/L)		—	—	—	<5
SiO ₂ (mg/L)		—	—	<20	≤0.5

^a RO膜制造商建议, RO进水的SDI₁₅≤5。但根据长期运行经验,许多操作人员建议SDI₁₅≤3。

^b NTU: 浊度单位。

^c 较高的水温可提高离子交换速率,但水温过高则会削弱离子吸收能力。此外,温度过高会使树脂变质,用于交换的基团会降解,建议碱型树脂和丙烯酸树脂的进水温度低于35°C。

^d 较高的水温可增加膜通量,但水温过高会使TDS去除能力变差,建议反渗透装置的最佳水温范围为20~25°C。

^e 符号“—”表示给定参数的任何数值均适用。

^f 经盐酸和硫酸再生的离子交换树脂装置,其进水铁浓度建议小于2 mg/L;用于软化的钠离子交换树脂装置,其进水铁浓度建议小于0.3 mg/L。

^g 铁的氧化速率取决于铁含量、水中溶解氧(DO)的浓度以及水的pH值。当pH≤6时,建议DO小于0.5 mg/L, Fe²⁺最高含量建议小于4 mg/L。

^h 当进水电导率低于10000 μS/cm时,采用电渗析工艺不具备经济性。

ⁱ 电去离子装置进水建议为反渗透装置出水,其电导率期望值(25°C,含CO₂当量电导率)小于20 μS/cm。

^j 当硬度大于500 mg/L (CaCO₃)时,离子树脂的交换容量会很快达到饱和。

^k 当硬度大于200 mg/L (CaCO₃)时,反渗透膜会结垢。当硬度大于500 mg/L (CaCO₃)时,纳滤膜会结垢。

工业废水在进入软化除盐装置前宜进行预处理,通过去除颗粒物、TSS、有机物等改善水质。预处理工艺包括常规处理和前处理,常见的预处理工艺见附件A。可根据废水水质、软化除盐工艺的进水水质要求、技术特点、成本等因素采用上述技术的组合,建议参考实验室试验数据,或借鉴同类工程运行经验。

6 软化工艺

根据进水的硬度、碱度以及出水的水质要求，软化工艺可采用化学沉淀法、离子交换树脂法或两种技术的结合。推荐的软化工艺如下，在选择软化工艺时也可参考表2。

- a) 离子交换法的处理效果稳定且可靠，包括单级钠型树脂法、两级钠型树脂法、H 型树脂与钠型树脂串联法以及弱酸阳离子树脂法等。
- b) 化学沉淀法最常见的沉淀剂有石灰、纯碱和氢氧化钠。
- c) 单级钠树脂无法去除碱度，适用于处理低碱度、低硬度的废水。
- d) 两级钠树脂也无法去除碱度，适用于处理碱度低但硬度高的废水。
- e) 石灰-纯碱软化法是可行的，石灰软化法可去除碳酸盐碱度，而纯碱可去除非碳酸盐碱度。
- f) 石灰软化与钠型树脂法组合可同时去除硬度和碱度，适用于碳酸盐硬度高、过量碱度低或无过量碱度的废水。石灰软化处理具有成本低的优点，但也存在一些缺点，如劳动强度大、工作条件差，而且仅靠石灰软化处理无法去除非碳酸盐钙硬度。
- g) H 型树脂与钠型树脂串联法适用于高硬度、高碱度的废水。
- h) H 型树脂与钠型树脂并联法可同时去除硬度和碱度，适用于高硬度、高碱度的碳酸盐废水。
- i) 氢型弱酸阳离子树脂可去除碱度，但不适合去除硬度。
- j) 纳滤膜可截留水中的钙、镁离子，从根本上降低水的硬度，但其对进水压力有严格要求，且投资和运行成本较高。

表2 软化工艺的选择

序号	工艺名称和代码	进水水质			出水水质	
		总硬度 [mg/L (CaCO ₃)]	碳酸盐硬度 [mg/L (CaCO ₃)]	碳酸盐硬度和总 硬度之比	硬度 [mg/L (CaCO ₃)]	碱度 [mg/L (CaCO ₃)]
1	离子交换 ^a	<500	<350	—	<20	5
2	化学沉淀 ^b	—	—	—	≥35	≥135
3	石灰与钠型树脂串联软化 (CaO-Na)	—	>150	>0.5	<2	40~60
4	纳滤	<500	<350	—	<20	0

^a 表中的符号：Na-钠离子交换器；CaO-石灰软化处理装置；“—”表示给定参数的任何数值均适用。

单独使用氢型弱酸阳离子交换来去除碳酸盐硬度。

氢型弱酸阳离子交换的出水硬度等于原水的非碳酸盐硬度与出水碱度之和。出水碱度指的是平均出水碱度。

钠型树脂以钠离子作为交换离子来交换水中的钙、镁离子，而氢型树脂则以氢离子作为交换离子来交换钙、镁离子。

总硬度越高，树脂越容易达到饱和，清洗周期缩短，树脂使用寿命降低。

^b 用石灰软化时，将原水加热至 30℃~40℃，用铁盐作混凝剂。

投加石灰适用于非碳酸盐硬度低且碳酸盐硬度高的水，而石灰和纯碱则适用于非碳酸盐硬度高的水。

氢氧化钠的软化效果优于石灰，但其成本相对较高，适用于对硬度去除要求较高的情况。

7 除盐工艺

根据进水和出水的水质要求，建议采用离子交换树脂、RO、ED、EDI以及NF等除盐工艺。除盐工艺的相关建议可参考表3。其它除盐技术及其性能见附录B。

对于离子交换技术，如果进水中强酸阴离子与弱酸阴离子的比例相对稳定，在一级除盐过程中可采用阳离子和阴离子交换器的单元串联系统，且阴离子交换器的树脂体积宜按计算值再加上10%至15%的余量。

