



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX/ISO 22449-2:2020

再生水在工业冷却系统中的应用 第2部分：成本分析导则

Use of reclaimed water in industrial cooling systems—Part 2: Guidelines for cost analysis

(ISO 22449-2:2020, 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 发布
国家标准化管理委员会

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 成本分析导则 2

 4.1 总则 2

 4.2 成本分析原则 2

 4.3 成本计算方法 3

 4.4 成本分析指标 6

附录 A（资料性） 外部效益因素 8

附录 B（资料性） 冷却系统材料 9

附录 C（规范性） 化学成本要素 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。

本文件是GB/T XXXX《再生水在工业冷却系统中的应用》的第2部分。

本文件等同采用ISO 22449-2:2020《再生水在工业冷却系统中的应用 第2部分：成本分析导则》。

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、江苏水污染防治装备技术发展有限公司、山西大学、河海大学、广州水务环保技术有限公司、华电郑州机械设计研究院有限公司、东北电力大学、重庆大学、江苏创新环境工程有限公司、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、许柯、王庆、许明、田卓、郭新茹、梁延东、张蕊、宋丹、邵莹、林原、于清淼、邵丹萍、刘晓民、杨耀天。

再生水在工业冷却系统中的应用 第2部分：成本分析导则

1 范围

本文件为工业冷却系统中使用再生水的成本分析提供了指导原则。

本文件适用于新建的、以再生水作为补充水的工业冷却系统，其中再生水来源于企业内部各生产车间所排放的工业废水，并经过废水处理系统处理后回用。

在本文件中，采用“平准化冷却水成本（LCOCW）”作为比较指标，用以判定不同工业冷却系统每移除一千瓦时（kWh）热量所需的成本高低。

再生水回用能够直接对冷却系统的运行成本和环境产生影响。附录A列出了再生水回用所带来的外部效益，包括正外部性和负外部性，并综合考虑了环境、社会及经济因素。

本文件适用于所有参与新建工业冷却系统再生水回用的企事业单位。

本文件旨在确保从事再生水回用的各类组织采用统一的成本评估方法。

本文件提供了一个广泛的框架，用于评估新建工业冷却系统使用再生水的成本。文件中使用的货币单位均为当地货币（LCY）。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

资本成本 capital cost

用于购置、安装和调试固定资产的费用。

[来源：ISO 15663-3: 2001, 2.1.3, 有修改]

3.1.2

处置成本 disposal cost

固定资产在达到使用寿命后，用于拆除及场地恢复（或资产复原）的费用。

3.1.3

散热能力 heat rejection capacity

冷却系统能排出的热量。

注：单位为千瓦（kW，热能或电能）

3.1.4

运行和维护成本 operation and maintenance cost

设施运行管理费，以及为维持建筑物及其各部件正常使用功能所需的人工、材料及其他相关维保费用。

[来源：ISO 15686-5: 2017]

3.1.5

重置成本 replacement cost
设施关键系统部件的预期更新改造成本。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。
EPCM: 工程采购施工管理 (Engineering Procurement Construction Management)
LCY: 当地货币 (Local Currency)
注: 此处的当地货币指人民币
LCOCW: 平准化冷却水成本 (Levelized Cost of Cooling Water)

4 成本分析导则

4.1 总则

成本包括与废水处理系统和工业冷却系统相关的费用。
本文件包括:
——成本分析原则;
——成本计算方法;
——成本分析指标。
如图1所示为以再生水作为补充水的冷却系统流程示意图及系统组件。

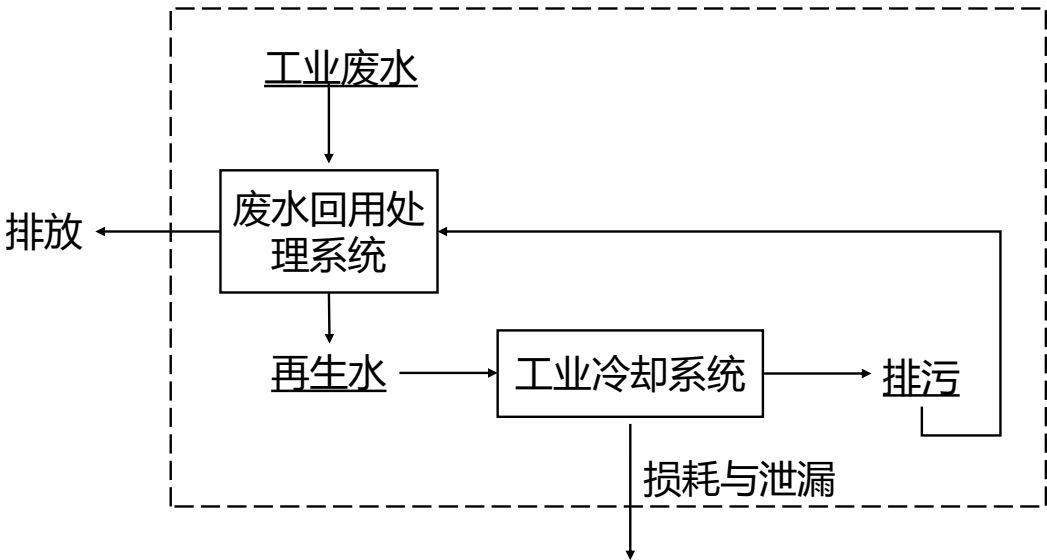


图1 使用再生水冷却系统的流程图和组成部分

4.2 成本分析原则

成本分析宜遵循以下原则:

