



# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX/ISO 22449-1:2020

## 再生水在工业冷却系统中的应用 第1部分：技术导则

Use of reclaimed water in industrial cooling systems—Part 1: Technical guidelines

(ISO 22449-1:2020, 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 工业冷却系统中再生水使用技术导则 ..... 3

    4.1 总则 ..... 3

    4.2 水质规范 ..... 3

    4.3 水量和水温要求 ..... 5

    4.4 废水回用处理技术 ..... 5

    4.5 腐蚀、结垢和生物污垢的抑制处理 ..... 5

附录 A（资料性） 工业冷却系统的类型和特点 ..... 8

附录 B（资料性） 需水量 ..... 13

附录 C（资料性） 闭式混合冷却系统中补给水的水质要求 ..... 14

参考文献 ..... 15

## 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。

本文件是GB/T XXXX《再生水在工业冷却系统中的应用》的第1部分。

本文件等同采用ISO 22449-1: 2020《再生水在工业冷却系统中的应用 第1部分：技术导则》。

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、江苏水污染防治装备技术发展有限公司、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、淮北师范大学、东北电力大学、华电郑州机械设计研究院有限公司、深圳前海华睿诺美智慧水务有限公司、重庆大学、内蒙古农业大学。

本文件主要起草人：任洪强、耿金菊、白岩、胡海冬、李剑锋、王庆、许柯、李颖、刘飞、周涵、张蕊、朱巧莲、梁延东、郭新茹、黄宇、于清淼、陈曦、刘晓民、杨耀天。

# 再生水在工业冷却系统中的应用 第1部分：技术导则

## 1 范围

本文件界定了与工业冷却水系统相关的术语，规定了工业冷却系统中使用再生水作为补给水的技术导则。本文件为使用再生水的工业冷却系统的设计和运行提供了基本框架，旨在促进再生水在工业冷却系统中的应用和实施。

本文件包括：

——术语和定义；

——工业冷却系统中使用再生水的技术导则。

本文件适用于作为辅助工业生产过程正常运行的冷却系统。本文件未涉及与工艺安全相关的冷却系统运行要求。此外，还需要考虑一些环境因素，例如风吹损失或某些持久性生物杀菌剂的使用。本文件适用于再生水利用的相关组织统一再生水管理及运行实操要求。

## 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

**排污（冲洗）水** **blowdown (purge) water**

从系统中排出的水，用于控制循环水中盐类或其他杂质的浓度，这类水需要在市政处理系统或现场进行处理。

[来源：ISO 16345:2014, 2.11]

#### 3.1.2

**冷却剂** **coolant**

吸热介质。

[来源：ISO 8573-1:2010, 3.3]

#### 3.1.3

**冷却水** **cooling water**

用来吸收和带走热量的水。

[来源：ISO 6107-1:2004, 15]

#### 3.1.4

**冷却塔** **cooling tower**

用于循环冷却水（3.1.3）蒸发冷却的塔，通常由木材、塑料、镀锌金属或陶瓷材料构成。

[来源: ISO 16784-2:2006, 3.4]

### 3.1.5

#### 腐蚀 corrosion

物质或表面因化学作用而逐渐遭到破坏或缓慢降解。

[来源: ISO 16797:2004, 2.7]

### 3.1.6

#### 浓缩倍数 cycles of concentration

循环冷却水(3.1.3)中特定离子的浓度与补给水(3.1.8)中相同离子的浓度之比。

[来源: ISO 16784-2:2006, 3.6]

### 3.1.7

#### 传热介质 heat transfer medium

用于传递热量且不发生状态变化的介质(水、空气等)。

注: 蒸发器冷却的流体, 冷凝器加热的流体, 热回收换热器中循环的流体。

[来源: ISO 13612-2:2014, 3.22]

### 3.1.8

#### 补给水 make-up water

添加到系统中的水, 以补偿由于蒸发、排污、泄漏和风吹损失而造成的水损失。

[来源: ISO 16784-2:2006, 3.9]

### 3.1.9

#### 非常规水源 non-conventional water source

非来自天然新鲜地表水或地下水的水源, 包括海水淡化水、微咸水(直接利用或经淡化处理)以及经过不同程度处理后回用的城镇污水或工业废水。

### 3.1.10

#### 雷兹纳稳定指数 Ryznar Stability Index; RSI

用于帮助监测水的结垢和腐蚀(3.1.5)可能性的指标。

注: 雷兹纳稳定指数值始终为正, 该指数试图将市政供水系统中观察到的水垢厚度经验数据库进行关联, 并量化碳酸钙饱和状态与水垢形成之间的关系。雷兹纳指数的表达式为:  $RSI = 2pH_s - pH$  ( $pH_s$ 为方解石或碳酸钙饱和时的pH; pH值为测量水的pH值)。雷兹纳稳定指数在水处理厂的应用表明, 雷兹纳稳定指数适用于评价处理后水的化学稳定性, 在处理后水质管理领域具有良好的应用潜力。

### 3.1.11

#### 结垢 scaling

由高温腐蚀在表面产生的表面膜和腐蚀(3.1.5)产物。

[来源: ISO 13573:2012, 3.1]

## 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BOD: 生化需氧量 (Biochemical Oxygen Demand)

COD: 化学需氧量 (Chemical Oxygen Demand)

HPC: 异养平板计数 (Heterotrophic Plate Count)

TDS: 总溶解固体 (Total Dissolved Solids)

TN: 总氮 (Total Nitrogen)

TOC: 总有机碳 (Total Organic Carbon)

TP: 总磷 (Total Phosphorus)

TSS: 总悬浮固体 (Total Suspended Solid)

## 4 工业冷却系统中再生水使用技术导则

### 4.1 总则

将工业废水用作冷却水的补给水源时，可能需要对现有的废水处理系统进行升级，或者增加辅助处理工艺，以提高出水水质，并去除那些在作为冷却系统补充水回用过程中需要关注的成分。不同行业和设施可能对冷却系统的选择有特定要求，包括空间、设计以及材料的选择。新建冷却系统宜对水处理工艺进行升级，并考虑经济因素，以优化运行和维护成本，平衡环境效益。基于不同地区的工业用水回用经验，为实现工业冷却系统中的水回用，宜考虑以下因素：水质、水量和水温、废水回用处理技术、抑制腐蚀、结垢和生物污垢的处理措施。

### 4.2 水质规范

再生水的水质对工业冷却系统的设计、运行和维护至关重要。再生水的水质会受到工业类型和生产工艺类型的影响；管道、热交换器及冷却塔的设计和材料选择受建筑材料影响，可能有特定要求，而且由于存在直接接触人体的风险，需要对再生水进行消毒并保持余氯等，这些因素会对再生水水质产生影响。再生水的水质和处理要求可成为当地水回用法规和指南的重要组成部分。表1列出了最常用的冷却系统中补给水的相关水质参数及其要求。此外，附录中的表C.1列出了闭式混合冷却系统补充水的水质规范。通过控制再生水的水量 and 水质，调整补给水的推荐水质范围，这对循环冷却水系统的运行很重要。