如果进水的强酸阴离子与弱酸阴离子的比例是可变的，在一级除盐过程中宜采用阳离子和阴离子树脂交换器的主控并联系统。

电渗析一般与反渗透结合使用。当反渗透后置时，反渗透的进水是电渗析的淡水。当反渗透前置时，电渗析的进水则是反渗透的浓水。

EDI进水宜为硬度和电导率较低的RO出水。EDI出水可作为工业生产的超纯水。

对于离子交换技术，既需要氢循环上的阳离子交换，也需要氢氧离子循环上的阴离子交换，以实现溶解固体的减少。

阳离子交换树脂可以用酸（如硫酸）再生，而阴离子交换树脂可以用碱（如氢氧化钠）再生。对于阴离子交换器，当进水硅含量较高时，宜加热碱再生液。

表3 典型除盐工艺的选择

序号	工艺名称和代码	进水水质				出水水质	
		碱度 [mg/L (CaCO ₃)]	强酸阴离子 [mg/L (CaCO ₃)]	TDS [mg/L]	SiO ₂ [mg/L]	电导率 [25°C, μS/cm]	SiO ₂ [μg/L]
1	离子交换 (单床) ^a	— ^b	—	<500	—	<10	<100
2	离子交换(单床) → 离子交换(混床) ^c	—	—	<500	—	<0.2	<100
3	一级反渗透 RO ^d	—	—	500~50000	—	<15	<500
4	二级反渗透 RO→RO	—	—	500~50000	—	<10	<500
5	纳滤 NF	—	—	300~30000 ^e	—	<0.1	—
6	电渗析 ED	—	—	10000~200000	<20	<1000	<10000
7	电渗析→离子交换	—	—	10000~200000	<20	<10	<100
8	电渗析→反渗透 ED→RO	—	—	10000~200000	<20	<15	<500
9	反渗透→电渗析 RO→ED	—	—	500~50000	<20	<1000	<500
10	反渗透→ 离子交换(单床)→ 离子交换(混床)	—	—	500~50000	—	<0.1	<10
11	二级反渗透→ 电去离子RO→RO→ EDI	—	—	500~50000	—	<0.10	<10

^a、^c 各类离子交换树脂都具有一定的耐热性能。因此，在使用时需严格控制水温。当碱度低于 200 mg/L (CaCO₃) 时，可采用一级除盐工艺。如果碱度超过 200 mg/L (CaCO₃)，则可采用二级除盐工艺。当碳酸盐硬度大于 150 mg/L (CaCO₃) 时，可根据不同情况采用基于离子交换的除盐工艺，如弱酸一级除盐、弱酸与混合床一级除盐、弱酸与碱一级除盐等。离子交换树脂有多种类型，具体实施时需要进一步考量，以选择最适用的产品。

序号	工艺名称和代码	进水水质				出水水质	
		碱度 [mg/L (CaCO ₃)]	强酸阴离子 [mg/L (CaCO ₃)]	TDS [mg/L]	SiO ₂ [mg/L]	电导率 [25°C, μS/cm]	SiO ₂ [μg/L]
^b 表中的符号：“—”表示给定参数的任何数值均适用。 ^c 当出水水质要求低时，混床树脂的电导率可控制在 0.20 μS/cm 以下。 ^d RO 膜根据不同的盐度、材料等可以分为多种类型。在本文件中 RO 是一个通用术语，并不是具体的实施方案或产品。实际应用时建议根据具体情况进行选择。 ^e 纳滤进水的 TDS 要求与离子组成密切相关。当原水中一价离子含量较高时，高 TDS 进水也可满足要求。							

附录 A

(资料性)

预处理工艺

A.1 常规处理技术

常规处理包括一级处理和二级处理。可采用一级处理技术（如格栅、沉淀、气浮、隔油等）和二级处理技术（如厌氧工艺、好氧工艺等）去除悬浮物、油脂、溶解态和胶体化合物及有机物。

A.2 深度处理技术

A.2.1 混凝沉淀

铝盐、铁盐和聚合絮凝剂（如聚丙烯酰胺）可用作混凝剂去除残留的悬浮物和有机物，在沉淀池的设计中，平流式和竖流式均适用。电絮凝是另一种预处理的可选方式，其处理后溶解态无机物的残留浓度更低。

A.2.2 过滤

可通过选用滤池（如颗粒滤料滤池、纤维滤料滤池等）、微滤（MF）或超滤（UF）来去除残留的悬浮物和有机物。滤池包括双介质滤池、单层滤池或均质滤池。双介质滤池可选用无烟煤或石英砂作为滤料，而单层滤池和均质滤池也可选用石英砂作为滤料。即使在RO前使用了MF或UF，通常也会在RO装置上游紧邻处设置保安过滤器，作为额外的保护措施。