- a) 采用生命周期成本分析方法, 且分析的计算周期包括建设期、运营期和处置期;
- b) 成本分析考虑以下项目: 建设期的资金成本, 运营期内的运行、维护和更换成本; 以及处置期内的处置成本;
- c) 成本包括与废水处理系统和工业冷却系统相关的各项费用。

4.3 成本计算方法

4.3.1 资本成本

4.3.1.1 资本成本计算原则

资本成本的计算宜遵循以下原则：

- a) 资本成本的范围包括工业冷却系统和废水处理系统的相关设备、建筑物和配套设施。
- b) 资本成本的计算以整个系统为基础，费用涵盖从初期设计到建成投产的整个建设周期。
- c) 资本成本根据建设期的建设进度按年进行分摊计算。

4.3.1.2 资本成本的计算

4.3.1.2.1 施工及建筑成本

施工及建筑成本包括：

- a) 建筑施工人工成本（支付给建筑工人、监督人员以及管理人员的所有薪资）；
- b) 建筑材料成本（由承包商或业主采购的、用于该建设项目的全部建筑材料费用）；
- c) 建筑设备使用成本（建筑承包商在安装所有散装材料和设备时的设备使用运营成本）。

4.3.1.2.2 设备成本

设备成本是指承包商或业主购买的所有工艺设备、非工艺设备及固定设备所发生的费用，不含运费和关税。该费用根据设备清单和供应商报价计算。

合理选择设备材料，能够使新建冷却水系统更好地应对再生水复杂多变的水质。材料选择会直接影响系统的运行表现，主要体现在以下方面：直接能耗水平、向环境排放的受控污染物（经废水处理后排放）与非受控泄漏物（如跑冒滴漏）的产生情况，以及热量的排放去向。此外，所选材料本身也需要相应的投资成本。附录B中表B.1列出了冷却系统中常用材料的类型，以及水质对各类材料性能的影响。

4.3.1.2.3 分包成本

分包成本包括由承包商或业主发包、且未纳入工程采购施工管理（EPCM）范围内的所有总价或单价分包合同费用。

4.3.1.2.4 间接成本

间接成本包括EPCM费、临时施工设施及公用设施费、餐饮及住宿费、供应商现场服务费、启动及预调试与调试用备品备件费、首次装填（初装介质）费、第三方工程服务/检测/检验费，以及运费和各类关税/税费。

4.3.1.2.5 业主成本

业主成本包括业主在施工期间的人工费、顾问费、许可证及特许权使用费、土地购置费、环境评估费、保险费、检测及研究费。

4.3.1.2.6 应急成本

应急成本（基本预备费）是指在既定的项目范围内，为应对与工程设计深度及估算/工程精度相关的、不可预见或难以准确预估的费用而预留的资金。系统中各子项的应急成本根据其风险等级分别确定，最后汇总得出应急成本总额。

4.3.1.2.7 系统的资本成本

系统的资金成本为上述各项的总和，按照公式（1）计算。

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 \cdots \cdots \cdots (1)$$

式中：

- C ——资本成本，单位为LCY；
- C₁ ——施工和建筑成本，单位为LCY；
- C₂ ——设备成本，单位为LCY；
- C₃ ——分包成本，单位为LCY；
- C₄ ——间接成本，单位为LCY；
- C₅ ——业主成本，单位为LCY；
- C₆ ——应急成本，单位为LCY。

4.3.2 运行和维护成本

4.3.2.1 运行与维护成本的计算原则

运行与维护成本的计算原则如下：

- a) 运行与维护成本计算范围包括废水处理系统和工业冷却系统运行的所有费用；
- b) 运行与维护成本计算包括整个冷却系统的成本，计算周期涵盖从运行到系统使用寿命结束；
- c) 运行维护费用按年计算。

4.3.2.2 运行与维护成本计算

4.3.2.2.1 电费成本

电费成本是系统运行期间因用电而产生的费用。表1中废水处理系统和工业冷却系统所使用的常见电气设备的耗电量均包含在用电量内。电费成本按照公式（2）和公式（3）进行计算。

$$O_1 = A \times f_1 \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：

- O₁ ——电费成本，单位为LCY每年（LCY/a）；
- f₁ ——电量单价，单位为LCY每千瓦时（LCY/(kW·h)）；
- A ——系统耗电量，单位为千瓦时每年（kW·h/a）。

$$A = \sum_{j=1}^n (N_j \cdot P_j \cdot T_j) \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中：

- N_j ——电气设备数量j；
- P_j ——电气设备j的总功率，单位为千瓦（kW）；
- T_j ——电气设备j的运行时间，单位小时每年（h/a）；
- n ——电气设备种类的数量。