表1 最常用冷却系统的典型水质规范

| 参数                                         | 单位                       | 典型值及推荐范围                       | 对冷却水系统的影响                                                |
|--------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------|
| pH                                         | —                        | 6.5~9                          | 当pH值低于和高于推荐范围时，金属腐蚀和结垢分别会加剧                              |
| 总硬度                                        | (CaCO <sub>3</sub> mg/L) | ≤250                           | 钙在促成结垢方面比镁更麻烦。除非二氧化硅含量也很高，否则镁不会造成太大的问题                   |
| 碱度                                         | (CaCO <sub>3</sub> mg/L) | 100~500                        | 结垢                                                       |
| BOD <sub>5</sub>                           | mg/L                     | ≤10                            | 反映有机物含量以及对氧化型杀菌剂的需求                                      |
| COD <sub>Cr</sub>                          | mg/L                     | ≤30                            | 生物污垢、生物质生长、消毒副产物                                         |
| TSS                                        | mg/L                     | ≤10                            | 腐蚀、污垢、结垢                                                 |
| TDS                                        | mg/L                     | ≤5000                          | 结垢、污垢                                                    |
| 电导率                                        | μS/cm                    | ≤3000 <sup>a</sup>             | 结垢、污垢                                                    |
| 余氯                                         | mg/L                     | 0.1~0.2 <sup>b</sup> (管网末端总余氯) | 消毒副产物、腐蚀                                                 |
| 氯化物                                        | mg/L                     | ≤300 (不锈钢)<br>≤1000 (其他金属)     | 对大多数金属具有腐蚀性，尤其是低碳钢                                       |
| 粪大肠菌群                                      | CFU/100 mL               | ≤200                           | 是营养元素，会促进生物质生长，产生消毒副产物                                   |
| 氨氮                                         | mg/L                     | ≤5<br>≤1 (若存在铜)                | 与氯化物结合形成氯胺，能抵消氯和一些非氧化性杀菌剂的消毒作用<br>浓度低至 2.0 ppm，对铜合金具有腐蚀性 |
| 硫酸盐<br>(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )    | mg/L                     | ≤800                           | 结垢                                                       |
| Fe <sup>c</sup>                            | mg/L                     | ≤0.3                           | 与磷酸盐结合形成不良杂质                                             |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> <sup>d</sup> | mg/L                     | ≤3                             | 在较高浓度下 (钙大于1000 mg/L，磷酸盐大于20 mg/L)，热交换器中存在磷酸钙结垢的可能性      |

<sup>a</sup> 该范围将取决于特定冷却水系的设计和特性、化学药剂方案的类型以及工业生产工艺。

<sup>b</sup> 总余氯宜在至少接触 30 分钟后达到要求。

<sup>c</sup> 如果铁与磷酸盐结合形成不良污垢，就可成为一个问题。它还可使用于抑制磷酸盐水垢形成的专用聚合物失活。再生水中铁的浓度可较高，在 0.12 至 0.32 之间。对于这种浓度的铁，需要进行专门处理，以避免热交换器结垢。

<sup>d</sup> 根据 GB/T 31329—2014，磷酸盐浓度被限制在小于 3 mg/L；磷酸盐是一种常见的阴离子缓蚀剂，在浓度≤4 mg/L 时，还可对低碳钢起到腐蚀防护作用。

注1：如果识别出特定风险或当地法规有要求，可根据具体情况考虑化学稳定性（如锰、二氧化硅）和生物稳定性（如异养菌平板计数）等参数。

注2：根据再生水源特性和使用设施，考虑选择特定的金属和阴离子。例如，铜和镍可以在钢上镀出，引起局部电偶腐蚀，可以迅速渗透薄钢热交换器管。

注3：生物稳定性的监测点可考虑设置在配水和储水系统的出口，以及水力停留时间较长的用水点。

4.3 水量和水温要求

与淡水相比，再生水在蒸发过程中更容易导致溶解性物质浓度升高。蒸发速率受水温 and 流量的影响，会进一步影响排污量和蒸发量，因此，应强调将再生水用作补给水时对水温及水量的要求。各种冷却水系统的最小流量和水量各不相同，因为其性能取决于所应用的浓缩倍数、蒸发量，并且受环境温度的影响相对较小。较高的环境温度能导致冷却水温度升高。温度升高可增加结垢和腐蚀倾向。多数微生物适宜在5℃～65℃范围内生长繁殖，微生物数量增加会降低传热效率。

表2给出了补给水量的影响因素和计算公式，这有助于采取适当的节水措施。附录B中的表B.1给出了在假定条件下不同工业冷却系统的水量要求。此外，热交换器管道中的结垢和腐蚀与流速密切相关。在冷却水流速较低或水流停滞的区域，生物膜会增多，悬浮固体或无机垢会沉积。研究表明，当流速低于0.3 m/s时，将导致结垢和腐蚀。此外，水流速高于1 m/s和低于1 m/s时，热交换器的污垢热阻差异很大。

补给水的温度也是一个重要因素，因为许多化学和工业过程对温度要求严格，也与废热去除效率相关。某些化合物在高温下（60℃以上）具有逆溶解性，导致结垢增加。由于设备设计人员通常会考虑一个或多个因素来适应不太理想的传热条件，因此热交换器通常留有一定设计裕量。在预期的冷却水流量条件下运行时，可能导致工艺流体温度低于允许范围。因此，操作人员会降低部分热交换器的冷却塔供水流量，以此来控制工艺温度。

表2 补充水量的影响因素及计算公式

| 影响因子                                               | 计算公式                                         |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 蒸发速率（ER）                                           | ER=循环流量×（温水温度-所需冷水温度）×0.01/5.6℃ <sup>a</sup> |
| 浓缩倍数（COC）                                          | COC=冷却水浓度/补充水浓度                              |
| 排污量（BL）                                            | 蒸发体积/（COC-1）                                 |
| 补充水量=排污量+蒸发量                                       |                                              |
| <sup>a</sup> 根据经验，循环水每需要冷却 5.6℃，就会有 1%的冷却水在冷却塔中蒸发。 |                                              |

4.4 废水回用处理技术

为满足工业冷却系统对回用水水质的要求，需要适用的处理技术。根据废水来源（工业废水或排污水），常规废水、高盐度废水和含有有毒和难降解化合物的废水宜采用不同等级的处理。在中和或其他化学处理后，许多工业废水中含有高浓度的总溶解性固体（TDS）。TDS通过增加盐度、改变水中离子组成和单个离子的毒性产生危害。高TDS含量的废水会对生物处理效率产生不利影响，并加剧管网系统的腐蚀。因此，宜对水和补给水进行适当的化学处理。较低的溶解固体将提供合适的补给水水质和合理的循环水化学条件，从而保证冷却系统高效运行。这有助于提高循环冷却水系统的浓缩倍数，并保持可控的排污量，以及节省补给水或化学药剂的数量。

4.5 腐蚀、结垢和生物污垢的抑制处理

腐蚀和结垢是冷却水系统中常见的问题。工业废水成分复杂，含有大量有毒和不可生物降解物质，因此在使用源于工业废水的再生水作为冷却系统的补给水时宜提出更具体的要求。例如，许多处理过的工业废水回用方案，尤其是在电子工业中，提供软水用作冷却塔补给水。此外，处理过的废水的碱度与pH值密切相关，这将间接影响冷却系统中回用时的水稳定性。因此，宜识别工业冷却系统中的腐蚀和结垢趋势，以实现工业废水的经济高效回用。评价水体结垢倾向和腐蚀倾向的常用方法之一是采用水稳定指数，如表3所示。



结垢和腐蚀的处理主要包括化学法和物理法。化学药剂通常被用作阻垢缓蚀剂。阻垢缓蚀剂宜具有低毒性和化学稳定性，通过动态模拟测试来确定。还需要对不同的产品进行经济分析。也可根据水质特征和现场运行经验选择化学药剂。动态模拟测试宜在评估补充水水质、化学药剂的稳定性和环境影响、抗污垢性能、腐蚀速率、附着速率、冷却水浓缩倍数、传热设备材料、传热设备中的水流速度以及循环冷却水温之后进行。多数成功的处理方案混合使用几种缓蚀剂，如钼酸盐-硅酸盐-偶氮聚二醇和膦酸盐-膦酸盐-唑，以利用协同效应，即混合使用时获得的缓蚀效果优于各组分单独使用的效果之和。

此外，一些为防止结垢而设计的化学方案只有在硬度水平保持在规定范围内时才能起作用。例如，最常用的多磷酸盐和膦酸盐缓蚀剂，如果循环冷却水中钙硬度低于50 mg/L，将不会起作用。超声波、电子除垢等物理技术也是减轻污垢的有效措施。采用合适的物理技术取决于工业冷却系统的运行效率、成本和水质要求。表3列出了基于水稳定性指数的结垢和腐蚀的推荐处理措施。