A.2.3 高级氧化

如果进水有机物的可生物降解性较差，可采用臭氧催化氧化、电解催化氧化技术、电化学技术去除有机物，或者提高有机物的可生物降解性。

A.2.4 曝气生物滤池

如果进水有机物的可生物降解性较好（ $BOD_5/COD \geq 0.2$ ），可采用曝气生物滤池法去除有机物。

A.2.5 活性炭吸附

活性炭可通过去除水中的异味和有机物来改善水质。活性炭吸附工艺采用颗粒状活性炭作为过滤滤料。过滤床层可采用流化床或移动床层。

附录 B

(资料性)

除盐技术的典型性能

除盐技术的种类丰富且发展迅速。基于此，表B.1进一步总结了十种技术的性能，希望能为企业及相关利益方提供一些有益的指导。

- a) 从 TDS 去除率、总硬度去除率和总碱度去除率来看，7 种技术表现优异，去除率均超过 90%。纳滤的 TDS 去除率受离子组成的影响较大，当原水以高价离子为主时，可达到较高的去除率。
- b) EDI 对进水 TDS 浓度有严格要求，通常需低于 10 mg/L。离子交换的进水 TDS 低于 500 mg/L，而其他技术（如 ED、MD、MVR、MEE 等）能处理 TDS 浓度很高的废水。
- c) 从能耗的角度来看，MD 相比其他技术能耗更高。
- d) 在水回收率方面，离子交换、RO、EDI、ED、NF、MD 可达 85%。在一定程度上，产水成本与能耗相关，且不同国家和地区有所不同。不同地区的能源价格对产水成本影响显著。
- e) 从环境角度来看，离子交换的主要二次污染物是酸碱废液、反冲洗水和再生水。浓水是 RO、EDI、ED、NF、MD 和 FO 产生的二次污染物。ED 和 EDI 产生电极水和浓水。

表B.1 脱盐技术的典型性能

序号	技术	TDS去除率 (%)	总硬度去除率 (%)	碱度去除率 (%)	进水TDS浓度 (mg/L)	能耗 (kwh/m³) ^a	水回收率 (%)	产水成本 (\$/m³) ^b	二次污染
1	离子交换	>90	>96	>96	<500	1~5	90~95	0.04~0.15	酸碱废液、反冲洗水、再生水
2	反渗透(RO)	>90	>98	>98	500~50000	1.2~8.5	60~90	0.2-1.3	浓水
3	电去离子(EDI)	>90	>99	>99	<10	0.25~0.7	60~95	0.07~0.4	电极水、浓水
4	电渗析(ED) ^c	>90	90~95	90~95	10000~200000	300~400 (kwh/ton salt)	60~90	0.2-6	电极水、浓水
5	纳滤(NF) ^d	>90	>98	>95	300~30000	2~6	50~85	0.07~0.36	浓水
6	膜蒸馏(MD)	>98	>99	>99	>100000	40~380	90~95	2~50	浓水
7	正向渗透(FO)	>90	>99	>99	50000~150000	<30	60~70	0.7~1	浓水
8	机械蒸汽再压缩(MVR) ^e	用于蒸发结晶以获取盐							
9	多效蒸发(MEE) ^f	用于蒸发结晶以获取盐							
10	多级闪蒸(MSF) ^g	用于海水淡化							
本表中的数据主要来源于企业调研、专家咨询以及参考文献。 ^a 单位能耗与取水规模以及水质密切相关。 ^b 运行成本取决于进水的浓度。 ^c 当 TDS 大于 1000 mg/L 时，可使用电渗析技术。考虑经济因素，通常电渗析技术的进水 TDS 宜大于 1000 mg/L。 ^d 去除率主要针对含高价离子的原水。 ^{e f} 当进水的含盐量非常低（通常需超过 100000 mg/L）时，MVR 和 MEE 技术并不经济，这两种技术主要用于蒸发结晶以获取盐。 ^g MSF 一般用于海水淡化，目前很少应用于废水处理和回用领域。									