表1 使用再生水的冷却水系统中常见的电气设备

—	功率 kW	运行时间 h	数量	电力消耗 kW·h
泵	P ₁	T ₁	N ₁	A ₁
照明设备	P ₂	T ₂	N ₂	A ₂

—	功率 kW	运行时间 h	数量	电力消耗 kW·h
压缩机	P_3	T_3	N_3	A_3
风机	P_4	T_4	N_4	A_4
电力服务/发电	P_5	T_5	N_5	A_5
热交换器	P_6	T_6	N_6	A_6

4.3.2.2.2 化学成本

为了满足水回用的水质要求，需要在废水处理系统和工业冷却系统中添加混凝剂、阻垢剂、缓蚀剂和杀菌剂等化学物质。化学品的消耗成本宜计入运行成本。附件C表C.1和表C.2分别描述了废水处理系统和工业冷却系统的化学品成本要素。

化学成本按照公式（4）计算。

$$O_2 = \sum_{i=1}^k (G_i \cdot f_{2i}) \cdots \cdots \cdots (4)$$

式中：
 O_2 ——化学成本，单位为LCY每年（LCY/a）；
 G_i ——i类化学品的消耗量，单位为千克每年（kg/a）；
 f_{2i} ——i类化学品单价，单位为LCY每千克（LCY/kg）；
 k ——使用的化学物质的数量。

4.3.2.2.3 人工成本

人工成本包括支付给废水处理系统和工业冷却系统所有员工的工资，包括操作人员、维修人员、检查人员、监督人员和管理人员。人工成本不仅包括工资和津贴，还包括支付员工的社会保险等福利。

4.3.2.2.4 维护成本

维护成本包括废水处理系统和工业冷却系统的维护和修理费用，如配件、维修材料和维修承包商的费用（如有），但不包括维护人工成本，该费用计入人工成本。

4.3.2.2.5 管理成本

管理成本包括运营管理方面的支出，例如办公费、差旅费、劳动保护费、水质监测费、租金（如有）、技术服务费（如有）、保险费（如有）、排污费（税）、税费（如有）以及其他未包含在上述项目中的费用。

4.3.2.2.6 系统的运行和维护成本

系统运维成本为上述各项之和，按照式（5）计算。

$$O = O_1 + O_2 + O_3 + O_4 + O_5 \cdots \cdots \cdots (5)$$

式中：
 O ——运维成本，单位为LCY每年（LCY/a）；
 O_1 ——电费成本，单位为LCY每年（LCY/a）；
 O_2 ——化学成本，单位为LCY每年（LCY/a）；
 O_3 ——人工成本，单位为LCY每年（LCY/a）；
 O_4 ——维护成本，单位为LCY每年（LCY/a）；
 O_5 ——管理成本，单位为LCY每年（LCY/a）。

4.3.3 重置成本

4.3.3.1 重置成本的计算原则

重置成本的计算原则包括：

- a) 重置成本计算包括废水处理系统和工业冷却系统在运行期间发生的成本；
- b) 重置成本通常是由于更换已达到使用寿命的系统或部件而产生的；
- c) 重置成本根据重置计划计算。

4.3.3.2 重置成本计算

重置成本包括组件和拆卸的成本以及为安装新组件而对现有系统进行任何改造所需的成本，计算见公式（6）。

$$R = R_1 + R_2 \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- R ——重置成本，单位为LCY；
- R_1 ——组件成本，单位为LCY；
- R_2 ——为安装新组件而对现有系统进行任何改造所需的成本，单位为LCY。

4.3.4 处置成本

4.3.4.1 处置成本计算原则

处置成本计算原则如下：

- a) 处置成本计算包括废水处理系统和工业冷却系统在处置期间发生的成本；
- b) 处置成本计算涵盖该系统中产生的所有成本，且成本计算的时间段从系统使用寿命结束起，至拆除及场地修复工作完成为止；
- c) 处置成本根据处置期间的处置计划进行年化计算。

4.3.4.2 处置成本的计算

处置成本包括在系统使用寿命结束时拆除该系统的成本，以及该系统所占用土地的修复成本（如适用），上述费用涵盖与系统拆除及土地恢复相关的全部人工费、材料费及施工设备使用费，见公式（7）：

$$D = D_1 + D_2 \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- D ——处置成本，单位为LCY；
- D_1 ——拆除成本，单位为LCY；
- D_2 ——修复成本，单位为LCY。

4.4 成本分析指标

4.4.1 总则

为了便于比较，成本必须以系统设计的热容量（kW_{th}或MW_{th}）来表示。这种方法在绝对值上并不准确，因此不适合用于准确的投资估算。它适用于比较不同冷却系统的投资成本。成本分析指标的使用详见4.4.2。

4.4.2 平准化冷却水成本（LCOCW）

LCOCW是考虑工业冷却系统整个生命周期内所有成本后的单位成本，常被用作一种便捷的总体衡量指标，用于比较不同技术的综合竞争力，按照公式（8）计算：

$$C_L = \frac{\sum_{j=1}^n (C_j + O_j + R_j + D_j) / (1+r)^j}{\sum_{j=1}^n H \cdot t_j / (1+r)^j} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- C_L ——平准化冷却水成本，单位为LCY每千瓦时LCY/(kW_{th}·h)；
- C_j ——第j年的资本成本，单位为LCY；
- O_j ——第j年的运维成本，单位为LCY；
- R_j ——第j年的重置成本，单位为LCY；
- D_j ——第j年的处置成本，单位为LCY；
- H ——冷却系统的散热能力，单位为千瓦时（kW_{th}）；
- t_j ——系统在第j年的运行时间，单位为小时（h）；
- n ——系统寿命所对应的计算周期，单位为年；
- r ——折现率。