表3 基于水稳定指数对结垢和腐蚀的处理

| 水稳定指数<br>(RSI*)                                           | 水腐蚀和<br>结垢倾向 | 化学处理  |                                                                                                                                                                                           | 物理处理 |
|-----------------------------------------------------------|--------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <6                                                        | 结垢           | 阻垢剂   | 有机质金属盐系列（钼、钨）、有机磷酸盐、聚磷酸盐和水溶性聚合物化合物                                                                                                                                                        | 电子除垢 |
|                                                           |              | pH值调整 | 酸（如硫酸）                                                                                                                                                                                    |      |
| 6                                                         | 基本稳定         | —     | —                                                                                                                                                                                         | —    |
| >6                                                        | 腐蚀           | 缓蚀剂   | 有机缓蚀剂（通过形成保护屏障起作用）：胺类和多胺类（膜胺型）、芳香胺类<br>无机抑制剂（作用于电化学腐蚀过程）：<br>——阳极缓蚀剂 <sup>a</sup> （亚硝酸盐、硅酸盐、磷酸盐、单宁酸盐、钼酸盐）<br>——阴极缓蚀剂：锌盐（氯化锌或硫酸锌）<br>——混合物（锌盐+铬酸盐、锌盐+膦酸盐、磷酸盐、聚丙烯酸盐、钼酸盐、聚磷酸盐 <sup>b</sup> ） | 电子除垢 |
| <sup>a</sup> 前提是，要依据所涉及的工艺以及排放过程中的环境限制，了解适用的法律要求。         |              |       |                                                                                                                                                                                           |      |
| <sup>b</sup> 聚磷酸盐：在 pH<7.5、T>60°C（热降解）的条件下，建议采用杀菌剂处理结垢问题。 |              |       |                                                                                                                                                                                           |      |

此外，若不控制冷却系统内的微生物生长，与冷却水接触的设备表面将形成生物污垢层（生物膜）。生物膜作为隔热层，降低了生产设备的传热效率，通常会导致腐蚀速率和点蚀的大幅增加。杀菌处理的目的是消灭硫酸盐还原菌、致病菌如嗜肺乳杆菌，并将常规菌群维持在可接受的水平，以避免形成导致腐蚀的生物膜。最常用的杀菌剂分为两大类，分别是氧化性杀菌剂和非氧化性杀菌剂。次氯酸钠和一氯胺是常用的氧化性杀菌剂，而非氧化性杀菌剂主要有异噻唑啉酮、2,2-二溴-3-次氨基丙酰胺（DBNPA）、戊二醛和季铵化合物等。其中，次氯酸钠在溶液中不稳定，易分解，其腐蚀性会影响人体的呼吸系统，症状包括咳嗽、胸痛和肺部积液。因此，在施工过程中必须确保安全措施，以保护工人和环境。

为确保人类健康和安全，应特别注意病原微生物。军团菌是存在于冷却水系统中的一类细菌，是病原微生物的代表。军团菌可在原生动物体内作为寄生生物生存和增殖，增殖后释放入水中。含有军团菌的水有导致军团病的风险。ISO/TS 12869: 2019中描述了军团菌的检测和定量方法。因此，通常通过保持系统的生物清洁来控制军团菌。没有专门针对军团菌的杀菌剂。然而，传统的氧化性杀菌剂，如氯、溴和一氯胺，已被证明在冷却系统中控制军团菌是有效的。同时使用非氧化性杀菌剂和氧化性杀菌剂的方案同样有效。此外，水温会影响军团菌的去除率。

美国职业安全与健康管理局（OSHA）进一步制定了冷却水中军团菌的建议控制标准，低于100 CFU/mL，不采取控制；从100 CFU/mL到1000 CFU/mL，及时清洗和/或对系统进行杀菌剂处理；超过100 CFU/mL，立即清洗和/或杀菌剂处理，及时采取措施防止员工接触。建议每年进行两次测试，以确认任何冷却系统中的军团菌水平低于OSHA建议的控制标准。

附录 A  
(资料性)  
工业冷却系统的类型和特点

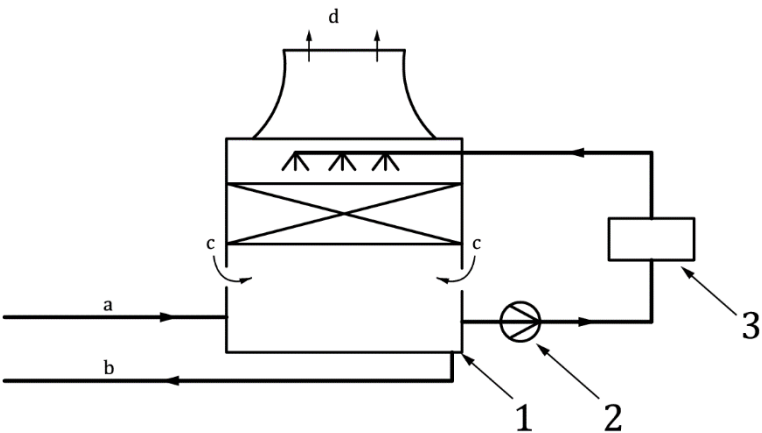
A.1 总则

工业冷却系统能根据其设计和主要冷却原理进行分类：使用液体、气体，或液体和气体的组合作为冷却剂。水具有较大的比热容，在通常遇到的温度范围内不会发生明显的膨胀或收缩。与气体相比，水在冷却系统中具有更高的传热能力，这使得水成为更好的冷却剂选择。热交换器增强了传热介质与冷却剂之间的热交换。冷却剂通过热交换器将热量传递到环境中。一般来说，工业冷却系统的类型包括直接/间接直流冷却系统、直冷/间冷开式循环冷却水系统、闭式湿式/干式空气冷却系统，以及开式循环/闭式混合冷却系统。采用再生水的工业冷却系统类型可分为以下几类，详见A.2~A.6。

A.2 直冷开式循环冷却水系统

在该系统中，冷却水从热交换设备吸收的热量通过冷却设备排放到大气中。经与空气直接接触冷却后，循环水将被泵回热交换设备，重复传热过程。在该系统运行过程中，由于蒸发损失、风吹损失和排污损失，必须不断补充补给水。一般直冷开式循环冷却水系统使用的补给水流量约为循环水流量的1%~5%。

工艺流程图示例见图A.1。



- 标引序号说明：
- 1——开式冷却塔；
  - 2——泵；
  - 3——用户；
  - a——再生水作为补给水；
  - b——排污；
  - c——进风；
  - d——出风。

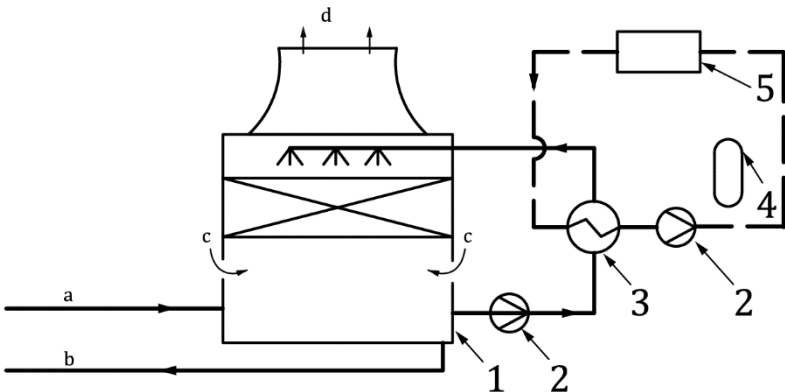
图A.1 一种直冷开式循环冷却水系统的工艺流程图

在该系统中，循环水直接与被冷却的物料、工艺介质或设施接触。循环水中通常存在着大量的杂质。由于循环水中悬浮物及油类污染物浓度较高，因此宜通过循环水处理措施控制盐浓度，维持水质稳定，并去除浊度和油类污染物，同时降低水温。