参 考 文 献

- [1] ISO 6107 1:2004 Water quality—Vocabulary—Part 1
 - [2] ISO 6107 6:2004 Water quality—Vocabulary—Part 6
 - [3] ISO 11074:2015 Soil quality—Vocabulary
 - [4] United States Environmental Protection Agency (USEPA). Guidelines for Water Reuse. September, 2012 (EPA/600/R-12/618).
 - [5] M. KIM, M KIM, B. PARK, S. KIM. "Changes in characteristics of polyamide reverse osmosis membrane due to chlorine attack". Desalination & Water Treatment, 2015, 54(4-5):923-928.
 - [6] B. DURHAM, A. WALTON. "Membrane pretreatment of reverse osmosis: long-term experience on difficult waters". Desalination, 1999, 122: 157-170.
 - [7] K.L. STRAUB. "Fe(II)-Oxidizing Prokaryotes". Springer Netherlands, 2011: 367-370.
 - [8] D. GONZÁLEZ, J. AMIGO, F. SUÁREZ. "Membrane distillation: Perspectives for sustainable and improved desalination". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 80: 238-259.
 - [9] GB/T 50109—2014 工业用水软化除盐设计规范
 - [10] K.S. BRASTAD, Z. HE. "Water softening using microbial desalination cell technology". Desalination, 2013, 309: 32-37.
 - [11] S.Y. PAN, S.W. SNYDER, H.W. MA, Y. J. LIN, P.C. CHIANG. "Energy-efficient resin wafer electrodeionization for impaired water reclamation". Journal of Cleaner Production, 2018, 174: 1464-1474.
 - [12] P. G. YOUSSEF, R.K. AL-DADAH, S.M. MAHMOUD. "Comparative analysis of desalination technologies". Energy Procedia, 2014, 61: 2604-2607.
 - [13] S. BURN, M. HOANG, D. ZARZO, F. OLEWNIK, E. CAMPOS, B. BOLTO, et al. "Desalination techniques — a review of the opportunities for desalination in agriculture". Desalination, 2015, 364: 2-16.
 - [14] A. SUBRAMANI, J.G. JACANGELO. "Emerging desalination technologies for water treatment: a critical review". Water Research, 2015, 75: 164-187.
 - [15] O.R. LOKARE, S. TAVAKKOLI, V. KHANNA, R.D. VIDIC. "Importance of feed recirculation for the overall energy consumption in membrane distillation systems". Desalination, 2018, 428: 250-254.
-

国家标准
《工业废水回用软化除盐指南》
(征求意见稿)

编 制 说 明

《工业废水回用软化除盐指南》编制组

2026 年 7 月

一、工作简介

1.1 任务来源及要求

计划下达文号：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 145 项任务

计划编号：20256283-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宜兴环保研究院、南京大学、中国标准化研究院等。

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 23044:2020。

1.2 制定背景

随着人口的加速增长和工业化的进程，全球对淡水资源的需求量和水质的要求急速提高。全球可用淡水资源在时间和空间上存在分布差异，使得世界许多地区的淡水资源不足以满足国内经济发展和环境需求。据联合国发布的《2023 年联合国世界发展水报告》中指出全球 2/5 的人口缺少生活用水，近 40 亿人在一年中至少有不到一个月面临严重缺水，自 1990 年以来全球最具破坏性的 1000 起自然灾害中有 85%与水有关。而我国是个水资源相对短缺的国家，人均水资源量仅为世界平均水平的 35%左右，近 2/3 的城市存在不同缺水的情况，水资源短缺已成为经济社会发展的重要制约瓶颈，人多水少、水资源时空分布极不平衡是我国的基本国情。而工业水回用是缓解水资源短缺问题的重要措施，是实现污水资源化的有效途径。加快推动工业废水的再生利用，使工业废水“变废为宝”，成为推动工业绿色发展、缓解水资源供需矛盾的关键所在。

（1）符合产业发展需求

近年来，我国高度重视工业废水资源化利用，2015 年以来国务院及各部委陆续出台《国家节水行动方案》、《关于推进污水资源化利用的指导意见》、《关于进一步加强水资源节约集约利用的意见》、《工业水效提升行动计划》、《节约用水条例（2024 年）》等一系列政策，全方位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，针对工业生产，相应工业节水、工业转型升级、高耗水工业行业回用改造等工作持续推进，全面提升工业用水效率和效益。2023年9月，国家发展改革等7部委联合印发《关于进一步加强水资源节约集约利用的意见》中指出要“开展工业废水循环利用试点示范，引导重点行业、重点地区加强工业废水处理回用”。2024年5月，国务院发布实施《节约用水条例（2024年）》，强调“工业企业应当加强内部用水管理，采用废水处理回用等先进、适用节水技术、工艺和设备，提高水资源重复利用率”。至此，我国工业水回用的实施力度和相关研究力度空前。

（2）顺应市场发展需求

随着政策支撑和用水需求的增加，工业水回用市场规模持续扩大，工业水回用行业竞争格局呈现出多元化、多层次的特点。工业水回用行业涵盖循环冷却水、工业废水、工艺水等，主要服务于电力、石化、冶金、造纸、电子半导体等领域。根据公开数据显示，在2022年，我国工业用水量占全国用水总量达到17.71%，工业含盐废水排放量占全国污水排放量的1/4；我国每年产生的工业含盐废水量约占全球废水总量的5%，并且以每年2%的速度急剧增加。根据《2025-2030年中国工业水处理行业发展前景预测与投资战略规划分析报告》，我国2023年工业水处理市场规模达1850亿元，同比增长12.3%。预计到2030年有望达到3800亿元，其中电力和化工行业贡献超50%的市场份额。然而，由于工业水回用行业尚处于高速发展阶段，且子行业和细分市场众多，造成参与竞争的企业数量众多，但普遍规模偏小、技术实力不全面，行业市场集中度不高。因此，亟需制定统一的工业水回用领域系列标准，促进节能高效的工业水回用处理技术创新发展，为推进工业水回用行业可持续提供保障。