附 录 A
(资料性)
外部效益因素

表 A.1 可供企业在使用再生水作为工业冷却水系统水源时，通过权衡效益与成本，做出更优决策。

表A. 1 工业冷却系统中使用再生水的外部效益要素

正外部性	备注
降低工业废水排污费	当工业企业将废水排放到公共河流或水域时，通常由政府或国家收取排放费用。
对健康产生的影响	在大多数情况下，工业废水的再利用意味着减少威胁水生生物和人类的有毒污染物。
提高社会对新型水文化的认知	工业废水回用帮助许多行业意识到资源循环利用的重要性，找到降低成本的新途径。可能需要制定宣传政策，以吸引公众对新型水文化的关注。
减少工业废水排放中的污染物	工业废水若未经处理直接排入河流，存在威胁水生生物的风险。这种风险的大小还取决于相关国家对废水排放的管控规定以及排污具体情况。
减缓地下水位下降	通过回用工业废水替代地下水作为补充水，有助于节约水资源。
发放财政补贴	工业废水回用是可持续发展的要求，并且在世界各地通常会得到财政补贴。
负外部性	备注
向空气和地表水释放热量	循环系统中的冷却水通过冷却塔将大部分热量释放到空气中。因泄漏而散发到地表水中的热量会影响水生环境，尤其是鱼类。 温度对所有生命形式及其生理都有直接影响，并通过影响氧平衡产生间接影响。
因泄漏到地表水而产生的工艺化学品及其反应物	冷却系统中存在大量用于抑制微生物生长的杀菌剂，可能会泄漏到地表水对水生环境产生不利影响。
二氧化碳排放	由于工业冷却系统的运行而向空气中排放二氧化碳。
噪音排放	一般来说，机械通风冷却塔和大型自然通风湿式冷却塔都存在噪音问题。

附 录 B
(资料性)
冷却系统材料

通过使用替代建筑材料也能减少腐蚀，如不锈钢、塑料或防腐蚀涂层。最好选择对水的腐蚀性或工艺条件最不敏感的材料。若选用敏感的材料（如合金），可能需要配套复杂的冷却水处理和控制方案，从而增加成本。

表B.1 水质参数对冷却系统材料的影响

材料类型	水质影响	备注
镀锌铁（Cu和Zn涂层）	易受以下情况腐蚀（产生白锈）： ——高溶解固体含量，尤其是氯化物和重金属； ——pH 值低于 6.5 或高于 8.5。	重点关注含有高浓度溶解固体、氯化物和重金属的工业废水。降低浓缩倍数，并使用酸调节pH值，以满足使用镀锌铁的要求。
不锈钢304-SS	——当沉积物形成条件存在时，易受氯化物的腐蚀。 ——生物沉积物可能导致快速点蚀。 ——当沉积物形成条件存在时，氯含量为 200 mg/L 时会腐蚀。 ——在清洁表面可耐受氯化物浓度为 1000 mg/L。	来自采矿、石化、食品、冶金、制革、化工、制药、造纸、纺织、涂料、颜料和机械制造行业的工业废水通常含有高浓度的氯化物。只有在氯化物处于合适的浓度范围内，这些行业才能选用304-SS不锈钢。
不锈钢316-SS	——当存在沉积物形成条件时，耐受氯化物浓度为 5000 mg/L。 ——在清洁表面耐受高达 30000 mg/L 的氯化物浓度。	与不锈钢304-SS情况类似。
低碳钢	易受高总溶解固体、悬浮物、生物、水垢和重金属的腐蚀。	在使用总溶解固体浓度较高的工业废水的背景下，需要通过反渗透和混凝剂等处理来去除溶解固体或悬浮物。通常，低碳钢是许多工业冷却系统的经济选择。
铜合金	易受氨和高溶解固体的腐蚀。 ——以游离氨形式存在、浓度高于 0.5 mg/L 的氨会导致应力腐蚀和开裂，产生生物，从而对沉积物下的铜合金造成腐蚀 ——铜镍合金（铜占 90%镍占 10%以及铜占 70%镍占 30%的两种合金）抗开裂。	——工业废水含有高浓度的氨和总溶解固体。如果氨浓度超过 0.5 mg/L，则铜合金材料不适合用于冷却系统。 ——废水处理可能通过添加铜缓蚀剂如甲基苯并三氮唑（TTA）、苯并三氮唑（BZT）和丁基苯并三氮唑（BBT），将这种潜在风险降至最低。
塑料	不易腐蚀。	塑料具有耐腐蚀的特性，但其较低的传热效率会增加更多的能源消耗和投资。