A.3 间冷开式循环冷却水系统

在该系统中，循环水与被冷却的物料、工艺介质或设施间接接触。由于采用间接冷却方式，循环水不会因温度升高而受到污染。但是，在冷却的循环过程中，随着水的不断蒸发，盐浓度会不断增加。因此，系统需要排污和补充补给水来控制浓缩倍数并维持盐浓度平衡。一般情况下，间冷开式循环冷却水系统使用的补给水流量约为循环水流量的1%~5%。

工艺流程图示例如图A.2所示。



标引序号说明：

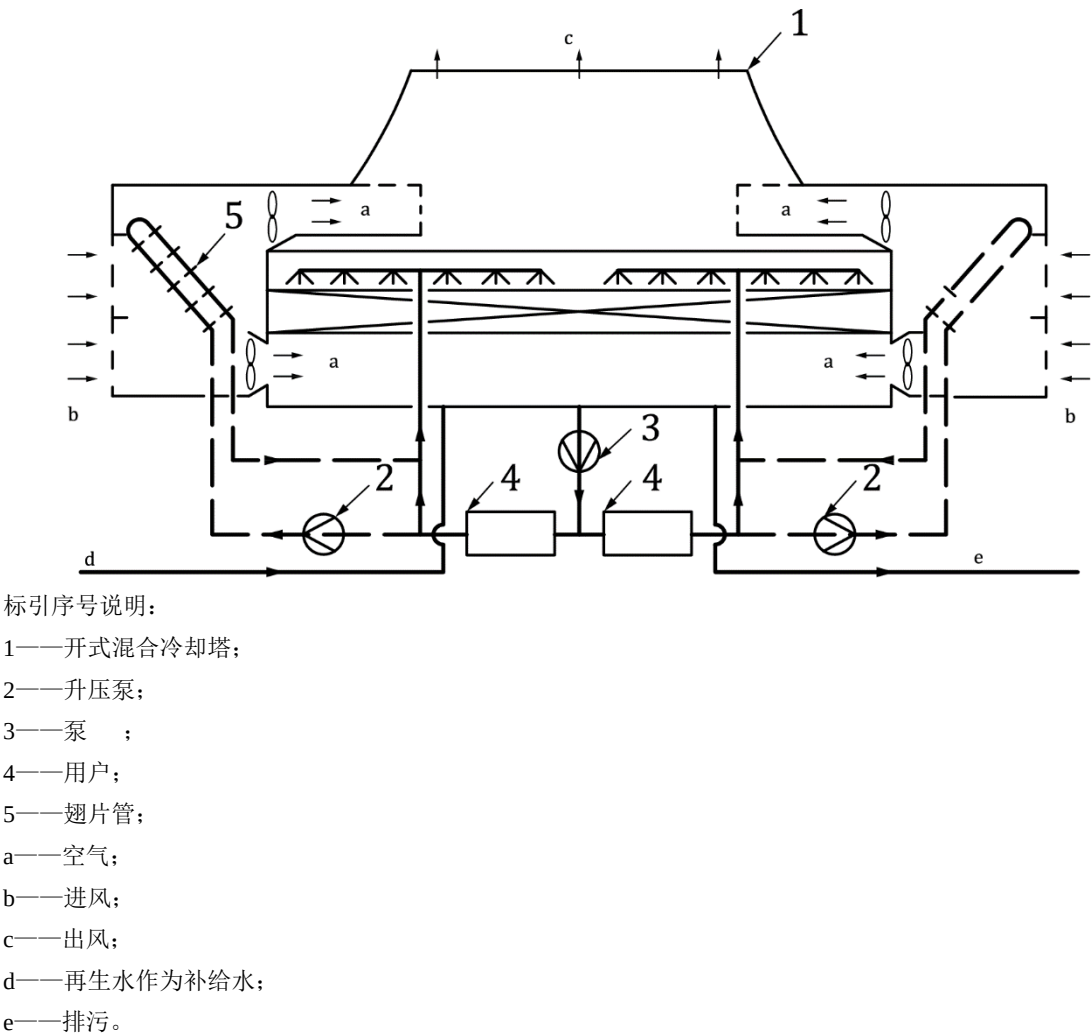
- 1——开式冷却塔；
- 2——泵；
- 3——热交换器；
- 4——膨胀水箱；
- 5——用户；
- a——再生水作为补给水；
- b——排污；
- c——进风；
- d——出风。

图A.2 一种间冷开式循环冷却水系统的工艺流程图

A.4 开式循环混合冷却系统

开式循环混合冷却系统，或称为湿/干式冷却塔是为解决白雾形成问题而开发的一种特殊设计。混合式冷却塔与传统冷却塔的主要区别在于它的用水量（即补给水）较低，比湿式冷却塔少20%。它是“湿式”和“干式”冷却塔的結合，换句话说，是蒸发和非蒸发过程的結合。根据环境温度的不同，混合冷却系统既能作为纯湿式冷却塔运行，也可以作为湿/干组合冷却塔运行。加热后的冷却水首先通过冷却塔的干式部分，其中部分热负荷被气流除去，而气流通常由风机产生。通过干式部分后，水在塔的湿式部分进一步冷却，其功能类似于开式循环冷却塔。来自干式部分的热空气在塔的上部与来自湿式部分的水蒸气混合，从而在气流离开冷却塔之前降低相对湿度，可显著减少塔上方水雾的形成。

工艺流程图示例如图A.3所示。

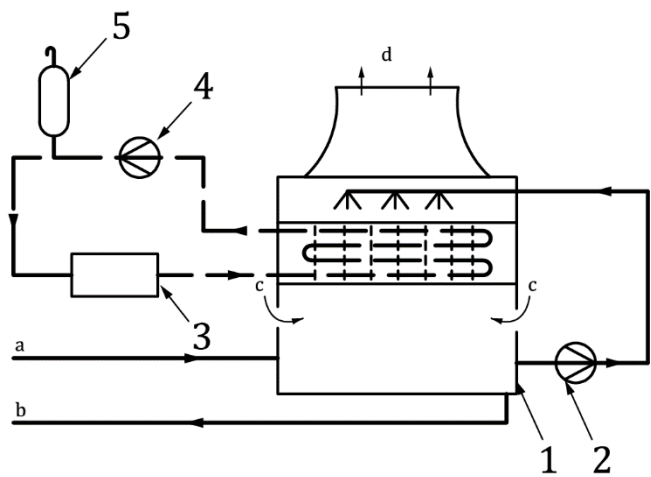


图A.3 一种开式循环混合冷却系统的工艺流程图

A.5 闭式循环冷却水系统

在闭式循环冷却系统中，被冷却的介质在一个闭合回路中循环流动，不与外界环境接触。介质流经盘管（一次回路）。盘管从外部被水淋湿（二次回路或喷淋回路）。热量从介质传导到喷淋水（显热传递）。一小部分水蒸发导致蒸发冷却，热量从水传递到空气中。此外，盘管与空气之间还存在显热传热过程。对喷淋水进行处理，以避免对设备造成损害。蒸发损失、风吹损失和风吹损失会导致水中物质浓缩，因此需要进行一些排污，并补充一定量的补充水。一般来说，在闭式循环冷却水系统中，会使用经过碱化处理的除盐水或饮用水作为二次冷却介质。只有当泵的密封处发生泄漏和蒸发情况，或者为了便于系统维修而排水时，才需要补给水。根据设计方案、运行模式和气候条件的不同，可产生白雾。由于在环境温度较低的情况下，冷却塔能作为干式冷却塔运行，因此可以节约用水。