（3）满足标准化需求

在标准研制方面，我国工业水回用标准化的发展快速，但因国内环保标准体系建立起步较晚，现国内尚缺一套完备的工业水回用标准体系作为顶层设计来引导具体工业水回用标准化工作。现有的工业水回用水质标准的制定多依赖于污水排放标准的思路，缺少：①针对特定工业（如石化、冶金、电力等）行业废水处理回用工艺技术相关标准；②针对特殊污染物的定向去除（回用水资源或特定物质）工艺相关标准；③针对组合工艺技术的技术/评价/管理类标准；④工业水回

用风险管控类标准；⑤智慧等新兴技术融合应用类标准等。因此，国家标准《工业废水回用软化除盐指南》的采标与转化，可以有效填补国内工业水回用领域针对特殊污染物的定向去除工艺相关标准的空白，完善工业水回用标准体系，推广工业水回用技术和工艺，以提高工业用水效率，从而进一步推进工业水回用行业的可持续发展。

因此，本标准对 ISO 23044:2020 进行采标和转化，可有效推进工业水回用领域“中国标准”与国际标准体系兼容，提升我国标准与国际标准一致性程度，具有十分重要的意义和现实紧迫性。

1.3 起草过程

(1) 前期准备阶段

2025 年 11 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、南京大学宜兴环保研究院和中国标准化研究院在宜兴以线下的形式组织召开了标准编制组成立暨第一次工作会议，全国节水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。会议对标准编制大纲、标准初稿、重点问题及下一步工作计划进行了讨论，形成了修改建议与意见并通过了标准编制大纲。

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。本标准有助于《中华人民共和国环境保护法》、《中华

《中华人民共和国水污染防治法》和国内污染物排放标准等一系列法律、法规、规章和强制性国家标准的实施。

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）

《城镇排水与污水处理条例》（国务院令 641 号）

《国务院关于深入推进新型城镇化建设的若干意见》（国发〔2016〕8 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）

《工业水效提升行动计划》（工信部联节〔2022〕72 号）

《工业废水循环利用实施方案》（工信部联节〔2021〕213 号）

《关于进一步加强水资源节约集约利用的意见》（发改环资〔2023〕1193 号）

《节约用水条例（2024 年）》（国务院令 776 号）

《贯彻实施〈国家标准化发展纲要〉行动计划（2024—2025 年）》（国市监标技发〔2024〕30 号）

《关于加快发展节水产业的指导意见》（发改环资〔2024〕898 号）

《关于加强生态环境领域科技创新 推动美丽中国建设的实施意见》（环科财〔2025〕12 号）

《关于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）

本标准参考的标准主要有：

表 1 国内相关标准清单

标准编号	标准名称
污染物排放控制类	
GB 13456-2012	钢铁工业水污染物排放标准
GB 13457-1992	肉类加工工业水污染物排放标准
GB 13458-2013	合成氨工业水污染物排放标准
GB 14374-1993	航天推进剂水污染物排放标准
GB 14470.1-2002	兵器工业水污染物排放标准 火炸药
GB 14470.2-2002	兵器工业水污染物排放标准 火工药剂
GB 14470.3-2011	弹药装药行业水污染物排放标准
GB 15580-2011	磷肥工业水污染物排放标准
GB 21904-2008	化学合成类制药工业水污染物排放标准
GB 21905-2008	提取类制药工业水污染物排放标准
GB 21906-2008	中药类制药工业水污染物排放标准
GB 21907-2008	生物工程类制药工业水污染物排放标准
GB 21908-2008	混装制剂类制药工业水污染物排放标准
GB 21909-2008	制糖工业水污染物排放标准
GB 25462-2010	酵母工业水污染物排放标准
GB 25463-2010	油墨工业水污染物排放标准
GB 39731-2020	电子工业水污染物排放标准
工业水处理与回用类	
GB/T 16811-2018	工业锅炉水处理设施运行效果与监测
GB/T 30888-2014	纺织废水膜法处理与回用技术规范
GB/T 32327-2015	工业废水处理与回用技术评价导则
GB/T 37758-2019	高矿化度矿井水处理与回用技术导则
GB/T 37764-2019	酸性矿井水处理与回用技术导则
GB/T 38224.1-2019	重金属废水处理与回用技术评价 第 1 部分：程序和方法
GB/T 38224.2-2019	重金属废水处理与回用技术评价 第 2 部分：指标体系
GB/T 41016-2021	水回用导则 再生水厂水质管理
GB/T 41017-2021	水回用导则 污水再生处理技术与工艺评价方法
GB/T 41018-2021	水回用导则 再生水分级
GB/T 42247-2022	水回用导则 再生水利用效益评价
GB/T 42866-2023	煤化工废水处理与回用技术导则
GB/T 43742-2024	工业园区水回用指南
GB/T 43743-2024	工业回用水处理设施运行管理导则
GB/T 43950-2024	工业浓盐水回用技术导则
GB/T 45386.1-2025	工业废水电化学处理技术规范 第 1 部分：总则
GB/T 50050-2017	工业循环冷却水处理设计规范
GB 50684-2011	化学工业污水处理与回用设计规范
GB 51137-2015	电子工业废水废气处理工程施工及验收规范
GB 51441-2022	电子工业废水处理工程设计标准
FZ/T 01107-2011	纺织染整工业回用水水质