附 录 C
(规范性)
化学成本要素

表C.1 废水处理系统化学药剂成本要素示例

化学成本要素	污染物去除
氯化铝 (AlCl ₃) 碱式氯化铝 (Al ₂ (OH) ₅ Cl) 硫酸铝 (Al ₂ (SO ₄) ₃) 氯化铁 (FeCl ₃) 聚合氯化铝 (PAC)	悬浮固体
硫化钠 (Na ₂ S) 硫氢化钠 (NaHS) 氢氧化镁 (Mg(OH) ₂)	重金属
氢氧化钠 (NaOH) 碳酸钠 (Na ₂ CO ₃)	Ca ²⁺ 和Mg ²⁺
氯气 (Cl ₂) 次氯酸钠 (NaClO) 氯胺 (NH ₂ Cl)	微生物

表C.2 工业冷却系统化学药剂成本要素示例

化学品类型	化学品成本要素	确定依据
阻垢缓蚀剂	有机物金属盐系列（钼、钨）	雷兹纳尔稳定指数(RSI)<6
	铬酸盐多磷酸盐系列	
	铬酸盐金属盐（锌盐）	
	铬酸盐有机化合物（有机磷）	
	酸（硫酸）	
	有机缓蚀剂（通过形成保护屏障起作用）：胺类和多胺类（薄膜胺类）、芳香胺类	RSI>6
	无机缓蚀剂（作用于电化学腐蚀过程）	
杀菌剂	次氯酸钠	微生物量
	一氯胺	
	异噻唑啉酮类	
	2,2-二溴-3-次氨基丙酰胺（DBNPA）	

参 考 文 献

- [1] ISO 15663-3:2001, Petroleum and natural gas industries — Life-cycle costing — Part 3: Implementation guidelines
- [2] ISO 15686-5:2017, Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing
- [3] ISO 20670, Water reuse — Vocabulary
- [4] ISO 22449-1, Use of reclaimed water in industrial cooling systems — Part 1: Technical guidelines
- [5] Operating and support cost-estimating guide, Office of the secretary of defense, Cost assessment and program evaluation, March 2014
- [6] BREF ICS, Control Reference Document on the Application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems, European Commission, December 2001
- [7] Projected Costs of Generating Electricity, International Energy Agency and Nuclear Energy Agency, 2015 Edition
- [8] U.S. Energy Information Administration. Levelized cost and levelized avoided cost of new generation resources, March, 2018
- [9] 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, July 2002
- [10] Guide to cost-benefit analysis of investment projects. Regional and Urban Policy. European Commission, December 2014.
- [11] F. Hernández, A. Urkiaga, L. De las Fuentes, B. Bis, E. Chiru, B. Balazs, T. Wintgens. Feasibility studies for water reuse projects: an economical approach. Desalination, 2005, 187 (1), 253–261
- [12] Cost-benefit analysis approach suited for water reuse schemes. DEMOWARE. April, 2016
- [13] Technical information for cooling towers using reclaimed water. San Diego County Water Authority, 2006
- [14] ARIES CHEMICAL. Wastewater treatment chemicals.
<https://www.arieschem.com/chemicals/wastewater-treatment/>
- [15] Chemicals for wastewater treatment. Khan Associates. Waste water treatment plants.
<http://khanassociates.net/products/chemicals-for-waste-water-treatment/>
- [16] T. Keister, CWT (US). Cooling Water Management Basic Principles and Technology, 2001.
- [17] Ryznar J.W. A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by water [J]. American Water Works Association, 1944, 36(4):472-477

国家标准

《再生水在工业冷却系统中的应用

第 2 部分：成本分析导则》

（征求意见稿）

编制说明

《再生水在工业冷却系统中的应用 第 2 部分：成本分析导则》

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 498 项任务

计划编号：20255978-T-469

下达日期：2025 年 10 月 31 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 22449-2：2020。

1.2 制定背景

（1）符合产业发展需求

随着水资源短缺问题日益严峻，产业界对于水资源的高效利用和合理配置有迫切需求。再生水在工业冷却系统中的应用的成本分析导则有助于工业企业在冷却系统中使用再生水时，全面评估包括再生水获取、处理、输送、储存以及在冷却系统中运行等各个环节的成本。通过精确计算成本，企业可以确定使用再生水是否经济可行，从而更合理地配置水资源，实现资源的优化利用，满足产业可持续发展对资源管理的要求。

国外，欧盟要求企业通过成本效益分析（CBA）评估减排技术选择，例如在冷却水系统中使用再生水时，需对比传统淡水方案与再生水方案的全生命周期成本，包括设备投资、运行维护及环境外部性成本。美国环境保护署的《污水回用指南》将污水再生利用分为城市用水、农业用水、蓄水、环境用水、工业用水、地下水补给和饮用水回用 7 大类。针对工业冷却用水，该指南制定了相应的水质标准和处理工艺要求，以促进再生水的应用；同时要求对再生水项目进行成本效益分析，以确保其经济可行性。日本《节能法》要求企业在设备更新时进行能源效率成本分析，例如冷凝水回收系统的节能收益需量化至具体数值，并对比政府补贴额度。