工艺流程图示例如图A.4所示。



- 标引序号说明：
- 1——闭式湿式冷却系统；
  - 2——喷淋泵；
  - 3——用户；
  - 4——泵；
  - 5——膨胀水箱；
  - a——再生水作为补充水；
  - b——排污；
  - c——进风；
  - d——出风。

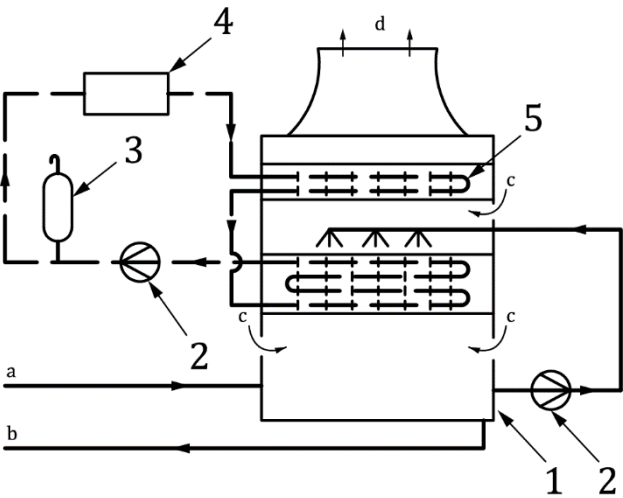
图A.4 一种闭式循环冷却水系统的工艺流程图

A.6 闭式混合冷却系统

对于闭式混合冷却系统，其结构特征和运行特性与闭式循环冷却水系统基本相似，包括风机类型（轴流式和离心式）、气流方向（交叉或逆流）和降噪系统。一般来说，这些装置对空间的要求很小。闭式混合冷却塔能采用三种技术模式：喷淋式翅片盘管、绝热冷却或组合式系统。

与传统的闭式循环冷却水系统相比，闭式混合冷却系统结合了闭式冷却的优点，能够显著节水。与闭式干式冷却塔相比，它具有能实现更低冷却温度的优势。在设备尺寸、能耗及噪声排放方面，其性能与传统闭式循环冷却水系统基本相当。根据具体设计形式（如喷淋翅片盘管结构），应特别注意水处理的质量。由于这类产品一年中仅在很短的一段时间内需要用水，因此节水带来的显著效益能远远抵消额外的成本。闭式混合冷却塔与传统冷却塔的主要区别在于其用水量（即补给水）较低，比湿式冷却塔减少约20%。

工艺流程图示例如图A.5所示。



- 标引序号说明：
- 1——闭式冷却系统；
  - 2——泵；
  - 3——膨胀水箱；
  - 4——用户；
  - 5——翅片管；
  - a——再生水作为补充水；
  - b——排污；
  - c——进风；
  - d——出风。

图A. 5 一种闭式混合冷却系统的工艺流程图

水是冷却系统的重要介质。“用水量”和“耗水量”这两个术语都用于描述冷却水系统的用水需求。用水量在很大程度上与工业类型有关。工业冷却系统中再生水的使用量取决于各种因素，其中关键参数包括水质、温度和（冷却塔的）循环次数。表B.1给出了不同工业冷却系统的再生水用量示例。

附录 B  
(资料性)  
需水量

不同工业冷却系统需水量示例见表B.1。

表B.1 不同工业冷却系统需水量示例

| 工业冷却系统                                                                                                 | 平均用水量 (m³/h/MWth) | 相对用水量 (%) <sup>a</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------|
| 直冷开式循环冷却水系统                                                                                            | 2                 | 2.3                    |
| 间冷开式循环冷却水系统                                                                                            | 2                 | 2.3                    |
| 开式循环混合冷却系统                                                                                             | 0.5               | 0.6                    |
| 闭式循环冷却水系统                                                                                              | 变量                | 变量                     |
| 闭式混合冷却系统                                                                                               | 1.5               | 1.7                    |
| <sup>a</sup> 制冷量温差为 10K<br>直冷开式循环冷却水系统：浓缩倍数在2到4之间<br>开式循环混合冷却系统：75%的干式运行模式<br>闭式混合冷却系统：干式运行比例范围为0%至25% |                   |                        |



附录 C  
(资料性)

闭式混合冷却系统中补给水的水质要求

一般情况下，经过脱盐软化处理的工业废水能作为闭式混合冷却系统的补充水，且其推荐的水质与开式循环冷却水系统的水质有很大差异。表C.1给出了一个火电厂发电机的补充水质要求示例，该电厂通常有闭式混合冷却系统的应用。

表C.1 火电厂发电机的补充水水质要求

| 参数                                                                                                                                                 | 单位                       | 典型值和推荐范围         |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------|------------------|
|                                                                                                                                                    |                          | 脱盐水 <sup>a</sup> | 软化水 <sup>b</sup> |
| pH值                                                                                                                                                | —                        | 6.5~9            | 7~9              |
| 总硬度                                                                                                                                                | (CaCO <sub>3</sub> mg/L) | ≤1               | ≤2               |
| 碱度                                                                                                                                                 | (CaCO <sub>3</sub> mg/L) | ≤1               | ≤110             |
| TSS                                                                                                                                                | mg/L                     | ≤1               | ≤5               |
| 电导率                                                                                                                                                | μs/cm                    | ≤10              | ≤500             |
| 氯化物                                                                                                                                                | mg/L                     | ≤1               | ≤200             |
| 氨氮                                                                                                                                                 | mg/L                     | ≤1               | ≤10              |
| 硫酸盐 (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )                                                                                                               | mg/L                     | Nd               | ≤80              |
| 铁                                                                                                                                                  | mg/L                     | ≤0.1             | ≤1               |
| <p><sup>a</sup> 脱盐水是指从原废水中部分或几乎完全去除离子类物质，使其适合用作冷却水。</p> <p><sup>b</sup> 软化水是指去除硬水中的钙、镁以及某些其他金属阳离子。由此得到的软化水可以延长管道系统的使用寿命，通常可通过石灰软化法或离子交换树脂法来获得。</p> |                          |                  |                  |

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 31329—2014 循环冷却水节水技术规范
- [2] GB 50050—2017 工业循环冷却水处理设计规范
- [3] HG/T 2387—2007 工业设备化学清洗质量标准
- [4] ISO 6107-1:2004 Water quality—Vocabulary—Part 1
- [5] ISO 8573-1:2010 Compressed air—Part 1: Contaminants and purity classes
- [6] ISO 13573:2012 Corrosion of metals and alloys—Test method for thermal-cycling exposure testing under high-temperature corrosion conditions for metallic materials
- [7] ISO 13612-2:2014 Heating and cooling systems in buildings—Method for calculation of the system performance and system design for heat pump systems—Part 2: Energy calculation
- [8] ISO 16345:2014 Water-cooling towers—Testing and rating of thermal performance
- [9] ISO 16784-2:2006 Corrosion of metals and alloys—Corrosion and fouling in industrial cooling water systems—Part 2: Evaluation of the performance of cooling water treatment programmes using a pilot-scale test rig
- [10] ISO 16797:2004 Nuclear energy—Soxhlet-mode chemical durability test—Application to vitrified matrixes for high-level radioactive waste
- [11] ISO/TS 12869:2019 Water quality—Detection and quantification of *Legionella* spp. and/or *Legionella pneumophila* by concentration and genic amplification by quantitative polymerase chain reaction (qPCR)
- [12] Veil, J.A. Use of reclaimed water for power plant cooling (No. ANL/EVS/R-07/3). Argonne National Laboratory (ANL), 2007
- [13] BREF ICS, Control Reference Document on the Application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems, European Commission, December, 2001
- [14] Cooling tower Efficiency Guide Property Managers. Water Audit Guidance Florida Green Lodging Program, 2013
- [15] Laura Alcalde Sanz, Bernd Manfred Gawlik. Water reuse in Europe relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. JRC Science and Policy Reports, EC, 2014
- [16] San Jose/ Santa Clara Water Pollution Control Plant and the City of San Jose Environmental Service Department. Guidelines for managing water in cooling system: For Owners, Operators, and Environmental Manager
- [17] Ryznar J W. A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by water[J]. American Water Works Association, 36(4):472-477, 1944
- [18] Timothy Keister, CWT (US). Cooling Water Management Basic Principles and Technology, 2001
- [19] AWT Board of Directors, Legionella 2003: Update and AWT Statement, June, 2003
- [20] Veil, J. A., Kupar, J. M., Puder, M. G. Use of mine pool water for power plant cooling. Prepared by Argonne National Laboratory for US Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Pittsburgh, PA, 2003