标准编号	标准名称
FZ/T 07031-2023	水刺非织造工艺回用水要求
HG/T 3730-2004	工业水和冷却水净化处理滤网式全自动过滤器
HG/T 5958-2021	工业废（污）水杀菌消毒处理技术规范
HG/T 6236-2023	工业废水深度处理及回用技术规范 吸附法
HG/T 6237-2023	有机氮工业废水处理及回用技术规范
HG/T 6377-2024	脱水稀硫酸处理回用装置技术要求
HJ 2019-2012	钢铁工业废水治理及回用工程技术规范
HJ 2051-2016	烧碱、聚氯乙烯工业废水处理工程技术规范
JB/T 14502-2023	工业膜法水处理设备水效评价方法
LY/T 3279-2021	工业水处理用活性炭技术指标及试验方法
Q/HS 11003-2012	磷矿选矿废水处理回用水质要求
XB/T 815-2023	稀土采选生产废水处理回用技术规范
XB/T 816-2023	稀土冶炼生产废水处理回用技术规范
YB/T 4791-2019	钢铁工业浓盐水处理技术规范
YB/T 4792-2019	钢铁工业直接冷却循环水处理技术规范
YB/T 6001-2022	钢铁企业综合污水回用于净循环水系统水质技术要求
YB/T 6003-2022	冷轧废水深度处理回用技术规范
YB/T 6116-2023	冷轧废水再生回用技术规范
YS/T 1169-2017	再生铅生产废水处理回用技术规范
YS/T 1405-2020	铅锌选矿废水处理与回用规范
DB11/T 1765-2020	工业废水回用工程运行管理规范
DB36/T 1835-2023	钨选矿厂废水处理与回用技术指南
DB53/T 888-2018	铅锌选矿废水处理与回用规范
T/CAQI 364-2023	铝电解电容器生产废水处理及回用技术指南
T/CECS 1524-2024	铅锌选矿废水生物法处理与回用技术规程
T/CGCC 72-2022	公用纺织品洗涤废水回用水质要求
节水类	
GB/T 26924-2011	节水型企业 钢铁行业
GB/T 26925-2011	节水型企业 火力发电行业
GB/T 26926-2011	节水型企业 石油炼制行业
GB/T 29052-2012	工业蒸汽锅炉节水降耗技术导则
GB/T 31329-2014	循环冷却水节水技术规范
GB/T 39186-2020	钢铁行业项目节水量计算方法
GB/T 43477-2023	节水型工业园区评价导则
GB/T 44855-2024	冷却塔节水管理规范
GB 50506-2009	钢铁企业节水设计规范
GB/T 50977-2014	化学工程节水设计规范
GB 51414-2020	有色金属企业节水设计标准
DL/T 2076-2019	火力发电厂循环水节水技术规范
DL/T 2171-2020	火力发电厂用水节水 术语
DL/T 5513-2016	发电厂节水设计规程
DL/T 783-2018	火力发电厂节水导则

标准编号	标准名称
DL/T 783-2018E	火力发电厂节水导则（英文版）
HG/T 6058-2023	节水型工业园区 化工行业
HG/T 6118-2023	废弃锂电池处理企业节水技术导则
QB/T 8060-2024	制革行业节水技术规范
SY/T 6269-2010	石油企业常用节能节水词汇
SL/T 835-2024	节水评价技术导则
DB11/T 1987-2022	用水单位节水量计算导则
DB11/T 936.1-2020	节水评价规范 第1部分：通则
DB13/T 5651.2-2023	节水管理规范 第2部分：钢铁企业
DB13/T 5651.3-2023	节水管理规范 第3部分：火力发电企业
DB32/T 4956-2024	工业园区节水管理技术规范
T/CHES 111-2023	工业园区节水管理规范

上述标准为本标准撰写提供思路和借鉴，拟进一步参考水污染排放标准、工业水处理和回用及工业节水相关技术标准，进行本标准的采标与转化。

2.3 主要内容及其确定依据

本文件等同采用 ISO 23044 Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse。

本文件为工业废水回用及再利用中废水软化与除盐工艺的评估与比选提供指导，重点涉及化学沉淀法、离子交换法、纳滤（NF）、反渗透（RO）、电渗析（ED）、电去离子（EDI）等6种工艺。本文件还提供了进出水水质（如硬度、碱度等）的表征方法，以及上述工艺对水质指标的影响。软化与除盐的目的仅限于对硬度和含盐量有特定要求的回用场景，例如循环冷却水、锅炉用水、生产工艺用水及清洗用水等。

本文件包括废水软化除盐工艺的以下子类：

a) 基于化学沉淀法、离子交换法和纳滤（NF）的废水软化工艺，主要目的在于去除硬度离子（如镁离子 Mg^{2+} 和钙离子 Ca^{2+} ）；

b) 基于离子交换、RO、ED、EDI 和 NF 的除盐工艺，其目的是去除大部分的总溶解固体（TDS）。

本文件适用于：

a) 工业含盐废水（必要时废水需经预处理去除大部分有机物）；

b) 工业废水回用的软化除盐工艺的选择或设计。

2.4 起草单位和起草人员信息及分工

起草单位：南京大学、南京大学宜兴环保研究院、中国标准化研究院、山西大学、上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司、中国冶金地质总局矿产资源研究院、中冶生态环保集团（滁州）研究院有限公司、江苏水污染防治装备技术发展有限公司、河南工业大学、盛林环境科技（天津）有限公司、东北电力大学、江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司、深圳前海华睿诺美智慧水务有限公司、重庆大学、华电郑州机械设计研究院有限公司、远大健康科技（天津）股份有限公司、贵州乌江页岩气勘探有限公司、中煤（北京）环保股份有限公司、上海华闵环境股份有限公司、内蒙古农业大学、鲁信天地人环境科技（安徽）集团有限公司。