我国近年来积极推动工业冷却系统成本优化与废水循环利用。国务院办公厅出台《关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》完善工业废水收集处理设施，鼓励点对点定向合作；《节约用水条例（2024 年）》，指通过加强用水管理、转变用水方式，采取技术上可行、经济上合理的措施，降低水资源消耗、减少水资源损失、防止水资源浪费，实现水资源的合理、有效利用；工信部等出台《制造业绿色低碳发展行动方案（2025—2027 年）》，提出重点行业绿色改造升级、推广先进装备和工艺、加大清洁能源与绿色产品推广力度、提升资源循环利用水平，并配套零碳工厂建设和产业脱碳路线图。

因此，在将再生水回用于工业冷却系统时，必须确保工业废水的水质达到冷却系统的相关标准，才能作为补给水投入使用。在此前提下，工业废水的处理成本成为首要成本考量因素。而对于基于全生命周期评估所规划的新建冷却系统，还需全面考量资金成本、运行成本以及维护成本等多方面因素，以确保系统的经济性和可持续性。

（2）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。推动再生水在工业领域的广泛应用，对于实现水资源的循环利用和节能减排目标具有重大意义。从成本分析的角度来看，建立一套有效统一的成本分析方法至关重要。这不仅有助于开展不同方案的成本比较，还能为引领全球工业中水使用潮流、促进水资源再利用以及提高用水效率提供科学依据。通过合理分析再生水处理成本、系统运行维护成本以及长期经济效益，可以确保再生水在工业冷却系统中的应用在经济上具有可行性，从而推动工业领域的绿色发展。

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。

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

本标准的编制以国家环境保护现有法律、法规、政策为主要依据，参考相关的国家及行业标准，并结合国内工业冷却水系统水回用成分分析的相关文献及工程案例资料，确定本标准的技术要求，总结编制了本标准。

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》（国务院令第 284 号）

《城镇排水与污水处理条例》（国务院令第 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）

《城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案》（发改环资〔2020〕1234 号）

《国家标准化发展纲要》（国务院公报 2021 年第 30 号）

《“十四五”国家信息化规划》（中央网络安全和信息化委员会印发）

《“十四五”水安全保障规划》（国家发展改革委、水利部印发）

《“十四五”新型城镇化实施方案》（发改规划〔2022〕960 号）

《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》（发改环资〔2021〕827 号）

《2022 年新型城镇化和城乡融合发展重点任务》（发改规划〔2022〕371 号）

《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》（水利部印发）

《关于加强公共供水管网漏损控制的通知》（建办城〔2022〕2 号）

《国家水网建设规划纲要》（中共中央、国务院印发）

《城市标准化行动方案》（六部委联合印发）

《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）

《节约用水条例》（国务院印发）

《关于加快发展节水产业的指导意见》（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）

《关于加强非常规水源配置利用的指导意见》（水利部、国家发展改革委印发）

《工业废水循环利用实施方案（2021—2025 年）》（六部委印发）

本文件参考的标准主要有：

表 1 参考与引用的标准清单

标准编号	标准名称
成本分析类	
GB/T 42461—2023	信息安全技术 网络安全服务成本度量指南
GB/T 28827.7—2022	信息技术服务 运行维护 第 7 部分：成本度量规范
GB/T 24051—2020	环境管理 物质流成本核算 通用框架
GB/T 24052—2022	环境管理 物质流成本核算 在供应链中的实施指南
GB/T 39793.1—2020	生态环境损害鉴定评估技术指南 基础方法 第 1 部分：大气污染虚拟治理成本法
GB/T 39793.2—2020	生态环境损害鉴定评估技术指南 基础方法 第 2 部分：水污染虚拟治理成本法
GB/T 20523—2006	企业物流成本构成与计算
SJ/T 10466.4—1993	质量成本管理指南
再生水类	
GB/T 42247—2022	水回用导则 再生水利用效益评价
GB/T 41018—2021	水回用导则 再生水分级
GB/T 41016—2021	水回用导则 再生水厂水质管理
GB/T 39306—2020	再生水水质 总砷的测定 原子荧光光谱法
GB/T 39305—2020	再生水水质 氟、氯、亚硝酸根、硝酸根、硫酸根的测定 离子色谱法
GB/T 39304—2020	再生水生物毒性检测的样品前处理通用技术规范
GB/T 39302—2020	再生水水质 阴离子表面活性剂的测定 亚甲基蓝分光光度法
GB/T 39298—2020	再生水水质 苯系物的测定 气相色谱法
GB/T 37907—2019	再生水水质 硫化物和氰化物的测定 离子色谱法
GB/T 37906—2019	再生水水质 汞的测定 测汞仪法
GB/T 37905—2019	再生水水质 铬的测定 伏安极谱法
GB/T 22597—2014	再生水中化学需氧量的测定 重铬酸钾法
SL 760—2018	城镇再生水利用规划编制指南
DL/T 5483—2013	火力发电厂再生水深度处理设计规范
HG/T 4327—2012	再生水中总铁含量的测定 分光光度法
HG/T 4326—2012	再生水中镍、铜、锌、镉、铅含量的测定 原子吸收光谱法
HG/T 4325—2012	再生水中钙、镁含量的测定 原子吸收光谱法
HG/T 3923—2007	循环冷却水用再生水水质标准
SL 368—2006	再生水水质标准
CJ/T 95—2000	再生水用于景观水体的水质标准
DB3213/T 1074—2025	再生水利用配置计量管理规范
DB11/T 672—2023	城市绿地再生水灌溉技术规范
DB11/T 1767—2020	再生水利用指南 第 1 部分：工业
DB11/T 1767.2—2022	再生水利用指南 第 2 部分：空调冷却
DB11/T 1767.3—	再生水利用指南 第 3 部分：市政杂用