国家标准  
《再生水在工业冷却系统中的应用  
第 1 部分：技术导则》  
(征求意见稿)

编 制 说 明

《再生水在工业冷却系统中的应用 第 1 部分：技术导则》

编制组

2026 年 6 月

# 一、工作简况

## 1.1 任务来源及要求

计划下达文号：国家标准化委员会《国家标准委关于下达 2025 年第十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〕58 号）第 495 项任务

计划编号：20255975-T-469

下达日期：2025 年 10 月 31 日

标准类别：环保标准

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 TC618 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、南京大学宜兴环保研究院、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 22449-1: 2020。

## 1.2 制定背景

工业用水是水资源配置与利用的重要领域，工业水回用是推动工业节水减排和实现水资源循环利用的重要途径。工业冷却系统作为工业用水的重要环节是再生水规模化利用的重要应用场景。再生水回用通过水质控制、水量调配、循环运行及腐蚀、结垢和生物污染防控等技术措施，实现水资源的循环利用和高效配置，全面提升工业用水效率、降低淡水资源消耗、减少污染物排放并提高企业绿色发展水平，是推动工业领域节水降耗、促进非常规水资源开发利用和实现水资源可持续利用的重要方向。

### （1）符合政策规划需求

在全面推进生态文明建设、积极响应国家高质量发展战略的关键时期，深入贯彻习近平总书记关于治水的重要论述，坚定不移落实“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路，已成为国家及各级部门推动水资源可持续利用的核心指导原则。其中，国务院相继颁布实施了《国家标准化发展纲要》、《国家水网建设规划纲要》及《节约用水条例》等纲领性文件，为水资源管理提供了法律保障和

政策框架，更在具体操作层面为再生水等非常规水资源的开发利用指明了方向。特别是针对再生水在工业冷却系统中的应用，推动再生水在工业领域的广泛应用，以实现水资源的循环利用和节能减排目标。2024 年 6 月，国家发展改革委、水利部、工业和信息化部、住房城乡建设部和农业农村部印发的《关于加快发展节水产业的指导意见》中明确提出，“在火力发电、钢铁、纺织、造纸、石化和化工等高耗水工业企业及园区，强化水平衡测试服务，推广使用再生水，因地制宜配套建设海水淡化工程，推进冷却系统节水改造、工艺流程再造和智能系统管控，探索实施合同节水管理”。2024 年 3 月，国务院印发的《节约用水条例》中明确提出，“工业企业应当加强内部用水管理，建立节水管理制度，采用分质供水、高效冷却和洗涤、循环用水、废水处理回用等先进、适用节水技术、工艺和设备，降低单位产品（产值）耗水量，提高水资源重复利用率。高耗水工业企业用水水平超过用水定额的，应当限期进行节水改造”。2023 年 6 月，水利部和国家发展改革委印发的《关于加强非常规水源配置利用的指导意见》中更是指出，“统筹将再生水用于工业生产、城市杂用、生态环境、农业灌溉等领域，稳步推进典型地区再生水利用配置试点。将再生水作为工业生产用水的重要水源，支持工业园区废水集中处理及再生利用”。

## **（2）满足产业发展需求**

在全球水资源形势日趋严峻的当下，工业生产作为水资源消耗的主力领域，其冷却系统的用水效能提升以及非常规水源的开发利用，已成为亟待解决的关键问题。立足企业实际用水场景，以技术创新为突破口、以管理升级为支撑点，驱动水资源实现高效循环利用，切实减轻工业生产对淡水资源的过度依赖。

国外，美国和日本等许多国家，工业冷却系统中的工业废水回用已得到快速发展。美国通过《清洁水法》（CWA）对工业废水排放实施严格管控，要求企业必须获得排放许可并遵守限值标准。美国环境保护局（EPA）发布了《国家水资源再利用行动计划》，旨在提高再生水利用率，应对水资源短缺问题。为规范再生水利用市场，日本政府构建了完备的法律法规体系，涵盖水质标准、水资源管理及再生水利用等方面，如《水污染防治法》明确规定了水污染防治的基本原则和管理措施，包括再生水的水质标准、使用限制和监测要求；《工业用水法》规范再生水在工业领域的管理原则和使用要求；《再生水利用指南》则详细规定了再生水的生产、使用和管理要求，为实施再生水利用项目提供了法律依据。

我国近年来在工业冷却系统中的工业废水回用方面取得了显著进展，国家层面和各省均推出了相关政策和技术应用案例，推动了工业废水的高效循环利用。在国家层面，工业和信息化部出台了《工业废水循环利用实施方案（2021-2025 年）》，明确提出到 2025 年，规模以上工业用水重复利用率力争达到 94% 左右。此外，工信部还发布了《2024 年工业废水循环利用典型案例名单》，全国共有 58 个案例入选，涵盖钢铁、石化、纺织、造纸、食品等重点行业。

因此，深度挖掘再生水于工业冷却系统的应用潜力，强化标准的支撑引领效能，构建创新管理模式的标准体系，具有多方面重要意义。这不仅能够有效提升水资源的循环利用效率，缓解工业用水紧张局面，降低企业用水成本；还能助力工业企业减少污染物排放，契合绿色发展理念，推动行业可持续发展；同时，完善的标准体系可为监管部门提供有力抓手，规范市场秩序，促进再生水应用产业的健康、有序发展。

### **（3）完善标准体系建设需求**

随着工业冷却系统行业的不断推进，虽然已有部分再生水、工业冷却系统相关标准的出台，但直接针对再生水在工业冷却系统中的应用的标准尚显不足。这在一定程度上制约了再生水在工业冷却系统中的广泛应用和技术发展。ISO 22449-1: 2020 Use of reclaimed water in industrial cooling systems — Part 1: Technical guidelines 作为工业水回用领域的权威国际标准，系统地界定了专业术语，并提供了再生水回用的全面技术指南。该标准引领全球工业冷却系统的废水回用，对于促进水资源的再利用、提高用水效率以及践行工业循环经济理念具有重要意义。因此，本项国家标准对 ISO 22449-1: 2020 进行采标和转化，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 10 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。

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

## 二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据

### 2.1 编制原则

本标准的制定遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，本着先进性、科学性、合理性和可操作性，按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》和 GB/T 1.2-2020《标准化工作导则 第2部分：以 ISO/IEC 标准化文件为基础的标准化文件起草规则》相关要求进行编写。

### 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 第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）

本文件参考的标准主要有：

GB/T 12157-2022 工业循环冷却水和锅炉用水中溶解氧的测定  
GB/T 14636-2021 工业循环冷却水及水垢中钙、镁的测定 原子吸收光谱法  
GB/T 14637-2021 工业循环冷却水及水垢中铜、铁、锌的测定 原子吸收光谱  
法  
GB/T 14848-2017 地下水质量标准  
GB 18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准  
GB/T 18920-2020 城市污水再生利用 城市杂用水水质  
GB/T 19923-2024 城市污水再生利用 工业用水水质  
GB/T 21814-2008 工业废水的试验方法 鱼类急性毒性试验  
GB/T 26925-2011 节水型企业 火力发电行业  
GB/T 31329-2014 循环冷却水节水技术规范  
GB/T 32327-2015 工业废水处理与回用技术评价导则  
GB/T 39481-2020 海水淡化利用 工业用水水质  
GB/T 41016-2021 水回用导则 再生水厂水质管理  
GB/T 43742-2024 工业园区水回用指南  
GB/T 44325-2024 工业循环冷却水零排污技术规范