主要起草人：任洪强、许柯、白岩、王庆、耿金菊、郭杨、黄开、梁明武、万东锦、王文凤、张晓毅、梁延东、范怀蒙、王锦、于清淼、张蕊、宋丹、朱巧莲、郭新茹、贾敬春、李海龙、李庭、王爽、芦新建、高信刚、刘晓民、张伟、杨耀天、阙勇。

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、南京大学宜兴环保研究院、中国标准化研究院 主要负责人：任洪强、许柯、白岩	山西大学 远大健康科技（天津）股份有限公司 华电郑州机械设计研究院有限公司	郭杨 贾敬春 宋丹
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 中冶生态环保集团（滁州）研究院有限公司 重庆大学	耿金菊 王文凤 于清淼 朱巧莲
4 总则	工业水回用等内容的资料调研、方法论证、草案编写		江苏水污染防治装备技术发展有限公司	耿金菊 宋丹
5 进水水质要求	工业水回用水质要求、逻辑架构等内容的资料调研、方法论证、草案编写		山西大学 江苏水污染防治装备技术发展有限公司 中国冶金地质总局矿产资源研究院 河南工业大学 江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司 上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司	郭杨 耿金菊 王庆 黄开 芦新建 万东锦 范怀蒙 宋丹

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
6 软化工艺	软化工艺逻辑架构等内容的资料调研、方法论证、草案编写		山西大学 江苏水污染防治装备技术发展有限公司 中国冶金地质总局矿产资源研究院 河南工业大学 盛林环境科技（天津）有限公司 东北电力大学 上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司 中煤（北京）环保股份有限公司	郭杨 耿金菊 王庆 黄开 梁明武 万东锦 张晓毅 朱巧莲 梁延东 李庭 张伟
7 除盐工艺	除盐工艺逻辑架构等内容的资料调研、方法论证、草案编写		江苏水污染防治装备技术发展有限公司 中国冶金地质总局矿产资源研究院 河南工业大学 盛林环境科技（天津）有限公司 江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司 深圳前海华睿诺美智慧水务有限公司 贵州乌江页岩气勘探有限公司 东北电力大学 上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司 内蒙古农业大学	耿金菊 王庆 黄开 梁明武 万东锦 张晓毅 范怀蒙 王锦 李海龙 梁延东 刘晓民 杨耀天

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
附录 A（资料性） 预处理工艺	常规预处理方案和技术		中冶生态环保集团（滁州）研究院有限公司 重庆大学 远大健康科技（天津）股份有限公司 华电郑州机械设计研究院有限公司 上海华闵环境股份有限公司 鲁信天地人环境科技（安徽）集团有限公司	高信刚 于清淼 贾敬春 郭新茹 王爽 朱巧莲 阙勇
附录 B（资料性） 除盐技术的典型性能	典型除盐技术种类性能		中冶生态环保集团（滁州）研究院有限公司 重庆大学 远大健康科技（天津）股份有限公司 华电郑州机械设计研究院有限公司 上海华闵环境股份有限公司 鲁信天地人环境科技（安徽）集团有限公司	高信刚 于清淼 贾敬春 郭新茹 王爽 阙勇

三、技术论证和效益分析

3.1 实验验证分析、综述报告

本项国家标准将对 ISO 23044:2020 《Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse》进行等同采标，该标准由我国主导制定并由本编制团队成员担任项目负责人。根据上述国内外技术情况分析，当前我国高度关注工业水回用技术发展，我国工业水回用研究实践起步偏晚但发展较快，为该国际标准的研制提供了政策背景支撑和基础技术优势。在标准编制过程中，本团队基于我国在工业水回用软化除盐领域的先进成功实践，联合南京大学、天津工业大学等高校院所，发挥大唐、中冶东方、天津膜天膜等国内工业水回用领域龙头企业先进技术经验，推动国内工业废水回用领域先进经验“走出去”。同时，通过各国专家的合作，确保了该国际标准的广泛适用性和国际认可性。

3.2 技术经济论证

（1）技术可行性

世界卫生组织将全球废水再利用的主要驱动力归纳为日益严重的缺水压力、人口增长、不恰当的废水处理增加环境污染、污废水的资源价值，在多种驱动下，世界范围内各国均积极开展再生水事业。欧洲水回用由两方面因素驱动，一是人口密集地区的用水需求；二是严格的污水排放规定。因此，再生水聚焦于灌溉，整体回用过程主要遵循世卫组织的再生水指南。南美洲、拉丁美洲水源丰富，而加勒比海岛、墨西哥和中美洲则普遍缺水。在贫瘠土壤地区，废水经常未经处理就直接或间接回用灌溉农作物，大多回用于灌溉。中东和北非是拥有缺水国家最多的地区，再生水聚焦于农业和景观等。因此，可以看出，国外再生水领域中聚焦于工业水回用的部分不占主要。针对于工业回用水的规范管理，国外几乎没有单独针对工业水回用出台专门文件，而是涵盖于整体的再生水管理规范中。