标准编号	标准名称
2022	
DB11/T 1767.4—2021	再生水利用指南 第4部分:景观环境
DB11/T 1254—2022	再生水热泵系统工程技术规范
DB34/T 4291—2022	城市再生水处理厂工程技术标准
DB34/T 4290—2022	城市再生水管网工程技术标准
冷却水类	
GB/T 45131—2025	锅炉用水和冷却水分析方法 磷酸盐、氯化物、硅酸盐、总碱度、酚酞碱度、硬度和铁的测定 基于间断分析系统的分光光度法
GB/T 44325—2024	工业循环冷却水零排污技术规范
GB/T 14420—2024	锅炉用水和冷却水分析方法 化学耗氧量的测定 重铬酸钾快速法
GB/T 6913—2023	锅炉用水和冷却水分析方法 磷酸盐的测定
GB/T 6907—2022	锅炉用水和冷却水分析方法 水样的采集方法
GB/T 6903—2022	锅炉用水和冷却水分析方法 通则
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 10656—2022	锅炉用水和冷却水分析方法 锌离子的测定
GB/T 40392—2021	循环冷却水中军团菌的检测
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

2.3 主要内容及其确定依据

本文件等同采用 ISO 22449-2: 2020 Use of reclaimed water in industrial cooling systems —Part 2: Guidelines for cost analysis。

本文件为工业冷却系统中使用再生水的成本分析提供了指导原则。

本文件适用于新建的、以再生水作为补充水的工业冷却系统，其中再生水来源于企业内部各生产车间所排放的工业废水，并经过废水处理系统处理后回用。

在本文件中，采用“平准化冷却水成本（LCOCW）”作为比较指标，用以判定不同工业冷却系统每移除一千瓦时（kWh）热量所需的成本高低。

再生水回用能够直接对冷却系统的运行成本和环境产生影响。附录 A 列出了再生水回用所带来的外部效益，包括正外部性和负外部性，并综合考虑了环境、社会及经济因素。

本文件适用于所有参与新建工业冷却系统再生水回用的企事业单位。

本文件旨在确保从事再生水回用的各类组织采用统一的成本评估方法。

本文件提供了一个广泛的框架，用于评估新建工业冷却系统使用再生水的成本。文件中使用的货币单位均为当地货币（LCY）。

2.4 主要内容及其确定依据

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、江苏水污染防治装备技术发展有限公司、山西大学、河海大学、广州水务环保技术有限公司、华电郑州机械设计研究院有限公司、东北电力大学、重庆大学、江苏创新环境工程有限公司、内蒙古农业大学

起草人：任洪强、耿金菊、白岩、胡海冬、李剑锋、许柯、王庆、许明、田卓、郭新茹、梁延东、张蕊、宋丹、邵莹、林原、于清淼、邵丹萍、刘晓民、杨耀天

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、 耿金菊、白岩	江苏水污染防治装备技术发展有限公司 山西大学	许柯 李剑锋 石鑫 邵莹 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		东北电力大学 内蒙古农业大学	梁延东 宋丹 张蕊 刘晓民
4 成本分析导则	再生水在工业冷却系统中的应用等内容的资料调研、方法论证、草案编写		山西大学 河海大学 广州水务环保技术有限公司 华电郑州机械设计研究院有限公司 重庆大学 江苏创新环境工程有限公司	王庆 胡海冬 林原 李剑锋 许明 田卓 郭新茹 于清淼 邵莹 邵丹萍
附录 A（资料性） 外部效益因素	影响再生水在工业冷却系统中的外部效益因素等内容的资料调研、草案编写		江苏水污染防治装备技术发展有限公司 东北电力大学	许柯 梁延东

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 B（资料性） 冷却系统材料	冷却系统材料收集、分类等 内容的资料调研、草案编写		江苏水污染防治装备技术发展有限公司 东北电力大学	许柯 梁延东
附录 C（规范性） 化学成本要素	化学成本要素等内容的资料调 研、草案编写		江苏水污染防治装备技术发展有限公司 东北电力大学 内蒙古农业大学	许柯 梁延东 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—2:2020《Use of reclaimed water in industrial cooling systems — Part 2: Guidelines for cost analysis》。该标准聚焦以工业废水处理回用再生水为补给水的新建工业冷却系统，明确工业废水源自企业内部全生产厂房。通过引入冷却水平准化成本（LCOCW），量化比较各冷却系统单位千瓦时热量去除成本差异。再生水的应用将显著影响冷却系统运行成本与环境效益，适用于参与新建工业冷却系统再生水利用的全链条利益相关方。标准旨在确保再生水再利用组织内部评估口径统一，为科学测算新建工业冷却系统的再生水使用成本提供实操性指导，成本计量统一采用当地货币（LCY）。