GB/T 44855-2024 冷却塔节水管理规范  
GB/T 44855-2024 冷却塔节水管理规范  
GB/T 45386.1-2025 工业废水电化学处理技术规范 第1部分：总则  
CJ/T 474-2015 城镇供水管理信息系统 供水水质指标分类与编码  
DL/T 783-2018 火力发电厂节水导则  
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 2507—2022 火电厂水效指标计算方法  
DL/T 2689—2023 火电厂循环冷却水排水处理技术导则 反渗透法  
DZ/T 0290-2015 地下水水质标准  
FZ/T 01107-2011 纺织染整工业回用水水质  
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  
HJ 471-2020 纺织染整工业废水治理工程技术规范  
HJ 575-2010 酿造工业废水治理工程技术规范  
HJ 1277-2023 氮肥工业废水治理工程技术规范  
HJ 1278-2023 陶瓷工业废水治理工程技术规范  
HJ 1279-2023 钛白粉工业废水治理工程技术规范  
HJ 1298-2023 电子工业水污染防治可行技术指南  
HJ 2019-2012 钢铁工业废水治理及回用工程技术规范  
HJ 2030-2013 味精工业废水治理工程技术规范  
HJ 2036-2013 染料工业废水治理工程技术规范  
HJ 2045-2014 石油炼制工业废水治理工程技术规范  
HJ 2051-2016 烧碱、聚氯乙烯工业废水处理工程技术规范  
HJ 2054-2018 磷肥工业废水治理工程技术规范  
SL 368-2006 再生水水质标准

## 2.3 主要内容及其确定依据

本文件等同采用 ISO 22449-1: 2020 Use of reclaimed water in industrial cooling systems — Part 1: Technical guidelines。

以下内容属于本文件的范围：

本文件界定了与工业冷却水系统相关的术语，规定了工业冷却系统中使用再生水作为补给水的技术导则。本文件为使用再生水的工业冷却系统的设计和运行提供了基本框架，旨在促进再生水在工业冷却系统中的应用和实施。

本文件包括：

——术语和定义；

——工业冷却系统中使用再生水的技术导则。

本文件适用于作为辅助工业生产过程正常运行的冷却系统。本文件未涉及与工艺安全相关的冷却系统运行要求。此外，还需要考虑一些环境因素，例如风吹损失或某些持久性生物杀菌剂的使用。本文件适用于再生水利用的相关组织统一再生水管理及运行实操要求。

## **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、江苏水污染防治装备技术发展有限公司、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、淮北师范大学、东北电力大学、华电郑州机械设计研究院有限公司、深圳前海华睿诺美智慧水务有限公司、重庆大学、内蒙古农业大学。

主要起草人：任洪强、耿金菊、白岩、胡海冬、李剑锋、王庆、许柯、李颖、刘飞、周涵、张蕊、朱巧莲、梁延东、郭新茹、黄宇、于清淼、陈曦、刘晓民、杨耀天。

各主要参加单位及工作组成员所做工作见表 1。

表 1 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<br>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、<br>南京大学宜兴环保研究院、中国标准化研究院<br><br>主要负责人：任洪强、<br>耿金菊、白岩 | 山西大学<br>淮北师范大学<br>华电郑州机械设计研究院有限公司                                                       | 李剑锋<br>周涵<br>刘飞<br>郭新茹                                 |
| 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<br>中国石油集团安全环保技术研究院有限公司                                                | 王庆<br>许柯<br>陈曦<br>刘晓民                                  |
| 4 工业冷却系统中再生水使用技术导则     | 工业冷却系统中再生水使用技术导则等内容的资料调研、方法论证、草案编写 |                                                                | 山西大学<br>江苏水污染防治装备技术发展有限公司<br>中国石油集团安全环保技术研究院有限公司<br>淮北师范大学<br>东北电力大学<br>华电郑州机械设计研究院有限公司 | 李剑锋<br>许柯<br>李颖<br>刘飞<br>梁延东<br>郭新茹<br>张蕊<br>周涵<br>朱巧莲 |
| 附录 A 工业冷却系统的类型和特点      | 工业冷却系统的类型等内容的资料调研、方法论证、草案编写        |                                                                | 深圳前海华睿诺美智慧水务有限公司<br>东北电力大学                                                              | 黄宇<br>梁延东<br>周涵                                        |
| 附录 B 需水量               | 需水量等内容的资料调研、方法论证、草案编写              |                                                                | 淮北师范大学                                                                                  | 梁延东<br>朱巧莲                                             |
| 附录 C 闭式混合冷却系统中补给水的水质要求 | 闭式混合冷却系统中补给水等内容的资料调研、方法论证、草案编写     |                                                                | 重庆大学<br>内蒙古农业大学                                                                         | 于清淼<br>杨耀天                                             |

## 三、技术论证和效益分析

### 3.1 试验验证的分析、综述报告

本文件等同采用 ISO 22449-1: 2020 Use of reclaimed water in industrial cooling systems — Part 1: Technical guidelines。该标准系统地界定了专业术语，并提供了再生水回用的全面技术指南。该标准构建了一个科学严谨且具有可操作性的工业冷却系统设计与运行框架，涵盖了从水质要求到回用流程的各个环节。它特别强调了系统布局的合理性、设备选型的先进性以及水力平衡的重要性，并详细规定了运行要求。通过遵循这些指南，工业用户可以科学地利用再生水资源，有效降低对新鲜水资源的依赖，减少污染排放，实现经济效益与环境保护的双赢。同时，该标准也推动了技术创新和行业的绿色转型，为全球工业水回用领域提供了标准化的指导和支持。

### 3.2 技术经济论证

#### (1) 技术可行性

再生水在工业冷却系统中的应用，在国内外均呈现出蓬勃发展的良好态势。在技术不断升级以及政策大力支持的双重驱动下，工业用水效率得以大幅提升，企业用水成本有效降低，有力推动了工业生产的可持续发展。同时，国内外开展了大量研究并取得了一定成果。在国际舞台上，美国、日本、以色列和印度尼西亚等许多国家，工业冷却系统中的工业废水回用已得到快速发展。美国通过技术创新和政策支持，如 West Basin 再生水厂采用微滤、反渗透和紫外线消毒等技术，为工业冷却塔提供再生水，有效解决了加州水源紧缺问题。日本则通过深度处理工艺（如超滤和反渗透）和低成本处理技术，将再生水广泛用于工业冷却和其他用途，并在东京等地开展了示范性工程。以色列凭借先进的污水处理技术，如生物过滤和紫外线消毒，将再生水广泛应用于工业用水和其他领域，其废水回用率高达 90%，成为全球典范。这些国家通过政策推动、技术应用和案例实践，为工业废水回用提供了丰富的经验借鉴。

而我国近年来在工业冷却系统中的工业废水回用方面取得了显著进展，国家层面和各省均推出了相关政策和技术应用案例，推动了工业废水的高效循环利用。在国家层面，工业和信息化部出台了《工业废水循环利用实施方案（2021-2025 年）》，