相较于国内，近几年来我国对工业废水的净化处理率不断提高，工业废水的再生回用量也同步升高，但是我国工业废水的再生回用量不到废水总排放量的1%，因此提高工业废水回用量将为缓解我国水资源紧张提供了一个前景广阔的有效途径。但目前工业废水除盐工艺存在设备昂贵、运行费用高、再生消耗酸碱等缺点，严重的阻碍了污水回用，因此需实现工业废水的再生利用就必须对污废水中的盐分进行有效的去除。目前水处理除盐的技术种类繁多，其中主要技术包

括：蒸馏法（Distillation）、离子交换法（ion exchange process）、电渗析法（electrodialysis process）、反渗透法（Reverse Osmosis）、电去离子法（electrodeionization）、溶剂萃取法（solvent extraction process）等。各种水处理除盐技术原理不同，也存在着各自的优缺点，如：蒸馏法对原水的含盐浓度没有特别的严格要求，但脱盐成本较高且设备易于结垢；反渗透法对各类的离子及无机物去除率较高，但该预处理要求高且膜清洗需采用大量酸碱；电去离子法产水纯度高，无需酸碱再生，但处理成本高且对进水水质要求较高；离子交换法操作简便，出水纯度较高，但树脂需大量的酸碱试剂再生，易造成二次污染。

因此，基于国内外工业水回用软化除盐技术的发展和运用，本标准的制定与实施在技术上是可行的。

（2）经济可行性

水回用是缓解全球性水资源短缺的重要措施，也是当前世界各国普遍采取的行动。“按需回用”（fit for purpose）是水回用领域的共识，通过回用于城市杂用水、景观用水、农业灌溉、工业冷却水等场景，降低了新鲜水的需求，为加强传统供水提供了机会。经过水回用工艺处理的废水达到安全、满足用户需求的质量标准，不仅提高了水回用的整体吸引力，也使得水回用更经济可行。

同时，近年来我国不断加强关于污水资源化利用的决策部署，推进工业废水循环利用，提升工业水资源集约节约利用水平，以促进经济社会全面绿色转型。2021 年工信部等六部委联合印发的《工业废水循环利用实施方案》中提出重点聚焦石化化工、钢铁、有色、造纸、纺织、食品等行业，明确用水行业废水高效循环利用的目标。在 2025 年 3 月全国两会的《政府工作报告》中明确持续加大财政支出强度，加快各项资金下达拨付，其中资金用途包含加强污染防治和生态建设、加快发展绿色低碳经济以及积极稳妥推进碳达峰碳中和等降碳减污扩绿增长重点工作，加强废弃物循环利用，大力推广再生材料使用，促进循环经济发展。

随着经济发展与政企事业单位的投资为工业水回用行业数字化转型注入了持久动力。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）有助于环境保护和可持续发展

随着工业化的加速推进，化工行业产生的废水日益增多。面对全球资源日益紧张和环境问题日益凸显的情况，实现资源的循环利用和减少污染排放，已成为社会发展的必然趋势。而工业废水因其复杂的成分和难以降解的特性，对环境的污染尤为严重。通过本标准的采标转化，可有效指导工业水回用的软化除盐工艺的选择或设计。工业水回用领域先进技术的推广和应用，可以有效地去除废水中的有害物质，降低其对环境的污染负荷，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。

（2）有助于节约水资源和提高用水效率

水是人类生活和发展不可或缺的资源。随着全球人口的增长和工业化进程，水资源短缺的问题变得越来越突出，因此，提高用水效率、节约水资源已成为当务之急。工业水回用技术需要创新和发展，从而为工业生产提供再利用水源，减少工业上对新鲜水资源的依赖。而通过标准化工作，能够促进工业水回用科技创新成果对接和产业化，推动科技创新和产业创新融合发展，从而促进工业废水的再生利用，能够有效缓解水资源紧张的状况。同时，优化工业废水处理和回用工艺，可进一步提高废水回用率、提高用水效率，实现水资源的最大化利用。

（3）有助于降低生产成本和提升经济效益

对于化工企业而言，工业废水的处理和回用既是一项环保责任，更是降低生产成本、提高经济效益的重要途径。通过运用先进的回用处理技术，企业可从废水中回收有价值的物质和资源，如盐分、金属离子等。此类物质可以作为生产原料或副产品进行再利用和销售，从而为企业创造额外的经济效益。同时，废水的再利用也减少了企业对新鲜水源的采购需求，进一步降低了生产成本。

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 23044:2020，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 23044:2020。

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，不存在违反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、使用工业废水回用软化除盐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，随着信息化技术的不断发展创新以及实践经验的积累，根据环境管理的实际需要，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，不断满足环境管理的需要。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，及时了解和总结工业废水回用软化除盐的新动向，推动标准的贯彻执行。

十、其他应当说明的事项

无。

《工业废水回用软化除盐指南》编制组

2026 年 7 月

国家标准《工业废水回用软化除盐指南》（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 (邮箱地址)。