3.2 技术经济论证

（1）技术可行性

在应对水资源短缺以及为冷却系统探寻新水源的途径上，工业用水回用展现出了广阔的前景，成为一种极具潜力的解决方案。而再生水的水质状况，对于工业冷却系统的设计与日常运行起着至关重要的作用。工业废水若要作为冷却系统的补给水，必须达到冷却系统所设定的各项要求。基于这一前提，处理工业废水所产生的成本便成为首要考虑的成本因素。不仅如此，当从生命周期的角度出发，规划新建冷却系统时，资金成本、运行成本以及维护成本同样需要纳入全面且细致的考量范畴。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，新加坡的 NEWater 项目是再生水利用的典范。该项目采用先进的膜技术和紫外线消毒技术，将污水处理成高质量的再生水，用于工业冷却、商业和居民用水等，根据项目报告，单位再生水的生产成本包括建设成本、运行维护成本等；美国洛杉矶的再生水项目采用多种处理工艺，如微过滤、反渗透等，将污水处理成符合标准的再生水，用于工业冷却、灌溉等，根据项目数据，单位再生水的处理成本包括电费、药剂费、人工费等。同时，我国安徽淮北市推动火电循环冷却全用再生水，制定指导意见将终端水价控在 0~1.5 元/立方米，低于其他水源价格，年均助企业降本超 2000 万元。此外，获中央 6000 万元资金补助管网建设，并免收再生水用户水资源税和污水处理费，进一步降低利用成本；山西省晋中市灵石县水利局与 3 家企业签订 5 年供水协议，年供再生水 720 万立方米，企业经过滤脱盐

处理用于焦炉冷却循环，实现近零排放，首批 3 家焦化企业改造后，每吨焦炭用水从 1.5 吨降至 1.13 吨，年节水超 280 万立方米，按 25 元/吨污水处理成本算，年节约成本约 7000 万元。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：财政上，中央及地方通过专项资金、专项债券支持设施建设与运营，吸引社会资本参与；价格方面，多地制定优惠价格政策，如甘肃协商定价并设累退机制、淮北将火电用再生水价控在低价区间，降低企业成本；税收上，落实优惠政策鼓励技术创新与绿色消费；金融领域，银行加大信贷支持，探索收益权质押等融资模式，全方位推动再生水冷却系统的应用与发展。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

在当今全球水资源日益紧张、环境保护需求愈发迫切的大背景下，再生水在冷却系统中的应用已成为实现水资源可持续利用和节能减排目标的关键举措。然而，由于各国在经济发展水平、技术能力、政策法规以及水资源状况等方面存在显著差异，导致再生水冷却系统的成本构成和影响因素复杂多样，使得不同国家之间在成本分析方法和结果上缺乏可比性，严重制约了再生水冷却系统在全球范围内的推广和应用。

通过建立一套全面、系统的分析框架，将再生水冷却系统的成本细分为资本成本、运行维护成本、重置成本和处置成本等多个关键维度，并进一步细化具体的成本项目和计算方法，不仅能确保成本分析的全面性和准确性，更能带来显著的经济好处。一方面，企业可借此精准识别成本节约点，优化资源配置，降低再生水冷却系统的整体运营成本，提高生产效益；另一方面，统一的成本分析方法有助于各国政府制定更具针对性的激励政策，吸引更多企业投资再生水利用项目，推动产业升级和绿色经济发展，从而在全球范围内实现经济效益与环境效益的双赢。

（2）社会效益

通过对再生水冷却系统进行成本分析，不仅可实现资源优化配置、降低企业运营成本，更在多个层面产生显著社会效益：一方面有效减少对自然水资源的依赖，提升水资源利用效率，缓解水资源短缺压力；另一方面大幅降低污水排放和碳排放，助力生态环境改善与绿色发展；同时推动循环经济产业升级，增强企业市场竞争力，提高公众环保意识并促进相关政策完善；最终保障区域水资源安全，助力社会稳定与经济可持续发展，成为实现社会整体进步的关键驱动因素。同时，本项国家标准是采用最新发布的国际标准 ISO 22449—2:2020 Use of reclaimed water in industrial cooling systems — Part 2: Guidelines for cost analysis（再生水在工业冷却系统中的应用 第 2 部分：成本分析导则）转化。随着 ISO 22449—2:2020 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成本分析导则，能够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，是践行水资源可持续发展的关键举措。其不仅通过减少工业废水直排，有效降低自然水体污染负荷，推动水环境质量改善，更以削减自然水体取水量为生态系统“解渴”，维系河湖水量水质平衡，为生物多样性构筑起生存屏障。与此同时，再生水处理技术迭代带来的能源效率跃升，在减少能源消耗的同时助力碳排放下降，成为实现“双碳”目标的绿色动能，实现了水资源、生态与气候效益的协同共赢。

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—2:2020，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—2:2020。

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、使用工业冷却系统再生水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，及时了解和总工业冷却系统再生水应用的新动向，推动标准的贯彻执行。

十、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2部分：成本分析导则》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2部分：
成本分析导则》（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)。