明确提出到 2025 年，规模以上工业用水重复利用率力争达到 94%左右。此外，工信部还发布了《2024 年工业废水循环利用典型案例名单》，全国共有 58 个案例入选，涵盖钢铁、石化、纺织、造纸、食品等重点行业。其中，浙江瑞安经济开发区通过产城融合模式，建成日处理 7.5 万立方米的再生水厂，铺设 10 千米管网，为企业提供高品质再生水用于冷却等，并为市政供水，使园区工业用水重复利用率提高 10%、再生水利用率提升 36.95%、万元工业增加值取水下降 15.3%；浙江某建材企业收集员工生活污水经多级处理后回用于生产冷却等，实现零排放，回水利用率达 98.4%；浙江某电力行业将生活污水及部分雨水经生化、微生物处理后用于炉渣冷却等环节，单位产品用水量下降 11.27%，水重复利用率达 98.53%。鉴于技术上的成熟与政策的有力支持，本标准的制定与实施在技术层面是完全可行的，将有力促进再生水在工业冷却系统领域的标准化、规范化发展。

## **（2） 经济可行性**

我国再生水在工业冷却系统中的应用具有显著经济可行性：一方面，再生水原水成本远低于传统水源，且可享受水资源费减免等政策优惠，有效降低企业用水成本；另一方面，成熟的处理技术（如 MBR、RO 工艺）可保障再生水水质稳定达标，处理成本随技术进步持续下降，低于长距离引水或海水淡化成本；同时，再生水回用可减少企业排污费支出、避免生态修复成本，并提升企业 ESG 评级以降低融资成本；尽管初期需投入设备与管网建设，但可通过 BOT 模式分摊成本，且在线监测与应急预案可有效应对水质风险；此外，政策推动（如《国家节水行动方案》）与典型案例进一步验证了其经济优势，再生水应用已成为工业节水的重要方向。本标准的制定与实施在经济层面是完全可行的。

## **3.3 预期效益**

### **（1） 经济效益**

再生水在工业冷却系统中的应用标准的制定与实施能够带来多方面显著的经济效益。主要体现在以下几方面，再生水在工业冷却系统中的应用标准的制定与实施能够带来多方面显著的经济效益。主要体现在以下几方面，一是从企业运营成本角度而言，标准的规范引导促使企业精准适配再生水，减少对价格相对高昂且供应受限的新鲜水资源采购。企业通过采用符合标准的再生水，能大幅降低水费支出，

同时减少因水资源短缺导致的生产停滞风险，保障生产连续性，间接提升整体生产效益。二是在设备维护与更新方面，标准明确了再生水水质指标与设备兼容性要求，使企业能够提前规划设备选型与维护方案。这有助于降低因水质不匹配导致的设备损坏风险，延长设备使用寿命，减少设备维修与更换成本，提高企业资产利用效率。三是，从产业协同发展维度看，标准的实施为水处理设备制造产业指明了技术方向与市场需求，推动企业加大研发投入，提升设备性能与智能化水平。这不仅创造了水处理设备制造领域的新增就业岗位，还带动了上下游产业链如原材料供应、技术服务等的发展，形成产业集群效应，促进区域经济增长。四是再生水应用标准的实施还为再生水供应企业提供了稳定的业务规范与市场空间。这些企业通过提供符合标准的再生水产品，获得稳定收入来源，进一步加大在再生水处理技术研发与基础设施建设方面的投入，提升再生水供应能力与质量，形成供需双方的良性互动，共同推动水资源循环利用产业的可持续发展，为经济注入新的活力。

再生水应用于工业冷却系统相关标准的制定与实施，可带来广泛且显著的经济效益。在科技迅猛发展与政策大力扶持的双重驱动下，这将有力推动行业迈向更高效率的发展路径。

## （2）社会效益

制定再生水在工业冷却系统中的应用相关标准，能够规范再生水的使用，确保工业用水的安全与稳定，降低生产事故风险，维护社会秩序。同时，再生水的广泛应用可有效减少对新鲜水资源的依赖，缓解水资源短缺压力，为社会经济的可持续发展提供支撑。此外，这一举措有助于提升公众对再生水工业应用价值的认知，强化水资源保护与可持续利用意识，营造全社会节水护水的良好风尚。通过推动工业绿色转型，再生水的高效利用将进一步促进经济与环境的和谐共生，为构建资源节约型、环境友好型社会奠定坚实基础。同时，本项国家标准是采用最新发布的国际标准 ISO 22449-1:2020 Use of reclaimed water in industrial cooling systems — Part 1: Technical guidelines(再生水在工业冷却系统中的应用 第1部分：技术导则)转化。随着 ISO 22449-1:2020 的发布及本标准的采标与宣贯，可以有效填补本项国家标准的制定，将有效填补我国工业水回用领域在国家标准与行业标准上的空白，通过提供工业冷却系统中工业废水回用的技术指南，能够促进再生水的使用，推动工业

冷却系统的设计与运行。引领全球工业冷却系统的废水回用，对于促进水资源的再利用、提高用水效率以及践行工业循环经济理念具有重要意义。

### **(3) 生态效益**

再生水在工业冷却系统中的应用相关标准的制定与实施深刻地体现了对水资源合理利用与保护、水质安全及水生态健康的高度重视。一方面，它能够有效减少工业废水的直接排放，从而大幅降低对自然水体的污染负荷，显著改善整体水环境质量；另一方面，通过减少对河流、湖泊等自然水体的直接取水量，有助于维护这些生态系统的水量平衡与水质健康，进而保护生物多样性，促进生态系统的稳定与繁荣；此外，再生水处理及利用过程中能源效率的显著提升，不仅减少了能源消耗，还降低了碳排放量，为推动实现碳达峰、碳中和目标贡献了积极力量。

## **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 22449-1:2020，技术水平一致。

## **五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因**

本文件等同采用 ISO 22449-1:2020。

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、使用工业水回用系统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水回用的新动向，推动标准的贯彻执行。

## 十、公平竞争审查

本标准于 2026 年 6 月进行公平竞争审查，并顺利通过公平竞争审查。审查结果显示，本标准未含有对市场准入负面清单以外的行业、领域、业务等违法设置审批程序的内容；未含有限定经营、购买或者使用特定经营者提供的商品或者服务（以下统称商品）；未含有设置了不合理或者歧视性的准入、退出条件的内容；未含有其他限制或者变相限制市场准入和退出的内容；未含有限制外地或者进口商品、要素进入本地市场，或者阻碍本地经营者迁出，商品、要素输出的内容；未含有排斥、限制、强制或者变相强制外地经营者在本地投资经营或者设立分支机构的内容；未含有其他限制商品、要素自由流动的内容；未含有给予特定经营者选择性、差异化的财政奖励或者补贴的内容；未含有其他影响生产经营成本的内容；未含有强制或者变相强制经营者实施垄断行为，或者为经营者实施垄断行为提供便利条件的内容；未含有其他影响生产经营行为的内容。

同时，本标准通过规定工业废水处理与回用技术的评价原则、评价指标体系、评价程序和方法，旨在为各类工业废水处理与回用项目的利益相关方提供指导，包括专业人员（规划、管理、设计和运营人员）、行政机构（监测、评估、监管和管理部门）和地方主管部门，进而提升水资源利用效率与保障水平，减少水资源浪费与水环境污染，从而全面提升生态环境治理能力与生态环境质量，助力美丽中国建设与国家可持续发展战略目标实现。经综合评估，本标准作为通用指南，与智慧水务管理、生态环境保护的长期需求相适配，符合《公平竞争审查条例》第十二条第（二）项关于“为促进科学技术进步、增强国家自主创新能力”和第（三）项关于“为实现节约能源、保护环境、救灾救助等社会公共利益”的适用情形。



## 十一、其他应当说明的事项

无

《再生水在工业冷却系统中的应用 第1部分：技术导则》编制组

2026年6月

国家标准《再生水在工业冷却系统中的应用 第1部分：技术导则》（征求意见稿）

意见反馈表

|            |      |                      |  |        |  |
|------------|------|----------------------|--|--------|--|
| 姓名         |      | 电话                   |  | E-mail |  |
| 单位<br>(盖章) |      | 通信<br>地址             |  | 邮编     |  |
| 章条号        | 修改建议 | 修改理由<br>(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](mailto:standard@njuyi.cn)。